

基于原位试验的土壤崩解特性研究

——以黄口堰水库扩建工程均质土坝填筑为例

魏亚飞 李九斤 王名俊

(郴州市水电建设公司,湖南 郴州 423000)

【摘要】 均质土坝的填筑土样具有遇水崩解的特性,在南方湿热多雨的气候条件下,极易发生崩解破坏,故其崩解特性及控制机理成为实际工程建设中关注的热点问题之一。本文以黄口堰水库扩建工程均质土坝填筑为例,开展了不同松铺厚度、不同压实遍数条件下基于原位试验的土壤崩解特性试验。结果表明:不同松铺厚度、不同机械压实遍数对试验土样的崩解特性有显著的影响;试验土样崩解速度由慢到快再到慢,土壤崩解主要发生在试验前3min,土样崩解量的80%在此时间段完成。

【关键词】 均质坝;土壤;崩解;松铺厚度;压实遍数

中图分类号: TV443+.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2021)05-022-06

Study on soil disintegration characteristics based on in-situ test: taking homogeneous earth dam filling of Huangkouyan Reservoir Expansion Project as an example

WEI Yafei, LI Jiujin, WANG Mingjun

(Chenzhou Hydropower Construction Co., Chenzhou 423000, China)

Abstract: The filling soil samples of homogeneous earth dams have the characteristic of disintegration in water. Disintegration damage occurs easily under the humid, hot and rainy climate conditions in South China. The disintegrating characteristics and control mechanism of homogeneous earth dams have become one of the hot issues concerned in practical project construction. The filling of homogeneous earth dams in Huangkouyan Reservoir Expansion Project is adopted as an example for soil disintegration characteristic tests based on in-situ tests under different loose paving thicknesses and different mechanical compaction times. The results show that the disintegration characteristics of the test soil samples are significantly affected by the different loose paving thicknesses and the different mechanical compaction times. The disintegration rate of the test soil samples is changed from slow to fast and then to slow. The soil disintegration mainly occurs in the first 3 minutes of the test, and 80% of the soil sample disintegration volume is completed within the period.

Keywords: homogeneous dam; soil; disintegration; loose paving thickness; compaction times

收稿日期: 2020-09-16

作者简介: 魏亚飞(1992—),男,硕士,助理工程师,主要从事水利水电施工管理工作。

土的崩解,又叫土壤湿化,是指土在静水中发生碎裂塌落或强度降低的现象。该特性使得土壤的稳定性在遇水骤降的同时发生散解。土壤的崩解特性引起了众多专家学者的关注,并通过实验研究获得了一定的研究成果^[1-5]。从水利工程施工及均质坝填筑角度看,土壤的强崩解性会加剧水流的潜蚀作用,严重时可掏空均质土坝的坝体,即对坝体稳定产生一定的破坏^[6]。同时会导致土体失稳,造成崩塌等一系列灾害,并且建设工程的地基基础会遭受破坏,从而引发工程失稳,进而给水利工程施工埋下严重的安全隐患^[7]。在水利施工和试验中发现,在较陡的水利工程边坡中存在大量土壤崩解现象,尤其在压实土体中崩解现象较多^[8]。湖南省地貌单元复杂,边坡土壤崩解、潜蚀现象增加了该地区水利工程建设难度,也为建成后的运营安全带来了不利影响。因此,研究水利施工中土壤的崩解性在工程地质领域具有重要的理论价值和实际意义。

本研究基于黄口堰水库扩建工程大坝填筑工程,进行原位土壤崩解试验,从大坝填筑土层铺土厚度、机械碾压遍数等主要影响因素出发,研究填筑土层遇水发生湿化散解的特性,为该地区的工程建设及水土保持提供参考。

1 工程区概况

黄口堰水库位于湖南省郴州市境内,属Ⅲ等中型工程,水库扩建后正常蓄水位为228.60m,相应库容为1038万 m^3 。大坝扩建采用均质黏土坝填筑,扩建后坝轴线在老坝轴线上游32.0m,大坝坝顶高程231.00m,宽度6.0m,轴线长591.00m,最低建基面高程192.00m,最大坝高39.00m。对大坝填筑的均质土壤取样进行颗粒分析发现,砂粒含量为20.79%、粉粒含量为38.65%、黏粒含量为40.56%,粒度成分相对均一,以黏粒为主,其次是粉粒,砂粒最少。天然干密度为 $1.28\text{g}/\text{cm}^3$,碾压前土壤的平均含水量为31.63%。

2 试验流程及操作要点

按照规范要求,结合碾压需要,在现场实际施工前,需要进行碾压预试验,试验场地长8m,宽3.5m,地

势平坦、地基坚实。参照相关规范所规定的填筑厚度及类似水利工程的施工经验,确定本次试验土料的松铺厚度分别为30cm、40cm、50cm,同时保证填筑层中土样的直径在一定范围内。在进行机械碾压时首先全场静压1遍,以增强填筑层土壤的稳定性,然后用机械以 $2\text{km}/\text{h}$ 的速度平行于铺料方向,在划定的工作区域内按进退作业法分别对填筑层碾压2、4、6、8、10遍。在相同条件下,通过对铺土厚度、碾压遍数的组合试验,得出两参数组合的最优值(见表1)。

表1 碾压试验的碾压参数组合

碾 压 参 数	
铺土厚度	碾压遍数
30cm、40cm、50cm	2、4、6、8、10

样品采集工具为方形环刀,规格为长5cm、宽5cm、高5cm。环刀上下不封口,下部开有刃口。采集抗崩性样前,先对每个取样的方形环刀进行编号,并称重。样品采好后,用塑料袋装好、密封,每组试验取样三个。

选用SHY-1土壤湿化试验仪进行试验。该套仪器由有机玻璃桶、浮筒、网板三部分组成(见图1)。有机玻璃桶内径15cm,外径16cm,桶高60cm。浮筒直径5.2cm,高22cm;浮筒上标有刻度,刻度的最小单位为1mm,浮筒下悬挂金属网板,规格 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$,孔眼



图1 崩解试验装置

1cm²。试验时,有机玻璃桶内盛清水。试验中,当缸中的水变得混浊时,就倒掉缸中浑水,加入清水,重新开始试验。

试验操作步骤按水利部《土工试验操作规程》中的湿化试验规定进行。将试样放在试验仪器方形网板的中间位置,浮筒下方悬挂方形网板,试验时拿住浮筒顶端,快速地将试样土样浸入有机玻璃桶中,然后立即开启秒表,并记录试验开始时浮筒齐水面处刻度的稳定读数及试验开始时间,设定本次试验最长观测时间为30min,同时在试验开始后按0、1min、2min、3min、4min、5min、7min、10min、15min、20min、30min,同时记录浮筒齐水面处的刻度数,若试验中土壤样品全部崩解,则试验完成。如若在30min内,土壤样品没完全崩解,则试验结束。

土壤崩解率计算公式为

$$A_t = \frac{R_0 - R_t}{R_0 - R_e} \times 100\% \quad (1)$$

式中 A_t ——试样在时间 t 时的崩解率, %;

R_0 ——试验开始时浮筒齐水面处刻度的稳定读数, cm;

R_t ——试样在时间 t 时浮筒齐水面处刻度读数, cm;

R_e ——完全崩解后浮筒齐水面处刻度读数, cm。

土壤崩解速率公式为

$$B = \frac{S}{Y} \frac{R_0 - R_t}{t} \quad (2)$$

式中 B ——单位时间内所崩解的试样的体积,

cm³/min;

S ——浮筒截面面积, cm²;

Y ——土壤体积质量, g/cm³;

R_0 ——试验开始时浮筒齐水面处刻度的稳定读数, cm;

R_t ——试样在时间 t 时浮筒齐水面处刻度读数, cm;

t ——试样完全崩解所需时间或试样未完全崩解的试验终止时间(以30min)计, min。

3 试验现象描述

将土样放入干净的水中,此时试验样品表面细小分散的土壤颗粒迅速进入水中,周围水立即变混浊,并伴有大量气泡逸出,然后土样开始破碎离析。开始时崩解的速率较快,过一段时间后逐渐减慢,直至稳定。随着土壤结构的逐渐破坏,土壤的崩解速率在稳定一段时间后有所提高,但很快崩解速度又减缓,直至完全崩解。整个崩解过程中不断有气体逸出。

4 结果与分析

图2(a)是一典型的崩解质量曲线,可以将整个试验过程分为前、中、后3个崩解阶段。前期是从起点到A点,A点对应吸水过程土样达到的最大重量,这个阶段土体主要处于吸水饱和阶段,其崩解微弱,崩解量很少,可以忽略不计。AB段为中期,是崩解发生的主要阶段,此时,崩解反应迅速,速度较平稳。B点以后对应崩解后期,崩解速度减缓,直到崩解完全或停止。计

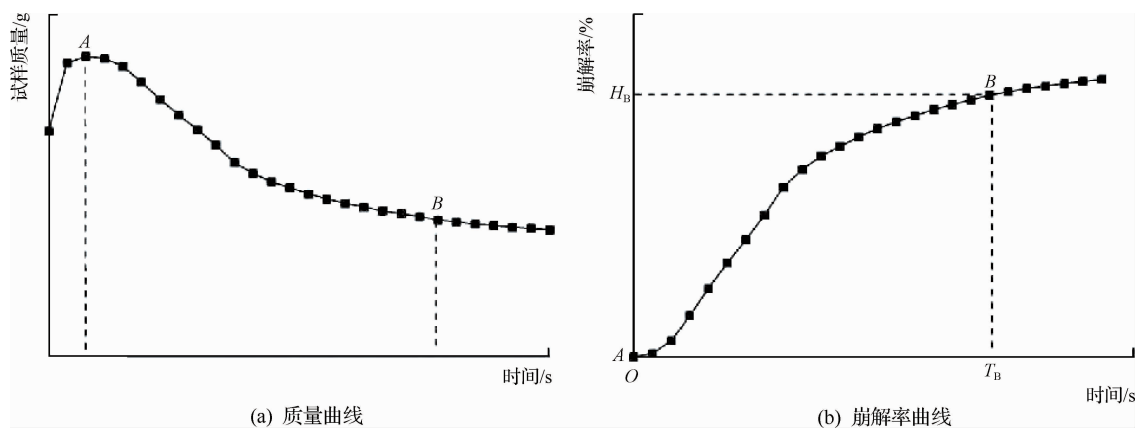


图2 崩解曲线

算时以 A 点位置为崩解的真正起点,对应图 2(b)中坐标轴的原点。有关研究认为可将崩解质量曲线图中上升段的斜率作为崩解速率的基准,因为土样的崩解主要发生在这个时间段,且崩解过程较为平稳,崩解较迅速。故为便于比较分析,以 AB 段为基准选取时间段,以求得崩解速率。

4.1 松铺厚度、压实遍数对土壤崩解率的影响

填筑层的土壤压实度对土壤的崩解破坏特性有重要的影响,土壤的压实度影响着填筑层的孔隙性、透水性和土壤黏结状态,可作为坝体稳定性评价的重要因子^[9]。图 3 为不同铺料厚度、压实遍数土壤崩解率曲线,从曲线图中可知随着土料松铺厚度的增加,土壤的崩解率逐渐增大,但增幅逐渐减小。当铺料厚度为 300mm 时,填筑层的最大崩解率为 25.02%;铺料厚度为 400mm 时,填筑层的最大崩解率为 29.05%;铺料厚度为 500mm 时,填筑层的最大崩解率为 30.15%,相比于 300mm 填筑层,400mm 和 500mm 填筑层的崩解率分别增加了 4.03% 和 5.13%。对于同一松铺厚度的

填筑土层,不同的机械压实遍数对土壤的崩解率有显著的影响。当松铺厚度为 300mm 时,机械压实 10 遍的崩解率最低,为 8.3%,机械压实 2 遍的崩解率最高,为 25.02%,不同压实遍数的填筑层崩解率相差了 16.72%;当松铺厚度为 400mm 时,机械压实 10 遍的崩解率最低,为 9.81%,机械压实 2 遍的崩解率最高,为 29.05%,不同压实遍数的填筑层崩解率相差了 19.24%;当松铺厚度为 500mm 时,机械压实 10 遍的崩解率最低,为 10.12%,机械压实 2 遍的崩解率最高,为 30.15%,不同压实遍数的填筑层崩解率相差了 20.03%。

究其原因,小的铺料厚度、大的压实遍数使得颗粒间胶结程度高,黏结力增大,结构相对密实,孔隙率小,局部会产生小块土体,透水性弱,在试验土样浸水后,水分进入土体内部的时间较长,不利于崩解;铺料厚度越大,压实遍数越少,填筑层的土壤以集粒形式存在,土壤颗粒较为松散,黏结性弱,当土样遇水时,水分扩散到最大距离的时间变短,土壤颗粒之间黏结力迅速消失,极易崩解。

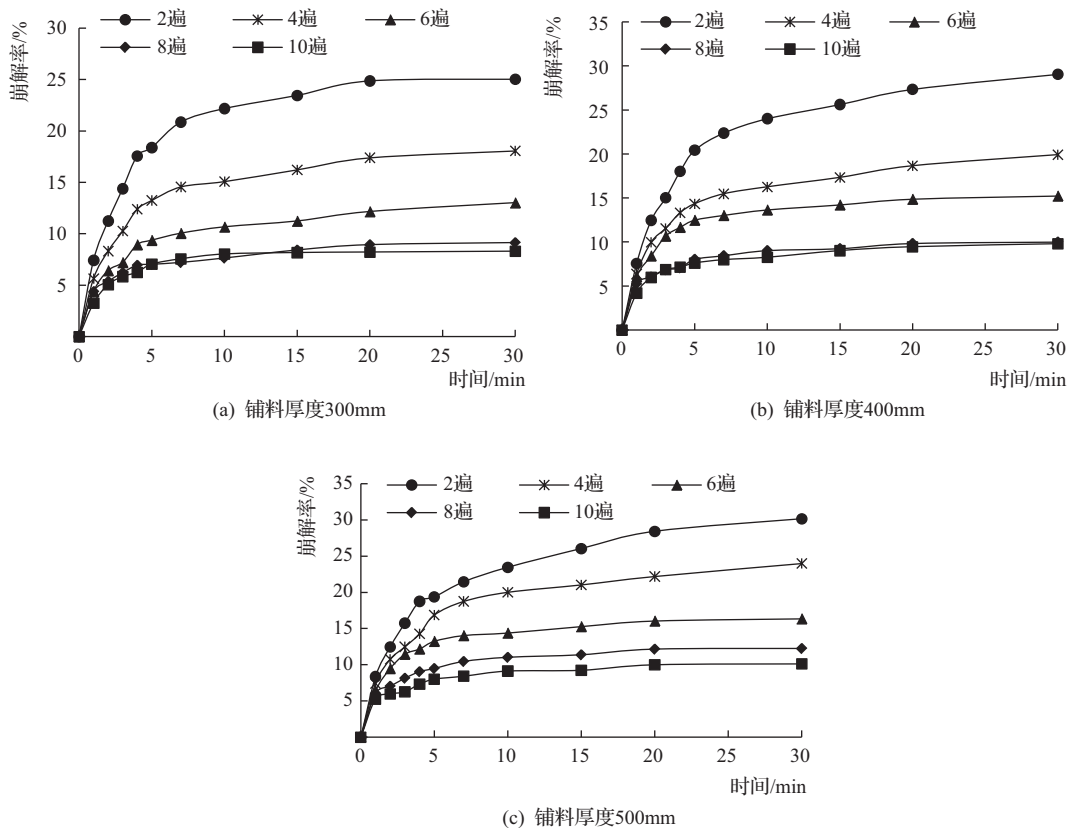


图 3 不同铺料厚度、压实遍数土壤崩解率曲线

4.2 松铺厚度、压实遍数对土壤崩解速率的影响

土壤崩解速率反映了土壤颗粒结构遇水浸湿解体快慢的性质或土壤结构体遭受水力侵蚀离散解体的难易程度,是评价土壤稳定性的重要物理指标^[10]。图4描述了土壤崩解速率随时间的变化关系,由图4可知,试样崩解速率总体上经历了一个由慢到快再到慢的变化过程。在试验刚开始时,崩解速率非常低,小于 $0.5\text{cm}^3/\text{min}$;随着试验时间的增加,土样离散解体速度增大,在试验进行约1min时,试样的崩解速率达到最大值,最高可达 $8.37\text{cm}^3/\text{min}$;之后崩解速率迅速减小,约在试验进行3~5min之后崩解速率达到最小值,此后试样崩解速率趋于稳定,直到崩解完全。从试验整体看,土样崩解主要发生在试验进行的前3min,在此时间段内崩解量占全部崩解量的80%左右。在铺料厚度一样时,压实遍数越大,填筑层的崩解速率越小,反之崩解速率越大;在压实遍数相同时,铺料厚度越小,填筑层的崩解速率越小,反之崩解速率越大。

分析其原因,当填筑层土壤遇水后,由于土体存在基质吸力,水分会进入到土体的孔隙之中,同时由于土体孔隙分布的不均匀性,在土体内部会形成吸力差。研究表明土体内部小孔隙的基质势较大,因此,水分会更多地进入到微小孔隙中,然后再进入到大孔隙中。由于土体中大孔隙仅吸收较少的水分而使得其湿吸力稍有增加,而小孔隙由于吸收较多水分趋于饱和而使得其湿吸力大幅减小,因此,整体上土体颗粒间的吸力作用减小,进而改变了土体的有效应力。同时,当水分首先进入土体微小孔隙时,部分土中的空气没能排出而受到压缩,体积变小,导致孔隙气压力增大。当土体的孔隙气压力大于土体的有效应力时,土体稳定性被破坏,产生破碎分离。对于压实度来讲,由于较小的压实度使得土体的基质吸力增加,导致土体在吸水时产生较大的吸力压力差,在这种土体内部吸力不平衡的情况下,土体更容易发生崩解破坏,所以较小压实度的土样,其崩解速率也就较快。

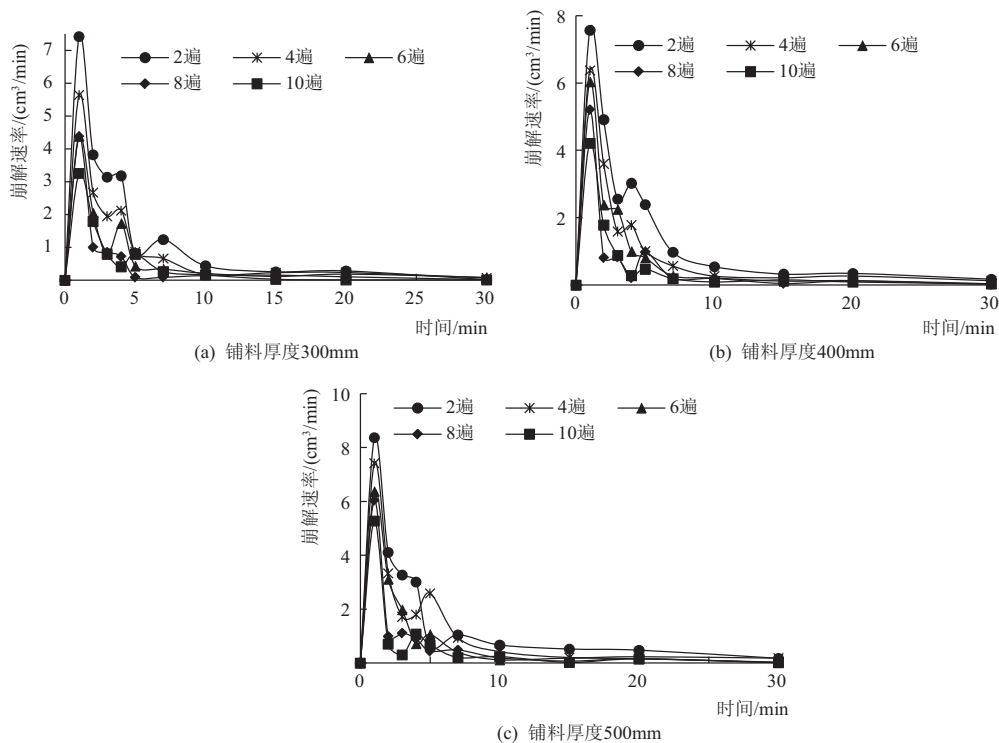


图4 不同铺料厚度、压实遍数土壤崩解速率曲线

5 结论

通过对原位试验的土壤崩解速率进行研究,得出

以下结论:

a. 随着土料松铺厚度的增加,土壤的崩解率逐渐增大,但增幅逐渐减小。对于同一松铺厚度的填筑土

层,不同的机械压实遍数对土壤的崩解率有显著的影响。

b. 在铺料厚度一样时,压实遍数越多,填筑层的崩解速率越小,反之崩解速率越大;在压实遍数相同时,铺料厚度越小,填筑层的崩解速率越小,反之崩解速率越大。

c. 试验土样崩解速度是一个由慢到快再到慢的变化过程,土壤崩解主要发生在试验前 3min,土样崩解量的 80% 在此时间段完成。

d. 在均质土坝施工填筑中,应综合考虑坝体的松铺厚度、机械压实遍数。同时在实际施工中,避免超压,确保填筑土壤的含水率在合理范围。◆

参考文献

- [1] 袁克阔,党进谦,王自奎,等. 压实黄土水理特性试验研究[J]. 人民长江,2009,40(20):34-37.
- [2] 李家春,田伟平. 工程压实黄土崩解试验研究[J]. 重庆交通学院学报,2005(5):74-77.

(上接第 16 页) 岩互层为主,透水性弱,可作为相对隔水层。水库两岸地表分水岭和地下水分水岭均高于拟建水库正常高蓄水位,库区无大的构造连通库外,水库不存在永久渗漏问题。

从目前碳酸盐岩地区在建或众多已建的水利工程实践来看,多存在岩溶工程地质问题,运行后出现渗漏破坏的水库工程不在少数。为了更好地在岩溶地区为水利工程选址,应进一步总结岩溶问题的研究方法,为查明岩溶问题的分布、规模和研判其对拟建工程的影响提供可靠支撑,为选取适宜的场地或采取相应的工程措施提供准确依据,提高岩溶地区水利工程建设的可靠性、安全性和经济性。◆

参考文献

- [1] 余天富,关高峰,陈朝红,等. 云南省临沧市永德县考腊水库工程地质勘察报告(可行性研究阶段)[R]. 新疆兵团勘测设计研究院(集团)有限责任公司,2017.
- [2] 水利水电工程地质勘察规范:GB 50487—2009[S]. 北京:中国计划出版社,2009.

- [3] 唐军,余沛,魏厚振,等. 贵州玄武岩残积土崩解特性试验研究[J]. 工程地质学报,2011,19(5):778-783.
- [4] 高建伟,余宏明,钱玉智,等. 重塑黄土崩解特性试验研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(10):146-150,155.
- [5] 张志沛,彭惠,段立莉,等. 勉宁高速公路沿线泥岩遇水崩解特征的研究[J]. 工程地质学报,2010(18):1-5.
- [6] 朱元青,陈正汉. 研究黄土湿陷性的新方法[J]. 岩土工程学报,2008(4):524-528.
- [7] 李喜安. 黄土暗穴的成因及其公路工程灾害效应研究[D]. 西安:长安大学,2004.
- [8] WILSON G V, PEKETHI R, FOX G A, etc. Soil properties controlling seepage erosion contributions to streambank failure[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006(8):447-459.
- [9] 苗英豪,胡长顺. 土工格栅加筋陡边坡路堤位移特性的试验研究[J]. 中国公路学报,2006(1):47-52,57.
- [10] 曾光,杨勤科,姚志宏. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型土壤抗侵蚀性研究[J]. 水土保持通报,2008(1):6-9,38.

- [3] 水力发电工程地质手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
- [4] 邹成杰. 水利水电岩溶工程地质[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [5] 卢耀如. 中国南方喀斯特发育基本规律的初步研究[J]. 地质学报,1965,45(1):108-129.
- [6] 曹而斌. 关于水电工程岩溶渗漏的评价准则[J]. 水力发电,1991(3):28-31.
- [7] 李峰;陈洲丰. 麒麟观水库岩溶渗漏条件分析[J]. 水利水电科技进展,2005(6):72-74.
- [8] 李光明. 红毛洞水电站弃渣场设计与选址合理性论证[J]. 水利建设与管理,2020,40(5):9-12.
- [9] 黄国芳,李自翔,高位. 浅谈岩溶地区水库防渗处理[J]. 水利建设与管理,2018,38(6):7-10.
- [10] 付壮. 纯压式深孔岩溶帷幕灌浆技术[J]. 水利建设与管理,2020,40(3):59-63.
- [11] 颜其林. 乌东德水电站围岩溶蚀裂隙破坏分析与加固效果评价[J]. 水利建设与管理,2019,39(2):7-14.