

Analysis of the Effect of the Concrete Plug Angle on the Abutment Stability of Arch Dam

Dangzhong Wu¹, Maorong Wang²

¹Zhejiang Zhongshui Engineering Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²Zhejiang College of Construction, Hangzhou Zhejiang

Email: lssdwdz@126.com

Received: May 1st, 2017; accepted: May 16th, 2017; published: May 22nd, 2017

Abstract

Concrete plug has a good effect on the treatment of soft broken of arch dam, and it is also widely used in practical engineering. The paper try to establish three-dimensional finite element model of arch dam and its foundation, and analyzes the different influence of the direction of concrete plug layout. The results show that concrete plug setting of soft fractured zone specific sliding surface sliding security pass is often beneficial, but when the direction of concrete plug axis is not suitable, there may be disadvantageous to sliding stability, which should be paid attention by the engineers in the design of practical engineering in attention.

Keywords

Dam Foundation Treatment, Concrete Plug, Fractured Zone in Fault, Limited Element

传力洞角度对拱坝坝肩稳定影响分析

吴党中¹, 王茂荣²

¹浙江中水工程技术有限公司, 浙江 杭州

²浙江建设职业技术学院, 浙江 杭州

Email: lssdwdz@126.com

收稿日期: 2017年5月1日; 录用日期: 2017年5月16日; 发布日期: 2017年5月22日

摘 要

传力洞对处理拱坝软弱破碎带基础具有较好的效果, 实际工程中应用也很普遍。本文通过建立拱坝及其基础的三有限元模型, 分析了不同传力洞布置方向对软弱基础中特定滑裂面抗滑稳定安全系数的影响,

结果表明, 传力洞的设置对软弱破碎带内的特定滑裂面抗滑安全通常是有利的, 但当传力洞轴线的布置方向不当时, 也有可能反而不利滑裂面的抗滑稳定, 这一点在实际工程的设计中尤其应该引起工程师们的重视。

关键词

坝基处理, 传力洞, 断层破碎带, 有限元

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对于合适的坝址条件, 拱坝是一种即经济又安全的坝型。相对于同一坝址处相同高度的其它坝型, 拱坝一般工程量节省, 而超载能力更强[1]。虽然拱坝对建坝基础的要求较高, 但综合基础处理后的工程造价, 往往仍然低于其它比较坝型。目前, 全世界 200 m 以上的大坝, 有一半以上采用拱坝坝型[1]。目前我国已经建成的超高拱坝有拉西瓦(250 m), 锦屏一级(305 m), 构皮滩(225 m), 小湾(292 m)和溪洛渡(285.5 m)等。

根据拱坝的受力特点, 拱坝的坝肩稳定是拱坝设计成败的关键, 而坝肩岩体的完整性和坚固程度是影响坝肩稳定的重要因素。完全符合设计要求的拱坝天然坝基在实际工程中很少出现, 一般工程中均需对基础进行相应的处理, 以满足大坝受力要求。对于拱坝坝肩基础而言, 有时会出现一定范围的软弱夹层或破碎带, 当通过表层处理(如灌浆、深挖回填)工程措施不能满足要求或者代价太大时, 采用设置传力洞(有时也称抗剪洞)穿过软弱破碎带的处理方式能够很好地解决这一问题[2] [3]。实践证明, 传力洞对增强拱坝坝肩稳定是行之有效的拱坝基础深部处理措施, 正被应用于越来越多的工程之中[4]-[10]。

合适的传力洞设置将对拱坝的坝肩稳定起到积极作用, 然而不当的传力洞设置则有可能危害拱坝坝肩稳定。本文将通过建立三维有限元模型, 分析特定的传力洞对拱坝坝肩稳定的影响, 以期对实际工程起参考作用。

2. 计算模型与方法

2.1. 计算模型

某工程双曲砗拱坝坝高 60 m, 在拱坝的左坝肩二分之一坝高位置存在厚度为 10 m, 深度为 20 m, 顺河向无限延伸的软弱破碎带夹层。基础处理时在软弱夹层位置设置传力洞加固, 传力洞为圆形断面, 截面半径 3.0 m, 传力洞的长度以穿过软弱夹层并进入完整基岩 1 m。

建基面岩体物理力学参数如下: 完整基岩之间抗剪摩擦系数 f 值为 1.0, 结构面之间抗剪摩擦系数 f 值为 0.6。完整岩体的变形模量为 12 GPa, 泊松比为 0.25; 软弱夹层的岩体的变形模量为 1.0 GPa, 泊松比为 0.33;

砗拱坝为混合线型双曲变厚拱坝, 最大坝高 60 m, 坝体材料为 C20 砗。拱坝拱冠梁处坝顶厚度 2.50 m, 坝底厚度 10.35 m, 厚高比 0.173, 坝顶中心线弧长 164.7 m, 弧高比 2.745。坝体最大中心角 86.35°。上游坝面最大倒悬度 1:0.25, 下游坝面最大倒悬度 1:0.20。

坝体材料弹模 $2.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 泊桑比 0.167, 容重 24 kN/m^3 , 线膨胀系数 $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 导热系数 $3 \text{ m}^2/\text{月}$ 。基岩变模为 $1.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 泊桑比 0.167。

三维有限元计算中采用理想弹塑性模型和常用的 Drucker-Prager 屈服准则。

考虑的拱坝荷载组合主要有自重、水压力、泥沙压力和温度荷载。

坝基的计算范围为: 基础的深度为最大坝高的一倍, 左右岸及拱坝上游基础各延伸一倍最大坝高, 下游基础延伸 2.5 倍最大坝高。

有限元模型的整体坐标系定义如下: 拱坝拱冠梁上游顶点为坐标原点, 右岸为+X 方向, +Y 轴铅直向下, Z 轴指向下游。

坝体采用 8 节点 SOLID45 单元模拟, 一般岩体采用 8 节点 SOLID65 单元模拟, 软弱破碎带范围岩体及传力洞采用 20 节点 SOLID186 单元模拟。

拱坝整体有限元模型及坝体模型如图 1、图 2 所示。

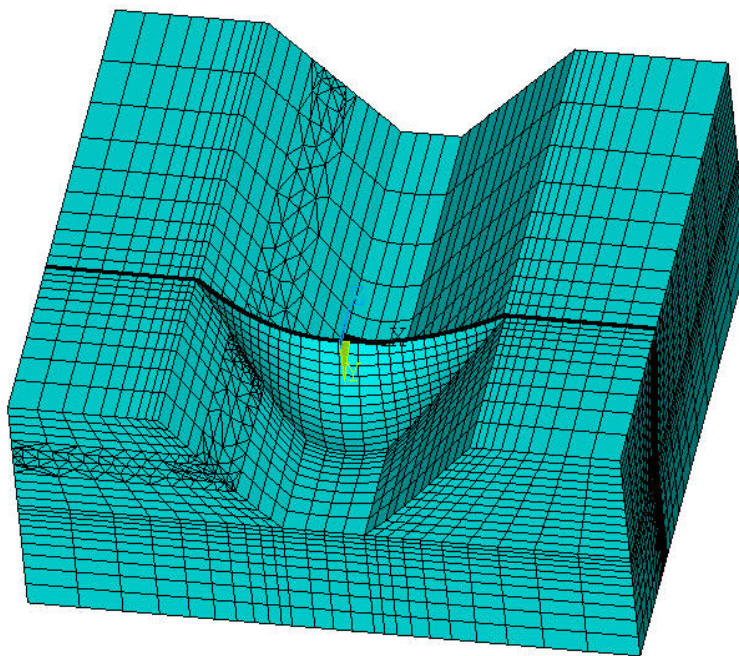


Figure 1. 3D finite element model of arch dam

图 1. 拱坝整体三维有限元模型

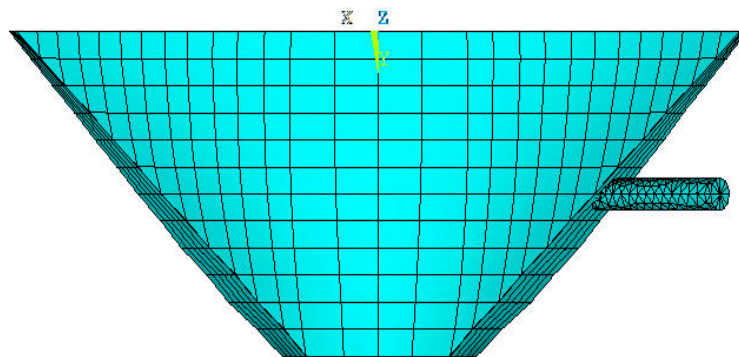


Figure 2. 3D finite element model of the dam (including the concrete plug)

图 2. 坝体(含传力洞)三维有限元模型

2.2. 计算方法

本文讨论传力洞的不当设置, 主要分析坝肩传力洞轴线与特定滑裂面(陡倾角)之间的交角变化, 对该滑裂面的抗滑稳定安全系数的影响。为此需要假定传力洞与滑裂面成不同的交角, 分别计算各种交角下有无传力洞作用时滑面抗滑稳定安全系数, 比较传力洞处理前后滑面抗滑稳定安全系数的变化情况。

在计算时假设滑裂面走向与坝轴线的夹角为 30° , 考虑到实际工程可能情况, 将传力洞的轴线方向与滑裂面走向分别布置成 90° 、 85° 、 80° 、 75° 、 70° 、 65° 和 60° 的交角(如图 3 所示), 分别分析有无设置传力洞的情况下, 拱坝坝肩稳定安全系数变化情况。

根据《混凝土拱坝设计规范》(SL282-2003), 拱坝坝肩稳定(点、面)安全系数的抗剪公式如下:

$$K_p = \frac{\sigma_i f_i}{\tau_i} \quad (1)$$

$$K_f = \frac{\sum \sigma_i f_i A_i}{\sum \tau_i A_i} \quad (2)$$

式中:

K_p ——特定软弱结构面上计算点的抗滑稳定安全系数, 简称点安全系数;

K_f ——沿特定软弱结构面的抗滑稳定安全系数, 简称面安全系数;

f_i ——计算点处软弱结构面的抗剪摩擦系数;

σ_i ——计算点处软弱结构面的法向压应力;

τ_i ——计算点处软弱结构面的剪应力在滑动方向上的分量(即切向应力);

A_i ——计算点所代表的软弱结构面的面积。

计算时取滑裂面的单位宽度。沿滑裂面走向将其均分为 20 小段, 取每小段的首尾两点作为应力计算点, 共计 21 个应力计算点。每个应力计算点所代表的滑面范围为与该点相连的两小段滑面之和的一半。

通过有限元计算, 可以得到各应力计算点的六个应力分量, 即 σ_{ix} 、 σ_{iy} 、 σ_{iz} 、 τ_{ixy} 、 τ_{iyz} 和 τ_{ixz} 。

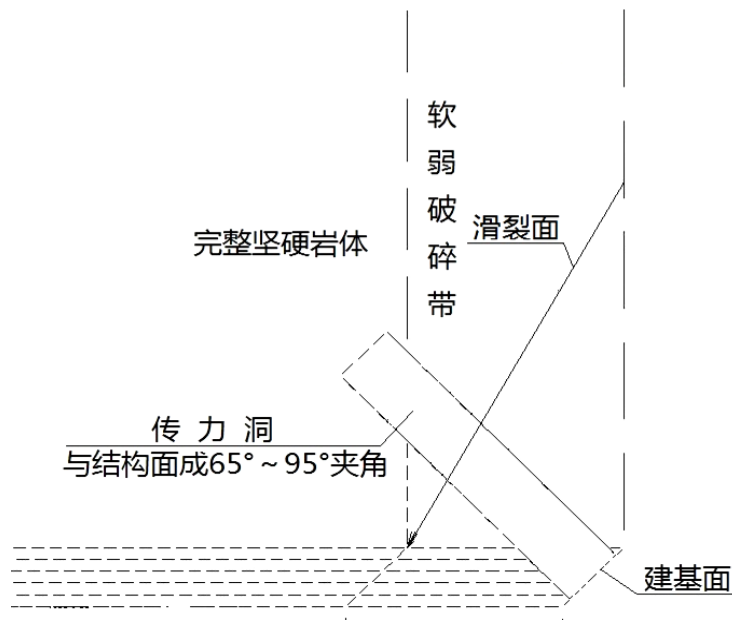


Figure 3. Concrete plug and slip plane location map
图 3. 传力洞与滑裂面平面位置示意图

设滑动面的外法线方向余弦分别为 l , m , n 。根据弹性力学的有关原理, 各应力计算点所代表结构面的应力分量 p_{ix} 、 p_{iy} 和 p_{iz} 为:

$$\left. \begin{aligned} p_{ix} &= \sigma_{ix} \cdot l + \tau_{ixy} \cdot m + \tau_{ixz} \cdot n \\ p_{iy} &= \tau_{iyx} \cdot l + \sigma_{iy} \cdot m + \tau_{iyz} \cdot n \\ p_{iz} &= \tau_{izx} \cdot l + \tau_{izy} \cdot m + \sigma_{iz} \cdot n \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则各应力计算点所代表结构面上的法向压应力 σ_i 为:

$$\sigma_i = l \cdot p_{ix} + m \cdot p_{iy} + n \cdot p_{iz}$$

将上式展开可得

$$\sigma_i = l^2 \sigma_{ix} + m^2 \sigma_{iy} + n^2 \sigma_{iz} + 2lm \tau_{ixy} + 2mn \tau_{iyz} + 2nl \tau_{izx} \quad (4)$$

$$\text{由 } p_{ix}^2 + p_{iy}^2 + p_{iz}^2 = \sigma_i^2 + \tau_i^2$$

可得各应力计算点所代表结构面上的切应力 τ_i 为:

$$\tau_i = \sqrt{p_{ix}^2 + p_{iy}^2 + p_{iz}^2 - \sigma_i^2} \quad (5)$$

将各点的 σ_i 和 τ_i 代入公式(1)和式(2)中, 就可以求得可能滑动结构面各计算点的点抗滑安全系数 K_p 和结构面的面抗滑安全系数 K_f 。

3. 计算成果分析

针对设置传力洞处理和未设置传力洞处理两种情况, 分别建立拱坝和地基的整体分析三维有限元模型, 对未布置传力洞和布置了不同方向传力洞的同一滑面的点、面抗滑稳定安全系数进行分析计算。设置传力洞后滑面各点抗滑安全系数与未设置传力洞的滑面点抗滑安全系数比较见图 4~图 9, 表中横坐标表示滑面上各计算点, 纵坐标表示各点的抗滑安全系数。

有无布置传力洞情况下滑面的面抗滑稳定安全系数见表 1。

根据有限元计算结果可见, 设置了传力洞后, 一般情况下滑面的抗滑安全系数是提高的, 但是当传力洞轴线设置的方向与滑面交角小到一定程度后, 传力洞的设置对滑面抗滑安全反而不利。

根据抗滑安全计算公式(1)和(2), 影响安全系数的指标主要是滑面上的正应力 σ_i 和剪应力 τ_i , 设置了传力洞以后, 拱坝传至坝肩的推力, 部分由传力洞承担, 传至滑面之后的坚固岩体, 因此在传力洞影响范围内, 滑面上的正应力分量和剪应力分量是同时减少的。当改变传力洞的设置方向, 滑面上正应力和

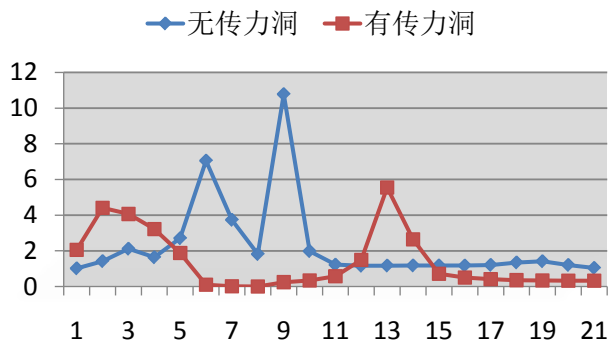


Figure 4. The hole axis and the surface intersection of 90°

图 4. 传力洞轴线与滑面交角 90°

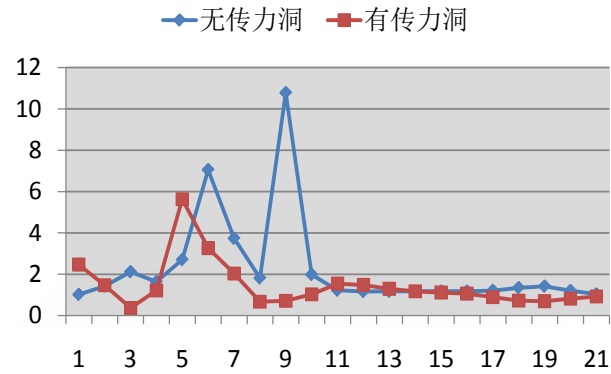


Figure 5. The hole axis and the surface intersection of 85°
图 5. 传力洞轴线与滑面交角 85°

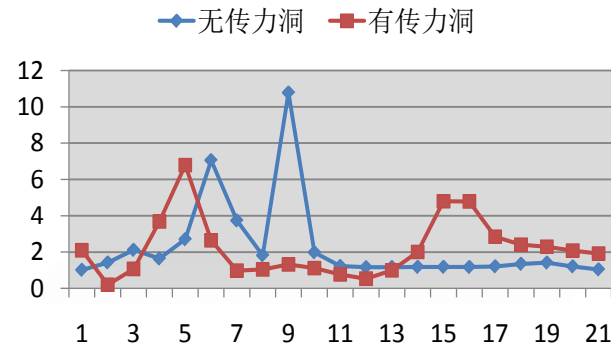


Figure 6. The hole axis and the surface intersection of 80°
图 6. 传力洞轴线与滑面交角 80°

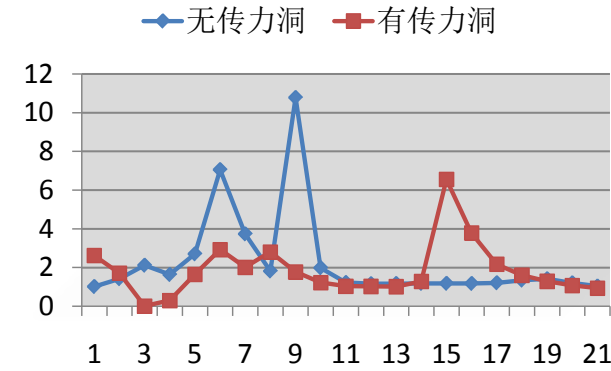


Figure 7. The hole axis and the surface intersection of 75°.
图 7. 传力洞轴线与滑面交角 75°.

Table 1. The stability safety factor for anti slip of slip surface
表 1. 有无布置传力洞情况下滑面的面抗滑稳定安全系数表

交角(°)	无传力洞	90	85	80	75	70	65
面安全系数	1.429	1.489	2.125	1.718	1.650	1.581	1.049

剪应力减小的幅度不同。当正应力的减小幅度大于剪应力的减小幅度时, 滑面的抗滑安全系数就有可能降低。

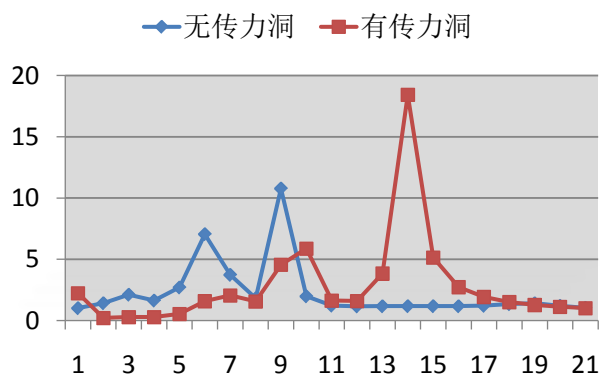


Figure 8. The hole axis and the surface intersection of 70°

图 8. 传力洞轴线与滑面交角 70°

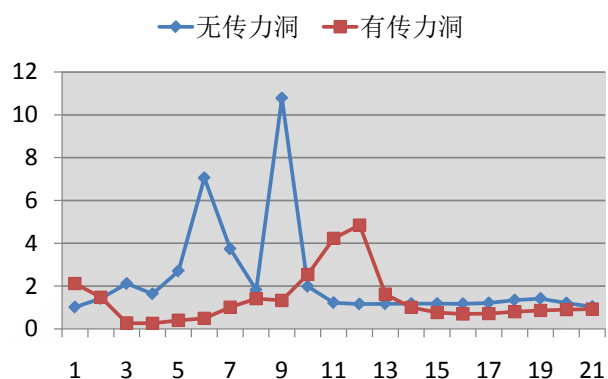


Figure 9. The hole axis and the surface intersection of 65°

图 9. 传力洞轴线与滑面交角 65°

4 结论

传力洞对处理拱坝软弱破碎带基础具有较好的效果, 实际工程中应用也很普遍。本文分析了不同传力洞布置方向对特定滑裂面抗滑稳定安全系数的影响, 结果表明, 传力洞的设置对软弱破碎带内的特定滑裂面抗滑安全通常是有利的, 但当传力洞轴线的布置方向不当时, 也有可能反而不利滑裂面的抗滑稳定, 这一点在实际工程的设计中尤其应该引起工程师们的重视。

参考文献 (References)

- [1] 李瓚, 陈兴华, 王光纶, 等. 混凝土拱坝设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] 赵炳祯, 郑建波, 冯树祥, 等. 黄河龙羊峡水电站重力拱坝基础处理设计[J]. 西北水利发电, 1986(2): 6-16.
- [3] 刘健, 谢新生, 王旭. 基础约束对拱坝应力影响规律的研究[J]. 西北水电, 2009(1): 58-60.
- [4] 王清亮, 唐辉明, 胡丽新. 地基变形模量对碾压混凝土拱坝应力分布的影响[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2007, 32(3): 409-414.
- [5] 杨保全, 陈媛, 张林, 董建华, 陈建叶. 基于地质力学模型试验的锦屏拱坝坝肩加固效果研究[J]. 岩土力学, 2015(3): 819-826.
- [6] 苏卫强, 吴志波, 何力. 复杂地质条件下拱坝坝肩抗滑稳定分析及处理研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(3): 61-64.
- [7] Randolph, M.F. and Wroth, C.P. (1979) Analysis of Vertical Deformation of Pile Groups. *Géotechnique*, **29**, 423-439. <https://doi.org/10.1680/geot.1979.29.4.423>

- [8] 杨庚鑫, 陈建叶, 张杨, 等. 混凝土传力抗剪结构在拱坝坝肩加固处理中的效果分析[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(5): 34-39.
- [9] 徐卫亚, 倪海江, 狄圣杰, 等. 白鹤滩水电站坝基加固方案评价[J]. 水力发电学报, 2015, 34(3): 129-136.
- [10] 陈英儒, 杨强, 包劲清. 高拱坝坝基断层加固力研究[J]. 水力发电学报, 2008, 27(6): 62-67.

期刊投稿者将享受如下服务:

- 1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
- 2. 为您匹配最合适的期刊
- 3. 24 小时以内解答您的所有疑问
- 4. 友好的在线投稿界面
- 5. 专业的同行评审
- 6. 知网检索
- 7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org