

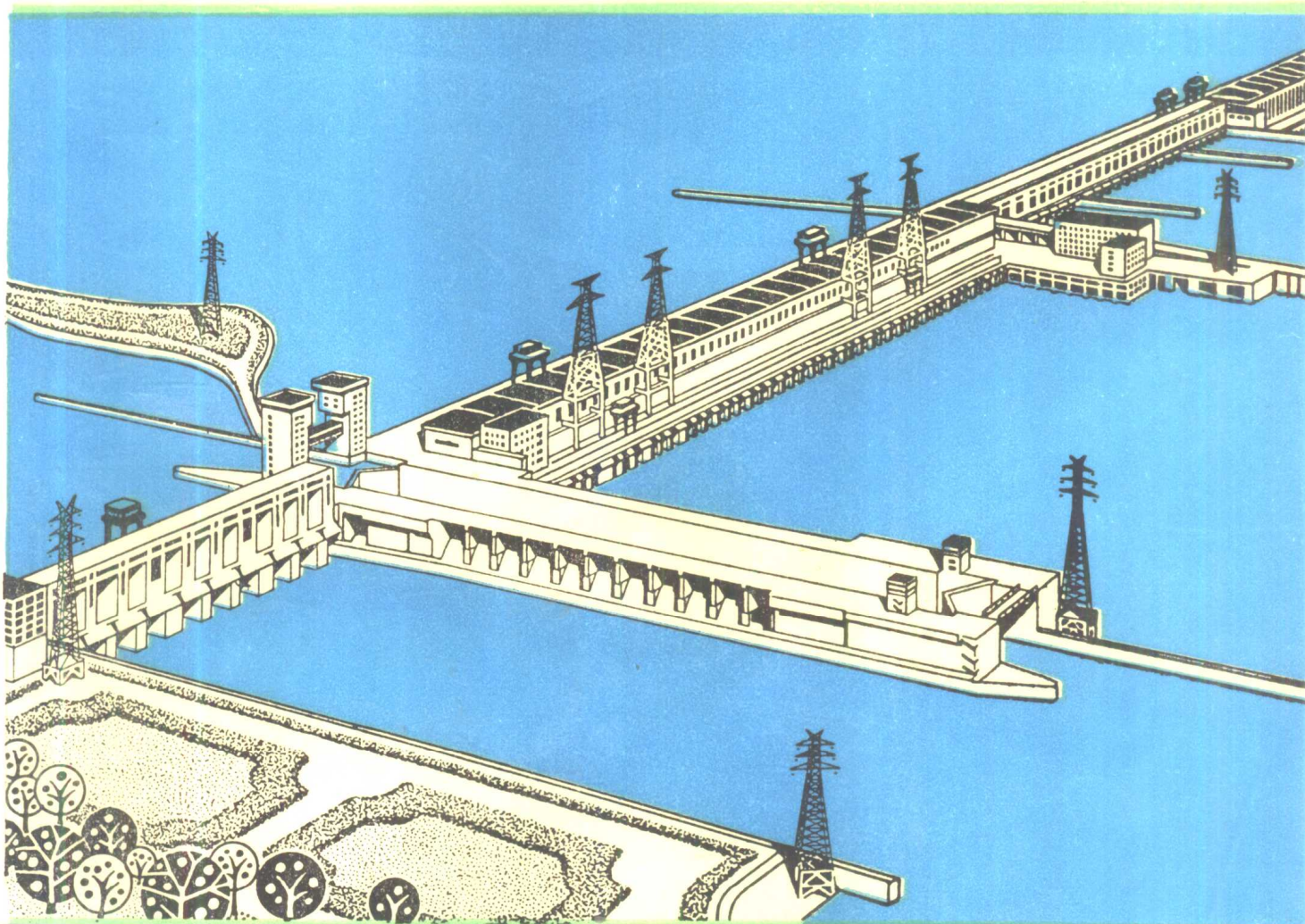
中国水利学会《葛洲坝工程丛书》编辑委员会

葛洲坝工程丛书

3

基础设计与处理

水利部长江水利委员会 曹乐安 主编
张鸣冬 朱文华 副主编



中国水利水电出版社

中国水利学会《葛洲坝工程丛书》编辑委员会

葛洲坝工程丛书

3

基础设计与处理

水利部长江水利委员会 曹乐安 主 编
张鸣冬 朱文华 副主编

中国水利水电出版社

517142

内 容 提 要

本分册共分四章,包括:地质条件、岩体岩土试验研究及力学参数取值的探讨、基础设计与基础处理设计。

书中介绍了葛洲坝水利枢纽工程水工建筑物红层坝基中突出的水文工程地质问题的地质勘探,以及对主要工程地质问题的认识;室内外的岩体岩土力学试验,包括原位大型抗力体试验和剪切带的渗透变形试验,以及泥化夹层在长期渗压水作用下的演变趋势的微观分析和试验研究;建筑物稳定设计中除常规分析外的数学模型计算和地质力学模型试验;以及处理工程的新工艺、新材料的试验研究。重点是以红层坝基中突出的水文工程地质问题的地质勘探、科学试验、基础设计和处理方面的实践为依据编写的。

本书可供从事水利、水电工程基础设计与处理的科研、设计人员和有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础设计与处理/曹乐安主编. —北京:中国水利水电出版社, 1997

(葛洲坝工程丛书; 3)

ISBN 7-80124-471-0

I. 基… I. 曹… III. ①水利枢纽, 葛洲坝-水利工程-基础(工程)-设计②水利枢纽, 葛洲坝-水利工程-地基处理 IV. TV223

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第13749号

书 名	葛洲坝工程丛书 3 基础设计与处理
作 者	水利部长江水利委员会 曹乐安 主 编 张鸣冬 朱文华 副主编
出版、发行 经 售	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 14.25印张 328千字
版 次	1998年4月第一版 1998年4月北京第一次印刷
印 数	0001—1700册
定 价	25.00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 李鹗鼎

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	邵长城
李鹗鼎	沈维义	陈赓仪	杨溢
金炎	罗其华	周坦	岳荣寿
侯广忠	钟梓辉	高雄	曹乐安
曹宏勋	梁应辰	潘家铮	魏廷琿

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

《葛洲坝工程丛书》

长江水利委员会编辑委员会

主任委员 曹乐安

副主任委员 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

董士镛 沈克昌 魏璇 赵纯厚

陈德基 朱丽如 韩承荣

总联络员 赵纯厚(兼)

《基础设计与处理》编撰人

主 编 **曹乐安**

副主编 张鸣冬 **朱文华**

主 审 洪庆余

定 稿 文伏波

各章编撰人和审订人

章 次	编 撰 人	审 订 人
引 言	张鸣冬	洪庆余
第一章	徐瑞春	陈德基
第二章	林伟平 罗淦堂 王幼麟 冯光愈 张鸣冬 李思慎	徐一心
第三章	徐麟祥 龚召熊 王德厚 张鸣冬	邵长城 徐麟祥
第四章	张鸣冬 朱文华	洪庆余

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年末经毛泽东主席批准开始兴建,主要是为解决华中、华东地区用电问题,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2、3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,500 kV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电压技术的应用;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微机资料处理、解积及安全评价系统等。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。

陈贻仪

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》、《水轮发电机组》、《电气》、《施工组织与管理》、《土石方工程施工》、《混凝土工程施工》、《运行与管理》、《工程文献》，平均每册40万字，全套《丛书》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，具有一定的特色，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，都有涉及，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、水利电力部驻葛洲坝代表处、交通部水运规划设计院、机械电子工业部电工局、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

葛洲坝工程是建在长江上的第一座水利枢纽，具有航运、发电等综合效益。水工建筑物基础为下白垩系红层，与建筑物关系密切的地层是石门组上部的砾岩和五龙组下部的薄层砾岩、砂岩、粉砂岩互层，并夹有大量的粘土岩类层。

本工程的首要地质问题是埋藏在地基中的 72 层软弱夹层。就严谨的地学概念而言，软弱夹层系指相对于上下岩层的性状差、强度低的薄夹层，其中，遭受层间剪切作用破坏后遇水成泥的名为泥化夹层。这类泥化夹层从构造角度而言就是（层间）剪切带。本书有关章节中使用此名词时，未按地学定义加以严格区分。这些夹层是与建筑物抗滑安全关系最为密切的不利构造。此外，地基中还分布有多处断层强透水区，由于分布范围广、岩体破碎、透水性强，故不仅存在渗漏问题，而且还涉及到地基的稳固性问题。另外，随着工程的兴建，改变了地基的天然状况，随之出现的卸荷回弹以及开挖爆破等影响，导致表层建基岩体形成具有一定深度的“松动层”；深挖基坑后由于地应力释放和调整，致使高边坡岩体沿剪切带发生较大的水平变形等问题。葛洲坝工程地基的水文工程地质条件极为复杂。

1970 年工程开工后所暴露的地基实际情况表明：地基的水文工程地质条件，不论其性状、分布范围、岩体的强度特性、透水性的大小等，均变化多端，十分复杂，给基础设计和处理工作增加了复杂性和困难性，成为葛洲坝工程建设中几个重大技术难题之一。

1972 年修改初步设计工作开展以后，在葛洲坝工程技术委员会的领导下，长江水利委员会有关勘察、科研和设计部门全力以赴，并和有关的地质科研部门、高等院校大力协作，采取补充勘探，开展了室内外的岩体岩土力学试验，包括原位大型抗力体试验和剪切带的渗透变形试验，以及泥化夹层在长期渗压水作用下的演变趋势的微观分析和试验研究；对建筑物的稳定设计除进行常规分析外，还建立数学模型计算和物理模型试验；同时开展处理工程的新工艺、新材料的试验研究。这些工作大都是在 70 年代进行的，很多试验研究项目，当时在国内是处于领先水平的，有的达到国际水平，从而使处理设计达到先进的技术水平。就目前情况来看，某些试验研究项目仍处于先进水平，如抗力岩体的变形和破坏机制的研究和处理、泥化夹层演变趋势的微观分析研究以及大面积封闭护坦的设计等。

通过大量的基础监测资料的反馈分析，以及工程运行近 10 年后的安全检查，证实处理设计是成功的，建筑物基础的安全是有保证的。

本书作为《葛洲坝工程丛书》的一个分册，重点是以红层坝基中突出的水文工程地质问题的地质勘探、科学试验、基础设计与处理方面的实践为依据编写的，力图将实践中的感性认识提高到理性认识，从而使红层岩基建坝的基础设计和处理的认识水平和理论水平有所提高。

本分册由长江水利委员会主编。主编曹乐安、副主编张鸣冬、朱文华。编写人员：第一章：徐瑞春；第二章：林伟平、罗淦堂、王幼麟、冯光愈、张鸣冬、李思慎；第三章：徐麟祥、龚召熊、王德厚、张鸣冬；第四章：张鸣冬、朱文华。讨论稿撰写后分送有关同志

审阅，并根据审阅意见，进行了修改。

本分册由《葛洲坝工程丛书》长江水利委员会编辑委员会组织有关编委和专家进行审稿，由编委会副主任委员、长委会技术委员会副主任洪庆余主审，参加审稿的编委和专家有：邵长城、董士镛、徐一心、陈德基、徐麟祥、赵纯厚等。根据审稿意见再次修改补充，最后由中国水利学会《葛洲坝工程丛书》编辑委员会委员、中国工程院院士、长委会技术委员会主任文伏波定稿。因此，本分册是集体合作的产物，谨在此对审稿的编委和专家，以及提供资料和协助工作的同志们敬致谢忱。限于丛书编写的有关规定，本书各章中大量采用的内部刊物、报告书和资料等文献未能列出，谨向有关单位和人员深表歉意，并请见谅！

最后，我们以沉痛的心情悼念已故的《葛洲坝工程丛书》编辑委员会委员、本书主编、国家级设计大师、长江水利委员会技术顾问曹乐安，已故的副主编、高级工程师朱文华！两位生前不仅领导和参与了葛洲坝工程基础设计与处理工作，并对本分册的提纲编拟、各章节主要内容的确定以及部分初稿的审阅等，耗费了大量精力，付出了辛勤劳动。本分册的出版，乃是两位工作的继续，并得以实现了他们生前的宿愿。

限于编者水平，书中定有不少错误缺点，疏漏之处在所难免，衷心希望读者予以批评指正。

编 者

1994年6月

目 录

序	
前言	
编者的话	
引 言	1
第一章 地质条件	6
第一节 地质勘察工作概述	6
第二节 地质环境	7
第三节 坝址岩体基本条件	18
第四节 主要工程地质问题	23
第二章 岩体岩土力学试验研究及力学参数取值的分析	46
第一节 岩石的物理力学性质	47
第二节 岩体的强度特性	50
第三节 岩体变形特性	60
第四节 岩体的抗力试验	65
第五节 剪切带抗剪强度及变形试验研究	72
第六节 剪切带渗透性及演变趋势试验研究	93
第七节 二江泄水闸基础渗流状态的研究	115
第三章 基础设计	124
第一节 二江泄水闸基础设计工作	124
第二节 基础设计应用的稳定分析方法	126
第三节 抗滑稳定安全度分析	151
第四节 沉陷分析	155
第五节 “抗力体”对建筑物抗滑稳定的重要作用及其加固处理设计	157
第六节 护坦抗浮稳定分析	159
第四章 基础处理设计	162
第一节 基础加固设计	162
第二节 基础渗流控制工程设计	168
第三节 特殊处理设计	180
参考文献	214

引 言

葛洲坝水利枢纽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,承受最大作用水头为 27m。由于红层岩基中存在着复杂的水文地质、工程地质问题,常规的基础设计与处理难以保证建筑物的安全运行,致使基础设计与处理成为工程建筑中几个重大技术难题之一。

突出的地质问题是控制建筑物抗滑稳定的泥化剪切带这一不利构造;其次是岩体破碎、分布面广、透水性强且影响地基稳固性的断层强透水区;另外尚存在有岩体卸荷回弹、地应力释放、粘土岩类岩石的快速风化等多互层、多夹层的平缓红层岩体的工程地质特性所带来的与工程直接有关的工程地质问题。

勘察部门为查明工程开工后所暴露的地质问题,通过补充地质测绘、平硐、坑槽、小口径和大口径($\Phi=1000\text{mm}$ 和 $\Phi=2000\text{mm}$)钻进和孔内彩电、综合测井等综合勘探手段,全部查明了与基础有关的 72 层软弱夹层的空间分布。同时根据红层的特点,研究了红层地区的某些“结构模式”,对红层基础中出现的一些特殊工程地质问题,如深挖基坑而导致地应力的重新调整对岩体的损伤问题,作出地学上的解释。采用大口径勘探、群孔抽水试验、地下水连通试验和绘制钻孔异常点的散点图等措施和手段,查明断层强透水区的空间分布范围及其形成的原因,进而作出全面的水文工程地质评价。对于因卸荷回弹而导致沿层面、软弱夹层、缓倾角断层的拉开而形成的表层“松动层”,查明其主要原因是各种缓倾角结构面的松弛脱开,是卸荷回弹的主要形式;此外,尚有爆破以及干湿交替和气温变化等风化因素的影响,通过大量观测资料的分析,基本得出了平缓红层的岩体卸荷回弹与深度的趋势关系。总之,通过补充勘探和施工期的地质调研、测绘,对红层地基水文工程地质条件的认识,取得了突破性的成就,为科学试验和基础处理提供了扎实可靠的依据。

在进行补充地勘工作的同时,还开展了规模巨大、类型齐全的科学试验和理论研究工作。在岩体、岩土强度的特性试验研究方面,开展了大量的现场与室内、大中小型试件、动态与静态测试相结合,以及特大型原位岩体力学试验,取得了大量精确可靠的科学数据,其中如通过三轴试验研究有旁侧压力下的岩体变形、强度特性和破坏机制所获得的研究成果,代表了当时的先进水平。

对剪切带的结构和性状,使用 X 射线分析、差热分析、偏光显微镜、电子显微镜、扫描电子显微镜鉴定它的矿物组成和微观结构,从而了解了剪切带的水理、物理、化学性质;通过室内土工试验和现场原位岩基试验,采用常规剪、反复剪、三轴剪、流变剪、振动剪、重复加荷卸荷剪等各种试验方法获得了剪切带的各特征点的抗剪强度参数,为建筑物基础设计合理采用设计参数提供了依据。由于泥化带具有含水量高、容重低、强度弱等不良特性,水库蓄水后,在地下水作用下的各种平衡状态(物理的、化学的以及物理化学的)必将受到破坏,同时渗流控制处理设计中所采取的排水减压措施,又局部地恶化了基础的渗流状态,由此剪切带是否会发生渗透变形(破坏),不论其理论研究还是在试验方法,当时

可资借鉴的成果均不多见。为此,除进行室内试验研究外,在现场作了大型(辐射流、平行流法)的渗透破坏试验,以了解剪切带的渗透稳定性能,确定不同剪切带的渗透破坏坡降。另外,由于粘土岩、粉砂质粘土岩的水理性差,对水的作用异常敏感,为探讨相应部位的剪切带在长期渗压水作用下的演变趋势,作了系统的专门试验研究,得出:泥化带在钙型长江水作为地下水补给来源的条件下,节理带是难以“泥化”的;劈理带在渗压水的长期作用下可以泥化,其力学强度也将相应有所降低;泥化带的性状不会进一步恶化,强度略有升高的趋势。这些有理论依据的结论和数据的获得,不仅消除了当时人们担心和置疑的问题,同时为基础设计提供了可靠数据。总之,对剪切带所进行的宏观、微观相结合、多学科相结合的试验研究方法,在当时是处于领先地位的,如剪切带原位抗力体试验,其规模(长 $\times$ 宽 $\times$ 高=11.65m $\times$ 1.70m $\times$ 2.35m)超过当时西班牙梅基南萨大坝所做的试验(10.0m $\times$ 1.5m $\times$ 1.5m)。更重要的是通过试验,既弄清了变形机制,又获得如何利用岩体抗力和适宜加固抗力体的理论依据;剪切带的渗透变形(破坏)现场试验和剪切带在长期渗压水作用下演变趋势的试验研究成果,这不仅在当时处于领先地位,就目前来说,对解决剪切带水文工程地质缺陷的研究方法和理论研究,仍具有较高价值和现实意义。

在基础设计和处理方面,需予研究解决的问题是很多的,沿基岩内部层间剪切带的抗滑稳定,是葛洲坝工程基础设计的一个首要问题。若用通常采用的刚体极限平衡法,难以正确表示出其安全系数。因此,又利用当时国内刚刚兴起的有限单元法及物理模型试验,综合研究了这一深层滑动稳定问题。在充分研究了岩基试验成果的基础上,提出了以流变强度(或残余强度)作为设计参数取值的依据。尾岩抗力是深层滑动中客观存在的阻滑力,为了不使建筑物变形过大,抗滑设计中应恰当利用抗力,此值一般以选择在弹性变形阶段为宜,对于部分较为软弱的尾岩则应采取锚桩加固措施,提高其抗滑能力。对于滑动安全系数不能满足要求的建筑部位,以二江泄水闸为例,共研究了四种阻滑加固措施,从施工方便、措施安全可靠出发,最后选用了防渗板加齿墙的处理方案。综合分析了计算与模型试验成果,二江泄水闸的抗滑稳定安全数可达到2.0以上。

对于断层强透水区的处理设计,如果单纯地按基岩透水性指标作为处理设计标准,则处理工程量大、工期长,对工程进度有较大影响。为此,在强透水区地质特性查明的条件下,从设计思路进行分析研究,即是采用经验设计法还是采用有限元计算分析的优化设计法进行处理设计。所谓优化设计,概言之,是将建筑物和基础视作整体联合作用,通过有限元计算分析研究处理效果反映在基础应力、变形状态变化的影响程度。通过定量分析,从而选定合适的处理方案。大江电厂17~20号机组范围内的断层强透水区,其面积达 $1.05 \times 10^4 \text{m}^2$ 。采用这种优化加固设计方法后,处理设计方案由常规采用的较小孔排距、深孔固结灌浆(深度按岩体透水性指标确定)加固方案,改变成了较大孔排距,有限深度的固结灌浆加固方案,既满足了阻渗又提高了地基稳固性,同时在施工工艺方面也提出了相应配套的技术要求和标准。达到满足设计要求、节省工程量、有利工程进展的较为理想的加固处理方案,取得了较好效果。

二江泄水闸是葛洲坝水利枢纽的主要泄洪建筑物,下游设置的平底消力池,其面积近 $9 \times 10^4 \text{m}^2$ 。泄洪运用频繁,加以基础地质条件复杂,合理地选定护坦板的抗浮结构方案极为重要,设计最终采用封闭护坦及廊道暗沟抽水排水的结构型式。封闭抽排护坦在水工建筑

物设计中是较为常用的一种结构型式，但像葛洲坝工程这样的规模和复杂地质条件下采用实属罕见，关键问题是如何保证抽排效果。“千里金堤溃于一穴”的这类忧虑，不是没有根据，而是确实应予慎重对待的。通过分析论证，在确保封闭防渗效果的前提下，充分利用在建筑物布置上分隔成若干区的有利条件，在纵横分布的基础廊道内设置封闭、辅助排水设施，结合护坦板下的排水暗沟，充分发挥平面和空间分布的排水体系的降压效果，同时对基底扬压力的计算通过三向电拟试验验证，证实护坦板的抗浮稳定是有保证的。

为防止软弱剪切带可能出现的渗透变形（破坏），设计了在水利工程中首次采用以土工织物为主体的组装式“过滤体”，代替惯用的砂砾料反滤层，既利施工，又便于检修维护。目前在水利工程中已得到推广使用，并有所改进和完善。

以上简要地阐述了葛洲坝工程基础设计与处理工作在地质勘探、科学试验研究和设计方面的一些主要内容和成就。这些成就的取得是经历了实践，认识，再实践，再认识的过程。本分册将在各章节中加以论述。

工程运行后的实际处理效果，各建筑物经历了第一期工程挡水（1981年6月），第二期工程挡水（1986年1月），及运行近10年后的大坝安全检查，通过监测基础工作条件的监测设施获得的资料，反馈分析表明：葛洲坝工程基础运行状态是正常的，安全裕度是足够的，从下述资料可得到证实：

1) 基岩岩体垂直位移量，以二江泄水闸一闸段（地质条件最差）与六闸段（地质条件较好）为例，截止1987年2月，一闸段闸首基础廊道底板处的绝对垂直位移量为 -23.85mm ；闸尾廊道底板处的绝对垂直位移量为 -32.33mm （均顾及廊道形成前的垂直位移量和工作基点的垂直位移量）。六闸段相应部位处的廊道底板绝对垂直位移量分别为 -19.04mm 和 -21.79mm （“ $-$ ”号的垂直位移量表示下沉量）。

2) 基础岩体的水平位移量，自冲砂闸至纵向围堰的各建筑物底部的水平位移量很小。可以推知：自倒垂点锚固处至基础廊道底板之间的岩体的水平位移量将比基础廊道底板上的倒垂观测墩处的水平位移量更微小，可以说基础岩体是稳定的。

202号剪切带的实测资料表明没有发生错位滑动的迹象。

3) 各建筑物部位的基础渗流量总的说来都很小，出水孔数主要分布在断层强渗水区、砾岩、砂岩等透水性较强的地段。建筑物均在安全状态下运行。以二江泄水闸为例，除蓄水初期曾达 11L/min 外，1982年以后基本稳定在 5L/min 以下，其中护坦区与闸室区的渗流量大致持平，其各自的总量变化在 $1\sim 2\text{L/min}$ 范围内，排水暗沟的渗流量大致为 $0.2\sim 0.5\text{L/min}$ ，远比设计预计量要小。

各建筑物部位实测的渗压力值均小于（或远小于）设计值。以二江泄水闸为例，帷幕前的渗压值一般都较高，与设计值较接近，这反映了防渗帷幕的效果。分布在排水区内的测点测值，高出廊道底板 1m 以上的仅占测点总数的 15% ，其余测点处的渗压力基本没有变化或变化很小。较高测值点主要分布在断层和剪切带为主的强渗水区部位。整个闸基为一有压一无压渗流场。

4) 基础排水孔的渗出水水质监测分析表明：水的化学类型为钠型水，渗透水对混凝土基本无侵蚀性。比较渗出水与长江水的特性， Ca 、 Mg 型的长江水经渗透后变成了 Na 型水，且硬度降低，可见江水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子置换了基础中的 Na^{+} 离子。这与室内研究的结

论是一致的，即剪切带的力学特性不会恶化。

排水孔中目前尚未发现机械、化学管涌迹象。采用的丙凝化学浆材基本上是稳定的。

5) 采用的组装式“过滤体”的主要原材料，在运用了 10 余年后进行了起拔检查，经各种测试检验，表明“过滤体”起到了一定的保护作用，工作状态良好，虽主要材料有不同程度的老化现象，但目前的剩余强度还能保证其正常工作，其老化速度会减缓。因此，排水孔内的“过滤体”可以继续延长其使用年限。这就为当时对“过滤体”的效果和寿命的置疑问题提供了依据。

以上资料详见丛书第七分册——《建筑物及其基础的安全监测》和《葛洲坝水利枢纽二、三江工程设计复查报告》。

综上所述，葛洲坝工程基础设计与处理取得了良好效果，保证了基础的安全运行。

通过葛洲坝工程基础设计与处理工作的实践，加深了对以下几个问题的认识：

1) 基础设计与处理工作，不是一个孤立的、单纯的设计工作，它是由地质勘察、科学试验研究和处理设计三方面组成的系统工程。各个专业在这个系统中发挥各自的特长，勘察工作取得的资料，科学试验获得的成果，是做好处理设计的有力保证。三者相辅相成，互相渗透，从而使这一认识自然、改造自然的建设工程取得了较好的效果。

2) 基础设计与处理工作又是一个群体的、大协作的产物。它既有勘察、科研和设计单位内部的协作；又有社会性的协作，即是依靠有关的科研单位和高等院校的技术优势，攻克关键性的技术课题，使设计工作在理论上、技术上始终处于优势地位；更不可缺少的是与施工部门的协作，基础处理属隐蔽性工程，处理的效果是否符合客观实际，首先是通过施工实践的第一手资料体现出来，加以分析判断后，及时作出必要的调整、优化。由此可见，只有在各方协作的基础上，方能使处理设计获得预期的效果。

3) 科学、合理地选用有关设计参数，是保证做好处理设计的前提。例如葛洲坝工程基础设计中如何合适地采用剪切带的抗剪强度指标，考虑到水工建筑物是百年大计、千年大计的工程，而剪切带又是影响建筑物安全的主要因素，为此，对剪切带的力学强度应考虑其时间效益；加以剪切带与围岩两者的物理力学性质的差异较大，故联合受力较为复杂。通过这样的分析认识，对剪切带的力学指标采用其流变强度较为合适，以与蓄水后的基础工作条件相适应，各种数据的采用都很慎重可靠。二江泄水闸基础采用综合措施后的抗滑稳定安全系数 K 值仍只为 1.1~1.3，考虑 c 值及其他有利因素后的 K 值亦只有 2 左右，但从运行后的观测资料表明，情况正常、良好，建筑物安全是有保证的。

4) 根据葛洲坝工程基础地质条件的复杂多变，对基础处理的标准和采用的措施，既有统一的准则和要求，但又不是以同一模式实施的，而是随着工程的进展，结合现场实际地质条件和大量施工资料的反馈分析，及时调整、优化处理设计，乃是一个极为重要的环节，从而保证了处理的效果和质量，又可避免不必要的浪费。葛洲坝工程渗流控制防渗灌浆帷幕的形成，即是一个较具成效的佐证。它最终形成一道由天然相对不透水岩体和经灌浆处理后的相对不透水岩体共同组成的防渗帷幕。因此，在各不同地质特征部位采用的设计参数、浆材、工艺措施等是不尽相同的。通过监测资料分析，是起到了设计预期的防渗帷幕作用。

5) 对于象葛洲坝工程这样一个软硬相间的、由多种岩性组成的、多层面、多层间剪切

带的层状结构岩体基础，而层间剪切带又是对建筑物安全关系最为密切的不利构造，对建筑物抗滑稳定设计，采用何种计算方法较为合适，有待探讨。通过葛洲坝工程的计算和试验工作，建议在安全度的有限元计算中，剪切带的抗剪强度采用流变强度，基岩采用残余强度，安全系数在计算中应以强度储备（降低力学指标）及允许位移量，两者来综合论证。并希望主管部门在有关的坝工程设计规范中作出补充规定，供设计人员遵循。

这些认识难免失之偏颇，在此提出切望与同行切磋，共同为我国水利水电工程基础设计与处理水平的提高而努力！