**2018年南通大学数学建模竞赛**

**承 诺 书**

我们仔细阅读了南通大学数学建模竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与本队以外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的, 如果引用别人的成果或其它公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们愿意承担由此引起的一切后果。

我们授权南通大学数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从A/B中选择一项填写）： A

参赛队员（打印并签名）：

队员1： ，学院、班级

队员2： ，学院、班级

队员3： ，学院、班级

（以上内容请仔细核对，提交后将不再允许做任何修改。如填写错误，论文可能被取消评奖资格）

日期： 年 月 日

竞赛评阅编号（由竞赛组委会评阅前进行编号）：

城市物理环境的评价问题

**问题重述**

随着城市化进程的加快，生活在城市的人口越来越多。人们对赖以生存的城市物理环境总有诸多抱怨。请你们队试着解决如下问题:

(1)解释什么是城市物理环境,建立城市物理环境评价体系;

(2)选择若干城市，收集相关信息，对这些城市的目前物理环境进行评价与分析;

(3)选择某一城市，评价该市物理环境近10年的变化趋势;

(4)结合你的模型与分析，给出一些改善城市物理环境的建议。

**问题产生**

城市是人们生活和生产聚集的场所，利用和消耗着大量的资源，同时产生大量的污染物质，当污染超过城市自身净化能力时，城市环境将会受到严重的污染和破坏。随着经济高速发展和城市化进程的加快，环境问题日益严重。当前城市环境污染主要有大气污染、噪声污染、垃圾污染、电磁波辐射污染、 和水污染。近年来，城市环境保护问题越来越受到社会的高度关注，在加快城市环境建设进程中做了大量工作，取得了显著成效。但是，形势依然严峻，已影响到中国经济和社会的可持续发展，并持续引发一系列社会安定问题。

引发环境问题的原因多种多样，既有主观因素，也有客观因素。首先，城市人口迅速膨胀，公共基础设施薄弱。许多城市基础设施的建设,如供暖、煤气、排水、城市污水处理等，远远跟不上城市发展和环境保护的需要。其次，很多城市缺少周密而有预见性的总体规划，致使城市功能分区紊乱，或没有很好执行城市总体规划和工业合理布局规划，造成了本可以避免的环境污染问题。最后，技术水平低,能源消耗严重。企业技术水平相对落后，技术改造严重不足，存在高消耗、高耗能、高污染的现象。我国能源利用率低，使许多应该回收利用和循环使用的大量废弃物排入环境，既浪费了资源，又污染了环境。

面对日益严重的环境问题，我们需要采取一些有效的防治措施。坚持预防为主、防治结合的原则，把环境保护纳入城市经济与社会发展计划，推行城市环境结合整治。同时按照城市建设与城市环境同步发展的原则，积极建设城市环境基础设施，大力推行污染集中控制的措施。良好的管理是解决城市环境问题的重要措施，政府可以采取奖励环境管理机构、加强监督管理、制定环境保护目标责任制等制度与措施来控制污染发展和逐步改善环境质量。同时，要鼓励公众参与，促使他们积极主动地维护自己的环境权益，保护居住地区的环境。

城市化是任何一个国家和地区都不可回避的必然趋势，所以我们必须正视环境问题。综合运用法律、经济等手段，政府采取强有力的干预措施，同时公民本身要有环境保护意识，最终达到治理污染的目的，使城市建设高速协调，实现城市的可持续发展战略。

**建立模型的意义**

给建筑师和规划工程师提供创造良好的室内、外物理环境和城市物理环境的

基本知识和方法。利用物理学的一些基本原理，分析城市环境内部各因素的运动

变化规律和存在形态，阐述如何利用物理知识、生态思想，规划设计手段来改善

日益恶化的城市声环境、光环境、热环境。

问题一

城市物理环境主要是指室内、外空间的声、光、热环境，以及电磁辐射环境、水环境和空气品质等等。城市物理环境是介于环境科学和建筑科学之间的一门新兴学科。

为了确保指标体系的科学性，通过问卷调查，咨询群众的意见，采用关联图分析法，建立如下所示层次结构：

目标层Z

城市物理环境评价体系

热环境B3

声环境B2

气环境B1

准则层B

相对湿度

D7

温度

D6

城市区域噪声

D5

可吸入颗粒物

D3

二氧化硫

D1

交通噪声

D4

二氧化氮

D2

子准则层D

城市评价层次结构图

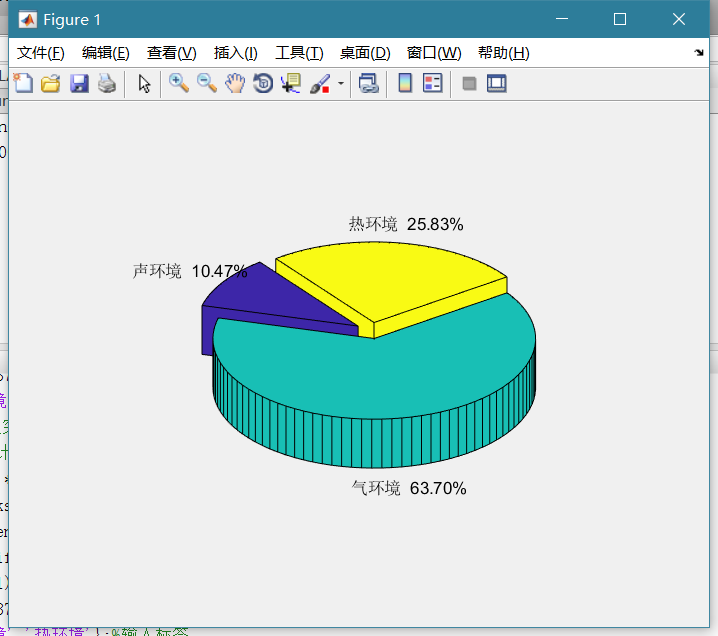
对准则层B，构造成对比较矩阵列成表如下所示：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Z | B1 | B2 | B3 |
| B1 | 1 | 1/5 | 1/3 |
| B2 | 5 | 1 | 3 |
| B3 | 3 | 1/3 | 1 |

通过matlab计算出各指标特征向量（即权值）为：

W=[0.1047 0.6370 0.2583]

通过饼状图可以直观的看出各环境所占比例：



所以评价城市由这三个环境组成，综合分数=0.1047\*声环境+ 0.6370\*气环境+0.2583\*热环境

这就是构造的评价城市物理环境的数学模型。

问题二：

气环境：

本题以 五大城市2016年大气环境质量状况(见表 1)为例，参照 GB 3095-2012《环境空气质量标准》(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对大气环境质量进行综合评价。

|  |
| --- |
| 城市 SO₂ NO₂ PM10 O₃ PM2.5 |
| 北京 10 48 92 199 73 |
| 天津 21 48 103 157 69 |
| 上海 15 43 59 164 45 |
| 南京 18 44 85 184 48 |
| 武汉 11 46 92 160 57 |

表1五大城市2016年大气环境质量状况 μg/m₃

|  |
| --- |
| 大气质量级别 SO₂ NO₂ PM10 O₃ PM2.5 |
| 一级 20 40 40 100 15 |
| 二级 60 40 70 160 35 |

表2 GB 3095-2012《环境空气质量标准》 μg/m₃

1、**数据标准化处理** 为了消除5个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到 5 个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | |
|  | | SO₂ | NO₂ | PM10 | O₃ | PM2.5 |
| 相关性 | SO₂ | 1.000 | -.603 | -.206 | -.147 | -.400 |
| NO₂ | -.603 | 1.000 | .863 | .605 | .953 |
| PM10 | -.206 | .863 | 1.000 | .695 | .911 |
| O₃ | -.147 | .605 | .695 | 1.000 | .775 |
| PM2.5 | -.400 | .953 | .911 | .775 | 1.000 |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  | 初始 | 提取 |
| SO₂ | 1.000 | .242 |
| NO₂ | 1.000 | .927 |
| PM10 | 1.000 | .837 |
| O₃ | 1.000 | .624 |
| PM2.5 | 1.000 | .970 |

表4 指标的提取度

由表 3 可知，NO₂、PM10、O₃、PM2.5四者之间具有较强的相关性，SO₂与其他 4 个指标间的相关性较弱．由表 4 可知，这 5 个变量的共性方差，除了SO₂、O₃接近0.5以外，其他的变量的共性方差都大于或接近0.9，故表示提取的公共因子能够较好地反映原始变量的主要信息。

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方

差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | |
| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
| 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| 1 | 3.599 | 71.987 | 71.987 | 3.599 | 71.987 | 71.987 |
| 2 | .975 | 19.493 | 91.479 |  |  |  |
| 3 | .361 | 7.212 | 98.691 |  |  |  |
| 4 | .063 | 1.253 | 99.944 |  |  |  |
| 5 | .003 | .056 | 100.000 |  |  |  |

表5 特征值及主成分贡献率

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到71.987%，说明第一主成分已可以代表大多原

始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对环境空气质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数

据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6

所示。

|  |
| --- |
| 主成分 SO₂ NO₂ PM10 O₃ PM2.5 |
| 1 -0.259 0.507 0.482 0.416 0.519 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1=-0.259 ZSO₂ + 0.507ZNO₂ +0.482ZPM10+0.416 ZO₃ + 0.519ZPM2.5

从主成分的特征向量构成来看，PM2.5、O₃ 、PM10、NO₂的绝对值较大，对空气质量起主导作用，其中PM2.5的绝对值最大，为主要污染因子; 这个独立的主成分代表了五个城市大气的污染机制，为无机物污染和扬尘污染．说明现阶段五个城市空气污染主要是建设过程中产生的粉尘污染。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 城市及大气质量级别 | ZSO₂ | ZNO₂ | ZPM10 | ZO₃ | ZPM2.5 |
| 北京 | -.70522 | 1.13859 | .66569 | 1.24464 | 1.20492 |
| 天津 | -.06637 | 1.13859 | 1.16335 | -.11567 | 1.00529 |
| 上海 | -.41484 | -.33736 | -.82727 | .11105 | -.19250 |
| 南京 | -.24061 | -.04217 | .34901 | .75881 | -.04278 |
| 武汉 | -.64715 | .54821 | .66569 | -.01851 | .40639 |
| 一级 | -.12445 | -1.22293 | -1.68686 | -1.96181 | -1.68974 |
| 二级 | 2.19863 | -1.22293 | -.32962 | -.01851 | -.69158 |

表7 无量纲化

5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的

方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

综合得分 Z=Z1，对五个城市2016年空气质量状况进行定量化描述，得分越高的，表明其受污染的程度越高，以此来对环境空气质量状况进行排序和分级，结果如下表：

|  |
| --- |
| 城市及大气质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 空气质量分类 |
| 北京 2.2239 2.2239 5 劣于二级 |
| 天津 1.6288 1.6288 4 劣于二级 |
| 上海 -0.5161 -0.5161 1 劣于二级 |
| 南京 0.5026 0.5026 2 劣于二级 |
| 武汉 0.9696 0.9696 3 劣于二级 |
| 一级 -3.0939 -3.0939 |
| 二级 -1.7150 -1.7150 |

表8 五个城市环境空气质量状况综合评价结果

由上表可得出结论：空气质量状况由优到劣依次为:上海、南京、武汉、天津、北京。五个城市的空气质量都有待加强。

声环境：

本题以 五大城市2016年声环境质量状况(见表 1)为例，参照 《城市区域环境噪声标准》（GB3096-2008）(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对声环境质量进行综合评价。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 城市 | 交通噪声 | 城市区域噪声 |
| 北京 | 69.3 | 54.3 |
| 天津 | 67.9 | 54.1 |
| 上海 | 69.7 | 56.4 |
| 南京 | 67.9 | 54 |
| 武汉 | 67.1 | 55.9 |

表1 五大城市2016年声音环境质量状况 dB

|  |
| --- |
| 声环境级别 交通噪声 城市区域噪声 |
| 好 ≤68.0 ≤50 |
| 较好 68.1~70.0 50.1~55.0 |
| 轻度污染 70.1~72.0 55.1~60.0 |
| 中度污染 72.0~74.0 60.1~65.0 |
| 重度污染 >74.0 >65.0 |

表2 《城市区域环境噪声标准》（GB3096-2008） dB

由于城市区域环境噪声标准是以范围区间为参数进行判断的，为方便数据处理起见：

假设：

|  |
| --- |
| 声环境级别 交通噪声 城市区域噪声 |
| 好 66.0 45.0 |
| 较好 68.0 50.0 |
| 轻度污染 70.0 55.0 |
| 中度污染 72.0 60.0 |
| 重度污染 74.0 65.0 |

1、**数据标准化处理** 为了消除2个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到2个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **相关性矩阵** | | | | |  | | 交通噪声 | 城市区域噪声 | | 相关性 | 交通噪声 | 1.000 | .885 | | 城市区域噪声 | .885 | 1.000 | |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  | 初始 | 提取 | |
| 交通噪声 | 1.000 | .943 | |
| 城市区域噪声 | 1.000 | .943 | |

表4 指标的提取度

由表 3 可知，交通噪声与城市区域噪声之间具有较强的相关性。由表 4 可知，这 2个变量的共性方差，都大于或接近0.9，故表示提取的公共因子能够较好地反映原始变量的主要信息。

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方

差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | | | | | | | | 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | | | 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % | | 1 | 1.885 | 94.260 | 94.260 | 1.885 | 94.260 | 94.260 | | 2 | .115 | 5.740 | 100.000 |  |  |  | |

表5 特征值及主成分贡献率

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到94.260%，说明第一主成分已可以代表大多原

始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对环境声质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数

据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6

所示。

|  |
| --- |
| 主成分 交通噪声 城市区域噪声 |
| 1 0.707145982 0.707145982 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1=0.707145982 **Z交通噪声**+0.707145982 **Z城市区域噪声**

从主成分的特征向量构成来看，交通噪声和城市区域噪声的绝对值一样大，都对声音质量起主导作用，交通噪声与城市区域噪声都是主要污染因子; 这两个主成分代表了五个城市声音的污染机制，为交通噪声污染和城市区域噪声污染。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 城市及声音质量级别 | Z交通噪声 | Z城市区域噪声 |
| 北京 | .04610 | -.12586 |
| 天津 | -.54059 | -.16342 |
| 上海 | .21372 | .26862 |
| 南京 | -.54059 | -.18221 |
| 武汉 | -.87584 | .17470 |
| 好 | -1.33681 | -1.87281 |
| 较好 | -.49868 | -.93359 |
| 轻度污染 | .33944 | .00564 |
| 中度污染 | 1.17756 | .94486 |
| 重度污染 | 2.01569 | 1.88408 |

表7 无量纲化

5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的

方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

综合得分 Z=Z1，对五个城市2016年声音质量状况进行定量化描述，得分越高的，表明其受污染的程度越高，以此来对环境声音质量状况进行排序和分级，结果如下表：

|  |
| --- |
| 城市及声音质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 声音质量分类 |
| 北京 -0.0564 -0.0564 4 轻度污染 |
| 天津 -0.4979 -0.4979 2 轻度污染 |
| 上海 0.3411 0.3411 5 中度污染 |
| 南京 -0.5111 -0.5111 1 轻度污染 |
| 武汉 -0.4958 -0.4958 3 轻度污染 |
| 好 -2.2697 -2.2697 |
| 较好 -1.0128 -1.0128 |
| 轻度污染 0.2440 0.2440 |
| 中度污染 1.5009 1.5009 |
| 重度污染 2.7577 2.7577 |

表8 五个城市环境空气质量状况综合评价结果

由上表可得出结论：声音质量状况由优到劣依次为:南京、天津、武汉、北京、上海。五个城市都是繁华的城市，所以难免会有噪声污染存在，这是无可厚非的。

热环境：

本题以 五大城市2016年热环境质量状况(见表 1)为例，由于暂时无法找到热环境评分标准，根据常识可以知道，当环境温度在18- 25度,相对湿度在40%-70%时，人体感觉最舒适;温度在25-30度,湿度小于60%时，人体感觉热，但不闷;温度高于30度,湿度大于70%时，人体感觉闷热;温度高于36度,湿度大于80%时，人体感觉闷热难忍，发汗机制受阻，极易中暑;亚洲人舒适温度: 18-25度;所以定义一个热环境评价标准。(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对热环境质量进行综合评价。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 城市 | 年平均气温 ℃ | 年平均相对湿度 % |
| 北京 | 13.8 | 52 |
| 天津 | 13.8 | 58 |
| 上海 | 17.6 | 75 |
| 南京 | 16.8 | 73 |
| 武汉 | 17.3 | 80 |

表1 五大城市2016年热环境质量状况

|  |
| --- |
| 热环境级别 温度 相对湿度 |
| 舒适 18-25 40-70 |
| 热但不闷 25-30 <60 |
| 闷热 >30 >70 |
| 闷热难忍 >36 >80 |
| 偏冷 <18 <60 |
| 寒冷 <10 <40 |

表2 自定义热环境评分标准

为方便数据处理起见：

我们把评分标准假设为如下：

|  |
| --- |
| 热环境级别 温度 相对湿度 |
| 舒适 25 50 |
| 热但不闷 30 60 |
| 闷热 36 70 |
| 闷热难忍 45 80 |
| 偏冷 18 55 |
| 寒冷 10 40 |

1、**数据标准化处理** 为了消除2个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到2个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **相关性矩阵** | | | | |  | | 年平均气温 | 年平均相对湿度 | | **相关性** | **年平均气温** | 1.000 | .472 | | **年平均相对湿度** | .472 | 1.000 | |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 初始 | 提取 |
| **年平均气温** | 1.000 | .736 |
| **年平均相对湿度** | 1.000 | .736 |

表4 指标的提取度

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方

差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
| 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| **1** | 1.472 | 73.617 | 73.617 | 1.472 | 73.617 | 73.617 |
| **2** | .528 | 26.383 | 100.000 |  |  |  |

表5 特征值及主成分贡献率

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到73.617%，说明第一主成分已可以代表大多原

始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对热环境质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数

据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6

所示。

|  |
| --- |
| 主成分 年平均温度 年平均相对湿度 |
| 1 0.707190499 0.707190499 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1=0.707190499**Z年平均温度**+0.707190499 **Z年平均相对湿度**

从主成分的特征向量构成来看，年平均温度和年平均相对湿度的绝对值一样大，都对热环境质量起主导作用。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 城市及热环境质量级别 | Z年平均温度 | Z年平均相对湿度 |
| 北京 | -.77205 | -.82264 |
| 天津 | -.77205 | -.37393 |
| 上海 | -.41936 | .89742 |
| 南京 | -.49361 | .74785 |
| 武汉 | -.44720 | 1.27135 |
| 舒适 | .26748 | -.97221 |
| 热但不闷 | .73155 | -.22436 |
| 闷热 | 1.28844 | .52350 |
| 闷热难忍 | 2.12378 | 1.27135 |
| 偏冷 | -.38223 | -.59828 |
| 寒冷 | -1.12475 | -1.72006 |

表7 无量纲化

5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的

方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

综合得分 Z=Z1，对五个城市2016年热环境质量状况进行定量化描述，结果如下表：

|  |
| --- |
| 城市及热环境质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 热环境质量分类 |
| 北京 -1.1278 -1.1278 1 偏冷 |
| 天津 -0.8104 -0.8104 2 偏冷 |
| 上海 0.3380 0.3380 4 舒适 |
| 南京 0.1798 0.1798 3 舒适 |
| 武汉 0.5828 0.5828 5 热但不闷 |
| 舒适 -0.4983 -0.4983 |
| 热但不闷 0.3586 0.3586 |
| 闷热 1.2814 1.2814 |
| 闷热难忍 2.4010 2.4010 |
| 偏冷 -0.6934 -0.6934 |
| 寒冷 -2.0118 -2.0118 |

表8 五个城市热环境质量状况综合评价结果

由于冷热舒适情况比较难判断城市之间的热环境排名，在这里我们规定评分标准为：综合分数从小到大，闷热程度依次增大，由此来进行排名。

由上表可得出结论：热环境质量状况由优到劣依次为:北京、天津、南京、上海、武汉。

综合可得到：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 城市 | 气环境得分 | 声环境得分 | 热环境得分 | 综合得分 |
| 北京 | 2.2239 | -0.0564 | -1.1278 | -0.0944 |
| 天津 | 1.6288 | -0.4979 | -0.8104 | -0.3560 |
| 上海 | -0.5161 | 0.3411 | 0.3380 | 0.2506 |
| 南京 | 0.5026 | -0.5111 | 0.1798 | -0.2266 |
| 武汉 | 0.9696 | -0.4958 | 0.5828 | -0.0638 |

由于各项得分都是越小越好，故城市整体排名为：天津、南京、北京、武汉、上海。

问题三：

气环境：

本题以北京市近10年大气环境质量状况(见表 1)为例，参照 GB 3095-2012《环境空气质量标准》(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对大气环境质量进行综合评价。

|  |
| --- |
| 北京市十年空气质量 SO₂ NO₂ PM10 |
| 2016 10 48 92 |
| 2015 14 50 102 |
| 2014 22 57 116 |
| 2013 26 56 108 |
| 2012 29 52 109 |
| 2011 28 56 113 |
| 2010 32 57 121 |
| 2009 34 53 121 |
| 2008 36 49 123 |
| 2007 47 66 148 |

表1 北京市近10年大气环境质量状况 μg/m₃

|  |
| --- |
| 大气质量级别 SO₂ NO₂ PM10 |
| 一级 20 40 40 |
| 二级 60 40 70 |

表2 GB 3095-2012《环境空气质量标准》 μg/m₃

1、**数据标准化处理** 为了消除3个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到3个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | |
|  | | SO₂ | NO₂ | PM10 |
| 相关性 | SO₂ | 1.000 | .038 | .172 |
| NO₂ | .038 | 1.000 | .888 |
| PM10 | .172 | .888 | 1.000 |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 初始 | 提取 |
| SO₂ | 1.000 | .050 |
| NO₂ | 1.000 | .915 |
| PM10 | 1.000 | .947 |

表4 指标的提取度

由表 3 可知，NO₂、PM10两者之间具有较强的相关性，SO₂与其他2个指标间的相关性较弱．由表 4 可知，这 3个变量的共性方差，除了SO₂接近0.5以外，其他的变量的共性方差都大于或接近0.9，故表示提取的公共因子能够较好地反映原始变量的主要信息。

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **总方差解释** | | | | | | |
| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
| 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| 1 | 1.912 | 63.734 | 63.734 | 1.912 | 63.734 | 63.734 |
| 2 | .986 | 32.866 | 96.600 |  |  |  |
| 3 | .102 | 3.400 | 100.000 |  |  |  |

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到63.734%，说明第一主成分已可以代表大多原始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对环境空气质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6所示。

|  |
| --- |
| 主成分 SO₂ NO₂ PM10 |
| 1 0.161017395 0.691864943 0.703847079 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1=0.161017395ZSO₂ +0.691864943ZNO₂ +0.703847079ZPM10

从主成分的特征向量构成来看PM10、NO₂的绝对值较大，对空气质量起主导作用，其中PM10的绝对值最大，为主要污染因子; 这个独立的主成分代表了五个城市大气的污染机制，为扬尘污染．说明现阶段北京近十年空气污染主要是建设过程中产生的粉尘污染。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 年份及大气质量级别 | ZSO₂ | ZNO₂ | ZPM10 |
| 2016 | -1.44036 | -.54342 | -.47603 |
| 2015 | -1.14986 | -.27171 | -.11676 |
| 2014 | -.56888 | .67927 | .38621 |
| 2013 | -.27839 | .54342 | .09880 |
| 2012 | -.06052 | .00000 | .13473 |
| 2011 | -.13314 | .54342 | .27843 |
| 2010 | .15735 | .67927 | .56585 |
| 2009 | .30260 | .13585 | .56585 |
| 2008 | .44784 | -.40756 | .63770 |
| 2007 | 1.24669 | 1.90196 | 1.53587 |
| 一级 | -.71413 | -1.63025 | -2.34423 |
| 二级 | 2.19079 | -1.63025 | -1.26642 |

表7 无量纲化

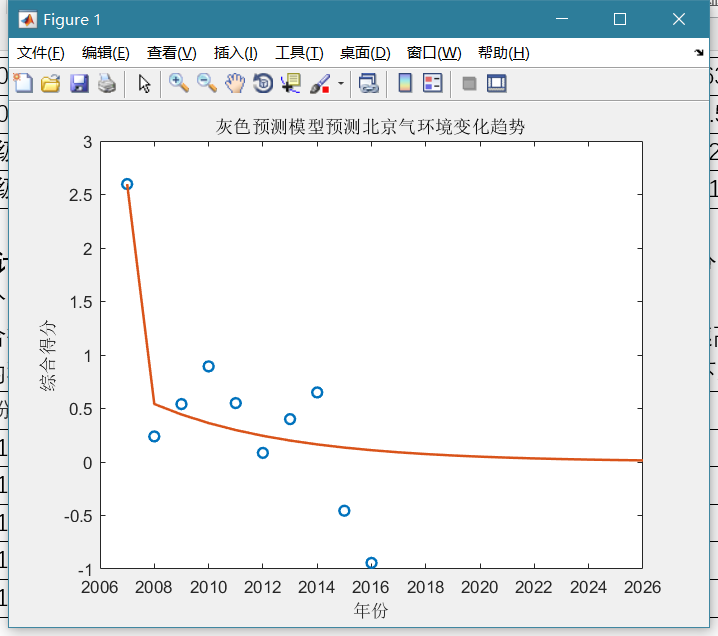
5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

综合得分 Z=Z1，对北京近十年空气质量状况进行定量化描述，得分越高的，表明其受污染的程度越高，以此来对环境空气质量状况进行排序和分级，结果如下表：

|  |
| --- |
| 年份及大气质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 空气质量分类 |
| 2016 -0.9430 -0.9430 1 劣于二级 |
| 2015 -0.4553 -0.4553 2 劣于二级 |
| 2014 0.6502 0.6502 8 劣于二级 |
| 2013 0.4007 0.4007 5 劣于二级 |
| 2012 0.0851 0.0851 3 劣于二级 |
| 2011 0.5506 0.5506 7 劣于二级 |
| 2010 0.8936 0.8936 9 劣于二级 |
| 2009 0.5410 0.5410 6 劣于二级 |
| 2008 0.2389 0.2389 4 劣于二级 |
| 2007 2.5976 2.5976 10 劣于二级 |
| 一级 -2.8929 -2.8929 |
| 二级 -1.6665 -1.6665 |

表8 北京近十年环境空气质量状况综合评价结果

由上表可得出结论：北京近十年空气质量状况由优到劣依次为:2016年、2015年、2012年、2008年、2013年、2009年、2011年、2014年、2010年、2007年。



根据matlab结合灰色预测模型得到北京近十年气环境变化趋势以及未来十年气环境变化趋势，由图可知，北京近十年气环境综合分数呈下降趋势，表明其受污染程度随着年份的增长呈现下降趋势，说明北京近十年对于环境污染的改善和处理下了苦心，环境正在变得越来越好。

声环境：

本题以 北京市近十年声环境质量状况(见表 1)为例，参照 《城市区域环境噪声标准》（GB3096-2008）(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对声环境质量进行综合评价。

|  |
| --- |
| 北京市十年声音质量 交通噪声 城市区域噪声 |
| 2016 69.3 54.3 |
| 2015 69.3 53.3 |
| 2014 69.1 53.6 |
| 2013 69.1 53.8 |
| 2012 69.2 54 |
| 2011 69.6 53.7 |
| 2010 70 54.2 |
| 2009 69.8 54.1 |
| 2008 69.4 53.6 |
| 2007 69.9 54.1 |

表1 北京近十年声音环境质量状况 dB

|  |
| --- |
| 声环境级别 交通噪声 城市区域噪声 |
| 好 ≤68.0 ≤50 |
| 较好 68.1~70.0 50.1~55.0 |
| 轻度污染 70.1~72.0 55.1~60.0 |
| 中度污染 72.0~74.0 60.1~65.0 |
| 重度污染 >74.0 >65.0 |

表2 《城市区域环境噪声标准》（GB3096-2008） dB

由于城市区域环境噪声标准是以范围区间为参数进行判断的，为方便数据处理起见：

假设：

|  |
| --- |
| 声环境级别 交通噪声 城市区域噪声 |
| 好 66.0 45.0 |
| 较好 68.0 50.0 |
| 轻度污染 70.0 55.0 |
| 中度污染 72.0 60.0 |
| 重度污染 74.0 65.0 |

1、**数据标准化处理** 为了消除2个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到2个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **相关性矩阵** | | | | |  | | 交通噪声 | 城市区域噪声 | | 相关性 | 交通噪声 | 1.000 | .990 | | 城市区域噪声 | .990 | 1.000 | |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  | 初始 | 提取 | |
| 交通噪声 | 1.000 | .995 | |
| 城市区域噪声 | 1.000 | .995 | |

4 指标的提取度

由表 3 可知，交通噪声与城市区域噪声之间具有较强的相关性。由表 4 可知，这 2个变量的共性方差，都大于或接近0.9，故表示提取的公共因子能够较好地反映原始变量的主要信息。

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方

差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | |
| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
| 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| 1 | 1.990 | 99.521 | 99.521 | 1.990 | 99.521 | 99.521 |
| 2 | .010 | .479 | 100.000 |  |  |  |

表5 特征值及主成分贡献率

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到99.521%，说明第一主成分已可以代表大多原

始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对环境声质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数

据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6

所示。

|  |
| --- |
| 主成分 交通噪声 城市区域噪声 |
| 1  0.707182285 0.707182285 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1= 0.707182285 **Z交通噪声**+ 0.707182285 **Z城市区域噪声**

从主成分的特征向量构成来看，交通噪声和城市区域噪声的绝对值一样大，都对声音质量起主导作用，交通噪声与城市区域噪声都是主要污染因子; 这两个主成分代表了五个城市声音的污染机制，为交通噪声污染和城市区域噪声污染。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 年份及声音质量级别 | Z交通噪声 | Z城市区域噪声 |
| 2016 | -.20030 | .01249 |
| 2015 | -.20030 | -.22174 |
| 2014 | -.31585 | -.15147 |
| 2013 | -.31585 | -.10462 |
| 2012 | -.25808 | -.05778 |
| 2011 | -.02696 | -.12805 |
| 2010 | .20415 | -.01093 |
| 2009 | .08859 | -.03435 |
| 2008 | -.14252 | -.15147 |
| 2007 | .14637 | -.03435 |
| 好 | -2.10698 | -2.16585 |
| 较好 | -.95141 | -.99470 |
| 轻度污染 | .20415 | .17645 |
| 中度污染 | 1.35971 | 1.34760 |
| 重度污染 | 2.51528 | 2.51876 |

表7 无量纲化

5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的

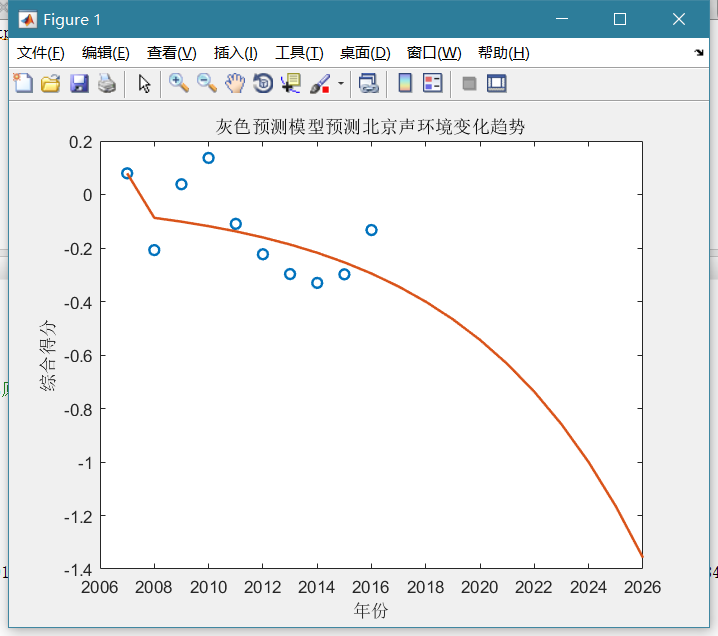
方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

综合得分 Z=Z1，对五个城市2016年声音质量状况进行定量化描述，得分越高的，表明其受污染的程度越高，以此来对环境声音质量状况进行排序和分级，结果如下表：

|  |
| --- |
| 年份及声音质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 声音质量分类 |
| 2016 -0.1328 -0.1328 6 轻度污染 |
| 2015 -0.2984 -0.2984 2 轻度污染 |
| 2014 -0.3305 -0.3305 1 轻度污染 |
| 2013 -0.2974 -0.2974 3 轻度污染 |
| 2012 -0.2234 -0.2234 4 轻度污染 |
| 2011 -0.1097 -0.1097 7 轻度污染 |
| 2010 0.1367 0.1367 10 轻度污染 |
| 2009 0.0383 0.0383 8 轻度污染 |
| 2008 -0.2079 -0.2079 5 轻度污染 |
| 2007 0.0792 0.0792 9 轻度污染 |
| 好 -3.0217 -3.0217 |
| 较好 -1.3762 -1.3762 |
| 轻度污染 0.2692 0.2692 |
| 中度污染 1.9146 1.9146 |
| 重度污染 3.5600 3.5600 |

表8 五个城市环境空气质量状况综合评价结果

由上表可得出结论：北京近十年声音质量状况由优到劣依次为:2014、2015、2013、2012、2008、2016、2011、2009、2007、2010。



根据matlab结合灰色预测模型得到北京近十年声环境变化趋势以及未来十年声环境变化趋势，由图可知，北京近十年声环境综合分数呈下降趋势，表明其受污染程度随着年份的增长呈现下降趋势，说明北京近十年对于环境污染的改善和处理下了苦心，环境正在变得越来越好。

热环境：

本题以 北京近十年热环境质量状况(见表 1)为例，定义一个热环境评价标准。(见表 2)，通过主成分分析法(基于 Spss 24)对热环境质量进行综合评价。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 年份 | 年平均温度℃ | 年平均湿度% |
| 2016 | 13.7 | 51.58333 |
| 2015 | 14.06667 | 54.91667 |
| 2014 | 13.05 | 51.75 |
| 2013 | 12.85 | 55.08333 |
| 2012 | 13.4 | 51 |
| 2011 | 12.61667 | 49.25 |
| 2010 | 13.25 | 51 |
| 2009 | 13.35 | 51 |
| 2008 | 14 | 52.25 |
| 2007 | 13.83333 | 54 |

表1 北京近十年热环境质量状况

|  |
| --- |
| 热环境级别 温度 相对湿度 |
| 舒适 18-25 40-70 |
| 热但不闷 25-30 <60 |
| 闷热 >30 >70 |
| 闷热难忍 >36 >80 |
| 偏冷 <18 <60 |
| 寒冷 <10 <40 |

表2 自定义热环境评分标准

为方便数据处理起见：

我们把评分标准假设为如下：

|  |
| --- |
| 热环境级别 温度 相对湿度 |
| 舒适 25 50 |
| 热但不闷 30 60 |
| 闷热 36 70 |
| 闷热难忍 45 80 |
| 偏冷 18 55 |
| 寒冷 10 40 |

1、**数据标准化处理** 为了消除2个指标的量纲所带来的影响，对原始数据进行标准化处理，使处理

后的数据具有可比性。通过 Spss 24可以快速地将数据进行标准化处理。

2、**计算相关系数矩阵** 利用 Spss 24软件可以得到2个评价指标的相关系数矩阵(见表 3)以及每个变

量的提取度(见表 4)。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | |
| 相关性矩阵 | | | | |
|  | | 年平均温度 | 年平均湿度 |
| 相关性 | 年平均温度 | 1.000 | .895 |
| 年平均湿度 | .895 | 1.000 |

表3 相关系数矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 初始 | 提取 |
| 年平均温度 | 1.000 | .947 |
| 年平均湿度 | 1.000 | .947 |

表4 指标的提取度

3、**计算特征值和主成分贡献率** 通过协方差矩阵，可以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方

差以及累积方差贡献率，如表 5 所示。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **总方差解释** | | | | | | |
| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | |
| 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| 1 | 1.895 | 94.729 | 94.729 | 1.895 | 94.729 | 94.729 |
| 2 | .105 | 5.271 | 100.000 |  |  |  |

表5 特征值及主成分贡献率

从上表 5 可以看出，第一主成分的方差贡献率已达到94.729%，说明第一主成分已可以代表大多原

始数据的信息，因此，1个主成分能够反映原始数据提供的绝大部分信息。利用它，对热环境质量进行综合评价。

4、**计算主成分表达式** 利用 Spss 24软件先求出主成分载荷矩阵 ，然后将主成分载荷矩阵中的数

据除以主成分相对应的特征值，再开平方根便可得到两个主成分中每个指标所对应的系数，如表 6

所示。

|  |
| --- |
| 主成分 年平均温度 年平均相对湿度 |
| 1 0.706819029 0.706819029 |

表6 主成分的特征向量

由上表 6 可得，这两个主成分与各个变量的线性组合关系为:

Z 1= 0.706819029**Z年平均温度**+ 0.706819029**Z年平均相对湿度**

从主成分的特征向量构成来看，年平均温度和年平均相对湿度的绝对值一样大，都对热环境质量起主导作用。

利用spss 24把数据无量纲化如下表所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 年份及热环境质量级别 | Z年平均温度 | Z年平均相对湿度 |
| 2016 | -.49057 | -.35455 |
| 2015 | -.45411 | .01262 |
| 2014 | -.55523 | -.33619 |
| 2013 | -.57512 | .03098 |
| 2012 | -.52041 | -.41881 |
| 2011 | -.59833 | -.61157 |
| 2010 | -.53533 | -.41881 |
| 2009 | -.52539 | -.41881 |
| 2008 | -.46074 | -.28112 |
| 2007 | -.47731 | -.08835 |
| 舒适 | .63334 | -.52896 |
| 热但不闷 | 1.13065 | .57256 |
| 闷热 | 1.72742 | 1.67408 |
| 闷热难忍 | 2.62258 | 2.77560 |
| 偏冷 | -.06289 | .02180 |
| 寒冷 | -.85858 | -1.63048 |

表7 无量纲化

5、**计算主成分得分及综合评价** 利用 Spss 24软件计算出各主成分得分，然后将各主成分得分与对应的

方差贡献率相乘以后的总和，即为综合得分

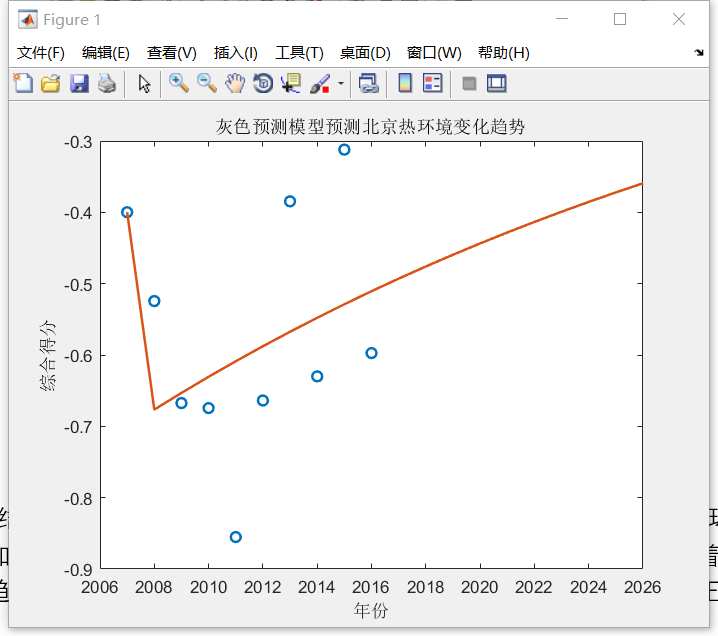
综合得分 Z=Z1，对北京近十年年热环境质量状况进行定量化描述，结果如下表：

|  |
| --- |
| 城市及热环境质量级别 主成分得分Z1 综合得分Z 主成分得分排序 热环境质量分类 |
| 2016 -0.5973 -0.5973 6 偏冷 |
| 2015 -0.3121 -0.3121 10 偏冷 |
| 2014 -0.6300 -0.6300 5 偏冷 |
| 2013 -0.3846 -0.3846 9 偏冷 |
| 2012 -0.6638 -0.6638 4 偏冷 |
| 2011 -0.8552 -0.8552 1 偏冷 |
| 2010 -0.6744 -0.6744 2 偏冷 |
| 2009 -0.6674 -0.6674 3 偏冷 |
| 2008 -0.5244 -0.5244 7 偏冷 |
| 2007 -0.3998 -0.3998 8 偏冷 |
| 舒适 0.0738 0.0738 |
| 热但不闷 1.2039 1.2039 |
| 闷热 2.4043 2.4043 |
| 闷热难忍 3.8155 3.8155 |
| 偏冷 -0.0291 -0.0291 |
| 寒冷 -1.7594 -1.7594 |

表8 北京近十年环境质量状况综合评价结果

由于冷热舒适情况比较难判断城市之间的热环境排名，在这里我们规定评分标准为：综合分数从小到大，闷热程度依次增大，由此来进行排名。

由上表可得出结论：北京近十年热环境质量状况由优到劣依次为:2011、2010、2009、2012、2014、2016、2008、2007、2013、2015。



根据matlab结合灰色预测模型得到北京近十年热环境变化趋势以及未来十年热环境变化趋势，由图可知，北京近十年热环境综合分数总体呈上升趋势，表明其环境随着年份的增长正在变得越来越闷热，说明北京未来对于热污染需要下点功夫改善。