

四川盆地红层岩体质量劣化特征及其保护措施研究

张世殊，赵小平，冉从彦，胡金山，张佑廷

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 611130)

摘 要:四川盆地红层是一套最为典型的红层,具有强度低、易遇水软化和快速风化等特有工程特性,存在岩体大变形和难支护等问题,严重制约着工程的建设。本文以四川盆地 10 余个红层地区水电水利工程为基础,研究了四川盆地红层的分布和沉积建造规律及其物质组成,从红层岩体快速风化和水致劣化角度分析了红层岩体质量劣化特征,在此基础上,提出了基于红层快速风化、水致劣化特性的“防渗排水—预留开挖—加固封闭”快速保护措施。

关键词:四川盆地;红层;快速风化;水致劣化

中图分类号:P941.75;TU45;P156.4 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)02-0001-04

Study on the Quality Deterioration Characteristics and Protection Measures
of Red Bed Rock Mass in Sichuan Basin

ZHANG Shishu, ZHAO Xiaoping, RAN Congyan, HU Jinshan, ZHANG Youting

(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: The red bed in Sichuan Basin is the most typical one, which has special engineering characteristics such as low strength, water softening and rapid weathering. There are problems such as large deformation of rock mass and difficult support, which seriously restrict the construction of the project. Based on more than 10 hydropower and water conservancy projects in red bed areas in Sichuan Basin, this paper studies the distribution, sedimentary formation law and material composition of red bed in Sichuan Basin, and analyzes the quality deterioration characteristics of red bed rock mass from the perspective of rapid weathering and watered deterioration. Based on such characteristics, the rapid protection measures of "seepage proofing and drainage, reserved excavation, and reinforced sealing" are put forward.

Key words: Sichuan Basin; red bed; rapid weathering; watered deterioration

0 引 言

“红层”是外观颜色以红色系为主的陆上沉积地层,在我国分布广泛,主要是指形成于三叠纪、侏罗纪、白垩纪和古近纪的湖相、河流相、河湖交替相或是山麓洪积相的陆相碎屑岩,岩性有砾岩、砂岩和泥岩,以泥质胶结为主,以西南地区尤其是四川盆地的“红层”最具代表性。其岩性主要为一套砂岩与泥岩不等厚互层、软硬相间的地质组合,具有强度低和易遇水软化而导致岩体大变形和难以支护等问题。随着水电资源的不断开发、联通东西部的水利水运和交通设施的不断建设,这些红层特有的工程特性越来越明显。目前,针对“红层”岩体的研究主要集中在水理特性、力学行为和其边坡失稳机制等方面。如周翠英等^[1-5]基于

单轴和三轴试验等室内试验设备,研究了“红层”岩体不同围压、环境温度、含水量下的强度、破坏演化过程、蠕变特性等;李果等^[6-8]研究了红层软岩具有软化系数随着含水率增加而减少的水理特性,并且泥岩和泥质砂岩都具有崩解性,其中泥岩的崩解程度更高;肖尊群等^[9-10]从微细观角度出发,研究了红层软岩的力学特性和破坏机理;舒中潘等^[11-13]研究了红层滑坡的失稳机理和稳定性分析方法。

总而言之,目前针对“红层”岩体的水理特征和力学行为等研究成果较为丰硕,但鲜有针对性强、经济性高的防护措施研究,以红层边坡为例,其工程影响更多的是开挖或其他工程影响下,“红层”岩体快速风化或遇水软化等质量劣化影响导致的边坡稳定问题。

收稿日期:2020-03-09

1 四川盆地红层分布及建造

四川盆地红层的沉积建造是一个漫长的地质历史过程,也是伴随古四川盆地的形成过程,其特有的沉积环境造就了其特有的分布和沉积建造,从而表现出特有的工程特性。

1.1 四川盆地红层分布特点

四川盆地红层主要分布在四川盆地及周边的嘉陵江流域、涪江流域、渠江流域、沱江流域、岷江下游流域、雅砻江下游流域、金沙江下游流域、长宁河流域、赤水河流域、长江的川江流域等区域。四川盆地红层沉积环境有湖相沉积、河湖相沉积、冲积相沉积和河流相沉积,各时期的沉积比例^[14]如图 1 所示,早侏罗世以湖相(占 16%)及河湖交替相(68%)为主(小计 84%);中侏罗世的湖相(7%)及河湖交替相(37%)占 44%,晚侏罗世占 40%,这时期大致与冲积扇相及河流相的面积相当;早白垩世的冲积扇相(12%)与河流相(83%)占到 95%。

四川盆地红层沉积物缘主要源自盆地周边山系,不同时期的地质活动也造就了红层不同的分布特征:近盆周山体的前缘一带均沉积了砾岩、含砾砂岩等粗碎屑岩,向盆地中心过渡带则为砂岩、

粉砂岩等,湖盆中心地带则为粉砂质泥岩、泥岩、页岩及泥灰岩等。显示了盆地内从北西向南东,或由北向南岩石的颗粒粒径由粗到细的总体趋势。

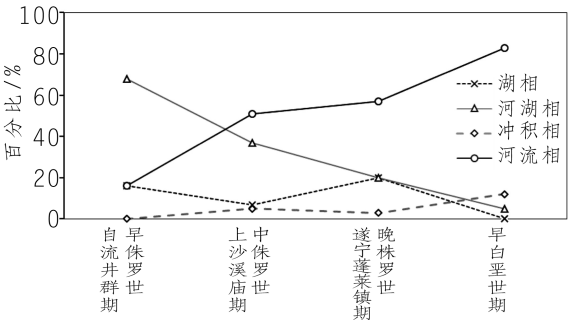


图 1 各地质历史时期四川盆地红层沉积相面积占四川盆地总面积比例

1.2 四川盆地红层沉积建造

四川盆地红层沉积环境和各沉积相所占比例变化表明,从早侏罗世到古近纪的各地质历史沉积期,红层岩石的岩性组合受沉积盆地的逐渐萎缩、沉积环境的变化,从以泥页岩为主,向砂泥岩互层过渡变化的总体趋势明显。岩性主要表现为砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩,其化学成分见表 1。

表 1 四川盆地红层主要岩性化学组成

项目	样本数	百分含量 /%					
		SiO ₂	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
砂岩	23	63.2	15.3	4.3	10.6	7.1	2.7
泥质粉砂岩	20	52.11	16.50	5.98	10.53	13.01	4.07
粉砂质泥岩	43	56.25	14.26	4.32	10.60	7.09	2.74
泥岩	4	52.11	14.50	5.98	10.53	10.00	4.07

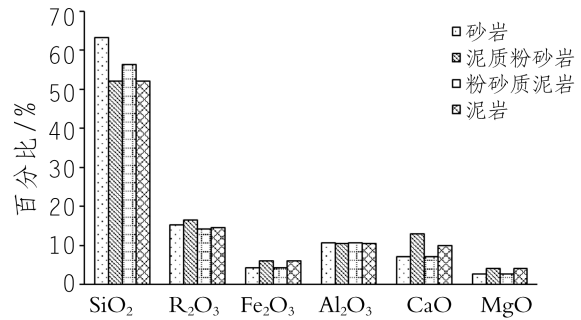


图 2 四川盆地红层主要岩性化学成分对比

如图 2 四川盆地红层主要岩性化学成分对比所示,砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩四种岩石主要化学成份基本一致,均以 SiO₂ 为主,其次为 R₂O₃ (Fe 和 Al 的倍半氧化物)、Fe₂O₃ 和

CaO。相比砂岩和泥质粉砂岩 SiO₂ 含量较高,泥岩和粉砂质泥岩 Fe₂O₃、CaO 和 MgO 含量相对较高,而正是由于这些含量的差异,使砂岩和泥岩的水理特性和强度特征差异显著,即红层地区的泥岩普遍具有遇水敏感,强度普遍低于砂岩的特点。

2 红层岩体质量劣化特征

“红层”岩体独特的沉积环境和成岩建造,造就了特有的岩石结构和物质组成,在工程上宏观表现出特有的工程特性,如红层岩体快速风化和水致劣化等。

2.1 快速风化

结合大量四川盆地红层分布地区的工程实践,本文总结了多个工程红层岩体的风化深度和开挖后快速风化深度,并进行了统计分析(表 2)。

表 2 四川盆地红层地区主要工程强/弱风化深度统计

工程	部位	强风化 /m	弱风化 /m
草街航电	左岸	10~40	40~100
	右岸	5~28	25~65
	河床	0~8	7~18
凤仪航电	左岸	10~12	30~35
	右岸	5~8	20~25
	河床	2~4	8~10
老木孔航电	左岸	8.2~9.1	20.9~22.4
	右岸	4.7~5.8	15.8~17.1
	河床	2.5~6.3	14~17.2
苍溪航电	岸坡	0~10	10~25
	河床	0~7	5~25
	左岸	4~7	6~7
金溪航电	右岸	3~10	7~10
	河床	2~8	4~12
	河床	1~5	3~7.5
青居航电	岸坡	10~15	15~20
沙溪航电	河床	0~4	2~8
上石盘航电	左岸	2~4.5	5~7
	右岸	2~3	4.5~5
	河床	1~2.5	5~6

四川盆地红层地区多个水利水电工程统计结果显示(图 3、4),受地形地貌、地质构造和岩体矿物组成影响,个别岸坡强风化深度达 45 m,弱风化深度可达 100 m,且砂岩为主的岸坡风化深度均小于泥岩为主岸坡,但在统计意义上,天然边坡“红层”岩体强风化深度范围主要分布在 2~7.6 m,弱风化深度分布范围主要为 4.6~22.8 m,而这对指导工程布置、开挖、支护等具有重要意义。

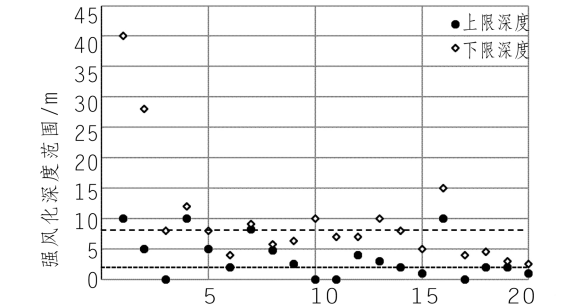


图 3 四川盆地红层岩体强风化深度范围

由于“红层”岩体特殊的成岩建造和矿物成分,天然红层岸坡在开挖影响下有具有快速风化特征。大量工程实践表明,红层岩体开挖揭露后 6 h 内,快速风化厚度可达 10~30 cm,随时间推移,风化程度逐渐加重,并产生表面崩离和风化继续向内发展的趋势(图 5)。

2.2 水致劣化

如前文所述,四川盆地“红层”岩体特有的物

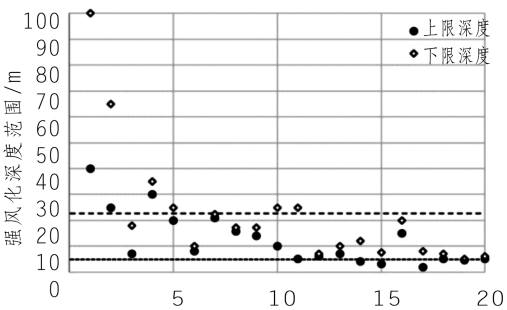
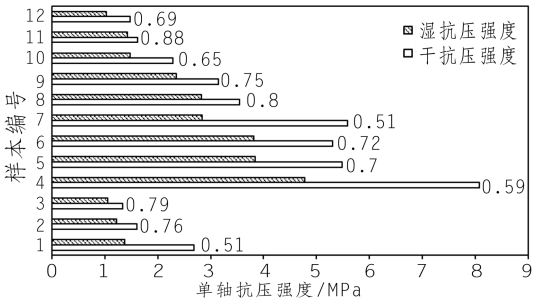


图 4 四川盆地红层岩体弱风化深度范围

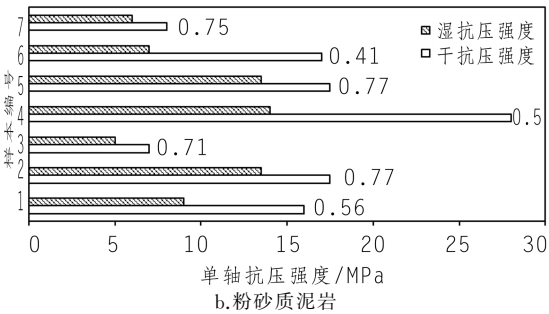


图 5 红层边坡开挖后快速风化、崩落

质组成,造成其具有明显的水致劣化特征,内在机理表现为:化学和物理化学反应引发软岩颗粒及粒间的力学连结减弱,导致软岩结构强度发生变异。在四川盆地 10 余个红层地区的水利水电工程红层岩体强度试验的基础上,统计了 33 组红层岩体的水致劣化前后的强度值。



a. 泥岩



b. 粉砂质泥岩

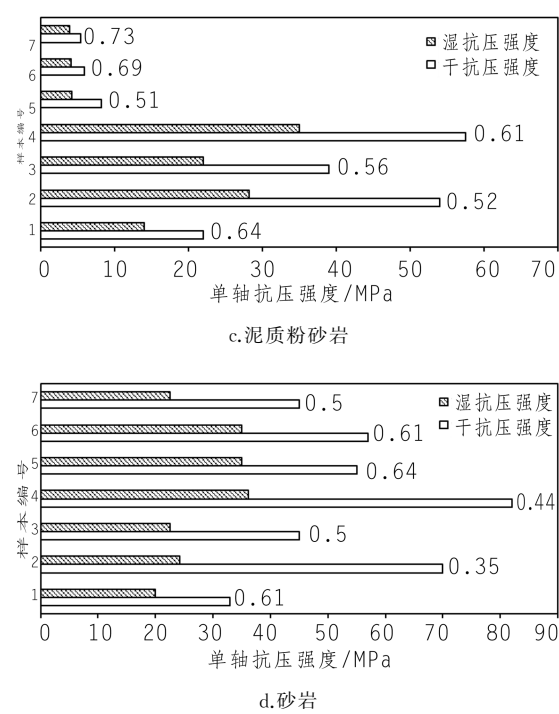


图6 四川盆地红层干/湿单轴抗压强度和软化系数

如图6所示,在大量“红层”岩体主要的泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和砂岩干、湿饱和和抗压强度统计的基础上,四川地区红层中的泥岩干抗压强度一般在1.47~8.08 MPa之间,湿抗压强度为1.02~4.78 MPa,其软化系数为0.51~0.80;粉砂质泥岩干抗压强度约7~28 MPa,湿抗压强度为5~14 MPa,其软化系数为0.41~0.77;泥质粉砂岩干抗压强度约5.41~54 MPa,湿抗压强度3.95~28.2 MPa,其软化系数0.51~0.73;砂岩干抗压强度约33~82 MPa,湿抗压强度20~36.1MPa,其软化系数0.35~0.64。比较而言,四川地区红层泥岩的软化系数最高,粉砂质泥岩其次,砂岩最低;但就其软化系数范围而言,泥岩软化系数分布范围最广,砂岩分布范围最小,其原因在于泥岩遇水更敏感。

3 红层岩体保护措施

由于四川盆地红层具有强度低、亲水能力强、易遇水软化等特有工程特点,在红层地区建设时存在岩体大变形、难支护等问题。在上文研究的基础上,提出了基于红层快速风化、水致劣化特点的“防渗排水—预留开挖—加固封闭”快速工程保护措施,具有可实施性高、施工速度快、针对性强、工程投入低等特点。具体措施如下:

防渗排水:边坡开挖前应首先做好外围的截排水措施,禁止先开挖后排水,基坑开挖中,在基坑四周应有完整有效的抽排水系统,渗水、积水特别严重的部位,还应专门采用“堵”、“抽”、“排”等有效措施,确保基坑干地施工;

预留开挖:采用科学合理的开挖方式。优先选择光面爆破或预裂爆破,少药量,多梯段,基坑开挖最底层应预留30 cm采取人工撬挖;

加固封闭:在卸荷扰动前提下,风化崩解速度尤其很快,施工中,坝基岩体应在清基完成后4h内进行浇筑或封闭,边坡岩体应在分层分段验收完成后及时喷射混凝土进行保护。

4 结 语

本文在四川盆地10余个水电水利工程实践的基础上,以四川盆地红层岩体为研究对象,系统研究了四川盆地红层岩体的分布、物质组成、岩体质量劣化特征及其保护措施等,取得的主要结论如下:

(1)四川盆地红层岩石的岩性组合受沉积盆地的逐渐萎缩、沉积环境的变化,从以泥页岩为主,向砂、泥岩互层过渡变化的总体趋势明显。

(2)四川盆地红层砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩四种岩石主要化学成份基本一致,均以SiO₂为主,其次为R₂O₃(Fe和Al的倍半氧化物)、Fe₂O₃和CaO。

(3)四川盆地红层岩体开挖揭露后6h内,快速风化厚度可达10 cm~30 cm,随时间推移,风化程度逐渐加重,并产生表面崩离和风化继续向内发展的趋势,为工程开挖提供了指导。

(4)四川盆地红层岩体在水致劣化作用下,泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和砂岩软化系数分别为0.51~0.80、0.41~0.77、0.51~0.73和0.35~0.64。

(5)基于红层快速风化、水致劣化特点,提出了“防渗排水—预留开挖—加固封闭”快速工程保护措施,具有可实施性高、施工速度快、针对性强、工程投入低等特点。

参考文献:

[1] 周翠英,苏定立,邱晓莉,等.红层裂纹软岩在水—应力耦合作用下的变形破坏试验[J].中山大学学报(自然科学版),2019,58(6):35—44.

(下转第99页)

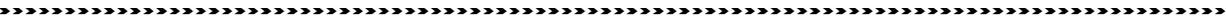
程中,需坚持生态优先,在保护中开发的原则,走可持续发展之路。

4 结 语

可持续水电评价是以大中型水电工程为研究对象,从经济社会、环境和管理 3 个方面制定评价指标,给出计算和赋分方法,定量化评价水电工程在设计、建设、运行等各阶段的可持续性,并以大型水电工程作为实例,选择设计阶段评价指标进行计算,结果表明:评价指标体系的应用具有可操作性,评价结果能够反映制约工程可持续性的关键问题,因而能够为水电开发企业提供科学的管理和决策支持。

鉴于该项研究指标初步建立,其实用性和指导性仍有待于进一步检验,为了建立具有广泛适用性的可持续水电评价指标体系和评价标准,还需开展更加深入的研究和案例分析工作,从而提高指标体系的科学性和适用性。

参考文献:



(上接第 4 页)

[2] 周翠英,邓毅梅,谭祥韶,等. 饱和软岩力学性质质软化的实验研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005,24(1):33—38.

[3] 李凯甜,邓荣贵,文琪鑫,等. 红层泥质岩干湿循环下的变形特性试验研究[J]. 四川建筑, 2019, 39(2):118—122.

[4] 李 畅,任光明,孟陆波,等. 红层砂岩高温后效蠕变试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2019,46(1):71—78.

[5] 罗崇亮,余云燕,包得祥,等. 基于三轴试验红层泥岩的邓肯—张模型参数研究[J]. 地震工程学报, 2019,41(2):436—444.

[6] 李 果,于继克. 红层软岩水理特性研究[J]. 黑龙江交通科技, 2019,9:7—9.

[7] 苏 航,王云川,王 浪. 红层泥岩崩解性试验研究[J]. 人民珠江, 2018,39(11):39—42.

[8] 包得祥,余云燕,杨克诚. 兰州地区含盐红层泥岩土水特征曲线研究[J]. 兰州交通大学学报, 2019, 38(5):25—34.

[9] 肖尊群,王 鑫,汤东桑,等. 巴东组典型红层软岩单轴压缩试验细观组构特征[J]. 煤田地质与勘察, 2019,47(6):103—114.

[10] 谢小帅,陈松华,肖欣宏,等. 水岩耦合下的红层软岩微观结构特征与软化机制研究[J]. 工程地质学

[1] 杨桐鹤,禹雪中,冯 时.水电可持续发展的概念、内容及评价[J].中国水能及电气化, 2010,(8):9—14.

[2] 安雪晖,柳春娜,黄真理.长江流域水电开发可持续性评价体系[J].中国发展, 2015,(4):7—13.

[3] 陆 波,喻卫奇,蒋 波.水电可持续性评估工具简析[J].水力发电, 2013,(9):5—8.

[4] 国际水电协会.水电可持续性评估规范[R]. 2010.

[5] 贾宝真,禹雪中.国内外水电环境及可持续性评价标准的比较[J].水力发电, 2013,(4):13—16.

[6] 缪益平,陈飞翔,战永胜,等.雅砻江梯级水电可持续发展评价指标体系研究[J].四川水力发电, 2014,(2):118—123.

[7] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司.水电站可行性研究报告[R].2016.

作者简介:

孙丹丹(1982-),女,吉林通化人,高级工程师,从事水电环保工作;

刘 园(1980-),女,四川宜宾人,高级工程师,从事水电环保工作;

蒋 红(1967-),女,浙江余姚人,高级工程师,从事水电环保工作.

(责任编辑:吴永红、卓政昌)

报, 2019,27(5):966—972.

[11] 舒中潘,高 政,张 军,等. 川东红层区某平面转折复合型滑坡稳定性分析[J]. 路基工程, 2019.04:116—120.

[12] 徐 静,周 毅,段立强,等. 川东某红层缓倾角顺层滑坡特征及成因机制分析[J]. 甘肃科技, 2019, 35(13):91—93.

[13] 蒋 正,倪俊勇,宋 志. 重庆丰都县城区红层边坡变形破坏模式与稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018,29(6):23—32.

[14] 张佑廷,张世殊,彭仕雄,等著. 嘉陵江红层工程地质特性与勘察实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2019.

作者简介:

张世殊(1970-),男,重庆人,博士,正高级工程师,从事水电工程相关的工程地质及地质灾害等方面的研究与管理工作;

赵小平(1984-),男,江西九江人,博士,高级工程师,从事水电工程相关的岩土工程及相关的生产和科研工作;

冉从彦(1983-),男,重庆人,学士,高级工程师,从事水电工程相关的工程地质及岩土工程等相关的科研和管理工;

胡金山(1973-),男,江西上饶人,学士,正高级工程师,从事水电工程相关的工程地质及相关的生产和科研工作;

张佑廷(1960-),男,四川都江堰人,正高级工程师,从事水电工程相关的工程地质及相关的生产和管理工作.

(责任编辑:吴永红、卓政昌)