

拦砂坝工程对吐峪沟千佛洞崖体稳定性的影响^{*}

孙 博¹ 陆继财² 张国军¹ 王逢睿¹ 丁 煜¹

(1. 中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000; 2. 新疆文物古迹保护中心, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:在吐峪沟修建拦砂坝对吐峪沟石窟造成了严重的破坏,崖体崩塌、倾倒在短时间内频繁发生。拦砂坝在修建过程中,导致原来强烈风化的基岩松动,诱发了崖体坍塌;拦砂坝修成以后,由于水的冲蚀和浸泡,使崖体基座的泥岩软化、崩解,造成基岩松动或局部垮塌,严重影响了上部土体和洞窟的稳定性,导致崖体在拦砂坝修成以后崩塌、倾倒频繁发生;拦砂坝内水位的频繁变化是影响崖体稳定性的重要因素。不当的水利工程是河谷地貌类型石窟寺破坏的原因之一。

关键词:吐峪沟石窟; 拦砂坝; 崩塌; 稳定性

中图分类号:K879.29

1 引言

吐峪沟千佛洞古称“丁谷寺”,是吐鲁番地区建窟较早、保存早期壁画较多的石窟,如图1所示。现存洞窟中最早的开凿于公元5世纪的北凉时期,距今已有1500多年的历史。吐峪沟千佛洞部分洞窟还残留有佛教壁画,最有代表性的是反映禅观双修的小禅室和比丘禅观图的壁画,具有较高的历史、艺术和科研价值。2006年5月,经国家文物局公布为第六批国家级重点文物保护单位。2007年被国家文物局列入丝绸之路申遗名单。

引起石质文物破坏的类型主要有两大类:一类是由于自然界各种营力的作用引起的病害;一类是由于人类活动引起自然环境的改变导致原有病害的加剧或诱发新的文物环境蚀变等^[1]。对于第一类破坏类型,如石雕溶蚀、风化剥蚀、渗水、崩塌等研究很深入^[2-5]。但对于第二类破坏类型研究较少,针对吐峪沟石窟介绍拦挡坝的修建对吐峪沟石窟千佛洞崖体稳定性的影响。



图1 吐峪沟石窟

吐峪沟石窟修建在南北走向的吐峪沟东西两侧崖壁上,形成包括洞窟和窟前建筑在内的建筑群,并分沟西、沟东两部分窟群,沿沟谷两侧南北约500m范围之内分布,其中主要窟群有4处,沟东、沟西各2处。现存洞窟总计为94个,经文物管理部门编号的为46个。第1~24窟位于沟西,第26~46窟位于沟东,第25窟位于沟谷深处的拐角处。沟中原建有防洪坝。

2007年吐峪沟峡谷中的防洪坝被洪水冲毁,从而导致下游村庄的农业灌溉受到影响。为解决灌溉用水,当地农民沿西岸崖体底部开挖了一条引水渠,从北向南贯穿整个文物保护区。该引水渠原地开挖,未采取任何防渗漏措施,结果导致两年来西崖底部岩体一直遭受水流冲刷和浸泡。调查发现,西崖多处发生岩体崩塌。

2010年7月,鄯善县水利局在文物保护区内防洪坝原址上重新修建大坝,该大坝设计高程与原有大坝一致,用以截留上游来水,提高水位,为下游两岸的农田提供灌溉用水,如图2所示。水库蓄水后,文物保护区内的部分崖体,尤其是西崖,受到河水的长期浸泡,两侧崖壁出现了严重的冲蚀、崩塌现象。

2 研究区水文地质条件

吐峪沟千佛洞文物保护区所在的吐峪沟南端,河谷由V型逐渐变为U型,接近谷口处,沟底比较平坦,宽约50~70m。两岸基岩裸露,基本呈直立陡壁。洞窟均开凿于河谷东、西两崖基岩上部的洪冲

^{*} 基金项目:国家十一科技支撑项目“石窟危岩体治理关键技术研究”(项目编号2009BAK53B04)。

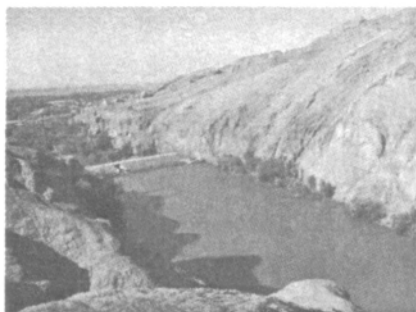


图2 新建拦挡坝

积地层中,洞窟层上部为冲洪积物堆积而成的缓坡。东、西两崖地形切割强烈,冲沟发育。

吐峪沟千佛洞文物保护单位范围内出露地层主要为侏罗系以及上覆第四系地层。第四系下-中更新统冲积+洪积层(Q_{al+pl}^{1-2}),为灰色、灰褐色砂土,近水平层理,半胶结。中部夹有一层红色洪积砾石层,磨圆度差,分选性差且无方向性。底部为一层灰色、灰黄色砂卵石,磨圆度为次圆状,厚度0.5m~1m不等。与下部基岩呈不整合接触。下伏侏罗系地层广泛出露于河谷两岸以及西岸公路两侧,为火焰山背斜的轴部地层,其北翼较为平缓,而南翼地层倒转,倾角较大,两翼地层均倾向北,40°~326°不等。

石窟所在地层的土体密度在1.60~1.73g/cm³之间,干密度在1.58~1.68g/cm³之间,属粉土。土粒比重为2.69。土体孔隙率在37.6%~41.4%之间。含水量为2.4%~3.1%。塑性指数 $I_p=6.3\sim6.7$,液性指数 $I_L<0$ 。土体处于坚硬状态,具有较高的强度和较低的压缩性。压缩系数 α_{1-2} 为0.13~0.19,压缩模量 $E_s=8.87\sim12.93\text{MPa}$,属于中压缩性土。渗透系数 K 为 $4.35\times10^{-6}\sim5.92\times10^{-6}\text{cm/s}$,属于弱透水土层。粘聚力 $C=10.6\sim15.7\text{kPa}$ 。

石窟区即位于火焰山背斜的核部,两翼地层在石窟区内均有出露。背斜的南翼由于受火焰山南缘逆断裂的影响,构造十分强烈,而北翼地层出露较完整,岩层产状北倾,但倾角变化大。受构造应力集中的影响,岩层内节理发育,岩体整体强度降低。

石窟区地处火焰山大峡谷,谷中长年有河水流淌,主要依靠上游天山山脉山区冰雪融水补给,枯水季节河面宽度约4m,每年灌溉季节窟区上游水库放水时,河面宽度可达数10m,两侧坡脚均被河水浸没。调查期河水流速约8m/s。

3 拦砂坝修建引起的崖体病害

3.1 崩塌

吐峪沟石窟由于处于背斜核部,受构造应力集

中影响,岩体沿结构面形成若干组张裂隙,自下而上贯通,于平行崖面的卸荷裂隙相互切割,造成岩体结构破碎,形成多处危岩体。在外力作用下,容易产生崩塌、倾倒破坏。



图3 开挖引起的土体整体滑落

2007年当地农民沿西岸崖体底部开挖了引水渠,引水渠从北向南贯穿整个文物保护单位。在开挖过程中,导致原本已经强烈风化的基岩松动,造成崩塌。坍塌主要集中于西崖洞窟群南侧约50m的范围之内。2007年现场调查崩塌情况为:下部基岩破碎散落,形成岩堆。上部土体整体滑落,较为完整,有大块土体滚落至河道内,如图4所示。

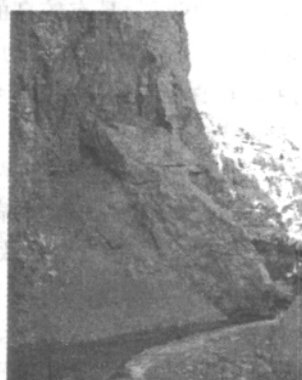


图4 破碎基岩散落

水库蓄水后,崩塌和倾倒在短时间内频繁发生。有部分崖体的危岩体有崩塌趋势,如图5、6所示。



图5 崖体大面积崩塌



图 6 有崩塌趋势的危岩体

3.2 加剧滑坡失稳

火焰山背斜轴部地层在吐峪沟附近开始向西倾覆,因此造成吐峪沟河谷内东岸地层倾向沟谷,属顺层结构坡体,产状大致为 $326^{\circ}\angle 55^{\circ}$,巨厚砂岩层中夹有薄层泥岩软弱层。

人工开挖水渠及道路修建过程中对坡脚岩体的爆破使得上部岩体失去支撑,岩块产生“V”字形崩塌。此类破坏加剧了上部坡体的失稳,如图 7 所示。



图 7 顺层滑坡

3.3 冲刷淘蚀

崖体底部的冲刷淘蚀病害严重,如图 8 所示。



图 8 冲刷淘蚀

4 病害产生的原因

4.1 水的浸泡

作为上部崖体基座的岩土体饱水软化。尤其是受构造作用强烈的泥岩,遇水极易软化、崩解,因此造成基岩松动或局部垮塌,从而影响上部土体和洞窟的稳定。

4.2 水的润滑作用

由于水的润滑作用,土体颗粒间的摩阻系数及胶结能力降低,边坡潜在滑动面抗剪参数降低,进而降低了坡体的抗滑力。

4.3 水位变化频繁

拦砂坝内水位受两种因素影响:(1)降水的影响。吐鲁番地区虽然干旱少雨,但降雨较集中,吐鲁番日降雨量可达 36mm。由于地形地貌、植被覆盖等因素影响,短时急促的降雨经常形成洪水,在短时间内可将拦砂坝内水位迅速提高。(2)灌溉的影响。在灌溉期,拦砂坝内水位下降较快。水位的频繁变化使得坡体内出现循环的渗流作用,地下水渗流对坡体产生溶滤作用,即细小颗粒在地下水的作用下发生运移,坡体出现侵蚀现象,坡体潜在滑动面出现细观或宏观上的孔穴,从而使得潜在滑动面的抗剪强度降低。

5 数值模拟分析

为了说明吐峪沟千佛洞崖体在原始状态和库水浸泡条件下的变形破坏机理,采用有限元软件 ANSYS 进行模拟分析。根据图 9 所示危岩体建立有限元模型。具体参数见表 1。

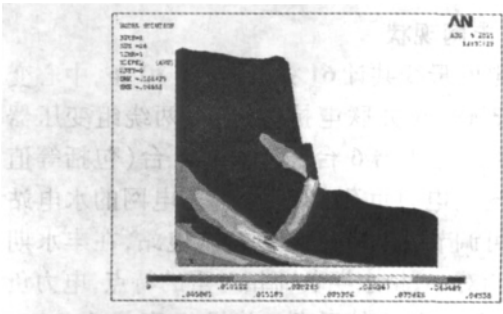


图 9 崖体原始状态等效塑性应变云图

表 1 模型参数

项目	密度(g/cm^3)	粘聚力(kPa)	摩擦角($^{\circ}$)	弹性模量(MPa)	泊松比
原始状态参数	1.6	13.8	28	12.8	0.25
库水浸泡参数	1.6	12.5	25.4	12.8	0.25

(下转第 33 页)

由表6可以看出,随着均质压力的升高,剪切稳定性呈下降趋势,且下降幅度不断增加,是因为高分子的长链被均质压力破坏,导致分子长链变短且更加均匀,剪切稳定性良好。但在60MPa时下降幅度有所缓和,说明均质机对剪切稳定性作用是有条件的,分子本身是决定增粘剂的剪切稳定性的根本因素,同时在60MPa时,稠化能力小于0.85,达不到国家标准。因此,对高黏度产品均质压力应控制在50MPa,此时剪切稳定性指数下降3.83个单位。

4 结论

1) 均质机作用的对象为高分子聚合物,均质机的高压均质改变了高分子的分子链长度,从而优化了剪切稳定性能。

2) 均质机对低、中、高黏度胶液作用剪切稳定性指数分别下降1.45、2.09、3.83个单位,说明均质机对高黏度增粘剂的作用效果较佳。

3) 均质机对乙丙共聚物黏度指数改进剂(OCP)胶液均质后,产品黏度及稠化能力也有所下

降,说明均质机对黏度及稠化能力有反作用,但对改进剪切稳定性指数的积极作用价值更高。

4) 采用均质机改善产品性能为生产选胶、降低成本提供数据保障,同时该方法操作简单,易于推广,在工业上具有较大应用前景。

参考文献:

- [1] 张景河,韩长宁. 现代润滑与添加剂[M]. 北京: 中国石化出版社, 1991: 236-278.
- [2] 赵兴发. 乙丙共聚物制润滑油粘度指数改进剂的研究[J]. 应用化学, 1998.
- [3] 向文成. 分散型乙丙共聚物粘度指数改进剂[J]. 润滑油, 2003, 16(3): 22-25.
- [4] 乔红斌. 润滑油用乙丙共聚物粘度指数改进剂的制备[J]. 润滑与密封, 2009(9).
- [5] 陈德宏. 乙丙共聚物粘度指数改进剂产品行业标准的新发展[J]. 润滑油, 2003, 18(3): 22-23.
- [6] 王国金. 粘度指数改进剂结构与性能之间的关系[J]. 石油商技, 1997, 15(3): 9-4.
- [7] 潘祖仁. 高分子化学[M]. 化学工业出版社, 2005.
- [8] 蓝立文. 高分子物理. 西安: 西北工业大学出版社, 1993: 14-204.

(上接第53页)

在原始状态下,等效塑性应变云图显示崖体欠稳定。采用有限元强度折减法计算,其安全系数为1.04。

在库水浸泡条件下,崖体底部岩石力学参数降低。等效塑性应变云图显示塑性应变最大区域转移至被裂隙切割的岩体底部。说明在库水浸泡条件下,原有危岩体极易发生崩塌。这与现场勘查情况相符。

随着浸泡时间的增加引起岩石力学参数进一步降低,崩塌会更加剧烈,如图10所示。



图10 库水浸泡下崖体等效塑性应变云图

6 结论

拦砂坝的修建给吐峪沟石窟带来了严重的侵蚀、崩塌病害,并加剧了顺层滑坡的失稳。水利工程的修建在改善人类生存环境的同时,也给文物保存带来了负面影响。

由于这些病害主要是由水的浸泡、润滑及水位的频繁变化引起的,建议将拦挡坝拆除,并在吐峪沟石窟以北区域重建,拦挡坝下游用引水管将灌溉用水引至灌溉区域。

参考文献:

- [1] 黄克忠. 岩土文物建筑的保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 马朝龙,方云,李建厚,等. 龙门石窟万佛洞至奉先寺北段渗漏水成因分析及综合防治措施研究[J]. 敦煌研究, 2007(5): 36-39.
- [3] 王旭东,郭青林,李最雄,等. 敦煌莫高窟洞窟围岩渗透性能研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(10): 3139-3144.
- [4] 丁梧秀,陈建平,冯夏厅,等. 洛阳龙门石窟围岩风化特征研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(1): 145-148.
- [5] 安海棠,刘平. 新疆鄯善县吐峪沟千佛洞崩塌灾害特征及防治对策探讨[J]. 安全与环境工程, 2011, 18(1): 9-12.