

通过三维渗流计算评价某滑坡坝渗透稳定性

崔银祥, 聂德新, 刘惠军

(成都理工大学工程地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 黄河上游某滑坡坝由两岸滑坡物质形成, 进而形成了天然堰塞湖, 附近区域现已成为国家自然保护区核心区。为了对该滑坡坝的渗透稳定性进行较深入的研究, 首先通过试验资料确定了坝体与湖积纹泥渗透稳定的可能破坏形式、临界水力坡降和允许水力坡降, 在此基础上通过三维数值计算对滑坡坝在正常湖水位与极限湖水位两种工况进行了渗透稳定性评价。具体评价方法为, 在每种工况下先评价计算范围内最大水力坡降方向每一格点(计算剖分网格)的渗透稳定性, 进而评价整个坝体的渗透稳定性。研究结果表明, 在正常湖水位与极限湖水位两种工况下, 坝体均不会出现渗透稳定性问题, 在极限湖水位下, 坝体的渗流量变化不大。这为国家自然保护区水土保持、下游某大型水电站的施工与安全运营提供了有力的理论依据。

关键词: 滑坡坝; 渗透稳定性; 三维渗流计算; 格点渗透稳定性评价

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)02-0098-03

Seepage Stability Assessment of a Landslide Dam by Three-dimensional Seepage Simulation

CU YI-xiang, NIE De-xin, LIU Hui-jun

(Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract A landslide dam located in the Huanghe up river was formed by two landslides, then formed the barrier lake which is core area of national natural protection now. In order to study the seepage stability of the dam in detail based on all experimental materials, the authors determined possible damage forms, critical hydraulic slope, allowable hydraulic slope of landslide dam and lacustrine varved clay, then adopted three dimension numerical method to assess the seepage stability of landslide dam in two work conditions of mean lake stage and limiting lake stage. Assessing method is that first assessed seepage stability of every grid in direction of maximal hydraulic slope in mean lake stage and limiting lake stage, and then assessed seepage stability of the whole landslide dam. The results proved that the landslide dam would not occur seepage stability problems in mean lake stage and limiting lake stage. In limiting lake stage, volume change of dam leakage would be little. The results presented theoretical basis for soil and water conservation of national natural protection, and for construction and running of a down river large-scale hydropower station.

Key words landslide dam; seepage stability assessment; three-dimensional seepage simulation; grid seepage stability assessment

1 前言

中国西北地处黄土高原, 年降雨量非常少, 所以一些有限的淡水资源就成为人畜饮水、耕地用水以及美化环境、改善生态环境的重要水资源来加以保护。黄河上游某滑坡坝由两岸滑坡形成, 由它形成的天然堰塞湖, 平水期拦蓄水量近 $2.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 。堰塞湖周围风景秀丽, 动植物资源丰富, 水土保持条件良好, 已成为国家级自然保护区核心区。在下游不远处有两个居民村, 村民近 900 人及大量居民赖以生存的土地及农田, 在下游 6 km 处为开发规划中拟建的某大型水电站。滑坡坝一旦溃坝, 湖水下泄, 将危及下游 6 km 处大型水电站的安全运营和附近居民的生命财产, 造成大量水土流失, 国

家级自然保护区也将面临严峻考验。由此可见, 对滑坡坝做出及时、准确的稳定性评价具有十分重要的意义。由于滑坡坝为土石坝, 稳定性评价中一个重要方面就是渗透稳定性评价, 本文将对该滑坡坝的渗透稳定性做出评价。由于研究区属于国家级自然保护区核心区, 一些勘探手段不便于开展, 所以坝体的实际水力坡降通过三维渗流计算计算获取。

2 滑坡坝基本特征

堰塞湖平水期水面面积为 0.18km^2 , 蓄水量约 $2.0 \times 10^6 \text{m}^3$, 湖心最深处 20 m, 雨季(7-8月间)水深可达 26 m, 面积扩大到 0.20km^2 , 蓄水量则近 $3.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 。堰塞湖湖水清澈, 无

① 收稿日期: 2004-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40372127)资助

作者简介: 崔银祥(1976-), 男, 山西忻州市人, 博士研究生, 主要研究方向为岩土工程特性

臭、无味, 可供人畜饮用。滑坡坝平面呈“T”字形分布, 宽度较大, 坝体顶部宽阔平缓, 顶宽 100~ 250 m, 底宽 380~ 450 m, 最大宽度 635 m, 长 720 m。坝体顶部从右岸到左岸呈一缓坡地形, 分布面积 0.33 km²。最大厚度 135 m, 平均厚度 43 m, 总体积约 1.4 × 10⁷ m³。坝体由左右岸滑坡物质组成, 表部为厚 0.2~ 0.6 m 的腐殖质土, 下部由大小混杂的加里东期闪长岩块组成。表部块石直径最大可达 8 m, 平均块径在 0.8 m 左右, 堆积物棱角明显, 无分选性, 无定向排列, 架空现象明显, 下部较密实。在坝体左端处, 有一宽 10~ 25 m, 长 150 m 左右、低于邻近坝顶 10~ 25 m 的天然溢洪道, 顶部高程为 2 526 m。

表 1 坝体物质颗粒级配特征

土层	比重	容重	孔隙度 /%				粒径 /mm				不均匀系数 (Z)		
			> 200	20~ 200	5~ 20	2~ 5	1~ 2	0.5~ 1	0.25~ 0.5	0.25~ 0.1		< 0.1	
坝体	2.63	2.27	25	57.14	33.62	3.32	2.25	1.31	0.72	0.34	0.65	0.65	15.4

现场采取了湖底纹泥样, 进行了坝体物质的级配试验, 在室内对纹泥各项指标进行了测定, 根据级配试验, 试验资料列于表 2。根据试验做出的曲线, 确定的淤泥不均匀系数 Z = 6。根据 Z < 10 时土的渗透变形为流土, 可判定纹泥的破坏形式为流土。

表 2 湖底纹泥颗粒级配特征

土层	比重	容重	孔隙度 /%				粒径 /mm			不均匀系数 (Z)
			0.1~ 0.075	0.075~ 0.005	< 0.005	< 0.002	1~ 2	0.5~ 1	0.25~ 0.075	
湖底纹泥	2.66	16.6	61	0.5	55.5	44.0	19.7	6		

按照上述试验资料, 根据规范要求, 确定坝体临界水力坡降为 0.74~ 1.3。湖底纹泥临界水力坡降为 4.25~ 5.07。根据计算确定的坡降值除以安全系数确定得到, 安全系数按土石坝工程安全等级划分系数, 提高一级确定, 滑坡坝安全系数取为 3。确定坝体允许坡降为 0.25~ 0.43。湖底纹泥允许坡降 1.42~ 1.69。

4 滑坡坝渗透稳定性评价

由于研究区为国家级自然保护区核心区, 勘探工作受一定的限制, 这里实际水力坡降通过 Modflow 软件三维渗流计算来获取。坝体渗透稳定具体评价方法是: 通过评价计算范围内最大水力坡降方向每一格点 (计算剖分网格) 的渗透稳定性, 进而评价整个坝体的渗透稳定性。

为了模型的概化, 模型里只考虑湖积纹泥层和滑坡堆积层 (洪积层按滑坡堆积层处理), 基岩视为不透水边界。模型以基岩为模型的底板, 向上主要有纹泥层和滑坡堆积层, 在模型有的地方只出现其中一层或两层。模型选取两岸的基岩为隔水边界, 选取堰塞湖为水库边界, 选取滑坡坝体以下 200 m 左右为定水头边界, 下部取基岩面为隔水边界。模型垂向上划分为两层, 平面上划分为 40 行, 40 列, 模型取行距和列距均为 50 m, 范围为 2 000 m × 2 000 m。

模型只需输入含水层类型、边界类型、初始水头、渗透系数、各层的层厚等数据即可。主要参数的选取列于表 3。渗透系数的选取根据室内试验结果, 又略大于室内试验的结果, 这样的取值是偏安全考虑的。

4.1 堰塞湖平水期 (地下水水位 2 507 m) 坝体的渗漏稳定性评价

假定初始水位为 2 507 m, 经计算给出了坝体内的水头分布 (表 4)。选择沿坝体水力坡降最大的方向 (表 5 中阴影表示的格点) 来逐一格点来评价渗透稳定性, 最后进行整体渗

3 滑坡坝允许水力坡降的确定

现场对坝体物质进行了的级配试验, 试验结果列于表 1。根据级配结果确定不均匀系数 Z 为 15.4。据《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287-99), 对于不连续级配的土, 级配曲线中至少有一个以上的粒径级的颗粒含量小于或等于 3% 的平缓段, 粗细粒径的区分粒径以平缓段粒径的最大或最小粒径的平均粒径区分, 或以最小粒径为区分粒径。根据规范要求及试验结果, 坝体以 2 mm 作为区分粗细的区分粒径, 试验确定细粒的含量 q 为 2%。因此, 根据规范可以确定滑坡坝的破坏形式为管涌型。

透稳定性评价, 评价结果列于表 5。

表 3 渗流计算部分参数

格点层参数			含水层参数		时间	
序号	含水层类型	层厚 /m	名称	K / (m ² ·d)	时期 /d	时段
1	自由水-承压水 (3) 各处不等	249.1~ 250.4	纹泥	0.0008	150	10
2	自由水-承压水 (3) 各处不等	228.0~ 280.0	滑坡堆积物	1.3		

表 4 2 507 m 水位时坝址区及上下游水位值 /m

行列	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
10						388.7	383.8	379	374.1	367.3	364.2
11						394	390.6	387	383.4	378.3	371.8
12					407.2	402.2	398.5	395.5	392.7	390.7	
13					414.5	410	406.4	403.5	401.4	400.6	
14			468		426.6	421.1	414.9	411.4	409	408	
15		472.5	468	456.2	440.6	433.1	424.7	419.1	416	414.3	
16		476.4	471.7	462.6	451.3	443.3	433.9	425.5	422	420	
17	490.5	483.8	477.2	469.4	460.6	452.2	443.2	432.5	426	424.2	424.6
18	494.4	489	483	475.2	467.1	459	450.3	438.5	429.4	425.6	425.1
19	498.7	495.4	489.3	482.4	474.8	467.8	462.5			425.4	425.2
20	502.5	502.6	494.9	488.6	482.2	476.7	473.3				425.2
21	504.5	501.3	496.8	491.8	486.4	482	479.5	480.3			

注: 表中 (包括下面表 5 表 6) 水位数值加 2 000 m 后为实际水位

通过计算可得, 平水期坝体一天通过 23 列 (坝体轴线) 为渗流量 2 775 m³ /d。150 天通过坝体的渗流量为 4.16 × 10⁵ m³, 计算的结果 (每天流量) 与调查期间实测的流量 1 938.1 m³ /d 基本吻合, 略大于实测值, 这与模型概化时偏于安全考虑有关。由计算结果可知, 堰塞湖平水期坝体不存在渗透稳定性问题。

4.2 堰塞湖极限水位 (2 526 m) 时渗透稳定性评价

用同样的方法, 可以得到堰塞湖极限水位 (2 526 m) 时坝体的水头分布, 同样按水力坡降最大的方向逐一格点来评价渗透稳定性, 最后进行整体渗透稳定性评价, 评价结果列于表 6。

通过计算可得, 极限水位时坝体一天通过 23 列的各格点渗流量总和为 3 138 m³ /d。150 天通过坝体的渗流量为 4.7 × 10⁵ m³。从上面两种工况的计算可以看出, 水位升高后, 堰塞湖水体主要通过溢洪道向外排泄, 坝体内的渗流量变化不大。说明堰塞湖在漫长的历史过程中已经形成了很好的防渗铺盖,

渗透通道已经趋于稳定,形成了调节功能很好的天然溢洪道。因此,当水位升高后,坝体不会出现渗漏稳定性问题

表 5 堰塞湖平水期(2 507 m)坝体渗透稳定性评价成果表

行 列	水位 /m	水头差 /m	间距 /m	坡 降	允许坡降	渗漏稳定性
20 18	502.52					
19 19	495.39	7.13	70.7	0.1	0.25-0.43	稳定
18 20	483	12.4	70.7	0.18	0.25-0.43	稳定
17 21	469.38	13.62	70.7	0.19	0.25-0.43	稳定
16 22	451.34	18.04	70.7	0.26	0.25-0.43	临界稳定
15 23	433.07	18.27	70.7	0.26	0.25-0.43	临界稳定
14 24	414.92	18.15	70.7	0.26	0.25-0.43	临界稳定
13 25	403.52	11.4	70.7	0.16	0.25-0.43	稳定
12 26	392.7	10.82	70.7	0.15	0.25-0.43	稳定
11 27	378.31	14.39	70.7	0.2	0.25-0.43	稳定
10 28	364.18	14.13	70.7	0.2	0.25-0.43	稳定
平均		848.4	848.4	0.17	0.25-0.43	整体稳定

5 结 论

本文通过对黄河上游某滑坡坝渗透稳定性的研究,得出如下认识:

(1)滑坡坝(为土石坝)稳定性评价的一个重要方面就是渗透稳定性评价,渗透稳定性评价的关键是坝体允许水力坡降与实际水力坡降的确定,在勘探资料相对较少的情况下,可以通过三维渗流计算来获取坝体渗流场,从而确定实际水力坡降,这是渗透稳定性评价的基础。

(2)在进行渗透稳定性评价时,可以化整为零,先评价坝参考文献:

[1] 张倬元,王兰生,王士天.工程地质分析原理(第二版)[M].北京:地质出版社,1992
 [2] 王亮清,唐辉明,晏鄂川.陆浑水库坝基渗透稳定性研究[J].水文地质工程地质,2003(2):49-52
 [3] GB 50287-99.水力水电工程地质勘察规范[S]
 [4] SL274-2001Q.碾压式土石坝设计规范[S].

(上接第 97 页)

5.2.3 依靠科技,强化管理,提高防沙治沙的技术含量
生态修复中如何提高造林、种草成活率,科学技术是关键。在实际工作中,必须按照自然规律办事,不同立地条件下,树种的选择、栽植方法、配置方式,都要以适地适树为前提,并根据其生长规律精心管理,科学组织生产,不断提高技术含量。

5.2.4 加强法制建设,实行依法治沙
《防沙治沙法》《草原法》《森林法》《水土保持法》等已经形成了较为配套的防治风沙法规体系。在此基础上进一步完善相应的法律法规,规范治理与开发行为;通过法律、行政、经济手段,严厉制止掠夺式的开发经营,按照国家有关规定,对生态公益林和天然林严禁采伐;在治理区域进行的大型建设项目,严格执行植被恢复制度,收取的费用全部用于

参考文献:

[1] 郭宝华.加大荒漠化治理力度 改善延庆县生态环境[J].北京农业职业学院学报,2003,17(2):23-24
 [2] 王治国.关于生态修复若干概念与问题的讨论[J].中国水土保持,2003(10):4-5
 [3] 臧英,高焕文,周建忠.保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J].农业工程学报,2003,19(2):56-60

体内水力坡降最大方向上每一格点的渗透稳定性,进而评价整个坝体的渗透稳定性,这种评价坝体渗透稳定性的方法对其他的工程有一定的参考价值。

表 6 堰塞湖极限水位(2 526 m)时坝体渗透稳定性分析

行 列	水位 /m	水头差 /m	间距 /m	坡 降	允许坡降	渗漏稳定性
23 14	509.98					
22 15	509.9	0.08	70.7	0.0011	0.25-0.43	稳定
21 16	509.56	0.35	70.7	0.0049	0.25-0.43	稳定
20 17	508.94	0.62	70.7	0.0087	0.25-0.43	稳定
19 18	505.99	2.95	70.7	0.0417	0.25-0.43	稳定
18 19	494.21	11.78	70.7	0.1666	0.25-0.43	稳定
17 20	482.13	12.08	70.7	0.1709	0.25-0.43	稳定
16 21	467.61	14.52	70.7	0.2053	0.25-0.43	稳定
15 22	445.93	21.68	70.7	0.3066	0.25-0.43	临界稳定
14 23	426.33	19.60	70.7	0.2773	0.25-0.43	临界稳定
13 24	411.56	14.77	70.7	0.2089	0.25-0.43	稳定
12 25	400.07	11.50	70.7	0.1626	0.25-0.43	稳定
11 26	387.02	13.04	70.7	0.1845	0.25-0.43	稳定
10 27	369.3	17.72	70.7	0.2506	0.25-0.43	临界稳定
9 28	350	19.30	70.7	0.2730	0.25-0.43	临界稳定
平均		159.98	989.80	0.1616	0.25-0.43	整体稳定

(3)研究结果表明,在正常湖水位与极限湖水位两种工况下,坝体均不会出现渗透稳定性问题。这为国家自然保护区水土保持,下游某大型水电站的施工与安全运营提供了有力的理论依据。

6 结论与建议

北京地区经过历史的发展,逐步由生态良好区退化为现在的生态脆弱区。研究本区的生态修复制约因素,建设现状与问题,提出合理的修复模式与对策,对于本区乃至华北地区,都具有现实推广意义。本文通过分析,提出本区风沙化土地不同类型区的生态修复模式,最后还提出 4 条生态修复的对策:一是加强农田耕作制度的指导与管理;二是坚持生态修复与经济发展相结合;三是依靠科技,强化管理,提高防沙治沙的技术含量;四是加强法制建设,实行依法治沙。

恢复植被建设;积极普法,严格执法,加强执法队伍的建设,加大执法力度,有效的保护现有的植被。