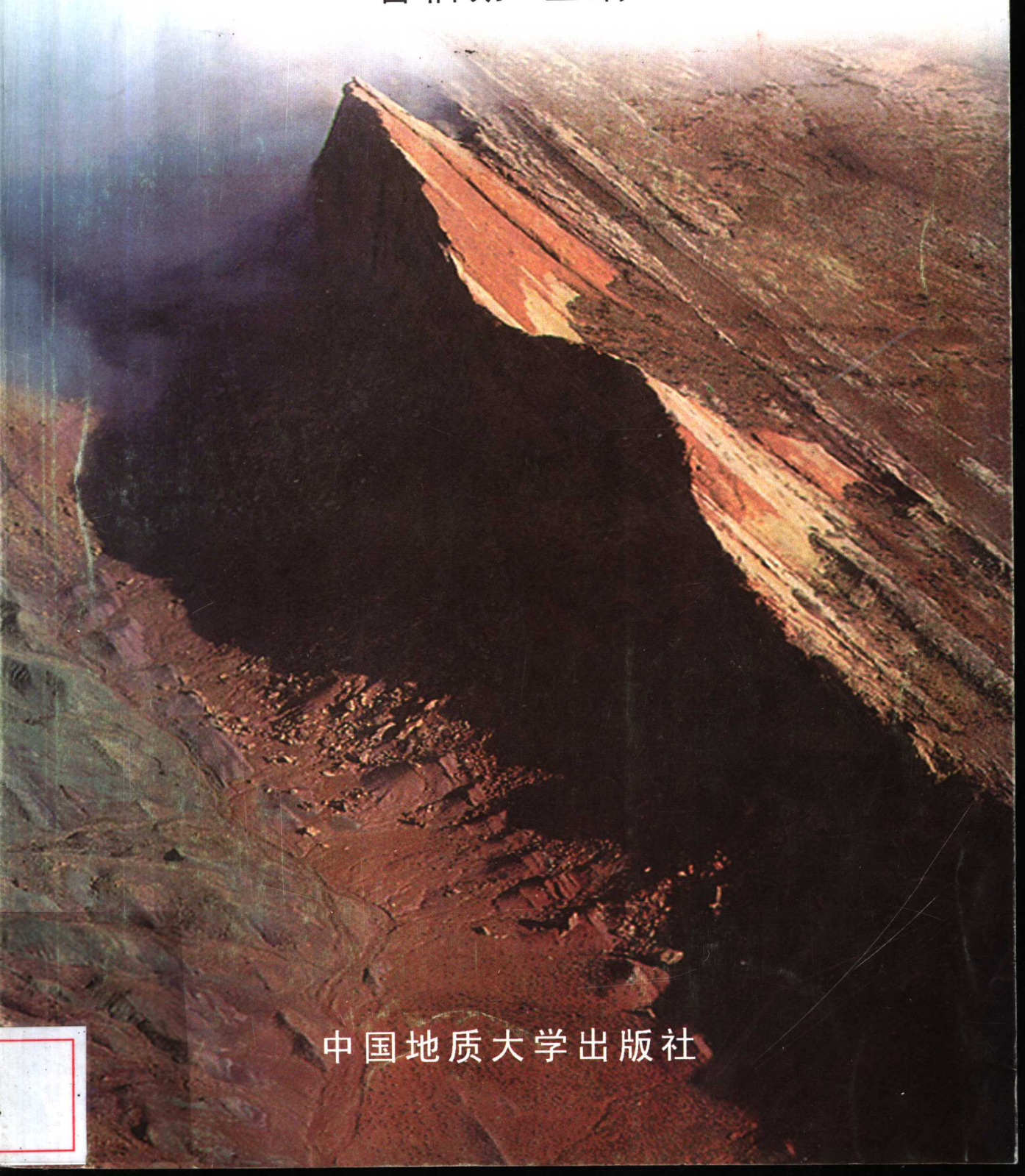


高等学校教材

地貌学及第四纪地质学

曹伯勋 主编



中国地质大学出版社

高等学校教材

地貌学及第四纪地质学

曹伯勋 主编

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了第四纪地质、地貌和地球环境变化动因的全球观点,并重点论述了地表各主要动力环境的地貌和第四纪沉积物的形成与特征;较全面地阐述了第四纪气候与海平面变化、生物与古人类形成发展、沉积物年龄测量与古环境参数研究、地层、新构造运动和工作方法。本书重视知识更新和理论联系实际,反映了地貌学及第四纪地质学所涉及的主要学科的新成就。

本书可作为大专院校地质、水文地质和工程地质、环境与工程、遥感地质等专业的教材,亦可供水利电力、农业和土壤等专业教学使用,还可供区域调查、第四纪地质与环境科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地貌学及第四纪地质学/曹伯勋主编. —武汉:中国地质大学出版社,1995.10
ISBN 7-5625-1060-1

I. 地…

II. 曹…

III. ①地貌学 ②地质学-第四纪

IV. ①P931 ②P534.63

地貌学及第四纪地质学

曹伯勋 主编

责任编辑:张华瑛 余 薇

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号) 邮编:430074

电话:(027) 87483101 传真:87481537 E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:470千字 印张:18.375

版次:1995年10月第1版

印次:2004年3月第5次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:7 601—10 600册

ISBN 7-5625-1060-1/P·376

定价:25.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

《地貌学及第四纪地质学》是讲授地貌与第四纪基本知识的综合性课程。地貌与第四纪地质研究除在国民经济中的多种实际价值外,近些年来在环境、灾害与全球变化研究中的重要性与日俱增。为此,在编写本教材时对1980年版教材的章节和内容作了较大的调整与补充,设置了“第四纪、地貌和地球环境变化动因概述”、“第四纪气候变化与海平面变化”、“第四纪沉积物年代测量与古环境参数测量方法概述”等新的章节,合并了一些有联系的章节,对各章不同程度地进行了知识更新,并分别与资源、工程、灾害或环境相联系,使学生在学基本知识时得到有关启迪。

本书按教学体系编写,一书多用。在教学中,可以根据专业需要与地区特点对章节和内容进行调整与补充。另外,编写时也考虑到函授教学的需要。

本书由曹伯勋任主编,分工为:第一、二、九、十、十一章及第四章部分,曹伯勋;第六章,赵良政;第八章、第四章部分,林秀伦;第三、十二、十四章,曾克锋;第五、七、十三章及第十四章部分,李长安;最后由曹伯勋修改统编。

在此,对我国“地貌学及第四纪地质学”的学科奠基人袁复礼教授与长期从事本课教学和教材编写的陈华慧、杜恒俭教授致以敬意。本书图件由中国地质大学(武汉)绘图室徐晓玲、彭泥泥、何建华、文丽丽、潘莉和张红波等绘制。对在本教材编写与出版过程中给予支持和帮助的所有领导和同志表示衷心的感谢。

由于编写者的水平有限,本书错误和疏漏之处在所难免,衷心希望读者不吝赐教!

编者

1995.5

目 录

第一章 绪论	(1)
一、课程的性质与任务	(1)
二、课程的内容	(1)
三、本课程主要学科发展概况	(1)
四、课程知识的应用价值	(2)
第二章 第四纪、地貌和地球环境变化动因概述	(5)
一、第四纪与第四纪分期	(5)
二、第四纪沉积物	(6)
三、地貌	(17)
四、第四纪地球环境变化动因概述	(25)
第三章 风化和重力地貌与堆积物	(31)
一、风化作用和残积物	(31)
二、土壤与古土壤	(35)
三、重力地貌及堆积物	(37)
四、风化、重力地貌和堆积物研究的实际意义	(45)
第四章 流水、湖泊和沼泽地貌与沉积物	(47)
一、河流地貌和沉积物	(47)
二、暂时性流水沉积物与地貌	(70)
三、湖泊与沼泽沉积物	(75)
四、流水、湖泊和沼泽堆积物研究的实际意义	(80)
第五章 岩溶地貌及岩溶堆积物	(82)
一、岩溶形成条件及溶蚀基准面	(82)
二、岩溶地貌	(86)
三、岩溶堆积物	(91)
四、岩溶旋回	(92)
五、岩溶研究的实际意义	(94)
第六章 冰川和冻土地貌与堆积物	(96)
一、冰川地貌和堆积物	(96)
二、冻土地貌和沉积物	(106)
三、冰川、冻土研究的实际意义	(111)
第七章 风力地貌和堆积物与黄土	(113)
一、风力地貌和堆积物	(113)
二、黄土	(120)
三、风力和黄土地貌与堆积物研究的实际意义	(129)

第八章 海洋和海陆交替带地貌和沉积物	(131)
一、海洋环境地貌和沉积物	(131)
二、海陆作用交替带的地貌和堆积物	(143)
三、海洋和海陆交替带研究的实际意义	(148)
第九章 第四纪沉积物年龄测定与古环境参数研究方法概述	(150)
一、第四纪沉积物年龄测量方法	(150)
二、古环境参数研究方法	(161)
第十章 第四纪气候变化和海平面变化	(168)
一、前第四纪气候变化概述	(168)
二、第四纪气候变化	(169)
三、第四纪海平面变化	(184)
四、中国第四纪气候变化概况	(193)
五、气候变化原因和未来气候与环境变化趋势问题探讨	(203)
第十一章 第四纪生物、古人类与生物地理区	(209)
一、第四纪生物界的一般特征	(209)
二、第四纪哺乳动物	(209)
三、第四纪植物群及其气候意义	(215)
四、第四纪软体动物和微体化石的气候与环境意义	(220)
五、古人类与古文化期	(223)
六、中国第四纪生物地理区	(228)
第十二章 第四纪地层	(233)
一、第四纪地层划分对比方法	(233)
二、第四纪下限问题与第四纪地层分期方案	(236)
三、中国第四纪地层	(240)
第十三章 新构造运动	(254)
一、新构造运动的概念	(254)
二、新构造运动的表现	(255)
三、新构造运动的类型和强度	(262)
四、新构造	(263)
五、中国新构造运动特征与分区	(266)
六、新构造运动的研究方法	(272)
第十四章 地貌和第四纪地质工作方法	(274)
一、航空、卫星照片的应用.....	(274)
二、野外观察研究	(275)
三、室内实验室工作的选择	(279)
四、第四纪地质图的编制	(280)
五、地貌图的编制	(281)
参考文献	(286)

第一章 绪 论

一、课程的性质与任务

《地貌学及第四纪地质学》是以第四纪地质学和地貌学基本知识为主体，并吸收沉积学、自然地理学、古气候学、古生物学、新构造学和地质年代学等有关知识组成的一门综合性课程。第四纪地质学是研究距今二三百百万年内第四纪的沉积物、生物、气候、地层、构造运动和地壳发展历史规律的学科。地貌学是研究地表地貌形态特征、成因、分布和形成发展规律的学科。两者都以地表自然环境的重要组成部分及其演变历史为研究对象，都是研究地表环境的重要学科，常从不同的角度研究同一问题，研究结果互相补充，关系十分密切，具有多种理论与应用实际价值。但是，近些年来，由于普遍认识到自然环境的复杂，环境相对平衡受到人为活动加剧的影响，使人类承受到环境、生态、人口和资源的压力。为使今后人类与自然之间能够保持和谐持续发展，从古今结合观点出发，利用多学科交叉方法，积极、慎重研究人类生存环境的发展趋势与潜在重大灾害，已成为世界科学界关注的重大问题。因此，《地貌学与第四纪地质学》课程在有限学时内，除讲授其主体学科最重要的基本知识与应用价值外，近年来，根据现代地球环境是从第四纪环境演变而来，未来环境将是现代环境在自然因素与人为因素影响下的发展的观点，对第四纪全球和区域（主要是中国）气候与环境演变的主要方面作了扼要介绍。本教材反映了近十多年来本课程教学实践的变化。

《地貌学及第四纪地质学》的教学目的是使学生在掌握与多种实践活动（如矿产、地下水、工程基础与工程灾害等）有关的第四纪地质和地貌基本知识的同时，对第四纪自然环境的主要方面（如气候变化、海平面变化、动植物群的演变与人类发展和新构造运动等）的情况有一定程度地了解，以利于提高学生对环境研究的意识与能力，这是环境终身教育中重要的一环。

二、课程的内容

课程内容包括两个方面：一方面是第四纪和地貌研究的基本知识及其在多种国民经济中应用的实际价值；另一方面是第四纪地球自然环境变化的重要方面，即第四纪气候、海平面、生物与古人类和新构造运动等的基本情况。第一方面的内容是后一方面内容的基础；后者是前者的拓宽应用。上述内容均是按教学体系进行安排的。

三、本课程主要学科发展概况

本课程主要学科第四纪地质学与地貌学都是从地质学和地理学中发展起来的。

19世纪末到20世纪初,探险、区域考察、运河、水坝建筑和建材与砂矿开采等活动推动了地貌学和第四纪地质学的发展。这一阶段提出了河流侵蚀理论,并为冰川地质学打下了基础。1928年建立了国际性第四纪学术研究机构——国际第四纪研究联合会(INQUA)。

20世纪初到60年代,为满足工业化社会的多种需求,第四纪地质学在沉积物成因、砂矿、动植物群、古气候、海平面及新构造运动等方面的研究和地貌学在河流、冰川、岩溶、海岸、荒漠及冻土等方面的研究都取得重要的理论与应用研究成果,在许多方面形成相对独立的部分。

20世纪60年代以来,在第四纪地质学与地貌学研究的深化过程中,气候地貌和构造地貌研究取得了明显进展。由于新技术、新方法的应用,第四纪海洋地质研究取得了重大突破。根据对深海沉积物钻孔岩芯试样的氧同位素研究,提出了与传统陆地冰期方案不同的气候多波动模式。黄土和冰岩芯的研究也取得了类似的结果。这些研究成果为全球气候与环境变化研究打下了新的基础。现代第四纪研究日益向多学科交叉的综合性第四纪地球学科(Quaternary Geoscience)方向发展,成为近30年来环境、资源与应用研究并重,研究内容最丰富和发展速度最快的地球科学分支学科之一。

中国在第四纪哺乳动物与古人类、黄土、地震和青藏高原隆升等方面的研究成果为世界瞩目。河流、沙漠、岩溶、冰川、冻土、平原堆积物和泥石流研究成果卓有成效。第四纪海洋沉积物、海平面变化、植物孢粉、地质灾害、环境研究和新技术方法的应用正蓬勃发展并取得若干重要成果。1991年8月在北京召开了国际第四纪研究联合会(INQUA)第十三届大会,刘东生院士当选为第十四届大会主席,表明中国第四纪研究水平已为世界所公认。

四、课程知识的应用价值

第四纪地质和地貌的研究,是开发利用第四纪资源和水文地质及工程地质工作的基础,也是水利、水电、水运、地上和地下交通与管线工程勘察的重要组成部分,还是灾害与地球环境变化和预测研究的重要环节。

1. 第四纪资源开发利用与区域地质研究 第四纪矿产资源有:砂矿(砂金、金刚石、锡石、独居石、金红石等)、化学矿产(盐矿、硼矿、钾矿等)、有机矿产(泥炭、沼气)和建材(砂、砾、土)。各种第四纪矿产赋存在不同时期和不同成因类型的第四纪沉积物中,位于一定地貌单元内,开发利用这些矿产必须应用第四纪地质和地貌知识。

地下水是工农业和生活必须的重要资源,大量浅层地下水储集在不同地貌单元内的时代不同与成因多样化的松散第四纪沉积物中。地下水的含水层数目、储量、埋深、水质、流向、空间分布和形成时代,取决于该区第四纪沉积物、地貌和新构造运动等的特征与演化历史。第四纪地质与地貌研究是水文地质与工程地质工作的基础,在山前、河谷、平原和岩溶区尤为重要。

地球上尚存为数不多未遭破坏的地质、地理原始景观、珍稀动植物生息地、古人类古文化遗址、岩溶洞穴、奇山秀水等等,是具有科学价值的保护地和旅游资源。

我国1:5万区域地质调查和广大平原(或盆地)区的第四纪地质研究应该加强,这一工作可以为环境、农业、城市地质和土地资源规划利用等提供科学基础资源。

2. 工程建筑 水利、水电、交通、建筑和水运等工程勘察都必须研究与工程有关的有利和不利第四纪沉积物、地貌、新构造运动和现代动力作用。对大型长效和安全性要求高的

现代工程，如大型水库、水坝、主航道、核电站、地铁、隧道和高层建筑等，不仅要研究可利用的地质、地貌条件，还应该研究工程后由于局部地质、地貌条件变化对工程可能产生的影响。许多大工程都修建在山前、平原、河谷和海（湖）岸，这些地貌单元的第四纪松散沉积物厚度较大，岩性和成因复杂，地层时代、风化程度和形成过程各异，新构造运动和现代动力作用强弱不等，对工程设计、施工和工程的安全性等的影响也就不同。本书对上述问题研究有重要的应用价值。

3. 自然灾害与环境变化研究 自然灾害是对人类经济和生命财产能造成重大损失的恶性事件，大都具有突发性。中国是一个自然灾害较多的国家，对自然灾害的形成发展、时间与空间和强度演化规律，监测、预测和防治，对减灾和救灾的研究，是我国许多学科与部门共同的重要任务。自然灾害的发生与天、地、生三大系统的变化有关。“天”的变化即宇宙因素如太阳辐射变化、黑子与耀斑爆发、陨石与小行星对地球的冲击等都可能不同程度地引起灾害。“地”的变化即地球内部物质运动引起的地壳运动，如地震、火山爆发、断层活动与壳内物质外泄；地表多种多样外动力的剥蚀、搬运与堆积作用，产生洪涝、泥石流、崩滑、水库淤塞、水土流失与荒漠化等。“生”的变化即生物界和人类造成的灾害，前者如红潮、农林业生物灾害及动物传播疾病等；后者为人类 2ka BP^① 以来从土地利用、砍伐森林到大量使用化石燃料和各种污染造成多种人为灾害。比较而言，自然灾害中地球系统的变化，尤其是第四纪以来气候变化和新构造运动造成的自然灾害多而常见，人类活动速度与强度的加剧对现在和未来发生的灾害有重要的影响。因此应该研究灾害尤其是地球系统灾害的多种特性（表 1-1）。本门课程有关知识对研究诸如现代和第四纪气候敏感带、不同气候-生物组合交界带、地壳活动带、外动力高强度作用带（江、河、湖、海带与边坡）、第四纪堆积区和人为活动强烈频繁地带等灾害易发区带和探讨自然灾害发生、发展和演化规律等方面具有科学的意义。

表 1-1 灾害的特性

灾害类型	地球系统	内力型	地壳活动，断裂活动，地震，火山活动，地内有毒物外泄，地磁，地电变化等
		外力型	气候（气温、降水量、蒸发量）变化，海面上升，重力失衡，水、土、冰川均衡运动，各种外动力剥蚀、搬运和堆积过程等
	人—生物系统	污染型	大气、水、土污染，采矿等
		生态型	毁林，过度利用土地，狩猎，生物作用等
	物理干扰型	噪声，振动，电波与射线等	
宇宙系统		太阳活动变化，陨石、小行星冲击	
发灾过程		急剧的（多数），渐变的，急剧与渐变交替的	
致灾性质		单一灾害，灾害群发，古灾复活	
致灾范围		局部的，区域性的，全球性的	
灾害可控性		人力可抗的：可预测、防治或抑制。人力不可抗的：可预测与部分防治；难预测，难防治但可减灾的	
灾区社会条件		人口密度，工商业价值，交通位置，核设施，洪灾、地震易发区	

人类生存的自然环境，从广义而言，包括大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈。各圈层在地表附近相互作用最明显，如地-气系统、海-气系统、水-冰雪系统、壳-幔系统、生-地

① 沉积物年龄：“距今”用代号“BP”，“公元前”用“B.C.”，“公元”用“A.D.”表示。

系统的作用与这些系统之间的相互作用所构成的全球性表层环境是按全球性自然规律变化的。狭义而言，一个地区的自然环境包括该区空气、水、土壤、岩石、动植物、地形、内外动力、矿产及所处气候带（或类型）与地质构造位置。人类长期对自然的改造活动和发展经济，一方面创造出种种有利于人类进步发展的城市、工矿区、填（江、湖、海）土区、大型库坝、河堤和农场等人为环境，同时由于人为过度活动不同程度地破坏了当地自然环境的相对平衡，造成种种人为灾害（或人为活动激化的自然灾害）和污染，这是当代最令人忧虑的问题，是现代环境保护、治理与防治的主要对象之一；另一方面人类活动的负面影响具有超地区、全球性、长期性的特点，对全球性重大自然灾害有激化作用，如近百年来工业发达的北半球城市造成的大气污染可能正导致全球气候变暖与海面上升。总之，人类现代生存环境在自然力和人为活动影响下发生着变化，而人类对其变化原因、机理、趋势和种种深远影响知之尚少。“在预测未来全球种种变化时，我们面对的许多问题只有通过较好地认识过去才能作出回答”^①。所以，对第四纪全球、区域环境变化历史研究和参与对未来环境变化趋势预测与对策研究，是第四纪地球科学的一项重要任务。

4. 其他 遥感、测量、土地规划利用、农业与土壤、航运、军事、物探、环境保护和旅游业等都需要有关的地貌、第四纪知识。

^① 引自国际科学联合会理事会（ICSU）的“国际地圈-生物圈计划（IGBP）”即全球变化研究计划。

第二章 第四纪、地貌和地球环境 变化动因概述

一、第四纪与第四纪分期

(一) 第四纪

第四纪一词 (Quaternary) 是 1829 年法国地质学家德努尼尔 (Desnyers) 所创。他按当时的科学水平把地球历史分为 4 个时期, 第四纪是地球发展最近的一个时期。1839 年莱伊尔 (C. Lyell) 把海相地层中含无脊椎动物化石现生种类达 90% 和陆相地层有 人类活动遗迹的沉积物划归第四纪, 并把第四纪分为更新世 (Pleistocene) 和近代 (Recent)。1869 年基尔瓦斯 (Gerivais) 提出全新世 (Holocene) 一词。1881 年第二届国际地质学会正式采用第四纪一词。由于更新世地球上发生过多次大规模冰川活动, 故又有“冰河期”或“冰期更新世”之称。也有的研究者鉴于第四纪是人类的出现与发展时代, 建议把第四纪称为“人类纪”。上述各种意见反映不同研究者试图从不同角度定义第四纪。

现代第四纪的概念是综合性的, 第四纪是指约 2.4Ma BP 以来地球发展的最新阶段。第四纪的特点是: 在短暂的地质时期内发生过多次急剧的寒暖气候变化和大规模冰川活动; 人类及其物质文明的形成发展; 显著的地壳运动; 广泛堆积陆相沉积物和矿产; 急剧和缓慢发生的各种灾害不断改变人类生存环境; 人类活动的范围和强度与日俱增。所有上述一切成为第四纪的综合特征。第四纪是自然与人类相互作用的时代, 它的过去、现在和未来变化都与人类的生存与发展息息相关。因此, 第四纪研究在科学的理论和实践中有特殊重要的地位。

(二) 第四纪分期

按照第四纪生物演变和气候变化, 通常把第四纪分为 4 个时间尺度不等时期: 早更新世 (Q_1)、中更新世 (Q_2)、晚更新世 (Q_3) 和全新世 (Q_4)。相应的地层分别称为下更新统 (Q_1)、中更新统 (Q_2)、上更新统 (Q_3) 和全新统 (Q_4)。中国传统上把第四纪 (系) 二分, 只分为更新世 (统) (Q_p) 和全新世 (统) (Q_h), 目前正在往四分变化^①。第四纪分期如表 2-1 所列。有关第四纪下限年龄有几种意见 (见第十二章), 本书采用距今 243 万年 (简称为 2.43Ma BP, 以下同), 与古地磁极性的松

表 2-1 第四纪分期与分界年龄

地质时代	极性时	分期及分界年龄 (ka BP)
第四纪 (Q)	布容	全新世 (Q_4) 11
		晚更新世 (Q_3) 130
	中更新世 (Q_2) 730	
第三纪	松山	早更新世 (Q_1) 2 400
	高斯 吉尔伯特	上新世 (N_2)

山/高斯两极性时的分界年龄相近。第四纪内部分期年龄也没有统一意见, 本书采用大多数研究的意见, 把古地磁极性布容/松山两极性时的分界年龄 0.73Ma BP 作为中、早更新世分界年

^① 中国有下、中、上更新统和全新统代号分别记为 Q_p^1 、 Q_p^2 、 Q_p^3 和 Q_h 意见。

龄;晚更新世则以末次间冰期开始(相当于大洋 $\delta^{18}\text{O}$ 第5阶段始期)为界,其年龄约为130ka BP(或150ka BP)。全新世一般都以11ka BP或12ka BP为始期,中国目前用三分法:全新世早期(Q_1^1)(12~7.5ka BP)、全新世中期(Q_1^2)(7.5~2.5ka BP)和全新世晚期(Q_1^3)(2.5ka BP~现在)。国际上常用七分的布列特方案(第十章图10-14),也有人将全新世四分^①。第四纪分期研究有利于地层划分对比,其年龄的测定除具地层学意义外,对环境研究也很重要。

二、第四纪沉积物

第四纪沉积物是人类赖以生存的基础之一。农业植根于各种松散第四纪沉积物表部发育的土壤;许多工业设施(地表与地下)和民用建筑都以第四纪沉积物为基础;大量的地下水赋存在第四纪沉积物中;部分重要矿产(砂金、金刚石、锡、盐和硼等)和建筑材料(土、砂、砾石)产于第四纪沉积物中。人类过去、现在和将来都离不开第四纪沉积物。

(一) 第四纪沉积物基本特征

第四纪形成的松散岩石一般称为“堆积物”、“沉积物”或“沉积层”,如河流形成的“冲积物”或“冲积层”,洪流形成的“洪积物”或“洪积层”等等。有的研究者认为对无明显外动力搬运、分选和成层构造者才称为“堆积物”,如“残积物”、“重力堆积物”、“地震堆积物”、“人工堆积物”等等。第四纪沉积物特征如下:

1. 岩性松散 第四纪沉积物一般形成不久或正在形成,成岩作用微弱,绝大部分岩性松散,少数半固结,绝少硬结成岩。这一特点有利于将反映形成时的古气候古环境信息保存下来,并易于进入沉积物内研究,采矿、施工易于进行,但也因此易于发生灾害。对第四纪沉积物露头要及时摄影、测剖面 and 采样。

2. 成因多样 由于第四纪气候、外动力和地貌多种多样,由此而形成多种多样成因的大陆沉积物和海洋沉积物。各种成因沉积物具有不同的岩性、岩相、结构、构造和物理化学性质与地震效应。因此,要求尽可能在野外对开挖出的原始剖面进行详细描述,并统计分析各种成因的堆积物。

3. 岩性岩相变化快 即使同一种成因的陆相第四纪沉积物,由于形成时动力和地貌环境变化大,因此沉积物的岩性岩相结构变化也大。这就要求在野外要尽可能沿岩层(或标志层)多追索研究,不能以点代面。第四纪海相沉积物则远较陆相沉积物岩性、岩相稳定。

4. 厚度差异大 剥蚀区第四纪陆相沉积物厚度一般小,从几十厘米到十几米,堆积区(山前、盆地、平原、断裂谷地)可达几十米、一百多米或几百米。沉积厚度大的、沉积连续的地区,采用钻探(或物探)可以获得丰富的第四纪资料。

5. 不同程度地风化 陆相沉积物大多出露在地表,受到冷暖气候交替变化的影响,时代越老风化越深。研究地表不同时代沉积物的风化程度,对地层划分对比和工程建筑都有好处。但要注意同一时代沉积物地表和地下掩埋部分的风化程度不同。

6. 含有化石及古文化遗存 在有的第四纪陆相堆积物中,含有大型和小型哺乳动物化石、古人类化石、石器和陶器、用火遗迹(如灰烬和炭屑)及村舍遗址等。要特别注意在洞穴堆积、河湖相堆积的研究中寻找上述材料,并对产地加以保护。

^① M. W. 涅依什托将全新世分为:始全新世(12~9.8ka BP)、早全新世(9.8~7.7ka BP)、中全新世(7.7~2.5ka BP)和晚全新世(2.5ka BP~现在)。

(二) 第四纪沉积物岩性

第四纪沉积物岩性有：碎屑沉积物、化学沉积物、生物沉积物、火山堆积物和人工堆积物。其中碎屑沉积物在大陆上和浅海地带分布极广，是工作中经常研究的对象，要求野外观察与室内分析结合。

第四纪碎屑沉积物的粒级划分可参考表 2-2，该表粒级划分适用于沉积物成因和工程建筑研究，而研究砂矿、建筑材料还应满足有关部门的特殊要求。

表 2-2 碎屑粒级分类（温德华分类）与 ϕ 值关系

粒 级 名 称		粒 径 (mm)	对 应 的 ϕ 值
砾	巨 砾	256	-8
	粗 砾	64	-6
	中 砾	4	-2
石	细 砾	2	-1
	极粗砂	1	0
砂	粗 砂	0.5	1
	中 砂	0.25	2
	细 砂	0.125	3
	极细砂	0.0625	4
粉	粗粉砂	0.031	5
	中粉砂	0.0156	6
	细粉砂	0.0078	7
砂	极细粉砂	0.0039	8
	粘 土	0.002	9
		0.001	10
		0.0005	11

$$\phi = -\log_2 D \text{ 或 } \phi = -(\log_{10} D / \log_{10}^2) \quad (D \text{ 为粒径, 单位为 mm})$$

第四纪碎屑沉积物的命名用二元命名法和三元命名法。砂砾沉积物二元命名法以砂(0.02~2mm)、砾(>2mm)的含量(%)为依据(表 2-3)命名。三元命名以砂粒(0.02~2mm)、粉砂粒(0.002~0.02mm)、粘粒^①(<0.002mm)的含量(%)为依据,按表 2-4 分类命名;或以砂粒、粉砂粒和粘粒 100%含量为端元,制成三角图,样品按上述 3 个粒级含量的(%)投到三角图上的各区命名(图 2-1)。

表 2-3 第四纪沉积物的二元命名

含 量 名称	砾 石	含砂砾 砂质砾 (一般称砂砾)		砾质砂	含砾砂	砂
		75~95	50~75			
砾 石 (%)	>95	75~95	50~75	25~50	5~25	<5
砂 (%)	<5	5~25	25~50	50~75	75~95	>95

第四纪有机沉积物、化学沉积物和火山堆积物依据沉积岩石学方法命名。人工堆积物以堆积物性质命名,如回填砂土、垃圾、碎石、金属物等。地震堆积直接以地震命名。

(三) 第四纪沉积物成因研究

第四纪沉积物的成因研究对水文地质、工程建筑、砂矿和环境分析都很重要。沉积成因

^① 粘粒大小尚无统一方案,有<0.001mm、<0.002mm、<0.005mm三种意见。粘土是不同细粒的混合物,不等于粘粒。

四纪沉积物松散、成熟度低、易风化和成岩作用微弱等特点，应注意下列几方面的综合研究。

1. 砾石 对大于 2mm 的砾石(或角砾,下同)应尽量在野外统计研究其砾性、砾径、砾向、砾态、表面特征和风化程度,并根据统计数据制成相应图件(图 2-2),这些资料能提供许多重要的宏观沉积学与环境特征。统计工作一般选在重要层位或重要地点进行,在大约 1m² 面积新鲜露头上挂一 10cm×10cm 线网,按网格逐个以下列顺序测量每个砾石的砾向、砾径、表面特征,最后打碎砾石研究其岩性和风化程度。在砾石统计研究中注意以下几点:

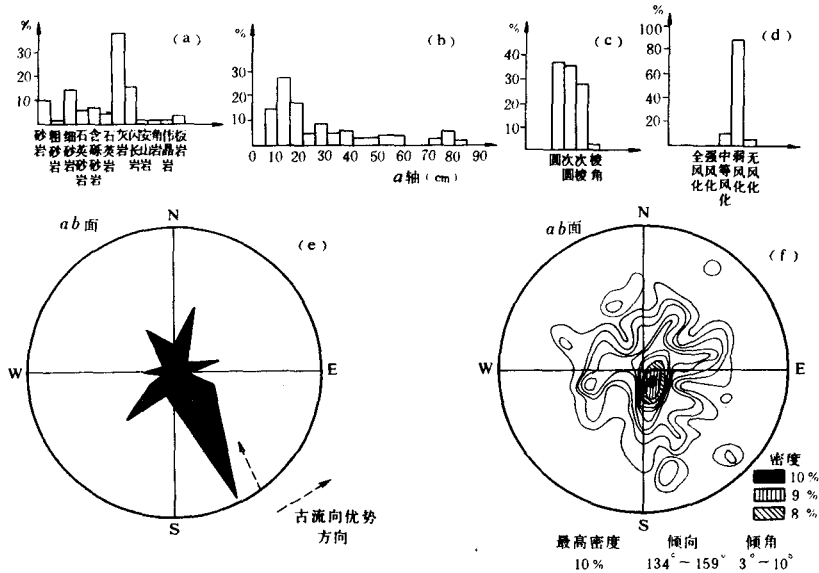


图 2-2 砾石特征图

(a) 砾性; (b) 砾径; (c) 砾态; (d) 风化; (e) 古流向; (f) 砾向 (*ab* 面) 密度图

a. 砾性 注意研究组成砂砾层砾石岩性的单一性与复杂性、可溶性岩的数量、抗蚀岩性的比例及近源和远源岩石等等。

b. 砾径 要测量其长轴 (*a* 轴)、中等轴 (*b* 轴) 和短轴 (*c* 轴) (三轴大小以 mm 为单位)。可以等球体直径 D ($D = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}$) 或 *a* 轴大小表示砾石大小。测量时少数巨砾可不计在内,巨砾间充填的细砾也不统计。

c. 砾向 包括砾石扁平面 (*ab* 面) 和长轴 (*a* 轴) 的产状要素 (砾石组构)。砾石扁平面的叠瓦式排列是一种较普遍的现象,大多数情况下 *ab* 面的优势倾向与流动介质 (河流、洪流、泥石流、冰川、海 (湖) 浪) 运动方向相反 (图 2-3),其倾角值则是区别不同运动介质的一个重要参数。砾石长轴在河流主流区顺流排列,在海 (湖) 岸则顺岸线排列。

d. 砾态 指砾石的圆度、球度和扁平度。

砾石圆度 砾石圆度是一个常用指标,它是砾石的磨圆程度。一般野外定性分五级:棱角、次棱、次圆、圆和极圆 (图 2-4)。按上述分级可计算平均圆度 (P)

$$P = \frac{(n_3 \cdot 3) + (n_2 \cdot 2) + (n_1 \cdot 1) + (n_0 \cdot 0)}{\Sigma N \cdot 3} \quad (2-1)$$

式中 n_3 、 n_2 、 n_1 、 n_0 分别是圆加极圆、次圆、次棱和棱角的测量颗粒数, ΣN 为所测颗粒总数。

球度 按克鲁姆 (Krumbein) 球度为 $\sqrt[3]{\frac{b \cdot c}{a^2}}$ 。球度变化在 0~1 间。

扁平度 按凯越 (Cayeux) 扁平度为 $(a+b)/c$ 。他计算出不同环境下碳酸盐岩砾石的扁平

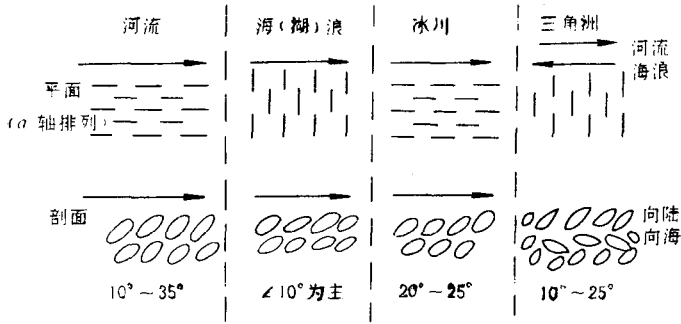


图 2-3 几种动力环境中砾石的 ab 面及其倾角和 a 轴的排列现象
(据哈巴科夫, 1963, 修改补充)

度, 提供判别古环境的参考标志(表 2-5)。

一般说来, 个别砾石的砾态意义可能不大, 但大面积的砾石统计与计算机分析则能提供砾态变化方向趋势与动力之间联系的重要信息。砾径、圆度和球度都随搬运距离而变化, 其中粒径变化较均匀, 球度和圆度离源区较近时变化明显, 以后逐渐稳定(图 2-5)。但在第四纪沉积环境中, 如冰下强制水流、河床壶穴中砾石受强冲刷和灰岩砾石受到溶解, 它们的砾径变小、圆度和球度提高与搬运距离关系不大。此外, 冰川作用使砾石趋向熨斗化, 洪流作用使砾石趋向球形化, 河流和海(湖)浪则使砾石趋于扁平化。但砾态也受原始岩块形状影响。

形态	分级	特征
	棱角	棱角分明, 凹边为主, 形状原始
	次棱	棱角稍钝, 直边为主, 少许凹边, 形状无明显变化
	次圆	棱角全钝化, 多直边, 见凸边, 原形状尚保持
	圆	棱角消失, 凸边为主, 原形状部分可辨认
	极圆	全部浑圆化, 原始形状已不可辨认

图 2-4 砾石的圆度定性分级特征

表 2-5 不同环境碳酸盐砾石扁平度

环境	扁平度 $(a+b)/c$
河道残留砾石	1.2~1.6
冰川底碛砾石	1.6~1.8
冰水砾石	1.7~2.0
海滩砾石	2.3~3.8
湖岸(日内瓦湖)砾石	2.0~3.1
冻裂块砾	2.3~4.4
温带河流砾石	2.5~3.5

Cayeux, 1952

e. 表面特征 冰川作用在砾石表面有时

留下多组细长冰川擦痕及新月形擦口和圆形压坑, 而泥石流中砾石相碰产生纺锤状撞痕, 崩塌岩块上则有砸痕。

f. 风化程度 砾石风化程度定性分三级: 全风化(一击即碎)、半风化(中心未风化)和未风化。应选择相似岩性(最好是含铁或铁质胶结)的砾石比较风化程度, 也可选用含铁岩石的砾石(30个左右)锯开统计其风化皮厚度平均值与标准差作风化程度比较。

II. 砂和粘土 小于 2mm 砂土在野外根据其外貌和物理性质可分为砂、亚砂土、亚粘土和粘土(或含砾的各种上述土)。应采集部分标本, 通过室内粒度分析对野外命名补充修正。

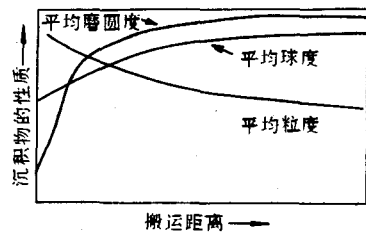


图 2-5 砾态在搬运过程中的变化特征
(据 Krumbein, 1959)

用粒度分析资料作出正态概率、频率和累积曲线（图 2-6）。

a. 粒度特征研究 第四纪沉积物一般搬运距离短，成熟低，分选差，其正态概率曲线多种多样。据希斯 (Sheas, 1974) 对 1 100 个粒度分析资料指出正态概率曲线有 4ϕ 、 3ϕ 和 0ϕ 三个切点，他认为曲线斜率和切点是受母岩物质的粒度分布及物质经受长期磨损效应的方式所控制。因此笔者以 3ϕ (粒径 $d = 0.125\text{mm}$, 细砂的下限) 为分界，正态概率曲线第一个切点所对应粒径小于 3ϕ 且砂砾含量大于 50% 的称粗粒型，有粗一段、粗二段和粗三段型；第一切点大于 3ϕ 且以粉砂粘土为主的称细粒型，有细一段、细二段型；此外还有多段型 (图 2-7)。粗三段型是河流成因，粗二段型是河流、洪流、风力或海浪成因，细一段和细二段型一般为片流成因，多段型成因比较复杂。

根据正态概率曲线用福克和沃德方法从图上计算出的粒度参数，在沉积物成因和形成环境研究中有一定价值：

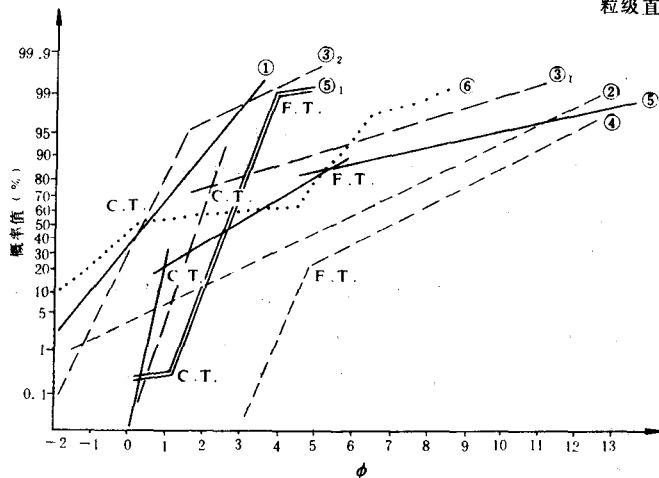


图 2-7 第四纪沉积物的几种主要正态概率曲线图

- ①粗一段型；②细一段型；③₁及③₂粗二段型；④细二段型；⑤₁及⑤₂粗三段型；⑥多段型；
 (⑤₁据成都地质学院“沉积岩石学原理”，1980；①~④、⑤₂据谢又予资料，1985)。

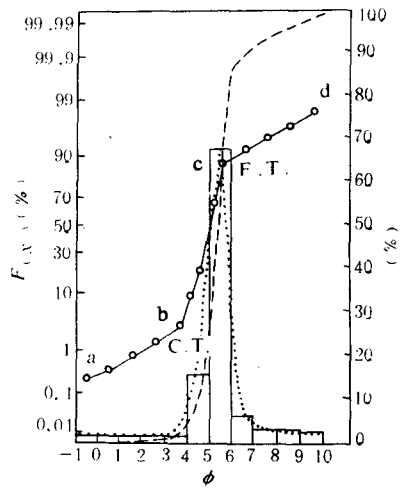


图 2-6 样品粒度分布曲线图

正态概率曲线 (圆圈线) 和粗 (C.T.)、细 (F.T.) 切点；索引总体 (a~b)、跃移总体 (b~c)、悬移总体 (c~d)。频率曲线 (点线)。累积曲线 (段线)。左纵标为概率值，右纵标为算术值。横标为粒径 (ϕ 值)。长方柱为粒级直方图

$$\text{平均值}(M_z) = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \quad (2-2)$$

$$\text{标准差}(\sigma_1) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6.6} \quad (2-3)$$

$$\text{偏态}(S_K) = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (2-4)$$

$$\text{峰态}(K_G) = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (2-5)$$