

|  |
| --- |
| 分类号:P642 |
| 10710-BS2006026 |



博 士 学 位 论 文

关中降水与气温时空动态演变特征研究

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 导师姓名职称 | 李佩成 教授.院士 | | |
| 申请学位级别 | 工学博士 | 学科专业名称 | 地质工程 |
| 论文提交日期 | 2015 年 4 月 30 日 | 论文答辩日期 | 2015 年 6 月 17 日 |
| 学位授予单位 |  | 长安大学 |  |

**Study on spatial and temporal variability regularity of precipitation and temperature on**

**Central Shanxi Province**

A Dissertation Submitted for the Degree of Doctor

**Candidate： Xiong Guang-hong Supervisor：Prof. Li Peicheng**

Chang’an University, Xi’an, China

论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的毕业论文是在导师的指导下,独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。



论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）



**本论文得“111”引智计划——干旱半干旱地区水文生态与水安全学科创新引智基地研究项目和中国工程院咨询项目——防旱抗旱确保粮食及农村供水安全战略研究项目的**

**支持，特致谢！**

摘 要

全球气候变化是当前研究的热点问题，陕西关中地区，以其特有的地理位置和地形地貌成为气候变化敏感区域，加之关中地区重要的政治经济地位和近年来经济高速发展的催化作用，形成了这一区域脆弱多变的气候特点，气候要素（降水和气温）不可避免地相应发生改变。本文以详实的数据和客观的统计方法，探究关中地区降水和气温对全球变暖的响应及其动态演变过程，讨论关中气候变化的区域性差异，分析影响气候变化的驱动力和影响力，解释和归纳关中地区气候特征。

本文以陕西关中地区西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南等五个行政区划，1961~2012年共52年的降水和气温年、月统计资料为研究对象，运用数理统计、统计检验、经验分析、数字化地图等分析计算工具，综合定性分析及定量计算方法，对降水及气温的年、代际演变特征、趋势性倾向、季节变化特征、年内分布特征，空间差异进行了研究，系统地分析了关中地区降水与气温时空相关性及关键性影响因素，并进一步针对关中气候变化致灾的胁迫性和影响力，进行性了梳理。尝试性地探究了全球气候变化下关中地区气候响应、区域特征和气候变化影响力这三个问题。论文取得了以下研究成果。

第一，有针对性的全面收集了陕西关中地区1961~2012年降水和气温统计数据，对于有争论的“全球气候变暖之说”进行了区域性研究，取得了阶段性的研究成果。

第二，在降水方面获得了以下结论。

关中地区年降水无持续性减少，以25a的长周期丰枯波动变化，1984~1997年为关中地区干旱少雨时段。

四季降水量不对称变化，春冬干旱少雨，夏秋降水量集中，降水量年内分布不均。

受纬度和季风等因素影响，关中降水量ft区多、平原少，西南多、东北少。第三，在气温方面获得了以下结论

关中地区气温有阶段性大幅升高的特点，80年代以后气温普遍偏高，但2007

年后气温有所下降。

关中地区发生了以夏季延长为主要特征的季节变化。

气温空间分布依纬度升高而降低，高温区域有向西推移的变化特征。

第四，关中地区年降水量与年均气温的回归关系具有突变点，突变前后两者关系发生转折性变化。降水和气温在年、代、季节尺度的关系表现为：正相关、负相关、不相关等多种形式。区域气候正在发生着冷暖、干湿交替的变化。

第五，关中地区气候变化与全球气候变化有一致性，但也具有鲜明的特点。在人为因素持续性作用下，近年来发生的气候趋势性转折表明，区域气候受多方面因素影响，其本质特征及内在机理有待进一步深入讨论。

关键词：关中地区； 降水和气温序列； 动态特征； 气候类型； 气候影响力

**Abstract**

It was a hotspot problem of research on Global climate change. Central Shanxi Province was a sensitive area of climate change by its unique geographicl location and topography. With the important political and economic status, together with the rapid economic development central Shanxi province formed the specially fragile and changeable weather characteristics. The precipitation and temperature in this area inevitably change accordingly. This paper was based on detailed data and objectively statistical method, aimed to present the precipitation and temperature response to global warming and its dynamic evolution process. The discussion of regional differences of climate change in central Shanxi province was done, and the driving force and influence of climate change was analyzed, the climate characteristic was explained and summarized.

In this dissertation, the research object was statistical data of precipitation and temperature by years and months in central Shanxi province. The research was done in some ways, such as mathematical statistics, statistical tests, experience analysis, digital map software and so on. The evolution characteristics of precipitation and temperature in decades and years and seasons, trend tendency, features in monthly, space differences were studied by qualitative analysis and quantitative calculation method. The relationship in time and space between precipitation and temperature of Guanzhong-region and the key influencing factors were systematically analyzed. The effect and influence of climate change on climate disasters were further obtained. Trying to solve three difficulties such as climate changes response to the global climate changes; the space features and the influence of climate change. My contribution is:

Firstly, the precipitation and temperature data in 1961~2012 were targeting comprehensively collected. The regional reach was done about the controversial" global warming".

Secondly, the following conclusions were obtained about precipitation.

There was no corresponding decrease in precipitation in central Shanxi province,

But in the long period of 25a wet and dry alternation.1984~1997 was the drought period in central Shanxi province.

There was asymmetric change of precipitation in four seasons, drought in winter and spring, precipitation concentrated in summer and autumn. The precipitation unevenly distributed in a year.

The precipitation was much more in mountainous than in plain, southwest than northeast by influence of latitude and monsoon.

Thirdly, the following conclusions were obtained about temperature.

The temperature in central Shanxi province was significantly increased in the stages. The temperature was in the high level after 1980, but it was a little drop after 2007.

The changes feature in season was that the summer extended was appeared in central Shanxi province.

Temperature distribution in accordance with the higher latitude and the high temperature area gradually goes to the west.

Fourthly, there was a mutation in the relationship between precipitation and temperature. After the mutation the transitional change was happened. There was no typical negative correlation between precipitation and temperature in decades and years and seasons. The regional climate was changing in the alternation of warm and cold, drying and wetting.

Finally, the Climate change in central Shanxi province was consistent with the global climate in some ways, but it also has distinctive features. Under the persistent effect of human factors, the change of climate trend in recently showed that there must be some most important factors control the region climate.

**Key words**: Central Shanxi province; Precipitation and temperature sequence; Dynamic characteristics; Climate type; Climate influence

长安大学博士学位论文

目 录

[摘 要](#_Toc686683316) 3

**[Abstract](#_Toc686683317)** 4

[1 绪论](#_Toc686683318) 7

**[1.1](#_Toc686683319)** [选题背景与意义](#_Toc686683319) 7

**[1.1.1](#_Toc686683320)** [研究背景](#_Toc686683320) 7

**[1.1.2](#_Toc686683321)** [选题意义](#_Toc686683321) 7

**[1.2](#_Toc686683322)** [国内外研究现状](#_Toc686683322) 7

**[1.2.1](#_Toc686683323)** [国际气候变化研究现状](#_Toc686683323) 7

**[1.2.2](#_Toc686683324)** [国内气候变化研究现状](#_Toc686683324) 8

**[1.2.3](#_Toc686683325)** [关中地区气候变化及其影响因素的研究](#_Toc686683325) 8

**[1.2.4](#_Toc686683326)** [存在的问题](#_Toc686683326) 9

**[1.3](#_Toc686683327)** [研究内容及方法](#_Toc686683327) 9

**[1.3.1](#_Toc686683328)** [主要研究内容](#_Toc686683328) 9

**[1.3.2](#_Toc686683329)** [研究方法](#_Toc686683329) 9

**[1.3.3](#_Toc686683330)** [技术路线](#_Toc686683330) 9

**[1.4](#_Toc686683331)** [预期成果及创新点](#_Toc686683331) 11

**[2](#_Toc686683332)** [研究区域概况及研究方法](#_Toc686683332) 11

**[2.1](#_Toc686683333)** [研究区域概况](#_Toc686683333) 11

**[2.1.1](#_Toc686683334)** [关中地形、地貌](#_Toc686683334) 11

**[2.1.2](#_Toc686683335)** [关中水文气象概况](#_Toc686683335) 11

**[2.1.3](#_Toc686683336)** [关中社会经济概况](#_Toc686683336) 11

**[2.2](#_Toc686683337)** [研究方法](#_Toc686683337) 12

**[2.2.1](#_Toc686683338)** [数据来源及加工处理方法](#_Toc686683338) 12

**[2.2.2](#_Toc686683339)** [研究方法](#_Toc686683339) 12

**[3.](#_Toc686683340)** [关中地区降水量时空变化特征分析](#_Toc686683340) 22

**[3.1](#_Toc686683341)** [西安地区降水量动态演变特征](#_Toc686683341) 22

**[3.1.1](#_Toc686683342)** [年降水量长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683342) 22

**[3.1.2](#_Toc686683343)** [季降水量动态特征](#_Toc686683343) 24

**[3.1.3](#_Toc686683344)** [降水量年内变化特征](#_Toc686683344) 29

**[3.2](#_Toc686683345)** [铜川地区降水量动态变化特征](#_Toc686683345) 29

**[3.2.1](#_Toc686683346)** [年降水量长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683346) 29

**[3.2.2](#_Toc686683347)** [季降水量动态特征](#_Toc686683347) 32

**[3.2.3](#_Toc686683348)** [降水量年内变化特征分析](#_Toc686683348) 36

**[3.3](#_Toc686683349)** [宝鸡地区降水量动态变化特征](#_Toc686683349) 38

**[3.3.1](#_Toc686683350)** [年降水量长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683350) 38

**[3.4](#_Toc686683351)** [咸阳地区降水量动态变化特征](#_Toc686683351) 46

**[3.4.1](#_Toc686683352)** [年降水量长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683352) 46

**[3.4.2](#_Toc686683353)** [季降水量动态特征](#_Toc686683353) 48

**[3.4.3](#_Toc686683354)** [降水量年内变化特征分析](#_Toc686683354) 52

**[3.5](#_Toc686683355)** [渭南地区降水量动态变化特征](#_Toc686683355) 52

**[3.5.1](#_Toc686683356)** [降水量年际变化特征分析](#_Toc686683356) 52

**[3.5.2](#_Toc686683357)** [季降水量动态特征](#_Toc686683357) 55

**[3.5.3](#_Toc686683358)** [降水量年内变化特征分析](#_Toc686683358) 59

**[3.6](#_Toc686683359)** [关中地区降水量时空演变特征分析](#_Toc686683359) 60

**[3.6.1](#_Toc686683360)** [年降水量分析](#_Toc686683360) 60

**[3.6.2](#_Toc686683361)** [季降水量分析](#_Toc686683361) 68

**[3.6.3](#_Toc686683362)** [年内降水量分析](#_Toc686683362) 72

**[3.6.4](#_Toc686683363)** [动态参数计算](#_Toc686683363) 73

**[3.7](#_Toc686683364)** [小结](#_Toc686683364) 78

[4. 关中地区气温时空变化特征分析](#_Toc686683365) 78

**[4.1](#_Toc686683366)** [西安地区年气温动态演变特征](#_Toc686683366) 79

**[4.1.1](#_Toc686683367)** [年均气温长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683367) 79

[4.1 所示，曲线呈现3-7年的小周期性波动，周期不断缩短，气温波动上升显著。通过线性回归方程的计算，得到西安地区年平均气温的一元拟合函数为](#_Toc686683368) 79

**[4.1.2](#_Toc686683369)** [季平均气温动态特征](#_Toc686683369) 81

[4.2 ，探讨西安地区四季平均气温变化特征。](#_Toc686683370) 81

**[4.1.3](#_Toc686683371)** [月平均气温动态特征](#_Toc686683371) 84

**[4.1.4](#_Toc686683372)** [极端气温动态特征](#_Toc686683372) 85

**[4.2](#_Toc686683373)** [铜川地区年气温动态演变特征](#_Toc686683373) 86

**[4.2.1](#_Toc686683374)** [年均气温长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683374) 86

**[4.2.2](#_Toc686683375)** [季平均气温动态特征](#_Toc686683375) 89

**[4.2.3](#_Toc686683376)** [月均气温动态特征](#_Toc686683376) 93

**[4.2.4](#_Toc686683377)** [极端气温动态特征](#_Toc686683377) 94

**[4.3](#_Toc686683378)** [宝鸡地区年气温动态变化特征](#_Toc686683378) 94

**[4.3.1](#_Toc686683379)** [年均气温长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683379) 94

**[4.3.2](#_Toc686683380)** [季平均气温动态特征](#_Toc686683380) 97

**[4.3.3](#_Toc686683381)** [月均气温动态特征](#_Toc686683381) 100

**[4.3.4](#_Toc686683382)** [极端气温动态特征](#_Toc686683382) 101

**[4.4](#_Toc686683383)** [咸阳地区年气温动态变化特征](#_Toc686683383) 102

**[4.4.1](#_Toc686683384)** [年均气温长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683384) 102

**[4.4.2](#_Toc686683385)** [季平均气温动态特征](#_Toc686683385) 105

**[4.4.3](#_Toc686683386)** [月均气温动态特征](#_Toc686683386) 107

[4.37 所示。月均气温年内变化为单峰正态分布，图形偏度系数为-0.1015，峰度系](#_Toc686683387) 107

**[4.4.4](#_Toc686683388)** [极端气温动态特征](#_Toc686683388) 108

**[4.5](#_Toc686683389)** [渭南地区年均气温动态变化特征](#_Toc686683389) 109

**[4.5.1](#_Toc686683390)** [年均气温长期变化趋势及代际差异](#_Toc686683390) 109

**[4.5.2](#_Toc686683391)** [季平均气温动态特征](#_Toc686683391) 111

**[4.5.3](#_Toc686683392)** [月均气温动态](#_Toc686683392) 114

**[4.5.4](#_Toc686683393)** [极端气温的动态特征](#_Toc686683393) 115

**[4.6](#_Toc686683394)** [关中地区气温时空演变特征](#_Toc686683394) 115

**[4.6.1](#_Toc686683395)** [年气温分析](#_Toc686683395) 115

**[4.6.2](#_Toc686683396)** [年内气温分析](#_Toc686683396) 121

**[4.6.3](#_Toc686683397)** [极端气温分析](#_Toc686683397) 125

**[4.6.4](#_Toc686683398)** [气温动态参数](#_Toc686683398) 126

**[4.7](#_Toc686683399)** [小结](#_Toc686683399) 132

**[5.](#_Toc686683400)** [降水与气温关联特征](#_Toc686683400) 133

**[5.1](#_Toc686683401)** [气候序列关联的概念](#_Toc686683401) 133

**[5.2](#_Toc686683402)** [降水与气温长序列回归关联分析](#_Toc686683402) 133

**[5.2.1](#_Toc686683403)** [地区年均降水量和气温的回归关联特征](#_Toc686683403) 133

**[5.2.2](#_Toc686683404)** [降水量和气温关联性的空间特征](#_Toc686683404) 134

**[5.2.3](#_Toc686683405)** [降水量和气温关联性的季节特征](#_Toc686683405) 135

**[5.3](#_Toc686683406)** [降水与气温阶段趋势性相关特征](#_Toc686683406) 136

**[5.4](#_Toc686683407)** [降水量与气温动态相关评价](#_Toc686683407) 139

**[5.4.1](#_Toc686683408)** [年均降水量与气温动态关系](#_Toc686683408) 139

**[5.4.2](#_Toc686683409)** [季节降水量与气温动态关系](#_Toc686683409) 142

[500](#_Toc686683409)

[400](#_Toc686683409)

[300](#_Toc686683409)

[200](#_Toc686683409)

[100](#_Toc686683409)

[0](#_Toc686683409)

[20](#_Toc686683409)

[15](#_Toc686683409)

[10](#_Toc686683409)

[5](#_Toc686683409)

[0](#_Toc686683409)

[500](#_Toc686683409)

[400](#_Toc686683409)

[300](#_Toc686683409)

[200](#_Toc686683409)

[100](#_Toc686683409)

[0](#_Toc686683409)

[14](#_Toc686683409)

[12](#_Toc686683409)

[10](#_Toc686683409)

[8](#_Toc686683409)

[6](#_Toc686683409)

[4](#_Toc686683409)

[2](#_Toc686683409)

[0](#_Toc686683409)

**[5.5.1](#_Toc686683410)** [关中气候及对全球变化的响应](#_Toc686683410) 144

**[5.5.2](#_Toc686683411)** [气候变化影响因素](#_Toc686683411) 145

**[5.5.3](#_Toc686683412)** [气候变化致灾效应](#_Toc686683412) 146

**[5.6](#_Toc686683413)** [小结](#_Toc686683413) 146

**[6.](#_Toc686683414)** [结论与展望](#_Toc686683414) 147

**[6.1](#_Toc686683415)** [研究结论](#_Toc686683415) 147

**[6.2](#_Toc686683416)** [展望](#_Toc686683416) 147

[参考文献](#_Toc686683417) 147

[攻读博士期间取得的研究成果](#_Toc686683418) 152

# 1 绪论

## **1.1** 选题背景与意义

### **1.1.1** 研究背景

气候是人类赖以生存和发展的自然环境的重要组成部分，现代文明发展过程中，气候在人民生活、经济发展和国家政策制定以及国与国的公共关系等方方面面中均起着重要的作用[1~2]。

人类对气候的关注历史久远，我国古代殷商时期就有了对气象资料的记录，但关于气候变化的系统研究始自上世纪中叶。人类文明步伐的迈进，使之对环境给予更多的关注，从而逐渐意识到，在大规模工业生产和人口激增的同时，地球的气候也正在发生着改变。在百度搜索引擎中搜索词条“气候变化”，会出现约

7410000个搜索结果，由此可见关于气候变化及其相关问题，已成为全人类所关注的热点。近百年来得到的关于气候变化共识是“全球变暖，以及相伴而生的海平面上升、湖泊水位下降、冰川退缩”。

国际气候变化研究权威专门组织IPCC，在其第二次评估报告（1995）中就援引大量数据说明，气候自19世纪末以来，发生了以升温为主要特征的显著变化，并分析得出气温升高与人类大规模改造自然的活动相关这一结论。

但是，气候长期以来一直在发生着变化，降水和气温冷暖、干湿交替是自然界的一种普遍现象。近百年来，关于和降水和气温变化的相关研究成果，虽证实全球气候确发生了一些显著性变化，但其波动变化的性质未发生根本改变，波动的幅度并没有超过历时范畴[3]。降水和气温的变化虽在多地带来了一系列负面影响，但没有直接的证据表明人类的活动确为形成降水和气温巨变的主要原因。

以降水和气温为代表性要素气候变化，具有随机性、偶然性和复杂性。李佩成院士早在2008年就“全球气候变暖”这一热议话题，提出了：“应当以辩证的观点看待气候变化，明确气候是否持续某一种趋势，客观的分析形成气候变化的主要原因”的建议，并就此进行了大量研究工作[4~10]。本文以气候变化敏感区域—

—陕西关中地区作为研究对象，进行气候变化要素的研究，主要讨论了讨论研究区域降水和气温时空演变过程和特点，针对上述有争议的话题进行区域性的求证。

### **1.1.2** 选题意义

诚然，自上世纪中叶开始，全球气候变暖已经成为多数学者的共识[11~12]。随地表气温大幅度升高，空气中水汽含量和大气环流路径相应发生改变，进而影响降水量的增减变化[13]。这种全球化的气候变化趋势，在我国部分区域也得到了响应，但我国幅员辽阔的疆域内气候变化的区域特征十分显著，需有针对性的进行不同区域气候特征的研究才能获得客观可靠的研究结论。

陕西关中地区地处秦岭南麓，气候类型复杂、影响因素颇多。同时，降水量和气温的变化，直接影响地表河川径流量，引发水资源补给和空间分配上的问题，也进一步影响到水资源利用方式、水资源管理措施、社会经济系统正常运行等政治、经济层面[14~18]。随着关中地区在我国政治经济地位的日益提升，水资源问题严峻。研究关中地区以降水和气温为主要要素的气候变化动态特征，对于客观评价区域气候现状及预测未来气候趋势，解析区域气候变化对全球气候变化响应，分析区域气候变化的影响因素，制定有针对性的水资源调配和利用政策，保证区域生态环境和社会经济良性可持续发展，具有重要的参考价值。

本文研究的意义在于，基于大量气候统计数据的采集以及最新资料的补充，针对全球关注的争议话题，寻求小区域范围内的求证。将研究视角从放眼全球转而小处着眼，研究关中地区气候现状和特征，例证气候的波动和阶段变化等随机和偶然特性，避免了大区域均值研究中，区域差异性的丢失，对于全球气候研究也是有益的补充。同时，研究所获得的关中地区降水和气温变化特征，对区域气候变化应对措施的制定，气候灾害性事件的应急预警，水资源利用和调配方案的规划等提供有实用价值的参考，避免了依全球性研究成果制定政策的“盲从”和

“缘木求鱼”的缺憾。

## **1.2** 国内外研究现状

### **1.2.1** 国际气候变化研究现状

①气候变化研究组织和会议

早在20世纪70年代后期，气候变化为全球一系列国际组织所关注，世界气象组织(WMO)、联合国环境署(UNEP)、国际水文科学协会(IAHS)等开展了诸多关于气候变化影响方面的研究。曾先后实施了世界气候影响研究计划(WCIP)、

全球能量水循环试验(GEWEX)等系列重大项目的研究。召开全球范围内学术盛会，讨论气候变化及其影响。

在气候变化趋势检验、气候变化影响评价方法、气候变化对水文水资源的影响、气候变化未来趋势分析、水资源系统对未来气候和现代气候变化敏感性等方面，取得了丰硕的研究成果[19-21]。

②政府间气候变化专门委员会（IPCC）

成立于1988 年的政府间气候变化专门委员会（IPCC），致力于全球气候变化的信息科学性和技术性研究。该组织先后发布了五次评估报告，指出全球气候变暖是不争事实；人类活动造成的温室气体和大气溶胶增加，可能会改变区域甚至全球的气候，特别是温室气体浓度的增加，形成了1990年以来持续发生的厄尔尼诺现象，导致了一些地区严重干旱[22-26]。例举了工业革命以来全球气候变化和千年来北半球气温变化（图1.1）。

但值得商榷的是，用于例证升温的动态曲线，在所取时段内同样存在着阶段性和波动性的变化特点，虽然短时间看起来气温是有一定程度的升高，但据此数据进行外延，推断气候的持续变暖这一结论未免有些牵强，不可否认的是气候的波动特性。



**图1.1** **气温变化图（IPCC第三次评估报告，2001）**

③全球气温和降水的研究成果

大量国外专家学者对全球气候变化的研究共识是，近百年来全球气温有显著增温趋势[27-30]。部分学者也同时也肯定了气温变化的阶段性、波动性和明显周期性[31-33]，他们将全球气温划分为：1880-1910年间的低温期；1930-1950中期的高温期；1950-1970初的气温波动先下降后上升时期，80年代以后近百年来的最暖期。

在季节气温的变化响应方面，Gordon[34]和Doinonkos[35]指出平均气温的变化，在季节上存在显著的差异。北半球四季中，冬季增温率最大、夏季最小。中纬度地区，冬季大幅度持续增温加重了这一区域的干旱程度。

关于全球降水量变化方面，大量研究成果均表明：全球及北半球的平均降水量呈阶段性变化，但各个阶段变化趋势有所不同。Hulme[36]认为1950-1980年间，全球平均降水无明显减幅，线性变化率为4mm/10a，90年代以后降水出现大幅度减少。而Eischeid[37]的研究则发现，从19世纪50年代中期到九十年代初期，全球的年降水量均为减少的趋势，降水量减少的时段比Hulme所认为的90年代后至少提前了四十年。Vinnikov[38]针对北半球不同区域的降水量分析得出：19世纪初到1988年间，北半球中纬度地区（35~70°N），降水量不仅未减少反而增加了6%. Kattsov[39]更是提出从十九世纪20 年代开始，北半球中纬度地区

（55-85°N ）降水增加极为迅速。Hulme[40]的研究还得到：北半球降水量线性变化率也存在空间差异，年均降水减少幅度北半球(13min/10a)大于全球平均水平，低纬度地区（0-30°N 间）减少幅度最大。

Diaz等[41]对南半球降水量变化研究获得，南半球与北半球降水量变化的区域性不一致，低纬度地区与中高纬度地区的降水量变化趋势具有一致性。Hulme对南半球降水量线性变化率的研究也表明，该值在这一区域较小，仅为1.4mm/a。

关于全球降水量变化的研究成果表明：

a. 全球降水量呈区域性、阶段性变化；

b. 北半球自19世纪初期开始，低纬度地区降水量减少，中高纬度地区降水量增加；

c. 南半球降水量未出现的明显的减少趋势，地区差异也较小。

### **1.2.2** 国内气候变化研究现状

我国气候变化的研究起步较晚，但关于中国近百年的气候变化特征，我国气候变化对全球气候变化的响应、我国区域气候变化特征、气候变化的影响等各个方面，同样取得了丰硕的研究成果。研究成果涉及降水和气温的动态特征、区域性降水及气温变化特点、降水和气温变化的空间差异、降水和气温变化对水资源等因素的影响、未来气候变化的发展趋势分析等等，一些新的观点和研究方法脱颖而出，对于我国气候变化研究领域方法和理论的更新，研究成果的应用等方面

有极大的促进作用。

①气温动态特征

我国卓越的地理和气象学家学者竺可桢，早在1973年就绘制了中国近五千年的气候变化曲线[42]，指出：“在我国文明发展的五千年中，气温的变化呈现阶段性和周期性变化。”

针对我国气温变化与全球气候变化的响应方面，学者的观点百家争鸣。部分学者研究表明我国近百年来气候变化的主要特征与全球气候变化趋势一致[46]，我国地表平均气温增温速率高于全球同期平均增温速率[44]，与北半球平均气温变化趋势相同[43]。但也有结论分析表明，我国1910~1988年间平均气温变化特征与北半球及全球的平均气温变化不完全相同，特别是东部地区存在较大的区域性差异[45] 。

在气温变化研究领域比较一致的结论是，气温的变化呈现明显的阶段性特征。丁一汇、任国玉[47]，王遵娅[50]等研究均表明，20世纪初我国平均气温开始回升，

40年代中期达到最暖，50年代温度急剧下降，70年代初再次开始回升，80年代中期以后增温显著，90年代达到近年来中的最高值，但与40年代中期的高温年平均气温相比尚属低值，最高温出现在40年代，而不是80年代以后。

同时，我国气温变化趋势和幅度的地区性差异广泛存在。西北地区[51]、北方大部地区[52]、黄淮地区[53]年均气温变暖显著，黄土高原增温速度大于同期全国平均水平[54]，西北干旱区1986年后气温升髙显著，冬季（12月、1月、2月）升温对西北干旱区增暖的贡献最大[55]。陕西年平均增温显著，并伴有突变现象和15a左右的波动准周期，冬季气温明显升高，夏季气温明显下降[56]，西安地区自50年代以来一直在降温[57] 。

在气温的季节性变化方面的研究成果表明，我国气温变化的季节差异显著，非对称性明显[48]，除新疆南部及黄淮流域外，全国大部分地区夏季日平均气温以升高为主；北方大部分地区最低日平均气温变化表现为升温趋势，仅新疆南部及长江流域存在下降趋势[58]。

上述研究成果证实，气温变化在我国呈现出复杂的多时空变化特征。不同区域、时段、季节气温均发生着复杂的非线性变化，极值气温的变化与年气温之间也存在着复杂的影响关系。因此，针对我国气温的变化，做大区域均值的研究，

很难避免由均值误差所导致的区域性差异的丢失。

②降水特征的分析方法和研究成果

我国降水量变化亦为多因素影响下的，区域性复杂非线性变化过程，其动态特征具有鲜明的阶段性和周期性。

左洪超等[59]对我国降水量趋势性和区域性特征的研究表明，全国平均降水量无明显的变化趋势，区域特征明显，降水量增加最快为新疆地区，华中-华北地区降水量存在明显的减少趋势。

王绍武等[60]在降水量的阶段性变化方面进行了研究，得出近百年来我国年、四季降水量序列，分析得出降水量并无明显下降趋势，并未出现显著干旱趋势，而呈现20-30a周期干湿期交替变化，40年代~50年代降水量较为丰沛，此后明显下降，60年代中期达到低点，70年代前期降水量略有恢复，但70年代末到

80年代初又出现一个低点，90年代后，东亚季风减弱黄河中下游流域和华北平原干旱少雨现象，同期长江中下游出现洪涝灾害。

丁一汇[45]、叶瑾琳[61]、江志红[62]、王遵娅[63]、等研究发现上世纪80年代后我国降水量波动减少。而翟盘茂[64~65]对我国西部地区降水量的研究发现其增长趋势明显，尤以西北为最，仅西南一些地区降水量存在弱减少趋势。

高蓓[66]等研究结论表明陕西1961-2000年间总降水量在波动中略有减少，90年代以后冬季降水量增加明显、夏季降水量减少，从空间上看关中西部的夏季降水量减少特征更为显著。

上述研究成果的共同之处在于，我国降水量空间差异性较大，总体无明显减小趋势，季节间降水量不对称变化。因此，有针对性的进行关中地区降水量的分析，其研究成果必然具有更强的区域适用性。

在降水量的统计特征研究方法方面，包云[108]、姜丽光[109]、邱海军[110]将

EOF法、功率谱、经验正交函数分解方法、空间自相关分析、空间差值模拟机交叉验证并结合数字高程模型（DEM）方法等用于各地降水时空统计参数，在研究理论和方法上取得了一定的突破。

③气候变化的影响研究

以降水和气温为主要因素的气候变化，对水资源产生较大影响，在这方面，我国从政府层面上就十分重视其研究过程。1988年，在中国科学院及中国自然科

学基金委的支持下，开展了“中国气候与海面变化及其趋势和影响研究”[67]；“八. 五”期间，国家科委、水利部共同开展了国家科技攻关项目(85-913-03-03专题)“气候变化对水文水资源的影响及适应对策研究”；“九五”期间科技攻关重点项目：

“气候异常对我国水资源及水分循环的影响评估模型研究”（编号: 96-908-03-02）是研究重点，“十五”期间又设立了重点科技攻关项目“气候异常对我国淡水资源的影响阐值及综合评价”（编号:2001- BA61IB-02-04）。上述科技攻关项目的主要研究内容，都集中在气候模型对水文循环陆面分量的影响及气候变化对未来水资源需求量影响的预测方面。足见，气候变化对水文循环及水资源供需等方面，产生影响，在国家层面上得到了足够的重视。国家973重点基础研究发展规划项目，“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”（项目编号：G19990434），同样针对全球性暖化问题引起的我国北方干旱地区未来的气候情势、人类活动和干旱化相互作用关系以及适应对策进行了重点研究[68-70]。

在学术界，广大专家学者也致力于研究气候变化对水资源的影响。王国庆等[71]客观的评述了我国在“八五”、“九五”、“十五”期间取得的关于气候变化对水文水资源影响研究项目的主要内容，综合分析了气候变化对水文水资源影响的评价模型。指出我国在气候预测、情景生成技术、陆-气模型耦合方面还有差距，需进一步加强气候变化对水资源影响的基础理论研究，提高对水资源敏感性、脆弱性研究成果的可靠性。王顺久[72]评述了国内外专家关于全球气候变化对水文水资源影响研究的现状与进展，阐述了气候变化对水文水资源影响的主要研究方法并对该领域未来研究的发展趋势进行了分析。张建云、王国庆[73]介绍并讨论了当前应用的气候变化影响评估模型及其应用情况，分析了在全球气候变化背景下，我国水文气象要素的变化及其趋势，评价了我国水资源系统对气候变化的敏感性及脆弱性，深入探讨影响河川径流变化的主因并计算了和气候变化以及人类活动对河川径流的定量影响，讨论了气候变化影响评价结果的不足之处，开创新的提出了减缓气候变化影响的适应性对策，指出了需要进一步深入研究的科学技术问题。张利平[74]等就气候变化对水文水资源的影响，从研究方法、气候变化情况的生成技术、与水文模型接口技术和水文模拟技术等几个方面进行了阐述，对于理解和解决可能引起的与工业、农业、城市发展等经济领域密切相关的水文水资源系统的规划管理、开发利用、运行管理、环境保护、生态平衡等问题具有

重要意义。

大量的研究成果一方面强调气候变化对水资源及其相关问题产生长足深远的影响，求解水资源问题需同时研究气候变化的规律；另一方面也为气候变化对水资源的影响研究，提供了多种理论依据。

### **1.2.3** 关中地区气候变化及其影响因素的研究

陕西关中地区地处西北地区东部，其降水和气温与我国和西北地区具有一致性，但也存在差异。对于关中及邻近地区，降水和气温主要有以下研究成果。

施雅风等[75]提出我国西北地区气温和降水增加，形成了气候从20世纪的暖

干向暖湿转型的主要驱动力。于淑秋等[58]研究得到西北地区1986年气候发生明显跃变，跃变时间比全国气候跃变晚6~8年，跃变前后降水和气温有较大幅度升高。高蓓等[66]分析得到陕西省上世纪60年代之前为低温阶段，80年代中期开始气温呈快速增温趋势，1985年左右，年、季平均温度发生了突变，突变时间比全国平均水平推迟了5~7年，比西北地区平均水平提前了1年，平均降水量跃变年份在1984年前后，比年平均气温跃变早l年。

殷淑燕等[76]分析了陕西渭北旱塬地区，气温和降水时空变化特点，得出在研究时段内该地区气温和降水的变化表现为多重周期波动，年均温升高、降水减少，气候具有显著地“暖干化”发展趋势。孟丹丹[77]进一步分析得到，渭北旱塬1955-2008年均气温线性升温率为0.25℃/10a，，90年代平均气温线性变化率最大，年均降水量以6.95mm/10a的速率波动减少。

陈太根、[78] 、延军平[79] 、李俊霖[80] 、刘俊民[81] 、胡晓晖[82] 、王海燕

[55]、董婕[83]等，就关中地区降水和气温的年际变化、季节变化、空间变化和气候类型均进行了细致研究，取得了如下研究成果。

①关中地区近半个世纪以来，气温线性升高趋势明显，降水量线性减少趋势显著。关中地区气温变化特征与全国平均气温变化特征有很好的同步性，但是增温幅度大于全国增幅。

②关中地区四季气候变化规律为春、秋、冬季气温增加，春季降水减少，夏季降水量缓慢增加，秋季降水量大幅减少。

③关中地区气候空间变化特点为，中部气温最高，气温增长速度最快，降水量增加；西部降水量最大，东西部降水量减少，西部降水量下降速率最快，关

中西部对关中年降水量的贡献最大，中东部地区大陆性“暖干”气候有不断强化态势。

④关中地区整体气候呈“暖干化”特征，空间上东、西部“暖干化”最为严重，中部地区反而表现为“暖湿化”变化，未来干旱化趋势明显。

⑤关中地区受西南季风的影响较大，西南季风盛、衰交替使得降水变化呈现出少与多的交替。

在关中地区气候变化的影响方面分析方面，庞雷[84]指出在气候变化的事实下，降水量增加，地表水资源相应增加；降水量减少，地表水资源也相应减少，同时气候变化造成的极端天气情况增多使得高温天气延长、旱情严重，极端降水量增加，局部暴雨和洪涝灾害发生的频率也增加。王云璋等[85]研究结果表明降水量变化所引起渭河年径流的减少，同时还伴有渭河汛期早开始、早结束，伏旱不严重、秋雨不出现等新特点。孙艳群[86]采用经验频率曲线方法分析得到，降水量和连续降水天数是影响关中地区径流量的主要因素。杨文峰等[87]研究得出关中地区降水量的区域分布及变化趋势与水资源的分布和变化趋势具有一致性。王慰卿[88] 、井涌[89]指出，关中地区水资源量随降水同步变化。

### **1.2.4** 存在的问题

综上所述，无论是从全球着眼还是从关中地区入手。关于气候变化特别是降水和气温变化规律及其影响的研究，已经受到了前所未有的关注。水文气候领域的专家学者对全球和我国的气候时空变化特点，进行了大量方法和规律方面的的研究工作，所取得的成果对于揭示气候变化成因、了解气候变化规律、进行气候变化预测、研究气候变化产生的经济、社会影响方法都起到了积极作用。但在全球气候变化的背景之下，陕西关中地区，降水和气温的趋势性、阶段性、影响因素等还存在许多不能明确解释的问题。

第一，前述的研究成果，往往从中长期时间尺度入手，研究降水和气温的趋势特性，但降水和气温的非线性变化特征，决定了其必然在不同阶段表现为不同的随机发展过程，有针对性的研究阶段性、区域性特点，讨论阶段特性的发生概率，是对随机因素分析的客观方法。

第二，在全球变暖背景下，在新的气候统计数据的补充下，关中地区气候变化是否出现新的特点和趋势。这一问题的结论，对于区域气候变化影响因素的进

一步研究，认识区域气候变化的动态过程，定义气候未来发展方向具有重要意义。第三，关中地区的气候类型定义中，往往以降水和气温的关系来命名，而降

水和气温这两个气候要素，是否存在耦合关系和某一种持续发展的趋势，以及如何作用等，值得进一步研究讨论。

第四，区域气候变化对水资源和生态环境的巨大影响，要求研究人员有针对性的做出区域性结论，才能为决策者制定行之有效的政治经济政策提供可靠依据。

## **1.3** 研究内容及方法

### **1.3.1** 主要研究内容

本文结合长安大学“111学科创新引智计划”——干旱半干旱地区水文生态及水安全学科创新引智基地这一课题，以关中地区1961-2012年，降水和气温统计数据为基础，完成了以下研究内容。

首先，讨论了区域年降水和气温的统计特征——趋势性、周期性、阶段性、突变点等，研究了关中地区降水和气温对全球气候变化响应。

其次，针对关中地区气候的变化的阶段性和季节性特征，建立了降水和气温的季节、年内序列以及极值序列，深入细致地剖析了降水和气温在不同时间尺度上的演变过程、一致性、及其对区域整体气候变化的影响。

第三，利用数字化地图，构建了关中降水和气温的不同尺度空间分布模型，实现了基于地理信息系统的区域气候空间特征研究，并进一步剖析了降水和气温空间分布特征的形成和变化影响因素。

第四，依据上述计算结果，对关中降水和气温进行分类，为了小区域气候变化的分类研究提供了可供参考的建议。

第五，联合运用统计关联计算和动态相关分析两种主客观相结合的方法，研究了关中地区降水和气温相关性特点，明确了区域降水和气温的相关关系，为定义关中气候类型和未来发展趋势提供了数据支撑。

第六，以动态变化的视角和客观的数据为基础，解析了降水和气温变化过程在关中地区形成的负面影响，从而对关中地区水资源利用和配置、水利设施规划，经济社会可持续发展，“一路一带”政策实施提供有现实意义和可供操作的理论依据。

### **1.3.2** 研究方法

对关中地区各地降水和气温的年、季、月统计数据采用统计学方法：线性趋势分析法、曲线拟合方法、距平分析、滑动平均分析、滑动t检验法等进行统计分析，了解降水和气温的统计规律。

采用数字化地图数字化地图软件，进行降水和气温统计数据的空间分布分析，了解气候变化因素在关中地区的空间变化特征。

采用气候统计方法，分析关中地区各地降水和气温的趋势性特征、周期性特征、突变特征等线性和非线性变化参数。

采用相关分析方法对关中各地降水、气温的年代数据进行聚类分析，求证关中地区气候变化的类型。

采用回归关联分析、灰色关联分析与动态相关性评价等主客观相结合的方法，研究在年、代、际、阶段、空间等尺度上降水和气温的相关系和变化规律。

### **1.3.3** 技术路线

本文研究的技术路线如图1.2所示。

论文选题

选题目的和意义

国际气候变化进展

文国内降雨研究成果 献

综

述国内气温研究成果

关中地区气候变化

确定研究框架

关中降水和气温数据收集

降水量统计参数计算

建立关中地区及各地年、季、月降水序列趋势性、周期性、阶段性、突变点

降水量空间特征和分类

气温统计参数计算

建立关中地区及各地年、季、月气温序列趋势性、周期性、阶段性、突变点

气温空间特征和分类

降水与气温长序列回归相关关系

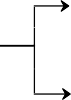
降水与气温相关性研究降水与气温阶段趋势性相关关系

降水与气温年、季尺度的动态相关评价

降水与气温变化驱动因素研究

降水与气温变化的区域负面影响

降水与气温变化的致灾特性研究



成果整理，论文撰写

**图1.2 技术路线示意图**

## **1.4** 预期成果及创新点

本文在关中地区降水和气温数据收集和整理的基础之上，首先利用客观统计学工具，对区域降水和气温的年、季、月的线性和非线性统计特征、阶段性和空间统计特征进行计算和梳理，探讨在全球气候变化的大背景之下，关中地区气候随之变化的响应。借助数字化地图和统计分析结果，对关中小区域气候进行分类研究，进一步细化研究区域的气候变化特征，寻求气候变化在这一地区的主要影响因素，以期为未来气候变化的预测提供强有力的证据。通过多层面、多角度、主客观的对比分析，研究降水量随气温的时空动态变化规律，为气候变化前提下降水与气温相关关系的研究提供地域性研究结论。

本文的研究创新点在于：

1. 针对全球气候变化这一研究热点问题，全面地收集了关中地区降水和气温的观测资料，研究得到关中地区气候要素的阶段性变化特征。

2. 研究结果表明，近50 年来关中地区降水量呈阶段性波动变化。气温在

1961~1984年间小幅波动，1984~2007年间有较大幅度升高，2007年后气温缓慢回落，整体呈升温趋势。区域气候不存在普遍“暖干化”发展趋势。

3. 在前人研究基础之上，进一步补充关中地区降水量和气温最新数据的，获得降水量和气温在近年来分别出现趋势性变化的转折点。在人为因素持续性作用下，气候要素本应持续缓慢变化，但转折点的出现表明，气候变化还受其它重大因素的影响和作用，其特征和内在机理还需进一步研究。

4. 关中地区降水与气温的回归分析结果得到，降水与气温在研究时段内不同尺度上存在相关、不相关、负相关多种关系，表明降水与气温受多种不同因素影响。

# **2** 研究区域概况及研究方法

## **2.1** 研究区域概况

### **2.1.1** 关中地形、地貌

关中地区西起大散关，东至函谷关，是两关之间的盆地，故称关中。现代意义的关中地区在行政区划上包括，西安地区、铜川地区、宝鸡地区、咸阳地区、渭南地区5个行政区，共54个县（市、区）。关中地区行政区划及地形图如图2.1所示。



**图2.1 关中地形及行政区划示意图**

关中地区地理位置，介于106°18'~110°38' (E)、33°35'~35°52'（N）。关中西起宝鸡地区、东到潼关黄河西岸一带、南接秦岭、北以北ftft前断裂带为界；其三面环ft、东西开敞，地貌西窄东宽，状似喇叭型。关中东西较长，约360公里，南北宽窄不一，东部最宽处（潼关一带）约100km，最窄处（眉县一带）仅20km区域总面积约553.84万hm2，占陕西省总面积的19%。



**图2.2** **关中地貌单元示意图**

关中地区地貌为新生代断陷盆地，地貌单元复杂。以渭河冲积、洪积平原，北部黄土台塬，中部河谷阶地、谷地，南部石质ft地和砂质丘陵为主，彼此相连且相对封闭的地貌单元。关中地区地貌单元结构如图2.2所示。

### **2.1.2** 关中水文气象概况

关中地区处于我国气候分水岭——秦岭的北麓，气候特点兼具南北过渡的类型，属暖温带半湿润半干旱季风气候，四季分明。关中地区年均降水量

500~700mm，降水多集中在夏秋两季的7~10月，降水量在年内季节间存在较大差异，春旱秋涝，夏季伏旱、冬春连旱时有发生。关中地区年均温10~13℃，10℃以上积温3900~4700℃。年蒸发量1000~1200mm，东部蒸发量大于西部，年内

6~7月时段为最大蒸发量时期，7~10月蒸发量占年总蒸发量50%以上，全年平均相对湿度61%~71%。



**图2.3** **关中地区水系示意图**

关中地区属渭河水系，渭河自西向东流经关中盆地，长度502.4km，多年平均径流量为27.14亿m3。受多方因素影响，90年代以后径流量有较大幅度减少。渭河北岸集中了几条大的支流，主要有千河、泾河、石川河和洛河；渭河南岸支流数量较多，主要有黑河、清姜河、石头河、涝河和灞河等支流。渭河北岸支流多发于黄土丘陵和高原，具有径流量小、含沙量大的特点；南岸支流多发源于秦岭ft区，源短流急、径流量大，含沙量小，南岸支流来水量约占渭河流域年来水量50%以上。流域内地表水资源主要靠降水补给，因降水量变化受到很大影响。关中地区水系图如图2.3所示。

### **2.1.3** 关中社会经济概况

关中地区土地肥沃、地势平坦、物产富饶，南依秦岭、东傍黄河，自古即为

政治、军事、农业的要塞地区，多年的发展沉淀了悠久的历时和辉煌的文明。近现代文明和经济发展过程中，关中地区亦为我国区域经济格局的重要战略地带。

1999年，关中地区被确定为全国十六个重点建设地区之一；西部大开发“十一五”规划中，明确提出的“关中-天水经济区”建设方案，关中是经济区主体；2013年，习主席提出的“丝绸之路经济带”发展规划中，关中亦处“一路一带”的“新起点”和“桥头堡”地位。

关中地区工业集中、农业发达、人口密集、城镇化率高、科技教育实力雄厚、旅游资源丰富。据2010年统计数据显示，区域人口达2340万，占陕西省人口

60%左右，人口密度426人/km2，人口城镇化率高达0.5。

关中地区号称“八百里秦川”，占陕西省全省土地面积的25%, 集中了陕西省

4/ 5 的工业固定资产和技术力量， 国民生产总值和国民收入分别占全省的2/ 3

以上。

在西部大开发战略的带动下，关中地区除西安外，还兴起了宝鸡、咸阳、渭南等城市和蔡家坡、韩城、华阴、潼关等一批工业城镇，形成基础设施良好、经济实力雄厚的工业带和经济群，在关中工业发展中起着带动南北辐射东西的重要地位。

关中地区农业总产值1230 亿元，占全省农业总产值60%以上，耕地面积

1507.15千公顷，粮、棉、油和经济作物种植面积及产量均为陕西全省之首，无愧为陕西省的粮棉油生产基地。

关中地区独有的地理位置、地形地貌，使之在全球气候环境要素改变的大背景之下，区域降水、气温等气候要素随之变得十分敏感形成了这一地区脆弱的生态环境。正确认识全球气候变化背景下，关中地区气候要素的变化趋势及气候类型的主要特点，对于维护和改善区域人类生存环境、协调区域经济发展，确保西部大开发的步伐中，人与自然的和谐发展具有重要意义。以及重要的政治经济地位

## **2.2** 研究方法

### **2.2.1** 数据来源及加工处理方法

⑴降水量、气温的数据收集与整理

本文中，以关中全区及西安地区、铜川地区、宝鸡地区、咸阳地区和渭南地区的气候统计资料为研究对象，进行降水和气温的不同时间序列和空间分布等统计特征分析。

关中及各地年、月降水量，年、月气温，年气温极值资料来源于年《陕西省统计年鉴》（1980~2013）、《陕西省气候统计年鉴》（1980~2013）；陕西省气象局资料室资料（1961-1979）。

为了保证数据资料的完整性，对于偶尔缺失的数据进行插补。气温数据的缺失，采用标准平均值对数据进行插补[91]；降水量数据的缺失，则采用趋势预测方法对数据进行插补[92]。

⑵数字化地形图

在进行降水量和气温空间分布特征研究中，需借助数字化地图工具，构建分布式气候模型，以直观的了解气候要素统计参数的空间分布特征。数字化地形图的构建主要包括：利用地理信息系统相关软件对关中地图进行扫描数字化；生成矢量化地图；采集其相应的气候属性信息；在地理信息系统平台下进行存储、标注、计算、管理和显示；获得气候要素各参数的空间分布图形。

### **2.2.2** 研究方法

⑴气候要素统计分析方法

气候要素的统计分析在气象资料的分析过程中被广泛应用。采用地学统计学方法，建立不同时间尺度的气候要素序列变量，计算变量的统计参数，从而反映其时间和空间客观特征[93]。气候要素的统计学特征，常用样本均值、样本方差、样本变差系数、偏态系数、变化幅度等反应样本时间特征；以样本空间位置、样本之间距离等参数，研究要素的空间分布格局信息。本文利用非专门的数理统计软件Excel和专门的统计分析商业软件SPSS，完成区域降水量和气温时间、空间序列统计参数的计算。降水和气温序列变量各个统计参数的物理意义及计算方法如下。

①平均值（*x* ）

平均值用于描述气候要素（降水和气温）变量总体大小的水平。降水或气温变量的平均值为：

*X* *x*1 *x*2 *xn* 1 *n x*

 *i*

*n* *i*1

*n*

（2.1）

式中，*xi*为第*i*年气候要素数值；*n*为统计年数，也即样本数量。

②均方差()与变差系数( *Cv* )

均方差()用于表达气候要素（降水或气温）变量与其均值（*x*）之间的变化幅度，即离散程度的大小。变量离散程度小均方差()就小，反之亦然。均方差()用式2.2计算。

**  (2.2)

1

*n* 1



*i* 1

*n*

(*x*  *x*)

2

*i*

变差系数( *Cv*)是用于描述气候要素（降水量或气温）变量相对于均值的分散程度。变差系数( *Cv*)值越大，表示降水或气温随时间变化的波动程度越剧烈，反之则表示降水或气温无明显的波动变化，变差系数( *Cv*)用2.3计算。

( *i* 1)2

*n*

*x*

*i* 1

*x*

*n* 1

③偏态系数( *Cs* )

*Cv* *x* 

（2.3）

偏态系数( *Cs*)是用于衡量服从正态分布的变量序列，是否对称性的指标，偏态系数( *Cs*)的“+”、“-”，说明变量在均值左或右的分布情况。本文中偏态系数

主要用于表达降水或气温变量正态的峰值偏离情况。偏态系数( *Cs*)用式2.4计算。

*Cs* 

*n*

(*n*1)(*n*2)

*n*

(*xi* *x*) 3

*i*1

** 3

（2.4）

*n* n

式中，当(*xi**x*) 3 >0时，*Cs*称为正偏分布；当(*xi**x*) 3 <0时，*Cs*称为负

*i*1 *i*1

*n*

偏分布；当(*xi**x*) 3 =0时，*Cs*称为对称分布。偏态系数计算的误差由变量的

*i*1

样本个数决定，样本个数越大，计算误差越小。

④变化幅度

变化幅度包括相对变化幅度（*Cm*）和绝对变化幅度（*Q*），变化幅度主要用于表征气候变量序列的变化范围，其计算可采用公式2.5计算。

*Cm**x*max *x*

min

（2.5）

*Q**x*max*x*min

式中，*x*max和*x*min分别为气候变量序列中的最大和最小值。

⑵趋势分析方法

降水与气温序列变量是一定时期内，随时间变化的动态观测值，是自然地理、气候、人类活动等多因素综合作用影响下的复杂变量。在降水和气温的缓变过程中，存在着线性和非线性的变化趋势。线性趋势主要表现为降水和气温相对稳定的趋势性变化，这是研究降水和气温长期动态变化特征的重要组成部分，非线性变化趋势主要指降水与气温变量的周期性变化和突变现象等。

因此，任意一个降水气温变量序列*xt*都可以看成是由线性函数、周期函数、循环函数、稳态函数和随机扰动几个分量线性组合而成，如式（2.6）所示。

*Xt* *Ht**Pt* *Ct* *St* *at*

（2.6）

其中，*H t*为趋势函数，表示变量在时间尺度上的上升下降趋势，是一种相对序列长度而言的气候变化倾向；*Pt*为周期函数，表示变量序列变化过程中，以某种随固有时间周期性变化的规律；*Ct*为循环函数，用于描述气候变量在时间尺度

上不严格的、隐含周期性波动；*St*是平稳时间序列分量，用于描述气候变量序列绕均值波动的特性，变量的数学期望和方差不随时间变化，不同时刻之间变量差仅为时刻差的函数，与时间起点无关；*at*是随机扰动项，用于描述气候变量随时间的随机变化因素。

按式（2.6）对降水和气温变量序列进行分解，可将复杂因素影响下的气候

变量分为简单的几个函数的线性组合，从而可逐一攻破，分别研究不同函数的特征以及降水和气温的线性趋势和非线性趋势。同时按上述分析方法，针对短期的气候变化求解其线性趋势性特征和非线性周期性和突变特性等动态参数，也是气候变化所关注的热点。

降水和气温的观测值，随着时间推移的趋势性变化，首先值得关注。趋势性分析方法主要研究气候序列变量随时间的演变过程。降水和气温的趋势性分析方法很多，常见方法主要有线性倾向估计法、累积距平法和滑动t检验法等。本文中，分别利用几种方法对关中地区降水和气温变化趋势从不同角度进行分析。

a. 线性倾向率分析法

对降水和气温序列变量的观测值的进行线性函数拟合，可直观的了解降水或气温的趋势性变化规律。如降水或气温随时间延续而呈现的整体增多或减少、气温变暖或变冷等等。同时，还可了解其长期变化规律并对未来发展进行预估。恰当的线性倾向分析还能进一步对产生这种变化的原因进行分析，从而达到预报预测甚至是预警的目的。当前关于全球气候普遍变暖的争论，就是对气温线性发展趋势的一种预测。线性倾向率计算的方法和步骤如下。

对降水（或气温）时间序列绘制沿时间轴的动态曲线，对动态曲线以合理的直线方程进行拟合：

*F* (*x*)*at* *b*

(2.7)

式中，*f*（*x*）为样本变量；*t*为*f*（*x*）所对应的研究时段，*a*为降水（或气温）倾向率，*a*前的符号为正，反映降水（或气温）呈上升趋势；符号为负，反映降水（或气温）呈下降趋势，倾向率*a*的绝对值越大，降水（或气温）的变化幅度越大；*b*为回归系数，可用最小二乘法计算，计算可采用式2.8。

*N x t* 1 ( *n* n

 *i i*

*N* *xi* )(*ti* )

*b**i*1

*i*1

*N t* 21 *n*

*i*1

（2.8）

*I i*1

(*Ti* )

*N i*1

方程（2.7）是较简单和直观的线性回归模式。为进一步研究降水（或气温）序列变量与线性函数之间的相关程度，可求解气候变量*xi*与时间变量*t*之间的相关关系。两变量之间的相关关系可用相关系数*r*来描述，相关系数*r*指降水（或

气温）变量*xi*与线性拟合函数之间的拟合度的大小，也可表征降水（或气温）变量线性变化趋势显著性与否。相关系数*r*可用式（2.9）计算。

*n*

*n*

*i* 1 *n i* 1

*ti* 2  1 (*ti* )2



*i* 1

*n*

*x*  ( *x*

2

1

*n*

*i*

*n i* 1

 *i*

)

2

*r*(2.9)

相关系数*r*的取值范围为（0~1），当*r*为1时，表示变量与线性函数完全重合，拟合度非常好；*r*的值越小，拟合程度越差。

b. 滑动平均趋势分析法

降水（或气温）的观测值存在大量的随机性部分，影响了对变量趋势性的直观观察结果。为更精确的描述其趋势变化特征，可用滑动平均法，抑制随机性部分产生的影响，对确定性趋势进行平滑的滤波处理。因从计算过程来看，降水（或气温）的滑动平均法趋势性分析，相当于低通道滤波器[94]。

对降水（或气温）变量滑动平均处理的步骤为：将每*m*个相邻数据的小区间作为一个平稳过程，用这*m*个数据的平均值代表该段的任意一个数据，这样就抑制了长度*m*的数据区间随机误差。具体如*m*=5时，5个数据的均值*y*3可代替这

5个数据最中间的一个数据，于是，

*y*3可由式(2.10)计算。

*y* 1 (*x*  *x*

*X* *x* *x* )

（2.10）

3 5 1 2

3 4 5

以此类推，对于样本数量为*N*的变量序列*xi*，滑动平均值可采用式（2.11）的一般表达式来进行计算

*yk* 

1

2*N* 1

*n*

*xk*1

*K* *n*

1, *n* 

2,, *N* *n*

（2.11）

*k**n*

式中，*N*为变量序列数据长度；2*n*1*m*为滑动长度，通常滑动长度*m*取奇数，以便将求得的平均值作为小区间*m*中位数，若*m*取偶数，则滑动平均后的新序列为每两项的平均值，从而才能使滑动平均对准中间排列。

经过滑动平均处理后，降水（或气温）序列中，短于滑动长度的小周期大大消弱，显示出比较明显的长期变化趋势，因降水（或气温）的波动小周期一般为

3~8年，因此滑动平均一般长度*m*取为5。

c. 累积距平趋势分析法

累积距平趋势分析法，通过对降水（或气温）累积距平曲线直观的观察，可判断其阶段性变化趋势[95]。当累积距平曲线斜率上升时，表示距平值增加，变量序列呈上升趋势，反之则为减小趋势。

对于降水（或气温）变量*xi*，某一时刻的累积距平由式（2.12）计算。

*n*

*x*ˆ(*xi**x*)

*i*1

*i*1,2,, *n*

（2.12）

式中，*x*为降水（或气温）变量*xi*的均值。

将研究时段内各个时刻的累积距平值完全求出，以光滑曲线连接，即可获得降水（或气温）变量*xi*的累积距平曲线。用累积距平曲线，不仅能够根据其斜率直观地判断其变量长期显著的变化特征和演变趋势，还可以诊断出发生跃变的大

约时间。累积距平曲线小的波动变化，也反映出变量短期的距平值变化特点。

d. 变化趋势的显著性检验

降水（或气温）变量*xi*的变化属于随机性非平稳变化过程，在采用上述（1）~（3）方法进行趋势分析时，尚应进行趋势显著性的非参数统计检验[96]。

引入新变量*mi*，设降水（或气温）变量*xi*在*i*时刻，*i*1,2,, *n*1 有

1



*mi*

0

当*x j**xi*

否则

*J**i*1,, *n*; (2.13)

统计量*ri*采用式2.14计算。

统计量*Z*采用式2.15计算.

*Ri* 

*n*

*M j j**i*1

*n*1

4*ri*

（2.14）

*Z*  *i* 1 1

*n*(*n*1)

（2.15）

对于递增趋势的变量，*r*序列为*n*1, *n*2,,1，这时*Z*1；对于递减趋势的变量，*Z*1；*Z*值的变化范围在-1至1之间。

给定显著性水平**，计算判据如式（2.16）

*Z* **

1

4*n*10 2

（2.16）

** 9*N*(*n*1) 



若*Z**Z*，则认为变化趋势显著。

⑶突变分析方法

关于气候突变的定义，最早是上世纪80年代末期被提出，降水（或气温）的突变是一个复杂的但又是普遍存在于气候系统中的一个重要现象。通常认为，当降水（或气温）从一种稳定的状态（持续稳定或持续某一趋势）跳跃式的转变到另一种稳定状态的过程即为变量的突变发生，突变发生的时间即为突变点。按统计学上的定义，当变量从一个统计特征转换为另一个统计特征时，急剧变化的点即为突变点[97]。

滑动t检验法，是一种常用检验变量序列突变性的方法。它通过考察变量中，两组随机样本均值的有无显著性差异，从而判别两组子样本之间突变与否[98]。在具体分析中，将降水（或气温）时间序列随机变量*xi*分成两个子样本集*xi*和*x j*，检验两子集均值和方差的差异性，从而确定时间序列突变特性。具体步骤如下：

将一连续的具有n个样本的降水（或气温）变量*x*分成两段子序列*x*1和*x*2，两子序列样本量分别为*n*1和*n*2，*n*1*n*2*n*。两子样本平均值分别为*x*1和*x*2，方

差分别为*s*12，*s*2 2。如果子样本的*x*1、*x*2的均值的差异统计量*t*，超过了一定的显著性水平，则认为均值发生了质变，样本在分界点产生了突变。统计量*t*用式（2.17）计算。

*t**x*1 *x*2

*s* 

1  1

*n*1 *n*2

（2.17）

其中，*s* 2是联合样本方差，由式（2.18）计算。

*s*(2.18)

*n*1*s* 2  *n*2*s* 2

1 2

*n*1  *n*2  2

式（2.18）若服从自由度*v**n*1*n*22的*t*分布，则关于突变点的计算步骤

如下。首先，确定基准点前后*x*1和*x*2子序列长度，一般取相同一长度，即*n*1 = *n*2；随后，以滑动方法连续设置基准点，依次按照式（2.17），计算统计量*ti*；然后，给定显著性水平**（一般取0.05或0.01），查*t*分布表得到临界值*t*；最后，如

果*ti*> *t*，，则认为该点前后的两子序列均值有显著差异，该点即为降水（或气

温）时间序列的突变点。

上述关于突变点的试算过程复杂，对于降水（或气温）变量序列的突变特性，可采用滑动平均曲线的转折点或累计距平曲线的转折点，辅以滑动t检验的方式确定。以曲线的转折点将序列分为若干个子序列，重复滑动t检验的计算过程，

若转折点满足*ti* > *t*，则该点即为降水（或气温）序列时间轴上的突变点。

⑷水文气候要素相关分析方法

关于气候变化主要因素（降水和气温）的相关性分析，也是气象学研究关注的重点，相关性研究理论和方法很多，依据研究成果和结论也分为很多流派，最常采用的还是较为传统的回归分析和相关系数等统计学研究方法。

①回归分析（Multiple Regression Analysis）主要用于定量计算变量之间依某一函数的相关关系。当两个随机变量之间存在相关关系，或自变量取一定数值而因变量的取值与其存在某种确定关系式，可认为两个变量之间具有相关性。

将降水和气温随机变量*f* (*x*, *y*)的样本点(*x*1, *y*1)、(*x*2, *y*2 )……(*xn*, *yn* )，以散点图绘制在平面坐标系下。求散点的回归方程，常用的回归方程有一元线性方程和二次函数方程，两种拟合函数的选取均可依照最小二乘拟合方法获得。

一元线性回归模型，用于分析自变量*xi*（降水）与因变量*yi*（气温）之间线性关系的数学方程。散点拟合线性函数的一般形式为式（2.19）

*R**a**by* **

（2.19）

式中：*a*为常数项，也是直线方程的截距；*b*为回归系数；**为随机误差，并假设*E*0，*D***2 。

回归系数*b*表示，自变量每变化一个单位值时，因变量的增量。当*b*0 时

表示自变量与因变量之间同方向变化，即自变量与因变量之间正相关；当*b*0 时

表示自变量与因变量之间反方向变化，即两者之间负相关；当*b*0时表示自变量与因变量之间不存在线性关系。

为进一步验证自变量与因变量之间的关联直线相关性的程度，还需做如下显著性检验。以*H* 0表示两变量之间没有相互影响，*H*1表示有相互影响，若*H* 0不成立，说明回归显著，否则回归不显著。*R*ˆ表示第一个变量（降水）方差，*T*ˆ表示第二个变量（气温）方差，*Q*表示回归偏差情况，*F*表示检验统计量。则

4

*tRR*(*Ri**R*ˆ)

*i*1

（2.20）

*tTT*

4

(*Ti* *T*ˆ)

*i*1

(2.21)

*tRT*

4

(*Ri**T*ˆ)(*Ti**T*ˆ)

*i*1

(2.22)

检验假设，*H*0: *b*0，*H*1: *b*0，检验统计量为式（2.23）。

*F**U*

*Qx*

(*n*  2)

（2.23）

当*H* 0成立时，*F* ~ *F* (3,3)；否定域，*F**F*0.05 (3,3) 。

降水和气温两变量之间，不但可依据上述线性回归方程分析其相关性，也可分析散点数据序列(*xi*, *yi* ), *i*1,2,, *m*，的二次多项式函数（2.24）拟合情况。

求自变量的二次拟合函数：

*P*(*x*)*a*0*a*1*x**a*2 *x*2

求拟合函数与数据序列的均方差

（2.24）

*m* m

*Q*(*a*

，*a*, *a*

)( *p*(*x* )*y* ) 2(*a*

*A x*

*A x* 2 *y*) 2

（2.25）

0 1 2

*i*1

*I* i 0 1 *i* 2 *i* i *i*1

由多元函数的极值原理，*Q*(*a*0, *a*1, *a*2)的极小值应满足式（2.26）.

*Q*

2(*A* *a x* *a x* 2 *y*) 0

 *a*



0

0 1 *i* 2 *i* i

*i*1

*m*

*Q*2*m* (*a*

*A x* *a x* 2 *y*) *x*  0

*a*

0 1 *i* 2 *i* i i

（2.26）

1 *i*1

*Q*2*m* (*a*

*A x* *a x* 2 *y*) *x* 2  0

*a*

0 1 *i* 2 *i* i i

1 *i*1

整理二次多项式函数拟合的法方程（2.27），解此方程的解，在均方差最小意义下的拟合函数*p*（*x*） 。

*m* *x*

*m*

*X* 2 

*y*

*i*

*m*

*i*1

*I* 

*i*1  *a*0 

*m*

 *i* 

 *i*1 

*M x* *m x* 2 *m x* 3  *a*

 *m x y* 

（2.27）

*I* *i*

 *i* 1  *i i* 

*i*1

*m*

*i*1

*m*

*I*1*a* 

*m*

*i*1

*m*

*X* 2

*X* 3

*X* 4 2 

*X* 2 *y* 

*i*

*i*1

*i*

*i*1

*I* 

*i*1

*I* i

*i*1

方程组（2.26）即为二次多项式拟合的法方程，法方程的系数矩阵为对称阵。上述线性或二次函数拟合，均需用到最小二乘法。最小二乘法（least square

method）是一种数学优化技术。它可以通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配[105]。将最小二乘法用于曲线拟合，可以简便地求得未知的数据，并能够使用这些求得的数据，与实际数据之间误差的平方和为最小。

*m*

*E* 2[ *p*( *X i*)*Yi*] 2

*i*1

（2.28）

事实上，最小二乘法即为寻求给定点(*xi*, *yi* ), *i*1,2,, *m*的距离平方和为最小的曲线*y**p*（*x*）。函数*p*（*x*）称为拟合函数或最小二乘解，求拟合函数*p*（*x*）的方法称为曲线拟合的最小二乘法。

采用回归拟合方式，描述降水与气温两序列相关特性时，变量散点与拟合

函数之间的相关系强弱即为两变量之间的相关密切程度，可用相关系数（*rxy*）这一物理量来描述。相关系数*rxy*的计算采用式2.29。

*rxy*

*n*

(*xi* *x*)(*yi* *y*)

*i* 1

*n* n

(*xi* *x*) 2( *yi* *y*) 2

*i*1 *i*1

*n*

*xi yi**nxy*

( *xi* 2  *n*(*x*)2 )( *yi* 2  *n*( *y*)2 )

*n*

*n*

*i* 1

*i* 1

*I* 1

（2.29）

相关系数的取值，*rxy*

1, *rxy*

越接近于1，相关程度越强，反之相关程

度越弱。一般情况下，对于线性相关的两变量，*rxy*  0 ，表示两变量正相关，*rxy*  0

表示两变量负相关。相关系数的不同取值范围，决定了变量之间的相关密切程度：

0.75 

*rxy*

1，两变量强相关；0.35 

*rxy*

0.75，两变量一般相关；*rxy*

0.35 ,

两变量弱相关。

②除了采用上述统计学方法进行降水与气温变量的统计相关性计算外，降水量柱状图和气温曲线的实时动态比较，也常用于描述降水和气温变量的动态相关关系。当两时间序列的滑动平均曲线之间的距离越来越小或越来越大时，说明两者呈逆向趋势发展；当两者之间保持等距离变化时，两变量具有相同的变化趋势和速率。

# **3.** 关中地区降水量时空变化特征分析

近半个世纪以来，全球气温升高，成为气候变化的主流结论。随气温变化降水量在各地产生了不同程度的变化，降水量是区域气候变化最直接、最敏感的因素之一，降水量的变化直接影响区域水资源，进而对生态环境和工农业生产产生一定的影响。我国地域辽阔，年均降水量的区域性差别较大，近年来因降水量的动态变化，在各地形成了不同程度的干旱和洪涝灾害，引起国内专家学者的广泛关注。同时降水量的丰枯，对区域工农业生产、水利水保、灾害防治及预警均产生不同程度的影响。

陕西关中地区位于我国内陆干旱半干旱地区，是气候变化敏感和生态环境脆弱区域，受地形地貌、地理位置以及纬度等自然因素和社会经济等人为因素的影响，该地区降水量分布不均，存在一定的时空差异。本章采用近52年来关中地区降水量及五个行政区划的降水量统计数据，对关中地区降水量年、季、月、时间空间特征进行系统分析，以期了解降水在关中地区近半个世纪以来的时空演变规律，为关中地区气候变化的未来趋势预测、气候变化下工农业生产、水利水保、灾害预警等方面的工作规划提供有力的理论支撑。

## **3.1** 西安地区降水量动态演变特征

### **3.1.1** 年降水量长期变化趋势及代际差异

西安地区近52a年多年平均降水量为582.13mm，年均降水量变化动态曲线如图3.1所示。采用线性拟合方法对西安地区年降水量曲线线性趋势进行分析，图3.1中粗实线表明年降水量在波动中呈减小趋势，年均降水量以16.85mm/10a的速率减少，线性拟合函数为*Y*1.685*x*626.7 。

采用进行多项式曲线拟合年降水量动态曲线，图3.1中虚线为拟合曲线。曲

线的拐点分别为1970、1980、1997、2007年，斜率的变化表明60年代初到70年代初年均降水量小幅减少；70年代初到80年代初呈弱增加趋势；80年代中期到90年代末降水量减少趋势明显，曲线下倾较陡、负斜率大，较前一个降水量

减少的时段（1960-1970年左右）而言，降水减少时间长，减少幅度大；二十一世纪的最初十年又出现一个新的降水量增加时段，年均降水量增加较多；随后从

2009年开始降水量再次出现减少趋势。多项式拟合曲线结果表明，西安地区年降水量呈减-增-减-增-减的波动变化，周期约为20~25年，近30年年均降水量的减少时长增加，减少幅度变大。



西安年均降雨量 多项式 (西安年均降雨量)

线性 (西安年均降雨量)

y = -1.6852x + 626.79

1100

1000

900

降雨量（mm）

800

700

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

年

**图3.1** **西安地区降水量时间序列变化趋势**

西安地区年降水量距平如图3.2所示。图中降水量距平柱的位置表明，90年代以前，年降水量正负距平交替出现，正距平年份略多于负距平年分，占总年份的53.3%。属于雨量较为充沛的时段。1991-2007年，负距平年份占主导，约占总年份的65%，且负距平年份往往连续出现（1992-1995、2000-2002、2004-2006年），这一时段降水量总体较少，属少雨干旱时段。2007年后年均降水量正负距平交替出现的态势恢复。

西安降雨量距平

400

300

200

年降水量距平（mm）

100

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-100

-200

-300

（年份）

**图3.2** **近52a西安地区降水量距平变化趋势图**

将各年代降水量均值与多年平均值同绘制入降水量动态曲线如图3.3所示，研究西安地区降水量年代际动态变化特点。90年代以前，降水量年代均值在多年平均值附近波动变化；90年代降水量整体减少，降水量均值远小于多年均值；

21世纪的最初十年，降水量呈小幅增加趋势，但年代均值依然达不到多年平均值水平，90年代开始，西安地区进入少雨时期，年降水量在小幅波动中整体减少。

年均降雨量

年代降雨量均值 多年平均值

1100

1000

900

800

700

年降水量（mm）

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

（年份）

**图3.3** **西安地区降水量年代际动态曲线**

研究时段内降水量的波动程度可以用变差系数来描述，计算52年来以及各年代降水量变差系数，并统计降水量的正负距平年份汇总如表3.1。表中数据表明，正距平年份23年、负距平年份29年，在各年代间正负距平年份基本对等出

现，但最近的20年，降水量负距平年份出现的概率明显增加，干旱少雨频现。降水量年际间波动情况表现为，60-70波动平缓，变差系数较小，80年代以后年均降水量波动剧烈，变差系数增大，年降水量距平值在波动中呈现下降的总态势。

**表3.1** **西安地区降水量变化速率及变差系数**

| 时段 | 变差系数 | 正距平  （年） | 负距平  （年） |
| --- | --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 0.2363 | 23 | 29 |
| 60 年代 | 0.2151 | 6 | 4 |
| 70 年代 | 0.1923 | 4 | 6 |
| 80 年代 | 0.2480 | 6 | 4 |
| 90 年代 | 0.2159 | 4 | 6 |
| 00 年代 | 0.2396 | 3 | 7 |

研究时段内西安地区平均降水量为582.13mm，年际标准差为137.6mm。根据多雨、正常和少雨年份的定义，降水量在444.53mm~719.73mm之间为正常年份，降水量少于444.53mm为少雨年份，高于719.73mm为多雨年份。自1961年来，西安地区多雨年份60年代两个（1964、1967），70年代两个（1970、1975），

80年代一个（1983）、本世纪初两个（2003、2011）；少雨年份60年代一个（1969），

70年代一个（1977），80年代一个（1986），90年代三个（1993、1995、1997），

本世纪初三个（2001、2002、2012），80年代以前，降水量较为丰沛，多雨年份大都多于少雨年份，进入90年代，降水量减少，少雨年份主要集中在90~00年代，再次表明90年代后西安地区进入少雨时段。

上述数据说明，西安地区年降水量在近半个世纪总体趋势略有减小，但趋势性不显著，可靠性决定系数*R*2值仅为0.211，主要表现为3~8年的小周期波动和

20~25年的大周期旱涝交替变化。80年代以前西安地区年均降水量变化幅度较小，

无明显增减趋势性；90年代为少雨期，平均降水量比多年平均值少10%以上，各年降水量大多为负距平小于多年平均值；2007年之后的7年，年均降水量经

历了一个短时增加的时段，平均降水量在21世纪的最初十年虽未达到多年平均值，但减少的趋势已大幅回转。

### **3.1.2** 季降水量动态特征

表3.2中列出了近52年西安地区四季降水量平均值占年降水量比重、及降水量变化幅度、线性变化率、线性拟合可靠系数R2及波动变化参数Cv。

**表3.2** **52年来西安地区四季降水量动态变化参数**

| 参数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 季均降水量比例（%） | 24.3 | 38.8 | 33.2 | 3.7 |
| 降水量变化幅度（mm） | -84.92 | 34.68 | -62.5 | 0.63 |
| 变化速率（mm/10a） | -16.33 | 6.67 | -12.02 | -0.12 |
| R2 | 0.211 | 0.021 | 0.043 | 0.000 |
| 变差系数 | 0.3763 | 0.2992 | 0.4458 | 0.6344 |

西安地区四季降水量均值占年降水量百分比数据表明，年降水量主要集中在夏秋两季，这两个季节的降水量占年降水70%以上。图3.4为西安地区四季平均

降水量动态曲线，降水量线性拟合曲线斜率可知，春秋两季降水量减少趋势明显，尤以春季降水量减少更为显著，线性变化率高达16.33mm/10a，夏季降水量表现为弱增加趋势，冬季降水量多年来去明显的趋势性。从各个季节降水量变化趋势来看，春秋季降水量与年降水量变化趋势的一致性较好，近52年春季降水减少的84.92mm，是形成年降水量减少的主要原因。西安地区四季降水量动态变化情况与该地区气候变化的主要因素——季风的活动息息相关。西安地区主要受东南季风与西南季风的影响，春季东南季风北上强度不足，春季降水量减少明显；夏季降水增多，秋季降水减小说明西安地区受东南季风减弱的影响比西南季风减弱幅度小。季降水量线性拟合的可靠系数R2及变差系数Cv的计算结果表明，秋冬季节降水量年际间波动变化剧烈，春夏降水量的数值较为稳定变动幅度较小。

300



250

200

降雨量mm

150

100

50

0

400



350

降雨量（mm）

300

250

200

150

100

50

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

440

340

降雨量（mm）

240

140

40

**（a）春季（b）夏季**



80



70

降雨量（mm）

60

50

40

30

20

10

0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

**（c）秋季（d）冬季**

注：图中，：季平均降水量；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图3.4** **西安地区四季降水动态曲线**

用各季节降水量的滑动平均曲线研究季降水量的阶段性。春、秋季降水量的突变性较弱，降水量以3~8a的小周期波动减少，减少趋势在90年代最为突出，这与年降水量的变化高度一致。夏季降水量的周期性明显，以1970、1984、1997年为转折点，季降水量减-增-减-增变化，80年代中期到90年代末是降水量大幅

减少时段，周期约为25年。冬季降水量的变化也表现为周期性的增减，突变点为1972、1978、1986、1994、2002、2008年，周期约为16年。

图3.5为西安地区四季降水量距平柱状图及年代差异曲线。60~70年代四季平均降水量变化幅度不大，春秋冬季降水量为正距平居多，年代际降水量均值大于多年平均降水量基准值；夏季降水量为负距平比重较大，年代均值小于基准值。

80年代春秋两季降水量持续减少，夏季雨量增加明显，除1986、1989、1990三年为负距平外，其他年份均为正距平，1983、1987年夏季降水量多达360mm以上，冬季降水量小幅减少。90年代四季降水量整体减少，年代均值均小于多年平均值，年份上也以负距平为主，冬夏两季降水量减少幅度较大，春秋持续减少，四季降水量同时减少与该年代干旱少雨的变化趋势一致。21世纪初的十年，除春季降水量依然保持减少趋势外，夏秋冬季降水量均有所增加，冬季降水量增加幅度最大。

150

年份

降水量距平（mm）

100

50

0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-50

-100

150

降水量距平（mm）

100

50

0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-50

-100

-150

年份

300



250

200

降水量（mm）

150

100

50

0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

年份

**（a）春季**



400

300

200

降水量（mm）

100

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

0

年份

**（b）夏季**

250

200

降水量距平（mm）

150

100

50

0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-50

-100

-150年份

500



400

300

200

降水量 mm）

100

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

0

年份

**（c）秋季**



60 80

50 70

60

降水量距平（mm）

40 50

降水量（mm）

1961

1964

1967

1970

1973

1976

1979

1982

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

30 40

20 30

20

10 10

0 0

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-10

-20年份年份

**（d）冬季**

注：图中：降水量距平柱；：季平均降水量；：年代均值；：多年平均

，

**图3.5** **西安地区四季降水量距平及代际变化图**

西安地区四季降水量动态变化表现为，在研究时段内春季降水量持续较大幅度减少，线性变化率与年降水量的线性变化率基本等值，是形成年降水量减少的主要原因。秋季降水量的减少趋势在上世纪也较为明显，但进入二十一世纪，秋季降水量有所回升，因此整体季降水量减少的幅度小于春季。夏冬季两季降水变化的趋势特性小于周期特性，这点从线性拟合的可靠性系数也可得到，这两季的

R2数值趋近于0，夏季降水表现为呈弱增加趋势，周期较长，丰枯周期约为25a,，冬季降水量在研究时段内无明显的增减幅度，表现为较为稳定的周期变化，但周期小于夏季雨量变化周期，约为16年。季节降水量的动态演变表明，影响线地区的东南季风强度减弱，导致春、秋季降水量持续减少，全年降水更多的集中在东南季风控制西安地区的夏季。冬季降水量较为稳定但数值较小，仅占年降水量中比重不足4%。降水量的季节变化使得西安地区“干冬春旱”现象愈演愈烈，同时夏季降水量的增加，又极易导致洪涝灾害。降水量的四季分布动态变化对于农作物的种植和生长以及水利工作产生不同程度的影响。

### **3.1.3** 降水量年内变化特征

上述年、季降水量的分析均呈现，西安地区降水量在80年代以前主要表现为小幅度震荡，80年代后雨量减增明显、波动剧烈；同时，受统计资料的限制，作者仅获得了1984年以后的近30年逐月降水量数据。针对这组数据，绘制了1985~2012年西安地区月均降水量及各年代际月均降水量柱状图，如图3.6所示。

近30年月均降水量在年内呈单峰型分布，峰值月份为7月，平均降水量高达91.19mm，占年均降水量的16%；最少月份是12月仅为6.88mm。各年代月均降水量数据中，80年代与多年平均趋势相同；90年代降水12月到次年2月降

多年平均 80年代

90年代 00年代

100

80

60

月均降水量（mm）

40

20

0

一月二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月十二月

月份

**图3.6** **西安地区月平均降水量的年内分布图**

雨量与多年平均值相比较小，7月降水量远大于多年平均值，干旱少雨的90年代降水量夏季集中、干冬、春旱、夏涝现象尤为突出；21世纪初，12月到次年

2月降水量大于多年平均值，干冬略有缓解，但3~5月降水量与多年平均值相比有明显较少，而6—10月降水量占全年降水量84.3%，降水的相对集中出现和春旱依然继续。

1 2 3

5

7 8 9 10 11 12

4

6

20

线性变化率（mm/10a）

10

0

-10

月份

**图3.7** **西安地区1984~2012年月均降水量线性变化率**

图3.7为1984~2012年西安地区月均降水量线性变化率，由图可见，夏末秋初的7~11月降水量增多趋势显著，特别是8、9月线性变化率大于年降水量线性变化率；12~1月降水量有增有减，但幅度较小；3~6月的春季和夏初降水量减少趋势显著，是形成年降水量减少的主要原因。降水量的逐月变化趋势再次表明，影响线地区降水量变化的主要是东南季风，随气温升高，携带大量水汽的东南季风强度减弱，在春季和夏初很难北上到达西安地区因此，这一时段降水量逐年减

少，而东南季风控制的8~9月，西安地区降水量集中增多，并往往以暴雨形式出现，这点值得气象灾害部分的关注。

## **3.2** 铜川地区降水量动态变化特征

### **3.2.1** 年降水量长期变化趋势及代际差异

铜川地区52a年平均降水量为592.49mm，年降水量动态曲线如图3.8所示。年降水量线性拟合曲线为图中粗实线，线性拟合函数：*Y*0.648*x*609.6，年降水量线性减少，线性减少率为6.48mm/10a。

图中对年降水量动态曲线分别进行了多项式拟合和滑动平均，由两条辅助曲线可知，铜川地区降水量60~70年代初呈现弱减少趋势，80年代前期降水量增加，1983年为最大降水量889.1mm，80年代中后期到90年代末降水量减小幅度较大，1997年到2007年小幅增长，但趋势不明显。总体来看铜川地区近52年来年均降水量呈阶段性波动，总量弱减少但趋势性不显著。



铜川年均降雨量

线性 (铜川年均降雨量)

y = -0.6471x + 609.64

R² = 0.0067

多项式 (铜川年均降雨量)

5 per. Mov. Avg. (铜川年均降雨量)

900

800

700

600

降雨量（mm）

500

400

300

200

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

100

年

**图3.8** **铜川地区年均降水量动态曲线**

图3.9 为铜川地区年降水量距平柱。研究时段内，正距平年份23年、负距

平年份29年，各年代年降水量波动变化系数及正负距平年份统计值如表3.3 。

60年代降水量主要呈现正距平，70年代以负距平为主，80年代前期降水量偏多，但自1985年后，逐年降水量多表现为负距平，1985~2007年的23年中，仅 8

个年份为正距平，这一时段为铜川地区的枯雨量时段，直至2007年后，年降水量的正负距平才重新开始交替出现。

**表3.3** **铜川地区降水量代际动态变化参数**

| 时段 | 变差系数 | 正距平（年） | 负距平（年） |
| --- | --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 0.1999 | 23 | 29 |
| 60 年代 | 0.1104 | 6 | 4 |
| 70 年代 | 0.2003 | 3 | 7 |
| 80 年代 | 0.2129 | 6 | 4 |
| 90 年代 | 0.2120 | 4 | 6 |
| 00 年代 | 0.2077 | 3 | 7 |

30

铜川降雨量距平

30

30

30

-70 1961

1966

1971 1976 1981 1986 1991 1996 2001 2006 2011

70

3

2

年降水量距平（mm）

1

-1

-270

（年份）

**图3.9** **铜川地区降水量距平变化柱状图**

将各年代降水量均值与多年平均值（基准值）同绘制在年降水量动态曲线中，如图3.10所示。各年代降水量均值围绕基准值从-37.74~44.64mm之间变化，变化幅度不大，且正负交替出现。

年均降雨量

年代际降雨量均值

多年平均降雨量

900

800

700

年降水量（mm）

600

500

400

300

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

200

（年份）

**图3.10** **铜川年代际降水量均值变化曲线**

其中80年代整体雨量较为充沛，90年代降水量较少，21世纪的最初十年，平均降水量虽较前一个时段有所增加，但增加幅度不足，从90年代开始降水量年代均值为达到平均值水平。降水量的动态变化基本表现为20a左右的周期，但

80年代后降水量减少的趋势性大于周期性变化。降水量的波动剧烈程度在研究时段的前期较为平缓，80年代后波动剧烈，变差系数较前一时段有所增大。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **年代** | **多雨年份** | **少雨年份** |
| 60s | 2（1961、1964） | 0 |
| 70s | 1（1975） | 2（1977、1979） |
| 80s | 3（1983、1984、1988） | 1（1986） |
| 90s | 1（1996） | 2（1995、1997） |
| 近 10 年 | 1（2003） | 0 |

52年来，铜川地区平均降水量为592.49mm，年际标准差为118.45mm，降水量在

474.04mm~710.94mm之间为正常年份，降水量少于

474.04mm为少雨年份，高于

**表3.4** **铜川地区近52a多雨、少雨年份统计表**

710.94mm为多雨年份。表3.4为多雨、少雨年份的年代间分布。多雨年份主要集中在60、80年代，特别是80年代，多雨年份连续两年出现；少雨年份主要集中在70、90年代。

上述分析表明，铜川地区年降水量在研究时段内略呈减少趋势，但线性趋势并未达到显著性水平。年降水量的动态变化和年代间差异主要表现为较明显的约

20a周期交替变化。80年代是铜川地区典型的丰雨时段，随后的1985~2007年降水量较少且减少趋势明显，是这一地区的少雨时段。与关中全区和陕西省降水量的变化特征相比，降水量减少转折点出现较早，但雨量减少幅度较不大，总体趋势基本一致。

### **3.2.2** 季降水量动态特征

1984~2012年，铜川地区各季节降水量占年降水量百分比及动态变化参数列入表3.5。夏季降水量占年降水量50%以上，降水量集中的情况更加显著，冬季降水量不足年降水量5%。图3.11为四季平均降水量动态曲线，图中黑色粗实线为线性拟合曲线，由曲线斜率可知，夏秋两季降水量增加，春季降水量减少，冬季降水量无明显趋势。铜川地区年降水量减少主要有春季降水量减少所致，这与关中地区季节降水量变化的大趋势基本一致。图中虚线为季降水量滑动平均曲线，这一曲线的斜率的变化基本能够表明，季降水量年际间波动变化情况。可以看到，

2000年以前，春、夏、秋三季降水量，主要为小周期波动变化无明显的增减趋势；2000年以后，春季降水量以较快的速率下降，夏季降水量持续增加，秋季降水2000~2004年间有明显的增幅，2004~2010年间小幅减少。冬季降水量趋势特性不显著，在研究时段内基本完成了一个减-增的变化周期，周期约为25年，变化周期与年降水量变化周期基本一致。

220



180

季降雨量（mm)

140

100

60

20

450

400

季降雨量（mm)

350

300

250

200

150

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（a）春季（b）夏季**

340 60



季降雨量(mm)

季降雨量(mm)

290 50

240 40

190 30

140 20

90 10

40 0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

**（c）秋季（d）冬季**

注：图中，：季平均降水量；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图3.11 铜川地区四季降水动态曲线**

季降水量动态变化参数表明，近30年来季节降水量的变动幅度和剧烈程度

均大于年降水量的长期数据，再次表明降水量在近30年的复杂变化。特别是春季降水大幅度减少，冬季降水虽变化趋势性不显著但占降水量的比例非常小，这与关中整体的干冬和春旱显著具有高度的一致性。夏秋降水量虽均有较大幅度增加，但在不同月、不同年份中波动也较为剧烈，需要进一步研究其变化特征。

**表3.4** **52年来铜川地区四季降水量动态变化参数**

| 参数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 季均降水量比例（%） | 18.26 | 50.43 | 27.18 | 4.13 |
| 降水量变化幅度（mm） | -49.76 | 64.71 | 48.92 | 0.03 |
| 变化速率（mm/10a） | -17.77 | 23.11 | 17.47 | 0.01 |
| R2 | 0.094 | 0.056 | 0.042 | 0.000 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 变差系数 | 0.4482 | 0.2718 | 0.4419 | 0.6241 |

铜川地区四季降水量距平与年代差异如图3.12所示。春季降水自1999年后

以负距平居多，夏季降水正负距平交替出现，进入21世纪后，正距平数值明显

增大；秋季降水量2000 年以后有多年连续负距平（2006-2009）；冬季降水量正负距平交替出现。

120

季降水量距平（mm）

70

20

-30

230

180

季降水量（mm）

130

80

30

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-80

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

160

季降水量距平（mm）

60

-40

（年份）

**（a）春季**

450

季降水量（mm）

400

350

300

250

200

150

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

-140

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

230

季降水量距平（mm）

180

130

80

30

-20

-70

-120

（年份）

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（b）夏季**

400

350

季降水量（mm）

300

250

200

150

100

50

**（c）秋季**

（年份）

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

35

季降水量距平（mm）

25

15

5

-5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-15

-25

（年份）**d）**

**（**

60

50

40

30

20

10

0

（年份）

季降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**冬季**

注：图中：降水量距平柱；：季平均降水量；：年代均值；：多年平均值**图3.12铜川地区四季降水距平及年代际变化图**

，

年代均值差异显示春季降水量在90年代到本世纪初有较大幅度减少，夏秋两季则在同时期有一定的增加与之形成明显对比，特别是夏季，在本世纪初的十年，夏季降水量在各年均值均较大，可以认为全年降水量无明显的趋势性是因为春季的降水减少幅度恰好为夏秋增加之雨量所弥补，与关中整体的冬季降水量变化趋势一致，冬季降水量年代间丰枯交替出现，在小周期3~5a和大周期20~25a波动变化。铜川地区冬春连旱和夏涝的情况值得水文和农业专家学者关注。

### **3.2.3** 降水量年内变化特征分析

按年代统计1984~2012年各月平均降水量如图3.13所示。各月降水量年内呈单峰型分布，除90年代外，峰值各年代均出现在8月，90年达峰值出现在7月，12月降水量最小。全年降水量在7~9三个月高度集中，12月到次年2月降水量比例不断减少，进入21世纪后这种现象更为显著。

120

100

月均降水量（mm）

80

60

40

20

0

120

100

月均降水量（mm）

80

60

40

20

0

一月

二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月十二月

一月

二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月十二月

月份月份

（a）1984~2012年(b) 80s

120

100

月均降水量（mm）

80

60

40

20

0

140

120

月均降水量（mm）

100

80

60

40

20

0

一月

二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月十二月

月份月份

一月

二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月

十二月

（C）90s (d) 2000~2012 年

**图3.13** **月均降水量年内分布柱状图**

比较不同年代降水量居多的7月和降水量最少的1月的月均降水量占年降水量百分比，如表3.5.7月降水量所占比重逐渐增加，1月降水量所占比重基本不

变，但数量很小。

**表 3.5** 1**月、7月平均降水量占年降水量均值比重（%）**

| 月份 | 多年平均 | 80 年代 | 90 年代 | 00 年代 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 月 | 1.35 | 1.57 | 1.08 | 1.62 |
| 7 月 | 18.91 | 16.77 | 19.89 | 20.07 |

1984~2012年各月降水量线性变化率如图3.14所示。7~9月降水量为线性增加趋势，3~6月、10~11月降水量为线性减少趋势，12月到次年2月降水量无明显变化。在全年大部分月份降水量减少的同时，夏末秋初的三个月降水量大幅增加，数据说明，降水在夏季的集中出现态势，在铜川地区尤明显。降水量集中时段气温较高，雨热同期的现象越来越明显，加之“冬春连旱”，使得农作物生长所必须的气候环境进一步破坏，同时“秋汛”时间，雨量集中并往往以暴雨出现，使得洪水和城市内涝灾害的风险也加大。

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月11月12月

25

线性变化率（mm/10a）

15

5

-5

-15

月份

**图3.14** **铜川地区1984~2012年月均降水量线性变化率**

## **3.3** 宝鸡地区降水量动态变化特征

### **3.3.1** 年降水量长期变化趋势及代际差异

宝鸡地区多年平均降水量为669.55mm，年均降水量动态曲线如图3.15所示。对年均降水量动态曲线进行线性拟合，拟合曲线斜率为负，降水量有明显减小趋势，线性拟合函数为*Y*1.453*x*708，降水量线性变化率为14.53mm/10a。



宝鸡年均降雨量

多项式 (宝鸡年均降雨量)

线性 (宝鸡年均降雨量)

5 per. Mov. Avg. (宝鸡年均降雨量)

1100

1000

900

800

年降雨量(mm)

700

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

年

**图3.15** **宝鸡地区年均降水量动态曲线**

宝鸡地区年降水量的阶段特性，可由滑动平均曲线或多项式拟合曲线获得。两条曲线地变化阶段性和趋势性类似，滑动平均曲线消除了时间序列的波动因素，能够更好的描述降水量时间序列阶段性变化趋势。滑动平均曲线的转折点分别为

1973年、1985年、1997年，年均降水量以转折点为界限“减-增-减-增”阶段性波动变化，波动周期约为25~30a左右。值得注意的是，1985年以前降水量的波动平缓增减趋势性较小；1985年以后降水量减少的历时长幅度大，而降水量增加的时间较短，幅度明显较小，降水量的年际间变化也变得剧烈。

图 3.16 为宝鸡地区近 52 年来年降水量距平柱状图。图 3.17 为宝鸡地区年降水量代际动态曲线。将两图比较分析可知，60 年代为宝鸡地区丰雨时段，降水量年代均值为 713.34mm，大于多年平均值 669.55mm（基准值），同时仅有三个年份为负距平；70 年代降水量年代均值有所减少但接近基准，降水量年际波动幅度不大，正负距平年份相同；80 年代平均降水量为研究时段降水量最高年代， 但 80 年代后期降水量负距平年份增多；90 年代降水量年代均值大幅跳水，年代降水量均值远小于基准值，负距平绝对值较大，多个年份降水量负距平连续出现， 为干旱少雨时段；21 世纪最初十年降水量依然以负距平年份为主，2004~2008 年连续负距平，年代平均降水量也依然小于多年平均值，2009 年后降水量缓慢增加，，从 2009~2012 年年均降水量均为正距平，降水量开始缓慢回增。

400

300

200

年降水量距平（mm）

100

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-100

-200

-300

（年份）

**图3.16** **宝鸡地区年降水量距平柱状图**

年均降雨量

年代降雨量均值 多年平均降雨量（基准值）

1050

950

850

750

650

年降水量（mm）

550

450

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

350

（年份）

**图3.17** **宝鸡地区年代降水量均值变化曲线**

按年代统计年降水量动态变化参数如表3.6所示。表中列出了各年代正负距

平的年分数，由此可见60年代、90年代和21世纪最初十年为降水量较少负距

平为主的年代。另在降水量均值较少的90年代和21世纪最初十年降水量年际变化较为剧烈。

**表3.6** **宝鸡地区降水量年代动态变化参数（单位：年）**

| 时段 | 变差系数 | 正距平 | 负距平 | 多雨年份 | 少雨年份 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 0.2081 | 24 | 28 | 6 | 9 |
| 60 年代 | 0.1468 | 7 | 3 | 1(1964) | 1(1969) |
| 70 年代 | 0.1694 | 5 | 5 | 1(1975) | 2(1977、1979) |
| 80 年代 | 0.1815 | 5 | 5 | 2(1981、1983) | 0 |
| 90 年代 | 0.2018 | 2 | 8 | 0 | 3(1994、1995、1997) |
| 00 年代 | 0.2081 | 3 | 7 | 2(2003、2011) | 3(2001、2002、2004) |

52年来，宝鸡地区平均降水量为669.55mm，年际标准差为139.22mm，降水量在530.23mm~808.86mm之间为正常年份，降水量少于530.23mm为少雨年份，高于808.86mm为多雨年份。各年代多雨、少雨年份列入表3.6，多雨年份主要集中在60年代和80年代，多雨年份和少雨年份交替出现；少雨年份主要集中在90~00年代，并常伴有少雨年份连续出现的情况，近20年的干旱少雨情况再次得到证实。

**3.3.2****季降水量动态特征**

宝鸡地区各季节降水量动态数据如表3.7所示。各季节降水量均值占年降水量百分比数据中，夏季降水量比重最高、秋季次之，冬季降水量依然微乎其微。同时，夏秋季节降水量线性变化呈增长趋势，秋季降水在近28年来增幅高达103.43mm，近年来年降水量集中在夏秋集中的情况更为突出。各季降水量时间序列变差系数计算结果表明，夏季降水量波动幅度较小，变差系数最小，冬季降水量年际间振动变化最为剧烈变差系数最大。

**表3.7** **52年来宝鸡地区四季降水量动态变化参数**

| 参数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 季均降水量比例（%） | 19.74 | 47.48 | 29.23 | 3.54 |
| 降水量变化幅度（mm） | -44.24 | 40.4 | 103.43 | -0.11 |
| 变化速率（mm/10a） | -15.8 | 14.43 | 36.94 | -0.04 |
| R2 | 0.076 | 0.017 | 0.152 | 0.000 |
| 变差系数 | 0.3661 | 0.2898 | 0.4414 | 0.5402 |

图3.18为1984~2012年宝鸡地区各季节平均降水量动态曲线。图3.19为四季降水量距平柱状图和代际变化曲线。春季降水量以15.8 mm/10a的速率明显减少，线性变化率大于年降水量线性变化率；与之相对夏秋两季降水量大幅增长，秋季降水量增速显著；冬季降水量趋势性不明显，主要表现为3~5a小周期波动和15~18年的周期交替。各季节降水量滑动平均曲线对于降水量年际间的波动及线性趋势的阶段性有较好的体系，春季降水量动态特征表现为线性减少个周期性变化的耦合，1985-1997年春季降水量减少显著，滑动平均曲线斜率较大，平均降水量由正距平逐渐转而成为负距平，但80年代降水量均值大于基准值，这一阶段性特征与年降水量的阶段性变化一致，随后1998年、1999年春季降水量较

大，1998年取得极大值244.2mm，2000年以后春季降水量再次呈现减少趋势，滑动平均曲线斜率较前一阶段数值略小，下降趋势变缓，2008年以后春季降水量略有增加。夏季降水量在研究时段内未表现出完整的周期性，主要为降水量减少阶段（1997年以前）和降水量增加阶段（1997年以后）。夏季降水量年代均值，

80年代为丰雨阶段均值大于基准值，90年代为少雨阶段均值小于基准值，2000年以后夏季降水量有所增加，但这一时段均值依然小于基准值。秋季平均降水量动态特性以线性增加为主，线性变化率高达36.94 mm/10a，从秋季降水量距平柱图也可得知，1998年以前秋季降水量距平正负年份交替出现，1998年以后以正距平为主，多个正距平年份连续出现，降水量距平的绝对值较大。降水量最小的

1989年秋季降水量为129.5mm，最大值的2011年降水量高达499.6mm，最大值

是最小值的3.85倍，足已见秋季降水量的增加幅度巨大。冬季降水量多年来基本持平。

240

季降雨量(mm)

190

140

90

40

460

410

季降雨量(mm)

360

310

260

210

160

110

60

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（a）春季（b）夏季**

480 45



季降雨量(mm)

季降雨量(mm)

380 35

280 25

180 15

80 5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

**（c）秋季（d）冬季**

注：图中，：季平均降水量；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图3.18** **宝鸡地区四季降水动态曲线**

120

季降水量距平（mm）

70

250

200

季降水量（mm）

150

20 100

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

50

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-30

-80

170

70

-30

（年份）

**（a）春季**

550

（年份）

450

季降水量（mm）

350

250

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

150

（年份）

-130 50

季降水量距平（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-230

**（b）夏季**

（年份）

300

季降水量距平（mm）

200

100

0

580

480

380

季降水量（mm）

280

180

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

80

-100

（年份）

（年份）

30

20

季降水量距平（mm）

10

0

-10

**（c）秋季**

55

45

35

季降水量（mm）

25

15

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

5

-20

（年份）

（年份）

**（d）冬季**

注：图中：降水量距平柱；：季平均降水量；：年代均值；：多年平均值

，

**图3.19** **宝鸡地区四季降水距平及代际变化图**

**3.3.3****降水量年内变化特征分析**

图3.20为1984~2012年来，宝鸡地区月均降水量占年降水量百分比，以及各年代月均降水量占年降水量百分比柱状图。

多年平均

80年代

90年代

00年代

25.00

20.00

15.00

降雨量(mm)

10.00

5.00

0.00

1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月11月12月月份

**图3.20** **月平均降水量的年内分布图**

由图3.20中降水量柱高可知，宝鸡地区月均降水量年内呈单峰正态分布，

峰度偏右，降水量最多和最少的月份分别是9月和12月。月降水量峰值，80年代年代为6、7、8三个月，90年代和21世纪后，峰值月为8月，降水量年内峰值向后推迟。80、90年代3-6月降水量所占比例较大，8~9月降水量少于多年平均值，其他月份降水量与多年平均值基本相当，21世纪最初十年，4~6月降水量远小于多年平均值，而8~9月降水量远远大于多年平均值以及前两个年代均值。从峰值的转移和月降水量百分比的年内分布变化可知，宝鸡地区春季冬季干燥少雨、春季降水量较少，并且随时间的推移，近些年年内降水峰值后移，春旱情况愈发严重，降水量集中程度也更为加强，21世纪的第一个年代，7~9三个月降水量占全年降水量的57.55%。

宝鸡地区各月降水量线性变化率如图3.21所示。7~9月降水量线性增长率数值较大，4、6月降水量线性减少率数值较大，各月降水量的变化趋势与其年内所占百分比关系具有较好的一致性，再次印证，春季降水量不断减少这一事实。

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

35

25

线性变化率(mm/10a)

15

5

-5

-15

-25

月

**图3.21** **宝鸡地区1984~2012年月均降水量线性变化率**

宝鸡地区降水量动态特征表现为，年降水量以较大速率减少，趋势较为显著。特别是80年代中期到90年代末期，为干旱少雨时段，降水量数值较少且减少速率较大。从代际变化上看，80年代雨量较为丰沛、90年代干旱少雨时段、本世纪初降水量略有恢复。春季平均降水量较少，减少趋势明显，夏秋季节降水量增加，90年代末期变化趋势更为剧烈，冬季降水量主要以周期特性变化。年内逐月平均降水量的分布基本成正态曲线，但波峰偏右，降水量最大月份为9月，最近十年年内降水量分布曲线更为高耸，降水量更多的集中在夏末秋初的7~9月，这三个月降水线性增涨趋势明显。冬季干旱少雨未曾改变的同时，春季旱情也愈演愈烈，冬春连续少雨的状况，非常不利用农作物的播种和生长。而7~9月的大量降水又多以短时暴雨的情况出现，雨量集中强度大，使得这一时段洪涝灾害发生的风险程度增加。

## **3.4** 咸阳地区降水量动态变化特征

### **3.4.1** 年降水量长期变化趋势及代际差异

咸阳地区1961~2012年平均降水量为542.6mm，年降水量动态曲线如图3.22所示。图3.22中黑实线为年降水量线性拟合曲线，拟合函数*Y*1.118*x*572.2，由拟合曲线斜率可知，年降水量以11.18mm/10a速率线性减好。年降水量多项式拟合曲线（点划线）和滑动平均曲线（虚线）显示，降水量变化趋势呈现阶段性，曲线斜率变化的转折点为1973、1976、1980、1984、2001年，在转折点前后年均降水量呈现“减-增-减-增-减-增”的波动变化。年均降水量以16、9、27a的周期波动变化，变化周期有增长趋势。一个周期内降水量减少的时段较长、增加时段

较短，特别是1984-2012这一时段，降水量减少历时18年，年降水量减少了一

半以上，但自2001年开始，降水量在短时内大幅增加，到2007年近7年时间，年均降水量又增加了近一倍。因此，从年均降水量动态曲线的滑动平均曲线来看，降水量长时间序列的增减趋势不显著，波动变化速率和时间等参数也存在很大的随机因素。

咸阳年降雨量

线性 (咸阳年降雨量)

多项式 (咸阳年降雨量)

5 per. Mov. Avg. (咸阳年降雨量)

1000

900

800

年降雨量(mm)

700

600

500

400

300

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

200

年份

**图3.22** **咸阳地区降水量时间序列变化趋势**

1961~2012年咸阳地区年降水量距平及代际均值变化曲线如图3.23、3.24所示。按年代统计年降水量动态变化参数如表3.8所示。60年代降水量较为充沛，正距平年份远大于负距平年份，年代雨量均值也大于多年平均降水量基准值，降水量变化幅度小动态变差系数最小。70年代降水量呈现减少趋势，年代降水量均值小于多年平均值，时间序列变差系数有所增大，降水量年际间波动变化较大；

80年代是咸阳地区前期降水量增加，后期大幅减少，降水量正负距平年份基本相当，年代降水量均值也大于基准值；

90年代是咸阳地区降水量最少的一个年代，这与关中整体降水量的年代变化一致，除1996年降水量均值达到正距

**表3.8** **咸阳地区年均降水量动态变化参数**

平外，其余年份均为负距平，年代降水量均值也较基准值少近20%；21世纪的最初十年，降水量维持振荡小幅增加趋势，对于9 0年代的少雨状况是一种缓解。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **时段** | **变差系数** | **正距平** | **负距平** |
| 1961-2012 | 0.277 | 19 | 33 |
| 60 年代 | 0.1678 | 7 | 3 |
| 70 年代 | 0.3104 | 4 | 6 |
| 80 年代 | 0.3025 | 4 | 6 |
| 90 年代 | 0.2019 | 1 | 9 |
| 00 年代 | 0.2564 | 2 | 8 |

500

400

300

年降水量距平（mm）

200

100

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-100

-200

-300

-400

（年份）

**图3.23** **1961~2012年咸阳地区降水量距平变化趋势图**



1000

900

年降雨量

年代降雨量均值

多年平均降雨量（基准值）

800

700

600

500

400

300

200

（年份）

年降水量（mm）

**图3.24** **咸阳地区年代降水量均值变化曲线**

咸阳地区降水量在392.31mm~692.89mm 之间为正常年份，降水量少于

392.31mm为少雨年份，高于692.89mm为多雨年份。1961~2012年咸阳地区多雨、少雨年份按年代统计如下表3.9中。雨量极端变化的年份与降水量动态曲线的转折点一致。

**表3.9** **咸阳地区多雨及少雨年份统计表（单位：年）**

| 时段 | 多雨年份 | 少雨年份 |
| --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 9 | 5 |
| 60 年代 | 1(1964) | 0 |
| 70 年代 | 1(1975) | 2(1977、1979) |
| 80 年代 | 3(1981、1983、1984) | 1(1986) |
| 90 年代 | 0 | 2(1995、1997) |
| 00 年代 | 3(2003、2007、2011) | 0 |

咸阳地区年降水量动态变化分析结论表明，年均雨量在研究时段内经历两个周期，70年代初、90年代中期降水量达到两个低点，80年代中期和2008年左右为降水量的两个高点，总的来说降水量是以10~15年为周期，振荡变化。

### **3.4.2** 季降水量动态特征

咸阳地区各季节降水量动态变化参数如表3.10所示。与关中地区其他地区类同，咸阳地区年降水也主要集中在夏秋季节，

**表3.10** **咸阳地区四季降水量动态变化参数**

冬季降水量所占比例不足4%，冬季平均降水量很少。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **参数** | **春** | **夏** | **秋** | **冬** |
| 季均降水量比例（%） | 20.79 | 44.59 | 30.63 | 3.98 |
| 变化速率（mm/10a） | -14.42 | 18.21 | 18.85 | 1.53 |
| R2 | 0.1 | 0.021 | 0.042 | 0.008 |
| 变差系数 | 0.3458 | 0.4422 | 0.4729 | 0.6435 |

180

160

季降雨量(mm)

140

120

100

80

60

40

650

550

季降雨量(mm)

450

350

250

150

50

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年份年份

450

400

季降雨量(mm)

350

300

250

200

150

100

50

**（a）春季（b）夏季**

50

40

季降雨量(mm)

30

20

10

0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年份年份

**（c）秋季（d）冬季**

注：图中，：季平均降水量；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图3.25** **咸阳地区四季降水动态曲线**

1984~2012年咸阳地区四季降水量动态曲线如图3.25所示。线性拟合曲线表明，除春季外，其它三季降水量均线性增长，夏秋两季降水量增长速率最快，冬季降水量增长趋势较弱，春季降水量减少趋势显著，速率较快高达-14.42mm/10a。研究时段内，咸阳地区四季降水量周期性不足，春季降水量以下降趋势为主，其

它三个季节降水量滑动平均曲线呈马鞍形，90年代初到2007年左右，夏、秋、冬三个季节的降水量均为低值，但低值段的延续长度，距平情况有所差别。降水量年代际间，冬季波动变化最大，春季波动变化最小。

190

80

季降水量距平（mm）

季降水量（mm）

140

30

90

-20 40

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-70

400

季降水量距平（mm）

300

200

100

0

-100

-200

（年份）

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（a）春季**

650

550

季降水量（mm）

450

350

250

150

50

**（b）夏季**

（年份）

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

250

200

季降水量距平（mm）

150

100

50

0

-50

-100

（年份）

450

350

季降水量（mm）

250

150

50

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（c）秋季**

30 50

40

季降水量距平（mm）

季降水量（mm）

20

30

10 20

0 10

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-10

-20

（年份）

（年份）

**（d）冬季**

注：图中：降水量距平柱；：季平均降水量；：年代均值；：多年平均值**图3.26咸阳地区四季降水距平及年代际变化图**

，

咸阳地区各季节平均降水量距平图及年代际变化曲线（图3.26）中不难看到，春季降水量在近十年80%的年份为负距平，这一时段的平均降水量比多年平均降水量的基准值少20%以上。夏秋季节，平均降水量的波动平缓，大部分时期降水量正负距平交替出现；90年代，负距平年份较多，近十年的个别年份正距平绝对值较大的年份，平均降水量在个年代间围绕均值增减交替变化；冬季平均降水量有较为明显的丰枯年代特性，90年代冬季降水量少，降水量基本呈现负距平，年代均值也远小于多年平均值，21世纪的最初十年冬季降水量有所增多，所以冬季降水量在研究时段内的增减趋势不显著，但波动剧烈。

### **3.4.3** 降水量年内变化特征分析

1985-2012年各月平均降水量及按年代统计月均降水量柱状图如图3.27所示。

年内各月降水量呈现右偏的正态单峰分布，除90年代外，各个时段峰值月份为

8月，90年代峰值月份为7月。近30年间，80年代，2~6月、8月的降水量大于平均值；90年代3~7月降水量大于平均值；00年代1~2月、7~10月、12月降水量大于平均值。数据表明，上世纪的80、90年代，前半年降水量较大，干旱主要在冬季出现，但21世纪的近十年，降水量的年内分布产生了变化，12~2月降水量有所增加，7~10月降水量增加明显，这四个月降水量约占全年降水量的2/3，而与之相对3~6月降水量显著减少，在年均降水量减少的大趋势下，全年降水量更为集中的分布在夏末秋初的7~10月。降水量年内分布的这一变化，虽然一定程度的减少了冬季的干旱，但处于农作物生长期的早春时节干旱少雨对于农作物生长产生不利影响，同时位于关中西北的咸阳地区，春旱形成的沙尘天气也是对这一地区的严重的考验。年降水量在夏秋两季集中，主要表现为短时较强降水，而由此引发的洪涝灾害在近些年也频繁出现。另外，90年代是关中各地降水量偏少的枯雨时段，形成九十年代降水量偏少的主要原因是7~10月的降水量有较大幅度减少，而其他各月的降水量并未发生显著的变化。

多年平均

80年代

90年代

00年代

25.00

20.00

15.00

月降雨量(mm)

10.00

5.00

0.00

1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月 11月12月月份

**图3.27** **月平均降水量的年内分布图**

## **3.5** 渭南地区降水量动态变化特征

### **3.5.1** 降水量年际变化特征分析

分析渭南地区1961~2012年年均降水量统计资料可知，渭南地区近52年来年均降水量为563.01mm。降水量动态曲线如图3.28所示。线性拟合曲线为图中粗实线，拟合函数：*Y*0.739*x*582.5。渭南地区年降水量存在弱线性减少趋势，线性变化率-7.39mm/10a，降水量减少幅度不大、速度缓慢。降水量动态曲线的多项式拟合曲线（点划线）及滑动平均（虚线），能较好的消除降水量年际间波动因素，说明研究时段内雨量的阶段性变化趋势。年均降水量自1961年至

70年代初波动下降，下降幅度较小；随后经过近10年的平稳波动期，1980年开

始小幅增加，1983年降水量较大（826.9mm），从1984年开始下降趋势，在1997年降至近50a年降水量最低值（301.7 rmn），随后开始呈现出新一轮增加趋势，并于2003年达到近50a最高值(885.5mm)。年均降水量曲线的转折点分别为1970、

1983、1997、2009，在不同区段降水量呈现减-增-减-增的变化，总体变化的曲线表明，降水量近些年波动更为剧烈，降水量减少的历时拉长，增加的时间和幅度都有不同程度的减少、减弱。

渭南年降雨量

线性（渭南年降雨量）900 多项式（渭南年降雨量）

800 5 per. Mov. Avg. (渭南年降雨量)

700

年降雨里(mm)

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

年份

**图3.28** **1961~2012年渭南地区降水量动态曲线**

300

200

年降水量距平（mm）

100

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-100

-200

-300

（年份）

**图3.29** **1961~2012渭南地区降水量距平图**

渭南地区1961~2012年来降水量距平柱状图（图3.29）及各年代降水量均值与多年平均降水量（基准值）关系曲线（图3.30）表明，60、70年代渭南地区年均降水量变化平缓，降水量距平在-100~200mm之间变化，仅1964年降水量略大；进入80年代，年均降水量以正距平为主（正距平6年），年代降水量均值大于基准值；90年代渭南地区年均降水量整体较少，虽然正负距平年份相同，但1995、1997年降水量基本为多年最小值，90年代平均降水量较基准值减少了10%；本世纪最初10年，平均降水量有小幅回升，但依然小于基准值。

年降雨量

年代际降雨量 多年平均降雨量（基准值）

900

800

700

降雨量（mm）

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

年份

**图3.30** **渭南地区年代际降水量均值变化曲线**

渭南地区年均降水量动态变化参数列入表3.11中。与上述降水量动态曲线相符，渭南地区60、70年代降水量波动变化平缓，变差系数较小；80年代以后降水量年际间波动剧烈，随降水量大幅的增减同时，时间序列变差系数也有较大幅度增加。从降水量距平变化来看，52年间渭南地区年降水量正距平有24个年份，降水负距平有28个年份， 正负距平年份基本相当，并交替出现。仅70 年

代负距平为主高达7年，同时90年代后负距平年份虽少，但降水量负距平绝对值较大，所以70年代、90年代降水量较小，小于多年平均值。

**表3.11** **渭南地区年均降水量动态参数**

| 时段 | 变差系数 | 正距平  （年份） | 负距平  （年份） | 多雨年份  （年份） | 少于年份  （年份） |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 0.2047 | 24 | 28 | 7 | 6 |
| 60 年代 | 0.1347 | 4 | 6 | 1(1964) | 0 |
| 70 年代 | 0.1314 | 3 | 7 | 1(1975) | 1(1977) |
| 80 年代 | 0.2049 | 6 | 4 | 3(1983、1984、1987) | 1(1986) |
| 90 年代 | 0.2399 | 5 | 5 | 0 | 2(1995、1997) |
| 00 年代 | 0.2314 | 5 | 5 | 2(2003、2011) | 2(2001、2012) |

渭南地区多雨及少雨年份也列入表3.10中，研究时段内多雨年份多于少雨年份，多雨年份较为集中的出现在80年代，80年代的平均降水量较大，少雨年份除60年代没有外，基本平均分布在其他各个年代，少雨年份属于降水量的随机正常波动。

### **3.5.2** 季降水量动态特征

240

季降雨量(mm)

190

140

90

40

380

330

季降雨量(mm)

280

230

180

130

80

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年份年份

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

**（a）春季（b）夏季**

450 80

350 60

季降雨量(mm)

季降雨量(mm)

250 40

150 20

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

50 0

年份年份

**（c）秋季（d）冬季**

注：图中，：季平均降水量；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图3.31** **渭南地区四季降水量动态曲线**

由渭南地区1985~2012年四季降水量数据绘制其动态曲线如图3.31所示，图中线性拟合和滑动平均曲线分别解释了四季降水量的线性变化趋势和阶段性动态特征。春季降水量线性减少，线性变化率-14.42 mm/10a，与年降水量变化趋势一致，但较年降水量变化特征而言，春季降水量减少的速率更快。夏、秋、冬三季降水量均表现为小幅线性增加趋势，尤以秋季降水量增加显著。四季降水量的线性变化趋势表明，渭南地区年降水量减少主要因春季降水量减少引起。四季节降水量滑动平均曲线的斜率变化表明，研究时间的前15年中（1985~2000年），各季节降水量都处于相对稳定时期。雨量增或减剧烈变化始自于本世纪初，春季降水量的转折点略早于其它三个季节，从1997年开始小幅增加后持续下降，

夏、秋季降水量自2000年后，持续小幅增长，冬季降水量在研究时段内表现为一个半周期变化的态势，但其变化幅度均不大，基本保持20a左右的周期交替波动。

四季降水量的动态参数列入表3.12中，降水量变化幅度最大的是秋季雨量增加幅度最大、春季雨量减少幅度最大。与关中其他地区略有不同的是，渭南地

区冬季降水量在近30年来，也有一个较大增幅，虽然平均水平依然较低，但表现出增加的趋势。

表3.12 渭南地区四季降水量动态变化参数

| 参数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 季均降水量比例（%） | 21.83 | 42.14 | 32.12 | 3.92 |
| 降水量变化幅度（mm） | -39.06 | 14.36 | 66.72 | 7.39 |
| 变化速率（mm/10a） | -13.95 | 5.13 | 23.83 | 2.64 |
| R2 | 0.046 | 0.003 | 0.053 | 0.016 |
| 变差系数 | 0.4407 | 0.3023 | 0.4773 | 0.7789 |

四季降水量占年降水量百分比数据表明，夏秋降水量占年降水量比例居高，高达75%，冬季降水量不足4%，春季降水量占年降水量百分比逐年下降。降水量线性变化趋势不太显著的夏季，降水量波动也较为平缓、幅度较小，其它三季降水量波动变幅较大。

120

季降水量距平（mm）

70

20

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-30

240

190

季降水量（mm）

140

90

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

40

-80

150

100

50

0

-50

（年份）

**（a）春季**

370

320

季降水量（mm）

270

220

170

120

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

70

（年份）

-100

季降水量距平（mm）

-150

（年份）

**（b）夏季**

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

270

季降水量距平（mm）

170

450

350

季降水量（mm）

250

70

-30

150

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

50

-130

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

**（c）秋季**

（年份）

60 80

季降水量距平（mm）

季降水量（mm）

60

40

40

20 20

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0 0

-20

（年份）

**（d）冬季**

（年份）

注：图中：降水量距平柱；：季平均降水量；：年代均值；：多年平均值**图3.32渭南地区四季降水距平及年代际变化曲线**

，

渭南地区四季降水量距平及降水量年代均值变化曲线图3.32中，降水量增

加的夏、秋、冬三季，各季节平均降水量正负交替变化；春季降水量在2000 年

以后的12年间很少出现正距平，仅2009和2012年春季降水量大于平均值。从各年代降水量平均值与基准值的比较中也不难看到，春季降水量在上世纪末期并不少，80年代、90年代的平均降水量均大于基准值，本世纪最初十年春季降水量才开始大幅减少，较上一个研究时段，春季降水量减少了约30%。夏季降水量年代均值在基准值附近交替变化，变动幅度不大。秋季降水量与春季降水量变化呈逆向趋势，上世纪的80、90年代降水量较小，本世纪初期有较大幅度增加，特别是2003年秋季降水量出现较大值（371.4mm）和2011年出现极值（430mm）。冬季降水量各年代平均值在基准值附近同样交替变化，且变化幅度相对较大，冬季降水量的影响因素较多，趋势性和周期性均不够显著。

### **3.5.3** 降水量年内变化特征分析

1985~2012年渭南地区年内逐月降水量占年均降水量的百分比以月均降水线性变化率如图3.33、3.34所示。月降水量年内呈正态曲线，曲线峰度偏右的单峰型分布，峰值月份为7~9月，80年代峰值为8月，90年代峰值为7月，本世纪初的十年和研究全时段峰值月份为9月。80年代，7~11月降水量小雨平均值，

3~6月降水量大于平均值；90年代3~7月、10~11月降水量大于平均值，00年代

1~2月8~10月降水量大于平均值。从各年代月降水量的平均值来看，每年的12~2月降水量占年降水量极少这一状况没有太大变动外，80年代年降水量较为充沛的时段，春季降水量所占比例较大，而90年代年降水量较少的时段春季降水量

与平均值相比差别不大，理应降水较多的8~10月，其降水量少于多年平均值，可见90年代的持续干旱少雨主要因8~10月降水量较少引起。本世纪初的十年，春季降水量占年降水量百分比进一步减少，与之相对的是8~10月降水量较为充沛。

多年平均

80年代

90年代

00年代

20.00

18.00

16.00

14.00

12.00

月降雨量(mm)

10.00

8.00

6.00

4.00

2.00

0.00

1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月11月12月月份

**图3.33** **月平均降水量的年内分布图**

各月降水量线性变化率如图3.35所示。来看，11月到次年1月平均降水量年际间变化趋势不明显；3月、4月、6月三个月平均降水量以较大的幅度减少，；

7~9三个月平均降水量持续增加，这也与秋季降水量增加的趋势一致。渭南地区降水的年内分布于关中大不部分地区变化特征一致。

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9 月 10 月 11 月 12 月

30

20

线性变化率(mm/10a)

10

0

-10

月份

**图3.35** **渭南地区1984~2012年月均降水量线性变化率**

## **3.6** 关中地区降水量时空演变特征分析

### **3.6.1** 年降水量分析

##### （1）时间特征

关中地区1961~2012年平均年降水量动态曲线如图3.35所示。对其进行线性趋势分析，可知降水量呈小幅减少趋势，线性变化率-3.16 mm/10a。据相关分析资料，全国降水量自1970年来无明显趋势性变化[99]、华北地区自1951年以来降水量线性变化率为14.5mm/10a，陕西同时段降水量平均线性减少率为

19.6mm/10a[100]相比。与之相较，关中地区降水量有减少趋势，但与华北地区降水量变化趋势相比，降水的减少并不显著。

关中地区年降雨量

线性 (关中地区年降雨量)

5 per. Mov. Avg. (关中地区年降雨量)

900

800

700

年降雨量(mm)

600

500

400

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300

年份

**图3.35** **关中地区1961~2012年降水量曲线**

250

150

年降水量距平（mm）

50

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-50

-150

-250

（年份）

**图3.36** **1961~2012年关中地区年降水量距平**

依降水量滑动平均曲线的斜率可将降水的动态变化分成以下几个阶段。阶段

Ⅰ（1960~1973 年），降水量小幅减少阶段。这一阶段年降水量减少的趋势不显著，降水量随时间波动变化锯齿线较平稳。从降水量的距平柱（图3.36）上来看，这一时段大部分年份降水量小于平均值，呈负距平，仅1961、1963年降水量大于平均值。第Ⅱ阶段（1973~1984年）年降水量增加阶段，这一阶段年降水量滑动平均曲线上扬，年际波动锯齿线波动剧烈，正负距平年份基本相当，1983年出现降水量较大年份（858.7mm）。自1960年到1983年，关中地区降水量经历

了一个“减-增”变化周期，在周期内降水量增加的时长与降水量减少的时长较接近，变化幅度也基本相当，降水量减少和增加的变化率较小，整体降水量的变化幅度不大。第Ⅲ阶段（1984-1997年）降水量显著减少阶段。降水量滑动平均曲线下倾斜率较大，年降水量从1983年（858.7mm）到1997年（351.7mm）减少了近60%，同时这一时段大部分年份降水量距平为负值，雨量距平绝对值数值较大，是关中地区典型的干旱少雨时段。第Ⅳ阶段（1998年至今），年降水量缓慢增加，虽然滑动平均曲线上扬斜率不大，但年降水量从1997年（351.7mm）到2011（799.9mm）增加了近60%，降水量年际间波动变化剧烈，正负距平每隔

2~3年交替出现。自1984年至今，关中地区降水量经历了第二个“减-增”变化周期，在第二个变化周期内，降水量增减幅度变大、速率变快，降水量波动变得剧烈起来。从年降水量变化的四个阶段来看，关中地区年降水量呈25年左右的周期变化，与北半球及全国降水量周期变化时长基本一致，各周期内降水量的减少时长略大于降水量增加时长，降水量的变幅也有所增加，但总体增减的趋势性并不显著，降水量的短时增减变化属周期内的小幅度波动。

**表3.13** **关中地区近52年降水量时间序列动态变化参数**

| 时间 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 00 年代 | 近 52 年 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 平均值 | 591.26 | 549.65 | 631.49 | 528.64 | 574.58 | 577.87 |
| 变化速率（mm/10a） | -11.76 | -1.305 | -16.91 | 1.248 | 8.251 | -3.16 |
| R2 | 0.233 | 0.001 | 0.155 | 0.001 | 0.004 | 0.001 |
| 变差系数 | 0.1189 | 0.1761 | 0.1985 | 0.1969 | 0.2061 | 0.1947 |
| 正距平年份 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 23 |
| 负距平年份 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 29 |

关中地区各年代降水量动态变化参数如表3.13所示。60年代到70年代中期，降水量时间序列变差系数较小，年际间小幅度波动，这一时段线性趋势变化并不显著，60年代降水量变化率为负值，平均降水量略大于多年平均值，70年代降水量变化率为正值，平均降水量略小于多年平均值。80 年代降水量波动剧烈，

时间序列变差系数较1970年以前较大增加，同时降水量呈减少趋势，降水量线性变化率高达-16.91 mm/10a。90年代降水量处于较少水平，年代平均降水量少于多年平均降水量10%左右，降水量线性变化率虽为正值，但10年间降水量仅增加1.2mm，增加量微乎其微，但降水量持续减少的趋势有所缓解。21世纪的

最初十年是年降水量增加较为显著年代，降水量线性增加率高达8.25mm/10a，年代降水量均值与多年平均降水量基本相同，同时降水量年间波动变化剧烈，变差系数较大。

1984年之后的区域年降水量较长时间、较大幅度地减少，对关中地区的生产和生活形成较大影响，引起了诸多水文生态环境学者的关注，形成的研究的热点问题，且较容易得出降水量持续减少的结论，但根据研究曲线所显示的1997-2012年降水量变化趋势，显然降水量减少并不是长期一贯的趋势，只是气候变化的一个阶段性现象。

根据多雨、正常和少雨年份的定义，关中地区降水量少于465.38mm为少雨年份，高于690.36mm为多雨年份。近1961~2012年来，关中地区多雨和少雨年份如表3.14所示。极端降水量年份的分布也不难看出，上世纪80年代为多雨年代，而70年代、90年代为少雨年代，多雨和少雨沿年代交替分布。

**表3.14** **关中地区年均降水量动态变化参数**

| 时段 | 多雨年份 | 少雨年份 |
| --- | --- | --- |
| 1961-2012 | 8 | 6 |
| 60 年代 | 1(1964) | 0 |
| 70 年代 | 1(1975) | 2(1977、1979) |
| 80 年代 | 4(1981、1983、1984、1988) | 1(1986) |
| 90 年代 | 0 | 2(1995、1997) |
| 00 年代 | 2(2003、2011) | 1(2001) |

##### （2）空间特征



由于地理环境、气候影响因素的不同，关中各地平均降水量及其线性变化趋势存在一定的空间差异，利用数字化地图软件绘制各地多年降水量平均值云图和线性变化率的空间分布云图如图3.37所示。

（a）年均降水量（单位：mm）（b）降水量线性变化率（单位：mm/10a）**图3.37 关中各地年降水量及其变化率的空间变化图**

图（a）中年均降水量由浅到深降水量不断增加。降水量较多的两个中心分别为宝鸡地区、铜川地区，降水量最少的是关中北部渭北旱原咸阳地区。秦岭ft区的宝鸡地区平均降水量高达669.55mm，大于关中地区平均降水量的15%，是关中地区降水量最丰沛地区，比降水量最小的咸阳地区高出近25%。降水量的空间分布依纬度从南到北不断减少，但在秦岭ft区和北ft地区存在两个雨量充沛的中心。可见，平均降水量的空间分布在一定程度上受纬度和地形影响。

关中各地年降水量的线性变化都或多或少的呈现出减少趋势，按线性变化率的绝对值绘制图（b），图中标记点越大，降水量线性减少率数值越大。降水量减少速率最快的是西安地区和宝鸡地区两地，其数值远大于该地区降水量平均线性变化率。降水量的线性减少率按数值排序为西安地区>宝鸡地区>咸阳地区>渭南地区>铜川地区，从空间方位上看西部地区雨量减少的幅度大于东部地区，南部地区雨量减少的幅度大于北部部地区，各地年降水量均值及线性变化率距平（表

3.15）数值也再次验证这一空间分布规律。降水量线性变化率的空间分布情况与各地地理位置和地形地貌存在一定联系。宝鸡地区位于关中西部更靠近内陆地区，太平洋暖湿气流强度减弱，其前锋深入内陆的程度减弱，使得更靠近内陆地区的降水量减少。西安地区城市规模不断扩大，植被及生态环境破坏、地面硬化程度较高，下垫面条件改变，降水的下渗及蒸发路径改变加之城市热岛效应导致的气流变化等因素也是造成西安地区降水量大幅减少的主要原因之一。

年降水量系列变差系数这一物理量主要用于描述降水量年际间波动变化的剧烈程度。受多种因素的影响，关中各地降水量在研究时段内年际间的波动剧烈



|  |  |
| --- | --- |
| 程度有一定的差异。图 3.38 中以颜色的  深浅表示各地变差系数的数值大小，从图形上看这种降水量波动的剧烈程度有关中中部向东西两侧递减。关中中部地区恰好位于太平洋暖湿气流和西伯利亚干流气流交汇处，影响降水量的气  流强弱程度的变化对降水量的影响巨 | **图3.38** **变差系数空间分布图** |

大，因此西安地区、咸阳地区两地的降水量年际间变化最为剧烈。另西安地区，由于其行政和经济中心的地位，影响降水量的水文气象和社会经济因素众多，因

此降水量变差系数较大。宝鸡地区、渭南地区、铜川地区降水量年际变化幅度基本相当，变差系数绝对值差别不大。

**表3.15** **关中各地年均降水量及动态变化参数**

| 地区 | 关中 | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年均降水量（mm） | 577.87 | 582.13 | 592.49 | 669.55 | 542.6 | 563.01 |
| 年降水量距平（mm） | —— | 4.26 | 14.62 | 91.68 | -35.27 | -14.86 |
| 年降水量变化速率（mm/10a） | -3.16 | -16.85 | -6.47 | -14.53 | -11.18 | -7.39 |
| 线性变化率距平（mm/10a） | —— | -13.69 | -3.32 | -11.37 | -8.02 | -4.23 |
| 决定性系数 R2 | 0.001 | 0.033 | 0.006 | 0.024 | 0.012 | 0.009 |
| 年降水量变差系数 | 0.1947 | 0.2363 | 0.1999 | 0.2081 | 0.277 | 0.2047 |

依据关中各地年降水量（实线）及滑动平均曲线（虚线）的斜率和拐点可知各地降水量变化的区段和转折点，将关中各地降水量变化的转折点和阶段特性列入表3.16中统一分析。

**表3.16** **关中各地降水量变化阶段特性**

**第一阶段**第二阶段第三阶段第四阶段

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 起 | 止 | 变化 | 起 | 止 | 变化 | 起 | 止 | 变化 | 起 | 止 | 变化 |
| 关中 | 1960 | 1973 | 减 | 1973 | 1984 | 增 | 1984 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |
| 西安 | 1960 | 1978 | 减 | 1973 | 1983 | 增 | 1983 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |
| 铜川 | 1960 | 1978 | 减 | 1973 | 1985 | 增 | 1985 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |
| 宝鸡 | 1960 | 1973 | 减 | 1973 | 1985 | 增 | 1985 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |
| 咸阳 | 1960 | 1973 | 减 | 1973 | 1984 | 增 | 1984 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |
| 渭南 | 1960 | 1978 | 减 | 1971 | 1985 | 增 | 1985 | 1997 | 减 | 1997 | 至今 | 增 |

**时段**

各地降水量以3~7年的小周期在波动趋减，滑动平均曲线的拐点在各地类似，基本均在1973、1983、1997年附近。1961~1983年为降水量变化的第一个周期，各地降水量变化趋势均不显著，宝鸡地区、咸阳地区1973年以前降水量弱减少，

西安地区、铜川地区、渭南地区三地降水量减少的时段较长，拐点在1978年附近，随后各地降水量均小幅增加，直至1983年降水量达到较大值。1984年后为降水量变化的第二个周期，1983-1997年为各市降水量减少最显著时段，以西安地区为例，1983~1997年降水量减少了600mm之多，1997年左右为曲线另一个拐点，各地降水量在该年份均较少，1997年之后各市降水量均回升，宝鸡地区降水量增加速率最大，雨量在近14年中增加了600mm之多。



900

800

700

600

500

400

300

（年份）

900

800

700

600

500

400

300

（年份）

###### （a）西安地区(b)铜川地区



1050

950

850

750

650

550

450

350

（年份）

950

850

750

650

550

450

350

（年份）

年降水量（mm）

年降水量（mm）

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

年降水量（mm）

年降水量（mm）

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009



900

800

700

600

500

400

300

900

800

700

600

500

400

300

（年份）

（年份）

###### （c）宝鸡地区(d)咸阳地区

年降水量（mm）

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

年降水量（mm）

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

（e）渭南地区（f）关中地区

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

注：图中，：年降水量；：滑动平均曲线

**图 3.39** 1961~2015**年关中各地年降水量曲线**

关中各地不同年代的降水量均值如表3.17所示，各地降水量围绕多年平均值年代间丰枯交替变化。

60年代降水量较充沛，降水量均为正距平；70年代降水量小幅减少，距平为负值；80年代的降水量在各市均取得极大值年份，因此平均值略高于多年均值，距平为正；90年代降水量大幅减小，西安地区、宝鸡地区、咸阳地区降水量小于多年平均降水量的10~15%，本世纪最初的十年降水量随略有增加，但由于前一时段降水量减少幅度大，因此这两个年代降水量距平均为负值；2011年和2012年这两年的降水量在大部分地区均有所增加，只有西安地区有所例外。

**表3.17** **关中地区各年代降水特征值统计**

| 年代 | 西安地区 | | 铜川地区 | | 宝鸡地区 | | 咸阳地区 | | 渭南地区 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 降水量  (mm) | 距平  （%） | 降水量  (mm) | 距平  （%） | 降水量  (mm) | 距平  （%） | 降水量  (mm) | 距平  （%） | 降水量  (mm) | 距平  （%） |
| 1961~1970 | 636.5 | 9.34 | 618.98 | 4.47 | 713.34 | 6.54 | 564.36 | 4.01 | 584.41 | 3.80 |
| 1971~1980 | 561.4 | -3.56 | 554.75 | -6.37 | 661.32 | -1.23 | 521.86 | -3.82 | 542.21 | -3.69 |
| 1981~1990 | 621.2 | 6.71 | 637.13 | 7.53 | 731.49 | 9.25 | 619.78 | 14.22 | 607.51 | 7.90 |
| 1991~2000 | 522.67 | -10.21 | 561.3 | -5.26 | 576.56 | -13.89 | 464.42 | -14.41 | 518.26 | -7.95 |
| 2001~2010 | 570.29 | -2.03 | 582.69 | -1.65 | 624.84 | -6.68 | 535.41 | -1.33 | 559.69 | -0.59 |
| 2011~2012 | 575.16 | -1.20 | 630.6 | 6.43 | 870.45 | 30.01 | 578.4 | 6.60 | 577.85 | 2.64 |
| 平均 | 582.13 | | 592.49 | | 669.55 | | 542.6 | | 563.01 | |

总体来看，研究时段内关中各地降水量年代间丰枯交替变化，80年代以前变幅较小，80年代雨量充沛，90年代关中全地区降水量减少非常显著，90年代至今降水量波动剧烈，最近十年降水量随在各地均有所增加，但难以达到60年代水平，因此降水量在各地均呈现减少的趋势。

### **3.6.2** 季降水量分析

##### （1) 关中四季平均降水量

关中四季降水量动态参数列入表3.18中。春季降水量以高达8.815mm/10a的线性变化率减少，是年降水量线性减少率数值的2倍；同时，夏、秋降水量线性增加，其线性变化率的数值也大于年降水量线性减少率的数值，降水在这两个季节有加大幅度的增加。冬季降水变化趋势性和幅度较小。从四季降水的变化趋势来看，年降水量减少主要归因于春季降水量减少引起，另一方面夏、秋两季降水量的变化趋势，使得年降水更多的集中在这一时段，降水量的年内分布更加的不均，引起的主要问题是冬春季节的连旱和降水时段集中形成的洪涝灾害以及水资源合理储备和年内分配等一系列问题。

**表3.18** **关中地区四季降水量动态变化特点**

| 参数 | 线性变化率  （mm/10a） | 决定性  系数 R2 | 动态变化特点 |
| --- | --- | --- | --- |
| 全年 | -3.16 | 0.001 |  |
| 春 | -8.815 | 0.024 | 降水量以-.8.815mm/10a 的速率减少，达到显著性水平 |
| 夏 | 6.11 | 0.008 | 降水量以 6.11mm/10a 的速率增加，达到极显著水平 |
| 秋 | 4.13 | 0.035 | 降水量增加速率 4.13mm/10a，达到显著性水平 |
| 冬 | 1.39 | 0.129 | 降水量线性变化率很小，仅 1.29mm/10a，未达到显著性水平 |

按年代统计关中各季节降水量平均值如表3.19所示。春季降水量60年代较丰沛，高于多年平均值近20%，70年代春季降水有所减少，70~90年代降水量变化幅度不大，接近多年平均值，21世纪初降水量少于多年均值25%。50年时间，春季降水量减少了40%，但春季降水减少主要是从90年代中期开始，降水量减少速率激增。夏季降水量年代间无明显趋势性，80年代和21世纪初夏季降水量数值较大，且最近十年，关中夏季降水量的波动剧烈，降水量年际间分布不均衡，夏季少雨和暴雨年份交替出现；年降水量较少的90年代，夏季降水也相

应减少。秋季降水量60年代最为充沛，随后的40年降水量变化不大。冬季降水量，呈两个高峰年代，70-80年代、21世纪初冬季降水量较大，从近50年冬季降水量的数据来看降水量线性增加趋势显著。关中四季降水量分析数据表明，60年代除冬季外，其他季节降水量较为丰沛；80年代以前各季节降水量的变化平缓；90年代为四季少雨时段，自此开始春季降水量大幅减少，降水更多的集中在夏秋季节，近十年冬季干旱的情况有所缓解，冬季降水量小幅增加。

**表3.19** **关中地区不同年代季节降水量统计分析**

| 时段 | 全年 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 60 年代 | 591.26 | 142.1 | 238.5 | 209.8 | 13.4 |
| 70 年代 | 549.65 | 122.5 | 2487.1 | 173.0 | 19.0 |
| 80 年代 | 631.49 | 124.6 | 313.1 | 184.6 | 19.0 |
| 90 年代 | 528.64 | 128.8 | 254.2 | 136.8 | 15.3 |
| 21 世纪初 | 574.58 | 90.3 | 275.7 | 174.3 | 29.4 |
| 52 年平均 | 577.87 | 121.6 | 265.7 | 175.7 | 19.0 |

##### （2) 四季降水量空间特征

**表3.20** **关中地区四季降水量及变化率**

| 参数 |  | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 季降水量占  年降水量% | 春 | 24.26 | 18.26 | 19.74 | 20.79 | 21.83 |
| 夏 | 38.81 | 50.43 | 47.49 | 44.60 | 42.14 |
|  | 秋 | 33.19 | 27.19 | 29.23 | 30.64 | 32.11 |
|  | 冬 | 3.74 | 4.12 | 3.54 | 3.97 | 3.92 |
| 降水量变率  （mm/10a） | 春 | -16.33 | -17.77 | -15.8 | -14.42 | -13.95 |
| 夏 | 6.67 | 23.11 | 14.43 | 18.21 | 5.13 |
|  | 秋 | -12.02 | 17.47 | 36.94 | 18.85 | 23.83 |
|  | 冬 | -0.12 | 0.01 | -0.04 | 1.53 | 2.64 |

关中各地四季降水量均值占年降水的百分比及线性变化率，如表3.20所示。

春季平均降水量占年降水量百分比在18~25%之间变化，西安地区比例最高，铜川地区比例最低，咸阳地区仅次之。





铜川

渭南

咸阳

宝鸡

西安 地

区

**（a）春季降水量**(单位：mm)**（b）降水量线性变化率**（单位：mm/10a）**图3.40春季降水量空间分布图**

春季降水量均值的空间分布如图3.40（a）所示，由南向北春季降水量依次减少。春季各地降水量均表现为线性减少趋势，线性变化率数值的空间分布如图

3.40（b）所示，降水量线性变化绝对值最大为铜川地区，降水量减少幅度最大，渭南地区春季降水量线性变化率值最小，空间的分布规律性不强，特点是，ft区

（秦岭、北ft）和大城市区（西安地区）春季降水有较大幅度减少。

夏季降水量占年降水量比例较大，其空间分布如图3.41所示，北部地区和西部

ft区，呈现两个高点。从数量上看宝鸡地区夏季平均降水总量最多，铜川地区夏季降水占年降水量百分比最大，西安地区夏季降水量最少，与夏季雨量丰沛的宝鸡地区相比少近80mm。各地夏季降水量均有所增加，夏季降水量线性变化率为正值，铜川地区增幅最大，渭南地区和西安地区夏季降水量的变化率最小。



**图3.41** **夏季降水量占年降水量百分比**(单位:%)

秋季平均降水量峰值为西安地区（193.7mm），占年降水量的百分比（33.19%）数量也最大，铜川地区和咸阳地区秋季平均降水量数值较少，因咸阳地区年降水

总量较少，从百分比上看，咸阳地区秋季降水量占年降水量的百分比并不是最少的。除西安地区外，其他各地秋季降水量均呈线性增加趋势，降水量最多的宝鸡地区秋季降水量增加最为迅速，西安地区秋季降水量在研究时段的后期也有较为明显的增加。

关中各地冬季平均降水量绝对值均较少，占全年降水量百分比不足5%。冬季降水量的变化趋势性不明显，西安地区、宝鸡地区冬季降水量有微幅减少，铜川地区、咸阳地区、渭南地区等地冬季降水量小幅增加。

四季降水量最大的区域为：宝鸡地区春、夏降水量最多，秋季降水量丰沛的中心在西安地区，冬季降水量最多的是铜川地区。在空间分布上，春季雨量相对充沛的区域为关中东南部及秦岭ft区（西安地区、宝鸡地区、渭南地区），夏季降水量西北大东南小，秋季降水量南部大于北部地区。降水量充沛区域在这三个季节的移动路径恰好与东南暖湿气流进入和退出关中地区的路径相同，可见关中各地降水量值取决于东南暖湿气流的强度和流向。季平均降水量的年内分布比例在关中各地基本一致，全年降水量主要集中在夏秋两季，随时间的推移这种集中的趋势更为显著。特别是在铜川地区和宝鸡地区两地，夏秋降水量占年降水量

75%以上，同时这两地也是年降水量最充沛地区，可见关中各地，年降水的多寡主要取决于夏秋两季的降水量。西安地区春秋降水量占年降水量百分比位列地区第一，而冬夏降水量百分比位列最后，这使得西安地区的夏季“伏旱”和“干冬”趋势愈加严重。

各地春季降水减少，夏秋季降水增加。降水量线性变化率空间分布情况为，西安地区四季降水量的减少速率最快或增加速率最慢，这形成了西安地区年降水量以最大速率减少。铜川地区降水量在春季有较大速率的线性减少趋势，但夏季降水的线性增加率数值最大，铜川地区降水量集中于夏季的情况最典型。

各地四季降水量滑动平均曲线的对比分析可获得阶段特性动态特征的空间分布。春季西安地区降水量持续较大幅度下降，其它各地降水量前期（1985-1996）减少，后期（1997~2009）减少趋势平稳，2010年后小幅回升，春季降水量以3~5a小周期波动，降水量突变点及周期基本相同，但波动幅度差异较大，形成各地春季降水均值、线性变化率等动态变化参数有较大区别，咸阳地区春季降水量曲线波动平缓变差系数最小。夏季降水各地变化趋势相同，均为线性增加，且西北地

区降水量增加的程度大于东南部地区。1985年后，各地秋季降水量滑动平均曲线均表现较为显著的增加趋势，90年代秋季降水量波动剧烈，21世纪初的2003年、2011年各地秋季降水量均取得较大值，宝鸡地区秋季降水量年际间波动平稳，线性增加率最大。冬季降水量变化曲线在关中各地具有较高的一致性，线性趋势性不显著，大都以20a左右的周期丰枯交替变化。

### **3.6.3** 年内降水量分析

关中各地1985~2012年月均降水量柱状图如图3.42所示，各地降水量最多月份为7~9月，12月到次年2月降水量稀少，年内月均降水量均呈单峰正态型分布，各地年内降水量变化特征类似，但偏度和峰度系数略有区别。各月降水量最大地区从5~9月的宝鸡地区转而成为10~11月的渭南地区，月降水量最丰沛地区年年内时间的推移由西向东转移，这个动态转移的方向和控制关中降水量冷暖气流的锋面位置的移动完全一致。

西安

铜川宝鸡咸阳渭南

120.0

100.0

80.0

月均降雨量(mm)

60.0

40.0

20.0

0.0

月份



**图3.42** **1985~2012年关中月均降水量**

降水量峰度系数宝鸡地区>铜川地区>渭南地区>西安地区>咸阳地区，降水量越大的地区降水在8~9月的集中情况更为突出，以宝鸡地区为例可以看到7~9月降水量远大于关中其它地区，而全年的其它月份与关中各地的降水量差值不大，铜川地区的情况也类似，每年8~9月的降水量决定了一个地区全年降水量的总体多寡。各地月降水量线性倾向率的年内变化情况也具有较好的一致性，3~6月为关中各地降水量逐渐减少时段，渭南地区降水量减少的月份在年内开始的较早、宝鸡地区最晚；基本均持续到6月后，降水量减少的情况得到抑制，从7月开始，宝鸡地区降水量开始增加，随后各地降水量在8~9月都已持续增加的趋势变化。

关中各地降水量年内变化的一致性和各地特征使得关中地区整体冬季干旱少雨的同时，春旱愈来愈严重，与此同时，7~9月降水量不断增加，说明年降水量在关中全区均集中在这段时间，往往以暴雨形成出现，关中全区在这一时段暴雨、洪涝、泥石流及城市内涝灾害的风险较大。

### **3.6.4** 动态参数计算

##### （1) 降水量空间相关性及分类

关中地区五市地形地貌的差异性较小，但影响降水量的大气环流、生态植被、土壤及下垫面类型等自然因素以及城市化水平、人口密度、甚至社会经济因素不同，使得各地降水量动态曲线即存在一致性又有一些差异。关中地区年降水量空间关系分析，主要研究各地年均降水量时间序列的相关特性，从而可将关中降水类型加以区分，有针对性的研究不同类型地区降水的变化规律和动态参数。

时间序列相关性可采用相关系数研究，person相关系数可以用来衡量两个数据集合是否在一条线上，从而衡量变量之间的线性相关关系。相关系数的绝对值越大相关性越强，相关系数越接近于1或-1，相关度越强；相关系数越接近于0，相关度越差，通常情况下通过以下取值范围判断变量的相关程度：两组变量的相关系数用r表示，当0.8≤r为极强相关、0.6≤r≤0.8为强相关、0.4≤r≤0.6为中等相关、0.2 <�<0.4为弱相关、r <0.2为极弱相关或无相关。

关中各地年降水量时间序列的person相关系数如表3.21所示，表中“\*\*”表示在0.01水平上变量显著相关。

**表3.21** **关中地区年降水量序列相关矩阵**

| 地区 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 西安地区 | 1 | 0.733\*\* | 0.761\*\* | 0.855\*\* | 0.827\*\* |
| 铜川地区 | 0.733\*\* | 1 | 0.704\*\* | 0.785\*\* | 0.798\*\* |
| 宝鸡地区 | 0.761\*\* | 0.704\*\* | 1 | 0.781\*\* | 0.727\*\* |
| 咸阳地区 | 0.855\*\* | 0.785\*\* | 0.781\*\* | 1 | 0.78\*\* |
| 渭南地区 | 0.827\*\* | 0.798\*\* | 0.727\*\* | 0.78\*\* | 1 |

表中数据表明，关中地区降水时间序列空间关系达到中等相关以上水平，相关关系较为密切。关中中东部地区的西安地区、咸阳地区、渭南地区三地降水量时间序列的相关性已达到0.01%水平上的显著相关，宝鸡地区、铜川地区降水量时间序列与其他地区的相关性较弱，仅为中等相关。由相关性的分析数据可知，

关中地区降水量年际变化从空间上可分为西部ft区一类（宝鸡地区）、北部ft区一类（铜川地区）、中部渭河谷底一类（西安地区、咸阳地区、渭南地区）。

关中降水量年际变化空间特征采用上述相关性分析进行分类研究的方法也可推广到年内降水量的分布情况的研究中。五地市月均降水量的变化在上一节中已有研究，但各月降水量所形成的正态曲线也存在空间上的类同性和差异性，因此以各地近30年关中各地月均降水量序列为研究变量，计算各变量之间的person相关系数如表3.22所示。表中相关系数的统计检验都达到了0.01%的置信水平，相关系数也都在0.9~1之间，说明年内降水量的分布曲线在关中地区空间上具有极强的一致性，降水量年内部分不均，夏秋降水量较大、冬春降水量少是关中地区的普遍现象。

**表3.22** **关中地区月降水量序列相关矩阵**

| 地区 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 西安地区 | 1 | 0.979 | 0.979 | 0.965 | 0.965 |
| 铜川地区 | 0.979 | 1 | 0.979 | 0.986 | 0.965 |
| 宝鸡地区 | 0.979 | 0.979 | 1 | 0.986 | 0.986 |
| 咸阳地区 | 0.965 | 0.986 | 0.986 | 1 | 0.986 |
| 渭南地区 | 0.965 | 0.965 | 0.986 | 0.986 | 1 |

##### （2) 极端降水量空间特征

按照前述年降水量极端数值的规定，极端多雨和极端少雨年份应符合以下条件：

极端多雨年份：年降水量>̅X±2σ

极端少雨年份：年降水量<̅X±2σ

其中，̅X为多年平均降水量，σ为降水量年际变化标准差。

关中各地极端多雨及极端少雨年份如表3.23所示。各地相同的多雨年份为

1964、1975、1983、2003年，除90年代，各年代均有一个极端多雨年份。60、

70年代各地多雨年份均不多，仅1~2个年份；80年代和21世纪多雨年份较多，尤以咸阳地区更为典型，多雨年份在这80年代和21世纪初各有4个和3个年份，

而铜川地区在21世纪初多雨年份仅1年；90年代，仅铜川地区1996年为多雨年份。各地共同的少雨年份为1977、1995、1997，各地60、70年代出现极端少雨年份的频次较低，极端少雨主要集中出现在90年代；21世纪初，渭南地区、

宝鸡地区、西安地区出现少雨的频次较高，这三地依然延续90年代的少雨发展趋势。

**表3.23** **关中各地多雨少雨年份表**

| 地区 | 多雨年份 | 少雨年份 |
| --- | --- | --- |
| 西安地区 | 1964、1967、1970、1975、1983、2003、2011 | 1969、1977、1986、1993、1995、1997、2001、  2002、2012 |
| 铜川地区 | 1961、1964、1975、1983、1984、1988、1996、  2003 | 1977、1979、1986、1995、1997 |
| 宝鸡地区 | 1964、1975、1981、1983、2003、2011 | 1969、1977、1979、1994、1995、1997、2001、  2002、2004 |
| 咸阳地区 | 1964、1975、1981、1983、1984、1988、2003、  2007、2011 | 1977、1979、1986、1995、1997 |
| 渭南地区 | 1964、1975、1983、1984、1987、2003、2011 | 1977、1986、1995、1997、2001、2012 |

关于极端降水年份的分析表明，60~70年代关中地区年降水量的波动变化平缓，极端降水量年份鲜有出现；80年代和21世纪的最初十年是降水量较为丰沛时段，且在这一时段极端多雨出现的频次较高；90年代平均降水量较少，因此极端少雨年份在这一时段出现频率较高；21世纪的最初十年各地年降水量波动变化剧烈，部分地区也出现了2~3个极端少雨年份和1~3个极端多雨年份，而

21世纪平均降水量与多年平均值差别不大，在这一时段年降水量多以极端状态出现。

##### （3) 趋势性特征

降水量时间序列变化的影响因素诸多，年降水量也以周期性和趋势性交叠出现，研究某时段某区域降水量的变化趋势性，可一方面深入了解气候当前和未来的发展状况，另一方面深入研究引起趋势变化的因素，从而有针对性的探讨解决方法或为人们生产生活起到警示作用。

趋势系数主要用于定量的描述气候要素长期变化的大小，可广泛应用于气象要素长期变化的分析研究中。降水量趋势系数是降水量时间序列与自然数序列之间的样本相关系数，可由式（3.1）进行计算。

*rxt*

*n*

(*xi**x*)(*i**t* )

*i*1

（3.1）

1

 *n*  *n*  2

 (*xi*  *x*) 2  (*i*  *t*) 2 

*i*1 *i*1 

式中，*n*为研究的时间跨度；*xi*为第*i*年的降水量；*x*为多年平均降水量；

*T*(*n*1) / 2 .

降水量趋势系数*rxt*可表示和比较降水量的长期变化大小，计算降水量趋势系数就是标准化的一元线性回归系数，能够消除降水量要素的均方差对线性回归系数大小的影响。计算关中各地降水量趋势系数rxt及降水量倾向率α1，如表3.24

所示。

西安地区降水量下降趋势系数值最大，下降趋势最显著，宝鸡地区、咸阳地区次之，这三地降水量减少趋势系数为同一数量级，减少趋势均较为明显。铜川地区、渭南地区降水量减少的趋势系数较小，降水减少的趋势不显著，降水减少倾向率不足西安地区降水减少趋势倾向率的50%。

**表3.24** **关中各地年降水候趋势系数及倾向率**

| 地区 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 趋势系数 | -0.1839 | -0.082 | -0.1566 | -0.1117 | -0.096 |
| 气候倾向率 | -44.65 | -17.15 | -38.52 | -29.64 | -19.58 |



西安

铜川宝鸡咸阳渭南

1000

800

600

400

降雨量(mm)

200

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-200

-400

-600年

**图3.43** **关中地区降水量累积距平曲线**

降水量累积距平曲线亦可表明降水量长期变化的趋势及降水量分阶段的不同趋势。将关中各地年降水量累积距平曲线同绘入图3.43所示。从各地累积距平曲线来看，80年代中期以前降水量的趋势变化不显著，各地降水量趋势有增有减但曲线斜率都较小，1984~2002年年各地降水量减少趋势显著，特别是宝鸡地区，累积距平曲线斜率最大，2002年之后，各地降水量减少的趋势转为弱增减趋势。而90年代降水量减少最为显著地宝鸡地区，雨量减少的趋势延续到2007

年才开始有所缓解。

两种不同的趋势分析方法可获得基本相同的结论。从时间上看，80 年代以前各地年降水量减少趋势不显著，1984 年后降水量减少明显趋势显著，年降水量的减少到21世纪初的2002年左右趋缓，年降水量不再大幅减少。从空间上看，关中西部宝鸡地区降水量减少趋势显著，而东部渭河沿岸的铜川地区、渭南地区等地年降水量并无明显的减少趋势。关中中部西安地区降水量减少的趋势不显著，但因为影响降水量的因素较多，降水量短期波动非常剧烈。

##### （4）阶段性及突变特征

关中各地降水资料中存在多重时间尺度上的嵌套现象，整体看来降水量变化存在3-5年的短周期，但不同区域不同时段此短周期亦有所不同。此外全区年降

水量和季节降水量均存在8左右的中周期。在10年以上相对加大的尺度上，年

降水量存在25年左右的周期。总体看来，研究时段内降水量的干、湿交替特征较为明显，比较显著的干湿交替突变发生在1973、1984、1997等年份。

降水量突变现象是气候系统的非线性反映，近年来气候和水文学者在这一问题上给予了越来越密切的关注，始终成为气候变化研究领域的重要研究课题。降水量突变主要指研究时段内降水量变化过程中存在的某种不连续现象，因此常用

降水量累积距平曲线分析确定它，即使用突变指标*C*（*t*）来确定降水量突变点，

*C*（*t*）用式（3.2）计算。

*C*(*t*)*X i*

*t*

*i*1

*X* 

（3.2）

式中， *X i* 为第*i* 年的降水量， *X* 为降水量多年平均值，指标绝对值最大时，则所对应的*t* 为突变年份。

为了检验转折是否达到气候突变的标准，计算各转折年份的信噪比[101]，信

噪比*S N* 采用式（3.3）计算其定义是：

*X a*  *X b*

*Sa*  *Sb*

*S N*  （3.3）

式中，*X a*、*X b*和*Sa*、*Sb*是转折年份前后2个阶段要素的平均值和标准差。规

定*S N*1时，可认为该要素在这个年份存在降水量突变，否则突变不显著。图3.44中关中各地降水量累积距平曲线显示，绝对最大值在1984年和2002

年附近出现，1984年降水量由上升转为下降，2002年降水量由下降转为上升。为了进一步检验上述转折是否达到突变的标准，对1984年和2002年分别计算了信噪比，计算结果表明，1984年降水量转折的信噪比为1.58> 1, 2002年降水量转折的信噪比为1.08> 1。可以认为这两个年份为关中大部分地区的突变转折点。小幅变化到大幅下降的突变年份为1984年附近、由减少趋势转为增加趋势的突

变点附近，宝鸡地区降水量突变年份略滞后关中平均水平1年左右。

## **3.7** 小结

1. 对关中五地市及关中全区，1961-2012年年均降水量进行了统计分析，得到关中地区降水量线性减少倾向率，远小于全国同期平均水平，属于微幅减少的区域。降水量干湿交替周期性变化的特征较为明显，变化周期约25年，与国际气候变化标准周期一致[102-103].1984~1997的14年间，降水量有较大幅度减少，减少幅度约为400~600mm之间，这一时段为关中区域干旱少雨时期。1998年开始降水量回增，降水量持续减少的情况未出现。

2.关中各地降水量的阶段性变化趋势、年代间丰枯特征有较好的一致性，但突变点从北部到西南在时间轴上略有滞后。

3. 降水量空间特征为ft区降水量较多、平原降水量较少；西南降水量较多，东北降水量较少；经济发达人口众多的省会城市降水量较少、人为因素影响较小的地区降水量多。空间类型可分为西南ft区（宝鸡地区）雨量最为充沛，北部ft区（铜川地区）次之，渭河河谷地带（咸阳地区、西安地区、渭南地区）雨量最少。地形、地貌因素以及人口、经济水平对区域降水量产生直接或间接的影响。

4. 降水量主要集中于夏秋季节的8~9月，并有逐渐增多趋势，冬季干旱少雨降水量仅占年降水量不足5%，春季降水量持续减少，年降水量减少主要由春季降水量减少形成。

5. 春、秋季节降水量有东南向西北递减，夏季降水量北多南少。季降水量空间空间特征与东南暖湿气流进入和回撤出关中地区的时间和路径一致，季风为控制关中地区年内降水量分布的主要因素。

6. 关中地区降水量的年际和年内分布特征鲜明。年降水量与我国西北地区中部降水量明显减少的趋势有所差别，这主要与夏末秋初的降水量持续增加，有很大关联，但由此引发的“秋汛”以及次生的洪涝、滑坡、泥石流、城市内涝等气象灾害性事件，对于区域社会经济发展产生一定的影响。值得关注的是，关中整体降水量并未大幅度减少，但是“冬春连旱”对该区域生态环境和农业生产形成了威胁，而通过合理的水资源调配，这一状况可以得到缓解。因地制宜的进行区域气候变化的研究，对于区域经济政策的制定有较强的参考价值。

# 4. 关中地区气温时空变化特征分析

20世纪以来，全球正在经历一场以变暖为主要特征的显著气候变化。气温升高引发的高温、干旱等系列气象极端事件，对生态环境和人类健康也会产生直接影响。陕西关中地区也存在气温攀升的初显趋势，这对本已干旱缺水的关中农业、水利等等方面均造成较为严重的影响，但关中地区气温是否与全球变化一致，升温是否为一贯性持续趋势，形成气温动态变化的影响因素如何，未来的气候的变化方向怎样，这些问题的解答，是研究区域气温动态特征的意义所在。

本章主要研究陕西关中地区1961~2012年年均气温的时空演变特征，以及各季节平均气温、月平均气温、极端温差等一系列气温变化参数的时空动态特征。通过数据定量的分析气温变量的非线性周期性和趋势性特征，以及阶段性和突变点等参数，对关中地区气温时空演变特征及异常性进行分析，了解引起区域气温演变过程的主要驱动力和影响因素。

## **4.1** 西安地区年气温动态演变特征

### **4.1.1** 年均气温长期变化趋势及代际差异

西安地区1961~2012年，多年平均气温为13.93℃，年均气温动态曲线如图

## 4.1 所示，曲线呈现3-7年的小周期性波动，周期不断缩短，气温波动上升显著。通过线性回归方程的计算，得到西安地区年平均气温的一元拟合函数为

*Y*0.042*x*12.81，拟合可靠性系数较高，拟合曲线如图中粗实线，西安地区年均气温以0.42℃/10a的速率线性升高，气温升高趋势较显著，这与全球普遍变暖的变化趋势具有较好的一致性。

以多项式拟合年均气温动态曲线并计算其滑动平均曲线均可得到年均气温的动态变化的阶段性较强。60年代初期，年均气温小幅降低；1968-1984年之间年均气温变化基本平稳，无明显的趋势性，1984年之前气温互动平均曲线斜率较小无明显的趋势性；滑动平均曲线在1984年形成第一个拐点，1984年之后曲线以较大斜率升高，1984~2006年年均气温显著升高，至2006年年均气温达到最高值15.6℃，比1984年气温升高了3.18℃，升温幅度大；2006年后年均气温有小幅回落，年均气温滑动平均曲线斜率有所下降。

西安年气温

多项式 (西安年气温)

线性 (西安年气温)

4 per. Mov. Avg. (西安年气温)

y = 0.0421x + 12.814

R² = 0.5314

16

15

年均气温（℃）

14

13

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

12

年份

**图4.1** **西安地区年均气温动态曲线**

西安地区年均气温距平柱状图（图4.2）也较为典型地给出了气温变化的阶段性。1993年以前，年均气温除两个年份（1962、1973）以外，其他各年均气温距平柱均在坐标轴以，1984年年均气温达负距平最低值-1.51℃。1993年之后，年均气温距平柱基本全部在坐标轴以上（仅1996年例外），这一时段年均气温普遍高于多年平均值，处于高温时段，2006年均气温达正距平峰值1.87℃。

2

1.5

1

年均气温距平（℃）

0.5

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

-0.5

-1

-1.5

-2

（年份）

**图4.2** **西安地区年均气温距平柱状图**

将西安地区1961~2012年，各年代气温均值与多年平均值同绘如气温动态曲线中（图4.3），研究年均气温代际变化情况。60~80年代平均气温较低，各年代平均气温均小于多年平均气温，但平均气温代际间无显著变动，呈极弱降低趋势，年代际平均气温60年代＞70年代＞80年代。90年代后各年代平均气温值较高大于多年平均值，90年代平均气温升温明显，较80年代平均气温升高了0.93℃；

21世纪最初十年气温由呈现一个显著的升高，比90年代平均气温升高了0.94℃，几乎是每十年温度升高1℃。2010年后气温开始小幅回落。由气温的距平图和年代变化曲线图可将多年平均气温分为1993年以前的低温时段和1993年以后的高

温时段。

气温

年代平均气温 多年平均气温

16.00

15.50

15.00

年均气温（℃）

14.50

14.00

13.50

13.00

12.50

12.00

（年份）

注：：年均气温；：年代均值； ：多年均值（基准值）； ：极端气温临界值**图4.3 西安地区年、代、多年平均及极端气温统计曲线**

1961~2012年西安地区年均气温动态变化参数如表4.1所示。西安地区年均气温在60年代、70年代小幅下降，但趋势性为达到显著性水平，80年代到21

世纪的三十年，年均气温有较大幅度的升高，其中90年代线性升温率最大，最

近20年线性升温趋势达到了显著性水平。除90年代外，其它各年代年均温度波动变差系数不大，90年代年均气温变差系数明显高于其他时段，这一时段气温在剧烈的波动中显著升高。

**表4.1** **西安地区年均气温动态变化参数**

| 时段 | 近 52 年 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变差系数 Cv | 0.062 | 0.035 | 0.032 | 0.030 | 0.047 | 0.025 |
| 线性升温率（℃/10a） | 0.42 | -0.76 | -0.06 | 0.44 | 1.77 | 0.22 |
| p 值（t 检验） | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | >0.05 | >0.05 |
| 代际温度差（℃） | 1.8 | —— | -0.02 | -0.05 | 0.93 | 0.94 |

西安地区近52年平均气温13.93度。按国际气象学统计规定，气温波动超

过平均值±1℃的年份为气温异常年份，在图4.3中绘制气温分别为12.93和14.93

的两条辅助线，年均气温在辅助线内为气温正常变动年份，因此1976、1983、

1984为气温异常偏低年份，1998、1999、2001、2002、2004、2007、2009、2010

为气温异常偏高年份。气温异常偏低年份主要集中在70年代中期到80年代中期，

出现气温偏低的年份较少。近20年气温偏高年份频繁出现，特别是在21世纪的前十年，气温异常偏高的年份占据八年，气温升高的论点在这一段时间得到强有

力的验证，但事实上，自2009年开始，西安地区年均气温已呈现较明显的下降趋势，未来气温会持续下降还是波动上升，只能说是气候学上的随机事件。

### **4.1.2** 季平均气温动态特征

由西安地区各月平均气温的统计资料，计算春季（3-5月）、夏季（6-8月）、秋季（9-11月）和冬季（12月~次年2月）的平均气温，绘制西安地区1961~2012年四季平均温度动态曲线如图4.4所示，并计算各季节平均气温的动态参数如表

## 4.2 ，探讨西安地区四季平均气温变化特征。

18 28



季平均气温（℃）

季平均气温（℃）

17 27

16 26

15 25

14 24

13 23

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

12 22

（年份）

##### （a）春季（b）夏季

17 4.5



季平均气温（℃）

季平均气温（℃）

16 3.5

15

14 2.5

13 1.5

12 0.5

11

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-0.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

（年份）

（年份）

-1.5

（年份）

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温； ：滑动平均曲线：线性拟合曲线

**图4.4** **西安地区四季气温动态曲线**

**表4.2** **西安地区四季平均气温动态变化参数**

| 参数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 变化速率（℃/10a） | 0.65 | 0.21 | 0.44 | 0.51 |
| p 值（t 检验） | p<0.001 | p>0.05 | p<0.05 | p>0.05 |
| 变差系数 | 0.093 | 0.038 | 0.084 | 0.8312 |

西安地区四季平均气温动态曲线斜率均为正值，以线性拟合函数进行一元线性趋势分析，实线为线性拟合曲线，四季平均气温均线性升高。春季线性升温率

高达0.65℃/10a，升温趋势最显著，滑动*t*检验值*p*0.001，达到极显著水平；

冬季次之，但未通过显著性检验；夏季升温速率最小（0.21℃/10a），小于年均气温升温率，线性拟合函数滑动*t*检验值*p*0.05，未达到显著性水平，线性趋势性并不显著。春、冬两季升温幅度较大的季节，平均气温年际间波动剧烈，变差

系数较大，夏季季平均气温的年际间波动变化平稳，季平均温度在周期性波动中小幅升高。

各季节平均气温呈现阶段性变化特点。春季气温自1961-1993年升温趋势不

很明显，滑动平均曲线斜率基本呈水平；1993年之后，气温快速升高，直至2007年达到春季最高温（17.57℃），15年时间气温升高了4.17℃。与年均气温的变化相比较，变化阶段特性类似，但曲线的拐点（升温点）比年均气温变化的拐点晚了9年。秋冬季气温，除60年代有小幅下降，从60年代末一直呈现波动上升趋势，80-90年代季平均气温升温速率较小，曲线斜率平缓，秋季气温自2008年前开始回落，冬季气温自2000年开始回落。夏季气温化的线性趋势不显著，未通过显著性检验，从滑动平均曲线来看，夏季气温为升-降-升-降的周期变化，1983年以前完成第一个升降周期，随后1983-1997升温幅度较大，但波动较为平缓，

1997年后夏季气温缓慢下降。从四季气温的变化来看，西安地区年气温的升高主要是冬春两季升温的结果。

3.5

2.5

1.5

0.5

℃

-0.5

-1.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-2.5

3.5

2.5

1.5

0.5

℃

-0.5

-1.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-2.5

（a）春季（b）夏季

3.5

2.5

1.5

0.5

℃

-0.5

-1.5

-2.5

3.5

2.5

1.5

0.5

℃

-0.5

-1.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-2.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

（c）秋季（d）冬季

**图4.5** **西安地区四季平均气温距平图**

西安地区四季平均气温距平柱状图（图4.5）中，升温幅度较大的春、秋、冬三季气温距平在1993年之前主要呈现为负值，1993年之后主要呈现为正值，夏季气温距平呈阶段性正负交替出现。

各年代四季平均气温与多年平均值的关系来看（图4.6），西安地区春、秋、冬三个季节，年代平均气温均持续增涨，80 年代以前气温增加幅度较小，季平均气温均小于多年平均值；90 年代以后，季平均气温增长幅度变大，季平均气温均大于平均值。夏季平均60~80年代呈不断下降变化，仅60年代夏季平均气温略高于多年平均值，70~80年代平均气温不断下降，80年代平均气温最低，比平均气温低1℃；进入90年代，夏季气温迅速升高，90年代平均气温较前一时段升高了1.37℃，气温升高幅度是研究时段内之最；21世纪最初十年夏季气温继续升高，近20年夏季平均气温均高于多年平均值。四个季节平均气温在2011、

2012两年中均有回落，升温现象在近几年并没有持续。



18 29



17 28

16 27

15 26

℃

℃

14 25

13 24

23

12

1961

1964

1967

1970

1973

1976

1979

1982

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

1961

1964

1967

1970

1973

1976

1979

1982

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

（a）春季（b）夏季



17 4.5



16 3.5

15

2.5

℃

14

13 1.5

℃

12 0.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

11 -0.5

1961

1965

1969

1973

1977

1981

1985

1989

1993

1997

2001

2005

2009

-1.5

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温；：气温年代均值；：多年平均气温（基准值）

**图4.6** **西安地区四季气温代际均值曲线**

从四季平均气温与年平均气温的相关关系来看，均通过了0.05的显著性检验。其中春季平均气温与年均气温序列的相关系数值最大，为0.879；秋冬季节

的相关系数次之，夏季两者之间的相关系最弱。由此可见，西安地区年气温的变化中春季气温的贡献最大。

### **4.1.3** 月平均气温动态特征

受统计资料限制，本文仅获得1984年以后西安地区逐月气温数据。计算各

月平均气温并汇入图4.6中，西安地区年内月均气温呈单峰型正态分布曲线，气温最高为7~8月，气温最低为1月，正态分布的偏度系数为-0.1396，峰度系数为-1.0001，正态曲线顶峰偏右，坡度较缓。

30

25

20

月平均气温（℃）

15

10

5

0



（月）



**图4.7** **西安地区月平均气温年内分布曲线**

按年代计算逐月气温的平均值，各年代月平均气温柱如图4.8所示。年内各月气温随年代变化逐渐升高。9、12月气温年代际变化与此特征相悖，各年代间气温变化幅度不大。气温升高最显著的90年代，年内月气温峰值在8月，2、4月平均气温较前一年代有较大幅度的升高。本世纪初的十年中，3、6月气温较前一年代有较大幅度的升高。

多年平均

80年代

90年代

21世纪初

一月 二月 三月 四月 五月 六月 七月 八月 九月 十月 十一月 十二月

30

25

20

月平均气温（℃）

15

10

5

0

-5

（月）

**图4.8** **西安地区月均气温年代分布柱状图**

1985~2012年西安地区逐月气温线性变化率柱状图（图4.9）中可知，全年各月气温均有不同程度的升高，各月气温线性变化率有两个峰值点，分别是4月和10月，与峰值相邻的2~6月、10~11月，月均气温线性升温率数值较大。月均气温动态变化数据均表明，在年均气温升高的大趋势下，年内各月气温均有所升高，前半年月平均气温升高幅度较大，2~6月，10、11月的升温对形成年均气温以较高的速率升高有很大贡献。

1.6

1.2

线性变化率（℃/10a）

0.8

0.4

0

1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月11月12月月

### **4.1.4** 极端气温动态特征

**图4.9** **西安地区月均气温线性变化率**

西安地区1985~2012年的近30年间，极端高温最高值42.9，极端低温最低值-14.7，分别出现在2006 和1991 年。各年份极端高温线性拟合函数为：

y=0.082x+38.25，极端低温线性拟合函数为：y=0.089x-10.27，两者同步升高，且其线性升温率均大于年均气温的线性升温率，极端低温地线性升温率略高于极端高温，两者的极差正在逐年减小。

1

42

-3

极端高温℃

极端低温℃

38

-7

34

-11



30 -15

年

注：：极端高温，：极端低温



**图4.10** **西安地区极端气温年际动态曲线**

图4.10中极端气温的滑动平均曲线，表明极端气温的变化也呈现阶段性。

极端高温分为两个阶段，1996年以前滑动平均曲线斜率较小，气温波动较平缓；

1996年以后极端高温在较大幅度的波动中快速升高，2006年达到高值。极端低温的变化分为先降后升两个阶段。1985~1994年为极端低温降低时段，随后的1994-1998年极端低温以较大速率迅速升高，1998年后这一线性升温速率有所减小。研究时段内，极端气温的大周期特性不显著，两者均以3-7a的小周期较为剧烈波动变化，极端气温变化趋势的拐点在90年代中期附近，从90年代中期极端气温以较大速率升高，这与年气温的变化趋势具有一致性。

进一步研究极差（极端高温与极端低56

54

温的差值）的动态特征（图4.11）。可以52

年气温极差℃

50

看到，极差在研究时段前期（1993年以前）48

46

有不断增大的趋势，但后期极差不断缩44

42

40

小。而这一突变点恰好与年均气温快速升

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

高的突变点一致，可以认为年均气温的升年

高与极端低温的快速攀升有很大关系。而极端高温与极端低温非对称性增长的关

注：：气温极差；

：滑动平均曲线

**图4.11** **西安地区年气温极差动态曲线**

系，与西安地区城市发展过程中，CO2浓度不断增大，形成的温室气体效应有密切的关系。

## **4.2** 铜川地区年气温动态演变特征

### **4.2.1** 年均气温长期变化趋势及代际差异

铜川地区近半个世纪以来平均气温为10.7℃，1961~2012年年均气温动态曲线如图4.12所示。以一元线性函数拟合气温动态曲线（图中黑实线），线性拟合函数为*Y*0.011*x*10.39，年均气温呈波动升高趋势但未通过显著性检验，年均气温线性升温率：0.11℃/10a的，升温速率小于全省近50年来的平均水平，升温幅度较小、趋势性不显著。年气温波动变化剧烈，变差系数高达0.048。年气温动态曲线的多项式拟合曲线（点划线）和滑动平均曲线（虚线）的斜率呈阶段性变化，两天曲线的突变点给出了年气温变化的隐形周期大约为20年，这一气温变化周期小于国际公认完整气候周期（30年）。在大周期内，年均气温以3~8a的小周期波动升高，随着气温的不断升高小周期明显缩短。

铜川气温

线性 (铜川气温)

多项式 (铜川气温)

4 per. Mov. Avg. (铜川气温)

y = 0.0116x + 10.393

R² = 0.1154

13.00

12.00

11.00

气温（℃）

10.00

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

9.00

年

**图4.12** **1961~2012年铜川地区年均气温动态曲线**

铜川地区年均气温的滑动平均曲线自 1961~1972 年斜率为负，年气温小幅下降；1972~1980 年年气温小幅升高，形成第一个变化周期。1980~1984 年，曲线呈现较大下倾，年气温下降幅度较大，1984~2000 年气温再次大幅回升，到 2000 年气温远高于第一周期结束时气温，第一周期接近尾声时，1984 年年均气温处于低值（9.42℃），第二周期接近尾声时 1998 年年均气温处于高值（11.7℃），两者差值高达 2.28℃。不同周期内气温下降的时长在缩短，同时大幅升温的拐点与全省平均情况相比，略有推后。

1.50

1.00

年均气温距平（℃）

0.50

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.00

-0.50

-1.00

-1.50

（年份）

**图4.13** **铜川地区年均气温距平柱状图**

铜川地区年均气温距平图（图4.13）中，80年代以前为低温时段，年均气温以负距平为主，负距平年份所占比例高达70%；90年代后为高温时段，年均气温以正距平为主，特别是1997-2007的这十年中，仅2003年气温略低于平均值，其他年份均为正距平，可见这一时段铜川地区年均气温的升温持续飙升的趋势非常显著。

气温

年代平均气温 多年平均气温

12

11.5

年均气温（℃）

11

10.5

10

9.5

9

（年份）

注：：年均气温；：年代均值； ：多年均值（基准值）； ：极端气温临界值

**图4.14** **铜川地区年、代、多年平均及极端气温统计曲线**

将铜川地区年气温的年代均值和多年平均气温同绘入图4.14中分析气温年代间变化特征。80年代以前气温年代均值低于多年平均值，气温年代间交替高低变化，80年代气温均值最低，低于多年平均值0.27℃，为研究时段温度最低的十年。90年代后铜川地区年均气温呈阶梯状升高，90年代平均气温比80年代升高0.57℃，21世纪初升温趋势减缓，比90年代平均气温升高0.17℃，随后的

2011、2012两年气温下降，平均气温低于多年平均值。各年代平均气温在多年平均温度±0.5℃上下变化波动变化，变幅平缓。

根据国际气候分析惯例，铜川地区年均气温在9.7-11.7之间为正常气温，超

过这一温度范围为极端气温。图4.14中两条黑色虚线即为极端温度临界值9.7和11.7℃的辅助线。极端低温年份在1984年（9.42℃），极端高温年份也仅有1998年（11.7℃）。铜川地区年气温在研究时段内变化较平缓，罕有极端气温年份出现，仅在温度大幅变化的80年代和90年代，出现唯一的极端气温年份。

**表4.3** **铜川地区年均气温动态变化参数**

| 时段 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变差系数 Cv | 0.038 | 0.040 | 0.044 | 0.051 | 0.031 |
| 线性升温率（℃/10a） | -0.65 | 0.27 | 0.44 | 1.08 | -0.14 |
| 滑动 t 检验 p 值 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | 0.014 |
| 代际温度差（℃） | —— | 0.096 | -0.27 | 0.57 | 0.17 |
| 正距平年份（年） | 3 | 4 | 2 | 6 | 8 |
| 负距平年份（年） | 7 | 6 | 8 | 4 | 2 |

1961~2012年铜川地区气温动态变化参数如表4.3.60年代和21世纪最初十年，气温波动平缓变差系数较小，同时线性升温率为负值，气温在这两个时段略

有下降；70~90年代气温升高、变差系数的增大，年均气温波动较剧烈、线性升温率也不断增加。90年代升温幅度最高，年均气温的波动变化最剧烈。

### **4.2.2** 季平均气温动态特征

笔者对1985年以后的近30年，铜川地区各月平均气温进行整理统计，按季

节统计四季平均气温，气温的动态曲线如图4.15所示。

13.5

13.0

12.5

气温℃

12.0

11.5

11.0

10.5

10.0

24.0

23.5

23.0

气温℃

22.5

22.0

21.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

21.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

（a）春季（b）夏季

13.0

12.5

12.0

11.5

气温℃

11.0

10.5

10.0

9.5

9.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1.0

0.0

年

气温℃

-1.0

-2.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-3.0

年

-4.0

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温； ：滑动平均曲线：线性拟合曲线

**图4.15** **铜川地区四季气温动态曲线**

铜川地区四季平均气温的一元线性拟合曲线拟合（粗实线）斜率均为正值，四季平均气温均表现为线性升温趋势。春季平均气温线性曲线斜率最大，线性升温率速度最快，高达0.64℃/10a，达到了显著性水平，春季升温的趋势非常显著。夏、秋、冬三个季节平均气温的线性升温率数值较小，冬季线性升温率0.16℃/10a，夏秋平均气温线性升温率趋近于0，这三个季节的线性升温趋势并未达到显著性水平，升温幅度小、升温的趋势性并不显著。从四季平均气温的变化特征来看，铜川地区年均气温的升高，主要因冬春季气温升高引起。

四季平均气温的滑动平均曲线（虚线）斜率的变化，给出了气温变化的阶段特性。春季平均气温为缓增时段（1995年以前）和激增时段（1995年以后）。1995

年以前，春季平均气温滑动平均曲线斜率其他三个季节同期滑动平均期限斜率基本相同，升温速率较小；1995年后滑动平均曲线斜率增大，线性升温率数值增大，气温大幅度升温，以2004年为例，春季平均气温比1995年春季平均气温升高了近3℃；2004年后春季平均气温开始回落，不再持续升温趋势。与年均气温相比，春季平均气温的升温拐点略晚于年均气温升温的拐点。夏季平均在研究时段内仅表现出一个先升后降的过程，以1997年为拐点，前期季平均气温持续升高，随后又以较大速率降温，因此在整个研究时段，夏季平均气温并未表现出明显的升降幅度。秋季平均气温在研究时段内主要表现为周期性波动，波动周期约为15年，90年代中期和21世纪的第一个十年中期，均出现了6~7年左右的持续升温时段，最高气温发生在1998年。冬季平均气温的动态特征与夏季平均气温趋势有类同性，升温和降温的拐点略晚于夏季平均气温变化的拐点，最高气温发生在1999年。从四季平均气温的动态特征来看，只有春季气温与年均气温的变化具有较好的相似性，因此年均气温的升高的趋势主要以春季气温变化的贡献大。

2.00 2.00

1.00 1.00

气温距平（℃）

0.00 0.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温距平（℃）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-1.00 -1.00

-2.00

（年份）

-2.00

（年份）

（a）春季（b）夏季

2.00

1.00

气温距平（℃）

0.00

-1.00

-2.00

（年份）

3.00

2.00

1.00

气温距平（℃）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.00

-1.00

-2.00

-3.00

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（c）秋季（d）冬季

**图4.16** **铜川地区四季平均气温距平图**

14.0

13.0

季平均气温（℃）

12.0

11.0

10.0

24.0

23.0

季平均气温（℃）

22.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

21.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

（年份）

（a）春季（b）夏季

13.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

12.0

季平均气温（℃）

11.0

10.0

9.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

1.0

0.0

季平均气温（℃）

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0

（年份）

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温；：气温年代均值 ：多年平均气温（基准值）

**图4.17** **铜川地区四季气温代际均值曲线**

将铜川地区各年代四季平均气温与近30年季平均气温同绘入季平均气温动态曲线中（图4.17），研究季降水量的年代间变化特征。春季80年代、90年代处于气温较低时段，各年代平均气温低于平均值，直至本世纪的最初十年，春季气温高于多年平均值，30年来气温年代间不断攀升，每10年气温升高约0.7~0.8℃。夏季气温年代间升降交替变化，年代间差值0.4~0.6℃，80年代较低，90年代略有升高，高于多年平均值，21 世纪最初十年气温回落。秋季平均气温年代间起伏变化幅度很小，研究时间内温度变化较为平稳。冬季气温80年代较低，90年代后气温升高，大于多年平均值，2011、2012 年冬季气温再次回落，冬季气温的升温转折点早于年气温升温的转折点。四季平均气温动态曲线变差系数用于描述气温年代间波动的距离程度，四季平均气温的变差系数分别为0.074、0.028、

0.072、0.8672，线性升温速率最快的春季平均温度年际间波动也最为剧烈。铜川地区四季平均气温在不同年代增减趋势有所不同，但共同的特点是，90年代各个季节平均温度普遍较高且均呈现增长趋势，形成了90年代年均气温的高值。

四季平均气温与年平均气温的相关关系均通过了0.05的显著性检验，冬季平均气温与年均气温序列的相关系数值最大，为0.707；其它三个季节的相关系

数基本相同。冬季气温序列的变化特征与年气温序列更为相似，这也是铜川地区年均气温小幅升高但趋势并不显著的原因。

### **4.2.3** 月均气温动态特征

铜川地区1985~2012年逐月气温平均值的年内动态曲线如图4.18所示。气温的年内变化呈现正态分布趋势，十二月和一月平均温度最低在零度以下，七月平均气温最高。图形偏度系数为

-0.1699，峰度系数为-1.0045，正态曲线顶峰偏右，坡度较缓。

25

20

15

月平均气温（℃）

10

5

一月

二月三月四月五月六月七月八月九月十月十一月

十二月

0

-5

（月份）

**图4.18** **铜川地区月均气温年内分布曲线**

多年平均

80年代

90年代

21世纪初

一月 二月 三月 四月 五月 六月 七月 八月 九月 十月 十一月 十二月

25

20

15

10

气温℃

5

0

-5月

**图4.19** **铜川地区月均气温年代均值柱状图**

按年代统计铜川地区各月平均气温绘入图4.19中。3月平均气温年代间差值较大，升温明显；12月平均90年代升高，最近十年明显下降；1~6月平均气温沿年代逐步升高；7、8、9月平均气温在90年代较高，最近十年有所回落；

10、11月平均气温90年代最低，月均气温年代间变化幅度不大。

1985~2012年铜川地区逐月气温线性变化率柱状图（图4.20）显示，全年中大部分月平均气温均有不同程度的升高，但1月、7~9月例外，月均气温呈现下降趋势。月气温线性变化率在前半年存在一个峰值，3月升温速率最快，同时前半年的2~6月，各月气温均以较大速率升高。与之相对，后半年仅秋末的10~11月气温存在升高趋势。年气温的升高主要因2~6月，10、11月的升温引起。

1 月 2 月 3 月 4 月 5 月 6 月 7 月 8 月 9 月 10 月 11 月 12 月

0.8

0.4

线性变化率℃/10a

0

-0.4

月

### **4.2.4** 极端气温动态特征

**图4.20** **西安地区月均气温线性变化率**

1985~2012年铜川地区极端高温最高值37.7（1998年夏、2006年夏），极端低温最低值-17.5（2009年冬），极端气温动态曲线如图4.21所示。

38 -11

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

37 -12

36 -13

气温℃

35 -14

气温℃

34 -15

-16

33

-17

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-18

年年

（a）极端高温（b）极端低温

注：图中，：极端气温； ：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图4.21** **铜川地区极端温度年际动态曲线**

以线性函数拟合极端气温动态曲线可获得其近30年来线性趋势，极端高温呈线性上升趋势，线性升温率0.22℃/10a；极端低温呈线性下降趋势，线性降温率0.75℃/10a。极端高温在1985~1993年期间处于低温水平，无明显的升降线性趋势；1993~2000年以较大速率明显升温上升；2000~2009年极端高温再次以较高值波动变化，无明显的升降；2009年以后极端高温有所下降。极端高温的动态特征及其极端性与年均气温变化较为一致。1985~1997年，极端低温小幅度升高，这一阶段与极端高温的升高趋势相同，但1997年之后极端低温逐步降低。极端气温的动态特征表现为前期同步升高，后期相悖发展，极差越来越大。由此可见，铜川地区年均气温未出现显著的升温趋势，与极端低温不断降低有一定关系，但极端气温的相悖发展，使得冬季的极寒和夏季的酷热相伴出现，除了要防

范6 ~7月的高温伏旱外，对于农作物的安全越冬也产生一定的威胁。

## **4.3** 宝鸡地区年气温动态变化特征

### **4.3.1** 年均气温长期变化趋势及代际差异

1961~2012年宝鸡地区年均气温动态曲线如图4.22。近52a年来平均气温为

12.49度，最高气温为14.7℃（2006、2007年），最低气温为10.09℃（1963年），年均温度波动上升。以线性函数拟合气温动态曲线，拟合函数为：*Y*0.076*x*13..08，线性拟合函数滑动t检验的p值<0.05，达到了显著性水平，线性升温率高达0.76℃/10a。年气温波动变化变差系数0.1063，标准差1.33℃，年均气温年际间波动变化较大。

宝鸡气温

多项式 (宝鸡气温)

线性 (宝鸡气温)

4 per. Mov. Avg. (宝鸡气温)

y = 0.0761x + 10.468

R² = 0.7412

15

14

13

气温℃

12

11

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

10

年

**图4.22** **宝鸡地区年均气温动态曲线**

采用多项式对年均气温动态曲线进行拟合（点划线），为消除波动因素，对动态曲线进行滑动平均求解（虚线）。这两类曲线可进行宝鸡地区年均气温的阶段性变化趋势和突变点的分析，研究时段内，宝鸡地区年均气温分为低温和升温两个阶段。1961~1984年宝鸡地区年均气温波动幅度很小，年均气温数值较低，且无明显的升降趋势，拟合和滑动平均曲线斜率接近于零；1984~2007年之间，年均气温滑动平均曲线以较大斜率上升，是明显的升温阶段，2006、2007年，年均气温达到峰值14.7℃，与1984年相比，年均气温升高4.2℃，升温幅度可见一斑；2008年之后年均气温开始回落。

2.5

1.5

年均气温距平（℃）

0.5

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-0.5

-1.5

-2.5

（年份）

**图4.23** **宝鸡地区年均气温距平柱状图**

宝鸡地区年均气温距平柱状图（图4.23）中同样可看到气温的阶段性变化特征，以1984年为分界点，在此之前，年气温距平全部为负值，年均气温处于相对较低水平，1985年后，除1988年外，其他各年份气温均为正距平，正距平率高达96%，这一时段宝鸡地区明显处于暖期。

15

14

年均气温（℃）

13

12

11

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

10

（年份）

注：：年均气温；：年代均值； ：多年均值（基准值）； ：极端气温临界值**图4.24宝鸡地区年、代、多年平均及极端气温统计曲线**

图4.24 显示了宝鸡地区各年代平均气温与多年平均温度的关系，各年代平

均气温呈阶梯状升高，升温趋势较为显著。80年代中期开始为宝鸡地区年均气温的持续变暖期，70年代到80年代平均温度差高达0.79℃，90年代与前一年代相比气温升高了1.41℃，21世纪初的十年气温依然持续升高，但幅度已有所减小。在此之前的60~70年代，平均气温处于较低水平，升温幅度也不显著，气温变化相对平稳。

宝鸡地区气温变化标准差为1.33℃，标准差大于1℃，按照气象统计规定，宜用平均气温±标准差作为极端的衡量标准。当年均气温在11.16~13.82℃之间，

为正常气温，高于或低于这两个临界值即为极端高温或极端低温。在图4.22中做13.82℃和11.16℃两条极端气温临界辅助线，极端低温发生在1984年以前的

1963、1964、1967、1968、1970、1976、1980、1983、1984年9个年份，60 年

代极端低温频繁出现；极端高温出现在1995、1997、1998、1999、2002、2004、

2006、2007、2010年9个年份，近20年极端高温频繁出现。宝鸡地区极端气温

在近50年频发，气温的波动变化剧烈程度也可由此证明。

**表4.4** **宝鸡地区年均气温动态变化参数**

| 时段 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变差系数 Cv | 0.045 | 0.035 | 0.086 | 0.044 | 0.03 |
| 线性升温率（℃/10a） | -0.08 | -0.16 | 2.61 | 1.50 | 0.03 |
| 滑动 t 检验 p 值 | p<0.001 | p<0.05 | p<0.001 | p<0.001 | P<0.05 |
| 代际温度差（℃） | —— | 0.15 | 0.79 | 1.41 | 0.61 |

研究时段内宝鸡地区气温动态变化参数按年代统计如表4.4。由表中数据可知，60年代、70年代为降温时段，年均气温线性变化率为负值，气温年际间变差系数及标准差不大，气温波动平缓和无明显的升降趋势显著。80年代年均气温升温速率较大，高达2.61℃/10a，远大于近50年的平均升温速率，变差系数及标准差较大，波动最显著；90年代波动变化趋缓，但线性升温率依然较大，升温幅度大；21 世纪初线性升温率已大幅下降，远低于前两个年代的水平和近

50年的平均水平，但气温依然处于较高之，延续前一时段的暖期。

综上所述，宝鸡地区年均气温的代际差异主要表现为，气温沿年代不断攀升，

80年代以前处于低温水平，波动平缓，升温速率较小；80年代中期开始，气温

快速升高，气温起伏变化最大是在80年代；21世纪最初十年年均气温的波动

幅度和升温速率都减小或回落，但依然处于高温水平。宝鸡地区近30年年均气

温波动变化和线性趋势较显著，属于气温变化中的较大波峰，但近3年气温的回落表明，年均气温持续升高的结论尚缺乏有力证据。

### **4.3.2** 季平均气温动态特征

16.50

15.50

14.50

温度℃

13.50

12.50

11.50

27.00

26.00

25.00

温度℃

24.00

23.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

22.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

16.00

15.00

14.00

温度℃

13.00

12.00

11.00

（a）春季（b）夏季

5.00

4.00

3.00

温度℃

2.00

1.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | （c）秋季 | （d）冬季 |  |
| 注：图中， | : 季平均气温 ； | ：滑动平均曲线 | : 线性拟合曲线 |

**图4.25** **宝鸡地区四季气温动态曲线**

1985~2012年宝鸡地区四季平均气温动态曲线如图4.25所示。以一元线性函数拟合动态曲线，可见四季平均气温均为线性升高趋势。春季线性升温率最高，高达1.1℃/10a，并达到0.05的显著性水平；夏季升温率（0.451.1℃/10a），秋冬季升温速率较小，分别为0.341.1℃/10a和0.18℃/10a，夏、秋平均气温的线性拟合未达到显著性水平，趋势性不显著，周期性较强。

四季平均气温的阶段性特征各有不同，春季平均气温以 1988 年为转折点， 在此之前的三年气温波动变化，1988 年后气温快速攀升，直至 2008 年，春季平均气温高达 16.3℃，20 年间升温 4.3℃，升温幅度在四季各时段中都属高值。夏季气温升温时段较短，1985~1997 年期间夏季平均气温攀升，随后气温平稳变化没有明显的线性趋势。秋季平均气温线性升温率均不高，而是以 10 年左右的周期小幅升降交替变化；冬季平均气温周期特征与春季类似，但在 1985~2004 年间， 有一个升温时段，随后气温在剧烈波动中下降。

3.00

季平均气温距平（℃）

2.00

1.00

0.00

-1.00

-2.00

-3.00

（年份）

2.00

1.00

季平均气温距平（℃）

0.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-1.00

-2.00

-3.00

（年份）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（a）春季（b）夏季

2.00 3.00

季平均气温距平（℃）

季平均气温距平（℃）

1.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.00

-1.00

2.00

1.00

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.00

-1.00

-2.00

（年份）

-2.00

（年份）

（c）秋季（d）冬季

**图4.26** **宝鸡地区四季气温距平图**

四季平均气温的阶段性变化从季平均气温距平柱状图（4.26）中也可得到。春季平均气温1997年以前主要为负距平，负距平率高达85%，平均气温较低；

1997年之后的时段中，除2010年年均气温较低为负距平外，其他年份均为正距平，为明显的偏暖时段，但这只持续升高的态势并没有持续发展，2007年后，春季气温虽依然以正距平为主，但距平绝对值有明显的下降。夏、秋、冬三季气温距平主要表现为波动变化，1985~1997年之间各季节平均气温负距平居多，往往达到负距平最大值（1988年夏季-2.46℃、1992秋季-1.72℃、），1997年之后平均气温主要为正距平，正距平最大值出现在这一时段（2007年夏季1.37℃、1998年秋季1.48℃、2004年冬季2.45℃）。四季气温波动变化变差系数分别为0.083、

0.037、0.06、0.4796，气温距平柱状图也同样表明，夏秋气温波动较平缓，冬春气温波动较剧烈。

四季平均气温序列与年气温相关系数如表4.5所示，相关关系均通过了

0.05的显著性水平。春、夏季平均气温

**表4.5** **四季气温序列与年均气温序列相关系数**

| 季节 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 相关系数 | 0.786 | 0.777 | 0.648 | 0.507 |

与年均气温相关关系最密切，秋季这一关系略差，冬季相关关系最弱，可见宝鸡地区年气温的变化中，春、夏气温的贡献比例最大。

### **4.3.3** 月均气温动态特征

宝鸡地区月平均气温年内分布如30

25

图 4.27 所示，气温的年内变化曲线为正20

月平均气温（℃）

15

态曲线。全年月平均气温均在零度以10

上，1月气温最低、7月气温最高。图5

0

形偏度系数为-0.1336，峰度系数为

-1.0057，正态曲线顶峰略偏右，坡度较

1月

2月

3月

4月

5月

6月

7月

8月

9月

10月

11月

12月

（月份）

**图4.27** **宝鸡地区月均气温年内分布曲线**

缓。

月气温年代均值如图4.28所示。2~6月及11月气温，年代间逐步升高，季节交替的2、3、6月的变化速率较快；8月气温90年代最高，近十年回落；7月近20年处于高温时段；10月90年代气温较低；12月气温逐步降低；1、9月气温年代际变化较平稳。总体来看，前半年升温情况显著，年气温的升高趋势主要是2-7月平均气温的升高引起的。

多年平均

80年代均值

90年代均值

21世纪初均值

30

25

20

15

气温℃

10

5

0

1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月11月12月

月

**图4.28** **宝鸡地区月均气温年代分布图**

月均气温的线性变化率如图4.29所示。一年当中，2~7月及10~11月的气温线性升高，8~9月、12月、1月气温线性降温。升温速率较快的时段均在前半年的春季和初夏时段。春夏时节的气温攀升，对年气温的不断升高有不小的贡献。

1.6

1.2

气温线性变化率℃/10a

0.8

0.4

0

-0.4

月

1月

2月

3月

4月

5月

6月

7月

8月

9月

10月

11月

12月

**图4.29** **宝鸡月均气温线性变化率**

### **4.3.4** 极端气温动态特征

42

y = 0.0681x + 37.734 R² = 0.1403

y = -0.0204x - 8.6937 R² = 0.0076

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

41 -7

40 -9

气温℃

39

气温℃

38 -11

37

-13

36

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

35 -15

-17

年年

（a）极端高温（b）极端低温

注：图中，：极端气温； ：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图4.30** **宝鸡地区极端温度年际动态曲线**

宝鸡地区1985~2012年极端气温动态曲线如图4.30所示，极端高温最高值

41.7（2006夏、2007年夏），极端低温最低值-16.1（1991年冬）。以线性函数拟合动态曲线得到，极端高温呈显著线性增加趋势，线性升温率高达0.68℃/10a，1985-1993年升温不明显，1993年之后，以较快的速率升温，线性升温率0.75℃

/10a，接近年均气温的线性升温率。极端低温的线性趋势不明显，小幅降低，线性降温速率0.2℃/10a，线性拟合函数滑动t检验p值> 0.05未达到显著性水平，

拟合关系较差，气温波动特性显著，约55

53

以13-15年左右的周期降-升周期变化。51

气温℃

49

1985~2012年宝鸡地区极端气温极47

45

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

差动态曲线如图4.31。极差随时间轴不43

断增大，特别是极端高温显著升高的

年

1993年以后，年最大温差增加的趋势明显。可见年均气温的升高主要因极端高温的升温引起。

注：：气温极差；

：滑动平均曲线

**图4.31** **宝鸡地区气温极差动态曲线**

## **4.4** 咸阳地区年气温动态变化特征

### **4.4.1** 年均气温长期变化趋势及代际差异

1961~2012年咸阳地区多年年均气温为12.46℃，年均气温以3~8年小周期波动上升，动态曲线见图4.32。以一元线性函数拟合年均气温动态曲线，拟合函数为：y-0.050x+11.11，线性拟合函数滑动t检验p值<0.05，达到显著性水平，

线性升温率0.5℃/10a。年均气温动态曲线变差系数0.074，标准差0.92℃，气温波动幅度正常。



咸阳年气温

多项式 (咸阳年气温)

线性 (咸阳年气温)

4 per. Mov. Avg. (咸阳年气温)

y = 0.0509x + 11.11

R² = 0.6857

14.5

14

13.5

13

12.5

温度℃

12

11.5

11

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

10.5

年

**图4.32** **咸阳地区年均气温动态曲线**

图4.32中以多项式拟合年均气温的动态曲线，并进行了滑动平均计算，从而分析咸阳地区年均气温的阶段性变化趋势。研究表明，咸阳地区年均气温在研究时段呈三阶段变化。第一阶段1961-1983年，气温缓慢上升，气温年际间变化

平缓，升温趋势不显著，曲线斜率为正值但数值较小；第二阶段1984-2006年，气温显著升高阶段，这一阶段，年均气温随时间波动剧烈，周期不稳定，滑动平均曲线斜率较大，气温从1983年的10.81℃，上升高2006年的14℃，23年间气温升高了3.19℃，升温幅度很大；第三阶段2006年以后，气温逐年下降趋势明显，滑动平均曲线斜率呈负值下降。

2.0

1.5

1.0

年均气温距平（℃）

0.5

0.0

1961

1964

1967

1970

1973

1976

1979

1982

1985

1988

1991

1994

1997

-0.5

2000

2003

2006

2009

2012

-1.0

-1.5

-2.0

（年份）

**图4.33** **咸阳地区年均气温距平柱状图**

咸阳地区年均气温距平柱状图（图4.33）在1961~1985年之间，除1965年为正之外，其他各年份均为负距平，负距平率高达92%，这一时段普遍气温偏低，

处于低温时段。1985年以后，年均气温主要呈正距平，正距平率92%，气温较高。距平柱高的变化也给出了年均气温的升温的证据，1985年的气温负距平-0.06℃升高到2006年1.34℃，21年间气温距平值升高了1.4℃，但随后的6年年均气温的距平柱虽依然为正值，但数值已有所减小，年均气温不再延续持续升高的态势。

咸阳年气温 气温年代均值

多年平均气温

14.5

14

13.5

13

年均气温（℃）

12.5

12

11.5

11

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

10.5

（年份）

注：：年均气温；：年代均值； ：多年均值（基准值）； ：极端气温临界值**图4.34 咸阳地区年、代、多年平均及极端气温统计曲线**

按年代分析咸阳地区年均气温动态特征，各年代平均气温与多年平均气温同绘入图4.34。各年代年均气温的动态变化参数如表4.6所示。咸阳地区各年代平均气温随时间逐级升高，60~80年代为低温时段，年代平均气温低于多年平均值，代际温度差列入表4.5最后一行，升温幅度较小。90年代的平均气温大幅升高，代际温度差高达0.93℃，21世纪的最初十年的平均气温持续高值，代际温度差

0.37，这两个年代为高温时段，年代平均温度大于多年平均值。从年均温度变化的线性趋势来看，80、90 年代升温趋势显著，线性升温率最大，气温的年际波动也较为剧烈，60、70年代年均气温以较小的幅度升温，21世纪最初十年升温趋势也较前一时段有所下降，升温幅度小的这段时间气温的年际间波动变化平缓。

**表4.6** **咸阳地区年均气温动态变化参数**

| 时段 | 近 52 年 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变差系数 Cv | 0.074 | 0.042 | 0.036 | 0.060 | 0.043 | 0.021 |
| 线性升温率（℃/10a） | 0.5 | 0.1 | 0.02 | 2.03 | 1.26 | 0.0 |
| 滑动 t 检验 p 值 | p<0.05 | p>0.05 | p>0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p>0.05 |
| 代际温度差（℃） | —— | —— | 0.29 | 0.43 | 0.93 | 0.37 |

按气候统计学中极端气温统计的相关规定，当气温时间序列标准差不足1℃

时，年均气温±1℃为极端气温的临界值，因此气温低于11.47℃、高于13.47℃，属于极端气温情况。在图4.29中绘制极端气温的两条临界直线，超出该临界值

气温的年份为统计如下。极端低温主要出现80年代及以前的气温较低时段（1962、

1963、1966、1967、1975、1982、1983年），60年代出现极低气温的年份高达四年，60年代气温均值仅比极端低温临界值高出0.04℃，可见这一时段咸阳地区处于低温偏冷的十年。极端高温出现在90年代中期及21世纪的最初十年（1994、

1997、1998、1999、2001、2002、2004、2006、2007、2009），21世纪的最初十

年中有6个年份出现极端高温，年代平均气温也高出极端高温0.06℃。

### **4.4.2** 季平均气温动态特征

1985~2012年咸阳地区四季平均温度动态曲线如图4.35(a) ~（d）所示。以线性函数拟合气温气态曲线，各季节平均气温线性变化率分别：为0.93℃/10a、0.26℃

/10a、0.16℃/10a、0.05℃/10a。四季季平均气温均呈现线性升高趋势，近春季平均气温的线性拟合通过了0.05的显著性检验。春季平均气温线性升温率高达0.93℃

/10a，线性升温率居四季之首，其次为夏秋季节，冬季平均气温无明显的线性趋势，30年间变动幅度微乎甚微。

16.0

15.5

15.0

14.5

温度℃

14.0

13.5

13.0

12.5

12.0

27.5

27.0

26.5

26.0

温度℃

25.5

25.0

24.5

24.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

23.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

15.0

14.5

14.0

13.5

温度℃

13.0

12.5

12.0

11.5

11.0

（a）春季（b）夏季

3.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

2.5

2.0

1.5

温度℃

1.0

0.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.0

-0.5

年-1.0年

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温； ：滑动平均曲线：线性拟合曲线

**图4.35** **咸阳地区四季气温动态曲线**

季平均气温的滑动平均曲线表明，春季气温1985~1995 年间无明显升高，

1995~2009年之间大幅升温，2009年以后气温有所回落。夏季和冬季平均气温均先升后降，气温变化的转折点冬季（2002年）晚于春季（1997）年。秋季平均气温线性趋势较弱，波动周期特性显著，周期约10年。各年代四季平均气温的

变化表明（图4.36），春季平均气温逐年代大幅升高，夏、冬季平均气温在80

年代到90年代之间有较大幅度的升高，随后处于较平稳的高温时段，秋季气温年代均值围绕多年平均值小幅波动。90年代是各季平均气温显著升温的时段，这导致年均气温在这一时段有较大幅度升高。

16.0

15.5

15.0

14.5

14.0

℃

13.5

13.0

12.5

12.0

27.5

27.0

26.5

26.0

25.5

℃

25.0

24.5

24.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

23.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（a）春季（b）夏季

15.0

14.5

14.0

13.5

13.0

℃

12.5

12.0

11.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

11.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

3.0

2.5

2.0

℃

1.5

1.0

0.5

0.0

-0.5

-1.0

（c）秋季（d）冬季

注：图中，：季平均气温；：气温年代均值 ：多年平均气温（基准值）

**图4.36** **咸阳地区四季气温代际均值曲线**

季节平均气温与年均气温序列的相关系数依次为：春季0.712、夏季0.553、秋季0.521、冬季0.531，仅春季平均气温与年均气温的相关性通过的0.05的显著性检验。可见年均气温的变化中春季平均气温的贡献最大，年均气温的升高主要由春季平均气温的升高引起。

### **4.4.3** 月均气温动态特征

1985~2012 年咸阳地区逐月平均气温柱及月均气温年代均值曲线关系如图

## 4.37 所示。月均气温年内变化为单峰正态分布，图形偏度系数为-0.1015，峰度系

数为-1.0004，正态曲线顶峰略偏右，坡度较缓。全年最冷月为1月，平均气温在

零度以下，峰值为7月，气温最高。

多年平均

80年代

90年代

21世纪初

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

30

25

20

15

温度℃

10

5

0

-5

月

**图4.37** **咸阳地区月平均气温及各年代均值示意图**

按年代统计各月平均气温的曲线表明，各年代7~12月的气温起伏变化不大，而2~6月平均气温年代间有较大幅度的升温，特别是季节更替的2~3月和6月，

气温的升高非常显著。进一步研究逐月气温的的线性变化趋势（图4.38）可知，全年大部分月份（除8~9月）气温升高趋势明显，特别是3、6月线性升温率高于年气温升温率。与年气温变化趋势不同的是，月均气温较高的8、9月气温为随时间轴逐渐降低。年气温的升高主要因前半年升温趋势引起。

1.2

0.8

气温线性变化率℃/10a

0.4

0

-0.4

1月

2月

3月

4月

5月

6月

7月

8月

9月

10月

11月

12月

月

**图4.38** **月均气温线性变化率**

### **4.4.4** 极端气温动态特征

42 -7

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

41 -9

40

温度℃

-11

39

温度℃

38 -13

37 -15

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

36 -17

-19

年年

（a）极端高温（b）极端低温

注：图中，：极端气温； ：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图4.39** **咸阳地区极端气温年际动态曲线**

咸阳地区1985~2012年极端高温最高值为41.7℃（2006年夏），极端低温最低值-18.6℃（1991年冬）。极端高温在研究时段内呈升温趋势，线性升温率0.56℃

/10a，与年均气温升温率基本相当，年际间波动变化较平稳；极端低温在研究时段内呈下降趋势，线性升温率-1.08℃/10a，年际间波动变化剧烈。在年均气温升高幅度不显著的同时，极端气温的非对称较大倾向率的变化，特别是在气温显著升高的1995年之后，使得夏季酷热、冬季严寒在这一地区出现的概率较高。

## **4.5** 渭南地区年均气温动态变化特征

### **4.5.1** 年均气温长期变化趋势及代际差异

1961~2012年渭南地区多年平均气温为13.4，气温动态曲线的线性拟合函数为：Y=0.042x+12.29，年均气温线性升温，升温率0.42℃/10a。年均气温波动小周期3-7年，前期周期大于后期周期。气温年际间波动变差系数0.045，近15年来气温波动变化频繁。

渭南年气温

多项式 (渭南年气温)

线性 (渭南年气温)

4 per. Mov. Avg. (渭南年气温)

y = 0.042x + 12.29

R² = 0.5875

15.5

15.0

14.5

14.0

13.5

温度℃

13.0

12.5

12.0

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

11.5

年

**图4.40** **渭南地区年均气温动态曲线**

由滑动平均曲线表现出的年均气温阶段性特征如下。1961~1969年年均气温小幅下降；1970-1983年气温波动平缓，气温基本持平，不升不降；1983年后气温急剧上升，直至2006年气温升到研究时段的最高值（15.2℃），23年时间，气温升高了3.4℃，升温幅度较大；2006年之后年均气温呈下降趋势，气温持续上升的趋势得到遏制。渭南地区年均气温阶段化趋势由多项式拟合曲线也可得到，曲线在1980年附近形成波谷，是气温变化的第一个转折点，2006年形成波峰，

是气温变化的第二个转折点。年均气温的大周期特性不显著。

2.0

1.5

年均气温距平（℃）

1.0

0.5

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.0

-0.5

-1.0

-1.5

-2.0

（年份）

**图4.41** **渭南地区年均气温距平柱状图**

渭南地区年气温距平柱状图如图4.41所示，年气温距平在平均温度±2.0℃范围内波动变化。1993年以前渭南地区整体气温较低，年气温距平基本呈负值，负距平率94%；1993年之后年气温快速回暖，19年中，仅1996年年气温为负距平外，其它各年份年气温均为正距平。

**表4.7** **渭南地区年均气温动态变化参数**

| 时段 | 近 52 年 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变差系数 Cv | 0.061 | 0.03 | 0.033 | 0.038 | 0.047 | 0.028 |
| 线性升温率 | 0.42 | -0.64 | 0.13 | 0.97 | 1.66 | 0.5 |
| 滑动 t 检验 p 值 | p>0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p>0.05 | p<0.05 |
| 代际温度差 | 1.43 |  | 0.03 | 0.04 | 0.97 | 0.65 |

各年代平均气温动态变化参数如表4.7所示。年均气温时间序列的变差系数

能够较好的描述气温阶段性波动的程度，显然气温显著升高的90年代气温波动剧烈、80年代次之，60年代、70年代和21世纪初气温的波动较为平缓，同时气温变化线性趋势也未达到显著性水平。各年代平均气温差值年代间差异也较大，年代间平均温度与年气温、多年平均温度之间的关系如图4.42所示。60-80年代平均温度低于多年平均温度，且各年代间气温变化幅度不大，90 年代平均气温较80年代平均温度升高了0.97℃，是升温最剧烈的时段，21世纪初平均气温较

90年代平均温度升高了0.65℃，升温幅度仅次于前一时段，气温升高也非常明

显，进入2011年，平均气温开始下降，但90年代开始年代平均气温均大于多年

平均气温，年气温处于高值时段。

15.5

15.0

年均气温（℃）

14.5

14.0

13.5

13.0

12.5

12.0

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

11.5

（年份）

注：：年均气温；：年代均值； ：多年均值（基准值）； ：极端气温临界值**图4.42 渭南地区年、代、多年平均及极端气温统计曲线**

### **4.5.2** 季平均气温动态特征

16.5

15.5

温度℃

14.5

13.5

12.5

28.0

27.0

26.0

温度℃

25.0

24.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

23.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

年年

（a）春季（b）夏季

16.0

15.5

15.0

14.5

温度℃

14.0

13.5

13.0

12.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

12.0

年

3.5

3.0

2.5

2.0

温度℃

1.5

1.0

0.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.0

-0.5

-1.0

年

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | （c）秋季 | （d）冬季 |  |
| 注：图中， | : 季平均气温 ； | ：滑动平均曲线 | : 线性拟合曲线 |

**图4.43** **渭南地区四季气温动态曲线**

渭南地区1985~2012年四季平均温度的线性变化趋势都呈现为升温，各季节平均温度动态曲线如图4.43（a）~（d）所示。四季平均气温的一元线性拟合曲线斜率分别为1.18℃/10a、0.53℃/10a、0.54℃/10a、0.34℃/10a，春季升温最显

著，线性升温率高达，夏秋次之，冬季升温幅度较小。各季节平均温度的阶段性变化各有不同，春季持续升温趋势显著，1985~1993年间为春季平均温度缓升阶段，1994~2009年间为春季气温快速升高阶段；夏季平均气温自1985年到1998

年快速升高，而1998年后升温趋势改变，随后的一段时间季平均气温小幅波动无明显的升降趋势，甚至有小幅降低；秋季平均气温周期性与趋势性复合，持续升温趋势较为显著，达到了0.05的显著性检验，线性升温率与年气温线性变化率基本相同；冬季气温的阶段变化特征与夏季类似，但由快速升温而逐渐转缓的突变点比夏季略有延迟，为2002年，冬季升温阶段的延续时间较长。季节平均气温的年际变化剧烈程度冬春季波动剧烈、夏秋季波动平缓。

四季平均气温的年代均值动态特征由图4.44可得到，各季节年代平均气温呈阶梯装升温，春季年代间气温身高1℃左右，升温幅度最大。夏季平均气温在

80年代到90年代之间有较大幅度升高，之后的20年维持在一个持续高温时段。秋、冬季节平均气温年代间升温幅度不大，匀速升高。四季平均气温的共同特点是90年代开始大幅升高，本世纪初的十年平均气温远高于多年平均值，处于高

温时段，但2010年后季平均气温均开始小幅回落。

16.5

季平均气温（℃）

15.5

14.5

13.5

12.5

28.0

27.0

季平均气温（℃）

26.0

25.0

24.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

23.0

16.0

15.5

季平均气温（℃）

15.0

14.5

14.0

13.5

13.0

12.5

12.0

（年份）

（a）春季（b）夏季

3.5

3.0

季平均气温（℃）

2.5

2.0

1.5

1.0

0.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0.0

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

-0.5

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

（年份）

（年份）

（c）秋季（d）冬季

（年份）

注：图中，：季平均气温；：气温年代均值 ：多年平均气温（基准值）

**图4.44** **宝鸡地区四季气温代际均值曲线**

季节平均气温与年均气温序列的相关系数依次为：春季0.843、夏季0.705、秋季0.714、冬季0.54，除冬季外，其他三个季节平均气温与年均气温的相关性通过的0.05的显著性检验。可见年均气温的变化中春季平均气温的贡献最大，夏秋次之，年均气温的升高主要由这三个季节平均气温的升高引起。

### **4.5.3** 月均气温动态

1985~2012年渭南地区逐月平均气温柱及各年代月均气温变化曲线如图4.45所示，气温的年内分为曲线为正态曲线，全年月平均气温均在零度以上。图形偏度系数为-0.1489，峰度系数为-0.9993，正态曲线顶峰略偏右，坡度较缓。

月均气温的年代变化曲线显示，各年代2~6月气温变化剧烈，主要是随研究时间的延续，气温不断升高，后半年7~12月气温总体变化平稳，仅10月气温在

21世纪初有较大增长。可见年气温升高主要由2~6月气温的升高引起。

多年平均

80年代

90年代

00年代

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10 月 11 月 12 月

30

25

20

15

温度℃

10

5

0

-5

月

**图4.45** **渭南地区月均气温年代值柱状图**

研究逐月气温的的线性变化趋势

（图4.46）可知，除1月外，全年其他各月气温均线性升高，各月线性升温率年内呈双峰分布，冬春之交的3月和秋

冬之交的11月形成线性升温的两个峰值。月均气温较高的7~9月平均气温的

1.4

1

气温线性变化率℃/10a

0.6

0.2

-0.2

1月

2月

3月

4月

5月

6月

7月

8月

9月

10月

11月

12月

月

升温率却数值较小，升温幅度不大。**图4.46 月均气温线性变化率**

### **4.5.4** 极端气温的动态特征

1985~2012年渭南地区极端高温最高值42.8℃（2006年夏），极端低温最低

值-16.7℃（1991年冬）。极端气温均呈线性升温趋势，极端高温线性升温率0.79℃

/10a，极端低温线性升温未达到显著性水平，升温速率也小与年均气温的升温率，仅为0.31℃/10a。极端高温增长速率较快，这也是年均气温升高的一方面原因。

43 -7

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

42

-9

41

温度℃

40 -11

温度℃

39

38 -13

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

37 -15

年-17

年

（a）极端高温（b）极端低温

注：图中，：极端气温； ：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图4.47** **渭南地区极端气温年际变化曲线**

极端气温的不对称变化使得，年气温极差不断增大（图4.48），特别是在气温显著升高的1993年之后，年气温极差的持续增加。

56

54

52

温度℃

50

48

46

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

44

年

注：图中， ：气温极差；：线性拟合曲线；：滑动平均曲线

**图4.48 渭南地区气温极差动态曲线**

## **4.6** 关中地区气温时空演变特征

### **4.6.1** 年气温分析

##### （1) 时间特征

关中地区1961-2012年期间，年均气温上升趋势显著，年均气温动态曲线如

图4.49所示。以一元线性函数拟合平均气温动态曲线，可知关中平均气温的线性升温率高达0.44℃/10a。据IPCC第四次气候评价报告及前人研究成果数据，自1940年来，北半球线性升温率0.003℃/10a，近50年中国线性升温率0.124~0.188℃/10a，自1960年来黄河流域线性升温率0.15℃/10a，陕西省近50

年来线性升温率0.172℃/10a。与上述数据相较，关中地区近50年来线性升温速率远大于全国及陕西省平均水平，属于年均气温显著升高的区域。



关中平均气温

线性 (关中平均气温)

4 per. Mov. Avg. (关中平均气温)

y = 0.0445x + 11.415

R² = 0.65

15.0

14.5

14.0

13.5

温度℃

13.0

12.5

12.0

11.5

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

11.0

年

**图4.49** **1961~2012年关中地区年均气温动态曲线**

为消除气温年际变化中的突变因素，对关中平均气温求解滑动平均值，连接成光滑曲线（虚线），平均气温在1961~1984年之间波动变化但线性升温趋势不明显，滑动平均曲线斜率趋近于零；1984~2006年平均气温快速升高，从1984年的11.3℃升高到2006年的14.3℃，23年时间平均气温上升了3℃；2006年至今升温趋势减缓，平均气温缓慢下降但仍处于高温时段。

关中地区平均气温年代际动态变化参数如表4.8所示。60年代年均气温降温趋势显著，年代间气温以较大速率降低，70年代年均气温的趋势性不显著，气温年代均值与60年代相比无明显变化，这两个年代，年均气温距平均为负值，属气温较低的时段。80年代开始，气温大幅升高，线性升温率远高于多年平均水平，90 年代依然延续这种持续升温态势，且平均气温较上一个年代升高了近

1℃，本世纪初的十年，虽然气温升高速率已大幅降低，但气温均值依然较高，

80年代后，关中气温进入高值时段，各年份降水量具体也大体呈现正距平变化。

**表4.8** **1961~2012年关中平均气温动态参数**

| 时间 | 60s | 70s | 80s | 90s | 00 年代 | 52 年 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 平均值（℃） | 11.9 | 12.0 | 12.2 | 13.1 | 13.7 | 12.6 |
| 变化速率（℃/10a） | -0.4 | 0.04 | 1.30 | 1.45 | 0.12 | 0.44 |
| 是否通过显著性检验 | 是 | 否 | 是 | 是 | 否 | 是 |
| 正距平年份（年） | 0 | 0 | 3 | 8 | 10 | 21 |
| 负距平年份（年） | 10 | 10 | 7 | 2 | 0 | 29 |

##### （2) 空间特征

**表 4.9** **关中地区气温动态参数空间分布**

| 动态参数 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 气温均值（℃） | 13.93 | 10.7 | 12.49 | 12.46 | 13.4 |
| 线性升温率（℃/10a） | 0.42 | 0.11 | 0.76 | 0.5 | 0.42 |
| 滑动 t 检验 p 值 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.001 | p<0.05 | p>0.05 |
| 变差系数 CV | 0.062 | 0.048 | 0.1063 | 0.074 | 0.045 |

由1961-2012年关中各地年均气温动态曲线及动态变化参数（表4.9）数据可以得到以下结论。关中地区多年平均气温值由高到低的空间排序依次为西安地区＞渭南地区＞宝鸡地区＞咸阳地区＞铜川地区。从年均气温值的空间分布上看

（图4.50a），气温最高的点在关中中东部西安地区、渭南地区，气温最低点在北部铜川地区，空间分布大体呈现东部平均气温大于西北部平均气温，平均气温随纬度升高而不断降低。



(a)气温均值（单位：℃）（b）气温线性变化率（单位：℃/10a）



（c）气温变差系数

**图4.50** **关中地区年均气温空间特征**

各地年均气温表现为周期性的波动和升高趋势，年气温升温趋势通过了显著性检验，线性升温率云图中（图4.50b），点的大小表示线性升温率的高低，各地年均气温的升温速率高低依次为：宝鸡地区＞咸阳地区＞西安地区＞渭南地区＞铜川地区，气温增长最快的是西部地区宝鸡地区；其次是中东部地区的咸阳地区、西安地区、渭南地区；铜川地区的增温趋势最不显著，小于全国和全省的平均水

平。气温线性升高速率南部大于北部，西部大于东部地区。

在年均气温的升温过程中，各地气温的年际间波动幅度也存在差异，这一差异用各地年均气温序列变差系数可描述。各地气温波动变差系数云图中（图

4.50c），以深色表示气温波动剧烈，浅色较为平缓。线性升温速率最高的宝鸡地区，年均气温波动变化剧烈，出现多个波峰和波谷且幅值较大；渭南地区气温波动变化最为平和，年均气温距平在-1.5~1.5℃之间变化，仅个别年份出现较大峰值。气温波动剧烈程度次序为：宝鸡地区＞咸阳地区＞西安地区＞铜川地区＞渭南地区，该参数的空间特征与年均气温升温率参数具有一致性，关中西部地区大于东部地区。

各地年均气温的阶段性特征类同，以3~8a小周期波动振荡，在1984年左右发生转折，转折点前后的动态变化参数如表4.10.1984年以前，除咸阳地区外各地气温都线性降低，咸阳地区气温基本持平，各地气温均值距平在-0.6~-1.27℃，气温呈南高北低的态势，东部地区降温速度高于西部地区。1984 年以后为各地年均气温快速升高阶段，各地平均气温均高于平均值，气温均值距平在0.37-1.02℃之间，线性升温率数值较大，西安地区的线性升温率高达1.15℃/10a，平均气温依然是南高北低，但宝鸡地区线性升温率较高，仅次于西安地区，气温升高线性变化率从西到东，由南向北逐渐减小。2006 年之后，各地气温明显回落，虽然平均温度依然高于多年平均值许多，但气温的变化趋势均转而成为降温，且线性降温率绝对值高于上一个降温时段（1961-1984年），高温时段升温迅速的西南部宝鸡地区西安地区降温最为显著。

**表 4.10** **关中各地突变点前后平均气温动态变化参数**

| 区域 |  | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 线性趋势（℃/10a） | -0.2 | -0.15 | -0.06 | 0.02 | -0.17 |
| 1961-  1984 | 均值（℃） | 13.33 | 10.51 | 11.22 | 11.61 | 12.77 |
|  | 距平（℃） | -0.6 | -0.19 | -1.27 | -0.85 | -0.63 |
|  | 线性趋势 | 1.15 | 0.57 | 1.04 | 0.76 | 0.96 |
| 1984-  2006 | 均值 | 14.30 | 10.87 | 13.51 | 13.14 | 13.8 |
| 距平 | 0.37 | 0.17 | 1.02 | 0.68 | 0.4 |
|  | 线性趋势 | -1.94 | -1.89 | -2.23 | -1.57 | -1.25 |
| 2006-  2012 | 均值 | 14.99 | 10.82 | 13.89 | 13.33 | 14.47 |
| 距平 | 1.06 | 0.12 | 1.4 | 0.87 | 1.07 |

关中各地气温年代均值显示，80年代以前平均气温的代际差较小，气温小幅攀升；80年代后平均气温快速升高，波动较为剧烈，气温代际差较大。查阅相关研究资料表明，全国平均气温的显著升高也始自80年代后期，关中地区的气温年代变化也符合这一特点，并略早于全国平均水平。

将关中各地各年代平均气温与关中平均水平进行比较（表4.11），西安地区、渭南地区两地各年代气温均值均高于关中地区平均水平，铜川地区、咸阳地区两地各年代气温均值均低于关中地区平均水平，宝鸡地区在前期气温年代均值低于

区域平均水平，后期这一差值由负变正，特别是近20年的气温均值比区域平均水平高出近0.5℃。与之相对，铜川地区的这一差值正在逐年降低，成为关中地区的冷中心。可以看到随年代的推移，关中北部地区气温较低这一事实

**表4.11** **关中各地气温年代均值距平（单位：℃）**

| 年代 | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 60s | 1.49 | -1.36 | -0.73 | -0.4 | 0.90 |
| 70s | 1.37 | -1.37 | -0.68 | -0.21 | 0.85 |
| 80s | 1.12 | --1.84 | -0.09 | 0.02 | 0.68 |
| 90s | 1.15 | -2.17 | 0.42 | 0.05 | 0.72 |
| 近十年 | 1.49 | -2.6 | 0.43 | -0.18 | 0.77 |

没有改变，但变暖区域正在逐渐由东南向西南进深。

1961~2012年的近52年间，关中各地年均气温动态特征的周期性不显著，无明显的大周期，但阶段性变化趋势说明，气温的变化也具有降-升-降的周期特点。同时各地气温动态曲线的一元线性拟合决定系数R2的数值，也说明趋势性的升温、降温并未在各地各时段均达到显著性水平。因此，在研究时段内关中地区气温普遍升高是不争事实，但由各地气温变化的序列动态特征很难做出气温持续升高的结论，气温变化在关中地区也受到诸多因素的影响，存在不确定的波动特性。

### **4.6.2** 年内气温分析

##### （1) 季平均气温空间特征

关中各地四季平均气温及其动态变化参数如表4.12所示。表中第一组数据为四季平均气温的空间分布。春、秋季最高气温在渭南地区出现，夏季高温之最在西安地区，冬季高温中心是宝鸡地区，而铜川地区四季均为关中地区的低温中心。总的来说，西安地区、渭南地区两地是关中各季节平均气温的榜首，宝鸡地区因靠近南部ft区，冬季气温较高，形成冬季的高温中心。

**表4.12** **关中各地四季气温参数**

| 地区 |  | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 春 | 14.65 | 11.65 | 14.41 | 13.81 | 14.92 |
| 平均  气温  ℃ | 夏 | 25.81 | 22.17 | 24.76 | 25.28 | 25.8 |
| 秋 | 13.67 | 10.81 | 13.45 | 13.03 | 13.79 |
|  | 冬 | 1.44 | -1.25 | 1.92 | 0.76 | 1.48 |
|  | 春 | 0.65 | 0.64 | 0.11 | 0.93 | 1.18 |
| 气温  变化率  ℃/10a | 夏 | 0.21 | 0.07 | 0.45 | 0.26 | 0.53 |
| 秋 | 0.44 | 0.09 | 0.34 | 0.16 | 0.54 |
|  | 冬 | 0.51 | 0.16 | 0.18 | 0.05 | 0.34 |
|  | 春 | 1.362 | 0.862 | 1.196 | 0.994 | 1.194 |
| 气温  变 化 标准差 | 夏 | 0.981 | 0.621 | 0.916 | 0.733 | 0.903 |
| 秋 | 1.148 | 0.789 | 0.807 | 0.743 | 0.827 |
|  | 冬 | 1.197 | -1.084 | 0.922 | 0.818 | 0.836 |

图4.51(a) ~（c）为利用数字化地图绘制的春、夏、秋三季节，关中地区平均气温空间分布云图。红色系为春夏的高温区域，蓝色系为低温区域。这三个季平均气温空间分布具有一定的类同性，均为东南部气温高于西北部地区。这一分布特征与控制关中地区气温的副热带高压，进入关中地区路径以及随纬度升高气温降低的规律一致。冬季高温中心在宝鸡地区，宝鸡地区偏南的纬度和狭长的地貌造就了它的暖冬气候，在冷空气逐步南移的影响下，关中冬季气温从南到北逐渐降低的趋势不变。四季平均气温的空间分布分布与多年平均气温的分布特征基本一致，表明关中地区影响气温空间分布的主要因素是纬度和季风，地形因素也对气温的变化产生一定的影响。另外西安地区四季平均气温的高值，与这一地区人口密度、工业生产规模和农业生产有一定的关系，作者在后续章节中给予相应的分析。





(a)春季平均气温（单位：℃）（b）夏季平均气温（单位：℃）



**(a)**秋季平均气温（单位：℃）（d）春季气温变化率（单位：℃/10a）**图4.51关中季平均气温动态参数空间分布图**

关中地区四季平均气温倾向率，如表4.12中第二组数据所示。四季气候倾向率的空间分布特征为，春季为各地线性升温速率最高的季节，仅宝鸡地区例外，春季各地平均气温升温的空间分布情况如图4.47（d）所示，渭南地区气候倾向率数值最大，升温趋势最显著，其次为咸阳地区，铜川地区、西安地区的线性升温倾向率数值基本相当，以同速率升温，宝鸡地区春季的升温趋势不显著。从空间上春季气温的线性倾向率空间分布规律性不强，大体具有东部高、西部低的特点。渭南地区夏秋季节的气候倾向率数值依然最大，是气温升高幅度最大的地区，但宝鸡地区夏季的升温速率却是一年中最大的季节，宝鸡地区气温的升高主要因夏季气温不断攀升所致。冬季西安地区气温升温率先高居榜首，这与西安地区冬季极端低温的升高密不可分，究其原因也与西安地区人为因素造成的空气中CO2浓度过高，温室气体效应息息相关。总体来看次之；四季线性升温率也依然表现为东部地区略高于西部地区，南北方向上沿纬度升高而减小的特点。

各地四季气温年际间波动程度用气温时间序列标准差（表4.10第三组数据）进行分析。季平均气温波动变化最剧烈的是西安地区，四季平均气温标准差均位列第一。铜川地区、咸阳地区四季平均气温的波动变化平缓。从季节上来看，升温最为显著地春季各地气温波动均较为剧烈，夏季气温的波动标准差最小。数据分析表明，气温的波动变化与气温的升高有密切联系，季平均气温快速的升温过程必然导致气温的大幅度波动，气温低的季节和地区则没有如此强烈的气温波动。

综上所述，四季平均气温、气温和标准差的空间分析结果显示。关中四季平均气温的空间变化与年均气温的变化具有较好的一致性，空间差异的形成主要考虑纬度因素、季风因素和地形因素。季平均气温线性倾向率的分析结果表明，年均气温的升高主要因春季升温引起，只有宝鸡地区例外，线性升温率亦因纬度升

高而逐级降低，当然人文因素造成的温室气体效应也不可忽视。升温迅速的地区气温波动剧烈，季平均气温在剧烈波动中升高，气温平稳变化的季节线性趋势也因此减弱。

##### （2) 月平均气温空间特征

西安

铜川宝鸡咸阳渭南

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

30

25

20

15

气温℃

10

5

0

-5月

**图4.52** **1985~2012年关中各地月均气温柱状图**

关中各地近30年逐月平均气温如图4.52所示。年内气温高温峰值为7月，低温峰值为1月。西安地区全年各月气温均为地区之最，渭南地区4~10月气温仅次于西安地区，11月到次年3月宝鸡地区成为高温区域的第二名。高温区域在春夏偏东南，秋冬偏西南。北部的咸阳地区、铜川地区各月气温均较低。

各地月均气温的线性变化率如图4.53所示。图中曲线均为双峰型，气温线性变化率在3~5月和10~11月分别存在峰值，年均气温在各地的升高主要由前半年的2~6月以及下半年的10~11月升温而引起，气温最高的7~9月气温并未大幅升高，甚至还有降温趋势。

从空间上来看，西安地区各月气温的升温倾向率基本均为最大值，升温最快的是4月，而其他地区升温最快的是3月，宝鸡地区渭南地区这一月份的升温速

率超过西安地区。可以考虑在普遍回暖的三月份，太阳辐射形成的地面升温是3月大幅升温的驱动力，但西安地区由于温室气体的影响，太阳辐射的热量比其他地区晚形成升温的高点。



西安

铜川

宝鸡

咸阳渭南

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10 月 11 月 12 月

2

1.5

气温线性变化率℃/10a

1

0.5

0

-0.5

月

### **4.6.3** 极端气温分析

**图4.53** **1985~2012年关中各地月气温倾向率**

**表4.13** **关中各地极端气温及其年份**

|  | 地区 | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 极端  高温 | 极值（℃） | 42.9 | 37.7 | 41.7 | 41.7 | 42.8 |
| 极值年份 | 2006 | 1998、2006 | 2006、2007 | 2006 | 2006 |
|  | 线性倾向率（℃/10a） | 0.82 | 0.22 | 0.68 | 0.56 | 0.79 |
| 极端  低温 | 极值（℃） | -14.7 | -17.5 | -16.1 | -18.6 | -16.7 |
| 极值年份 | 1991 | 2009 | 1991 | 1991 | 1991 |
|  | 线性倾向率（℃/10a） | 0.89 | -0.75 | -0.20 | -1.08 | 0.31 |

关中各地极端气温的极值和极值年份分别列入表4.13。极值气温的出现在全区域具有较好的时间一致性，除铜川地区在2009年出现极端低温外，其他各地的极端低温均出现在年均气温偏低的90年代初期，1991年；极端高温出现在年均气温的峰值年份2006年，可见极端气温与年均气温的变化具有较好的同步性。

各地极端气温倾向率的数值也列入表4.13中。极端高温的倾向率东南部高于西北部地区，沿纬度升高而减小的趋势依然存在，西安地区依旧是升温的最高点。极端低温在咸阳地区、铜川地区、宝鸡地区有降温趋势、仅西安地区、渭南地区两地极端低温的倾向率为正值，东南部地区年均气温的极差在缩小，西北部地区极差增大（图4.54）。同时也表明，关中东南部气温升高也在一定程度上因低温的不断升高形成。



西安

咸阳

铜川

渭南

宝鸡

59

55

51

气温（℃）

47

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

43

（年份）

**图4.54** **关中各地年气温极差曲线**

各地极差曲线关系显示，关中地区北部年均气温极差大于南部。由于极端低温的升温趋势，西安地区和渭南地区的年均气温极差不断缩小，宝鸡地区的极差有较为明显的增大趋势，这是因宝鸡地区极端高温快速升温造成。因此可以说关中南部的三个区域年均气温升高的线性倾向率最大，但东部地区主要由低温升高引起，西部地区主要由高温升高引起。关中北部的咸阳地区和铜川地区，年均气温的极差无明显的变化。

### **4.6.4** 气温动态参数

##### （1) 年气温序列相关性

由前所述分析结论可知，关中各地气温时间序列具有一定的类同性，但个别地区也存在差异。气温的变化在关中地区是否具有同一性，又或者气温的变化特点可以分为几类来描述，这一可通过用相关性分析来解决。

##### （1) 年均气温相关分析

关中地区年气温时间序列相关系数矩阵如表4.14所示。表中各地气温时间序列的Pearson相关系数和spearman相关系数，在置信度为0.01时达到显著相关的水平。按照相关文献中两组变量相关系数r <0.4为弱相关，0.4≤r≤0.8为中等相关，0.8≤r为强相关的规定可知，各地气温的相关性较强，按照相关系数的大小，西安地区、渭南地区气温相似度较高、宝鸡地区、咸阳地区相似度较高、铜川地区气温时间序列与其他各地气温时间序列近达到中等相关的程度。因此对关中地区的气温可按照东部地区、西部地区及北部地区来进行分析。

**表4.14** **关中地区年气温时间序列相关系数**

|  |  | Pearson 相关系数 | | |  |  | spearman 相关系数 | | |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地区 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| 西安 | 1 | 0.796 | 0.882 | 0.777 | 0.964 | 1 | 0.813 | 0.902 | 0.745 | 0.955 |
| 铜川 | 0.796 | 1 | 0.647 | 0.560 | 0.789 | 0.813 | 1 | 0.690 | 0.555 | 0.769 |
| 宝鸡 | 0.882 | 0.647 | 1 | 0.910 | 0.909 | 0.902 | 0.690 | 1 | 0.887 | 0.926 |
| 咸阳 | 0.777 | 0.560 | 0.910 | 1 | 0.825 | 0.745 | 0.555 | 0.887 | 1 | 0.817 |
| 渭南 | 0.964 | 0.789 | 0.909 | 0.825 | 1 | 0.955 | 0.769 | 0.926 | 0.817 | 1 |

##### （2) 月均气温相关性分析

关中各地月均气温相关系数矩阵如表4.15所示。表中数据均为在置信度为

0.01时，相关性达到极显著相关的水平，各地月气温年内分布规律一致性较高。

**表4.15** **关中地区月均气温时间序列相关系数**

|  |  | Pearson 相关系数 | | |  |  | spearman 相关系数 | | |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地区 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 | 西安 | 铜川 | 宝鸡 | 咸阳 | 渭南 |
| 西安 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.993 | 0.993 | 0.986 | 1 |
| 铜川 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.993 | 1 | 1 | 0.993 | 0.993 |
| 宝鸡 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.993 | 1 | 1 | 0.993 | 0.993 |
| 咸阳 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.986 | 0.993 | 0.993 | 1 | 0.986 |
| 渭南 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1 | 0.993 | 0.993 | 0.986 | 1 |

##### （2) 年气温趋势性

①气温趋势系数

气温趋势系数表示气温长期趋势变化的方向和程度。以逐年时间为递增序列，用1、2、3……n表示，如果n个时刻所对应的气温序列与时间序列显著相关，表示气温存在明显的增加或减少趋势，气温趋势系数可由式（4.1）计算。

*rxt*

*n*

(*xi* *x*)(*i**t*)

*i* 1

(*xi*  *x*)2 (*i*  *t*)2

*n*

*n*

*i* 1

*i* 1

（4.1）

式中，*xi*为第*i*年气温值；*x*为气温均值；*i*为时间值；*t*(*n* 1) 。

2

气温趋势系数*rxt*为无量纲量，可以根据其大小比较不同的气象要素长期趋势的大小。根据回归理论，气候趋势系数*rxt*与气候倾向率**1之间存在如下关系。

**1 *rxt* (*Sx* )

*S*

*t*

式中，*S x*、*St*为气温序列、时间序列均方差。

（4.2）

由式（4.1）和式（4.2）计算得关中各地年均气温趋势系数及倾向率，如表

4.15所示。

**表4.16** **关中各地年气温时间序列气候趋势系数**

| 地区 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 趋势系数 | 0.729\*\* | 0.3397\* | 0.8609\*\* | 0.828\*\* | 0.7665\*\* |
| 气候倾向率 | 1.114 | 0.307 | 2.018 | 1.348 | 1.113 |

表中数据表明，宝鸡地区年均气温升温趋势显著，气温趋势系数最高0.8609，并通过了99%的置信度检验；西安地区、咸阳地区、渭南地区三地存在升温趋势，同样通过了99%的置信度检验；铜川地区气温升温趋势不显著，仅通过了95%的置信度检验。气候倾向率数值也表明宝鸡地区的年均气温升温最显著，铜川地区年均气温线性倾向率并不显著。

②累积距平曲线趋势分析



西安

铜川

宝鸡

咸阳

渭南

5

0

-5

-10

气温℃

-15

-20

-25

-30



-35

年

**图4.55** **关中各地年气温累积距平曲线**

关中各地年气温累积距平曲线如图4.55所示，累积距平曲线斜率也给出时间序列的趋势性。各地年均气温累积距平曲线说明各地气温变化均经历了下降-升高两个阶段。铜川地区年均气温变化趋势在两阶段均不显著，宝鸡地区气温变化趋势最明显。咸阳地区和宝鸡地区气温变化累积距平曲线相似度最高，气温的变化趋势一致。渭南地区、西安地区的气温变化趋势基本完全相同。由累积距平

曲线所获得的各地气温变化与气温趋势系数所得结论一致。

##### （3) 年气温突变分析

累积距平曲线还可获得期气温时间序列变化的突变点信息。由图4.49可知，

关中各地的气温在80年代到90年代中期这段时间均出现了气温由降低到升高的

突变点。关中西部宝鸡地区和咸阳地区气温的突变转折出现较早，宝鸡地区1984

年，咸阳地区1985年。中东部地区的西安地区、渭南地区、铜川地区，气温出

现突变转折点比西部地区晚8年左右，突变点在1993年。

## **4.7** 小结

1. 1961~2012关中地区年均气温表现为线性升温趋势性和阶段性跃变特征，除铜川地区外，其他各地的线性趋势通过了0.05的显著性检验，各地气温的阶段特征具有较好的同一性，1984年为各地气温越变的转折点，与全国气温升高的转折点相比略早一年。

2. 70年代及以前为关中低温时段，80年代至今各地气温大幅攀升，进入高温时段。

3. 关中各地的年均气温的未变现为明显的周期特性，但阶段性“降-升-降”特征符合周期特点，气温持续升高现象在关中地区不具有一贯性，特别是2007年至今，各地气温升高趋势减缓，局地气温还出现下降趋势。未来气温发展趋势很难做出定论。

4. 高温区域不断向西拓展，北部气温无明显变化是关中地区气温变化的新趋势。

5. 春季气温在剧烈波动中显著升高，是年气温的升高主要原因。

6. 关中地区气温时空演变的影响因素众多，主要表现为：

①关中地区气温自东向西、由南到北依次降低，气温的南北差异与纬度一致，东西变化表现出明显地受季风影响的特征。西安地区气温持续为该地区高值，城市热岛效应显著。

②依ft盆地的地形和狭长的地貌造成宝鸡地区夏季升温幅度较大，形成新的高温中心。

③西安地区极端低温的升温趋势显著，与人为因素造成的大量温室气体排

放形成的保温层有一定的关系。

④年内气温自冬至秋，高温中心从西向东移动，高温中心空间变化与西南暖湿气流的和蒙古高压的交替控制密切相关。

7. 关中地区气温的未来发展趋势的分析预测，需综合考虑纬度、地形地貌、季风、人为因素等，才能得到客观的分析结论。

# **5.** 降水与气温关联特征

自上世纪初，为数众多的专家提出，全球气候变暖，大部分地区降水量随之减少，并取得了大量的数据支持。也有专家学者同时提出，全球气温普遍升高是不争事实，但降水量的变化，在北半球特别是中纬度地区有较强的地域性。国家气候变化对策协调小组办公室编著的《全球气候变化——人类面临的挑战》[104]一书中就指出，我国平均气温变暖的幅度由南向北增加，但不少地区降水出现增加趋势，仅华北和东北南部等一些地区出现继续变干的趋势。施雅风等[119]院士提出，全球变暖导致水汽循环复杂化，可能形成我国西北出现降水与径流增加。因此，降水与气温的变化关系相关与否，是否产生相互影响，是气候研究领域内又一个悬而待决的问题。

李佩成院士对我国大陆黄河流域、长江流域、新疆内陆河流域、西藏地区和东北地区具有代表性的22个站点的观测数据进行了客观的分析，表明降水与气温之间的相关关系并不显著，这两个气候要素的变化可能还受制于某一些重大因素的影响[10]。

气候要素的变化有其随机特性，要素之间的关联程度，在不同区域也必将表现出不同的影响程度。本章基于关中地区降水和气温动态特征分析的成果，进一步研究两者相关性及其动态特征，重点解决关中地区降水与气温这两个气象要素，在年均水平、阶段性水平和季节水平上的关联关系，确定的不同时空条件下，关中地区气候特点。

## **5.1** 气候序列关联的概念

关联主要指两事物之间有机的联系，也可理解为事物内部因素之间所发生的相关关系。关联分析是对两事物之间或事物内部因素之间关系的密切程度，给出一个定量的描述的一种分析过程。

降水和气温是气候变化事件中的两个重要因素。在气候变化过程中，两因素之间是否存在相互作用或相互影响的关系，相关关系的密切程度如何，对于气候变化的研究中重要价值。

气候变化过程中，气温升高引起大气中水汽含量发生改变，同时也可改变大

气环流的强度和方向，进而影响降水量变化。现代气候研究的结论往往将两者相提并论，形成了“暖干”、“暖湿”等气候类型的定义。那么气温变化与降水量丰枯之间是否存在必然联系，这种联系的密切程度如何呢？可以用气候变量序列的统计相关性和动态相关性进行研究。

两变量之间的相关关系可以分为：函数相关关系和统计相关关系。函数相关关系是变量之间的一种确定性关系，即一个变量的数值部分或完全由另一个变量的数值和两者之间的函数关系式所确定。这种函数关系式可以是线性函数、多项式函数或各种常见函数形式。两变量与函数关系之间的相关程度以相关系数来觉得，相关系数即可用于描述两变量依函数关系的相关程度。

统计相关关系主要指，忽略时间因素后，两变量之间存在的不完全确定的依存关系。在统计分析过程中，大部分变量存在非线性和随机性，这样的变量两两之间的关系就很难以某种确定性函数来描述，这时就可进行统计相关分析，由此得到的两变量之间的关系密切程度以相关系数这一物理量来表达。

变量之间的回归相关关系，根据相关函数选取的不同，可以分为线性相关和非线性相关。如果两变量之间的关系，可近似的以一条直线来描述，则称为线性相关；若变量之间的关系表现为一条曲线，则称之为非线性相关或曲线相关。

对于线性相关，根据两变量之间相关方向的不同，或者线性相关函数截距的正负，其相关关系分为正相关和负相关。正相关指两个变量之间同方向变化，具有一致的同增或同减；负相关指两个变量的变化趋势相反。如降水量与气温在研究时段内同增即为正相关，反之即为负相关。

相关性并不是普遍存在的特性，根据相关系数计算的结果不同，降水和气温变量之间的相关关系存在：完全相关、不完全相关和完全不相关三种。两个变量彼此独立，数量变化毫无关系这种情况称为不相关；一个变量的数值完全由另一个变量的数量变化所确定则称之为完全相关；介于两者之间的关系呈为不完全相关。在气候变化的研究中，用相关系数这样一个物理量，来衡量降水与气温两要素之间的相关程度，。

## **5.2** 降水与气温长序列回归关联分析

### **5.2.1** 地区年均降水量和气温的回归关联特征

基于回归关联的概念，利用关中年降水量和年均气温数据建立研究时间范围内关中地区降水与气温的回归模型。以年均气温为x轴，年均降水量为y轴，得到降水量和气温散点图，如图5.1所示。

对图中散点进行一元线性函数和二次函数拟合，图中实线为最小二乘法拟合散点的回归一次和二次曲线。



注：图中，水平坐标：年均气温；竖向坐标：年降水量；实线：线性拟合函数；虚线：二次拟合函数

**图5.1** **关中地区降水与气温拟合曲线**

图5.1中，散点基本集中在线性拟合曲线两侧，但有一定的分布范围和宽度，相关系数*R*（一次）=0.292。查相关系数表，研究数据为52年，当n=50时，*R*0.01=0.354, *R*0.05 =0.273。

降水量与年均气温的线性拟合相关系数满足式5.1。两者线性相关性通过了

0.05的显著性检验，也就是说年降水量随年均气温升高而线性减少的假定可以接受。

*R*0.01*R*（一次）*R*0.05

（5.1）

同样对二次多项式拟合回归方程，进行统计量的分析可知，降水与气温的二次拟合相关系数满足是5.2。

*R*0.01*R*（二次）*R*（一次）*R*0.05

（5.2）

二次函数相关关系也通过了0.05的显著性检验。关中地区降水量与气温的二次函数关系比线性函数关系相关程度更大。关中地区降水和气温之间更为准确的相关关系可描述为，在气温较低时，降水量随气温的升高而有所减少，当达到二次曲线的拐点后（一般是平均气温所对应的点），气温升高降水量不再持续减少，而小幅增加。

### **5.2.2** 降水量和气温关联性的空间特征

按照上述回归相关分析的过程，绘制关中各地年均气温和年降水散点图及回归曲线如图5.2所示，线性及二次函数相关系数分别列入表5.1中。

**表5.1** **关中各地降水与气温相关系数**

| 相关系数 | 西安地区 | 铜川地区 | 宝鸡地区 | 咸阳地区 | 渭南地区 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 线性相关系数 | -0.271 | -0.335 | -0.386 | -0.105 | -0.31 |
| 二次函数相关系数 | 0.315 | 0.361 | 0.386 | 0.134 | 0.332 |





（a）西安地区（b）铜川地区（c）宝鸡地区





（d）咸阳地区（e）渭南地区

注：图中，水平坐标：年均气温；竖向坐标：年降水量；实线：线性拟合函数；虚线：二次拟合函数**图5.2 关中各地降水与气温相关关系**

关中五地区降水-气温散点，大部分落在坐标图左下区域，年降水量随气温升高而减少的特征存在。两者的线性相关系数值表明，各地降水量与气温之间都存在负相关关系，这一相关性在宝鸡地区达到极显著水平，在铜川地区、渭南地区达到显著性水平，但在西安地区、咸阳地区两地，降水量与气温的负相关关系

未通过显著性检验，这两地年降水量随气温升高而逐渐减少的趋势并不明显。二次函数拟合的相关系数值表明，按二次曲线拟合的降水和气温关系在宝鸡地区、铜川地区达到极显著水，西安地区、渭南地区通过了显著性检验，仅咸阳地区未达到显著性水平。二次曲线的拟合相关性大于一次曲线，各地的降水并不是随气温的升高而持续线性减少，而是以一种有拐点的二次曲线的方式来变化。年降水量随气温的降低在研究时段内呈不同倾向率的变化，在气温变化的低温时段，气温升高降水量有显著的减少，但气温升至多年平均值附近时，二次回归曲线出现拐点，此后气温持续升高，降水量的变化在空间上表象为两种不同情况：降水随气温升高的变化减少趋势减缓（咸阳地区）；降水随气温升高的变化出现增加趋势（西安地区、铜川地区、渭南地区）。

从数学统计学角度来看，关中各地年降水量与年均气温存在负相关关系，这种相关程度在空间上存在差异。从空间上看，以泾河为轴，横贯关中西北和东南画一道线，在轴线两侧的宝鸡地区、铜川地区、渭南地区等地，降水与气温的相关关系均表现为较好负相关性，但在轴线位置上的西安地区和咸阳地区，两气候要素间这种负相关关系就显得比较牵强，特别是咸阳地区，降水和气温之间的两种曲线拟合均为通过显著性检验，因此很难断然做出降水与气温的负相关结论。

上述年际尺度上降水与气温相关性的数学统计分析结果表明，一个区域降水与气温负相关与否与这一地区的降水量、气温平均水平或其倾向率数值的大小无直接关系，与纬度和地形的关系也并不密切。只能得到关中中部，农耕发达、沿河谷区域气候正在由“暖干型”向“暖湿型”过渡，而其他地区持续“暖干型”发展态势。

### **5.2.3** 降水量和气温关联性的季节特征





（a）西安地区（b）铜川地区（c）宝鸡地区



(d)咸阳地区 (e)渭南地区

注：图中，水平坐标：季均气温；竖向坐标：季降水量；实线：线性拟合函数；虚线：二次拟合函数**图 5.3 关中各地春季降水与气温回归曲线**

(a)西安地区 (b)铜川地区 (c)宝鸡地区



（d）咸阳地区（e）渭南地区**图5.4 关中各地夏季降水与气温回归曲线**



（a）西安地区（b）铜川地区（c）宝鸡地区



（d）咸阳地区（e）渭南地区



注：图中，水平坐标：季均气温；竖向坐标：季降水量；实线：线性拟合函数；虚线：二次拟合函数**图5.5 关中各地秋季降水与气温回归曲线**



（a）西安地区（b）铜川地区（c）宝鸡地区



（d）咸阳地区（e）渭南地区

注：图中，水平坐标：季均气温；竖向坐标：季降水量；实线：线性拟合函数；虚线：二次拟合函数**图5.6 关中各地冬季降水与气温回归曲线**

进一步研究关中五区地，季降水量与季平均气温的相关关系。两气候要素在季节尺度上的散点图及回归曲线，如图5.3~5.6中各图所示。回归曲线的相关系数如表5.2所示。表中相关系数有“\*”号的为达到0.05%显著水平的显著相关，有

“\*\*”号的为达到0.01%显著水平的极显著相关。

**表5.2** **关中各地四季降水与气温相关系数表**

| 地区 | 类别 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 西安地区 | 线性相关系数 | -0.527\*\* | -0.515\*\* | 不相关 | 不相关 |
| 铜川地区 | 线性相关系数 | 不相关 | 不相关 | 不相关 | 不相关 |
| 宝鸡地区 | 线性相关系数 | 不相关 | -0.445\*\* | 不相关 | 不相关 |
| 咸阳地区 | 线性相关系数 | 不相关 | -0.283\* | 不相关 | -0.335\* |
| 渭南地区 | 线性相关系数 | 不相关 | 不相关 | 不相关 | 不相关 |

由散点图可知，大部分地区四季降水量与气温的散点分布范围较广、规律性不强，很难以恰当的线性或二次函数描述两者的关系。从表5.2中的相关系数计

算值也可看到，在研究的五个地区四季的20组数据中，达到显著相关水平的仅

5组，降水与气温不相关的情况超过75%。

西安地区春、夏季节，降水量与气温呈极显著负相关关系，气温攀升的同时降水量线性减少，春夏季节的干旱少雨越来越严重。

咸阳地区夏、冬季节，降水量与气温呈极显著负相关关系，冬季气温升高降水量减少，“干冬”、“暖冬”效应累加。

关中西部的宝鸡地区、咸阳地区、西安地区，夏季降水量与气温呈显著负相关，本应当是降水量较为充沛的季节，因气温的升高降水量逐年减少，夏季燥热的气候类型已延续一段时间。

关中秋季降水量和气温同步增加，无线性相关关系。冬春季节两者的相关特性也仅为个案，只有夏季降水和气温负相关的特性较为典型。

关中各地四季降水量与气温的相关关系分析结果表明：各地降水量并没有表现出随气温升高线性减少的显著线性趋势。

## **5.3** 降水与气温阶段趋势性相关特征

分析关中地区各地、各年代降水量与气温变化趋势，并计算其统计相关系数，列入表5.3中。在研究时段内，降水量与气温呈负相关趋势的仅为，西安地区80

年代，铜川地区、渭南地区60年代、70年代，宝鸡地区、咸阳地区70年代、

80 年代（表中带“\*”），降水与气温逆向增长的时段不足40%。对降水和气温按年代数据两两进行相关性检验，相关系数列入表中。根据相关系数检验表，各地各年代降水与气温负相关通过显著性检验的仅为，铜川地区、渭南地区70年代，

宝鸡地区、咸阳地区、渭南地区80年代，各地各年代两要素不存在负相关关系。

因此，可以得到关中地区降水与气温在年代间典型的负相关关系仅为特例，不存在普遍现象。

**表5.4** **关中各地降水与气温年代相关性分析**

| 地区 |  | 参数 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 21 世纪初 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 西安地区 | 降水 | 线性变化 | 减 | 减 | 减\* | 增 | 增 |
|  | 气温 | 线性变化 | 减 | 减 | 增\* | 增 | 增 |
|  | 相关系数 | | 不相关 | 不相关 | 不相关 | 不相关 | 不相关 |
| 铜川地区 | 降水 | 线性变化 | 减 | 减\* | 减\* | 增 | 不变 |
|  | 气温 | 线性变化 | 减 | 增\* | 增\* | 增 | 减 |
|  | 相关系数 | | 不相关 | -0.61925\* | 不相关 | 不相关 | 不相关 |
| 宝鸡地区 | 降水 | 线性变化 | 减 | 增 | 减\* | 减\* | 增 |
|  | 气温 | 线性变化 | 减 | 减 | 增\* | 增\* | 增 |
|  | 相关系数 | | 不相关 | 不相关 | -0.59388\* | 不相关 | 不相关 |
| 咸阳地区 | 降水 | 线性变化 | 减 | 减 | 减\* | 减\* | 增 |
|  | 气温 | 线性变化 | 增 | 平 | 增\* | 增\* | 平 |
|  | 相关系数 | | 不相关 | 不相关 | -0.64447\* | 不相关 | 不相关 |
| 渭南地区 | 降水 | 线性变化 | 减 | 减\* | 减\* | 增 | 增 |
|  | 气温 | 线性变化 | 减 | 增\* | 增\* | 增 | 增 |
|  | 相关系数 | | 不相关 | -0.60794\* | -0.64372\* | 不相关 | 不相关 |

## **5.4** 降水量与气温动态相关评价

### **5.4.1** 年均降水量与气温动态关系

关中各地年降水量柱状图与年均气温动态曲线如图5.7所示。从年降水量和年均气温的滑动平均曲线变化趋势及两条曲线之间的距离，可以看到气温升高的趋势在各地一致，但两条曲线之间的距离变化是“小-大-小”的动态变化。

1500 18

16

1300

14

1100 12

降水量(mm)

气温℃

10

900

8

700 6

4

500

2

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300 0

年

(a)西安地区

1500 14

1300 12

降水量（mm）

1100 10

气温℃

8

900

6

700 4

500 2

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300 0

年

1500

1300

1100

降水量(mm)

900

700

500

300

（b）铜川地区

16

14

12

10

温度℃

8

6

4

2

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

年

（c）宝鸡地区

1500 16

1300 14

降水量(mm)

12

气温℃

1100 10

900 8

700 6

4

500 2

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

300 0

1500

1300

1100

降水量(mm)

900

700

500

300

年

（d）咸阳地区

16

14

12

10

气温℃

8

6

4

2

1961

1963

1965

1967

1969

1971

1973

1975

1977

1979

1981

1983

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

0

年

（e）渭南地区

注，：降水量；：气温；：气温滑动平均曲线；：降水量滑动平均曲线**图5.7 关中各地年降水量、年气温动态相关图**

也就是说，随气温的升高降水量在前期不变或小幅减少，90 年代以后气温

升高速率加快，降水量也大幅减小，2000年左右，各地气温持续升高但降水量曲线均上扬，两条曲线之间的距离在各地均缩小，两者逆向变化的趋势不再延续。所以在近52年中，各地近在80年代末到二十一世纪初的这段时间存在气温升高降水量减少的变化趋势，在其他时段的变化不符合这一特点。

### **5.4.2**

季节降水量与气温动态关系

500

400

300

200

100

0

20

15

10

5

0

500

400

300

200

100

0

14

12

10

8

6

4

2

0

降水量（mm）

气温℃

降水量（mm）

气温℃

(a)西安地区（春）（b）铜川地区（春）

500

400

300

200

100

0

20

15

10

5

0

500

400

300

200

100

0

20

15

10

5

0

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

(c) 宝鸡地区（春） (d)咸阳地区（春）

500

400

300

200

100

0

20

15

10

5

0

550

450

350

250

150

50

27

25

23

21

19

17

15

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

（e）渭南地区（春）（f）西安地区（夏）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

(g)铜川地区（夏） (h) 宝鸡地区（夏）



550

450

23

21

350 19

250 17

150 15

650

550

450

350

250

150

50

27

22

17

12

650

550

450

350

250

150

50

27

22

17

12

650

550

450

350

250

150

50

27

22

17

12

降水量（mm）

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

气温℃

降水量（mm）

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

气温℃

(h)咸阳地区（夏） (i)渭南地区（夏）



550

450

350

250

150

50

17

15

13

11

9

7

5

550

450

350

250

150

50

13

11

9

7

5

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

(j) 西安地区（秋） (k)铜川地区（秋）



550

450

350

250

150

50

15

13

11

9

7

5

550

450

350

250

150

50

15

13

11

9

7

5

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

（l） 宝鸡地区（秋）（m）咸阳地区（秋）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

(n)渭南地区（秋） (o) 西安地区（冬）



550

450

350

250

150

50

15

13

11

9

7

5

150

4

100

2

0

50

-2

0

-4



150

100

50

0

2

0

-2

-4

-6

-8

150

4

100

2

0

50

-2

0

-4

降水量（mm）

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

气温℃

降水量（mm）

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

气温℃

(p)铜川地区（冬） (q) 宝鸡地区（冬）



150

100

50

0

3

2

1

0

-1

-2

-3

-4

150

4

100

2

0

50

-2

0

-4

降水量（mm）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

气温℃

降水量（mm）

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

气温℃

（r）咸阳地区（冬）（s）渭南地区（冬）

1985

1987

1989

1991

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2009

2011

1985

1988

1991

1994

1997

2000

2003

2006

2009

2012

注，：降水量；：气温；：气温滑动平均曲线；：降水量滑动平均曲线

**图5.8** **关中各地四季降水量、气温变化曲线**

各地四季降水量柱状图与季均气温动态曲线如图5.8(a) ~（s）所示。春季降水与气温的滑动平均曲线走势在各地完全相同，随气温升高降水量不断减少，尤以

2000年以后，气温与降水的逆向增长趋势非常显著，两条滑动平均曲线之间的距离不断扩大。

夏季，关中东部的西安地区、铜川地区、渭南地区三地降水与气温滑动平均曲线之间的距离无明显变化，两条拟合曲线几乎平行两者基本同步增加；西部咸阳地区、宝鸡地区，在1990~2000年之间气温升高的同时，夏季降水量大幅减少，两条滑动平均曲线之间的距离在这段时间明显增加。

秋季气温增高各地降水量增加，尤以宝鸡地区最为典型。2000 年以后宝鸡

地区秋季降水量增加的速率快于气温升高的速率，两条曲线之间的距离缩短。冬季各地降水量随气温的变化表现为，90 年代气温与降水量逆向增长，气

温升高降水量减少，21世纪最初十年气温与降水量正向增长，气温升高降水量也随之升高，两条滑动平均曲线之间的距离变化是“小-大-小-大”的阶段性变化。

**5.5****区域气候变化的影响**

### **5.5.1** 关中气候及对全球变化的响应

在全球气候变化的背景之下，通过对关中地区气候细致全面的分析可见，关中地区气候也相应发生了改变。

##### （1) 对全球气候变化的响应方面

①关中地区气温有较大幅度的升高，这与全球升温的趋势具有一致性，特别是升温突变点，与北半球升温的转折点相比时间非常接近。

②关中地区降水量无显著趋势性变化，这与北半球及西北地区降水量大幅减少的研究结论相悖，但1984~1997年的降水量减少又于大区域降水量的变化具有一致性。

③全球气候变化对关中地区四季气候变化的影响各异。

##### （2) 区域气候变化的特点

①降水与气温均在近10~15年发生了与全球气候变化相悖的发展态势，区域气候变化的波动特征明显。

②若将气候变化的主要动力归因于人类活动的影响，则近10~15年人类活动的影响范围和剧烈程度更为鲜明，为何气候变化与上世纪末全球发展趋势相悖？很显然，区域气候变化还受其他重要因素影响，需要进步一分析才能确定。

③关中地区春季气候变化剧烈，降水大幅减少、气温显著升高，形成了年气候变化的主要趋势。

④春旱、秋雨、夏季延长是关中近年来气候变化的主要特点。

⑶关中气候类型

①在研究时段的前期（80年代以前）关中地区气候类型为典型的半湿润半干旱气候，气候各因素小幅波动，无显著气候类型的变化。

②80年代中期到90年代末期的一段时间，是关中气候发生突变的时段，气候具有典型的“暖干”类型的特点。

③本世纪初至今，关中的降水和气温变化逐渐回归常态，气温依然处于高值，但降水量未见大幅减少，从气象意义上定义的“干旱”并未持续，气候类型兼具“暖干”和“暖湿”的过渡类型。

④因降水与气温之间的非典型相关关系，很难定义未来气候的发展的类型，气温的冷暖和降水的丰枯具有较大的随机性，气候类型也因此具备不确定性。

### **5.5.2** 气候变化影响因素

影响区域气候变化的因素大体可分为自然因素和人为因素两类。区域大气环流、水汽输送、地形地貌等属于影响气候变化的自然因素；大气成分的改变（CO2浓度）、下垫面条件的改变等属于影响气候变化的人为因素。当然，气候变化的影响因素远远不止上述几种[106-107]。

通过前述几个章节中关于关中地区降水和气温时空动态演变特征的研究，可将影响关中地区气候变化因素梳理如下。

##### （1) 自然因素

①大气洋流因素

关中地区地处北半球季风区，受东亚季风、印度季风和西风带的共同影响，如图5.9所示。西太平洋副热带高压从冬到夏，位置北移、强度增大；从夏到冬，位置南撤、强度减弱，季风环流的运动与关中降水和气温的变化息息相关。



**图5.9** **我国季风示意图**

春末夏初，西太平洋暖湿气流强度较弱时，关中地区受西伯利亚气流的控制，环流内部盛行下沉气流，天气晴好，往往会造成该地区干旱少雨。

盛夏季节，西太平洋暖湿气流强度加强，翻越秦岭后较长时间控制关中地区，

但由于ft脉的分流作用，气流中水分含量较低，造成关中地区夏季干热少雨，极易形成伏旱的气候特点。

秋季，西太平洋副热带高压由于秦岭的阻挡，回撤速度较慢，与西伯利亚气流相遇，并受到ft脉的抬升作用，形成秋季阴雨天气，同时关中地区位于黄河流域狭长的沿黄降水带，进入9月，“华西秋雨带”长期赖在这一地区，因此关中地区秋季几乎在雨中度过，这也是关中各地秋季雨量最为丰沛的原因之一，近年来频繁的“渭河秋汛”便是例证。

冬季，关中地区主要受强大的西伯利亚大陆冷高压的影响，其带来少许水汽，同时由于秦岭ft脉的作用，对冬季西伯利亚气候的对流和上升减弱，形成了冬季干燥寒冷的气候主旋律。

近年来西太平洋副热带高压强度偏弱，同时北抬西伸，造成春季关中降水量持续偏少。夏秋季节西太平洋副热带高压，南撤受秦岭所阻，同时受地形影响，由于ft坡地形的抬升作用，暖湿气流遇ft地极易成云致雨，因此在秦岭北麓形成降水量较大的带状区域。

②纬度、地形地貌影响因素

纬度位置是影响气候的基本因素，不同纬度地区太阳照射角度不同，气温高低产生较大悬殊。一般是纬度越低，气温越高；纬度越高，气温越低。关中地区的年均气温空间分布就体现了纬度越高，气温越低的特点。

地形是一个非地带性因素，不同的地形对气候有不同的影响。关中地区南依海拔高度在2000-3800m的秦岭，北靠海拔1000m以上的北ft，三面环ft的地貌，使之处于因南部秦岭和北部黄土高原阻碍，形成绕流气流的辐散下沉区。地形地貌对区域降水和气温的影响显著的特点表现为：

a. 盛夏季节，西太平洋暖湿气流受秦岭ft脉的分流作用，水分含量较低，造成关中地区夏季干热少雨。

b. 秋季太平洋副热带高压南退的过程中受秦岭的阻挡、南退迟缓，与南进的西伯利亚冷气流相遇，并受到ft脉的抬升作用，形成秋季阴雨天气。

c. 关中地区地形平坦，人工植被和天然植被茂密，蒸发量大于降水量，空气湿度较大，降水量大于同纬度内陆干旱区。

d. 近年来，太平洋暖湿气流强度减弱，受秦岭的阻挡和分流作用，更加难

以全面控制关中地区，形成关中各地，特别是宝鸡地区夏季降水量占年降水量比例不断减少以及降水线性减少速率不断增大的变化特征。

e. 关中各地逐月降水量年内的正态分布曲线，峰度偏右程度愈来愈严重，秋初降水大于夏末降水量，以降水量峰值7月向左向右来看，8月降水大于6月降水量，个别地区9月降水量大于8月降水量。宝鸡地区8、9月降水量为年内降水量之最，也佐证了秦岭ft地地形对形成关中降水的冷暖季风锋面的影响巨大。

##### （2) 人为因素

区域降水和气温的变化，是气候系统内部和外部因子相互作用相互影响的结果，但政府间气候变化专门委员会(IPCC)的研究指出，“人类活动对全球气候变化的影响，远比原来认识到的更严重，人类的影响有可能是导致20世纪中叶以

来气候变暖的主要原因。“[108]

在有人类参与的气候变化过程中，人为因素对气候变化的影响不容忽视，但人类活动未改变区域气候波动性变化的根本性质，只是在个别影响因子、个别时段、个别区域方面有所侧重。

陕西关中地区快速城市化和工业化发展近半个世纪，社会经济高速运转，能源消耗巨大，人为因素对气候变化的影响主要表现为以下几点。

①人工建筑物混凝土和硬化路面的热容小、吸热快，在相同的太阳辐射条件下，其表面温度明显高于绿地和水面。同时硬化的路面改变了下垫面结构变，对气温的升高和改变地下水的补排路径有一定影响；

②城市绿地和水体减少，吸热能力减弱，气温调节能力减弱、城市热岛效应突出；

③城市能源消耗量巨大，日益增加的工厂、汽车、空调等消耗掉大量能源的同时，还在不停地向外释放出热量，使城市气温一再升高；

④城市机动车辆、工业生产及人类生活产生了大量的氮氧化物、二氧化碳、煤灰和粉尘等溶胶，大量悬浮于城市上空的大气溶胶，能够承载空气中更多水汽，造成城市小雨日的频率大幅减小，同时在城市上空形成一定的保温层，使得“温室效应”突出。

### **5.5.3** 气候变化致灾效应

##### （1) 气候变化极端事件

纵观关中地区的发展历史，降水和气温这两个气候要素的波动变化幅度较大，由此引发的极端气候事件爆发越来越频繁。

近年来极端天气与气候事件增多，关中干旱趋重，旱灾频繁发生。尤其是夏季反常高温，2002年、2005年6、7月关中出现35℃以上的持续高温天气，多数县最高气温≥40℃，突破历史峰值；2006年、2010年局部出现40℃以上的高温天气，西安地区最高气温达42.9℃，加剧干旱灾害。

与持续的干旱相对应，关中西部和南部ft区也，多次出现大范围区域性大暴雨、特大暴雨和持续降水过程，2011年9月关中地区大范围的强降水，降水量是多年平均降水量的2.7倍，渭河临潼段迎来50年来最大量级，人民生命财产安全受到极大威胁。

同时，境内沙尘暴、冰雹、霜冻等气候事件不断出现，2008关中出现了50一遇的极端雪灾天气，1月10日降水量高达15－30毫米，最大积雪深度10~25厘米，极端最低气温达－10~－22℃，对农作物和经济作为的生长，产生冻害影响，甚至出现因低温而形成的病虫害。

##### （2) 气候变化的致灾效应

关中地区近年来气候在近半个世纪以来的发展变化，在多方面产生了一定的影响。这种影响有有利的一面但以不利影响为主。

关中地区气温的升高，破坏地表热平衡，影响大气环流的移动；地表蒸发量增加、空气中水汽含量增大；地表水温度升高，对动植物生存条件产生改变。

降水量变化，导致生态环境发生改变；地表径流量变化，河流输沙能力减弱。降水量和气温的变化直接导致区域动植物多样性减少、水资源需求量增加、农作物种植面积及产量降低。

①关中地区水资源供需矛盾突出。关中地区地表水和地下水的主要补给源为降水，处于农作物生长期的冬春季节，降水量减少，形成水资源供给不足，进而造成地下水过量开采、地表水和地下水水质恶化、因地下水过量开采而导致的地沉地裂频现。

②夏末秋初的秋汛时节，降水量集中，水资源调蓄能力不足，加之关中地区特有的地貌及城市规划特征，使得这一时段的暴雨、泥石流、洪水、城市内涝等风险提高。

③气候变化季节间的不对称发展，使得高温、极寒等极端灾害性天气出现。

④关中的气候季节出现了变化，由于3~6月和10~11月的持续升温，夏季延长、春秋缩短。关中原本的四季分明的气候，近年来频现“脱了棉袄穿短袖”和“冬有四季、四季有冬”的怪现象，进而对关中地区的自然和社会经济系统带来了深刻的影响。

⑤西安的城市热岛效应，使大城市夏季能源电力消耗更大，引发进一步的人工热源和排放，形成热岛效应的恶性循环。

⑥冬季的干旱少雨加之春季降水量的进一步减少，加重了关中地区冬春季节的雾霾天气，对人们的生存环境、身体健康产生极大的影响。

##### （3) 气候变化区域影响力

降水和气温的变化产生的影响主要表现在以下几个方面

第一，降水和气温的变化直接影响区域水资源安全。气候变化形成的干旱少雨已造成渭河及其支流径流量锐减，关中地区地表水资源量73.69亿m³，人均水资源量仅为214.2 m³/人，仅为全国平均水平的1/4，未来气候变化将进一步加剧水资源短缺形势，因气候变化引起的水资源短缺不容乐观。

第二，降水和气温的变化影响农作物种植面积和产量进而对粮食安全产生威胁。关中是陕西的大粮仓，农业总产值占全省农业总产值的70%以上。但因气温的持续升高，影响到主要农作物（小麦、玉米）和经济作物（苹果、棉花、蔬菜）的生长，导致农业种植的不稳定性，使农业生产的风险加大。干旱和升温趋势的进一步发展，从表面上来看，可能诱发农田病虫害、造成农作物减产，更深层次可能会导致农业产业节后的调整和布局的变动。

第三，降水和气温的变化影响生态安全。关中地区处于生态环境脆弱区，生态环境受气候变化影响剧烈。未来的高温和降水的交替出现，会进一步加剧该区域的水土流失状况，沙尘暴的爆发频次和强度进一步加强；由于水土流失此生的土壤风蚀化和草地退化情况也将愈演愈烈。气温的升高导致秦岭主峰积雪融化，

ft区植被的组成及结构发生改变、进而导致动物种群的数量栖息地发生改变，动植物生存能力降低，多样性降低。

第四，降水和气温的变化影响影响公共卫生和公共环境安全，气候变化引起的热浪频繁袭击人类，一些新的疾病也开始出现，导致公共卫生安全问题增多，

可能使死亡人数和严重疾病上升。气温升高可能增加心血管病、疟疾、腹泻和中暑等疾病发生的程度和范围，危害人类健康。

第五，除了上述不利影响外，气温升高对农作物的产量有一定的影响。年气温升高1℃，相当于农作物变化一个熟季，每变化一个熟季，产量增加5%左右。同时，美国气象学家的研究成果表明，全球气温升高1℃，相应的经济指标也跟随上升[110]。

## **5.6** 小结

关中地区属过渡性气候类型，是气候变化的敏感地带，降水与气温演变过程复杂，影响因素颇多，本章的分析可以得到：

①关中地区研究时段内，年降水与气温在年际尺度上达到了的负相关关系，但值得注意的是，两者的二次拟合相关系数普遍高于线性拟合相关系数，降水与气温线性相关关系存在转折点，降水量变化还受其它因素影响。

②关中各地降水与气温的关联特性，总体上与关中平均水平一致，但在铜川地区，两者的未表现出相关的性质。

③在季节尺度上，气温与降水量的回归相关性，仅有25%的数据达到显著的负相关水平；在代际水平上，负相关的时段和区域更是少之又少。不同时间尺度上两者的关系表现为：不相关、正相关、负相关等多种类型。

④关中地区降水和气温的关联特性，仅为局地、短时期气象变化的一种随机趋势特例，并非普遍现象，降水与气温的关联关系不具有必然性。

⑤关中四季降水量与气温的动态评价结果表明，春季持续升温和少雨是关中地区季节气候变化的主要特点。

⑥关中降水和气温关系的动态评价结果表明，近50年关中各地的气候正在经历“暖湿”-“暖干”-“暖湿”的交替变化。气候类型在该地不具备单一性特征，而表现为动态的随机性和多样性。

⑦关中地区气候变化的影响因素众多，影响关系复杂，但总体看来人为因素对气候的影响并不是重大关键性因素。

⑧气候变化对关中地区近半个世纪产生了一些负面影响，但客观的对待气候变化，积极应对气候事件，变不利为有利才是气候研究的时代价值。

# **6.** 结论与展望

## **6.1** 研究结论

气候变化研究是上世纪开始的热门课题，气候变化对水循环过程产生重大影响，进而影响区域水文生态系统和水安全。本文全面收集关中地区1961~2012年降水和气温的统计数据，构建不同时间尺度降水与气温模型，完成了该地区降水和气温动态变化特征及两者关联关系的定量计算；借助数字化地图工具研究了降水和气温的空间特征；进一步讨论了降水和气温变化的影响因素及其致灾效应，对于有争议的“全球气候变暖”这一话题，探讨了区域性研究结论。

##### （1）关中年降水量无持续性减少，降水量减少线性倾向率小于同时段全国和陕西省平均水平。研究时段内，年降水量呈非线性波动和线性趋势的叠加，年降水量丰枯波动周期约25a。1984~1997年为关中干旱少雨时段。

关中地区四季降水量不对称变化，春冬干旱少雨，夏秋降水量集中，降水量年内分布不均。

受纬度、季风、地形等因素影响，年降水量存在空间差异，ft区多平原少，南多北少；西安地区降水量减少幅度较大。对区域降水量序列可分类进行研究。

##### （2）关中地区气温在研究时段内有整体升高的特点，升温始自1984年，升温突变点与全球气候变暖突变点一致。80年代以后气温普遍偏高，2007年后升温趋势减缓或有所下降，气温呈波动性变化。

关中地区春、秋季气温显著升高，正在发生以夏季延长为主要特征的季节变化。极端气温呈不对称变化，年气温极差逐渐增大。

气温空间分布依纬度升高而降低，西安地区为关中高温中心，且高温范围逐渐西移的倾向。

（3）关中地区年降水量与年均气温的回归关系具有突变点，突变前后两者相关关系发生转折性变化。降水和气温在年代和季节尺度上呈现多种类型关系，表明影响降水量变化的因素较多，区域气候类型处于冷暖、干湿交替的动态变化过程中。

（4）关中地区降水和气温的空间分布特征主要受季风、纬度、地形等自然因素影响，但西安地区呈现的“干岛”、“热岛”效应，提示人为因素在气候变化特定时段和区域中不可忽视。

（5）关中地区气候变化与全球气候变化有一致性，但也具有鲜明的特点。在人为因素持续性作用下，1997年和2007年发生的降水量增多和气温回落等转折性变化表明，区域气候还受其他重要因素影响和作用。

（6）关中地区降水和气温的变化，形成一定的负面影响，有针对性的研究区域气候变化特征，对于降低气象灾害发生的风险度和负面效应，有重大意义。

## **6.2** 展望

在行文过程中，受到由于时间、数据、资料和个人能力等主客观条件的限制，本文的研究还存在一些值得商榷之处。

1、本文仅就关中五个行政区降水量和气温序列的52年数据进行分析，四季

降水和气温为1985年至今的数据。所取研究时段，仅为地球气候变化历时长河中的一个小的片段，关于区域气候变化的研究，还有待逐步资料扩充后的不断细致研究。

2、降水和气温变化是复杂的非线性过程，本文仅就其在研究时段内的趋势性、周期性和突变性等统计特征做了客观的分析，区域气候的变化机制及未来发展趋势，还需考虑多方面因素进一步研究。

3、研究表明，关中地区以降水量和气温为要素的气候正在发生变化，这一变化对区域水资源总量和利用方式产生必然相应的影响。如何依据区域气候变化特征，合理规划和调蓄区域水资源，制定因地制宜的水旱灾害风险防范措施，降低水旱灾害发生的风险、缓解水资源供需矛盾，是亟待研究的问题。

参考文献

[1] Yin Shuyan. Studies on the climate in the Northern and the Southern regions of the Qinling mountains and correlated analysis between climate and EI Nino/La Nina phonepmenon during the recent 40 years[J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(4): 403-406 殷淑燕. 近40年秦岭南北地区气候变化与EI Nino/La Nina事件相关性分析[J]. ft地学报, 2002, 20(4): 403-406

[2] Liu Bo, Ma Guozhu. Area change of dry and wet regions in China in the past 45 years[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 7-15刘波, 马国柱. 过去45年中国干事气候区域变化特征[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 7-15

[3] 李佩成. 关于气候变化的哲学思考[J] 地球科学与环境学报, 30(4), 2208, 12: 331-336

[4] 李佩成. 试论干旱[J] 干旱地区农业研究, 1984(2),: 4-17

[5] 李佩成. 试论干旱[M]. 中国干旱半干旱地区自然资源研究, 中国自然资源研究会等六学会主编, 北京: 科学出版社, 1985

[6] 李佩成. 关于水源问题及其解决途径的商榷[J]. 灌溉科技, 1975: 3-4

[7] 李佩成. 认识规律, 科学治水[J]. ft东水利科技, 1982. (1): 7-11

[8] 李佩成. 试论人类水事活动的新思维[J]. 中国工程科学, 2000, 2(2): 5-9

[9] 李佩成． 发展地球科学, 推进人与自然和谐发展[J]． 西北地质, 2007, 40（1）: 1-6

[10] 李佩成, 郭曼, 王丽霞, 李启磊等. 近60年来中国大陆降水、气温动态及其相互关系的初步研究[J]. 中国工程科学, 2011.13(04): 29-36

[11] REN J W, QIN D H, KANG S C, et al. Glacier variations and climate warming and drying in central Himalyas[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(1): 65-69

[12] 余承玲, 张建魁, 邱恩波. 全球气候变化研究证据. [J]. 广东微量元素科学, 20094, 16(4): 32-35

[13] Amell NW, Liu Chunzhen. Hydrology and water resources[A]. IPCC Report. Climate Change 2001: Impact, Adaptation, and Vulnerability[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.194-228

[14] Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen. Preliminary analysis of climatic change during the last 40 years in China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1991, 2(2): 164-174. 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 近四十年我国气候变化初步分析[J], 应用气象学

报,1991,2(2):164-174

[15] Mimikou, M. impact of climate change on hydrological regimes and European community, EV5V-CT93-0293 Report[R]. UK: university of Southampton, 1996: l-19

[16] Grabs, W., 1997, Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. CHR report no. I-16 [R]. CHR, Lelystab, the Netherlands [17] Arnold J. G., & Srinivasan R., et al. Large area hydrologic modeling and assessment(Part I): model development [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(l): 73-89

[18] US Academy of science climate. Climate change and water supply [M]. Washington D. C. : National Academy Press, 1977

[19] Douglas, J. E. A summary of some result from the Coweeta hydrologic laboratory, Appendix B, in L. S. Hamilton and P. N. King, Tropical forested watersheds[M]. Westview press, Boulder, colo., 1981

[20] mikou, M. impact of climate change on hydrological regimes and European community EV5V-CT93-0293 report[R]. UK: university of Southampton, 1996: l-19

[21] WMO. Water resources and climatic change: sensitivity of water resources systems to climate change and variability. Geneva: WMO, 1987 [22] 王顺久. 全球气候变化对水文水资源的影响. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 223~227

[23] 江涛, 陈永勤, 陈俊合, 陈喜. 未来气候变化对我国水文水资源影响的研究. 中ft大学学报（自然科学版）, 2000, 39(增刊): 151~157 [24] 邓慧萍, 吴正方, 唐来华. 气候变化对水文和水资源影响研究综述. 地理学报, 1996, 51（增刊）, 161~170

[25] 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南: ft东科学技术出版社, 1995 [26] Waggoner. Climate and U. S. Water Resources. New York: John Wiley, 1990

[27] Mitchell. J. M. Recent secular changes of global temperature [J]. AnnNYA cad Sci. 1961, 95: 235~250

[28] Hansen. J, Lebedeff. S. Global trends of measured surface air temperature [J]. J. Geophy Res. 1987, 92: 13345~13372

[29] Hansen. J, Ruedy. R, Sato. M, et al. A closer look at United States and global surface temperature change [J]. J Geophys Res. 2001, 106: 23947~23963

[30] Peterson. T. C, Vose. R. S. An overview of the global historical climatology network

Temperature database [J]. Bull Amer Meteor Soc. 1997, 78:2837~2849

[31] Argell. J. K, J. Korshover, Global temperature variations in the troposphere and stratosphore: 1958-1982[J], Mon. Wea. Rev. 1983, 111: 901~921

[32] Kelly. P. M. The extended northern hemisphere surface air temperature record 1851-1984 [J]. Third conference on climate variations and symposium on contemporary climate: 1850-2100.1985, 10~11

[33] Ghil. M, R. Vatuard. Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time series [J]. Nature. 1991, 350: 3 24~27

[34] Gordon. A. H. Interhemispheric contrasts of mean global temperature anomalies [J]. Int. Journal of Climate. 1992, 12 (1): 1-11

[35] Domonkos. P. TemPoral accumulations of extreme daily mean temperature anomalies [J]. Theor. Appl, Climatol. 2001, 68: 17-32

[36] Hulme. M, R. Marsh, P. D. Jones. Global changes in a humidity index between 1931-1960 and 1961-1990[J]. Climate Res. 1992, (2): 1~22

[37] Eischeidm. J. K., H. F. Diaz, R. S. Bradley et al. A comprehensive precipitation data set for global land areas, U. S. Department of Energy Report No. DOE/ER-690117T-H1, 1991, Washington D. C. 81 pp.

[38] Vinnikov. K. Y, P. Y. Groisman, K. M. Lugina. Empirical data on contemporary climate changes (temperature and precipitation) [J]. J. Climate. 1990, (3): 662~677

[39] Kattsov. V, J. E. Walsh. Twentieth-century trends of Arctic precipitation from observational data and a climate model simulation [J]. J. Climate. 2000, 13(4): 1362~1370

[40] Hulme. M. A. 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models, Climate Dyn [J]. 1992, (7): 57-72

[41] Diaz, H. F, R. s. Bradley, J. K. Eischeid. Precipitation fluction over global land areas since the late1800's[J]. J. Geophys. Res. 1989, (94): 1195-1210

[42] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, 1973, (2): 168-189.

[43] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(15): 526-534

[44] 任国玉, 郭军, 徐铭志. 近50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956

[45] Wang S W, Gong D Y. Enhancement of the warming trend in China. Geophysical Research

Letters,2000,27(16):2581-2584

[46] 丁一汇, 任国玉, 石广玉等. 气候变化国家报告. 气候变化研究发展, 2006, 2(1): 3-8

[47] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J].气象, 1994, 20(12): 19-26

[48] 陈文海, 王遵娅. 近50年中国气候变化的也正与中国夏季降水的气候学[J]. 南京气象学院学报. 2004, 24(1): 9-13

[49] 丁一汇, 任国玉, 赵宗慈等. 中国气候变化的检测及预估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(1): 1-10

[50] 王遵娅, 丁一汇. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-235

[51] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近50年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境. 2006, 20 (4): 1-6

[52] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近50 年来气温变化特征及其突变性[J]. 干旱区地理2005, 28(2): 176-182

[53] 曲建和, 孙安健. 黄淮海地区气温变化特征[J]. 应用气象学报, 1991, 2(4): 423-428

[54] 姚玉璧, 王毅荣, 李耀辉等. 中国黄土高原气候暖干化及其对生态环境的影响[J] 资源科学, 2005, 27(5): 146-152

[55] 任朝霞, 杨达源. 近50a西北干旱区气候变化趋势研究[J]. 第四纪研究. 2006, 26(2): 299-300

[56] 雷翔杰, 鲁渊平. 陕西省近30年平均气温变化特点分析[J]. 陕西气象. 1994(6): 9-11

[57] 王海燕. 陕西省极端气温变化[D]. 陕西师范大学硕士学位论文, 2010

[58] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近50年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 9~18

[59] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近50年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象. 2004, 23(2): 238-244

[60] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红. 中国气候变化的研究[J]. 气候与环境研究. 2002, 7(2): 137-145

[61] 叶瑾琳, 陈振华, 龚道溢等. 近百年中国四季降水量异常的空间分布特征[J]. 应用气象学报, 1998(增刊): 57-64

[62] 江志红, 丁裕国. 近40年我国降水量年际变化的区域性特征[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 73-78

[63] 王遵娅, 丁一汇, 何金海等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236

[64] 翟盘茂. 中国降水极值变化趋势检测[J]. 气象学报. 1999, 57(2): 208-216

[65] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测[J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208-216

[66] 高蓓, 栗珂, 李艳丽. 陕西近40年气候变化特征的分析[J]. 成都信息工程学院, 2006, 21(2): 290-295

[67] 施雅风主编, 中国气候与海面变化及其趋势和影响, 气候变化对西北华北水资源的影响[M] 济南: ft东科学技术出版社, 1995

[68] 水利部水文信息中心, “八五”国家科技攻关计划(85-913-03-03)“气候变化对中国水文水资源影响及适应对策研究”技术报告[R]

[69] 水利部水利信息中心, “九五”国家科技攻关计划(96-908-03-02)“气候异常对水文水资源影响评估模型研究”技术报告[R], 2001;

[70] 水利部水文局, 国家“十五”科技攻关计划(2001-AB61IB-02-04)“气候变化对我国淡水资源的影响阑值及综合评价”[R], 2003

[71] 水利部应对气候变化研究中心, 南京水利科学研究院. 气候变化对水文水资源影响研究综述[J]. 中国水利, 2008(2): 47-51

[72] 王顺久. 全球气候变化对水文水资源的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 223~227

[73] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 科学出版社, 2007

[74] 张利平, 陈小凤, 赵志鹏, 胡志芳. 气候变化对水文水资源影响的研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 60~67

[75] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 气象出版社, 2003

[76] 殷淑燕, 黄春长, 延军平. 陕西渭北旱塬近43 年气候暖干化研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2000, 01: 123-126

[77] 孟丹丹, 殷淑燕, 张参, 王德丽. 1955-2008年渭北旱塬地区气候变化特征[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2010, 04: 99-103

[78] 陈太根, 董捷. 关中平原近49年来气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 12: 76-81

[79] 延军平. 渭河谷地的气候暖干化与未来趋势[J]. 环境科学, 1999, 2: 85-87

[80] 李俊霖, 延军平, 孙虎, 赵德芳, 徐小玲. 关中平原东、中、西部气候干旱化程度比较分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 1: 131-134

[81] 刘俊民, 郭瑞. 关中平原降水特征分析[J]. 人民黄河, 2008, 5: 22-24

[82] 胡小晖. 全球变化下秦岭南北气候变化及其环境效应的比较研究[D]: 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2007

[83] 董婕, 周淑艳, 王茸仙. 全球变暖背景下榆林、西安地区、安康气候对比分析[J]. 曲阜师范

大学学报(自然科学版), 2009,01:102-106

[84] 庞雷. 气候变化对陕西省水资源的影响[J]. 陕西水利, 2009, 03: 39-42

[85] 王云璋, 王国庆, 王昌高. 近十年渭河流域降水特点及其对径流影响的初步分析[J]. 人民黄河, 1998, 10: 4-6, 24

[86] 孙艳群. 渭河流域陕西片降雨与径流特性研究[D] 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2005

[87] 杨文峰, 李星敏. 陕西省近50年气候变化及其对水资源的影响[J] 陕西气象, 2002, 6: 1-4

[88] 王慰卿. 唐代关中地区的水、旱灾害与水资源问题[D] 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2001

[89] 井涌. 气候变化中的区域水资源演变规律及对策[J] 特别关注, 2010, 1: 12-14

[90] 郭俊华, 蔡雯, 杨畅宇. 工业化带动城市化的对策研究—以陕西关中地区为例[J]. 人文地理, 2009, (6): 59-62

[91] 庞新生. 多重插补方法与应用研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2013.9

[92] 赵兰兰, 王恺, 赵兵. 农业气象资料中连续性数据缺失插补方法研究[J]. 水电能源科学. 2010.05: 8-12

[93] 张增哲. 流域水文学[M]. 中国林业出版社, 1991

[94] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射控制学报. 2001.01: 21-23

[95] 丁一汇, 张锦等. 气候系统的演变及其预测[M].北京. 气象出版社, 2003

[96] 周芬. Kendall检验在水文序列趋势分析中的比较研究[J]. 人民珠江, 2005. A02: 35-37

[97] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. [J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493

[98] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2 版)[M], 北京: 气象出版社, 2007

[99] 翟盘茂, 邹旭. 1951-2003年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J] 气候变化研究进展. 1(1), 2005.5: 16~18

[100] 卫旭东, 刘引鸽, 缪启龙. 陕西省降水量变化及其影响分析[J] 水土保持通报. 24（4）, 2004, 8: 40~43

[101] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型（第三版）[M], 高等教育出版社, 2003

[102] Jones P. D, Raper S C B, Bradley R. S. et al. Northern Hemsphere surface air temperature variations in1851-1984 J. J. Climate Appl. Merteor., 1986, 25: 16-179

[103] Jones P. D, Wigley TML, Wright PB. Gobal temperature variations between 1861 and 1984.

Nature, 1986, 322:430-434

[104] 侯学英. 气温变化的灰色关联分析[J], 生态经济. 2009. (1): 59-62

[105] 黄嘉佑. 气候状态变化趋势同样突变分析[J].气象, 1996, 21(5): 56-57

[106] 唐蕴, 王浩, 严登华. 近50年来东北地区降水的时空分异研究[J] 地理科学. 2005, 25(2): 172-176

[107] 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近44年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的相应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567-572

[108] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温年代际变化和热岛效应[J], 地球物理学报. 2005.48(1): 39-45

[109] 王胜今, 景跃军. 人口资源环境与发展[M]. 2006（第一版）, 吉林人民出版社

[110] 谢永在. 1℃值多少钱[J], 时代青年（悦读）, 2011(03): 1-2

[111] 国家气候变化对策协调小组办公室. 全球气候变化——人类面临的挑战[M]. 上海: 商务印书馆, 2004

[112] 郭红霞, 汪艳林, 李瑞雪. 近57年兰州市气温降水变化特征及突变分析[J]. 人民黄河. 2010, 32(1): 34-36

[113] 张耀宗, 张勃, 刘艳艳. 近半个世纪以来祁连ft区气温与降水变化的时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境. 2009, 23(4): 125-130

[114] 包云, 李晓兵, 黄玲梅, 张云霞, 王宏. 1961-2007年内蒙古降水时空分布[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 52-61

[115] 姜丽光, 姚治君, 魏义长, 刘兆飞, 吴珊珊. 河南省雨季降水时空变异特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(3): 395-400

[116] 邱海军, 曹明明, 刘闻. 基于EOF的陕西省降水变化时空分异研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 95-100

[117] 李平华, 胡小晖, 程燕. 陕西关中地区水文气候状况对全球变暖的相应问题探讨[J] 灾害学, 2002, 2: 37-41

[118] 李崇银, 刘式适, 陈嘉滨. 动力气象学导论[M], 气象出版社, 2005

[119] Allen M. R., P. L. Read, and L. A. Smith, Temperature time-seriesNature, 355: 686, 1992[120] LiuYan, LiXiaolong, HuAnyan. Responseofrunofftoprecipitataionchanges: Takinga caseofWeihe[J] AridLandGeography, 2007, 30(1): 49-52燕, 李小龙, 胡安炎. 河川径流对降水变化的响应研究-以渭河为例[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 49-52

[121] 韩淑云. 气候变化对人类现实生活的影响, 城市减灾, 2005, 1(1): 25-27

[122] 周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区最高、最低气温和日较差变化趋势的影响[J]. 高原气

象,2009,28(5):1158-1166

[123] 赵宗慈, 罗勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展[J]. 气象学报, 1998, 56(2): 225-214

[124] 龙海丽, 王爱辉. 乌鲁木齐近50年气温变化与城市发展关系[J]. 云南地理环境研究, 2013, 25(4): 10-15

[125] 姜创业, 魏娜, 程肖侠等. 1961-2008年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 197-201

[126] Bartholy J, Pongracz R, Regional analysis of extreme temperature and precipitation induices for the Carpathian basin from 1946 to 2001[J]. Global and planetary change, 2007, 57: 22-25 [127] Yan Junping, Zheng Yun. A comparative study on environmental change response over the northern and the southern regions of the Qinling Mountains[J]. Geographical Research,

2001,20(5):576-582延军平, 正与. 秦岭南北地区环境变化响应比较研究[J]. 地理研究,

2001,20(5):576-582

[128] Stern D I, Kaufmann R K. Anthropogenic and natural causes of climate change [J]. Climate change, 2014, 122: 257-269

[129] 赵宗慈, 王绍武, 徐影等, 近百年中国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808-817

[130] Allen M. R., P. L. Read, and L. A. Smith, Temperature time-series Nature, 355: 686, 1992, Amer. Meteor. Soc., 1996, 77, 437-471

[131] Elsner, J. b. and Tsonis, A. Do bidecadal oscillation exist in the global temperature record? Nature, 353: 551-553, 1991

[132] Ghil M. and Vautard R., Interdecadal oscillation and the warming trend in global temperature time series, Nature, 350: 324-327, 1991

[133] 严中伟, 近100年全球温度场中的年代际振荡[J] 气候与环境, 1998, 21(3): 201-208

[134] Douglas, J. E. A summary of some results from the Coweeta hydrologic laboratory, Appendix B, in L. S. Hamilton and P. N. King, Tropical forested watersheds [M]. Westview Perss, Boulder, colo., 1981

[135] 钱正英, 张光斗, 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001

[136] 刘昌明, 陈志恺主编. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M], 北京: 中国水利水

电出版社,2001

[137] Martha G., Roberts, 杨国安. 可持续发展研究方法国际进展—脆弱性分析方法与可持续生计方法比较[J]. 地理科学进展, 2003, 22(l): 11-21

[138] 刘昌明, 21世纪中国水资源若干问题的讨论[M], 2002: 15-19

[139] 钱正安, 吴统文, 宋敏红等. 干早灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题明. 地球科学进展, 2001, 16(l): 28-38

[140] 陈志恺. 中国水资源的可持续利用问题[J]. 水文, 2003, (l): l-5

[141] 董亚飞, 李兆元. 关中地区气候资源特征分析[J]. 陕西气象, 1995, 6(5): 1158-1166 [142] Inger Hanssen-Bauer. Climate variation in the European sector of the Arctic: Observations and scenarios. Arctic AIpine Ecosystems and People in a Changing Environment[M]. SpringerBerlin Heidelberg: 2007

[143] Are Kont, Jaak Jaagus. Et. Biophy impact of climate change on some terrestrial ecosystems in Esonia[J]. Geojournal, 2002, 57(3): 169-181

[144] A. H. EI-Nahry, R. Doluschitz. Climate change and its impacts on the coastal zone of the Nile Delta Egypt[J]. Environmental Earth Science, 2009

[145] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近一百年来的温度变化[J].气象, 1994, 20(12): 19-26

[146] 陈隆勋, 朱文琴, 王文等, 中国近45年气候变化研究[J], 气象学报, 1998, 56(3): 257-271 [147] Qi Hu, Gregory Buyanovsky. Climate Effects on Corn Yield in Missouri[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 2003, 42: 1626-1635

[148] 张建平, 赵艳霞, 王春乙等, 气候变化对我国南方双季稻发育和产量的影响[J], 气候变化研究进展, 2005, 1(4): 151-156

[149] M. James Salinger. Increasing Climate Variability and Changer: Reducing the Vulnerability [J]. Climate Change, 2005, 70: 1-3

[150] Lars Hein, Marc J. Metzger, et. The local impactes of climate in the Ferlo, Western Sahe[J]. Climatic Change, 2009, 93(3-4): 465-483

[151] 刘永懋, 宿华, 刘巍. 中国水资源的现状与未来——21世纪水资源管理战略[J]. 水资源保护, 2001, (4): 13-15;

[152] 钱正英. 中国水资源战略研究中几个问题的认识[J]. 河海大学学报, 2001, 29(3): 1-7

[153] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987

[154] 张光斗, 陈志恺. 中国水资源问题及其解决途径[J]. 水利学报, 1991, (4): 2-9

[155] 王爱军, 朱诚. 黄河断流对全球气候变化的响应[J]. 自然灾害学报, 2002, (2): 103-107

[156] 唐红玉, 翟盘茂. 1951-2002年中国东、西部地区地面气温变化对比[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 526-534

[157] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国近117年年平均气温的区域特征研究[J]. 应用气象学报, 1999, (增刊): 34-42

[158] 张先恭、李晓泉. 本世纪我国气温变化的某些特征[J]. 气象学报, 1982, 40(2): 198-208

[159] 林学椿. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553

[160] 徐孝纯. 中国与全球气候变化. 中国未来研究会2009年学年会论文集[D]. 2009, 100-101

[161] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报. 1997, 55(4): 419-431

[162] 唐国利, 丁一汇, 王绍武等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 71-78

[163] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J].气象, 1992, 16(2): 11-15

[164] Gruza. G. V., E. G. Apasova. Climatic variability in the monthly sums of precipitation in the northern hemisphere. Meteor[J]. Gidror. 1981, (5): 5-16

[166] 张华丽, 董婕等. 西安地区气温变化特征及城市化影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 85-89

[167] 蔡明科. 关中地区水文、气象干旱特征对比研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(6): 33-37

### 攻读博士期间取得的研究成果

一、发表的学术论文

[1]基于Shapley值的西安地区生活需水量组合预测研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013,24(1):10-13,2013.01,

[2] Establishment of Water Shortage Risk Assessment Index System of Guanzhong-Tianshui Econommic Zone, 2012 International symposium on Geomatics for Integrated Water Resource Management, GIWRM, 2012,2013.1 EI检索

[3] 关中地区降雨气温动态演变特征分析[J]. 安徽农业科学，2015,47（11）：192~195,2015.4

[4] BT项目风险模糊综合评判理论及方法研究[J]. 武汉理工大学学报（信息与管理工程版）, 2010,35(2): 270-273, 2010.2

二、参加的科技项目

[1]参与国家科技攻关计划项目：中国西北不同生态地域ft川秀美试验示范区建设与重大科技难题研究（2002BA901A43）；

[2]参与“111 学科创新引智项目——干旱半干旱地区水文生态及水安全学科创新引智基地

（B08039）“项目。

[3]参加“提高大型灌区水资源利用效益促进社会主义新农村建设的试验与示范”项目。

[4]中国工程院咨询项目——防旱抗旱确保粮食及农村供水安全战略研究

[5]参加“第二次全国土地调查甘泉县农村土地调查”项目，主要参加人。

致**谢**

韶华易逝，光阴荏苒，转眼间师从李老师已9年有余。在这9年的学习生活中，李老师严谨的治学态度、前沿而精髓的学术造诣，都让我永志不忘，并深刻影响着我日后的工作和生活。

在论文的撰写过程中，我几乎天天生活在“爱与痛的边缘”，出于对李老师的仰慕和静下来做点事情的决心，我选择跨专业攻读博士学位，并且希望做出一篇让自己满意的博士论文。然而学习过程中发现心有余而力不足，在学术上终难突破。随着研究工作的深入，理论视野得到拓展的同时，自己一直在自信与怀疑之间不停地摆荡，研究工作也始终徘徊在选题的路上。很多次，我都怀疑自己选错了研究方向，略有自暴自弃的想法，每当这个时候，李老师总帮我排疑解惑，扶我再次上路。从求学路上到论文的选题、构思、撰写、修改和定稿，每一个环节都浸透着李老师的汗水和心血。

求学之路不易，一路走过，李老师和师母初杨瑞老师一直在生活、学习、工作等方面给予我无微不至的关怀和照顾。在论文完成之际，谨向关心和爱护我的导师和师母表示最衷心的感谢和最崇高的敬意！

在论文的选题、资料收集和撰写过程中，得到了易秀教授、李启磊老师、刘燕老师、姜玲老师、李军媛老师、刘招老师等等诸位的指导和帮助，他们对我沦为的撰写给予了极大的帮助和支持并提出了许多宝贵意见、建议和思路，在此向他们表示最诚挚的谢意！

感谢郭曼、李仕华、乔长录、刘莉、贾志峰、徐斌等同门师兄妹在博士学习期间，学习、生活中给予的帮助！

感谢长安大学研究生部、环境科学与工程学院、水与发展研究院各位领导、老师的大力支持和帮助！

感谢我的爱人和我的父母家人一直以来在学习、工作和生活中的爱护和支持，在论文撰写过程中给予的极大鼓励和帮助！

最后，衷心的感谢所有关心、支持、鼓励和帮助我的人们！

熊光红

2015年6 月