

DISIJIDIZHI

# 第四纪地质

陈业裕 编著



DISIJIDIZHI

华东师范大学出版社

责任编辑：张继红 封面设计：高山

# DISIJIDIZHI



ISBN7-5617-0367-8

K·035

定 价： 3.20 元

# 第 四 纪 地 质

陈业裕 编著

华东师范大学出版社

## 第四纪地质

陈业裕 编著

---

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路3663号)

新华书店上海发行所经销 吴县光福印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13 插表1 字数: 330千字

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

印数: 1—2,000本

---

ISBN 7-5617-0367-8/K·035 定价: 3.20元

## 前 言

本书是作者在多年从事教学及科研工作的基础上编写的。由于近年来第四纪学科在基础理论和应用上都有了很大进展,因此在编写时力求引用最新成果。考虑到本书主要供高等院校作教材和教学参考之用,因而在内容和结构上对各个不同层次的需要都有所顾及。

本书名为第四纪地质,但其内涵并不全属地质学的领域。确切地说,第四纪二三百万年以来自然环境的变迁与演化过程才是它的主题。

第四纪学科是多学科性的,因此从教学上以及适应其它层次的需要考虑,本书内容共分如下九章进行阐述:绪论、晚新生代地壳构造运动、第四纪生物界的发展与演化、第四纪古气候、第四纪的海平面变动、中国的黄土、第四纪沉积环境和沉积物的成因类型、第四纪地层、第四纪地质的研究方法。

自然环境的变迁和演化过程是诸方面综合作用的结果,它包括气候变迁、海平面变动、新构造运动、沉积物及动、植物等的演变过程,这些因素之间是相互影响、具有反馈作用的。譬如,更新世以来,由于青藏高原的强烈隆起,它对我国甚至整个东亚地区自然环境的形成和演化都带来了巨大的影响。它不仅导致东亚现代季风的形成,而且正常的西风环流也因此而受干扰,引起了气候程式的变化;另外还造就了我国在水热因子上不同的三大自然区域……,这些都是第四纪以来自然环境变迁的问题。

气候的变化,进一步导致环境的变异,动、植物随之而发生明显的演化。气候的变化还导致海平面的多次变动,由此而引起的自然地理效应更是多方面的,诸如大陆度的变化、海洋寒、暖流的变异、平原面积的收缩与扩展、侵蚀基准面的变动、水系和湖泊的演化、动植物的繁衍与迁徙等等。在欧洲和北美,第四纪冰期寒冷气候所带来的地理景观的地带性更加明显。

现代科学发展的重要趋势之一是学科之间的互相渗透和边缘交叉,第四纪学科亦是这样发展起来的。因此它又具有明显的综合性和实践性,它不仅可以为更深入地了解环境变迁与演化打下基础,并且可以对改造和利用环境资源提供全面的理论依据。同时,第四纪学科是属于多学科性的,具有较明显的横向联系性质,因而它在应用方面的课题并不少于理论研究的课题,在新技术新资源的开展利用方面第四纪是大有可为的,其理论研究水平必将随之得到提高。

以上所述足以说明,第四纪地质的实质主要是阐明第四纪二三百万年以来地球表面自然环境的演化过程。在各种因素相互影响和互相反馈的作用过程中,气候的变化无疑起着极其重要的作用。所以,在编写本书时,作者力图以古气候为主导,贯串整个自然地理环境的演变过程。诚然,由于第四纪学科涉及的范围极广,而作者的水平和掌握的资料有限,在编写时还不能完全达到预期目的与要求。在此,诚恳地祈请读者多提出批评与建议,供再版时参考修正,这是编者所期望的。

在编写和定稿过程中,曹敏、李琳帮助收集资料和整理了部分原稿;书中插图由朱懿平清绘,在此一并谨致衷心谢意!

作 者 1988年元月



# 目 录

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 前 言                    | ( 1 )  |
| 第一章 绪论                 | ( 1 )  |
| 第一节 第四纪地质学的性质与研究内容     | ( 1 )  |
| 一、第四纪的生物界              | ( 1 )  |
| 二、第四纪古气候               | ( 2 )  |
| 三、第四纪沉积物               | ( 2 )  |
| 四、第四纪地层                | ( 2 )  |
| 五、第四纪构造运动(新构造运动)       | ( 3 )  |
| 六、第四纪海平面变化             | ( 3 )  |
| 第二节 国内外第四纪的研究进展概况      | ( 4 )  |
| 一、地层学与年代学              | ( 6 )  |
| 二、沉积学                  | ( 6 )  |
| 三、第四纪海洋地质学             | ( 8 )  |
| 四、古生物学与古人类学            | ( 8 )  |
| 五、第四纪自然环境              | ( 9 )  |
| 第二章 晚新生代地壳构造运动         | ( 11 ) |
| 第一节 概述                 | ( 11 ) |
| 第二节 晚新生代地壳构造运动的基本动力与性质 | ( 12 ) |
| 第三节 晚新生代地壳构造运动的特征      | ( 15 ) |
| 一、垂直升降运动               | ( 15 ) |
| 二、水平运动                 | ( 15 ) |
| 三、褶皱(柔性变形)运动           | ( 16 ) |
| 四、断裂构造                 | ( 16 ) |
| 第四节 晚新生代地壳构造运动的主要类型    | ( 17 ) |
| 一、大面积的升降运动             | ( 17 ) |
| 二、差异性断块构造运动            | ( 18 ) |
| 三、挤压褶皱构造               | ( 19 ) |
| 第五节 晚新生代地壳构造运动与地震活动    | ( 19 ) |
| 一、地震活动带的分布             | ( 19 ) |
| 二、我国地壳分布的一般概况          | ( 22 ) |
| 三、晚新生代地壳运动与我国地震活动      | ( 22 ) |
| 第六节 我国新生代的岩浆活动         | ( 24 ) |
| 一、汉诺坝活动期               | ( 25 ) |
| 二、围场活动期                | ( 25 ) |
| 三、雪花山活动期               | ( 25 ) |
| 四、白头山活动期               | ( 25 ) |
| 五、大同活动期                | ( 25 ) |
| 六、五大莲池活动期              | ( 26 ) |
| 第三章 第四纪生物界的发展与演化       | ( 28 ) |
| 第一节 第四纪哺乳动物            | ( 28 ) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 一、哺乳动物的演化                   | ( 28 )  |
| 二、哺乳动物的一般特征及哺乳动物化石          | ( 33 )  |
| 三、中国第四纪哺乳动物群的性质及其演变         | ( 34 )  |
| 第二节 人类的发展与石器                | ( 37 )  |
| 一、人类的发展与石器时代分期              | ( 37 )  |
| 二、中国的古人类及其时代                | ( 40 )  |
| 第三节 第四纪植物群的演化与变迁            | ( 42 )  |
| 一、第四纪植物群演变条件及中国植物区系特征       | ( 42 )  |
| 二、中国各地区第四纪植物群的演替和变迁过程       | ( 45 )  |
| <b>第四章 第四纪古气候</b>           | ( 49 )  |
| 第一节 第四纪以前的古气候概况             | ( 49 )  |
| 第二节 第四纪古气候及其变化              | ( 55 )  |
| 一、概述                        | ( 55 )  |
| 二、第四纪冰期与间冰期、雨期与间雨期          | ( 59 )  |
| 三、世界主要地区第四纪古气候及其变化          | ( 62 )  |
| 第三节 冰后期的气候变化                | ( 70 )  |
| 一、冰后期气候变迁概况                 | ( 70 )  |
| 二、中国冰后期气候变迁与分期              | ( 71 )  |
| 第四节 气候变迁的原因                 | ( 77 )  |
| <b>第五章 第四纪的海平面变动</b>        | ( 81 )  |
| 第一节 概述                      | ( 81 )  |
| 第二节 海平面变动的标志                | ( 82 )  |
| 第三节 第四纪早、中期的海平面变动           | ( 83 )  |
| 第四节 晚更新世以来的海平面变动            | ( 89 )  |
| 一、世界各地晚更新世海平面变动概况           | ( 89 )  |
| 二、中国晚更新世以来的海平面变动            | ( 91 )  |
| 第五节 全新世(冰后期)的海平面变动          | ( 98 )  |
| 一、全新世海面变动的不同观点及测定全新世海面变化的标志 | ( 98 )  |
| 二、全新世(冰后期)以来的海平面变动          | ( 102 ) |
| 第六节 海平面变化的原因及海平面变化的效应       | ( 106 ) |
| 一、海平面变化的原因简述                | ( 106 ) |
| 二、海平面变化的效应                  | ( 107 ) |
| <b>第六章 中国的黄土</b>            | ( 109 ) |
| 第一节 黄土的分布与厚度                | ( 109 ) |
| 第二节 黄土的岩石性质                 | ( 113 ) |
| 一、黄土的岩石成分及其变化               | ( 113 ) |
| 二、黄土的矿物成分                   | ( 114 ) |
| 三、黄土的化学成分                   | ( 116 ) |
| 第三节 黄土地层的划分与依据              | ( 117 ) |
| 一、午城黄土                      | ( 118 ) |
| 二、离石黄土                      | ( 118 ) |

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 三、马兰黄土                         | ( 118 ) |
| 四、全新世黄土                        | ( 119 ) |
| 第四节    黄土堆积与古气候                | ( 119 ) |
| 一、黄土剖面的古气候标志                   | ( 120 ) |
| 二、黄土剖面的古气候旋回                   | ( 120 ) |
| 第五节    黄土的成因                   | ( 122 ) |
| 第六节    黄土的堆积和演化                | ( 123 ) |
| 一、控制黄土演化的因素                    | ( 123 ) |
| 二、黄土的形成和演化过程                   | ( 124 ) |
| <b>第七章    第四纪沉积环境和沉积物的成因类型</b> | ( 127 ) |
| 第一节    概述                      | ( 127 ) |
| 第二节    沉积环境与沉积相                | ( 127 ) |
| 一、相分析中的几种基本标志                  | ( 127 ) |
| 二、几种主要沉积环境的恢复与识别               | ( 135 ) |
| 第三节    第四纪沉积物的特征及成因类型          | ( 145 ) |
| 一、第四纪沉积物的特征                    | ( 145 ) |
| 二、第四纪沉积物成因类型的划分标志              | ( 147 ) |
| 三、第四纪沉积物的成因类型                  | ( 149 ) |
| <b>第八章    第四纪地层</b>            | ( 153 ) |
| 第一节    划分第四纪地层的标志              | ( 153 ) |
| 一、生物标志                         | ( 153 ) |
| 二、古人类与考古标志                     | ( 155 ) |
| 三、古气候标志                        | ( 156 ) |
| 四、岩性及岩相标志                      | ( 156 ) |
| 五、构造与地貌标志                      | ( 157 ) |
| 六、古地磁标志                        | ( 158 ) |
| 第二节    第四纪的下限问题                | ( 159 ) |
| 一、第四纪下限问题的历史与现状                | ( 159 ) |
| 二、中国第四纪地层主要堆积类型的代表剖面           | ( 161 ) |
| 第三节    中国第四纪地层                 | ( 166 ) |
| 一、中国第四纪沉积物的地理分布概况              | ( 166 ) |
| 二、中国各地第四纪地层                    | ( 168 ) |
| 第四节    中国第四纪地层对比表              | ( 179 ) |
| <b>第九章    第四纪地质的研究方法</b>       | ( 181 ) |
| 第一节    第四纪沉积物的野外研究方法           | ( 181 ) |
| 一、室内准备阶段                       | ( 181 ) |
| 二、野外研究方法                       | ( 181 ) |
| 第二节    第四纪地质图的绘制               | ( 184 ) |
| 一、第四纪地质剖面图                     | ( 185 ) |
| 二、第四纪地质图的编制                    | ( 185 ) |
| 第三节    第四纪沉积物的室内研究             | ( 188 ) |



|                        |         |
|------------------------|---------|
| 一、航片和卫片在第四纪研究中的应用..... | ( 188 ) |
| 二、测年学在第四纪研究中的应用.....   | ( 190 ) |
| 三、第四纪古温度测定方法简述.....    | ( 196 ) |
| <b>参考文献</b> .....      | ( 200 ) |

# 第一章 绪 论

## 第一节 第四纪地质学的性质与研究内容

第四纪是距今二三百万年以来的最新地质历史时期,就整个漫长的地质历史来说,第四纪只是地质历史最新的一页。虽然第四纪所占据的时间是短暂的,但由于它本身所具有的特殊性,因而在整个地质历史时期中占有很重要的位置,在理论和实践上都具有很重要的意义。在这短暂的二三百万年时间里,整个地球表面的自然界发生了一系列的重大变化,诸如全球性的气候冷暖交替变化、频繁而强烈的地壳运动、各种海陆相沉积物的形成、海平面大幅度的升降变化、生物界的演化以及人类的出现与发展等等。不言而喻,对第四纪这些方面的研究,在理论和实践上都具有很重要的意义。尤其通过第四纪的研究,对于了解现代自然环境的变迁、生态环境的演化以及人类的发生、发展等都是非常重要的。

近期以来,随着生产建设的发展,对第四纪发展历史的认识不断深化,科学技术的进步也促进了第四纪研究的方法和手段的不断完善,尤其在第四纪地层学、第四纪测年学、第四纪古气候学、古人类学、海洋第四纪地质学以及新构造运动学等许多方面的研究都有很大进展。在我国,随着四化建设的蓬勃发展,如大型水利枢纽工程建设、铁路建设、地下水资源的开发利用、石油资源的勘探与开发、大陆架浅海资源的普查与开发、大型港口建设和沿海滩涂资源的开发利用研究等等,都有力地推动了第四纪的研究。反过来,第四纪研究的更加细致深入,又为四化建设提供了更多更精确的资料和可靠的科学依据。随着对第四纪研究的深入发展,产生了一系列的分支学科,如研究第三纪末期以来的新构造运动学、古冰川学、古地理学、古人类学、第四纪海洋地质学、第四纪测年学、第四纪微古孢粉学等等。总之,第四纪研究的内容是很广泛的,它具有多学科横向交叉和综合研究的特点。其主要内容包括下列几个方面:

### 一、第四纪的生物界

研究第四纪期间生物界的演化和发展,特别是哺乳动物的演化和发展是第四纪的重大事件之一。研究哺乳动物的演化,对于第四纪陆相地层的相对年代的鉴定和分层对比,对于说明当时的古地理环境及古气候条件,对于了解生物地理区的发展历史特点,对于研究人类的出现、生活状态和生存条件以及说明现生种的演化关系等方面,都起着特别重要的作用。第四纪植物的发展与演化,可以明显地反映出古气候的变化,尤其是在植被的演替过程中的一定阶段,往往可以明显地反映出相应的沉积过程和自然地理的特点,从而能帮助我们较详细地判断和阐明当时的气候变化、海陆分布、生境的形成与变迁等古地理过程。另外,在第四纪广阔的海洋中,无脊椎动物的演化和变迁,也可以反映出海洋区域的古气候变迁和海平面的变化过程。总之,通过对第四纪生物界的研究,特别是对哺乳动物群的研究,是了解第四纪古地理过程的重要方面,也是划分第四纪地层的主要依据。

## 二、第四纪古气候

第四纪研究中最重要内容之一就是第四纪古气候的研究，直到今天，它始终吸引着各方面的学者。近来越来越被人们所重视。因为通过气候指标的分析，可以了解自然环境及其变化的历史。第四纪气候的变化会导致古生境的变化，如人类的出现与进化、海面的升降、湖泊的扩张与退缩以及动植物群的迁移变化等。同时，第四纪气候的冷暖更替变化、冰期与间冰期的出现，也是划分第四纪的重要标志之一。通过对第四纪气候变化规律的研究，还可以推测现代气候变化发展趋势，为气候的长期预报提供依据。目前，随着基础资料的积累和测年技术的发展，在广泛深入进行大陆的古气候重建的同时，国内外对第四纪古气候的研究，都已着重于深海沉积物的分析，并取得了不少有重大意义的成果。这些成果反过来促进对大陆的古气候和海陆对比研究的进一步深入。

## 三、第四纪沉积物

主要研究第四纪陆相、海相沉积物的成因、沉积环境和沉积特征。目前人类在生活和生产活动中接触最多的仍是陆相沉积，但随着人类对海洋资源的开发利用，第四纪海相沉积的研究正在深入并取得了很大进展，海相沉积资料日益增多，它为第四纪年代和古气候等方面提供了新资料，为海陆对比提供了可靠的依据。

第四纪沉积物的研究，是了解第四纪各种环境变化的基础。因为在第四纪期间，自然环境各种变化的遗迹大都保存在沉积物中。通过对第四纪沉积物的分析，我们可以了解第四纪古地面的起伏情况、流水、风力等外动力的作用特征和性质、海面升降变化、古气候的演变、有用矿产的分布、生物生态环境和古地理演化过程以及地壳构造活动等。对第四纪沉积物的岩性岩相的分析研究，不仅在理论上具有重大意义，而且能直接为四化建设服务。

## 四、第四纪地层

第四纪虽然只有短暂的二三百万年的发展史，但是由于自然环境的不断变化发展，在这短暂的时期内，仍可划分出许多不同的发展阶段。也就是说，第四纪期间沉积下来的各种沉积物，都是按时间先后顺序堆积而成的，因此不但需要区分出这些沉积物的性质，而且要对这些沉积物进行时间上的划分。如对某一沉积物确定它属冲积物之后，还必须把它的沉积过程按沉积时间的先后顺序加以划分。

对第四纪沉积层的划分，在基础理论和生产实践上都是非常重要的。从第四纪地层的特点(分布广、厚度变化大、岩相变化大、成分复杂、松散、化石少等)来看，第四纪沉积物形成的环境是多变的，这就要求确定第四纪的标准层、拟定第四纪年代表。显然，这是一项非常重要而困难的工作。由于第四纪本身所具有的特殊性，决定了在对第四纪地层的研究上与“众”不同，即不可能完全按照古老地层划分的方法——古生物地层法来进行，而必须采取多学科横向联系的综合分析对比方法，才能得出较可靠的结论。

## 五、第四纪构造运动(新构造运动)

地壳运动在第四纪期间仍在不断地进行着,有的地区相对平静些,有的地区则显得特别活跃,表现为火山活动和地震,这对人类的生产和建设有直接的影响。如20世纪60年代以来,我国发生了多次强烈地震,这都是第四纪以来最新地壳运动的直接表现。因此,研究第四纪地壳运动,尤其是最新时期即全新世的地壳运动,对了解地震发展的背景和趋势,为地震的预测预报服务,是具有极其重要意义的。

第四纪构造运动最普遍的特征是具有振荡性以及一定的节奏性和继承性,它造成现代地球表面的主要起伏即巨形地貌形态。第四纪构造运动可导致外动力的格局变化和重新配置,从而影响到气候和地理环境的变异。如大面积的大陆隆起(例如青藏高原),可改变古行星风系的动力和热力状况、改变大气环流模式、最后导致地理环境和气候状况的变化。可见第四纪构造运动是引起整个地理环境变化的一个重要因素,这一认识对于了解第四纪古环境的发展变化是极为重要的。

## 六、第四纪海平面变化

第四纪虽然时间很短,但由于气候的巨大变化,新构造运动十分频繁,由此引起的第四纪海平面升降变化极为显著,因此它早已成为地球科学所普遍关注的重大问题之一,对此国内外的研究和讨论日益增多。因为海平面变化实际上不但是一个非常重要的理论问题,同时也是与生产建设和国防建设均有密切关系的实际问题。可以设想,若海平面上升10米~20米,那末世界上将有大量作为农业生产基地的冲积平原和若干沿海国际性大城市,都变成一片泽国。反之,若海平面下降10~20米,则世界沿海各大城市的港口码头设施,将高踞于海面以上或因水深变浅而无法使用。目前的研究表明,第四纪期间,海面曾有过比现今低132米的记录,那时岸线远离现今海岸,广袤的陆架出露成陆,动植物和河流等在这片“新大陆”上活动、作用,大陆地域相对扩大,大陆度加强。海平面变化所引起的种种效应是多方面的。可见,第四纪海平面变化与第四纪古气候变化、古地理环境变迁、动植物群落的迁徙与发展、人类的起源与发展等各方面均密切相关。

第四纪研究的内容是极为广泛的,以上所举仅是六个主要的方面。第四纪研究在方法上和所得出的结果也是综合性的。如对地处长江三角洲前缘的上海地区第四纪的研究,目前主要采用岩性岩相结合孢粉、微体古生物等手段,进行多方面的综合分析,依此证据将厚达400米左右的第四纪沉积层划分为12个沉积单元,并初步了解到其间的古气候冷暖变化同海水进退的关系,通过这种综合分析研究,基本上恢复了该地区第四纪古地理概貌,查明了在整个第四纪沉积层中由古河流形成的7层迭次发育的砂砾石层,其中5层属于更新世,2层属于全新世。这些被埋覆的古河流砂砾石层,分别构成了上海地区不同深度的5个承压含水层和2个潜水或潜水——承压含水层,在古河流砂砾层之间为古湖泊沉积层所分隔,从而分别构成了两个相邻含水层之间的隔水层。另外,在整个第四纪松散覆盖层中,发现在150米以下的是以陆相层为主的粘土层与砂砾层互层,其间夹有海相层;而在150米以上的覆盖层中,则主要以海相层为主,夹有陆相层,在年代上它属晚更新世和全新世的海相粘性土层,因含水

量高,压缩性大,遂成为目前上海地区地面沉降的三个主要沉积层。这些研究成果,不仅恢复和阐明了上海地区的古气候、海水进退、古沉积环境、河湖发育的阶段及环境变迁等第四纪古地理的演变过程,而且在经济建设上为了解和控制上海地区的地面沉降,合理开发利用地下水资源,为城市工农业的供水用水等提供了极其重要的基础资料。由此可见,第四纪的研究与经济建设是密切相关的。

## 第二节 国内外第四纪的研究进展概况

由于第四纪与现代人类活动关系非常密切,所以它的重要意义也愈来愈明显。国内外对第四纪的研究,无论在研究对象、研究内容、研究方法和手段等各个方面均更加广泛而深入地开展起来,并取得了很大的进展。

在古气候学方面,随着新技术的应用以及地学各学科领域的发展,第四纪古气候中的一些重大问题如冰期成因、洋面变化、气候地层学等或有所突破,或有新的进展。其中,海洋微体古生物的研究在确定古气候方面做出了重要的贡献。过去对第四纪历史的研究主要是根据大陆堆积来进行的,但大陆第四纪堆积因受后期地质作用的扰动或破坏,往往不能提供完整的气候变化顺序记录。近期以来,通过对深海有孔虫介壳中氧同位素比值的研究,得到了迄今所知最为完整的全球性的气候变化顺序记录,并进一步可据此推算出海面变化的幅度,为海平面变化的研究提供了新的信息。

对深海第四纪沉积的研究所取得的多方面成果(如深海沉积物的碳酸盐的百分比含量、微体古生物化石的变化、浮冰碎屑和氧同位素的比值变化等),为第四纪古气候指标的研究积累了丰富的可靠资料,使之能够对第四纪古气候系列进行全球性对比。随着对第四纪气候变化综合研究的日益深入,地球本身和地球外界之间的交互作用以及它们之间的复杂反馈关系所发生的深远影响正在揭开。同时,对第四纪古气候变化机制的探索也在大力开展。

在第四纪地层学方面,虽然迄今为止,对第四纪地层进行全球性对比仍较困难,对第四纪下限的认识尚不一致,但随着同位素年代测定和古地磁等新技术以及古生物学特别是微体古生物和孢粉学在第四纪研究中日益广泛应用,第四纪地层的划分和对比有了很大的进展。除根据古气候标志进行冰期、间冰期或雨期、间雨期的划分之外,古生物地层学、同位素年代学和古地磁地层学的紧密结合,已成为第四纪地层划分和对比的较为有效的手段。特别是由于海洋第四纪研究取得了重大进展,可以根据同位素年代测定结果,确定大洋沉积速率,推导深海沉积物岩心所反映的更新世剖面的年代表,并与欧洲和北美的冰期进行对比,划分海洋沉积物的第四纪地层。尤其是在利用深海沉积物岩心所反映的地磁极性变化系列和微体古生物、同位素年代测定结果,来划分海洋沉积物的第四纪地层方面,取得了较好的效果。

由于第四纪的研究引进和采用了新技术和新手段,因此除上述之外,同时在大陆的第四纪沉积作用及沉积物的研究方面也有显著的进展,如对黄土及其形成的环境性质和地层年代学、湖相沉积速率和沉积物的地球化学方面,对河流沉积作用、沉积结构和沉积机理等研究都取得了新的成果。表1—1是近百余年来第四纪研究的重要发现及重要理论发展年代表。从表1—1中可见,直至20世纪50年代,第四纪的研究进展是较缓慢的,50年代以后,由于放射性碳和氧同位素的应用,到60年代以后,海洋第四纪得到了发展。之后,随着古地磁研究、钾—氩及铀系测年、全球性深海沉积微体及氧同位素的分析等新技术和新手段的应用,

表1—1 第四纪研究的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)

(引自杨怀仁, 1987)

- 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 文聂茨(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 文聂茨认为欧洲很多地区都曾有冰川活动, 留下冰川作用遗迹。
- 1836年 卡彭特(Jean de Charpentier)及文聂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次冰期。
- 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(Motonori 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  $41 \times 10^3$  a 周期性的气候变化; 岁差变化, 导致  $22 \times 10^3$  a 为周期的气候变化, 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)据探海沉积物有孔虫壳氧同位素比例, 发现气候有  $4 \times 10^4$  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。
- 1964年 考克斯(Allan Cox)建立古地磁的年代表。
- 1964年 柯蒂斯及埃韦登(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  $8 \times 10^4$  a 及  $12 \times 10^4$  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,表示冰流体积的变化。
- 1968年 布罗克勒及马修斯(Robley Matthews)用铀测年法,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测算的间冰期存在有对应关系。
- 1970年 布罗克勒及唐克(Jan von Donk)提出加勒比海深海岩心氧同位素所揭示的主要气候旋回为 $10^5a$ 。
- 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 $1.8 \times 10^6a$ 。
- 1972年 沙克尔顿及奥普代克(Nicholas Shackleton and Neil Opdyke)分析太平洋深海钻孔V<sub>28-233</sub>,据氧同位素及古地磁对比取得 $7 \times 10^5a$ 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—间冰期层次,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)及沙克尔顿(James Shackleton),据印度洋海底钻孔RC11-120及E49-18的波谱分析,证实 $5 \times 10^5a$ 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 $5 \times 10^5a$ 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。

第四纪古气候的研究从过程到成因都取得了重大突破。

在我国,第四纪研究工作在解放前就已取得若干重要成就。主要有:(1)确立了下更新统泥河湾组、中更新统周口店组和上更新统萨拉乌苏组为第四纪地层对比标准。泥河湾组被第十八届国际地质大会确定为下更新统国际对比标准之一。(2)划分第四纪沉积物为四大成因类型,即土状堆积、河湖沉积、砾石堆积与洞穴堆积,并分别建立了地层层序。(3)建立了中国的地文期,进行了某些活动构造和历史地震的研究。(4)北京猿人的重大发现,为第四纪人类活动的研究提供了宝贵资料。(5)东部第四纪冰川说的提出使第四纪研究增添了新内容。

建国后,随着社会主义建设事业的发展,第四纪研究得以全面而系统地开展,其主要成就就可归纳为下列几个方面:

## 一、地层学与年代学

传统的岩石地层学与生物地层学得到了加强和发展,各沉积类型的第四纪地层剖面的划分更加详细,各层段的时代的控制更加准确,不同类型剖面间的对比关系愈来愈明确。同位素年代学、磁性地层学及石英热释光等方法的广泛运用,使我国东部第四纪研究上升到定量的水平;大区域与国际对比有了更准确的依据。如关于早更新世与上新世的界线问题,根据哺乳动物群、微体古生物和古地磁等综合研究结果表明,我国早更新世和上新世的界线应在248万年左右,相当于古地磁的松山期与高斯期的界线。根据刘东生、周慕林、王乃文等的综合研究成果,编列出中国东部第四纪地层表(见表1—2)。

## 二、沉积学

在这方面以冰川或冰缘沉积、黄土沉积与古土壤的研究最为活跃,并取得了一系列重要结果。

表1—2 中国东部第四纪地层表

(引自黄汲清, 1986)

| 时代   | 年龄 Ma                                                                             | 古磁分期  | 黄土堆积相  | 高原河湖相      | 洞穴堆积相 | 平原沉积相 | 海生动物群                                              | 陆生动物群                                                        | 古人类                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|------------|-------|-------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 全新世  | 0                                                                                 |       |        |            |       |       | 贝壳类动物群 (0.006)<br>口室虫动物群 (<0.01)                   | 半坡动物群 (0.007)                                                | 半坡人 (0.007)                                         |
| 晚更新世 | 0.01                                                                              | 布容    | 马兰黄土   | 萨拉乌苏组      | 山顶洞组  | 军营组   | 五块虫动物群 (0.03—0.04)<br>假轮虫动物群 (0.1)                 | 猛犸象—披毛犀动物群 (0.01—0.03)<br>萨拉乌苏动物群 (0.15)                     | 河套人 (0.023)<br>峙峪人 (0.028)<br>丁村人, 许家窑人 (0.06—0.10) |
| 中更新世 | 0.15                                                                              | 正向    | 离石黄土上部 | 大荔组        | 周口店组  | 翟里组   | 转卷虫动物群 (0.3)                                       | 大荔动物群 (0.20)                                                 | 大荔人 (0.20)                                          |
| 新世   |                                                                                   | 期     | 离石黄土下部 | 乾县组        | 店组    | 组     |                                                    | 周口店动物群 (0.4—0.5)                                             | 北京人 (0.4—0.5)                                       |
| 早更新世 | 0.73—<br>0.88—<br>0.94—<br>加拉米洛事件<br>→<br>-1.72—<br>-1.88—<br>奥尔都维事件<br>→<br>2.48 | 松山反相期 | 午城黄土   | 泥河湾组 (中上部) | 巨猿洞组  | 夏垫组   | 抱环虫动物群 (1.0)<br>外旋九字虫动物群 (1.5—1.7)<br>透明虫动物群 (2.5) | 三门动物群 (1.1—1.7)<br>泥河湾动物群 (1.5—1.7)<br>早泥河湾或游河动物群 (~2.4—2.5) | 蓝田人 (0.5—0.98)<br>元谋人 (1.7)                         |

注: ①据刘东生等(1982), 周慕林(1982)、王乃文等(1982)编制。

②表中同位素年龄单位为Ma。

## (一)冰川或冰缘沉积

自李四光提出中国东部第四纪冰川说以来, 有关人员经过长期研究, 提出了4个第四纪冰期和1个上新世冰期, 共5个冰期(以及期间的间冰期和冰后期)。这些冰期的提出, 主要是根据条痕石、泥砾层及其孢粉谱中反映出的桦林、针叶林或可能的苔原植被。但也有用的“冰滑作用”即现在统称为冰缘气候的条件下泥石流的作用来解释这些“冰碛层”。目前仍有部分人只承认大理冰期的存在, 认为中国东部以庐山为代表的“冰碛层”大半是泥石流产物, 并有人认为中国东部存在第四纪冰缘气候而不是冰川气候。持不同认识的研究工作者们正在进行更深入的探索, 相信不久的将来会得出符合客观实际的结论。

## (二)黄土沉积

中国黄土的分布面积达53万多平方公里, 厚达180~200米, 在垂向沉积上比较连续。根据动物化石, 可将黄土地层划分为早更新统的午城黄土、中更新统的离石黄土和晚更新统的马兰黄土, 另外尚有全新统的次生黄土。在厚层黄土中常见粉华蜗牛化石组合, 据此判定黄土是在干冷气候条件下形成的, 但有人则认为主要是在温干气候条件下形成的, 另外还有人认为是冰川气候影响下的干燥期(间雨期)形成的。从孢粉分析资料看, 干冷条件对应着黄土形成的最盛期, 黄土的顶、底板则反映出湿冷的环境条件。通过黄土的颗粒组成、矿物成分、地球化学特征与结构的研究, 大家对黄土的成因的认识逐步趋于一致。黄土的粒度分布

从西向北东南变细的趋势是风成说的有力旁证。由于黄土剖面年代学研究的进展，它们与其它类型沉积剖面(特别是深海岩心沉积剖面)已能进行对比。

### (三)古土壤

在黄土高原区，黄土剖面上的古土壤夹层已观察到20多层。古土壤一般形成于较为温和湿润的气候条件下，所以它们至少记录了黄土堆积时期的13个气候旋回。古土壤的顶部及上覆黄土层的底部常见反映温暖气候环境的汉山间齿螺组合，与黄土层中所含的反映干冷气候的粉华蜗牛组合适成对照。根据对这些古土壤层中碳酸钙淋洗情况进行研究后，可推断它们是在比较温暖的半湿润半干旱气候条件下形成的。古土壤层的数目由西向东递增，这说明东、西古地理环境存在差异。这些古土壤一般分为两大类：黑垆土型与褐色土型。通常把褐色土型作为划分中更新世离石黄土的标志，把黑垆土型作为划分晚更新世马兰黄土的标志。

## 三、第四纪海洋地质学

第四纪海洋地质学自70年代以来才得到迅速发展。在黄海和东海至其外大陆架已经发现了埋藏在水下的多条贝壳堤和泥炭层，它们代表第四纪不同时期的古海岸线。据钻孔采样和 $^{14}\text{C}$ 测定结果，25000~27000年前的古海岸线在现今海面以下60米处，20000~18300年前的古海岸线在现今海面以下140~150米处。这些古海岸线与大陆架轮廓线大致具同样走向。当时黄海大陆架基本是陆地，与日本、朝鲜大陆架连为一体，或至少在它们之间有广阔的陆桥存在。大陆架第四系中已发现猛犸象披毛犀动物群化石，说明当时中国东部大陆与日本列岛陆生生物群能够自由交流。这有力地说明了日本第四纪动物群(包括象)的亚洲大陆特征。南海的情况则不同，这里没有沉降了的第四纪陆地。南沙群岛的钻孔记录说明海相第四系是连续的，它的主要部分是近代才升出海面的。由此可见，在第四纪黄海和东海曾有过大规模的岸线变迁，南海则未曾升到海面以上。看来，黄海、东海在晚第四纪的大规模海退与全球冰期的低海面密切相关。

## 四、古生物学与古人类学

首先是微体古生物学与孢粉学研究的巨大进展。微体化石包括有孔虫、介形虫、微体藻类等，既见于露头剖面，又见于平原钻孔中。正是得力于有孔虫与介形虫的研究，才能够把从黄河中下游、长江中下游到山区，从东海、黄海到内陆盆地，从珠江三角洲、琼雷地区到南海诸岛的第四系对比起来。大陆上发现的第四纪海生生物群越来越多，如山西运城、陕南渭河、太行山、北京平原、渤海湾沿岸到苏北平原等等。根据海生生物群与陆生生物群在时间上的交替，建立了海、陆相地层对比和演变系统。孢子花粉与介形虫研究已区分出早、中、晚更新世与全新世的若干组合，并划出了不同的生物地理区系。

在脊椎动物化石研究方面，也取得了很大成就，发现了更多的产地，描述了新的化石群，并在演化的研究上取得了新的进展。例如著名的与欧洲维拉方动物群对比的泥河湾动物群，原以为它代表整个泥河湾组，现已查明它主要分布于中、上泥河湾层中。同位素年龄在240~250万年前至300万年左右的下泥河湾层和与其相当的剖面上，发现了新的动物群，如游河动物群或早期泥河湾动物群应属上新世或上新世与早更新世的过渡期。这使上新世与早