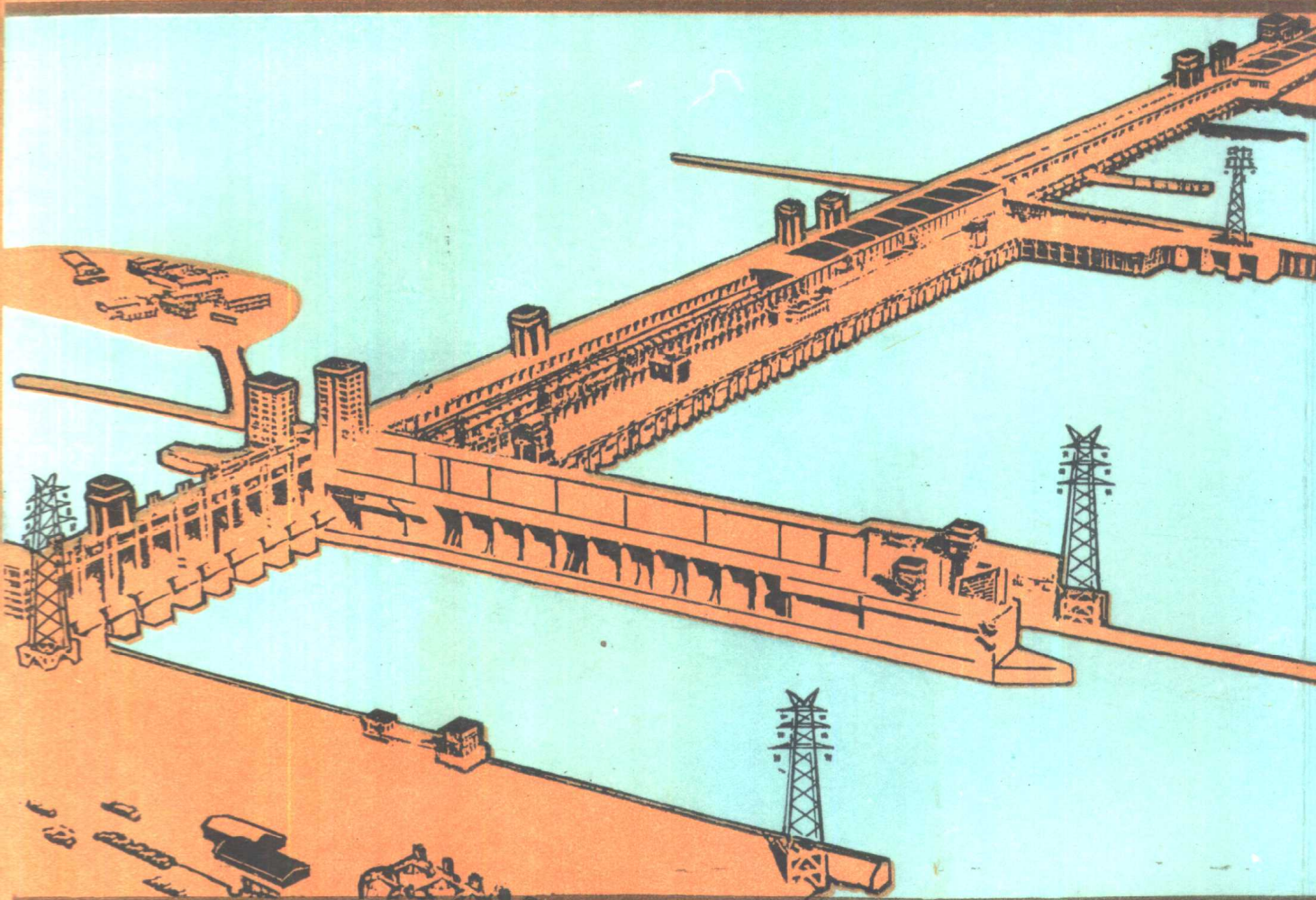


葛洲坝工程丛书

7

建筑物及其基础的 安全监测

水利部长江水利委员会 曹乐安 主编
朱丽如 副主编



水利电力出版社

葛洲坝工程丛书

限

建筑物及其基础的安全监测

水利部长江水利委员会 曹乐安 主编
朱丽如 副主编

水利电力出版社

内 容 简 介

本分册分四部分介绍葛洲坝工程建筑物及其基础的安全监测工作。第一部分讨论安全监测系统的设计要点,强调现场目视检查对确证枢纽整体安全度的重要性;第二部分概述安全监测系统中变形、渗流、温度、应力及水力学等资料量测系统从建立(设计、施工)到运行的全过程;第三部分阐明1982年以来研究形成的资料管理系统,系统地提出了各阶段进行资料处理、资料解释和安全评价的方法,初步建立的脱机自动资料管理系统雏型;第四部分简要地评价葛洲坝工程主要建筑物及其基础的运行性状。

本分册可供从事大坝安全监测工作的设计、施工、运行、教学人员参考。

责任编辑 阎立波

封面设计 李铁民

版式设计 宫长平

葛洲坝工程丛书 7

建筑物及其基础的安全监测

水利部长江水利委员会 曹乐安 主编
朱丽如 副主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路8号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12.75印张 286千字

1990年7月第一版 1990年7月北京第一次印刷

印数0001—2920册

ISBN 7-120-01177-4/TV·389

定价8.75元

中国水利学会

《葛洲坝工程丛书》编辑委员会

主任委员 陈赓仪

副主任委员 李鹤鼎

委 员 (以姓氏笔划为序)

文伏波	王梅地	王维勇	孔祥千
石 衡	卢兆策	纪云生	李鹤鼎
沈维义	陈赓仪	杨 溢	金 炎
罗其华	周 坦	岳荣寿	钟梓辉
曹乐安	曹宏勋	梁应辰	潘家铮
魏廷铮			

秘 书 长 杨 溢(兼) 纪云生(兼) 金 炎(兼)

秘 书 陶景良 朱光裕 陈叔康 阎立波

《建筑物及其基础的安全监测》编撰人

主 编 曹乐安

副主编 朱丽如

主 审 李鹤鼎 刘颂尧 文伏波 洪庆余

各章编撰人

章 次

编 撰 人

绪 论	曹乐安			
第一章	曹乐安	朱丽如		
第二章	曹孙铎	柯志中	朱丽如	
第三章	李思慎	吴松桂		
第四章	张隆安			
第五章	宁廷俊			
第六章	朱丽如	李思慎	张隆安	
第七章	朱丽如	李思慎	张隆安	
第八章	赵全麟			
第九章	王德厚	赵全麟		
第十章	胡代清	刘崇干	赵全麟	王德厚
结 语	曹乐安	朱丽如		

序

在葛洲坝水利枢纽工程全面建成之际,《葛洲坝工程丛书》将陆续与读者见面了,这是水利水电工程界一件值得庆贺的事。

葛洲坝水利枢纽是我国在长江干流上修建的第一个综合利用工程,它将担负未来三峡水库反调节和改善三峡坝址到南津关之间航道的任务,也是我国目前最大的水电站。

葛洲坝工程于1970年未经毛泽东主席批准开始兴建,主要是为解决华中、华东地区缺电问题,同时也是为三峡工程作实战准备。因当时正处于十年动乱时期,没有完全按基本建设程序办事,工程开工后遇到一系列问题,需要进一步深入进行研究。因此在1972年底,周恩来总理决定暂停主体工程施工,由长江水利委员会负责修改设计,并成立了以林一山同志为首的葛洲坝工程技术委员会,在技术上全面负责。改组葛洲坝工程指挥部为葛洲坝工程局,负责施工。周总理强调指出,要尊重科学,多做实验研究,对葛洲坝工程建设“一定要战战兢兢,如临深渊,如履薄冰,做到确有把握”。

在技术委员会的指导下,在全国各有关部门的大力协作下,长江水利委员会经过深入的勘测、设计和科学试验,于1974年提出了修改的初步设计,经国家建设委员会审查批准,于同年10月恢复了主体工程的施工。粉碎“四人帮”以后,工程进度不断加快,施工质量稳步提高。1981年初,大江截流成功;5月下闸蓄水;6月下旬三江航道和二、三号船闸通航;7月二江电厂第一台机组并网发电。在当年出现 $72000\text{ m}^3/\text{s}$ 大洪水的情况下,工程经受住了严峻的考验。接着,二期工程开始施工,1986年6月,500kV变电站和大江电厂第一台机组投产;1988年9月,大江船闸试航成功;同年12月,电站21台机组全部建成投产。

葛洲坝水利枢纽不但工程规模大,而且在建设中遇到了许多关键性的技术难题。例如:水库库区、船闸上下游引航道和电站进出口的泥沙淤积;大流量泄水闸消能防冲;基岩软弱夹层的加固处理;大型船闸闸门启闭机的设计与制造;大型低水头水轮机组的研制与安装及超高压技术的应用;施工导流和大江截流的设计施工;混凝土高强度施工的组织和管理;混凝土的温控措施;大型水利枢纽的运行管理;以及在安全监测系统中建立脱机资料处理、解释及安全评价系统等。通过大量科学试验,这些关键性技术难题都得到了妥善的解决。工程运用的实践表明,整个枢纽的设计、施工和设备的制造、安装都是很成功的。

葛洲坝水利枢纽的胜利建成,把我国水利水电工程技术水平推上了一个新高度。这表明,我国的水利水电建设者们完全有能力依靠自己的智慧和力量开发长江,造福人民。

葛洲坝工程开始运用以来,已经发挥了巨大的经济效益和社会效益。水电站总装机容量271.5万kW,年发电量可达165亿kW·h,为华中、华东地区的工农业发展做出了并将继续做出巨大贡献。它的建设成功确实为三峡工程和其它大型水利水电工程的建设积累了

宝贵的经验。因此可以说，这项工程的决策在今天看来也仍然是正确的。

这套《丛书》有其一定的特色，它既不同于一般的工程总结，也不同于一般的水利水电工程方面的科技书。编写本《丛书》的目的，主要是力求在经过一定的实践检验的基础上，介绍、推广葛洲坝工程建设中解决一些关键性技术问题的经验，包括科学研究、规划设计、施工组织、设备制造和运行管理等。因此，这套《丛书》对从事大中型水利水电工程勘测、规划、设计、科研、施工、运行的技术人员，对高等院校有关专业的教学，有一定的参考价值。

《葛洲坝工程丛书》是广大葛洲坝工程建设者们辛勤劳动的结晶，也是我国水利水电事业的宝贵财富。希望这套丛书的出版，能对提高我国水利水电科学技术水平，加快我国水利水电建设步伐起到积极的推动作用。

陈赓仪

1989.4.30于北京

前 言

长江葛洲坝工程是我国目前最大的水利枢纽，在许多方面体现了我国水利水电工程建设科学技术的新水平。为了及时总结、推广这些新经验，提高水利工程建设的技术水平，1981年在葛洲坝水利枢纽第一期工程基本完成后，在中国水利学会的积极倡导下，于10月20日在北京成立了“中国水利学会《葛洲坝工程丛书》编辑委员会”，决定组织编写出版一套系列书——《葛洲坝工程丛书》。经过近9年的准备和编写，现在这套丛书终于将陆续和读者见面了。这是一件值得庆幸的事。

本丛书旨在全面、准确地反映葛洲坝工程建设在科研、勘测、设计、施工、制造、安装和运行管理等各个方面的新技术、新经验。为此，编委会在确定丛书的书目之前，曾致函百余位水利专家广泛征求意见。经过反复讨论研究，最后决定本丛书由15册组成：《工程概况》、《泥沙研究》、《基础设计与处理》、《导流与截流》、《闸、坝与电站建筑物》、《通航建筑物》、《建筑物及其基础的安全监测》、《闸门与启闭机》、《水力机械》、《电气设备与自动化》、《施工组织与管理》、《土石方施工》、《混凝土浇筑》、《运行与管理》、《工程文献》，平均每册40万字，全套书约600万字。

本丛书在编写过程中，编委会曾多次召开会议，对全套书的内容体系，编写分工、计划进度、审稿程序以及编写体例等，都作出了明确的规定。编写单位对此也十分重视，还成立了各自的编委会或编写领导小组，指派技术骨干担任各册的主编或编写人和审稿人，进行编写。初稿写成后，都经本单位自审和修改，最后交丛书编委会由专家审订定稿。所有这些做法，对确保本丛书的质量起了很好的保证作用。

本丛书是我国第一部大型水利水电工程丛书，有其一定的特色：就其整套书来说，内容全面、系统，不论是勘测设计和施工安装，还是科学研究和运行管理，都有述及，且相当完备；就其某一册来说，也自成系统。在详细介绍葛洲坝工程中的新工艺、新技术的同时，也有一定的理论阐述，因而与一般的工程总结有很大的不同；就其表达方式来说，不同于一般的科技书，不是面面俱到，而是抓住关键性的技术问题进行阐述，并以翔实的图表资料和数据加以论证，便于读者查阅，很有实用价值。因此我们相信，本丛书的问世对我国从事大型水利水电工程建设——特别是长江三峡工程建设的同志将会有很大的启发和帮助。

参加本丛书编写工作的主要有：中国三峡工程开发总公司（筹）、水利部长江水利委员会、葛洲坝工程局、原水利电力部驻葛洲坝代表处、交通部水运规划设计院、机械电子工业部电管局、葛洲坝水力发电厂、长江航道局宜昌航道分局、葛洲坝船闸管理处、哈尔滨大电机厂、东方电机厂等10多个单位，共200多人。他们都是在肩负繁重的科研、生产任务的情况下，克服了人力、物力、财力的种种困难完成编写任务的，为本丛书的顺利出

版作出了很大贡献。在此，我们谨向他们表示衷心的感谢。

编写这样一套卷帙浩繁的工程丛书，对我们来说仅仅是个尝试，因此不可避免地会存在着许多缺点和不足之处，我们诚恳地欢迎读者对丛书中的错误和疏漏给予批评指正。

中国水利学会

《葛洲坝工程丛书》编辑委员会

1989.3.20

编 者 的 话

本分册是以葛洲坝工程在安全监测方面的实践为依据进行编写的。有关本分册的编写工作，作以下几点说明：

1) 本分册作为《葛洲坝工程丛书》的一部分，它既不同于工作总结，也有别于教科书。在编写中力求不写工作总结式的陈述过程和教科书式的平行等量叙述；力求不止于对实践现象的真实复述，而着重于通过实践所掌握的本质；力求着眼于安全监测系统的完整性与系统性，而不拘泥于专业分工的表象。使读者认识到安全监测的本质是为了监测建筑物及其基础对库水位和环境原因量的变化而产生的反应（效应量）的变化趋势。本分册按变形、渗流、温度、应力等效应量来划分监测资料量测系统，并将安全监测系统划分为资料量测系统和资料管理系统。在编写中，重点阐述结合葛洲坝工程的特点和需要所提出的监测方法和研制的专用设备，而对常规方法和设备则从简叙述。

2) 编写的过程也是一个将实践中的感性认识提高到理性认识的过程，并且应着重于写明提高了的理性认识。如水平位移监测网的设计，初步设计时，是以位于各建筑物处的倒垂点为基准点，不设立水平位移监测网的，但是“葛洲坝工程外部变形观测第一次设计科研座谈会”指出：位于各建筑物处的倒垂点只能作为工作基点，其本身的稳定性必须予以检测；为此，研究设计了以连续引张线、直伸边角网、基点检验网三个层次构成的水平位移监测网，这三个层次网的精度要求一致，但所需人、物、时却是逐层递增的，这个方案得到“葛洲坝工程外部变形观测第二次设计科研座谈会”的肯定。通过这个实践，认识到水平位移监测网的设计原则，即一般应将其设计为全网、简网、最简网三个层次，各层次的精度要求一致，但所需耗费却应逐层次递减，使得最简网便于经常检测、简网可以定期检测、全网则只需较长期地定期检测，这样可收事半功倍的效果，在编写时就按这种考虑安排。

3) 事物总是在实践中得到发展的，资料管理系统就是一个例证。资料管理系统起初是由人工操作来整理各效应量的实测资料，审视效应量的变化趋势，由具有相当经验的监测人员来判断建筑物及其基础运行是否处于安全状态。由于实测资料数量庞大，整理费时费力，常不能及时提供出可靠的有关运行状态的信息，难以充分发挥安全监测系统的作用。为了解决这个问题，自1982年以后，参考国外、国内大坝安全监测资料管理的经验，研究了资料处理、资料解释的整套方法，开发了计算机软件，使脱机自动资料管理系统初具雏型。因此，在编写中着重阐明这套资料管理系统所依据的理论、建议的方法，以及系统的各种功能；同时也切望与同行切磋，共同为我国的水利水电工程建成完善的资料管理系统而努力！

4) 本分册的编写，先分别向从事葛洲坝工程安全监测工作的广大设计、施工、运行人员征求素材，提供素材的有：长江水利委员会勘测总队蒋筱轩、邓文庚、蒋维相、黄正

光；长江科学院冯兴常、胡先举、蒋顺清、林秉俊、任大春、邓廷哲、陈忠儒、陈元清、刘克煌、丁灼仪；葛洲坝工程原长江流域规划办公室设代处林文亮；葛洲坝工程局王政国、杨怀祖；葛洲坝水电厂陈筱珠；葛洲坝船闸管理处刘家栋；然后由编写人员撰写成讨论稿，分送65位有关人士审阅，再由编写人员参考各方审阅意见，对“讨论稿”作了认真的修改，编成本分册。因此，本分册实乃集体合作的产物，谨在此向提供审阅意见的同志们敬致谢忱！

编 者

1988年10月

《葛洲坝工程丛书》

长江水利委员会编委会

编委会主任	曹乐安				
副主任	杨贤溢	文伏波	洪庆余	王家柱	
委员	邵长城	郑守仁	郑允中	陈济生	
	董士鏞	沈克昌	魏璇	赵纯厚	
	陈德基	朱丽如	韩承荣		
总联络员	赵纯厚				

目 录

序

前言

编者的话

绪论

第一章 葛洲坝工程建筑物及其基础安全监测系统的设计要点	6
第一节 安全监测系统的必备条件	10
第二节 量测系统	12
第三节 资料管理系统	16
第二章 主要建筑物及其基础变形量测系统设计	21
第一节 整体联系监测网的设计	22
第二节 基础岩体变形量测系统设计	45
第三节 主要建筑物变形量测系统设计	52
第四节 实施结果与小结	62
第三章 基础渗流量测系统设计	73
第一节 渗流量测系统的总体设计	74
第二节 基础渗流量量测系统设计	78
第三节 基础渗压力量测系统设计	80
第四节 基础渗流水质分析及剪切带演变趋势分析	83
第五节 实施结果与小结	85
第四章 温度及应力状态量测系统设计	90
第一节 温度量测系统设计	90
第二节 应力状态量测系统设计	92
第三节 实施结果与小结	100
第五章 几种重要水流现象监测	107
第六章 自动量测系统的初步探索	112
第一节 自动采集变形监测数据的仪表的研制概况	112
第二节 自动量测扬压力的初步探索	114
第三节 大坝及基础温度、应力和应变仪器的自动检测装置	115
第七章 量测系统的施工及基准值的测定	117
第一节 变形量测系统的施工安装与基准值的确定	117
第二节 渗流量测系统的施工及基准值的确定	127
第三节 温度及应力状态量测系统的施工与基准值测定	130
第八章 监测资料的处理方法	134

第一节	施工阶段中监测资料的处理方法	136
第二节	第一次蓄水阶段中监测资料的处理方法	143
第三节	正常运行阶段的监测资料处理方法	146
第四节	监测资料处理的自动化	151
第九章	监测资料的解释方法	152
第一节	资料解释的目的和途径	152
第二节	施工期和第一次蓄水期监测资料的解释方法	160
第三节	正常运行期的监测资料解释方法	169
第四节	二江泄水闸运行性状及安全度初评	175
第十章	监测资料管理系统	183
结语		189

绪 论

葛洲坝工程是建在长江干流上的第一座水利枢纽，位于三峡出口下游2.3km处，在湖北省宜昌市西郊。

葛洲坝工程全长2606.5m，建筑物布置如图0-1所示，从左至右依次为：

- 1) 左岸土坝连接左岸镇镜山山坡。
- 2) 三江航道及通航建筑物靠航道左岸为三号船闸，中间为6孔冲沙泄洪闸，靠航道右岸为二号船闸。三江航道的上游右侧，顺西坝坝头向水库延伸，修筑了防淤堤，三江航道下游的右侧，沿西坝出庙嘴，进入大江。
- 3) 黄草坝混凝土心墙坝。
- 4) 二江水电站装机容量96.5万kW，共7台机组。厂房上游设有导沙坎，每个机组段设排沙底孔。紧接厂房下游的西坝上，设有220kV开关站。
- 5) 厂、闸导墙顶部设有排漂孔。在下游分隔二江水电站与二江泄水闸。
- 6) 二江泄水闸分为9个闸段，各闸段3孔，共27个泄水孔。
- 7) 闸、厂隔墙（即第二期施工的纵向围堰）设在下游，分隔二江泄水闸与大江水电站。
- 8) 大江水电站装机容量175万kW，共14台机组。厂房上游利用原大江上游横向围堰部分堰体作导沙坎；每个机组段设排沙底孔；利用右安装场坝体，上设排漂孔；下设排沙大底孔；在上游右岸台地上设置500kV开关站。
- 9) 大江航道及通航建筑物紧接大江水电站设一号船闸，航道上游左侧，利用弃渣及特大块石形成防淤堤；下游左侧接船闸建长400m的混凝土导航堤，以下进入大江。
- 10) 泄洪冲沙闸9孔。
- 11) 右岸混凝土挡水坝抵右岸狮子包山梁。

坝顶高程为70m。

设计蓄水位为66m。

全工程分为两期施工：第一期工程建设闸厂隔墙（即纵向围堰）以左原二、三江部位的所有建筑物；第二期工程建设原大江部位的所有建筑物。

本工程主要水工建筑物，除左岸土坝外，全系混凝土重力式结构，一般最大高度约50m（二江厂房最大高度达70m）。船闸及挡水坝段属实体重力式，厂房及闸则为由板、梁、墩、柱组成的重力连续框架式建筑物，本身的刚度都比较大，但二江泄水闸的控制闸门，适应基础不均匀变形的能力较低。

坝址基础岩体为白垩纪红色岩系组成，构造影响轻微；大江左半部以及第一期工程的基础岩体，以岩性比较软弱、岩层较薄、微倾下游的粘土质粉砂岩为主，夹有多层剪切带和粘土类岩层，并有几个由轻微断裂形成的强透水带，是本工程的主要地质问题，特别是

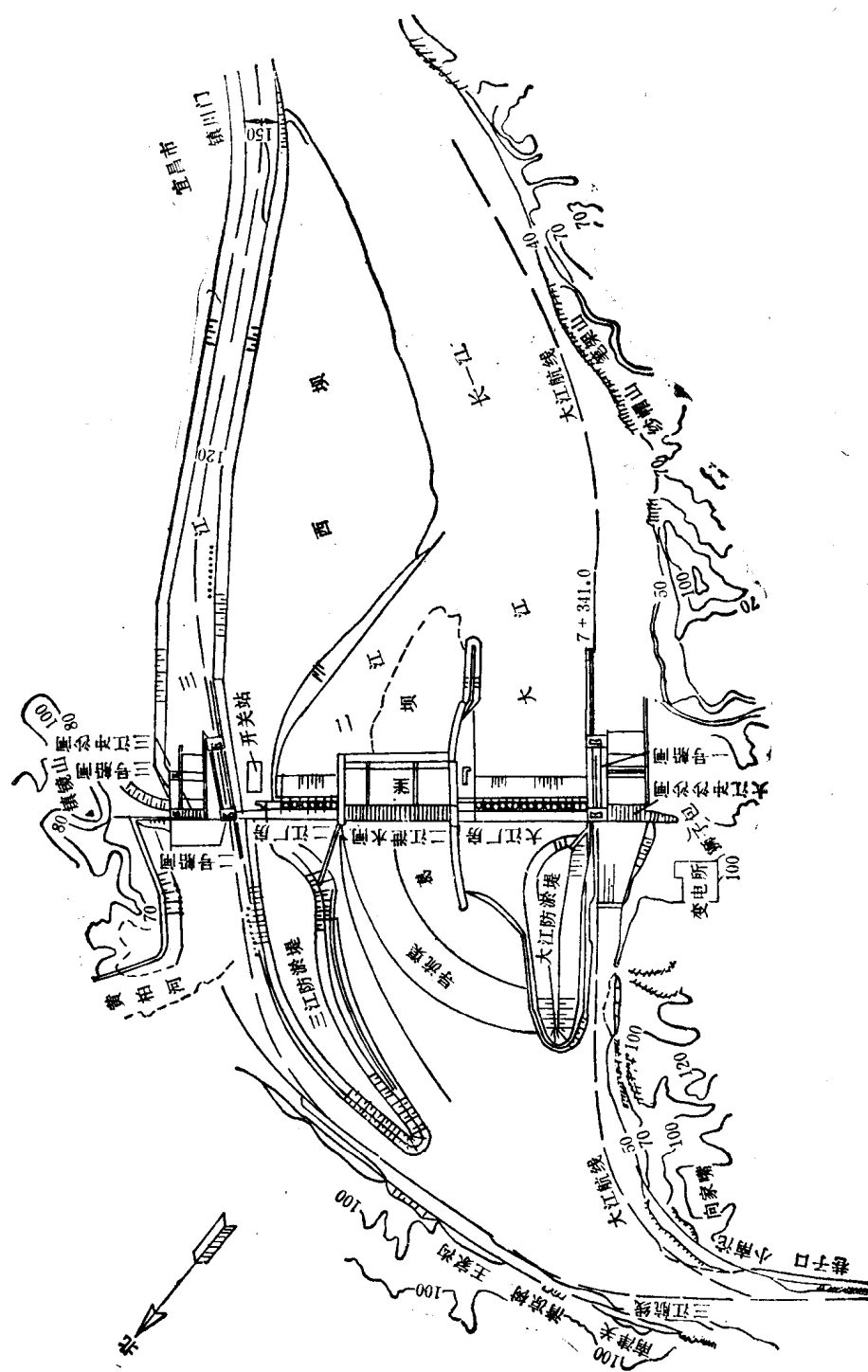


图 0-1 葛洲坝水利枢纽布置平面图

剪切带，它的抗剪能力比较低，在长期渗压水作用下有发生演变趋势，虽经深入的科学试验研究，并在设计上采取了审慎处理措施，但实际效应究竟如何，是个必须在工程运行中予以监测的关键问题；大江右半部基础岩体以强度较高、分层较厚的砾岩为主，它受构造破坏影响相对显著，有几条倾角为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、与河流斜交的小断层穿越局部河段，它们受到溶蚀形成强透水带，也是个主要地质问题；虽然在设计中采取了深层固结灌浆和加强防渗帷幕的处理措施，但在长期运行中，岩体不均匀变形与渗流变化仍是必须予以监测的重大问题。

根据葛洲坝工程的重要性、工程规模、主要建筑物特征以及地质条件，在70年代初的设计初始阶段，我们认识到：为监视工程各主要建筑物及其基础的运行性状，为检验科研和设计对于建筑物及其基础结构的主要性状的预测，为积累在软弱而复杂基础上建坝的经验，供今后水利建设作参考，必须建立一整套安全监测系统。为此，提出设立倒垂点、引张线、精密水准测量等方法，据以观测建筑物的水平位移和垂直位移；在建筑物体内埋设仪表，观测应变、应力、温度以及缝的张合等；在建筑物上游基础廊道内观测排水孔的孔内水位、渗压力和渗流量。在修改初步设计阶段，原水利电力部长江流域规划办公室（以下简称长办，现更名为水利部长江水利委员会）作为设计单位，又进行了以下修改补充工作：邀请国内有经验的专家审议当时称为“大坝外部变形观测”的方案；针对基础岩体的地质条件，提出要对岩体本身的变形和渗水浑浊度、水离子交换的变化、特别是剪切带的可能演变趋势进行监测，并认为应以二江泄水闸为重点进行监测；提出对设计中采用了新技术的部位（如二江泄水闸消力池、弧形闸门预应力支座等），要安排全面监测，特别要着重监测消力池混凝土护坦板与基岩接触面的渗压力变化；提出对设计中曾有争议的局部构件（如二号船闸下闸首底板）的应力分布，作针对性的观测；此外，还从控制运行安全状况考虑，提出观测二江泄水闸消力池水跃水力学及下游冲刷状况等，形成了一套安全监测的计划，它既包括以监测建筑物及其基础安全为主的一般监测项目，也包括了针对葛洲坝工程特殊性的专设监测项目。长办作出了相应的设计交付施工。

自1977年起，长办及国内有关单位，开始研制自动采集监测数据资料的仪器与设备。

1980年底，第一期工程基本建成后，为进一步做好安全监测工作，迫切需要解决以下两方面问题：一方面的的问题是，如何正确地对建筑物及其基础实际安全程度作出评价的问题，也就是如何根据实测的效应量的变化趋势或原因量与效应量的相关关系，来确定建筑物及其基础运行性状的标准；另一方面的的问题是，观测项目繁多，资料数量庞大，整理分析费力费时，难于及时地完成，这涉及扭转国内多年来大坝监测工作不能及时预报可能险情的被动局面问题。为此，开展了探索研究。解决前一方面的问题是从解释实测资料着手来评价建筑物及其基础的安全程度；解决后一方面的问题，则要研究如何合理进行实测资料的处理和管理；解决这两方面问题的工作是互相联系的，其共同点就是要及时采用计算机技术，在比较短的时限内，按序完成数据（实测资料）处理、数据解释（安全度评价）、数据储存一整套的数据（实测资料）管理工作。在开展这项探索工作后不久，通过国际学术会议和与国外科学技术交流、访问，使我们学习到其他国家在大坝安全监测方面的有益经验，对照我们的工作，首先感到这些国家自60年代以来，紧密结合计算技术与计