

基于 GEO-Studio 有限元软件对广东某铁路路堤滑坡原因分析

郝钟钰

苏文科集团广东检测认证有限公司 广东 广州 510800

【摘要】：本文为广东某铁路路堤滑坡原因分析。对滑坡区域及周边进行地质勘测，调查滑坡地层岩性、地质构造、水文条件，利用 GEO-Studio 基于极限平衡条分法与有限元强度折减法对滑坡进行了稳定性分析，并总结了滑坡原因。

【关键词】：滑坡；地质条件；极限平衡条分法；稳定性分析

1 滑坡概述

2020 年 10 月，广东省内某铁路 K302+441~K302+558 段路堤发生滑塌，造成部分运料石料车厢脱线。

本次路堤滑坡地段为低坡度丘陵地带。地形平缓，地表海拔高度 10-40m。事故发生地海拔介于 10-15m。

滑坡段线路穿越农田，为填方路基，约高出农田 4.8m，除铁路构筑物外，较大范围无其他建（构）筑物，农田地势低洼，属冲积地貌，勘探点位于下行线坡脚，地势开阔平缓，地面高程 10.46-13.24m，高差近 3m。

2 滑坡地质条件

2.1 地层岩性

根据 1: 20 万区域地质资料，区内地层主要为第四系下更新统湛江组海陆交互沉积层（Q1Zmc），浅部为第四系冲积层（Q4al）及人工填土层（Q1Zml）。

通过现场钻孔实验，对工程地质条件进行详细的分析[1-4]。

①素填土：灰色、灰黄色、黄红色等，稍湿、松散，浸水易软化、崩解，为近期修路在路面填充的普通松土。

②淤泥质土：深灰色、灰色，饱和，流塑为主，局部软塑，以黏粉粒为主组成，部分地段该层含较多砂粒，该层土质极不均匀，以淤泥质土、淤泥为主。

③粉质黏土：灰白色，湿、软可塑，由黏粉粒组成，黏性强，岩芯刀切面光滑。

④中砂：黄色、黄白色、白色，饱和，稍密为主，局部松散或中密，密实度差异较大，级配较好，含较多细粒土。

2.2 地质构造

断裂活动对本建设工程影响小。

2.3 水文条件

滑坡区经过区域地表径流主要有 K302+411 处的涵洞，为农田灌溉用水，在极端气象条件下仍然存在洪水的威胁及强降雨造成的内涝灾害的风险，会给工程建设带来不利影响。

3 滑坡稳定性分析

运用有限元软件 GEO-STUDIO 软件，分不同工况，对事故段路堤边坡进行稳定性计算分析[5-7]，以探究滑坡原因。

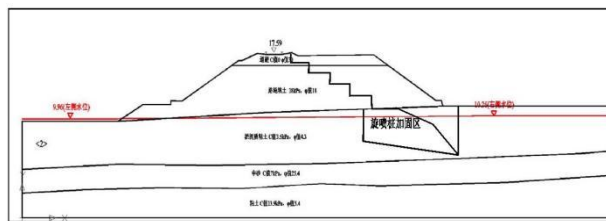


图 2 GEO-STUDIO 软件有限元计算断面图

工况一：一般工况下不考虑列车荷载。根据表 2 可知，可以看到，坡体的稳定性较高，安全系数基本大于 1.20，路堤处于稳定状态。最小的 Ordinary 法计算结果为 1.124。

表 2 工况一路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	1.201
GEO-SLOPE (Spencer)	1.197
GEO-SLOPE (Bishop)	1.202
GEO-SLOPE (Ordinary)	1.194

工况二：一般工况下考虑列车荷载。根据表 3 可知，在考虑列车荷载下，坡体的稳定性降低，边坡的稳定性系数介于 1.1-1.14 之间。最小的 Ordinary 法计算结果为 1.123，坡体处于基本稳定状态。

表3 工况二路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	1.135
GEO-SLOPE (Spencer)	1.127
GEO-SLOPE (Bishop)	1.130
GEO-SLOPE (Ordinary)	1.123

工况三：不考虑列车荷载+32h降水分析结果。根据表4可知，在暴雨工况下，坡体的稳定性大幅下降，边坡的安全系数为1.0-1.1。最小的Ordinary法计算结果为1.028，坡体处于欠稳定状态。

表4 工况路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	1.056
GEO-SLOPE (Spencer)	1.058
GEO-SLOPE (Bishop)	1.060
GEO-SLOPE (Ordinary)	1.028

工况四：考虑列车荷载+12h降水。根据表5可知，在考虑列车荷载与12小时降水条件下，边坡的安全系数为1.0-1.1，总体上看边坡处于基本稳定状态，但是安全储备较低。

表5 工况四路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	1.095
GEO-SLOPE (Spencer)	1.092
GEO-SLOPE (Bishop)	1.102
GEO-SLOPE (Ordinary)	1.028

工况五：考虑列车荷载+24h降水。根据表6可知，在考虑列车荷载与24小时降水条件下，边坡的稳定性系数介于1.0左右，总体而言边坡处于极限平衡状态，与工况四相比，安全储备进一步降低处于欠稳定或极限稳定状态。

表6 工况五路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	1.006
GEO-SLOPE (Spencer)	1.001

GEO-SLOPE (Bishop) 1.014

GEO-SLOPE (Ordinary) 0.993

工况六：考虑列车荷载+32h降水。根据表7可知，在32小时下，路堤填土完全处于饱和状态，坡体的稳定性大幅降低，安全系数小于1.0，处于不稳定状态。

表7 工况五路堤安全系数计算结果

计算方法	安全系数
GEO-SLOPE (M-P)	0.962
GEO-SLOPE (Spencer)	0.957
GEO-SLOPE (Bishop)	0.969
GEO-SLOPE (Ordinary)	0.876

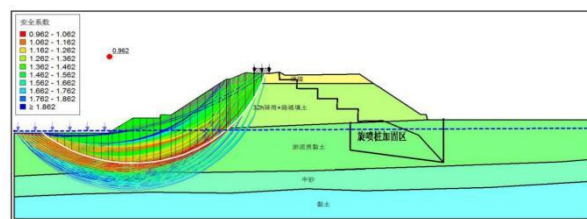


图3 32小时降水危险滑面云图 (Morgenstern-Price)

从以上有限元分析可以看出，在暴雨工况下，路堤土被降雨软化，稳定性下降，路堤地基为软土，加上列车荷载作用，作用在路堤上的下滑力大于路堤、路基的抗滑力，使路堤稳定安全系数小于1，从而导致路堤产生滑动。

对路堤抗滑力影响比较大的因素是路堤土浸水软化。这该因素影响下，路堤安全系数从1.130（工况二）降至0.969（工况六），稳定安全系数降幅达14.2%。

4 滑坡原因分析总结

4.1 地质因素

根据现场勘查，本段地基表层分布有1.90-4.80米厚软土，试验室土工试验测得的主要物理力学指标为：密度1.47-1.83g/cm³，含水量35.6%-86.1%，粘聚力2.0-6.8kPa，内摩擦角2.8-8.3°，基本承载力50kPa。由此可见，在长期积水浸泡下，该处软土性质差，抗剪强度低，承载能力不足。经验算，滑塌段路堤在本次超强暴雨和列车荷载共同作用工况下，滑面后缘位于下行线路堤枕木下，前缘距坡脚护脚墙14米处的软土层，安全系数<1。

4.2 气候因素

本滑坡区域处于季风气候区。受冷空气、台风、热带云

团、强对流等多种不良天气影响,雨季降雨量非常多,且时常有台风暴雨灾害袭击。多年的年平均降雨量为 1654.8mm, 24 小时最大降雨量达 297.5mm (2000 年 5 月 10 日)。根据广东省气象台遂溪自动气象站降水资料,受“浪卡”台风影响,2020 年 10 月 13 日~15 日遭遇超百年一遇的连续暴雨,

降雨量达 247mm, 大大超过百年一遇标准的 132.39mm。

此次超强降雨,经道碴下渗,导致路堤填料含水量增加、力学指标降低,下滑力增大,最后造成坡体滑坡。因此,连续降雨且累计降雨量较大是影响边坡稳定的一个重要因素。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部.滑坡防治工程设计与施工技术规范: DZ/T0219-2006[S].北京:中国标准出版社,2006.[2] 中华人民共和国交通运输部.公路路基设计规范:JTG D30-2015[S].北京:人民交通出版社,2015.
- [2] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB50021-2001[S].2009 版.北京:中国建筑工业出版社出版,2009.
- [3] 曾亚武,田伟明.边坡稳定性分析的有限元法与极限平衡法的结合[J].岩石力学与工程学报,2005(S2):5355-5359.
- [4] 陈善雄,陈守义.考虑降雨的非饱和土边坡稳定性分析方法[J].岩土力学,2001(04):447-450.
- [5] 周家文,徐卫亚,邓俊晔,刘兴宁.降雨入渗条件下边坡的稳定性分析[J].水利学报,2008(09):1066-1073.
- [6] 李靖,时惠黎.基于 Geo-studio 软件的边坡稳定性分析.建材发展导向,2017,15(08):51-53.
- [7] 王成,缪宏兵,罗东东,朱星汁,马捷.基于 Geo-studio 的降雨边坡稳定性分析[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2014,29(03):9-14.