

西藏某水电站坝址区岩石蚀变特征分析

杨成龙, 王森林, 王钦权, 韩 啸

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 西藏某水电站坝址区岩石蚀变现象较突出, 呈现出不同于普通岩石的特性, 对工程建设存在一定的影响。为查明岩石蚀变特征, 在进行该工程区岩石蚀变成因分析的基础上, 利用薄片镜下鉴定及 X 射线粉晶衍射分析(XRD)等技术手段研究了不同部位、不同成因的岩石蚀变类型、矿物成分及蚀变程度, 并依据物理力学指标对比成果, 分析了蚀变对岩石质量的影响。研究结果表明不同部位、不同成因的岩石蚀变特征不同, 蚀变对岩石的物理力学特性具有削弱作用, 同种风化程度下, 岩石的强度随蚀变程度的加深而降低, 位于韧性剪切构造带内蚀变岩石的物理力学指标最差。

关键词: 岩石蚀变; 薄片镜下鉴定; X 射线粉晶衍射分析(XRD); 力学特性

中图分类号: TV223.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)06-0093-06

Analysis of Rock Alteration Characteristics in Dam Site Area of a Hydropower Station in Tibet

YANG Chenglong, WANG Senlin, WANG Qinquan, HAN Xiao

(China Power Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang, Guizhou 550081, China)

Abstract: Rock alteration is prominent in the dam site of a hydropower station in Tibet, it shows different characteristics from ordinary rocks, and it has certain influence on engineering construction. In order to find out the alteration characteristics of rocks, based on the analysis results of rock alteration genesis in engineering area, this paper analyzed the alteration types, mineral composition and alteration degree of rocks with different parts and genesis by using microscopic identification of rock slices and X-ray diffraction (XRD) analysis technology. And according to the results of physical and mechanical indexes, the influence of alteration on rock quality is analyzed. The research results show that the alteration characteristics of rocks with different parts and genesis are different, and the alteration weakens the physical and mechanical properties of rocks. Under the same weathering degree, the strength of rock decreases with the deepening of alteration degree, and the physical and mechanical indexes of altered rock in ductile shear tectonic zone are the worst.

Keywords: rock alteration; microscopic identification of rock slices; X-ray diffraction (XRD) analysis; mechanical properties

某水电站位于西藏东南部, 初拟方案为碾压混凝土重力坝, 坝址区海拔 2 880 m 以上, 岸坡坡度为 34°~52°。坝址区内主要出露岩性为英安岩及侵入花岗闪长斑岩, 地质构造主要为沿河流向发育的陡倾韧性剪切构造带及Ⅳ级、Ⅴ级结构面, 岩体风化、卸荷作用强烈, 碎裂松动岩体普遍发育。坝址区地表发育有若干条带状蚀变岩体, 部分平硐亦揭示了

地表深处岩石的蚀变现象。

不少学者对岩石蚀变做了深入的研究。魏伟等^[1]、徐浩^[2]、于新华等^[3]、苗朝^[4]对蚀变机理及蚀变岩石结构构造类型等进行了研究分析。苗朝等^[5-6]、覃礼貌等^[7]、黄志全等^[8]、程来等^[9]、魏伟等^[10]认为蚀变改变了岩石原有的力学特性, 致使岩体质量在区域上存在不均匀性, 造成了局部软弱带。

天池抽水蓄能水电站、叶巴滩电站、广州抽水蓄能水电站、青龙水电站及一些隧道工程实例均反映了工程中存在的蚀变问题对工程岩体质量和工程建设具有一定的影响^[11-15]。

鉴于本工程初拟的混凝土高坝方案对坝基岩体质量要求较高,故深入研究本工程岩石蚀变类型、蚀变程度及物理力学指标,查明岩石蚀变的工程地质特性,具有重要意义。

1 蚀变分布特征

根据工程区岩石蚀变发育位置,将其分为构造带内岩石蚀变和远离构造带的岩石蚀变,其中,构造带内岩石蚀变包含韧性剪切构造带内岩石蚀变和构造结构面部位岩石蚀变。

1.1 构造带内岩石蚀变分布特征

1.1.1 韧性剪切构造带内岩石蚀变

工程区地表可见的岩石蚀变主要受控于顺沿河

发育的韧性剪切构造带,尤其在中坝址右岸和下坝址左岸最为典型,韧性剪切构造带内的岩石大多发生了明显的蚀变,且蚀变岩体均呈现出沿韧性剪切带延伸方向发育的特征,平面上表现出线状或条带状形态,见图 1。

结合地质测绘,英安岩与花岗闪长斑岩内蚀变带的表观性状有明显的差异。其中,英安岩内主要发育了 SB2、SB3、SB4 及 SB5 等共计 4 条蚀变带,各蚀变带内的岩石均呈现出明显的破碎、片理化或糜棱化特征,风化程度较高,局部长期受地表水影响,呈黄白色破碎带,如图 2(a)和图 2(b)所示。花岗闪长斑岩内主要发育了 SB6、SB7 共计 2 条蚀变带,该两条蚀变带虽沿韧性剪切构造带发育方向延伸,但未见片理化特征,主要表现为地表部位除发育尺寸不一的蜂窝状孔洞外,局部还可见洞径 3 m~8 m、深 10 m~15 m 的洞穴,敲击声音偏闷。构造带内蚀变花岗闪长斑岩的表观特征如图 2(c)所示。

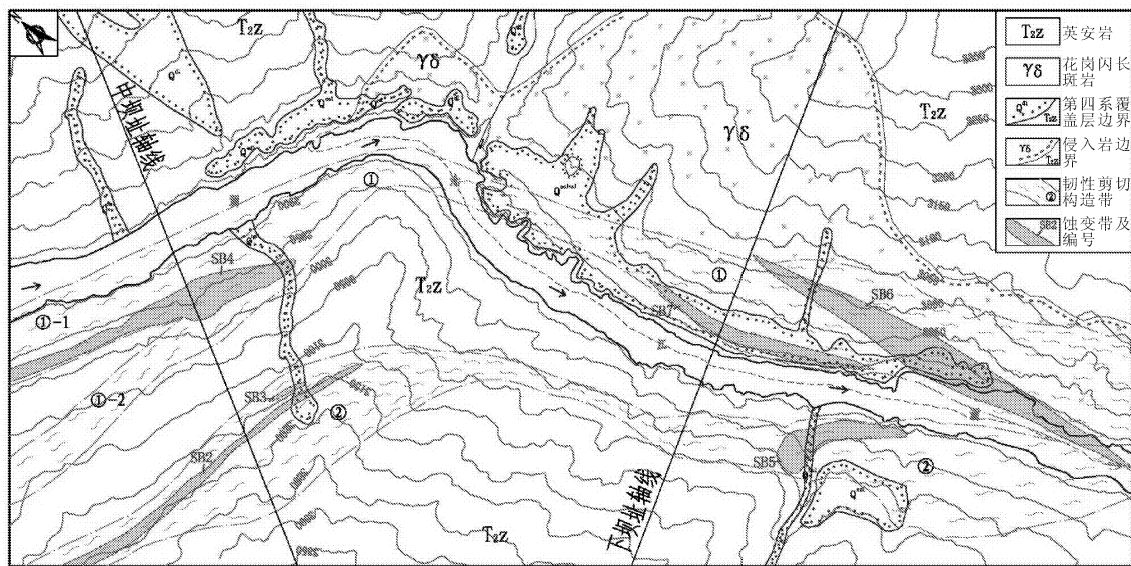
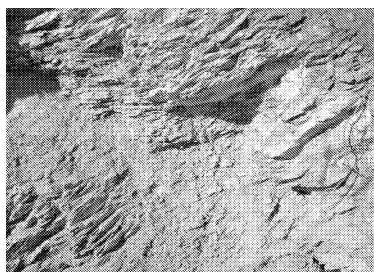
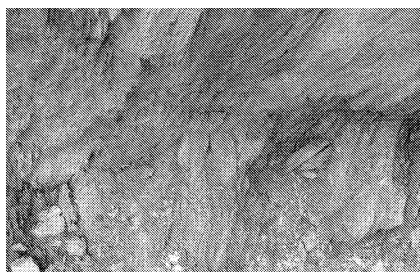


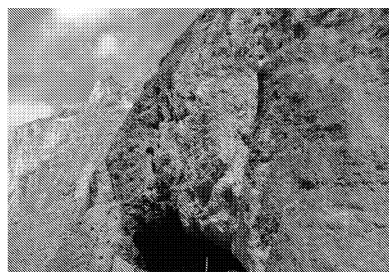
图 1 中、下坝址岩石蚀变平面分布图



(a) SB4带内英安岩特征



(b) SB5带内英安岩特征



(c) 蚀变花岗闪长斑岩特征

图 2 韧性剪切构造带内蚀变岩体表观特征

1.1.2 构造结构面岩石蚀变

工程区构造结构面部位岩石蚀变常见于小断层和构造裂隙部位,主要表现为沿小断层及构造裂隙位置的岩体,发生了沿岩体破裂系统的一系列蚀变,导致结构面位置破碎岩体或完整岩体结构面两侧岩石颜色发生明显变化,呈现出一定厚度的深色条带,如图3所示。该现象在工程区低高程平洞内较常见,且根据统计结果,结构面越发育部位的岩石蚀变程度越强烈。

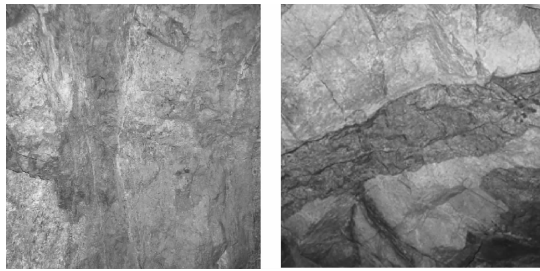


图3 结构面部位岩石蚀变表现特征

1.2 远离构造带岩石蚀变表现特征

远离构造带的岩石蚀变主要表现为蚀变部位构造结构面不发育,岩石的原有结构发生了破坏且伴有重结晶作用,尤其以花岗闪长斑岩表现较明显,其原有斑晶变得模糊,并呈现明显硅化特征,如图4所示。



图4 远离构造带的岩石蚀变表现特征

2 蚀变成因分析

结合本工程复杂的区域地质背景,分析认为坝址区岩石蚀变成因包含岩浆期后热液蚀变和构造热液蚀变。

(1) 岩浆期后热液蚀变。坝址区的英安岩和花岗闪长斑岩形成年代为印支晚期中三叠世时期,为古特提斯造山运动时期,火山岩浆和花岗岩浆期后热液主要形成于古特提斯造山过程。其中,火山岩体冷凝后,残余的岩浆热液对岩体的自蚀变即为火山岩浆期后热液蚀变;而在火山岩形成的同时或稍

晚时刻,花岗岩浆侵入火山岩地层,携带了大量的热量及钾质热液,导致火山岩浆期后热液蚀变加强的过程为花岗岩浆期后热液蚀变。火山岩浆期后热液蚀变和花岗岩浆期后热液蚀变统称为岩浆期后热液蚀变。

(2) 构造热液蚀变。坝址区的韧性剪切构造带及构造结构面的形成时期大都发生在喜山期,构造活动时,沿构造面运移的热液引起构造岩、构造裂隙外缘的围岩产生一定的蚀变作用,即为构造热液蚀变。

根据浆期后热液蚀变和构造热液蚀变的发生过程和坝址区岩石蚀变的分布特征,判别坝址区构造带内岩石蚀变的成因以构造热液蚀变为主,而远离构造带岩石蚀变成因为岩浆期后热液蚀变。

3 岩石蚀变微观特征

为深入研究工程区岩石蚀变微观特征,特采用岩石薄片镜下鉴定和X射线粉晶衍射分析(XRD)两种技术手段对岩石蚀变进行分析。

3.1 岩石薄片镜下鉴定

该类鉴定方法主要鉴别韧性剪切构造带内岩石蚀变特征及远离构造带的岩石蚀变特征。鉴定结果如下:

(1) 韧性剪切构造带内蚀变英安岩。岩石为斑状结构,斑晶仅可见大量的石英,斜长石斑晶以假象存在,基质为隐晶质-霏细结构。石英斑晶含量约5%,粒径变化于0.5 mm~1.5 mm之间。斜长石斑晶含量约5%,粒径与石英斑晶相当,受蚀变作用影响,保留了斜长石晶体假象,具有明显的变形拉长特征。基质以绢云母为主,多环绕斑晶展布,具有定向特征。镜下可见斑晶和大部分基质发生了高达25%的绢云母化和20%的高岭土化蚀变。典型镜下结构如图5(a)所示。

(2) 韧性剪切构造带内蚀变花岗闪长斑岩。岩石为斑状结构,斑晶为斜长石及少量石英和黑云母,基质为微晶粒状花岗结构。斜长石含量接近25%~30%,粒径0.5 mm~1.0 mm,基本全部发生了高岭土化和绢云母化蚀变,仅保留了斜长石晶体假象。石英斑晶含量共计约3%,粒径多为0.5 mm左右,多为它形粒状,波状消光现象明显。黑云母斑晶含量约3%,镜下为自形片状,粒径约0.5 mm左右,具有明显的变形扭折特征。典型镜下结构如图5(b)所示。

(3) 远离构造带的蚀变英安岩。岩石具有斑状

结构,斑晶以石英和斜长石为主,少量黑云母斑晶,基质为隐晶质结构。斜长石斑晶的光学特征几乎完全清晰,不具有明显的绢云母化和高岭土化蚀变。基质中不见大量的绢云母矿物。黑云母斑晶发生了中等的绿泥石化蚀变特征,可见其铁质析出现象。典型镜下结构如图 5(c) 所示。

远离构造带的蚀变花岗闪长斑岩:岩石为斑状结构,斑晶为斜长石和少量石英和角闪石。斑晶斜

长石含量约 15%,多为自形-半自形板状,粒径约 0.5 mm ~ 1.0 mm,斜长石较为新鲜,并未发生明显的高岭土化和绢云母化蚀变。石英多为它形,大多为浑圆状,粒径 0.2 mm ~ 1.0 mm 居多,含量约 5%。角闪石含量约 2%,半自形-自形柱状,多发生了绿泥石化和绿帘石化蚀变。基质较为新鲜,可见大量的微晶长石和石英,为典型的微晶粒状结构。典型镜下结构如图 5(d) 所示。

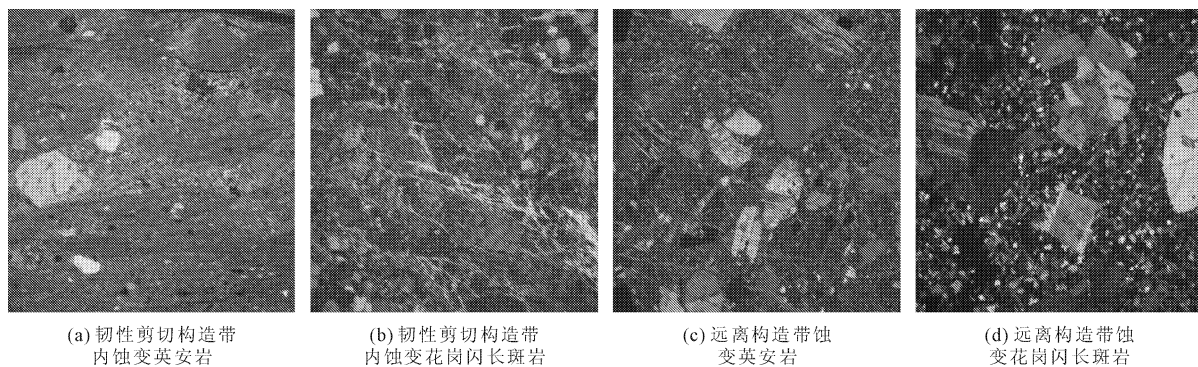


图 5 不同部位蚀变岩石薄片典型镜下图

3.2 X 射线粉晶衍射分析 (XRD)

该类鉴定方法主要鉴别结构面部位岩石蚀变特征及远离构造带的岩石蚀变特征。分别选取了同等风化程度下不同取样位置、不同蚀变程度的 4 组花岗闪长斑岩样品进行 XRD 特征图谱分析,并有效获

得了各样品矿物成分。其中,a 类样品取自远离构造带蚀变部位,b 类、c 类及 d 类样品取自断层构造蚀变部位。不同样品的 XRD 特征图谱如图 6 所示,分析成果见表 1。

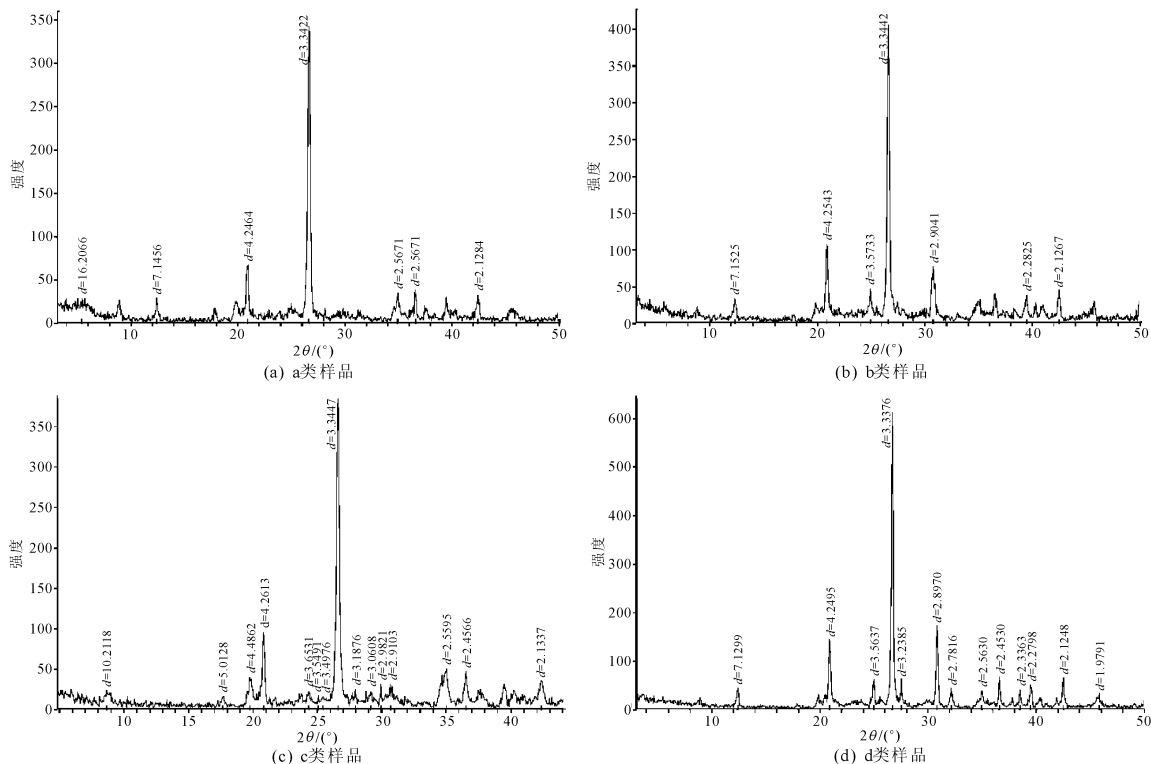


图 6 不同样品的 XRD 特征图谱

表 1 不同样品 XRD 分析测试成果统计表

样品名称	位置	风化程度	热液期、构造期蚀变/%					蚀变率/%	风化期/%			变化总量/%
			硅化	绢云母化	白云石化	菱铁矿化	绿泥石化		蒙托石化	伊利石化	高岭石化	
a 类样品	远离构造	弱风化	0.00	1.00	0.51	0.00	0.00	1.51	4.86	4.29	2.72	12.38
b 类样品	断层构造	弱风化	2.00	2.00	7.00	0.00	0.00	11.00	0.00	14.76	0.00	25.76
c 类样品	断层构造	弱风化	2.00	3.40	10.00	0.65	5.11	21.16	0.00	5.38	5.94	32.48
d 类样品	断层构造	弱风化	1.00	1.39	6.95	0.00	0.00	9.34	2.64	6.58	8.74	27.30

3.3 成果分析

结合镜下岩相学特征与 XRD 测试结果,不同部位、不同成因的岩石蚀变具有以下特征:

(1) 远离构造带的岩石蚀变类型主要包括绢云母化、碳酸盐化和风化期的粘土化,通过试验可见,其在热液期蚀变程度较弱,蚀变程度约 1.51% 左右。后期经历风化期改造后,其蚀变及风化变化总量为 12.38%。

(2) 构造结构面部位岩石蚀变类型主要为碳酸盐化,其次为绢云母化、绿泥石化、硅化和菱铁矿化等,蚀变程度为 9.34% ~ 21.26%。后期经历风化期改造后,其蚀变及风化变化总量为 25.76% ~ 32.48%。

(3) 韧性剪切构造带内岩石蚀变虽未进行 XRD 测试,但根据镜下岩相学特征,其蚀变类型主要为高岭土化和绢云母化,该类岩石蚀变在经历了

片理化改造及构造热液蚀变,蚀变程度达到了 25% ~ 45%。又由于该类蚀变发育位置多处于地表浅部,风化期改造作用较其余两类更强烈,故初步估计其蚀变及风化变化总量不低于 39%。

根据上述分析,坝址区远离构造带的岩石蚀变(a类)、构造结构面部位岩石蚀变(b类)及韧性剪切构造带内岩石蚀变(c类)的蚀变程度大小关系为:a类 < b类 < c类,蚀变及风化变化总量的大小关系为:a类 < b类 < c类。

4 物理力学特性分析

为进一步分析岩石蚀变对其物理力学特性的影响,将坝址区同属弱风化带的韧性剪切构造带内蚀变岩块、远离构造带蚀变岩块及未发生蚀变岩块的室内物理力学试验成果进行了统计分析。统计时将英安岩与花岗闪长斑岩进行了区分,结果如表 2 所示。

表 2 坝址区不同特征岩块物理力学参数统计成果

岩石类型	风化程度	特征类别	密度 /(g · cm ⁻³)	自然干抗压强度 /MPa	饱和抗压强度 /MPa	泊松比	内摩擦系数	黏聚力 /MPa
英安岩	弱风化	未发生蚀变	2.69	52.00	40.70	0.25	1.21	1.43
		远离构造带蚀变	2.69	46.20	35.90	0.27	1.20	1.27
		韧性剪切构造带内蚀变	2.61	19.71	14.19	0.33	0.59	0.67
花岗闪长斑岩	弱风化	未发生蚀变	2.68	100.85	60.45	0.23	1.40	1.61
		远离构造带蚀变	2.69	81.73	49.42	0.27	1.26	1.33
		韧性剪切构造带内蚀变	2.62	29.68	19.73	0.32	0.64	0.70

根据统计成果,同种岩性的岩块物理力学参数统计值对比反映了蚀变对岩石的物理力学特性具有削弱作用。以岩石单轴饱和抗压强度为例:弱风化带英安岩中,远离构造带蚀变岩石强度指标较未发生蚀变岩石削弱了 11.8%,韧性剪切构造带内蚀变岩石强度指标较未发生蚀变岩石削弱了 65.1%;弱风化花岗闪长斑岩中,远离构造带蚀变岩石强度指标较未发生蚀变岩石削弱了 18.2%,韧性剪切构造带内蚀变岩石强度指标较未发生蚀变岩石削弱了 67.4%。

上述物理力学指标的对比研究反映了同种岩性、同一风化带内未蚀变岩石(a类)、远离构造带的蚀变岩石(b类)与韧性剪切构造带内蚀变岩石(c类)的室内试验强度指标数量关系为:a类 > b类 > c类。

5 结 论

(1) 坝址区岩石蚀变成因分为岩浆期后热液蚀变和构造热液蚀变,其中,构造带内岩石蚀变以构造热液蚀变为主,远离构造带岩石蚀变属岩浆期后热液蚀变。

(2) 岩石蚀变类型主要为绢云母化、碳酸盐化及高岭土化,且韧性剪切构造带内岩石蚀变程度较其他部位高。

(3) 蚀变作用影响岩体质量,尤其影响岩石的物理力学特性。同种风化程度下,岩石的强度随蚀变程度的加深而降低,位于韧性剪切构造带内蚀变岩石的物理力学指标最差。

参考文献:

- [1] 魏伟,沈军辉,祝华平,等.黏土化蚀变岩与断层泥质物的工程性质对比研究——以孟底沟水电站工程为例[J].人民长江,2015,46(13):29-32.
- [2] 徐浩.富水强蚀变岩洞段注浆模拟试验及应用研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(6):123-128.
- [3] 于新华,翦波.蚀变花岗岩工程特性研究[J].西部探矿工程,2007(6):94-96.
- [4] 苗朝.岩体蚀变特征及工程地质特性影响研究——以大岗山坝区岩体为例[D].成都:成都理工大学,2015.
- [5] 苗朝,沈军辉,李文纲,等.大岗山坝区辉绿岩脉蚀变泥化特征及机理研究[J].工程地质学报,2014,22(1):130-136.
- [6] 苗朝,沈军辉,李文纲,等.大岗山坝区花岗岩蚀变特征及工程地质特性研究[J].人民长江,2014,44(24):23-25,38.

- [7] 覃礼貌,许模.西南某水电站坝区岩体绿泥石化蚀变及其工程对策[J].中国地质灾害与防治学报,2007,18(1):68-72.
- [8] 黄志全,侯合明,王振.天池抽水蓄能电站蚀变岩蚀变特征及工程特性[J].华北水利水电学院学报,2011,32(5):1-4.
- [9] 程来,周科平,李杰林.蚀变花岗岩物理力学特性试验研究[J].有色金属工程,2018,8(2):124-128.
- [10] 魏伟,沈军辉,苗朝等.风化、蚀变对花岗斑岩物理力学特性影响分析[J].工程地质学报,2012,20(4):599-606.
- [11] 王安明,周进,王忠福,等.天池抽水蓄能电站岩石风化、蚀变特征分析[J].华北水利水电学院学报,2013,34(4):21-25.
- [12] 刘恋嘉.叶巴滩水电站坝址区“砂糖状”挤压破碎带蚀变矿物岩石学特征及成因分析[D].成都:成都理工大学,2017.
- [13] 郭健,许模,张强.蚀变花岗岩特征及工程特性研究[J].甘肃水利水电技术,2009,45(9):27-42.
- [14] 江国勇,姚鹏程,李剑锋.青龙水电站引水隧洞花岗斑岩蚀变对围岩稳定性的影响[J].四川水利发电,2012,31(S1):31-33.
- [15] 蔡俊华.穿越花岗岩蚀变带隧道的工程地质特征及突涌机理分析[J].公路工程,2018,43(2):246-252,256.

(上接第 76 页)

- [15] 胡明研.压缩条件下层状复合岩石力学特性研究[D].焦作:河南理工大学,2009.
- [16] 余永强,胡明研,杨小林,等.层状复合岩体相似模拟的试验研究[J].金属矿山,2009(1):21-24.
- [17] 陈新,廖志红,李德建.节理倾角及连通率对岩体强度、变形影响的单轴压缩试验研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(4):781-789.
- [18] 张清照,沈明荣,丁文其.结构面在剪切状态下的力学特性研究[J].水文地质工程地质,2012,39(2):37-42.
- [19] Zhang X, Jiang Q, Chen N, et al. Laboratory Investigation on shear behavior of rock joints and a new peak shear strength criterion[J]. Rock Mechanics & Rock Engineering, 2016,49(9):1-18.
- [20] Liu Q, Tian Y, Liu D, et al. Updates to JRC - JCS model for estimating the peak shear strength of rock joints based on quantified surface description[J]. Engineering Geology, 2017,228:282-300.
- [21] 李正川.岩石各向异性的单轴压缩试验研究[J].铁道科学与工程学报,2008,5(3):69-72.
- [22] 王倩,王鹏,项德贵,等.页岩力学参数各向异性研究[J].天然气工业,2012,32(12):62-65.

- [23] Cho J W, Kim H, Jeon S, et al. Deformation and strength anisotropy of asan gneiss, boryeong shale, and yeoncheon schist[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2012,50(2):158-169.
- [24] 张永泽,刘俊新,冒海军,等.单轴压缩下页岩力学特性的各向异性试验研究[J].金属矿山,2015,44(12):33-37.
- [25] 衡帅,杨春和,张保平,等.页岩各向异性特征的试验研究[J].岩土力学,2015,36(3):609-616.
- [26] 乔世范,顿志林,倪宏革,等.横观各向同性地基本构模型研究[J].力学与实践,2005,27(1):50-53.
- [27] 何沛田,黄志鹏.层状岩石的强度和变形特性研究[J].岩土力学,2003(S1):1-5.
- [28] 陈天宇,冯夏庭,张希巍,等.黑色页岩力学特性及各向异性特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(9):1772-1779.
- [29] 王培涛,杨天鸿,于庆磊,等.含层理构造黑云变粒岩单轴压缩试验及数值模拟[J].东北大学学报(自然科学版),2015,36(11):1633-1637.
- [30] 黄春,左双英,王嵩,等.层状各向异性岩体的室内单轴压缩试验分析[J].长江科学院院报,2016,33(5):58-62.