



第四纪地质

杨怀仁 主编

高等教育出版社

第四纪地质

杨怀仁 主编

高等教育出版社

第四纪地质

杨怀仁 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 27.25 插页 2 字数 625,000

1987年 8月第 1版 1987年 8月第 1次印刷

印数 00 001—63 145

书号 12010·063 定价 4.30 元

前 言

本书是根据近年来第四纪地质学研究的成果以及著者多年来在科研及教学上积累的经验所编写。著者密切注意到近年由于新技术的发展，第四纪地质学理论上的更新日益加速，因此有关各章节内容均予更新，全书根据本学科属于多学科性的性质，结合第四纪岩石圈、大气圈及生物圈的发展有具交互作用的特点，将本书的内容分为九章。

绪论部分集中阐述和分析第四纪地质学的发展、性质和任务；介绍了第四纪地质学的主要理论和更新过程，并指出与人类生产活动密切有关的自然环境的发展趋向。第四纪的新构造运动这一章，论述了第四纪地壳发展的基本特征。从运动的性质上和数量上阐明第四纪地壳发展的速度及其在剥蚀和沉积历史上的意义。第四纪气候这一章，通过古气候标志和古气候模拟以恢复和推断古气候演变的过程和规律，通过海底与大陆沉积物古气候曲线的对比，以恢复第四纪气候变化的频率与幅度。在全新世气候方面，应用冰岩心同位素的分析及我国考古和丰富的历史记录等综合对比，对全新世气候的变化、今后气候可能发展趋向和对人类生产的影响作出评价。近20年来，由于海洋第四纪研究的突飞猛进，关于海底扩张、大陆漂移新理论的建立，地球轨道参数变化的新评价等，对地球气候系统变化的复杂原因与过去数十年，甚至十年前那种推测和假说阶段相比，也取得了划时代的进展。本学科的上述进展，本书均作了较深入的论述。第四纪的海面变化的研究，国内外近年发展迅速，本书全面地阐述了海面变化的原因和机制，第四纪海面变化的过程，影响海面变化的气候旋回、构造运动，地壳的冰川均衡、水均衡，以及地球水准面的变化等重要因素。本书并论述了全新世的海面过程和幅度，以及海面将来变化的趋向及其对人类生产上可能产生的影响。上述第四纪构造、气候和海面三章内容，属第四纪地质学的理论核心，本书重点论述，使读者得以奠定较坚实的理论基础，启发其深入钻研的旨趣。第四纪哺乳动物的演化和发展与人类文化的出现，为第四纪重大事件之一，第四纪海洋无脊椎动物的演化，可为研究地球气候和海面变化的有力证据。第四纪植物发展的研究，也为研究古气候古生态和古环境的重要依据。第四纪虽然只有二百万年左右的历史，但由于气候、构造和海面的变化，使第四纪地层的堆积环境极为复杂。第四纪地层的成因和划分，在生产建设上必须受到重视，如地下水的勘探，工程地质、环境地质等方面问题的研究。近年来年代学的发展，对地层的分划起了决定性作用。所以年代学也列入独立章节。第四纪地质的野外和室内的调查研究方法为研究第四纪地质的基础，高质量的第四纪地质图也是生产建设上有关基本图件之一。

本书由杨怀仁主编，并撰写了第一、二、三、四各章；第五、七、八章由刘泽纯编写；第六章由徐馨编写；第九章由王富保编写，全书由杨怀仁审阅定稿。

本书用作综合大学、高等师范院校地理系、地质系及环境科学系有关专业教师、研究生及

学生的教材和参考书；也可作地质院校、建筑和农田水利等院校的水文、工程地质专业的教材和参考书；以及供地球科学、古植物学、古气候学、古生态学和农、林、水利方面有关科技工作者参考。

由于我们水平所限，本书内容上可能存在一些缺点，请读者提出批评与建议，供再版时修正。

作 者

1985年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 第四纪的时代特征	(1)
第二节 第四纪环境的变迁	(2)
第三节 第四纪地质学的研究内容和意义	(3)
一、第四纪地质研究内容	(3)
二、第四纪地质研究的意义	(4)
第四节 第四纪地质学的发展历史	(4)
第五节 第四纪地质学近20年来的主要进展	(7)
一、海洋、大气与冰流	(7)
二、深海钻探计划的崭新成就	(8)
第六节 第四纪气候与第四纪海面深入研究的贡献和正在探索的方向	(9)
第七节 重视人类活动对气候的影响	(11)
第二章 新构造运动	(14)
第一节 新构造运动研究的意义和主要内容	(14)
第二节 新构造运动发生的时间和时间尺度	(15)
一、新构造运动发生的时间界限	(15)
二、新构造运动的时间尺度	(16)
第三节 新构造运动的速率和地球表面侵蚀速率	(19)
第四节 均衡作用与新构造运动	(23)
一、地壳均衡作用	(24)
二、冰川均衡作用	(27)
三、水均衡作用	(30)
四、均衡作用与古湖盆及水库区的新构造运动	(31)
五、均衡作用与沉积作用	(31)
六、新构造运动、均衡作用与造陆运动	(33)
第五节 板块运动与新构造运动	(33)
一、板块构造理论在研究新构造运动中的作用和意义	(33)
二、板块边缘和内部的新构造运动	(36)
三、板块边缘与内部垂直运动的机制	(40)
第六节 中国新构造运动的基本特征	(41)
一、中国新构造运动的基本形式	(41)
二、中国的造貌运动	(46)
三、中国内陆板块断裂活动基本特征	(48)
四、中国的地震活动和火山活动	(50)
五、新构造运动的地球物理特征	(54)
第七节 新构造类型划分	(55)
第八节 新构造运动研究方法	(56)
一、仪器法	(57)
二、考古历史法	(57)
三、地貌法	(58)
四、地质法	(61)
第三章 第四纪气候	(64)
第一节 气候变化的特征与变化的时间尺度	(64)
一、变动着的全球气候	(64)
二、地球气候的变化特征	(67)
三、气候变化的原因	(68)
四、古气候发展的概况及气候变化的不同时间尺度	(69)
五、古气候研究的多种依据	(73)
第二节 地球历史上多次冰期气候的发展	(84)
一、地球历史上的冰期	(84)
二、新生代的气候变迁	(87)
三、南极冰流的发展与晚新生代冰期的来临	(88)
四、第四纪冰期理论的建立和发展	(89)
五、第四纪北半球与南半球冰流的发展和演变	(92)
第三节 第四纪古气候与冰期的划分	(97)
一、更新世的界限与更新世气候	(97)
二、第四纪古气候研究的进展	(100)
三、第四纪冰期气候带的移动及其影响	(102)
四、第四纪冰期中大陆气温的变化	(104)
五、冰期的划分	(107)
第四节 海洋第四纪	(115)
第五节 冰期、间冰期与沙漠、黄土演变的	

关系	(125)
一、冰期、间冰期与雨期、间雨期	(125)
二、 18×10^3 a B.P.地球气候模拟	(129)
三、冰期与黄土	(131)
四、冰期、干燥期与沙漠的演变	(133)
第六节 中国第四纪冰期	(137)
一、中国第四纪冰川的一般特征	(138)
二、第四纪冰期气候在我国东部一些地区的反映	(144)
三、中国冰期的发生及东、西部冰期的对比	(146)
第七节 第四纪冰期发生的主要起因	(147)
一、气候的脉动——大陆黄土与深海沉积的对比	(147)
二、第四纪气候脉动起搏器——作用的机理	(149)
第八节 晚冰期及全新世气候	(154)
一、晚冰期气候	(154)
二、晚冰期与全新世气候的分期	(159)
三、据冰流岩心测得1500年来的气候变化	(167)
四、中国历史时期的气候变迁	(163)
第九节 当前间冰期何时结束——气候变化的预测	(175)
第十节 十亿年来气候变化的原因	(181)
第四章 海面变化	(187)
第一节 海面变化的基本概念	(187)
一、海面变化的基本理论问题	(188)
二、有关海面变化的科学术语及其演变	(190)
三、“全球性海面变化”的词义演化及其研究对象	(191)
第二节 海面变化的原因	(193)
一、水圈体积的变化	(194)
二、大陆冰流体积的变化	(194)
三、冰川——海面升降运动的研究	(198)
四、海水温度的变化	(198)
五、海盆的干涸	(199)
六、海洋盆地体积的变化——洋脊体积的变化	(200)
七、海底扩张速度的改变	(200)
八、构造——海面升降运动	(201)
九、海面变化与大陆边缘沉降和拗折	(204)
十、海侵海退的波动学说	(204)
十一、沉积——海面升降运动	(206)
十二、均衡运动与海面变化	(207)
第三节 第四纪海面变化	(212)

一、前第四纪海面升降变化	(212)
二、第四纪海面变化	(215)
三、晚冰期及全新世的海面变化	(225)
四、近2000年来海面变化与海面变化趋势	(233)
五、近期海面变化的趋向	(236)
六、气候与海面变化过程与人类的关系	(237)
七、气候——海面的自然趋向与人类活动的影响	(237)
八、与海面升降趋向有关的几点结论	(238)
第五章 第四纪哺乳动物群与古人类	(244)
第一节 第四纪生物界的基本面貌	(244)
第二节 第四纪陆上哺乳动物的演化	(245)
一、第四纪陆上哺乳动物演化的特点	(245)
二、第四纪主要哺乳动物群	(254)
第三节 中国第四纪陆上哺乳动物群	(256)
一、中国北方第四纪哺乳动物群	(258)
二、中国南方第四纪哺乳动物群	(267)
第四节 人类起源	(271)
一、劳动创造了人类	(271)
二、人类由古猿的一支演化而来	(273)
三、人类的发祥地	(275)
第五节 人类发展阶段	(277)
一、早期猿人阶段	(277)
二、晚期猿人阶段	(278)
三、早期智人(或称古人或尼人)阶段	(278)
四、晚期智人(或称真人或新人)阶段	(278)
第六节 石器文化与考古期	(279)
一、石器的制作方法和主要类型	(280)
二、第四纪考古期	(284)
第七节 中国的石器文化	(288)
一、旧石器时代早期的石器文化	(288)
二、旧石器时代中期的石器文化及传统	(292)
三、旧石器时代晚期的石器文化	(295)
四、中石器时代的石器文化	(297)
五、新石器时代文化	(298)
第六章 第四纪植物群	(301)
第一节 第四纪植物群的特点及其主要影响因素	(301)
一、第四纪植物群的特点	(301)
二、影响第四纪植物群发展的主要因素	(304)
第二节 第四纪植物群发展和分布	(310)
一、第四纪植物群概况	(310)

二、第四纪各时期植物群发展与分布	(312)
第七章 第四纪地质年代表	(323)
第一节 第四纪的划分	(323)
第二节 生物地层的划分	(325)
一、陆相生物地层	(325)
二、海相生物地层	(327)
第三节 气候地层年表	(337)
一、冰川气候地层	(337)
二、碳酸盐含量和微体化石标志的气候地层	(338)
三、氧同位素气候地层	(339)
四、大陆与海洋气候地层对比	(342)
第四节 磁性地层	(345)
一、第四纪磁性地质年表	(345)
二、中国第四纪磁性地层划分	(346)
第八章 中国第四纪地层	(350)
第一节 中国第四纪沉积物的地理分布	(350)
第二节 中国第四纪的下限与时代划分	(352)
一、中国第四纪下限的生物地层标志	(352)
二、中国第四纪中、晚更新世的年代界线	(355)
第三节 中国湖盆沉积的第四系地层	(356)
一、泥河湾盆地沉积地层	(356)
二、萨拉乌苏组湖相沉积地层	(359)
三、元谋盆地沉积地层	(361)
四、西藏高原曲果组和羌塘组湖相地层	(364)
五、青海湖、共和盆地和柴达木盆地湖盆沉积地层	(367)
第四节 中国黄土地层	(369)
一、中国黄土的基本分层	(369)
二、黄土地层的年代	(372)
三、中国黄土地层与深海岩心的对比	(374)
第五节 中国洞穴地层	(378)

一、周口店地区洞穴地层	(378)
二、广西地区的洞穴地层	(381)
第六节 中国第四纪海相地层	(385)
一、第四纪有孔虫动物群	(385)
二、第四纪海侵(或海进)	(386)
三、中国陆架和冲绳海槽的晚更新世沉积地层	(389)
四、中国第四纪海面与深海岩心对比	(390)
第七节 中国地文期及东部平原的第四纪地层	(392)
一、地文期	(392)
二、长江中下游河谷第四纪地层	(395)
三、长江三角洲平原第四纪地层	(399)
四、华北平原第四纪地层	(401)
五、松江平原第四纪地层	(404)
第八节 中国第四纪综合对比表	(406)
第九章 第四纪地质的野外和室内研究方法	(408)
第一节 第四纪沉积物的野外研究方法	(408)
一、观察路线和观察点的布置	(408)
二、第四纪地质剖面的观察内容	(409)
第二节 第四纪地质制图	(414)
一、剖面图及其绘制	(414)
二、第四纪地质图的编制	(414)
第三节 第四纪沉积物的室内研究	(417)
一、卫星象片和航空象片的使用	(417)
二、石英颗粒表面形态的研究	(417)
第四节 一些现代技术的应用	(422)
一、古地磁研究及样品采集	(422)
二、放射性 ¹⁴ C年代测定法	(424)
三、放射性 ²¹⁰ Pb年代测定法	(427)
四、不平衡铀系年代测定法	(427)
五、裂变径迹年代测定法	(428)

第一章 绪 论

第一节 第四纪的时代特征

第四纪是地球历史上最新的阶段。第四纪 (Quaternary) 一词, 是1829年法国地质学家德诺埃 (Desnoyers) 所提出。他把地球历史分为四个时期, 第四纪为最近的一个时期。第四纪内又分为更新世和全新世。更新世 (Pleistocene) 一词, 由莱尔 (Charles Lyell) 于1839年所创立。当时他认为更新世地层所含软体动物化石占现存的70%以上。1846年福布斯 (Edward Forbes) 认为更新世相当于冰川期 (Glacial Epoch), 其在地质史上的主要特点为冰川的发生。他的观点为后来所引用。但是地球上的晚新生代冰期开始于中新世中期, $14-11 \times 10^6 \text{a.B.P.}$ ①, 此时东半部南极洲被冰流覆盖, 世界海面降低59m。至上新世晚期, $3 \times 10^6 \text{a.B.P.}$ 左右, 北半球大陆冰流形成。所以更新世不能相当于“冰川时代”。近年的研究认为, 第四纪的气候特征是冰期与间冰期交替发生, 第四纪中期以后, 冰期与间冰期气温变化幅度增大, 存在 10^5a 的冰期旋回。

第四纪的年代, 国内外有三种不同意见: 第一种意见认为, 第四纪的年代为 $1.6-1.8 \times 10^6 \text{a}$ 左右。这种意见在国际上占多数。第二种认为在 $2.4 \times 10^6 \text{a}$ 左右, 这种意见近年在研究我国黄土地层及美国海湾地质方面占优势^[1]; 第三种认为在 $3 \times 10^6 \text{a}$ 以上。这三种意见各有依据, 难取一致。根据世界海洋与大陆第四纪对比, 目前我们暂用 $2 \times 10^6 \text{a}$ 左右。库克拉、哈兰等也以 $2 \times 10^6 \text{a}$ 为第四纪年代^[2]。

在同位素测年及古地磁方法应用以前, 关于第四纪年代, 早有不同估计。过去曾根据地貌的侵蚀, 沉积的速率和风化的程度进行估算 (如根据瀑布后退的速度, 三角洲伸展的速度, 冰碛物的风化程度, 石灰岩的溶蚀速度, 太阳辐射法等), 虽然精度受到限制, 但对第四纪年代仍提供了一定依据。例如五十年代以前, 曾根据风化程度而确定北美第四纪第一次冰期, 约在 10^6a.B.P. 。又曾根据太阳辐射曲线, 推算欧洲多脑冰期约 $70-75 \times 10^6 \text{a.B.P.}$ 。

近年地质年代测定 (Geochronometric) 方法, 在第四纪年代测定上得到较广泛的应用, 包括放射性同位素测年, 如 ^{14}C , ^{230}Th , ^{234}U , ^3H , ^{40}Ar , ^{39}Ar 等。另外又发展了氨基酸, 冰川纹泥, 有机纹泥年轮学以及古地磁等方法, 对第四纪的年代已能提供较确切的数字。在这些方法应用之前, 只能根据生物地层方法或据上下层位的接触关系, 给以“较老”或“较新”层位的描述, 如上新世, 更新世, 全新世等。虽然有人建议把全新世这一时代名词取消, 但现仍在沿用。

① B. P. — Before Present指距今以前年数, 通常以1950年为计算基准。

地质年代学的发展,对第四纪不同时间尺度的年代,从 10^2 — 10^6 a均能较精确地测定。根据研究需要选用不同性质的第四纪地层进行测年。包括:①埋藏有机物质(包括碳化物质),②珊瑚礁,③软体动物化石,④火山岩,⑤骨骼及介壳,⑥冰湖堆积,⑦湖积粘土,⑧树木,⑨火山堆积物等。对深海沉积物的年代,则采用铀系测年、古地磁、微体古生物与氧同位素变化几方面相互对比,成功地取得第四纪的沉积速度与气候变化过程,(见第三章,第四节)。

第二节 第四纪环境的变迁

第四纪的时间,长约 2×10^6 a左右,若与地球的年龄 46×10^8 a相比,时间极为短暂。然而即使在这极为短暂的时间内,地球却经历了一系列巨大的变化。

首先是气候的剧烈变化。晚新生代冰期,虽然在中新世中期已经开始,但大规模的发展是在第四纪,那时地球上的高及中纬度地区被面积广阔而又深厚的冰流所覆盖。据60到70年代估计,第四纪冰期中冰川体积约为 $76.7 \times 10^6 \text{km}^3$,这里还没有估算高纬度陆架及浅海冰流的体积。到80年代初期,对北半球冰流有进一步的认识,晚威斯康星-卫契塞尔冰期中,除原有的劳伦泰、格陵兰、斯堪的那维亚以及南极冰流而外,还发现北美有英纽廷(Innuitian)冰流,欧亚巴伦支冰流,卡拉冰流和普托拉纳(Putorana)冰流等。据80年代初期的重新估算,全球冰流体积最小为 $84.174 \times 10^6 \text{km}^3$,最大为 $97.829 \times 10^6 \text{km}^3$ 〔4〕。相当于海面降低数字分别为127m和163m,消除水均衡后为91m和117m。古冰流比现代的冰流覆盖面积超过已不止过去所估计的三倍。

如此巨厚的冰流对地球的大气环流,气候带的移动,海面的变化,生物的迁移,产生了巨大的影响。据气候方面的长期研究,包括制图及预报研究项目(CLIMAP Project)①,在冰期最盛时(约 18×10^4 a B.P)的气候图上,环流形势、地球平均反照率、气温及降水量等有关气候系统,都与近代有较大差异〔5〕。全球降水低于现代14%,北半球降水低于现代达20%,热带辐合带南移,季风萎缩,气候干燥寒冷,沙漠扩大。中国大陆在冰期时,海面下降,陆架大片暴露,大陆度增强,黄土堆积加速〔6〕。

北半球的气候带在冰期中向赤道方向压缩,中国东部在冰期中受强大寒潮影响,气候严寒,雪线降低,冰缘及冻土界线向南移动。喜冷植物群分布界线大幅度南移,自然环境与今日有很大差异。欧洲及北美由于大冰流的扩展,植被受到摧毁,如欧洲的苔原带现分布于 68°N 以北, 68°N 附近为桦林,而在冰期中苔原带南移到 45° — 50°N 之间,桦林南移到 45°N 左右,干草原分布在南欧一带。气候变化成为第四纪环境变化的最主要的特征。

第四纪环境变化的另一重大特征是地壳运动十分活跃,大陆与海底的垂直升降和水平运动不断发生,迄今未停止〔7〕。晚新生代以来,地球处在一个广泛的和强烈的造陆运动的时代,大规模的大陆隆起,高山耸立,在地球历史上很少有这样壮观的变迁〔8〕。

中国大陆在晚新生代中,西自青藏高原,东迄东部海域,都经受强烈的构造运动。西北经

① Climap project—Climate, Long-Range Investigation, Mapping and Prediction project.

受了剥蚀的古生代褶皱山系(如天山昆仑山系)在第四纪中强烈抬升,形成了亚洲的高大山系。西藏高原及喜马拉雅山于第四纪中强烈地隆起,成为地球上最高的山系和最雄伟的高原。

晚新生代地壳运动的特征是大陆高度增大,而海底加深。海面自第三纪初期以来至第四纪逐步降到最低的位置,北半球的大陆度以及气候的干燥程度在第四纪中也是逐步增加。第四纪的构造运动又以强烈的断块升降运动为其主要特征。国内外学者认为就运动速度和性质而言,第四纪地壳活动表示地壳发展进入一个新的阶段。从人类发展史来看出现了人类,是第四纪的另一件大事。所以第四纪也称为“灵生代”或“人类纪”。人类对气温降低的适应能力较强,无论是地势高度或地理纬度人类在一定程度上都能适应。原始人类在第四纪发展较快。但第四纪中温暖的间冰期比较短暂,十分之九为寒冷的冰期。所以第四纪中的大部分时间是人类和自然界严酷条件作剧烈斗争的时代,当时的人类经过了长途的迁移以寻找较适宜的生活环境。

第三节 第四纪地质学的研究内容和意义

一、第四纪地质学研究内容

第四纪地质学的研究任务,一方面是要恢复第四纪环境发展演变的历史,另一方面要在这一基础上预测与人类生产和生活有关的气候、海面等自然环境的发展趋向,促进人类对自然环境的最优化的利用和管理布局。此外,第四纪地质学要对第四纪地层的沉积环境、第四纪地层的划分对比、第四纪生物的发展(如第四纪植物和哺乳动物的发展迁移和兴衰等)、第四纪地壳发展、气候变化、矿产的形成分布等进行研究。这往往需要相邻的有关学科共同协作来完成。因此第四纪地质学与地貌学,古地理学,气候学,构造地质学,古生物学和人类学的关系非常密切。第四纪中许多重大问题,如第四纪气候的变化,受到内外动力系统的反馈作用,尤其是大气、海洋、冰雪圈之间的反馈关系十分复杂,所以近代第四纪中一些重大问题非一门学科所能单独解决的,但第四纪地质学象其他科学一样仍不失为一门独立的科学。

第四纪地质在我国是一门比较新起的科学,随着社会主义经济建设的发展,四个现代化建设的需要,第四纪地质学的理论和实践的作用日益受到重视。在高等教育方面,几所综合大学先后成立第四纪地质学专业。在科学研究方面,中国科学院在我国著名科学家李四光、竺可桢的倡导下设立中国第四纪委员会,并出版有《中国第四纪研究》。中国地质学会的《第四纪冰川》。第四纪地质专业委员会成立以来,相继召开了有关长江中下游和新疆第四纪地质及第四纪冰川研究;第四纪环境与第四纪黄土,以及第四纪海面研究,并分别召开了全国性学术会议,出版了论文专集,对我国第四纪地质的应用与理论研究起了很大的推动作用。

据第四纪地球发展的特征,第四纪地质学的研究内容主要包括下列几方面:

第四纪的地壳运动;第四纪气候;第四纪海面变化;第四纪的生物界;第四纪地层;第四纪年代学;第四纪沉积及其研究方法。

以上内容将分别在本书各章中加以论述。

二、第四纪地质研究的意义

第四纪地质学在国民经济建设中的实际意义主要包括下列几方面：

(一) 矿产普查勘探

第四纪沉积物中蕴藏着各种砂矿，如砂金、金刚石、砂锡矿、钨矿、独居石、金红石、钛铁矿、锆英石等。在勘探砂矿时，第四纪地质学及地貌学占有重要地位，必需应用第四纪地质学及地貌学的原理来追溯分析砂矿形成的条件，砂矿层的成因、岩性及分布，砂矿埋藏的古地貌特征，恢复现代水文网的发展和演变，并根据古代埋藏谷地、古阶地、古分水岭以及古岩溶等为勘探砂矿提供可靠依据，弄清砂矿的来源和原生矿床的位置，正确地对砂矿进行评价。此外第四纪地层中蕴藏有丰富的泥炭、石膏以及岩盐等。研究第四纪的气候变化的规律，地壳运动性质，可为上述矿藏的勘探和开采提供可靠的依据。

(二) 水文地质和工程地质勘探

第四纪地质可提供水文地质和工程地质的基础资料。随着社会主义建设事业的发展，工农业用水和生活用水的需要日益增加，供水主要依靠地下水资源，而大量地下水贮存于第四纪堆积物中。第四纪沉积物的岩性、厚度、成因和年代，对地下水的形成、分布、埋藏、水质、水量和运动规律都有直接影响。我国地域辽阔环境复杂，不同地区存在不同性质的地下水资源的开发和利用问题，如华北平原的埋藏古河道问题；沿海平原地区在海平面升降交替过程中影响地下水的水质；我国西南广大岩溶地区的地下水利用，都有待一系列的地貌与第四纪地质问题的解决。

第四纪沉积物是各种工程建筑的基础，修建交通路线和水利工程，如水坝、水库、渠道、港湾、工厂和电站，都需要了解沉积地层的工程力学性质。各种工程的设计和管理，要求避开不利的因素，如滑坡、泥石流等。在大型工程修建之前，需要进行地震研究，如活断裂的活动性质、地壳的升降幅度等，还要进行有关工程稳定性的第四纪地质研究。

第四纪沉积物中的砂砾层是良好的建筑材料，目前需要量日益增多，编制第四纪地质图能对不同建筑材料岩性的分布和储量都有必要进行调查和说明。

(三) 环境地质和环境地貌研究

第四纪以来火山活动的研究，地震带的活动和构造的研究，对预防自然灾害有重要作用。环境地质地貌问题的研究能对港口、城市规划提供资料。另外如疾病地理方面，与第四纪沉积的成因时代有关，堆积环境与第四纪地质也密切有关。近年来，对于人类活动对地质地貌动力的影响，对气候变化、海面升降的影响也日益引起注意。

第四节 第四纪地质学的发展历史

关于地下水的开发利用，凿井取水，中国和世界其他几个古老的国家在数千年前已经开始。据殷墟甲骨文，三千年前，我国人民已对黄河流域的降水性质、农作物品种、狩猎的动

物都有记载,为今日研究气候变迁的依据。宋朝沈括(1030—1094)根据野外观察已有清晰的海陆变迁和黄土侵蚀搬运和堆积的观点,沈括和刘献廷(1648—1695)已提出历史时期气候是变化的观点。关于开采利用砂矿我国人民已有悠久的历史,在春秋战国时代已出现砂金的开采业。唐朝著名诗人刘禹锡诗曰:“日照澄州江雾开,淘金女伴满江隈,美人首饰侯王印,尽是沙中浪底来”,说明当时砂金的开采盛况^①。

气候变化为第四纪地质、第四纪环境的主要问题,关于气候变化和第四纪堆积的认识和研究过程,经过一百多年的发展始达到今日的水平,其间曾经过激烈的争辩。十九世纪初,对未经固结的基岩上部的堆积物,曾被称为漂积物(drift),意为经受洪水从别处漂移而达到后来的位置。对广泛分布的漂积物,当时有人主张是圣经上的洪水或称诺亚的大洪水(the deluge)所漂移而来。十九世纪20年代勃克兰(William Buckland)及赛奇威克(Adam Sedgwick)关于漂积物的来源提出了洪积理论(diluvial theory)。同时曼特尔(Mantell)把漂集的物质较老的部分称为洪积层(diluvium),较新的部分称为冲积层(alluvium)。冲积层仍在继续堆积。这两个名词在德国流行很久,为更新世及全新世两词的前身。

十九世纪初期,始开展极地的探险工作,观察到冰川的搬运与堆积作用,认识到所谓漂积物实为冰流作用所携带和堆积,于是洪积理论为冰川理论所代替。莱尔(Charles Lyell)及默奇森(Roderick Murchison)当时是支持冰川论者。十九世纪20和30年代,陆地地质学者如佩罗廷(J.P.Perrautin),文聂茨(Venez),卡彭特(J.D Charpentier)及阿加西斯(L. Agassiz)把瑞士境内的漂砾的成因用冰川理论来解释。他们认为这些漂积物为过去冰流范围扩大时的堆积物。到1840年,阿加西斯的冰川搬运堆积的概念传到英国。但是“冰川理论”的发展比较缓慢,大部分地质学家直到十九世纪60年代和70年代,才认为冰川作用为漂积物的搬运和堆积动力。到十九世纪50年代开始对冰川堆积物的地层学研究,发现过去的冰流或冰川曾不止一次地扩展。到了十九世纪后半期,多数学者建立了多冰期的概念。1877年盖基(Geikie)在东英吉利亚(East Anglia)建立了四次冰期^[10]。1909年彭克及布鲁克纳(Penck and Brückner)于阿尔卑斯建立了四次冰期^[11]。此后在世界各地也先后建立了四次冰期。

二十世纪初期,欧洲的冰期是根据冰碛的砾石成分,冰川及冰缘阶地等划分的。二十世纪30年代我国地质学家李四光根据庐山冰碛物的风化程度及接触关系首次划分中国的四次冰期。当时北美也根据不同冰碛物的风化程度和坚韧灰泥,肯定了北美的四次冰期。此后根据古植物方面的研究,更新世又划分为六次或六次以上的寒冷期。60年代以后由于深海海底钻探技术,古地磁研究的进展以及氧的同位素分析的进展,到二十世纪70年代中后期,已证实更新世约 2×10^4 a左右的时间内,地球上曾经历过20次左右的冰期旋回^[12]。

把自十九世纪初期以来有关第四纪研究的重要理论、工作方法和新技术的进展过程,列

^① 王正铤我国滨海砂矿研究现状,中国地质学会,第四纪冰川及第四纪地质专业委员会:“会讯”1984.1。

一简表并略加注释, (表1-1) 可以看出近百余年来第四纪研究的进展过程。此表列举的理论上和技术上的进展说明, 60年代以后是地球科学的加速发展时期, 也可以说是一个革命时期。

表1-1 第四纪重要发现及重要理论发展年代表
(主要指第四纪古气候方面)

-
- 1815年 佩罗廷 (Jean-Pierre Perraudin 瑞士人), 推测阿尔卑斯过去的冰川曾超过今天的范围。
 - 1821年 文森茨 (Venetz 一位公路工程师), 1818年会见佩罗廷, 接受佩罗廷的见解, 认为过去阿尔卑斯冰川超过现代。1821年在自然史学会上, 他宣传了佩罗廷的观点。
 - 1829年 文森茨认为欧洲很多地区都曾有过冰川活动, 留下冰川作用遗迹。
 - 1836年 卡彭特 (Jean de Charpentier) 及文森茨在阿尔卑斯进行野外工作, 认为许多低地也曾经历过冰川作用。
 - 1837年 阿加西斯 (Louis Agassiz) 在自然科学瑞士学会宣布他的“大冰期”理论 (Theory of Great Ice Age)。
 - 1838年 勃克兰 (Buckland) 承认英国也曾经历过冰川作用, 并抛弃他过去对圣经上大洪水的信念。
 - 1839年 康拉德 (Timothy Conrad) 首次接受阿加西斯的冰川理论以解释美国的第四纪堆积物。
 - 1841年 麦克拉伦 (Charles Maclaren) 宣称冰期中海面较今日降低约 244ft。
 - 1863年 盖基 (Archibald Geikie) 提供了足够的野外证据, 说服大多数地质学家, 承认苏格兰的地表松散性堆积物, 为冰川所形成。
 - 1864年 克罗尔 (James Croll) 根据岁差的变化以及地球轨道偏心率的变化, 提出了冰期的天文学理论。
 - 1865年 詹姆森 (Thomas Jamieson) 声称更新世冰流的重量足以压沉其下部的陆地。
 - 1870年 李希霍芬 (Baron Ferdinand von Richthofen)。调查中亚的沙漠后, 认为欧洲, 南北美洲非冰川区域的黄色粉土 (黄土), 都是上一次冰期中风的堆积。
 - 1875年 挑战者号 (H. M. S. Challenger) 海洋调查船返航, 科学家获得大量深海沉积物的资料。
 - 1906年 布伦斯 (布容) (Bernard Brunhes) 根据法国熔岩的地磁测定, 发现地球的磁场曾发生变化。
 - 1909年 彭克及布鲁克纳 (A. Penck and E. Brückner) 根据阿尔卑斯外围阶地的研究, 建立了阿尔卑斯的多冰期。
 - 1920年 米兰科维奇 (M. Milankovitch, 南斯拉夫的数学家), 提出气候变化冰期发生的天文学说。
 - 1929年 松山 (Motonoru Matuyama) 根据日本及朝鲜的证据, 发现更新世中地球的磁场曾发生逆转。
 - 1934年 李四光根据长江中下游第四纪冰川研究, 创造性地应用间冰期的风化程度划分为大理、庐山、大姑和鄱阳四次冰期。
 - 1934年 戴利 (Daly, 1925, 1934), 发表了更新世冰期与海面变化的论述。
 - 1938年 米兰科维奇发表冰期天文学说的最后著作。他指明地轴倾斜的变化, 导致气候 41×10^4 a 周期性的气候变化; 岁差变化, 导致 22×10^4 a 为周期的气候变化。他并且计算出由于上述的气候变化的影响, 近 10^6 a 来冰流边缘的地理位置的变动。
 - 1947年 尤里 (Harold Urey) 发表了氧同位素方法的理论基础和意义。
库伦堡 (Bjore Kulenberg) 发明了活塞岩心取样方法, 并在瑞典深海探险船上运用。
 - 1951年 利比 (Willard Libby) 发展了放射性碳测年方法。
 - 1955年 伊米利恩尼 (Cesare Emiliani) 据深海沉积物有孔虫壳氧同位素比例, 发现气候有 4×10^4 a 左右的周期, 钻孔岩心共显示出 7 次冰期和间冰期。
 - 1961年 库克拉及洛泽克 (George Kukla 及 Vojen Lozek 捷克科学院) 阐明中欧未受冰川作用地区, 黄土及古土壤剖面所反映更新世气候变化的详细记录。
 - 1963年 考克斯 (Allan Cox) 建立古地磁的年代表。
 - 1964年 柯蒂斯及埃韦登等 (Garniss Curtis, Jack Everuden) 用钾-氩法测定更新世的可靠年代。
 - 1965年 布罗克勒 (Wallace Broecker) 用钍的测年法测定 8×10^4 a 及 12×10^4 a 间冰期高海面。从而证实了米兰科维奇的气候变化天文学说。
 - 1967年 沙克尔顿 (Nicholas Shackleton) 证实深海岩心氧同位素比例的变化, 表示水体积的变化。
 - 1968年 布罗克勒及马修斯 (Robley Matthews) 用钍测年法, 测定三级珊瑚阶地所代表的高海面与米兰科维奇天文理论所推算的间冰期存在有对应关系。
 - 1970年 布罗克勒及唐克 (Jan von Donk) 发表加勒比海深海岩心氧同位素所揭示的主要气候旋回为 10^6 a。

- 1971年 海斯及伯格伦 (James Hays and Berggren) 认为奥尔都维古地磁事件为上新世—更新世界限, 因此定更新世的年代表 1.8×10^6 a。
- 1972年 沙克利顿及奥普代克 (Nicholas Shackleton and Neil Opdyke) 分析太平洋深海钻孔 V₂₈₋₃₃, 据氧同位素及古地磁对比取得 7×10^5 a 来古气候记录, 把同位素期延长到22期, 氧同位素的变化反映全球冰量的变化。
- 1975年 库克拉 (George Kukla) 根据他从中欧所取得的证据, 认为彭克及布鲁克纳并经埃伯尔 (Eberl) 所整理的冰期—间冰期层位, 并非正确。
- 1976年 气候预测及制图研究项目的科学家: 海斯 (James Hays) 英布里 (John Imbrie) 及沙克利顿 (James Shackleton), 据印度洋海底钻孔 RC11-120 及 E49-18 的波谱分析, 证实 5×10^5 a 来, 地球气候的变化, 与天文学说依据地轴倾斜及岁差所测算的气候变化周期相符。从而论证近 5×10^5 a 来, 冰期—间冰期气候交替变化的起因, 系由于地球转动轨道参数的变化。

第五节 第四纪地质学近20年来的主要进展

过去25年是地球科学全面革新的时代, 也是全球性第四纪地质学发展的时代。人们对地球科学的知识, 从地核一直发展到月球的表面以及地球以外的星体。从地球本身所获得新的科学认识而言, 已深入到地球的各个圈层。人类正在深入了解岩石圈、大气圈、冰雪圈, 并注意各圈层之间的相互关系和反馈机制。近年逐步深入到生物圈和人类 (智力圈) 对第四纪环境和世界未来发展的影响。

从表1-1可见, 第四纪地质的发展经十九世纪至二十世纪50年代的酝酿, 在基本概念方面虽屡有建树, 但进展比较缓慢。50年代以后, 如放射性碳的发展, 氧同位素的应用进展加速, 到60年代以后海洋第四纪与大陆第四纪齐头并进。古地磁研究的进展, 钾-氩及铀系测年的应用, 全球性的深海沉积微体及氧同位素的分析等, 对第四纪古气候的研究, 从过程到成因, 都取得飞跃式的进展。

一、海洋、大气与冰流

海洋、大气与冰流的相互影响, 它们的正、负反馈机制, 对第四纪气候变化有极为复杂的影响。

关于冰期的概念, 曾经过多年的争论、修订和发展。彭克, 布鲁克纳 (1909) 在欧洲建立的四次冰期理论, 二十世纪20年代到40年代为世界各国地质教科书所普遍引用。虽然有些学者发现冰川进退不止四次。如佐纳 (Zeuner 1945), 在著作中就竭力支持米兰柯维奇认为的过去 10^6 a 曾发生15—20次冰期的天文理论。但是佐纳宁可用副冰期 (冰进期) 或副间冰期 (冰退期) 的名词来解决矛盾而坚称第四纪共有四次冰期。此外埃伯尔 (1930) 曾发现有15次冰川前进, 谢尔夫 (Scherf 1936) 发现匈牙利的黄土有11层风化层, 但他们仍坚持彭克等的四次冰期, 把多余的冰期编入副冰期中。彭克及布鲁克纳1909年发表的《冰期中阿尔卑斯》的德文著作, 其说服力较强, 影响地学界长达50年之久 (见表1-1)。

关于第四纪海面旋回也有类似情况。30年代戴利 (Daly 1925 1934) 的主张, 60年代初费尔布里奇 (Fairbridge 1961) 发表的第四纪中海面发生四次旋回的观点有较大的影响。近

年我们据我国东部沿海地区的研究证明，第四次共发生8次左右海面波动。比尔德（Beard 1982）据多年来海湾地区石油钻孔研究，也认为第四纪共有8次海面旋回。

另外，关于第四纪冰期的天文理论——米兰科维奇学说，60余年来曾经多次反复，近年据海底钻孔及冰流进退的电子计算机模式的研究，才逐步深入地给予全面的评价。1947年库伦堡所发明的活塞岩心取样方法在海洋调查上成功地得到应用。同一年，尤里创立了氧同位素方法的理论基础。这两方面的科学进展，对第四纪的发展有重大的影响。尤里成功地从海底碳酸钙堆积物中揭示 ^{18}O 与古气温的关系。他声称“我突然发现我手中掌握了地质温度计”。与此同时瑞典海洋调查船阿尔巴特罗斯（Albatross）正在环绕世界调查海深和海底堆积厚度，用活塞取样法，取得大量的长10m以上的深海岩心。伊米利安尼获得了阿尔巴特罗斯海洋探险船的8个深海岩心，其分析结果曾以《更新世气温》的名称于1955年发表于最著名的“地质杂志”。该杂志编辑收到稿件时，曾惊讶地说：“我不相信这篇文章”。但他仍同意发表了这篇文章。在此文发表若干年后，被称为第四纪研究的里程碑。伊米利安尼根据加勒比海底和赤道大西洋海底岩心的氧同位素分析，在近 $3 \times 10^5\text{a}$ 中曾发生7次冰期旋回。当冰期中加勒比海海水表面温度降低约 6°C ，而且从氧的同位素所表示的气温曲线与米兰科维奇的辐射曲线相吻合，海底沉积物首次支持了冰期的天文理论。

由于海底沉积物同位素变化的研究成果，使彭克等权威性四次冰期理论从根本上发生动摇。到70年代从海底沉积氧同位素变化曲线、古气温曲线、冰量曲线以及大陆上黄土剖面的综合研究，证实更新世每一次冰期循环为时约 10^5a ，第四纪 $2 \times 10^5\text{a}$ 左右的时间内约发生20次左右寒冷气候旋回。

二、深海钻探计划的崭新成就

1957年提出的穿透地壳去发现地幔物质的莫霍计划（Project Mohole），因为耗费太大等问题没有取得成功。而深海钻探计划（DSDP）却取得很大的成功。DSDP的有力工具为最新设计的一条钻探船格洛玛挑战者号。它于1968年下水，截至1981年4月，该船行程591962km，在各大洋洋底543处共打下910个钻孔，总进钻为208,235m，在洋底以下最大钻深达1741米，最长的钻绳为7060m，取回岩心总长为72,832m。深海钻探布局从大西洋开始，经太平洋扩大到印度洋及南极海区。在南极海区的海底钻探证明，南极在中新世已发生冰流，为“晚新生代冰期”提供有力论据。钻孔岩心的分析，提供了洋底扩张的速度，大陆边缘的垂直运动，沉积物中所保存的微体化石，使得科学家们得以制订新生代的一个新的地层模式。另外也发现在适宜条件下海洋沉积物中的有机质，可以变为有经济意义的碳氢化合物。

1975年，深海钻探计划扩大到国际性阶段（IPOP）。这个阶段的计划集中于三个课题，①大洋壳的演化，②洋陆边缘的构造和起源，③大洋的古环境。参加的单位，除美国各有关海洋研究单位而外，还有英国、法国、联邦德国、日本和苏联等国的有关海洋研究机构。

DSDP对近年地球科学革命起了很大的促进作用，它是地球科学上迄今最大的研究课

题,在海底扩张、板块构造、海洋环境演变等方面,已取得大量成果。从第四纪研究而言,如海底沉积,古环境、古气候的重建,对第四纪气候变化的频度与幅度,以及第四纪冰期的成因方面,都有很大的贡献。目前仓库里还存有70km长的沉积岩心,可供多年的研究,以提供更多的第四纪地质信息,对当前第四纪地质学所研究的地震,火山和气候的长期预测三大课题都将提供可靠的论据。当然大陆第四纪的研究,以及大陆更多方面的古气候指标研究,近年也同样受到很大重视。

第六节 第四纪气候与第四纪海面深入研究的贡献和正在探索的方向

人类的生产和生活在许多方面受到气候变化直接和间接的影响。特别是生态脆弱的地区,低温和干旱直接影响农业生产。二十世纪70年代以前,经过30多年农业技术的发展,使世界粮食产量能适量地满足世界人口增长的需要,二十世纪60年代后期的“绿色革命”正以稳定的增长率防止饥荒。但自1972年开始,世界一些国家受到一系列的旱灾,特大洪水,冻害,暴风等自然灾害,使经济受到影响,尤其是非洲一些半干旱国家经济上濒于破产^[13]。

影响人类生产和生活的气候,它的内力和外力结构十分复杂,其中某一参数发生变化,可以引起较大的甚至难以逆转的变化。而气候变化会影响海面的升降,海面变化又反馈气候。

近年引人关注的事实,即近40年以来世界海面逐渐升高。根据第四纪气候和海面的研究,我们了解上次间冰期气温比现代高数度(详第三章)而海面较今日高数米(详第四章)。这就可能对沿海平原人口密集稳产高产地区造成潜在性的威胁。当今气候学及第四纪地质学正在密切注意人类活动引起大气中CO₂的增高及由此可能发生的严重影响气候波动。

气候的不同时间尺度的变化,从10⁰a到10¹a,各具有其变化特点,具有不同的变化原因和变化的幅度和性质。现代气候变化是短尺度的变化叠加在长期的变化趋势上,研究第四纪更新世和全新世气候的变化和海面变化过程 and 变化规律,将为未来气候变化和海面变化提供历史背景和理论根据。

气候是不同内力的总体,而内力又与变化中的外力保持平衡关系。所谓外力(external force)是指地球轨道、太阳辐射、海陆位置、山岭和高原的起伏等,这些参数中有一项发生变化就足以使气候发生明显的变化,所以有人认为气候在某种意义上是脆弱的。1972年非洲草原地带干旱严重的时期,印度西北部季风衰退,农业产量比丰收的年份减少60%,孟加拉国水稻产量比预计减产2.5×10⁸t。1972年苏联干旱向美国购买1.8×10⁷t谷物,1975年又买了1.2×10⁷t,因而很快影响美国的食物价格。

二十世纪30年代美国中西部地区屡遭风暴袭击,当风暴穿过黑土带,大量的黑色尘土,被携带吹颺他去,故称“黑风暴”。黑风暴当时对美国农业生产也造成巨大损害。这些灾害性的气候,频频地出现,严重地影响了世界各国的经济和人民生活,也是天气和气候向科学家作新的挑战。近十余年来有关的科学家举行了一系列有关气候变化的会议,如1972年第四纪冰川及其他有关科学家曾举行会议,讨论下次冰期何时来临。1973年一个国际科学