

# 水坝工程中强蚀花岗岩的改良研究

关志伟

(新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 选取我国西北某地区水电站坝区内的强蚀变花岗岩作为研究对象, 针对强蚀变花岗岩具有经浸水饱和后压缩量增大即遇水软化、强度衰减即水稳定性差等物理及力学性质, 不宜直接用于工程坝基填筑需进行改良。设计不同掺灰比, 将水泥和生石灰作为改良剂对强蚀变花岗岩进行改良。对比分析改良前后强蚀变花岗岩试样的物理特性, 发现两种改良剂均使其各性能得到显著改善。综合对比两种改良剂的性质最后确定最优化改良方案是7%掺灰比的水泥改良剂。

**关键词:** 强蚀变花岗岩; 渗透系数; 压缩系数; 水泥; 生石灰

**中图分类号:** TV49

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007-7839 (2018) 02-0067-06

## Study on improvement of strong corrosion granite in dam project

GUAN Zhiwei

(Xinjiang Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Urumchi 830000, Xinjiang)

**Abstract:** Select strong corroded granite in the dam area of a hydropower station in a region of northwestern China as the research object. Regarding the strong physical alteration properties of granitic rocks, such as water softening, strength decay, water stability and so on, they should not be directly used for engineering dam foundation filling, and need to be improved. With different ash blending ratios, refine strongly corrosive granite with cement and quicklime as modifiers. By comparing the physical properties of the strongly altered granite samples before and after the improvement, it is found that the two modifiers have significantly improved their properties. Comprehensive comparison of the nature of the two modifiers finally determines that the optimal improvement of the solution is 7% cement quicklime mixed ratio modifier.

**Key words:** strong altered granite; permeability coefficient; compression coefficient; cement; lime

## 0 引言

花岗岩地质地层广泛地分布在我国西北地区<sup>[1]</sup>。这种地质在长期的自然环境作用(主要是热液作用和表生作用)下产生各种次生变化, 这一变化称为蚀变<sup>[2]</sup>。而这种强蚀变后的花岗岩呈松散沙土状, 在水坝选址过程中, 坝基岩石的蚀变特征对岩体的工程

地质特性具有很大的影响, 若以强蚀变花岗岩为坝基, 会严重影响坝基、隧洞和地下厂房的稳定性<sup>[3]</sup>。但为节约工程投资, 需对此类强蚀变花岗岩进行改良, 使其能够为水坝修建提供丰富的原材料。

目前对强蚀变花岗岩的改良方法主要存在物理改良与化学改良两种。外掺石灰与水泥等多种改良掺合物的物理改良方法最为成熟。如方磊<sup>[4]</sup>等人对

收稿日期: 2017-11-03

作者简介: 关志伟(1984-), 男, 工程师, 本科, 主要从事工程地质和水文地质研究工作。

全风化蚀变花岗岩作了掺砂改良以作为高速公路路基填料,武凤远<sup>[5]</sup>论证了花岗岩物理改良填料后用于高速铁路填筑的可行性,冯箴<sup>[6]</sup>等人探究了全风化花岗岩土料在大坝坝基和防渗墙填筑中的运用。

本文以我国西北某水坝坝基强蚀变花岗岩地质为研究对象,探析改良后的强势花岗岩充当坝基填充料的可行性。

## 1 强蚀花岗岩的基本力学特性

在施工前研究坝基花岗岩的蚀变特征是评价坝基花岗岩工程地质特征,决定工程建基选择的重要地质依据。因此,需要先对改良前的强蚀变花岗岩的基本力学性质进行检验。本次试验选用我国西北某水坝坝基选址的强蚀变花岗岩为试样,以压实度为控制指标,对其分别进行渗透、压缩和强度3种特性检验。

### 1.1 渗透特性试验

结合材料压实度对渗透性的影响,选择变水头方法为改良前强蚀变花岗岩材料的渗透特性试验。分别制作压实度为90%、92%、94%、96%的4种不同的材料试样,对其进行平行试验,得出图1中曲线变化。

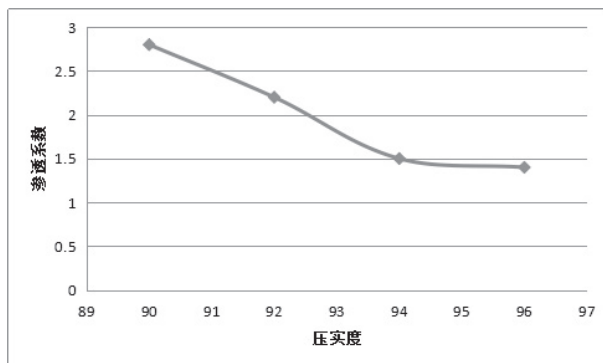


图1 渗透系数与压实度的变化关系

从图1压实度和渗透系数的关系曲线可以看出,强蚀变花岗岩材料在改良前其渗透系数随着压实度的增加而呈现单调递减的变化趋势。而且其递减的速度并不是定值的,在92%~94%区间材料的渗透系数递减速率最快,其次是90%~92%区间,而在94%~96%区间变化幅度较小,94%压实度的试样渗透系数基本与压实度为96%的试样一样。

### 1.2 压缩特性试验

试验选择侧限压缩试验来进行强蚀变花岗岩改良前的压缩特性检验。选取与前面做渗透性试验相同

的4种不同压实度的强蚀变花岗岩试样,通过对其施加按50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、800 kPa的递变等级递增的法向载荷,分别记录每级加载稳定后的百分表读数,从而得到材料的压缩系数和压缩模量。因为在一定压实度下,强蚀变花岗岩分别具有最优含水率和浸水饱和2种状态,需要分别进行试验,图2和图3就是得到的强蚀变花岗岩分别在2种状态下的压缩性指标。

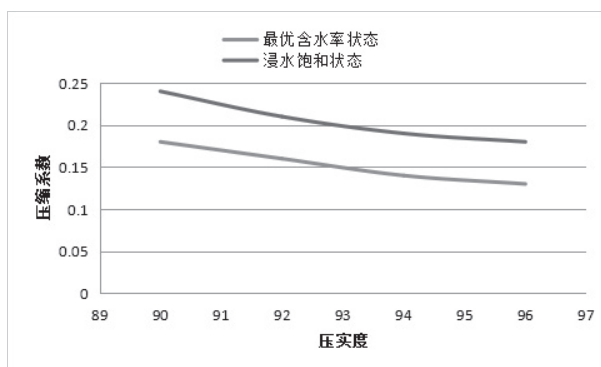


图2 压实度与压缩系数的变化关系

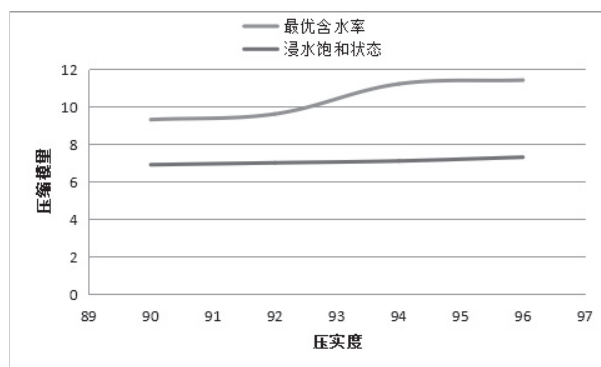


图3 压实度与压缩模量的变化关系

从图2和图3不同状态下的压实度与压缩系数和压缩模量的关系曲线可以看出,压缩系数随着压实度的递增而逐渐减小,压缩模量随着压实度的增加而逐渐增大,这说明试样愈密实,其可压缩性愈低,压缩变形愈小。而且浸水饱和对强蚀变花岗岩的压缩模量影响较小。

### 1.3 强度特性试验

本次研究对强蚀变花岗岩借助直接剪切试验和三轴压缩试验2种方法来检测其强度特性。

#### 1.3.1 直接剪切试验

改良前的强蚀变花岗岩的直接剪切试验选择与前面2次试验相同的试样进行,选取压实度分别为90%、92%、94%、96%的4种不同材料试样,依次以最优含水率和浸水饱和2种含水比例按100kPa、

200kPa、300kPa、400kPa 的递增等级对其施加法向载荷, 进行不固结快剪, 得出表 1 的结果。

结合已经成熟的针对强蚀变花岗岩的物理改良方法, 以生石灰和水泥作为强蚀变花岗岩的改良剂, 分

表 1 不同压实度试样抗剪强度

压实度 /%	凝聚力 $c/\text{kPa}$		内摩擦角 $\varphi/(\text{ }^\circ)$	
	最优含水率	饱和状态	最优含水率	饱和状态
90	24.4	14.5	24.9	24
92	25.4	16	25.9	25.5
94	27.4	17	26.8	26.3
96	30.1	17.5	27.3	28.9

从表 1 可以看出, 强蚀变花岗岩在最优含水率状态下, 随着压实度的增加, 凝聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$  都随之增大, 但在浸水饱和状态下, 二者都出现了弱化现象, 特别是凝聚力有明显降低。

1.3.2 三轴压缩试验

选取与直接剪切试样同样的强蚀变花岗岩试样开展固结不排水三轴剪切试验。将 4 种不同饱和度的试样按最优含水率 15% 配置 3 组, 再分别以 100kPa、200kPa、300kPa 的垂直载荷围压固结剪切, 得到结果见表 2。

别设计 2%、4%、6% 和 8% 的掺灰比对比这 2 种改良剂的改良效果。

将改良剂与干土充分混合搅拌, 用塑料密封并经过 1 d 静置后; 按 15% 的最优含水率配制成为改良后的强蚀变花岗岩试样; 再按 96% 的设计压实度制备后以 15 d、30 d 为期龄进行养护; 最后对制备的试样进行渗透试验、固结试验以及直剪和三轴试样得出结果。

3 改良的试验结果

表 2 不同压实度三轴剪切强度

压实度 /%	凝聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{ }^\circ)$	有效凝聚力 $c'/\text{kPa}$	有效内摩擦角 $\varphi'/(\text{ }^\circ)$
90	20	23.4	13	33.5
92	23	27.1	14	33.6
94	25	28.8	16	33.8
96	30	30.2	18	34.5

从表 2 各压实度试样固结不排水剪切强度实测值可以看出, 强蚀变花岗岩凝聚力  $c$  随着压实度的增大而递增, 相应的内摩擦角  $\varphi$  也随之增大, 由  $23.4^\circ$  增加到  $30.2^\circ$ 。随着压实度的增加有效强度指标的递增速度较缓慢, 这一点特别是在有效内摩擦角  $\varphi$  上体现明显, 仅仅由  $32.4^\circ$  增加至  $33.4^\circ$ 。

2 改良方案设计

经过上述试验检测得出在改良前, 当强蚀变花岗岩材料压实度为 96% 时, 其渗透系数为  $1.41 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ , 属于偏大; 浸水饱和后压缩性明显增大, 浸水饱和状态的凝聚力显著降低, 降幅高达 36%, 这说明改良前的强蚀变花岗岩材料的水稳定性较差, 会出现遇水软化的现象, 这种特性直接导致其不能作为坝基填筑材料, 需对其进行改良。

3.1 针对渗透特性的改良

针对强蚀变花岗岩的渗透特性的改良选择变水头方法, 将试验结果绘制成图 4。

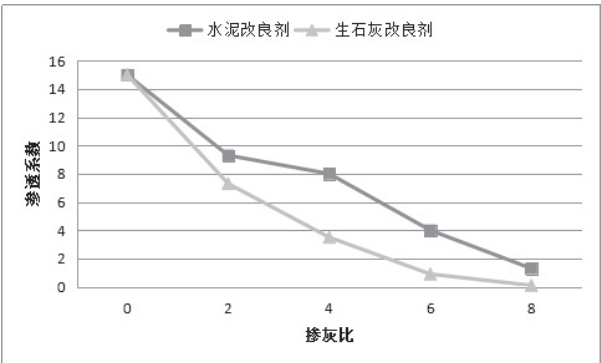


图 4 2 种改良剂改良后的试样渗透特性

从图 4 可以看出, 与改良前相比, 这 2 种改良剂不管加入哪一种都能使强蚀变花岗岩的渗透系数明

显降低,且随着掺灰比的增加而加剧。其中又以生石灰改良剂最为显著,从掺灰比0%~8%,试样的渗透系数降低幅度超过了14倍;加入水泥改良剂也产生了明显的降幅,渗透系数从没加入改良剂之前的 $1.5 \times 10^{-4}$  cm/s降为掺灰比8%时的 $1.3 \times 10^{-5}$  cm/s。

### 3.2 针对压缩特性的改良

分别用生石灰和水泥作为改良剂,按同样的掺灰比梯度改变其掺量,然后以同样的配置方法和养护龄期制备试样,经过固结试验得出经改良剂改良后的强蚀变花岗岩的压缩特性变化。

#### 3.2.1 生石灰改良剂对强蚀变花岗岩的压缩性影响

在强蚀变花岗岩中分别加入0%、2%、4%、6%、8%掺量的生石灰改良剂,其压缩性能参数变化和分布如图5和图6所示。

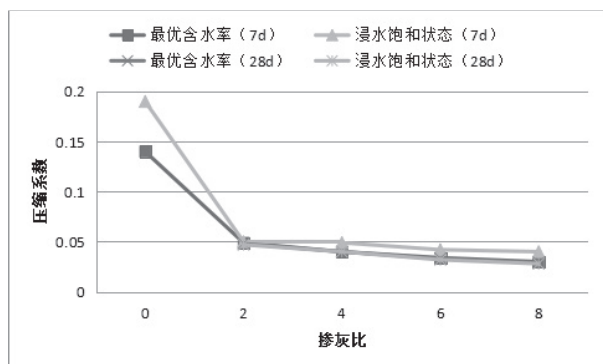


图5 生石灰对强蚀变花岗岩压缩系数的影响

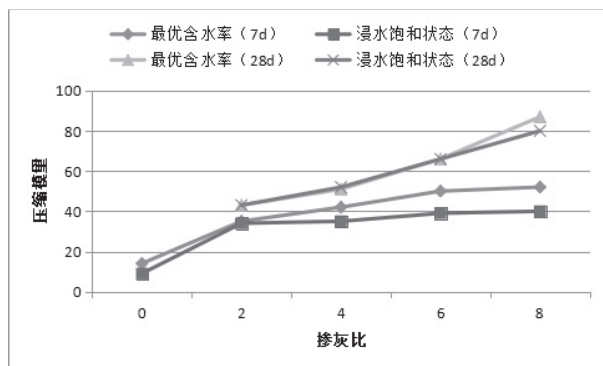


图6 生石灰对强蚀变花岗岩压缩模量的影响

分析图6和图7可以看出,与改良前相比,加入了石灰石的强蚀变花岗岩试样的压缩系数明显降低,且均小于低压缩性土的门槛 $0.01 \text{ MPa}^{-1}$ 。此外,不论何种状态下的试样,其压缩系数并不随着加入生石灰的掺量增加而产生明显的变化,说明在2%~8%这个掺灰比范围内,改变石灰石掺量对强蚀变压缩性能的影响并不明显。同时,随着生石灰掺量从0%

到8%的递增,试样的压缩模量递增,且当掺灰比一定时,更长的养护龄期下试样的压缩模量更高。

#### 3.2.2 水泥改良剂对强蚀变花岗岩的压缩性影响

在强蚀变花岗岩中加入0%、2%、4%、6%、8%的水泥改良剂,其压缩性能参数变化和分布如图7、图8所示。

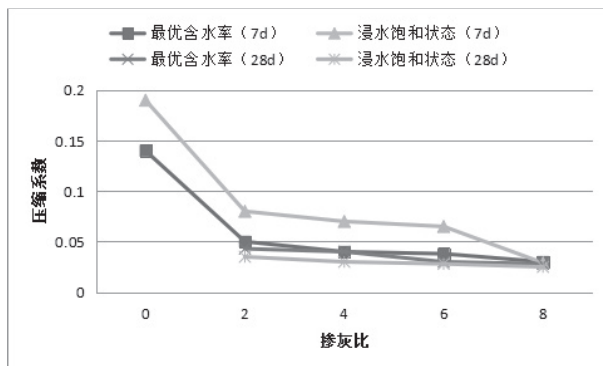


图7 水泥对强蚀变花岗岩压缩系数的影响

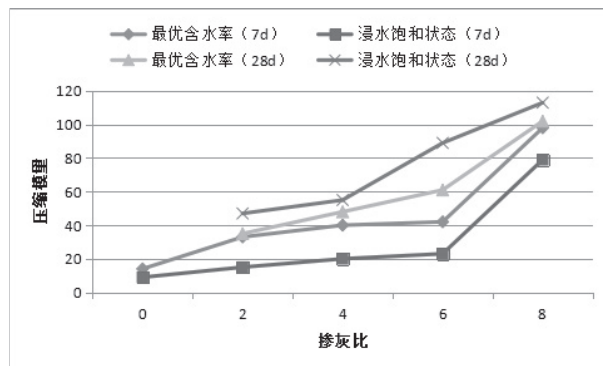


图8 水泥对强蚀变花岗岩压缩模量的影响

由图7和图8可以看出,与改良前相比,加入了水泥的强蚀变花岗岩试样的压缩系数普遍明显降低,同样均小于低压缩性土的门槛 $0.01 \text{ MPa}^{-1}$ 。同时随着掺灰比的增加,压缩系数呈现不同幅度的递减,试样的压缩模量随着水泥掺量从0%~8%的递增而递增。对于水泥改良剂来说,当掺灰比一定时,不同的养护龄期下试样的2个压缩指标均有明显差异。更长的养护龄期下压缩系数更小,而压缩模量更大。

综上所述,生石灰和水泥这2种改良剂对强蚀变花岗岩的压缩特性影响趋势大体相同,都能降低其压缩系数,增加压缩模量,但生石灰改良剂对降低试样的压缩系数的程度不如水泥,水泥改良剂使试样拥有更小的压缩模量。且浸水饱和后加入水泥改良剂的试样水稳定性进一步提升,可见水泥改良剂对强蚀变花岗岩的压缩特性提升更明显。

### 3.3 针对强度的改良



对分别加入不同掺灰比水泥和生石灰的改良强蚀花岗岩试样进行不同龄期的养护后, 直接剪切试验, 其性能参数变化如表 3 所示。

从表 3 可以看出, 当掺灰比在 0 ~ 6% 之间时, 经过水泥改良剂改良的试样凝聚力显著提升, 从 19 kPa 到 221 kPa, 增长超过 10 倍。当掺灰比超过 6% 后,  $c$  的增长趋于平缓。相比之下经过生石灰改良剂改良的试样在掺灰比为 0 ~ 4% 之间时凝聚力增长较快, 当掺灰比过了 4% 之后增速放缓甚至出现回落。但不管是水泥还是生石灰, 经过两者改良的试样养护龄期愈长其凝聚力就增长得愈多。

不论改良剂是生石灰还是水泥, 其对试样内摩擦角的改变都相似, 在 0 ~ 4% 掺灰比区间增长迅速, 当掺灰比超过 4% 之后其对内摩擦角的影响很小, 仅

在很小范围内波动。与凝聚力相似, 同样的改良剂掺灰比下, 养护龄期愈长的改良后试样其内摩擦角越大。

依旧选取同样规格的试样分别加入两种不同改良剂, 养护 7 d 后进行三轴剪切试验检验其总强度指标和有效强度指标, 结果见表 4、表 5。

从表 4 可以看出, 经过水泥改良剂改良的强蚀花岗岩试样的凝聚力和有效凝聚力都随着掺灰比的增加而显著升高, 从 0% ~ 8%,  $c$  和  $c'$  分别增大了 6.4 倍和 8.9 倍; 而内摩擦角和有效内摩擦角在掺灰比为 0% ~ 4% 之间显著提升, 分别增大了 22.6% 和 16.9%, 当掺灰比超过 4% 之后增速变缓甚至回落, 在 6% 时到达极值。

从表 5 可以看出, 同水泥改良剂一样, 当掺灰比

表 3 改良后的强蚀花岗岩直接剪切强度指标

掺灰比例 /%	龄期 /d	水泥		生石灰	
		凝聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ / ( ° )	凝聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ / ( ° )
0		19	28.4	19	28.4
	7	84	30.3	82	30
2	28	139	30.9	116	30.5
	7	147	32.7	143	32.8
4	28	176	33.9	163	34.1
	7	169	32.9	113	33.1
6	28	221	34.3	170	34.1
	7	178	33.5	102	33.5
8	28	234	34.6	166	33.7

表 4 水泥改良剂改良后的试样强度参数

掺灰比例 /%	凝聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ / ( ° )	有效凝聚力 $c'$ /kPa	有效内摩擦角 $\varphi'$ / ( ° )
0	25	31	18	33.8
2	82	37	69	37.9
4	93	38	75	39.5
6	135	38.5	128	40.1
8	185	38	178	39.2

表 5 生石灰改良剂改良后的试样强度参数

掺灰比 /%	凝聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	有效凝聚力 $c'/\text{kPa}$	有效内摩擦角 $\varphi'/(\circ)$
0	25	31	18	33.8
2	75	35.9	65	37.2
4	80	36.7	70	38.2
6	104	37.4	91	38.9
8	96	37.2	88	38.4

在 0% ~ 6% 之间时, 在强蚀变花岗岩试样中加入生石灰可以显著增大试样的凝聚力和有效凝聚力, 使  $c$  和  $c'$  分别增大了 3.2 倍和 4.1 倍, 且在 6% 时达到极值, 可见增加程度比同等掺量的水泥改良剂要小, 这说明同等掺灰比下, 水泥比生石灰具有更强的增加试样的凝聚力的特性。生石灰改良试样的内摩擦角和有效摩擦角的变化和水泥改良剂相似, 在掺灰比为 0% ~ 4% 之间增长较大, 分别增长了 16.5% 和 13%, 当掺灰比超过 4% 之后增速放缓, 并在 6% 时达到极值。可见不论凝聚力还是内摩擦角, 经过水泥改良剂改良的试样比生石灰的试样值更大, 说明水泥改良后的强蚀变花岗岩具有更好的强度特性。

#### 4 结论

经过对比改良前后试样在渗透、固结和强度方面的试验结果, 得到以下结论:

(1) 通过对改良前强蚀变花岗岩的渗透、压缩和强度特性的试验分析, 得出强蚀变花岗岩在浸水饱和后, 其压缩性明显增大、抗剪强度指标凝聚力显著降低, 说明其水稳定性较差, 不能直接作为坝基修筑材料, 需要对其进行改良。

(2) 水泥和生石灰都能有效提高强蚀变花岗岩的各类性能, 都能降低其渗透系数和压缩系数, 增加压缩模量, 提升凝聚力和内摩擦角, 且随着改良剂掺灰比的增加而影响更大。

(3) 在相同掺灰比下, 生石灰对降低试样的渗透系数有着比水泥更显著的效果, 但过低的坝体渗透系数会使水分在水坝枯水期产生回流现象, 影响稳定性并不利于坝体渗流<sup>[7]</sup>, 所以从渗透性方面考虑, 应优先选用水泥作为改良剂。

(4) 在相同掺灰比下, 加入水泥改良剂的试样压缩形变要小于生石灰。而且随着养护龄期的增加而更明显。同时浸水饱和后试样的压缩形变量比最优含水率状态更小, 浸水饱和后加入水泥改良剂的试样水稳定性进一步提升, 使试样拥有更为出色的压缩特性及水稳定性。所以相对于生石灰来说, 水泥在改良压缩特性方面是更好的改良剂。

(5) 在相同掺灰比下, 加入水泥改良剂的试样有着比加入生石灰改良剂试样更好的强度, 且在掺灰比为 7% 时达到极值。所以水泥比生石灰更适合改良强蚀变花岗岩, 在水坝坝体坝基的施工中, 应该选取水泥以掺灰比为 7% 加入强蚀变花岗岩来改良其特性。

#### 参考文献:

- [1] 张瑞旗. 强蚀变花岗岩力学特性及其改良研究[J]. 华北水利水电大学, 2016(03):89.
- [2] 郭健, 许模, 张强. 蚀变花岗岩特性及工程特性研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2009(09):27-29.
- [3] 湛川, 李宝玉, 张瑞旗, 等. 强蚀变花岗岩坝基填料改良试验[J]. 人民长江, 2017(48):232.
- [4] 方磊, 马宏剑. 掺砂处理全风化花岗岩路基填料室内 CBR 试验研究[J]. 苏州科技学院学报, 2016, 19(01): 22-25.
- [5] 武凤远. 高速铁路花岗岩全风化武填料改良试验研究[J]. 路基工程, 2014(02):85-88.
- [6] 赵仕杰, 冯锋. 刘家蓄水库大坝安全性分析[J]. 人民长江, 2006(09):27-29.
- [7] DL/T 5395-2007, 碾压式土石坝设计规范[S].