

徐瑞春 周建军 著

红层与大坝

RED BED AND DAM

(第二版)



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

红层与大坝

RED BED AND DAM

(第二版)

徐瑞春 周建军 著



中国地质大学出版社

Zhongguo Dizhi Daxue Chubanshe

图书在版编目(CIP)数据

红层与大坝(第二版)/徐瑞春,周建军著. —武汉:中国地质大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5625-2536-3

- I. 红…
- II. ①徐…②周…
- III. ①红层-坝基-水文地质-研究②红层-坝基-工程地质-研究
- IV. P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 118209 号

红层与大坝(第二版)		徐瑞春 周建军 著	
责任编辑:王凤林 张晓红		责任校对:戴 莹	
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)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:510 千字 印张:18 插页:2 彩版:26	
版次:2003 年 11 月第 1 版 2010 年 9 月第 2 版		印次:2010 年 9 月第 2 次印刷	
印刷:武汉中远印务有限公司		印数:601—2 100 册	
ISBN 978-7-5625-2536-3		定价:68.00 元	

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

再版说明

《红层与大坝》(第一版)于2003年11月由中国地质大学出版社出版。它受到了广大读者,特别是水利水电行业的工程地质人员及高等学校有关专业人士的欢迎,这给笔者很大的鼓舞。

7年过去了,我国水利水电技术和工程实践有了很大的发展。红层地区建坝的实例也将越来越多,而且许多坝型、规模、功能、地质条件、坝基岩石力学参数取值以及处理方式也与葛洲坝工程不尽相同。为更全面地总结这些工程建坝的经验,笔者认为有必要对《红层与大坝》进一步再版,不断丰富其典型资料,有利于工程地质人员在这一本书上能够更多地了解和参考工程实例。另外,通过总结水电工程的兴建引发了一系列红层边坡的失稳并酿成严重的地质灾害事件经验及教训,从中吸取有益的启示,尽量避免出现类似的地质灾害事件。

本版是力求保持第一版的“理论与实践的密切结合”的宗旨进行修订和增著。在第二章增加我国已建、在建或可研阶段的红层地区高坝,如小浪底枢纽工程、向家坝枢纽工程、桥头枢纽工程、马堵山枢纽工程、戛洒江一级(三江口)枢纽工程,关于坝区和坝基相关的岩石力学参数的选取和应用,这些工程的建设 and 运行都是我国在红层地区建坝技术的重大进步。葛洲坝水利枢纽工程的红层专题研究仍然是重点,实践篇中增加了两个枢纽工程:向家坝枢纽工程和五马水库工程。同时,也增加了两个典型红层边坡失稳实例:意大利的瓦依昂水库大滑坡和三峡库区千将坪滑坡。针对红层边坡工程地质问题专列于第七章,着重介绍了红层边坡的分类、工程地质问题及其稳定性分析,第一版的第七章予以删去。这些工程主要是笔者曾多次到现场考察或工程咨询后的考察报告或咨询报告的选录。

由于本书的原作者中国工程勘察设计大师徐瑞春同志于2010年2月不幸故去了,本书再版工作由三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学)周建军博士负责,并负责全书的组织和定稿。全书共分12章,其中第一版的第四、五章保留,第一版的第八、九、十、十一、十二、十三章合并为本版的第八章,第七、九、十、十一、十二章由周建军执笔,第一、二、三、六、八章的修订由周建军执笔。

该书得到了长江水利委员会三峡勘测研究院的资助,才得以尽早出版,在此表示衷心感谢。笔者还要感谢满作武、司富安、高玉生等领导和朋友,是他们给了很多具体的帮助和精神上的鼓励。此外,书中还引用了一些尚未刊登和发表的资料,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。

由于笔者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评与指正。

笔 者

2010年5月6日于武汉

序一

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 $11.5\text{m} \times 1.7\text{m} \times 2.35\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),超过当时西班牙梅基南萨大坝所做的试验($10.0\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$),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近纪洛阳组红层,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



2003年3月

序二

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,特别是某些地区的挽近系红层,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7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5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。

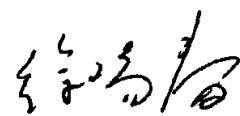
本书遵循的一个重要的宗旨就是要体现理论与实践的密切结合,即本书具有很强的实用性。书中研究和论证的内容主要是来自工程实践中所经常遇到的红层地质问题以及所带来的相应的工程地质问题,体现了笔者是长期工作在水利水电建设的现场,亲自去观察、去研究问题。现场和实践是产生灵感的源泉,要有很强的工程概念,又要有更强的对专业负责的责任感,地质工作在水利水电工程建设中,总是处于工程“主心骨”的地位,所以在工程建设中地质工程师反应要敏感,要有很强的解决工程建设中出现地质问题的能力,特别是要处理好地质与工程、地质与设计相结合的问题。在工程地质勘察中,还要能认真地思索、研究和总结国内外红层坝址出现的大大小小的工程事件及其教训,从而寻求有益的启示,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參考。

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)。



2003 年 5 月于武汉

目 录

· 上篇 通论 ·

第一章 绪 论	(3)
一、红层的概念	(3)
二、我国红层的分布	(4)
三、我国红层坝基概况	(5)
四、红层大坝事件	(9)
第二章 红层岩石物理力学、水理性质及影响因素	(15)
一、红层岩石物理力学性质	(15)
二、粘土质岩类的水理性质	(38)
三、影响红层岩石物理力学性质的因素	(41)
第三章 红层层间剪切带问题	(46)
一、剪切带的概念	(46)
二、层间剪切带产生的物质基础	(48)
三、剪切带的基本类型	(48)
四、层间剪切带发育的基本规律	(50)
五、剪切带中不同层带的性状	(51)
六、层间剪切带中泥化带的微结构特征	(52)
七、层间剪切带的抗剪强度及其影响因素	(54)
八、层间剪切带抗剪强度参数的统计特征与可靠性分析	(61)
九、层间剪切带的演变趋势	(65)
十、层间剪切带的勘探与监测	(68)
第四章 可溶盐及环境水问题	(70)
一、红层中可溶盐岩的形成环境	(71)
二、易溶盐的分布及形态特征(以石膏为例)	(72)
三、可溶盐的特殊性质	(73)
四、可溶盐的工程地质及水文地质问题	(78)
第五章 红层的构造模式	(79)
一、平缓红层岩体构造模式的初步建立	(79)
二、缓倾角断层形成的力学机制	(80)

三、红层中构造引起的工程地质问题·····	(82)
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 ·····	(85)
一、红层中的岩溶问题·····	(85)
二、红层中的其他特殊问题·····	(86)
三、红层地基的监测·····	(86)
第七章 红层边坡工程地质问题 ·····	(88)
一、概述·····	(88)
二、红层边坡的结构类型·····	(88)
三、顺层边坡·····	(90)
四、近水平红层边坡·····	(97)
五、顺层边坡开挖过程的稳定性支护 ·····	(101)
六、小浪底进口高边坡 ·····	(104)

· 下篇 实践篇 ·

第八章 葛洲坝水利枢纽工程 ·····	(113)
一、葛洲坝工程简介 ·····	(113)
二、坝基红层沉积环境及软弱夹层沉积规律 ·····	(114)
三、坝基岩体卸荷回弹及沉陷变形 ·····	(127)
四、二江电厂深挖基坑边坡岩体变形研究及其工程处理 ·····	(141)
五、坝基强透水带的发育特征及其处理 ·····	(153)
六、葛洲坝水利枢纽若干专门性工程地质问题的解决 ·····	(170)
七、葛洲坝一、二期工程大坝地基工作状态的检查·····	(188)
第九章 向家坝工程 ·····	(204)
一、坝址基本地质条件 ·····	(204)
二、坝区软弱夹层 ·····	(209)
三、坝基岩体(石)特性 ·····	(214)
四、坝基面选择及其坝基抗滑稳定分析 ·····	(223)
五、工程建议 ·····	(229)
第十章 五马水库工程 ·····	(234)
一、概况 ·····	(234)
二、区域地质概况 ·····	(234)
三、坝址区工程地质 ·····	(235)
四、主要工程措施建议 ·····	(238)

第十一章 千将坪滑坡..... (243)

一、气象 (244)

二、区域构造及地震 (244)

三、地形地貌 (244)

四、地层岩性及构造特征 (246)

五、水文地质条件 (247)

六、滑坡边界条件及物质组成 (247)

七、千将坪滑坡主要物理力学特性 (255)

八、滑坡致滑机理分析 (256)

九、主要结论 (259)

第十二章 瓦依昂坝及其近坝库岸滑坡..... (260)

一、瓦依昂滑坡事件 (260)

二、工程概况 (260)

三、坝区地质条件 (263)

四、蓄水与滑坡过程 (266)

五、事故原因分析 (268)

六、经验教训 (269)

参考文献..... (271)

上篇 通 论

第一章 绪 论

一、红层的概念

1979年上海辞书出版社出版的《辞海》中对红层做了如下名词解释：呈现红色的陆上沉积层。红层主要由砂岩、粉砂岩和页岩组成，是在干燥气候条件下沉积的。例如我国晚二叠世的石千峰组。

笔者认为这一解释并非完全准确，首先“红层”并非全是在干燥的气候条件下沉积的。

《红层与大坝》一书主要是从水利水电工程建设中的工程地质、水文地质的观点来认识和研究红层。笔者对红层做了如下的定义或解释：

“红层”在我国主要是指中生代以来即三叠系、侏罗系、白垩系和新生代晚近系的湖相、河流相、河湖交替相或是山麓洪积相等陆相碎屑岩。

红层的基本特点是地质年龄相对较轻，经历的地壳变动相对较少，褶皱不剧烈，产状平缓。其岩性主要是砾岩、砂岩、粉砂岩、粘土质粉砂岩、粘土岩或泥质页岩等，岩相变化大，并含透镜状或薄层状多孔疏松砂岩，都不同程度地发育有层间剪切带，还常见有诸如石膏等易溶盐类。与老地层相比，成岩作用差，有的呈半胶结状，强度较低，总体上属软岩类，是一个很复杂的弹性模量相差甚大的软硬相间的不等厚的地层组合岩体。

关于红色的形成，早为国内外地质工作者们所重视，但是众说纷纭，颇不一致。这是因为红层在古代沙漠沉积中是很多的，但在现代沙漠中却非常少。这种异常是解释红层的主要疑点，它引起了红层的潮湿与干旱气候成因之争，这里将不讨论这个疑难的问题。但红层的形成需要如下几个条件：①适宜的古地貌条件。红层为碎屑岩沉积，需要有接受沉积的古沉积盆地和沉积物源，沉积盆地多为内陆盆地，也有少量的海滨及海相沉积，物源则指周围山地提供丰富的岩石风化物。②适宜的古气候条件。红层形成于干燥炎热的古气候环境条件下，一方面岩石风化作用强烈，可以提供丰富的物源，另一方面岩石氧化作用强烈，可以形成红层的红色外观。有一点是肯定的，红色往往与岩层中的某些化学成分有关。据有关部门对我国一些地区的红层化学试验资料分析，红色往往与岩层中所含 Fe_2O_3 的绝对含量及 Fe_2O_3 与 FeO 的相对含量有关。岩石的 Fe^{3+} 含量接近或大于 2%， $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} > 1$ 时，一般呈现红色；岩石内 Fe^{3+} 含量大于 2%， $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} < 1$ 时，则常呈灰色；岩石内 Fe^{3+} 含量 $\leq 1\%$ ， $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} < 3$ 时，则一般呈浅灰绿色。

中国科学院成都分院土壤研究室对红层中泥岩的颜色也做了研究，其结果见表 1-1。

表 1-1 高价铁与低价铁含量之比与泥(页岩)颜色的关系

高价铁/低价铁	$< 1:5$	$1:5 \sim 1:2$	$1:2 \sim 1:1$	$1:1 \sim 2:1$	$2:1 \sim 5:1$
泥(页岩)颜色	黑色	绿色	紫色	紫红色	红色

据解放军 00939 部队 1979 年区域水文地质报告(仪陇幅),红层中砂岩的颜色与矿物成分见表 1-2。

表 1-2 砂岩的颜色与矿物成分关系

颜色	主要矿物含量(%)		岩石定名
	石英	长石	
青灰色	50~60	10~20	长石石英砂岩
浅灰、灰黄色	40~50	20~30	长石石英砂岩或亚长石砂岩
灰黄或紫色	30~40	30~50	亚长石砂岩或长石砂岩

根据目前国内学者的研究,红层碎屑的颗粒组成差异很大,有洪积泥砾、短促河床砾石层、河床相砂砾、较长途搬运的具有沙波结构的河床砂、河流三角洲前缘相的砂质层和以泥质为主的湖盆相粉砂质或淤泥质沉积等。

红层是一种偏红色的陆相碎屑堆积,这是红层的主要标志。但是,在一套红色岩系中,不论是垂直方向还是水平方向,都不可能保持沉积环境在时间和空间上的完全一致。加上在成岩过程中的物理化学变化和隆起后各种环境因素等后期影响,其颜色也可能再发生一些变化。因此,各地红层的颜色在色度和纯度上有较大的差别;同一套红色岩系中上下的颜色也可能存在较大的差别,有时可能含有多层的非红色夹层。只要在一个沉积单元的一套碎屑岩系的总体色调呈现偏红色,则没有必要因为其含有一些非红色夹层而把它排斥在红层之外。

二、我国红层的分布

我国目前出露的红层主要分布在西南、华南、东南和西北地区,其他地区只有零星分布。西南的四川盆地和西北的陕甘宁盆地以及云南高原中部、南部等地,都有完整成片的红层分布。在江南地区,红层多分布在一些山间中、小盆地中,如湖南的衡阳盆地、江西的赣洲盆地等。西北的准噶尔盆地、吐鲁番-哈密盆地(图版 1-1)、塔里木盆地、柴达木盆地以及秦岭南部山间盆地等地区都有典型的红层。红层的分布还可以包括被后期地层掩盖的下伏地层,如江汉盆地、陕甘宁盆地等被第四纪的沉积物所覆盖。

我国红层可以划分为如下几个区域:

(1)西南地区红层:红层总面积 273 904km²,约占全国陆地面积的 2.853%,是我国红层分布最多的地区。以侏罗系和白垩系为主,有少量古近系。红层集中分布于四川和云南。贵州红层分布于川黔、滇黔交界地带,为川、滇两省红层分布的延伸部分。西藏红层仅在局部区域有零星分布。

(2)西北地区红层:红层总面积 191 251 km²,约占全国陆地面积的 1.992%,甘肃红层面积约 87 799 km²,青海约 85 433km²,陕西约 18.18 km²。宁夏和新疆有零星红层分布,主要是侏罗系、白垩系、古近系。

(3)华东地区:红层总面积 97 881km²,约占全国陆地面积的 1.02%。分布较少,但各个省市均有分布,其分布面积分别为各省市面积的 10%左右,其中上海、江苏、安徽红层多为上覆地层所覆盖。山东红层分布面积最大,上海最小。

(4)中南和东南地区:我国红层分布较多的另一个地区,总面积约 125 534km²,约占全国总面积的 1.308%。但是分布不集中,多分散分布于各种类型的中小型沉积盆地,如湖南衡阳

盆地、沅麻盆地等,主要是白垩系、古近系。很多地区上覆有第四系覆盖层,如长沙、广州、合肥、南京等地区。中南地区的红层根据沉积盆地的规模和沉积厚度等可以划分为如下几种类型:①湖北江汉平原、湖南洞庭湖地区、衡阳盆地和苏北平原等,是华南地区最大型的盆地,具有沉积范围广、厚度大的特点;②浙江永康、金衢盆地,江苏句容盆地,福建连城武夷山(图版 1-2)、禾口盆地和江西信江盆地等,这些盆地的沉积范围比较小,但沉积厚度在某些地区很大;③广东南雄盆地、江西池江盆地等,沉积厚度一般比较小。

(5)华北地区:红层分布总面积约 99 181 km²,占全国总面积的 1.033%。集中分布于内蒙、山西、河北三省区,北京、天津分布较少。多为埋藏型红层,为第四系覆盖。

(6)东北地区:红层分布面积小,仅为 38 639 km²,约为全国总面积的 0.402%,集中分布于该区中部的条形地带,多为第四系覆盖。

三、我国红层坝基概况

据有关部门的概略统计,我国中—新生界红层的出露面积约有 46 万 km²(其中白垩系红层分布面积最广,占出露面积的 41%)。因而红层是水利水电工程建设中常遇见的一种坝基岩体。

新中国成立以来,我国在水利水电建设中,已较广泛地接触到红层坝基。如在长江干流上兴建的第一座大坝——葛洲坝水利水电枢纽工程,装机 271.5 万 kW,年平均发电量 157 亿 kW·h,并设有三座大型船闸,始建于 20 世纪 70 年代,80 年代中期已全部建成;黄河上的盐锅峡水电站是 20 世纪 50 年代末 60 年代初(1958—1961 年)我国在黄河上建成的第一座大型水电站,坝高 57m,装机 40.2 万 kW;八盘峡也是黄河干流上的水电站,是盐锅峡水电站下游的一个梯级工程,20 世纪 70 年代初期建成;20 世纪末建成的黄河干流最下一个大型梯级工程——小浪底水利枢纽工程等,均为红层坝基。新中国成立初期我国最早兴建的狮子滩水电站坝基岩体是侏罗纪的红层;20 世纪 50~60 年代由长江水利委员会勘测设计的四川涪江武都、岷江偏窗子、嘉陵江合川、亭子口(李家嘴)等大型水利枢纽,坝基岩体均为侏罗纪红层,还有金沙江最下一个梯级工程——向家坝大型水利水电枢纽工程坝基岩体为侏罗系—三叠系红层。到目前为止,我国在红层上已建成的大、中、小型水利水电工程就有数十座。除上述的葛洲坝、盐锅峡、八盘峡、小浪底、尼那外,还有四川省龙溪河上的回龙寨、上洞、狮子滩、下洞等水电站,四川省仁寿县黑龙潭、三台县鲁班、中江县继光、南部县升钟、简阳县三岔等水库,安徽省青衣江的纪村水电站,青海省西宁市的北山寺引水式电站(朝阳电站),陕西省渭河上的宝鸡峡引水枢纽渠道工程,湖北清江干流上的红庙电站,湖南省的白玉滩电站,湖北省汉江王甫洲水利枢纽,四川省雅安地区宝兴河上的铜头水电站,甘肃省龙首水电工程,新疆石门子水利枢纽工程等。目前正在施工或勘测设计的红层坝基枢纽有江西省的泰和、四川省的东西关水电站、陕西省的西马庄、新疆的五一水利水电工程、黄河干流的康杨、山坪、黄丰、大河家、沙坡头、西霞院等。从流域建坝情况分析,在红层上修建或拟建大坝较多的流域有黄河、汉江及红河等。在黄河干流上有一系列中型水利枢纽工程是晚近系红层坝基,见表 1-3,黄河干流和北干流梯级开发纵剖面示意图和总剖面图见图 1-1~图 1-2。湖北省丹江口大坝以下的汉江干流上的王甫洲、庙滩、新集、崔家营、雅口、碾盘山、华家湾、兴隆等大坝枢纽工程的坝基岩体均为白垩系—晚近系的红层等,见图 1-3,汉水上游及支流堵河梯级开发方案示意图见图 1-4。我国云南省红河流域梯级开发已由水利部珠江水利委员会初步拟建 13 个水利枢纽工程,其中有 7 个枢纽是红层坝址,红河流经境内主要从红层地区中穿过,红层岩性以紫红泥岩为主,岩