

某水电站近坝库区堆积体坍岸涌浪分析与评价^{*}

李仰波, 胡卸文, 吕小平, 汪雪瑞, 张志鹏

(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

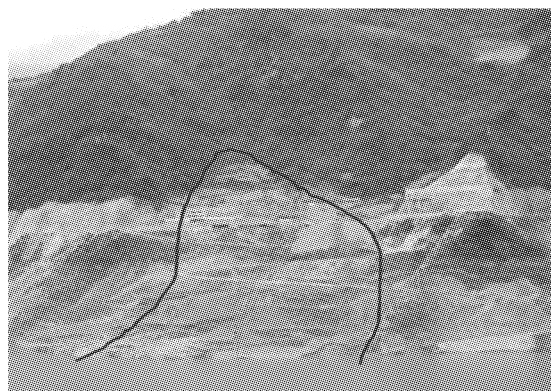
摘要: 随着我国西南地区水电建设的发展, 水库蓄水后导致的坍岸现象常有发生。以在建的某水电站近坝库区右岸某松散堆积层边坡为研究对象, 通过初期蓄水后出现的岸坡变形破坏迹象, 以及对正常蓄水位条件下岸坡稳定性计算分析, 揭示了此类边坡的坍岸机理。在此基础上, 根据坍岸涌浪预测的相关经验公式, 对大坝部位可能出现的涌浪高度进行了分析和评价。

关键词: 坍岸机理; 涌浪; 蠕滑拉裂; 近坝库区

中图分类号: TV697.3⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0035-04

水库坍岸是一个复杂的环境地质问题, 它对水库的安全运营具有重要的控制作用。坍岸的形成其实就是岸坡物质在水库水位升降过程中由稳定到破坏再到稳定的过程^[1-2]。在建的某水电站自蓄水后, 在水位增长和消落过程中, 库区两岸松散土质边坡发生大小规模不等的坍岸已有十余处, 有的坍滑体不仅已造成坡体上居民房子拉裂变形而成危房, 而且还引起了库区环湖公路的位移下错从而影响正常通行。而地处近坝库区右岸的某松散堆积层边坡, 距大坝 394m, 在水库初期蓄水和水位消落的过程中, 不仅已出现上述现象, 更重要的是一旦岸坡下滑, 形成的涌浪就有可能对大坝产生不利影响。本文在查明该堆积体地质条件及已有变形的基础上, 针对不同的工况条件进行了大量的分析计算, 从而预测出其可能的坍岸范围及涌浪高度。

土, 含量约 50% ~ 60%, 总体结构较松散。当水库蓄水至 2 125 m 并在后续的水位下降过程中, 坡体出现了大量拉裂缝, 且使坡体上的 3 户居民建筑物因拉裂而构成严重威胁。



照片 1 堆积体全貌

1 堆积体基本特征及坍岸预测

堆积体地貌上为沟槽负地形, 自然坡度一般 15° ~ 25°, 后缘局部达 50° (照片 1, 图 1、2), 该堆积体顺坡长约 340 m, 宽约 190 m, 后缘分布高程 2 181 m, 前缘濒临河边, 分布高程 2 040 m, 距坝体的直线距离约为 394 m。钻孔揭露堆积体厚约 19.9 ~ 24.47 m, 主要为冰缘冻融堆积碎砾石土, 碎砾石成分以千枚岩、砂质千枚岩为主, 少量砂岩, 粒径一般 2 ~ 4 cm, 少量 5 ~ 8 cm, 土为粉质

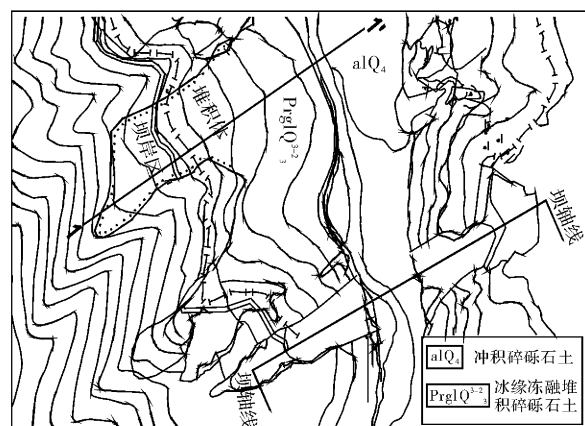


图 1 堆积体工程地质平面图

^{*} 收稿日期: 2008-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772175)

作者简介: 李仰波(1985-), 男, 山西芮城人, 硕士研究生, 主要从事土木工程、地质工程研究. E-mail: liyangbohj@163.com

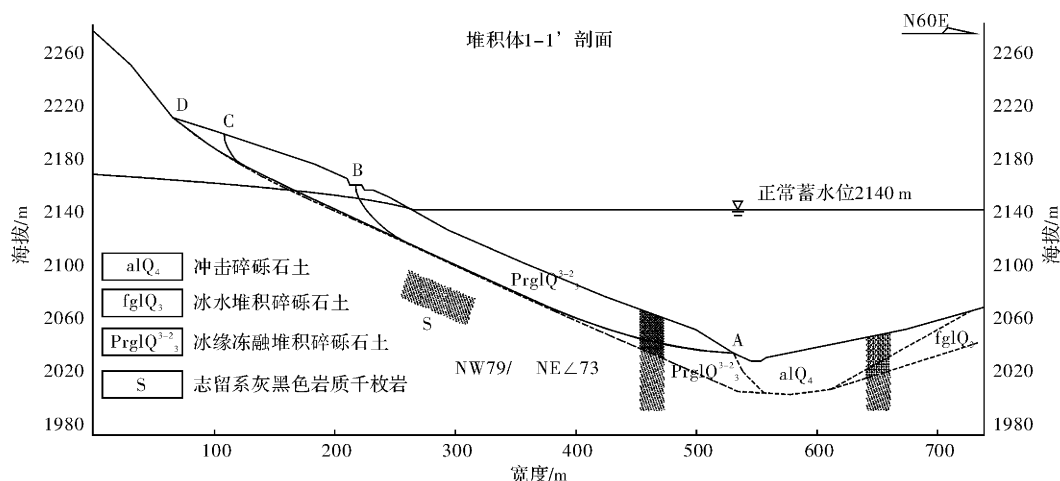


图2 堆积体1-1'剖面图

根据堆积体现状,在考虑边坡稳定性计算工况时,重点围绕2125 m(初期蓄水)和2140 m(正常蓄水)两种蓄水条件,然后分别考虑以下工况:①天然状态;②暴雨状态;③天然+地震状态;④暴雨+地震状态;⑤2140 m(2125 m)骤降5 m。

在进行坍岸边界搜索及其相应的稳定性计算分析中,其潜在滑面按圆弧型搜索,即沿堆积体内部、沿基覆界面或沿堆积体内部——基覆界面等不同潜在滑面情况进行计算,其代表性剖面如图2所示(AB~AD潜在滑面)。结合各种工况反复计算表明,滑面AB~AD的稳定系数均<1.05,则此堆积体在正常蓄水位条件下将发生整体塌滑,其失稳方式为缓慢的蠕滑拉裂,不会发生高速滑坡。

2 涌浪计算方法概述

目前水库坍岸涌浪的计算方法主要有加利福尼亚大学法、哈秋聆胡维德法、潘家铮法、经验公式法、Node图解法。其中加利福尼亚大学法、哈秋聆胡维德法由于计算麻烦,理论相对不是很完善,现已很少被采用。潘家铮法和经验公式法,都是做了必要的简化而推导出的计算公式。在一定的水深范围内,涌浪高度与水深、滑入总量、滑坡速度有关。水越深,滑入的总量越多,滑入的速度越快,涌浪就越高。另外还与滑入的断面积变化量(dA/dt)等有关。潘家铮法考虑了库水深度的影响,而经验公式法未考虑库水深度的影响。Node图解法实际上是对加利福尼亚大学法的一种修正和改进,同时由于它以图表的方式进行查找,比较方便,因此被作为美国土木工程协会建议的

一种推算方法。

由于涌浪的计算方法均与滑速有密不可分的关系,而滑速一般采用以下计算公式。

(1)根据质量守恒定律 滑落速度按下式进行计算(滑体未侵入或者仅有一小部分侵入水中):

$$V = L_0 \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

式中: L_0 与多因素有关的系数,一般为0.4~0.75; H 滑体水上部分重心距水面高度(m)。

(2)根据能量守恒定律 滑落速度按下式进行计算(滑体滑动一段距离后方落入水中):

$$v_s = \sqrt{2g(H - fL)}, \quad (2)$$

式中: H 滑体质心落差; f 滑动时滑面抗剪强度参数; L 滑块与滑面接触面长(沿滑动方向)。

关于经验公式法,潘家铮法和Node图解法的具体公式可查阅相关文献^[1-8]。

3 涌浪计算及结果分析

对于此堆积体,预计其可能坍滑的滑体体积为115万 m^3 ,水深采用60 m(滑体重心至库底)。计算过程中,因为滑体的主体部分(滑体重心)处于水面以下,并以缓慢的蠕滑为特点,所以对其坍滑滑速的计算采用上述方法不适用(上述方法主要针对高速滑坡、滑坡体重心在蓄水位以上)。根据众多工程实例,坍滑滑速若按公式(1)、(2)计算,则得出的计算值将远远大于可能滑动的实际值。因此对该堆积体可能出现的坍滑滑速不计算,而采用试算法,即假定其坍滑滑速变化范围在0~8 m/s,然后根据文献^[1~8]所提供的三种方法分别计算坝址处可能产生的最大涌浪高度,计算结果如表1所示。图3是按“经验公式法”和

“Node 图解法”得出的最大涌浪高度与坍滑体滑速之间的相关拟合曲线。

表 1 主沟 1 号堆积体整体坍滑后不同下滑速度下在坝址处最大涌浪高度计算成果

滑速 /(m/s)	坝址区可能产生的最大涌浪高度/m			建议采用的
	经验公式法	Node 图解法	潘家铮法	涌浪高度/m ^①
0.5	0.04	-(0.45) ^②	0.43	0.18
1.0	0.12	-(0.75)	0.85	0.33
1.5	0.20	-(1.05)	1.28	0.48
2.0	0.30	-(1.35)	1.70	0.65
2.5	0.41	1.60	2.13	0.81
3.0	0.54	1.92	2.55	1.00
3.5	0.66	2.08	2.98	1.13
4.0	0.80	2.40	3.41	1.33
4.5	0.94	3.04	3.83	1.64
5.0	1.09	3.20	4.26	1.79
5.5	1.25	3.52	4.68	2.01
6.0	1.41	3.84	5.11	2.22
6.5	1.58	4.16	5.54	2.44
7.0	1.75	4.48	5.96	2.66
7.5	1.93	4.53	6.39	2.80
8.0	2.11	4.64	6.81	2.95

注: ① 建议采用的涌浪高度值是根据 Node 图解法与经验公式法计算所得结果差值的 1/3 与经验公式法所得值之和(根据大量的工程实践及文献[7]所得);

② Node 图解法计算结果中(滑速为 0 ~ 2 m/s, 即前四行括号内值)为按图 3 拟合的相关公式推导而得。

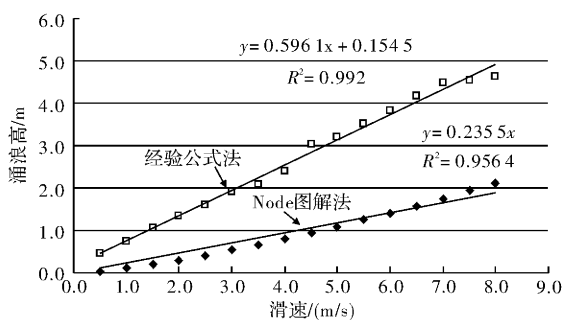


图 3 不同预测涌浪方法所得最大涌浪高度与坍滑体下滑速度关系

(1)“经验公式法” 未考虑库深及滑体形状等因素, 因此计算结果总体偏于保守。

(2)“Node 图解法” 其前提假设是滑体落入半无限水体中, 且下滑高程大于水深, 本例实际条件是滑体主体部分处于水面以下, 且下滑高程小于水深, 因此用此方法计算所得的结果应该偏大, 高于实际的最大涌浪高度。计算中滑体平均厚度 H_s 取 16 m, 水深 H_w 取 60 m, 距离 X 取 394 m (此值为坍滑体中心部位与大坝间距离, 下同)。不过当滑速为 0 ~ 2 m/s 时, 从已有的经验图、表

中不能查出相关数值, 因此在此滑速条件下无法计算获得最大涌浪值, 对该段滑速下的涌浪高度可通过上述相关公式(图 3)推算所得(见括号内值)。

(3)“潘家铮法” 利用该法计算时, 由于考虑的因素比较多, 虽然比较全面, 但相应的模型简化就比较困难, 稍有差错结果就会出现很大偏差。对于本堆积体, 由于其主体部分处于正常蓄水位以下, 而潘家铮法的前提假设是滑体由高处滑落水中, 本例显然不适合用此方法。若用此方法计算, 其结果必然远远大于实际值。故此方法所得值仅供参考。计算时采用简化模型, 各因素具体取值如下: 库宽 B 取 500 m, 滑体长 L 取 190 m, 水深 d 取 60 m, 距离 X 取 394 m, 可见其结果远远偏大。

尽管上述三种方法所得结果差异大, 但各自得出的预测值仍可供参考和借鉴。根据以往工程经验及很多工程实例, 实际可能的最大涌浪高度值应介于“经验公式法”和“Node 图解法”计算的结果之间, 且偏于“经验公式法”。而目前最大涌浪高度基本上都是根据“经验公式法”与“Node 图解法”结果作综合分析对比后给出, 建议采用的涌浪高是根据“Node 图解法”与“经验公式法”计算所得结果差值的 1/3 与经验公式法所得值之和进行取值, 如表 1 所示。

根据此堆积体地形地貌及厚度, 尤其是可能出现的整体坍滑体重心位于正常蓄水位 2 140 m 以下, 发生高速下滑的可能性小等特点, 因此其滑移方式应为渐进式蠕滑拉裂, 本身下滑速度不大, 介于 0 ~ 3 m/s 之间。根据表 1, 推测该堆积体坍滑后形成的最大涌浪高度应为 1.0 m, 小于校核洪水标准情况下的安全超高 3.0 m。同时考虑河道弯曲, 滑坡的滑动方向和主浪方向略微朝向库尾, 波浪在传播过程中会有一定的能量损失^[9-10]。结合上述因素分析表明, 堆积体整体塌滑在坝址部位形成的最大涌浪高应 < 1.0 m, 故对大坝影响不大。

4 结语

通过上述计算分析, 可得出以下结论。

(1) 结合堆积体所赋存的地质环境条件及初期蓄水后的边坡变形状况, 分析表明坡体在正常蓄水条件下将发生整体塌滑, 其坍岸机理为缓慢的蠕滑拉裂失稳, 不会发生高速滑坡。

(2) 针对该堆积体失稳方式及边坡几何形态,表明经验公式法和 Node 图解法二者计算结果相结合对其坝岸涌浪的分析计算相对更为合理。

(3) 该堆积体整体塌滑后在坝址处所形成的涌浪高度 $< 1\text{ m}$, 对大坝整体运营影响不大。

参考文献:

- [1] 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M]. 北京: 水利出版社, 1980: 133 – 154.
- [2] 金德濂, 王耕夫. 边坡工程地质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [3] 张卓元, 王世天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 563 – 570.
- [4] 朱继良, 黄润秋. 某水电站坝前堆积体稳定性三位数值模拟分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1318 – 1322.
- [5] 王世梅, 陈勇. 陈家大院滑坡稳定性评价及其涌浪预测[J]. 灾害与防治工程, 2006, (2): 6 – 12.
- [6] 李树武, 刘惠军. 某水电站库区滑坡滑速涌浪预测[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17(1): 74 – 77.
- [7] 张丙先, 张登旺. 王家湾滑坡滑速涌浪预测[J]. 四川水利, 2007, (6): 45 – 47.
- [8] 程玉祥. 泗渡河水库库区滑坡涌浪计算及其影响分析[J]. 浙江水利科技, 2008, (1): 32 – 34.
- [9] S. T. Grilli, P. Watts. Modeling of waves generated by a moving submerged body Applications to underwater landslides. Engineering Analysis with Boundary Elements, 1999, (23): 645 – 656.
- [10] Andrea Panizzo, Giorgio Bellotti, Paolo De Girolamo. Application of wavelet transform analysis to landslide generated waves. Coastal Engineering, 2002, (44): 321 – 338.

Analysis and Evaluation of Surge Wave Caused by Accumulation Body Failure in Reservoir Area near the Dam

Li Yangbo, Hu Xiewen, Lu Xiaoping, Wang Xuerui and Zhang Zhipeng

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: With the hydroelectric development in southwest China, reservoir bank failure caused by reservoir filling is becoming more and more common. Taking a loose talus slope on the right bank near dam of the reservoir at a power plant under construction as an example, the signs of the slope deformation failure following the initial impounding and the slope stability at the normal water level are calculated and analyzed. It reveals the mechanism of bank failure of this kind. Based on the research above, the possible surge height at the dam are analyzed and evaluated according to the related empirical formula for bank failure and surge prediction.

Key words: bank failure mechanism; surge; creeping and fracturing; reservoir area