

红层与大坝

徐瑞春 著



中国地质大学出版社

红层与大坝

徐瑞春 著



中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

红层与大坝/徐瑞春著. —武汉:中国地质大学出版社,2003.11
ISBN 7-5625-1806-8

I. 红…
II. 徐…
III. 红层-地质研究
IV. P64

红层与大坝

徐瑞春 著

责任编辑:贾晓青

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87483101 传真:87481537 E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:304千字 印张:11.875 插页:2 图版:26

版次:2003年11月第1版

印次:2003年11月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—600册

ISBN 7-5625-1806-6/P·603

定价:68.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

对红层坝基中的水文地质与工程地质问题研究，我们经历了漫长的实践和认识过程。我国幅员辽阔，红层出露面积约有 46 万 km^2 ，是在大江大河上兴建水利水电枢纽工程中常遇见的一种坝基岩体。新中国成立以来我们在红层坝基岩体上成功地建设了一批水利水电枢纽工程，大量的工程实践使我们积累了丰富的在红层上建坝的经验，特别是通过葛洲坝工程的建设 and 取得的重大成功，现在我们不再只是停留在认识红层一般的工程地质问题上，而是能够解决红层坝基出现的各类地质问题。对红层中剪切带问题的研究，从建造—改造、从宏观—微观、从现象—本质、从定性—定量、从现状—未来等几个方面都有了一套系统而完整的勘察和科学研究方法，并取得了重要成果。在通过对红层沉积相的研究寻求软弱夹层的沉积条件及形成规律与生成类型等方面已有了重要的进展。对剪切带的勘探，在葛洲坝工程中采用了大口径勘探和孔内彩色电视观察与录像、综合测井等物探手段，取得了非常满意的信息。葛洲坝工程坝基岩体中与大坝深层抗滑稳定有关的 72 层剪切带多数是大口径钻孔揭示出来的。

构造问题是红层坝基中的一个重要的基础地质问题，根据我国红层的特点，已经找出了某些红层地区的“构造模式”。对红层坝基中出现的一些特殊的工程地质问题，诸如红层中大都不同程度存在易溶盐类的问题，易溶盐的被溶滤，不仅可以直接破坏岩体结构，降低岩体总体强度，增大岩体的透水性，还必将导致对环境水的污染而直接对大坝混凝土和帷幕以及金属构件等产生化学破坏，在这方面通过大量的工程实践，已有了很深入的科学研究，并有了很成熟的工程处理办法。又如深挖基坑导致地应力的重新调整对岩体的损伤问题，在葛洲坝工程建设中成功地解决了这一地质问题，且能在水工结构上采取相应的措施。早在 20 世纪 60 年代，我们就已建立了红层库岸的最终与近期塌岸的预测方法，尽管这些方法还不完善，但在解决塌岸预测问题上，已是一个重要的起步。对于粘土岩类岩石中的“微岩溶”（或称“假喀斯特”现象）问题，从建坝角度看，可构成强烈的坝基及绕坝渗漏，但从另一个角度来看，红层中的“微岩溶”现象，又成为红层中粘土岩类岩层的特殊的富水层，并使其为工农业服务。

葛洲坝工程中完成了超巨型的野外大型抗力体破坏试验，试件尺寸达

11.5m×1.7m×2.35m (长×宽×高) 超过当时西班牙梅基南萨大坝所做的试验 (10.0m×1.5m×1.5m), 并能监测到从颗粒间损伤起到岩体破坏止的全过程, 监测手段系统完善, 取得了非常宝贵的红层岩体的综合强度成果, 也是一次大型的岩体力学破坏机理试验。作者还广泛地收集了国内不同地域红层岩石的物理力学性质参数的大量数据, 并对可能影响强度参数的因素做了分析。在卸荷回弹与沉陷、渗透变形、强透水带的勘探研究与处理、抗滑稳定分析、抗力体的利用、基础处理设计、渗控工程及施工地质等各个方面, 都有了重要的科学研究成果, 并能在工程实践中得以广泛的应用。

徐瑞春同志具有多年在红层坝址工作的经验, 早期他主持了岷江偏窗子和涪江武都红层坝址的勘察工作, 20 世纪 70 年代至 80 年代中期他参加并主持了葛洲坝工程的地质勘察工作, 撰写《红层与大坝》这本书是他在 20 世纪 80 年代中期以来就有的想法, 为此, 他还考察了我国多个重要而又有代表性的红层坝址, 并广泛地收集了世界有关红层坝址建坝实例的资料, 该书通论中全面地介绍并论述了国内外在红层地区建坝的典型事件, 这些坝工事件有着重要的警示作用。

徐瑞春同志终于完成了这部著作, 我向他表示祝贺!

我国西部大开发第一批重点工程中的宁夏黄河干流上的沙波头水利水电枢纽工程不仅有红层问题, 还有老地层的软岩—极软岩问题, 有岩体的深风化问题, 有力学参数的取值问题, 有易溶盐与环境水问题, 有地应力问题和地基长期运行是否会发生坝基岩体变异问题等, 集红层与软岩地基建坝的众多不利因素于一体, 是一个挑战性工程; 小浪底水利枢纽配套工程——西霞院反调节水库大坝地基为新第三纪洛阳组红层, 岩石强度极低, 呈软岩硬土状; 还有较多的红层坝址待我们去勘察研究。这部书的出版发行无疑是很有价值的, 他对解决我国红层与软岩地区建坝的水文地质与工程地质问题, 对加快水电建设的勘察周期有重要的指导和启示作用, 也是我国水利水电工程地质工作者在红层与软岩和有易溶盐地区建坝的一部有益的参考文献。

国际工程地质学会主席
中国工程院院士

王思敬

2003 年 3 月

自序

红层是国内外建坝史上出现问题最多的一种坝基岩体类型。据报道,在国外因坝基问题而失事的 13 座重力坝中,竟有 9 座是发生在红层地区。在我国,红层发育广泛,并成为水利水电工程建设中经常遇见的一种坝基岩体,而在红层上建坝所引发的工程事件屡见不鲜。大量的工程实践充分说明在红层地区建坝具有复杂的工程地质学问题,从而引起了国内外工程界对在红层地区建坝的广泛关注。

早年笔者曾主持过几个红层坝址的勘察工作,到了 20 世纪 70 年代初期,又有幸参与并主持了长江上第一座大坝——葛洲坝水利水电枢纽工程地质勘察工作。通过这些工程特别是葛洲坝水利水电工程的实践,使笔者得到了一次在红层地区建坝的全面锻炼,并积累了较为丰富的在红层上建坝的经验,并且已经逐步形成了一套关于解决红层坝基问题的行之有效的理论和方法体系。

葛洲坝水利水电枢纽工程,坝基岩体是白垩系的红层,岩层走向与河流流向近于一致,倾角平缓($6^{\circ}\sim 8^{\circ}$)且微倾下游,大坝直接跨越坝基所有的地层。坝基岩体以紫红色粘土质粉砂岩为主,总体上属于软岩,且坝基岩体中存在大量的剪切带。因此,坝后地基的抗冲刷问题和大坝的抗滑稳定问题十分突出。工程的消能防冲与大坝地基抗滑稳定处理设计成为葛洲坝工程建设中必须首要解决的重大技术课题,为解决这两个重大的工程技术问题必须首先解决好所涉及的关键工程地质学问题,即软岩和剪切带的工程地质问题。为此,1973 年成立了由长江流域规划办公室(现长江水利委员会)牵头、中国科学院地质研究所、长江科学院、贵阳地球化学研究所、武汉岩土力学研究所等单位参加的“软弱夹层”(本书中称之为“剪切带”)专门研究小组。这个研究小组共同工作了四年之久,笔者作为其中的成员,一直参与了研究的全过程。对剪切带的研究可归纳为五个方面:从建造到改造、从宏观到微观、从定性到定量、从现象到本质、从现状到未来等,系统、完整地解决了红层中剪切带的有关地质学与工程问题。对我国水利水电工程地质勘察研究剪切带问题起了先导和推动作用。也正是由于在勘察期间将坝基岩体中 72 层层间剪切带全部查出,并能基本查明其性状,每一层间剪切带都单独建立技术档案,并创造了一系列的表达每一层剪切带的图件,为坝基处理提供了可靠的科学依据。所以葛洲坝工程大坝全长 2 606.5m,并不是同一个模式的基础处理。根据层间剪切带的性状与空间分布特点,采取与之相适应的地基处理,工程效果十分显著。

在这里笔者要特别指出的是,有些红层坝基并不由剪切带控制,特别是某些地区的第三

系红层，由于岩性均一，又少受地质构造作用，岩体中不发育甚至没有剪切带，但由于岩体多属软岩—极软岩，对这类岩体的研究，也完全可以借鉴葛洲坝工程对剪切带的研究方法和研究内容。此外，在整个工程建设中，还不断地思索和解决红层中的其他地质学问题和与之有关的工程问题，也都取得了重要成果，如红层的建造问题即红层沉积相的研究，初步建立了软弱夹层的沉积规律；构建了红层中的构造模式；建立了回弹—沉陷反馈红层地基性状的地质模型；对因深挖基坑引起地应力释放对岩体的损伤以及红层中特殊的强透水岩体的发育特征等均做出了地学上的科学解释，为工程建设者做出正确的处理措施提供了科学依据。在这期间，笔者先后发表了十余篇有关红层方面的论文，并于20世纪80年代末撰写了一篇题为《红层与大坝》的文章，但因篇幅过长，发表时不得不做了大量的压缩。在葛洲坝工程竣工后由笔者主编竣工地质报告期间，又开始对《红层与大坝》一文进行了全面、系统的修改和补充，力图使其更加完善。基于笔者在这方面的研究积累，又有着较为丰富的实践经验，因此，同行们竭力鼓励我将《红层与大坝》一文撰写成一部专著。从目前笔者掌握的信息看，我国今后10~20年内还将有很多的红层坝址待我们去勘察、研究和建设大坝，为此笔者采纳了同行们的建议，开始着手撰写《红层与大坝》的专著，但在撰写过程中，却发现自己曾经主持过的几个红层坝址的勘测工作（包括葛洲坝这样的大型工程）并没有囊括红层建坝可能出现的所有的工程地质问题。于是，笔者开始考虑应在力所能及的范围内尽力收集国内外在红层地区建设大坝的有关资料和文献。与此同时，笔者还有目的地相继考察了国内十几座在红层地区建设的大坝或红层坝址：黄河干流上的盐锅峡、八盘峡电站，青海西宁市北山寺引水式电站，新疆雅尔乃孜水库大坝，安徽纪村引水式电站，湖北汉江王甫洲水利枢纽工程，湖北巩河水库以及黄河小浪底工程和沙坡头工程、西霞院坝址等。从这些工程中，笔者对在葛洲坝工程红层坝址未曾出现的其他红层坝址的地质问题也有了较为系统的了解，为进一步深入研究“红层与大坝”问题提供了有益的启示。但同时也发现，葛洲坝工程红层坝基涉及问题之多、研究程度之深是国内其他工程所不及的。因而葛洲坝红层坝基的研究可以作为我国红层地区建坝的代表。但即便如此，笔者并非要将《红层与大坝》写成一部研究葛洲坝工程坝基红层的专著。经过慎重考虑并征求同行们的意见，将《红层与大坝》一书在结构上分成上、下两篇。上篇为通论，共有七章，即论述红层坝址所涉及的共性问题，在通论中还特别写了国内外大量的红层坝址的坝工事件，从这些事件中不仅地质人员，就是设计人员均可得到警示和借鉴；下篇为葛洲坝工程的专论，有六章，主要选择葛洲坝工程红层坝基出现的具有代表性的专门地质问题，进行系统和深入的剖析和论证。

本书遵循的一个重要的宗旨就是要体现理论与实践的密切结合，即本书具有很强的实用性。书中研究和论证的内容主要是来自工程实践中所经常遇到的红层地质问题以及所带来的相应的工程地质问题，体现了笔者是长期工作在水利水电建设的现场，亲自去观察、去研究问题。现场和实践是产生灵感的源泉，要有很强的工程概念，又要有更强的对专业负责的责

任感,地质工作在水利水电工程建设中,总是处于工程“主心骨”的地位,所以在工程建设中地质工程师反应要敏感,要有很强的解决工程建设中出现地质问题的能力,特别是要处理好地质与工程、地质与设计相结合的问题。在工程地质勘察中,还要能认真地思索、研究和总结国内外红层坝址出现的大大小小的工程事件及其教训,从而寻求有益的启事,避免重蹈覆辙。笔者衷心希望本书的出版,能够为今后从事红层大坝工程建设的工程技术人员提供参考。

在本书撰写的初期以及整个撰写过程中,曾得到我所尊重的文伏波院士、曹乐安设计大师、王思敬院士和葛修润院士的支持和鼓励,王思敬院士还为本书作了序,在此,笔者谨向他们表示衷心的感谢。笔者还要感谢石伯勋、李广成、王世梅、司富安、杨火平、严福章和简文星等我的一大批年轻朋友,是他们给了我很多具体的帮助和精神上的鼓励。此外,还应说明的是,书中引用了一些尚未刊登的资料,因未公开发表而不能列于参考文献中,在此,也向拥有这些资料的单位和个人深表歉意,并请见谅。书中有些问题的论述或认识难免失之偏颇,切望与同行切磋,其目的就是为提高我国在红层坝基勘察工作的水平,尽可能避免出现重大的红层坝工事件。

限于笔者水平,书中定有不少错误缺点,疏漏之处在所难免,衷心希望同行批评指正。

红层不仅是建设大坝常遇见的一种岩体类型,由于红层岩体的特殊性,在红层出露地区还常形成一些奇特的地貌景观,具有很高的旅游观赏价值,为此,特在本书的后面图版中附上了几张精美的红层地貌景观照片供鉴赏(见图版0-1~0-5)。

笔者
2003年5月于武汉



长江葛洲坝水利枢纽兴建坝址地形地貌



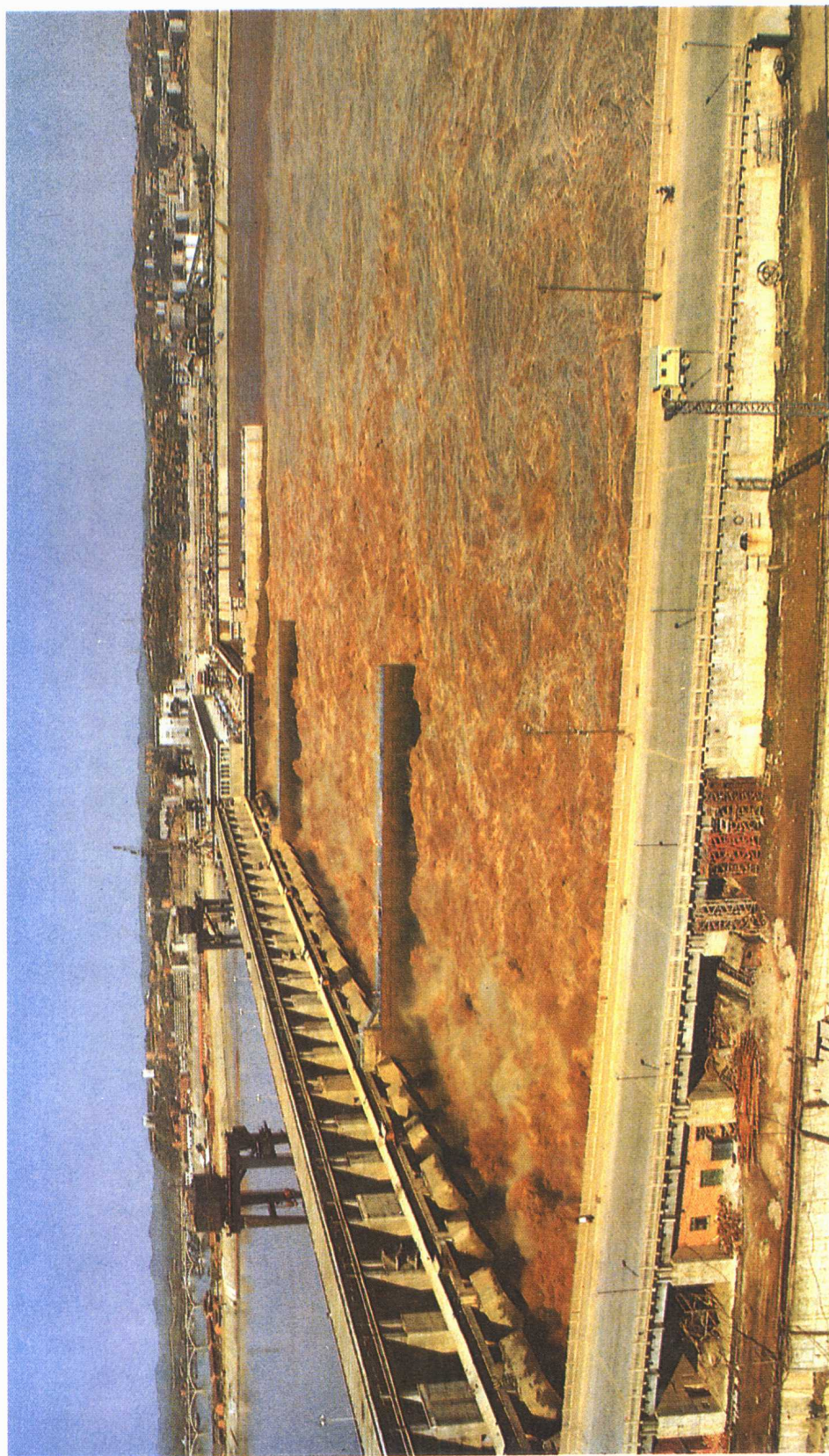
长江葛洲坝水利枢纽一期工程全貌



长江葛洲坝水利枢纽工程全貌



长江葛洲坝水利枢纽二期（大江）工程全貌



长江葛洲坝水利枢纽工程二江泄水闸全貌



长江葛洲坝水利枢纽工程二江泄水闸护坦下游基岩冲刷形态（1986年初护坦露底检修时摄影）



长江葛洲坝水利枢纽工程二江电厂全貌



长江葛洲坝水利枢纽工程2号船闸

目 录

上篇 通 论

第一章 绪 论	(3)
一、红层的概念	(3)
二、我国红层坝基概况	(4)
三、红层大坝事件	(6)
第二章 红层岩石物理力学、水理性质及其影响因素	(11)
一、红层岩石物理力学性质	(11)
二、粘土质岩类的水理性质	(28)
三、影响红层岩石物理力学性质的因素	(31)
第三章 红层层间剪切带问题	(36)
一、剪切带的概念	(36)
二、层间剪切带产生的物质基础	(38)
三、剪切带的基本类型	(38)
四、层间剪切带发育的基本规律	(40)
五、剪切带中不同层带的性状	(41)
六、层间剪切带中泥化带的微结构特征	(42)
七、层间剪切带的抗剪强度及其影响因素	(44)
八、层间剪切带抗剪强度参数的统计特征与可靠性分析	(50)
九、层间剪切带的演变趋势	(54)
十、层间剪切带的勘探与监测	(57)
第四章 可溶盐及环境水问题	(59)
一、红层中可溶盐岩的形成环境	(60)
二、易溶盐的分布及形态特征 (以石膏为例)	(61)
三、可溶盐的特殊性质	(62)
四、可溶盐的工程地质及水文地质问题	(67)
第五章 红层的构造模式	(68)
一、平缓红层岩体构造模式的初步建立	(68)
二、缓倾角断层形成的力学机理	(69)
三、红层中构造引起的工程地质问题	(71)
第六章 红层中的岩溶及其他几个特殊工程地质问题的提示	(74)
一、红层中的岩溶问题	(74)