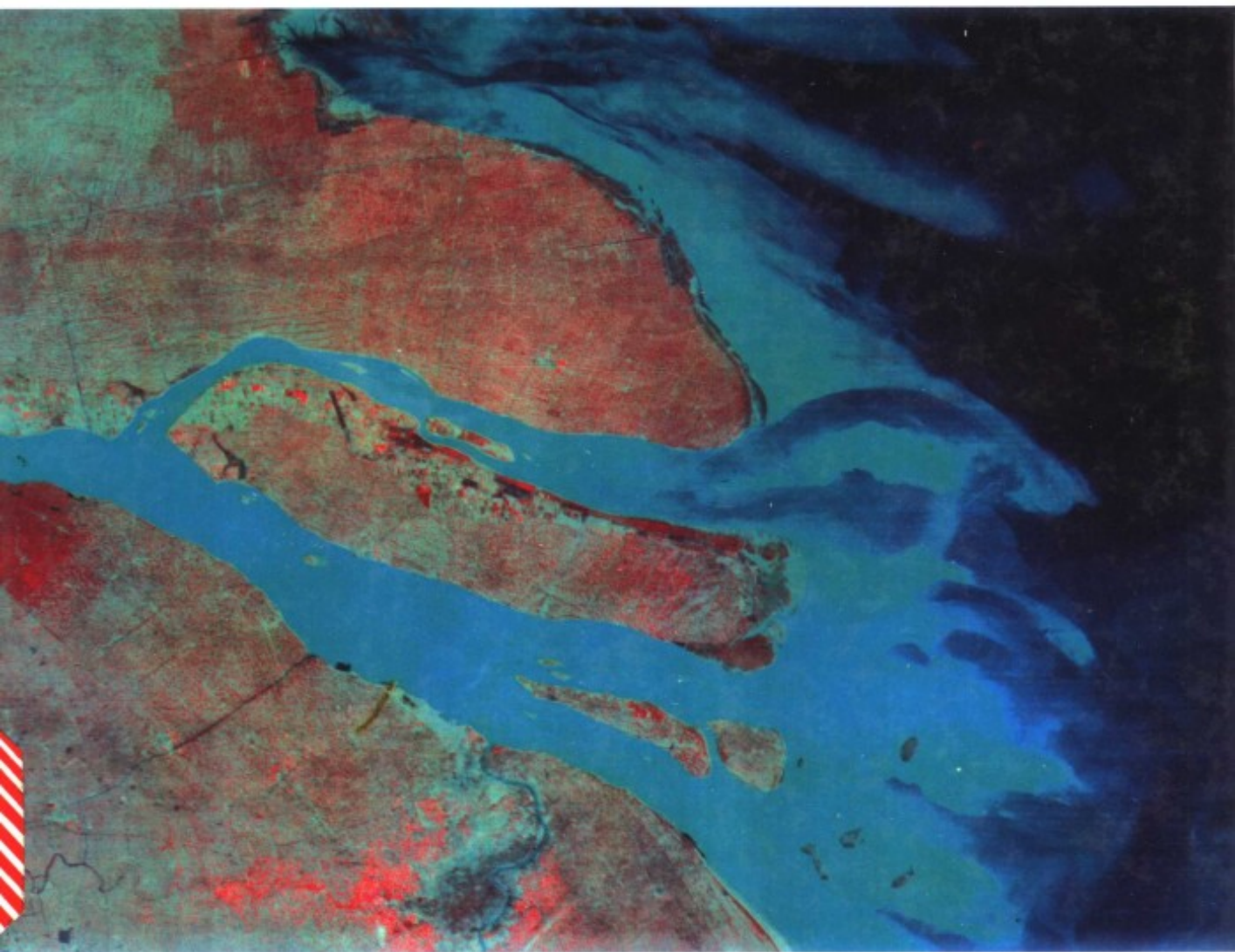


长江晚第四纪河口地层学研究

李从先 汪品先 等著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

长江晚第四纪河口地层学研究

李从先 汪品先 等著

科学出版社

1998

内 容 简 介

本书从地层学的角度,对长江三角洲表层沉积和浅层地质进行资料总结和理论概括,从分析长江口沉积物和微体化石的分布规律及其与河口动力环境的关系入手,进而从纹层、单层、层序和海侵旋回等四个层次阐明河口地层的构成,长江三角洲主体和两翼晚第四纪地层的特征和差异;通过与国外晚第四纪河口地层构架模式的对比,得出河口地层的共性和长江河口地层的特殊性,探索晚第四纪河口地层研究的方法和原理。本书在河口地层的层序结构、沉积间断的类型、形成过程和分布规律,河口沉积和微体化石的分布和形成机理,不同河口地层构架类型的比较分析等方面,均有重要创新,体现了我国在三角洲研究方面的深化。

本书是研究陆海相互作用、海平面变化、海洋地质和沉积学、微体古生物学的重要材料,可供从事海洋地质学、沉积学、古生物学、海洋环境科学、第四纪地质学、水文和工程地质学的科技工作者、高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江晚第四纪河口地层学研究/李从先等著. -北京:科学出版社,1998

ISBN 7-03-006762-2

I. 长… I. 李… II. 河口,长江-第四纪地质-地层学-研究 N.P534.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13162 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1998 年 12 月 第 一 版 * 开本 787×1092 1/16

1998 年 12 月 第一次印刷 印张:14 1/4 插页:4

印数 1—800 字数:329 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

目 录

第一章 绪言	汪品先(1)
第二章 河口地层学的方法、原理	汪品先(4)
第一节 研究历史和现状	(4)
一、长江三角洲河口地层学研究的回顾	(4)
二、国内外的河口地层学研究	(5)
第二节 河口地层学的特殊性	(6)
一、第四纪河口地层工作中的困难	(6)
二、第四纪地层分类的修改尝试	(7)
三、第四纪河口地层学方法的进展	(10)
第三节 河口地层学研究方法	(13)
一、单井地层划分	(13)
二、井间地层对比	(13)
三、建立层序框架	(14)
第三章 长江河口地层学的沉积学基础	(15)
第一节 长江口沉积环境	李从先(15)
一、长江三角洲地形概况	(15)
二、河口水文	(16)
第二节 表层沉积物	李从先(24)
一、河流沉积物	(24)
二、河口和口外海域表层沉积	(27)
三、潮坪沉积	(29)
第三节 微体动物的生物群和埋葬群	赵泉鸿、汪品先(29)
一、目标、材料与方法	(29)
二、生物群	(30)
三、埋葬群	(41)
四、埋葬群的形成及其地质意义	(57)
五、河口微体动物群的比较	(66)
第四章 长江河口地层构成	李从先(69)
第一节 河口地层单元	(69)
第二节 纹层和微型层序	(73)
一、纹层的特征	(73)
二、纹层和微型层序的形成与保存	(74)
第三节 单层与小型层序	(78)
一、单层和小型层序的特征	(78)
二、风暴沉积与小型层序的形成	(80)

三、小型层序的沉积和地层意义	(86)
第四节 沉积层序和沉积间断	(86)
一、沉积层序	(86)
二、沉积间断	(99)
第五节 海侵沉积旋回和沉积体系	(105)
一、海侵沉积旋回	(105)
二、沉积体系	(108)
第五章 长江晚第四纪河口地层	李从先、孙和平、闵秋宝、汪品先(111)
第一节 概述	(111)
第二节 晚第四纪地层的分区和代表性剖面	(114)
一、长江三角洲主体区(Ⅰ)	(114)
二、长江三角洲南翼区(Ⅱ)	(121)
三、长江三角洲北翼区(Ⅲ)	(135)
第三节 长江晚第四纪河口地层的基本构架	(142)
一、三角洲两翼的海侵旋回	(143)
二、三角洲主体(古河谷)的海侵旋回	(156)
第四节 晚第四纪长江三角洲发育史	(161)
一、亚间冰期(LG)海侵旋回	(161)
二、冰后期(PG)海侵旋回	(167)
第六章 晚第四纪河口地层的特点	李从先(173)
第一节 河口沉积和河口地层	(173)
一、河口湾和河口湾沉积	(174)
二、河口地层的构架	(178)
第二节 河口地层的共性	(181)
一、下切河谷内厚而连续的河流沉积层	(181)
二、界面与地层的穿时性	(186)
三、层序的简单性和结构的复杂性	(187)
第三节 长江河口地层的特点	(188)
一、古地貌的继承性和河口地层的旋回性	(188)
二、河口湾类型的转变与河口地层的结构变化	(189)
三、三角洲两翼前缘地层的差异性和后缘地层的相似性	(190)
四、沉积率与地层分辨率的不一致性	(191)
第四节 河口地层学的意义	(192)
一、河口地层与海平面变化	(192)
二、河口地层与古环境变化	(194)
三、河口地层与环境灾害地质问题	(194)
四、河口地层与油气勘探	(197)
参考文献	(198)
附录一 长江三角洲(无锡以东)钻孔分层数据表	李从先(211)
附录二 长江口有孔虫和介形虫名录	赵泉鸿(220)

第一章 绪 言

我国晚第四纪地层的研究,大多在东部地区,而东部的重点又集中在河口三角洲。我国大小 100 多条入海河流中,长江口又受到特别重视。据不完全统计,自 1877 年至 1985 年将近 110 年中至少发表了 168 篇关于我国河口发育的论文,其中一半以上(94 篇)谈长江口。1985 年以来,我国关于河口地质地貌的专著和论文集便不下十余种,其中七种又是关于长江口的。既然如此,为什么还要出一本长江河口的地层专著?

其实,河口研究有一个逐渐深入的过程。河口发育史的研究,早期主要依据地貌,后来注意力转向地层,通过沉积学、古生物学、同位素化学和古地磁学等手段,研究三角洲沉积体的结构和演化史。近年来,有关三角洲的大量成果,正是在沿海数以千计的钻孔资料基础上取得的。这些成果不仅对沿海三角洲的开发建设有着直接的经济意义,对沉积矿产的勘探开发有着间接的参考价值,而且为河口学、海洋地质学、第四纪地质学等基础理论作出了贡献。然而,当前“全球变化”、“古环境演化”、“陆海相互作用”研究的开展,沿海水文地质和工程地质工作的深入,超浅层天然气的勘探开发和油田开发中对储层的研究,都要求把河口三角洲的认识提高到高分辨率地层学和古环境定量分析的新高度,而这种要求与现今的研究实践发生了矛盾。

对沉积地质体构造及演化的认识,都基于地层学。但应当承认,我们对晚第四纪河口地层研究的特殊性认识不足,往往习惯于将较老地质年代海、湖相地层的研究方法搬到为时不到几万年,甚至仅数千年,而沉积相变剧烈、侵蚀与改造作用频繁的近代河口三角洲来。于是,在实践中仍然依据地层岩性与埋深的异同、所含化石名单的比较来划分地层,用含海相化石层出现的次数来计算海侵和海平面升降次数,要求河口地层像海相层那样横向保持稳定,……这种作法导致了一系列谬误,妨碍了三角洲地层研究的进一步深入。其实,构成近代三角洲的晚第四纪河口地层,具有时间短暂、相变剧烈、改造频繁的特点,一般意义上的岩石地层学与生物地层学的方法均不适用。整个三角洲体,其时间跨度往往不及前第四纪一个化石带,而且其中还要分出三个以上的沉积序列,其时间尺度和地层分辨率也均非原有方法所能适应。“地层学是地质科学的脊骨”,只有从河口地层的方法和原理上探索新的途径,才能使三角洲的地质研究深入一步,适应当前新的要求。

同济大学海洋地质系在 70 年代以来对长江三角洲地层和现代沉积长期工作的基础上,于 1984 年起承担了中国科学院科学基金“长江三角洲典型地区浅层地质的研究”重点项目,90 年代又在国家自然科学基金委员会的资助下,试图针对上述问题,探索研究河口地层学的新方法,揭示长江三角洲陆上部分的地层结构和发育历史。为此,我们在分析 30 个钻孔岩心和 340 多个表层沉积样品,收集 600 多个钻孔资料,并运用沉积结构和构造、微体古生物、古地磁、沉积磁组构、放射性测年、地质雷达和浅层地震等多种方法的基础上,从下列三个方面进行探讨:

第一,在平面上,研究现代长江三角洲沉积物和所含微体“化石”的分布及其与沉积环

境的关系,着重阐明沉积层和微体化石群形成的机理,系统调查从生物群到埋葬群的转化过程,为河口地层的环境解释树立标准。

第二,在垂向上,研究长江三角洲各种沉积层的垂向序列,从最小的纹层起到海侵沉积旋回止,探讨河口地层的基本框架,地层的可对比性,地层分区,沉积速率和地层分辨率等,从垂向序列中提取环境演化和地质过程的信息。

第三,在三维空间,探索用浅层地震、地质雷达调查陆上三角洲地质结构的地球物理勘探方法,以弥补钻孔间地质资料的空缺。

通过多年的实际工作,得出了针对晚第四纪河口地层特殊性的一整套研究方法,运用这些方法查明了长江三角洲晚第四纪,特别是末次盛冰期以来的发育历史,尤其是揭示了三角洲主体及其两翼各自的特征和冰后期早期海侵的存在,阐明了宽广陆架大型河口三角洲晚第四纪发育的特色。在“长江三角洲典型地区浅层地质的研究”项目完成的基础上,于1989年12月由业治铮教授任组长,王鸿祯、陈吉余、何起祥、王乃文、范时清、孔宪立、丁培民、高良、范元炳等教授、专家组成的评审组在同济大学进行阶段性评审,然后我们又国家自然科学基金委员会的资助下,对其中的部分问题进行了更深入的研究,又经多次修改完善,终成此稿。我们希望本书的出版,将有助于推动我国三角洲地质和第四纪地层研究的深化。

本书共分五部分,第一部分根据河口地层学的研究现状,探讨第四纪河口地层学的特点和方法、原理;第二部分在长江口现代沉积环境的背景上,阐述了已知环境沉积物和有孔虫、介形虫等微体“化石”的平面分布和形成机理,为根据表层沉积物和化石群特征判别地层的沉积相属性奠定了基础;第三部分将长江口的地层结构分为四个级别,从最小的纹层构成的微型层序,单层构成的小型层序,不同地貌部位的层序,到海侵沉积旋回,并指出不同类型和不同级别沉积间断在地层层序中的作用;第四部分系统阐述长江晚第四纪河口地层,划分出三角洲主体、南翼和北翼三个地层分区,区分出末次亚间冰期(LG)和冰后期(PG)两个互相叠置的海侵沉积旋回,并分别采用地质事件和层序地层学的概念进行分层和时间分段,指出三角洲主体和两翼的异同,总结晚第四纪长江三角洲不同部分的发育历史;第五部分将长江晚第四纪河口地层的构架和三角洲的发育历史与世界不同类型河口地层构架模式进行比较,从中得出长江口的特殊性和河口地层学的共同性。

用于本项研究的钻孔,位于陆上三角洲无锡以东的有277个,其站位示于图1-1,各孔的标高及分层数据作为附表1列于书末。所分析的部分钻孔岩心,全部微体化石及薄片标本,以及全部分析数据均保存在同济大学海洋地质开放实验室。

作为同济大学海洋地质系二十多年来的科研成果,本书是集体劳动的产物。第一、二章主要由汪品先执笔,第三章由赵泉鸿以及李从先、汪品先执笔,第四、六章主要由李从先执笔,第五章由李从先、孙和平、闵秋宝、汪品先执笔完成,全书由李从先、汪品先负责汇总、编辑,参加工作的还有李萍、卞云华、成鑫荣、陈刚、张桂甲、陈庆强、张家强、朱晓东、洪雪晴、吴乃琴、蔡庆兰、吴梅英、刘志伟、黄维、范代读、邓兵等。

本书是在中国科学院科学基金会、国家自然科学基金会、国家教委以及中国科学院西安黄土和第四纪地质实验室基金资助下完成的,在研究工作中承澳大利亚国立大学太平洋研究院、英国埃克塞特大学地质系、德国基尔大学地质古生物系,以及国家海洋局第一海洋研究所古地磁实验室等国内许多兄弟单位的大力支持,在地层学方法原理的探讨中,

得到国际地层分委员会的 A. Salvador, W. Berggren 和王鸿祯教授的帮助,在此一并致谢。

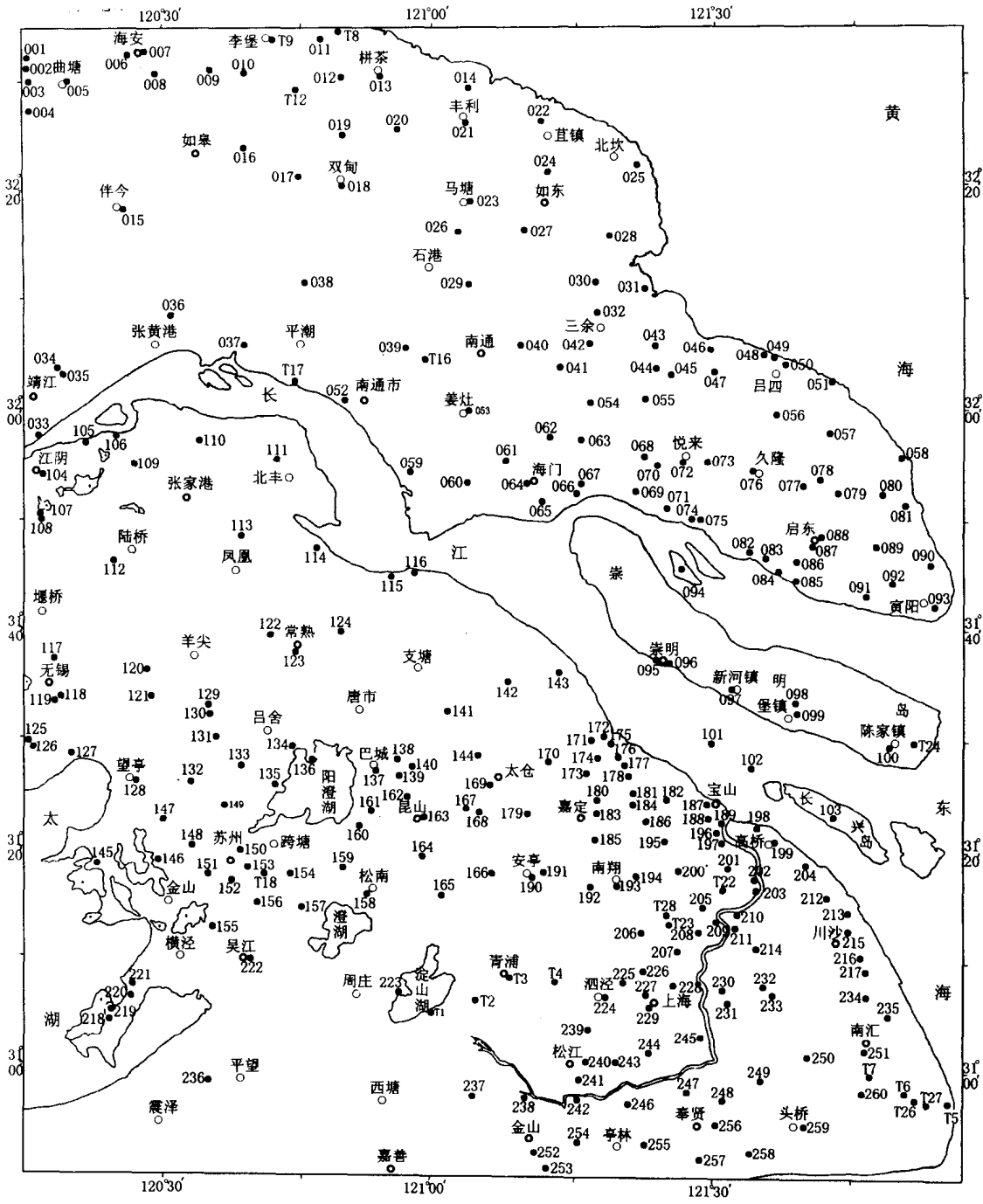


图 1-1 长江三角洲东部钻孔位置图(仅限于本项研究使用的钻孔)

第二章 河口地层学的方法、原理

第一节 研究历史和现状

一、长江三角洲河口地层学研究的回顾

长江三角洲是世界上最早引起学术界注意的三角洲之一,早在 120 年前,Mosseman (1877)就专题研究过长江三角洲,丁文江(Ting, 1919)则率先探讨过长江三角洲的成因。然而长江三角洲的地层研究,只是随着上海供水和城市建设进行钻探方才开展起来,成果在本世纪 20 年代相继发表。虽然当时只靠肉眼观察而缺乏分析手段,但还是基本正确地发现海相层限于 150m 以上(Chatley, 1926),而且把三角洲地层的形成与沉降的共同作用及与此相关的海侵联系起来,只不过误将细粒沉积层都定作了海相(Cressey, 1928)。50 年代晚期到 60 年代早期,针对浅层天然气勘探和地面沉降控制等问题,开展了大量钻井和井下地质工作,第一次导致了长江三角洲地层的系统研究,进行了岩石矿物学、微体古生物学、孢粉学等分析。可惜受“保密”的限制,当时的钻井及其分析资料未能发表。长江三角洲发育历史见诸文献的,主要是基于地貌资料取得的进展(如陈吉余等,1959),地层分析的报道比较零星(如宋之琛、王开发,1961)。

十年浩劫之后的学术复苏,带来了新的生机。长江三角洲第四纪地层学正式开展了专题研究,陆上与水下三角洲的钻探提供了丰富的材料,研究成果接踵而来。全新世砂体发育(同济大学三角洲科研组,1978)、沉积层序(李从先等,1979b)和全新世地层研究(郭蓄民等,1979),三角洲地层的孢粉(如刘金陵、叶萍宜,1977)和微体古生物分析(闵秋宝、汪品先,1979),首先引起地学界的注意。80 年代起,出现了众多总结长江三角洲或其一部分地层(第四纪或全新世)的成果(如竹淑贞,1980;吴标云、李从先,1987;Baeteman, 1989;邱金波,1988;Lin et al., 1989),以及三角洲地层中某一专题的研究成果(如王开发等,1984a,b)。同时,陆上三角洲某一钻孔的系统分析^①或者水下三角洲某些钻孔的分析结果(秦蕴珊等,1983,1987;赵松龄,1984,1986;黄庆福等,1984;唐保根、管一平,1986)也不断发表,大大提高了对第四纪长江三角洲地层的认识。

紧接着 80 年代急剧的扩大研究范围和分析内容之后,90 年代长江三角洲地层学的研究正在向纵深发展。不仅在时间上向更新世较早时期推进(如杨子赓,1994;黄慧珍等,1996),而且在内容、方法上向地层学的新角度(如李从先、张桂甲,1996)、古生物学的新门类(如刘宝柱等,1995;钟石兰等,1996)、沉积学的新类型(如许世远,1997)或三角洲演变中的新因素(如 Stanley and Chen, 1993, 1996; Chen and Stanley, 1993)扩展,而且开展了对原有成果的重新评价(如刘金陵、Chang, 1996)和不同认识的学术争论(如郑祥民、俞

^① 唐保根、管一平,1986,长江一号孔第四纪地层研究,海洋地质专号,3(1),1~72。海洋地质调查局。

立中,1991;李萍、孙和平,1991)。新一轮的研究成果表明,长江三角洲地层学的研究已经从资料数量的积累发展到质量的提高,开始触及到河口地层学方法原理上的问题(后详)。

二、国内外的河口地层学研究

我国现代河口三角洲晚第四纪地层学的研究,并不以长江为限。沿海平原主要由不同河流的三角洲组成,随着东部经济发展,大量井下地质工作为河口地层学提供了前所未有的丰富资料,其中珠江三角洲与黄河三角洲的全新世地层尤为突出。我国现代三角洲以长江为最大(面积约 40000km²),珠江次之(约 8600km²),黄河第三(近 6000km²,不包括古黄河三角洲)。珠江三角洲在我国是仅次于长江而河口地层研究最多的三角洲之一,半个多世纪以来不仅从地貌与陆上三角洲钻孔资料出发进行了大量工作(如陈国达,1934;赵焕庭,1982,1990;黄镇国等,1982;李平日等,1987,1989,1991 等),而且结合水下三角洲作了更加全面的探讨(马道修等,1988;Long and Huo, 1990;黄永祥、葛同明,1995)。80 年代,对渤海西南的现代黄河三角洲地层进行了系统调查,不仅研究了 1885 年黄河改道以来的现代沉积,而且揭示了晚更新世以来的地层(如成国栋,1987,1991),同样也追踪到水下三角洲(如李广雪、薛春汀,1993)。除此之外,滦河(李从先等,1985)、韩江(李平日等,1987)、钱塘江(李从先等,1993)等河口的晚第四纪地层也都有过不同程度的分析研究。所有这些河口三角洲地层的研究,大体上采用相同或相似的方法,仅规模不同、详简不一。它们都是在钻孔岩心的岩矿、古生物与地化等分析基础上,建立岩相序列,结合测年数据作出地层划分与对比的。

对于国外河口三角洲的研究,文献中已经有过许多次总结与综述,这里再来做任何综述都会是多余的。就河口地层学而言,密西西比河三角洲的研究无疑具有开创性,墨西哥湾及其沿岸的石油勘探成了三角洲研究最强大的推动力。密西西比河河口地层学的研究(如 Fisk and McFarlan, 1955; Coleman and Gagliano, 1964)无论在规模或者研究深度上,都是长江河口地层学最可借鉴的范例。此外,非洲的尼日尔河(如 Oomkens, 1974)和欧洲的罗纳河(如 Van Straaten, 1959)三角洲地层,也是研究程度最高的实例,都是在大量钻孔基础上提出了河口三角洲沉积体骨架的形成。石油勘探对于三角洲研究的推动,在 70 年代晚期和 80 年代初期达到了高峰。

与此同时,层序地层学的产生与发展给河口地层的研究带来了新意。既然海平面变化是层序地层学赖以建立的基础,而入海河口又是对海平面变化最为敏感的沉积环境,河口地层便理所当然地在层序地层学应用中首当其冲。地震地层学建立时所举的实例之一,便是通过地震剖面与钻孔资料相结合,在墨西哥湾西北部密西西比河水下三角洲的更新世地层中识别地震相、建立沉积体系(Stuart and Caughey, 1977)。海平面升降形成的层序和体系域概念,使得河口地层的地质观察系统化,为河口的对比、甚至预测提供了可能(Posamentier and Vail, 1988)。法国的 Gironde 河口,是用层序地层学方法研究晚第四纪河口的典型(Allen and Posamentier, 1993)。这套在末次冰期形成的基础上发育起来的全新世为主的河口地层,相当于层序地层学中的五级层序,所含各种沉积相也都可以组织在三个体系域之中。于是,河口地层成为十分有规律、符合一定模式而可以预测的沉积体。层序地层学可以说是地层学的一次革命,改变了地层划分和对比的方法原理,而这种改变恰

好是河口地层学所求取的。运用这种概念重新整理长江河口地层的资料,便是本书的目标。

第二节 河口地层学的特殊性

一、第四纪河口地层工作中的困难

长江三角洲和其他河口地层学取得的巨大成绩,有目共睹。然而和一切事物一样,河口地层学在发展中决非一帆风顺。现代三角洲作为沉积地貌学的研究对象,构成三角洲的沉积层作为地层学的研究内容,两个学科在交接中是有矛盾的。

地层学在 18、19 世纪之交的诞生,就是以“化石层序律”为基础,而且直至本世纪 50 年代,生物地层学几乎是地层学唯一实用的全球性基础。传统的生物地层学用“标准化石”指示地层的年代,而作为地层标志的化石应当是时间分布短暂、空间分布广泛,从而可以在尽可能大的地理范围内指示尽可能确切的地质年代。在岩石地层学的实践中,其实也遵循同样的原理,尽量寻找分布广泛而延续不久的“标志层”。现代三角洲的河口地层学,正好与上述要求背道而驰。此类河口地层总共不过若干万年时间,而所含化石的地质分布时间往往要长出一二个以上的数量级;此类地层的相变极其频繁,往往相距几百米的相邻钻孔中岩性便无法直接对比。更有甚者,晚第四纪河口沉积在最终进入稳定的地质状态之前,还会经历许多次的剥蚀、搬运,地层缺失和频繁相变一样都是三角洲沉积体的重要特征。于是,当把地层学经常采用的方法用于晚第四纪河口地层时,就不可避免地产生出种种困难。

首先是地层标志。如果把老地层中找“标准化石”的传统办法照搬到晚第四纪地层中来,罗列一串化石清单,其结论只能是“均属第四纪”之类而无补于事。岩性标志的简单化使用,也会导致失误。比如长江口区晚更新世地层顶面是“硬粘土”,但是有些地方全新世地层也有一二层“硬粘土”,用作“标志层”就会得出二三个更新统顶面来。

其次是地层对比。第四纪地层工作中越来越显出旋回在地层对比中的重要性,无论是海平面升降还是气候冷热造成的旋回,都具有直接的地层价值。但是依靠微体化石判别海相性,可能有溶解作用和搬运作用的埋葬学因素,决不能盲目地根据海相化石的多寡作为海相性强弱的标志(汪品先,1992)。三角洲地层中由于相变剧烈、侵蚀频繁,决不能把发现少量有孔虫便作为一次海侵的证据,也不能把产有孔虫的层位数简单地当作海侵的次数,更不能按层位数目对比“海侵层”(汪品先、闵秋宝,1985)。三角洲地层由于河床摆动和横向相变,相邻钻孔的海侵记录就可能有所不同,决不能用正常海相的对比方法解释河口地层。我们在分析辽河口晚第四纪海侵地层后的对比方法,就犯过这种错误(图 2-1)(汪品先、顾尚勇,1980)。

第三是地层单位。既然“全新世”和“早寒武世”都是世,尽管时间长度相差五千倍,在地层规范面前却应当“一律平等”。全球性的地层单元“统”之下,视地区特点可以作为岩石地层单位建“组”。于是就把为时才一万年左右的全新统按岩性三分为三个组:长江三角洲陆上有“自上而下”青浦组、上海组和娄塘组(上海地质矿产局,1988),水下另称(自上而下)嵊泗组、大戟山组和鸡骨礁组(唐保根、管一平,1986;黄慧珍等,1996)。长江三角洲地

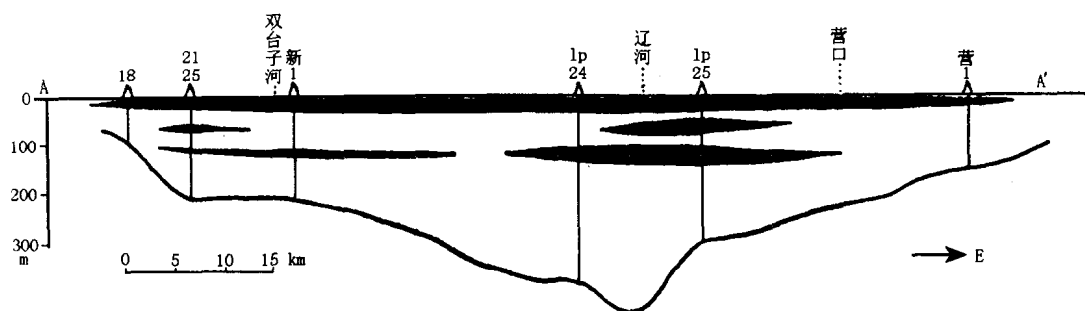


图 2-1 下辽河平原东西向剖面第四纪海侵层分布推断图——用正常海相地层产状解释河口相地层的错误实例(汪品先、顾尚勇,1980)

区市、县林立,辖属不一,于是各自纷纷为晚第四纪各个层段取“地方名称”,光一个晚更新世末的硬粘土层,就得到了“南汇组”、“漏湖组”、“嘉善组”、“西泠组”等许多名称,连外国研究者也来添了个“长江组”(Changjiang Formation)。既然地层可以取名建组,海侵也应当“因地制宜”就地命名,还有“寒冷期”也不可无名而埋没;如果辖区太小,也不妨以城区、街坊取名。如此大批涌现的“新名称”往往不加任何论证,也无需指定任何标准剖面,其数量之多和建立之快,令其他年代的地层工作者瞠目结舌。如此产生的名称应用范围有限,甚至于一位作者一套名称,除增加“同义名”外,并不添加多少新知识。不仅如此,由于忽视地层规范的基础知识,有的新建“段”竟跨越上下两个“组”,有的居然把更新世五分,在早、中、晚三分的前后加上“古更新世”和“新更新世”。如此无视地层学规范的论文居然能公开出版,应当发人深思。

上述种种,并不是指责我们这些为第四纪地质作了许多工作的同事,也无意在此具体点明出处,只是想提出一个问题:对于为时不过二三万年、而几百米外就会发生相变的现代三角洲沉积体,能不能如此搬用老地层的做法?

二、第四纪地层分类的修改尝试

以上提出的河口地层学实践中的困难,并不为长江三角洲所特有,其实乃我国东部沿海平原的共同问题。撇除其中涉及学风的因素之后,实质上是第四纪、尤其是晚第四纪地层学的特殊性问题。晚第四纪的非海相和滨海相沉积,不仅代表时间短暂、侧向相变剧烈,而且与较老地层有着原则上的区别:这些往往还是疏松的沉积物只是处在进入地质记录的途中,例如三角洲地层的相当部分将在下一次冰期低海面时被剥蚀搬运到较深的盆地中去。许多晚第四纪沉积体的地层分析,与其地貌部位和形态不可分开,而现代地貌是地层学中不加考虑的因素。更有甚者:本来地层学的原理认为地层是逐层自上叠加,属垂向序列,因而作横向对比的;而河口沉积却在很大程度上是侧向叠加,向海推进的,有所谓“侧向堆积原理(principle of lateral accumulation)”(Weimer, 1975)。总之,地层学的现行规范必须有所增补或者修改,才能容纳晚第四纪地层提出的特殊要求。对此,国际学术界出现了两种截然不同的方案:增加一类地层学方法的美国方案,和增加一类时间尺度的前

苏联方案。

众所周知,美国主张多元地层学分类,允许用不同特征划分出界线不同的地层单位。岩性、生物、古地磁、古土壤都可以是不同地层分类的物质基础,形成岩性地层学、生物地层学、磁性地层学、土壤地层学等类别,而常常由沉积不连续面分割的第四纪非海相地层,就可以用不连续面作为界限。因而北美地层规范(1983)分出独立的“异体地层系统(Allostratigraphy)”(NACSN, 1983),其地层单位之间以不连续面相隔,至于地层岩性的相似与否,不在考虑之中。从北美地层规范的插图看,所举全为第四纪非海相地层实例,显然是针对上面讨论的矛盾而来(图 2-2),而按“规范”文字而论,由构造运动造成不整合为界的地层层序,也完全符合“异体地层系统”的定义,而且实践中“异体地层单位”已被广泛

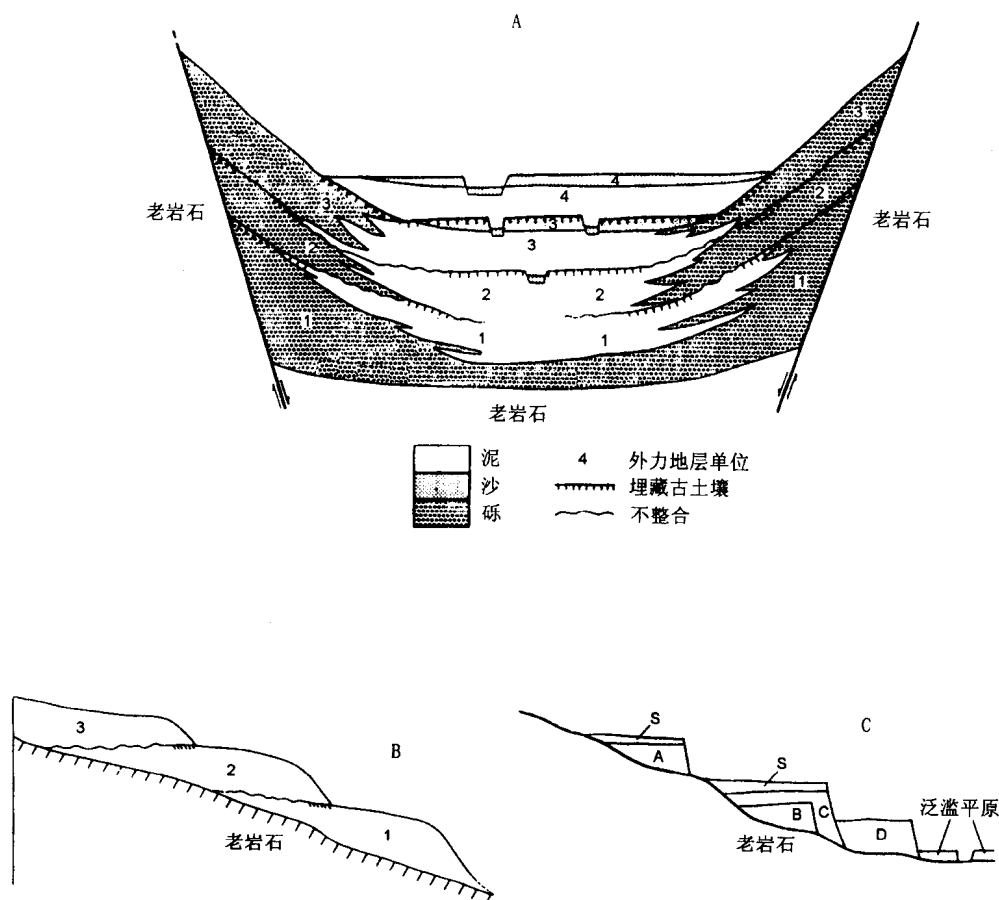


图 2-2 北美地层规范(1983)中的“异体地层单位”说明图

A. 地堑中河湖相地层的异体地层单位(1~4)划分。按岩性地层系统,多层泥、砾因岩性相似不应分为不同组、段,在“异体地层系统”中则因有横向可追踪的不连续面(discontinuity)而可分为不同单位。

B. 冰川堆积的异体地层单位(1~3)划分。三个冰川堆积体因物源相同、岩性相似,在岩石地层系统中属同一组、段,但按异体地层系统用不连续面可分为三个单位。

C. 阶地沉积的异体地层单位(A, B, C, D, S)的划分。A, B, C 为岩性相似的阶地砾石,

S 为坡积与风积物,由于有可追踪的不连续面,可划分为不同的异体地层单位

(据 NACSN, 1983)

用于构造运动造成的不整合面。“异体地层单位”已在《现代地层学》(吴瑞棠、张守信等, 1987)中作了介绍,并指出是为第四系建立的,不过在北美规范中已经没有这样的提法。

北美地层规范(1983)“异体地层系统”的这种矛盾性质,使地层工作者难以使用。难怪当时国际地层分类分委员会主席 Amos Salvador 教授指出:“这类地层学新单位的产生是一场纠缠不清的过程,以致其最终结果只能使人无所适从”(Salvador, 1990 私人通信)。他解释说,北美地层规范初稿(1981)中是第四纪非海相地层工作者提出增设“外力地层”系统,用的英文是“Ectostratigraphy”,指的正是图 2-2 中的情况,后来因“Ectostratigraphy”名称易与生态地层学“Ecostratigraphy”相混,遂将“Ecto-”(外来)易为“Allo-”(外异),但其含义也被转移到区域性构造不整合造成的地层单位上来。他提议这种“不整合界定的地层单位(unconformity-bounded units)”应当有区域规模或者跨区域性质,并应建立专门的地层单位(Salvador, 1987),与第四纪地层中所说的不应混淆。

前苏联的修改方案具有完全不同的方向。对前苏联来说,多元地层学分类在思想体系上就是格格不入的。地层学只允许有一个标准,那就是时间,因此可以承认的只有以时间为准绳的统一地层系统,不管它行不行得通。既然第四纪地层时间短暂、划分细微,那就另加时间单元便可满足需要。1977 年,前苏联发表地层规范的同时,地层学权威 Меннер 院士(1977)提出将地质年代表三分的主张:前寒武纪以历史地质学方法为基础,时间以 10^9 年为单位;显生宙以生物地层学方法为基础,时间以 10^6 年为单位;第四纪以气候地层学为基础,时间单位为 10^3 年(表 2-1)。这种方案整齐划一、逻辑性强,但就是难以执行,不难看出当年前苏联政治“一刀切”的影子。其中虽不乏有趣的建议,如通常所说“中更新统”

表 2-1 前苏联提出的时间地层学分级总方案(据 Меннер, 1977; Gladenkov, 1981)

划分依据			排序	时间		地层单位		
				单位	持续长度	全球性	区域性	
构造— 岩浆旋回			1	10^9 年	4	字	Megathem	
			2		2		Acrothem	
			3		0.57~1.2		Eonothem	
			4		0.25~0.4		Phythem	
	生物演化		5	10^6 年	64~150~330	界 系 统 阶 时间带	Erathem	
			6		24~55(80)		System	
			7		3.5~18		Series	
			8		3~6(12)		Stage	区域阶 Regiostage
			9		0.3~3		Chronozone	区域带 Lone
	气候事件		10	10^3 年	690~1200		Division	
			11		100~300		环	Zveno
			12		55~60			Circle
			13		15~20			Step
			14		8			Ethage
			15		2~6			Stade
			16		1		Oscillation	

在这里列为“环”的一级,就可以避免与老地层同一级单位而时间长度差三个量级的尴尬情况;但是第四纪气候地层单位要分到六七个等级,非行政命令不能实行。实际上,《苏联地层学》的“第四系”卷中(Шанцер, 1982)便没有采用。

看来,无论美国还是前苏联都意识到第四纪地层学中隐伏着的矛盾,但所提方案都不能解决这项矛盾。近年来,我国地层学界十分活跃,在地层学的方法理论上也有众多的引进和探讨,仅新的专著与论文集就有多种(如陈源仁,1985;张守信,1989;吴瑞棠、张守信,1989;齐文同,1990,1995;庄寿强,1994;姜衍文、吴智勇,1995),但讨论都偏重于前第四纪地层学。第四纪地层学在方法、理论上的出路,前景在哪里?

三、第四纪河口地层学方法的进展

近一二十年以来,第四纪地层学在测年技术、气候旋回和层序地层学等方面,取得了极其重要的方法技术上的进步,为包括河口地层在内的第四纪地层研究开拓了新的前景。

首先值得指出的是测年技术的迅速发展。热释光和化学释光、电子自旋共振(ESR)、裂变径迹和铀系等同位素测年技术的进步,为第四纪地层的准确年龄提供了测试手段。特别值得指出的是加速器质谱仪测 ^{14}C ,即 AMS ^{14}C 技术的发展,可以用少量有孔虫壳或者抽提样品中的花粉作 ^{14}C 测年,使测年的范围和精度大为提高。鉴于第四纪地层为时短促、往往测年是确定年代的唯一手段,而同一个柱状样拥有大量测年值,才有可能揭示堆积速率的真实情况。而河口地区相邻钻孔的准确对比,往往非大量测年数据不可。图 2-3 所示是澳大利亚北方领土 South Alligator 河中段的一条横剖面。河床的切割和位移使地层的框架相当复杂,如果没有这些 ^{14}C 测年数据而单靠岩性或沉积相的对比,要作出这样的解释几乎是不可能的(Woodroffe et al., 1986a)。准确而大量的测年数据,是晚第四纪高分辨率地层学不可替代的基础,而这也正是我国第四纪地层研究的弱点所在。

第二,深海气候旋回即米兰柯维奇周期的普遍性,改变了第四纪地层学的方向。第四纪地层以气候地层学为基础是早已建立的传统,然而长期以来以西欧阿尔卑斯的冰期为准,四次冰期导致第四纪的四分,这种地层方案迄今还在我国一部分第四纪地层工作中采用。其实早在六七十年代,深海有孔虫的氧同位素分析已经揭示了第四纪众多冰期旋回的存在,而这种地球运行轨道造成的米兰柯维奇周期,正是第四纪地层划分对比的最佳标尺(Shackleton, 1984)。已经证明,深海揭示的这种周期性在黄土、冰芯中同样存在,而且深海氧同位素记录还提供了可供各大洋广泛对比的诸多事件,为高分辨率地层学提供了基础(Martinson et al., 1987)。现在,这种周期在深海地层中的记录已经上溯到 1000 万年前的中新世中期(Shackleton et al., 1995),为这段地质历史的时钟提供了“钟摆”。

介于海陆之间的河口第四纪地层,当然应该采用深海建立的时间标尺,即用氧同位素分期表达的年代,而不必拘泥于原来的第四纪地层方案。从古海洋学的角度看,全新世只是更新世中的一段间冰期,并无独立的理由;更新世无非与上新世、中新世一样是晚第三纪的最近一段,没有保留第三、第四纪划分的必要(Berggren, 1996)。我国姑且不必走那么远,但是的确应当放弃用“四大冰期”划分第四纪的习惯,改为与源自深海的国际晚新生代地层新方案接轨,采用氧同位素分期作为划分对比的基础。这样也就自然地解除了上述“全新统”分“组”之类的矛盾,回避了因时间尺度不同在应用地层规范中带来的困难。至于

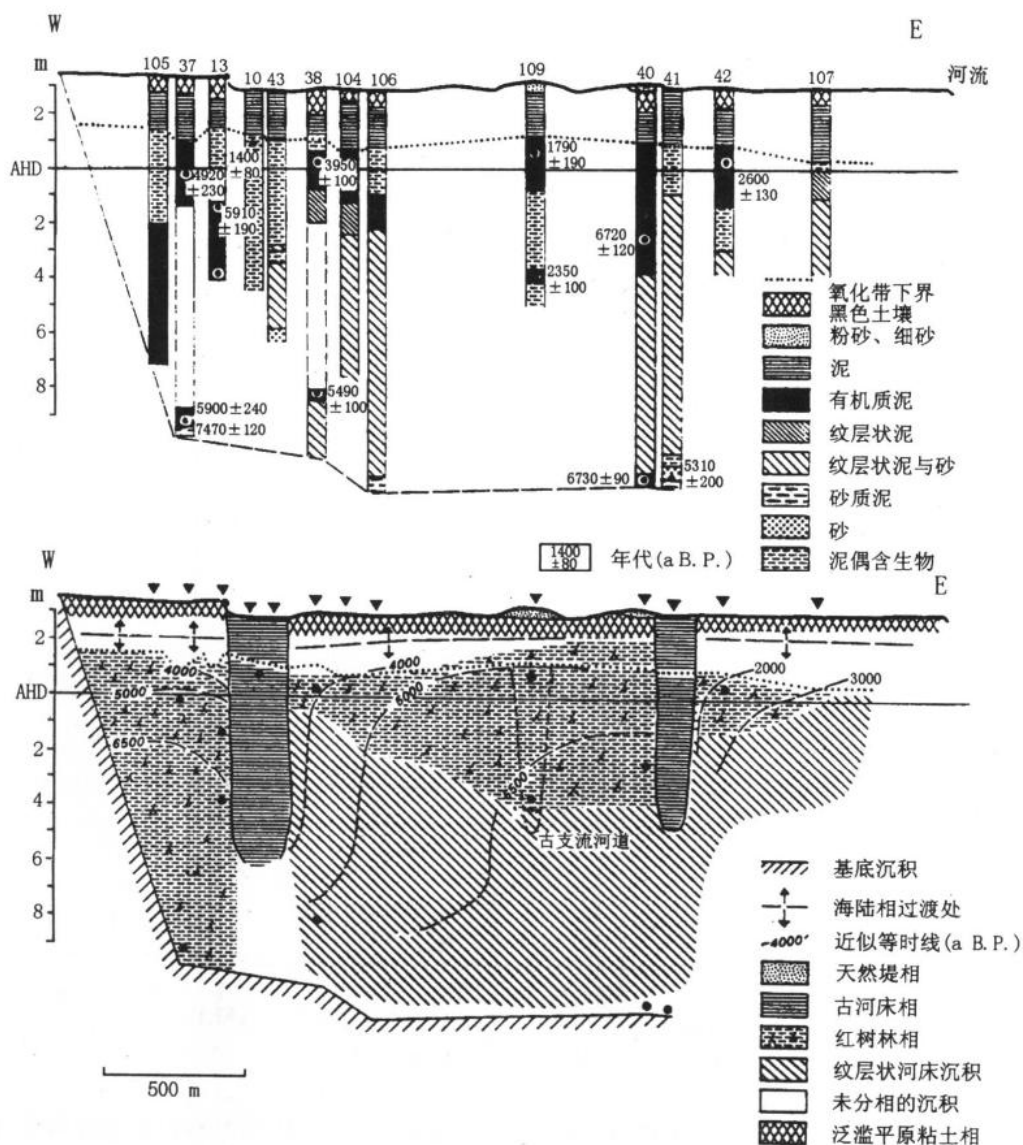


图 2-3 澳大利亚北部 South Alligator 河全新世河口地层剖面

上图示 13 个钻孔及 ^{14}C 测年资料；下图为解释剖面，示河床迁移的趋势 (Woodroffe et al., 1986a)

全新世内部的气候分期，看来在我国南北也会有所差异，有待在大量测年数据基础上加以探讨，但目前至少应该停止硬套北欧 Blytt-Sernander 分期的做法，有关的批评已经见于文献 (刘金陵、Chang, 1996)。

第三，层序地层学概念的应用，为河口地层学开拓了新的前景。前面说过，密西西比河三角洲是三角洲沉积体系和河口地层学的发祥地，也是 70 年代晚期地震地层学用于更新统的首例 (Stuart and Caughey, 1977)。当然，早在地震层序学提出以前，一些末次冰期以来发育的河口三角洲，也已经运用海平面变化阶段性的概念来划分沉积体内部的地层单元，如埃及尼罗河三角洲就分为冰后期海面回升初期的河谷充填组合，回升后期的上超组合和海面上升减慢时的下超组合，从而汇总了 33 个钻孔埋深 30m 以内的沉积布局

(Oomkens, 1974),与后来层序地层学的思路相当一致。运用层序地层学的方法总结大量钻孔资料,Allen 和 Posamentier (1993)对 Gironde 河口末次冰期以来的历史提出了层序地层学的模式,辨识出层序界面、海侵面、最大海泛面,划分出低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域,如图 2-4 所示。在这类实例分析的基础上,已经初步提出了下切河谷沉积体系的层序地层学模式和地层格架(Zaitlin et al., 1994)。Blum (1993)在运用层序地层学原理分析美国科罗拉多河三角洲晚第三纪地层时,把不同海侵阶段形成的沉积体系称为“异体组”或“异体段”,试行采用“异体地层系统”的名称。

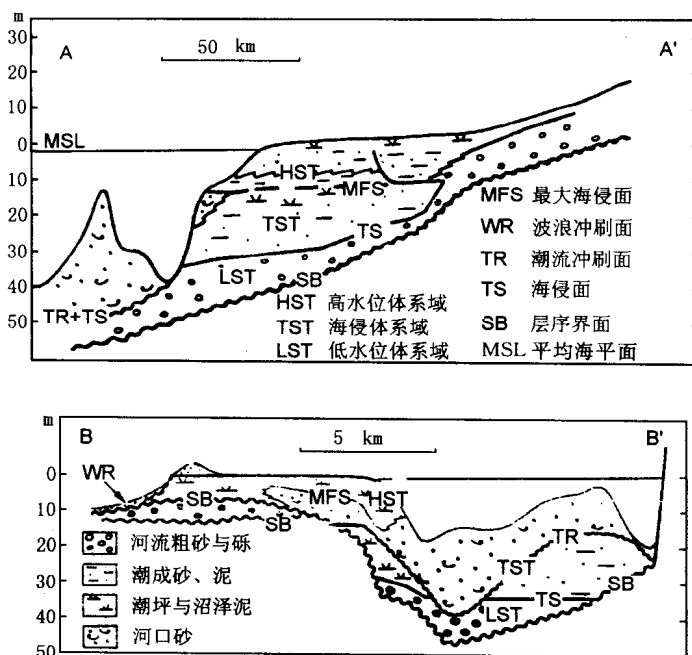


图 2-4 法国 Gironde 河下切河谷充填沉积的层序地层学解释图
A-A' 为河谷纵剖面; B-B' 为近河口横剖面(Allen and Posamentier, 1993)

然而重要的不是名称而是实质。以海平面变化为纲,在沉积体系的基础上划分代表海侵旋回不同阶段的沉积,要比套用岩石学地层单位建“组”分“段”好得多,不仅为不同钻井剖面中地层正确对比创造了前提,而且揭示了岩层间的成因关系。因此,应用层序地层学的方法原理,分析冰期旋回中随海面升降而形成的河口地层,是抓住事物本质的有效途径,也是本书总结长江三角洲地层的基本思路。应当说明的是我们采用的是层序地层学的思想方法,却没有搬用层序地层学的一套术语。由于层序地层学主要地是以三级以上层序为主体建立起来的,而本书讨论的长江三角洲地层不过几万年历史,只涉及四级或五级层序,尺度不同现象也有差异,用于三级以上层序的名称不见得适用于四级以下。再者,层序地层学是将现代沉积体系研究的成果用于古老地层后发展起来的方法,晚第四纪地层应当为层序地层学的模式提供来源,而不应当套用层序地层学的现成模式。为此,在阐述海侵旋回中沉积地层形成过程时,我们仍然采用沉积学的名称,进行层序地层学的讨论。

总之,运用层序地层学的分析方法,采用氧同位素分期的时间标尺,尽可能加强年代