

嘉陵江航道丁坝稳定性分析

唐 彬

(重庆交通大学河海学院, 重庆, 400074)

摘 要: 针对丁坝水毁比较严重的问题以及目前关于稳定性计算的欠缺, 本文在嘉陵江航道丁坝水毁调查报告的基础上分析了洪水作用下丁坝的水毁特征及原因, 同时结合理论分析建立了丁坝坝面不同部位块石稳定性计算模型和丁坝整体抗滑稳定性计算模型。从坝面块石的稳定性计算结果可以得到各部位的稳定性依次为坝身迎水坡、坝头迎水坡、坝头背水坡、坝顶、坝身背水坡, 整体稳定性计算结果相对设计院计算结果更具有可靠性。

关键词: 丁坝; 水毁; 稳定性; 安全系数

中图分类号: TV6

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2020)05-0343-06

0 引 言

丁坝作为航道整治工程中重要的整治建筑物, 其稳定性直接影响到航道整治工程的成败^[1]。目前用于航道整治的丁坝多为散抛石结构^[2], 受水流顶冲影响, 水毁比较严重^[3-4]。根据目前的研究, 丁坝水毁的主要原因有动力因素、人类活动因素、结构设计以及其他原因等^[5]。喻涛等^[6]对不同结构形式的丁坝开展了试验研究, 得到了不同条件下丁坝的动水压力分布规律, 并分析了不同结构形式的丁坝稳定性; 李浩然^[7]把影响丁坝稳定的因素作为影响指标提出了丁坝危险性评价方法。刘临雄^[8]结合实际工程对丁坝稳定性做出了分析; 李橙林^[9]结合物理模型试验开展了丁坝块石稳定性试验研究, 为丁坝稳定性设计做出参考。相关工程经验、模型试验和数值模拟在整治建筑物稳定性计算和水毁机理研究方面做出了一定的贡献, 并取得了不错的效果^[10-15]。然而在对丁坝稳定性计算方面由于《航道工程设计规范》^[16]中没有明确的规定, 其设计主要是依靠设计人员的水平和经验。

本文在分析嘉陵江航道丁坝水毁原因及特征的基

础上, 结合理论分析建立了丁坝坝面块石稳定性模型和丁坝整体抗滑稳定性计算模型。

1 丁坝水毁特征及原因分析

1.1 丁坝水毁特征

本次嘉陵江航道丁坝水毁主要原因为水力因素和河演因素。在对实际工程调查结果分析总结后得到丁坝破坏主要有以下几个特点: 首先丁坝损毁的主要原因是嘉陵江上游的连续持久的强降雨形成的洪水, 造成经过丁坝时断面流速过大。再者由于建筑物坝身、坝根等部位的基础和泥沙受到水流的冲刷和侵蚀作用, 底部河床被淘空, 建筑物在其自身重力作用下失稳, 造成建筑物的局部崩陷、塌落、移位。坝体护面在水流和漂浮物的冲击下, 以滑动和滚动的形式脱离原位, 或从顶部开始逐层剥落。

根据已有资料的分析及整治建筑物维护情况统计, 对于迎水坡, 当河道来流突然增大时, 水流受丁坝阻挡, 迎水坡坝面承受不了水流的上举力, 形成迎水坡坝面掀翻。对于背水坡及坝面, 根据相关研究, 随着丁坝上下游水位落差逐渐增大, 翻坝水流特别是背水坡



图 1 丁坝水毁状态

处流速很大,对坝面及下游河床形成冲刷,当这一落差达到一定程度之后,坝面及下游河床承受不了水流的冲击力,最终造成坝面及背水坡的水毁,见图 1。

1.2 丁坝水毁原因分析

1.2.1 急流冲击

由于嘉陵江上游连日强降雨形成特大洪水,亭子口枢纽入库流量达 $25\,000\text{m}^3/\text{s}$ 超过 50 年一遇洪水。调查表明,在丁坝受洪水顶冲段流速接近 6m/s ,处于洪水主流区的丁坝受水流顶冲作用易发生水毁。

1.2.2 推移质底沙作用

本次嘉陵江“7·11”大洪水期间嘉陵江河流水流急、推移质底沙强度大、粒径粗、输移时间持续长。其导致与建筑物相互作用就会十分剧烈。根据项目组实地调查,一些整治建筑物上下游都存在大量砂卵石堆积,推移质导致坝体面层磨蚀,同时推移质在输移过程中挤压坝面钢丝笼导致其移位。

1.2.3 河道中漂浮物的冲击导致丁坝坝面破坏

经过多方实地调查反映,在洪水期,水流流速较大,工程河段流速达 5m/s 以上,河道中的漂浮物,尤其是船舶、树木、漂木等大型漂浮物会对整治建筑物造成较大的冲击。部分漂浮物挂在钢丝笼坝面,造成表面钢丝笼之间的镶合及相互掩护的体系被拉伸破坏,形成缺口,之后缺口扩展冲深,坝体断裂,破坏越来越严重。

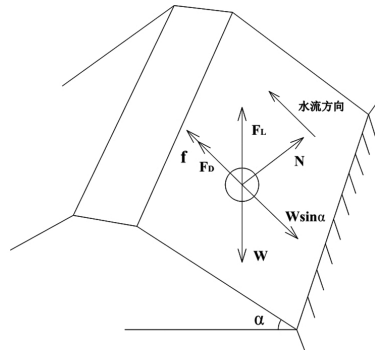
2 丁坝坝面块石稳定性模型

由于丁坝常见的是散抛石结构,分析坝面上不同块石的起动以及稳定性对丁坝整体稳定性有着直接联

系。因此,根据丁坝在水流作用下坝体的不同受力情况,将丁坝坝体分为坝身迎水坡、坝身背水坡、坝头迎水坡、坝头背水坡以及坝顶五个部分。作用在块石上的力可大致分为水流作用下的拖拽力和上举力,根据不同部位块石的受力情况建立稳定性模型。各部位的稳定性计算表达式及受力图如下:

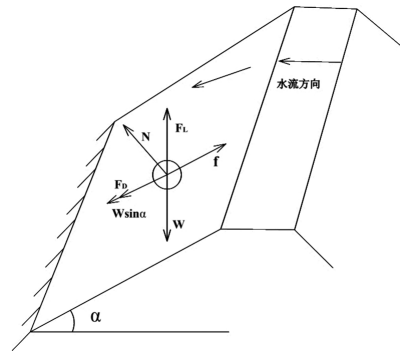
坝身迎水坡:

$$K = \frac{(W - F_L) \cos \alpha f}{(W - F_L) \sin \alpha - f_D} \quad (1)$$



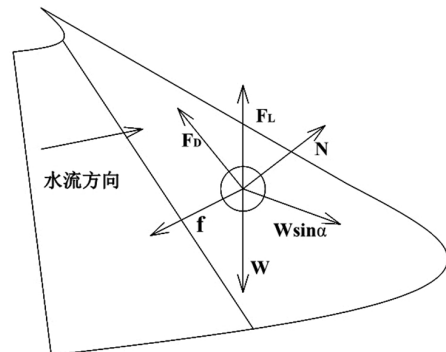
坝身背水坡:

$$K = \frac{(W - F_L) \cos \alpha f}{(W - F_L) \sin \alpha + f_D} \quad (2)$$



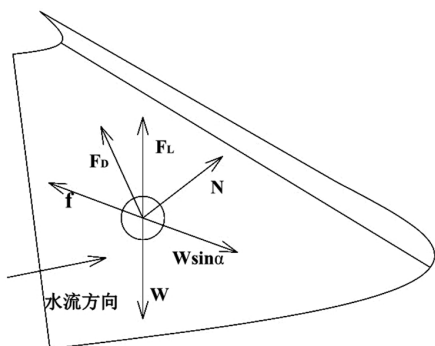
坝头迎水坡:

$$K = \frac{[(W - F_L) \cos \alpha - f_D \sin \theta] f}{(W - F_L) \sin \alpha - f_D \cos \theta} \quad (3)$$



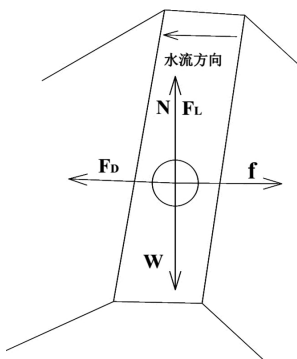
坝头背水坡:

$$K = \frac{[(W - F_L) \cos \alpha + f_D \sin \theta] f}{(W - F_L) \sin \alpha + f_D \cos \theta} \quad (4)$$



坝顶位置:

$$K = \frac{(W - F_L) f}{f_D} \quad (5)$$



式中, W 为块石的重量, kg; α 为丁坝斜面坡度, °; θ 为水流力与上举力之间的夹角, °; F_L 为水流上举力, kN; F_D 为水流拖拽力, kN; f 为块石之间的摩擦系数。

根据坝面块石在不同流速下计算了其稳定性, 分别确定了不同部位块石的稳定性系数, 其计算结果见图 2。从稳定性系数可以得到坝体不同部位的稳定性依次为坝身迎水坡、坝头迎水坡、坝头背水坡、坝顶以及坝身背水坡。

2.1 丁坝稳定性模型的建立

根据《航道工程设计规范》^[16]中关于整治建筑物稳定验算的荷载要求, 本文将作用在丁坝上的荷载主要分为水流推力、水流力、浮托力、波浪力。丁坝自重作为抗滑力来提供丁坝的稳定性, 以满足不同水流条件下的冲刷作用。根据抛石丁坝在航道整治工程中应用, 结合实际工程建立以梯形断面的抛石丁坝稳定性模型。模型见图 3。

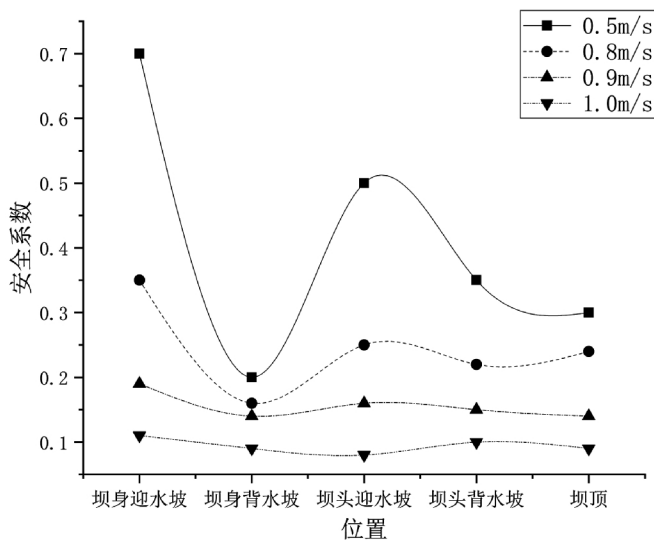


图2 坝面块石安全系数对比图

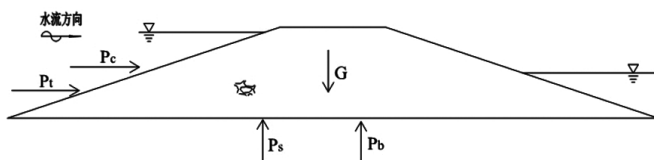


图3 丁坝稳定性计算模型

根据丁坝所处的自然环境以及水流条件得到作用在丁坝坝面上的荷载以及计算表达式。

水流推力:

$$P_t = \gamma_0 H I \quad (6)$$

水流对阻流面的冲击力:

$$P_c = K_s \gamma_0 H V^2 (1 - \cos \alpha) / g \sin \alpha \quad (7)$$

水流对护面的上举力:

$$P_s = \eta \mu \gamma_0 V^2 / 2g \quad (8)$$

波浪作用力:

$$P_b = 1.59 K_m \gamma_0 A h (m+2) \quad (9)$$

根据受力平衡推导了丁坝整体稳定性设计表达式:

$$K' = \frac{(G \cos \alpha - P_s - P_b) f}{G \sin \alpha + P_t + P_c} \quad (10)$$

式中, G 为丁坝自重, kg; α 为丁坝的几何坡度, °; P_t 为河流坡度产生的水流力, kN; P_c 为作用在丁坝坝面的水流推力, kN; P_s 为作用在坝面的上举力, kN; P_b 为波浪荷载, kN。

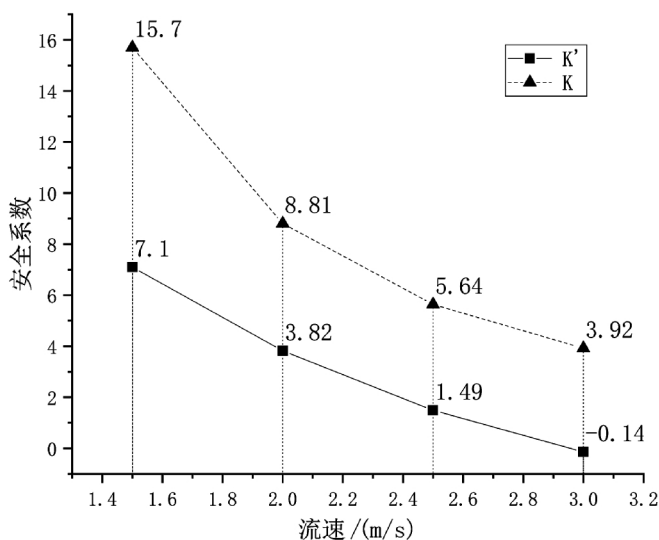
2.2 稳定性计算对比分析

为了验证推导的稳定性计算公式的可靠性, 以嘉陵江航道金溪库区 2 号丁坝为例进行稳定性对比分

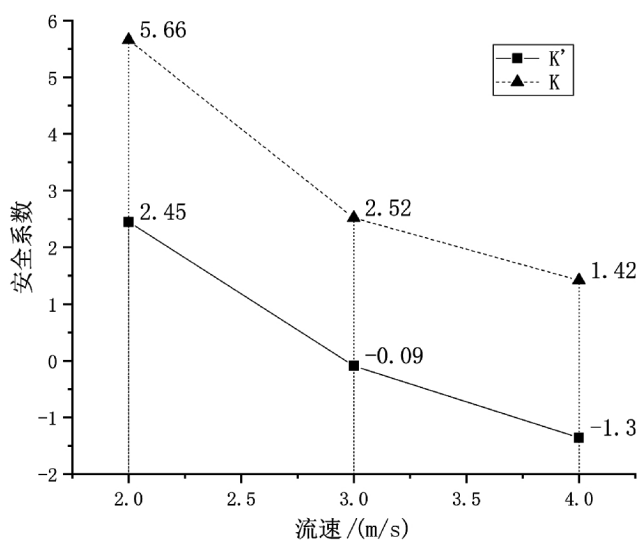
析。采用四川交通设计院《施工图设计,第三册整治工程2.4节,建筑物稳定分析与计算》(2016年10月)^[4]所采用的稳定性计算公式。选取具有代表性的金溪库区2号丁坝与衔接处的断面0+193为计算断面,坝顶宽3m,迎水坡1:1.5,背水坡1:2.5,坝体自重根据不同的水位条件计算,坝体与河床的摩擦系数 f 取0.45。选取特征水位和假定不同流速进行计算。参照推导的丁坝整体稳定性计算模型给出了稳定性的计算公式,结合给出的具体参数计算得到了丁坝在不同水位条件下丁坝的抗滑稳定系数。不同水深和流速条件下计算的对

比分析见图4和图5。

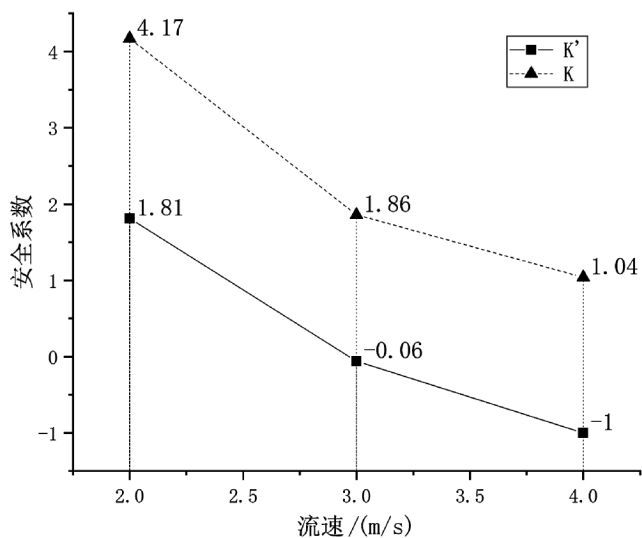
从设计院的公式^[7]计算结果来看,在最低通航水位、坝顶水位时且流速不小于2m/s且不超过3m/s时,坝体抗滑稳定性较好。在水位高过坝顶1m且流速不超过3m/s时,坝体抗滑稳定性出现显然的下降但能够保持稳定,但安全储备已不足;当流速超4m/s时,坝体将失稳。在水位超过坝顶2m且流速不超过3m/s时,坝体还能保持稳定,但是安全储备已将耗尽;流速超4m/s,坝体将失稳的可能性很大。在高水位时(如“7.11”洪水水位),即使流速较低(2m/s),坝体



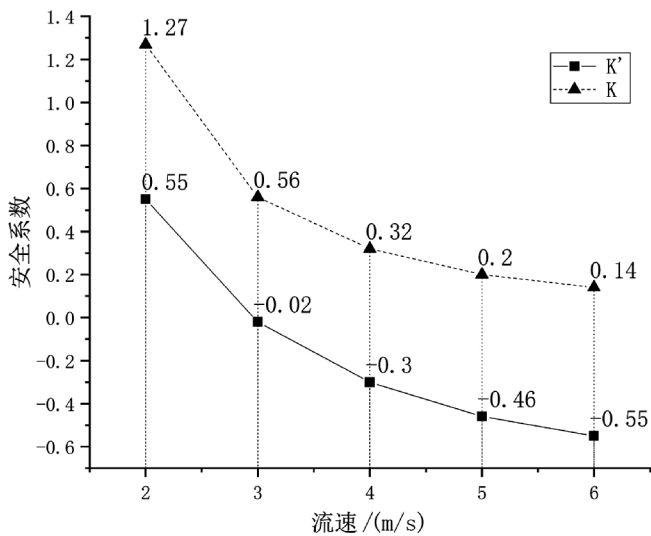
(a) 水深 1.8m 安全系数对比图



(b) 水深 2.8m 安全系数对比图

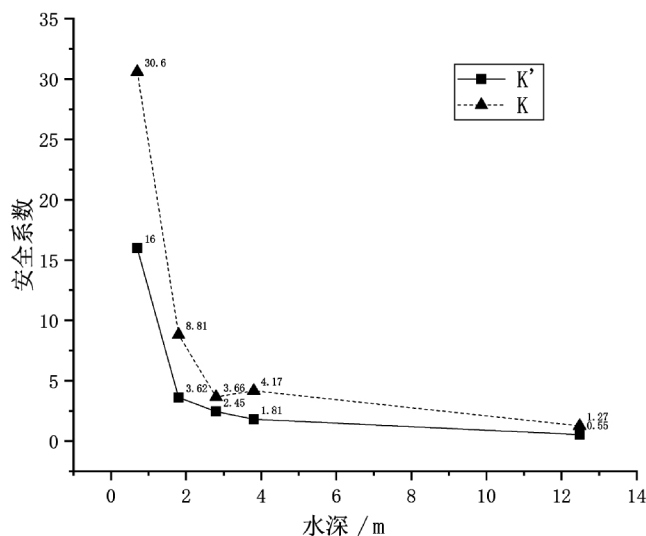


(c) 水深 3.8m 安全系数对比图

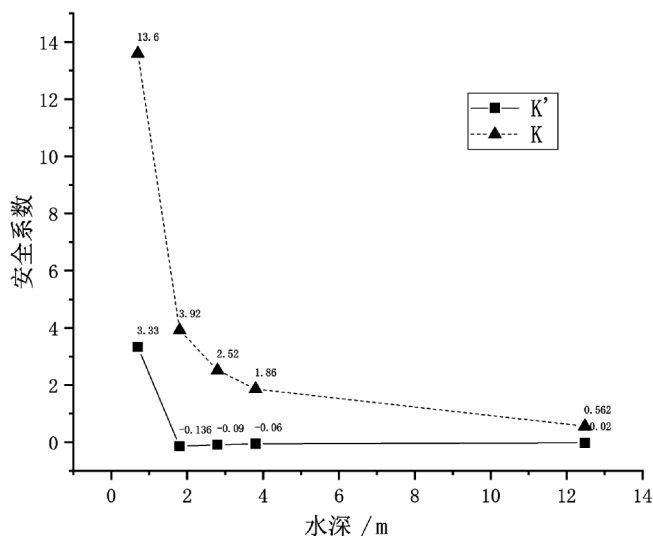


(d) 水深 12.48m 安全系数对比图

图4 不同水深条件下安全系数对比图



(a) 流速 2m/s 安全系数对比图



(b) 流速 3m/s 安全系数对比图

图5 不同流量条件下安全系数对比图

已可能失稳；流速增加，坝体失稳可能性随之大大增加，坝体在较大流速情况下被冲毁的可能性相当大。从新推导的稳定性设计表达式可以看出，计算的结果大致趋势于设计院推荐计算结果，但是新设计表达式在不同工况下丁坝的安全稳定性系数都要比设计院推荐的公式要低，安全稳定系数出现负数。主要原因是在设计表达式中考虑了水流对坝体的浮托力以及波浪作用等。

3 结 论

(1) 从建立的丁坝坝面块石稳定性以及计算结果可以得到不同部位的稳定性，依次为坝面坝身迎水坡、坝头迎水坡、坝头背水坡、坝顶以及坝身背水坡。

(2) 通过对不同水深条件下不同流速的对比分析，可以得到丁坝整体稳定性相对于设计院计算结果都要小，这为丁坝稳定性设计提供了更多的可靠性。

(3) 不论是设计院的计算公式还是自己推导的计算公式都可以看到丁坝的稳定性安全系数都是随着水流速度的增加在逐渐减小，则主要原因是水流对丁坝不论是水流推力还是浮托力都是对丁坝起到冲击的主要外荷载。

(4) 在流速为 2m/s 和 3m/s 的情况下，对不同水深条件下丁坝的安全稳定系数做了对比分析，可以看到

水深对丁坝的安全稳定系数影响比例小于流速对丁坝稳定性的影响。

参考文献:

- [1] 张俊华. 河道整治及堤防管理[M]. 黄河水利出版社, 1998.
- [2] Yu Tao, Wang Ping-yi, Gao Gui-jing. Turbulence Kinetic and Local Scour Around Spur Dike [c]// Proceedings of the Ninth International Symposium on river Sedimentation, 2010.
- [3] 应强. 丁坝坝头冲刷坑深度的研究 [J]. 南昌水专学报, 1999, 18(1): 16~20.
- [4] 方达宪, 王军. 丁坝坝头床沙起动流速及局部最大冲深计算模式的探讨[J]. 泥沙研究, 1992(4): 77~84.
- [5] 唐银安, 吴安江. 山区冲积性河流整治建筑物水毁原因及防治初探[J]. 水运工程, 1997(4): 37~40.
- [6] 喻涛, 王平义, 陈里, 等. 不同结构型式丁坝稳定性试验研究[J]. 人民长江, 2013, 44(24): 54~57.
- [7] 李浩然. 丁坝设计参数对坝体安全性的影响[D]. 长安大学, 2012.
- [8] 刘临雄. 砂质浅滩抛石丁坝结构稳定性分析及防护措施[J]. 水运工程, 2019(02): 89~92+106.
- [9] 李橙林. 黄河宁夏青石河段丁坝根石稳定性模型试验研究[D]. 华北水利水电大学, 2018.
- [10] 任云, 张功瑾, 路川藤. 潮汐双向流条件下丁坝水流特性研究[J]. 人民长江, 2017, 48(06): 33~37+46.
- [11] 任晶轩, 胡杰龙, 王平义, 等. 非恒定流作用下的抛石丁坝可靠度研究[J]. 水运工程, 2019(04): 102~109.

- [12] 刘润刚. 山区河流散抛石坝冲毁原因浅析[J]. 重庆交通学院学报, 2004(1): 90~94.
- [13] 江晓一. 楠江河道散抛石坝稳定性分析[J]. 黑龙江水利科技, 2010, 38(6): 94~95.
- [14] 高培. 长江中下游航道丁坝稳定性及防护技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2006: 39.
- [15] 嘉陵江川境段航运配套工程二期工程段地质勘察报告[R], 四川省交通运输厅交通勘察设计研究院, 2016, 10.
- [16] 《航道工程设计规范》(JTJ181-2016).
- [17] 嘉陵江川境段航运配套工程二期工程设计报告[R], 四川省交通运输厅交通勘察设计研究院, 2016, 10.

编辑: 张绍付

Stability analysis of spur dike in Jialing river

TANG Bin

(School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Aiming at the serious problem of spur dam damage and the current lack of stability calculation, this paper analyzes the characteristics and causes of spur dam damage under flood based on the investigation report of spur dam damage in Jialing river channel, and establishes the spur dam by combining theoretical analysis. The calculation model of the stability of the block rock in different parts of the surface and the calculation model of the overall anti-slide stability of the spur dike. From the stability calculation results of the dam face stones, the stability of each part can be obtained as the back slope of the dam body, the head slope of the dam head, the back slope of the dam head, the crest, and the back slope of the dam body. The overall stability calculation results are relatively designed. The calculation results of the hospital are more reliable.

Key words: Spur dike; Water damage; Stability; Safety factor

翻译: 唐 彬