

某高速公路运营期病害路堑边坡稳定性分析及其处治

贾伟¹, 汪斌², 朱杰兵², 张兵³, 刘小红²

(1. 湖北交投鄂西高速公路建设管理有限公司, 湖北 恩施 445000; 2. 长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉 430010; 3. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430100)

摘要: 受自然营力影响, 公路边坡岩体质量会发生劣化, 力学强度参数降低, 运营多年后沿线边坡会产生大量坡面开裂、路面隆起、锚固失效等病害问题, 严重影响着高速公路的运营安全。选取鄂西某运营期间高速公路路堑边坡为案例分析, 对其病害发展过程、成因机制与处治历程进行分析, 开展不同处治阶段的稳定性分析与评价, 对不同处治方案下边坡的滑坡推力设计值进行了分析。研究表明, 稳定性计算分析成果为运营期病害边坡处治方案的决策提供了依据。

关键词: 路堑边坡; 病害处治; 稳定性分析; 运营安全

中图分类号: U41 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2022) 09—0143—03

1 引言

随着我国高速公路的蓬勃发展, 截至 2021 年底, 我国高速公路通车里程已达 16.10 万公里。但随着全国各地高速公路的建设已过高潮期, 继而转入高速公路运营和养护期。尤其山区高速公路运营 10 年以上的公路边坡病害问题逐渐凸显, 严重威胁高速公路运营安全^[1]。

众所周知, 高速公路边坡由于施工建设期由于刷坡或填方形成路基边坡, 在后期运营期受到外部环境如降雨、冻融、干湿循环及锚固体的锈蚀等外部环境的影响, 边坡的稳定性也会呈现一个衰减的趋势^[2-3]。本文选取鄂西某高速公路运营期路堑边坡为案例分析, 基于深部位移测斜监测资料辨识确定的滑动面进行了稳定性计算

用倒车将船位退至更靠南些的位置, 这样掉头水域就更宽敞, 确保离泊操纵万无一失。

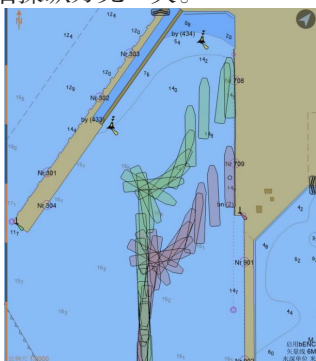


图9 案例三 不规则港池顺势开尾掉头离泊 (与他船轨迹对比)

3 引航软件使用注意事项

以上案例均是利用软件对靠离泊操纵数据的完整记录来帮助船长在事后有效反馈自己的操纵是否合理, 以期在不断地改进、优化中提高自己的靠离泊技能。值得注意的是该软件虽然能给船长提供高质量的辅助靠离泊数据信息, 但也有其局限性。软件所展示出来的船舶各项运动参数的准确性取决于车载 AIS 数据源的准确性, 也就是取决于船舶各传感器数据的准确性, 由于在

近距离靠泊操纵时对船体运动态势需要有足够强的敏感性, 为了确保不因相关传感器微小误差和延时而影响安全, 笔者不建议在距码头一倍船宽以内的近距离靠泊操纵时使用该软件, 也提醒在使用时不能对其过分依赖。

4 结语

引航软件在船长靠离泊操纵时可以提供较为精确的数据信息, 并可以将这些数据全部记录下来。船长可以利用引航软件的这些优势, 参照本文图 4 所示“提高船长靠离泊技能操作流程”的步骤, 通过分析不足之处并及时纠正, 总结优化好的方法并内化于心, 最终达到提高靠离泊技能的目的。

参考文献:

[1] 中国海事服务中心.《航海学 (航海地文、天文和仪器)》[M]. 北京: 人民交通出版社; 大连: 大连海事大学出版社. 2012:470-471

[2] 安德斯·艾利克森; 罗伯特·普尔.《刻意练习: 如何从新手到大师》[M]. 北京: 机械工业出版社. 2016

分析,研究成果为高速公路边坡处治方案的决策提供了依据。

2 路堑高边坡病害发展情况

工程场址地处鄂西山地,地貌属于构造剥蚀低山。边坡区出露地层为志留系下统龙马溪组(S1ln)页岩及炭质页岩。边坡整体呈缓倾逆向,岩体极破碎,强风化层开挖后呈散裂状,中风化层稍完整,揭露后为薄层片状,但开挖后遇水易软化,长期饱水状态下泥化^[4]。

该路堑边坡最大高度约 50m,交工验收实际为六级边坡,一级高度 8m,该边坡整体呈缓倾逆向~斜交坡,施工期边坡设计坡率较陡,除坡脚砌石挡墙 1:0.5 外,边坡坡率介于 1:0.50~1:1.10;坡脚为 4m 高片石混凝土挡墙设计。该高速公路于 2014 年 12 月底试运营直至 2016 年 3 月期间,该路堑边坡变形一直在继续,坡表出现纵、横向裂缝,坡脚挡墙及边沟严重挤压变形,路肩位置路面起拱等病害。试运营期间,针对该边坡变形开裂病害进行了第 1 次处治:仅第 4~第 5 级刷坡处治,坡率变为 1:1.0、1:1.5 和 1:1.5 削坡减载,同时在挡墙墙体施加了预应力锚索框架梁进行加固(图 1)。



图 1 运营期第 1 次处治完成后边坡形貌

该高边坡中后缘采用“卸载+坡脚挡墙增加锚索框架梁”的处治并没有完全对边坡的变形进行有效的控制。整个边坡坡体岩体强度和完整性持续劣化,直到 2019 年 5 月,陆续出现了坡脚路面开裂、隆起,锚喷坡面开裂、脱空,路面局部开裂,中央隔离带隆起,砌石挡墙局部开裂等病害。

3 高边坡处治前后稳定性分析

3.1 变形体物理力学参数敏感性分析

为了给该边坡开展第 2 次病害处治提供依据,监控咨询单位采用二维极限平衡方法对该病害高边坡的稳定性进行深入分析,同时验证设计加固方案的加固效果。根据变形体实际所处发展阶段开展了滑动面的抗剪强度参数进行反演并进行综合取值^[5]。根据该变边坡的坡体浅部及深部变形现状评价为欠稳定状态, F_s 取 1.05,反演两个主潜在滑动面及斜坡坡体的抗剪强度参数进行

反演,结果见表 1 所示。

表 1 边坡稳定性计算潜在滑动面反演分析结果

岩土体介质	天然状态		饱水状态	
	c/kPa	$\Phi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$
变形体	27	30	18	28
潜在浅层滑动面	16	24	12	21
潜在深层滑动面	14	25	10	22

采用表 1 中力学参数,对风化碎裂岩体当做松散碎石土边坡进行自动搜索滑动面稳定性计算分析(图 2)所示,结果表明自动搜索的圆弧滑动面与实际地质勘察给出的浅层剪切带高度相似和重合,说明该边坡的破坏模式主要受岩体强度控制,岩体的层理和优势结构面对变形破坏形态影响有限。

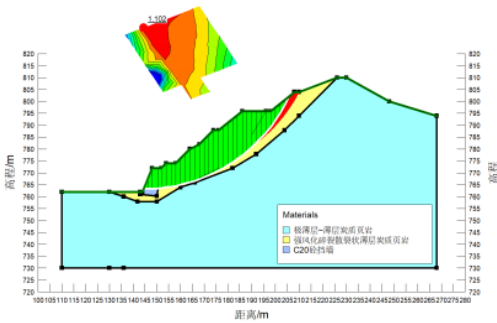


图 2 边坡自动搜索滑动带形态

3.2 计算结果及分析

采用上述计算模型和参数,结合极限平衡方法分别在正常工况和非正常工况下计算该边坡在以下 3 种方案:①施工处治前边坡;②整个坡面按照 1:2~1:2.5 的坡率削坡清方后边坡;③刷坡+微型桩重力挡墙处治后边坡的稳定性系数。其中正常工况为自重条件(天然状态),安全系数取 1.25,非正常工况为自重+暴雨条件(饱和状态),稳定安全系数取 1.15。在安全储备 $F_s=1$ 和 $F_s=1.25$ 安全储备的设计安全系数下计算得到的不同条块的剩余下滑力(表 2)。

表 2 边坡 3-3' 断面处治前后深层稳定性计算结果

工况		稳定性	设计安全系	支护设计下
		系数	数	滑力/
(1) 第 2 次处治前	正常工况	1.112	1.25	588
	暴雨工况	1.082	1.15	724
(2) 仅刷坡不加挡墙防护	正常工况	1.232	1.25	210
	暴雨工况	1.112	1.15	424
(3) 刷坡+钢轨桩重力挡墙	正常工况	1.502	1.25	-106
	暴雨工况	1.322	1.15	-58

三种不同处治后边坡在正常工况和暴雨工况下的计算结果见表2,可以看出:

(1) 按处治前坡面形态下的天然工况和暴雨工况下稳定性计算结果表明天然工况和暴雨工况下欠稳定(稳定性系数小于1.15),如图3所示;按照规范设防标准边进行剩余下滑力计算,主断面总剩余下滑力天然工况和暴雨工况下分别为588kN/m和724kN/m。

(2) 按照设计坡率刷坡后(无支护),天然工况和暴雨工况下主断面稳定性系数分别为 $F_s=1.232$ 、1.112,均处于基本稳定状态,暴雨工况下安全储备不够,需要工程设防。

(3) 按照设计坡率刷坡后+微型桩挡墙支护后边坡,天然工况和暴雨工况下3-3'断面稳定性系数分别为 $F_s=1.502$ 、1.322,均处于稳定状态(图4)。从而,验证了刷坡清方+微型桩挡墙处治后边坡稳定性大大增加。

(4) 按照以上三种不同处治方式下在暴雨工况下的条块间的法向滑推力计算结果对比(图5),当采用了刷坡清方+微型桩挡墙处治后,滑坡体前缘各条块间的推力大大降低。对比刷坡后有无钢轨桩两种处治方案下的条块间作用力,可以看出有刚性支撑后,坡体内的作用力转移到了后缘,从而减轻了前缘的作用力。

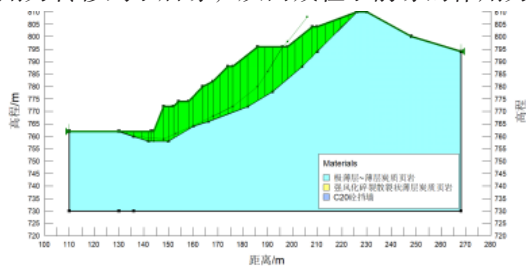


图3 处治前边坡深层稳定性计算条块图

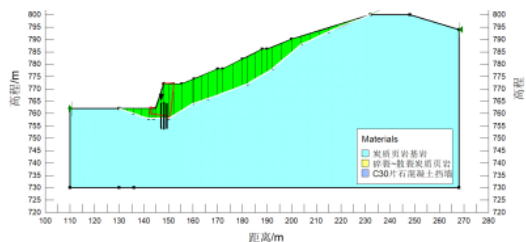


图4 处治后边坡深层稳定性计算条块图

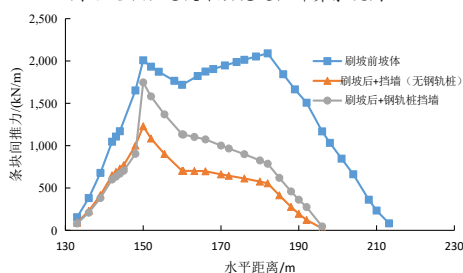


图5 病害边坡处治后条块间水平推力分布图

4 病害处治

根据设计单位与监控咨询单位成果报告,该边坡的处治方案:整个坡面按照1:2~1:2.5的坡率削坡,坡脚紧邻边沟处设置重力式挡墙,病害最严重的一级边坡挡墙段185米坡脚紧邻边沟处设置仰斜式钢轨抗滑C30混凝土挡土墙,墙高8m,承台内设置3排钢轨桩,钢轨选用P50重型钢轨,桩长6.25m,三排桩间距垂直路线方向间距为1.2m,水平向间距0.9m,呈梅花形布置^[4]。

通过施工尾期及完工后2个月的测斜孔不同埋深处的侧向变形与前次(前期)侧向变形对比可以看出侧向相对变化位移极小(相对上月变化量仅为0.87mm),说明处治后边坡岩土体基本收敛,深层坡体处于稳定状态。

5 小结

(1) 要重视病害边坡的稳定性专项分析与第三方咨询工作。有必要开展边坡处治前后的边坡稳定性计算结果的对比分析,合理地给出滑坡下滑力设计计算与复核。

(2) 运营期病害边坡的处治必须建立在边坡破坏机制的深入分析基础上,找出病害症结所在,一次根除完整、安全可行、经济合理处治方案。

(3) 通过该边坡运营期的2次处治过程中的监测监控与技术咨询服务工作,总结得失,认真梳理实施过程中经验和教训,具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 王洪涛等编著. 高速公路边坡建设管理与实践[M]. 人民交通出版社股份有限公司. 2014.
- [2] 朱杰兵, 方贻立, 李聪. 山区高速公路边坡施工安全监控实践[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社. 2016
- [3] 马惠民, 王恭先, 周德培. 山区高速公路高边坡病害防治实例. 北京: 人民交通出版社. 2006
- [4] 张兵, 万畅等. 恩黔高速黔恩向K39段边坡地质勘察报告[R]. 武汉: 中交第二公路勘察设计院有限公司. 2018.
- [5] 唐辉明等著. 公路高边坡岩土工程信息化设计的理论与方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 2003.
- [6] 汪斌, 刘小红等. 恩黔高速咸丰互通高边坡病害应急处治监测监控咨询服务实施方案[R]. 武汉: 长江科学院, 2019.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41877280, 12072047)