

高速公路类土质路堑边坡施工期变形监测预警探讨

李 勇, 庄生明, 黄文洁

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要:高速公路类土质路堑边坡是边坡领域的一种重要类型,在工程特性方面与土质边坡或岩质边坡具有明显差异。深入认识该类边坡的工程特性和失稳机理,对该类边坡施工期间的安全建设以及正常运营期间安全评估具有重要意义。基于高速公路类土质路堑边坡工程地质特点、边坡变形影响因素,结合盘兴高速公路 K5 滑坡变形监测预警实例,提出了采用位移速度比率作为预警参考值的滑坡预警方法,并在松桐一标 ZK5 + 410 ~ 485 段左侧边坡成功预警,避免了人员伤亡,减轻了经济损失。为类土质路堑边坡工程设计、工后防治、安全运营提供指导。

关键词:高速公路;类土质;路堑边坡;变形;预警;位移速度比率

中图分类号:P642.22;U418 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0036-04

Discussion on Deformation Monitoring and Early Warning for Highway Pseudo-Soil Cutting Slope during Construction/LI Yong, ZHUANG Sheng-ming, HUANG Wen-jie (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: Pseudo-soil cutting slope is an important type of slope in engineering construction with obvious differences between pseudo-soil slope and soil slope in terms of engineering characteristics. It is of great significance to get an in-depth understanding of engineering characteristics and instability mechanism on the pseudo-soil slope for safety construction and assessment during operation period. Based on the geological properties of highway pseudo-soil cutting slope and the influence factors of slope deformation, according to the example of K5 landslide deformation monitoring and early warning of Panxing highway, a landslide early warning method is put forward with displacement velocity ratio as early warning reference value, which made successful early warning in the left slope of ZK5 + 410 ~ 485 in Songtao-Tongren 1 bid section to avoid the casualties and reduce the economic loss, which provides useful guidance for engineering design, post-construction control and safety operation of pseudo-soil cutting slope.

Key words: highway; pseudo-soil; cutting slope; deformation; early warning; displacement velocity ratio

0 引言

类土质边坡是由母岩经过风化作用形成的风化物、残积物的结合体,从而保留了母岩结构面和软弱夹层特征,坡体常呈土体状和碎块状。工作区内母岩大多为花岗岩、玄武岩、泥岩、板岩、板岩夹变余砂岩等。由于风化岩和残积土等特殊岩体工程开展时间有限,还没有引起工程技术人员的高度认识,所以大多数技术人员将类土质边坡视为土质边坡抑或岩质边坡,造成设计和施工的不合理,常带来施工安全事故,且为后期运营埋下安全隐患。

金海元^[2]结合当前有关滑坡预测预报成果,并针对锦屏一级水电站边坡设计出适合的预测预报模型,拟定边坡 4 项预警临界值。许强等^[3]着重滑坡监测数据曲线分析,提出改进切线角预警判据。

公路边坡具有分布广、规模小、间距远的特点,且缺乏勘察资料,更无坡体物理参数,所以不能进行

公路边坡建模工作,对此类边坡只有通过边坡监测手段来预警。但是对于不同的边坡,其所处的地形、地貌、岩体、气候不同,前人研究的结论^[1]难以简便地运用到实际工程中,或效果不明显。本文主要以盘兴高速公路 K5 边坡类土质边坡工程为研究对象,通过大量地表位移、裂缝相对位移、降雨量监测数据分析^[4],提出滑坡参数比率这一新概念,揭示滑坡变形状态,简化预警方法。

1 依托工程的工程地质概况

盘兴高速公路 K5 + 700 ~ 860 滑坡位于盘县城关菁村城关隧道出口前方右侧,滑坡区总体属于中山构造剥蚀地貌。该滑坡纵向平均坡度 21°,滑坡后缘高程 1883 m,前缘高程 1838 m;滑坡纵长 130 m,后缘宽 50 m,前缘宽度 90 m。该滑坡体地层产状为 290° ∠ 25°,主要岩性为:二叠系上统龙潭组

收稿日期:2016-07-19; 修回日期:2016-08-17

作者简介:李勇,男,汉族,1974 年生,高级工程师,从事边坡监测、治理、评估等工作,四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路 139 号,317315539@qq.com。

(P₃)泥质砂岩、砂质泥岩及碳质泥岩。开挖坡面由残坡堆积土层与强风化泥岩构成,以碎石土为主,碎石粒径1~4 cm,呈棱角状一次棱角状。

依据边坡监测的相关原则和规范,盘兴高速公路K5滑坡共设计3条监测剖面,从地表监测到坡体内部监测,形成三维立体全方位预警模式。每个剖面上均建有地表监测点,锚索计,深部测斜仪等多种监测仪器,并在抗滑桩不同深度埋设土压力盒和应变计,本次研究工作主要筛选出具有代表性的数据,基于滑坡地表位移、裂缝及降雨量与滑坡体的关系来做出研究,并提出滑坡参数比率概念,为其他类似工程提供一种预警方法。

2 预警阈值研究

2.1 地表位移预警判据研究

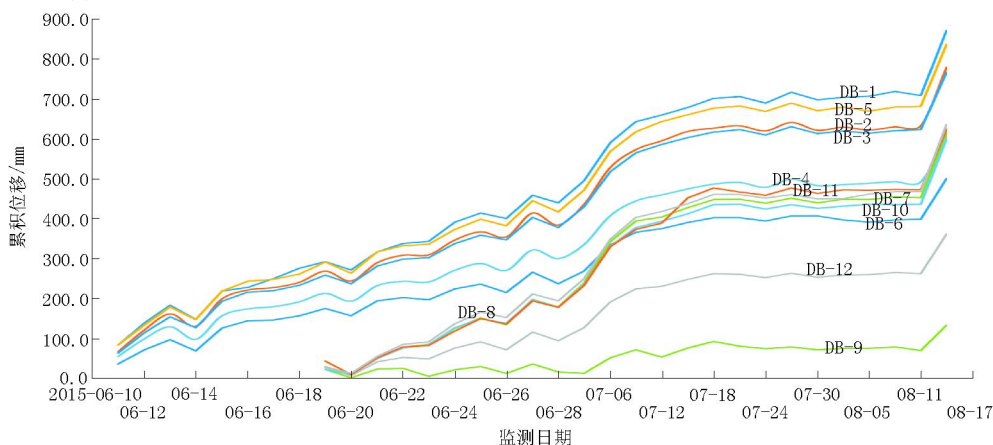


图2 滑坡累积时间-水平位移监测曲线图

状,且位移变化主要受外界影响。在12个监测点中,各个监测点的位移受外界影响最为明显,例如6月11日人工开挖坡脚,至7月12日滑坡后缘监测点最大水平位移为659 mm,前缘监测点最大水平位移为417 mm;8月10日出现强降雨,至14日滑坡后缘监测点最大水平位移为871 mm,前缘监测点最大水平位移为635 mm。从监测数据分析来看,滑坡后缘变形量远大于前缘变形量,判断该滑坡为推移式滑坡。

从图2可以看出,在等速阶段6月11日至7月12日期间,滑坡体地表水平位移平均速度为22.5 mm/d(该段时间为等速变形阶段),8月11日至8月14日地表水平位移平均速度为40 mm/d(该段时间为加速变形阶段),遂采用地表位移速度与等速阶段速度比值作为预警参考值:

$$\alpha = V/V_p$$

在K5滑坡共布设3条相互平行的地表位移监测纵剖面,且方向与滑坡主线(114°)一致。监测点分别为DB-1、DB-2、DB-3、DB-4、DB-5、DB-6、DB-7、DB-8、DB-9、DB-10、DB-11、DB-12,自2015年5月开始进行监测。监测布置如图1所示。



图1 K5路堑边坡专业监测布置示意图

K5滑坡累积时间-水平位移曲线图如图2。

由图2分析得出类土质滑坡的变形特征呈阶梯

式中: α ——滑坡监测点水平位移速度比率; V ——地表水平位移速度,mm/d; V_p ——滑坡等速阶段地表水平位移速度,mm/d。

8月11—14日K5滑坡监测点 α 值为1.78。

地表累积垂直位移与水平位移为同一监测点所测得,见图3。同样6月11日受人工开挖坡脚影响,至7月12日滑坡后缘监测点最大垂直沉降量为422.7 mm,前缘监测点最大垂直沉降量为25.7 mm;8月10日出现强降雨,至14日滑坡后缘监测点最大垂直沉降为546.4 mm,前缘监测点最大垂直沉降为58.5 mm。前缘DB-7、DB-8、DB-9监测点出现0.7~40 mm的抬升现象,充分说明滑坡体的滑面后缘受原岩风化界面控制,前缘受反倾岩层软弱夹层控制,如图4所示。

滑坡滑面为上圆下直型。结构面在组合滑动面

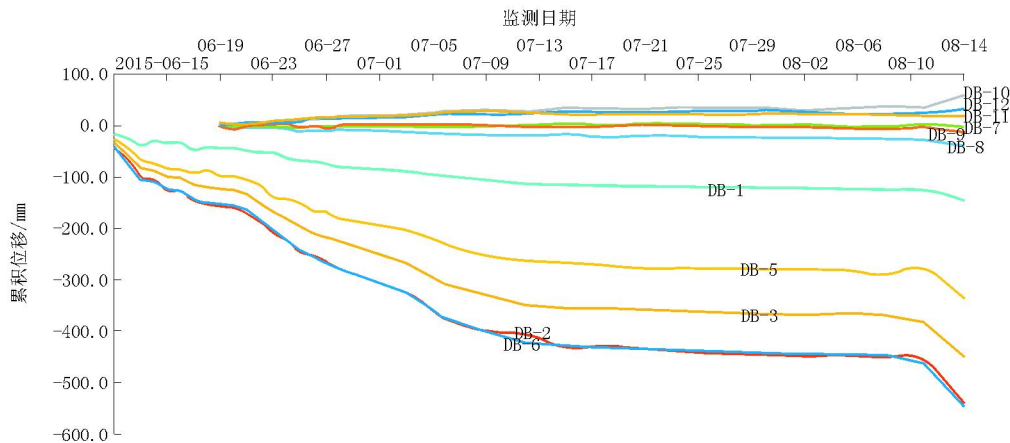


图3 滑坡累积时间-垂直位移监测曲线图

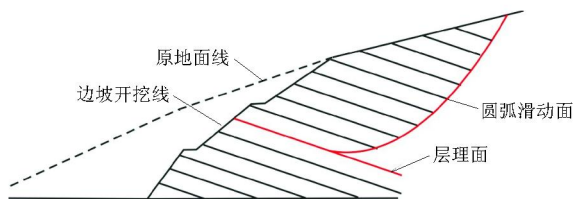


图4 滑面示意图

的下部主要为反倾软弱夹层,且在滑坡体的前缘二级坡面出现剪出挤压剪出口,而滑动面的后部则为切割坡体的圆弧,该圆弧为原岩风化界面。

从图3分析得出,K5滑坡6月11日至7月12日等速阶段垂直位移速度为13.3 mm/d,8月11日至8月14日速度为32 mm/d,遂采用地表垂直速度与等速阶段速度比值作为预警参考值:

$$\beta = V/V_p$$

式中: β ——滑坡监测点垂直位移速度比率; V ——地表垂直位移速度,mm/d; V_p ——滑坡等速阶段地表垂直位移速度,mm/d。

8月11—14日 β 值为2.4。

2.2 地表裂缝预警判据

裂缝是滑坡体产生位移后在地面的表现形式,主要由于岩体受力不均,下滑力大于抗滑力,滑体运动快慢的差异形成,特别在类土质岩体中常常形成多种裂缝。滑坡前缘变形主要表现为形成的挤压鼓胀裂缝。在K5滑坡中部可见少量挤压裂缝,坡后缘出现部分与滑坡走向平行的张性裂缝,在坡左右侧出现与滑坡走向垂直的羽状剪切裂缝。

在6月11日至7月12日K5滑坡后缘和两侧裂缝变形明显,后缘裂缝达40 cm,下错0.5~1.5 m;8月10日受降雨影响,裂缝宽度达到60 cm;至8月14日,滑坡后缘出现连续的弧形张裂缝,两翼表

现为雁行式羽裂。由于不同滑坡的形状及物理参数的差异,其裂缝也各有差异,根据对K5滑坡的大量裂缝监测数据研究,总结出裂缝位移与滑坡体厚度的比值 η 作为预警参考值:

$$\eta = L/H$$

式中: η ——滑坡监测点裂缝相对位移比率; L ——裂缝相对位移值,cm; H ——滑坡体平均厚度,m。

综合得出,至7月12日比值 α 为2.85,至8月10日比值 α 为4.28(滑坡体平均厚度14 m)。

2.3 降雨强度预警判据

滑坡的产生和降雨关系密切,尤其对类土质滑坡来说,坡体内存在风化界面、节理面、层理面等残留结构面,且岩土结构十分破碎,土石混杂,分选性差、粒间结合力差、透水性强,在连续降雨作用下极易改变岩土体的物理性能,所以降雨是触发该类滑坡的主控因子。基于K5滑坡长期监测,拟对降雨强度和持续时间进行经验降雨判据研究(即临界降雨量)。降雨情况监测结果见图5。

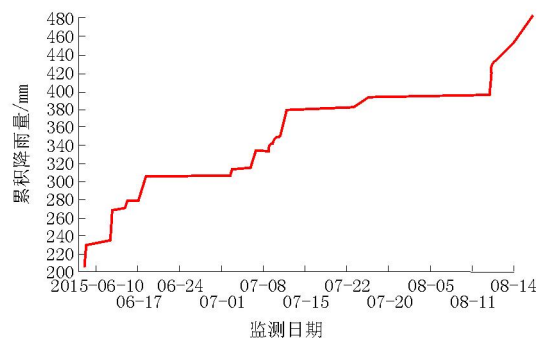


图5 降雨量监测结果图

在8月10日出现强降雨,至8月14日降雨量累积达到500 mm,平均降雨量为25 mm/d。据8月

14日野外地质巡查,该段时间滑坡变形活动强烈,滑坡的后部、两侧及前部出现各种裂缝,在滑坡前缘左侧(水池地带)处出现地面隆起,隆起高度150~300 mm,滑坡前缘右侧冲沟右岸沟壁已发生坍塌,坍塌体宽约6 m,长约5 m,厚约1.5 m。通过对该区一个雨季的降雨资料统计分析得出,以当日降雨量超过25 mm作为预警值,超过50 mm会诱发少量滑坡,超过100 mm会带来整个片区的地质灾害。

3 成功预警案例

松铜一标ZK5+410~485段左侧边坡。该工区主要为第四系残坡积物,以原生堆积或近距搬运的粉质粘性土成分为主,含少量碎块石,垂直分带较为明显,因形成期次不同而存在统一的相对软弱面,自然状态下稳定性相对较差,受人工开挖影响,于2月14日该边坡出现小幅度蠕变情况,为防止其进一步的变形破坏演变为滑坡灾害,我单位对其进行外观到内观的三维立体监测。

受边坡开挖及降雨影响,3月28日至6月14日边坡出现等速变形,经监测得出水平位移速率为12.5 mm/d,垂直位移速率为6.25 mm/d,后缘裂缝平均宽度为25.5 cm(经深部位移观测分析滑面深度8.5 m)。

6月14日工区正值雨季,降雨强度达30 mm,6月15日该滑坡水平位移速率为75 mm/d,垂直位移速率为35 mm/d,后缘裂缝平均宽度为42.5 cm,计算得出滑坡监测点水平位移速度比率 α 值为6,垂直位移速度比率 β 值为5.6,裂缝相对位移比率 η 值为5,各监测数据均表现出滑坡已进入加速变形阶段,并通知相关单位做好应急预案。

7月2日该区出现罕见强降雨,发生大量洪涝地质灾害,降雨量为120 mm,7月2日该滑坡水平位移速率为125 mm/d,垂直位移速率为125 mm/d,后缘裂缝平均宽度为100 cm,计算得出滑坡监测点水平位移速度比率 α 值为10,垂直位移速度比率 β 值为20,裂缝相对位移比率 η 值为11.7,经监测数据和地质巡查判断该滑坡已处于临滑阶段,并及时转移当地村民及相关财产,于7月5日凌晨发生滑坡,部分农田及边坡防护工程被破坏,由于提前做好临灾准备,避免了人员伤亡,有效的减少经济损失。

4 结论

根据盘兴高速公路K5滑坡长期大量的监测资

料分析,笔者以地表位移、地表裂缝、降雨量3方面为研究对象,并采用归纳法对3种预警方法进行了探讨,分别划分出各个单因子所对应滑坡阶段的预警值,对滑坡变形阶段的变形因子分析总结得出以下规律。

(1)地表监测点水平位移速度比率值 >1.78 时滑坡进入加速阶段,当比率值 >10 时将会发生滑坡;地表监测点垂直位移速度比率值 >2.4 时滑坡进入加速阶段,当比率值 >6 时将会发生滑坡。

(2)滑坡裂缝相对位移比率值 >2.85 时滑坡进入等速变形阶段,比率值 >4.28 时滑坡进入加速变形阶段。

(3)当日降雨量 >25 mm时进入滑坡加速阶段,当降雨量 >50 mm时进入滑坡中加速阶段,当超过100 mm时将会发生滑坡。

类土质滑坡由于其复杂性,应以预防为主、治理为辅为原则,在雨季时期对易发区进行监测预警工作,有效减少滑坡灾害的发生。需要说明的是,由于资料有限,本文给出的类土质滑坡预警判据有待进一步开拓和完善,同时尚有很多未曾研究的内容有待研究。

参考文献:

- [1] 李秀珍,许强,黄润秋,等.滑坡预报判据研究[J].中国地质灾害与防治学报,2003,4(14):5-11.
- [2] 金海元,徐卫亚,孟永东,等.锦屏一级水电站左岸边坡稳定综合预报研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(10):2058-2063.
- [3] 许强,曾裕平,钱江澎,等.一种改进的切线角及对应的滑坡预警判据[J].地质通报,2009,28(4):501-505.
- [4] 张金龙,徐卫亚,金海元,等.大型复杂岩质高边坡安全监测与分析[J].岩石力学与工程学报,2009,28(9):1819-1821.
- [5] 许强,黄润秋,李秀珍.滑坡时间预测预报研究进展[J].地球科学进展,2004,19(3):478-483.
- [6] 李秀珍.滑坡灾害的时间预测预报研究[D].四川成都:成都理工大学,2004.
- [7] 李长江,麻士华,朱兴盛.降雨型滑坡预报的理论、方法及应用[M].北京:地质出版社,2008.
- [8] 张书余.地质灾害气象预报基础[M].北京:气象出版社,2005.
- [9] 张永兴,文海家,欧敏.滑坡灾变智能预测理论及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [10] 殷坤龙.浙江省突发性地质灾害预警预报[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2005.
- [11] 王尚庆.长江三峡滑坡监测预报[M].北京:地质出版社,1999.
- [12] 黄润秋,许强,戚国庆.降雨及水库诱发滑坡的评价与预测[M].北京:科学出版社,2007.
- [13] 乔建平.长江三峡库区重点滑坡段危险性评价及预测预报研究[M].四川成都:四川大学出版社,2009.