

长江百里洲段洲滩沉积模拟实验*

刘忠保 曹跃华 张春生 赖志云

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

模拟实验表明, 长江中游松滋口三角滩以燕尾式和先主流后分流自平衡调整式两种方式加积, 洪水期是三角滩生长发育期, 具有洪水生根、中水细化、枯水暴露的特点。水流轴线的大水趋中、小水坐弯则是芦家河浅滩形成和演变的主要控制因素, 洪水期表现为凹岸大边滩、中枯水期表现为大心滩; 凤凰滩和江口洲受河湾形态及河道边界条件控制, 洪水期凤凰滩以加积为主, 江口洲以冲刷为主, 前者发展增大, 后者削减缩小。

关键词 三角滩 模型比尺 模拟实验 加积模式 演变趋势 实验参数 百里洲

第一作者简介 刘忠保 男 30岁 讲师 沉积学

1 概况

本河段位于上荆江枝江段, 上起松滋口, 下至江口洲, 由松滋口三角滩、芦家河浅滩、董市洲、凤凰滩和江口洲等组成, 全长 41.8 km。上游右侧有松滋河分流分沙入洞庭湖。受年内流量和松滋河分流作用的影响, 本河段上游水流动力轴线左右摆动, 活动范围较大。中枯水期, 水流动力轴线位于芦家河段左岸; 洪水期, 水流动力轴线趋中甚至偏向右岸, 而左侧凹岸则形成大面积回流, 造成泥沙大量堆积。本河段的边界条件是: 河岸上游两岸及松滋口南侧为抗冲性较强的丘陵阶地, 百里洲头为抗冲性弱的沙泥二元结构河岸, 河段下游为受人工护岸控制的抗冲性河岸, 因此, 河道的左右摆动受到限制。河床物质组成以中细沙为主, 在深泓线附近、芦家河浅滩及百里洲头有砾石分布。

2 模型设计

本次实验的重点目标是松滋口三角滩的加积方式及其形成演变、芦家河浅滩的形成条件及其演变、凤凰滩的加积方式及与江口洲的消长演变关系。实验河道严格按 1986 年实测万分之一河道水下地形图缩制。河岸的边界条件符合原型河岸抗冲性较强的要求, 流量、加沙量、加沙组成及出口水深等参数的确定, 参照了宜昌、枝江、沙道观及新江口等水文站的资料, 并将其概化为洪水、中水、枯水的水文泥沙过程。实验河道的平面设计见图 1。

* 本文为中国石油天然气总公司资助项目

收稿日期: 1995-02-25

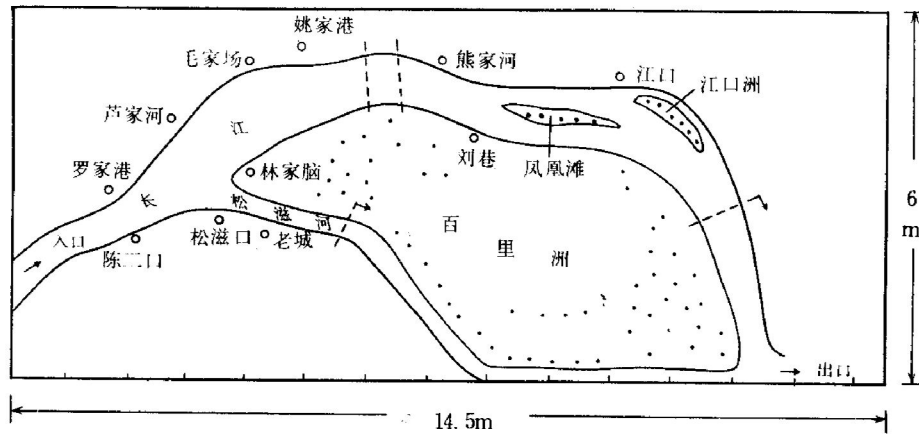


图1 实验河段平面设计图

根据水流运动和泥沙运动的相似条件^[1]以及沉积理论和沉积模拟实验的基本要求, 模型比尺关系确定如下:

(1) 平面几何比尺 $\lambda_l = 1500$ 。该比尺能最大限度地利用实验场地。

(2) 垂直几何比尺 $\lambda_h = 150$ 。

(3) 模型几何变率 $\eta = \frac{\lambda_l}{\lambda_h} = 10$ 。

(4) 流速比尺 $\lambda_v = \lambda_l^{1/2} = 12.25$ 。

(5) 流量比尺 $\lambda_Q = \lambda_l \lambda_v = 2756250$ 。根据放水预实验率定 $\lambda_{Q洪} = 7403628$, $\lambda_{Q中} = 9403315$, $\lambda_{Q枯} = 11146667$ 。

(6) 糙率比尺 $\lambda_n = \lambda_l^{1/6} / \eta^{2/3} = 0.73$ 。

(7) 粒径比尺 $\lambda_d = \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l \lambda_{v-r}}$, 取 $\lambda_{v-r} = 1$, 则 $\lambda_d = 15$ 。水槽实际表明^[2], 当流速大于沙粒起动流速时, 粒径对实验结果的影响不甚大。因此实际取粒径比尺 λ_d 为 1。

(8) 时间比尺 $\lambda_t = \frac{\lambda_l}{\lambda_v} = 122.4$, 实际取 $\lambda_t = 180$ 。

(9) 比降比尺 $\lambda_j = \frac{\lambda_h}{\lambda_l} = 0.1$, 实际率定 $\lambda_j = 3.5$ 。

3 实验过程

实验共分为 5 轮, 每轮放水过程均按长江自然流量过程变化, 依次按洪水期→中水期→枯水期→中水期的放水顺序进行。洪水、中水及枯水期的加沙量及加沙组成等实验参数见表 1。

前 3 轮河床处于堆积性非平衡状态, 上游来沙是以成层推进加积式为主。洪水期对沙层推进加积和河床调整起主要作用, 中水期对洪水期形成的河床形态加以局部改造, 枯水期的影响较小。就河段局部子系统而言, 洲滩形成及发育受局部河型、边界条件及水动力条件的影响十分明显。实验初期, 下游河床受出口影响以溯源侵蚀为主, 上游河床受加沙量的影响较大, 当上游来沙量足以补偿下游河床溯源侵蚀量, 且上下游河床主流线附近的水面比降与深泓线附近床面比降大致相等时, 河床处于动平衡状态。第 4 轮与第 5 轮实验基本是处于动

平衡状态下进行的,受上游来水来沙和河床自身调整的影响,整个河床床面普遍有所抬高。

表1 实验条件及实验参数一览表

实验轮次	放水过程	历时/h	水流量/ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$	加沙量/ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$	出口水深/cm	加沙组成
1	洪水	8	4.43	9.5~10.4	4	洪水期: 中沙 25%, 细沙 30%, 粉泥 45%
	中水	8	1.81	2.0~2.7		
	枯水	20	0.45	0~0.5		
	中水	12	1.81	2.0~2.7		
2	洪水	8	4.43	9.5~10.4	4	
	中水	12	1.81	2.0~2.7		
	枯水	20	0.45	0~0.5		
	中水	8	1.81	2.0~2.7		
3	洪水	8	4.43	9.9	4	中水期: 中沙 10%, 细沙 40%, 粉泥 50%
	中水	12	1.81	2.0~2.7		
	枯水	20	0.45	0~0.5		
	中水	8	1.81	2.0~2.7		
4	洪水	8	5.0	9.5~10.4	4	枯水期: 细沙 30%, 粉泥 70%
	中水	12	1.81	2.0~2.7		
	枯水	20	0.45	0~0.5		
	中水	8	1.81	2.0~2.7		
5	洪水	8	5.62	9.5~10.4	4	
	中水	12	1.81	2.0~2.7		
	枯水	20	0.45	0~0.5		
	中水	8	1.81	2.0~2.7		

4 结果与分析

4.1 水动力分析

前3轮实验未达到平衡状态,后两轮实验达到准平衡状态。达到准平衡状态以后,河道入口与出口之间的水面纵比降为3.75‰,深泓比降为3.83‰,非常接近。该比降较实验前的河床比降(约为1‰)要大,这表明心滩及江心洲河段较大的河床比降是河道水流与河床相互作用、自身调整的结果。

从表2可以看出,洪水期各河段流速最大,约为中水流速的1.7~3.7倍,枯水期流速最小。但同一期,不同河段流速相差较大。一般是河道越窄,流速越大;主汊河道比支汊河道流速大;滩头比滩尾流速大。此外,同一河段,洲滩发育者比不发育者流速变化大。例如分流点上游长江主水道和江心洲下游长江主水道,二者河道均较窄,洲滩均不发育,两处在第3和第4轮中水期所测定的流速值相同或相近,反映此类河段其水流动力轴线及流场也较稳定。但是,在

洲滩或分流较发育的河段,情况则大不相同,如芦家河浅滩、凤凰滩、江口洲、松滋河段,第3轮与第4轮中水期测定的流速相差3~6 cm/s,而在三角滩此两轮流速相差近8 cm/s,第4轮中水期流速比第3轮中水期流速低40%(表2),反映同一流量不同时期的流速有所不同。

表2 各河段水流速度一览表

河段部位		水流速度/cm·s ⁻¹			
		第二轮枯水	第三轮中水	第四轮中水	第四轮洪水
分流点上游长江主水道		16.7	23.3	23.8	41.7
芦家河浅滩		26.3	21.5	16.7	34.5
凤凰滩	左 汊	0	16.0	10.0	37.0
	右 汊	15.6	22.3	14.1	25.6
江口洲	左 汊	0	9.1	0	20.4
	右 汊	15.6	21.2	17.2	37.0
松 滋 河		20.0	20.1	17.5	29.4
三角滩头至三角滩尾		0	20.3	12.5	33.3
江口洲下游长江主水道		16.7	18.5	18.5	35.7

表3 各断面实测水流参数统计表*

断 面	部 位	实测流速 轮次	来水情况	河宽/cm	水深/cm			点流速/cm·s ⁻¹		
					最大	最小	平均	最大	最小	平均
Y=200cm	上游主河道	第3轮	洪水期	75	6.8	2.0	4.5	64.6	13.0	35.7
		第5轮	中水期	79	5.6	1.0	3.0	51.7	11.6	26.6
Y=300cm	上游河道 拓宽处	第3轮	洪水期	175	4.0	0.4	2.1	68.6	8.42	27.7
		第5轮	中水期	178	3.5	0.5	2.0	50.9	8.94	20.3
Y=370cm	三角滩尾	第3轮	洪水期	225	4.2	0.3	2.2	49.5	13.5	25.4
		第5轮	中水期	180	3.9	0.1	1.8	43.5	8.51	18.3
Y=500cm	芦家河浅滩	第3轮	洪水期	125	4.5	0.6	2.5	75.2	15.7	31.3
		第5轮	中水期	136	4.3	1.3	2.5	44.0	7.24	15.5
Y=630cm	过渡段	第3轮	洪水期	75	4.4	2.3	3.3	40.8	10.7	19.7
		第5轮	中水期	80	3.8	1.9	2.8	42.1	9.48	22.7
Y=750cm	过渡段	第3轮	洪水期	90	4.3	2.1	3.0	41.4	9.6	16.7
		第5轮	中水期	87	4.0	1.5	2.6	52.1	9.52	23.2
Y=930cm	凤凰滩	第3轮	洪水期	110	4.2	0.4	2.5	35.9	7.4	18.9
		第5轮	中水期	112	3.8	1.2	2.4	44.5	9.0	18.7
Y=1070cm	江口洲	第3轮	洪水期	138	4.1	0.6	2.4	44.3	13.0	21.0
		第5轮	中水期	127	3.9	1.1	2.6	42.4	12.7	25.9
江口洲尾部主 河道横断面	下游主河道	第3轮	洪水期	80	6.3	1.8	4.4	45.8	8.4	26.6
		第5轮	中水期	77	5.2	0.9	3.0	48.9	9.3	24.4

* 表2及表3中流速用成都科技大学研制的CDL-90型超声多谱勒流速仪测定。

从表3看出,全河段最大水深出现在上游与下游河道最窄的主水道上,水深分别为6.8cm和6.3cm,对应点的平均流速也较高。在同一横断面上,最大水深点与最大流速点有时重合,有时不重合,反映在纵向上即最大流速线与最大动量线和深泓线可以重叠也可以交错。河道形态越不规则,洲滩及水下浅滩越发育,则三线重叠的可能性越小。

实验表明,在不同河段不同流量期, Fr 数明显不同,并与底形发育紧密相关。枯水期, Fr 数一般为0.1~0.3,主要发育小型曲脊波痕和下部平床;中水期, Fr 数为0.3~0.6,主要发育舌状波痕和曲脊波痕;洪水期, Fr 数为0.5~0.7,主要发育舌状波痕和新月型波痕,波痕规模特别是波高增大。

4.2 松滋口三角滩的加积方式及演变

实验表明,松滋口三角滩的加积方式主要有两种:一为燕尾式加积;一为先主流后分流自平衡调整式加积。洪水在三角滩的形成发育过程中起决定性的作用。

图2为实验中观察到的三角滩燕尾式加积模式图。由于洪水期水流惯性作用强,趋中直下,主流又受到松滋河口较强的分流作用的影响,两股水流各携带泥沙向前推进,大致以百里洲头与分流点的连线为中线,呈燕尾状或喇叭状向前扩展,沙层成层向前加积。当中部水流在百里洲头受阻后,继续从两侧向前推进,直至靠近百里洲头两侧边缘。波痕分布也很有规律,滩头以动平床或大型舌状波痕为主,靠主水道一侧以大型曲脊波痕为主;滩中以中型曲脊波痕为主;滩尾以大型曲脊波痕为主,靠松滋河一侧主要发育中型舌状及曲脊波痕。

当松滋口因淤积加厚、分流量不太大时,则三角滩受上游河势的影响,以向主流方向(三角滩左侧)加积为主;当左侧沉积到一定规模和一定厚度后,滩面存在一个自左向右的横比降,滩面水流和泥沙运动作自我平衡调整,由向左侧推进变为向右侧分流方向推进(图3),直至达到平衡状态后,又开始下一轮的燕尾式加积。

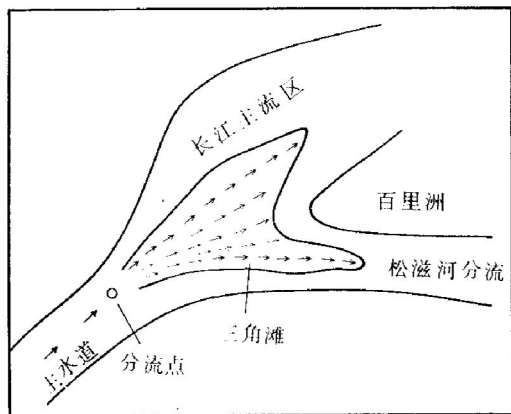


图2 三角滩燕尾式加积模式图

洪水期是三角滩快速生长发育期,整个滩面均被淹没于水下。中水期滩尾出露,滩面水深极浅,向松滋河及主流方向紧贴洲头边缘均有串沟发育。三角滩串沟主要有两种成因:一是上游主流流过三角滩面在洲头受阻后,傍松滋口左岸贴壁而行,产生串沟。由于百里洲头的抗冲性较弱,易受冲刷崩坍,因此,串沟常被崩坍物及从上游滩面搬运而来的泥沙所充填。随着串沟的不断产生和被充填,串沟带逐渐增宽。这是三角滩串沟的主要形成原因。二是百里洲头左侧的长江右岸有时产生一股小回流绕洲头沿边界紧贴松滋

河左壁而行,也可产生小规模串沟,常被泥沙充填,为次要形成原因。

枯水期三角滩大面积出露,呈完整的三角形,顶点向上游延伸至分流点附近,左侧向下游延伸至与芦家河浅滩及百里洲头北侧边滩,右侧向下游延伸至松滋河左岸边滩。

三角洲的发育具有洪水生根、中水细化、枯水暴露的特点。

4.3 芦家河浅滩的形成及演变

芦家河段为一微弯展宽河段,水流动力轴线受流量的影响,具有大水趋中、小水坐弯的特点,这是芦家河浅滩形成和演变的主要控制因素。洪水期,水流动力轴线趋中取直,北侧凹岸为弱流环境,有时发育回流,因此,泥沙在凹岸大量堆积,形成狭长的水下大边滩。中水期,水流分为两支,一支走北侧凹岸,对边滩产生冲刷;另一支走南侧,两股水流中间因反向环流作用形成很大的心滩(图4),仍淹没于水下。枯水期,水流动力轴线位于北侧凹岸,

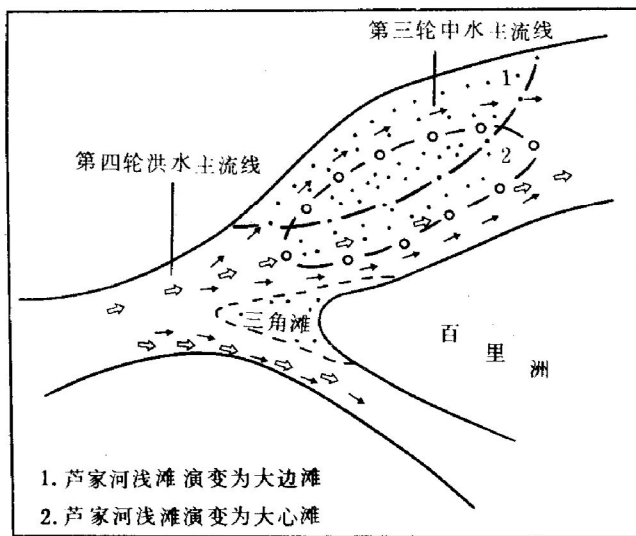


图4 芦家河浅滩演变趋势图

三轮末,本河段处于动平衡状态,下游的溯源侵蚀结束。从第四轮洪水期开始,凤凰滩处于全面的纵向前积状态。滩头的冲刷作用较强,砾石出露,发育典型的新月型波痕, Fr 数为 $0.64\sim 0.71$ 。滩中新月型波痕与舌状波痕共生,滩尾以曲脊波痕为主。主水流位于凤凰滩南侧,水体较深,滩尾为陡岸侵蚀区。凤凰滩北侧汉道水深较浅,属缓浅区,与江口洲以浅滩形式相连。浅滩区发育斜列式曲脊波痕。随着加积作用的进行,凤凰滩明显向上游及下游生长延伸(图5)。在凤凰滩生长壮大的同时,水流逼近江口洲,使江口洲南侧所受冲刷作用大大增强,并发生较大规模的崩坍,洲尾宽度明显变窄,仅北侧的小边滩受特定汉道横向环流的影响,发生一定的加积作用。

中水期,凤凰滩的加积作用减弱,滩尾明显细化,粉泥增厚,滩头及滩中的波痕规模尤其是波高明显减小,以曲脊波痕为主。江口洲南侧所受冲刷明显减弱,但北汉的过水量减少,小边滩的加积作用减弱。

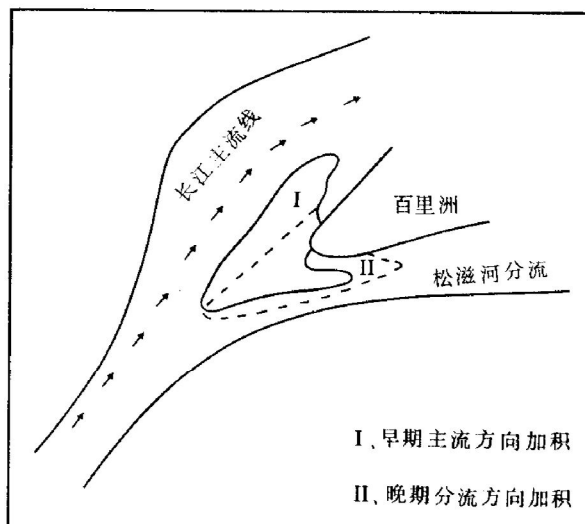


图3 三角滩自平衡调整式加积模式

浅滩断续出露于水面。因此,芦家河浅滩处于周期性变化之中,洪水期表现为凹岸大边滩,中、枯水期表现为大心滩。

4.4 凤凰滩及江口洲的演变

受河湾形态及河道边界条件的控制,凤凰滩与江口洲以洪水期的此消彼长演变特征最为明显。前两轮实验由于本河段位于下游而未达到平衡状态,因此,除江口洲洲尾及凤凰滩滩尾受溯源侵蚀影响而使底床受轻微冲刷外,洲滩本体变化不大。第三轮洪水期开始,凤凰滩处于堆积状态,与此同时,江口洲北侧小边滩也开始增生壮大,但江口洲的南侧处于冲刷状态,并被侵蚀成陡岸。第

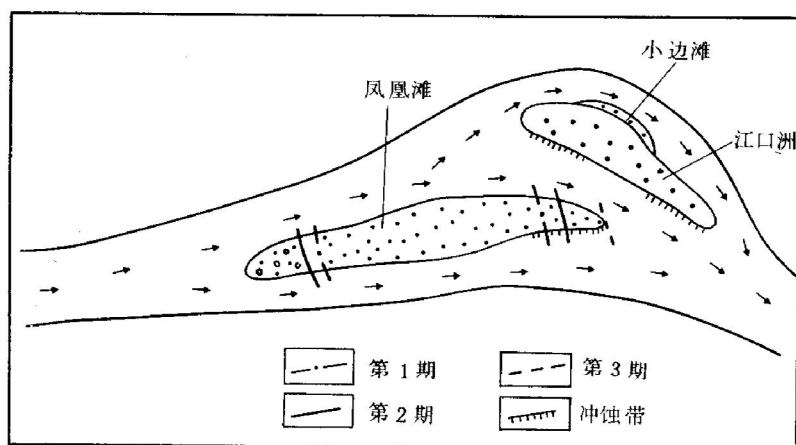


图5 凤凰滩及江口洲演变示意图
(第四轮洪水期)

程中, 水流在滩面形成大量彼此近于平行的冲沟, 有的切割较深。江口洲南侧冲蚀作用停止, 北侧汉道断流, 小边滩出露。

由上述可以看出, 洪水期凤凰滩以加积作用为主, 江口洲以冲刷作用为主; 中、枯水期凤凰滩的加积作用和江口洲的冲刷作用减弱乃至消失。实验结束后, 江口洲由实验初期的 1.5 m 长、0.45 m 宽缩小为 1.2 m 长、0.30 m 宽, 向逐渐消亡演变。在江口洲缩小的同时, 凤凰滩则不断生长壮大, 由实验初期

的 1.80 m 长、0.40 m 宽变为 2.70 m 长、0.52 m 宽, 朝着江心洲的方向发展。

实验表明, 洲滩发育是在一定的边界条件、河道形态和规模、一定的水沙量和水沙过程条件下, 水流与河床相互作用、自然调整的结果。洪水对洲滩演变起决定性作用, 枯水对洲滩演变影响较小, 中水介于两者之间。在其它条件不变的情况下, 流量的增大或加沙量的减小将引起水流向床底及河岸冲刷作用的增强; 当加沙量增大时, 则引起堆积作用的增强; 当河岸边界条件和过水断面不变时, 相邻洲滩发育和演变存在此消彼长的关系; 当河段达到动平衡状态时, 特定的河型及边界条件将发育特定形态和规模的洲滩。

参 考 文 献

- 1 武汉水利电力学院. 河流模拟, 北京: 水利电力出版社, 1990, 142~204
- 2 刘忠保, 曹跃华, 张春生等. 定床变弯度曲流河边滩的水槽模拟实验. 江汉石油学院学报, 1994, 16 (4): 34~38

SIMULATING EXPERIMENT OF SEDIMENTATION ON BAILIZHOU BEACH, YANGZI RIVER

Liu Zhongbao Cao Yaohua Zhang Chunsheng Lai Zhiyun
(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Abstract

Simulation result shows that the deltaic beach of Songzi River aggrades in the form of swallow tail and self-balance adjustment in which master stream aggrades first and then branch streams. Flood period is the stage for the beach to develop. The beach roots in flood period, then it gets thinner in medium water level, and is exposed in low-water. River axis tends to the central line in high water level, it flexes in low water level, and this is supposed to be the controlling factor for the formation and evolution of Lujiahe beach. The Lujiahe

beach turns to be a wide point bar of concave bank in flood periods, and becomes a channel bar in medium and low water periods. Fenghuangtan and Jiangkouzhou Neaches are both dominated by cove pattern and the boundary conditions of the river channel. The Fenghuangtan beach would aggrade in flood periods while Jiangkouzhou would mainly be scoured. It means that the former would grow bigger and the later would decrease and subduce.

中国石油学史研究会召开年会

中国石油学史研究会于今年4月11~13日,在河北省廊坊市万庄镇召开第四次学术年会。与会者32人,除来自北京及其邻近各省的生产、科研和教学部门者外,还有来自新疆、广东等边远地区的代表。会议期间,宣读论文32篇,曾就陆相地层生油、大庆油田发现等问题,开展热烈讨论。

中国石油学史研究会是中国石油学会的一个下属机构,它成立于1991年2月。成立之后,曾先后召开过三次学术年会。第一次于1991年11月在河北任丘召开,第二次于1992年11月在北京中国地质大学召开,第三次于1993年11月在河北涿州市召开。每次会后均选编论文集《石油学史研究》,由石油工业出版社公开出版。

(王仰之)