

长江三峡水利枢纽工程 地质勘察与研究

(上册)

薛果夫 满作武 主编

Geological Survey and Research
on Three Gorges Hydraulic
Complex of Yangtse River



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

长江三峡水利枢纽工程 地质勘察与研究

(上册)

薛果夫 满作武 主编

Geological Survey and Research
on Three Gorges Hydraulic
Complex of Yangtse River

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

长江三峡水利枢纽工程地质勘察与研究·上册/薛果夫,满作武主编. —武汉:中国地质大学出版社,2008.11

ISBN 978-7-5625-2305-5

I. 长…

II. ①薛…②满…

III. 三峡-枢纽工程-地质勘察-研究

IV. TV632.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 163093 号

长江三峡水利枢纽工程地质勘察与研究·上册

薛果夫 满作武 主 编

责任编辑:王凤林 郭金楠

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:700 千字 总印张:26 彩版:20

版次:2008 年 11 月第 1 版

印次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-2305-5

定价:150.00 元(上、下册)

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

三峡工程于1993年开始施工准备,1994年底正式开工,至今,大坝已雄踞西江,具备设计挡水与防洪的能力,今年11月坝前第一次达到175m正常蓄水位;自2003年6月开始蓄水发电以来,电站发电收益已超过工程动态投资的40%,河床26台水轮发电机组已全部投产;船闸已5级通航,通过能力超过设计。孙中山先生近90年前的梦想,经历了40多年的勘测、设计与论证及16年的建设,在中国大地上终于变成了现实。

三峡工程主要由大坝、水电站和通航建筑物组成。混凝土重力型大坝全长2309.47m,坝顶高程185m,最大坝高181m,其泄洪坝段位于河床中部主河槽,前缘总长483m。水电站为坝后式,设左、右两组厂房,安装26台水轮发电机组,其中左岸厂房14台,右岸厂房12台。通航建筑物包括双线五级连续梯级船闸和升船机,船闸布置在北岸坛子岭以北,劈岭深挖而建,最大坡高170m,单级闸室有效尺寸为280m×34m×5m(长×宽×坎上最小水深),可通过万吨级船队。升船机为一级垂直提升式,承船厢有效尺寸为120m×18m×3.5m,一次可通过一条3000t的客货轮。

三峡工程是当今世界最大的水利枢纽工程。它的许多方面突破了水利工程的世界纪录:①防洪库容 $221.5\times10^8\text{m}^3$,能有效控制长江上游洪水,保护长江中下游1500万人口,是世界上防洪效益最为显著的水利工程;②水电站总装和年平均发电量居世界之最;③泄洪闸最大泄洪能力 $10.25\times10^4\text{m}^3/\text{s}$,居世界之最;④双线五级、总水头113m的船闸,其级数与总水头居世界内河船闸之首;⑤升船机规模与难度为世界之最。

人类历史上的巨型工程,如巴拿马、苏伊士运河,阿斯旺高坝,登月球,探火星,无不伴随着是非功过的争议,三峡工程也不例外。对工程可能产生的不利影响,已经并要永远加以关注。同时业已看到,在石油暴涨、矿物能源日益减少的时代,它提供了全国约1/30的电力;蓄水以来,防洪效益日趋明显,洪泛区出现了千百年来从未有过的安居乐业景象,沿江城市那历来洪水肆虐的破烂江滩成了最亮丽的风光带;高峡平湖带来航运的空前繁荣,三峡工程在富民强国进程中已经发挥不可替代的作用。

地质勘察研究是保障三峡工程安全与正常运行的基础。它可分三个阶段。第一阶段,是批准前期勘察阶段,从20世纪40年代中期延续到1992年4月工程获七届人大批准。在国内政治、经济形势变化的背景下,勘察设计几经变更、反复。此阶段的任务,是回答三峡工程能否兴建、在何处兴建的问题,为确定建筑物的基本布局与规模提供依据,着重查明区域地壳稳定性、水库封闭条件及库岸稳定性、地震及水库诱发地震环境,选定坝址,初步查明坝址工程地质条件与问题。这一阶段的勘察研究成果已反映在《三峡工程地质研究》(湖北科学技术出版社,1997)一书中。第二阶段,从1992年4月至1994年12月,是工程批准到正式开工期间的勘察阶段,工作重心在坝址,任务是回答枢纽建筑物如何兴建的问题。鉴于三峡工程各单项建筑物的特大规模和复杂性,国务院三峡工程建设委员会要求对大坝及厂房、永久船闸、升船机和二

期土石围堰进行单项技术设计。在此阶段,升船机位置和轴线方向有所调整。本阶段的勘察重点是研究和解决初步设计阶段尚未确定的或需待优化的重要方案和技术经济问题,进一步查明各建筑物的工程地质条件和问题,为技术设计和招标设计提供地质依据。本书是这一阶段勘察研究主要成果的反映。工程开工以后,进入第三阶段,即施工期和运行初期勘察阶段,拟另出专著加以总结。

本书分上、下册,共4篇。书中所论述的技术要点是:①结晶岩风化分带标准、手段和方法;②坝基弱风化岩体的特性与利用;③坝基裂隙性结晶岩体深层抗滑稳定确定性模式的研究与评价;④复杂形态的深挖长大高陡边坡的稳定、总变形与时效变形研究与评价;⑤深陡开挖影响下卸荷岩体的力学与工程特性研究及其利用;⑥深厚河床覆盖层中多层坚硬块球体的勘察与分析;⑦复杂形态的河槽高陡槽壁的勘察及其与高水头深防渗墙接头方式研究。

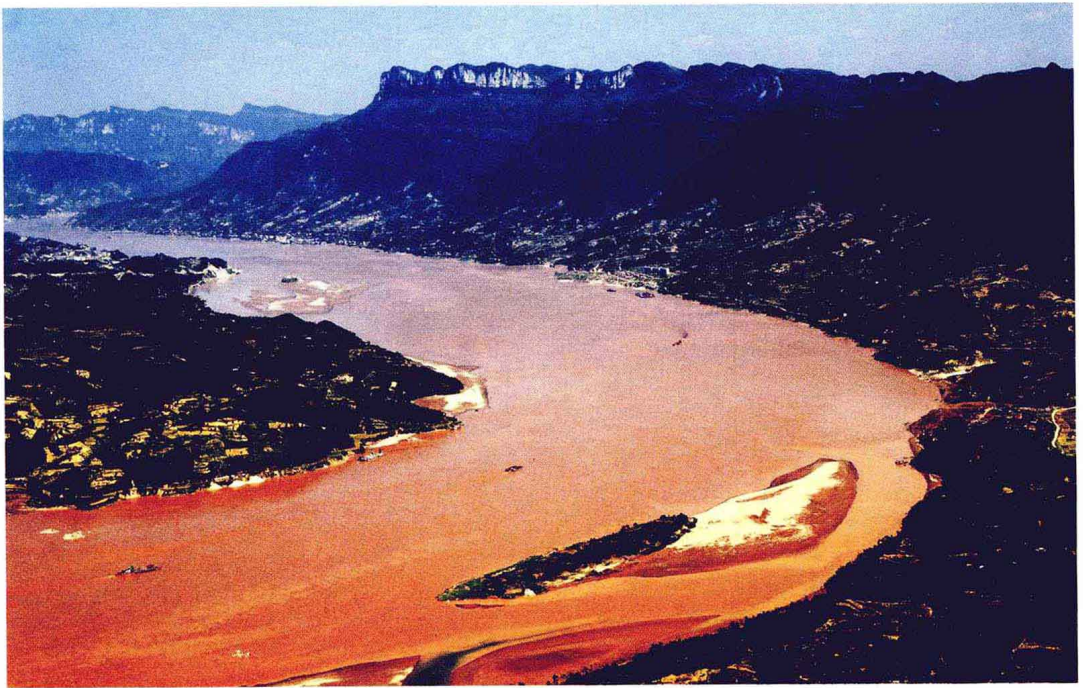
这些问题制约着建筑物的设计方案、施工工期及处理措施,影响工程运行安全,关系工程成败。有的课题当时国内外尚无成功的先例。例如,下游有高陡临空面的坝基裂隙岩体深层抗滑稳定,是困扰国内外大坝专家和地质师的难题,历来采用结构面极端连通假定或统计概率法框算,前者将导致过度开挖和处理,后者可能产生安全隐患。三峡工程以查明坝基长大结构面为基础所建立的确定性滑移模式,是勘察与工程史上的突破,使大坝安全有了可靠依据。永久船闸是劈岭深挖而建,形成长数千米、高达170余米的四面坡,其下部直立,高40~70m,为船闸结构的一部分,必须绝对稳定,且船闸闸门安装后直立坡的时效变形不超过5mm。此项挑战是通过一整套工程地质勘察程序和方法、岩石力学试验研究、精密岩体变形监测、合理而及时的岩体加固体系取得成功的。二期深水围堰,是下长江施工的决定性一步。其中上围堰填筑土石近 $700 \times 10^4 \text{ m}^3$,防渗墙深达80m,抵挡洪水流量近90 000cm/s,最大水头80余米,必须在一个枯水期完成,而堰基地质条件极其复杂,有极易产生流土破坏的巨厚表部粉细砂,还有块球体层、漂石层与强风化深槽,以及高达30m偏向下游的基岩深槽陡壁,这些都严重制约施工进度和堰基安全。由于准确、细致地查明了复杂的地质条件,并有足够的时间超前工作量,才可能精心研究、设计,精心准备,使二期围堰得以成功。三峡结晶岩风化分带标准早已在全国推广,其弱风化带岩体作为混凝土坝坝基,也开了国内先河。

三峡工程枢纽地震勘察与研究,经历了漫长岁月,包含了三峡勘测研究院及全国许多参加部门和单位、专家学者的经验、智慧和艰辛。本书作为第二阶段的总结,无疑是水利水电勘察史上的重要一笔。

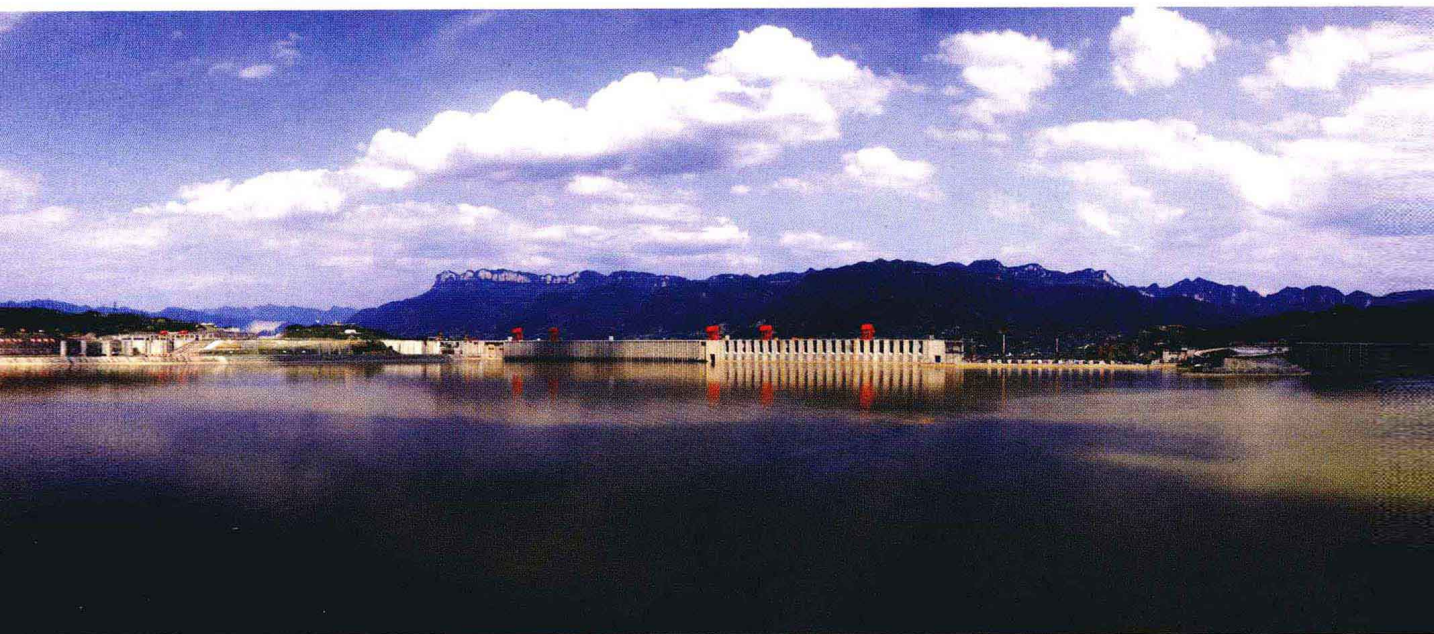
适逢工程全面竣工,谨以此书为献!

薛果夫

2008. 11. 4



三峡工程坝址



高峡平湖



三峡工程五级船闸

编写及审查人员名单

主 编	薛果夫	满作武							
第一篇	第一章	满作武							
	第二章	满作武	舒华波	黄孝泉	李芳玲				
	第三章	满作武	舒华波	陈又华					
	第四章	陈又华	李芳玲						
	第五章	赵克全							
	第六章	王德阳	王家祥						
	第七章	舒华波	满作武	陈又华					
	第八章	满作武	舒华波						
	审 稿	薛果夫	满作武	叶渊明	马代馨				
第二篇	第一章	陈又华							
	第二章	陈又华	李芳玲	王德阳					
	第三章	陈又华	李芳玲						
	第四章	李芳玲	王德阳						
	审 稿	薛果夫	冯彦勋	叶渊明	马代馨				
第三篇	第一章	石安池	黄孝泉						
	第二章	黄孝泉	樊友忠	赵明华	孙青兰	叶圣生			
	第三章	石安池	黄孝泉	樊友忠					
	第四章	石安池	黄孝泉	樊友忠					
	第五章	黄孝泉	樊友忠	孙青兰	叶圣生	廖立兵			
	审 稿	薛果夫	满作武	滕建仁	叶渊明	冯彦勋	李国郴		
第四篇	第一章	赵克全							
	第二章	赵克全	潘玉珍	张丁山	刘承新				
	第三章	赵克全	樊友忠						
	第四章	赵克全	张丁山	刘承新					
	第五章	赵克全	樊友忠						
	审 稿	薛果夫	满作武	李国郴	马代馨	冯定猷			

上 册

第一篇 大坝及电厂

第一章 勘察研究概况	(3)
第二章 基本工程地质条件	(6)
第一节 地形地貌	(6)
第二节 地层岩性	(7)
第三节 断裂构造	(13)
第四节 岩体风化	(45)
第五节 水文地质	(52)
第六节 岩体结构与岩体质量	(62)
第七节 岩土物理力学性质	(66)
第三章 主要工程地质问题研究	(80)
第一节 弱风化岩体利用与建基面选择	(80)
第二节 坝基抗滑稳定	(81)
第三节 坝基不均匀变形	(103)
第四节 泄洪坝下游的冲刷	(103)
第五节 坝基渗漏与防渗排水	(115)
第四章 左岸厂房坝段及非溢流坝段工程地质条件与评价	(118)
第一节 左岸非溢流坝段	(118)
第二节 左岸厂房坝段	(125)
第五章 泄洪坝段及左、右导墙坝段工程地质条件与评价	(145)
第一节 泄洪坝 1#—12# 坝段	(145)
第二节 泄洪坝 13#—23# 坝段	(149)
第三节 左导墙坝段及左导墙	(157)
第四节 右导墙坝段及右导墙	(161)
第六章 右岸厂房坝段及非溢流坝段工程地质条件与评价	(167)
第一节 右岸厂房 15#—20# 机组及安Ⅲ坝段	(167)
第二节 右岸厂房 21#—26# 机组坝段	(171)
第三节 右岸非溢流坝段	(179)

第七章 电站厂房工程地质条件与评价·····	(183)
第一节 左岸电站厂房·····	(183)
第二节 左岸电站引水渠及尾水渠·····	(190)
第三节 右岸电站厂房·····	(192)
第四节 右岸电站引水渠及尾水渠·····	(197)
第八章 工程处理的地质建议·····	(203)
第一节 基础工程处理的建议·····	(203)
第二节 边坡工程处理的建议·····	(205)

第二篇 二期上游横向围堰

第一章 勘察研究概况·····	(209)
第二章 一般工程地质条件·····	(212)
第一节 地形地貌及河床冲淤变化·····	(212)
第二节 地层岩性·····	(213)
第三节 断裂构造·····	(215)
第四节 岩体风化·····	(217)
第五节 岩体透水性·····	(218)
第六节 岩土物理力学性质·····	(220)
第三章 主要工程地质问题·····	(224)
第一节 枯水河床基岩深槽问题·····	(224)
第二节 堰基细砂层振动液化与渗透稳定性问题·····	(224)
第三节 堰基渗透性及防渗体设置深度问题·····	(231)
第四节 堰基渗漏量·····	(231)
第五节 堰基下块球体分布及对防渗墙造孔的影响·····	(233)
第四章 各段堰基工程地质评价·····	(237)

长江三峡水利枢纽工程

地质勘察与研究

第一篇

大坝及电厂

勘察研究概况

三峡水利枢纽大坝为混凝土重力坝,坝轴线方位为 43.5° ,临时船闸坝段为 29.5° ,其以左为 33.5° 。大坝轴线总长 2 309.47m,坝顶高程 185m,最大坝高 175m,水库正常蓄水位 175m,大坝挡水水头 71~113m;电站厂房为坝后式,共有 26 台单机 70MW 的水轮发电机组。大坝自左而右为:左岸非溢流坝(1#—7# 坝)段长 140m,升船机坝段 62m,左非 8# 坝段 26.06m,临时船闸坝段 56m,左非 9#—18# 坝段 195.91m,左厂房坝段 581.5m,左导墙坝段 32m,泄洪坝段 483m,右导墙坝段 68m,右厂房坝段 525m,右非溢流坝段 140m(图 1-1)。右岸有预留 6 台机组的地下厂房。

三峡工程施工前的地质勘察工作已进行了 30 余年。由于厂坝区大部分被风化壳与水体覆盖。建基岩体地质条件基本上靠勘探手段查明。至初设阶段,厂坝区研究范围内的平硐竖井与大口径钻孔总进尺 3 400 余米,小口钻孔已达 556 个,进尺 50 000 余米,大部分坝段已有勘探剖面控制,各类现场岩石力学试验 1~17 组。通过多年勘察研究,厂、坝区工程地质条件已基本清楚,主要工程地质问题也初步明确。但是由于自然条件限制,有的部分缺乏钻孔控制,且 65.5% 的钻孔与 53% 的进尺为铁砂钻进,取芯率较低,不能充分满足建基岩体评价的要求。因此,技术设计(也作“技设”)阶段在关键部位或勘探点不足部位布置了金刚石钻孔;右厂房地段补充进行了 1:1 000 地质测绘;在船闸区的 11# 平硐中进行了大量原位岩体力学性质试验,以了解远离较大断层部位岩体的力学特征。大坝及厂房区勘察工作量见表 1-1。

本书为三峡枢纽工程大坝及厂房区技术设计阶段的勘察与研究总结性成果,资料使用时限原则上用至 1994 年底。1#—5# 厂房坝段与升船机上闸首抗滑稳定,泄洪坝及防冲等问题采用了施工期的补充勘察研究成果。着重在以下几个方面作了深入研究:

(1)在综合分析历年坝址岩体(石)物理力学性质试验成果(特别是近期成果)的基础上,对初设的建议指标进行了复核与局部修订,提出了坝基各类岩体(石)及结构面物理力学参数建议值。

(2)在补充勘测的基础上,详细划分了厂、坝基础岩体结构类型,进行了质量分级,提出了可作开挖图设计依据的图件。

(3)对关系大坝安全的坝基抗滑稳定、泄洪坝下游冲刷、坝基渗漏等工程地质问题作了深入研究和评价。

表 1-1 三峡工程大坝及厂房地质勘察工作量统计表

项 目			单位	技设阶段利用工作量			
				初设勘察	技设勘察	特殊勘察	合计
1:1 000 工程地质测绘			km ²	1.21	0.4		1.61
勘探	小口径	铁砂钻(1975 年前)	m/孔	269 872.1/364			269 872.1/364
	钻探	金刚石钻	m/孔	23 573.88/1 922	2 029.9/20	1 768/29	27 371.78/241
	定向取芯钻孔		m/孔		983/8		983/8
	大口径钻探		m/孔	399.6/9			399.6/9
	平硐		m/个	2 779.55/9			2 779.55/9
	竖井		m/个	235.45/6			235.45/6
	大型探槽		m ³	27 764			27 764
物探	地震法		km	181			181
	电法		点	5 323			5 323
	测井		点			7 178	7 178
	弹性波穿透		点	4 317			4 317
	钻孔彩电录像		m/孔		120/2	1 768/29	1 888/31
试验	水文	压水试验	m/段	30 305.66/3 666	1 697.27/293		32 002.93/3 959
	地质	抽水试验	段/孔	6/8			6/8
	室内	物理性	个	1 402			1 402
		岩块抗压	个	3 229			3 229
		纵波速度	个	639			639
		变形	个	703			703
		小件抗剪	个	206			206
		中件抗剪	组	14	23		37
	现场 抗剪	结构面	组	5	6		11
		岩体	组	9	6	15	30
		混凝土与岩石	组	24	7		31
	现场 变形	承压板法	点	55	32		87
		橡皮囊法	点	10			10
		隧洞水压法	点	1			1
		单轴、双轴压缩法	孔	6			6
		狭缝法	点	5			5
	地应力测量		孔	6			6
	断层活动年龄测定采样		个	38			38
专门性 工程地质 研究	边坡工程地质编录		m ²			8 000	8 000
	野外缓倾角裂隙调查		工日			220	220
	孔内结构面定位及产状量测		条			3 511	3 511
	特殊岩芯鉴定及长大缓倾面判定		孔			29	29
	孔内录像资料解译		工日			116	116
	岩芯鉴定与录像资料对比分析		工日			87	87
	平硐资料分析统计		工日			80	80
	地质资料上机统计分析		台时			114	114
备注	1. 岩石试验数量包含 8 号、11 号硐试验,统计至 1993 年 12 月 2. 地质测绘、勘探、物探工作量统计范围:坝轴线上游 100m,下游 400m(非溢流坝段为轴线下游 100m)						

(4)进行了建筑物工程地质分段,对各段的工程地质条件、主要工程地质问题作了详细阐述和综合评价。

第二章

基本工程地质条件

第一节 地形地貌

大坝及电厂(简称厂坝)跨越的地貌单元,可分为左岸山体、漫滩及枯水河床、右岸山体三个区段。

一、左岸山体段(桩号 47+624~48+405)

左起野田湾北,右至Ⅰ级阶地前缘,坝段长 781m。Ⅰ级阶地台面高程 76~78m,宽一般 15~20m。临江山脊高程 120~130m,自南而北山势渐高,最高处地面高程约 200m。地形坡度一般 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。主要山脊宽厚,走向与大坝轴线平行,局部分支为单薄的顺河向山梁。冲沟及坳沟较发育,多迂回蜿蜒、宽阔平坦,沟底高程 100~130m。沟梁高差一般 40~60m。

二、漫滩及枯水河床段(桩号 48+405~49+521)

按葛洲坝库水位 66.5m 计(下同),江面宽约 1 116m,按葛洲坝水库蓄水前地貌单元划分,其中左漫滩宽 180~200m,右漫滩(包括中堡岛及后河)宽 650~700m,枯水河床宽 170~280m。

据 1992 年施测的水下地形资料,左漫滩地面高程 50~67m,总体向枯水河床平缓倾斜。基岩面高程一般 40~55m,最低 30m,最高 65m。

右漫滩由三部分组成:史经滩(中堡岛左漫滩)、中堡岛以及后河,沿轴线宽分别为 231m、152m 和 246m。史经滩地面高程 45~57m,地面平缓,微向河床倾斜。基岩面高程一般 40~50m,最低 38m,最高 50m。中堡岛地面高程 67~78m,基岩面高程 50~72m。后河地面高程 67~69m,基岩面高程 40~60m。

原枯水河床呈宽缓槽状,地面高程 28~50m,最低点略偏向左岸。基岩面高程一般 10~40m,坝基范围内最低 9.96m(133 孔)。左导墙的尾端(桩号 20+300~20+560),顺江分布一宽 40~70m 的基岩深槽,基岩面高程低于 0,钻探确定的最低高程为 -6.28m(967 孔)。

自 1981 年葛洲坝水库蓄水以来,水下地形有较大变化(图 2-1)。大部分地段以淤积为主,一般淤积厚 2~8m,最厚 17.57m(左导墙尾端);局部地段产生了冲刷,冲深 0.5~2.0m。