

全风化玄武岩防渗料可行性试验研究

贾伟¹, 李庆², 肖杨²

(1.凉山州水利电力勘测研究院, 四川 西昌 615000; 2.西昌大地勘察设计院有限公司, 四川 西昌 615000)

摘要:为高质高量解决水利水电工程土石坝防渗料的就地取材问题, 结合杉树堡水库工程, 开展了全风化玄武岩作为土石坝防渗土料的可行性试验研究。根据全风化玄武岩分布特征和性质, 结合相关技术规范, 通过对风化土料的物理力学性质及渗透性质, 进行试验研究。研究表明:全风玄武岩土料为高液限含砾粉质黏土, 无膨胀性; 其有机质和水溶盐含量符合心墙坝防渗土料质量技术要求; 风化土料压实后, 最大干密度较低、最优含水率高、压缩系数较低、压缩模量较高, 渗透系数和抗剪强度满足规范对防渗料要求, 可以作为土石坝防渗料。

关键词:杉树堡水库; 全风化玄武岩; 防渗土料; 可行性

中图分类号:TV443 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2018)02-0013-04

Experimental Research on Feasibility of Impervious Material of Fully Weathered Basalt

JIA Wei¹, LI Qing², XIAO Yang²

(1. Research Institute of Water Conservancy and Electric Power Survey of Liangshan Prefecture, Xichang, Sichuan 615000, China; 2. Dadi Survey and Design Engineering Co. Ltd. of Xichang, Xichang, Sichuan 615000, China)

Abstract: To solve the problem of impervious material locally used in hydraulic-power engineering in a high-quality way, experimental research was carried out to verify the feasibility of impervious material of fully weathered basalt used in Shashubao Reservoir. In accordance with distribution characteristics and properties of fully weathered basalt, experimental research mainly included physical and mechanical properties and osmosis properties. Research shows that earth material of fully weathered basalt is high liquid limit gravel silty clay without expansibility, whose content of organic matter and water soluble salt meets the quality requirements of impervious material in core dam engineering. It can be used as impervious material for fully weathered basalt has good compressibility of low maximum dry density, and high optimum moisture content.

Keywords: Shashubao Reservoir; fully weathered basalt; impervious material; feasibility

四川西南部地区以山地为主, 属高烈度地震区, 在水利建设中, 土石坝有着较强的适宜性。防渗料是土石坝的主要筑坝材料之一, 工程区附近防渗土料的分布、开采条件, 物理力学性质等因素对工程的实施及投资有着较大的影响。川西南山区修建水利工程, 工程区附近往往缺少集中分布的黏土料作为土石坝防渗土料, 目前已有工程使用基岩风化料、洪积碎石土作为土石坝防渗料, 但基岩风化料多以泥岩、粉砂岩全-强风化料为主。雷波县杉树堡水库和昭觉县斯穆补约水库工程区及附近, 主要出露二叠系峨眉山玄武岩, 区域内无集中土层

分布, 修建土石坝所需的防渗料, 在选择上只有零星的残坡积土层和玄武岩全风化层, 玄武岩全风化层是否适用作防渗料, 成为坝型选择的关键。本文以雷波杉树堡水库防渗土料勘察试验为例, 针对玄武岩全风化层作为防渗料的可行性, 进行试验研究, 以期对水利工程建设中类似环境下修建土石坝选择防渗料, 提供借鉴。

1 工程概况

杉树堡水库位于四川省雷波县境内、金沙江左岸一级支流豆沙溪上游, 是一座新建解决人饮、灌

溉的综合性小一型水利工程。水库枢纽拦河大坝采用黏土心墙堆石坝,坝顶轴线长 294.80 m,最大坝高 52.71 m,坝顶高程 1963.71 m,坝顶宽 6.00 m。工程河段呈“U”型谷,地形相对较缓,河谷开阔。海拔高程多在 1 900 ~ 2 000 m,属于深切切割的构造侵蚀高中山河谷地貌,区域内的地层主要由第四系全新统松散堆积层(Q₄)和二叠系上统峨眉山玄武岩(P_{2b}),第四系松散堆积层分布零星,岩性杂乱^[1]。

根据工程区地质条件,在天然建材勘察工作中,经过 11 处土料场的比较,最终确定坝址较近的为黄泥巴道坡—蛮岩洞—大河沟堡之间为防渗土料场,并对该料场进行了详细勘察和取样试验。防渗土料为第四系残坡积土层和玄武岩全风化层^[2]。

2 玄武岩全风化层分布特征

2.1 岩性特征

工程区二叠系峨眉山玄武岩为深灰-深灰绿色,主要由基性长石和辉石等矿物组成,隐晶质结构,块状构造,主要有致密状玄武岩,杏仁状玄武岩,斑状玄武岩等。根据风化程度,可分为全风化、强风化、弱风化、弱风化四类。

全风化玄武岩为灰褐-褐黄色,主要由基岩风化次生黏土矿物组成,岩石组织结构基本完全破坏,已崩解和分解成松散的土状,偶见混合土碎石状,

但未移动,仍残留有原始结构痕迹,原岩矿物大部分风化蚀变为次生矿物,浸水易崩解;锤击有松软感,出现凹坑,矿物可手捏碎,用锹可以挖动。

2.2 分布特征

玄武岩风化全层分布受地形、地貌、原岩岩性、地质构造、气候条件等诸多因素的影响^[3]。杉树堡水库防渗土料场位于工程区附近的山脊、斜坡,属于深切切割的构造侵蚀高中山山地地貌。土料场地形一般为 5° ~ 25° 斜坡,微地貌主要为宽缓斜坡及山脊地貌。根据勘察揭露该料场表层 0.5~1.0 m 为根植土层,其下 1.5~6.1 m 为残坡积粉质黏土层。下伏玄武岩,其中,玄武岩全风化层厚 0.30 ~ 20.90 m,顶板埋深 1.50 ~ 6.10 m,底板埋深 2.70 ~ 31.20 m(局部含强风化玄武岩块碎石土层),风化土料有用层较稳定,储量丰富^[4]。

3 全风化土料质量评价

在料场范围内不同地段对全风化玄武岩取样共计 3 件,进行土料大样试验(编号为 N3、N4、N9),12 件小样进行室内土常规试验分析(编号为 NZK1-2~NZK2-6)。

3.1 基本物理性质

对风化土料(< 2 mm)部份进行了级配、颗分、界限含水率和自由膨胀率物理性质试验、化学分析等进行试验,其结果见表 1~3。

表 1 杉树堡水库风化土料细粒(< 2mm)物理性能试验

编号	比重	自由膨胀率/%	界限含水率					分散剂	颗粒分析/%				分散度/%	土的名称
			ω(L)/%	ω(P)/%	I _p	ω(10)/%	I ₁₀		>0.075	0.075 ~ 0.05	0.05 ~ 0.005	<0.005		
N3	2.84	28	60.6	34.8	25.8	52.8	18.0	加	16.1	16.9	25.2	41.8	26.1	粉质黏土
								不加	12.5	12.8	63.8	10.9		
N4	2.85	26	57.8	39.4	18.4	52.6	13.2	加	12.4	13.9	31.3	42.4	32.5	粉质黏土
								不加	12.7	13.1	60.4	13.8		
N9	2.86	29	51.5	30.2	21.3	45.1	14.9	加	40.2	27.6	18.4	13.8	40.6	轻粉质黏土
								不加	39.5	28.3	26.6	5.6		

根据表 1 试验结果可以看出:(1)风化土料自由膨胀率分别为 26%~30%,无膨胀性;(2)风化土料液限为 51.5%~60.6%,为高液限;塑性指数 I_p 为 17.8~25.8;(3)风化土料按土料塑性分类图,土样在塑性图上的分布范围大部分落于 A 线之下,其液限值

表 2 杉树堡水库风化土料化学试验 %

试样编号	土名称	有机质质量分数	易溶盐	中溶盐	水溶盐
N3	全风化玄武岩	0.39	0.052	0.154 4	0.206 4
N4	全风化玄武岩	0.49	0.046	0.161 2	0.207 2
N9	全风化玄武岩	0.39	0.055	0.150 9	0.205 9

高,一般都大于 50%,属高液限粉质土类,该料与典型的南方红土特征基本吻合。双比重计试验结果中,分散度为 30% ~ 50%,同样证明该风化土料红土化,具有团粒结构。

从表 2 的试验结果可以看出:风化土料水溶盐质量分数 0.187 2%~0.224 2%,满足规范土料水溶盐质量分数<3%的要求;有机质质量分数 0.39%~0.98%,满足规范对土料有机质质量分数<2%的要求。

可以看出:大样中黏粒占 < 5 mm 颗粒质量分数 12.8%~40.1%,小样中黏粒占 < 5 mm 颗粒质量分数 10.62%~37.7%,基本符合规范粘粒质量分数占 <

表3 杉树堡水库风化土料级配试验

试样 编号	颗粒组成/mm			小于某粒径之土质量百分数/%				黏粒占<5mm 颗粒质量分数	
	40	20	5	2	0.5	0.25	0.075		<0.005
N3	100	99.7	83.2	79.8	75.8	72.9	67.0	33.4	40.1
N4		100	91.9	85.7	82.5	80.2	75.1	36.3	39.5
N9	100	99.8	94.6	87.7	73.0	65.1	52.5	12.1	12.8
NZK1-6	100	95.8	86	71.5	69.5	66.4	64.7	28.3	32.91
NZK2-6	100	94.8	85.4	70.2	68.2	65	62.7	28.9	33.84
NZK1-3	100	96.2	86.2	71.6	69	65	63.3	24.9	28.89
NZK1-9	100	93.5	84.9	71.4	68.5	66	64	25.5	30.04
NZK2-4	100	93.7	84.3	71.9	70.3	67.4	65.5	31.5	37.37
NZK2-5	100	93.8	85.1	72.3	70.2	65.5	63	24.7	29.02
NZK2-7	100	94.8	84.6	70.7	68	64.1	62	25.7	30.38
NZK1-2	100	78.6	76.9	76.8	76.6	76.1	21.1		26.84
NZK1-4	100	78.2	75.7	68.9	62.1	54.2	10.6		13.55
NZK1-5	100	75.3	74.1	72.4	70.5	66.8	8		10.62
NZK1-7	100	72.4	70.7	69.5	68.7	67.6	13.7		18.92
NZK1-8	100	76.1	74	69.4	67.2	65.1	14.1		18.53

5 mm 颗粒的 15%~40% 要求。

根据表 1~3 的试验结果,参照 SL251—2015 可以看出,玄武岩全风化层土料为高液限(含砾)粉质黏土^[5]。

3.2 密度和渗透性

风化土料最大干密度分别采用单位击实功为 592.2 kJ/m³ 轻型击实和单位击实功为 2 684.9 kJ/m³ 重型击实试验测定^[6-7]。根据类似工程经验和大坝等级,采用重型击实试验,测得压实度为 0.96 时的干密度作为试验控制干密度^[8],并采用控制干密度所对应含水率制样做渗透试验 3 组,见表 4。

表4 风化土料密度和渗透试验

编号	天然含	轻型击实		重型击实		小型渗透		
	水率/ % 水率/%	最优含 干密度/ (g·cm ⁻³)	最优含 干密度/ (g·cm ⁻³)	最优含 干密度/ (g·cm ⁻³)	含水 率/%	干密度/ (g·cm ⁻³)	渗透系数/ (cm·s ⁻¹)	
N3	39.9	39.7	1.25	32.6	1.45	34.7	1.39	5.5×10 ⁻⁷
N4	42.5	41.0	1.25	33.3	1.44	35.7	1.38	4.3×10 ⁻⁷
N9	29.2	30.4	1.46	23.2	1.62	26.4	1.55	3.7×10 ⁻⁶

风化土料密度和渗透性试验结果可以看出:

(1) 采用轻型击实试验测得最大干密度 1.25~1.46 g/cm³, 最优含水率 30.4%~41.0%。天然含水率 29.0%~42.5%, 土料天然含水率在用最优含水率填筑允许范围内。采用重型击实试验测得最大干密度 1.44~1.62 g/cm³, 最优含水率 23.2%~33.3%。

(2) 采用重型击实试验,测得压实度为 0.96 时的干密度作为试验控制干密度,并采用控制干密度所对应含水率制作渗透试样,渗透系数为 4.6×10⁻⁷~3.7×10⁻⁶ cm/s, 满足规范对防渗料渗透系数小于 1.0×

10⁻⁵ cm/s 要求。

3.3 压缩性

采用重型击实试验,测得压实度为 0.96 时的干密度作为试验控制干密度,并采用控制干密度所对应含水率制作压缩样进行固结试验。结果表明风化土料饱和压缩指标 $a_{0.1-0.2}$ 为 0.140~0.214 MPa⁻¹、 $E_{s0.1-0.2}$ 为 5.397~13.078 MPa, 属中等压缩性。

3.4 抗剪强度

采用重型击实试验,测得压实度为 0.96 时的干密度作为试验控制干密度,并采用控制干密度所对应含水率制作直剪样进行直剪试验,结果见表 5。

表5 杉树堡水库风化土料直剪试验

编号	试验方法	制样控制条件 各级压力下的峰值剪应力/kpa					C/kPa	φ/%	
		干密度/ (g·cm ⁻³)	含水 率/%	100	200	300			400
N3	非饱和和不固结快剪	1.39	34.7	137.1	186.0	239.7	299.4	77.4	28.6
	饱和固结快剪			100.1	145.8	190.8	228.9	58.5	23.3
	饱和固结慢剪			82.9	136.2	185.5	234.1	33.9	26.7
N4	非饱和和不固结快剪	1.38	35.7	136.7	182.6	234.6	280.0	87.9	25.7
	饱和固结快剪			83.2	147.1	185.1	236.7	38.4	26.5
	饱和固结慢剪			71.3	115.7	180.2	221.9	17.2	27.4
N9	非饱和和不固结快剪	1.55	26.4	135.2	182.8	232.0	274.5	89.3	25.0
	饱和固结快剪			88.0	142.5	193.4	241.2	38.6	27.0
	饱和固结慢剪			77.1	134.7	191.4	248.7	20.1	29.8

风化土料直剪试验表明:风化土料非饱和和不固结快剪体积分数为 24.7%~28.6%, C 为 63.6~105.6 kPa; 饱和固结快剪体积分数为 19.9%~27.0%, C 为 19.3~58.5 kPa; 饱和固结慢剪体积分数为 23.3%~29.8%, C 为 17.2~40.0 kPa, 风化土料具有一定的抗剪强度。

3 结论

(1) 玄武岩全风化层为高液限(含砾)粉质黏土,无膨胀性;风化土料的有机质含量、水溶盐含量符合心墙坝防渗土料质量技术要求。

(2) 风化土料压实后,满足规范对防渗料渗透系数要求,具有中等压缩性。

(3) 风化土料击实最大干密度较低、最优含水率高、压缩系数较低、压缩模量较高、有一定的抗剪强度等性质可以作为土石坝防渗料。

(4) 由于风化土料场土料性质分布不均,建议使用时压实度、干密度和含水率等填筑标准应结合土性和试验成果选取,应控制粒径 > 5 mm 质量分数 ≤ 50%, 最大粒径不超过 150 mm; 粒径 < 0.075 mm 质量分数不低于 15%。

参考文献:

[1] 雷波县杉树堡水库初步设计工程地质勘察报告[R].西昌:西昌大地勘察设计有限公司,2017.

[2] 昭觉县斯穆补约水库可行性研究报告[R].西昌:凉山州水电设计院设计咨询有限公司,2017.

[3] 何利,朱笑青,王富东.川南滇北含自然铜杏仁状玄武岩的矿物组合与成因[J].矿物学报,2017,36(7):717-724.

[4] 雷波县杉树堡水库工程初步设计阶段筑坝材料试验研究报告[R].成都:四川省水利水电勘测设计研究院水电科研所,2016.

[5] SL251—2015.水利水电工程天然建筑材料勘察规程[S].北京:中国水利水电出版社,2015.

[6] SL 237—1999,土工试验规程[S].北京:中国标准出版社,1999.

[7] GBT 50123—1999,土工试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[8] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第5页)

[29] WANG K, HIRUKI C. PCR (Polymerase Chain Reaction)-based Selection of Phytoplasma-free Clones of Paulownia Tissue Culture after Heat Treatment of Witches'-broom[J]. Proceedings of the Japan Academy Series B-physical and Biological Sciences,1996,72(3):44-47.

[30] DAI Q, HE F T, LIU P Y. Elimination of Phytoplasma by Stem Culture from Mulberry Plants (*Morus Alba*) with Dwarf Disease[J]. Plant Pathology,1997,46(1):56-61.

[31] PARMESSUR Y, ALJANABI S M, SAUMTALLY S, *et al.* Sugarcane Yellow Leaf Virus and Sugarcane Yellows Phytoplasma: Elimination by Tissue Culture[J]. Plant Pathology,2002,51(5):561-566.

[32] CHALAK L, ELBITAR A, RIZK R, *et al.* Attempts to Eliminate Candidatus Phytoplasma Phoenicium from Infected Lebanese Almond Varieties by Tissue Culture Techniques Combined or Not with Thermotherapy[J]. European Journal of Plant Pathology,2005,112(1):85-89.

[33] CURKOVIC PERICA M. Auxin-treatment Induces Recovery of Phytoplasma-infected Periwinkle[J]. J Appl Microbiol,2008, 105(6):1826-1834.

[34] CARRARO L, ERMACORA P, LOI N, *et al.* The Recovery Phenomenon in Apple Proliferation-infected Apple Trees[J]. Journal of Plant Pathology,2004,86(2):141-146.

[35] MUSETTI R, di Toppi L, ERMACORA P, *et al.* Recovery in Apple Trees Infected with the Apple Proliferation Phytoplasma: An Ultrastructural and Biochemical Study[J]. Phytopathology,2004,94(2):203-208.

[36] MUSETTI R, TOPPI L S D, MARTINI M, *et al.* Hydrogen Peroxide Localization and Antioxidant Status in the Recovery of Apricot Plants from European Stone Fruit Yellows[J]. European Journal of Plant Pathology, 2005,112(1):53-61.

[37] PERICA M C, LEPEDUS H, MUSIC M S. Effect of Indole-3-Butyric Acid on Phytoplasmas in Infected *Catharanthus Roseus* Shoots Grown in Vitro[J].Fems Microbiology Letters,2007,268(2):171-177.

[38] CURKOVICPERICA M. Effect of Indole-3-Butyric Acid on Rooting of Phytoplasma-recovered and Healthy Periwinkle *Catharanthus Roseus* (L.) G. Don[J].Croatica Chemica Acta. 2008,81(4):641-646.

[39] CHANG C. Pathogenicity of Aster Yellows Phytoplasma and Spiroplasma Citri on Periwinkle[J]. Phytopathology,1998,88(12): 1347-1350.

[40] PERTOT I, MUSETTI R, PRESSACCO L, *et al.* Changes in Indole-3-Acetic Acid Level in Micropropagated Tissues of *Catharanthus Roseus* Infected by the Agent of the Clover Phyllody and Effect of Exogenous Auxins on Phytoplasma Morphology[J]. Cytobios,1998,95(378):13-23.

[41] OSHIMA K, KAKIZAWA S, NISHIGAWA H, *et al.* Reductive Evolution Suggested from the Complete Genome Sequence of a Plant-pathogenic Phytoplasma[J].Nature Genetics,2004,36(1):27-29.

[42] BAI X, ZHANG J, EWING A, MILLER S A, *et al.* Living with Genome Instability:The Adaptation of Phytoplasmas to Diverse Environments of Their Insect and Plant Hosts[J]. Journal of Bacteriology,2006,188(10):3682-3696.

[43] JAGOUEIXVEILLARD S,TARENDEAU F,GUOLTER K,*et al.* *Catharanthus Roseus* Genes Regulated Differentially by Mollicute Infections[J].Molecular Plant-microbe Interactions,2001,14(2):225-233.

[44] 田国忠,李怀方,裘维蕃.植物激素与植物病害的相互作用[J].植物生理学通讯,1999(3):177-184.

(责任编辑:蒋召雪)