

现代河湖沉积与模拟实验

张春生 刘忠保 著

地质出版社



现代河湖沉积与模拟实验

张春生 刘忠保 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统阐述了我国现代主要河流、湖泊的沉积特征、沙体分布及演变的最新研究成果,为开展河湖沉积体系模拟提供了翔实的资料;详细介绍了沉积模拟实验的理论与实践,以及模拟实验沙体的现代检测技术。

本书可供沉积学、第四纪地质与地貌、环保等专业的教学、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代河湖沉积与模拟实验/张春生、刘忠保著.-北京:地质出版社,1997.9
ISBN 7-116-02414-X

I. 现… I. ①张… ②刘… II. ①河流-沉积作用-模拟试验②湖泊-沉积作用-模拟试验
N. P512.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13853 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:江晓庆 赵俊磊

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:16.75 彩色图版:2页 字数:408000

1997年9月北京第一版·1997年9月北京第一次印刷

印数:1~400册 定价:36.00元

ISBN 7-116-02414-X

P·1799

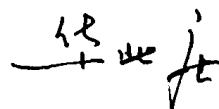
序

建立我国沉积模拟实验室是许多地质学家的愿望。1985年9月,在大庆油田召开的全国第二届碎屑岩沉积相学术讨论会上,与会代表针对我国沉积学研究中存在的实际问题,提出应尽快建立河湖沉积模拟实验室,加强基础理论研究的建议。1988年6月,在中原油田召开的全国油气储层评价会上,地质学家再次强调了建立河湖沉积模拟实验室的重要性和迫切性。中国石油天然气总公司根据全国油气勘探开发的现状和今后的发展趋势,为重点解决油气储层展布形态、规模和储集性能的问题并兼顾其它沉积学方面的基础研究,决定在“中国油气储层研究”总项目下,设立“沉积模拟实验室”专项,并正式下达由江汉石油学院负责筹建实验室的任务。1989年2月28日~3月1日,由中国石油天然气总公司科技发展局组织石油、地质、地理、水利、中科院等系统和部门的专家、教授对江汉石油学院提交的建设方案进行了严格的审查,并原则批准了实验室建设方案。1992年,中国石油天然气总公司又将该实验室列入石油高校四个基础地质实验室之一,进行重点扶持。在总公司各级领导的支持和有关部门专家、教授的指导下,实验室研究人员开展了广泛的现代河湖沉积体系调查,为实验室的建立奠定了坚实的基础。与此同时,江汉石油学院分别于1989年建立了小型水槽水盆实验装置,1992年建立了湖盆实验装置,并开展了多项基础性研究工作和油田应用模拟实验,主动与生产相结合,用模拟实验的结果解决生产中的实际问题。目前,实验室建设已初具规模,模拟实验初见成效。

由传统的水槽实验到湖盆沉积模拟实验是一个认识上的飞跃。前者以水沙参数及底形变迁研究为重点,后者则以研究湖盆中各类沙体的分布特征、演变规律及非均质性为主要内容。沉积模拟实验是沉积学、河流动力学、流体力学、水力学等的边缘学科,在研究沉积体系的形成、演变及其控制因素等方面有许多独到见解可供借鉴。

本书系统阐述了我国现代主要河流、湖泊的沉积特征、沙体分布及演变规律的最新研究成果,为开展河湖沉积体系模拟提供了翔实的资料;详细介绍了沉积模拟实验的理论与实践,从简单沙体入手,层层深入,直到湖盆沉积体系的模拟;还介绍了模拟实验沙体的现代检测技术,这些技术的开发应用使沙体的测试精度大为提高,使实验更为科学。

湖盆沉积模拟实验是一项复杂的地质基础实验。本书汇集了项目组全体同志近年来的主要研究成果,是我国沉积模拟实验领域内的第一本专著。本书在理论与实践、科研与生产的紧密结合方面具有鲜明的特色。值此书出版之际,谨作序以表祝贺。湖盆沉积模拟实验工作受到了国内外许多知名学者的高度重视,希望该领域的实验方法不断创新,研究水平不断提高,使这项工作在认识地层构造上发挥更大的作用。



1997年4月12日

前 言

1989年2月28日~3月1日,由中国石油天然气总公司科技发展局组织石油、地质、地理、水利、中科院、高等院校等系统和部门的专家、教授共同审查了江汉石油学院提出的在该院建立我国沉积模拟实验室的方案,并原则上批准了这一方案;1992年,中国石油天然气总公司又把该实验室列为石油高校四个重点基础地质实验室之一,进行重点扶持。到目前为止,实验室人员遵照总公司有关司局领导和江汉石油学院领导的指示,在学院有关部门的大力支持下,系统地开展了研究,并取得了一批成果。《现代河湖沉积与模拟实验》一书即是实验室的部分研究成果。毫无疑问,它凝结着实验室全体研究人员和工作人员的心血,是集体劳动的结晶。

众所周知,模拟实验始于上世纪末,Deacon(1894年)在一条玻璃水槽中观察到了流动波痕;Gilbert(1914年)用不同粒径的沙与不同的水流强度进行实验,观察和描述了一系列沉积现象。后来从事该项工作的研究者愈来愈多。60年代是水槽实验蓬勃兴起的时代,其中,Simons和Richardson(1961)所开展的一系列实验在沉积学界引起震动。进入70年代和80年代后,水槽实验研究的内容更加广泛,实验技术也更加先进。麻省理工学院Southard在1981~1985年开展了一系列实验,描述了从波纹到下部平坦床沙的实验现象,同时还研究了底形迁移的水动力学特征。80年代后期,Best的研究引人注目,他从河道交汇区的特征入手,深入探讨了两条交汇河道在不同的交汇角和不同的流量比条件下,床沙底形的形成和迁移,细致描述了交汇区沉积物搬运的特征,并提出了交汇相的概念。这一时期不仅研究了单向流形成的底形,对多向流及交汇区的研究也给予了足够的重视;同时,Schumn(1972)还进行了一系列河道类型的实验研究,取得了良好的效果。该时期的研究具有由定性向定量、由小型水槽转向大型湖盆模拟的特点。

我国在沉积模拟实验方面起步较晚,投入较少。中国石油天然气总公司在江汉石油学院筹建的湖盆沉积模拟实验室在一定程度上弥补了上述不足。湖盆沉积模拟实验不同于一般意义上的水槽实验,后者以水沙参数及底形变迁研究为重点,前者以研究湖盆沙体分布特征、演变规律、非均质性及油田应用模拟等为主要内容。湖盆沉积模拟实验是沉积学、水力学及河流动力学的边缘学科,在研究沉积体系的形成、演变及其控制因素等方面都很重要,具有拓宽知识面,另辟多方面分析问题、解决问题之新径的特点。

本书共分三部分:首先用较大的篇幅论述了模拟实验的基础——现代河湖沉积研究的最新成果,然后引入模拟实验的理论和实践,最后介绍了实验沙体的现代测试技术。三部分内容既相互独立,自成一体,又具有紧密的内在联系。

本书第一章第四节由曹跃华同志编写,其余由张春生同志编写;第二、三章由张春生同志编写;第四章由刘忠保同志编写;第五章第八节由张春生同志编写,其余由刘忠保同志编写;第六章由刘忠保同志编写;第七章由张春生同志编写。图件由施冬和伍云霞同志清绘。

参加研究工作的还有赖志云、曹跃华、王泽中、苏显渝、陶德云、何小海、侯勇等。赖志云和曹跃华二位同志在长江现代沉积和模拟实验方面所作的奠基性工作使本书具有翔实的基础。张昌民博士对本书的写作提出了许多建设性的意见，使作者受益匪浅。华北庄教授对项目研究及本书的写作和出版自始至终给予了极大的关怀和支持，使我们的工作得以顺利开展。项目研究和本专著的编写工作还得到了闫敦实、史训知、石宝珩、丁贵明、高瑞琪、蒋其恺、胡朝元、徐梦虹、张国栋、赵国珍、宋成勋、尹道墨、付承德、吕鸣岗、李平山、张云福、汤静、关德范、陈运武、赵艾江、吴崇筠、裘亦楠、宋建国、薛叔浩、陈丽华、顾家裕、张一伟、陆克政、信荃麟、漆家福、巢华庆、李伯虎、万年富、赵翰卿、刘兴材、钱凯、李春光、李继亮、钟嘉猷、陈昌明、金德生、张仁、府仁寿、丁君松、任明达、王德发、赵霞飞、何起祥等人的热情关怀和指导，他们高瞻远瞩的建议是我们研究工作的指南。江汉石油学院章贻俊、张树平、林壬子、凌克宽、金振武、华北庄、蒋发太、胡文宝、戴向东等历任院领导以及高振中、刘绍平、孙首臣、罗顺社、王正允、郭成贤、俞惠隆、徐论勋、刘怀波、朱忠德、杨业洲、汤军、吴智勇、李建华、汪崎生、严家祯、陈学球、周维、胡俊华、周寺柱、南新军、赵振春、姜衍文、李建明等也在工作中给予了具体的帮助和指导。借此专著出版之际，作者谨向上述人员深表谢意。

由于作者水平有限，缺点和错误难免，敬请各位专家同行批评指正。

作 者

1997. 2

目 录

序 前 言

第一篇 现代河湖沉积

第一章 长江中游荆江段现代沉积特征·····	3
第一节 概述·····	3
第二节 荆江河段江口洲沉积特征及沙体非均质性·····	4
第三节 对一个正在生长的心滩的观察研究 ·····	16
第四节 长江松滋分流河口三角滩沉积模式 ·····	24
第五节 荆江河段水下沙体沉积及演变特征 ·····	33
第六节 上、下荆江比较沉积学研究 ·····	40
第二章 河流层序地层学及现代沮漳河沉积 ·····	51
第一节 河流沉积的层序地层学骨架 ·····	51
第二节 辫状河流——沮河上流的沉积学研究 ·····	55
第三节 沮河和漳河交汇区沉积 ·····	62
第四节 沮漳河现代沉积特征 ·····	72
第三章 现代湖泊沉积及演化 ·····	82
第一节 中国现代湖泊沙体调查纲要 ·····	82
第二节 云南断陷湖盆基本特征 ·····	86
第三节 云南断陷湖泊演化阶段与充填特征 ·····	91
第四节 现代岱海湖沉积环境与沉积体系 ·····	98
第五节 鄱阳湖赣江三角洲的沉积环境及沉积特征·····	111
第六节 洞庭湖泥沙淤积及三角洲的形成·····	122

第二篇 湖盆沉积模拟实验

篇首语·····	135
第四章 沉积模拟实验的理论基础·····	136
第一节 模型实验的基本原理·····	136
第二节 自然模型法·····	139
第三节 比尺模型法·····	147
第五章 基础模拟实验研究·····	158
第一节 沉积模拟实验的历史现状及发展趋势·····	158
第二节 含沙河流入湖后沙体形成及演变的水槽模拟·····	160

第三节	湖泊三角洲沙体形成及演变的水槽模拟·····	166
第四节	辫状河-扇三角洲形成及演变的水槽模拟研究·····	172
第五节	定床变弯度曲流河边滩的水槽模拟实验·····	176
第六节	拓宽河段心滩形成演变的实验研究·····	180
第七节	长江百里洲段洲滩沉积模拟实验·····	187
第八节	曲流河凹岸滩坝沉积·····	193
第六章	油田应用模拟实验研究·····	200
第一节	大港油田歧北凹陷舌状沙体沉积模拟实验研究·····	200
第二节	大港油田张东地区水下扇及滩坝的模拟研究·····	206
第三节	大庆喇嘛甸油田萨Ⅱ组三角洲分流河道形成及演变的沉积模拟实验·····	214

第三篇 沙体检测技术

第七章	沙体检测技术·····	233
第一节	疏松沙体揭片及孔隙度、渗透率测定方法研究·····	233
第二节	沉积沙体真彩色图像采集与处理技术·····	238
第三节	模拟沙体形态三维面形检测与分析系统·····	247
图版说明及图版·····		257
参考文献·····		260

第 一 篇

现 代 河 湖 沉 积

第一章 长江中游荆江段现代沉积特征

第一节 概 述

我国是世界上河流众多的国家之一。据统计,流域面积在 100km^2 以上的河流,我国有 50000 余条。按照河川径流的循环形式,可把河流分为注入海洋的外流河和不与海洋沟通的内陆河两大类。划分两大类型的分界线北起大兴安岭西麓,沿 EN-WS 方向南下,经内蒙古高原南缘、阴山山脉、贺兰山、祁连山、日月山、巴颜喀拉山、唐古拉山和冈底斯山,止于我国西端国境线。此线以东,绝大部分河流为外流河,分别注入太平洋和印度洋,流域面积占全国总面积的 64%;此线以西的河流基本上属于内陆河,流域面积占全国总面积的 36%,我国的主要大河,如长江、黄河、黑龙江、海河、珠江、辽河等都是外流河,而塔里木河是我国最大的内陆河。

我国气候特点和地形条件决定了河流分布很不均匀,绝大多数河流分布于东南部外流流域,内陆流域河流很少。

另外,我国的地形特征还决定了主要大型河流的走向。西高东低的地形总趋势,使我国的外流河流大都呈东西走向,从而使河流的上、下游常常处于同一气候带中。

我国河流的径流资源十分丰富。根据估算,全国河流径流总量约为 26000亿 m^3 。但径流资源在分布上却很不平衡,以长江和珠江最大。

不仅主要大河的径流量不均衡,而且含沙量和输沙量相差悬殊。流径典型黄土分布区的河流含沙量最大(如黄河和海河),辽河和滦河的含沙量次之,西南地区河流居第三位。

同一条河流的泥沙特征,年内变化显著,变化过程大体与流量的变化过程相当。绝大多数河流含沙量与输沙量的高值出现在汛期,枯水期间含沙量和输沙量较低。

径流量的大小和含沙量及输沙量的高低是河流沉积的物质基础。

长江是我国第一大河流,也是世界著名的河流。长江正源沱沱河发源于唐古拉山峰各拉丹东雪山南侧,海拔 6621m 。长江全长 6300km ,横贯青海、西藏、云南、四川、湖北、湖南、江西、安徽、江苏和上海 10 个省市,流域面积 180万 km^2 。干流从河源至河口的总落差达 6600m ,每年入海径流总量约 1万亿 m^3 ,占全国总径流量的 $1/3$ 以上,输沙量达 5亿 t 。

长江流域地势由西北向东南倾斜,流域内大部分为山地和丘陵,平原较少。自发源地至宜昌为长江上游,宜昌至鄱阳湖湖口为长江中游,湖口至入海口为长江下游。

宜昌以下,长江出山地而进入中游广阔的冲积平原地带。自湖北省枝城至湖南省城陵矶又称荆江。江面宽阔、河道弯曲、水流缓慢、泥沙大量淤积、洲滩众多是荆江的主要特征。据不完全统计,荆江中分布的洲滩约 70 余处,其中边滩 25 处,江心洲 18 处,最大的为枝江县百里洲(因周长近百里而得名)。本章所研究的洲滩主要集中于长江中游荆江河段。

第二节 荆江河段江口洲沉积特征及沙体非均质性

江口洲位于上荆江枝江河段，全长 2200m，最宽 610m，平均宽度 351m。洲体上游端圆滑，下游端较尖，呈弯曲棱形，长轴沿 SEE 方向展布（图 1-1）。江口洲分长江为两汉。北汉为中弯曲度支汉分流，平均宽约 150m，历年洪水期过水，枯水期断流。在支汉分流的凸岸侧伏着一小型边滩，长 583m，宽 72m。南汉为长江主河道，由于江水的不断冲刷，造成南岸滩体强烈崩塌，形成十几米高的陡崖，沙体沉积建造特征明显，是现代洲滩研究的理想场所。然而，洲体崩塌的结果，使得世代生活在江口洲上的居民不得不舍弃良田，举家搬迁。据调查，江口洲有人居住的历史在 100a 左右，估计其形成时间在 1000a 以上。

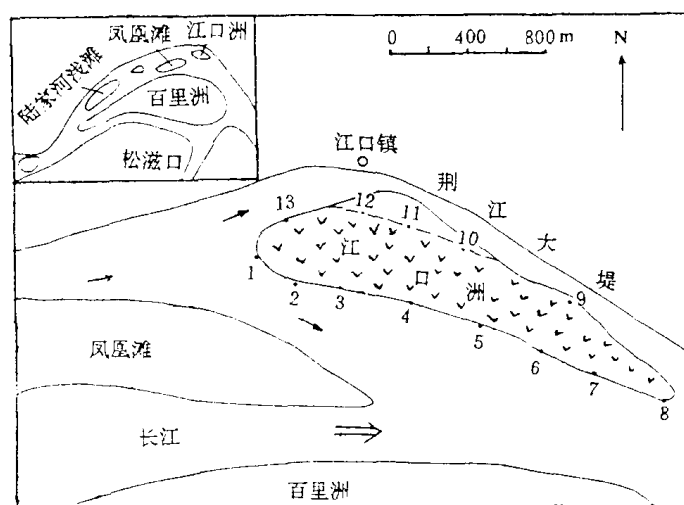


图 1-1 江口洲区域位置及剖面分布

众所周知，长江在三峡地区属限制性河流，出南津关后，进入低山丘陵地带，河流特征与三峡段明显不同，可称为半限制性河流。再向下游流经松滋口后，进入广阔的江汉平原，河道进一步展宽，过水断面增大，流速减小，泥沙大量淤积，使得全长约 41.8km 的枝江河段形成了大量的洲滩沉积，著名的有百里洲、凤凰洲、江口洲、火箭洲、董市洲、陆家河浅滩等。在众多的现代洲滩中，正在快速生长的是凤凰洲，急剧冲刷消亡的当数江口洲。因此，在发展阶段上，江口洲处于逐渐消亡的阶段，它与凤凰洲呈现出相互消长的关系。

一、代表性剖面

在江口洲布置基干剖面 13 条，辅助剖面 25 条（图 1-1），于不同部位选取有代表性剖面 3 条（图 1-2），描述如下。

1. 洲头剖面特征

剖面 1（图 1-2A）是洲头沉积最完整的剖面，自下而上分为 13 个岩性段，总厚度大于 10.05m。

（13）黄色泥，中部夹 2 层厚 10cm 的灰色沙纹层理粉沙，垂直虫孔发育。

3.65m

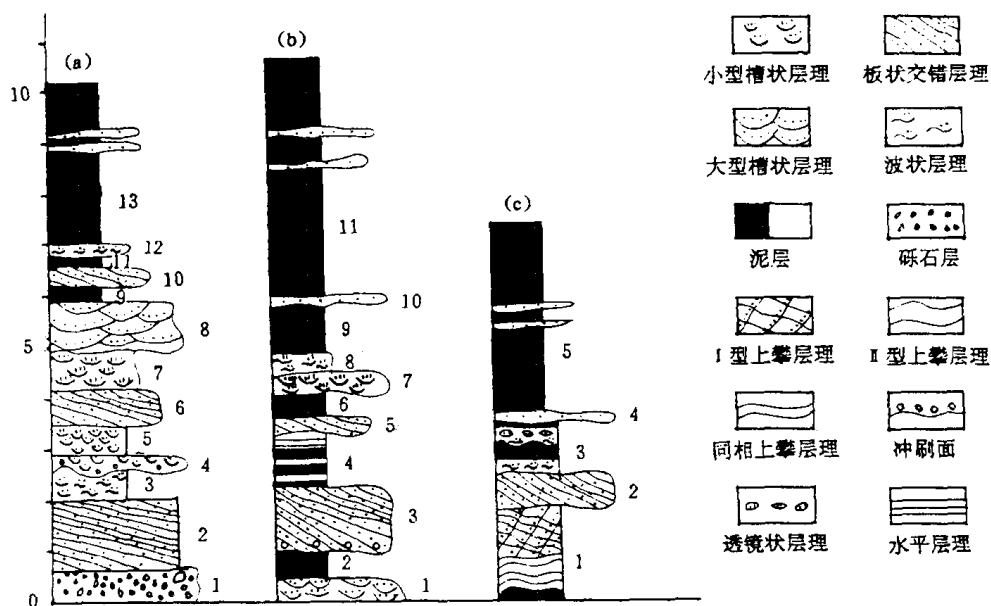


图 1-2 江口洲代表性沉积剖面

- | | |
|-------------------------------------|-------|
| (12) 沙纹层理细沙，夹 2 层薄泥质条带。 | 0.15m |
| (11) 杂色泥，层理不发育。 | 0.15m |
| (10) 中型板状交错层理中沙，纹层倾角 18°。 | 0.30m |
| (9) 黄色泥。 | 0.1m |
| (8) 厚层大型槽状交错层理中沙。 | 1.08m |
| (7) 灰黄色小型槽状交错层理细沙。 | 0.75m |
| (6) 大型板状交错层理中沙，纹层倾角 26°。 | 0.80m |
| (5) 含泥细粉沙，小型槽状交错层理发育。 | 0.73m |
| (4) 含细砾粗沙，砾石直径 1~2cm，发育槽状交错层理。 | 0.19m |
| (3) 泥质粉沙，夹黑色炭质条带，顶部为冲刷面，冲刷深度约 10cm。 | 0.65m |
| (2) 灰色大型板状交错层理中沙。 | 1.5m |
| (1) 砾石层，砾石直径 3~7cm，最大 15cm。 | 未见底 |

显然，洲头剖面沙层垂向分割性不强，中下部沙层常常相互连通，水动力条件较强。

2. 洲中剖面特征

剖面 4 (图 1-2b) 是洲中发育最完整的剖面，由 11 个岩性段组成。总厚度 11.58m。

- | | |
|------------------------------------|-------|
| (11) 杂色泥，中部夹 2 层厚 6cm 的粉沙质条带，见有虫孔。 | 5.52m |
| (10) 灰色中沙，发育小型板状交错层理。 | 0.12m |
| (9) 灰褐色、黄灰色泥。 | 0.95m |
| (8) 泥质粉沙与粉沙质泥，沙纹层理发育。 | 0.36m |
| (7) 槽状交错层理中沙。 | 0.56m |
| (6) 灰褐色泥。 | 0.40m |
| (5) 黄色细沙，大型楔状层理发育。 | 0.28m |
| (4) 粉沙与泥不等厚互层，水平层理发育。 | 0.98m |

- (3) 大型楔状交错层理中沙, 纹层倾角 35° 。炭屑、炭质条带沿纹层排列, 纹层底部收敛于层系界面。层系下部有泥砾分布。1.41m
- (2) 黄色泥与褐色泥不等厚互层, 与下伏层突变接触。0.70m
- (1) 灰色中沙, 发育大型槽状交错层理。0.30m

与洲头剖面相比, 洲中剖面沙层互不连通, 沙层百分含量降低, 底部无砾石层发育, 顶部泥岩层厚度增大。

3. 洲尾剖面特征

剖面 8 (图 1-2c) 代表了洲尾的沉积特征, 由 5 个岩性段组成, 总厚度 7.76m。

- (5) 上部为土黄色泥, 下部为褐灰色泥, 其中夹 2 层厚 3~5cm 的沙质条带。3.87m
- (4) 浅灰色细沙, 发育板状交错层理。0.1m
- (3) 黄褐色泥质粉沙与紫灰色粉沙质泥薄互层, 见有透镜状层理、压扁层理、沙纹层理及水平层理。1.25m
- (2) 褐灰色板状交错层理细沙, 纹层倾角 27° , 由 5 个层系组成。0.74m
- (1) 褐灰色粉沙质泥与黄灰色泥质粉沙不等厚互层, 发育 I 类、II 类及同相上攀沙纹层理。1.86m

由此可见, 洲尾以细粒沉积为主, 沙层厚度及层理规模进一步减小, 水动力条件更弱。

二、解释与讨论

由上述典型剖面可以看出, 洲头沙体呈厚层块状, 层次性不明显, 向洲中及洲尾过渡, 沙层厚度明显减小, 连通性变差。以上说明洲体不同部位沉积条件存在差异。这种差异可由以下 3 个方面来表征。

1. 粒度概率曲线特征

洲体平面不同部位、垂向不同层段的取样分析表明, 江口洲概率曲线可分为四种类型 (图 1-3), 各类概率曲线的粒度参数见表 1-1。

表 1-1 江口洲粒度参数特征

参数			曲线类型	I 类	Ⅰ 类	Ⅱ 类	N 类
概 率 曲 线 特 征	粗 细	截点 ϕ 值		2.5~3.0		2.0~3.0	5.3~6.2
		细截点 ϕ 值		3.2~3.8	4.0~5.2	7.0~8.0	6.7~7.8
	滚 动 总 体	含 量 / %		0.1~5.0		1.0~5.0	
		斜 率 / °		10~20		20.0~30.0	
	跳 跃 总 体	含 量 / %		90.0~95.0	80.0~92.1	80.0~92.0	90.0~99.0
		斜 率 / °		70~85	60~80	40~50	60~70
	悬 浮 总 体	含 量 / %		4.2~5.0	2.0~10.0	1.0~5.0	10.0~20.0
		斜 率 / °		15~30	10~22	10~30	10~15
粒 度 参 数	平均 ϕ 值			3.0~3.5	2.7~4.8	4.4~6.5	6.0~6.8
	标准偏差 / σ_1			0.28~0.53	0.56~0.67	0.7~0.92	0.34~0.47
	偏度 (SK)			-0.07~0.11	-0.27~0.13	0.08~0.23	-0.17~0.06
	峰度 (K)			0.96~1.28	1.3~1.61	0.7~0.95	1.2~1.37
分布位置				洲头下部	洲头、洲中中部	洲头、洲中冲刷面	洲 尾

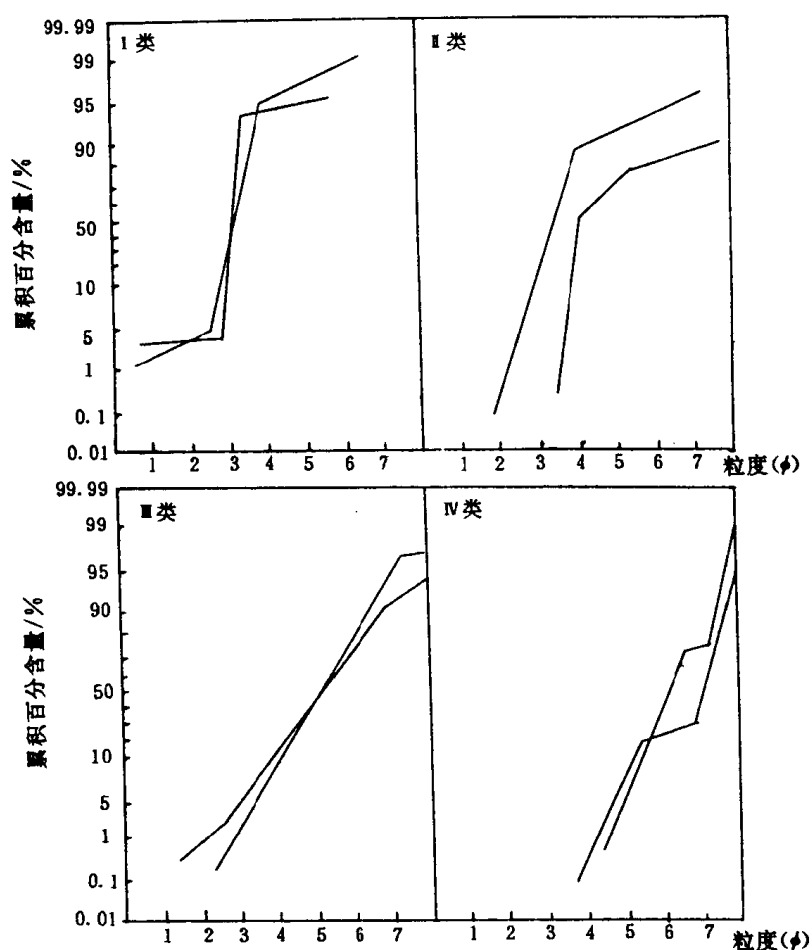


图 1-3 江口洲沉积物粒度概率曲线

I 类 由三段组成，滚动总体含量小于 5%，跳跃总体含量在 90%~95%之间。斜率大，分选好，平均 ϕ 值为 3.3。这类曲线反映了洲头下部的沉积特征，代表一种水流能量强且相对稳定的沉积条件。

II 类 概率曲线由二段或三段组成，不含滚动总体，跳跃段既可直接与悬浮段相接，也可存在一过渡段，含量约占 20%~25%。后者表明颗粒的搬运状态并不能截然分开，搬运机制不是固定的。II 类概率曲线总体上分选较好， ϕ 值多集中于 2.7 与 4.8 之间，平均为 4.2。洲头及洲中剖面的中部沙层具有这种沉积特性。

III 类 概率曲线由两个或三个折线段组成，与 I、II 类的显著区别是跳跃段斜率小，一般 $40^\circ \sim 50^\circ$ ，分选比较差，粒度范围较宽， ϕ 值最大可接近 1，最小可达 8。表明水动力呈现强而不稳的特征。这类样品皆取自洲头洲中冲刷面之上的沙层，底部一般有泥砾分布。

IV 类 概率曲线由三个折线段组成，中间一段平缓，含量一般小于 20%，其余二段大致平行，粗截点 ϕ 值介于 5.3 与 6.2 间，细截点介于 6.7 与 7.8 之间，平均 ϕ 值为 6.3，分布于洲尾剖面下部沙纹层理发育段。Allen (1963) 的水槽实验表明，沙纹层理的形成取决

于悬浮载荷及床沙载荷的比值。因此，上叠沙纹层理发育段的这种概率曲线类型，是否与沙纹层理本身的形成条件有关，尚需进一步研究。

2. 沉积构造与沉积物相类型

江口洲主要由中沙、细沙、粉沙组成，其中中沙占整个沙层的 32%，细沙占 47%，粉沙占 21%。砾石层仅在洲头底部见到，粗沙在洲头及江口洲北侧边滩出露，但向下游很快渐变为中细沙。

沉积构造主要有大型对称和不对称的槽状交错层理，层系厚度可达 45cm。大型板状交错层理的层系厚 20~35cm。另外还发育大型楔状交错层理、小型槽状交错层理、平行层理、Ⅰ类和Ⅱ类及同相上攀沙纹层理、水平层理、透镜状层理、压扁层理、冲刷面构造等。根据沉积物与沉积构造的组合关系，考虑颜色及其它标志，参照 Miall (1978) 岩石相类型划分方案，对于未成岩的疏松沉积物，以沉积物相代替岩石相。江口洲沙体中可分为 17 种沉积物相类型（表 1-2）。

表 1-2 江口洲沉积物相类型

岩石相	符 号	类 型	岩 性	沉积构造
砾石相	Gm Ge	块状砾石 冲刷面泥砾	砾石 泥砾	叠瓦构造 冲刷面构造
沙 相	Slt	大型槽状交错层理沙	中、细沙	大型槽状交错层理
	Slp	大型板状交错层理沙	中、细沙	大型板状交错层理
	Slw	大型楔状交错层理沙	中、细沙	大型楔状交错层理
	Smt	中型槽状交错层理沙	细沙	中型槽状交错层理
	Smp	中型板状交错层理沙	细沙	中型板状交错层理
	Smw	中型楔状交错层理沙	细沙	中型楔状交错层理
	Sst	小型槽状交错层理沙	细沙	小型槽状交错层理
	Slb	透镜状层理沙	细沙	透镜状层理
粉沙相	Fcrl	上攀沙纹层理粉沙	粉沙、泥质沙	Ⅰ型及同相上攀沙纹层理
	Fwb	波状层理粉沙	粉沙	波状、缓波状层理
	Fhb	水平层理粉沙	粉沙、泥质粉沙	水平层理
泥 相	Mhb	水平层理泥	泥	水平层理，页理
	Mm	块状层理泥	泥	块状层理
	Mp	杂色泥	泥	块状层理
	Mg	灰色泥	泥	水平层理

各种沉积物相类型在平面不同部位、垂向不同层段可组成以下 9 种沉积物相组合：① Gm→Slt→Slw→Smt→Sst；② Ge→Glp→Sst；③ Slt→Slw→Sst；④ Slp、Smp→Fcrl→Mg、Mp；⑤ Smt、Smp→Sst、Ssp；⑥ Fwb→Mhb；⑦ Smt、Smp→Fcrl→Mp、Mg；⑧ Fcrl→Mhb、Mm；⑨ Smp→Smw→Fwb→Mhb。其中①、②两种组合类型仅在江口洲洲头剖面底部见到，代表一种能量较强的侵蚀后的快速堆积。③、⑤、⑨三种组合类型既可在洲头出现，也可在洲中出现，但垂向上仅位于大套厚层沙体之上，⑤组合可在洲尾出现，但组合的厚度明显减小。③、⑤、⑨组合类型代表了一种水动力相对稳定且泥沙供应充分的沉积过程。④、⑦组合既可发育于洲中，也可出现在洲尾，前者位于剖面上部，代表一次较大水流事件后

期能量衰退的沉积，而后者则位于剖面下部，代表一种较小水流事件从开始到衰退的沉积全过程。⑧类相组合仅出现在洲尾剖面的下部，此组合中悬浮质沉积显得特别重要。⑥类组合在江口洲各个剖面均可见到，但仅位于剖面的顶部，代表河漫滩泛滥沉积过程。

3. 沙体沉积结构分析

通过对剖面上每个沙层逐个进行追踪对比，作出了江口洲沙体沉积结构特征图（图 1-4）。由图 1-4 可知，江口洲由 5 个沙层（包括粉沙）组成。第 1 层分布范围广，厚度稳定，仅在洲体最末端渐变为泥质粉沙。第 2 层分布较广，但相变很快，从洲头的含砾沙过渡到洲尾粉沙，而且厚度极不稳定。第 3 层为细沙和粉沙堆积，厚度最大。第 4 层为分选良好的中沙，但向下游延伸至剖面 6 即尖灭于下伏层上。第 5 层为细沙和粉沙沉积，厚度相对稳定。此外，顶部大套泥质层中夹有粉沙透镜体及粉沙质条带。

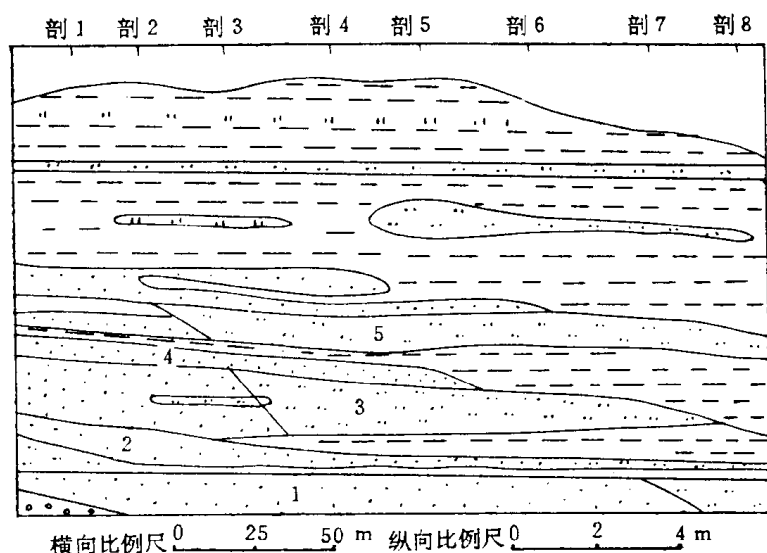


图 1-4 江口洲沙体剖面图

江口洲沙层分布有如下规律：①沙层百分含量自下而上显著降低，平面上沙层厚度向下游减薄；②对于每一个沙层，其沉积过程具有从上游向下游前积的特点，这是心滩成因江心洲的重要特征；③对于上下沙层的叠置关系而言，具有向上游退积的特点，与湖相水进过程特征相似。

值得一提的是，江口洲洲尾剖面上部泥层呈薄板状产出，厚 5cm 的板状纯净泥层可以极其稳定地延伸近千米，而且倾向倾角不变，颜色为灰褐色，毫不逊色于大型湖泊相沉积，这也许是巨型河流相泥层沉积的特征之一。

三、江口洲沙体非均质特征

根据研究，江口洲主体与北汊边滩是不同期形成的。边滩形成时间要晚于洲主体，是在江口洲主体出露水面并形成支汊后，完全在曲流支汊的控制下于凸岸处形成的。而江口洲主体则受长江大水流的控制。因此，二者的形成机理不同，并由此导致其非均质特征的迥异。