马来西亚华文独中教科书

高中适用

自然地理

Physical Geography

董教总华文独中工委会统一课程委员会编纂

马来西亚华文独中教科书

高中适用

自然地理

Physical Geography

董教总华文独中工委会统一课程委员会编纂

高中适用
《自然地理》

行政编辑：黄宝玉
设计排版：黄燕仪　白伟权

© 郑重声明，此书版权归出版单位所有，未经允许，书上所有内容不得通过任何形式进行复制、转发、储存于检索系统，或翻译成其它语言的活动。

© Dong Zong
Hak cipta terpelihara. Mana-mana bahan atau bahagian dalam buku ini tidak dibenarkan diterbitkan semula, disimpan dalam cara yang boleh dipergunakan lagi, atau ditukar kepada apa-apa bentuk atau apa-apa cara, baik dengan elektronik, mekanikal, fotokopi, rakaman, pengalihan bahasa dan sebagainya tanpa mendapat kebenaran secara menulis daripada pihak penerbit terlebih dahulu.

© Dong Zong
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, translated in any other languages, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

编辑单位：
董教总华文独中工委会统一课程委员会
Unified Curriculum Committee of
Malaysian Independent Chinese Secondary School Working Committee（MICSS）

出版发行：
马来西亚华校董事联合会总会（董总）
United Chinese School Committees' Association of Malaysia（Dong Zong）
Blok A, Lot 5, Seksyen 10, Jalan Bukit, 43000 Kajang,
Selangor Darul Ehsan, Malaysia.
Tel: 603-87362337
Fax: 603-87362779
Website: www.dongzong.my
Email: support@dongzong.my

印刷：
Swan Printing Sdn Bhd.

版次：
2017年8月第1版

印次：
2020年11月第6次印刷

编审团队

学科顾问： 陈国川　林圣钦

编写者/编审委员：

马梅真　马佩君　王秋莉　丘玮盛　叶美华
刘筱宝　刘良忠　刘惠萍　周月明　邹雁慧
陈文丰　陈健勇　陈如韵　陈荭冰　陈珑宝
陈信言　陈宝碹　沈俊康　沈志坚　练秋满
林爱莉　郑崇圣　原敏仪　翁明娇　黄慧韵
黄明光　黄瑞泰　黄秋雨　蔡顺程　颜智玲

地图设计： 洪伟豪　柯佳伶

责任编辑： 白伟权　黄燕仪

（按姓氏笔画顺序排列）

鸣谢

本书承蒙编审团队协助编写与审阅，老师协助审稿及提供意见，谨此统致谢忱。

董教总华文独中工委会统一课程委员会　启

2017年8月

编辑说明

1. 高中地理是根据董教总华文独中工委会统一课程委员会所拟订的《高中地理课程纲要》编纂，课纲拟定参考了我国教育部所颁布的中学新课程纲要及世界各地中等教育的地理课程纲要。

2. 高中地理的课程目标为：
   ① 使学生比较系统地掌握有关人类赖以生存的地理环境，及人类与地理环境关系的基本原理。
   ② 了解不同地区应如何合理利用自然和保护环境，协调好人类与环境的关系：
      (a) 明白经济与社会的发展对自然与人文景观的影响；
      (b) 意识到平衡自然资源的地理因素之重要性。
   ③ 学会应用地理数据、地理事实材料、图表、地图去阐述问题和分析问题，并应用在日常生活中。

3. 高中地理共分四册，即
   ①《自然地理》（高一适用）
   ②《人文地理》（高二适用）
   ③《世界地理》（高三适用）
   ④《读图解图》（高三适用）

4. 高中地理是初中地理学习的延续。学生在修完初中地理，有了基本地理知识后，至此可作较深入及广泛的探讨，使学生更有系统地掌握地理知识，同时为有条件深造而又特别爱好地理及相关科目的同学，作为奠定往后从事地理研究的基础。

5. 本书的编辑特色：
   ① 本教材内容简明扼要，以真实的彩色图片、正确的示意图、Box（即阅读材料）、学生活动、练习题等栏目，让学生多动脑筋，增加趣味和知识，提供学生丰富的学习讯息，以及提升对学习地理的兴趣，让学生将地理知识应用在生活中。

② 每章节间中附有选择题、看图填充、是非题及简答题，乃提供随堂思辨、探讨之素材，透过课堂中的生生互动、师生互动，可即时检视学习成效，供学生练习。

③ Box（即阅读材料）视教学需要补充说明，有助于了解主文，毋需列为教学及测验之主要重点。

④ 文内一些地名和地理名词有英文名词对照，以供参考。

⑤ 教材中之各单元图、照片、表皆依“课 – 图号次”依序标示编排。

⑥ 教科书之编辑排版以及教材中部份图照蒙台湾龙腾文化事业股份有限公司无偿提供，特此申明并感谢。

⑦ 教材中之图、照片，团队已尽力追溯版权，如遇不慎侵犯版权，合法之版权持有者请与本局接洽。

6. 高中地理是根据各年级每周上课三节，每节四十分钟的授课时间而编纂。

7. 配合本书，另编写《自然地理教师手册》，供教师教学参考之用。

8. 教材的完善，非一蹴可及，教材的发展，更有赖使用者给予指导及建议。本书撰写如有未尽完善之处，尚请各校教师、先辈不吝指正，以便再版时修正，不胜感激。

董教总华文独中工委会统一课程委员会

高中地理编审团队

2017年8月

目录

壹 地球的宇宙环境 001-026

第一节 形形色色的天体 2
第二节 不同层次的天体系统 17

貳 地球的运动及其影响 027-038

第一节 地球的自转与公转 28
第二节 太阳直射点的回归运动 32
第三节 四季与五带 34
第四节 时间 37

叁 大气系统 039-066

第一节 大气的组成与结构 40
第二节 大气的热状况 44
第三节 大气的运动 51
第四节 大气水分 64

肆 天气与气候 067-100

第一节 天气 68
第二节 气候 78
第三节 气象灾害及预防 87
第四节 人类活动与气候变化 89

伍 地球上的水 101-118

第一节 地球上的水循环和水平衡 102
第二节 地球上的水体 105
第三节 世界水资源分布与利用 111
第四节 水文灾害 115

陆 地形 119-162

第一节 地形作用 120
第二节 河流、海岸、风成地形 130
第三节 岩溶、火山、冰河地形 145
第四节 地形与人类的活动 154

柒 矿物、岩石与土壤 163-180

第一节 矿物 164
第二节 岩石 167
第三节 土壤 171

捌 生物分布与环境 181-201

第一节 生物分布与环境的关系 182
第二节 自然景观带的组成与特质 185
第三节 生态系统 190
第四节 环境保护 195

地点 / 峇株巴辖沿岸

第壹章

地球的宇宙环境

第一节　形形色色的天体

第二节　不同层次的天体系统

第一节　形形色色的天体

宇宙（universe），一般用做天地万物的总称。中国战国时期的《淮南子·原道训》曾指出，“四方上下曰宇，古往今来曰宙，以喻天地”，今天人们所认识的宇宙环境，指的是各种各样的天体。

晴朗的夜晚，除了圆缺多变的月亮，我们还可以用肉眼或借助望远镜，看见星光闪烁的恒星、在星空中明显位移的行星、卫星，有时还可以看到轮廓模糊的星云、一闪即逝的流星、拖着长尾的彗星。借助天文望远镜和其它空间探测工具及方法，还可以探测到存在于星际空间的气体和尘埃等。所有这些，通称天体。

BOX

氢氦核聚变

太阳中心区域在超高温高压条件下，不断地大规模进行着氢氦核聚变反应，既四个氢原子核聚变成一个氦原子核的热核反应（4H→He），并在核聚变过程中释放出巨大能量。

恒星与太阳

（一）恒星的主要特征

恒星（star）是由炽热气体组成，能自己发光的天体。恒星并非不动，只是由于离我们太远，不借助特殊工具和方法，很难发现它们相对位置的变化，因此古代人称之为恒星。实际上，所有恒星都在运动和变化中。我们所熟悉的北斗七星，现在看起来排列得像勺子形状。但是十万年前，其形状与现在不同；十万年后，又将会是另一种形状（图1.1）。

恒星最大的特征是能自身发光。恒星之所以能发光，是由于其核心承受的巨大压力和温度使得氢氦核聚变反应的发生。恒星的光和热，是靠内部氢核聚变为氦的热核反应时所产生。

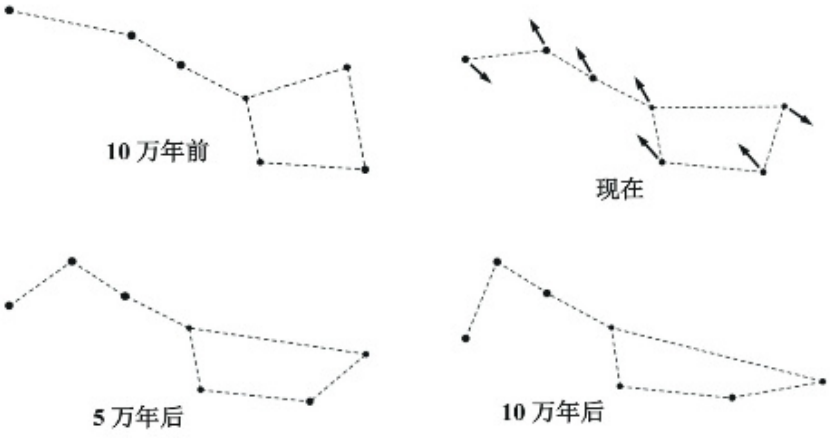


图1.1
北斗七星形状的变化

（二）星等与星座

由于恒星距离地球的远近不同，即使发光能力相同，观测到的明暗程度也不相同。若将天体亮度加以分等，即称为星等。星等每降低1等，亮度约暗2.5倍，就如2等星比1等星暗2.5倍。通常星等越低，星数越多。为了要更精确的表示天体的亮度，天文学家在星等中加入了小数点，以便可以区分两颗等级相似的天体。例如：织女星的视星等为0.0等，北极星为2.0等，太阳则为-26.7等（图1.2）。

但是观测到的星等，并非是天体本身的实际亮度，因此天文学家引入了“绝对星等”的概念，此方法将所有天体放在距离地球32.6光年的标准位置，之后再测量亮度，便可以在不受距离的影响下作出客观的比较。在此标准下，织女星为0.45等，北极星为 -3.6等，太阳为4.8等（图1.2）。

BOX

光年

光年是计量天体间距离的单位。1光年即光在一年中传播的距离，约为94,607亿公里。

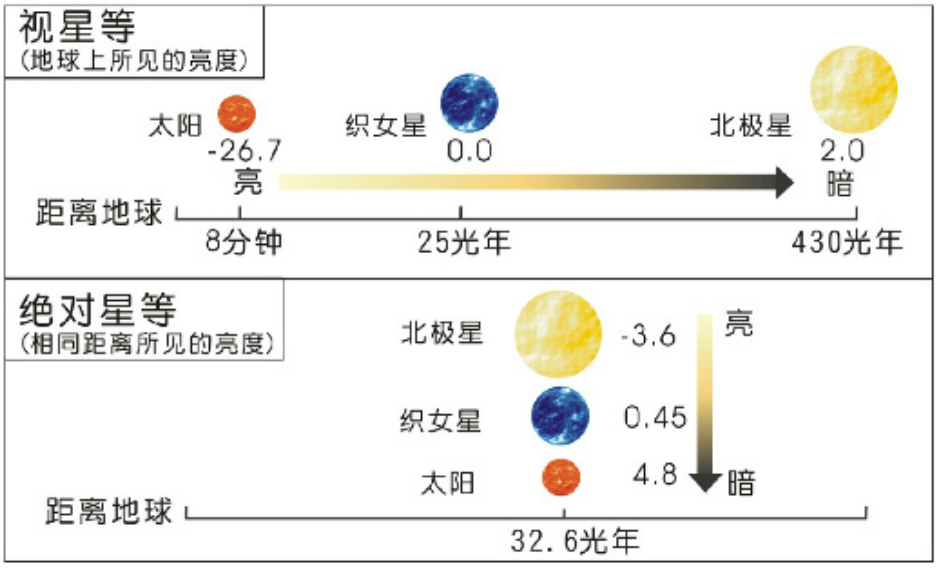


图1.2
恒星的亮度—视星等和绝对星等

另外，为了便于认识恒星，人们把星空所见的部分恒星组合而成的图形，称为星座。每个星座都有自己独特的形状，古代人结合神话中的人物或动物为星座命名，某些名称一直沿用至今，例如：大熊座、双子座等（图1.3、1.4）。1930年，国际天文学联合会把星空划分为88个星座，把已发现的恒星都纳入到特定的星座内。

学生活动

1. 如果太阳和北极星都位于同样的位置，何者较亮？

图1.3（左）
大熊座

图1.4（右）
双子座

（三）太阳的圈层结构

离地球最近且与地球关系最密切的恒星是太阳。太阳为一个巨大炽热的气体球，主要成分是氢和氦，表面温度约5,770K。在恒星世界中，其质量、亮度、表面温度和寿命等方面多处在中间状态，年龄也恰到中年，是一颗很典型的中等恒星。

BOX

凯氏温度

“K”为凯氏温度，是热力学温度单位。它与摄氏温度的换算公式为：θ=T-273.15，θ为摄氏温度，单位为℃，T为凯氏温度，单位为K。

1. 太阳的内部圈层

太阳内部的温度、密度和压力随深度而增加。太阳中心温度高达1,500万K，压力相当于地球大气压的2,500亿倍。巨大太阳能的热核反应，发生于温度在700万K以上的太阳核反应区（图1.5）。核反应区产生的能量通过辐射区，以辐射方式向外传输太阳能，进入对流区后，再以对流方式用更快的速度向外输送。对流区以外就是人们能直接观测到的太阳表面。

2.太阳外部圈层及其太阳活动

人们能够直接观测到的太阳，是太阳的表面和大气层。从内到外分为光球、色球和日冕三层（图1.6）。光球（photosphere）是人们看到明亮发光的太阳表面，厚度约500公里。地球上接收到的太阳光基本上都是从这一层发出的。色球（chromosphere）是光球外面一层呈淡红色的太阳大气，厚度约为2,000公里至5,000公里。由于气体稀薄，所发出的可见光不及光球的千分之一。因此，只有在日全食时或用特殊的望远镜才能看到。日冕（corona）是太阳大气的最外层，从色球的外面可以延伸至几百万公里。它是很稀薄、完全电离的气体层，亮度仅为光球的百万分之一，也只有在日全食时或使用特制的日冕仪才能

BOX

太阳参数

日地距离：149,598,000 km
半　　径：696,000 km
质　　量：1.989×10^{33} g
平均密度：1.409 g/cm³
中心温度：约 1.5×10^{7} K
表面温度：5,770 K
中心密度：约 160 g/cm³
中心压力：约 2,500亿个大气压
年　　龄：5×10^{9} 年

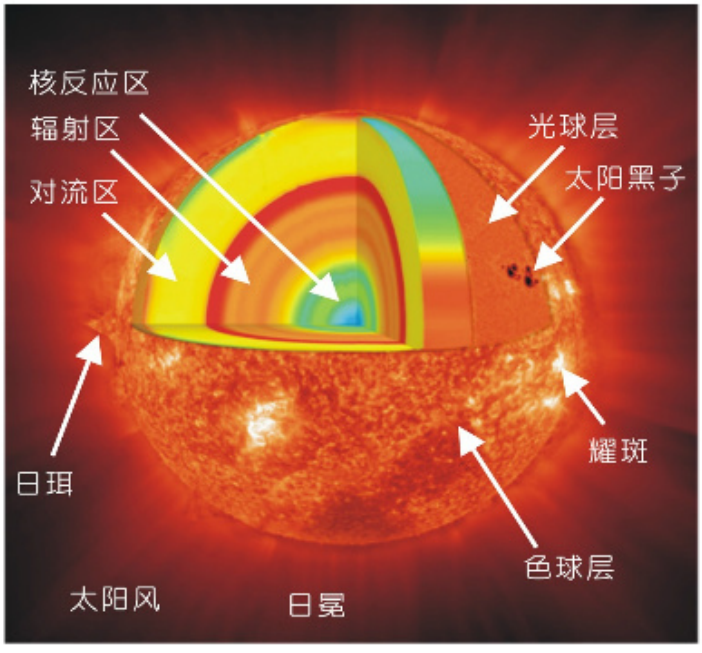


图1.5
太阳结构

看到。

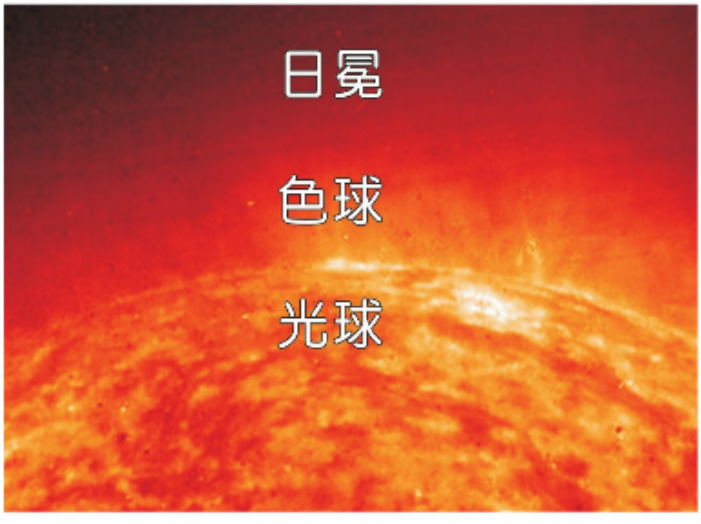
太阳表面大气经常发生大规模的运动，称为太阳活动。太阳活动的类型很多，其中最主要的是黑子、日珥、耀斑和日冕物质抛射，它们是太阳活动的重要标志（图1.7）。

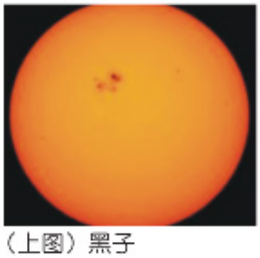
光球表面常出现一些黑斑点，叫做太阳黑子（sunspot）。由于黑子的温度比较低，所以会显得暗一些。根据长期的观察和记录，人们发现太阳黑子在某些年份比较多，某些年份比较少，其变化的周期大约为11年。

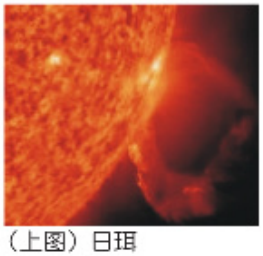
色球层中，有时有巨大的气体升腾而起，如同火焰喷舌，高度可达几万至百万公里以上，再落回太阳表面，或脱离太阳的引力消散不见，这些气柱称为日珥（prominence）。有时候，色球的表面会突然出现大而亮的斑块，称为耀斑（solar flares）。

图1.6（左）
太阳的外部圈层

图1.7（右）
太阳活动

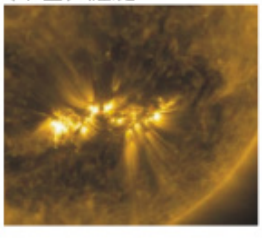


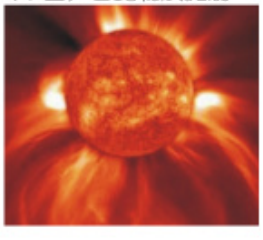




（上图）黑子
（下图）耀斑

（上图）日珥
（下图）日冕物质抛射

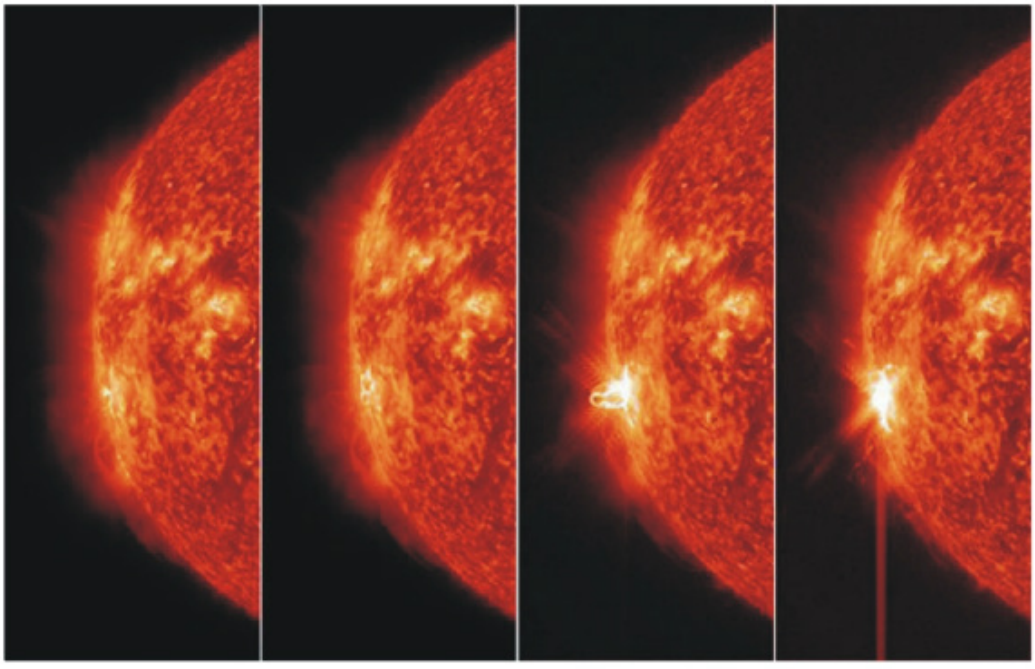




它是太阳大气高度集中的能量释放过程，耀斑爆发是太阳活动最激烈的表现（图1.8）。

日冕的温度可达百万K以上，所含物质在超高温下高度电离，并高速运动，一部分高能带电粒子，主要是质子（氢原子核）和电子，能挣脱太阳引力，奔向太阳系广阔的行星际空间。这种从日冕“吹”出来的高速带电粒子流，就是太阳风（solar

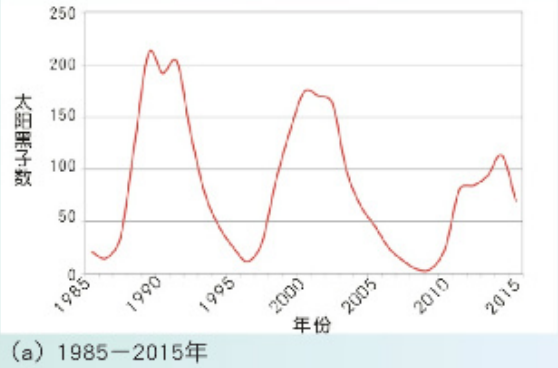
图1.8
一次耀斑的变化过程



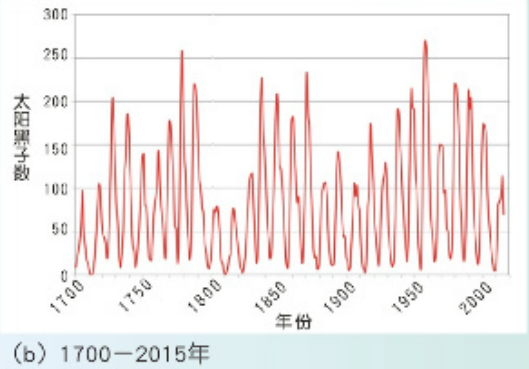
00:13 UT　　00:28 UT　　00:44 UT　　00:59 UT

学生活动

图1.9　太阳黑子数的变化



(a) 1985—2015年



(b) 1700—2015年

根据图1.9（a）和（b），回答下列问题。

1. 1985－2015年太阳黑子数经历了什么样的变化？周期大约是多少年？
2. 18世纪以来，太阳黑子数的变化周期是否与（a）相同？
3. 如何得出太阳黑子数11年周期变化的规律？

照1.1
极光（澳洲 Cape Schanck）

wind）。若物质非常剧烈地从日冕层抛射出去，则称为日冕物质抛射（coronal mass ejection）。

通常黑子数目最多的地方和时期，也是耀斑等其它形式的太阳活动出现频繁的地方和时期。因此太阳黑子的多少和大小，可以作为太阳活动强弱的标志。太阳黑子周期与地球上气候变化之间，似乎存有某种因果关系，例如，世界许多地区降水量的年际变化，都与黑子的11年周期具有某程度的相关性。

此外，当太阳黑子和耀斑增多时，其发射的电磁波进入地球大气层，会引起大气层扰动，使地球上无线电短波通讯受到影响，甚至出现短暂的中断。太阳大气抛出的高能带电粒子会扰乱地球磁场，使地球磁场突然出现“磁暴”现象，导致罗盘指针剧烈颤动，不能正确指示方向。太阳大气抛出的高能带电粒子会威胁到宇航员们的健康和安全，如果高能带电粒子高速冲进两极地区的高空大气，并与那里的稀薄大气相互碰撞，还会出现美丽的极光（照1.1）。

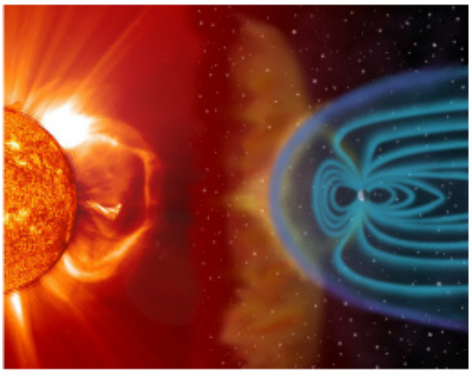
图1.10
太阳风对地球的影响

BOX

太阳风暴袭击地球

太阳表面新形成的巨大黑子群和大耀斑，喷射出的大量气体、电磁波和带电粒子流，会以每小时300万公里以上的速度向宇宙空间喷射，形成太阳风暴。有人形象地把太阳风暴比喻为“太阳打喷嚏”。

太阳风暴的电磁波进入地球大气层，会使地球上无线电短波通讯受到影响，通讯设施受损。据报道，2003年10月23日至11月5日，太阳风暴连续多次袭击地球。亚洲、欧洲、美洲许多国家的短波通讯受到干扰，通讯设施受损。例如：日本一颗通讯卫星信号中断，另一颗环境监测卫星则受损而报废。



行星与地球

（一）行星的主要特征

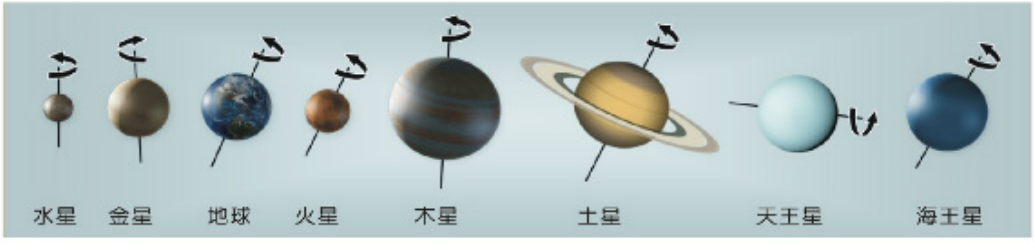
行星（planet）是在椭圆轨道上环绕恒星运行，近似球形的天体，其质量比恒星小得多，本身不发光，全靠反射恒星的光而发亮。行星一词的原意是天空中游荡的天体，在希腊语中是“流浪者”的意思。

目前已知环绕太阳运行的有八大行星。按照它们与太阳的远近，由近到远依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。八大行星的自转周期、自转轴倾角和自转方向各不相同（表1.1、图1.11）。

表1.1
太阳系八大行星的与日距离、自转周期、自转轴倾角和自转方向

行星	与日距离（以日地平均距离为单位）	自转周期	自转轴倾角	自转方向
水　星	0.39	59天	0°	逆时
金　星	0.72	243天	177°18′	顺时
地　球	1.00	24时	23°26′	逆时
火　星	1.52	24时37分	25°11′	逆时
木　星	5.20	9时56分	3°7′	逆时
土　星	9.54	10时14分	26°44′	逆时
天王星	19.19	17时14分	97°52′	顺时
海王星	30.07	16时07分	29°35′	逆时

图1.11
行星的自转轴倾角和自转方向



学生活动

1. 请根据表1.1的数据资料，讨论行星的自转轴倾角和自转方向的关系。

（二）行星的分类

根据八大行星的质量、体积和组成物质，可把它们分为类地行星、气态巨行星、冰巨行星三类（表1.2）。

类地行星（terrestrial planets）是指与地球类似的行星，包括水星、金星、地球和火星。它们距离太阳近，体积和质量都较小，平均密度大，表面温度较高，中心有铁核，金属含量较高，

没有或很少卫星。

气态巨行星（gas giants）主要是由氢、氦等物质构成，包括木星和土星。它们离太阳比类地行星远，体积和质量都很大，平均密度小，表面温度低，卫星数目多，并且有光环。

冰巨行星（ice giants）表层气体以氢、氦和甲烷为主，包括天王星和海王星。它们距太阳远，表面温度低，平均密度介于前两类之间，卫星数多寡不等。天王星和海王星亦有光环。

（三）地球是一颗既普通又特殊的行星

地球是太阳系中的一颗普通行星，与其它行星一样，既有自转运动，也有绕日的公转运动。地球的特殊之处，在于它是太阳系中目前已知唯一有高等生物的行星。地球上会出现高等生物的原因，和地球所处的宇宙环境及其本身的条件息息相关（图1.12）。

表1.2
八大行星的分类比较表

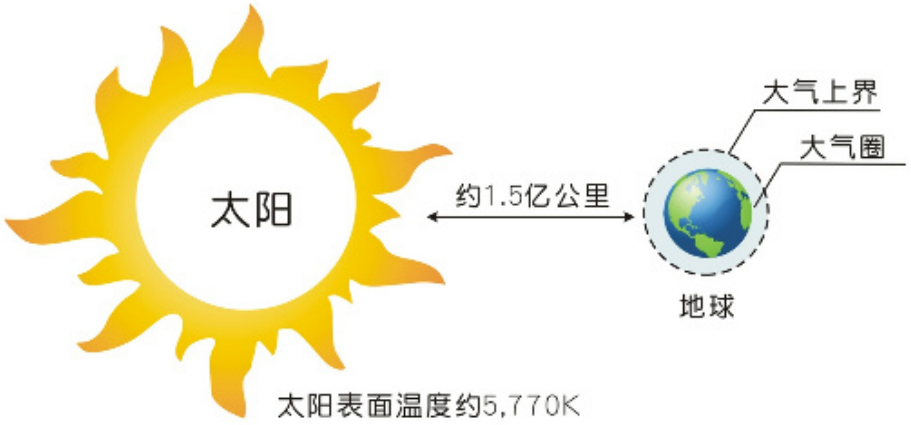
分类		类地行星				气态巨行星		冰巨行星	
行星		水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
质量(地球为1)		0.055	0.815	1.000	0.107	317.83	95.16	14.54	17.15
体积(地球为1)		0.056	0.857	1.000	0.151	1321	764	63	58
密度(g/cm³)		5.43	5.24	5.51	3.93	1.33	0.69	1.27	1.64
表面温度(℃)	最高温	427	462	58	20	—	—	—	—
	最低温	-173		-88	-153				
有效温度(℃)		—	—	—	—	-148	-178	-216	-214
卫星数		0	0	1	2	67	62	27	14
环物质		无	无	无	无	有	有	有	有
主要成分		重物质（岩石）				气物质		冰物质	
						轻物质			
大气状况		无	浓密CO_2大气	较浓密氮氧大气	稀薄CO_2大气	十分浓密的氢、氦大气		氢、氦和甲烷大气	

天文数据资料参考来源：NASA

学生活动

1. 在太阳系成员中，类地行星和气态巨行星有何相似及相异之处？

图1.12
地球所处的宇宙环境及其条件



1.地球的宇宙环境

在恒星世界里，有半数以上的恒星或成双成对，或三五成群，甚至成千上万的恒星因相互吸引而形成集团。太阳是单颗恒星，在其周围的恒星分布比较稀落。例如：太阳光到达地球大约需要8分钟的时间，而离太阳最近的恒星（比邻星）的光到达地球大约需要4.2年的时间。太阳附近的恒星密度小，对太阳的影响也小，有利于太阳的稳定。

从太阳系诞生到地球上开始有原始的生命痕迹，中间经历了漫长的时间。在这历程中，太阳几乎没有任何明显的变化，地球所处的光照条件一直很稳定，生命演化的各级成果不易受到破坏，并继续向更高级的结构演化。

地球附近的行星际空间，大、小行星绕日公转方向一致，而且公转轨道面几乎在同一个平面上。大、小行星各行其道，互不干扰，使地球处于一个比较安全的宇宙环境之中。

2.地球本身的条件

地球与太阳的距离适中，地表的平均温度在15℃左右，有利于生命的发生和发展。如果地球距离太阳太近，温度过高，不可能形成生命物质。如果地球距离太阳太远，温度过低，生物也无法生存。

地球的体积和质量适中，其引力可以聚拢大量气体形成包围球体的大气层，再经过漫长的演化，形成适合生物呼吸的大气。如果地球的体积和质量太小，引力太弱，气体将散逸到宇宙空间，就没有大气层的存在。反之，如果地球的体积和质量太大，则会保持太厚的大气层和太多有害气体。

地球内部因重力收缩而产生高压高温，使地壳下方形成固态、液态混合的软流层。软流层的活动频繁，许多物质透过火山活动喷出地表。喷出物质中的水汽，遇冷凝结并降水。经过长时期的作用，降至地面的水在低洼处汇聚成海洋。海洋是地球上最初孕育单细胞生物的温床。

学生活动

1. 根据地球上存在高等生物的条件，宇宙空间哪些地方存在生命的可能性较大？
2. 为什么说地球是一颗既普通又特殊的行星？

由上述可知，地球处在一个比较稳定和安全的宇宙环境中，自身又具备了生物生存所必需的温度、大气、水等条件，以致发展成目前已知拥有高等生物的行星，所以地球是一颗既普通又特殊的行星。

（四）地球的圈层构造

地球的外部圈层包括大气圈、水圈、生物圈等（图1.13），这些圈层之间相互联系、相互制约，形成人类赖以生存和发展的自然环境。

大气圈（atmosphere）是由气体和悬浮物质所组成，主要成分是氮和氧。它包围着地球，是地球自然环境的重要组成部分。

水圈（hydrosphere）是由地球表层水体构成连续但不规则的圈层。它包括地表水、地下水、大气水、生物水等。水圈的水处于不断的循环和运动中。

生物圈（biosphere）是地球表层生物及其生存环境的总称。它占有大气圈的底部、水圈的全部和岩石圈（lithosphere）的上部，是大气圈、水圈和岩石圈相互影响的结果。

地球内部大致可分为地壳、地幔和地核三个圈层（图1.14）。

地壳（earth crust）是地球表面一层薄薄的，由岩石组成的坚硬外壳。其厚度不一，大陆地壳比大洋地壳厚，平均厚度为17公里。地壳的

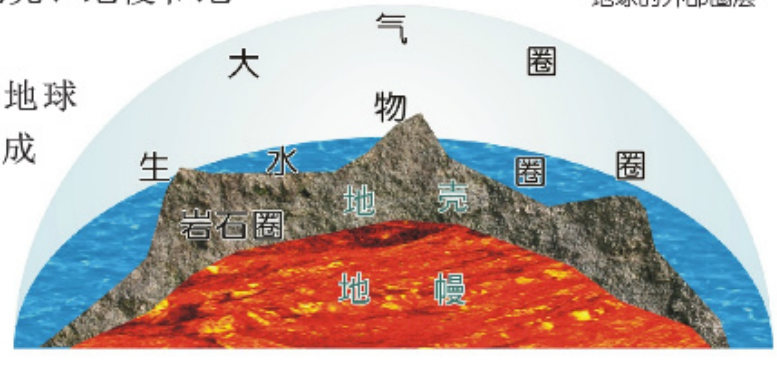


图1.13
地球的外部圈层

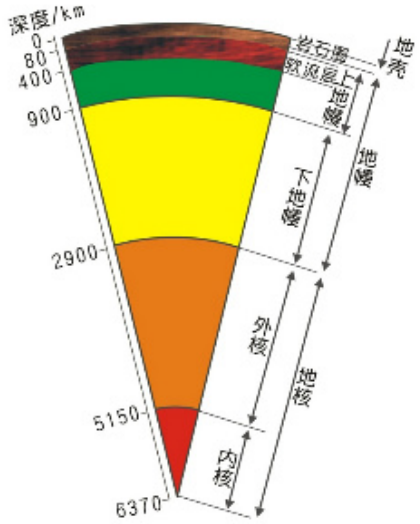


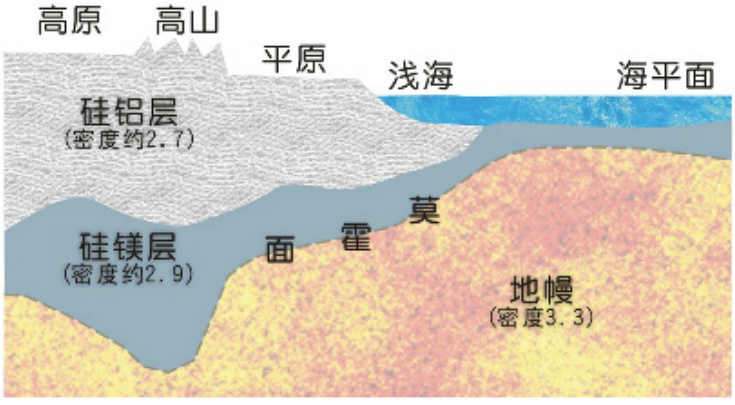
图1.14
地球的内部圈层

物质组成很不均匀，一般把地壳分为上下两层（图1.15）。上层叫硅铝层（sial），含硅和铝较多，主要由花岗岩与变质岩组成，其上覆盖着沉积岩。下层叫硅镁层（sima），硅、铝成分相对较少，镁、铁成分较多，主要由玄武岩和辉长岩组成。大陆地壳具有硅铝层与硅镁层的双层结构，硅铝层厚度10公里左右，硅镁层厚度在20公里以上，其形成年代久远；大洋地壳仅有硅镁层，缺少硅铝层，其形成年代较晚。

地幔（mantle）厚度为2,800多公里，可分为上地幔和下地幔两层。上地幔上部的物质是固态和液态的混合物。由于混有液态物质，这一带的物质比较“软”，容易发生塑性流动，故称为软流层（asthenosphere）。软流层可能是岩浆的发源地。软流层以上的部分都是由岩石构成，所以称为岩石圈（lithosphere），包括整个地壳和上地幔顶部。

地核（core）厚度为3,400多公里，温度很高，压力和密度很大。地核又可分为外核和内核两层，外核呈液态，5,000公里以下深处为内核，呈固态，其物质组成成分以铁、镍为主。

图1.15
地壳结构示意图



卫星与月球

（一）卫星的主要特征

天然卫星（natural satellite）是围绕行星运行的天体，本身不发光，只能反射外来的光线。从地球上看，除了月球外，其它卫星的反射光都非常微弱，肉眼不易发现。1610年意大利天文学

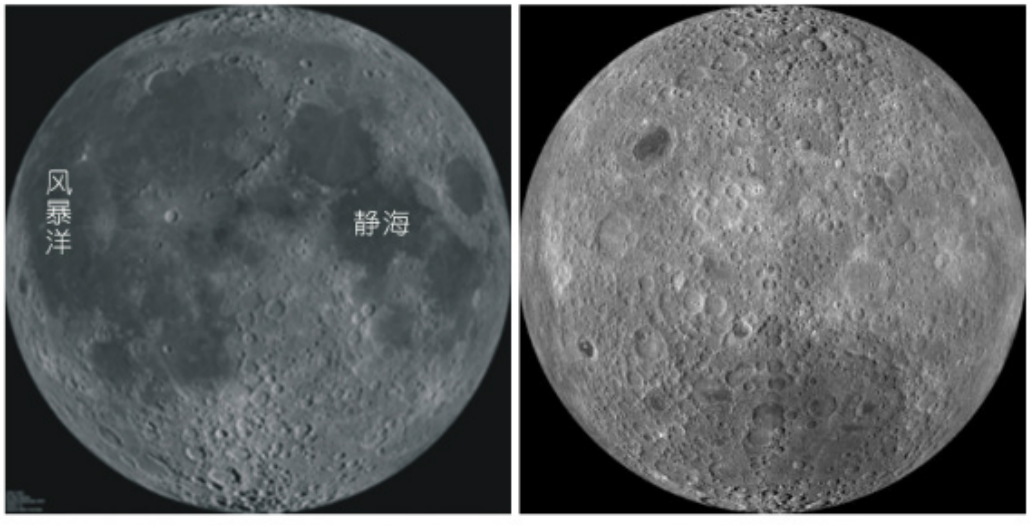
家伽利略（Galileo）利用望远镜首次发现木星的四颗大卫星，被命名为伽利略卫星。此后科学家又在其它行星外围陆续发现了数十颗卫星。

（二）月球概况

月球是地球唯一的天然卫星，也是离地球最近的天体，年龄与地球一样，也是46亿年。月球的直径约为地球的1/4，体积为地球的1/49，表面重力只相当于地球的1/6。所以，登上月球的宇航员，穿着沉重的宇航服，拿着探测仪器，在月面上行走还是轻飘飘的。

由于月球表面重力小，保留不住大气，声音无法借由空气传播，因此成为一片寂寥、万籁无声的世界。月球上既然没有大气层，当然也就没有水汽，没有风、云、雨、雪等天气变化。那里昼夜温差很大，白天在太阳直射的地方，温度可达127℃，夜晚则降到-183℃。

肉眼看到的月面，其明亮的部分是月球上的山脉、高原，月球上最高的山峰高达9,000公尺，比地球上的珠穆朗玛峰还高。其暗黑部分，则是广阔的平原和低地。过去人们误以为这些暗黑部分是海洋，把它们取名为“风暴洋”、“静海”等等（照1.2），实际上那里是月球早期火山爆发，喷出大量岩浆所形成的熔岩平原。



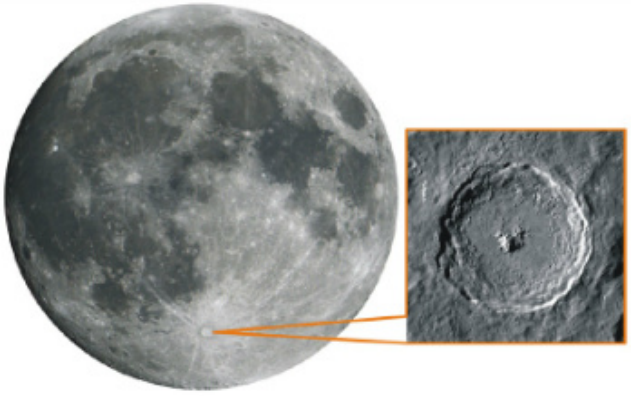
照1.2
月球的表面形态：正面（左）及背面（右）

月面最显着的特征是坑穴星罗棋布，坑穴周围直径大于1公里的环形山，在月球正面就有33,000多个（照1.3），这些环形山都是宇宙物体冲击月面和火山活动的产物。

BOX

月球的早期活动

现代月球虽然十分宁静，但研究表明，早期月球的内外力作用还是相当剧烈的。39亿年前，月球曾经历过一系列大陨星的撞击。31亿年前，月球的岩浆、火山活动或构造运动曾经十分活跃，后来因月球表层冷却和岩石圈加厚到一定程度，才平静下来。现代月球的表面形态，主要是早期由巨大内外力作用造成的遗迹。大陨星的撞击曾使早期月球出现相当大、相当深的凹陷，在后来的若干亿年里，月球火山活动连续不断，从火山口喷出的岩浆逐渐填充凹陷区，形成灰暗、宽广的熔岩平原，即是月海。



照1.3
月球上的第谷坑环形山

学生活动

地球上的人们听惯了各种不同的声音，如交通工具的声音、工厂机器运作的震动、收音机传出悦耳的音乐声等等。如果把地球上的戏院搬到月球上去，你在那里只能看到哑剧或无声电影。

1. 为什么月球是一个寂静的世界?
2. 为什么月球上不见蓝天，白天的天空背景也是暗黑的?
3. 为什么来自太阳的高能辐射或流星体等，可以长驱直入地冲击月面?
4. 为什么人们推断月球上不会有生命存在?

自1969年7月“阿波罗11号”登月以来，先后几次采集到各种月球岩石样品，经过分析，共发现近60种矿物，其中有6种是地球上所没有的。此外，在月岩和月壤中发现有地球上的全部化学元素及多种有机化合物，但没有发现存在生物物质的迹象。

矮行星、小行星、彗星、流星体、行星际物质

太阳系的小天体，除较小的卫星外，还包括矮行星、小行星、彗星、流星体和行星际物质。

（一）矮行星

矮行星（dwarf planet）是绕太阳运行，呈球体形状的天体，但不像行星，它未能清除自身轨道邻近的其它天体。冥王星即属此类。

（二）小行星

小行星（asteroid）是绕太阳运行，主要由岩石物质组成的小天体（照1.4），直径多为几公里至几十公里。根据巡天观测估计，小行星总数在50万颗以上，总质量约为地球质量的万分之四。小行星大多分布于火星、木星轨道之间，与太阳的平均距离为2.8个天文单位。

BOX

天文单位

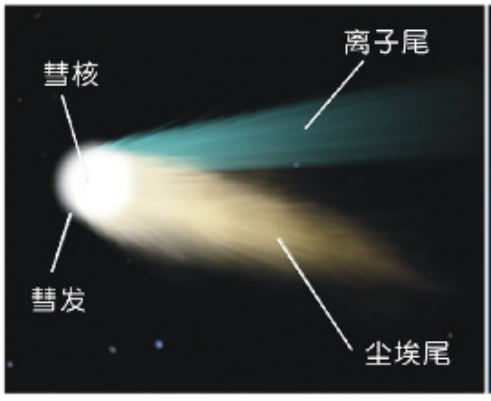
是天文学上的长度单位，日地平均距离为1天文单位，一天文单位=149,597,870公里。

（三）彗星

彗星（comet）大多是沿扁长轨道上绕太阳运行的一种质量很小的天体（照1.5）。彗星有着独特的外貌，当它远离太阳时，外观看似朦胧的星状小亮斑，其较亮的中心部分叫做彗核，一般认为它是由冰物质和岩石物质的固结体。当彗星接近太阳的时候，彗核中的冰物质升华，挥发成气体，在周围形成云雾状的彗发（图1.16）。彗星绕过太阳到达相应的距离后，彗尾和彗发相继消失（图1.17）。

照1.4（上）
小行星灶神星

照1.5（下）
海尔-博普彗星



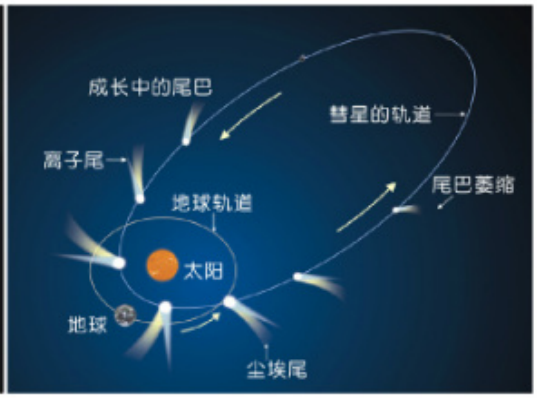


图1.16（左）
彗星的结构

图1.17（右）
彗星绕太阳公转变化图

BOX

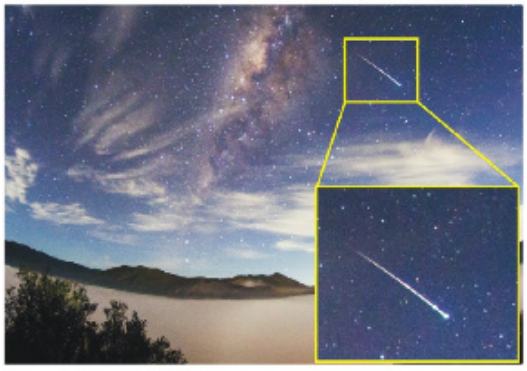
哈雷彗星

哈雷彗星是一颗著名的周期彗星。当它在1682年出现后，英国天文学家哈雷注意到它的运动轨道与1607年和1531年出现的彗星轨道相似，认为是先后出现的同一颗彗星，并预言它将在1758年底或1759年初再度出现。虽然哈雷于1742年逝世，没能看到它的出现，但在1759年它果然又回来了，这是天文学史上一个惊人的成就，这颗彗星因而命名为哈雷彗星（Halley's comet）。哈雷彗星的公转周期为76年。

学生活动

1. 在公转轨道的不同位置上，彗尾的指向和长短有什么变化规律？为什么？

照1.6
流星



（四）流星体

流星体（meteoroid）通常指绕太阳运行、比小行星和彗星更小的固体块。当流星体高速进入地球大气层后，因撞击压力而在高空灼热发光，从而在星空中划出光迹，之后即迅速消失，这就是流星（meteor）现象（照1.6）。当成群的流星体闯入地球大气层时，则会形成流星雨。

未烧尽的流星体降落到地面，叫做陨星（meteorite）。其中石质陨星叫做陨石，铁质陨星叫做陨铁（照1.7）。流星体内部温度一般不高，其物质形成以来，从未经历过高温过程，少有变质而保留许多原始状态，当中甚至还保留着太阳系行成初期的信息。因此，流星体落至地面的陨星，不仅有助于探讨太阳系、地球及其生命起源或演化的过程，也是估计地球内部状态和组成的重要借鉴。

照1.7（左）
霍勒辛格陨石是巴林杰陨石坑周围寻获的最大陨石碎片，现存于陨石坑旁的游客中心内

照1.8（右）
巴林杰陨石坑航空影像

（五）行星际物质

太阳系内较大的星体，如行星、小行星和彗星等都围绕着太阳运行。各星体之间并非空空荡荡，而是有极稀薄的气体和极少量的尘埃分布其间，称为行星际物质。

BOX

太阳系小天体的不稳定性

太阳系小天体的存在和运动具有不稳定性。这是因为它们质量小，运动轨道可能受行星等天体引力或太阳辐射压力等的影响，发生变化；而轨道改变后的小天体，又可能撞入大天体而被吞噬。太阳系早期很多小天体，就是因此而被“清扫”殆尽。

第二节　不同层次的天体系统

不同层次的天体系统

宇宙中的天体都在运动着，运动中的天体相互吸引，不断绕转，形成天体系统。天体系统有不同的级别，地球所处的天体系统，按从低到高的级别，依次为地月系、太阳系、银河系和总星系（图1.18）。对于每一级别的天体系统，地球都有相应的位置。

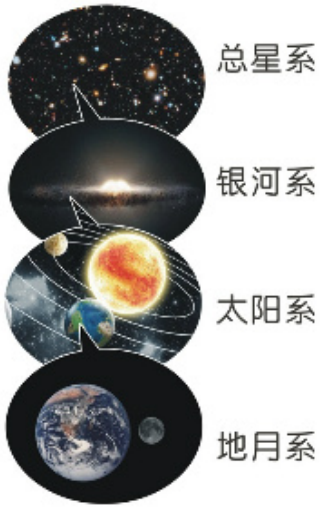


图1.18
宇宙中不同级别的天体系统

（一）地月系

地球与月球组成地月系，地球是地月系的中心天体。月球是地球唯一的天然卫星，地月平均距离为384,400公里。月球自转和绕地球公转一周的时间都是27.32日。

（二）太阳系

太阳的引力将行星及其卫星、矮行星、小行星、彗星、流星体和行星际物质等系结在一起构成太阳系（solar system）（图1.19）。太阳系的直径大约为10万个天文单位。日地平均距离约为1.5亿公里（1个天文单位）。

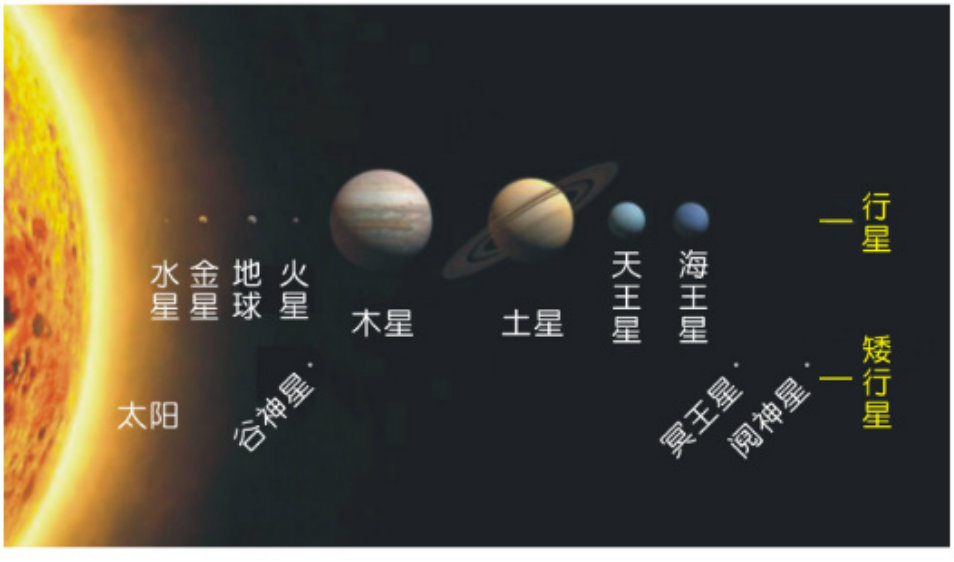


图1.19
太阳系

学生活动

1. 根据长期观测研究，发现行星公转轨道有一些共同的特性。请根据表1.3的数据资料，从近圆性、共面性及同向性三方面，讨论八大行星公转轨道的特征。

近圆性：

共面性：

同向性：

八大行星	公转周期	公转轨道偏心率	公转轨道倾角	公转轨道方向
水　星	88.0天	0.21	7°	逆时
金　星	224.7天	0.01	3°24′	逆时
地　球	365.2天	0.02	0°	逆时
火　星	687.0天	0.09	1°54′	逆时
木　星	11.9年	0.05	1°18′	逆时
土　星	29.5年	0.06	2°30′	逆时
天王星	84.0年	0.05	0°48′	逆时
海王星	164.8年	0.01	1°48′	逆时

表1.3
八大行星公转轨道的特征

（三）银河系与河外星系

太阳和千千万万颗恒星组成庞大的恒星集团——银河系（milky way galaxy）。在银河系中，像太阳这样的恒星有1,000多亿颗。银河系的直径为10万光年，太阳系与银河系中心的距离大约为2.7万光年（图1.20）。

在银河系之外，还能观测到其它与银河系类似的天体系统，叫做河外星系，简称星系。星系有的由几万颗恒星组成，有的则由几百亿，甚至上千亿颗恒星组成。目前最大的望远镜可以观测到超过10亿颗恒星以上的星系。

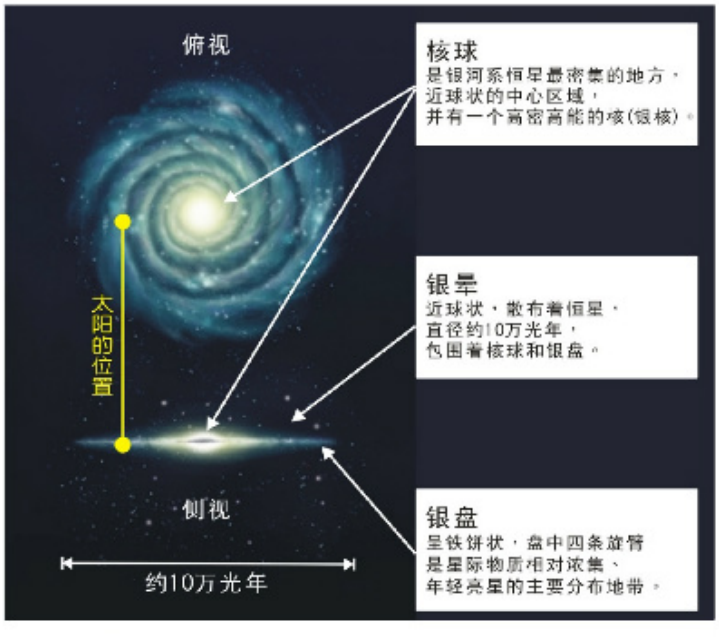


图1.20（左）
银河系

照1.9（右）
哈伯太空望远镜所拍摄到的宇宙最深处影像

（四）总星系

通常天文学上把银河系和河外星系，合称总星系（metagalaxy）。它是最高一级天体系统，也是目前人们所能观测到的宇宙部分（照1.9）。

学生活动

1. 太阳本身是一颗普通的恒星，但是在与地球的关系上，太阳并不是一颗普通的恒星。为什么？

月球、地球和太阳的关系

太阳系包含着地月系，因此月球、地球和太阳在绕转的过程中，彼此相互影响，以至引起月相、日月食与潮汐等自然现象的发生。

（一）月相及其变化

月球圆缺的各种形状叫做月相（phases of the moon）。月球本身不发光，只反射太阳光。月球相对于地球和太阳运动，月、地、日三者的相对位置不断变化，因此，地球上所见到的月球被照亮的部分也在不断变化，从而产生不同的月相。

农历每月初一称为朔日，此时月球处在太阳与地球之间的位置，并与地球、月球、太阳几乎处在一条直线上，月球以黑暗半面对着地球，人们便看不到月球。此时的月相称为新月（new moon）。

新月以后，月球被照亮的部分慢慢转向地球。农历每月初三、初四，人们在傍晚的西半部天空，常常可以看到形如蛾眉的月亮。此时的月相称为蛾眉月。

蛾眉月以后，月球被照亮的部分越来越多地转向地球。农历每月初七、初八，月球和地球、太阳呈90°，它的亮面和暗面各一半面向地球，人们在前半夜的西半部天空，可以看到呈半圆形的月亮。此时的月相称为上弦月。

上弦月以后，月球亮面一天天变大。农历每月十一、十二，在傍晚的东部天空，可以看到大半个月球。此时的月相称为盈凸月。

农历每月十五、十六称为望日，此时地球位于太阳与月球之间，三者几乎在一条直线上，月球的整个光亮面对着地球，人们可以看到一轮圆月。此时的月相称为满月（full moon）。

继满月之后，开始了月缺的过程，先后经历亏凸月、下弦月和残月的变化。月相由缺到圆，再由圆到缺，这样循环一个周期，叫做一个朔望月，时间为29.53日（图1.21）。

月相变化的周期性，提供了计量时间的尺度。古代的人们很早就根据月相的变化来计时，阴历或农历就是以月相变化周期为基础而来的。此外，从朔到上弦，上弦到望，望到下弦，下弦再到朔，这种朔望两弦四相，每相7日的现象，就是星期这种计时单位的起源（图1.22）。

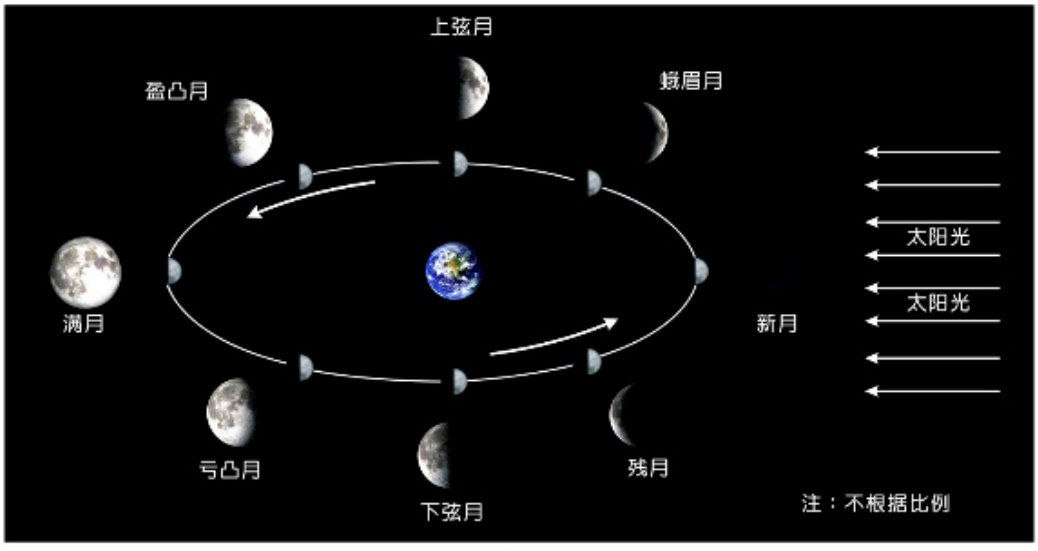


图1.21
月相的变化过程

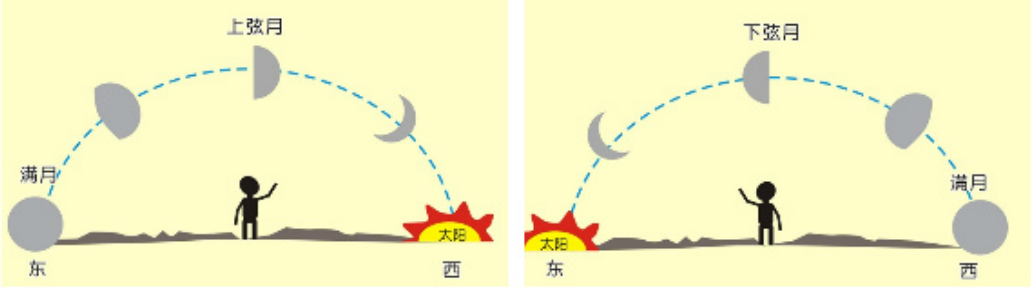


图1.22
月相的变化，农历朔日到望日傍晚所见的月亮（左）；农历望日到朔日清晨所见月亮(右)。

（二）日月食的形成和过程

当月球运行在太阳和地球之间，月球遮住了太阳，即为日食（solar eclipse）。当地球处于太阳与月球之间，月球进入到地球的阴影，便是月食（lunar eclipse）。由此可见，日食一定发生在农历初一，月食一定发生在农历十五或十六。但是，并非每月的初一都有日食，每月的十五、十六都有月食。这是因为月球绕地

球运行的轨道，与地球绕太阳运行的轨道不在一个平面上，两个轨道面斜交成5° 09′ 的交角，而这个交角的方向和大小始终保持不变。

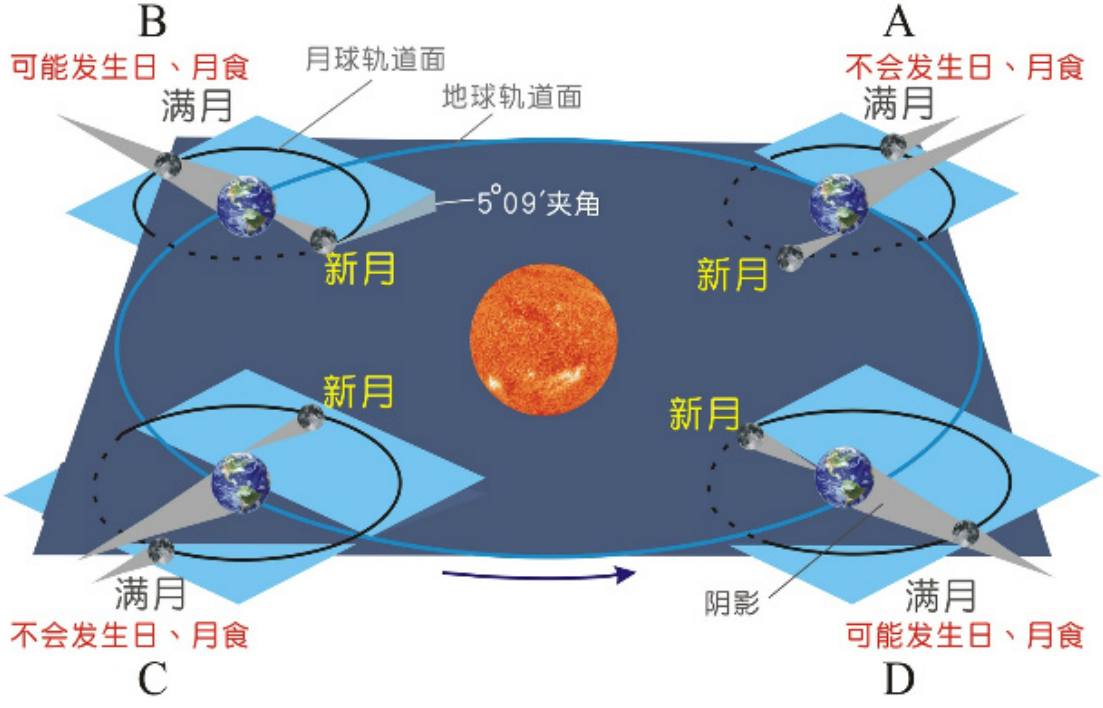
图1.23中的四个小平面，是不同时间月球轨道面所在的位置。当地球和月球处在位置A和C时，虽然是在望和朔的时刻，但由于日、月、地三者不在同一平面的直线上，这时的月球阴影不会落在地球上（图1.24），地球的阴影也不会遮住月球（图1.25），所以不会发生食的现象。当地球和月球在位置B和D时，无论在望还是朔，日、地、月三者基本都在同一平面的直线上，就会发生食的现象。

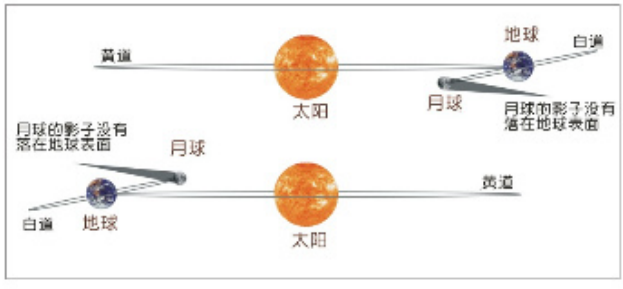
从地球上看去，月球的公转方向是自西向东，因此，每次日食总是从太阳光轮的西边缘开始，而月食则从月轮的东边缘开始。日全食（或日环食）和月全食都经历初亏、食既、食甚、生光和复圆五个阶段。日偏食或月偏食只经历初亏、食甚和复圆三个阶段（图1.26）。与日食相比，能观测到月食的机会较多，因

图1.23
日月食发生的条件

图1.24（左下）
日、月、地三球不在同一平面的直线上，所以日食不会发生

图1.25（右下）
日、地、月三球不在同一平面的直线上，所以月食不会发生





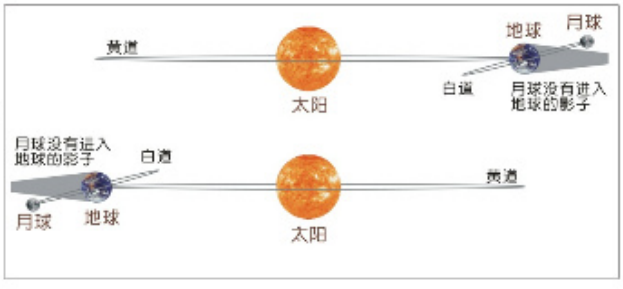


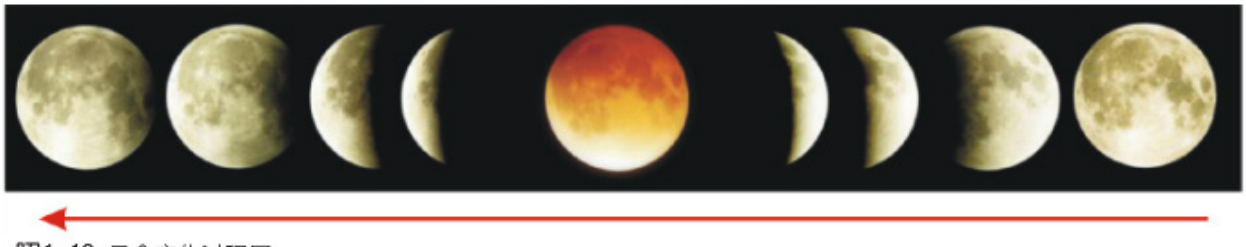
图1.26（左）
月食五阶段及其类型

照1.10（右）
日食的类型

为月食的覆盖面较广，所以在地球上比较多区域的人可以同时观测到月食（照1.10、1.11、1.12）。

日全食是观测太阳色球和日冕变化的最佳时机，研究太阳外层大气，对于认识太阳的物理状况、太阳活动的发展，以及它们对地球气象条件的影响，都有重大意义。月全食的科学价值虽然不如日全食，但从历史角度来看，月食是向人们展示地球是球形的第一个证据。

照1.11 日全食变化过程图



照1.12 月食变化过程图

学生活动

日食和月食都是很平常的自然现象。日食就是太阳被月球遮蔽的现象；月食是月球进入地球阴影，月面变暗的现象。

1. 为什么不是每个月都会发生日、月食？
2. 日食和月食在观测上主要有哪些不同？试说明原因。
3. 为什么月全食的月亮是红橙色的？

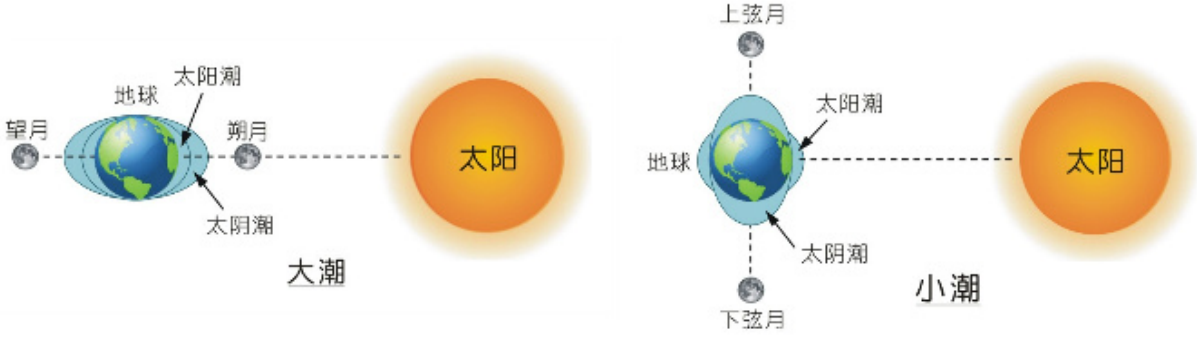
（三）潮汐的形成

潮汐（tidal wave）是海水周期性的涨落现象，每天大约两次。古人把白天海水的涨落称为潮，把夜晚海水的涨落叫做汐。潮汐的形成与太阳和月球有关，同时也与地球本身的运动有关。

由于星球之间互有引力，因此假设整个地球都被海水包围着，在万有引力与离心力的作用下，“水球”会被拉成像蛋形的长球体。就地球上的某一点来说，海水会随着地球本身的自转运动，大约在一天内经历两次涨潮，两次退潮。

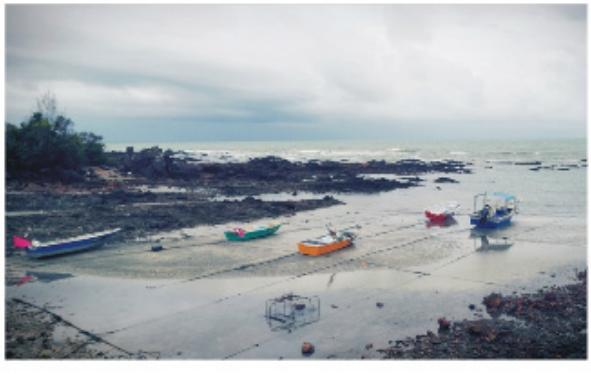
虽然太阳的质量远大于月球，但月球到地球的距离比较近，所以月球的起潮力是太阳的两倍多。一般在朔或望时发生大潮，因为当时月球、太阳和地球几乎在一条直线上，太阳与月亮的起潮力彼此相加，以至涨潮特别高，退潮特别低。因此有“初一、十五涨大潮”的说法。上下弦的时候发生小潮，因为当时月球和地球、太阳的位置呈90°，太阳与月亮的起潮力彼此抵消了一部分，因此有“初八、二十三，到处见海滩”的说法（图1.27）。

图1.27
大、小潮的成因



研究潮汐有利于人类活动的发展。例如，在涨潮时，打开盐田的闸门，让海水流入，然后关闸晒盐；利用潮汐蕴藏的巨大能量，建立潮汐能发电站；修建港口或在岸边施工必须考虑当地的潮汐形势；沿岸渔民则利用涨退潮捕捞渔获（照1.13）。

照1.13
涨潮、退潮（柔佛东海岸 Tanjung Balau）



学生活动

1. 根据已学的知识，试解释大潮一般会发生在朔、望之后几日；小潮则发生在上弦、下弦之后几日的原因？

练习题

选择题

1 “光年”是我们用来表示下列哪一种测量值的单位？

A. 时间　B. 距离　C. 亮度　D. 质量

2 太阳的能量是如何产生的？

A. 内部物质的核聚变　B. 黑子和耀斑的强烈活动

C. 太阳风抛出的太阳粒子流　D. 放射性元素衰变产生的热能

3 下列地理现象中，何者的产生与太阳活动密切相关？

A. 酸雨　B. 磁暴　C. 沙暴　D. 臭氧层空洞

4 中国的“嫦娥三号”携带“玉兔”成功登月。“玉兔”月球车在无大气的月面上行走时，最可能遇到的考验为何？

A. 风吹雨打　B. 荒漠沼泽　C. 严寒酷热　D. 雪山沟谷

5 下列哪个条件决定地球上具有适合生物繁衍的温度？

A. 日地距离适中　B. 卫星数量适当

C. 地球的体积适当　D. 地球的质量适当

6 宇航员登上月球后，除了太阳，他们还能看到什么景象？

A. 一片明亮，无法看见星星

B. 一片天蓝色，还有朵朵白云

C. 一片黑夜，能看见星星，但不会闪烁

D. 一片黑夜，能看见星星，且星星闪烁

7 彗星运转的轨道中布满了彗星的尘埃粒子，若地球运转到这附近时，就会形成：

A. 日食　B. 极光　C. 流星雨　D. 地球上的磁暴

8　为什么我们在地球上观测月球表面时，永远都只能看见月球的同一面呢？

A. 月球只有公转而没有自转

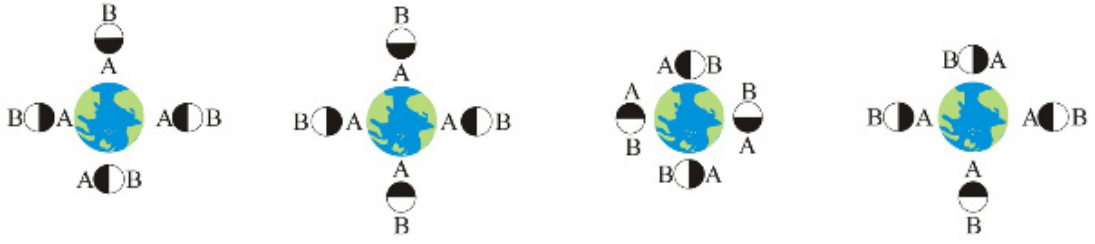
B. 月球自转周期和月球公转周期相同

C. 月球公转周期和地球公转周期相同

D. 月球公转周期和地球自转周期相同

9　将月球分为固定的A、B二面，下列哪一张图才能代表其对地球公转的情形？

A.　　B.　　C.　　D.



10　当地球上的人们能看到西部半个月面时，该月相称为：

A. 新月　　B. 满月　　C. 上弦月　　D. 下弦月

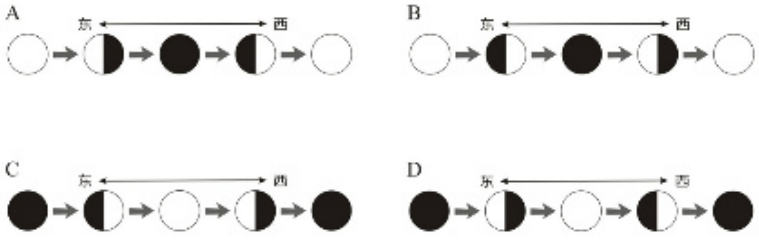
11　月相的变化，具有下列哪些特征？

Ⅰ 月相变化的周期为29.53日　　Ⅱ 下弦月时，月球的亮面朝西

Ⅲ 农历是以月相变化的周期为依据　　Ⅳ 满月时，地球位于太阳与月球之间

A. Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B. Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　C. Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ　　D. Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

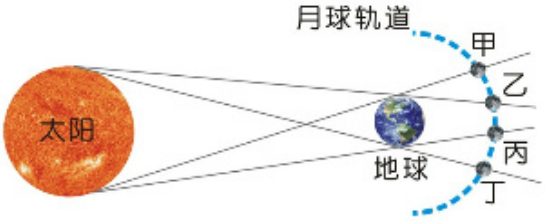
12　从朔日回复到第二个朔日，我们依次可见的正确月相盈亏的顺序为何？



13　当气象局发布某地台风警报，并预测将下三天的豪雨，试问沿海地区在哪一天最需要严防海水倒灌？

A. 初五　　B. 初十　　C. 十五　　D. 二十

13 下图为太阳、地球和月球轨道关系图。下列哪一情况出现时，最可能发生月偏食？



A. 月球在乙、丙间运转时
B. 月球在甲、乙间或丙、丁间运转时
C. 月球由丙逐渐进入本影或由乙逐渐远离本影时
D. 月球由丁逐渐进入丙、丁半影内或由甲逐渐远离半影时

看图作答

下图是太阳外部大气结构示意图，读图回答下列问题：

1. 填写太阳的大气层名称：A. _____ B. _____ C. _____

2. 太阳活动的主要表现：①是_____。其数量变化的周期为_____。它的多少和大小可以作为太阳活动强弱的主要标志；②是_____。它是太阳活动最激烈的表现。

3. 当太阳活动增强时，太阳黑子会_____，这时，地球磁场会受到扰动，产生_____现象。

4. 2006年12月13日10时40分前后，太阳特大耀斑爆发，受其影响出现的现象是：
A. 各地都突发强烈的大风
B. 无线电短波信号出现大面积中断
C. 几分钟内天空中显现绚丽多彩的极光
D. 使到达地球的可见光增强，太阳辐射中的紫外线有所减少

第贰章

地球的运动及其影响

第一节　地球的自转与公转

第二节　太阳直射点的回归运动

第三节　四季与五带

第四节　时间

第一节　地球的自转与公转

地球的运动包括自转和公转两种基本形式。

地球的自转

地球绕地轴（axis）的旋转运动，叫做自转（rotation）。地轴的空间位置大致稳定，北端指向遥远的北极星附近。

（一）地球自转的方向

地球自转的方向是自西向东（图2.1）。从北极上空观察，地球呈逆时针方向旋转。

（二）地球自转的周期

地球自转一周所需时间为一日。在计算自转周期时，由于选定的参考点不同，地球自转的周期略有不同。

当用距离地球遥远的恒星为参考点时，某一恒星连续两次经过上中天的时间间隔为一个恒星日。一个恒星日，地球恰好旋转360°，所用时间为23小时56分4秒。这是地球自转的真正周期。

当用太阳为参考点时，太阳连续两次经过上中天的时间间隔为一个太阳日。一个太阳日为24小时。由于地球在自转的同时还在绕日公转，一个太阳日地球要自转360°59′，比恒星日多59′，所以时间上比恒星日多3分56秒（图2.2）。

BOX

上中天

天体每天经过观察者的子午圈平面两次，离天顶较近的一次称为上中天。

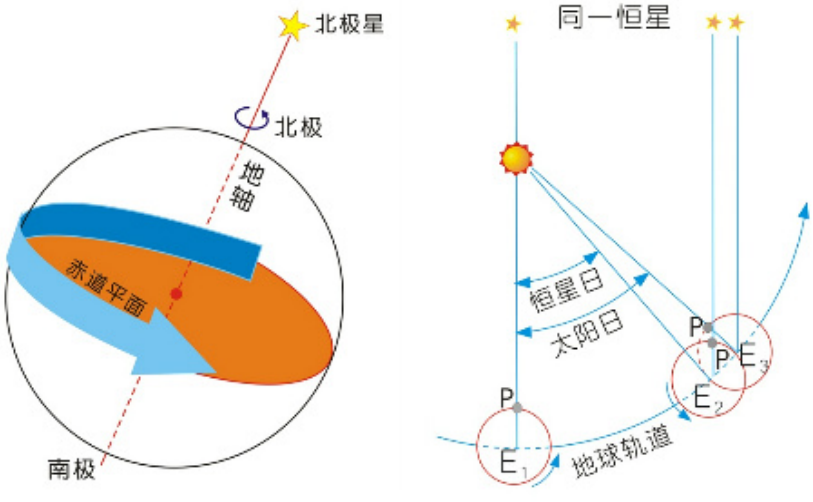


图2.1（左）
地球自转的方向

图2.2（右）
恒星日与太阳日

（三）地球自转的速度

地球自转的速度有角速度和线速度之分。根据地球自转周期，可以算出地球自转的角速度约为每小时15°。地球表面除南北两极点外，任何地点的自转角速度都一样。地球自转的线速度，则因各纬度的不同而有差异（图2.3）。

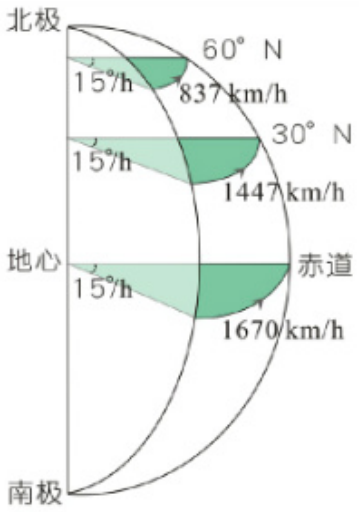
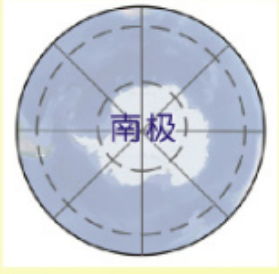


图2.3 自转角速度与线速度

学生活动

1. 如果从南极上空观察地球，地球自转的方向为何？请在右图用→画出旋转的方向。
2. 地球自转的线速度由赤道至两极有什么变化规律？
3. 南北两极点是否有角速度和线速度？为什么？



（四）地球自转产生的地理现象

地球自转会产生许多重要的地理现象，如昼夜更替、产生时差、形成地球自转偏向力及对地球形状的影响等。

1.昼夜更替

同一个时间里，太阳只能照亮地球表面的一半。照射到的一半是白天，未照射到的一半是黑夜。由于地球不停地自转，昼夜也不断地更替。昼夜更替使得地面白昼增温不至于过高，夜晚降温不至于过低，有利于地球生物的生存和发展。

2.产生时差

地球自西向东自转，在同一纬度地区，东边的地点比西边先看到日出。这样，时间就有了迟早之分，形成各地的时差现象。由于东边地点的时间比西边要来得早，因此，不同经度，其地方时也不同。经度每隔15°，地方时相差1小时。

3.形成地球自转偏向力

由于地球自转，地球表面的物体在沿水平方向运动时，其运动方向发生一定的偏转。在北半球向右偏转；在南半球向左偏转；在赤道上没有偏转。这种促使物体水平运动出现方向偏转的力，称为地转偏向力。

4.对地球形状的影响

地球自转的离心力，使地球由两极向赤道逐渐膨胀，形成两极稍扁，赤道略鼓的椭圆形球体。

地球的公转

地球按一定轨道围绕太阳转动，叫做地球的公转（revolution）。

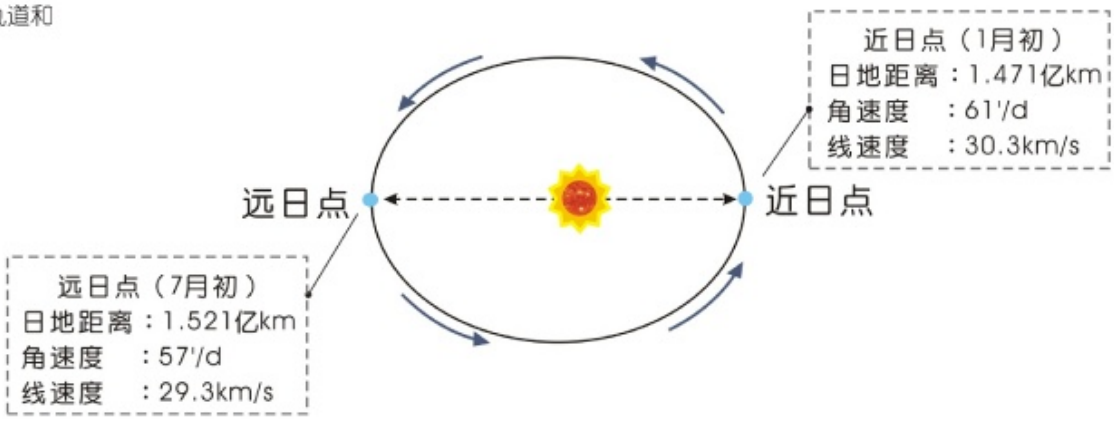
（一）地球公转的轨道

地球公转的路线叫做公转轨道，它是一个近似正圆的椭圆轨道。太阳位于椭圆的一个焦点上，地球绕日公转轨道面叫黄道平面。每年一月初，地球离太阳最近，这个位置叫近日点（perihelion）；每年七月初，地球离太阳最远，这个位置叫做远日点（aphelion）（图2.4）。

（二）地球公转的方向

从北极上空观察，地球呈逆时针方向绕太阳公转（图2.4）。

图2.4
地球公转轨道和方向



（三）地球公转的周期

地球公转一周的时间单位是一年。由于所选定的参考点不同， 地球公转的周期略有差异。

当用某一颗恒星为标准时，地球不论处于公转轨道上的什么位置，地球与这颗恒星连线的空间方向是不变的。若地球从公转轨道某点出发，公转一周后再次回到该点时，其所经历的时间就是一个恒星年。一个恒星年，地球公转360°，所用的时间为365日6小时9分10秒。

当太阳连续两次通过春分点时，地球公转一周所用的时间间隔为一个回归年。由于地轴进动的影响，地球在公转轨道的位置并非是固定不变，春分点有每年向西移动的现象，因此，一个回归年的时间比一个恒星年要短，为365日5小时48分46秒。

（四）地球公转的速度

地球绕日一年转360°，大致每日向东推进1°。这是地球公转的平均角速度。地球公转的线速度平均每秒钟约30千米。在近日点时公转速度较快，在远日点时较慢（图2.4）。

学生活动

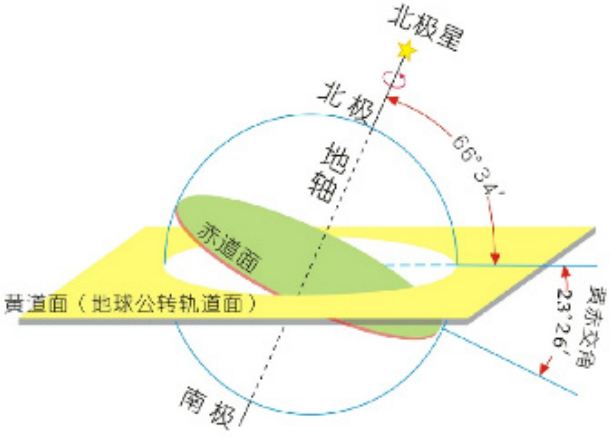
1. 北半球夏半年（图2.4地球公转轨道中，远日点所在的半圆）的日数是186天，冬半年（图2.4中近日点所在的半圆）的日数是179天。造成这种日数差异的原因是什么？

第二节　太阳直射点的回归运动

黄道面与倾斜的地轴

地球在自转的同时围绕太阳公转，地球自转形成赤道平面，即通过地心与地轴垂直的平面；地球公转形成黄道平面，就是地球公转轨道平面。赤道平面与黄道平面之间存在一定的夹角，叫做黄赤交角，该角度为23°26′（图2.5）。

图2.5
黄赤交角



学生活动

1. 假如地轴与黄道面相交成90°，那么，地球表面接受太阳照射的情况会是怎样的？

地球公转与回归运动的关系

地球在公转的过程中，地轴的指向和黄赤交角的大小，在一定的时间内可以看作是不变的。因此，地球在公转轨道上的不同位置，地表接受太阳垂直照射的点（简称太阳直射点）是有变化的。

由于黄赤交角及地球公转这两个因素，太阳直射点的纬度不断变化中。夏至日时（6月21日前后），太阳直射北回归线（23° 26′ N），此后太阳直射点逐渐向南移动；秋分日时（9月23日前后），太阳直射点位于赤道上；之后太阳直射点继续向南移动，冬至日时（12月22日前后）移动到南回归线（23° 26′ S），此后太阳直射点开始向北移动，春分日时（3月21日前后），太阳直射点又回到赤道。之后直射点继续北移，夏至日时，回到北回归线。太阳直射点在南北回归线间的这种周期性往返运动，称为太阳直射点的回归运动，周期为365日5时48分46秒，称为一个回归年（图2.6）。

回归线的地理意义

在太阳直射点上，单位面积获得的太阳辐射能量最多。太阳直射点最北可以移动到北回归线，最南可以移动到南回归线。因而在回归线之间的地区，受太阳接近直射的影响，可获得较多的热量，回归线至极区之间的地区，受太阳斜射的影响，因而可获得的热量较少。

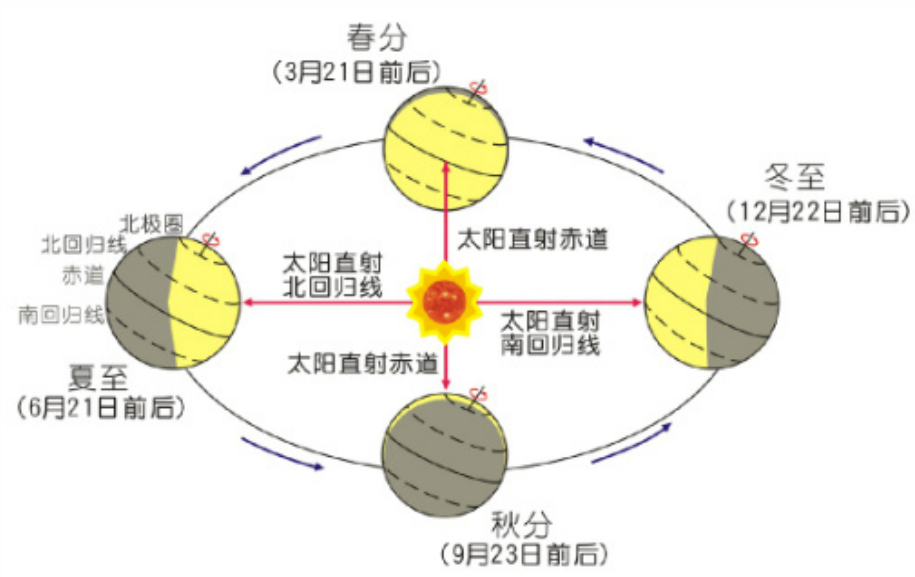


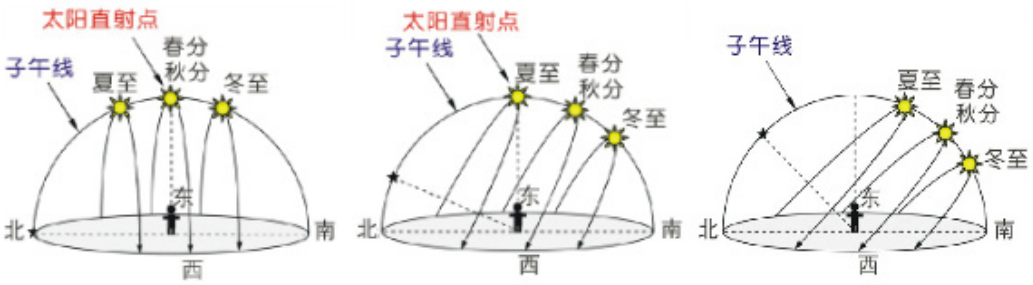
图2.6
地球的公转和季节变化

学生活动

1. 在下图三条纬线上适当的位置标注四个点，分别代表北半球二分日至二至日太阳的直射点。
2. 结合课文关于太阳直射点回归运动的描述，画一条曲线表示太阳直射点的移动轨迹。

太阳光线与地面之间的夹角，叫做太阳高度角，简称太阳高度（elevation of the sun）。由于太阳直射点会因季节而南北移动，所以在同一时间，不同纬度的正午太阳高度也会有所不同。例如：在北半球夏至日（summer solstice）（6月21日前后），太阳直射北回归线，此时，北回归线以北各纬度，正午太阳高度达到一年中的最大值；南回归线以南各纬度，正午太阳高度达到一年中的最小值。北半球冬至日（winter solstice）（12月22日前后），太阳直射南回归线，此时，南回归线以南各纬度，正午太阳高度达到一年中的最大值；北回归线以北的各纬度，正午太阳高度达到一年中的最小值。每年春分日（vernal equinox）和秋分日（autumnal equinox），太阳直射赤道。正午太阳高度自赤道向两极递减（图2.7）。

图2.7
不同季节的太阳高度和位置



a：在赤道地区　　b：在北回归线地区　　c：北回归线以北地区

学生活动

1. 照2.1至2.3是在春分、夏至和冬至三个节气时于雪兰莪州八打灵县的蒲种（Puchong）所拍摄的夕阳照片，照片中的左边为南方，请从太阳的位置来判断这三张照片拍摄时的节气。

照2.1

照2.2

照2.3

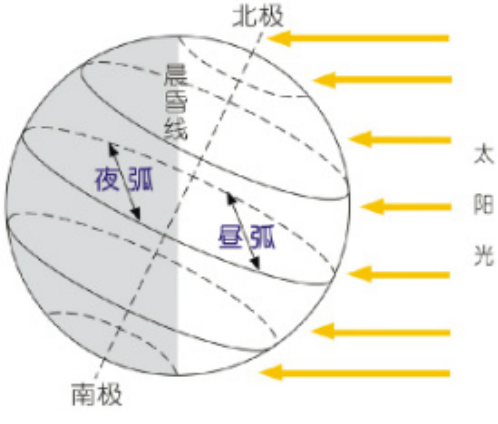
第三节　四季与五带

由于地球始终不停地绕太阳公转，使得地球上各地的正午太阳高度和昼夜长短发生规律性的变化，进而造成了四季的更替及五带的划分。

四季更替下的昼夜长短

影响全球各地昼夜长短的因素，主要与地轴倾斜、太阳直射点的回归运动有关。

图2.8
晨昏线



（一）地轴倾斜与昼夜长短的关系

由于地轴与地球公转轨道面总是保持66°34′的夹角，地球在公转的过程中，太阳直射点始终在南、北回归线之间来回移动，导致昼夜长短的变化。

地球上昼半球和夜半球的分界线，叫做晨昏线（图2.8）。晨昏线把所经过的纬线

分割成昼弧和夜弧。地球不停地自转，昼夜也不停地交替。在同一季节，不同纬度的昼弧和夜弧的长度不同；在同一纬度，昼弧和夜弧的长度也随季节的更替而变化。昼弧长度占整条纬线长度的比例越大，说明该纬线的地区白昼越长。夜弧长度占整条纬线长度的比例越大，说明该纬线的地区黑夜越长。

学生活动

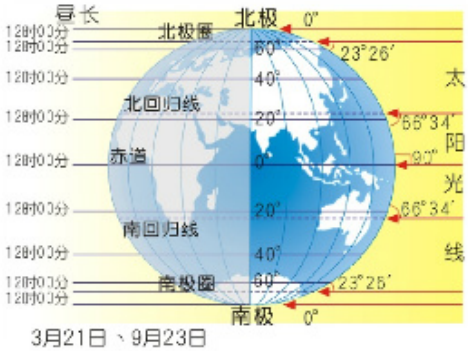
在我国的沙巴（北纬5° 58′），居民每天早上一样的时间上学或傍晚一样的时间返家，他发现不同的月份，天空的亮度会出现差异；同样的时间，有时会较亮而有时又会较暗。

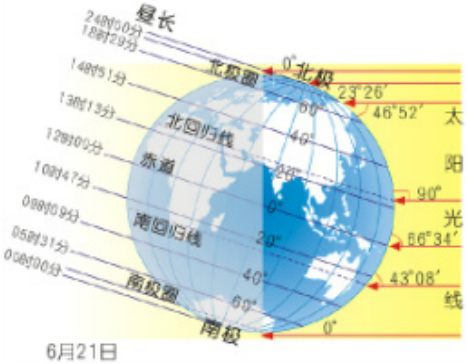
1. 是什么原因造成上文中所描述的现象？
2. 以沙巴为例，哪一个月份的白昼较长，而哪一个月份的白昼较短？
3. 从全球来看，哪一条纬线两侧地区，每天昼夜长短大致一样？

（二）回归运动与昼夜长短的关系

每年的3月21日（春分）和9月23日（秋分），太阳直射赤道，地球各地昼夜等长，各为12小时。自3月21日至9月23日，是北半球的夏半年。在此期间，太阳直射北半球，北半球各纬度昼长大于夜长；纬度越高，昼越长，夜越短。6月21日（夏至），北半球各纬度的昼长达到一年中的最大值，从赤道到北极圈，白昼时间从12小时逐渐增加到24小时，此时北极圈以北的地区，太阳整日不落，出现永昼现象，南半球反之。

自9月23日至翌年3月21日（秋分至翌年春分），是北半球的冬半年。在此期间，太阳直射南半球，北半球各纬度夜长大于昼长；纬度越高，夜越长，昼越短。12月22日（冬至），北半球各纬度的昼长达到一年中的最小值，从赤道到北极圈，白昼时间逐渐从12小时缩减到0小时，此时北极圈以北地区，终日不见太阳，出现永夜现象，南半球反之（图2.9）。





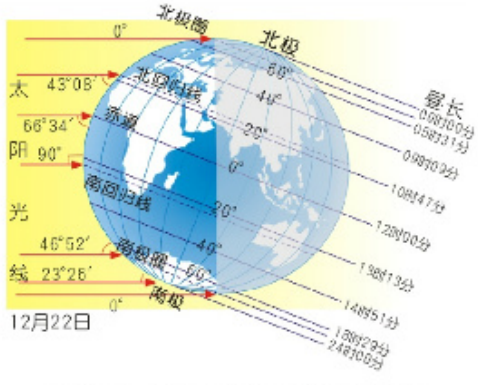


图2.9 回归运动与昼夜长短的变化

四季的划分

从天文含义看四季，夏季就是一年内白昼最长、太阳高度最高的季节；冬季就是一年内白昼

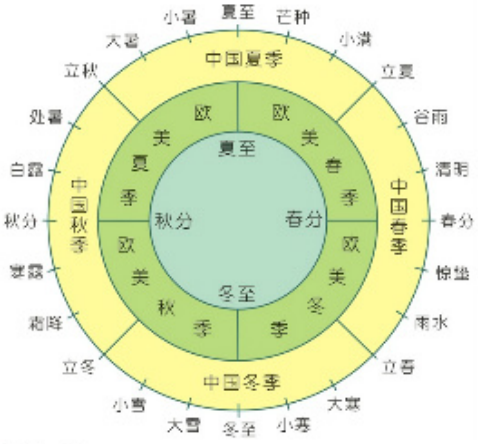


图2.10
二十四节气与四季（北半球）

最短、太阳高度最低的季节；春秋二季就是冬夏的过渡季节。按照这一基本原则，不同国家又根据各自不同的传统习惯，形成了各种划分四季的方法。

例如：中国古代天文学家，将地球绕日运行的轨道分为二十四段，每一段叫做一个节气。人们根据太阳辐射的年变化情况，并结合气温、物候等特征，以二十四节气中的立春、立夏、立秋和立冬为起点，划分为春、夏、秋、冬四季（图2.10）。欧美国家则把春分、夏至、秋分和冬至，分别看作春、夏、秋、冬四季的起点。为了使季节划分与气候相结合，现在北半球中纬度许多国家都把3、4、5三个月划为春季；6、7、8三个月划为夏季；9、10、11三个月划为秋季；12、1、2三个月划为冬季。

BOX

物候

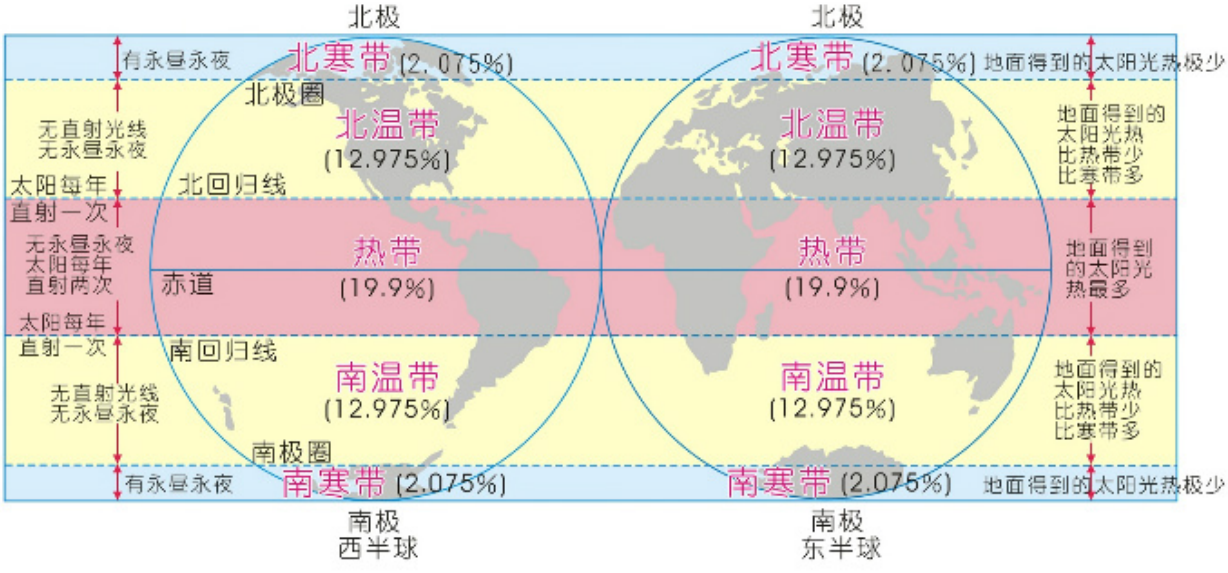
动植物受季节气候影响下，所出现的周期性现象，如植物的发芽、开花、结果，候鸟的迁徙，以及某些动物的冬眠等。

五带的划分

五带的划分是一种比较简单的纬度地带划分方法，它以南、北回归线和南、北极圈为界线，把地球表面粗略地分为热带、南北温带、南北寒带等五个气候带。五带反映了太阳辐射年总量从低纬向高纬地区减少的规律（图2.11）。

在地球表面，五带的分布表现了热量的不均匀分布状况。热带是地球表面最大的热源，两极是最大的冷源，所以赤道与两极地区之间的热量传输与交换对全球性的大气环流、洋流的形成与分布具有决定性意义。

图2.11
地球上的五带



第四节　时间

时区的划分

地球自西向东转，所以就产生了同一纬度偏东的地方会比偏西的地方先看到日出。这样，时间就有了早和迟之分，所以人类利用地球自转的周期性现象，设计全球的时区制度。

（一）本初子午线

1884年10月13日的国际会议决定，以通过英国伦敦格林威治的经线为零度经线，称为本初子午线，作为世界标准时区的起点（图2.12、照2.4）。于是，格林威治时间为标准时间（Greenwich Mean Time，简称GMT）。

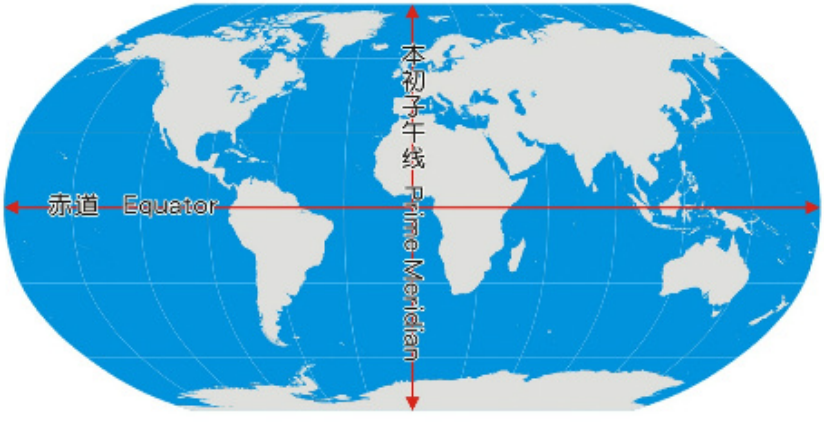


图2.12（左）
赤道及本初子午线

照2.4（右）
格林威治天文台的零度经线

（二）时区的划分

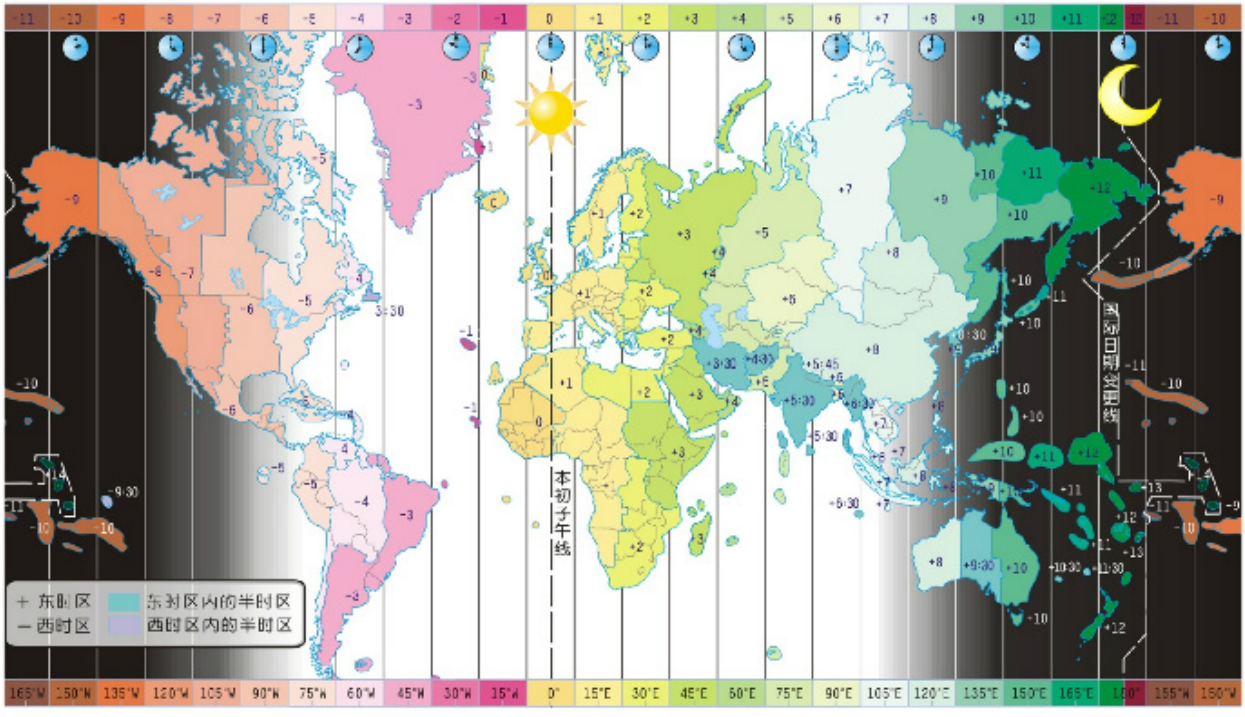
1884年，国际上采取了全球分区计时的方法，将全球划分为24个时区，因地球自转一周360°，所以每一个时区横跨15°的经线。

本初子午线的0°经线为零时区（中时区）的中央经线，其往西到西经7.5°，往东到东经7.5°，这个范围即划为零时区。零时区以东为东时区，依次为东1区至东12区；零时区以西为西时区，依次为西1区至西12区。东12区和西12区合为1个时区，这个时区的中央经线为180°经线。

各时区都以它的中央经线的地方时，作为全区共同使用的

时刻，称为区时，相差几个时区，区时也就相差几个小时。例如，当我国的古晋（东8区）是16时，日本的东京（东9区）是17时，而美国的纽约（西5区）是3时（图2.13）。

图2.13
世界时区的划分



图内数字表示各国法定时区；上表中数字为理论时区；时钟与天色为格林威治为正午12时，其他时区的理论时间

学生活动

1. 当马来西亚是早上8点时，请问西8区的时间为何？
2. 当伦敦为正午时，下列哪个城市的区时为20:00？

A. 悉尼（150° E）　　B. 上海（120° E）
C. 洛杉矶（120° W）　　D. 阿克拉（0° 经线附近）

（三）日界线

由于地球不停地自转，越往东的时间越早，国际上为了划分新一天的开始，故以180° 经线作为地球上“今天”和“昨天”的分界线，叫做“国际日期变更线”（international date line），简称“日界线”。依规定，在日界线西侧的东12区在任何时刻，总比日界线东侧的西12区早24小时。也就是说，东12区和西12区的时间相同（同为一个时区），但日期正好相差一天，如：东12区的时间为10月19日早上10点，那西12区的时间则为10月18日早上10点。

为了照顾180° 经线附近一些地区和国家使用日期的方便，日界线的划定会避免通过陆地，因此，它并不完全与180° 经线重合，而是有几处弯曲。

第叁章

大气系统

第一节　大气的组成与结构
第二节　大气的热状况
第三节　大气的运动
第四节　大气水分

地球外层包围着一层厚达数百公里的大气（atmosphere），除了提供地球生物生存所需之气体，以及隔离部分来自宇宙的物质与能量外，本身也不断的在变化。大气变化的现象，称为气象（meteorology）。某地在短时间内的气象状况，称为天气（weather）；某地长时期大气变化的一般状况，称为气候（climate）。天气与气候对人类的生活和生产活动有深刻影响。

第一节　大气的组成与结构

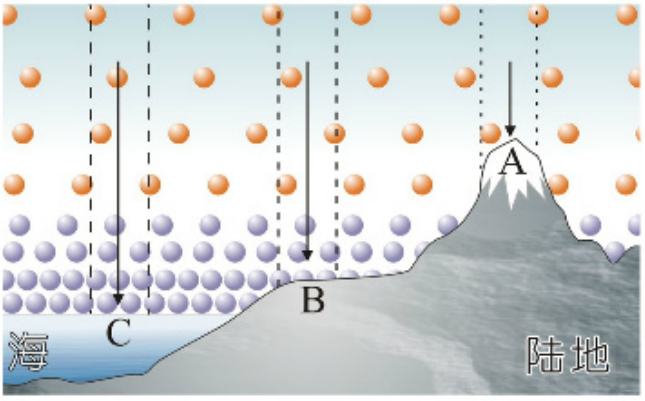
大气的组成

大气是由多种物质组成，主要包含干洁空气、水汽和固体杂质等。

干洁空气是指大气中除去水汽、液体和固体微粒以外的整个混合气体，简称干空气，主要包含氮、氧、氩、二氧化碳、臭氧等。距地表25公里以内的大气主要成分是氮和氧，合占干洁空气的99%。此外，还包含二氧化碳和臭氧，二氧化碳和臭氧的含量虽少，但对地球上的生命活动却有重要作用。二氧化碳是绿色植物进行光合作用的基本物质，对地面也有保温的效果；臭氧能大量吸收太阳紫外线，保护地球上的生物免受过多紫外线的伤害，被誉为“地球生命的保护伞”。

大气中的水汽和固体杂质含量很少，却是天气变化的重要因素。水在气态、液态、固态三者互相转换的过程中，产生了云、雨、雾、雪等一系列天气现象。固体杂质包括灰尘及大气污染物，前者作为凝结核，是成云致雨的必要条件；后者是人类活动所产生的污染物质，包括飘浮在大气中的悬浮微粒、二氧化硫等。

图3.1
高度对气压的影响（A：高地；B：低地；C：海平面）



大气的垂直结构

大气从地面向上，可延伸到数千公里的高空。由于地球重力的吸引，大多数气体集中在地表附近，随着高度上升，大气就越稀薄，空气密度越小，气压越低（图3.1）。

BOX

空气质量指标

空气质量指标是评估一个地区或国家空气质量好坏或空气污染严重程度的高低，主要取决于各种污染物浓度的多寡。由于各国不同的污染问题，故所采用的空气质量指标与浓度标准不一。例如：马来西亚环境局（Department of Environment, DoE）现行的空气污染指标（Air Pollution Index, API），主要污染物监测项目包括悬浮微粒（PM10）（粒径10微米以下之细微粒）、二氧化硫（SO_2）、二氧化氮（NO_2）、一氧化碳（CO）及臭氧（O_3），而新加坡国家环境局（National Environment Agency, NEA）所采用的空气污染标准指标（Pollutant Standards Index, PSI），所监测之污染物项目除上述5项外，在2014年时亦纳入悬浮微粒（PM2.5）（粒径2.5微米以下之细微粒）。

表3.1 API空气污染指标与健康影响对照表

空气污染指标	＜50	51-100	101-200	201-300	＞300
空气质量	良好 Good	普通 Moderate	不良 Unhealthy	非常不良 Very Unhealthy	有害 Hazardous
表示色块					
人体健康影响	对一般民众身体健康无影响。	对一般民众不构成健康的不良影响。	对敏感族群会有轻微症状恶化的现象，特别是心脏或呼吸系统疾病病患。	对心脏或呼吸系统疾病病患会有明显恶化的现象，降低其运动能力；一般大众则视身体状况，可能产生各种不同的症状。	一般民众的健康都会受到严重影响。

数据取自马来西亚环境局(2016)

在2,000至3,000公里的高空，大气的密度已经与太空中的密度非常相近，这个高度可以视为地球大气的边界。

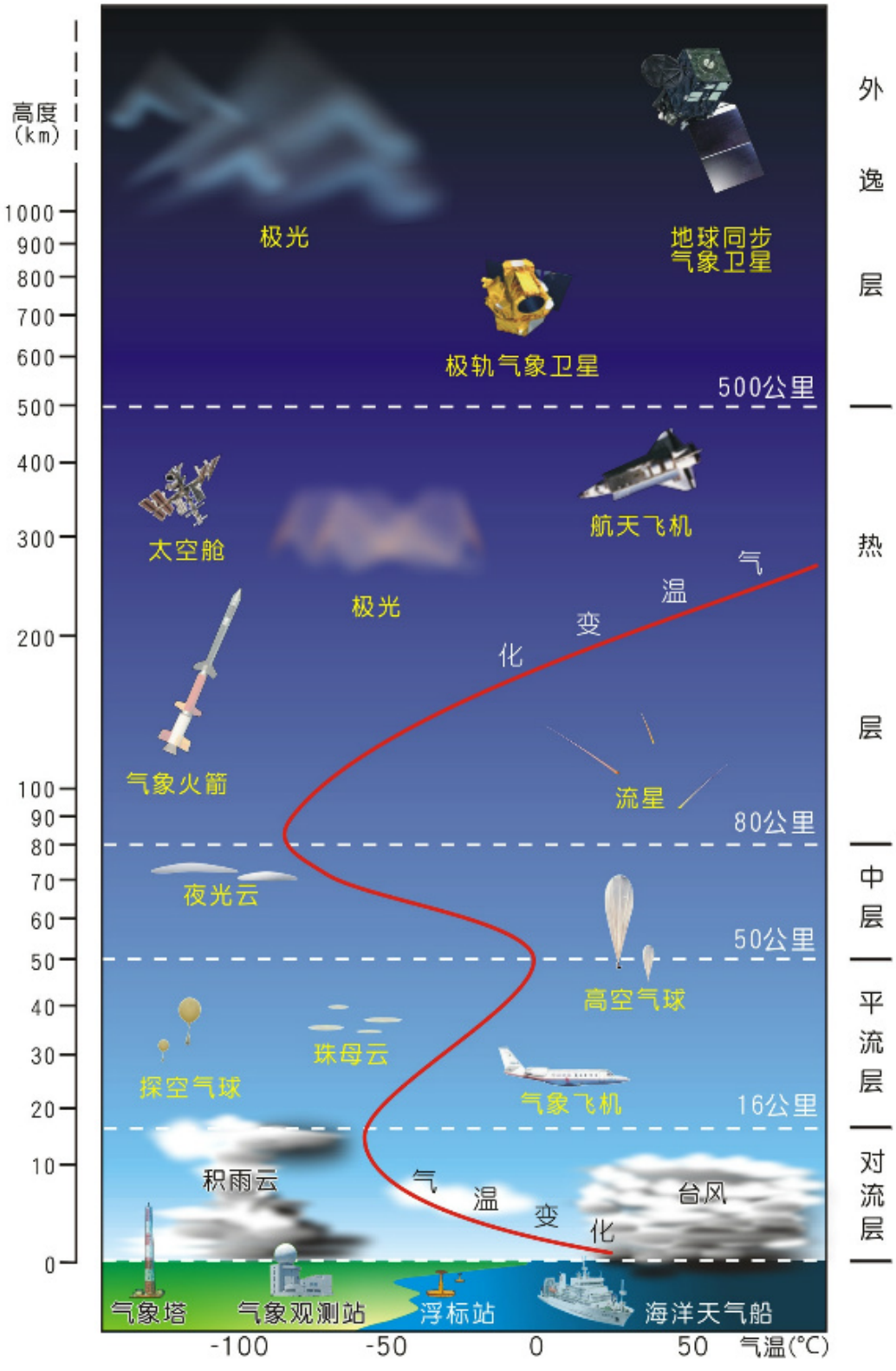
气温的垂直分布是划分大气各气层的主要依据，有些气层的温度随高度而递减，有些则随高度而增加，温度的垂直变化又决定了空气的垂直运动状况。

依据大气的密度、温度变化和大气运动状况，大致可将大气划分为对流层、平流层、高层大气三层（图3.2）。

（一）对流层（troposphere）

对流层为大气的最底层。对流层内，空气较不稳定，对流活动旺盛。大气中之水汽与固体杂质，几乎全部存于此层内，故云、雾、雨、雪等常见之天气现象，均限于此对流层中，且多发生于对流层底层。对流层内，地面辐射是大气的主要直接热源，

图3.2
大气的垂直结构（中层、热层、外逸层合称高层大气）



以致气温随高度的增加而递减，离地面越高，气温越低。

对流层的高度也随着纬度增加而递减。低纬度地区，地面受热多，对流旺盛，对流层平均高度是17至18公里；高纬度地区，地面受热少，对流活动弱，对流层平均高度仅有8至9公里。

此外，季节变化也影响对流层的高度，一般而言，夏季的对流层高度大于冬季。

（二）平流层（stratosphere）

自对流层顶至50公里左右的范围为平流层。该层气温上热下冷，大气稳定，不易形成对流，大气活动以水平运动为主，故称为平流层。平流层的气温随高度的上升而增加，主要是受到平流层上部的臭氧层，吸收紫外线导致周围空气加热而增温。

平流层与人类的关系相当密切，在离地面20至30公里高度处，臭氧含量最高，形成臭氧层。由于臭氧吸收太阳辐射中大部份的紫外线，仅让少量的紫外线到达地面，成为人类生存环境的天然屏障。平流层的水汽和尘埃少，也极少出现垂直气流所产生的上下扰动，因此一般长程客机多在平流层的底部飞行。

（三）高层大气

平流层顶以上的大气，气压很低，空气密度很小，统称为高层大气。高层大气又可分为中层、热层和外逸层。

中层的气体稀薄，臭氧含量低，因此随高度的增加，温度越低，顶部温度降至-90° C左右。由于上冷下热的温度结构，故大气活动以垂直运动为主。热层的温度再随高度增加而升高，原因是来自太阳的能量先在此层被吸收。但因空气非常稀薄，所以实际上感受到的环境温度仍然非常寒冷。外逸层空气最为稀薄，其密度几乎与太空密度相同，故又常称为外大气层。外逸层温度随高度增加而继续递增，加上受地球引力作用小，一些高速运动的空气分子会散逸到宇宙空间。热层和外逸层部分的气体在太阳紫外线的作用下处于离子状态，可以反射波长较长的无线电波，使其传播到远处，因此热层对无线电通讯非常重要。

照3.1
月球表面

学生活动

1. 如果地球没有大气，这个地球还适合人类生活吗？没有了大气，地球是否就会像月球一样呢？

第二节　大气的热状况

太阳辐射为地球带来光和热，提供地球上绝大部份的能源。生命的发生、延续，以及气温变化和各种天气现象等，都受到太阳辐射直接或间接的影响。大气层隔绝了太阳辐射的直接照射，调节地表的温度，并提供生物进行呼吸作用所需的气体，塑造出适合生物生长的环境，因此，大气层乃是地球生命赖以延续的重要保护罩，使地球拥有丰富多彩的动植物及自然景观。

地球能量的泉源—太阳辐射

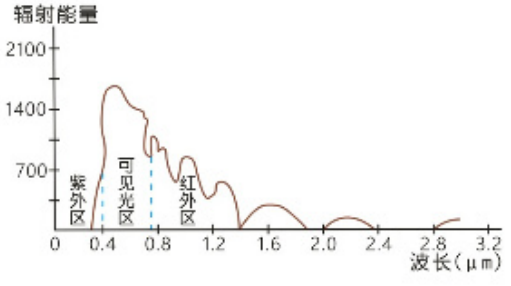
太阳是一个不断燃烧的气体星球，它源源不断地以电磁波的形式向宇宙放射能量，称为太阳辐射（solar radiation）。

地表获得的太阳辐射能量，一般用太阳辐射强度（intensity of solar radiation）来表示。太阳辐射强度就是1平方公分的表面上，在1分钟内获得的太阳辐射能量。太阳高度角和日照时间是影响太阳辐射强度的主要因素。太阳高度角是指太阳光的入射方向和地平面之间的夹角，太阳高度角越大，太阳辐射散布的面积越小，光热集中，地表单位面积上获得的太阳辐射能量越多，太阳辐射强度就越大。反之，太阳高度角越小，太阳辐射强度就越小（图3.3）。另一方面，日照时间愈长，接收太阳辐射量就愈大，而日照时间的长短，则会随着纬度和季节而有所变化。

BOX

太阳辐射

太阳辐射的主要波长范围是0.15－4微米（μm）。其中，人眼能看见的光线，波长在0.4－0.76微米之间，叫做可见光线。波长小于0.4微米的紫外线和大于0.76微米的红外线，人们肉眼都无法看见。由实验得知，物体的温度越高，它的辐射中最强部分的波长越短；物体温度越低，它的辐射中最强部分的波长越长。太阳表面温度高达6,000℃，它的辐射能主要集中在波长较短的可见光部分，可见光区差不多占太阳辐射总能量的一半。为此，人们把太阳辐射称为短波辐射。紫外区部分，占太阳辐射总能量的7%；可见光区部分，占总能量的50%；红外区部分，占总能量的43%。太阳辐射能量的单位为J/m_2s，即每秒每平方公尺多少焦耳。



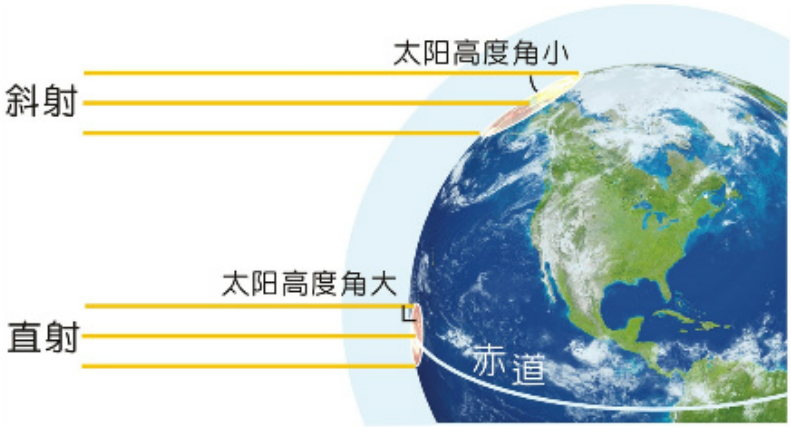


图3.3
太阳高度角与受热面积大小的关系

大气的热力作用

大气的热力作用主要包含大气对太阳辐射的削弱作用和大气的保温作用。太阳辐射穿过大气层时，受到不同程度的削弱，致使到达地面的辐射减少，称为大气的削弱作用。到达地面的辐射除部分被地面吸收外，向外反射的辐射又有部分被大气吸收而未向宇宙空间流失，称为大气的保温作用，亦称温室效应。削弱作用和温室效应相互影响，使得地球的温差较其他星球要小，有利于生物的生存与繁衍。

（一）大气对太阳辐射的削弱作用

太阳辐射穿过大气层的过程中，分别受到水汽、二氧化碳、微尘、氧和臭氧、空气分子的吸收、反射、散射等作用，使太阳辐射不能完全到达地面，直接抵达地表之太阳辐射不到原来的一半。

1. 吸收(absorption)

大气对太阳辐射的吸收具有选择性。平流层中的臭氧，主要吸收太阳辐射中波长较短的紫外线；对流层中的水汽、杂质和二氧化碳，主要吸收太阳辐射中波长较长的红外线。而太阳辐射中能量最强的可见光吸收的很少，增温作用亦小，所以大气对太阳辐射的吸收并非对流层大气的直接热源。

2. 反射(reflection)

反射对各种波长的太阳辐射无选择性。大气中的云层和颗粒较大的尘埃能将一部分太阳辐射反射回宇宙空间。云层越厚，

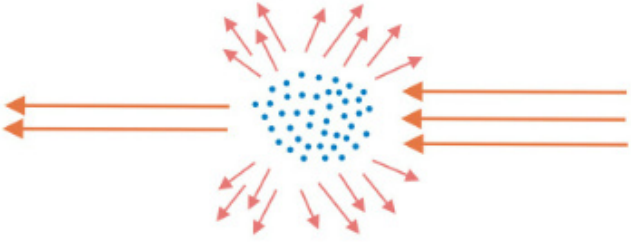
云量越多，反射越强。多云的白天，气温不会太高，就是因为云的反射减少了到达地面的太阳辐射（图3.4）。

3. 散射（scattering）

当太阳辐射在大气中遇到空气分子或微小尘埃时，一部分能量便以这些质点为中心，向四面八方散射开来，使一部分的太阳辐射不能到达地面。在太阳辐射的可见光中，波长较短的蓝色、紫色光最容易被大气分子所散射，所以晴朗的天空呈现蔚蓝色 （图3.5）。

图3.4（左）
云的反射

图3.5（右）
大气对太阳辐射的散射



太阳辐射的粗细表示辐射量

BOX

大气的散射作用

大气对太阳辐射的散射作用，是依照大气中质点粒径的大小，而对特定波长的太阳辐射产生散射。

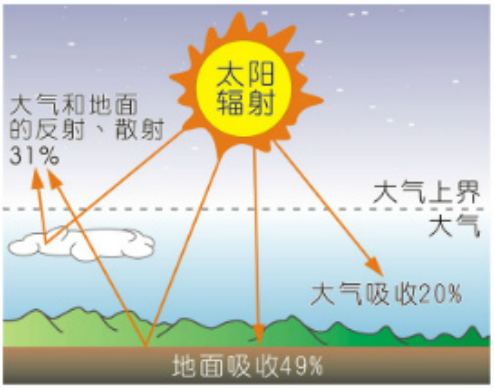
(a) 气体分子及小的悬浮微粒

气体分子及小的悬浮微粒对辐射波长愈短的入射波，散射愈厉害。例如：可见光的蓝色波段比红色波段更容易被大气层散射。因此，当我们望向天空，到处充满被散射的蓝光，因此有“蓝天”。黄昏时，当我门望向太阳，由于阳光中较短波长的可见光多被散射，到达我们眼睛的阳光中红光含量最多，所以太阳成橘红色。（以上解释适用于晴天）

(b) 大悬浮微粒及小水滴

大悬浮微粒、小水滴对太阳辐射的各种波长都会产生散射，所以天空呈现灰色。此情况常见于天气不好时，空气污染严重时。

上述大气对太阳辐射削弱的三种方式中，以反射作用最为重要，散射作用次之，吸收作用最弱。平均而言，如果将到达地球大气上界的太阳辐射作为100%的话，经过大气的反射、散射和吸收，最后到达地面的太阳辐射只有49%（图3.6）。但是，不同纬度地区又有所差别。太阳高度越大的地区，太阳辐射经过大气的路程越短，被大气削弱得越少，最后到达地面的太阳辐射就越多；反之越少。这就是为什么太阳辐射由低纬向两极递减的重要原因之一（图3.7）。



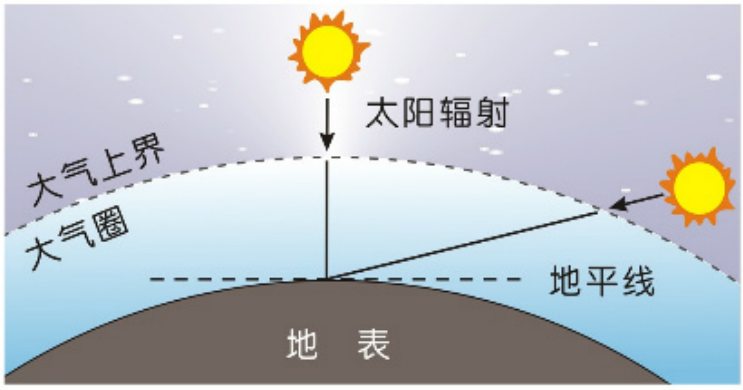


图3.6
到达地面的太阳辐射

图3.7
太阳高度与太阳辐射经过大气路程长短的关系

（二）大气的保温作用(温室效应)

太阳辐射穿过大气层到达地面，大气和地面吸收太阳辐射的同时，也以长波方式向外放出辐射，故把地面辐射和大气辐射称为长波辐射。

1. 地面辐射

地面吸收太阳辐射而增温，同时地面又把热量向外辐射，称为地面辐射（terrestrial radiation）。地面辐射的波长比太阳辐射长得多，其能量主要集中在红外线部分，相对于太阳的短波辐射来说，地面辐射为长波辐射。

对流层的水汽、杂质和二氧化碳，吸收红外线长波辐射的能力很强，地面放出的长波辐射除有一小部分返回宇宙空间外，绝大部分（75%～95%）都被对流层的二氧化碳等所吸收，使大气增温，所以地面辐射是对流层大气主要的直接热源。

2. 大气辐射

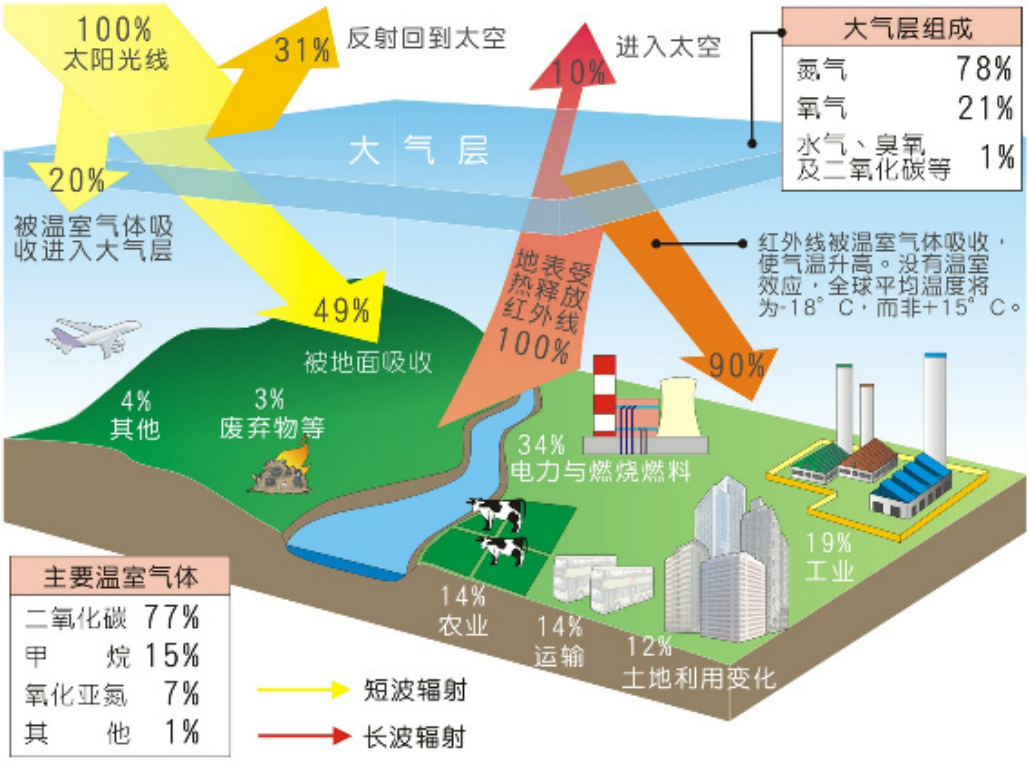
大气在增温的同时，也向外放出红外线长波辐射，这称为大气辐射（atmospheric radiation）。大气辐射除一小部分向上射向宇宙空间外，大部分向下射回地面，其方向与地面辐射正好相反，故称为大气逆辐射（counter radiation）。大气逆辐射又把热量还给地面，补偿了地面辐射损失的热量，对地面起到了保温作用。当天空有云，特别是有浓密的低云时，大气逆辐射更强。

综上所述，地球大气对太阳短波辐射几乎没有隔绝作用，大部分太阳可见光能够透过大气到达地面，使地面增温；大气对地面长波辐射却是隔热层，把地面辐射放出的热量绝大部分截留在

大气中，并通过大气逆辐射又将热量还给地面，这种类似玻璃温室的作用，称为“温室效应”（图3.8）。

大气对太阳辐射的削弱作用和对地面的保温作用，既降低了白天的最高气温，又提高了夜间的最低气温，从而减小了地面的日较差。大气的温室效应，使地面平均气温维持在15℃左右，形成适宜人类生存的温度环境。如果没有大气的温室效应，地面的平均气温将下降到-18℃，那么地球上的绝大多数生态系统将不复存在。

图3.8
温室效应示意图



全球热量平衡

热量平衡指热量的收入与支出情况是否相等或有差额。就整个地球多年平均状况来看，地球（地面和大气）收入的热量与支出的热量相等，即热量收支平衡，因此全球的长期平均气温相对稳定（图3.9）。

在不同纬度，热量收支则是不平衡的。低纬度地区的热量收入大于支出，气温较高；中高纬度地区的热量收入小于支出，气温较低。但实际上低纬度地区的气温并不是无限地升高，高纬度地区的气温也不是无限地降低，这是由于大气运动和洋流调节了高低纬度间热量的差异，使高低纬度地区的长期平均气温也大致保持稳定。

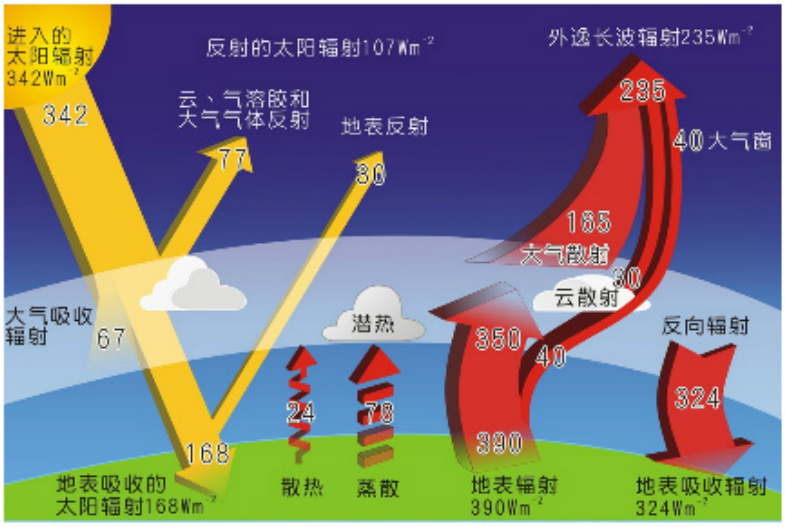


图3.9
全球热量平衡

近百余年来，人类大量使用化石燃料，以致二氧化碳及其他温室气体日增，使大气吸收更多地面长波辐射，导致地球的热量收支失去平衡，全球日益暖化。这些变动促使极端天气频繁发生，如洪水、旱灾、热浪、台风、寒潮等事件加剧。因此减少温室气体的排放，降低目前地球温室效应的强度，是国家、企业与个人共同努力的目标。

气温的时间变化和水平分布

气温的变化通常可透过平均温度和极端值（即最高温度和最低温度）来表示。由于气温的高低取决于地面储存热量的多寡，地面储存热量最多的时期，就是气温最高值出现的时间；储存热量最少的时期，也就是气温最低值出现的时间。除此之外，纬度的高低、海陆分布、海拔高度、地面性质和季节的更替都是影响气温变化和分布的因素。

（一）气温的时间变化

气温的时间变化可分为日变化和年变化，前者是由于地球自转造成气温在一日内发生规律的变化，后者则是受到地球公转的影响。

1. 气温的日变化

日出以后，随着太阳高度角的逐渐增大，太阳辐射不断增强，地面获得的热量逐渐增多，导致地面温度持续上升，地面辐射不断增强。大气吸收地面辐射后，气温也跟着上升。一天中的

最高气温并不出现在太阳辐射最强的正午，而是出现在正午过后的一段时间，这是因为地面温度的高低并不直接取决于对太阳辐射的吸收，而是决定于地面储存热量的多寡。所以正午以后，太阳辐射虽然减弱，地面温度却还继续增高。此外，地面再通过辐射、对流等方式将热量传给大气，需要一段时间，因此正午过后气温才会达到最高值。随后，太阳辐射减弱，气温也随之下降，至隔天日出之前，气温达到最低值。

2.气温的年变化

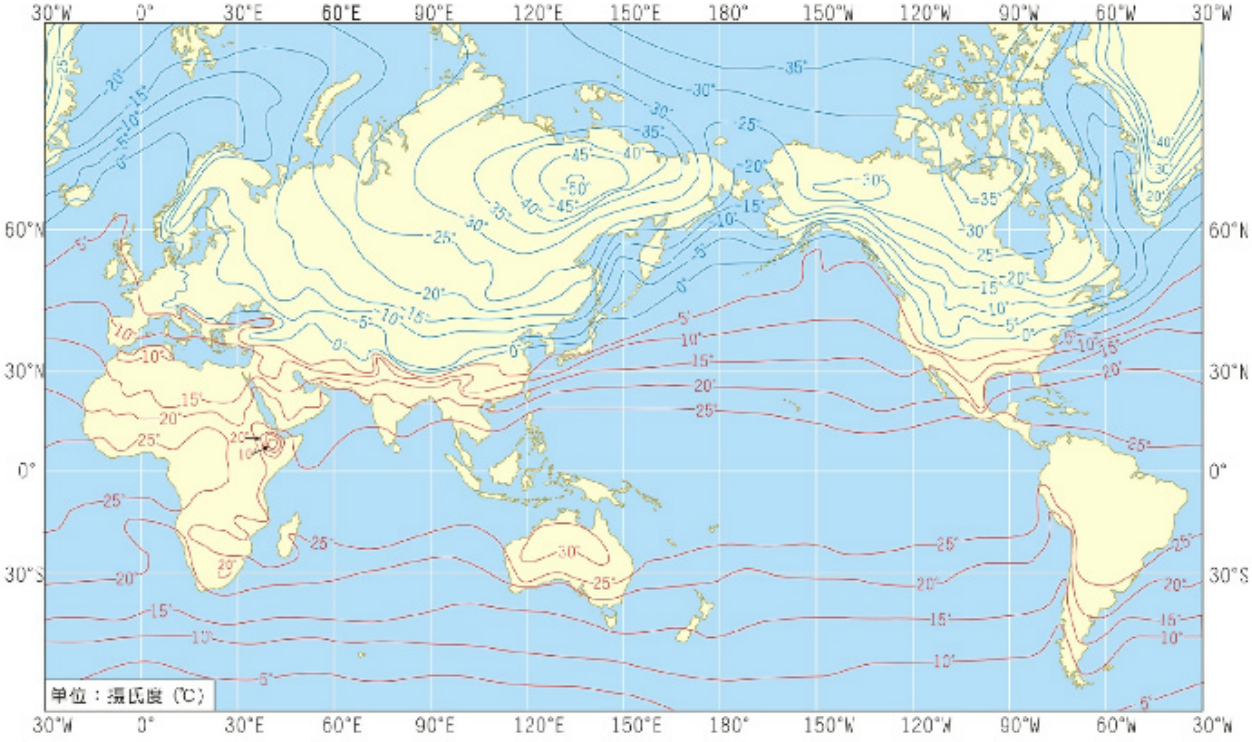
一年之中，就北半球来说，气温最高与最低的月份，并不是出现在太阳辐射最强（6月）和最弱（12月）的月份，而是要落后一两个月。这是由于地面储存热量的缘故，一般情况下，大陆上气温最高的月份出现在7月，最低的月份出现在1月。

（二）气温的水平分布

气温的水平变化通常以等温线（isotherm）来表示。等温线的变化主要受太阳辐射、海陆分布、地势高低、洋流等因素影响。

在一月份，北半球大陆上的等温线向南（低纬）凸出，海洋上则向北（高纬）凸出。显示在同一纬度上，冬季大陆的气温

图3.10
一月份全球等温线的分布



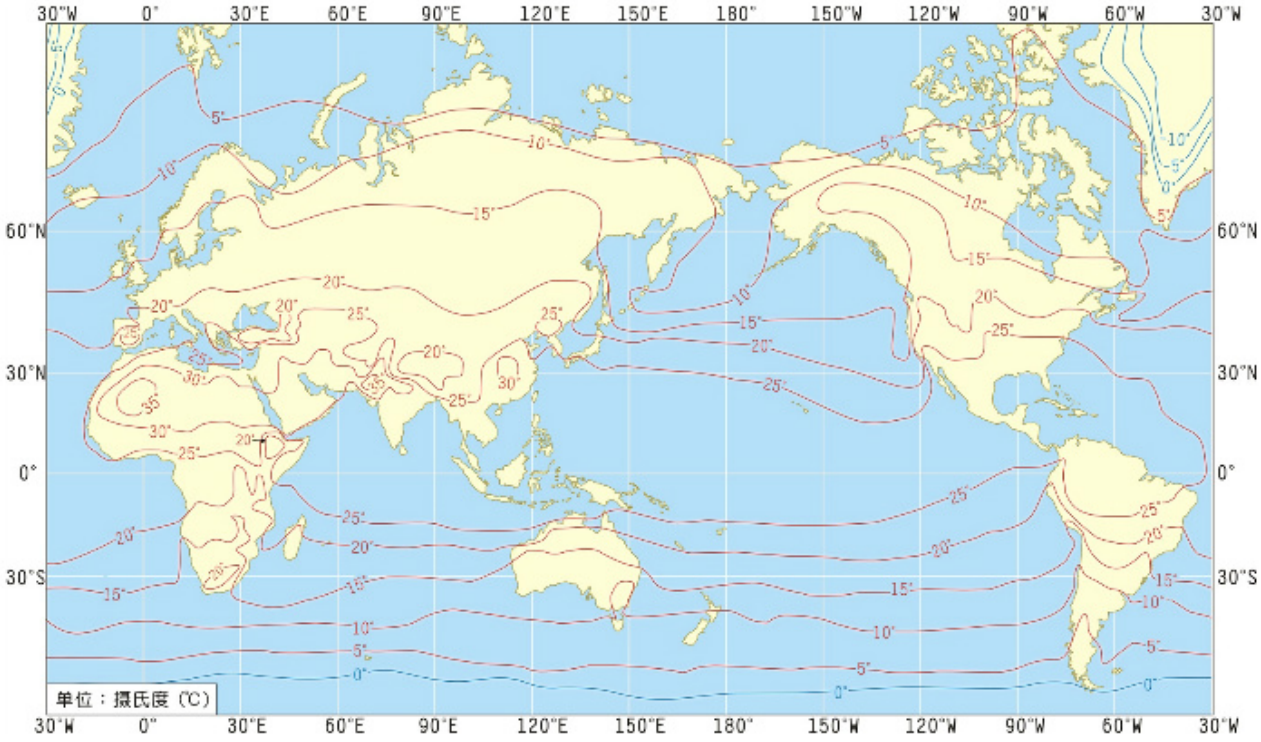


图3.11
七月份全球等温线的分布

要比海洋冷。此外，在太平洋和大西洋的北部，等温线急遽地向北极凸出，反映了暖流对气温的影响。在陆地方面，最低温度出现在北半球的高纬大陆上，如西伯利亚是北半球的寒冷中心（图3.10）。

在七月份，北半球大陆上的等温线向北（高纬）凸出，海洋上则向南（低纬）凸出，显示夏季大陆的气温比海洋热。在北美洲、南美洲和非洲西岸，等温线出现和大陆海岸线平行的趋势，显示大陆西岸受洋流影响。另外，七月份世界最热的地方出现在北纬20°至30°的沙漠地区，如沙哈拉沙漠是全球的炎热中心（图3.11）。

图3.10和图3.11显示，世界大部分地区冬夏气温均有显著的差异。但在我国无论是一月或七月，平均气温却均维持在25℃以上，显示我国接近赤道地区的地理位置特性。

第三节　大气的运动

由于太阳辐射、地球自转以及地球表面的摩擦作用，使得大气随时处于运动状态。大气的运动，经由各种天气及气候现象，直接或间接影响到人类活动，以及地球生物所依赖生存的环境。

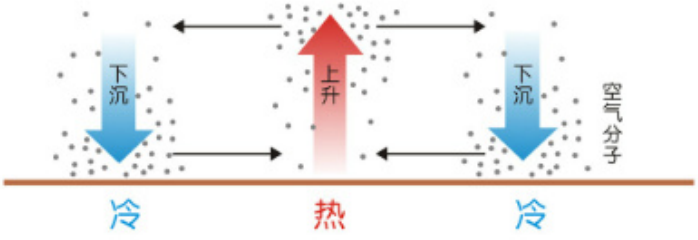
大气的垂直运动与水平运动

大气运动的动力主要来自太阳辐射，由于不同地区所获得的热能不同，造成温度差异，进一步带动大气的水平与垂直运动。垂直方向的运动因受到重力的影响而非常微弱，一般能被感受到的空气流动主要是水平方向。因此大气的水平运动又称为“风”，垂直运动则称为上升气流或下沉气流。虽然大气的垂直运动较水平运动小，但却是影响剧烈天气变化的重要因素。

（一）大气的垂直运动

一地的大气垂直运动，主要受该地上下间冷热不均所引起。当空气受热时，体积膨胀，密度变小，空气上升，地面气压降低。空气冷却时，密度变大，空气下沉，地面气压升高（图3.12）。

图3.12
大气的垂直运动



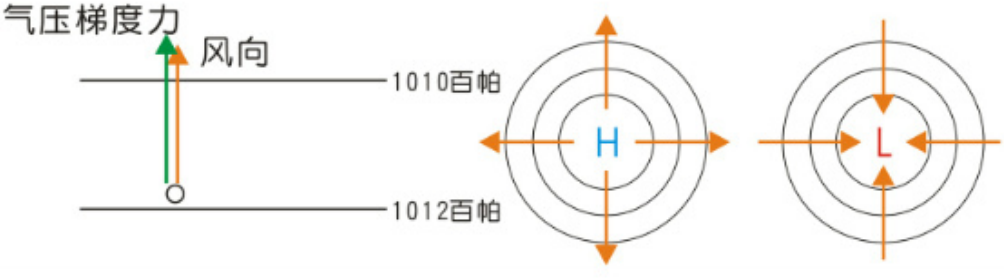
（二）大气的水平运动

大气的水平运动对于大气中水分、热量的传输和天气、气候的变化起着重要的作用。影响空气水平运动的作用力包括气压梯度力、地转偏向力和空气与地面之间的摩擦力等。

1. 气压梯度力(pressure gradient force)

由于地区间的冷热不均，导致空气的上升或下沉的垂直运动，使同一水平面上产生了气压差异，空气自高压处流向低压

图3.13
等压线与气压梯度力



BOX

百帕

百帕是指单位面积上受到的压力，在国际上使用的测量单位是百帕斯卡（hectopascals, hPa），简称百帕。

假设地面受热均匀，则形成的等压面平行于地面，如图1所示。若A地受热多，近地面空气上升，B、C两地受热少，空气冷却收缩下沉，这样便形成空气的垂直运动（图2）。

A地空气上升后，在高空聚集，使空气密度增大，形成高气压；B、C两地的空气下沉，高空的空气密度减少，形成低气压，导致本来平行于地面的等压面在A地高于B、C两地，于是A地高空的空气向B、C地点高空流去，形成了高空的风。

在近地面的A地，空气上升后，空气密度减少，形成低气压；B、C地近地面因有下沉气流，空气密度增大，形成高气压，于是B、C地的空气向A地流去，形成近地面的风（图3）。

图1

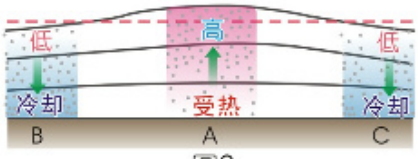


图2

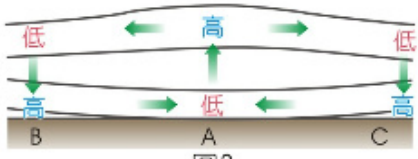


图3

处，产生水平运动，即为风。空气密度越大，气压越高，反之则越小，单位距离间的气压差称为气压梯度，气压梯度是一个向量，它的方向垂直于等压面，从高压指向低压，产生气压梯度力（图3.13）。气压梯度力越大，风速越大（图3.14）。

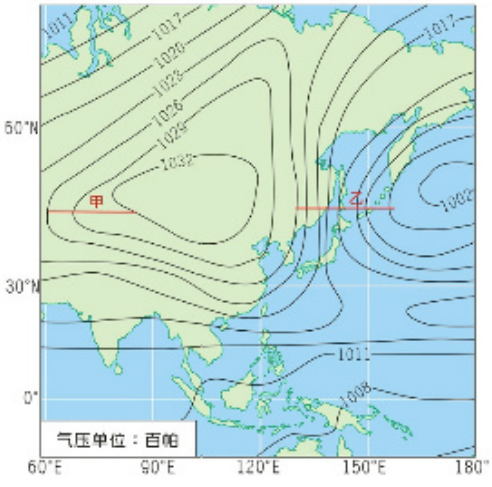


图3.14 亚洲地区一月平均气压图（图中甲线段的气压梯度远低于乙线段，因此甲处的风力亦低于乙处）

2. 地转偏向力（Coriolis force）

除了气压的差异，空气运动的方向还会受到地球自转的影响，这种因地球自转使物体运动路径偏移的力称为地转偏向力，又称科氏力。地转偏向力一般与运动的方向垂直，在北半球，地转偏向力指向运动方向的右边；在南半球，则指向运动方向的左边（图3.15）。地转偏向力的大小随纬度高低而有不同，在南北两极最大，纬度愈低愈小，在赤道上为零。

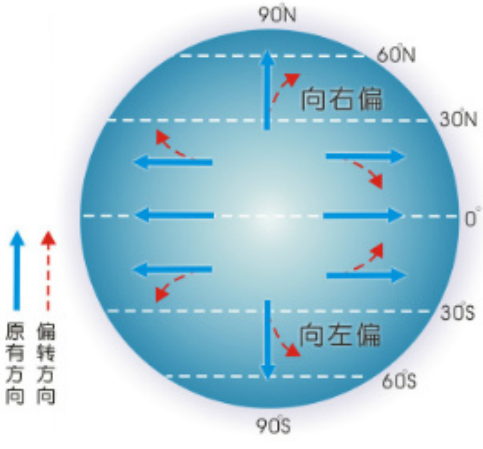


图3.15 地球上物体受地转偏向力影响后的运动方向

3. 摩擦力(frictional force)

当空气靠近地面时，还会受到地面摩擦力的影响，风速减弱，地转偏向力也因此变小。在三力平衡下，风向将往气压低的地方偏转，北半球地面高压中心的气流因此呈顺时针向外吹送，而低压中心附近的气流则呈逆时针向内吹送（图3.16）。

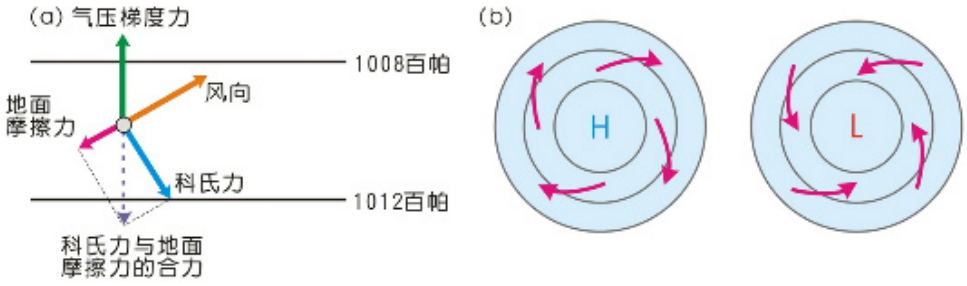


图3.16
北半球地面风风向示意图

全球环流系统与行星风系

由于太阳辐射量在地球各区分布不平均，导致各区热量的差异，引起大气运动。大气环流将热量和水汽从地球一个地区输送到另一地区，交换了高低纬度及海陆之间的热量和水汽，调节地球上的热量平衡与水平衡，同时也是各类天气变化及各地不同气候形成的重要因素。

（一）全球环流系统

地表各地接受的太阳辐射量和日照时间有别，导致同一时间内各地的气温和气压也不相同，由于空气会从高压区流向低压区而形成风，因此地表各地都有强弱不等、方向不同的风。

1. 三圈环流

假设地球表面是均质的，并且地球的地轴不倾斜，则赤道附近的空气因强烈的太阳辐射增温而膨胀上升，而极地地区太阳辐射很弱，使空气冷却收缩下沉，此时，赤道上空的大气在气压梯度力的作用下，流向极地上空并下沉至大气底层，流向赤道地区，形成单一的热力环流，称为单圈环流（图3.17）。

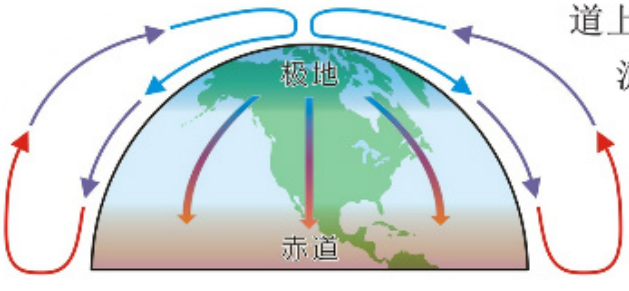


图3.17
单圈环流示意图

然而，在地转偏向力的作用

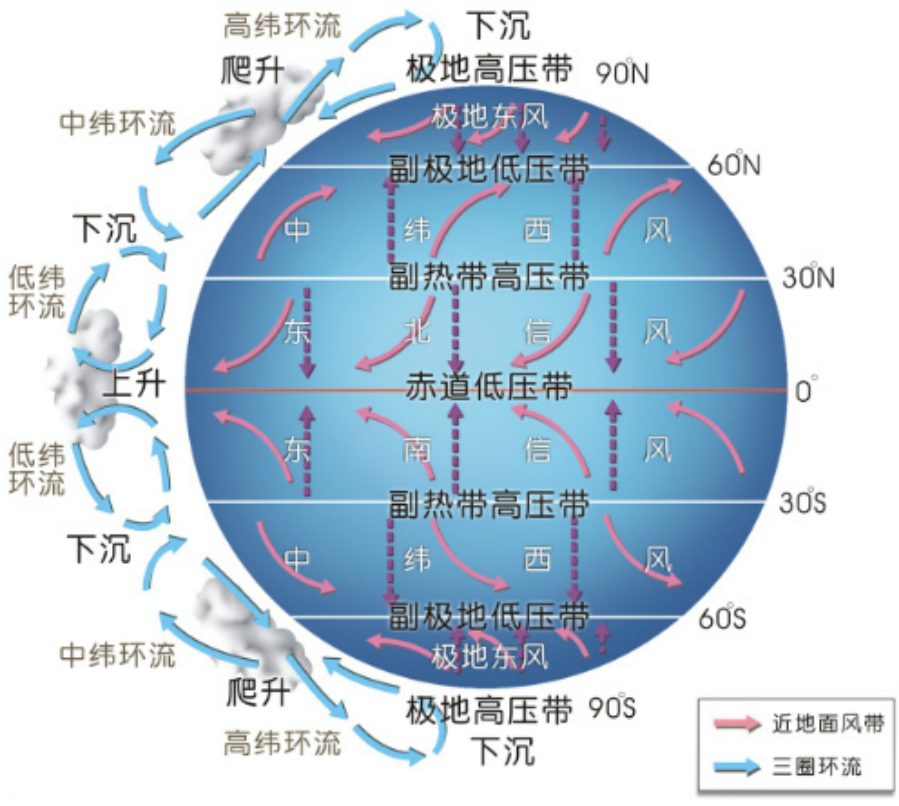


图3.18
三圈环流系统与气压带

下，赤道和极地之间的大气环流不再是单一的热力环流，而是在南北半球分别形成三个环流系统，即低纬环流、中纬环流和高纬环流（图3.18）。

a. 低纬环流(Hadley cell)

赤道两侧地区受太阳直射影响，气温高，暖空气上升，形成赤道低压带。低纬环流是位于赤道低压带与副热带高压带之间的环流。赤道地区受热上升的暖空气，在赤道上空向极区方向流去，在移动的过程中空气逐渐冷却，同时在地转偏向力的作用下，在纬度30°附近下沉，使地面气压升高，形成副热带高压带。下沉的气流在地面一部分流往极区，一部分则流回赤道，形成低纬环流。

b. 中纬环流(Ferrel cell)

中纬环流位于副热带高压带与副极地低压带之间。在纬度30°附近下沉的气流，遇到地面后辐散开来，一部份往极区流动，在地转偏向力的作用下，这股往极区移动的气流逐渐偏转成偏西风，与来自极区的气流在纬度60°附近相遇，因为温度较

高，被迫抬升，形成副极地低压带。上升的气流，一部分往极区流去，另一部分则流回纬度30°附近地区，形成中纬环流。

c. 高纬环流(polar cell)

高纬环流位于副极地低压带与极地高压带之间。因极地气温低，空气下沉，在地面形成极地高压带，往赤道方向流去。在地转偏向力的作用下，逐渐偏转成偏东风，在60°附近与中纬西风汇合上升，上升气流在副极地高空流向极区，到极区时下沉并补偿了极区地面高纬往低纬流去的空气，形成高纬环流。

2.气压带

假设全球在没有海陆分布的影响下，由于太阳辐射的纬度分布不均,在地球表面的不同区域形成高低相间的气压带，而大气低层则会出现大规模的盛行风带，称为行星风系。

三圈环流在全球形成相间排列的四个高压带和三个低压带，包括赤道低压带、副热带高压带、副极地低压带、极地高压带（图3.18）。

a. 赤道低压带

赤道地区太阳辐射强烈，终年高温多雨，热空气不断上升，形成赤道低压带。因气流大致垂直上升，风力微弱，故又称为赤道无风带。此低压带为南、北半球热带气流的汇合处，所以又称间热带辐合区（intertropical convergence zone，简称ITCZ）。

b. 副热带高压带

副热带高压带位于南、北纬30°附近，由赤道低压带上升的气流，在高空向两极流动，在南、北纬30°附近下沉，形成副热带高压带。此带风力微弱，空气稳定，不易降雨。

c. 副极地低压带

干冷的极地东风与较温暖的中纬西风在纬度60°附近相遇，由于冷暖性质差异大，易形成锋面。此带气旋活动频繁，风向多变，风力较强。

d. 极地高压带

两极地区太阳辐射微弱，气温甚低，冷空气下沉，形成极地高压带。

（二）行星风系

三圈环流形成了数个高低压带，风从高压吹向低压，再加上地转偏向力的影响，则成为行星风系，南北半球各形成信风带、西风带、极地东风带。

1.信风带

信风带位于低纬的热带地区。副热带高压带下沉的气流到达地面后，分别向赤道和极地流动。吹向赤道的风，风向稳定，称为信风，古代商人常藉此进行航海贸易，又称为“贸易风”。受地球自转影响，在北半球形成东北信风，在南半球形成东南信风。

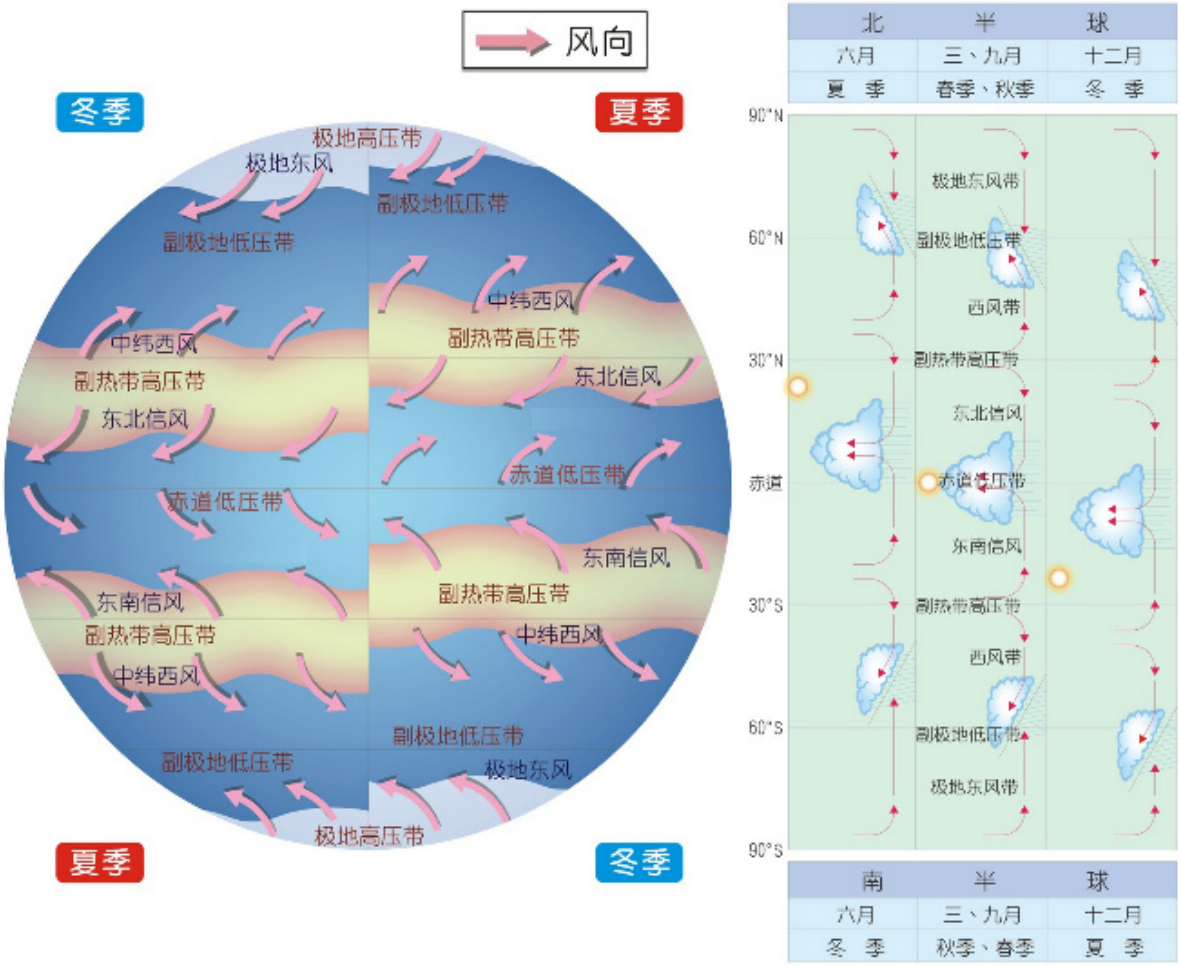


图3.19
行星风系的季节性移动

2.西风带

西风带位于纬度40°至60°之间的中纬地区。由副热带高压带吹向极地的风，受地转偏向力的影响，在北半球形成偏西南风，在南半球形成偏西北风，统称西风带。

3.极地东风带

极地高压带下沉的气流到达地面后，向中纬地区流动。受地球自转影响，在北半球形成东北风，在南半球形成东南风，统称极地东风带。

以上的论述成立在地球表面是均质的，且地轴不倾斜的理想模式，然而，因为地球公转和地轴倾斜的关系，太阳直射点会随季节变化而南北移动，导致气压带和风带在一年内也作周期性的季节移动。就北半球而言，夏季北移，冬季南移。气压带和风带的移动，造成同一个地区在不同季节出现完全不同的天气和气候状况（图3.19）。

BOX

比热

比热容量（specific heat capacity），用符号C表示，又称比热容量，简称比热(specific heat)，是单位质量物质的热容量，即单位质量物体改变单位温度时吸收或放出的热量。

（三）季风系统

由于海陆性质的比热差异，使得同一季节陆地与海洋的温度不同，进一步影响海陆气压的分布。夏季，陆地比热小，受太阳照射后升温较快，容易形成低压，海洋比热大，升温慢，较易形成高压，风由海洋吹向陆地；冬季则反之。这种因海陆热力性质的差异，使大范围地区的盛行风向随季节变化呈有规律地相反方向转变，称为季风。季风系统以亚洲东部最为典型。

1.冬季季风

一月，北半球正值冬季，亚洲内陆形成强烈的高气压中心，而相对温暖的洋面气压较低，导致风从陆地吹向海洋，形成干燥寒冷的冬季季风（图3.20）。

BOX

寒潮

寒潮（cold surge）是指在中高纬度干冷的空气向低纬度侵袭的现象，冷空气在出海后路经暖湿的海域产生变性。

在东南亚地区，冬季季风的肇始，代表了雨季的到来。干冷的冬季季风在路经暖湿的海域后，易为当地带来降水。但冬季季风盛行期间也常伴随寒潮来袭，是中印半岛北部地区主要的天气表现之一，出现寒潮时，我国的南中国海沿岸地区则常出现强风与强降雨，影响渔民出海活动。

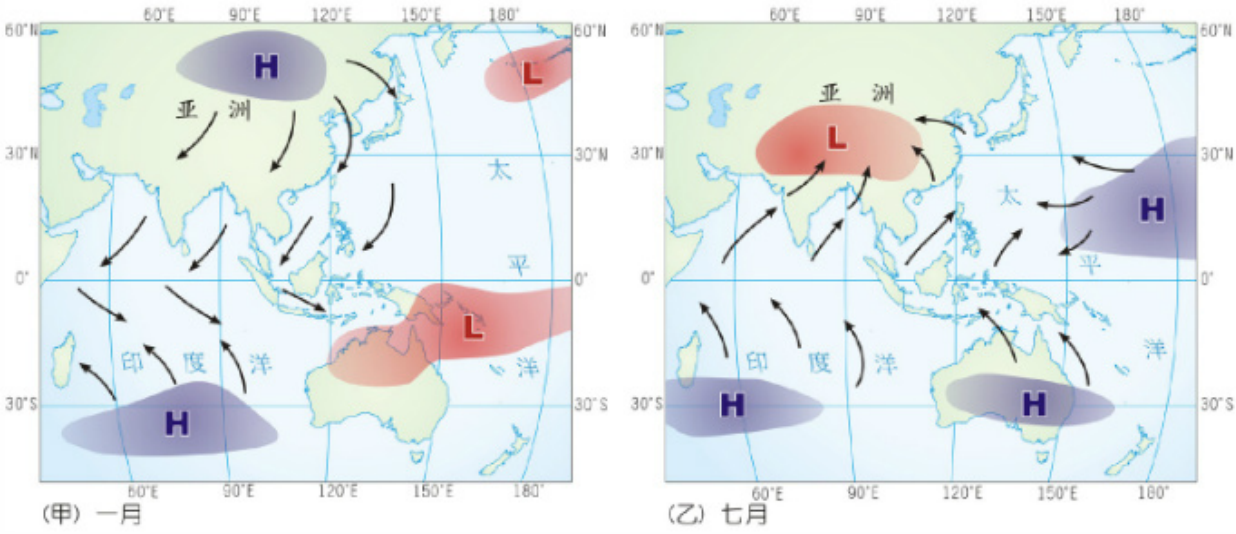


图3.20
亚洲地区冬季与夏季的风向

2.夏季季风

七月，北半球处于夏季，强烈的低压中心在亚洲内陆形成，此时，风从海洋吹向陆地，形成温暖湿润的夏季季风（图3.20）。

在东南亚地区的夏季季风，主要是由于夏季太阳直射北半球，赤道低压带往北移动，使南半球的东南信风在跨赤道后转向成为西南季风。在马来半岛，因西南季风越过苏门答腊而来，受地形阻挡，以致雨量较少，也常带来霾害。

局地环流

在小范围的局部地区，由于空气受热不均所产生的环流，称为局地环流，也称地方性风系，主要有海陆风、山谷风和焚风等。

（一）海陆风

白天，陆地增温比海洋快，以致陆地的气压比海洋低，近地面的空气从海洋吹向陆地，形成海风。夜间，陆地冷却比海洋快，以致气压比海洋高，近地面的空气从陆地吹向海洋，形成陆风（图3.21）。

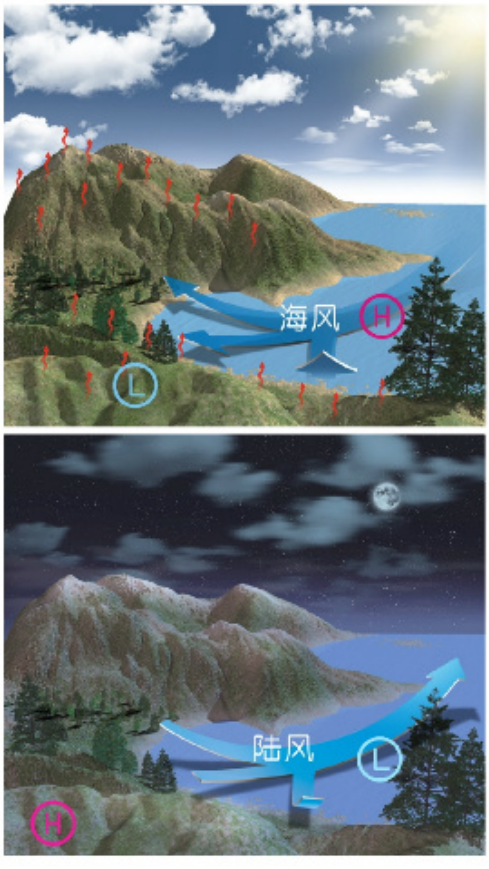
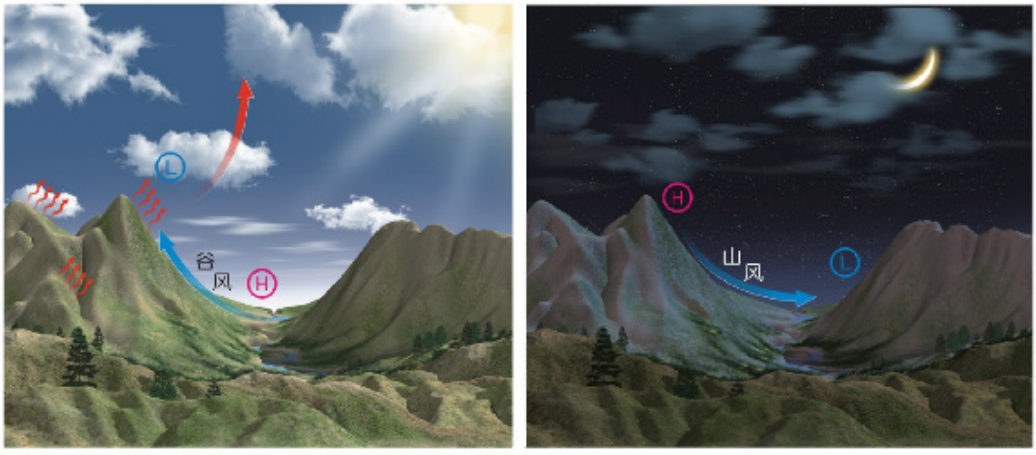


图3.21
海陆风示意图

图3.22
山谷风示意图



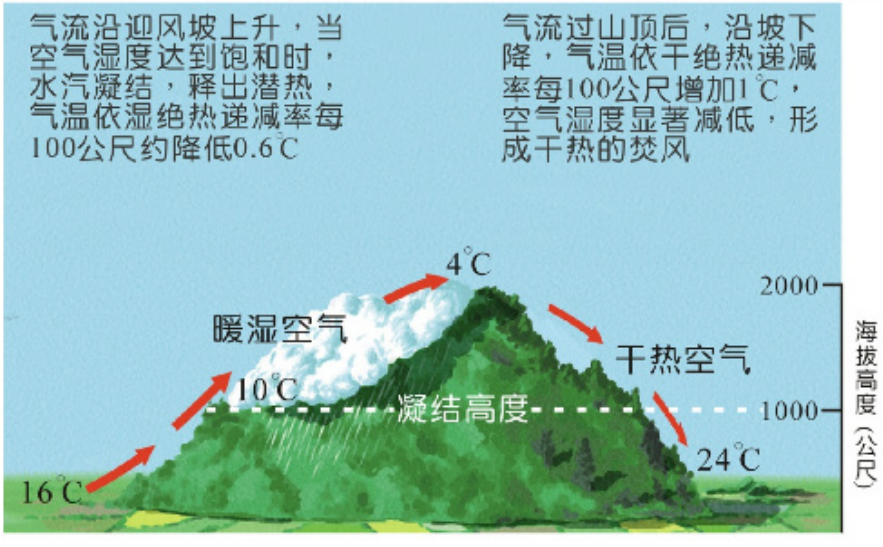
（二）山风、谷风

白天，山谷的空气较不易受到太阳照射，增温较慢，以致山坡的气压比山谷低，于是空气从山谷吹向山坡，形成谷风。夜间，山坡辐射冷却较快，降温较速，导致山坡的气压较山谷为高，空气由山坡吹向山谷，形成山风（图3.22）。

（三）焚风

气流经过山顶后沿背风坡向下吹的风，因干热如焚，故名焚风。气流沿迎风坡上升，当空气湿度达到饱和时，水气凝结，释出潜热，一般而言，气流每上升100公尺，气温约降低0.6℃；气流越过山顶后，沿坡下降，每下降100公尺，气温约增加1℃，形成干热的焚风。当焚风发生在初春时，可使山坡上的积雪消融，有利灌溉；而秋季的焚风可使作物早熟，但强大的焚风易引起森林火灾（图3.23）。

图3.23
焚风的形成



大气与海水的运动

在气候系统的自然变化中，大气与海水的运动，对全球的能量分布及气候变化都起着重要的作用。在年际时间尺度上，厄尔尼诺现象是大气与海洋环流相互作用下的现象，它的变化将影响大范围的天气与气候变化。

（一）洋流

洋流是海洋中常年沿一定方向大规模流动的稳定海水。洋流的流动主要受大气运动和近地面风带所推动，过程中还会受到海陆地形、地转偏向力、潮汐及河水的影响而变化。

1.洋流的分类

依据洋流的成因和性质的不同，可分为风洋流、密度流及补偿流。按照不同的水温性质也可为寒流、凉流和暖流三类。

a.依形成的原因

表层海水受盛行风吹拂，使上层海水带动下层海水流动，形成规模很大的洋流，称为风洋流，如受西风推动形成的西风漂流。

由于不同海域的海水温度和盐度皆不同，因海水密度差异所引发海水的流动，称为密度流。

当某一海区的海水减少时，相邻海区的海水便来补充，称为补偿流，秘鲁凉流即为海水涌升上来的补偿流。

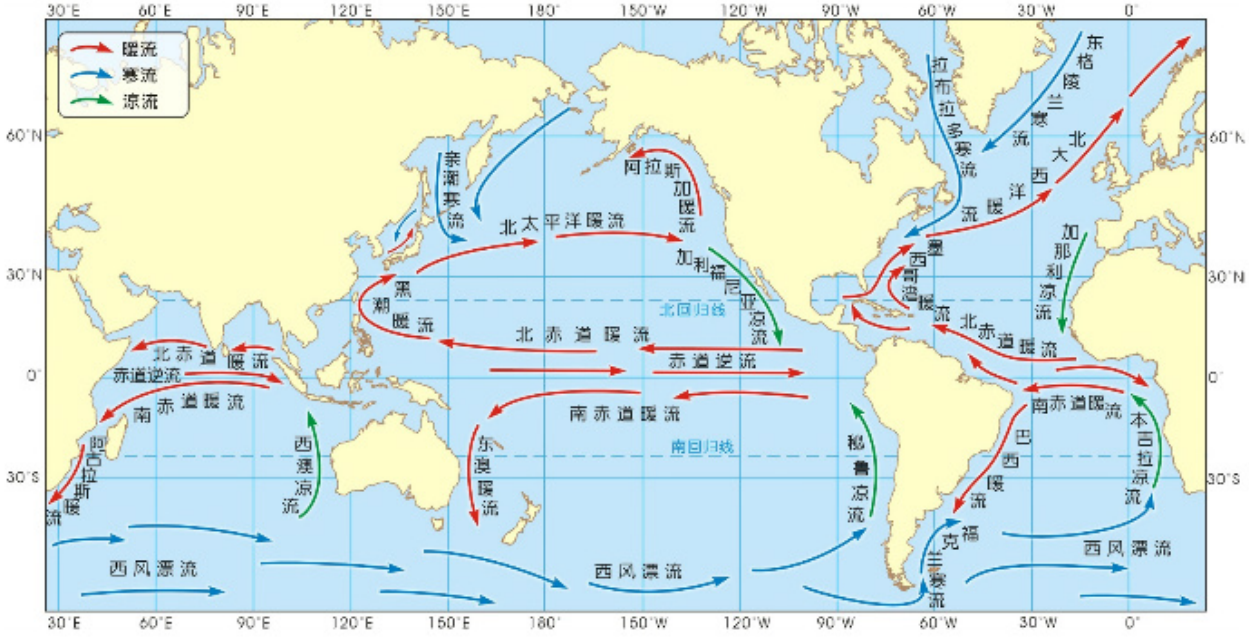
b.依洋流的水温

依洋流与流经海域的海水温度相比较，又可区分为暖流、寒流和凉流。暖流一般从低纬区流向高纬区，水温较流经海域的水温高；寒流和凉流的性质类似，但寒流的水温较凉流为低。寒流是从高纬区流向中、低纬区的洋流，其水温远较流经的海域为低；凉流则是由中、高纬区流向低纬区的洋流，其水温比周围海域略低。

2.洋流的分布

赤道两侧东北信风和东南信风终年吹拂，驱动海水由东向西流动，因而在赤道北方形成北赤道暖流，赤道南方形成南赤道暖流。当北赤道暖流流到太平洋西部时，受陆地阻挡，一部分回头形成赤道逆流，大部分则受地转偏向力影响，沿着海岸向中高纬区流去，形成全球海洋中最强劲洋流之一的黑潮暖流。黑潮暖流与来自北方的亲潮寒流相遇后，受西风驱动向东流向北美沿岸，形成北太平洋暖流。来到北美沿岸的洋流再分向南北流，往北为阿拉斯加暖流，往南为加利福尼亚凉流。阿拉斯加暖流沿着大陆西岸折向高纬区，加利福尼亚凉流则沿大陆西岸南下，成为赤道洋流中的补偿流（图3.24）。

图3.24
世界洋流分布图



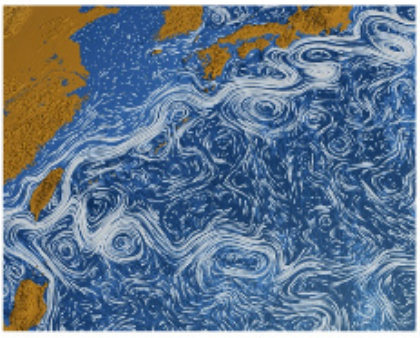
3.洋流对人类的影响

寒流流经地区，若水温低于陆地气温，因下层空气温度较低，空气结构稳定，蒸发少，只能成雾，不易致雨。而暖流流经的地区因为热量和水汽的垂直运动，使得空气结构不稳定，空气湿度增大，易产生降水。如黑潮自赤道附近流向菲律宾、台湾和日本等地，其流量是全球流量最大的亚马逊河的360倍。由于黑潮暖流把温暖的海水带往寒冷的北方海域，日本受其影响，气温和雨量都较其它同纬度的温带国家高。

寒暖流交汇的海区，海水受到扰动，可以将下层营养盐类带到表层，吸引大批浮游生物与鱼群聚集，形成世界主要渔场。

BOX

黑潮



黑潮又称日本暖流，是太平洋洋流的一环，为全球第二大洋流，仅次于墨西哥湾暖流。自菲律宾开始，穿过台湾东部海域，沿着日本往东北向流，在与亲潮相遇后，向东转为北太平洋洋流。

黑潮得名于其较其他正常海水的颜色深，厚度约500—1,000公尺，宽度约为200多公里，年平均水温约24至26℃，冬季约18至24℃，夏季可达22至30℃。黑潮将热带温暖的海水带往寒冷海域，将冰冷的海水温暖成适合生命生存的温度。黑潮流速相当的快，约为100至200公分每秒，就像搭上高速公路般，可提供洄游性鱼类一个快速便捷的路径，向北方前进，故黑潮流域中可捕捉到为数可观的回游性鱼类，及其他受被这些鱼类所吸引过来觅食的大型鱼类。

此外，洋流在航运、排污和发电等都有重要贡献。然而，洋流虽可使污染物迅速扩散而加快其净化速度，但也易使污染范围扩大。寒暖流交汇处也容易产生海雾，影响海上航运。

（二）厄尔尼诺现象

厄尔尼诺现象（El-Niño，西班牙语意为“小男孩”），亦称圣婴现象，原指南美洲秘鲁和厄瓜多尔附近海域的水温，在圣诞节前后出现异常偏暖的现象。目前普遍指在中太平洋或东太平洋上发生水温异常偏暖的情形。厄尔尼诺现象是大气和海洋相互作用所产生的结果，平均每3至7年会发生一次。厄尔尼诺现象发生后，在东太平洋海域会伴随着发生水温异常偏冷的情况，称为拉尼娜现象（La-Niña，西班牙语意为“小女孩”），也称为反圣婴现象。

在正常年，赤道太平洋地区盛行信风，在信风的驱使下，温暖的海域会往西太平洋一带移动，在西太平洋地区的暖水域可深达150公尺以上，而东太平洋地区在信风的影响下产生涌升流（深层海水往海面补充），使东太平洋的海面温度偏低。此时，西太平洋一带的区域，如澳洲、印尼、马来西亚和菲律宾等地区，大气对流旺盛，降水丰沛（图3.25）。

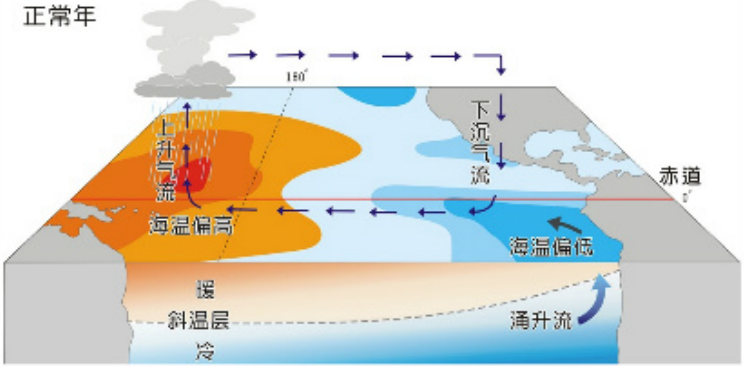
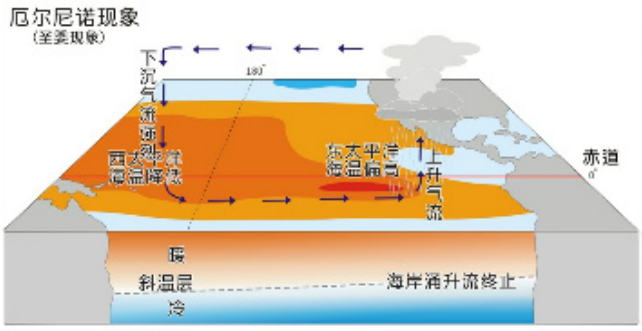


图3.25
正常年



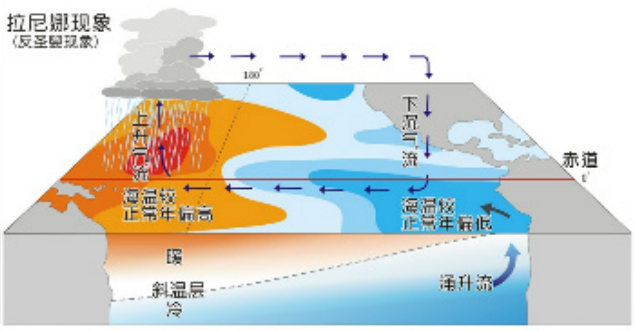


图3.26（左）
厄尔尼诺现象

图3.27（右）
拉尼娜现象

当厄尔尼诺现象发生时，西太平洋地区西风爆发，信风减弱，温暖的海域沿赤道往东移至中太平洋或东太平洋上，西太平洋地区斜温层变浅，海水温度较正常年偏低，而在中太平洋或东太平洋一带海温异常升高，减弱或中断太平洋东部地区的涌升流。此时，降水多发生在中太平洋或东太平洋一带，西太平洋地区则出现严重干旱，甚至引发森林大火等灾害（图3.26）。当拉尼娜现象发生时，信风增强，西太平洋海温比平均值偏高，加剧了西太平洋地区的降水及东太平洋地区的干旱（图3.27）。

第四节　大气水分

大气从地表各种水体、潮湿土壤的蒸发或者植物的蒸腾作用中获得水分。在一定条件下，大气中的水气会发生凝结，产生云、雾等各种不同的天气现象，并且以雨、雪等降水形式重新回到地面，地球上的水分就是透过蒸发、凝结和降水等物理过程循环不已，这些过程对地面与大气之间的热量平衡和天气变化影响至巨。

水气的凝结

水气变成液态的过程，称为凝结；水气直接转变成固态的过程，称为凝华。大气中水气的凝结（华）取决于两个条件，一是具有凝结（华）核；二是大气中的水气需达到或过饱和状态。

当大气中水气的凝结物发生于地表或地面物体上时，形成露、霜等，发生于空气中时，则形成云和雾。

(一)露与霜

在晴朗微风的夜晚，地表辐射冷却强烈，当气温降至露点以下，空气中的水气达过饱和时，在地面或地面物体（如草、花等）上，就会出现水气凝结物。如果露点温度在0℃以上，凝结成的水滴称为露；若露点温度在0℃以下，水气直接凝华成白色的冰晶，称为霜。露的量虽有限，但对植物很有利，尤其在干燥地区和干热天气，常有维持植物生命的功用，例如：沙漠虽数月无雨，植物还可以依赖露水生长发育。

（二）雾

雾是悬浮在近地面空气中的大量水滴或冰晶，若水平能见度小于1公里的物理现象称为雾。雾对植物的生长非常有利，尤其在干旱季节，它可增加土壤水分减少植物蒸发，但对交通有较大影响和危害。

照片3.2（上）露

照片3.3（中）霜

照片3.4（下）雾

（三）云

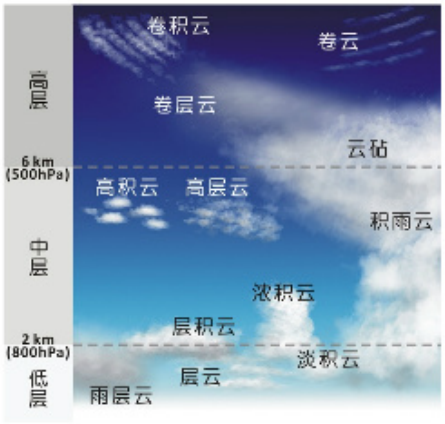
云是悬浮在大气中的小水滴或冰晶微粒或两者混合的可见聚合物。形成云的基本条件除了需具有充足的水气和凝结核外，还需要有使水气发生凝结的冷却过程，例如空气的上升运动。依照成云的上升运动的特点和云的形状，主要可分为积状云、层状云和卷状云三类。各种类云的降雨机率不一，强大的积状云常伴有大量的降水，层状云会伴随持续性的降雨，卷状云则不易带来降水。上述的三类云之间，在一定条件下可以互相转化，而不是一成不变的。

BOX

云的分类

世界气象组织(WMO)对云的分类方法中，以云底高度及外形特征将云分为4属10族。

四属	高云族	中云族	低云族	直展云
云高	5-7 公里	2-7 公里	0-2 公里	
十族	卷云(Ci) 卷层云(Cs) 卷积云(Cc)	高层云(As) 高积云(Ac)	层云(St) 层积云(Sc) 雨层云(Ns)	积云(cu) 积雨云(Cb)



降雨类型

从云层中降落到地面的液态或固态水，称为降水。常见的降水形式有雨、雪、冰雹等。其中降雨依照形成的原因，可分为对流雨、地形雨和锋面雨三种类型。

（一）对流雨

当近地面空气受热上升，暖湿的空气在上升过程中凝结成云而发生降雨，称为对流雨。特点是强度大，历时短，范围小，还常伴有暴风，雷电，故又称雷阵雨。对流雨多分布在热带地区，其他中纬度地区常发生在夏季。此降雨类型主要发生在午后空气对流旺盛时（图3.29），我国的降雨多属此类型。

（二）地形雨

暖湿气流受到地形的阻挡，被迫沿着迎风坡上升，气温降低，水汽凝结致雨，形成地形雨（图3.30）。在背风坡，空气下沉增温，很少降雨，形成雨影区。我国在东北季风吹拂期间，马来半岛东海岸及砂拉越内陆山区的降雨即属此类型。

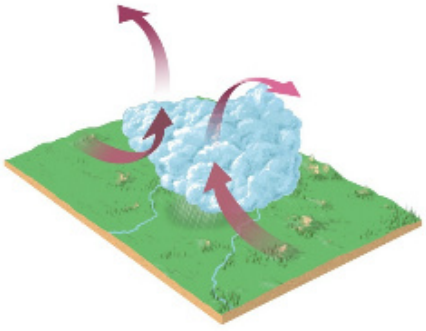
（三）锋面雨

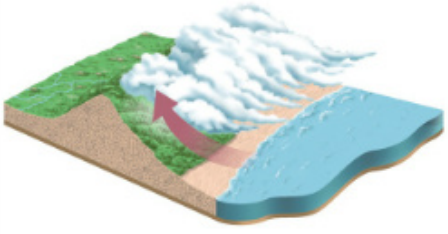
当冷、暖两团空气相遇时，较轻的暖空气易沿着两者的交界面爬升而凝云致雨，称为锋面雨。锋面雨通常具有雨区广，持续时间长的特点。锋面雨多发生在中纬度冷暖空气交汇的附近。例如台湾与长江中下游的梅雨也是属于锋面雨（图3.31）。

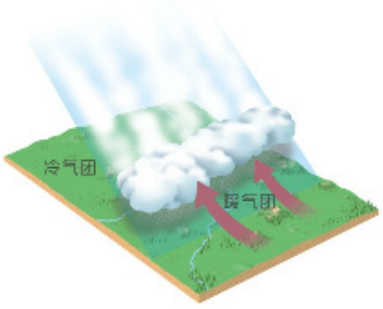
图3.29（左）
对流雨示意图

图3.30（中）
地形雨示意图

图3.31（右）
锋面雨示意图







地点 / 西藏革吉的摄尔错

第肆章

天气与气候

第一节　天气
第二节　气候
第三节　气象灾害及预防
第四节　人类活动与气候变化

第一节 天气

天气是指一个地区短时间阴晴、冷热、干湿、风雨等大气综合变化状况。一般而言，新闻每日所报导的气象预报指的就是天气，可见天气是无时无刻都在变化，如某地早晨阳光普照，午后大雨倾盆。

影响天气的因素

在大气中，影响一地天气变化的系统，称为天气系统。这些天气系统有不同的尺度与生命周期，彼此间相互作用、影响，形成各种天气现象。这些系统主要包含气团系统、锋面系统及气压系统。

各类天气系统，都反映一定地理环境的特性。天气系统的形成、活动，反过来又会影响地理环境。因此，认识和掌握天气系统的结构、组成及地理环境间的相互关系，方能预测天气的变化与影响。

（一）气团系统

气团是一个范围广大的空气体，其内部的温度、湿度等物理性质相当接近。它的水平范围可达数百公里至数千公里，垂直厚度则由几公里至十几公里。一个广大地方在同一气团控制下，天气大致相同。

气团形成的条件需具有大范围性质比较均匀且单一的下垫面。此外，气团形成还应具备稳定的环流条件，使大范围的空气能在原地上空停留较长的时间或缓慢移动，逐渐获得与下垫面一致的物理性质。例如：在冰雪覆盖的大陆上，形成冷而干的气团；在水汽充沛的热带海洋上，则形成暖而湿的气团。

当气团本身温度较所经过之地面为冷时，称为冷气团，反之则为暖气团。冷气团经过的地区，气温降低；而暖气团经过的地区，则会提高当地的气温。依照气团发生的位置，可分为大陆气团及海洋气团，当气团从大陆移入海洋时，会使气团水汽含量增加；当气团从海洋移入大陆时，则会使气团逐渐变干，这种过程

则称为气团变性。例如：亚洲冬季大陆干冷的气团在路经暖湿的海域后，逐渐转变为暖湿的气团，为东南亚地区带来云雨天气。

（二）锋面系统

当冷气团与暖气团相遇时，其交界处称为锋面。由于气团性质不同，锋面两侧的温度、湿度、气压与风都有明显的差别，造成锋面附近易产生云、降水、大风等天气现象。根据气团相对移动的状态，常见的锋面有冷锋、暖锋、滞留锋与锢囚锋（图4.1）。

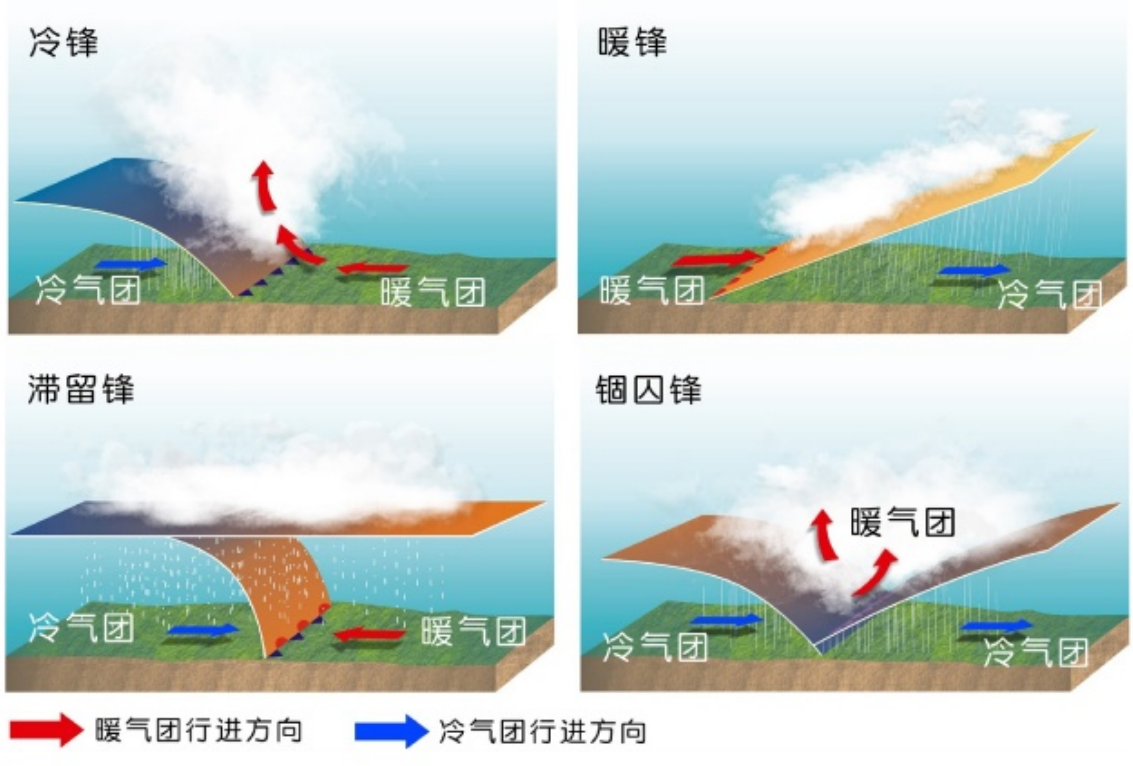
1.冷锋（cold front）

冷气团往暖气团移动的前缘，称为冷锋。由于冷气团密度较大，迫使暖气团抬升，易成云致雨。受冷锋影响的地区，常形成阴雨、大风、降温等天气现象。锋面通过后，冷气团占据了原先暖气团的位置，云量逐渐减少，气压升高，气温与湿度骤降，天气晴朗。例如：北半球冬季時，常有冷锋由亚洲大陆往东南移动。

2.暖锋（warm front）

暖气团往冷气团移动的前缘，称为暖锋。由于暖气团密度较

图4.1
冷锋、暖锋、滞留锋与锢囚峰示意图



小，沿着冷气团徐徐爬升，在锋面上易成云致雨。受暖锋影响的地区，常形成连续性降水或雾的天气现象。锋面通过后，暖气团占据了原先冷气团的位置，气压降低，气温与湿度升高，雨过天晴。暖锋多发生在中纬度地区，如中国北方和日本。

3.滞留锋（stationary front）

冷气团与暖气团强度相近时，使锋面移动缓慢或较长时间在一个地区前后徘徊的锋，称为滞留锋。滞留锋附近常形成阴雨连绵的天气现象，降水时间长，范围广，如台湾春末夏初的梅雨。

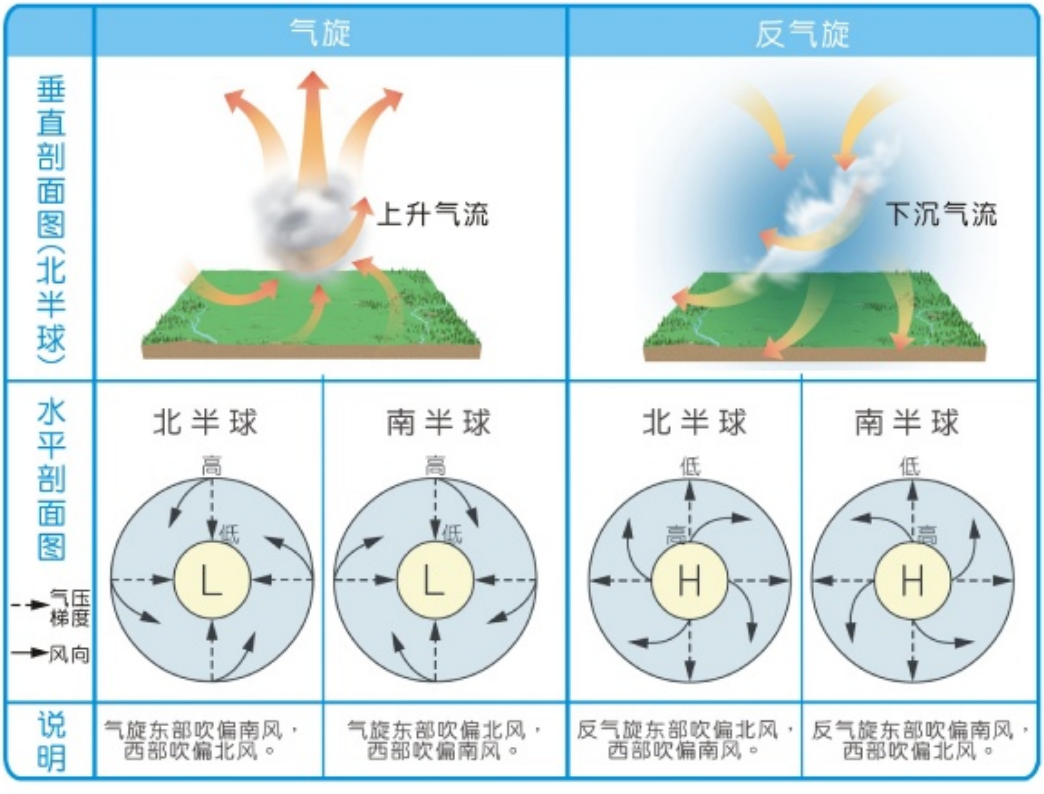
4.锢囚锋（occluded front）

锢囚锋，亦称囚锢锋。若冷锋移动快速，赶上前面的暖锋时，会将暖空气完全抬离地面，暖空气被抬升后，云层变厚，降水区扩大。锢囚锋主要发生在中高纬度地区，如日本。

（三）气压系统

影响天气变化的气压系统可分为气旋（低压系统）和反气旋（高压系统）（图4.2）。

图4.2
气旋、反气旋及其天气状态



1.气旋

凡等压线闭合，中心气压比四周低的区域，称为低气压，在天气图上以“L”来表示。因受地转偏向力的影响，在北半球呈逆时针方向上升旋转；南半球呈顺时针方向上升旋转，则称为气旋。受气旋影响的地区，空气上升，此时其所含的水气遇冷凝结而成云致雨，常形成阴雨、大风的天气。按照气旋所生成的区域，可分为热带气旋（照4.1）与温带气旋。

a．热带气旋

热带气旋多发生在南、北纬5°-20°左右的夏末初秋季节，海水温度偏高的洋面上（海温达27℃以上）（图4.3）。近海面的空气因受太阳照射温度较高，形成低压，带动外围的湿空气往中心辐合抬升，使已形成低气压的旋涡继续加深，形成浓厚云层，常在短时间内带来大量的降水与强风，形成灾害性的天气。不同地区对热带气旋的称呼也有所不同，在西太平洋地区称为台风（typhoon）；在大西洋及东太平洋等地则称为飓风（hurricane），在印度洋上发生的热带气旋则称为旋风（cyclonic storm）。

照4.1（左）
北半球热带气旋的卫星云图

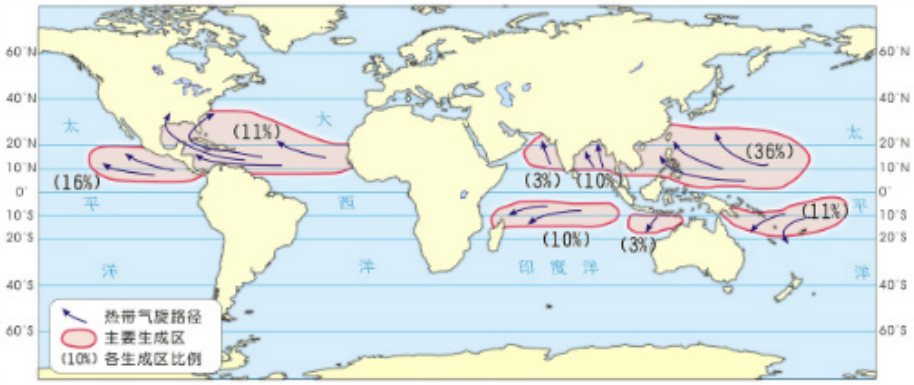


图4.3（右）
热带气旋出现的区域

b．温带气旋

温带气旋是活跃在温带中纬度地区的天气系统，多发生在热带气团与极地气团的交界面上，又称为“锋面气旋”。温带气旋尺度一般较热带气旋为大，可达几百乃至数千公里，常伴随大范围的降水。

2.反气旋

凡等压线闭合，中心气压比四周高的区域，称为高气压，在天气图上用“H”来表示。气流由中心向四周辐散，因受地转偏

向力的影响，在北半球呈顺时针方向下沉旋转；在南半球呈逆时针方向下沉旋转，称为反气旋。受反气旋影响的地区，下沉空气不易成云致雨，常形成晴朗、干燥天气。

天气系统

（一）雷暴

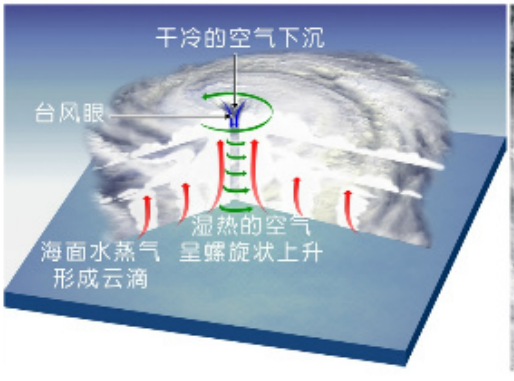
雷暴是一种强烈的对流天气系统，雷暴发生时往往伴随着雷电、狂风、暴雨，甚至冰雹、龙卷风等灾害性天气的出现。雷暴多发生在对流活动旺盛，水汽充沛的低纬地区或中高纬度的夏季。

（二）台风（typhoon）

台风是发生在热带和副热带许多沿海国家和地区的一种灾害性天气。

台风的暴风范围相当大，其暴风半径约有二至四百公里。台风的风力由外向内逐渐增强，中心附近达到最强，故风雨最大，而台风的中心则风力微弱、晴朗无云（图4.4、照4.2）。

伴随台风出现，往往带来狂风、暴雨的天气现象，进而引发强烈的巨浪、洪患、土石流等具破坏力的严重灾害。不过，台风并非只会带来灾害，以台湾为例，若是上半年的降雨不足，则下半年台风过境时，带来的大量降水将为该地“解渴”，避免发生干旱导致缺水。



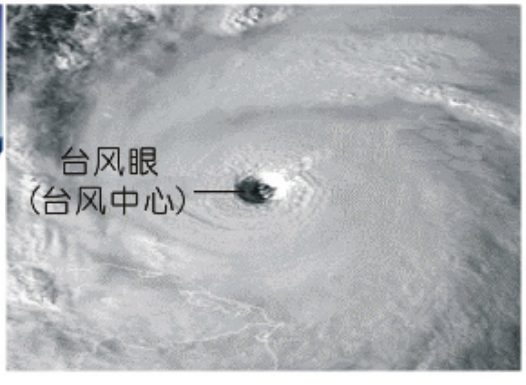


图4.4（左）
台风结构图

照4.2（右）
台风卫星影像

（三）龙卷风(tornado)

龙卷风是指由积雨云底向下发展而形成状似漏斗的强烈旋转气柱（图4.5），当此旋转气柱向下接触到陆地时称为陆龙卷，接触到海面则称为水龙卷。龙卷风是一种范围小、生命期短、威

BOX

台风最中心的位置为台风眼，风眼内是整个台风内气压及风速最低而温度最高的地方，风力微弱、晴朗无云；风眼外的云墙（或称眼墙）则是积雨云高耸如墙壁的厚云雨带，风势最强、雨势也最大，越远离中心则风雨越小。

台风有强度等级之分，而区分的标准是以“台风中心附近最大平均风速”来判定，而不是以台风结构的大小来划分。世界各地对台风划分的方式略有不同（表4.1）。

表4.1 台风等级

中心附近最大风力	16级风以上	14－15级风	12－13级风	10－11级风	8－9级风	6－7级风
世界气象组织分级	台风/飓风			强热带风暴	热带风暴	热带低压
台湾分级	强烈台风	中度台风		轻度台风		热带低压
中国分级	超强台风	强台风	台风	—	—	—
香港分级	超强台风	强台风	台风	强烈热带风暴	热带风暴	热带低气压
日本分级	台风			强烈热带风暴	热带风暴	热带低气压

力强且破坏力大的空气漩涡。龙卷风发生最频繁的地方是美国，主要出现在美国中西部大平原的龙卷风走廊。

由于龙卷风通常会伴随着强风、骤雨、冰雹、雷电等现象，沿着龙卷风所行经之处，常见树木被连根拔起，屋顶被掀起，人、车、牲畜会被卷起，结构较差之建筑物也会被摧毁，并造成电力中断或瓦斯管线破裂而引起大火或是气爆等，造成十分严重的伤亡与损失。

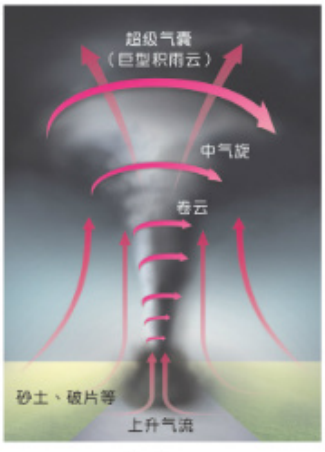


图4.5
龙卷风结构图

天气的观测

“天有不测之风云”，自古以来，人们对天气变化的现象充满了好奇与不确定。无论古今，天气的变化对人类生活与经济活动有着很重要的影响。因此，对天气进行观测、记录及分析有助于我们了解天气变化的规律。

一般上，近地面天气观测的气象站所测量的基本气象要素包括了气温、雨量、湿度、风向、风速和气压，适时地提供当地的天气分析预报。在我国，对天气的观测，除了地面观测站外，亦包括了自动化气象站、高空观测站、雷达观测、卫星接收站等等，以提供更完善的天气预报（图4.6）。

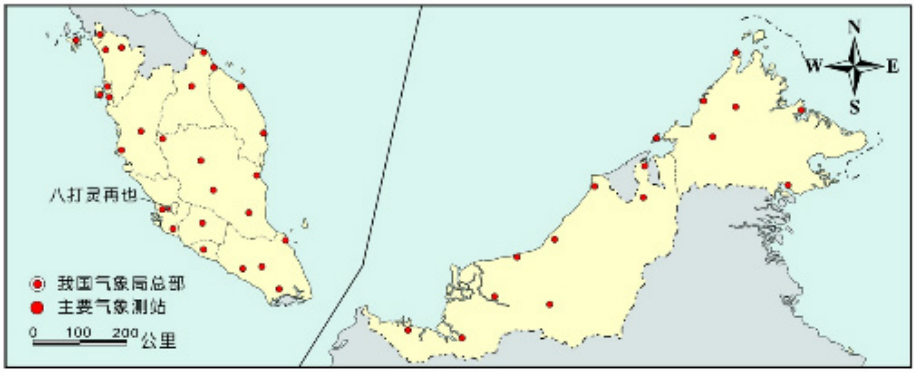


图4.6
我国主要气象测站分布图

（一）气温

一般人在午后或凌晨时分能感受到气温很热或很冷，这种温度的感受称为体感温度。体感温度与实际的空气温度有落差，为了测得近地面实际的大气温度，我们需籍由温度计进行测量。温度计一般与湿度计同放置在百叶箱内（图4.7）。

除了常见的温度计外，天气观测使用的温度计还包括了最高最低温度计、干湿球温度计(测量相对湿度)。传统的气温观测有标准的观测时间，如我国气象站的气温观测时间在上午8时及下午2时。

气温观测结果可做进一步的资料处理。一天最高与最低温可计得日均温，而一日最高与最低温之差则称为日较差；一个月内每日计得的日均温经累加平均可得月均温；若将一年12个月份的月均温累加平均后可计得年均温。气温的表示单位主要有摄氏温度（℃）与华氏温度（℉）两种，两者的转换方式如下：

$$[℃] = ([℉]-32)\times(5/9)$$

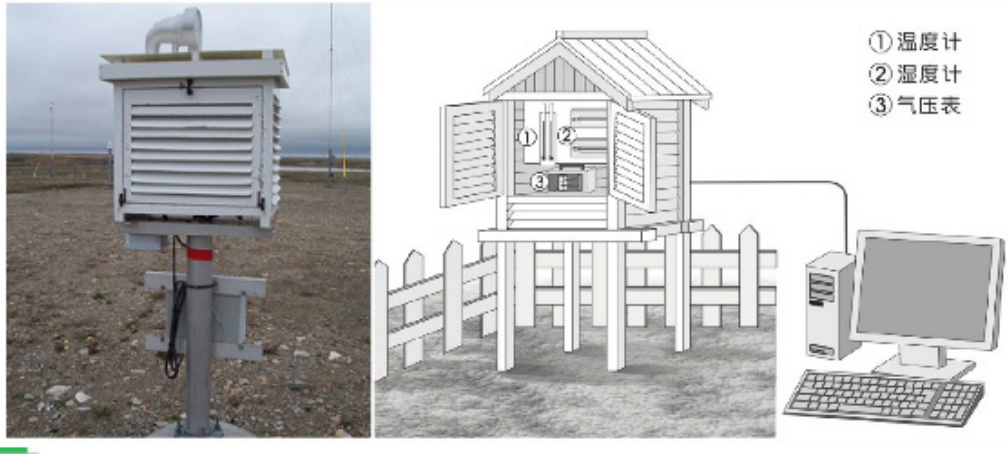


图4.7
具自动化观测设备的百叶箱

学生活动

1. 在教室内准备一只温度计，设定两次观测时间（如07:30；13:30），按时观测并记录下每日的两次气温。以一个月为期限，将收集的每日资料绘成线状图，看看有没有变化。并试着解释影响其变化的原因。

（二）雨量

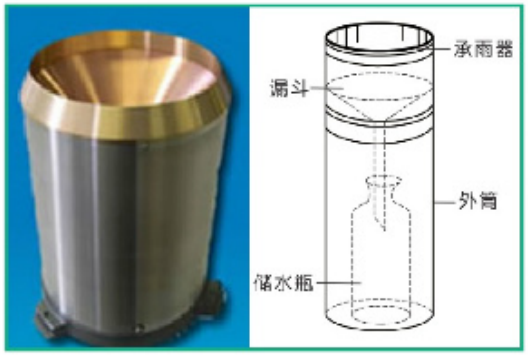
为了量化特定时间的累积降水量，一般可用雨量筒作为测定降水量的测量工具（图4.8）。测定降水量的时间长度有以1小时的时雨量、1日的日雨量及1年的年雨量。雨量的测量以mm为表示单位。除了雨量的测量外，我们还可将特定时间的雨量以降雨强度表现，如12小时的降雨强度或24小时降雨强度。

学生活动

想一想：

1. 在有四季变化的地区，要如何测量冬季的降水量。
2. 若甲地(1000m²)在某场降雨中收获了25mm的雨量。甲地在这场降雨中会得到多少m³的水量？

注：降水量是一定时间内，降落到水平面上，假定无渗漏，不流失，也不蒸发，累积起来的水的深度，是衡量一个地区降水多少的数据。其单位是毫米，符号是mm。



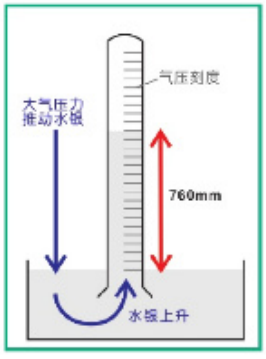


图4.8（左）
我国气象局使用的雨量筒及内部构造

照4.3（中）
我国气象站所用的电子式气压表

图4.9（右）
真空管与水银组成的气压表原型

（三）气压与风

气压有多种的表示单位，常见的国际使用单位包括千帕斯卡（KPa）、百帕（hPa）及毫米水银柱（mmHg）。海平面的平均气压约为101.325KPa（760mmHg），称为1个标准大气压（图4.9、照4.3）。

气象观测所测量的地面风是指离地面10公尺高的风速及风向（图4.10）。风速的强弱以km/h（公里／小时）表示，风速太大时会对地表建筑物、农作物、交通造成破坏及影响。

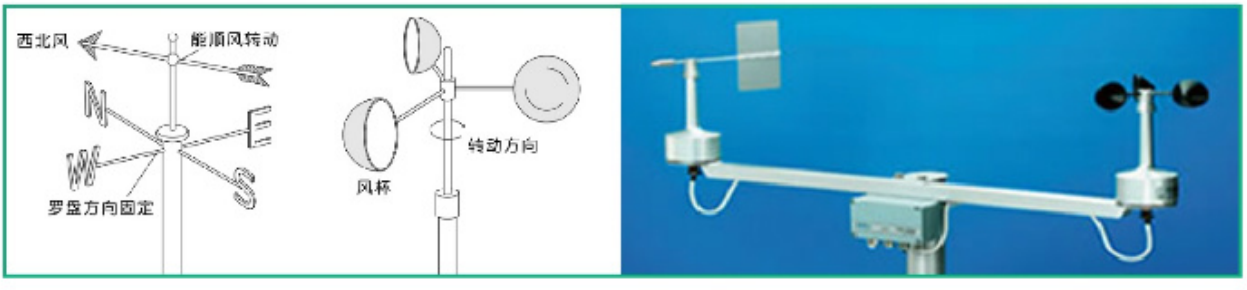


图4.10
我国气象站中结合风速表与风向标的电子式仪器及示意图

（四）湿度

空气中所富含的水气量即为湿度。空气中的水气含量不易直接测得，因此用以表现空气水气含量的方式主要有水气压及相对湿度。实际操作时，我们可以用干湿球温度计来测量相对湿度的大小，此仪器与温度计同样放置在百叶箱中（图4.11）。

BOX

蒲福氏风级（Beaufort wind scale）

风之强弱程度，通常用风力等级来表示，而风力的等级，可由地面或海面物体被风吹动之情形加以估计之。目前国际通用之风力估计，是以蒲福氏风级为标准。

表4.2 蒲福氏风级表

蒲福氏风级	风速（km/h）	描述风力术语	陆上情况
0	0—2	无风 / 静止	静，烟直向上
1	2—6	轻微 / 微风 / 软风	烟能表示风向，风向标不转动
2	7—12	轻微 / 轻风	人面感觉有风，树叶有微响，风向标转动
3	13—19	和缓 / 温和 / 微风	树叶及小树枝摇动不息，旗展开
4	20—30	和缓 / 和风	吹起地面灰尘和纸张，小树枝摇动
5	31—40	清劲 / 清新 / 清风 / 劲风	有叶的小树，整棵摇摆；内陆水面有波纹
6	41—51	强风 / 清劲	大树枝摇摆，持伞有困难，电线有呼呼声
7	52—62	强风 / 强劲 / 疾风	全树摇动，人迎风前行有困难
8	63—75	烈风 / 疾劲 / 大风	小树枝折断，人向前行阻力甚大
9	76—87	烈风	烟囱顶部移动，木屋受损
10	88—103	暴风 / 狂风	大树连根拔起，建筑物损毁
11	104—117	暴风 / 飓风	陆上少见，建筑物普遍损毁
12	＞118	飓风 / 台风	陆上少见，建筑物普遍严重损毁

照片中（图4.11）左边是干球温度计，右边为湿球温度计。湿球温度计底下的白色水夹由棉布供水到温度计以保持湿润。籍由水的蒸发，湿球温度计所测量到的温度会较干球温度计低。空气愈干燥，水蒸发愈旺盛，湿球温度计测得的温度与干球温度计的差距愈大，经换算就可以知道空气的相对湿度（表4.3）。

利用相对湿度的原理，我们可以预测天气变化的趋势。如相对湿度接近饱和，则表示空气中的水气丰富，若气温逐渐降低，则有利水气达致露点温度，促使水气结成水滴，发展成降水云系。

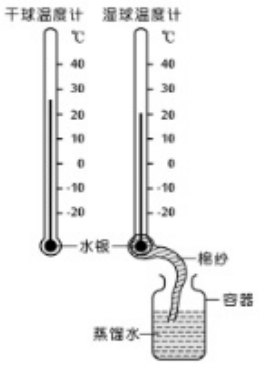


图4.11
百叶箱内的电子干湿球温度计及示意图

表4.3
干湿球温度计用相对湿度表（单位为%）

干球温度	干湿球的温度差值（℃）									
℃	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	91	81	73	64	56	48	40	32	25	18
21	91	82	73	65	57	49	42	34	27	20
22	91	82	74	66	58	50	43	36	29	23
23	91	83	75	67	59	52	45	38	31	25
24	91	83	75	68	60	53	46	39	33	27
25	92	84	76	68	61	54	47	41	35	28
26	92	84	76	69	62	55	49	42	36	30
27	92	84	77	70	63	56	50	44	38	32
28	92	85	77	70	64	57	51	45	39	33
29	92	85	78	71	64	58	52	46	40	35
30	93	85	78	72	65	59	53	47	42	36
32	93	86	79	73	67	61	55	49	44	39
34	93	86	80	74	68	62	56	51	46	41
36	93	87	81	75	69	63	58	53	48	43
38	94	87	81	75	70	64	59	54	50	45
40	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47

（五）云

对云的观测内容包括了云的分布高度、云的形状及其占天空面积的分布量。

BOX

人造雨

人造雨就是在有形成降雨条件的云层中播撒催化剂。催化剂具有凝结核和吸湿的作用可使云中水滴由小增大，加速雨滴形成，促使云层下雨。常用的催化剂有干冰、碘化银、盐粉、尿素等。

我国常用的方式为直接使用飞机，将盐水撒播在有条件的低层云中，促使云层达致人造降雨。

学生活动

想一想：

1. 为何在上完运动课后，在户外会比在教室内凉快？
2. 冷气机在运作时为何压缩机会滴水(排水)？这些水从哪里来？
3. 请观察清晨、中午及傍晚天空的云种和云量，不同时段的云种和云量有什么差别？为什么会出现这样的差别？

第二节　气候

气候指的是特定区域内长时间的气象变化特征。与天气相比，气候指的是在较长时间（十年或百年）内气象变化的状况，而天气指的是在短时间内气象变化的状况。

影响气候的因素

气候的形成因素与太阳辐射、大气环流、下垫面状况三大自然因素有关，而工业革命后的人类活动也正在改变着局部乃至全球的气候。

（一）太阳辐射

太阳辐射是构成各种气候的根本动力来源，由于太阳辐射在不同纬度的地面上分布不均，使得地球上获得的热量随着纬度增加而减少，造成了气候差异最基本的因素。按照太阳辐射量的分布，可将全球分为热带、温带和寒带三大气候带。

（二）大气环流

大气环流在气候形成过程中起着重要的作用，其促进了高低纬和海陆之间热量和水汽的交换，调整了全球热量和水汽的平衡分布。例如：在北半球，同为北纬40°至50°的亚欧大陆，但东西两岸气候截然不同。在大陆东岸的中国北京（40° N）受季风影响，形成冬季寒冷干燥、夏季高温多雨的季风气候；在大陆西岸的英国伦敦（51° N），由于常年盛行的西风来自海洋，因此全年湿润，冬季气温较纬度更低的北京地区温暖。

（三）下垫面状况

下垫面状况对气候的形成也扮演着重要角色，包括了海陆分布、洋流、地形和地面性质都会影响到气候的形成。

1. 海陆的影响

由于海洋和陆地的热容量和传热方式有着极大差异，因此在

同一纬度上，海陆分布的差异，可分别形成海洋性气候和大陆性气候。

2．洋流的影响

洋流对海岸区域的气候影响较为显著，暖流经过的海岸区域，温暖湿润；寒流经过的海岸区域，寒冷干燥；凉流经过的海岸区域，容易形成沙漠。

3．地形的影响

不同高度的地形对气候的影响各有所异，高海拔地区通常有着相对独立的气候系统，例如：青藏高原独特的高山气候，对亚洲乃至世界的气候形成具有一定程度的影响，此外，山脉对气流的屏障作用，使迎风坡湿润，背风坡干燥。

世界主要气候类型

世界各地气候差异明显且各具特点，在同一局部区域的气候状况也可能存在微小的差异。因此在区分气候类型时，主要是根据形成气候的因素和气候的基本特色逐一分类，将世界划分成各种气候类型。以下气候类型采用气温和降水量作为划分指标，分为：热带湿润气候、副热带湿润气候、温带湿润气候、寒带气候、干燥气候、季风气候和高山气候。

（一）热带湿润气候

分布在南、北回归线之间的低纬区。其特征为阳光终年接近直射，全年高温，降雨充沛，年雨量在750mm以上。因雨季长短不一，植被型态不同，又可分为热带雨林气候与热带莽原气候（图4.12、4.13）。

1．热带雨林气候

分布在南北纬10°之间，又可称为赤道型气候。由于位处赤道附近，受赤道低压笼罩，对流旺盛，全年高温多雨。平均气温在26℃左右，年温差小；年降雨量大都在2,000mm以上，降水分配较为均匀。主要分布地区为亚马逊盆地、刚果盆地、马来群岛等。

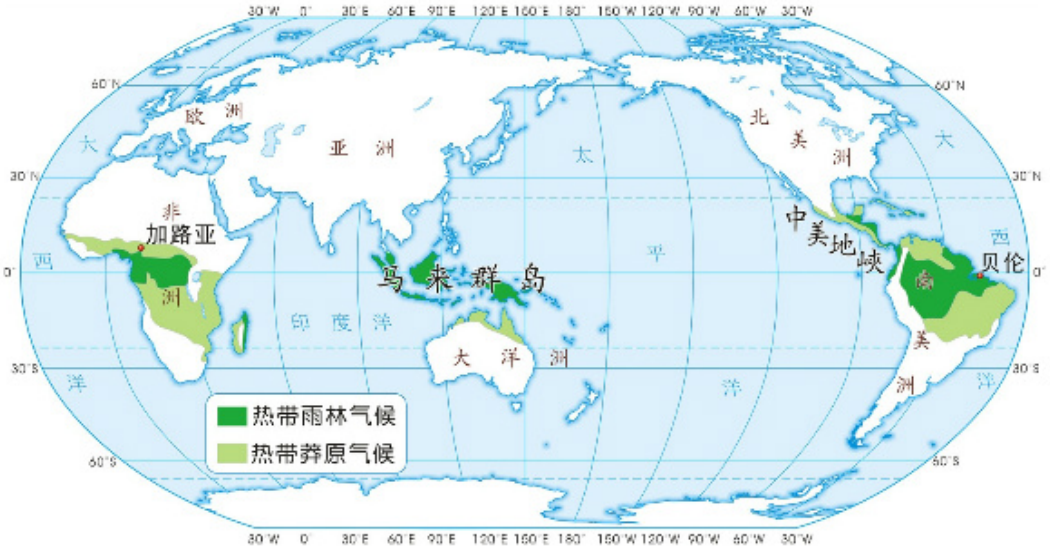


图4.12
热带湿润气候分布图

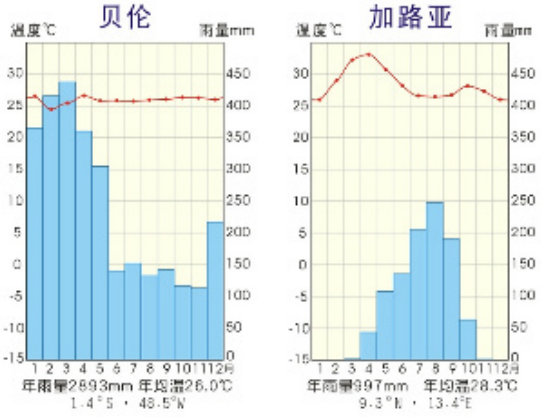


图4.13
热带湿润气候气温雨量图

2. 热带莽原气候

分布在南北纬10°至回归线之间。降雨受赤道低压带及信风带的影响，形成夏雨冬干的特征。例如：北半球夏季时，受赤道低压带控制，带来降雨；冬季时，在信风带的控制下，形成明显的干季，干季长达6个月，年降水量在750mm－1,000mm之间，全年高温。主要分布地区为非洲撒哈拉沙漠以南、澳洲北部和南美洲的巴西高原等。

（二）副热带湿润气候

分布在回归线至40°的副热带地区，气候温暖，最冷月均温在0℃以上。可分为地中海型气候及副热带暖湿气候（图4.14、4.15）。

1. 地中海型气候

分布在南北纬30°至40°之间的大陆西岸，因主要出现在地中海沿岸而得名。地中海型气候深受西风带和副热带高压带的影响，冬季时，西风从海洋上带来潮湿的气流，因此气候温和多雨，气温在0℃以上；夏季时，受副热带高压及凉流影响，不易形成降水，气候炎热干燥，形成冬雨夏干的降雨季节分布，年降水量在400mm－1,000mm之间。主要分布地区为地中海沿岸、美国的加利福尼亚州、澳洲西南部、南非共和国的西南部，以及智利中部等。

2．副热带暖湿气候

分布在南北纬25°至35°之间的大陆东岸。副热带暖湿气候降水多，雨季以夏季为主，干季不显著，夏热冬暖，年温差小。主要分布地区为美国东南部、澳洲东岸、南美洲东南岸。南北半球成因不同，南半球因夏季迎东南信风，且沿海有暖流流经，带来暖湿的空气，形成地形雨；北半球则因暖流及夏季海洋暖气团带来丰沛降水。

（三）温带湿润气候

其范围大致分布在南北纬40°至60°之间。四季分明，年雨量約500mm（图4.14、4.15）。

1．温带海洋性气候

分布在纬度40°至60°之间的大陆西岸。由于常年盛行的西风从暖流流经的海面上带来暖湿空气，全年多雨。冬季气温较同纬度地区温暖，最冷月均温在0℃以上，最热月均温在20℃以下，年温差较同纬度地区小。主要分布地区为西欧、北美洲西海岸等。

2．温带大陆性气候

回归线至纬度60°的大陆中部到东岸的广大地区，由于距海遥远或位在背风坡，气候受海洋影响较小，大陆性显著，降雨量较少，夏热冬寒，年温差大；降水以夏季为主，多对流雨。主要分布地区为亚欧大陆和北美洲的内陆地区。

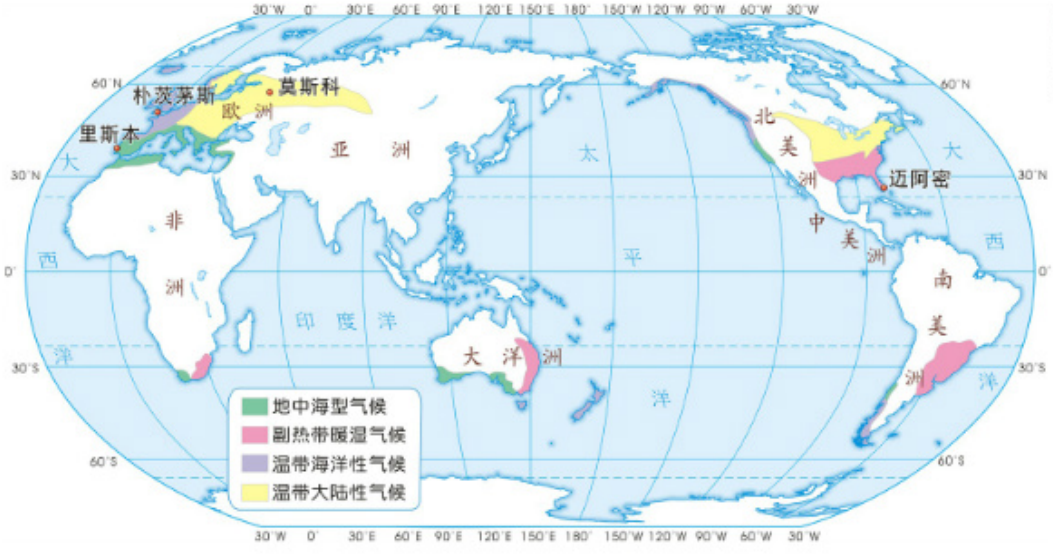


图4.14
副热带及温带湿润气候分布图

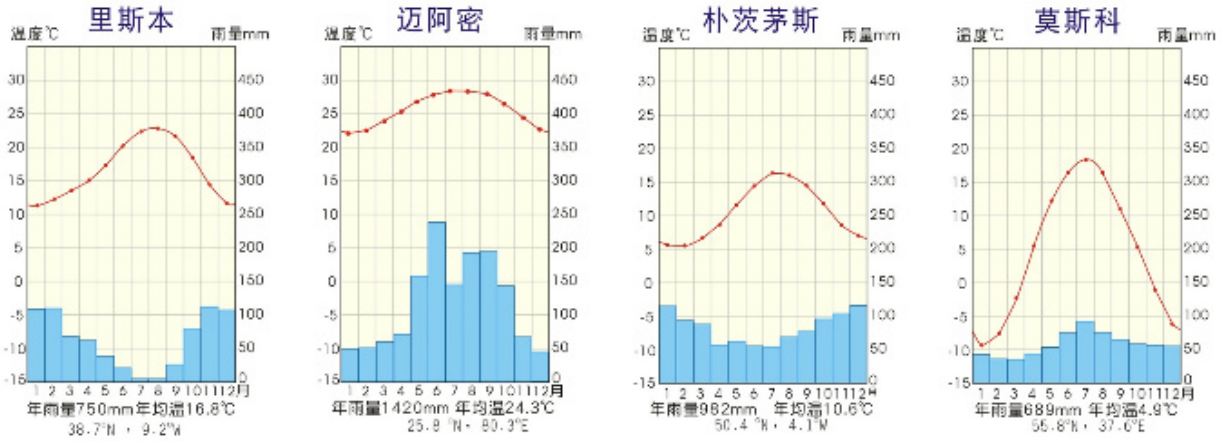


图4.15
副热带及温带湿润气候气温雨量图

（四）寒带气候

其范围大致在极地附近，气温低，无明显的夏季，蒸发微弱，降水量也少。包含副极地大陆性气候、苔原气候、冰原气候（图4.16、4.17）。

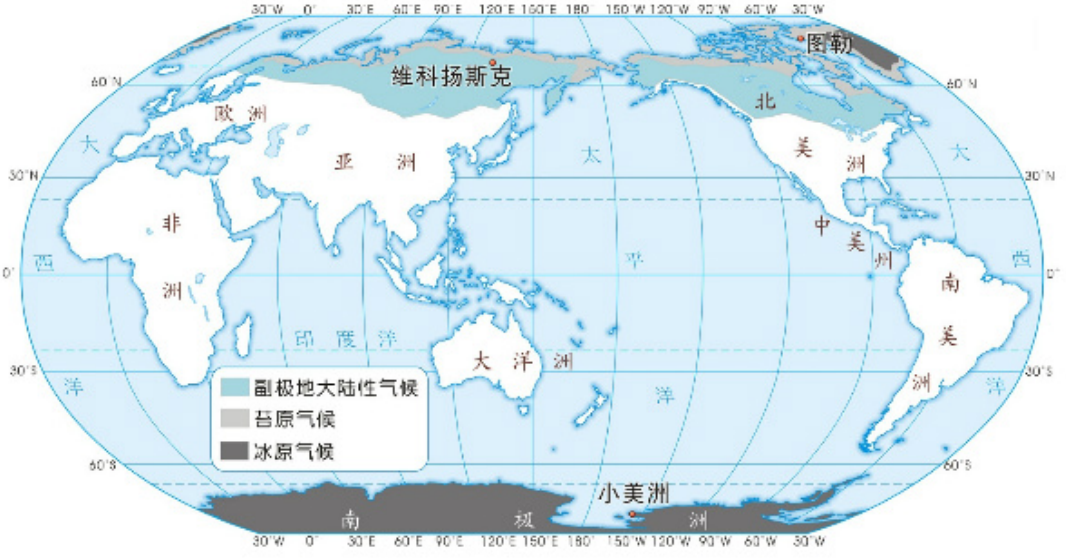
1. 副极地大陆性气候

副极地大陆性气候又称为亚寒带针叶林气候，分布于亚欧大陆和北美洲北纬50°至65°之间的地区。主要特征为冬季长而严寒，夏季短而温暖，年温差甚大，最暖月均温10℃以上，可生长针叶林；降水量集中于夏季，蒸发弱，降雨少，相对湿度高。

2. 苔原气候

分布在北极圈以内，此区生存条件严苛，仅有苔藓、地衣可

图4.16
寒带气候分布图



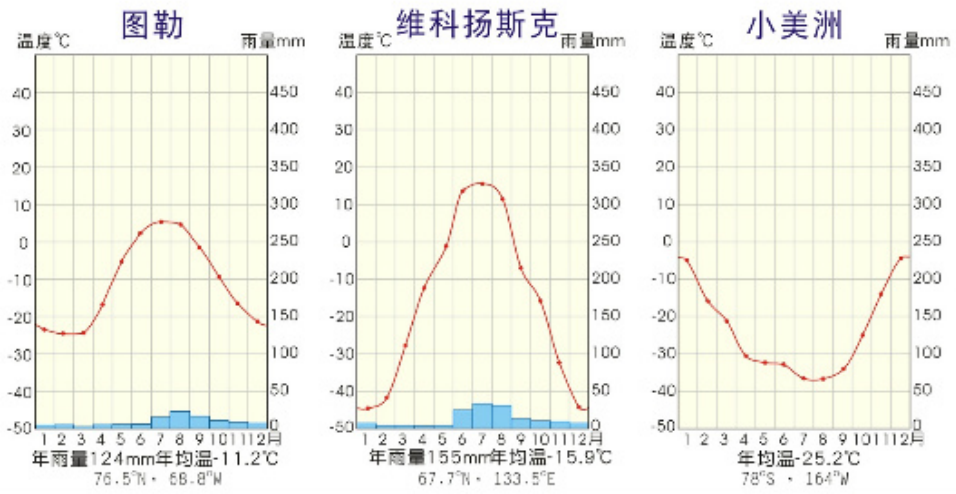


图4.17
寒带气候气温雨量图

以生长，故而得名。由于纬度高，太阳辐射弱，深受极地气团影响，全年严寒，最热月均温在0℃至10℃之間。蒸发量微弱，多云雾。

3．冰原气候

分布在格陵兰岛和南极大陆的冰原上。全年严寒，最热月均温在0℃以下，是全球年均温最低的气候。

（五）干燥气候

分布在南北纬约20°至30°之间的热带地区及南北纬约30°至50°之间的温带地区。其特征为降水量稀少且雨量变率极大，年蒸发量大于降水量，降水以夏季为主，多为对流雨形式。依年雨量多寡，又可分为250mm—500mm之间的草原气候和250mm以下的沙漠气候（图4.18、4.19）。

1．热带沙漠气候

分布在回归线至南北纬30°之间的内陆和大陆西岸。受副热带高压控制，全年高温干旱，年降水量在250mm以下。全球绝对最高气温在此出现。主要分布地区为非洲北部、亚洲西部和澳洲中西部等。

2．温带沙漠气候

温带地区的干燥气候，有的因深居内陆，周围有高山屏障，使水汽难以到达，如新疆塔克拉玛干沙漠；有的则位于西风带的

图4.18
干燥气候分布图

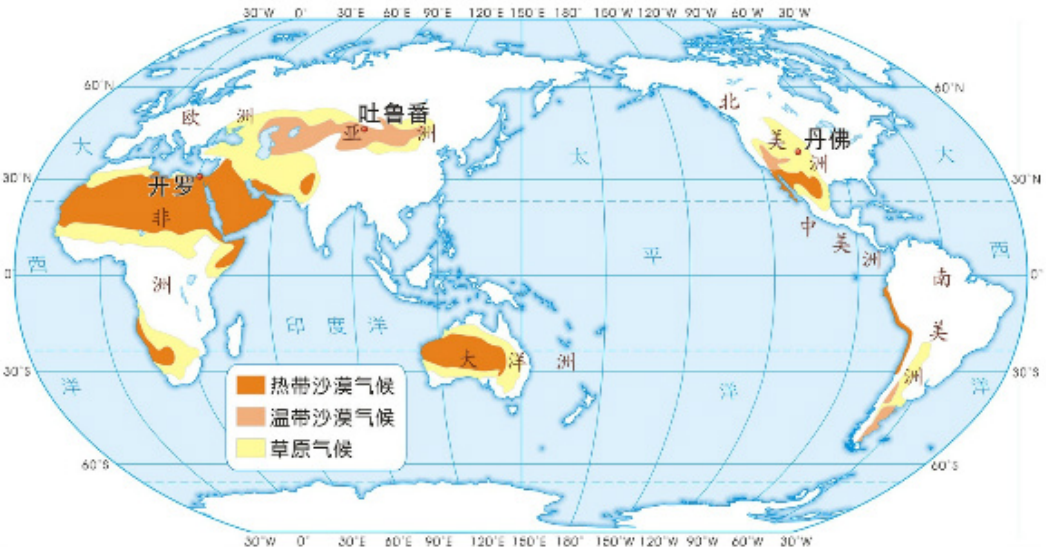
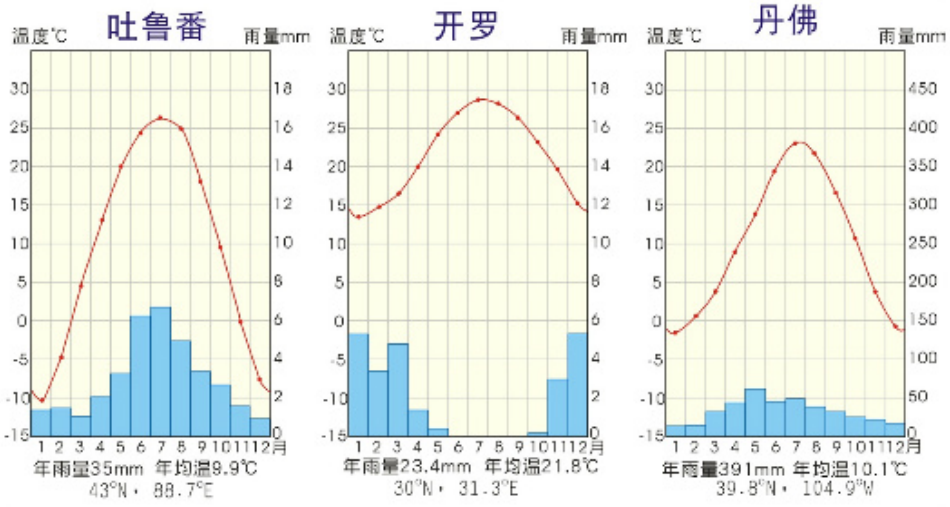


图4.19
干燥气候气温雨量图



背风侧，水汽含量少，如美国西部内陆沙漠；有的位在西风背风侧而沿海又有寒流经过，降水机会更少，如阿根廷巴塔哥尼亚沙漠。该气候特征为全年四季变化明显，冬季严寒夏季酷热，年、日较差大，全年干旱少雨。

3．草原气候

草原气候是一种半干燥气候，年雨量介于250mm－500mm之间，分布于沙漠气候与湿润气候之间的过渡地带。气候特征为年温差大，雨量少，地面植物以草类为主。

（六）季风气候

季风气候的形成与大范围海陆性质的差异有关，世界上季风区域主要分布在亚洲的东、南部，以及西非洲的几内亚湾沿岸，

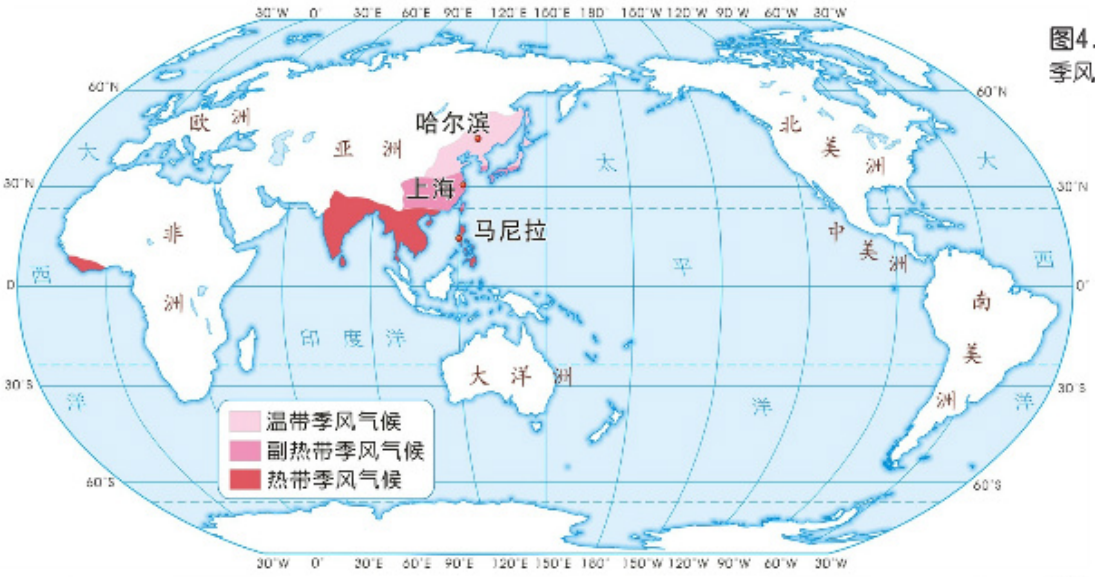


图4.20
季风气候分布图

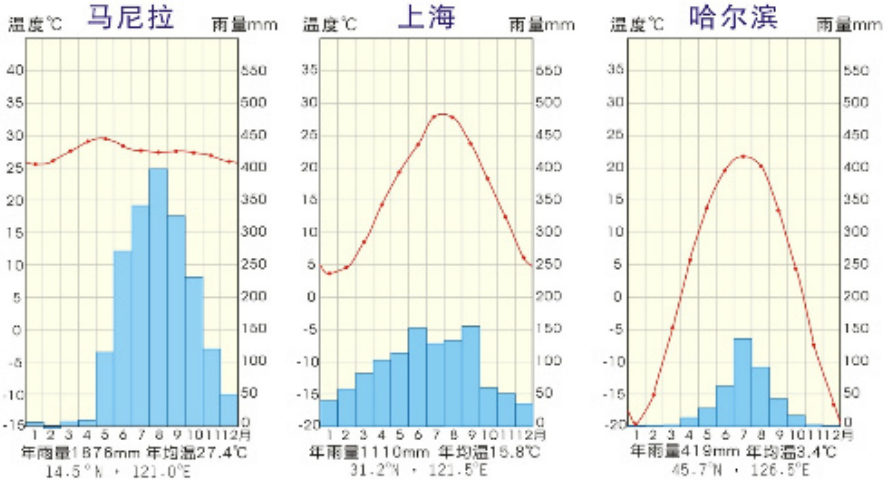


图4.21
季风气候的气温雨量图

亚洲的季风可以依纬度高低分为热带季风气候、副热带季风气候与温带季风气候(图4.20、图4.21)。

1. 热带季风气候

亚洲热带季风气候主要分布在纬度10°至20°的大陆东岸地区，全年高温，最冷月平均气温高于18℃；年降水量在1,500mm—2,000mm之间，干湿分明。主要分布地区为亚洲的中印半岛和印度半岛等。

西非的季风气候，则是受赤道低压带南北移动所致。冬季时，赤道低压带南移，本区盛行由沙哈拉沙漠吹来的东北风，形成干季。夏季时，赤道低压带北移，来自南大西洋的东南信风越过赤道，转为西南风，为本区带来丰富的水气，形成雨季（图4.22）。

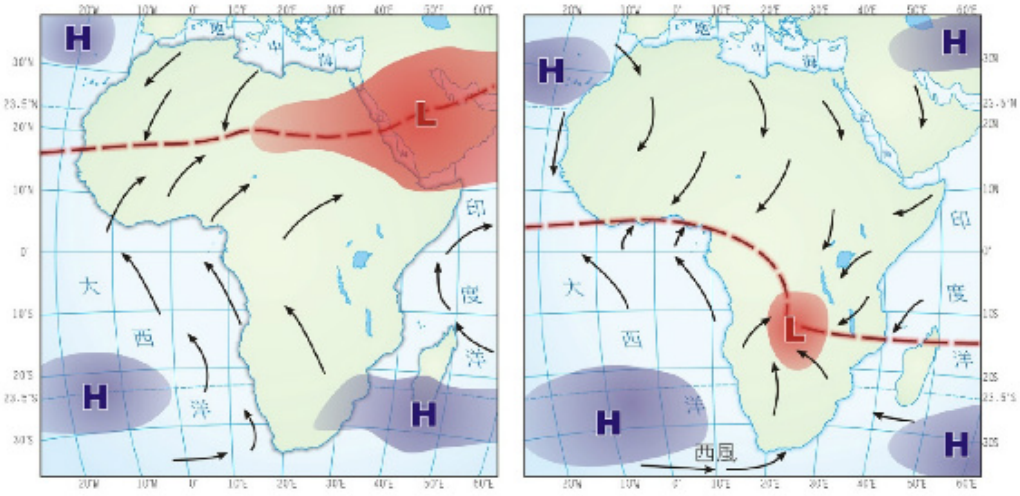


图4.22
非洲七月及一月的季风

2. 副热带季风气候

分布在纬度20°至35°之间的亚欧大陆东岸。夏季高温多雨，冬季常有冷锋经过带来降水，故干季较不明显。冬季最低月均温在0℃以上。主要分布地区为中国秦岭—淮河以南的东部地区及日本南部等。

3. 温带季风气候

分布在纬度35°至60°之间的亚欧大陆东岸。最冷月均温在0℃以下，夏热冬寒，年温差大。夏雨冬干，干湿季分明，雨季较热带季风气候区短，年降水量在500mm—600mm之间。主要分布地区为亚欧大陆温带地区的东部，如中国的华北、东北和日本等。

（七）高山气候

分布在世界各大高原、高山地区，如青藏高原、喜马拉雅山脉和安地斯山脉等。由于海拔高度的垂直变化导致气温较同纬度地区低，空气稀薄，日照强，日较差极大，而且地形对气流的阻挡作用小，易出现局部强风。

学生活动

1. 试列表比较热带雨林气候、热带莽草气候、热带季风气候、热带沙漠气候，这四种气候类型的特征。
2. 试讨论副热带气候类型形成的原因。

第三节　气象灾害及预防

不同的天气系统会在不同地区造成不同的天气变化，极端的天气状况将引发各种的气象灾害，威胁到人类的安危，甚至造成人命和财物的损失。因极端天气所引发的气象灾害包含洪患、干旱、山崩等，以下针对我国较常出现且影响较大的气象灾害进行说明。

气象灾害类型

（一）洪患

连续性的暴雨或短时间的大暴雨，常导致地表径流量大增，若宣泄不及，便会溢出河道，造成洪水灾害。我国洪水灾害的发生主要来自于季风雨和强烈的对流性暴雨。东北季风盛行时期，季风从南中国海带来大量的水汽，使得我国各地普遍都有降雨的情形，尤其是在半岛东海岸以及东马地区受地形因素的影响，往往会带来更多的降雨，引发严重的灾情，例如：2014年12月东北季风带来大量且长时间的降水，导致吉兰丹地区发生水患灾害，造成12万灾民无家可归（照4.4），同年8月，因午后强烈的对流性暴雨造成首都地区发生闪电水灾（照4.5）。

照4.4（左）
吉兰丹Pengkalan Chepa淹水的情况

照4.5（右）
2014年8月吉隆坡地区发生的水患灾害

（二）干旱

干旱灾害的发生是因降水异常偏少，造成供给量不足的自然灾害。我国虽位处于高温多雨气候，然而在异常极端天气的影响下亦会引发干旱灾害，影响作物的生长，例如：2016年因圣婴现象的发生，造成我国持续性的干旱，影响稻作的生长（照4.6）。此外，高温干旱的天气也会造成森林大火的发生。

照4.6（上）
干旱的天气影响亚罗士打地区的稻作生长

照4.7（下）
砂州石隆门发生道路崩塌

（三）土崩

在东北季风时期，因持续性的豪雨引发山体滑坡的自然灾害，破坏交通运输设施，甚至冲毁村镇，造成人命的伤亡。例如：2014年末至隔年初，半岛东岸和砂拉越地区于东北季风时期受豪雨的影响，引发山崩，造成道路崩塌（照4.7）。

气象灾害的防治

气象灾害不仅带来财物上的损失，往往也对人命造成伤害，因此有效的进行预防工作，才能把伤害和损失降到最低。

面对各种气候灾害，建立预警系统、防护工程与疏散措施为主要的应变方法。此外，透过防灾教育的推广，亦能教导人们如何在发生灾害的时候尽快疏散，以有效保护自己。除此之外，提高民众对环境保护的意识，也可降低因不当人为活动间接造成的灾害发生。

（一）洪水灾害的防治

洪水的预警系统是依据即时气象资料，预报未来数小时的雨量，估算出河流水位和可能淹水的区域，再透过各种方式通知民众，预先做好防灾的准备或撤离。

常用的洪水排水工程包含束洪、蓄洪、导洪与分洪。束洪主要方法为建堤防以约束洪流，或加高堤防使河槽之容量加大。蓄洪指在河流中上游兴建水库，调节水量。导洪可经由清理河道淤沙或加宽河道，增加洪水流速、缩短洪水停留时间、降低水位。分洪可透过兴建疏洪道（或称分洪道），使部份洪水经由疏洪道排入下游或其他流域，因此有分散洪水的效果。

除防洪工程外，若能有效管制河流及山坡地的开发利用，均可减少地表径流，减少洪水量。低洼地区及泛滥平原的开发亦应加以规范，减少利用率，亦可降低灾害损失。此外像都市透水性路面的设置，绿地的保存也都是很好的防洪方法。

BOX

海绵城市

海绵城市的理念即为城市地表就好像人类的皮肤一样，假如把所有气孔给堵住，皮肤就会坏死。所以，透过“低冲击开发”（low impact development）并提供防洪抗旱设施的方式，使到雨水有办法入渗、滞蓄到土壤当中，以达到水土保持之效，从而也降低气象灾害给城市乃至于国家带来的风险。

海绵城市的主要原理是将道路及广场尽量改成透水性的铺面，下雨时可以让水透过缝隙渗到地底下，不会积在地面上，当太阳出来时，这些水又可以蒸发来降低整个环境的温度。此外，在空旷的地方广设贮水池，让屋顶跟路面上的积水可以流进去，同样达到“雨天储水，晴天散热”的效果。再配合建筑物，如校园可利用体育馆（礼堂）屋顶与教室栋屋顶平台的高差设置两段式雨水收集利用，收集体育馆屋顶雨水的贮槽（供冲厕用水）贮满水后，溢流管衔接到教室栋屋顶内较低矮的雨水水箱（供浇灌用水），收集至建筑物地下室筏式基础贮存雨水利用，整合过去已完成的设施，建立完整的雨水回收系统。

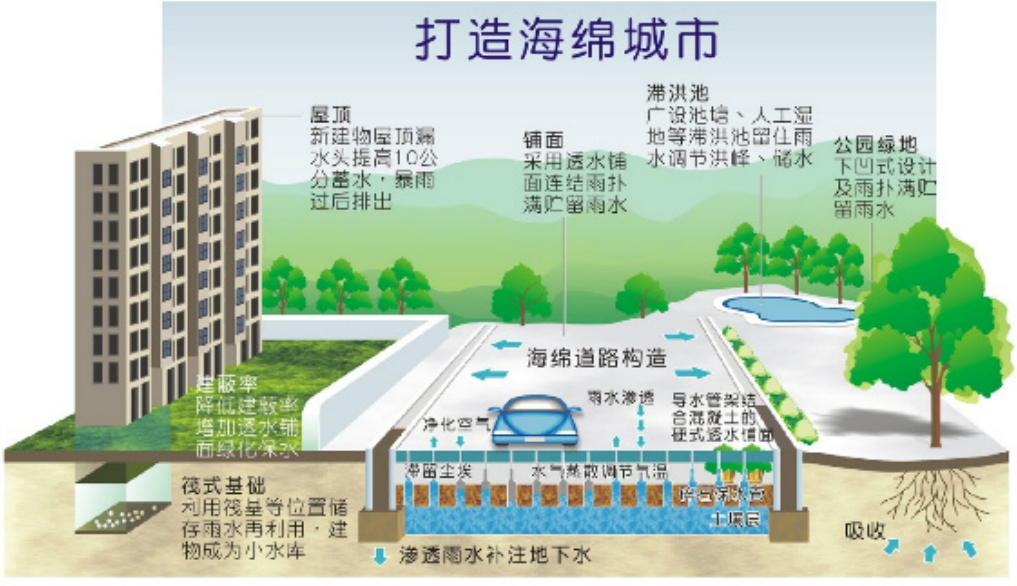


图4.23
海绵城市示意图

学生活动

1. 试收集我国关于气象灾害新闻数则，并绘制一张我国地图，标示相关灾情发生的地点及时间。
2. 就上述所收集的新闻事件，提出对应的解决方案。

第四节　人类活动与气候变化

气候与人类活动关系密切。引起气候变化的原因是多方面的，一般分为自然和人为因素。人为因素是指人类活动对气候变化的影响，如森林砍伐、盲目垦荒、过度放牧、土地的不合理使用，以及由工业化引起的大气中二氧化碳和其它微量气体浓度的增加等。从工业革命近200年来，特别是近年来，世界人口的剧

增，科学技术的迅速发展，经济建设和生产规模的扩大，人类活动对气候变化的影响已经可以与自然因素的作用相当，甚至超过自然因素。

局地气候变化

（一）酸雨

目前人们一般把pH值小于5.6的雨水称为酸雨。由于人类大量使用煤、石油等化石燃料，燃烧后产生的硫氧化物（SOx）或氮氧化物（NOx），在大气中经过复杂的化学反应，形成硫酸或硝酸气悬胶，与云、雨、雪、雾结合，降到地面成为酸雨。

1. 酸雨的影响

酸雨对人类最直接的影响是呼吸方面的问题，二氧化硫和二氧化氮会引起哮喘、干咳、头痛等病症，也会造成眼睛、鼻子、喉咙的过敏。此外，水生植物和以酸化水质灌溉的农作物，累积有毒金属，经由食物链进入人体，影响人类的健康。土壤中的金属元素因被酸雨溶解，造成矿物质大量流失，植物无法获得充足的养分，将面临枯萎、死亡（照4.8）。当河流或湖泊pH值小于6时，将影响水中生物的生长或繁殖；当pH值小于5时，则将导致水中生物大量死亡。酸雨也会腐蚀建筑物、公共设施、古迹和金属物质，造成人类经济、财物及文化遗产的损失（照4.9）。例如：1967年俄亥俄河上的桥因酸雨腐蚀而倒塌，造成46人死亡。

照4.8（上）
严重的酸雨将对森林造成严重破坏

照4.9（下）
酸雨对于石雕的影响

2. 酸雨的防治

防治酸雨最根本的途径是提高能源利用率，减少人为硫氧化物和氮氧化物的排放。研究煤炭中硫资源综合开发与利用，也是防治酸雨的有效措施。欧洲和北美许多国家在遭受多年的酸雨危害之后，终于意识到，大气无国界，防治酸雨是一个国际性的环境问题，必须共同采取对策。经过多次协商，1979年通过了《控制长距离越境空气污染公约》，为了实现

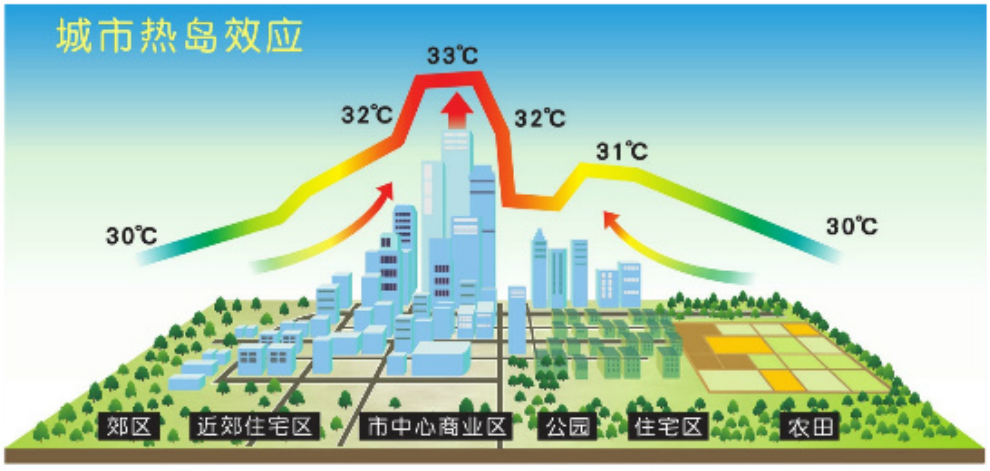


图4.24
城市热岛效应

公约，多数国家都已经采取了积极的对策，制订了减少致酸物排放量的法规，如美国的《酸雨法》。

（二）热岛效应

现今，城市人口的高度集中，工厂、交通工具、居民生活产生大量热源，而且城市中的建筑多数是以石头和混凝土作为材料，这些建材的热容量低，热传导率高，加上建筑物对风的阻挡或减弱作用，可使城市的平均气温比郊区高2℃以上，相较于四周的环境，城市就好象一个温暖的岛屿，从而形成城市热岛效应（图4.24、4.25）。

1．热岛效应的影响

由于热岛中心区域近地面气温高，形成低压，周围地区的空气向中心区辐合，使大气污染物质在热岛中心区域聚集，危害人类的健康甚至生命。此外，热岛效应形成的高温，也会对人类健

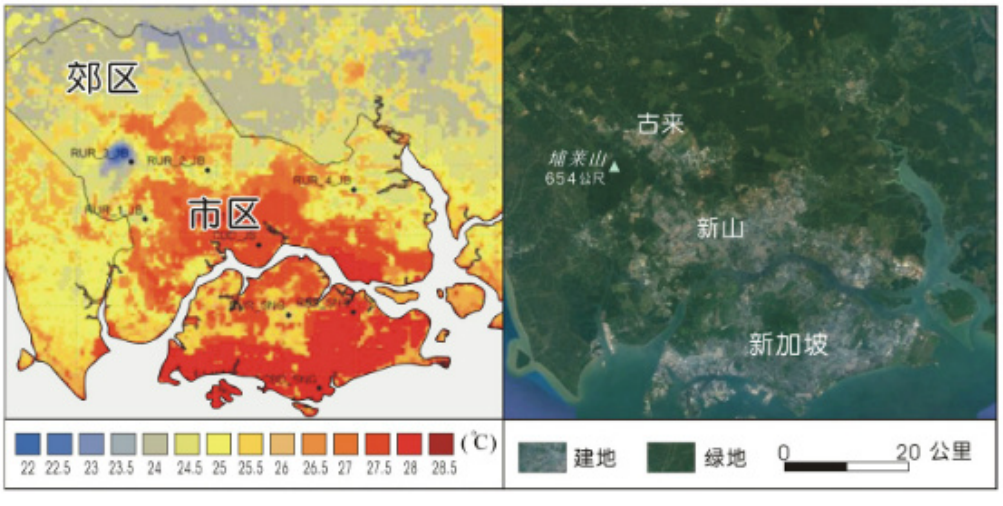


图4.25
新山地区的温度分布与城市建地间的关系（3:45-4:45am, 24 Sep 2008）

康造成影响。当环境温度高于28℃时，人们就会有不适感；如果温度持续升高则会导致烦躁、中暑、精神紊乱等症状；气温持续高于34℃，将引发一系列疾病，特别是使心脏、脑血管和呼吸系统疾病的发病率上升，死亡率明显增加。气温的升高还会加快光化学反应速度，使近地面大气中臭氧浓度增加，影响人体健康。

夏季为了降低室内温度，人们大量使用冷气机、电扇等电器，冷气机废热不易消散，导致温度进一步升高，冷气机的使用不断增多，会排放更多的废热，如此一再地恶性循环使得夏季的用电需求大增，加强了热岛效应。

2．防止措施

城市绿化覆盖率与热岛强度成反比，绿化覆盖率越高，则热岛强度越低，当覆盖率大于50%，绿地对热岛的削减作用极其明显。规模大于3公顷且绿化覆盖率达到60%以上的集中绿地，基本上与郊区自然下垫面的温度相当，即消除了热岛现象，在城市中形成了以绿地为中心的低温区域，成为人们户外游憩活动的优良环境。因此在城市规划方面应考虑保护并增大城区的绿地、水体面积，控制城市人口密度、建筑物密度。建筑物淡色化以增加热量的反射或使用透水性强的新型柏油铺设公路，以储存雨水，降低路面温度。

全球气候变化

全球气候变迁（climate change）是指在全球范围内，气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间（典型的为10年或更长）的气候变动。造成气候变迁的原因可分为自然界的内部演变及持续的人为活动对大气组成成分及土地利用的改变。以下内容主要针对人为活动对全球气候影响进行说明。

（一）全球暖化

“全球暖化”是指地球表面的平均气温随着时间逐渐升高的现象。按照气候变迁小组（IPCC）的评估，在过去一个世纪里，全球表面平均气温上升0.3℃到0.6℃（图4.26），海平面上升0.1至0.25公尺。

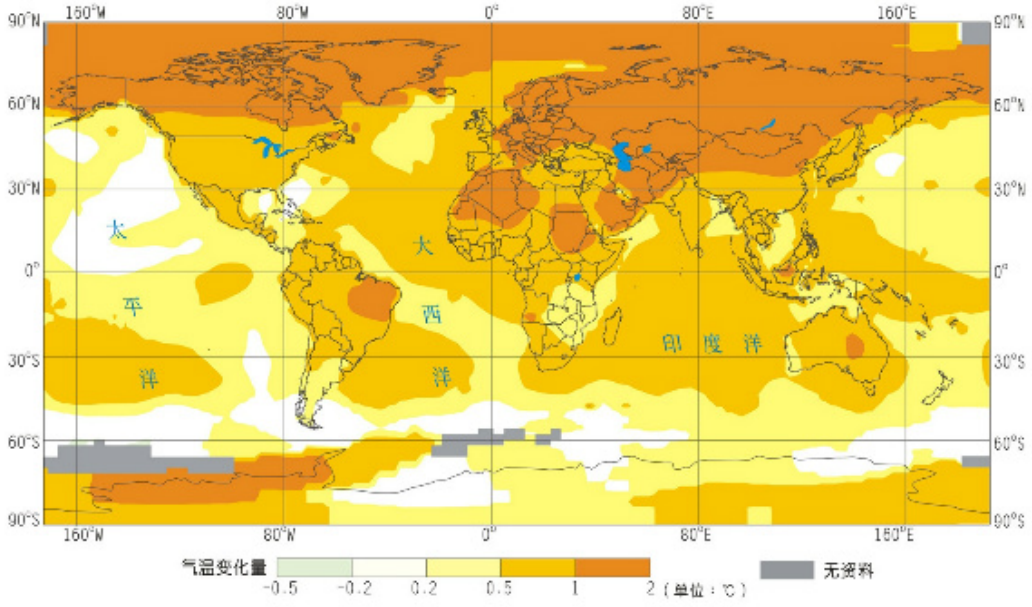


图4.26
地表气温变化量（2001～2014年）

1．全球暖化的人为因素

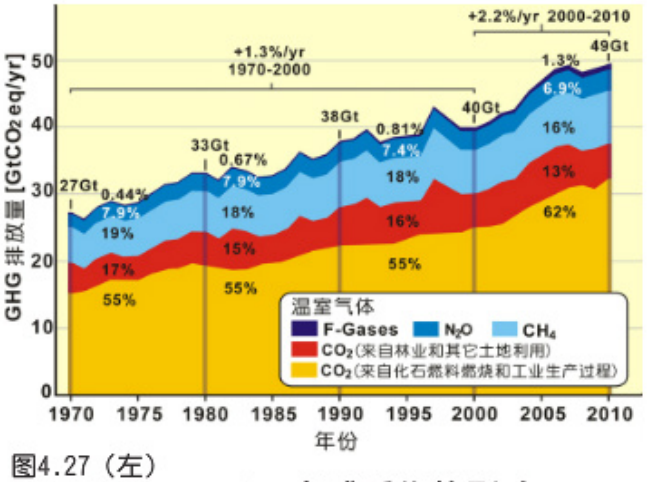
人类活动排入大气中的二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、含氟气体（F-gases）、一氧化二氮（N_2O）等，都能强烈地吸收地面放出的红外线长波辐射，使气温增高，因此人们把这些气体称之为“温室气体”（表4.4）。近百年来，由于各种人类活动的影响，大气中温室气体的浓度显著增加（图4.27）。

二氧化碳是全球暖化的主要温室气体，工业革命后，二氧化碳的浓度在不断增加（图4.28），主要是由于燃烧矿物燃料向大气排放大量的二氧化碳和过度的毁林行为，特别是热带森林的破坏（森林能吸收大气中的二氧化碳）。

自工业革命以来，人为排放的二氧化碳等温室气体不断增长，大气中二氧化碳含量逐渐上升，每年大约上升1.8ppm（约0.4%）。许多学者的预测表明，世界能源消费的型态若不发生根本性变化，大气中二氧化碳的浓度将达到560ppm，全球平均气温可能上升1.5℃到4℃。

表4.4
各种温室气体的特性

气体	生存期（年）	温室效应（CO2=1）	主要来源
CO_2	50—200	1	煤、石油、天然气、森林砍伐
F-gases	数週—数千年	2—23500	冷媒、电子、发泡剂、气悬胶
CH_4	12—17	28	湿地、稻田、化石、燃料、牲畜
N_2O	121	265	化石燃料、化肥、森林砍伐



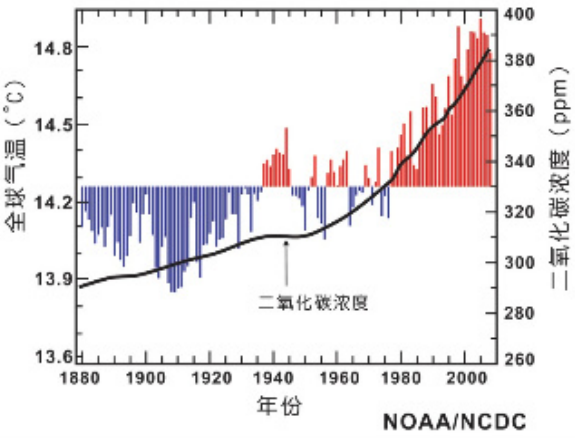


图4.27（左）
全球平均气温变化与温室气体的关系

图4.28（右）
大气中二氧化碳浓度与全球气温的变化

2. 全球暖化的影响

越来越多的证据显示，全球暖化足以引起许多地区气候系统的改变，对生态系统的冲击，并危及人类的生存环境。科学家根据当下的发展趋势，进一步推估未来有可能出现的影响与危害。

a. 海平面上升

全球暖化將导致海洋水体膨胀和两极冰川融化，可能在2100年使海平面上升0.5公尺，危及全球沿海地区，特别是那些人口稠密、经济发达的河口和沿海低地。这些地区可能会遭受海水的淹没或倒灌、海岸线后退，偏高的海温也会对浅海生态带来一定程度的影响。

b. 气候的改变

全球暖化除了带来持续的高温现象外，也会引发极端天气事件，例如极端降雨及大范围的干旱事件，导致更频繁地发生天气灾害，造成大规模的灾害损失。

c. 农业和生态系统的改变

二氧化碳浓度的增加，将促进植物的光合作用，延长其生长季节，提供中高纬度地区植物的生长优势。但是，持续的高温和剧烈天气变化的冲击，则会危及农作物的生产。此外，也会造成自然生态系统的改变，甚至瓦解。

d. 影响人类健康

极端的高温将增加人类循环系统的负担，提高发病率及死亡

率。此外，气候变暖也将扩大传染病范围及流行季节，尤其是对气温变化具高敏感的病媒，随着气温升高，导致传染病的增加或再次发生，如疟疾、淋巴腺丝虫病、血吸虫病、黑热病、骨痛热症、脑炎等。

3．解决对策

为了控制全球暖化的危害，目前世界各国正努力透过科学技术的方式降低温室气体的排放及增加温室气体的吸收，并透过各项国际公约，约束世界各国对温室气体的排放，共同面对全球暖化的课题。

a．科学技术手段

降低温室气体排放的途径主要是改变能源结构，例如：增加核能和可再生能源使用比例，并透过植树造林和采用固碳（carbon fixation）技术以增加温室气体的吸收，其中固碳技术是指通过化学、物理以及生物方法，把大气中的二氧化碳分离、回收，然后弃置深海或地下，例如：生物固碳是利用具有光合作用能力的生物，把二氧化碳转换成碳氢化合物，同时产生大量的生质（biomass），可作为饲料、有机肥料、生质燃料等利用。

b．政策手段

各国政府可能采取的政策手段，一是实行直接控制，包括限制化石燃料的使用和温室气体的排放，限制砍伐森林，透过各项国际公约，约束世界各国对温室气体的排放，例如：联合国气候变化框架公约、京都议定书、巴黎协议等；二是应用经济手段，包括征收污染税费，实施碳权交易，提供补助资金和开发援助；三是鼓励公众参与，包括向公众提供信息，进行教育、培训等。

BOX

联合国气候变化框架公约
（United Nations Framework Convention on Climate Change，UNFCCC或FCCC）

为了减少温室气体排放，联合国于1992年在纽约通过《联合国气候变化框架公约》，是世界第一个讨论控制二氧化碳气体的国际公约。公约精神是为了控制大气中的温室气体浓度，防止气候系统在人为干扰达至危险程度下受到破坏。人为活动对气候系统的干扰程度应当控制在足以使生态系统能够自然地适应气候变化，确保粮食生产免受威胁，并使经济发展可持续进行的范围内。由于该公约没有对个别缔约方规定具体需承担的义务，也未规定实施机制，故缺少法律上的约束力。

京都议定书

由于UNFCCC没有强制的法律效益，于是1997年在日本京都举办的UNFCCC第三次大会中，通过了具有法律效益的《京都议定书》，并于2005年正式生效。其目标是“将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平，以保证生态系统的稳定、食物的安全生产和经济的可持续发展”。京都议定书具体内容为：(1)规范各国温室气体的减量时程与目标，主要工业发达国家的温室气体排放量需以1990年为基础，在2008-2012年间平均减少5.2%。(2)提出“京都机制”，包含共同执行、清洁发展机制及碳排放交易。共同执行是指各工业国之间的共同合作，即某一国可供资金、碳技术等给予另一国，进行温室气体减量。清洁发展机制为工业化国家提供资金及技术协助开发中国家控制温室气体的排放量。碳排放交易是指难以完成削减排碳的国家，可以从完成任务的国家买超出的额度。本应于2012年到期的京都议定，被延长至2020年。2020年后则由2015年拟定的巴黎协议取代京都议定书。

巴黎协议

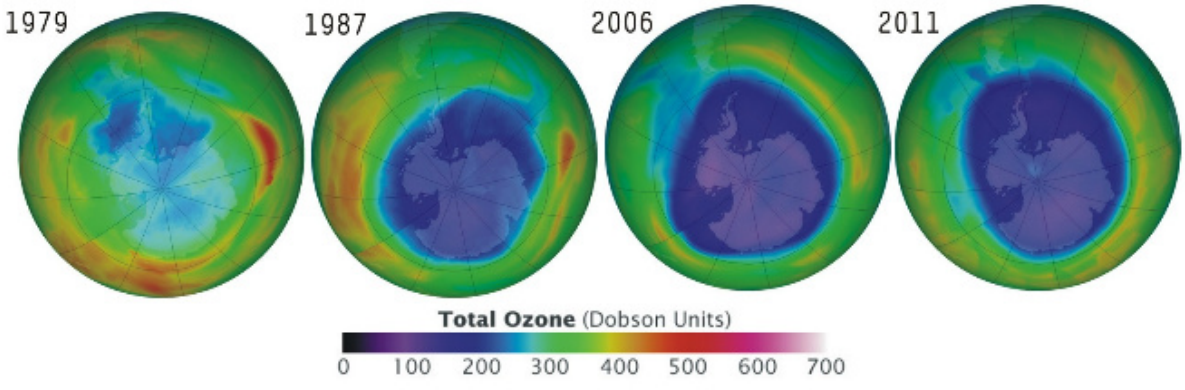
巴黎协议是在2015年联合国气候峰会中通过的气候协议。主要内容为：全球暖化的控制目标维持在升温2℃以内，并且往1.5℃努力。171国都在纽约签署巴黎气候协定，参与国包括了美国、中国及印度等。巴黎气候协定的涵盖范围比之前的所有气候协定还广泛，且适用于所有签署国。为达目标，各国须在发电、车辆燃料与营运工厂方面进行大幅变革，朝以再生能源取代煤炭、石油与天然气的方向迈进。这项协定的目标面临严峻挑战，第一个考验就是交由各国国会批准，且根据估计，同意签署协定的国家未来25年将支出12.1兆美元，使得这项协定尚充满未知数。

(二)臭氧层变薄

臭氧层变薄是指地球大气上空平流层（臭氧层）的臭氧总量，从1970年代开始出现明显减少的现象。南极上空是臭氧被破坏最严重的地区，尤其在春季期间的臭氧含量显著减少，形成“臭氧洞”（图4.29）。人工合成的一些含氯和含溴的物质是造成南极臭氧洞的元凶，最典型的是氟氯碳化物（cfcs）和含溴化合物海龙（halon）。

氟氯碳化物由于稳定性高，不自燃不助燃，也不易起化学变化，以及对人体伤害较小等优点，因而使用遍及各种工业及日常

图4.29
南极上空臭氧层的变化



BOX

为何氟氯碳化物主要产自北半球，却在南极上空产生臭氧洞？

由于氟氯碳化物不溶于水且非常稳定，故在一、两年之内在离地表10公里内均匀混合，混和后沿热带纬度逐渐上升，并藉风力往南北两极方向带动。然而南极地区上空平流层形成的漩涡会阻断空气交换，而且南极地区为一大片海洋所包围之陆地，造成极低温状态（低于-80℃），有助于极性冰晶云之产生。氟氯碳化物经化学反应后可吸附在冰晶表面，待次年春天阳光出现时，再以惊人的效力损耗臭氧。然而北极地区平流层很少低于-80℃，而且北极地区的平流层漩涡在阳光出现前已经消散，新的臭氧可补充进来，因此臭氧洞较不易在北极地区发生。

生活用品，如冷媒、发泡剂、喷雾剂等化学制品。氟氯碳化物生命期长达40－150年，因此会在大气中不断累积，最后将上升至平流层，在平流层因受到紫外线照射而分解产生氯原子，活泼的氯原子会与臭氧反应，使臭氧分解消失。

海龙也是全卤化碳氢化合物，因具有特别的防火效果，常作为许多需要防火安全场所的灭火剂。然而，由于海龙破坏臭氧的能力更甚于氟氯碳化物，所以在使用上更值得注意。

1．臭氧层变薄的影响

平流层臭氧会吸收紫外线，随着臭氧减少，到达地球表面的紫外线则会增加，估计总臭氧量减少1%，紫外线增加2%。紫外线对人类造成的危害，包括加剧或诱发皮肤癌和白内障疾病、破坏免疫系统、减弱人体对病毒和病原的抵抗力。此外，紫外线的增加也会造成浮游植物的减少，破坏水中生态系统的平衡。

2．因应对策

臭氧层破坏是目前全球性的环境问题之一，自1970年代以来就开始受到世界各国的关注。于1987年，共有27个国家签署具象征及实质意义的“蒙特利尔议定书”（Montreal Protocol），其中强制规定缔约国对氟氯碳化物使用量的控制，国际间许多国家在1996年后已全面禁用氟氯碳化物。但是这些长寿的物质，大部分仍存留在大气之中，所以臭氧层要恢复原状，估计仍须100年以上的时间。

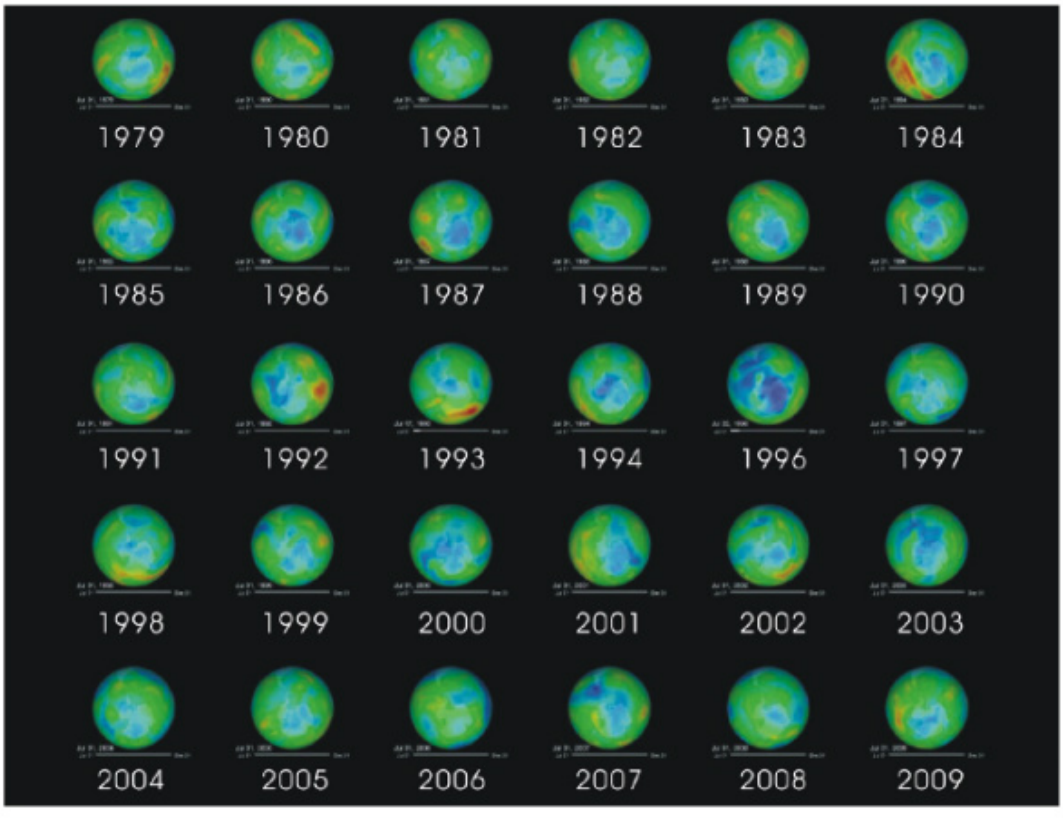
BOX

臭氧层破洞好转中

根据2016年6月的BBC、《华盛顿邮报》、《国际财经时报》、《基督科学箴言报》等报导，在南极洲上方破洞的臭氧层正在慢慢闭合。这也是从1987年签署《蒙特利尔议定书》，禁止使用氟氯碳化物相关产品后的成果。

根据2015年9月的数据，臭氧层破洞面积与2000年的数据相比，缩小了大约400万平方公里，2000年时臭氧层的破洞面积高达2,830万平方公里。

下图为地球观测站从1979年到2009年观测到的南极臭氧层变化情形，可以看到图中深蓝的部分慢慢减少，代表臭氧层破洞正在愈合。



学生活动

马尔代夫举行世界上首次水下内阁会议（新华网，2009年10月18日）

新华网科伦坡10月17日电（记者刘咏秋、陈占杰）马累消息：马尔代夫总统穆罕默德•纳希德17日召集12名政府内阁成员，在该国海域一处4米深的海底召开了世界上首次水下内阁会议，以呼吁各国减少温室气体排放。

马尔代夫总统府官员说，纳希德和其他内阁成员身穿潜水服，在该国首都马累东北约35公里处的吉利岛海域水底举行了为时30分钟的会议，会议期间内阁成员签

署了一项要求各国减少温室气体排放的决议。

马尔代夫总统府在一份声明中说，纳希德和内阁其他成员用防水笔签署了印制在白色塑料板上的决议，这份名为《来自前线的紧急呼救》的决议将送交今年12月份举行的哥本哈根联合国气候变化大会。

纳希德浮出水面后表示："我们试图向世界表明马尔代夫正在发生什么，以及如果不采取措施遏制气候变化，马尔代夫将会发生什么。"

马尔代夫由1192个珊瑚岛组成，全国平均海拔只有约1.5米。根据科学家最近发布的研究报告，如果全球变暖的趋势继续下去，马尔代夫将在本世纪内消失。

试阅读新闻内容，并讨论一下问题：

1. 马尔代夫举行世界上首次水下内阁会议是在"作秀"吗？
2. 马尔代夫政府要传达什么讯息？

练习题

选择题

1 下列哪些是天气观测的内容？

Ⅰ 湿度　Ⅱ 风向　Ⅲ 云量　Ⅳ 地面温度

A. Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　B. Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　C. Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ　D. Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

2 天气观测有什么功能？

A. 天气观测是我们研究大气组成的方法

B. 收集后经整理的天气资料可做天气预报

C. 经由天气观测，我们能有效的避免天气灾害

D. 天气观测的结果显示人类对自然界干扰的程度

3 下列何者属于气象灾害？

Ⅰ 洪患　Ⅱ 干旱　Ⅲ 台风　Ⅳ 龙卷风

A. Ⅰ、Ⅱ　B. Ⅰ、Ⅳ　C. Ⅱ、Ⅲ　D. Ⅲ、Ⅳ

4 导致全球变暖的温室气体是以_____为主。

A. 臭氧　B. 一氧化碳　C. 二氧化碳　D. 氟氯碳化物

5 人类活动对气候产生的影响是：

A. 臭氧增多　B. 地面的反射率小

C. 造成地中海沿岸夏季干燥　D. 二氧化碳增多，导致全球变暖

6 臭氧层位在地球大气层何处？

A. 热层　　B. 中间层　　C. 平流层　　D. 对流层

7 有关人类活动对气候的影响，正确的叙述包括：

Ⅰ 人工造林是人类改造气候的重要途径之一

Ⅱ 人类活动排放的二氧化碳增多，导致臭氧层破坏日趋严重

Ⅲ 二氧化碳和氟氯碳化物在天气中易形成酸雨，危害人体健康

Ⅳ 排入大气中的氟氯碳化物，严重破坏臭氧层，危害地球的生态环境

A. Ⅰ、Ⅱ　　B. Ⅰ、Ⅳ　　C. Ⅱ、Ⅲ　　D. Ⅲ、Ⅳ

8 下列各项中，三种自然灾害或环境问题之间存在着因果关系的是：

A. 寒潮、霜冻、水土流失　　B. 地震、泥石流、盐碱化

C. 酸雨、臭氧层破坏、河湖酸化　　D. 滥伐、温室效应、海平面上升

简答题

1. 洪患灾害的防治方式有哪些？试简单解释。

2. 请根据上图回答下列三项问题：

a. 这幅画所揭示的是何种全球性环境问题？

b. 产生上述问题的原因是什么？

c. 上述问题可能引起的后果为何？

第伍章

地球上的水

第一节　地球上的水循环和水平衡
第二节　地球上的水体
第三节　世界水资源分布与利用
第四节　水文灾害

水是人类生产、生活不可或缺的资源，但世界各地由于自然环境的差异，拥有的水资源多寡不一。了解地球上的水循环与水平衡等现象，探究水文灾害发生的原因，有助于人们永续经营水资源。

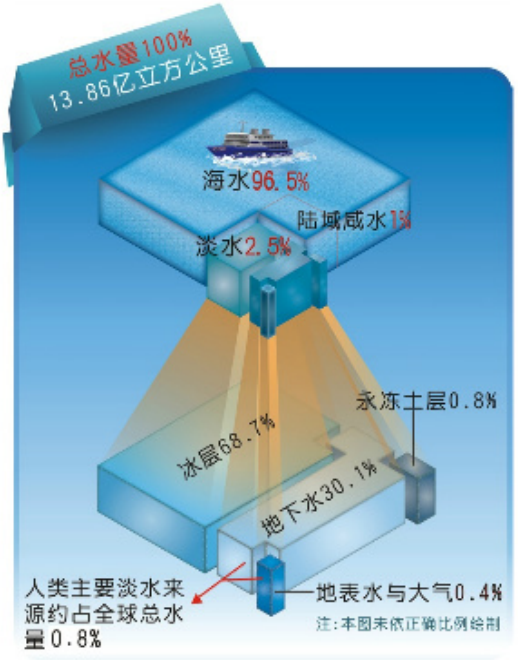
第一节　地球上的水循环和水平衡

地球上的水不断循环，为一种可更新资源。水循环过程中，不同地区的水资源收入与支出量各有不同，居民可使用的水资源量也有明显的区域差异。

自然界的水循环（water circulation）

地球的水以固体、液体和气体三种形态分布在自然界中，包括地表水、地下水和空中的水汽及云雾。以总量来说，地球上的水总量达到13.86亿立方公里（图5.1）。

图5.1
全球水资源分布



（一）水循环概念

海洋和陆地的水分蒸发，及植物的水分蒸腾后，水汽随着气流上升，冷却凝结成水滴，再以降水的形式落至海洋和陆地（图5.2）。

（二）水循环类型

1．内陆循环

降落在内陆地区的水透过蒸发或蒸腾成水汽，随着气流上升到高空后，遇冷凝结降水回到地面，称为内陆循环。

2．海上内循环

海水蒸发进入大气，遇冷凝结后降水，又回到海面，称为海上内循环。

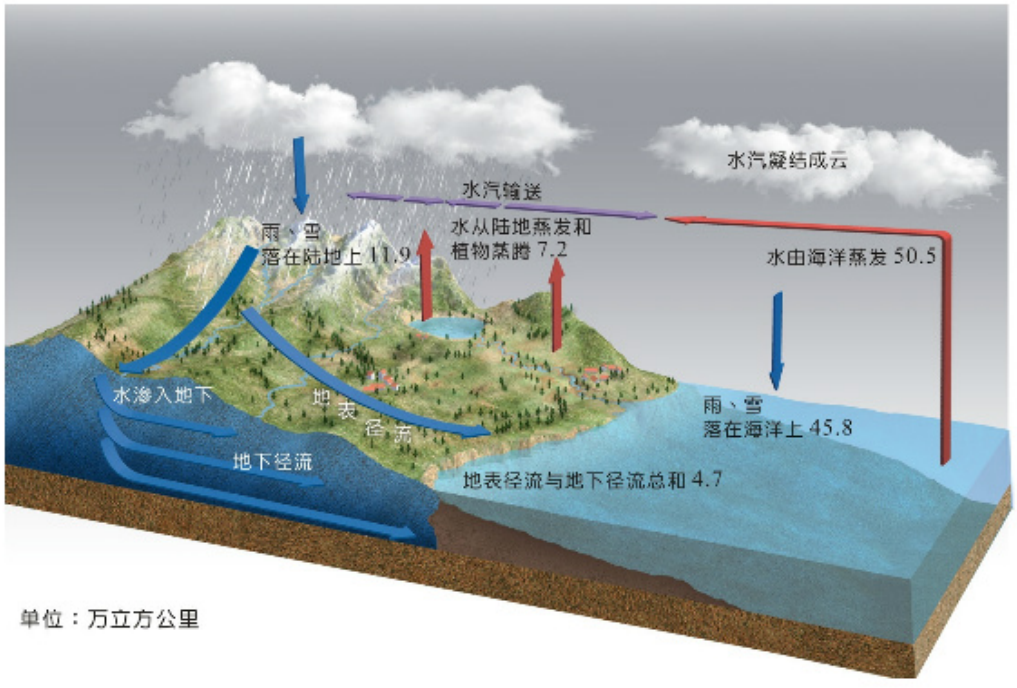


图5.2
海陆间的水循环

3．海陆间循环

海洋的水分蒸发，水汽随着气流上升，冷却凝结后，落至陆地。降落到陆地的雨、雪，除小部分被植物截留、蒸腾外，大部分在地表流动或汇聚成河流、湖泊，形成地表径流；部分渗入地下，成为地下径流。地表和地下径流最终流入海洋。此种海洋与陆地间的循环系统，称为海陆间循环。

（三）水循环的意义

水透过完整的循环，成为自然界中主要的能量交换及物质转移过程，对气候、地形、生物、生态系统等方面产生直接或间接的影响。其意义如下：

1．地球上水体获得更新

水资源被认为是可更新资源，自然界各种水体能够从水循环过程中获得更新，带给人类源源不绝的水资源。

2．促进自然界物质循环

从自然界的各种可溶性矿物，到地表物质的侵蚀、搬运、堆积，水循环所产生的水能一直扮演重要的角色，从土壤的淋溶作用，到各种地形的形塑，水循环是一个不可或缺的环节。

3．带动自然界能量循环

地球各地除了太阳高度不同，也有海陆比热的差异，水循环有助于自然界能量循环，如寒暖流能够改变调整各地气温及降水条件，来自高山融水也会调节流域的气温，都是能量循环的重要事实。

地球上的水平衡（water balance）

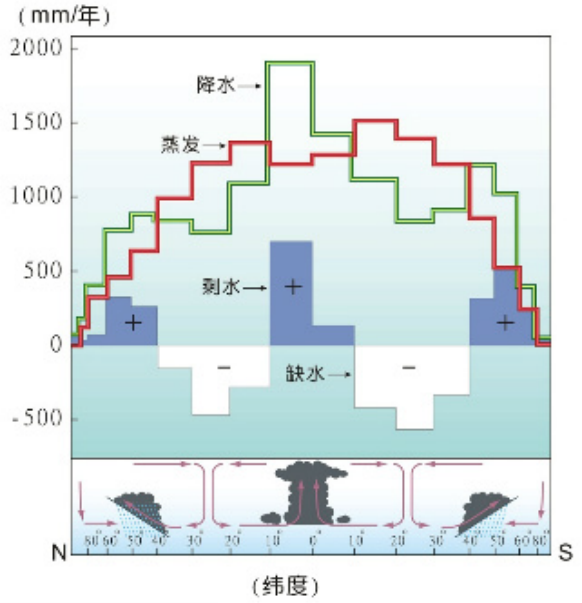
各地区因环境不同，水量的收入与支出各有差异，出现了剩水区与缺水区的现象。

（一）水平衡概念

在水循环过程中，地表某一区域在一定时间内，水量收入与支出的平衡状态，称为水平衡。

地球为一封闭系统，没有任何外来的水源。就全球而言，海陆降水量总收入与蒸发、蒸腾量的总支出，各约为57.7万立方公里。因此全球海洋、陆地间的水量收入等于支出，保持平衡。

图5.3
各纬度水平衡



（二）水平衡原理

就全球而言，虽达到水平衡状态，但各纬度带的水平衡状态明显不同。有些地区收入多于支出，有些地区收入少于支出，如赤道两侧的热带雨林气候区及北纬40°以上的温带海洋性气候区，全年降水量多于蒸发量，为剩水区；回归线附近的干燥气候区，降水稀少，蒸发旺盛，属缺水区。南北纬80°至90°的寒带气候区，虽然少雨，但因气温低，蒸发量小，故最接近水平衡状态（图5.3）。

（三）水平衡的意义

人类活动必须符合水平衡的规律，如果不当地改变水的空间和时间分布，例如：大面积滥伐森林，过度抽取地下水，排干湖

学生活动

下表为地球淡水的储存水量和更新时间，通常更新时间愈快，可循环利用的水量就愈多。请根据下表回答问题：

单位：$103km^3$

水体	固态水（冰雪）	地下水	湖泊	河水
储存量	24,230	10,100	91	1.2
循环更新时间	9,700年	840年	17年	16天

1. 陆地的水储存量以何者最多？
2. 在永续利用原则下，人类使用的水资源量受限于各种水体的储存量及此储存量循环更新的时间。在人类每年合理开发利用下，可以从表中哪种水体中获得最多的淡水？

泊和沼泽，就会给生产和生活带来不利的后果。因此了解水平衡原理，合理规划和利用自然界的水资源，是十分重要的。

照 5.1（上）
拉让江

照 5.2（中）
百乐湖

照 5.3（下）
加拿大洛矶山脉的冰河

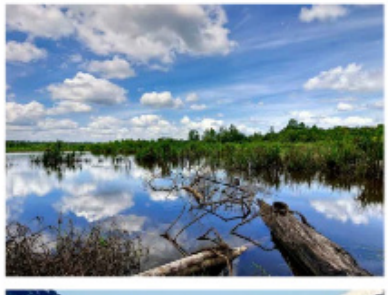
第二节　地球上的水体

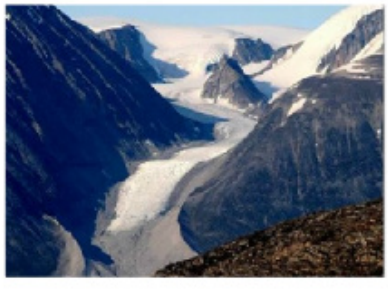
地表水

（一）河流、湖泊与冰河的形成

1．河流的形成

河流是陆地表层唯一畅流的液态水。地表径流以及涌出地表的地下径流，汇集在地表低洼处流动时，就形成了河流。我国最长河流拉让江（照5.1），发源于砂拉越和加里曼丹之间的伊朗山脉，沿着山间的谷地向西北方流去，最后注入南中国海。





2．湖泊的形成

湖泊是陆地表层的天然洼地积水而成，是仅次于冰河的第二大蓄水体。造成洼地积水的成因很多，如断层陷落，熔岩阻隔等。彭亨州的百乐湖（照5.2）因断层陷落积水成湖，是我国最大的天然湖泊。

3．冰河的形成

在高纬度及高山地区，冰雪日积月累，逐渐压密形

成冰河冰，当冰层达到一定厚度后，便受重力挤压而缓慢移动，成为冰河。北美洲海拔及纬度较高的洛矶山脉，冰河分布相当普遍（照5.3）。

（二）地表水之间的关系：以河流水源的补给来源为例

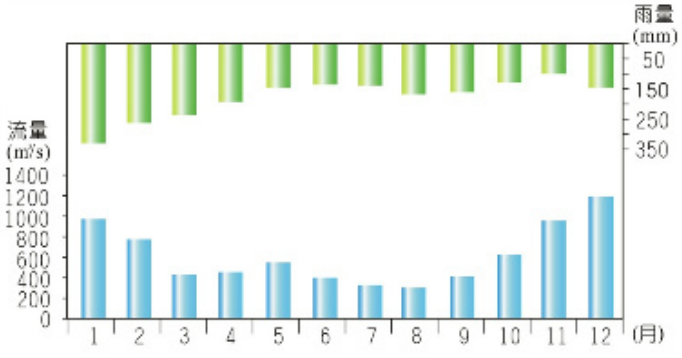
属于地表水的河流、湖泊、冰河等，彼此也存在水源的交换关系。其中以河流水源的补给来源为例，河水除靠雨水、地下水、人为供水外，还依赖湖泊、沼泽水、积雪与冰河融水供应。

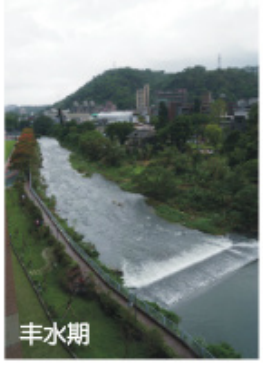
1. 雨水补给

世界上大部分河流的补给来源是雨水。以雨水补给为主的河流，流域内的降雨量影响着河流水量的变化。多雨季节，河流流量大；少雨季节，河流流量小（图5.4、照5.4）。我国河流受降水时空分布影响，如马来半岛东海岸，在西南季风盛行时，由于苏门答腊岛山地和马来半岛蒂蒂旺沙山脉的阻挡，普遍少雨，造成河流流量减少。

图5.4（左）
降雨量与河流流量的关系（彭亨河的Lubok Paku河段）

照5.4（右）
丰水期和枯水期的河道

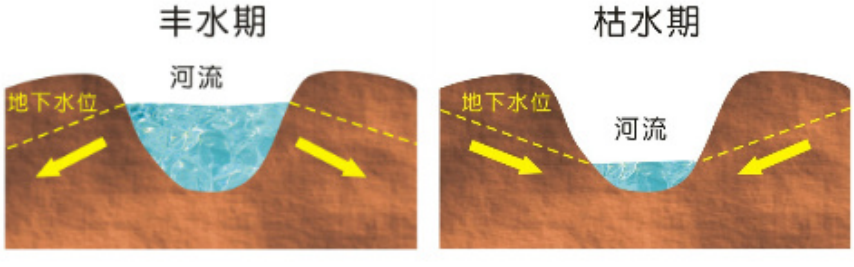




2. 地下水补给

河流水位低，流量较少时，地下水会补给河流水量；反之，河流水位高，流量多时，河流补给地下水。干旱地区的河流，以地下水补给为主（图5.5）。地下水常与河流互为补给的关系，也是河流稳定又可靠的补给源。

图5.5
地下水和河流的补给关系



3. 湖泊和沼泽水补给

位于河流中下游地区的湖泊，不仅能在河流枯水期时补给河流，而且能在河流丰水期时容纳洪水，调节河流流量（图5.6）。沼泽也可以补给河流水量，但是补给量不大，对河流调节作用小，如中国长江下游地区的许多湖泊。

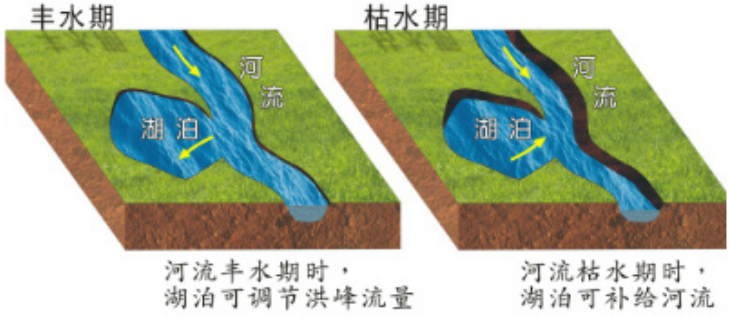


图5.6
湖泊和河流的补给关系

4. 积雪与冰河融水补给

纬度较高的地区多积雪和冰河，河流通常以融水补给为主。河流水量及其变化，与流域的积雪量和气温变化有关。春季气温回升，积雪融化，河流水量增大，常常形成春汛。夏季时，高山永久积雪地区，融水常和雨水一起形成夏季洪峰（图5.7），如中国西北的天山、昆仑山。

BOX

河流流量的季节变化

1. 汛期：河流处于高水位时期。
   春汛——春季积雪融化而形成的高水位。
   夏汛——夏季集中降雨造成的河流高水位。
2. 枯水期或冰冻期：河流处于低水位时期。
3. 平水期：河流处于正常水位时期。

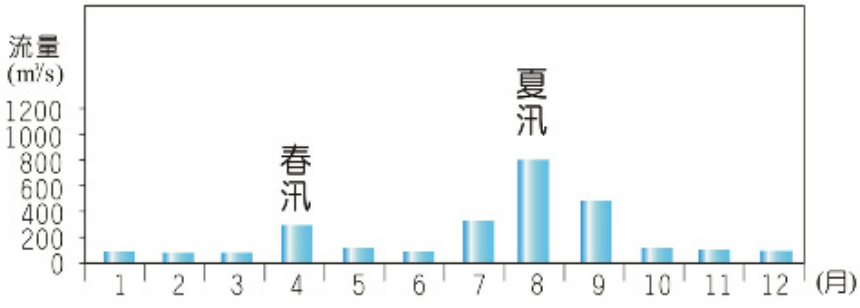


图5.7
季节性积雪融水补给为主的河流的年流量变化

5. 人工补给

人工补给是指通过大规模的人工方法，将水量引入缺水地区。例如：兴建水库或跨流域调水工程，可缓解缺水地区河流水源不足的现象，中国的南水北调工程便是著名的案例。

（三）地表水对人类的影响

1. 河流与人类的关系

河流提供了人类所需的淡水资源，包括民生用水、工业用水、农业用水等，此外，人类也在河流中从事捕捞、养殖渔业等

照5.5（上）
拉让江上的船上杂货店

照5.6（下）
河岸或湖岸的芦苇

活动，并利用河流作为交通运输管道。

在沙巴与砂拉越州由于沿海多沼泽，内陆多山地，缺乏完善的陆路交通系统，河流变成重要的交通管道，例如：沙巴州京那峇达岸河是重要的木材运输要道；砂拉越州拉让江内陆地区的聚落，由于交通不便，日常生活用品须仰赖船只运送，因此形成了“水上杂货店”特殊的商业行为（照5.5）。从水力发电来看，河流上游坡度大，水流湍急，若兴建水库与水力发电厂，便能提供人们廉价的电力来源。

河流下游拥有宽广的河滩地，是天然的滞洪区，也是许多动植物重要的栖息地，其中一些岸生植物如芦苇（照5.6），还具有净化水质的功能，可以维护河流的水质。

2. 湖泊与人类的关系

面积广大的湖泊，不仅能够增加湖区湿度，而且也能调节湖泊周围地区的气温，还可以提供航运功能。与河流相通的湖泊有调蓄河流水量的作用，还可以提供民生、农业、工业用水，发展养殖渔业，进行水力发电，甚至建设成旅游和疗养胜地。例如：柬埔寨的洞里萨湖，不仅是当地居民重要的渔业资源宝库，也是外国游客常造访的旅游景点。

照5.7
瑞士Griesser的冰河水库

3. 冰河与人类的关系

冰河是地球的“固体水库”，占世界淡水储量的五分之四。冰河除了可作为古气候与环境变化的信息外，是许多河流的发源地，冰河不仅能供应河流的水量，还为干旱区的农业提供了灌溉水源。

在世界的一些冰河分布区，可利用冰河融水发电。例如：欧洲的阿尔卑斯山区，人们在冰河谷修建高山水库，冰河融水占了水库蓄水量的三分之二，还带动了旅游业的发展（照5.7）。

地下水

地下水指的是地表下的水。由于我国属热带雨林气候，终年高温多雨，每年约有640亿立方公尺的雨量被贮藏到地下，因此地下水资源极为丰富。

（一）地下水的成因

地下水的水源多来自雨、雪等降水下渗到地下而形成。火山活动频繁的地区有部分地下水来自岩浆固结成岩时所析出的水。此外，有时岩层的生成，封闭在岩屑孔隙里的水，经地壳变动或侵蚀作用，从岩层中释放出来，也会形成地下水。

水流受重力作用，向下渗透到某一深度时，若遇到不透水层，则滞留于该层上方的孔隙中，形成饱和状态，称为饱和带地下水。饱和带的上方界面，称为地下水面。地下水面随地面起伏而变化，若高处的地下水面高于低洼处的地下水面，则低洼处开凿的水井，井水会受挤压而自然流出，形成自流井（图5.8）。地下水面与地面间的地层，其孔隙未完全被水分子所充塞，称为不饱和带。

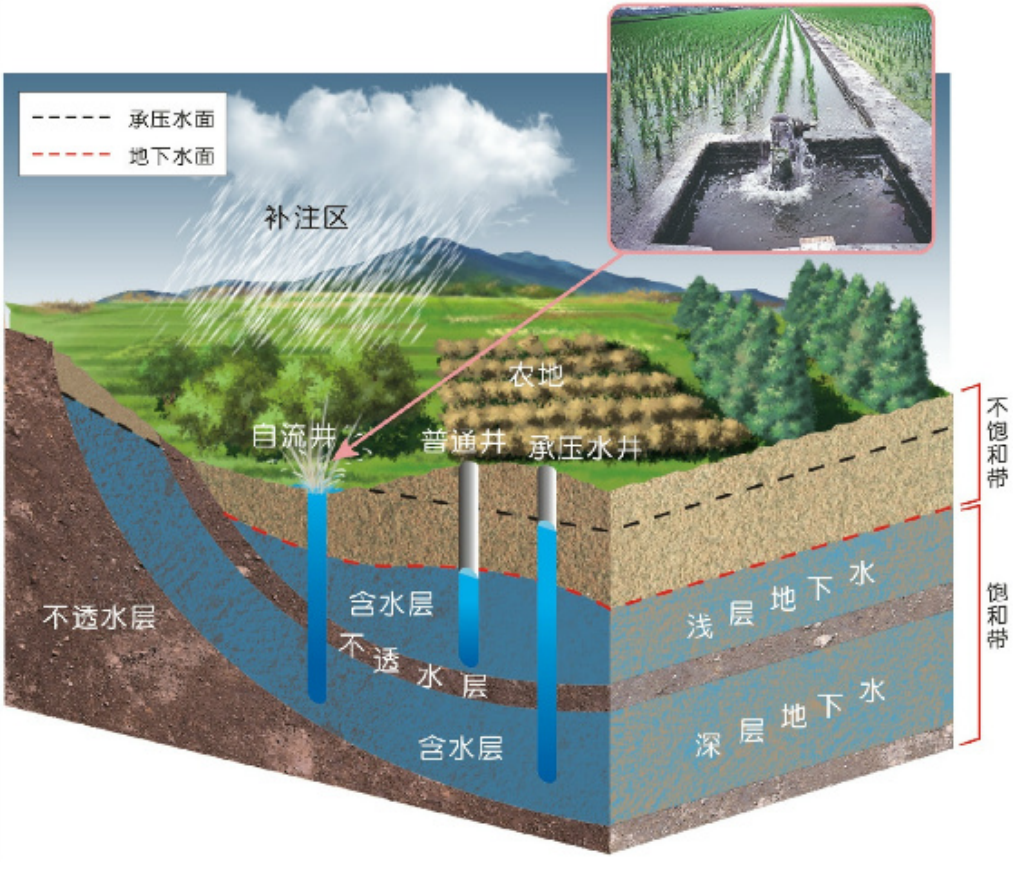


图5.8
地下水示意图

（二）地下水的分类

饱和带中的地下水，根据分布的状况，可以分为：

1. 浅层地下水

位于地下水面到不透水层间的含水层，因地下水面常受气候影响而上下移动，故称浅层地下水，又称潜水。地下水面受到地形、植被覆盖率等影响而起伏，但较为和缓。

2. 深层地下水

介于两个不透水层间的地下水，称为深层地下水，又称承压水。一般蕴藏于相对较深的岩层中，形成时间较久，受气候影响较小，不易受污染，水质较佳。

（三）地下水的利用方式

1. 泉

当地下水面与地面相交时，地下水即以泉水形式自然流出。通常涌出地表的泉水温度高于25℃，即可称为温泉，温泉水含有丰富的矿物质，对皮肤病有一定疗效。我国的温泉以霹雳和沙巴两州最多，这些温泉含硫量不高，适合作为休闲、养生健体之用。

BOX

温泉

根据我国天然资源及环境部的统计，国内温泉共有82处，这些温泉温度都小于100℃。

照5.8
我国霹雳州的温泉休闲区

喷泉

若地下水温度很高，且与水蒸汽相间喷出地表，称为喷泉。

照5.9
美国黄石公园老忠实喷泉

我国各州温泉数量

州属	数量	温度（℃）
柔佛	2	46
吉打	4	30-35
吉兰丹	3	27-52
马六甲	3	46-59
森美兰	2	46-58
彭亨	3	41-45
玻璃市	1	27
霹雳	21	29-98
沙巴	21	29-75
雪兰莪	9	45-77
砂拉越	9	32-46
登嘉楼	3	30-50
吉隆坡	1	46

学生活动

1. 温泉马来文为Air Panas，由于温泉在我国并不多见，因此温泉出现的地方常以Air Panas为名，试找出你所居住的州有哪些地方出现与温泉相关的地名？

2. 井

人为打井通常是凿井到饱和带地下水层中取水。深度十数公尺以内为浅井，深井则须借助抽水机取水。有些水井若凿至两个不透水层之间的承压水层，且含水层倾斜，井口高度低于承压水源头的水面，则地下水会从井口自然涌出，称为自流井，例如：澳洲中部地区的大自流井盆地（Great Artesian Basin）便是因为此特殊的取水方式而得名。

（四）地下水对人类的影响

地下水一般具有恒温特性，且水质良好，水量较稳定，污染程度低，是天然的贮水库。随着世界人口不断增长，对水资源的需求量迅速增加，地下水已成为河水以外重要的水源之一。

近年来，地下水被视为可解决供水问题的重要资源。估计我国有5万亿立方公尺未受污染的地下水资源，但只有少数被利用。自从自来水供给普及后，城镇地区井水的使用已大为减少，只有在乡村或偏远地区仍使用地下水。

地下水虽然是重要的水资源，然而若无节制地超抽地下水，将使地下水面下降，无法负荷其上的地层，导致地层下陷。在沿海地区超抽地下水，还会使海水入侵，造成土地盐碱化的环境问题。

第三节　世界水资源分布与利用

人类经济社会的发展有赖稳定充足的水源供应。早期人类多因地制宜开发水资源，近代由于人口急剧增加和产业发展需求，人们使用现代技术来大量增加水资源供给，但也常对生态环境造成危害。

世界水资源分布

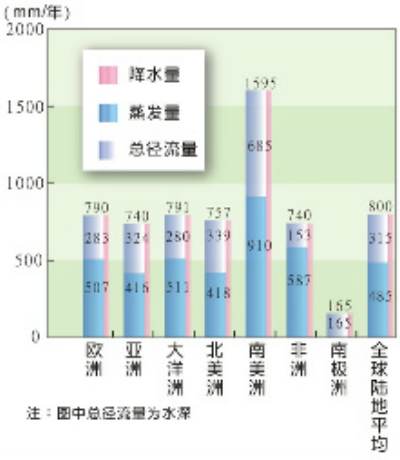


图5.9
各洲降水量、蒸发量及总径流量

广义的水资源除了农业、工业和民生用水，还包括做为天然航道、潮汐或水力发电及维护生态等功能的水。早期受限于距离和技术，人们必须就近取用河流或湖泊等淡水，随着开发技术进步，现代的水资源已不再局限于淡水，海水也成为新兴的水资源。

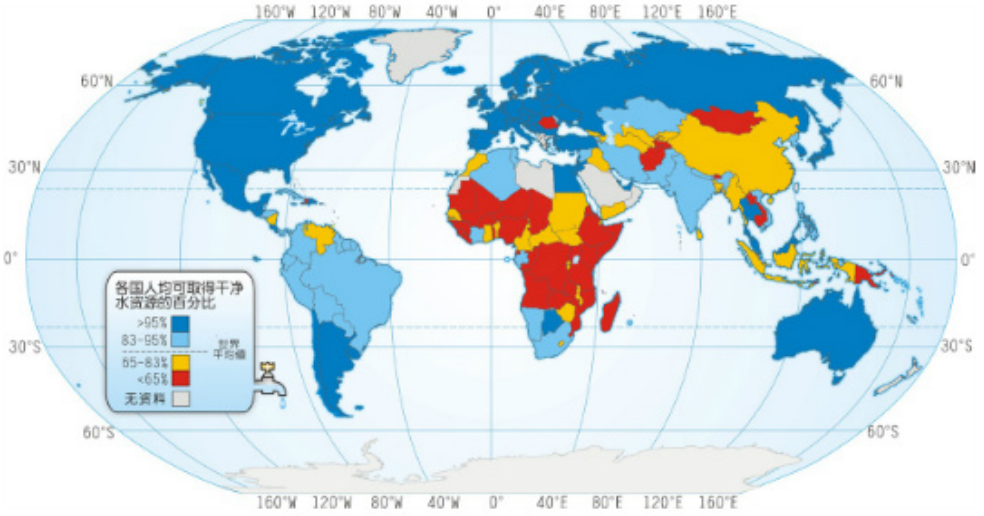
全球的淡水资源仅占水资源的2.5%，然而世界各地的水资源并非平均分布。以洲别而言，南美洲降水丰沛，虽然蒸发量高于其他大洲，但总径流量约为世界平均值的2倍，水资源量冠于全球；非洲降水量虽接近世界平均值，但由于蒸发也强烈，总径流量仅及世界平均值的一半，水资源相对不足，成为全球缺水严重的地区（图5.9）。

降水量可反映一地水资源量的多寡，但不同地区会因取水技术不佳、政府效能不彰、管理不善、资金短缺、水利建设缓慢等因素，而发生不同程度的缺水问题。21世纪初，全球每人平均可获得干净水资源量较高的地区，主要分布于富裕的欧美等地；一些较贫穷或干旱的地区，如非洲各国、寮国、柬埔寨等地，每人平均可取得干净水资源量多处于世界平均值之下（图5.10、5.11）。

水资源利用

不同地区由于人均水资源丰缺的差异，对水资源的开发利用形式也有所不同。

图5.10
世界各国人均能够取得干净水资源的分布图



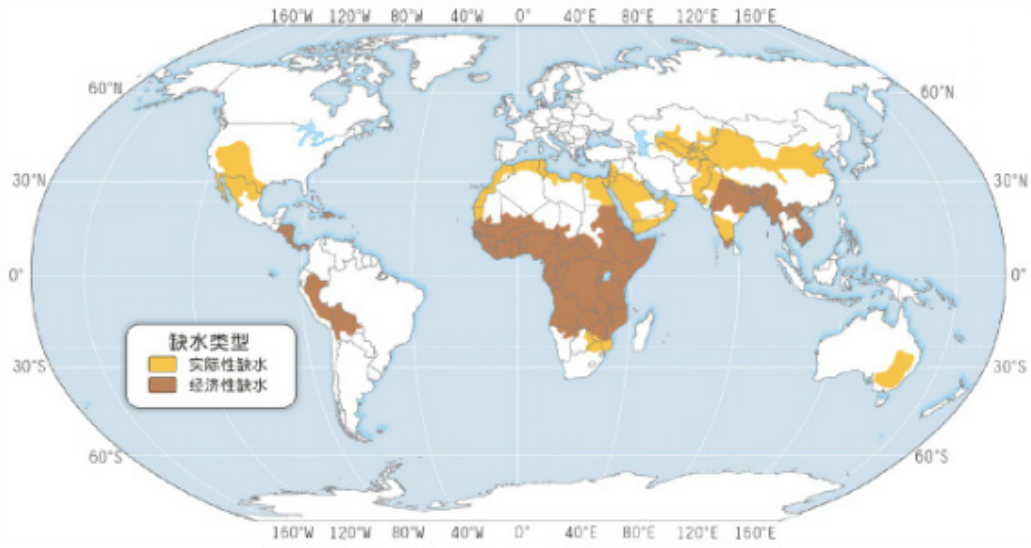


图5.11
全球实际性缺水和经济性缺水区分布（2007年）

（一）水资源的利用形式

古罗马时期为了供应罗马城的用水，将远处山麓的水源先储存于蓄水池，然后再利用地势的落差，兴建10多条高架与密闭的水道桥，每天提供30多万吨的水量，作为城市居民家庭生活、公共浴场、喷泉等用途（照5.10）。

照5.10
古罗马时期的水利设施

在干湿季节分明的地区，传统上农民会在雨季时储水，以备干季使用。如印度在农村地区兴筑简易低堰，于季风期贮水以供干季时使用，同时也可增加地下水的补注量。

干燥地区如中亚、西亚和北非等地的居民，早期在高山雪水下渗处，寻到水源后打下第一口井，再由上游向下游依一定间隔开挖竖井，并依地势高低于井底开通暗渠输水，地下渠道的出水口与地面渠道相连接，将冲积扇的地下水引到目的地，以减少水分蒸发，形成饶富特色的水利工程，中国新疆称之为坎儿井（图5.12）。

工业革命后，随着人口和产业的成长，全球用水量不

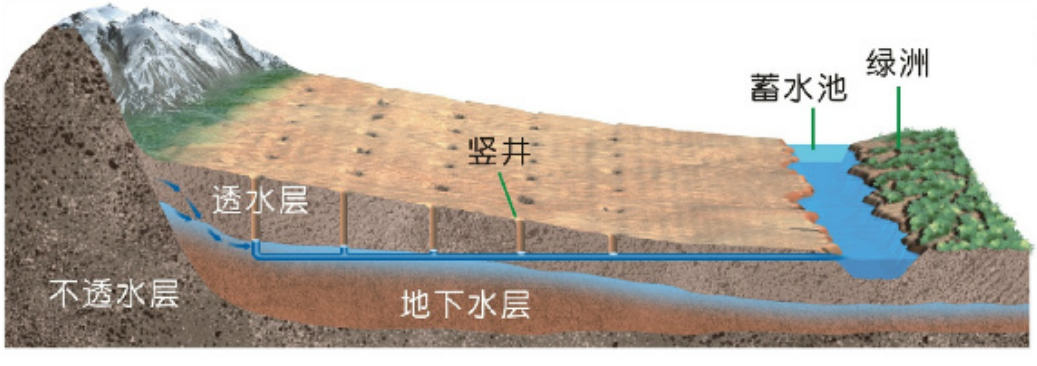


图5.12
坎儿井示意图

照5.11
美国中部大草原地带抽取地下水用于洒水灌溉系统

断增加，兴建以蓄水为主要目的的大型水库，成为许多国家取得稳定水源的方法，例如：我国第十一个大马计划（The Eleventh Malaysia Plan）就在森美兰州林茂（Rembau）规划了新的水库，以应付该地区日益增加的淡水需求。巴西、南非等国则是兴建地下水库，在雨季时蓄积雨水以供干季使用。

此外，现代水资源开发利用的方法有美国利用钻井技术取得浅层或深层的地下水（照5.11）、以色列以电脑控制的滴灌方式（照5.12）、也有不少国家积极发展盐水淡化技术增加水源。盐水淡化的水源包括海水、盐水和含盐地下水等，其中以海水淡化为数最多，例如：沙地阿拉伯的盐水淡化厂数量高居全球第一；新加坡则透过逆渗透技术将民生及工业废水转化成可再利用的工业用水，称为新生水（NEWater）。

BOX

滴灌技术

照5.12
以色列独创的滴灌式技术

把水管埋入作物根部附近，水从管线中的小孔隙均匀的滴漏入土地中。一方面可以保持土壤湿润，让作物根部可以直接吸收；另一方面也比起喷洒灌溉，水分在渗透入泥土前就蒸发更有效率和省水。这种技术多用于蒸发量大于降水量的地区，如以色列。

（二）水资源开发与环境的关系

从水资源管理与开发的角度思考，传统水资源的开发多是顺应当地自然环境的特性，为人与自然和谐共存的体现。然而，现代的水资源开发，则多兴建大型水坝截留地表水、开挖深井抽取地下水，或利用进步科技推动盐水淡化等方式增加水源。这些开发虽然效率显著，但对环境也会造成不少负面冲击，如导致环境与生态系统受到严重的破坏、下游断流等环境灾害。

在水资源原本就不足的缺水地区开挖深井抽取地下水，则容易造成地层下陷、土壤盐碱化等问题。盐水淡化过程中须耗费大量能源，不只成本偏高，排放的温室气体也可能加剧全球暖化；淡化后残留的高盐分废水，若直接排入海中，将破坏原有海域的生态系统。

学生活动

阅读下列短文后，回答问题。

智利北部一个西临太平洋的渔村，早期当地人利用多雾的特殊环境，在附近山区以木桩架设50平方公尺大小的网，网上细孔可拦沾雾滴，雾水沿网而下，由塑料管集水供应山下居民。有雾的日子，这些网平均一天可供应1万公升左右的水，不仅满足居民生活所需，还可用来灌溉土地。

1. 参照世界气候类型分布图，该渔村的气候类型为何？
2. 哪股洋流经过，导致该地沿岸地区雾气浓厚？
3. 想要效仿智利渔村水资源利用方式的地区，需具备哪些条件？试从人口数量与水资源丰缺等方面加以推论之。

第四节　水文灾害

水文灾害以洪涝灾害为主。洪涝通常为河流、湖泊的水位上升至超过常规水位，水流溢出到邻近地区的自然现象。当洪涝造成人们生活的不便，甚至是生命财产的损失时，即成为洪涝灾害。

洪涝灾害的定义

洪涝灾害分为“洪灾”和“涝灾”两种。洪灾指大雨、暴雨引起水道急流、山洪暴发、河水泛滥、淹没农田、毁坏环境与各种设施等；涝灾指地表水过于集中或土壤水过多造成的积水成灾。两种灾害的发生不仅是自然现象，也反映了一个地区复杂的人地关系。

洪涝灾害发生原因

降水量过多是导致洪涝灾害发生的主要原因。季风带来的降雨、夏季高山融化的雪水、热带气旋引起的暴雨及其他的持续性降雨等，都可能导致洪涝灾害的发生。

（一）季节性洪涝灾害

就我国洪灾发生的原因分析，季风带来的大雨是发生洪涝灾害的主要原因。每年11月至翌年3月，东北季风为我国大部分地区带来大量雨水，导致内陆低洼地区河水溢出河岸，河道来不及

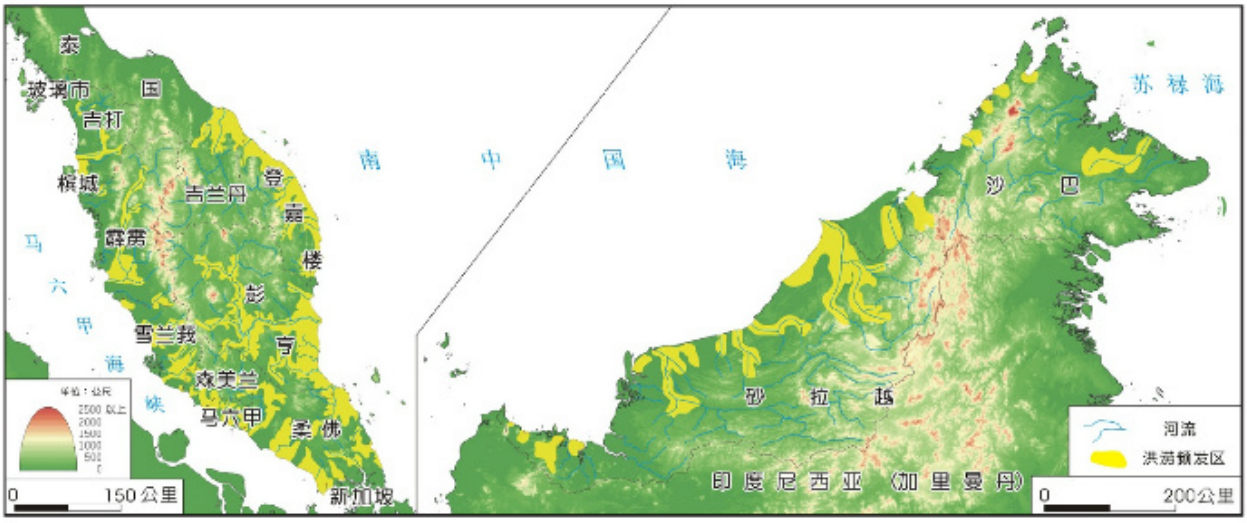


图5.13
我国容易发生洪涝的地区

宣泄而引发洪涝灾害（图5.13）。例如：柔佛州昔加末因位居多条河流的交汇处，且地势相对低洼，在雨季时容易引发洪灾；东海岸的吉兰丹、登嘉楼和彭亨三州的沿海地区，每年在这个季节时，若刚好又遇到大潮，河水无法快速排泄到海里，常会出现严重涝灾（照5.13、照5.14）。

照片5.13（左）
2007年1月柔佛州哥打丁宜县灾民因水灾受困，救援人员将其带往安全地区

照片5.14（右）
吉兰丹州 Kuala Krai 的水灾情况

（二）城市化引起的洪涝灾害

城市化所引发的洪涝灾害，源于城市大面积的地面被柏油或水泥覆盖，导致暴雨降下后，雨水不易下渗，增加人工渠道与天然河道的排水负担。由于地面缺乏植被，加快了水流到渠道、河道的速度，大量的径流涌向较小的排水口，且受垃圾与枯树枝叶的阻碍，水流无法迅速渲泄，常积累成涝。由于暴雨往往在极短时间内降下并积涝成灾，在我国俗称闪电水灾（flash floods），吉隆坡便是经常受闪电水灾困扰的大城市（照5.15）。

照5.15（下）
首都吉隆坡经常性发生的涝灾

降雨对河流水量的影响可以透过水文历线图来显示。根据横轴和纵轴可呈现一个河段在一定的时间内，其降水量和河流径流量的变化。城市闪电水灾发生时，通常洪水延滞时间（lag time）短，洪峰流量（peak discharge）大，故水文历线多呈现起伏较大的特征（图5.14）。此外，透过观察城市化前后的水文历

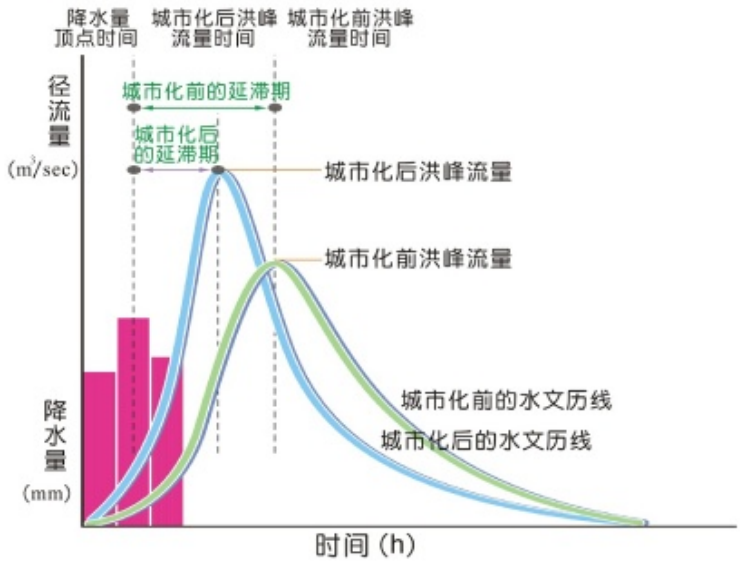


图5.14
城市化前后的暴雨水文历线变化图

BOX

水文历线（hydrograph）

河流水量的变化，深受降水量和降水时间的影响。河流某一地点的水位，在时间上的变化曲线，称该地点的水位历线；河流某一地点的流量，在时间上的变化曲线，称该地点的流量历线。二者均能表示水文量与时间关系的曲线，皆称为水文历线。

线，可以了解城市土地利用的变化对短时间河流流量所造成的影响。

为了解决吉隆坡闪电水灾以及水灾所引起的塞车问题，政府于2007年建立了连接敦拉萨路和旧机场路的精明隧道（Smart Tunnel），该隧道结合排水和汽车隧道的功能，也是东南亚最长的防洪隧道（照5.16）。

人类为了生存和发展，常与山争地、与水争地，随着城市不透水面积的增加，经常发生洪涝灾害。藉由河川不同时期水文历线的变化，可以发现人类对大自然造成的影响，从而了解洪涝灾害的成因，并据此安排各种应变与调适策略，以落实永续发展的洪涝管理。

照5.16
吉隆坡的精明隧道

学生活动

参考下列这两张图，回答问题：

1. 昔加末（Bandar Segamat）所在地区的河流地形具有什么特色？
2. 该地降雨量的最高值出现在何时？河流的洪峰流量出现在何时？洪水延滞时间多长？
3. 分析昔加末（Bandar Segamat）容易发生水灾的可能原因。

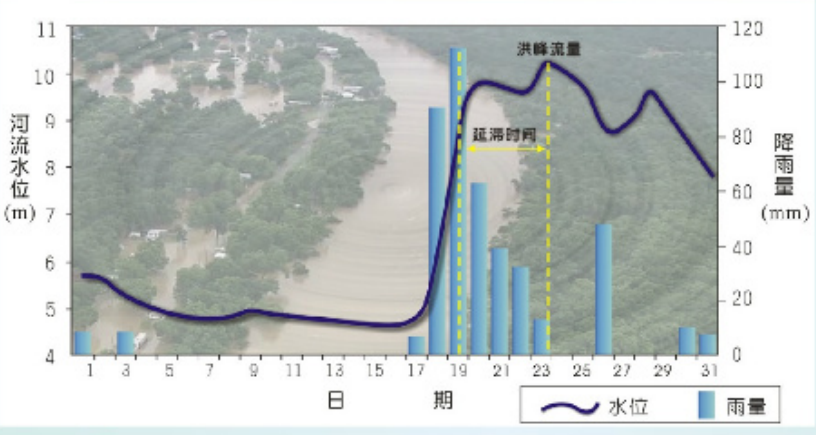


图5.15
昔加末河于昔加末市区河段的水文历线图（2006年12月）

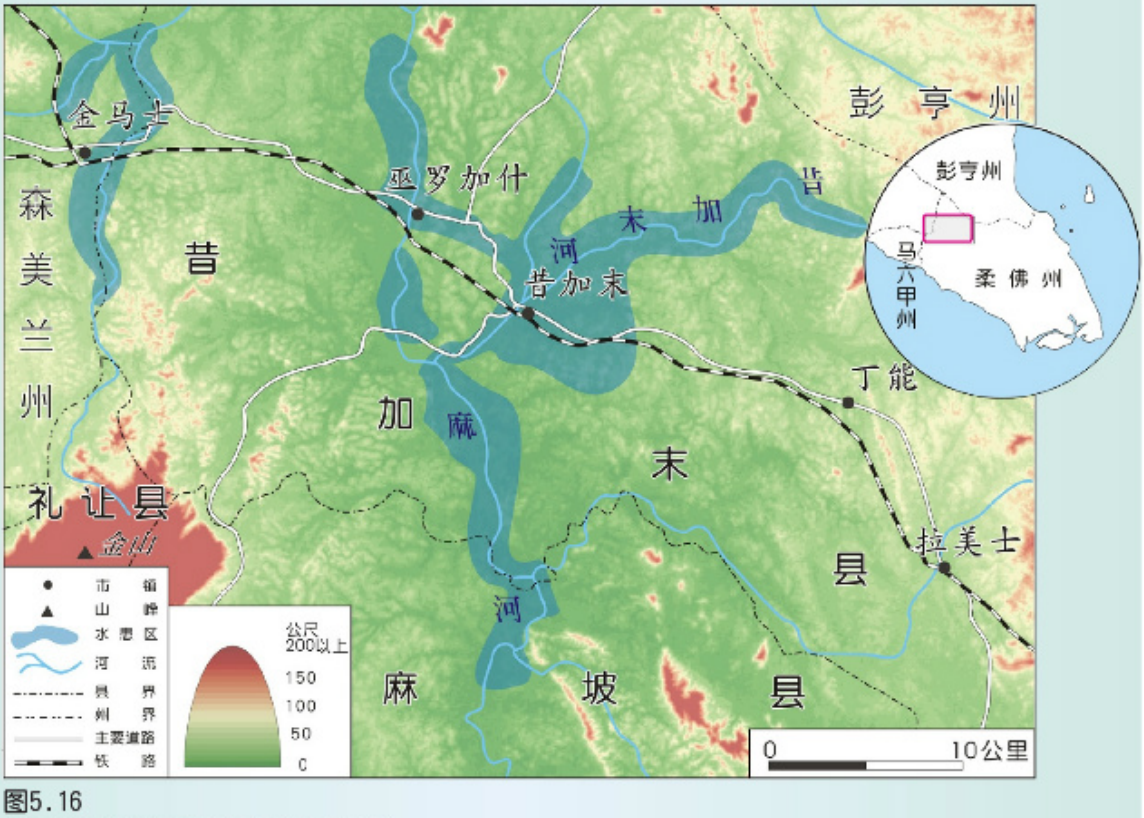


图5.16
昔加末地区水灾灾情图（2006年12月）

第陸章

地形

第一节　地形作用
第二节　河流、海岸、风成地形
第三节　岩溶、火山、冰河地形
第四节　地形与人类的活动

第一节　地形作用

地球上引起地壳的表面形态、组成物质和内部结构发生变化的作用，称为地形作用（geomorphic processes）。塑造地表形态的力量很多，可归纳为内营力和外营力。由于内营力和外营力，在各种不同的岩层构造上进行相互作用，才将地表雕塑得如此多样化。

内营力（endogenetic processes）与地形发育

内营力的能量主要来自地球内部，还有地球自转偏向力与重力等。由于软流层的岩浆活动引起板块运动，造成地震或火山的发生，产生褶曲、断层和火山作用等，形成大尺度、原始的地表形态。一般来说，内营力对地壳的变化起着主导作用。

（一）褶曲（fold）

原始的岩层主要呈水平状态，当水平岩层受到挤压而发生弯曲，即为褶曲。褶曲的不同形态和规模大小，常常反映了当时地壳运动的强度和方式。褶曲构造包括背斜和向斜两部分（图6.1）。

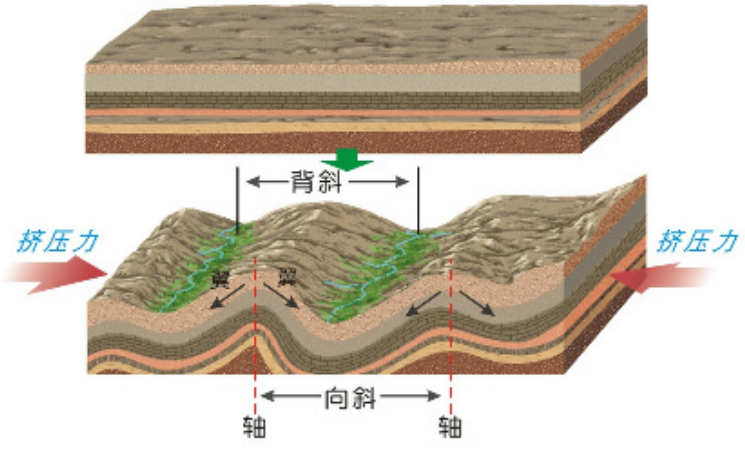
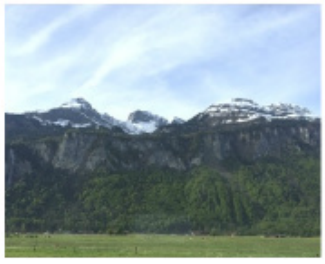


图6.1
褶曲过程示意图

在褶曲中，岩层向上隆起，两翼分别向相反方向倾斜的，称为背斜；岩层向下凹陷，两翼往相同方向倾斜的，称为向斜。褶曲中背斜和向斜是并存的，而相邻背

斜之间是向斜，相邻向斜之间是背斜。相邻的向斜和背斜共享一个翼。

在板块碰撞挤压地带，原本沉积在海底的岩层，常因褶曲作用隆起而形成高大的褶曲山脉，依生成时间可分为旧褶曲山脉及新褶曲山脉，前者如阿伯拉契安山脉、乌拉山脉等。后者如喜马拉雅山脉、洛矶山脉（照6.1）、安地斯山脉、阿尔卑斯山脉（照6.2）等。



照6.1（上）
洛矶山脉

照6.2（下）
阿尔卑斯山脉

（二）断层（fault）

岩层受到压力挤压产生断裂，若断裂面两侧发生变位，称为断层。在断层中，岩层断裂错开的面，称为断层面。断层两侧岩块相对移动，称为断层位移。

在一系列断层形成时，若中央部分岩层因断裂相对向下陷落，则形成地堑（graben）（图6.2），如东非大裂谷（照6.3a）、欧洲莱茵河谷等；反之，中央部分的岩层可能因断裂而相对向上隆起，形成地垒（horst），如中国新疆的天山山脉（照6.3b）、台湾的玉山山脉等。

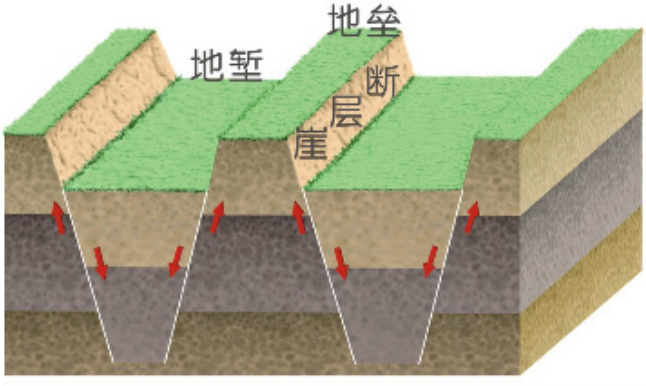
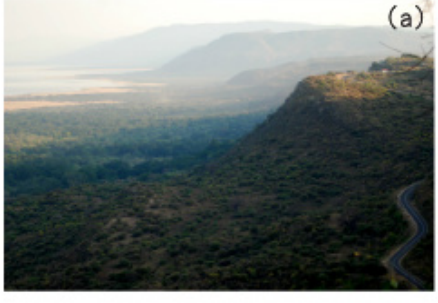


图6.2
地垒、地堑与断层崖

断层的断裂面若有高度的落差，则形成断层崖（fault scarp），其高度不一，有的可高达数百或数千公尺，如澳洲南部大洋路的海岸（照6.3c）是典型的断层崖。

断层作用一般是板块挤压的结果，当板块挤压时，也常沿着断层带释放能量，因而引发地震，例如：2015年6月沙巴州兰瑙发生的地震，震中位于克洛克山脉的断层带；1999年9月台湾921大地震，也导致岛上中部的断层带再次发生错动（照6.4）。



照6.3
（a）东非大裂谷；（b）中国天山；（c）澳洲南部大洋路的海岸

照6.4
921大地震时，车笼埔断层通过一所小学，造成该校操场及跑道部分隆起

（三）地震（earthquake）

地震一般是指岩石圈的天然震动。地震按其成因主要分为两种：构造地震和火山地震。构造地震对地表的影响最大，地壳中的岩层在地应力的长期作用下，会发生倾斜和弯曲，当累积起来的地应力超过岩层所能承受的限度时，岩层便会突然发生断裂或错位，让长期积累的能量瞬间释放出来，并以地震波的形式向四周传播，造成地面震动，即为地震。强烈地震发生时，地面出现的各种破坏现象，都是受到地震波的冲击所造成。

BOX

地应力（crustal stress）

当物体受到外力作用时，在它的内部同时产生与此外力相对抗的力量，这就是内力。单位面积上的内力叫做应力，而地应力就是出现在地壳中的应力。

1．地震波的传播特点

当地震发生时，地壳受到强烈冲击，产生弹性振动，并以波动的形式向四周传播，这种弹性波即为地震波（seimic wave）。地震波可分为纵波（primary wave）和横波（secondary wave）。纵波（P波）的传播速度较快，横波（S波）的传播速度较慢。

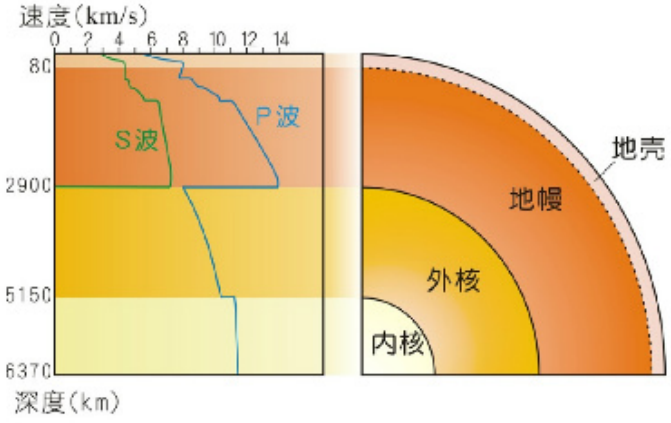
横波不能通过液体传播，纵波虽能通过液体传播，但速度会降低。因此透过地震波的时间和速度，可以用来了解地球内部的构造。地震波的传播速度在地面以下的一定深度会发生突然的变化，造成这种变化的面称为不连续面。地球内部有两个明显的不连续面，分别为莫霍面（Moho）和古登堡面（Gutenberg）。横波和纵波经过莫霍面后，速度都明显加快，而纵波通过古登堡面后，其速度由原本逐渐加快的状态转变为突然减慢，横波则完全消失（图6.3）。

岩层发生断裂引起地震的地方称为震源（seismic focus），从震源垂直延伸到地面上的点叫做震中（epicentre）。震源至震中的距离称为震源深度，而地面某点与震中之间的距离称为震中距（图6.4）。

从震源发生的地震波，首先到达地面的是纵波，这时在震中附近会感到上下颠簸；接着横波传来，又变成前后、左右摇晃。

2．震级和强度

地震的大小通常用震级来表示，而震级是地震本身能量大小



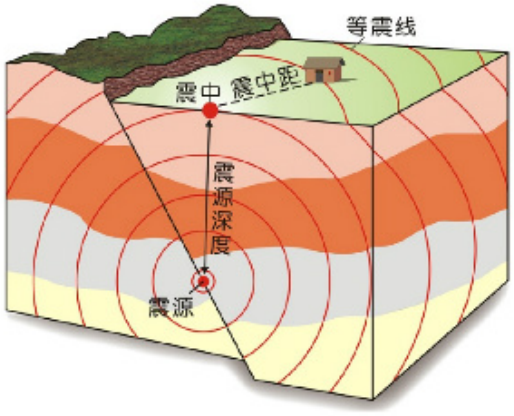


图6.3（左）
地震波速度与地球内部构造

图6.4（右）
地震要素

的等级。地震释放出来的能量越多，震级越大，而一次地震只有一个震级。震级的数字每增加一，能量大约增加30倍左右。震级是根据地震仪（seismograph）所记录的地震波来计算。

同一次地震在不同地区所造成的破坏程度不同，故某一地区地面所受到的影响和破坏程度，则用地震强度来表示。影响地震强度大小的因素包括震级大小、震中距远近、震源深浅、地质构造差异及房屋建构等（表6.1）。

表6.1
震级与强度的比较

	定义	单位	影响大小的因素	每次地震的个数
震级	表示地震释放的能量大小	无	地震释放的能量	只有一个震级
强度	地面受到的影响或破坏程度	级	震级大小、震中距远近、震源深浅、地质构造差异	各地区强度不同

2015年6月发生于沙巴州兰瑙的地震，震中位于兰瑙西北12公里处，距离首府亚庇85公里，震级达5.9，震源深度10公里，地震时间持续30秒，最高强度达7级。2008年5月，中国四川省汶川县也因板块推挤而发生大地震，震中即位于汶川县境内，震级高达8.2，震源深度19公里，最高强度达到11级（照6.5）。

照6.5
中国四川大地震前后的卫星照片（震中东北约85公里北川县城附近）

地震前（2006年5月14日）（福卫影像）

地震后（2008年5月14日）（福卫影像）

3．地震的分布规律

地震的分布呈一种有规律的带状，叫做地震带。它是地应力比较集中的地区。在一个地震带内，地应力的积累和释放在空间和时间上皆不均匀，因此地震有活跃期和平静期交替出现的现象。从图6.5中可以看出，世界地震的分布主要集中在地中海—喜马拉雅山脉地震带、环太平洋地震带、中洋脊地震带和东非大裂谷地震带。其中，环太平洋地震带集中了全世界约80%以上的浅源地震（0—70公里）、几乎全部的中源（70—300公里）和深源（300—700公里）地震，是世界上最主要的地震带。

图6.5
世界火山带与地震带的分布

4．地震灾害及其预测

地震有时会伴随断层的出现而引发地面升降，造成建筑物、交通要道等发生严重的破坏，并导致人命伤亡。1976年7月26日中国唐山市发生震级7.8的地震，由于震中位于人口密集区，且发生时间为晚上，故破坏力在一夕之间将唐山市变成一片废墟，并影响到邻近的北京、天津等地，造成16万人死亡，24万人受伤。目前，人类对地震的认识仍处于摸索阶段，还没有准确预报地震的方法。不过，地震的发生都与较脆弱的地质构造相关，因此，了解地质构造是进行地震预报的重要基础。地震前常有不少异常的自然现象发生，如地下水面的突然变化、动物的不寻常反应、小震频繁、地壳变形等，称为地震前兆。若能更深入地研究这些异常现象，或许可以为预报地震提供一定的依据。

（四）火山作用（volcanism）

地球内部的岩浆和气体等沿着地壳薄弱处，侵入岩层或喷出地表的过程，称为火山作用。

火山喷出的物质一般有气体、熔岩和火山碎屑物，通常液态与固态物质会就地堆积成火山。依照火山喷发强度与喷出物质，可分为盾状火山与锥状火山两种类型（表6.2）。

表6.2
火山类型与特征

火山类型	盾状火山	锥状火山
熔岩性质	基性	酸性
主要成分	铁、镁	二氧化硅
岩浆特性	比较稀释，含气体少，流动速度快	比较粘稠，含气体多，流动速度慢
例子	夏威夷冒纳罗亚火山	日本富士山、菲律宾马荣火山

地球上火山带的分布和地震带几乎一致，一般认为火山活动与板块运动密切相关（图6.6），所以在板块隐没处附近或板块分离处，火山分布最多（图6.5、6.7），不过有少数的火山分布在地壳较脆弱处，例如：沙巴州并非在板块接触带，但斗湖一带距今27,000年前曾发生火山的喷发。

全球有四处是主要的火山分布地带，包括地中海—喜马拉雅火山带、环太平洋火山带、中洋脊火山带、东非大裂谷火山带。

1．地中海—喜马拉雅火山带：西从比利牛斯山开始，至爪哇岛一带，但分布不均。欧洲部分多分布于意大利，如维苏威火山、埃特纳火山等；爱琴海上的圣托里尼岛在史前发生过大爆发。此

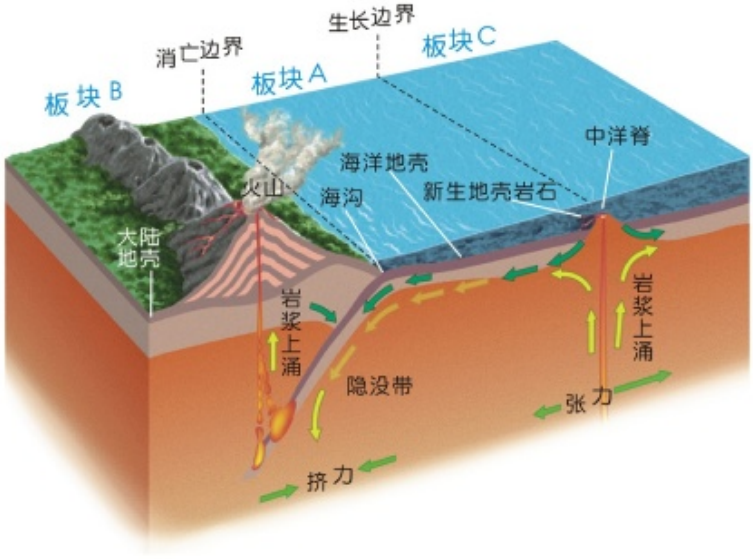


图6.6
板块运动与火山活动

图6.7
全球板块分布图

火山带的中段几乎无火山。亚洲部分则在印度洋板块及亚欧板块的交界处分布着一些火山群，苏门答腊与爪哇境内即有不少活火山。

2．环太平洋火山带（又称火环）：从南美洲的安地斯山脉开始，经过中美洲、墨西哥、美国西岸、加拿大西岸到阿拉斯加后，沿阿留申群岛及勘察加半岛到太平洋西岸的千岛群岛、日本、琉球群岛、台湾、菲律宾群岛，接着连接印尼摩鹿加群岛、新几内亚岛、所罗门群岛，至纽西兰。此火山带的火山数目约占全世界之75%，且活动相当频繁。

3．中洋脊（海岭）火山带：包括太平洋、大西洋及印度洋三大洋的中洋脊。中洋脊上的火山分布并不平均，主要集中于大西洋中洋脊，太平洋及印度洋中洋脊的火山相对较少。中洋脊的火山以海底火山为主，也有少部分的火山岛，如塞舌尔、冰岛。

4．东非大裂谷火山带：东非大裂谷是由非洲板块的地壳运动形成，至今地质活动依然频繁，地质学家预测几百万年后，东非可能会分裂成两个不同的板块。该带火山包括坦桑尼亚的乞力马扎罗山。

图6.8
世界中洋脊的分布

中洋脊（mid-ocean ridge）

中洋脊是位于全球海中板块生长边界的一系列火山结构系统，它纵贯太平洋、印度洋、大西洋和北冰洋，彼此相连，长达80,000公里，是世界最长的海底火山山脉（图6.8）。

学生活动

内营力的力量非常大，能够塑造地表最初且大规模的地形，如高山、高原等，但也是重大自然灾害（如地震、火山爆发、海啸）发生的重要原因。

根据以上所述，完成下列问题：

1. 目前地表上的高大山脉，如喜马拉雅山脉、阿尔卑斯山脉、洛矶山脉、安地斯山脉等，都属于新褶曲山脉，请将这些山脉描绘在图6.7上。
2. 下列特征中，何者符合以上所述的新褶曲山脉？
   - ☐ 呈带状分布
   - ☐ 地势崎岖、陡峭
   - ☐ 海拔高度大
   - ☐ 主要岩层由含有海洋化石的沉积岩组成
   - ☐ 多数位于大陆内部
3. 参阅图6.5、图6.6和图6.7，试说明板块运动、新褶曲山脉、火山带与地震带的相互关系。

外营力（exo-genetic processes）与地形发育

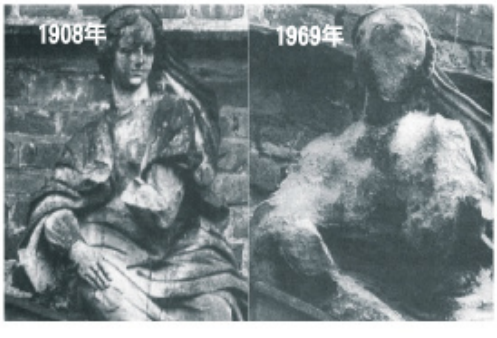
内营力形成地表最初的地形后，再受外营力作用影响，使地形不断改变。外营力的能量与太阳辐射、重力作用有直接的关系，透过空气、水等媒介，发生风化、崩坏、侵蚀、搬运、堆积等作用。

（一）风化作用（weathering）

风化作用是指地表岩石受到空气、水或生物的影响，在原地缓慢发生变化，有的是岩石因物理结构改变而崩解，称为物理风化（physical weathering），又称机械风化（mechanical weathering）（照6.6）；有的是岩石因化学成分发生变化而分解，称为化学风化（chemical weathering）（照6.7）。物理风化和化学风化大多同时进行且相互影响，加速彼此的作用力。在干燥地区和高纬、高山地区，物理风化较强烈；在高温多雨的地区，化学风化则比较盛行。

照6.6（左）物理风化

照6.7（右）化学风化－大理石石雕因酸雨腐蚀而变得模糊（德国贺腾）



（二）崩坏作用（collapse）

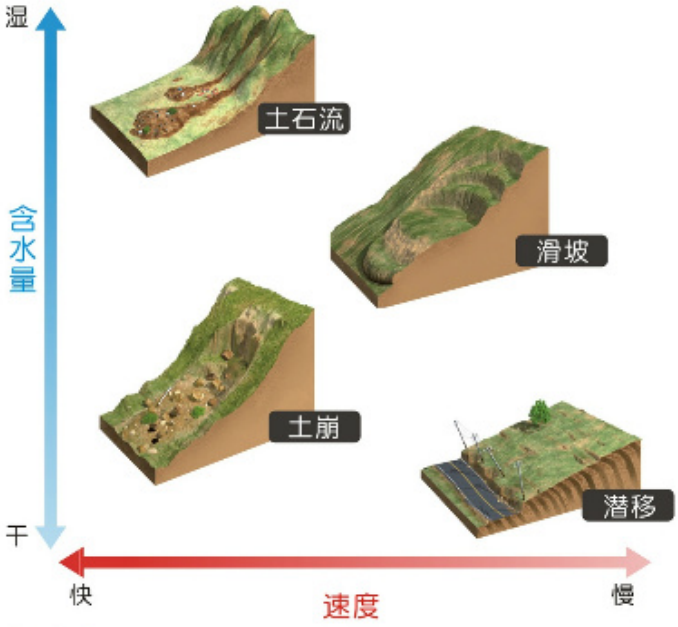
风化物质受重力作用，产生向低处移动的现象，称为崩坏。崩坏成因与坡度、水分含量、地震强度和人为活动有关。一般来说，坡度陡、多暴雨、风化物质丰富的地区，崩坏现象较易发生。一些水土保持不佳，缺乏植被保护的地方，也容易发生崩坏现象。崩坏的形式及速度差异很大，有些慢到难以察觉，如潜移；有的则发生于一瞬间，如土崩、滑坡、土石流、地面塌陷；有些则缓慢但连续性的崩坏，如冻融作用形成的落石堆（图6.9）。

快速崩坏的发生，常与岩石碎屑中的水分于短时间内突然大量增加有关。我国部分地区由于开发过度，因此经常在豪雨过后，导致落石、坍塌、山泥倾泻，严重时甚至诱发土崩、土石流等灾害（照6.8、6.9）。

图6.9（左）
崩坏的类型及其速度与含水量的关系

照6.8（右上）
金马仑高原因豪雨导致通往巴登谷（Lembah Bertam）的道路被冲毁，形成土崩灾害

照6.9（右下）
土石流灾害（彭亨州加叻大道因豪雨导致山泥倾泻，造成土石流）



BOX

潜移（creep）

潜移是指岩层或土石在重力作用下缓慢移动，其速度很慢，一般每年移动数公厘或数公分。

滑坡（landslide）

滑坡是指斜坡上岩体或土石受外力影响，如河流冲刷、雨水浸泡、地下水活动、地震或人类活动等，在重力作用下沿着坡面向下滑动的现象。

土石流（debris flow）

也称泥石流，是指在山区或地形险峻的地区，因为暴雨等自然灾害引发山体滑坡，并夹带大量泥沙及石块等岩石碎屑的特殊洪流，具有突然发生、流动快速、冲击力强及破坏性大等特性。土石流发生的三项条件：(1)充足的水分；(2)大量的松散土石；(3)陡峭的坡度。

（三）侵蚀、搬运、堆积

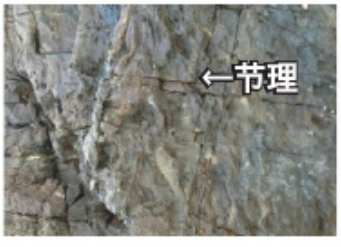
风化、崩坏作用后形成的松散岩石碎屑，容易受到河水、风、海浪、冰河等力量的侵蚀，并将其从一地搬运到另一地堆积。侵蚀、搬运、堆积作用是一种连续性的过程，不断地将地表的高处削平，低处填高，改变原本的地形。

环境不同，侵蚀、搬运、堆积作用的主要外营力媒介也会不一样。在湿润地区，雨水和河流的作用最明显；在干燥地区，最主要的作用力来自风；在海岸地区，波浪、海流、潮汐则是主角。

岩层性质有异，侵蚀作用的结果也会有差别。一般而言，坚硬的火成岩、变质岩分布的地区，抗蚀能力较强，侵蚀速度较慢；反之，岩性较软的沉积岩分布区，岩石多裂隙、节理，抗蚀能力较弱，故侵蚀速度也较快。

BOX

节理（joint）
指岩石或岩层的天然破裂面，通常成群出现且略相平行。具有相同的走向和倾斜方向，形成节理组。



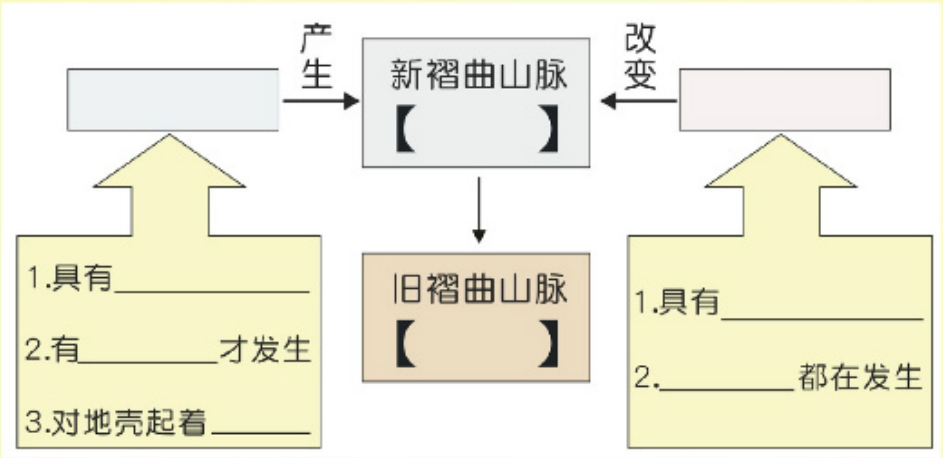
学生活动

外营力对于地形细部的塑造扮演着很重要的角色。参考以下4张地形景观照片A、B、C、D，回答下列问题：

1. 外营力作用包括：（1）风化（2）崩坏（3）河流侵蚀（4）河流堆积（5）波浪侵蚀（6）波浪堆积（7）冰河侵蚀（8）冰河堆积（9）风力搬运等。请分别指出塑造照片中地形的主要外营力作用，并简要描述其地形特征。

代号	主要作用	地形特征
A		
B		
C		
D		

2. 根据下列图表，完成内营力作用及外营力作用的关系：



第二节 河流、海岸、风成地形

河流地形

河流是塑造地表最重要的外营力，河流与河流地形是孕育人类文明的摇篮，与人类生活的关系也最为密切。

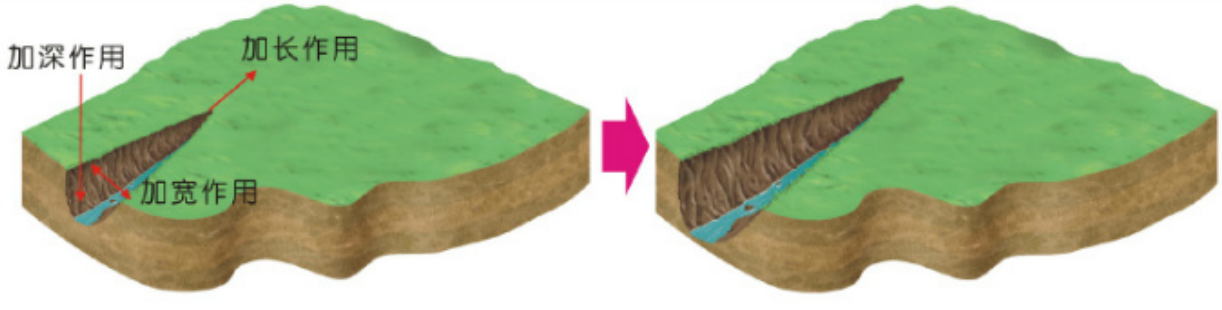
（一）河流作用

河流在流动过程中，经由侵蚀、搬运、堆积等外营力作用而塑造出各种河流地形。常见的河流地形有瀑布、峡谷、冲积扇、曲流、泛滥平原、三角洲等。

1. 侵蚀作用(erosion)

当河水流动时，河水本身及其所夹带的泥沙，对河床造成侵蚀的现象，称为侵蚀作用。河流对河床的侵蚀作用主要有三个方向（图6.10）。

图6.10 河流侵蚀作用示意图



a. **向源侵蚀**：向源头方向侵蚀，使河谷源头不断崩塌后退，河流逐渐变长，也称头蚀作用。

b. **向下侵蚀**：河床底部刻深，使河床加深。

c. **向侧侵蚀**：向河床两侧冲刷，而使河道变宽。

侵蚀作用的强弱与流速成正比，与堆积作用成反比。流速越快，侵蚀作用越强，堆积作用就较弱。若流速减慢，则侵蚀作用开始减弱，堆积作用会增强。

2. 搬运作用(transportation)

河流夹带泥沙、溶解质，并把它们搬运至下游的作用称为河流的搬运作用，搬运能力与流速及流量成正比。

3. 堆积作用(deposition)

若坡度减缓、流幅变宽或流量减少、泥沙增多，河流的搬运能力减弱之后，搬运物逐渐堆积下来的现象，称作堆积作用。堆积作用的成因主要有三：

a. **河流流速减缓**：河流由山地进入平原地区后，由于坡度减缓使得流幅增宽、流速减慢，因而发生堆积作用，如冲积扇地形。

b. **河流流量降低**：河流流经透水性高的地表，因为河水下渗，导致流量降低。在一些干燥气候地区，量少的河水伴随着较高的蒸发量，易导致流量减少，发生堆积，如沙漠地区的内流河。

c. **搬运物增加**：当大量岩屑流入河道，河流无力搬运时便发生堆积现象，如黄河流经黄土高原，携带大量泥沙于下游堆积。

地表经长期的河流侵蚀与堆积作用，原本崎岖的地形会变得平坦。此一过程可依地表起伏和河道特性，分成幼年期、壮年期和老年期三阶段。例如：地壳抬升或海平面下降，则河流的侵蚀能力增强，河流地形因而恢复到较年轻的阶段，称为回春作用。回春作用后，河流会重新进行另一轮回的侵蚀、搬运与堆积，此一过程称为侵蚀轮回。

然而，地表的实际样貌是河流上游河谷类似幼年期，中游河谷类似壮年期，下游河谷则类似老年期。

BOX

侵蚀轮回

按照河谷的型态和地形，河谷的发育史可分为幼年期、壮年期和老年期三个阶段，这个学说最早是由美国的戴维斯（W. M. Davis）所创立。假设有一个因构造运动从海底抬升的陆地，由于抬升迅速，地面立即受到侵蚀，此时河流处于幼年期，山高谷深，瀑布急流到处可见。然后，构造运动处于长时间的稳定，河谷逐渐宽阔，瀑布急流消失，此时河流处于壮年期。最终河道平缓，河水流速慢，山地逐渐夷平，侵蚀与堆积作用近乎停顿，河流进入老年期，此即一个侵蚀轮回。以后若该区再次经历陆升或海降，继以稳定，其地貌演变又重复上述过程，即再经历一个轮回。

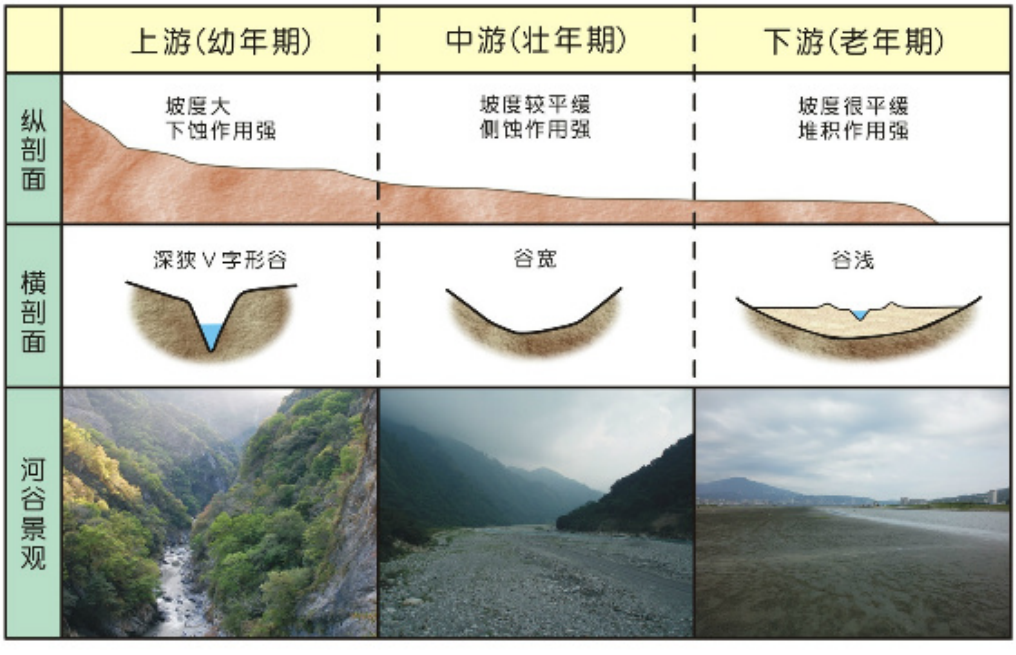
（二）河流的各阶段与特征

河流的发源地称为河源，通常出现在地势较高的地区，或是发源于湖、泉水或冰川的末端。河流的终端称为河口。从河源到河口可分为上游、中游、下游三段，各河段的河床坡度、河水流量和流速、河流作用及其塑造的地形特征等均不相同（表6.3、图6.11）。

表6.3
各河段的特色

	上游	中游	下游
坡度	非常陡峭	较陡峭	平缓
流量	小	比上游大	最大
流速	快	中等	慢
河流作用	向下侵蚀作用强	向侧侵蚀与堆积作用为主	堆积作用为主
河流地形	瀑布、峡谷	冲积扇	泛滥平原、三角洲
河谷形状（剖面状）	深而窄的V型谷	河谷较宽	宽阔的河谷

图6.11
河流各河段的河谷剖面示意图



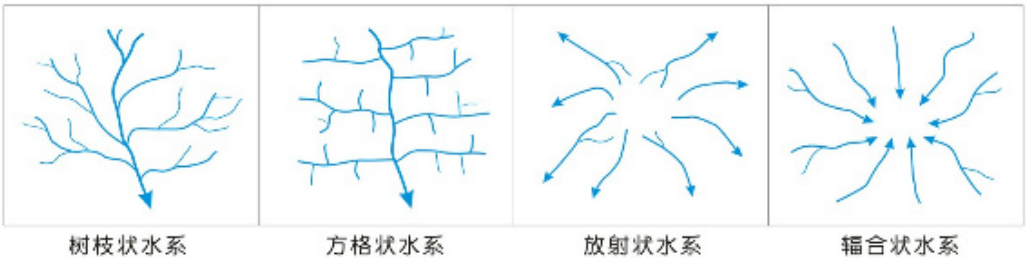


图6.12
各种类型的水系

水系和流域

一条河流从河源到河口，沿途会接纳大小不同的支流，这些支流和主流组成复杂的河网系统，称为河流的水系。水系的形状甚多，主要的类型有：树枝状水系、放射状水系、方格状水系以及辐合状水系（图6.12）。

一条河流的集水区称为流域（图6.13）。流域与流域间的分界叫分水岭，分水岭可能是山脊或是高地。有些河流最终流入海洋，称为外流河，它的流域称为外流区，如霹雳河、吉兰丹河、拉让江等。有的河流流入内陆湖泊，或者中途消失在沙漠中，称为内流河，流域称为内流区，如中国的塔里木河。

（三）河流地形

1．河蚀地形：

河蚀地形主要出现在河流的上、中游地区，以侵蚀作用为主，形成的地形有峡谷和瀑布。

a．峡谷

在河流上游地势较陡地区，崩落的石块、砂砾及砾石对河床产生强烈下蚀，形成了两岸谷壁陡峻，深度（下蚀）大于宽度（侧蚀）的谷地（照6.10）。由于状似V形，也称V型谷，如美国的大峡谷，台湾东部的太鲁阁峡谷都是著名的峡谷地形。

图6.13（左）
水系与流域概念图

照6.10（右）
台湾太鲁阁国家公园的峡谷

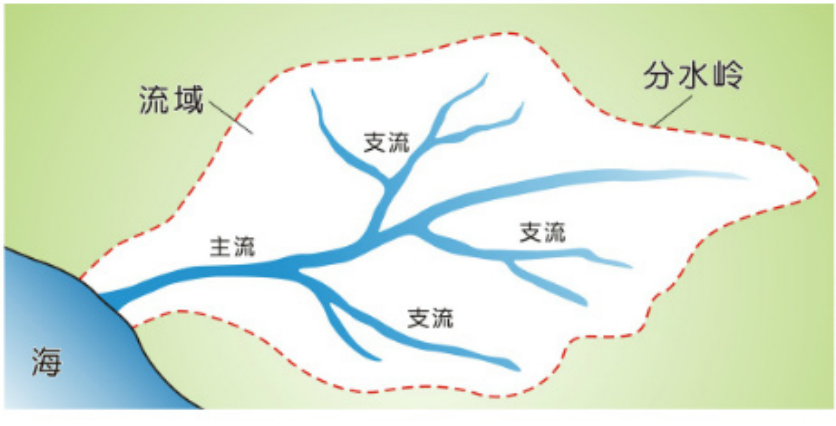
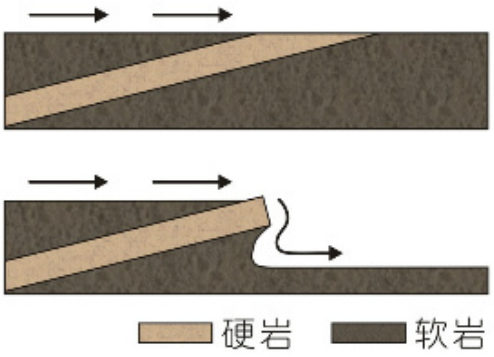


图6.14（左）
软硬岩层相间的差别侵蚀

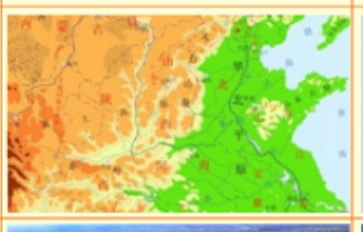
照6.11（右）
柔佛—蒲莱山瀑布



b. 瀑布

在河床坡度突然出现高低差异较大的悬崖，河水从悬崖上倾泻而下的现象称为瀑布。在河流经过断层线或软硬不一的岩层（差别侵蚀）（图6.14）或河流主、支流交会的地区较容易形成瀑布（照6.11）。

表6.4
各种主要的河积地形的成因与特征

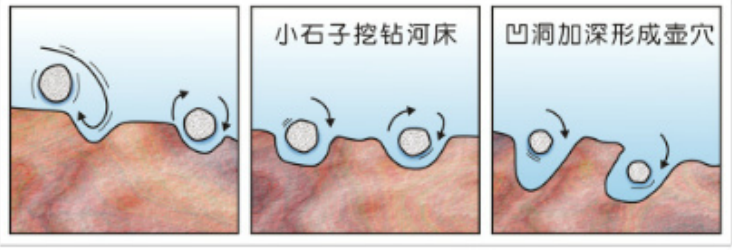
地形	冲积扇 (alluvial fan)	泛滥平原 (flood plain)	三角洲 (delta)
地点	山麓	河床两岸	河口
成因	河流出谷口时，因坡度变缓、流速骤降，使水流搬运力降低，遂以谷口为顶点向低处堆积成扇状面。	洪水期间，河水溢出河床，并携带大量泥沙在两岸堆积而成。	河流注入海或湖泊时，搬运能力减弱，携带的泥沙遂以河口为顶点，堆积成向海或湖延伸的三角洲地形。
特征	1. 由于扇顶砂砾较松散，孔隙较大，地表径流容易下渗为地下水。 2. 至扇端再成带状渗出，形成涌泉带，常出现聚落。	地势平缓，取水方便，是人类活动的主要场所。为防止水患，常在河岸加筑堤防。	地势低平，水道分歧多，常有水患。
例子			
	台湾南投的冲积扇	中国华北平原	我国拉让江三角洲

BOX

壶穴

定义：急流或瀑潭中的涡流，挟带砂石挖钻河床，形成的圆形凹穴。

成因：雨量丰富的上游河段，具有急流、硬岩河床或底岩裸露处，才易形成壶穴。



	水流速度	主要外营力	河岸形态	河床深度	河岸演化	别称	用途
凹岸	较快	侵蚀	较陡直	深	后退	基蚀坡	可为船只停靠地区，适宜建河港
凸岸	较慢	堆积	较平缓	浅	前进	滑走坡	适宜发展农业、聚落

表6.5 曲流特征

2．河积地形

河积地形主要出现在河流的中、下游地区，以堆积作用为主，形成的地形有冲积扇、泛滥平原和三角洲等（表6.4）。

3．河蚀和河积共同作用所形成的地形

河流的侵蚀与堆积经常是同时发生的，河蚀和河积共同作用而成的地形主要有曲流（meander）。

在中下游地区，曲流的发育始于顺直的河道，顺直河道中深槽和浅滩相间分布，水流为了避开浅滩而迂回流动，从河道的一侧流向另一侧，导致河道一侧侵蚀，另一侧堆积。这个过程不断持续，形成弯曲的曲流。曲流的凹岸和凸岸，景观各不相同（表6.5）。我国大部分河流下游的曲流地形相当发达（图6.15、图6.16、照6.12）。

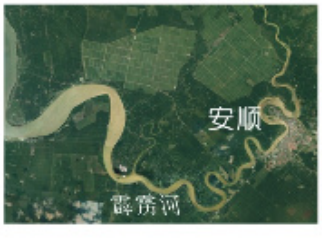


图6.15（左上）我国麻河曲流卫星影像图

图6.16（左下）我国霹雳河曲流卫星影像图

照6.12（右）霹雳河下游曲流处的市镇—安顺（现已改为直落英丹）

图6.17
牛轭湖形成过程

A：凸岸（滑走坡）
B：凹岸（基蚀坡）

照6.13
利丰港的牛轭湖

随着曲流的发育，河道的弯曲程度逐渐增大，致使河水截弯取直，穿越曲流的颈部，形成曲流截断，而被截断的旧河道若积水成湖，称为牛轭湖（图6.17），如利丰港牛轭湖（照6.13）。

个案：我国麻坡利丰港—牛轭湖的土地利用(图6.18)

利丰港为麻坡北部的一个小聚落，地处麻河下游的曲流北岸。早在1880年代以前，该曲流便已被河流本身的侵蚀作用截弯取直，形成曲流与主河道相连的现象，中间被河流包围的土地由于形态似岛屿，因而被当地人称为Pulau Penarek。

19世纪末，由于柔佛推行港主制度，带动了热带栽培业的发展，这里被开发成为种植胡椒和甘蜜的“港脚”（kangkar），称作“利丰港”。当时的交通以河运为主，因此所产的收获多透过河流运往下游的麻坡集散。

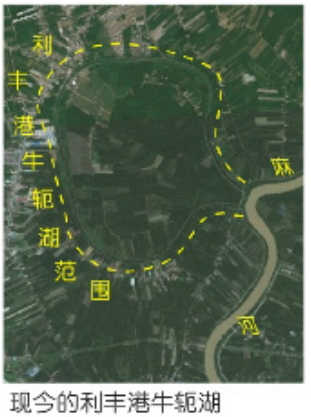
20世纪初，胡椒和甘蜜种植业没落，橡胶业兴起，利丰港成为胶园处处的景观。随着陆路交通的开发，利丰港也成为东甲

图6.18
利丰港河道的发展

1891年的利丰港

1926年的利丰港

1957年的利丰港



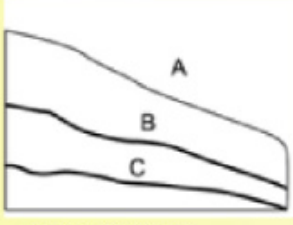
现今的利丰港牛轭湖

（Tangkak）、玉射（Grisek）往来麻坡的重要节点。在陆路交通取代河运交通之后，原有的河道缺乏维护而逐渐淤积，该水道与麻河主流的接口也逐渐缩小，最终成为不具航运价值，形同牛轭湖的死水，当地人也称Sungai Mati（死河）。

在这条淤积的水道及Pulau Penarek上，由于土壤肥沃，居民也在此发展种植，农作物以橡胶、油棕、水稻及热带水果为主。水利灌溉局也在水道上下游与麻河主流的接口处设立水闸，调节灌溉水源。除了发展农业，“死河”四周的沼泽地吸引群鸟到来，成为我国马来半岛主要的湿地自然生态环境，称为“牛轭湖生态区”，刺激了旅游业的发展。

学生活动

1. 河流地形发育可分三阶段，请依序指出下图中横剖面及纵剖面图的代号：



河流纵剖面图

河流横剖面图

海岸地形

马来半岛三面临海，东临南中国海，西临马六甲海峡，东南以柔佛海峡与新加坡相望；东马则位于婆罗州岛上，西侧也濒临南中国海，因此我国人民与海洋的关系十分密切。海岸位于陆地和海洋的交界地带，因构成物质的差异或受到海水作用力不同，呈现多姿多彩的地形景观（图6.19），不仅是沿海居民的生产空间，也是内陆居民休闲游憩的地方。

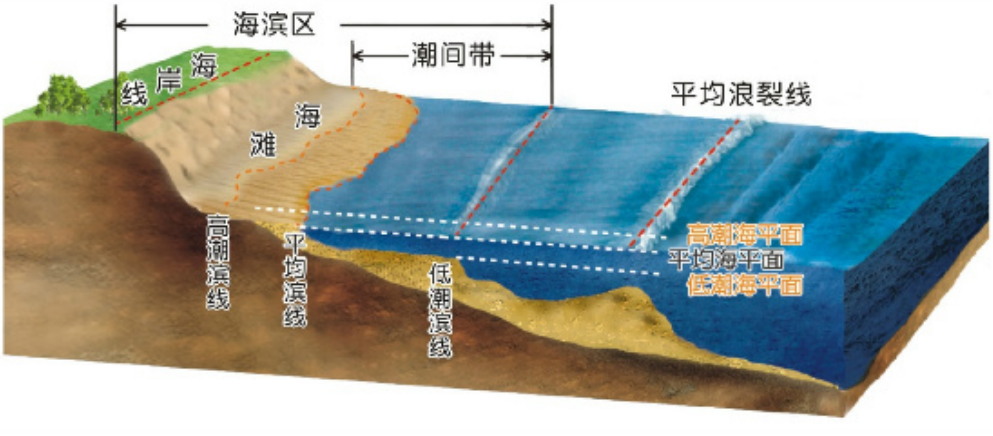


图6.19
海岸地区示意图

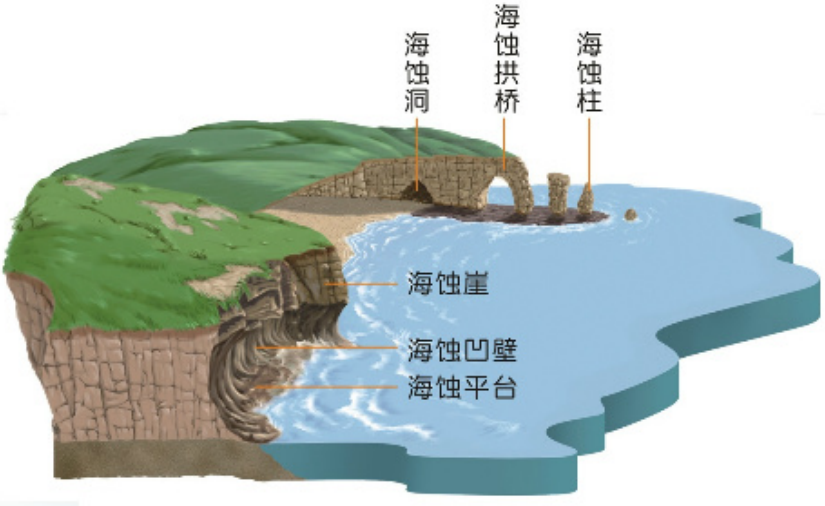
（一）波浪作用

海水藉着波浪和潮汐等运动，携带巨大的能量在海岸地带产生侵蚀、搬运和堆积作用。其中以波浪对海岸的破坏力最强，常挟其动能拍击海岸，然后向后撤退，在前冲后退的过程中，海水携带泥沙、石砾磨蚀海岸地区，形成海蚀地形。而由波浪侵蚀下来的泥沙与岩屑，则再经波浪、潮汐或海流，输送到沿海适当的地点堆积，形成海积地形。

（二）海蚀地形

海水侵蚀作用形成的地形，称为海蚀地形，常出现在岩石海岸。我国半岛东海岸及砂拉越之间的海岸，孕育许多丰富的海蚀地形，主要有以下几种形态（图6.20）：

图6.20
海蚀地形示意图



照6.14（上）
海蚀凹壁
(Pulau Mawar)

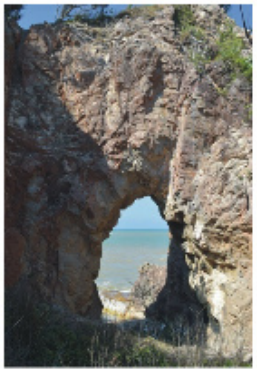
照6.15（下）
海蚀平台
(Sedili Besar)

1. 海蚀凹壁(sea notch)和海蚀崖(sea cliff)

由于波浪不断拍打侵蚀岩石海岸，有时会在岸边形成陡峭的海蚀崖；在海蚀崖下方，近海面处也会因波浪的侵蚀，形成向内凹入的海蚀凹壁（照6.14）。

2. 海蚀平台（abrasion platform）

海水不断侵蚀海蚀凹壁，导致上方的崖壁崩塌，造成海崖后退现象，此时在海崖前形成大致与海平面同高度的大片平台状地形，称为海蚀平台（照6.15）。



照6.16（左）
海蚀穴
(Pulau Mawar)

照6.17（中）
海蚀拱桥
(Pulau Mawar)

照6.18（右）
海蚀柱（砂拉越Bako国家公园）

3. 海蚀穴（coastal cave／sea cave）

有时海水会沿着海崖的裂缝或岩层软弱处进行侵蚀，形成海蚀穴或海蚀洞（照6.16）。

4. 海蚀拱桥（sea arch）

当波浪从两侧侵蚀突出的岬角时，可在其两侧形成海蚀洞，若持续侵蚀，海蚀洞会跟着扩大，直至贯通，成为海蚀拱桥或海蚀门（照6.17）。

5. 海蚀柱（sea stack）

有时海崖软弱处受到侵蚀，或是海蚀拱桥顶部坍塌，形成孤立于海中的岩柱，称为海蚀柱（照6.18）。

（三）海积地形

海岸附近因堆积作用形成的地形，称为海积地形，常见的有海滩、沙洲、潟湖等（图6.21）。

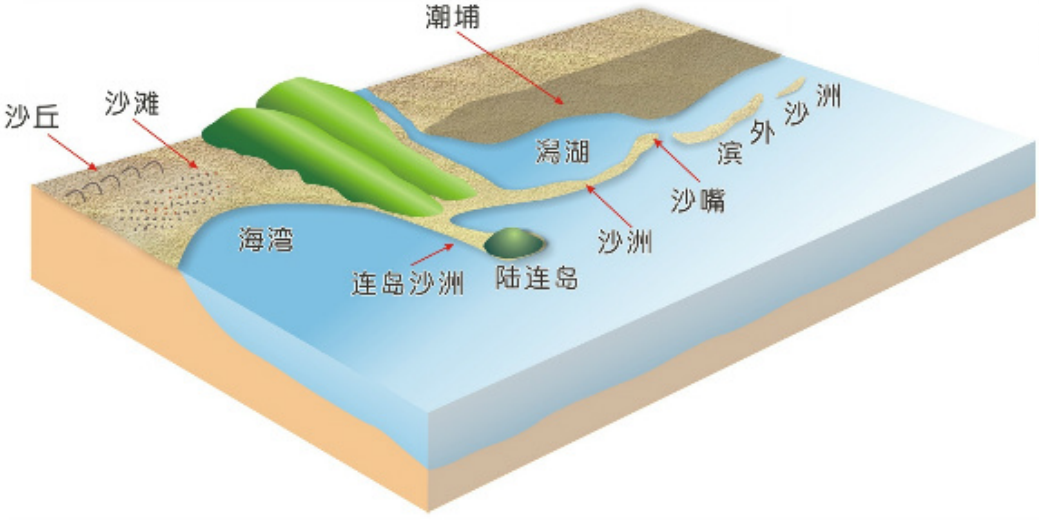


图6.21
海积地形示意图

照6.19（左上）
连接Pulau Mawar的沙洲

照6.20（左下）
Sisek河口沙嘴

图6.22（右）
Pulau Mawar沿海卫星影像图

1. 海滩（beach）

河流带来的沉积物，或沿岸侵蚀的物质，被波浪及海流带至海岸沉积下来，即形成海滩。海滩依组成颗粒的大小，可分为砾滩、沙滩与泥滩。我国东海岸大部分为沙滩。

2. 潮埔（tidal flat）

位于高、低潮线之间的平坦沙滩或泥滩，称为潮埔，涨潮时被海水淹没，退潮时露出海面。潮埔含有许多营养物质，孕育丰富的生物族群，如柔佛的龟咯（Kukup）或霹雳十八丁（Sepetang）。

3. 沙洲（sand bar）

在海岸地区堆积露出水面的沙堤，称为沙洲（照6.19）。沙洲如果形成于海滨外侧，未与陆地相连，称为滨外沙洲。连接岛屿与陆地的沙洲称为连岛沙洲，藉由连岛沙洲与陆地相连的岛屿称为陆连岛（图6.22）。由湾口或河口的一端伸向海面的泥沙堆积，称为沙嘴（照6.20）。

4. 沙丘(sand dune)

波浪将细沙或砂砾推上海滩或沙洲上堆积后，再受到海风吹拂影响，有时会在海滩后方，或沙洲上堆积成沙丘地形。

5. 潟湖（lagoon）

滨外沙洲与海岸围成的半封闭浅海水域，即为潟湖，其仅藉由沙洲之间的缺口与外海相通。

个案：海岸地形与人类活动：柔佛州金海湾

我国政府在2006年11月推出伊斯干达开发区（Iskandar Development Region，简称IDR）是我国目前着力打造的境内最庞大发展计划。新山作为柔佛州的首府，是伊斯干达经济特区的重要发展城市。这里陆海空交通方便，隔着柔佛海峡与新加坡相望，到新加坡樟宜国际机场仅55分钟的车程，发展潜力不容忽视。新山沿海占尽地利优势，因此成为发展房地产新区，各项发展计划均涉及填海，包括集中在金海湾、新山丽都海岸沿岸，以及地不佬河口部分地区，填土面积达1,700公顷，完成后将使新山成为大马和本区域一个具有愿景的现代化滨海城市，届时，整个新山的面貌将完全改变（图6.23、照6.21、6.22、6.23）。

图6.23
新山海岸的填海地

照6.21（左）
发展前的丽都海边景观

照6.22（中）
发展中的高楼景观

照6.23（右）
新山沿海的填海工程（2014年11月摄）

学生活动

我国海岸线绵长，有极为丰富的海岸景观，是大自然赐予的珍宝。
以下有4段文句，分别是对4处海岸景观的描述。请完成下列各项：

1. 依据文字描述选择适合的海景照片加以配对。
   a. 险峻壮阔的石灰岩峭壁，草木夹于之间，垂直落入海面，若搭乘小船仰望其崖，令人赞叹。
   b. 架屋于沼泽地，家户赖以为生的渔船停泊在河口边，刻划出恬静渔村的生活样貌。
   c. 蓊郁的红树林于潮间带茁壮、盘据河口，泥滩地上的有机质与生物交织出独有的生态体系。

d. 绵延无际的海岸上，人们吹着海风，赤脚走过细软的沙滩而留下的脚印，被海浪不停冲刷。

2. 请同学发表这些海岸景观在我国的哪里可以看到？
3. 你最想到哪一景点旅游？为什么？

（浮罗交怡）
与哪段文句配对？
位在我国哪一州？

（十八丁聚落）
与哪段文句配对？
位在我国哪一州？

（巴生五条港的红树林）
与哪段文句配对？
位在我国哪一州？

（迪沙鲁）
与哪段文句配对？
位在我国哪一州？

风成地形

风对地表松散物质的侵蚀、搬运及堆积的过程，称为风力作用。风力作用可分为风蚀作用及风积作用。风成地形主要分布在昼夜温差大、物理风化作用强、缺乏水分及植被的干燥地区。此外，半干旱地区、大陆冰河外缘，以及沙质海岸、湖岸和河岸，也因风力作用形成风成地形。

（一）风蚀作用及风蚀地形

风蚀作用分为吹蚀作用及磨蚀作用。风能吹走细小的沙尘，风大时能将沙尘吹远，称为吹蚀作用。常见的风蚀地形有砾漠、岩漠及风蚀洼地（表6.6）。

表6.6　风力吹蚀作用的地形及其成因

地形名称	形成原因
砾漠	砾漠是地表岩石因风化后成大小不一的岩屑，风把细小的岩屑带走，留下较大的岩石，如埃及南部的撒哈拉沙漠及中国的准噶尔盆地砾漠（照6.24）。
岩漠	砾漠又再持续被风化及搬运，留下光秃秃的底岩，就会形成岩漠，如中国新疆的五彩湾（照6.25）。
风蚀洼地	风吹蚀松散物质的地面，形成宽广而不明显的洼地（图6.24）。

照6.24　准噶尔盆地的砾漠

照6.25　中国新疆五彩湾的岩漠

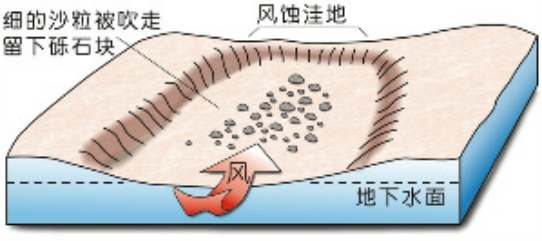


图6.24　风蚀洼地的形成

风捲起地面的沙粒磨蚀岩石表面，称为磨蚀作用。常见的磨蚀地形有风棱石、菌状石、蜂窝石及方山（表6.7）。

表6.7　风力磨蚀作用的地形及其成因

地形名称	形成原因
菌状石	若沙漠中的岩块呈水平节理，特别是下部的岩层较软，长期受磨蚀作用下，容易形成顶部大，底部小的岩石，如台湾野柳地质公园女王头（照6.26）。
蜂窝石	若岩块软硬不一，较软的部分长期被风沙磨蚀，形成凹凸不均的岩块（照6.27）。
方山	广大面积的岩层，经长期磨蚀地表后，形成残存的小台地，如澳洲的艾利斯岩(Ayers Rock)（照6.28）。

照6.26　台湾野柳地质公园的女王头（菌状石）

照6.27　蜂窝石

照6.28　澳洲的艾利斯岩

表6.8 风积地形及其成因

地形名称	形成原因
沙丘	风沙遇到阻碍物后堆积成的小丘（图6.25）。
沙质沙漠	沙丘遍布的沙漠，形成了变化复杂多变的沙质沙漠，如中国新疆的塔克拉玛干沙漠（照6.29）。
黄土	风将颗粒比沙更小的黄土堆积在下风处，逐渐堆积成厚层的黄土。例如：中国的黄土高原（照6.30），其特征为无明显层理、质地松散、透水性强等，极易受流水侵蚀，故堆积物面上常形成千沟万壑。

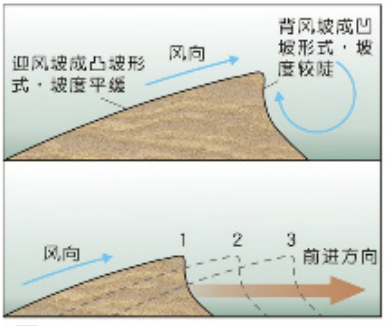


图6.25 沙丘和沙丘的移动

照6.29 中国新疆的塔克拉玛干沙漠

照6.30 中国的黄土高原（陕西龙州乡）

（二）风积作用及风积地形

风能将地表的松散物质搬运到别处。当风力减弱或遇到障碍物时，松散物质便会堆积下来，颗粒较大的沙粒先堆积，颗粒小的物质后堆积，形成各类的风积地形。常见的风积地形有沙丘、沙质沙漠及黄土高原（表6.8）。

（三）风成地形与人类活动

干旱地区约占地球陆地总面积的三分之一。这些地区沙漠广布，气候干燥，环境恶劣限制了人类的经济活动及生活，成为人烟稀少的地区。沙漠的扩张会掩盖绿洲和沙漠边缘的农田，导致土地出现荒漠化。

照6.31
植物固沙（中国宁夏沙坡头）

治理沙漠是人类减缓沙漠化的一个重要工作。治沙的关键是削弱风沙的强度和固定沙丘，一般采用植物固沙（照6.31）、工程防沙和引水拉沙等措施。

1. 植物固沙：植物固沙是控制和固定流沙最根本且经济的措施。荒地造林和更新造

学生活动

分布在中国华北地区的黄土高原，为全世界最大的黄土分布区。其上沟壑遍布，但因富含矿物盐类，若有水源灌溉，则利于农业发展，如渭河盆地农业即相当发达。在这样的环境下，此区发展出当地特有的农耕及民居形式（照片6.32）。

请问：

1. 照片中因应当地环境所发展出来的传统民居，其名称是什么？
2. 此种民居之所以能在该区域存在，除了气候因素外，与黄土具有的特性密不可分。以下有关黄土的叙述，那些与该种民居的修筑有密切的关系？（请在□中打V）
   □颗粒细小 □棱角分明 □无明显层里 □质地疏松 □透水性强 □垂直壁立性

林，不仅能防止风沙危害，而且还能为该区生产木材等作物。例如：中国在内陆的沙漠地区大批植树造林，使沙漠化土地从2009年的173.11万平方公里减少到2014年的172.12万平方公里，净减少9,902平方公里；内蒙古也大量种植牧草，兼顾固沙及经济效益。

2．工程防沙：工程防沙是利用杂草、树枝以及其他材料，在流沙上设风障或覆盖沙面，以减低风速，使沙地与风的作用隔绝，以削弱风沙流的活动。

3．引水拉沙：引水拉沙是利用河流、湖泊和水库的水源，开渠把水引进沙漠，借助于水力将流动的沙丘冲开、拉散和摊平，使之变成平坦而湿润的沙地，为农、林、牧的综合利用创造条件。

图6.26
喀斯特高原的位置

第三节 岩溶、火山、冰河地形

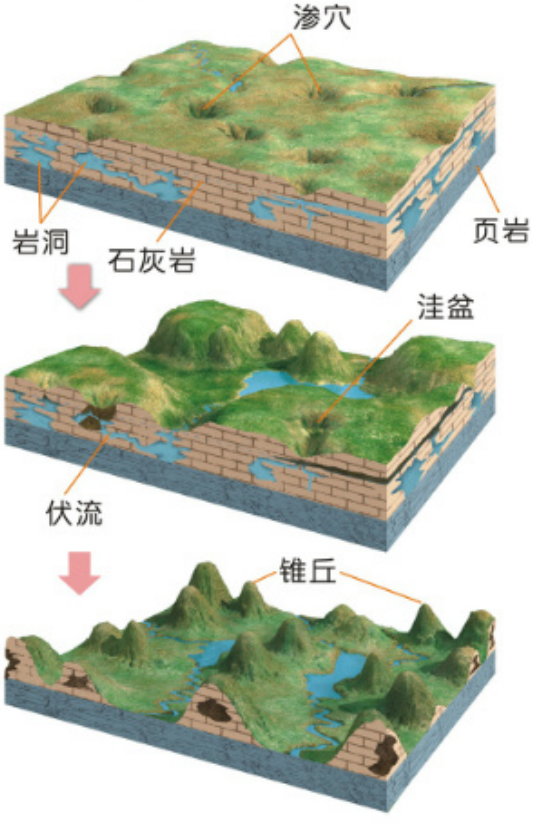
岩溶地形

在石灰岩、石膏、岩盐等可溶性岩层分布的地区，常因溶蚀作用而形成特殊地形，称为岩溶地形。由于石灰岩岩层在全球分布较广，岩体一般较大，为岩溶地形中最常见。岩溶地形又称为喀斯特地形（karst），其名称来自于南斯拉夫学者对斯洛维尼亚喀斯特高原（图6.26）的地形进行系统性研究而得名。喀斯特地形意味着土壤贫瘠、地表水源缺乏，农业环境恶劣。

（一）溶蚀作用

雨水和河水吸收空气中的二氧化碳形成碳酸，将石灰岩中的碳酸钙溶解带走的过程，称为溶蚀作用。湿润的气候环境和节理发达的石灰岩层，较有利于溶蚀作用的进行。溶解后的石灰岩溶液，若水分和二氧化碳蒸发，碳酸钙会开始沉淀，形成堆积地形。

图6.27
石灰岩地形的连续演育过程



除了岩层性质外，影响溶蚀作用强弱的关键因素是气候。在气候湿润、降水量大、地表径流相对稳定、流水下渗作用连续且雨量充足的地区，溶蚀作用强烈。此外，岩石裂隙越大、透水性越强、溶蚀出来的地下洞穴越大、地下通道越多，则岩溶地形发育越完整。

（二）地表的岩溶地形

常见的地表岩溶地形（图6.27）包括：

a. **溶沟**（lapies）：地表水根据岩石的节理面或裂隙面不断溶蚀成长条形的沟槽。

b. **渗穴**（sink hole）：裂隙因溶蚀扩大成直筒状或成漏斗状，称为渗穴。

c. **洼盆**（uvala）：溶蚀作用持续进行，造成渗穴、岩沟等地形相互并连，形成底部较为平坦的盆地形态，称为洼盆或溶蚀盆地，如坝子。

d. **锥丘**（cockpit）：溶蚀盆地边缘残留耸立的锥状岩体，称为锥丘。

e. **残丘**（hum）：锥丘经长时间风化侵蚀变低矮圆滑，基地不相连形成孤立的残丘。在中国的广西与贵州，如漓江两岸的桂林有许多锥丘与残丘地形，景色别致优美，故有“桂林山水甲天下”之称。

f. **伏流**（subsurface flow）：地面河与渗穴相连而转入地下成为地下河，称为伏流。

g. **石灰华阶地**（travertine terrace）：地表水或伏流挟带溶解的石灰质，在地面或洞穴中遇洼地积水成池，池水向外溢在池缘沉淀增高的碳酸钙结晶称为缘石。众多缘石呈阶梯状分布，称为石灰华阶地。

h. **岩溶湖**（karst lake-basin）：石灰岩岩层经溶蚀后，于地表形成锥形或漏斗形封闭凹坑，溶蚀作用愈强，凹坑就愈大，坑内逐渐积水、储水，形成岩溶湖。

（三）洞穴的岩溶地形

常见的地下岩溶地形（图6.28）包括：

a. **溶洞**（karst cave）：溶洞是地下水沿可溶性岩石的裂隙溶蚀扩张而成，大小不一，如我国姆鲁山国家公园（Gunung Mulu National Park）的鹿洞（Deer Cave），可容纳近40台波音747客机，洞内有许多奇特的景观，主要是受堆积作用而成。

b. **钟乳石**（stalactitum）：当溶解碳酸钙的地下水自洞顶滴落时，水分蒸发，还原的碳酸钙自洞顶向下而成的石体。

c. **石笋**（stalagmite）：岩溶水滴滴落到洞底并不断沉积向上伸展形成石笋。

d. **石柱**（stalagnate）：一般石笋与钟乳石是相对生长，逐渐连接成一体，形成石柱。

图6.28 石柱、石笋、钟乳石

（四）岩溶地形与人类活动的关系

石灰岩地形的地表虽然崎岖不平，土壤贫瘠，不利农耕，但很多洞穴可追溯到石器时代，是远古人类的栖身之所，里面保留了古人类的壁画、用具和生活遗迹，是很重要的历史资源，如尼亚国家公园。此外洞穴中有着样式独特、错综复杂的钟乳石和石笋群，更成为吸引游客参观的观光资源。

我国的岩溶地形主要有砂拉越州美里的尼亚国家公园、姆鲁国家公园，霹雳州的极乐洞、霹雳洞、椰壳洞及雪兰莪州的黑风洞等等。霹雳州的怡保因山明水秀，四面被石灰岩山体所包围故有“山城”或“小桂林”之称，是我国重要的旅游观光景点。石灰岩洞穴内生态资源丰富，有成千上万的蝙蝠、猴子、蛇等稀有动物及植物，为我国物种资源保育的重要基地。也有洞穴环境清幽，发展成宗教圣地，如黑风洞是印度教的朝拜圣地。

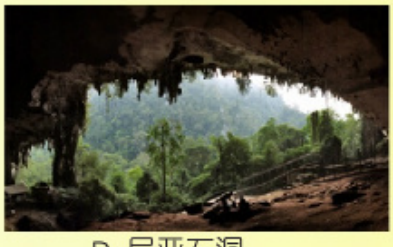
学生活动

马来西亚的石灰岩地形丰富，景色优美引人入胜，较著名的景点有：椰壳洞、姆鲁石林、黑风洞、尼亚石洞等。

1. 请将它们的照片，根据其所在的位置，用笔画线连到马来西亚地图中所对应的地点。
2. 你曾经去过或听过哪一个景点呢？分享一下你所知道的岩溶地形。

A. 椰壳洞

B. 姆鲁石林



D. 尼亚石洞

C. 黑风洞

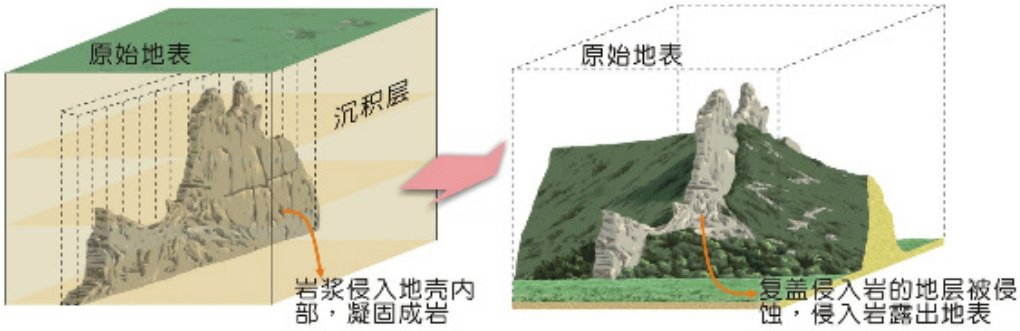


图6.29
美国科罗拉多州的侵入岩及其形成过程

表6.9
稳静式与猛烈式喷发火山的特性

岩浆喷发类型	稳静式	猛烈式
火山外型	盾状火山	锥状火山
熔岩性质	基性	酸性
主要成分	铁、镁	二氧化硅
岩浆特性	比较稀释，含气体少，流动速度快，流动范围广	比较粘稠，含气体多，流动速度慢，流动范围小
例子	夏威夷冒纳罗亚火山	菲律宾马荣火山

火山地形

（一）火山的类型

火山有二类，一种是岩浆侵入岩层使地层隆起，并在地壳内部凝固成岩石，待上方覆盖的地层被侵蚀殆尽后，才露出地表，如美国科罗拉多州的侵入岩（图6.29）。

另一种是岩浆喷发流出地表，形成地表上的火山。其喷发的形式有稳静式和猛烈式二种，两者喷发的物质和特性各不相同（表6.9）。

照6.33（上）
稳静式喷发

照6.34（下）
猛烈式喷发

（二）稳静式喷发形成的火山地形

喷出熔岩为基性熔岩，粘度小而流动性大，气体容易散逸，所以没有爆裂现象（照6.33）。这种喷发溢出的熔岩流动快速，往往造成大面积的熔岩覆盖，形成平坦的熔岩台地或熔岩高原。有些熔岩高原规模庞大，例如：美国西北部哥伦比亚高原的覆盖面积达25万平方公里，厚度达1,000－1,300公尺。稳静式喷发的火山危险性较低，人们较容易接近，故又被形容为“可以开车一游的火山”。

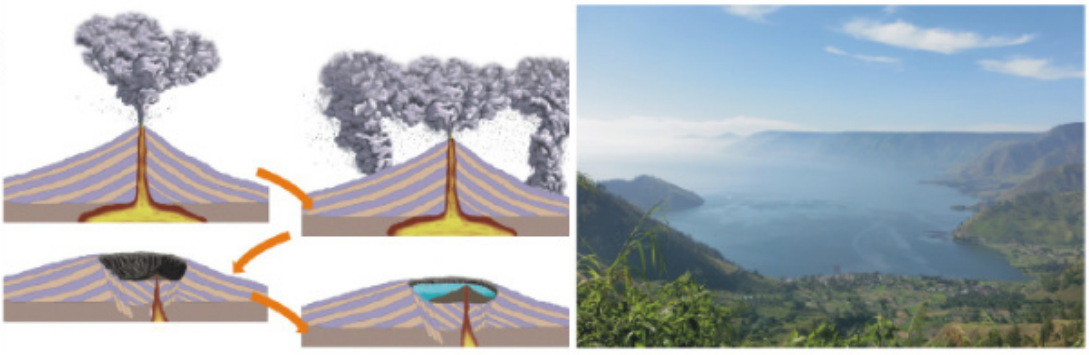


图6.30
苏门答腊的多峇湖（右）及其形成过程（左）

（三）猛烈式喷发形成的火山地形

喷出熔岩为酸性熔岩，粘度大而流动速度慢，气体不容易散逸，积聚过多气体所产生的压力，常造成猛裂喷发（照6.34）。喷发时，喷发口四周的岩石被爆破抛出，熔岩和大小岩石碎屑物堆积成锥状火山，如菲律宾马荣火山。喷发后，火山锥顶上凹陷成为火山口，火山口若积水则成火口湖，例如：印尼苏门答腊的多峇湖（Lake Toba），为世界最大的火口湖（图6.30）。

（四）火山地形与人类活动

火山爆发有时危害很大，喷出的火山碎屑物和熔岩常埋没农田、城市，并引发海啸、火灾等。然而，火山也常为人类带来多样的资源（照6.35），例如：火山灰化育的肥沃土壤，为农业发展提供良好条件；地热为高纬地区的人们提供暖气及温室环境；火山活动后期所产生的温泉，在世界各地都是重要的观光资源；喷气孔的气体若含有硫化物，还可采集硫磺；海底火山喷发露出水面形成火山岛，成为新的陆地；此外火山熔岩流入海里遇冷凝固，也可形成新的陆地，扩大了原有的陆地面积。

照6.35
丰富的火山资源

学生活动

火山的喷发形式不同，形成的火山地形也具有不一样的外貌。

照6.36、6.37、6.38三张照片为各地著名的火山照片，请同学仔细观察其形态，并回答下列问题：

1. 这三张照片中的火山，皆属于哪一种喷发类型的火山？
2. 照片中的哪些线索可以作为你判断火山喷发类型的依据？
3. 这些火山喷发后，可能会为附近地区带来哪些资源呢？

照6.36 印尼爪哇岛默拉皮火山

照6.37 日本富士山

照6.38 坦桑尼亚乞力马扎罗山

冰河地形

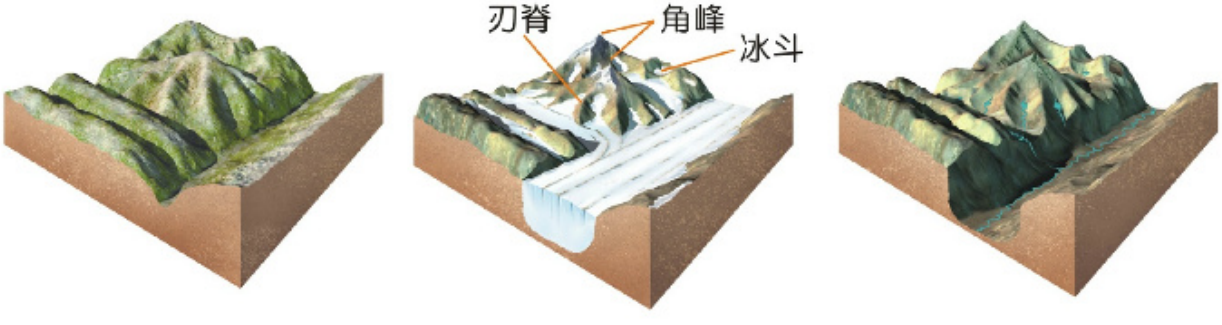
冰河占陆地面积大约10%的范围，大陆冰河主要分布在南极大陆和格陵兰岛，山岳冰河分布的纬度则较广，主要在中低纬度的高山和高原区。冰河是塑造地表一股很强大的力量，冰河流经地区，由于受到冰河的侵蚀、搬运和堆积作用，以及冰河消退后，形成一系列独特的地貌（图6.31），称为冰河地形。

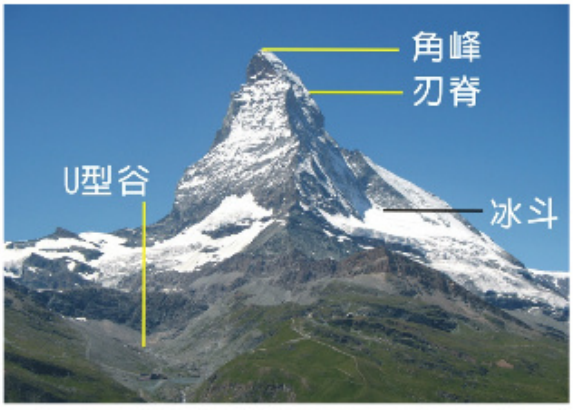
（一）冰蚀地形

冰河移动时，冰河床上因节理发育而松动的岩块和冰冻结在一起，冰河向前移动时即把岩块带走，称为拔蚀或掘蚀作用；位在底部突出的石块犹如锉刀一样锋利，不断锉磨冰河床，称为磨蚀或刨蚀作用。常见的冰蚀地形有：

a. **冰斗（cirque）**：冰河源头的弧形洼地，形成于雪线附近，呈半圆形，三面均以陡峭岩壁。冰河消退后，往往积水成湖，

图6.31
冰河前进与消融后所造成的景观





照6.39
马特洪峰

称为冰斗湖（照6.39）。

b. **刃脊**（arete）：随着冰斗的不断扩大，斗壁后退，相邻的冰斗间的岭脊渐渐变成刀刃状山脊，称为刃脊，也叫冰蚀脊（照6.39）。

c. **角峰**（horn）：几个冰斗所挟峙的山峰变成金字塔状的角峰，也叫冰蚀峰，如瑞士的马特洪峰。

d. **U型谷**：冰斗内的冰河向下移动时，强烈的侵蚀作用将山谷刻蚀成谷壁陡峭，谷地平缓且宽广的U型谷（照6.40）。

e. **悬谷**（hanging valley）：支流冰河流入主流处，因支流冰河侵蚀力弱，所以支流冰河床高于主流冰河床，感觉像支流悬挂在山上，在冰河消退后常形成瀑布。

f. **峡湾**（fjord）：伸展至海边的U型谷，在冰河消退后，海平面上升，海水入侵，形成曲折、深窄、壁陡的峡湾。挪威是世界上峡湾最多的国家，海岸曲折绵长（照6.41）。

g. **冰蚀湖**（glacial lake）：冰河在地表侵蚀出来的洼地，等冰河消退后，积水成湖，如北美的五大湖。

照6.40（左）
U型谷

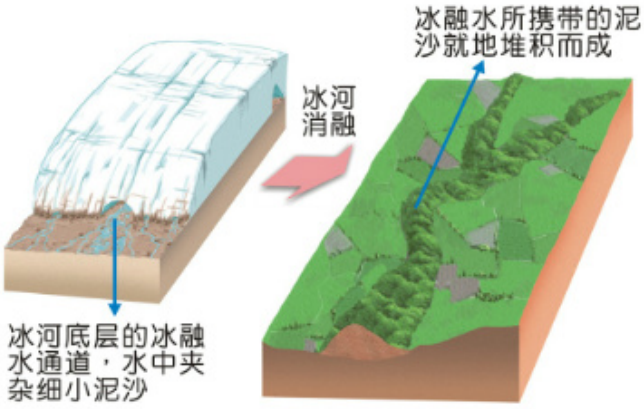
照6.41（右）
峡湾

(二)冰积地形

冰河中挟带的土石岩块称为冰碛，在前端堆积的为端冰碛，侧缘堆积的为侧冰碛。随着冰河的流动，冰碛可能被搬运到很远的地方。当冰河消融后，冰碛物就地堆积成各种形状的冰碛丘。

a. **冰碛平原**：原本被冰河覆盖的地区，在冰河消退后，布满冰碛、冰碛丘及积水的洼地，称为冰碛平原。

b. **鼓丘**：鼓丘又称为鲸背山，分布在端碛附近，是后期冰河扩张将前期的冰碛丘推挤而成流线型的小丘（照6.42）。迎冰面陡，背冰面平缓，多成群出现。



照6.42（左）
鼓丘

图6.32（右）
蛇丘

c. **外洗扇、外洗平原：**由于冰河冰融化后，冰水夹带大量堆积物，流到冰河前端外缘，搬运物重新淘选，沿途沉积而成的广大平原。

d. **蛇状丘：**冰河底部的弯曲河道，融水夹带岩屑沿路堆积，冰河体消融后便会残留下如蛇一般的堆积构造（图6.32）。

1. 冰蚀地形的影响

冰河地形多分布在纬度高的地区，地面土层很薄，对植物的生长不利，但冰蚀湖却有利于水上航运的发展，如北美洲的五大湖区是美国和加拿大两国沿岸许多城市的交通枢纽。

山地冰河的冰斗湖、U型谷中的冰蚀湖等，由于地势崎岖，水位落差大，可发展水力发电，如阿尔卑斯山的一些水电站，此外，水库周围环境优美，也适合发展旅游业。高纬地区的峡湾因湾宽水深，是建立重要港口和城市的理想位置，如挪威首都奥斯陆（Oslo）。

2. 冰积地形的影响

第四纪冰河时期冰河的冰积地貌面积大，分布广，如横跨西欧至东欧广大地区的冰碛地貌，因此欧洲大平原北部是由各种冰碛丘陵及冰碛平原所组成，堆积物以沙砾为主，透水性强，土地肥沃度差。冰河外洗平原上的风化物，经风力搬运到他处堆积后，成为利于发展农业的肥沃黄土，如德国、波兰中部的黄土台地。

冰河地形不仅表现出大自然的鬼斧神工，成为重要地形资源，人类也可从各种冰河地形的分布，推论冰河移动的状况，作为了解古气候变迁的基础。

学生活动

冰河地形为中高纬度地区重要的地形景观，对人类活动也产生深刻的影响。

右图为冰河地形示意图，请观察图中甲—葵代号的位置，根据其形态判别所属类型，并完成下表。

代号	地形名称	冰蚀或冰积	代号	地形名称	冰蚀或冰积
甲			己		
乙			庚		
丙			辛		
丁			壬		
戊			癸		

第四节　地形与人类的活动

人类在各类地形环境中，选择适合的位置建立住所、从事生产、开展交通等活动营造生活空间。人们因应地形，也改变地形，当人口开始增加，活动也密集后，会因开发不当而造成各类的地形灾害。

土地利用

不同的地形提供给人类活动的自然条件有着很大的差异，例如：大河流的冲积平原和三角洲地势平坦、水源充足、土壤肥沃以及交通便利，常成为人类优先选择的生产与生活地区；高山、高寒、干旱的地区则人烟稀少。

在我国，地势低平的平原，除了人口集中成为城市外，由于

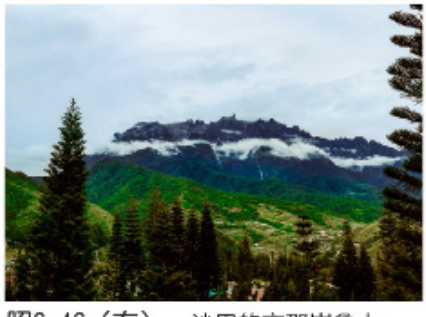
照6.43（左）冲积平原适宜农业发展（吉打平原）

照6.44（中）金马伦高原的蔬菜栽培

照6.45（右）在沿海潮间带生活的渔民将房子架高以适应潮汐的变化。（巴生五条港）

易于灌溉，也成为稻作农业的分布地区（照6.43）。在地势和缓排水良好的丘陵地，适合种植一些经济作物如橡胶、油棕等。高山地区虽然地势陡峭、平地狭小，但舒适凉爽的气候却使当地成为蔬菜（照6.44）、茶叶的重要产区，同时也发展为避暑胜地。至于沿岸红树林遍布的潮间带，由于风平浪静，出海方便，成为渔业聚落的分布所在（照6.45）。

人类与地形的关系，并非仅限于具体的生活层面。高大的山峰让人心生敬畏，常成为精神文化的象征，例如：京那峇鲁山是卡达山－杜顺族的神山（照6.46），富士山也被日本人尊为圣山。富于形态变化的各种小地形，如峡谷、瀑布的河流地形；沙滩、海蚀拱桥的海岸地形；钟乳石、溶洞的岩溶地形；角峰、峡湾的冰河地形等，在现代社会都已成为重要的观光资源。



照6.46（右）　沙巴的京那峇鲁山

学生活动

我国地形景观丰富，试从以下四张照片判断它们所属的地形环境以及人们如何因地制宜的从事适合的经济活动。

照片		
最可能位处的地形环境		
人类活动		
列举有此景观的地方		

照片		
最可能位处的地形环境		
人类活动		
列举有此景观的地方		

地形变迁

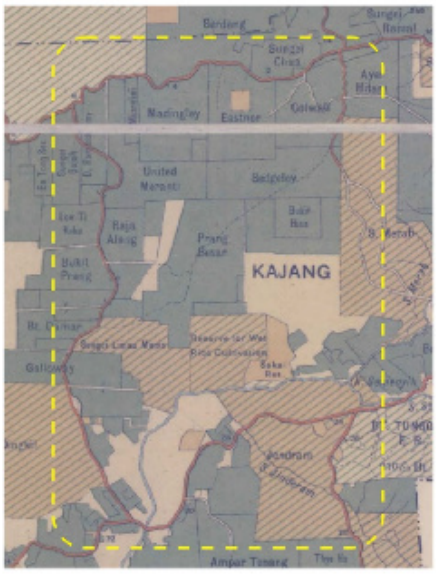
地形变迁原为自然作用的结果，各种内、外营力在长时间的作用下，造成范围大小、速度快慢不一的地形变迁。但20世纪以来，由于人口急剧增长，加上技术进步，人类改造并利用自然环境的能力日益提高，人类活动已成为地形变迁的重要营力。以下就我国两个个案来探讨都市发展与海岸开发对地形变迁的影响。

个案：布城联邦直辖区的开发

照6.47
布城现代化的街道及政府办公大楼

布特拉再也（Putrajaya，简称布城）是以我国国父东姑阿都拉曼的名字命名的行政中心（东姑也被尊称为Putra）。布城于1999年所建立，主要目的是将分散于吉隆坡各地的首要政府机关集中，以解决吉隆坡市中心过度拥挤的问题和提高机关行政效率。2001年，布城继吉隆坡、纳闽之后，正式成为马来西亚第三个联邦直辖区（照6.47）。

布城位于吉隆坡南方20公里处，冷岳河（Sungai Langat）北岸的缓坡丘陵区，原为一片原始森林。到了19世纪，冷岳河中下游一带出现开采锡矿的经济活动，改变了当地的原始面貌，使



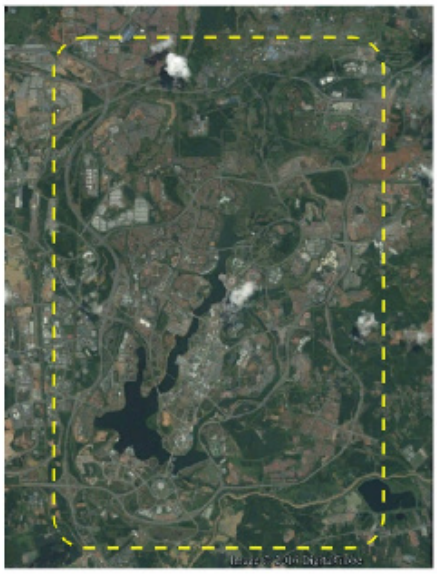


图6.33（左）
1929年布城的土地利用

图6.34（右）
现今布城的土地利用

当地留下矿湖处处的景观。到了20世纪初，随着当地矿源枯竭以及热带栽培业的发展。这里逐渐转变为种植橡胶等作物的大园丘。在1929年，这里至少出现9家种植公司，如United Meranti、Eastnor、Prang Besar、Raja Alang等。这样的土地利用模式已在当地维持超过了50年（图6.33、图6.34）。

到了1980年代，政府打造新行政中心的构想出现之后，联邦政府开始与雪州政府交涉购地。取得土地之后，经过近6年的规划建设，现在的布城已是结合政府机关、住宅区、商业区、文化、休闲设施和完善交通设施的现代化新兴城市，也成为马来西亚新的旅游景点。这个“智能型花园城市”至少三分之一的地区仍然保留着大自然的翠绿景色，有林园、湖泊及湿地。

个案：边佳兰的海岸开发

边佳兰（Pengerang）位于柔佛东南部，柔佛河出海口左岸一带，以西和新加坡东部隔海相望，以南则为印尼巴淡岛及民丹岛，当地自古以来便是海上交通的重要地标。由于陆路交通不发达，当地居民长期以来自成一体，水路上与新加坡的关系也较新山来得紧密。经济活动上，当地居民以近海渔业、小园丘、生产峇拉煎和养殖小龙虾为生。

2010年起，我国政府开始鼓励民营企业投入石化产业，并将本区规划为石油与化学发展综合中心。为了开发石化工业区，

图6.35
边佳兰的土地开发(2016年)

政府将原来的农地、墓地、庙宇、村屋等加以征收并推平，在海岸进行填海工程，建造深水码头以接收原料，影响范围包括边佳兰、头湾、二湾、新湾、大湾、三湾等聚落（照6.48、6.49）。

石化工业区的开发改变了边佳兰原来的景观及生态环境，影响了当地居民原有的居住条件、产业及生计，部分聚落甚至被迫搬迁，引发许多社会争议。

照6.48（左）
边佳兰的储油槽(2014年摄)

照6.49（右）
头湾渔民的小码头及岸外进行中的深水港工程(2012年摄)

地质灾害

对人类而言地形是资源，但是如果对土地进行不当的利用或改造，则可能造成地质灾害。地质灾害是指在自然因素或人为活动的作用下形成的，对人类生产、环境造成破坏和损失的地质现象，灾害类型汇整如下表。

灾害类型	崩塌、土崩	滑坡	土石流（泥石流）	地面塌陷、沉降
定义	是指较陡的斜坡上的岩石在重力作用下突然脱离母体崩塌、滚动堆积到山脚下的地质现象。	是指在斜坡上的岩体由于某种原因在重力作用下沿着一定的软弱面整体向下滑动的现象。	因降水而形成的一种夹带大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流。	是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下向下陷落，并在地面形成塌陷的现象。
照片				
地点	台湾太鲁阁	台湾阿里山	中国深圳	吉隆坡市中心
个案	台湾属于新褶曲山地，地质环境脆弱。在一些地势陡峭的山区，连续大雨之后容易发生崩塌。若山体有足够的植被保护，则能降低崩塌发生的风险。	发生滑坡的山体多为顺向坡的节理，因此在大雨或因地震使岩石层理结构遭到破坏时，便容易发生滑坡。照片中的山体滑坡后，滑落的山体已重新长出植被。	广东深圳市的一处工业区于2015年12月发生土石流，坍方面积逾10万平方公尺，造成多处房屋被滚滚土石淹没，多人失踪。事件是由于附近的废土场过度堆填所导致。	2014年7月2日，吉隆坡时代广场前的道路发生地陷。事件的发生与隧道建设工程有关。地陷之后，政府封锁道路以进行修复，因而也造成市区出现严重的交通阻塞问题。

练习题

选择题

1 划分地球内部各圈层的方法，主要是依据下列何者？

A. 岩浆温度的高低　　B. 重力测量的结果

C. 岩石的化学成分　　D. 地震波传播的状况

2 根据右图“地震波速度示意图”，可以得到下列哪些推论？

Ⅰ 地震波②可以通过液体

Ⅱ 地震波①的传播速度最快

Ⅲ 地震波①比地震波②的速度慢

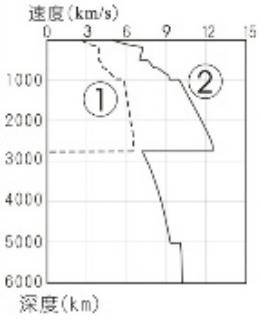
Ⅳ 地震波②会让身在震中的人们感到上下颠簸

A. Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

B. Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ

C. Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

D. Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ



3 地震发生的原因，主要是下列何者？

A. 太阳、月球两个星体运行对地球所产生的引力作用。

B. 大型建筑在建造时，周边防护不当，造成地层下陷。

C. 地下岩层发生断裂，释放巨大能量波及周围的岩层。

D. 地表岩层下滑力，超过磨擦力而向下快速崩落所致。

4 火山分布的地点，通常具有下列哪项特色？

A. 地壳比较薄弱的地方　　B. 地处中高纬度的地方

C. 海拔千米以上的地方　　D. 远离板块交界的地方

5 马来西亚全年高温多雨，因此下列哪一种风化作用比温带地区国家要来的明显？

A. 物理风化　　B. 化学风化　　C. 生物风化　　D. 机械风化

6 主要受到外力作用而形成的地形，包括下列何者？

A. 红海　　B. 日本群岛　　C. 北美五大湖　　D. 喜马拉雅山脉

7 以下是地表石灰岩地形发育的不同时期，根据顺序排列正确的是何者？

① 锥丘期　　② 渗穴期　　③ 残丘期　　④ 洼盆

A. ①②③④　　B. ①③④②　　C. ②④①③　　D. ④②①③

8 石灰岩地形发育的地区必须具备的条件是：

Ⅰ 干旱气候区　　Ⅱ 裂隙发育的岩层

Ⅲ 纬度较高的山地区　　Ⅳ 含有石灰质的岩层

A. Ⅰ、Ⅱ　　B. Ⅰ、Ⅲ　　C. Ⅱ、Ⅳ　　D. Ⅲ、Ⅳ

9 “岩洞中有古时原始人留下的壁画，岩壁上燕子集居，留下了很多的燕窝。采集燕窝成为当地住民重要的经济来源。”以上的叙述说明的是我国的：

A. 椰壳洞　B. 黑风洞　C. 尼亚石洞　D. 姆鲁国家公园

10 右图中所显示的景观可能出现在：

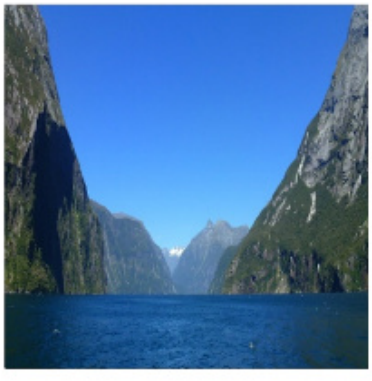
A. 黑森林
B. 中国桂林
C. 东非大裂谷
D. 喜马拉雅山脉

11 以下哪些是属于溶蚀作用形成的地表景观？

Ⅰ 石柱　Ⅱ 孤峰　Ⅲ 钟乳石　Ⅳ 石灰华阶地

A. Ⅰ、Ⅱ　B. Ⅰ、Ⅲ　C. Ⅱ、Ⅳ　D. Ⅲ、Ⅳ

12 根据右图中的景观，有可能出现在哪个国家？



Ⅰ 挪威
Ⅱ 南非
Ⅲ 日本
Ⅳ 纽西兰

A. Ⅰ、Ⅱ
B. Ⅰ、Ⅳ
C. Ⅱ、Ⅲ
D. Ⅲ、Ⅳ

13 冰河作用形成的地形景观包括：

Ⅰ 刃脊　Ⅱ 沙丘　Ⅲ 鼓丘　Ⅳ 峡谷

A. Ⅰ、Ⅱ　B. Ⅰ、Ⅲ　C. Ⅱ、Ⅳ　D. Ⅲ、Ⅳ

14 以下哪些是冰河作用造成的代表性景观？

Ⅰ 马特洪峰　Ⅱ 北美五大湖　Ⅲ 乞力马扎罗山　Ⅳ 台湾清水断崖

A. Ⅰ、Ⅱ　B. Ⅰ、Ⅲ　C. Ⅱ、Ⅳ　D. Ⅲ、Ⅳ

15 有关下图中地形的叙述哪些是正确的？

Ⅰ 该地形是蛇丘　　Ⅱ 由冰河夹带的沙粒组成
Ⅲ 迎冰面陡，背冰面平缓　　Ⅳ 因冰河堆积作用而形成
A. Ⅰ、Ⅱ　　B. Ⅰ、Ⅲ　　C. Ⅱ、Ⅳ　　D. Ⅲ、Ⅳ

16 以下有关冰河地形与人类的关系哪些是对的？
Ⅰ 规模庞大的冰斗湖可发展航运业
Ⅱ 冰碛平原土地肥沃是重要的农耕地区
Ⅲ 冰河上游水量丰富的地区可发展水力发电
Ⅳ 冰河的前进及消融反映了大规模的气候变迁
A. Ⅰ、Ⅱ　　B. Ⅰ、Ⅲ　　C. Ⅱ、Ⅳ　　D. Ⅲ、Ⅳ

第 柒 章

矿物、岩石与土壤

第一节　矿物

第二节　岩石

第三节　土壤

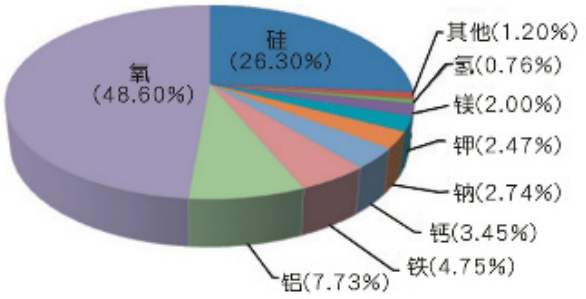
第一节 矿物

什么是矿物

矿物是天然生产的无机固体，由单一或多种元素的原子规则排列所构成，具有一定的化学和物理性质。由原子规则排列所构成的固体，又称晶体。简言之，矿物是天然的无机晶体，在地球表面或内部天然地形成，其形成过程不受人为影响。

矿物是构成岩石的物质基础。它在地球上的分布十分广泛，几乎到处可以见到，例如：我们吃的盐，做铅笔芯用的石墨，制玻璃用的石英，炼铁用的铁矿石等，都是矿物。地球上迄今已经发现了大约4,000种不同的矿物，一般常见的矿物主要是由地壳中的八大元素即氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁所组成（图7.1）。按组成元素类别的多寡，可分为单质矿物和化合物矿物两种类型。

图7.1
地壳中主要元素含量百分比

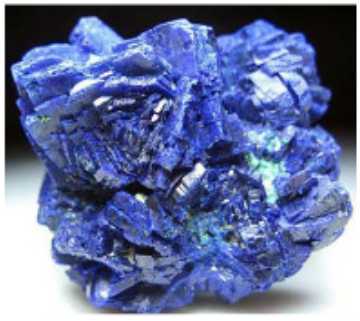


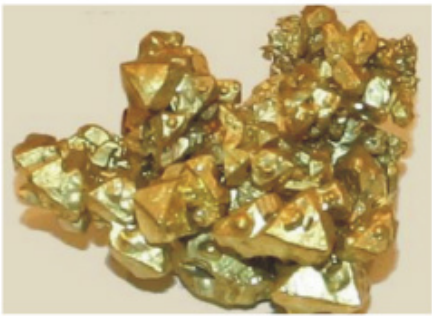
造岩矿物是构成岩石的主要矿物，其中硅酸盐类和氧化物类矿物占地壳总量的90%以上。常见的造岩矿物种类约有二、三十种，其中最重要的七种造岩矿物是长石、石英、云母、方解石、橄榄石、角闪石、辉石（照7.1），地壳几乎就是由这七种矿物构成。

矿物的鉴别

每一种矿物都有其特定的物理性质和化学成分，故我们可以利用这些特征来进行鉴别。除了利用仪器鉴别之外，大多数的

照7.1
常见的造岩矿物





照7.2（左）
蓝铜矿具有特别的颜色，很容易被识别。

照7.3
黄铁矿（中）和黄金矿（右）的颜色相似

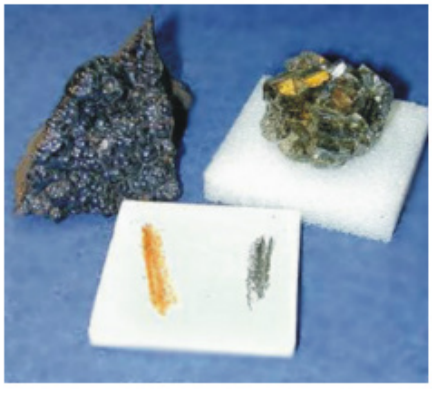
矿物可以用简易鉴别方法来判识。我们能运用肉眼和一些简单的工具如小刀、放大镜、磁铁、瓷板等，对矿物的物理性质进行鉴别。

矿物颜色是最容易观察到的物理性质，可以根据它鉴别一些矿物（照7.2）。不过，仅依靠颜色对矿物进行鉴别是远远不够的，如黄铁矿和黄金矿都呈金色（照7.3），但实际上黄铁矿的主要成分是二硫化铁。

光泽（luster）是矿物对可见光表现出来的反射能力。含有金属矿物一般表现为金属光泽，如方铅矿中含有铅，因此方铅矿具有金属光泽。有些矿物具有非金属光泽，如石英呈玻璃光泽（照7.4）。

照7.4
方铅矿有金属光泽（左）石英有玻璃光泽（右）

照7.5
赤铁矿（左）的条痕为樱红色，黄铁矿（右）的条痕为墨绿色



每种矿物的硬度（hardness）不同，硬度是常用的鉴别矿物的方法。测试矿物硬度的方法有许多种，其中划痕法操作起来比较简单易行。矿物能够在硬度比它低的矿物上划出刻痕，但同时也能被硬度比它高的矿物划出刻痕，因此，根据刻痕可以判断出矿物的硬度。

条痕（streak）是矿物粉末的颜色。一般将矿物在一白色无釉的瓷板上擦划后所留下的粉末颜色，是矿物本身的颜色（照7.5）。条痕对某些金属矿物具有重要的鉴定意义，如赤铁矿的颜色虽有不同，但条痕固定为樱红色。由于透明矿物的

BOX

摩氏硬度

一般用两种不同的矿物互相刻划，来比较矿物的相对硬度，德国矿物学家摩斯（Frederich Mohs）用这种互相刻划的方法，挑选了十种矿物作为衡量矿物硬度的标准，叫摩氏硬度法。摩氏硬度计以十种不同硬度的矿物为依据，相应地将硬度由低到高分为十个等级，最软为滑石，最硬为金刚石。

条痕都是白色或无色，因而条痕对于鉴定透明矿物的意义不大。

矿物破裂的方式是另一种可以用于识别矿物的线索。有些矿物受力后会沿着一定方向破裂且产生光滑平面，叫解理（cleavage）。矿物是否具有解理，是由矿物晶体中原子的排列方式决定，如云母是一种具有完全解理的矿物（照7.6）。如果矿物的破裂面呈各种凹凸不平的形状则叫断口（fracture），如石英是一种有断口的矿物（照7.7）。

除了上述物理性质外，有时候需要更多的信息才能识别矿物，如利用化学性质鉴别矿物。这时需要对它的成分进行分析，以确定其化学成分，还要进行定量分析以确定这些化学成分的含量。尽管不同的矿物样本具有不同的外观，但它们的一些化学特性是不会改变的。

照7.6（左）
云母中呈现几乎透明薄片的解理

照7.7（右）
石英的贝壳状断口

第二节　岩石

岩石的主要类型、成因和特点

地壳中的矿物很少单独存在，它们常常按照一定的规律聚集在一起，形成岩石。岩石是构成地壳及上地幔顶部的物质，主要为一种或多种矿物的组合体。例如：大理岩主要由方解石集合而形成，花岗岩则是由长石、石英和云母等组成的（照7.8）。岩石按成因可以分为火成岩、沉积岩和变质岩三大类。

照7.8
花岗岩的矿物组织

（一）火成岩（igneous rocks）

岩浆活动过程中，冷却凝结而形成的岩石，称火成岩。其岩浆是来自软流层及地壳深处一种成分复杂的高温熔融状物质，主要成分是硅酸盐，以及部分金属硫化物、氧化物和挥发性物质。在地壳深处高温高压下的岩浆，常沿着地壳薄弱地带或破裂地带上涌，在地表以下或喷出地表冷却凝结，形成火成岩。

根据岩浆的冷却凝固环境，可将火成岩分为侵入岩（intrusive rocks）及喷出岩（extrusive rocks）。侵入岩是岩浆在地表以下冷却凝结形成，当地壳隆起或上覆岩石被风化侵蚀，侵入岩便会露出地表，花岗岩（granite）便是最常见的一种侵入岩（照7.9）。喷出岩是岩浆喷出地表凝固而形成，主要的喷出岩有玄武岩（basalt），常形成柱状节理的特殊景观（照7.10）。

照7.9（左上）
柔佛峇株巴辖海口的花岗岩

照7.10（右上）
沙巴斗湖的玄武岩

照7.11（左下）
粗粒状的花岗岩

照7.12（右下）
气孔状的玄武岩

侵入岩是岩浆在地下缓慢冷却凝结而形成，矿物有充分时间结晶，因此侵入岩中矿物晶体的颗粒较为粗大，肉眼可以分辨（照7.11）。喷出岩是岩浆喷出地表迅速凝固而形成，矿物结晶不充分，因此喷出岩中矿物晶体的颗粒很细，肉眼甚至放大镜都无法分辨，且部分岩石可见气孔构造（照7.12）。

（二）沉积岩（sedimentary rocks）

裸露在地表的各种岩石，在风吹、雨打、日晒以及生物作用下，逐渐成为砾石、砂子和泥土。这些碎屑物质被风、流水等搬运后沉积起来，经过压紧、固结作用而形成的岩石，叫做沉积岩。在地表上，沉积岩是三大岩类中分布最广的，约占地表面积的四分之三。常见的沉积岩有石灰岩、砂岩及页岩等（照7.13）。

沉积岩多半具有层理构造，这是因为不同时期沉积作用的性质变化而形成的成层性（照7.14）。沉积岩中也常可见到各种古生物遗体的化石（照7.15）。

照7.13（左）
登嘉楼兰道阿邦的沉积岩

照7.14（中）
层理构造

照7.15（右）
鱼化石

（三）变质岩

（metamorphic rocks）

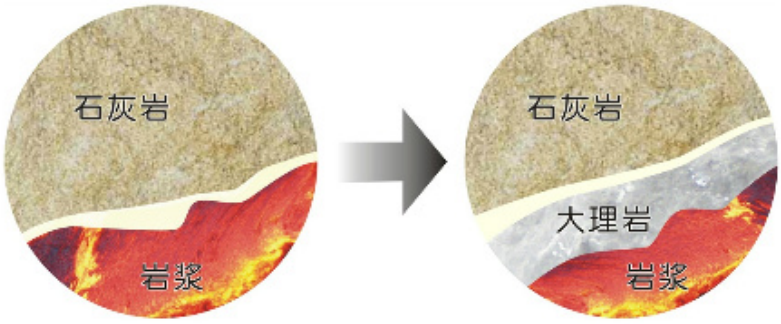


图7.2
石灰岩受热变质成大理岩

地壳中已生成的岩石，在岩浆活动、地壳运动产生的高温、高压条件下，使得原来岩石的成分、性质发生改变，由此形成的岩石称为变质岩，主要出现在造山带。常见的变质岩有由石灰岩变质成的大理岩（图7.2），页岩变质成的板岩等。

片理是大部分变质岩的特殊构造，因岩石受力挤压，使得岩石内的长条状（如长石、角闪石）或片状矿物（如云母、黏土矿）在近乎垂直压力的方向上，产生了一组平行排列的纹理（图7.3）。

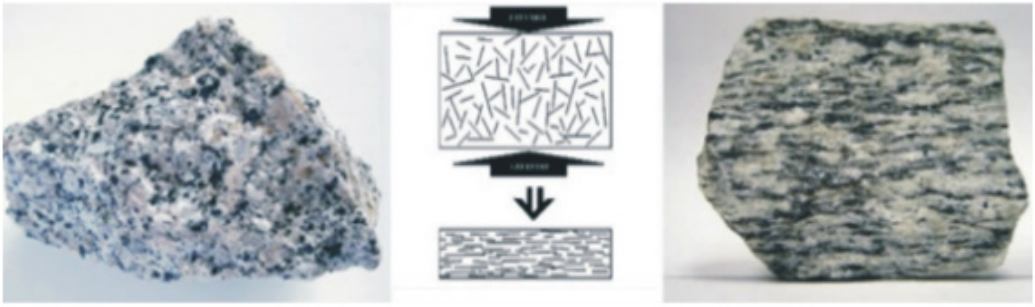


图7.3
花岗岩受到压力变质成片麻花岗岩后，可在岩体上看到片理状构造

若岩石中较缺乏片状矿物，受变质后只会发生再结晶作用，如石英、大理岩，其组成矿物分别为石英、方解石，所以石英岩、大理岩皆无片理构造（图7.4）。因此，变质岩可分为片理状变质岩和非片理状变质岩两类。

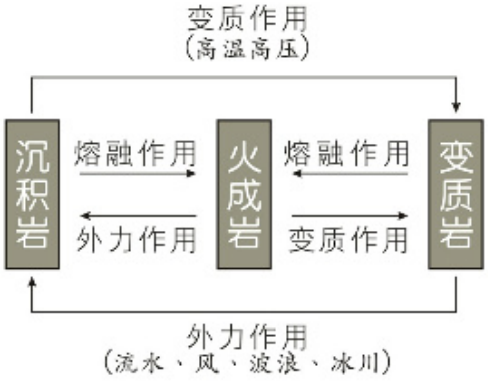
地壳物质循环与矿床

（一）地壳物质的循环

地壳是由岩石组成，其岩石处于不断的变化之中。三大类岩

石灰岩　　大理岩

图7.4
石灰岩受热重新结晶形成大理岩。图上可以看到大理岩中无一片一片之片理状岩理



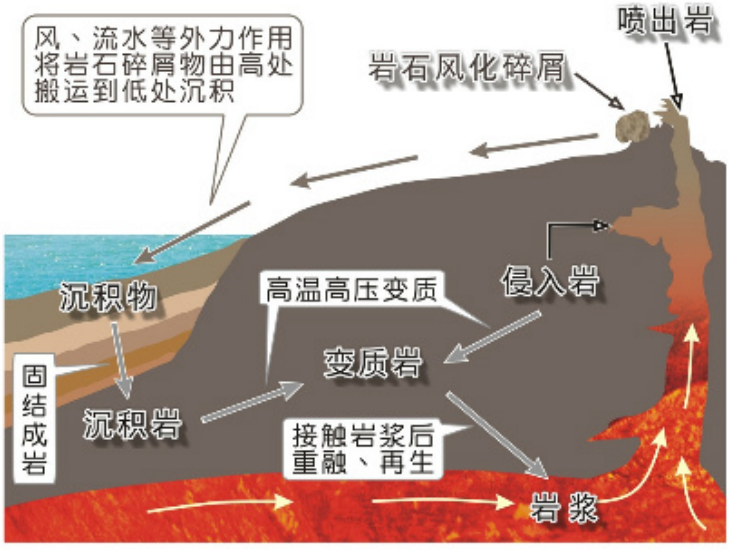


图7.5（左）
三大类岩石间的转化关系

图7.6（右）
地壳物质的循环

石具有不同的形成条件和环境，当地质条件发生改变，任何一类岩石都可能变成另外一类岩石（图7.5）。

地球内部的岩浆，在岩浆活动过程中冷却凝固，形成火成岩；火成岩在地表外力的侵蚀、搬运、堆积作用下，形成沉积岩；同时，这些已生成的岩石经变质作用形成变质岩；各类岩石在地壳深处被高温熔融，又成为岩浆回到地球内部。上述从岩浆到形成各种岩石，再回到新岩浆的产生，这一变化过程，构成了地壳的物质循环（图7.6）。

地壳物质的循环在自然界扮演重要的角色。地壳物质在其自身不断循环的过程中，与地球内部和地球外部不断进行物质交换与能量转化。特别是由大气、水、生物界直接参与的地表物质循环，对地球表面的自然环境具有深刻的影响。地表岩石的风化、地形的变化、土壤层的发育，都与此密切相关。

（二）矿床（deposits）

矿床是由一定地质作用下，在地壳和地表特定地质环境内，形成质和量都适合在当前技术和经济条件下，利于开采的有价值矿物富集地段。一个矿床可以由一个或多个矿体组成。矿体具有相当的空间位置，是一定形状和大小的矿物堆积体。矿床按成因可分为内生矿床、外生矿床和变质矿床三大类。

1. 内生矿床 （endogenic deposits）

在岩浆活动过程中，岩浆中有用元素富集起来而形成的矿

照7.16（左上、右上）
彭亨州林明的锡矿场

照7.17（左下、右下）
砂拉越州沐胶的煤矿

床，称为内生矿床。例如：彭亨州林明的锡矿（照7.16）、砂拉越州石隆门的金矿、南非金伯利的金刚石矿皆属此类矿床。

2. 外生矿床（exogenic deposits）

在地壳表层外力作用下，使有用元素或成矿物质发生迁移和聚集所形成的矿床，称为外生矿床。例如：砂拉越州沐胶的煤矿（照7.17）、霹雳州美罗的高岭土、西南亚的石油与天然气皆属此类矿床。

3. 变质矿床（metamorphic deposits）

原岩或原矿床经变质作用的转化再造后所形成的矿床，称为变质矿床。这类矿床以非金属矿床为主，如中国山东省南墅的石墨。

第三节　土壤

土壤（soil）是指陆地表面具有一定肥力，能够生长植物的疏松表层。土壤是地理环境的组成要素之一，处在岩石圈、水圈、大气圈和生物圈相互接触的地带，构成地理环境五大圈中的土壤圈（图7.7）。

图7.7
地理环境五大圈

土壤的特性、组成和成因

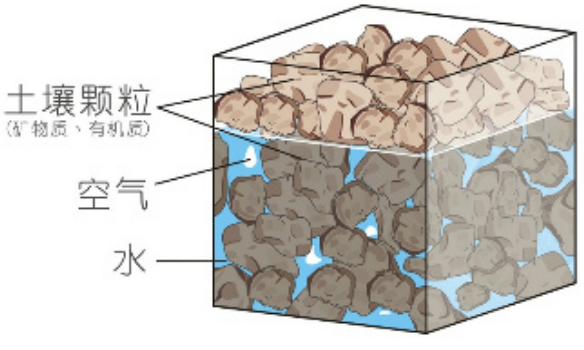
（一）土壤的肥力特性

土壤圈是一个独立的系统，它与周围环境进行着物质和能量的交换。输入土壤内的物质和能量，经过转移变化，又以土壤肥力的形式输出至外界环境。所谓肥力，是指土壤能不断供应和调节植物生长过程中所需的水分、空气、养分和热量的能力。土壤的肥力特性与土壤的物质组成有密切关系。

（二）土壤的组成

土壤是由矿物质、有机质、水分和空气四种物质所组成（图7.8）。矿物质是指成土母质（风化壳或风化物）风化形成的土壤固体颗粒。它是土壤的物质基础，重量占土壤固体物质总重量的90%以上。矿物质经风化分解，能够释放植物所需的钾、磷、钙、镁等养分。因此矿物质是土壤中矿物养分的主要来源。肥沃的土壤，上层多为粉砂壤质地，下层多为粘壤质地。上层疏松，孔隙度大，便于通气、透水、增温；下层粘实，孔隙度小，能起托水、保肥、稳温作用。

图7.8
土壤的组成



土壤有机质多集中在地表，重量只占土壤固体物质总重量的5%左右，却是土壤中最重要的成分。土壤中的有机质在微生物的作用下能够释放以氮为主的养分，供植物吸收，同时放出二氧化碳加强植物的光合作用。

土壤水分和空气贮存在土壤孔隙中，两者的组成比例常随着外界气候条件及其他因素的变化而变动，共同影响着土壤的热量状况。当水分过多时，空气就会受到排挤，造成土温下降，土壤缺氧，影响植物生长；如果空气过多而水分缺少，则会造成养分和水分供应不足，植物就会凋萎。土壤空气对植物的生长和微生物的活动有直接影响。通气好，种子才能萌芽，根系才能发育，土壤微生物活动才能旺盛。

因此，土壤肥力的高低取决于土壤中水分、空气、养分、热量四个因素的协调程度。性质良好的土壤，既能通气透水，又能蓄水保温（图7.9）。

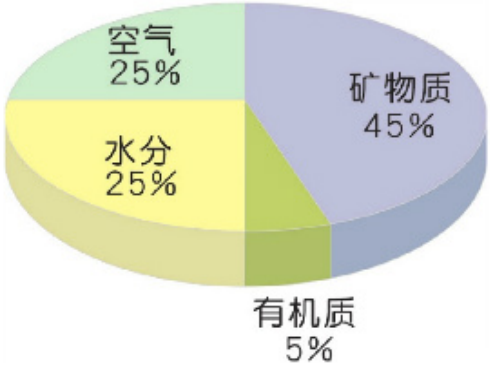


图7.9
理想土壤的组成比例

学生活动

1. 请回答下列有关生活中的土壤问题：
   a. 沙滩、沙漠、被践踏出的小路属于土壤吗？
   b. 农民为什么会给土壤松土？
   c. 温带地区的冬天，植物为什么要少浇水，而夏天要多浇水？
   d. 中国农民谚语中为何有“庄稼一枝花，全靠粪当家”的说法？
   e. 如何用土壤的角度来解释龚自珍的诗句：“落红不是无情物，化作春泥更护花”。
2. 土壤肥力的高低取决于土壤中水分、空气、养分和热量四个因素的协调程度。下列农作物面对的情况，试从这四个要素来判断土壤出现的问题症结，並提出解决方法。

案例	问题症结	解决方法
久晴无雨，农作物枯萎。		
久雨无晴，庄稼易烂根。		
盆栽花卉，只长枝叶，不开花，盆外有时长绿苔。		

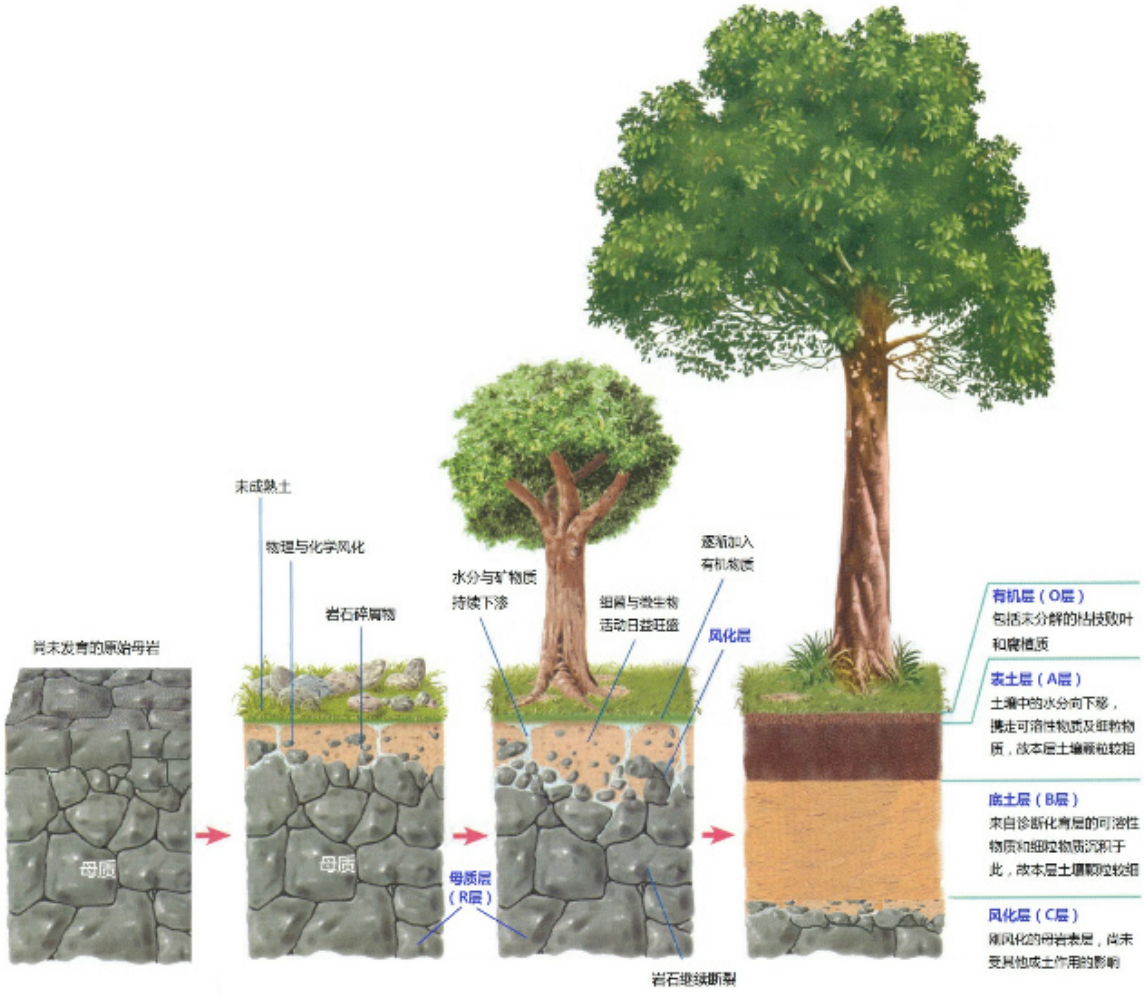


图7.10
土壤形成过程与土壤剖面

（三）土壤的形成

生物在土壤的形成过程中起着主导作用，如图7.10所示，裸露的岩石，在风化作用下形成疏松的成土母质，母质虽然没有肥力，但已具有一定的透气蓄水性能，并能分解释放少量的矿物养分，一些微生物和低等植物在母质上着生，标志着成土过程的开始。在低等植物作用下，岩体风化加速，母质性能得以改变，土壤肥力不断发展，逐渐形成土层浅薄的原始土壤，这又为高等植物的生长提供了可能性。而草本、木本植物的着生，加快了成土过程，使土壤发育不断深化。

（四）成土因素

各地的母质、气候、地形、生物及成土时间长短不同，造成各地的土壤性质有异。这些影响土壤形成的环境因子，为五大成土因素。

母质为土壤矿物质的主要来源，影响土壤质地粗细、孔隙大

小和化学成分等。气候要素中，气温高低决定成土作用的速度，雨量多寡则影响土壤的酸碱性和成土作用的强弱；在多雨区，雨水容易将土壤中可溶性物质，如碳酸钙释出，导致土壤表层的酸性较强，在雨量较少的地区，碳酸钙等可溶性物质多聚集在土壤，使钙化作用明显，土壤的碱性较强。

地形会透过气候、水文等因素，间接影响土壤发育，例如：高度不同，气候随之有别，土壤也因此有异；坡度的陡缓会透过流水的侵蚀速度，影响土壤层的厚薄；坡向则会影响日照多寡，使土壤的温度与湿度有所差异。生物的活动影响土壤疏松程度，生物的残体则是土壤有机质的来源。

各种成土因素的作用时间长短不同，也会形成性质不同的土壤。通常在其他条件相同时，土壤化育时间越长，化育出土壤越深厚、层次越明显的成熟土；反之化育时间较短，则化育出较浅薄、层次不明显的未成熟土。

土壤的特性除受自然环境因子的影响外，人类活动常直接或间接影响土壤的生成及性质。例如：亚洲季风区的水稻农业区，稻田每年反复性的浸水及排水，形成了人为的“水稻土”；而工业发展造成的重金属或酸雨污染，也会改变土壤的性质。

（五）土壤剖面（soil profile）

岩层风化后，经各种成土因素的作用，会逐渐形成颜色、质地和结构不同的层次。自土壤表层向下直至土壤母质的垂直切面，称为土壤剖面（图7.10）。观察土壤剖面，可判断一地土壤成土时间的长短、各种成土作用的强弱等。例如：土壤剖面层次较少、土壤层较薄，通常代表成土时间较短，或化育于坡度较陡的地区。因此，土壤剖面的特征，可作为土壤分类的重要依据。

土壤类型及其分布

由于地理环境中的水分、空气、养分和热量不断向土壤输入，引起土壤性质发生变化，于是就形成各种不同类型的土壤。随着科学方法的精进与人类需求的不断提升，于是对土壤类型进行不同的分类。目前世界各国所使用的土壤分类方法并没有统一，主要有美国的土壤分类系统（USDA Soil Taxonomy）及俄罗斯的土壤分类系统。其中美国的土壤分类系统又有新与旧之

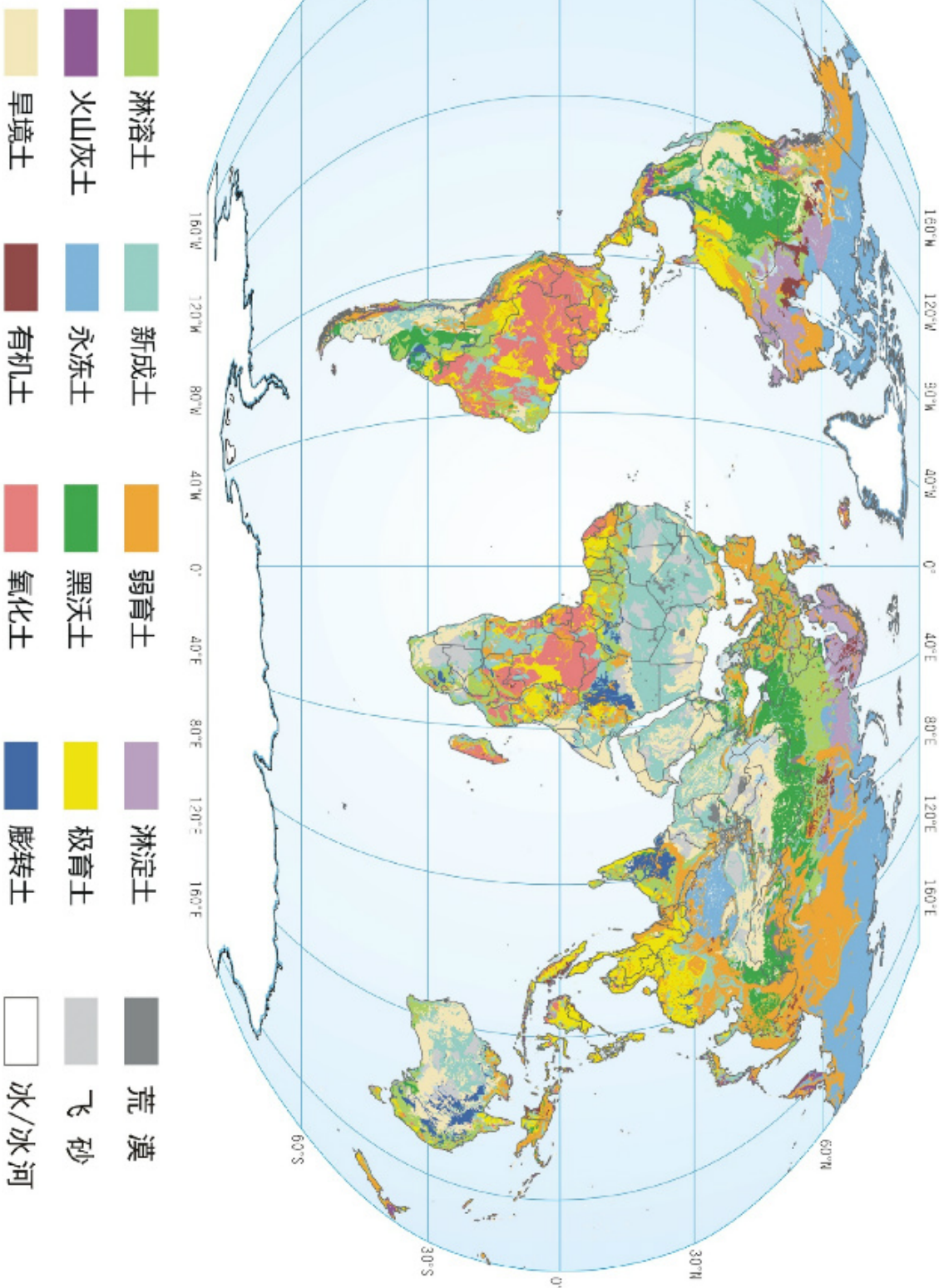


图7.11 世界土壤分布图

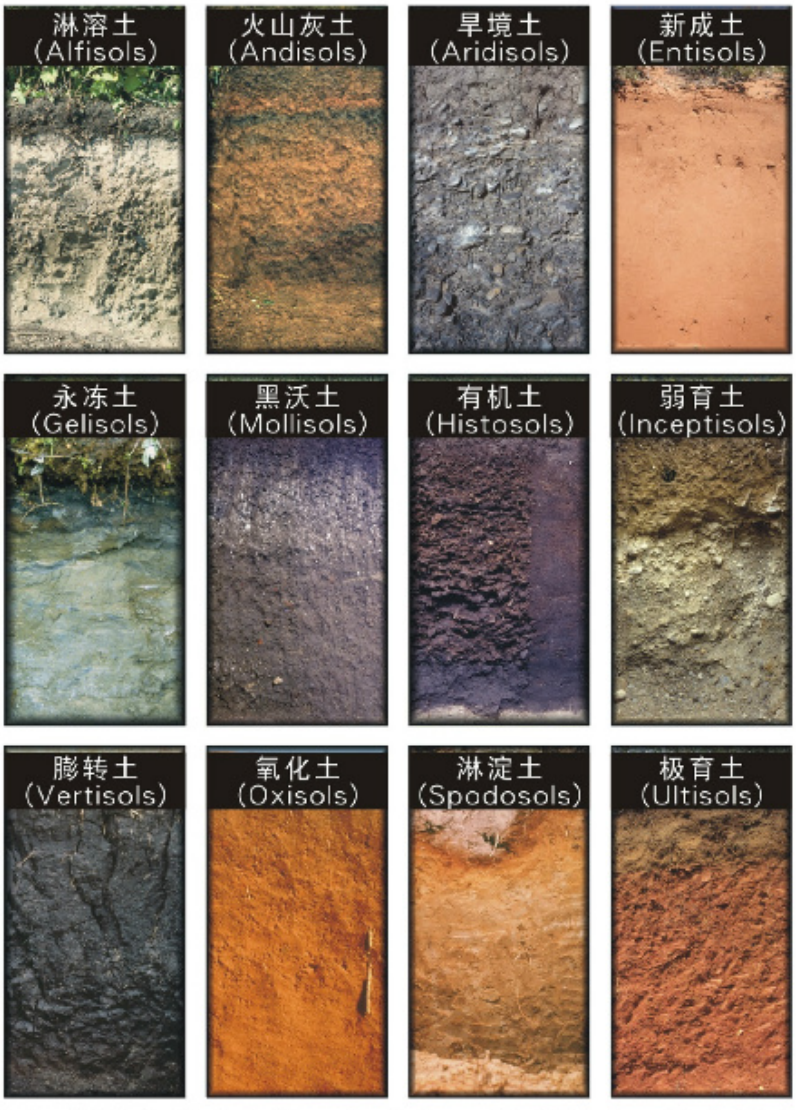


图7.12
土壤剖面图

分，我们所熟悉的砖红壤、泥炭土、粘土属于旧的土壤分类系统中的土壤类型，为较直观、粗糙的分类方式，不利于工程、农业的使用。新的土壤分类系统则根据土壤剖面层的分化与化育程度、形态特征等进行详细分类，可透过土壤名称得知该土壤的水分、空气、养分和热量状况，因而广受大多数国家采纳。

我国的土壤分类也是参照美国的分类系统，再依据我国部分地区特有的土壤加以命名。我国种植橡胶及油棕的土壤多为氧化土、极育土等，氧化土化育时间长，土壤中仅剩余氧化铁、铝等性质，肥力很低；极育土表土由于受到强烈淋洗，盐基性物质少，故肥力也偏低。黄梨多种植在富有泥炭的弱育土上，为母质弱度化育生成的土壤，土层较浅。水稻多种植在膨转土，在土层一公尺内含有丰富的粘粒，会随水分多寡而膨胀、收缩。

BOX

全球的土壤分类

英文名称	中文名称	马来文名称	特征
Histosols	有机土	Organah	在深度10公分以上有大于20%以上的有机质（或大于12%以上的有机碳含量）的土壤。
Spodosols	淋淀土	Hitanah	由有机质与铁、铝结合的物质，被水从土壤上层淋溶至下层，进而沉淀化育而成的土壤。
Andisols	火山灰土	Abuanah	含有火山灰特性的土壤，质地较轻且疏松，对磷的吸附力很强。
Oxisols	氧化土	Oksanah	土壤化育时间长（几十万年以上），土壤中仅剩余氧化铁、铝等性质，肥力很低。
Vertisols	膨转土	Balanah	在土层一公尺内含有30%以上的粘粒（直径小于0.002mm者的土粒），会随水分多寡而膨胀、收缩，潮湿时突起，干燥时龟裂。
Ultisols	极育土	Kutanah	在高温多雨情况下生成的土壤，表土由于受到强烈淋洗，盐基性物质少，故肥力偏低。
Mollisols	黑沃土	Butanah	此种土壤黑及肥沃，土层较浅，因利于草类生长，故肥力高。
Alfisols	淋溶土	Jenanah	此种土壤与极育土性质类似，但由于淋洗程度较极育土弱，盐基性物质较多，因而土壤较极育土肥沃。
Inceptisols	弱育土	Lahanah	此种土壤为母质弱度化育生成的土壤，除较干燥的环境外，在任何环境皆可生成，土层常较浅且多数位于相当年轻的地表。
Entisols	新成土	Baranah	由母质化育生成的最年轻土壤，大都分布于高山陡峭地、河流下游冲积平原、三角洲等地，通常土层很浅或整层无变化，土壤非常肥沃，也是农业生产主要分布土壤之一。
Gelisols	永冻土	-	土壤表层下总是含有永冻物质。
Aridisols	旱境土	-	土壤富含盐基性物质、粘粒，致密坚硬，多分布于干旱地区。

注：我国没有采用表中的永冻土与旱境土，另外增加石质土（英文：Lithosols，马来文：Dankanah）的分类，石质土的土壤通常没有增长空间，其母岩的火成岩或沉积岩坚硬，浅土层多少于30公分，甚至有时岩石裸露。

土壤和人类的关系

（一）土壤与农业生产的关系

土壤与农业的生产关系密切，土壤的肥力特性，使它与气候一样，成为人类从事农业生产最基本的自然资源。各种农作物的生长必须在土壤中扎根立足，并从土壤中获得水分和养分，因此，没有土壤也就没有农业。虽然土壤是一种永续性的可更新资源，但是，如果利用不当，则会引起土壤肥力减退。

（二）人类活动对土壤的影响

人类活动有意或无意的参与了成土过程。自然土壤形成后，经过人类开垦，不断翻耕、施肥、灌溉，形成了高产稳产的耕作土壤，也称为农业土壤，如水稻土。合理的耕作经营，可使土壤不断改良，保持和提高土壤肥力；反之，则会引起土壤退化，如土壤沙化、盐碱化和水土流失等。因此，人们在利用土壤的同时，应重视土壤的保护和培育，促使土壤能不断生产。

BOX

位于底格里斯河和幼发拉底河之间的美索不达米亚平原上的古代巴比伦王国，是人类文明发源地之一。早在公元前2000年，他们在数学、天文学、医学、文学和建筑学等方面都有很大的成就，对人类文明做过卓越的贡献。但是由于土壤侵蚀，水土流失，生态环境恶化，使得居住在那里的苏美尔人不得不纷纷逃离这个地区，使很多城市和乡村变成废墟，终于导致了巴比伦文明的衰落，使巴比伦王国变成不毛之地。

学生活动

请回答下列各题：

1. 现代科技利用无土栽培技术。无土栽培与“没有土壤就没有农业”是否矛盾？
2. 您如何理解土壤是可再生资源？
3. 阅读下表土壤污染的主要污染物及其来源，归纳出哪些人类活动类型较容易造成土壤污染？

污染物		污染物主要来源
无机污染物	砷	含砷农药、硫酸、化肥、医药、玻璃生产等工业废水。
	镉	冶炼、电镀、染料等工业废水，含铬废水，肥料杂质。
	铜	冶炼、铜制品生产，含铜农药。
	铬	冶炼、电镀、印染等工业废水。
	汞	制碱、汞化物生产废水，含汞农药，金属汞蒸气。
	铅	颜料、冶炼等工业废水、废渣，含锌农药，磷酸盐肥料。
	锌	冶炼、镀锌、防治等工业废水、废渣，含锌农药，磷酸盐肥料。
	镍	冶炼、电镀、炼油、燃料生产等工业废水。
	氟	氟硅酸钠、磷肥生产废水，化肥污染。
	盐碱	纸浆、纤维、化学工业废水。
	酸	硫酸生产，石油化工、酸洗、电镀工业产生的废水。
有机污染物	酚类	炼油、合成苯酚、橡胶生产、化肥生产、农药生产等工业废水。
	氰化物	电镀、冶金、印染工业废水，肥料。
	石油	石油开采、炼油厂、输油管道泄漏。
	有机农药	农药生产及使用。
	多氯联苯类	人工合成产品及生产工业废气、废水。
	有机悬浮物	城市污水、污泥，食品、纤维、纸浆生产中产生的废水，厩肥。
	含N物质	
	有害微粒	
	苯并芘	石油、炼焦等工业废水。

练习题

选择题

1 如果要实现“无土栽培”，至少要提供植物下列哪些物质？

A. 水和氮气　B. 水和养料　C. 氮气和温室　D. 养料和温室

2 土壤有较强抵抗污染的能力，当污染物进入土壤后，能被土壤里的什么成分分解？

A. 热度　B. 水分　C. 矿物质　D. 微生物

3 理想的土壤，矿物质的比例宜为多少百分比？

A. 25%　B. 35%　C. 45%　D. 55%

4 土壤肥力的重要标志是下列何者？

A. 水分　B. 空气　C. 有机质　D. 矿物质

5 关于土壤的形成过程排列顺序，最可能为下列何者？

A. 成土母质→岩石→原始土壤→成熟土壤→耕作土壤
B. 成土母质→岩石→原始土壤→耕作土壤→成熟土壤
C. 成土母质→岩石→原始土壤→耕作土壤→成熟土壤
D. 岩石→成土母质→原始土壤→成熟土壤→耕作土壤

简答题

1. 试完成下表，写出土壤中每种物质组成成分的特征、作用及彼此之间的关系。（试从影响土壤肥力特征的角度回答。）

组成	特征	作用	关系
矿物质			
有机质			
水分			
空气			

2. 试述对土壤肥力产生有利影响与不利影响的农耕活动。

第 捌 章

生物分布与环境

第一节　生物分布与环境的关系
第二节　自然景观带的组成与特质
第三节　生态系统
第四节　环境保护

第一节　生物分布与环境的关系

影响生物分布的环境因素

影响生物分布的环境因素非常多，主要可分成非生物环境因素和生物环境因素两大类。前者主要有气候、地形和土壤等因素；而后者则包括生物间的掠食、竞争和共生等关系。

（一）气候

气候是影响生物分布最主要的环境因素，随着各地气温、雨量和风的条件不同，生物物种和数量会呈现区域差异。一般而言，气温低、雨量少和多强风的地区，是生物较难适应的环境，其生物物种和数量会较为单纯。例如：极地、高山为气温低的环境，沙漠为雨量少的环境，海边和高山为多强风的环境。反之，如赤道地区的高温多雨，孕育了生态丰富的热带雨林环境，其为地表上单位面积物种数目最多的地区。

（二）地形

一地的高度、坡度和坡向也会影响气候及土壤条件，间接影响了生物的分布，尤其对植物分布的影响更为明显。

高度会影响气候变化，因此山地的生物分布从低海拔地区到高海拔地区，常呈现垂直的规律性变化，即山脚、山腰和山顶分布着不同种类的动植物。地形偏陡的地区，土壤较薄，植物不容易扎根，多以浅根草本植物为主。向阳坡和迎风坡通常日照充足，雨量多，植物生长比较茂盛。

（三）土壤

土壤中含有的矿物质、有机质、水分和空气的比例，也会影响植物的生长。基本上，含水及通气较佳，酸碱度偏中性的土壤，为多数植物生长较佳的环境。若土壤性质特殊，则植物多发展出特殊的生物机制，例如：生长于河海交界地带的红树林（照8.1），往往演化出特殊的结构以适应高盐缺氧的沼泽软泥，像

照8.1
槟城州浮罗勿洞的红树林（左）及白骨壤的枝叶（右）

照8.2
龙脑香科

是白骨壤有露出泥土的通气呼吸根，其叶子具有排盐功能，叶面常见盐结晶体。

（四）生物间的掠食、竞争和共生

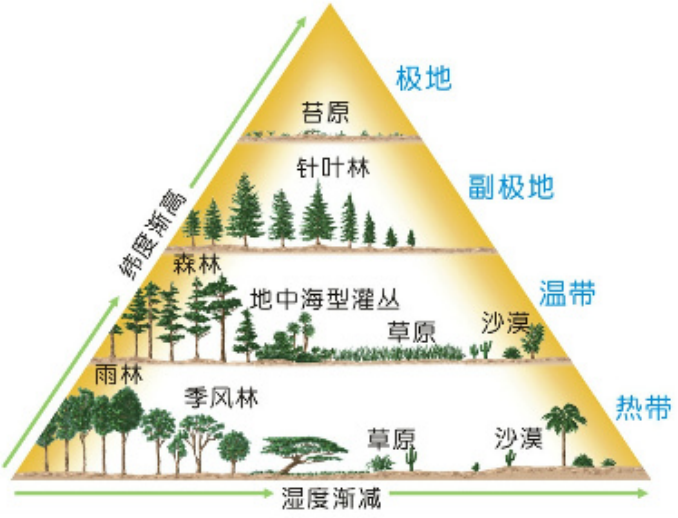
各种生物在生态系统中共存着，彼此间也会影响其他生物的生存。生态系统中，植物为生产者，它们直接或间接地影响动物的生存，例如：我国森林里常见的龙脑香科植物，部分树种可能三年、五年，甚至十年才开花结果一次，但一旦开花结果，一些以果实、种子为食物的动物族群即在短时间内大量繁殖（照8.2）。

动物的活动也会影响植物的生存。动物的活动有助于协助植物传授花粉和散播种子，促进植物繁衍；动物的践踏、啃食及病虫害的蔓延，也会危害植物的生存。

今日，人类活动更是改变生物分布的重要因素，对生态的影响不容忽视。人们常有意或无心地引进原本不属于当地的物种，影响了原来的生态系统，例如：原产于东非马达加斯加的非洲大蜗牛（照8.3），在18世纪被英国的传教士带到东南亚，二战时期，日本人在马来半岛将其做为战俘的食物，并把

照8.3
非洲大蜗牛

图8.1
植被形态与纬度、干湿间的关系



它带到台湾、中国等地做为食材而被散播开来，造成外来种入侵的生态问题。非洲大蜗牛取食范围广泛，严重影响农业和林业的发展，同时也是许多重要的人畜寄生虫和植物病菌的传播媒介，分泌的黏液会污染环境，严重影响园林和花卉等观赏植物。

植物的水平与垂直分布

地表的气温、降水量等气候要素，常影响植物的水平分布。在全球尺度下，由赤道向极地，随着纬度增高，气温降低，植被类型也由常绿的热带雨林，进入热带阔叶林、温带落叶林、落叶阔叶混合林、寒带针叶林和苔原带。

同一纬度地区，由于距海远近常影响降水量的多寡，发展出不同的植被类型。其中又以中纬度地区最为明显，从沿海地区往内陆方向，随着降水量递减，干季渐长，植被也由森林带过渡到草原，再进入沙漠带（图8.1）。

植物的垂直分布常见于高山地带，沙巴州的京那峇鲁山即可明显看到植物规律性的垂直变化。位于热带的京那峇鲁山，低海拔山脚可见到热带雨林，随着高度的增高，气温递减，降水量则是先递增，于特定高度后再递减，因此山腰往山顶的植被，依序出现落叶林、针叶林、灌木、草原，最后在3,300公尺以上至山顶处，因低温少雨，且地表多为花岗岩质的浅薄土壤，仅苔藓类及地衣类等在此生长（图8.2）。

图8.2
植物的水平与垂直分布示意图

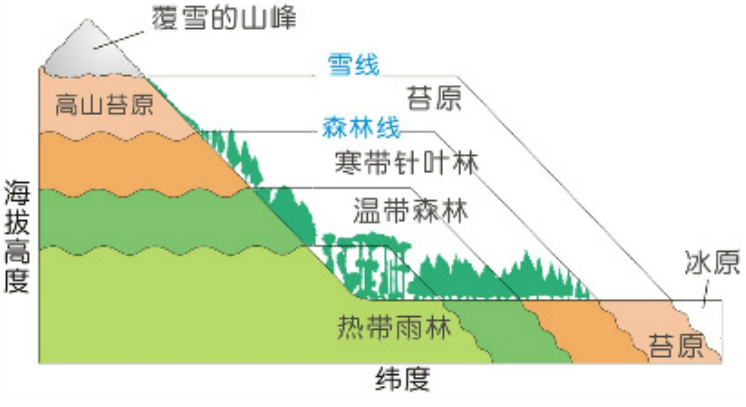


图8.3
全球动物分区图含特有种动物

动物的分布

全球的动物分布可分为六大区，此划分深受全球性的板块漂移及在当地长期演化的影响；同时也因高山、海洋及沙漠的地理阻隔，使六大区各具其特有种动物。

六区中以大洋区最为特殊，包括澳洲、纽西兰及其附近的太平洋岛屿。该区位置孤立，与其他大陆间皆有海洋阻隔，动物在长期独立演化的情况下，至今还保留着许多古生物的特点，形成全球最特殊的动物分布区，其中以有袋类动物最具特色（图8.3）。

BOX

全球六大动物分布区

包括旧北区、新北区、埃塞尔比亚区、东洋区、新热带区和大洋区。

第二节　自然景观带的组成与特质

自然景观带的组成

各地不同的气候、水文、土壤和分布其间的各种生物，在地表上构成各种具有不同特色的自然景观带。以全球尺度来看地表景观时，会发现在某一区域内，生物的群落与土壤的种类，常具有一定程度的相似性，这种地表景观相类似的区域称为自然景观带。

每个自然景观带具有着特定的热量和水分组合，并有其代表性的植被和土壤类型。由于植被类型经常是最显著的景观特征，

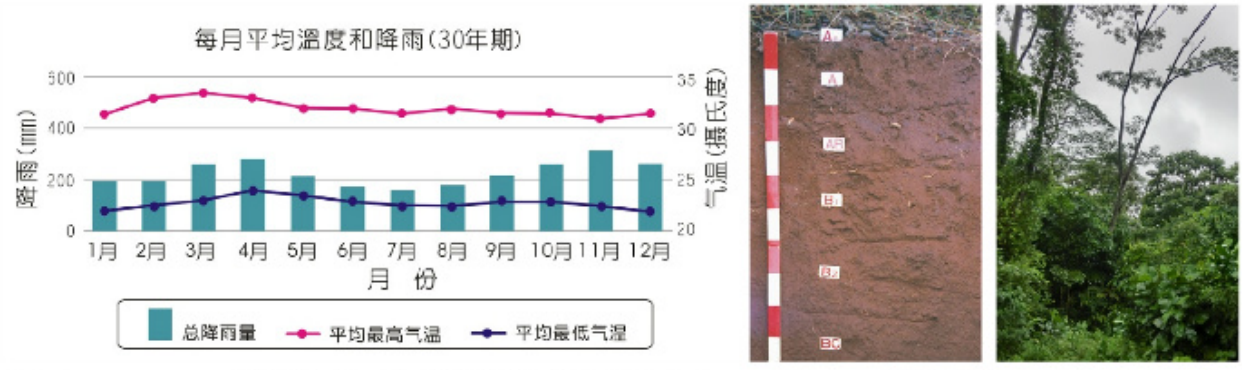


图8.4
赤道地区终年高温多雨(左)，易形成氧化土（中），代表景观带为热带雨林（右）

所以自然景观常以植被类型命名，例如：赤道两侧高温多雨，土壤以氧化土等为主，雨林是当地最突出的植被类型，故称热带雨林景观带（图8.4）。

自然景观带的分布与特色

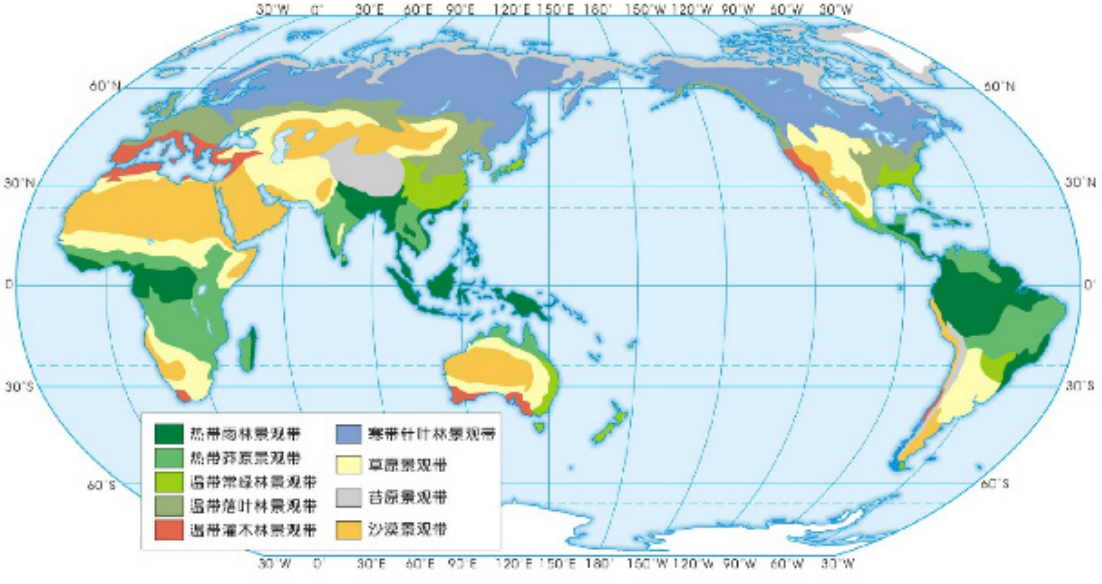
全球自然景观带的分布与纬度高低及距海远近有密切关系（图8.5）。由于各景观带的气候、植被、土壤性质有别，使得全球的地表景观充满多样性。

（一）热带雨林景观带

热带雨林主要分布于赤道两侧的亚马逊盆地、刚果盆地和马来群岛（照8.4）。雨林区终年高温多雨，孕育了最丰富的生物群落，植被常绿茂密，呈现成层分布的特性，动物在其中也有分层栖息及觅食的现象（图8.6）。

由于高温多雨，动物的排遗或尸体，植物的枯枝败叶，迅速分解被植物吸收，营养素主要贮存在植物体，而非土壤中。故本

图8.5
世界主要景观带的分布



照片8.4（左）
我国蒂蒂旺沙山脉的热带雨林

图8.6（右）
热带雨林林冠成层分布，生物群落丰富

景观带虽有生机盎然的天然植被，但氧化土等土质贫瘠，一旦植被遭受破坏，就很难恢复原状，是极需保护的地区。

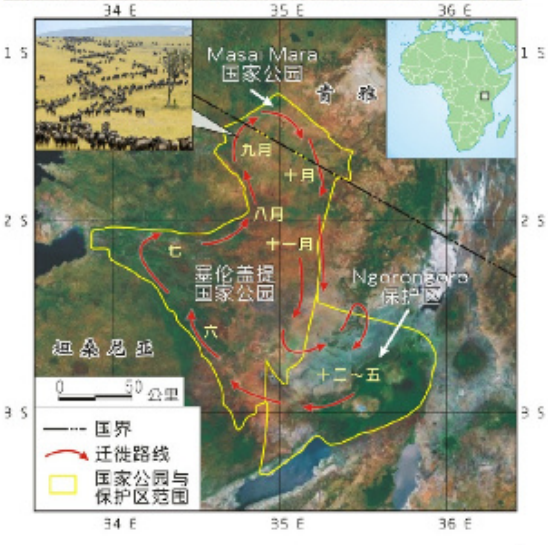
（二）热带莽原景观带

热带莽原主要分布在热带雨林区外缘，终年高温、干湿季节分明、雨量集中，如东非、巴西高原和中美地峡西岸等地。植物群落以密集高大的草原为主，其间散布稀疏的耐旱矮乔木；动物群落则以斑马、牛羚等草食性动物数量最多（照8.5）。此带的养分主要蓄积在动物体中，而非植物体或土壤内。

因降雨集中夏季，冬季时草食性动物会作长途迁徙，肉食性动物也跟着迁徙，蔚为壮观。例如：东非肯雅、坦桑尼亚国家公园内的动物常随雨季做规律的迁徙（图8.7）。

照8.5（上）
东非塞伦盖提国家公园的斑马群

图8.7（下）
东非动物迁徙图

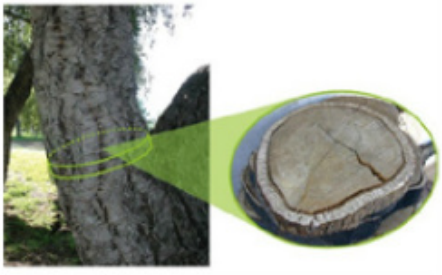


（三）亚热带林与温带林景观带

亚热带与温带森林可分为灌木林、常绿阔叶林及落叶阔叶林。

灌木林主要分布在地中海型气候区，以及一些温带草原气候区较湿润的边缘。地中海型气候区因夏季高温少雨，灌木具有深根、厚皮（照8.6）、蜡质小叶（照8.7）的特征，以减少水分蒸散。

常绿阔叶林主要分布在亚热带与温带较低纬的大陆东岸，夏季高温多雨，冬季冷凉少雨。林区的植被主要由乔木、灌木和草类组成，藤类植物和附生植物也相



照8.6（左上、右上）
栓皮栎（cork oak）

照8.7（左下）
橄榄叶

照8.8（右下）
广东中山的常绿阔叶林

当丰富；树木高度较雨林低，林冠的成层分布也较不明显（照8.8）。

落叶阔叶林主要分布在温带大陆的东西两岸，四季分明，夏季温暖多雨，冬季寒冷少雨，如北美东部、亚洲东部和欧洲大部分地区。林区的树木季相分明，春季新芽勃发，夏季枝繁叶茂，秋季万叶飘零，冬季枝干萧瑟（照8.9）。

（四）温带草原景观带

温带草原主要分布在亚欧大陆、北美洲温带区的内陆，以及南美洲东南部和南非东部。这些地区的降水集中于夏季，年雨量介于250至500毫米，植被以耐旱草类为主，几乎没有树木（照8.10）。草原景观因干旱程度不同而分为湿草原和干草原。

温带草原区的养分主要储存在土壤层中，而非植物体内。当草原被破坏后，土壤的养分在短期内不会受到太大的损失，故草

照8.9（左）
树木季相分明的景观

照8.10（右）
蒙古温带草原景观

原区的环境系统相对较稳定。目前大部分的草原区已被开发为商业性谷物农业带和放牧带。

照8.11
加拿大西北部的寒带针叶林景观

（五）寒带针叶林景观带

主要分布在亚欧大陆和北美洲北部的寒带地区。冬季长而寒，多厚雪；夏季短而凉，雨量集中，年雨量在400毫米以上。树种单纯，多常绿窄叶树，树干挺直，树冠成尖塔状（照8.11）。由于气温低，残枝败叶分解缓慢，释出大量的有机酸，在冷湿的环境下，造成土壤酸化不肥沃。

（六）寒带苔原景观带

主要分布在亚欧大陆和北美洲针叶林区以北，一些高山森林线的上方也有苔原分布。区内降雨不多，日照微弱，生长季短；永冻层离地面甚浅，树根无法穿透，以致树木无法生长。区内的植物种类不多，以苔藓（照8.12）和地衣（照8.13）为主，其间也散布着耐寒性较强的短草类和矮生灌丛（照8.14）。

照8.12（左）
生长在北极地区的地衣

照8.13（中）
生长在北极地区的苔藓

照8.14（右）
加拿大北部苔原

（七）沙漠景观带

从热带到温带，皆有沙漠的分布。各地沙漠的成因与景观虽不尽相同，但都具有终年少雨、雨量变率大及日夜温差大等特性。区内以无叶多汁的仙人掌、小叶少汁的灌木或是根部很深的猴面包树（照8.15、8.16）和牧豆树较为常见。

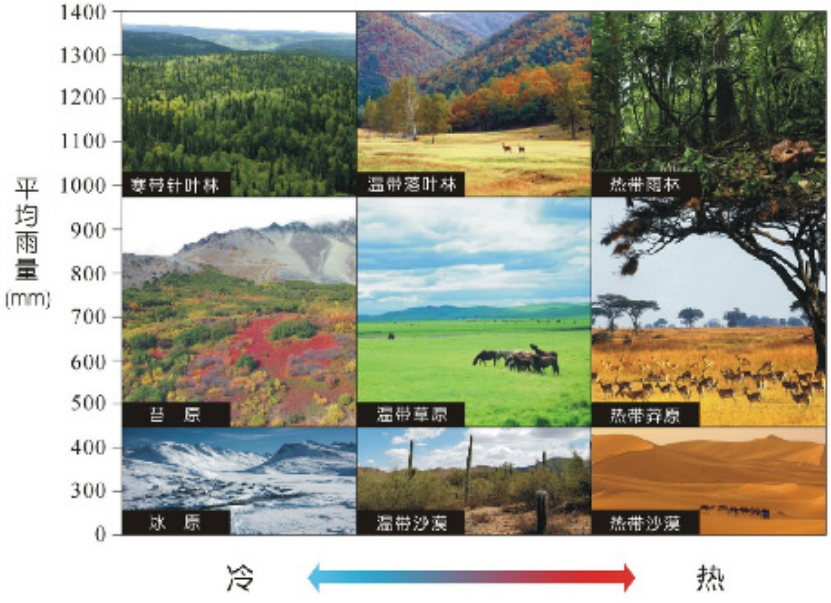
照8.15（左）
猴面包树

照8.16（右）
猴面包树的果实

照片8.17
美国亚利桑纳州的沙漠植物景观

为了适应干旱，沙漠地区的植被具有两项特色。一、分布非常稀疏，根系极为发达，以便能在短暂降雨期间吸收大量水分。枝叶也演化成带角质的针刺型态（照8.17），以减少水分蒸腾。二、生命周期短暂，埋藏在沙砾中的种籽，于短暂大雨来临时，即快速发芽、成长、开花、结籽，在雨后地面水分蒸发殆尽前，匆匆完成其生命周期，种籽随风飘散在沙砾之中，等待下一次降雨的来临。

图8.18
各个自然景观带



第三节　生态系统

地球形成后，随着地球内部热量的大量聚积，导致地球物质熔融，喷发了大量岩浆、气体和水蒸气，形成了原始的岩石圈、水圈和大气圈。随着海洋里有机化合物的大量积聚，在太阳能的作用下孕育了细菌的出现，这些细菌因为受到水体的保护，也免除了紫外线的伤害。细菌主要是依赖有机物为生，后来继续演化出现能够自己制造养分的蓝藻，蓝藻具有叶绿素，可以进行光合作用，透过太阳能制造出有机物，产生了最原始的生态系统。由于光合作用的持续加强，减少了地球的二氧化碳，并增加了氧气的浓度，使得生物种类逐渐增多，并从海里登上陆地，逐渐形成了完整的生物圈。

生态系统的要素

生态系统是指在一定范围的生物与环境所构成的统一整体。在这个统一整体中，生物与环境之间相互影响，并在一定时期内处于相对稳定的动态平衡状态。前述的各个自然景观带，皆可视为一个生态系统。

生态系统主要由非生物要素与生物要素两部分所组成，它们具有同等的重要性。

（一）非生物要素

非生物要素也称为非生物环境。生物以外一切无生命的能量和物质，如光、热、水、氧、二氧化碳、各种无机盐类和氨基酸等，组成了生物赖以生存的大气、江河、湖海和土壤等非生物环境，也就是大气圈、水圈、岩石圈和土壤圈等部分，其构成了生命存在的整个外部环境。

（二）生物要素

1.生产者

生产者主要包括绿色植物与微生物，它们能利用阳光、二氧化碳、水、土壤中的无机盐，透过光合作用，将其转换为有机物质并贮存起来，为生态系统中各种生物提供得以生存的物质和能量，例如：稻田里的禾苗可将无机的二氧化碳转变成有机的葡萄糖，成为有机物质的最初制造者（照8.18、8.19）。

2.分解者

分解者主要是指细菌与真菌。它们能够分解动植物的排泄物和死亡的有机残体，转变成简单的无机化合物或元素，以回归到环境中，让生产者再次利用。分解者广泛分布于生态系统中，不停地促使自然界的物质发生循环（照8.20）。

照8.18（左）
吉打平原的稻田

照8.19（中）
河流旁的植物

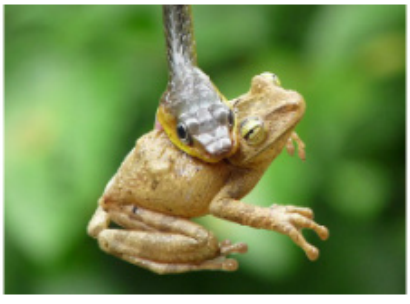
照8.20（右）
枯木上的真菌

照8.21（左上）
稻田旁的牛（初级消费者）

照8.22（右上）
花蜜被蝴蝶（初级消费者）采集

照8.23（左下）
蟋蟀被青蛙（次级消费者）捕食

照8.24（右下）
青蛙被蛇（三级消费者）猎食



3.消费者

消费者指的是动物。它们不能自己生产食物，只能直接或间接利用植物所制造的有机物，取得营养物质和能量，以维持生存，所以消费者是直接摄取外界有机物为食的生物。根据食性差异又可分为：

a．草食动物

直接采食植物以获得能量的动物称为草食动物，如牛、马、羊、象、食草昆虫和啮齿类等，是初级消费者（照8.21、8.22）。

b．肉食动物

以捕捉动物为主要食物的动物称为肉食动物。以捕食草食动物为主的动物，是次级消费者，如蛙、蝙蝠、某些鸟类等（照8.23）。若以次级消费者为食物的动物，如蛇、鹰、狼、豹等，是三级消费者（照8.24），这些动物一般体躯较大而强壮，数量较少。至于捕食三级消费者的动物为四级消费者，其数量更少，以此类推。但这些消费者的级别间没有严格的界限，许多动物属于食草又食肉的杂食性动物。

生态系统的循环

在生态系统中，透过生产者、消费者、分解者的摄食关系，发现生物之间会形成食物链。但在现实世界中，生物的摄食关系更为多元，彼此之间交织成复杂的食物网（图8.8）。

透过食物网的能量流动与营养物质循环，使得生态系统中

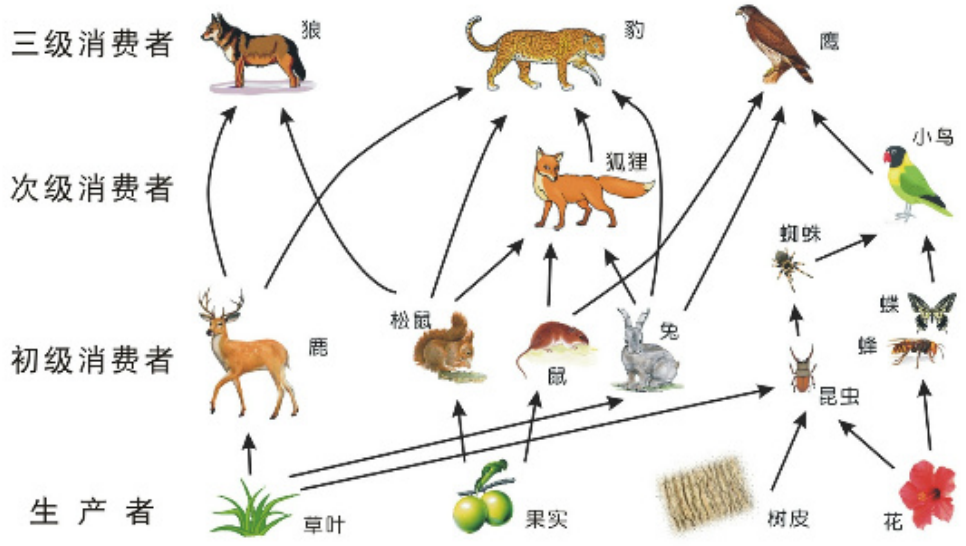


图8.8
稻森林中的食物网图

的生物圈，能与大气圈、水圈、岩石圈和土壤圈产生密切的连结（图8.9）。

（一）能量流动与营养物质循环

生态系统是个开放系统，为了维系自身的稳定，生态系统需要不断输入能量与营养物质，否则就有崩溃的危险。

1.能量流动

能量是维持生态系统运作的原始推动力。其中太阳能是所有生物能量来源，它通过绿色植物的光合作用进入到食物网，然后由绿色植物转移到初级消费者，再由初级消费者转移至二级消费者，以此类推。在此过程，除了生物的呼吸作用，将一部份的能量散逸到外部环境外，最后残存的有机物质之能量，则是藉由分解者经过发酵、腐烂等形式加以释放到环境中。这些散逸到环境

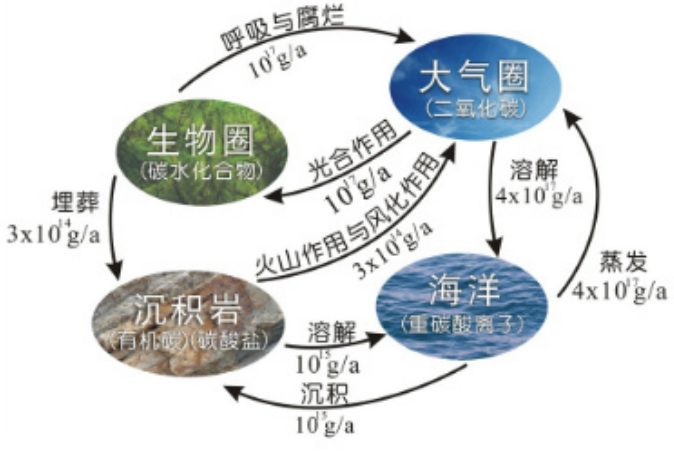


图8.9
二氧化碳在自然界中的循环

中的能量，绝少能再为生态系统中的其他生物所利用，因此，能量通过生态系统中的食物网，呈现单向流动、逐级递减的特色。

2.营养物质循环

此外，生物维持生命的基本营养元素，如碳、氢、氧、氮、磷等也在食物网中进行循环。这些养分元素首先是以矿物质的形式被植物吸收，然后以有机分子的形式传递到各级消费者，生物体死后再由分解者分解为无机物质，并回归到环境中，重新被生物所利用。任何一种生物都要从外界取得营养物质，死亡后则如数还回外部环境中，并被其他生物利用，因此，营养物质通过食物网，可以在生态系统中循环，从而维持着生物圈营养物质的收支平衡。

（二）生态平衡与失衡

当生态系统处于相对稳定状态时，生物之间和生物与环境之间大致能相互适应，生物群落结构与数量的比例，不会出现明显的变动；生产者、消费者和分解者之间，能量和营养物质的输入与输出接近平衡。这种处于相对稳定的动态平衡状态，称为生态平衡。

人类也是这个生态系统的一部分。人类从此系统获得食物、水、煤、石油、天然气等资源。然而人类社会的生产方式不断在演化，从狩猎、采集、农耕、放牧、工业、服务业等阶段，不断改变着生态系统中能量、物质的流通与转换。时至今日，这个系统已受到人口、粮食、能源、污染等问题的滋扰。简言之，人类为其自身的生存和发展，在利用和改造自然的过程中，若过度的开发，最终将导致危害环境中生物的负面反应，衍生了生态失衡问题。例如：大气圈中含有一定比例的二氧化碳，可以调节地表的温度，然而人类大量使用石化燃料，排放二氧化碳进入大气中，导致了目前引发全球暖化的生态环境隐忧。此外，热带草原区的过度放牧，造成土壤盐碱化的问题；或是平地居民为了增加粮食生产而围湖造田等因素造成严重的水土流失灾情。这些过度的人为开发活动，都使得生态系统的平衡受到很大冲击。

长期以来，环境保护意识不强，对生态环境保护和建设的投入不足，也是造成生态环境恶化的重要原因。尤其是向来重开发

轻保护，重建设轻维护，对资源一直采取掠夺式的生产方式，都使生态环境承载的压力愈来愈大。重建现代人类的环境伦理，将是维护未来生态系统平衡的重要基础工程。

第四节　环境保护

环境伦理

环境伦理是人类与自然环境间的道德关系，也可以说是人类与自然环境的伦理责任。

地球是人类赖以生存和繁衍的家园，但是近年来我们的生存环境正在逐渐地被破坏，如果不加以重视的话，那么我们将永远失去这个赖以生存的唯一家园。

人类不是大自然的“主宰者”或“统治者”，而是大自然家庭中的一员；人类应该成为这个大家庭中的善良公民。大自然中的生物，并不是人类的奴隶，不是为人类而诞生的。

如果有一天，抬起头看到的天空已不再蔚蓝，脚下踩着的土地已成为沙漠，河水、湖水非得经过多层净化才能饮用，孩子们只能在博物馆里参观熊猫、大象的标本。那么，一切都晚了。

造成环境恶化的罪魁祸首是人类自己，乱砍滥伐、过度掠夺资源、制造污染。人类用几千年的时间建成了现代文明，现在却用几百年或者几十年的时间亲手毁掉它。

环境保护必须以人为本，从提高公民的环境意识开始。只要人们能够正确认识自然、合理利用自然、有效保护自然，自然就能够成为人类的挚友，为人类谋福利、创幸福，让人类感受到自然的博大胸襟和环境的优美。

经济开发与环境保护

（一）资源恢复周期

自然资源可分为不可更新资源与可更新资源。不可更新资源会随着人们的使用而减少，最后消耗殆尽，如矿产资源；森林资源和水资源则是可更新资源。

任何生态系统都具有一个负载能力的上限，包括承载一定的生物量、吸收消化污染物的能力、忍受外界冲击的能力。当生态

系统承受外界冲击的周期短于它的自我恢复周期时，系统将会受到破坏。例如：在热带雨林地区进行迁移农耕，只需十多年的时间，被砍伐的森林和受干扰的生态系统就可恢复；但是，如果采取的是热带企业化农业，由于土地不休耕，一旦过度利用，将可能导致地力逐渐衰退，生态环境受到破坏。

（二）过度经济开发带来的环境冲击

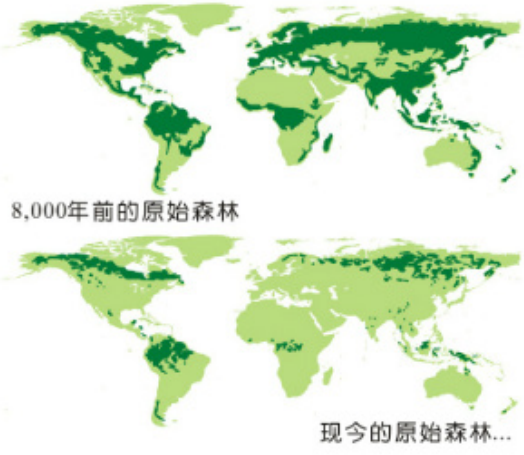
世界人口的增长，使地球上的资源被过度开采，造成资源短缺、耕地减少、植被破坏、水土流失、物种灭绝、环境污染等问题。一味向地球索取资源的人类，已将地球推到了一个十分危险的境地。

1.森林面积的减少

因发达国家广泛进口林产，再加上发展中国家开荒、采伐、放牧，使得森林面积大幅度减少（图8.10）。森林减少导致高原或山坡发生严重的水土流失，例如：彭亨州金马仑高原的过度开垦，引发土石流的灾害问题（照8.25）。

图8.10（左）
森林面积的减少

照8.25（右）
我国的森林砍伐



照8.26
干涸的河床

BOX

中国报 2015年7月27日

（而连突27日讯）森林过度开发，导致彭亨河水位下降并日趋干涸，影响自然生态，瓜拉大汉国家公园也面临遭受破坏的危机。除了影响水位，开发活动也导致自然生态受到破坏、鸟类迁移等问题，当豪雨来临时，也引发突发水灾。

2.土壤遭到破坏

在非洲、亚洲和拉丁美洲，由于森林植被大量消失、过度开发耕地及放牧，土壤侵蚀情况十分严重。加上过度使用化肥和农药，有毒尘埃随风飘散，危险废料到处抛弃，这些都可能对土地构成不可逆的破坏（照8.27）。

3.淡水资源受到威胁

水是生命的源泉，饮用水短缺却会威胁人类的生存。排放工业废水，滥用化学肥料，任意倾倒垃圾，生活污水剧增以及滥垦滥伐都会造成水分大量蒸发和流失，导致饮用水急剧减少（照8.28），如中国华北平原因工业快速发展已导致用水出现紧张。

照8.27（左上）
土壤遭到破坏

照8.28（右上）
中国河北省威县一座桥下干涸的水渠（2015年10月）

照8.29（左下）
生物的多样性减少

照8.30（右下）
雪兰莪州万挽的特有树种 Giam Kanching 树

4.生物的多样性减少

生物的生存环境遭到破坏或过度捕猎，会使物种灭绝。例如我国的人猿、马来貘与Giam Kanching树（属龙脑香科）等（照8.29、8.30），数量日益减少，需要加以保护才能生存。

5.环境污染

工农业带来的污水排放与大气污染物，常透过空气、土壤、水、植物和动物将有毒物质带入到人体中。这些有机化合物、重金属等都集中存在于整个食物链中，最终将威胁到动植物和人类的健康。例如：彭亨州劳勿的山埃（氰化钾）污染、中国黄河的废水污染、日本福岛核电站泄漏事件（照8.31、8.32）。

照8.31（左）
环境污染

照8.32（右）
彭亨州劳勿居民反山埃污染的抗争活动

BOX

氰化钾

氰化钾（化学式：KCN），俗称山埃钾（山埃），是氰化氢的钾盐。在一般环境下氰化钾是一种呈无色或白色、有杏仁味、外观与糖相似并且易溶于水的固体。尽管有剧毒，由于是能与元素金组成可溶化合物的极少数物质之一，因而常被用于珠宝的镀金和抛光。它有时也用于采取化学萃取法淘金的金矿开采（尽管氰化钠的应用更为普遍），且直到1970年代仍不时被用作老鼠药。

山埃可通过空气吸入、食物及皮肤进入人体，会让人迅速昏迷、停止呼吸，只需很少分量就可致人死亡。

（三）常见的环境保护方法

环境保护是指人类有意识地保护自然资源并使其得到合理的利用，防止自然环境受到污染和破坏，并对受到污染和破坏的环境做好综合治理，以恢复适合人类生产和生活的环境。其方法包括工程技术、行政管理、法律、经济、教育等。

改善环境问题的方法可分为两大方向，一是保护和改善环境质量，以维护人类身心的健康；二是减少或消除有害物质进入环境，以避免人类生命受到威胁。

在保护和改善环境质量方面，需要通过各种经济、技术和法律方法，包括制订和实施保护自然资源的法规，如土地法、森林法、渔业法和水资源法等来解决这方面的问题。技术上，则可植树种草，退耕还林；增施有机肥，改良土壤；上游地区建设防护林，下游地区加固堤防，减少水灾的发生（照8.33、图8.11）。

在减少或消除有害物质进入环境方面，需要防止各种污染，例如：工业生产排放的“三废”（废水、废气、废料）；交通运输产生有害气体和污染物；工农业生产中使用有毒化学品；住宅区排放污水和垃圾造成的污染等。制订相关法规是最常改善这些问题的方法，如水污染防治法、噪音管制法等，另外提升人民的环保意识也是重要的工作。

照8.33（左）
植树种草

图8.11（右）
下游地区加固堤防

对于有大量特有种动植物集中、自然景观资源丰富的地区，则要建立自然保护区加以保护，包括对珍稀物种及其栖息地、特殊的历史遗迹、地质现象、地形景观等提供有效的保护，例如：我国柔佛州丹绒比艾国家公园、吉打州浮罗交怡的地质公园。

另外，城乡规划、控制人口的增长和分布、合理的区域均衡发展策略等，也都属于环境保护的内容。

环境保护已成为当今世界各国共同行动和主要任务之一。许多国家尝试联合多国政府来缔结条约，对自然资源进行预防保护或管理人类活动。知名的全球性条约与宣言，例如：减少二氧化碳排放的《巴黎协议》、保护臭氧层的《维也纳公约》和强调永续发展的《里约环境与发展宣言》等。

练习题

选择题

1 决定天然植物分布最重要的因素是下列何者？

A. 生物　　B. 洋流　　C. 地形　　D. 气候

2 下列各自然景观带中，气候上有明显干湿季的是：

Ⅰ 热带莽原　　Ⅱ 寒带苔原　　Ⅲ 温带沙漠　　Ⅳ 地中海灌木林

A. Ⅰ、Ⅲ　　B. Ⅱ、Ⅲ　　C. Ⅰ、Ⅳ　　D. Ⅱ、Ⅳ

3 如果某工业城市时常出现烟霾天气，应该采取什么合理的措施？

A. 关闭工厂　　B. 停止使用矿物燃料

C. 城市中心管制汽车行驶　　D. 加强监管污染物的排放

4 “境内天然植物多为粗大高茂的草原，偶有稀疏的林木散布其间。”下列那个地区常见到上述的自然景观？

A. 刚果盆地　B. 巴西高原　C. 澳洲西部　D. 西伯利亚

5 若以各景观带在地表所占面积而言，分布范围较小的景观带是：

A. 热带雨林　B. 寒带针叶林　C. 热带沙漠　D. 地中海灌木林

6 “分布在肯雅和坦桑尼亚境内的牛羚及斑马，为了寻找足够的水草，1月雨季里，它们成群迁移到坦桑尼亚北部，旱季时便北移至肯雅的树林地带，若全区干旱，则避居谷地或湖泊附近。”请问以上叙述的迁移路线是根据何种现象形成？

A. 风向的变化　B. 降雨的先后顺序

C. 节气与气温的变化　D. 太阳的位置与高度

7 美国、加拿大东岸在每年秋季时，植被总是缤纷多彩，令人目不暇给。请问此自然景观带应是：

A. 温带落叶林　B. 温带常绿林　C. 寒带针叶林　D. 温带灌木林

8 明强在游记中写道：“此地树木均是树干低而具有深根，树皮较厚，叶片小且硬，具有蜡质。”请问明强文中提及的植被应分布在哪一个景观带？

A. 沙漠　B. 雨林　C. 温带森林　D. 温带草原

9 关于温带草原景观带的叙述，下列何者正确？

A. 高草茂盛　B. 盛行集约式农业

C. 畜牧类型以游牧为主　D. 分布于温带大陆性气候区

10 “此区因发展商业性谷物农业，抽取地下水灌溉，造成地下水枯竭；又因喷洒农药，造成土壤污染。”引文中所描述的是何种景观带所遭遇的问题？

A. 温带草原　B. 温带灌木林　C. 温带落叶林　D. 寒带针叶林

11 由于气候严寒，植被无法生长，所以动物种类主要为北极熊、海豹等肉食性动物，上述是指哪一种自然景观带？

A. 苔原　B. 冰原　C. 针叶林　D. 灌木林

是非题

1. 热带雨林带多分布于高温多雨的赤道地区，因环境不佳，故生物种类树种均十分单纯。（　　）
2. 热带莽原带高温且没有明显的干季，草类高大繁茂，草食性及肉食性动物多聚居在此，不需迁移。（　　）
3. 温带落叶林带的树木于秋冬落叶，以适应低温，愈往北，气温渐低，林相转为针叶林。（　　）
4. 苔原景观带分布于北极区内，底土为永冻层，植被多为苔藓、地衣，多肉食性动物分布。（　　）
5. 地表的自然景观带，受到大自然的力量所宰制，人类活动对地表景观的影响不大。（　　）