

黄河石门至禹门口段高陡边坡稳定性 分析研究

代全忠

(天津水务集团有限公司,天津 300204)

【摘要】 边坡的稳定性是兴修水利工程必须考虑的问题。本文以黄河中游晋陕大峡谷南段石门至禹门口段两岸分布的高陡边坡为例,采用 UDEC 软件数值分析计算、赤平投影分析计算,对高陡基岩边坡的稳定性进行分析。结果表明,采用上述两种方法综合分析、多重计算,才能得出较为满意的结论。

【关键词】 基岩;边坡;稳定性;数值分析

中图分类号: TV52

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)06-015-05

Study on the stability of high and steep slope in Yellow River section from Shimen to Yumenkou

DAI Quanzhong

(Tianjin Water Group Co., Ltd. Tianjin 300204, China)

Abstract: The stability of the slope is the issue that must be considered in construction of water conservancy projects. High and steep slopes distributed on both bank of Yellow River midstream Jinshan grand canyon section from Shimen to Yumenkou are adopted as examples in the paper. UDEC software is adopted for numerical analysis and calculation. Stereographic projection is adopted for analysis and calculation. The stability calculation method of high and steep bedrock slopes is discussed. The results show that more satisfactory conclusion can be obtained through adopting multiple calculations with comprehensive analysis method.

Key words: bedrock; slope; stability; numerical analysis

1 概述

黄河晋陕大峡谷南端西岸为黄龙山,东岸为南吕梁山西南段龙门山,其中石门到禹门口段长约 4km,两岸高山对峙,河中水流湍急。两岸地层主要为奥陶系上马家沟组的厚层石灰岩、峰峰组角砾状灰岩夹泥灰岩,自然边坡陡立,局部发育负边坡。路边可见崩塌落石。研究区域平面图如图 1 所示。

本文对此段两岸高陡边坡进行了稳定性评价工

作,通过多种分析计算两岸边坡的稳定性,希望这种综合分析的方法能对边坡稳定性评价工作有帮助。

2 边坡地貌

该段黄河河道为峡谷,属于晋陕大峡谷的南端,峡谷窄小,两岸基岩出露,直立陡峭,水流湍急。河床及边坡如图 2 所示。

两岸基岩裸露,为高陡边坡,河西岸半山修建有煤矿专用线下桑线,东岸有沿黄公路(图 3)。



图1 研究区域平面



图2 河床及边坡



图3 岸坡照片

3 边坡稳定性分析

根据现场地形情况,选取三处典型边坡,均存在水平岩层的高陡边坡问题,最缓处自然边坡约 $30^{\circ} \sim 55^{\circ}$,

其余高陡,甚至存在负边坡情况。采用三种方式计算如下:

3.1 边坡自然稳定坡角的确定

边坡自然坡度主要采用岩体质量法经验公式,该公式基于全国铁路公路 200 多个边坡统计分析得出。

3.1.1 经验公式介绍

由于回弹值与块度乘积正好反映了不同强度和组合时的岩体质量,因此将岩体质量定义为

$$RQ = R \log(D)$$

根据对铁路大量边坡的统计分析,并进行曲线拟合得到岩体质量 RQ 与边坡坡度之间的关系为

$$\theta = 14.7 \ln(\gamma_w R \log D) + 13 \quad (1)$$

式中 θ ——边坡稳定坡角;

D ——岩石的视块度,由下式求得:

$$D = \sqrt[n]{\prod_1^n d_i} \quad (2)$$

式中 d_i ——野外所测岩石的节理间距;

n ——野外所测的节理组数;

γ_w ——地下水折减系数,其取值见表 1;

R ——为 HT75 型回弹仪所测回弹值。

若野外所测回弹值为岩石风化层的回弹值,则需进行如下转化:

$$R = R_f / f_R \quad (3)$$

式中 Rf ——岩石风化层的回弹值;

f_R ——风化折减系数,其取值见表2。

由于野外所测的回弹值为 HT225 型,因此要经过下式进行转化:

$$208R_{75} = 194.7R_{225} - 595 \quad (4)$$

表1 地下水折减系数

含水情况	干燥	潮湿	滴水	线流
折减系数	1~0.9	0.85~0.8	0.8~0.7	0.7~0.5

表2 风化折减系数

等级	未风化	微风化	风化颇重	风化极重
风化系数	>0.95	0.95~0.75	0.75~0.4	<0.4

3.1.2 现场测量节理裂隙

典型边坡 I:地层产状 $270^\circ \angle 6^\circ$,靠近岸边层理间距约 0.5m,远离岸边层理间距约 1.0m;节理分布两组,分别为 $350^\circ \angle 82^\circ$ 、 $265^\circ \angle 85^\circ$,靠近岸边节理间距为 0.2~0.5m,远离岸边节理间距约 3.0m。

典型边坡 II:地层产状 $280^\circ \angle 7^\circ$,靠近岸边层理间距约 0.5m,远离岸边层理间距约 1.0m;节理分布两组,分别为 $285^\circ \angle 87^\circ$ 、 $190^\circ \angle 86^\circ$,靠近岸边节理间距为 0.5~1.0m,远离岸边节理间距约 3.0~3.5m。

典型边坡 III:地层产状 $283^\circ \angle 6^\circ$,靠近岸边层理间距约 0.5m,远离岸边层理间距约 1.0m;节理分布两组,分别为 $250^\circ \angle 80^\circ$ 、 $150^\circ \angle 82^\circ$,节理间距为 0.5m。

3.1.3 计算结果

该地区的岩石为奥陶系灰岩,地层产状为 $280^\circ \angle 7^\circ$,节理为两组,产状分别为 $285^\circ \angle 87^\circ$ 、 $190^\circ \angle 86^\circ$,节理间距均为 0.5m 左右,此处岩石表面局部潮湿,地下水折减系数按 0.8 取值,由此计算得灰岩边坡稳定坡角约为 70° 。

3.2 UDEC 软件数值分析

强度准则涉及力学参数有岩体内聚力 C 和摩擦角 φ 。软件运行参数:查阅相关资料,根据经验值确定灰岩岩体内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$,灰岩岩体内聚力 $C = 0.85\text{MPa}$ 。结合灰岩节理强度经验值并考虑节理强度可能受地下水的影响,取灰岩节理内摩擦角 $j\varphi = 25^\circ$,

内聚力 $j_c = 0.025\text{MPa}$ 。

3.2.1 典型边坡 I 数值分析

典型边坡 I 东岸岸坡分析如图 4 所示。

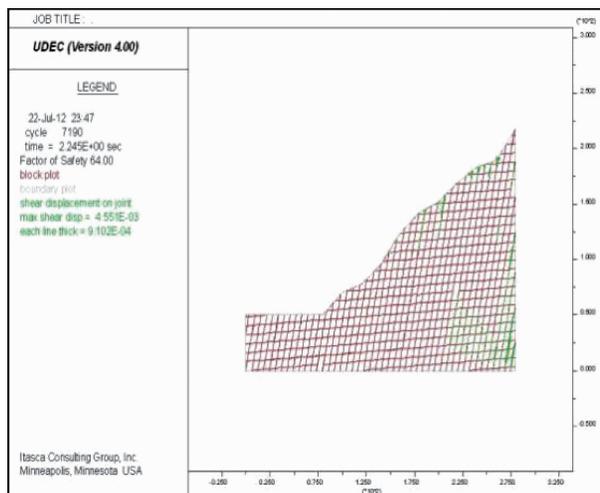


图4 典型边坡 I 东岸岸坡

典型边坡 I 位于黄河东岸,岸坡目前在天然条件下稳定,由于重力作用岩块可能沿节理裂隙发生最大位移为 0.46cm,节理张开缝隙约 0.91mm。岸坡天然坡角 (41°) 小于经验公式所得灰岩边坡稳定坡角 (70°),天然状态下岸坡稳定。

3.2.2 典型边坡 II 数值分析

典型边坡 II 位于黄河西岸岸坡,如图 5 所示,UDEC 软件数值分析结果显示,目前在天然状态下稳定,由于重力作用岩块可能沿节理裂隙发生最大位移

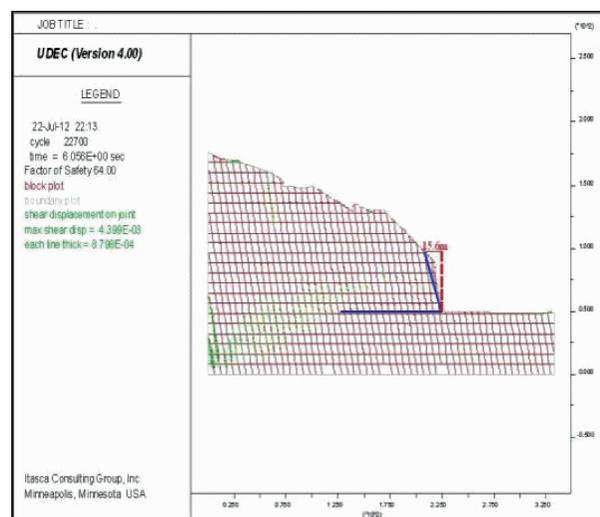


图5 黄窑科 II 号桥位西岸岸坡

为 0.44cm,节理张开缝隙约 0.88mm。若按照经验公式所得灰岩边坡稳定坡角 70°计算,距坡角水平距离约 15.6m 范围内岩块存在滑落、掉块的可能。

3.2.3 典型边坡Ⅲ数值分析结果

典型边坡Ⅲ位于黄河东岸岸坡,如图 6 所示,存在岩块滑落的可能,由于重力作用岩块可能沿节理裂隙发生最大位移为 22.5cm,节理张开缝隙约 45mm,模拟结果显示,在近河岸处可能发生岩块滑落现象。若按照经验公式所得灰岩边坡稳定坡角 70°计算,距坡角水平距离约 35.8m 范围内岩块存在滑落、掉块的可能。

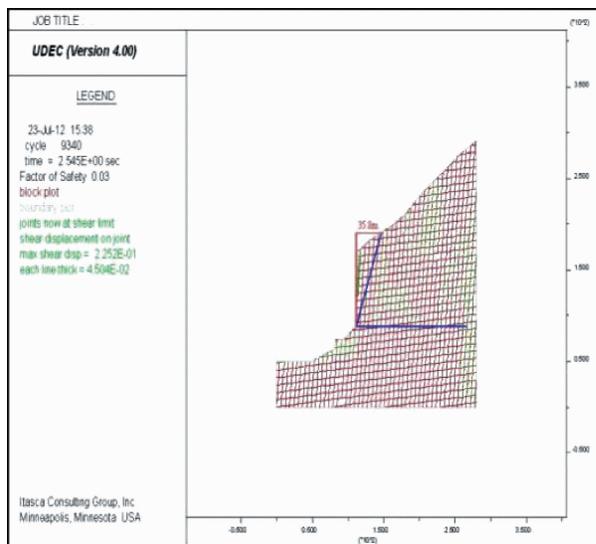


图 6 典型边坡Ⅲ岸坡

3.3 赤平投影分析

边坡受两组结构面的切割,控制边坡的稳定性时,为判断滑动方向,可以利用赤平投影进行初步分析。

3.3.1 典型边坡Ⅰ赤平投影结果

根据现场测量结果,典型边坡Ⅰ岸坡坡角约 54°,坡顶角度约 31°。此处灰岩发育两组节理,节理产状分别为 250°∠80°、150°∠82°,层理产状为 283°∠6°,赤平投影如图 7 所示。

节理与层理赤平投影交点分别为 A、B、C,弧 1、弧 2 为东岸边坡坡底与坡顶赤平投影。点 A 落于坡面以外,说明结构面交线虽较边坡平缓,但在坡顶面上无出露点,属于较稳定状态;点 B 落于坡面以外,说明结构面交线虽较边坡平缓,但在坡顶面上无出露点,属于较稳定状态;点 C 与坡面在同一侧,但组合交线较边坡陡,属于稳定状态。综合层理与节理赤平投影结果,此处边坡属于较稳定状态。

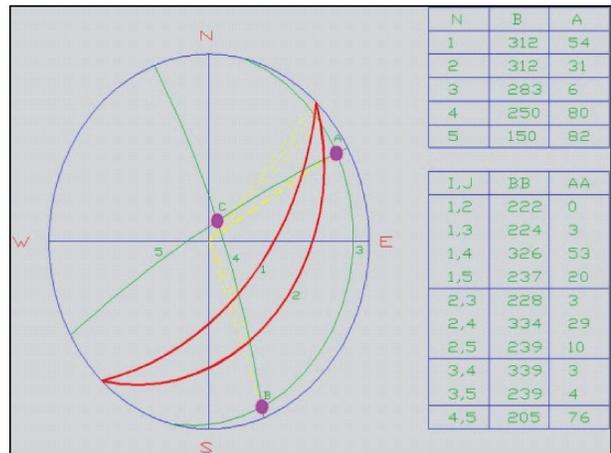


图 7 典型边坡Ⅰ东岸岸坡

稳定状态;点 C 在图中与边坡面不同侧,属于最稳定状态。综合层理与节理赤平投影结果,此处边坡属于较稳定状态。

3.3.2 典型边坡Ⅱ赤平投影结果

根据现场测量结果,典型边坡西岸岸坡坡角约 82°,坡顶角度约 41°。此处灰岩发育两组节理,节理产状分别为 105°∠80°、210°∠85°,层理产状为 290°∠6°,赤平投影如图 8 所示。

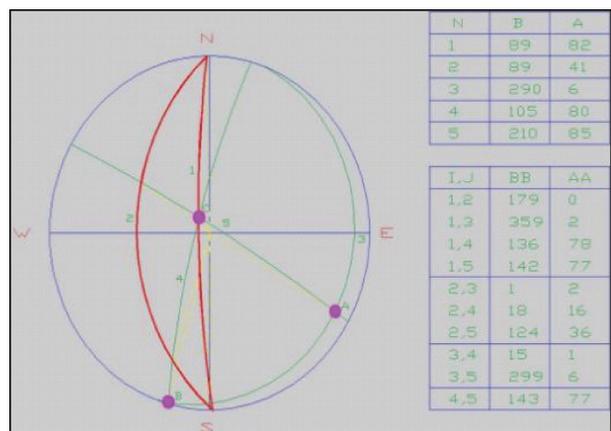


图 8 典型边坡Ⅱ西岸岸坡

节理与层理赤平投影交点分别为 A、B、C,弧 1、弧 2 为西岸边坡坡底与坡顶赤平投影。参照《铁路工程地质手册》中赤平投影对岩体滑动可能性的分析,点 A 在图 8 中与边坡面不同侧,属于最稳定状态;点 B 落于坡面以外,说明结构面交线虽较边坡平缓,但在坡顶面上无出露点,属于较稳定状态;点 C 与坡面在同一侧,但组合交线较边坡陡,属于稳定状态。综合层理与节理赤平投影结果,此处边坡属于较稳定状态。

3.3.3 典型边坡Ⅲ赤平投影结果

根据现场测量结果,典型边坡Ⅲ位于黄河东岸,岸坡坡角约 88° ,坡顶角度约 37° 。此处灰岩发育两组节理,节理产状分别为 $265^\circ \angle 85^\circ$ 、 $350^\circ \angle 82^\circ$,层理产状为 $270^\circ \angle 6^\circ$,赤平投影如图9所示。

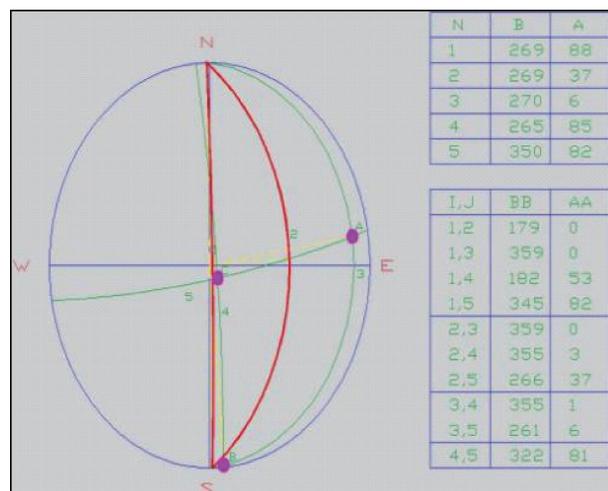


图9 典型边坡Ⅲ岸坡

节理与层理赤平投影交点分别为A、B、C,弧1、弧2为东岸边坡坡底与坡顶赤平投影。点A落于坡面以外,说明结构面交线虽较边坡平缓,但在坡顶面上无出露点,属于较稳定状态;点B落于坡面以外,说明结构

(上接第14页)

6 结语

根据工程建设的实际需要,对常规的先进行坝体防渗施工后进行坝体培厚的施工方案进行认真研究,对原施工顺序调整后,制定了切实可行的先进行坝体培厚,后进行防渗墙施工的施工方案并付诸实施。针对主坝后坝坡淤泥换基过程中随时可能发生的后坝坡滑塌、危及大坝安全的问题,及早确定抢险预案,采取了得力措施加以预防,不仅为主坝除险加固施工赢得了宝贵的时间,也创造了较好的经济效益。◆

参考文献

- [1] 罗文东. 水利水电工程施工组织设计对投标报价的影响[J]. 水利建设与管理, 2013(1): 61-62.

面交线虽较边坡平缓,但在坡顶面上无出露点,属于较稳定状态;点C落于两部分坡面投影弧之间,而且交线在两部分坡面均出露,构成不稳定条件。综合层理与节理赤平投影结果,此处边坡属于不稳定状态。

3.4 稳定性评价结论

综合几种计算结果,可以得出结论:天然条件下典型边坡稳定,但东岸岸坡均存在岩块滑落的可能,其中典型边坡Ⅱ可能发生岩块滑落、掉块的范围较小(15.6m)。

4 结论

综上所述,针对复杂的高陡边坡的稳定性计算评价,需采用多重分析计算,才能得出较接近事实的结论。◆

参考文献

- [1] 陈祖煜. 岩质高边坡稳定性分析方法与软件系统[J]. 水利水电, 1998(3): 48-51.
- [2] 光耀华. 岩质高边坡稳定性分析中的抗剪强度参数概率统计分析方法, 1995(1): 65-72.
- [3] 李天斌. 岩质工程高边坡稳定性及其控制的系统研究[J]. 岩石力学家与工程学报, 2003, 22(2): 341.
- [2] 李文钢. 沿海滩涂地域水闸施工方案研究[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(5): 11-14.
- [3] 魏永彩, 庄燕, 胡顺芹. 施庄水库大坝心墙接高施工方案分析[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(7): 71-72, 48.
- [4] 史三锁, 杜志军. 山西省中部引黄工程施工21标隧洞开挖及支护方案的优化[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(4): 8-11.
- [5] 宗传阳, 詹敏利. 托巴水电站古松料场开采运输方案研究[J]. 中国水能及电气化, 2014(12): 19-22 + 48.
- [6] 李召朋, 李鹏. 龙背湾水电站工程施工导流度汛方案变更优化设计[J]. 中国水能及电气化, 2012, 20(2): 45-48.
- [7] 张宝安. 仁宗海水电站引水隧洞浅埋透水段安全快速施工方案优化[J]. 中国水能及电气化, 2009(6): 39-43.
- [8] 王明涛, 王建平, 陈世才. 官地水电站主体工程施工规划探讨[J]. 中国水能及电气化, 2011(12): 31-34, 40.