

文章编号: 1007-2993(2023)03-0352-05

某变电站人工堆积边坡稳定性分析

李从昫¹ 黄 骁² 张 雪³ 张晓宸³ 王汉勋³

(1. 北京电力经济技术研究院有限公司, 北京 100055; 2. 北京市地质工程勘察院, 北京 100048;

3. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

【摘要】 以北京市门头沟区某变电站场地人工堆积边坡为研究对象, 基于系统的现场勘察和室内外试验结果, 选择典型边坡剖面, 应用极限平衡法研究了不同工况下的边坡稳定性, 并提出了针对性的防治措施。结果表明: 在天然工况下, 该人工堆积边坡剖面 1-1 和剖面 2-2 均处于欠稳定-不稳定状态; 在暴雨工况下, 剖面 1-1 和剖面 2-2 处均处于不稳定状态, 边坡整体上处于不稳定状态。根据边坡稳定性的分析结果, 结合工程实际情况, 确定桩板式挡土墙为该人工堆积边坡的优化支护方案。

【关键词】 人工堆积边坡; 暴雨工况; 极限平衡法; 稳定性分析

【中图分类号】 P 642.2

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2023.03.016

Stability Analysis of an Artificial Accumulation Slope of Substation

Li Congyun¹ Huang Xiao² Zhang Xue³ Zhang Xiaochen³ Wang Hanxun³

(1. Beijing Electric Power Economic Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100055, China; 2. Beijing Institute of Geological & Prospecting Engineering, Beijing 100048, China; 3. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

【Abstract】 Taking the artificial accumulation slope of a substation site in Mentougou District, Beijing as the research object, based on investigation and test results, typical slope profiles were selected, and the stability of the slope under different working conditions was studied using the limit equilibrium method. Targeted prevention and control measures were proposed. The results indicate that under natural working conditions, both profiles 1-1 and 2-2 of the artificial accumulation slope are in a metastable-unstable state. Under the rainstorm condition, both profile 1-1 and profile 2-2 are in an unstable state, and the slope is in an unstable state as a whole. Based on the analysis results of slope stability and combined with the actual situation of the project, the pile plate retaining wall is determined as the optimized support plan for the artificially piled slope.

【Key words】 artificial accumulation slope; rainstorm condition; limit equilibrium method; stability analysis

0 引言

近年来, 电网建设需求日益剧增, 输变电工程覆盖范围不断增大, 一线城市变电站站址选择空间有限, 工程建设面临的工程地质问题越来越多。在变电站建设过程中, 边坡失稳严重影响了工程建设, 威胁周围电力设施及人类生命财产安全^[1-2]。科学研判各种不利工况下的边坡稳定性至关重要。

极限平衡法是提出时间最早、应用范围最广的一种边坡稳定性分析方法^[3-4], 通过设定、搜索边坡滑动面并计算边坡稳定性系数对边坡的稳定性做出评价^[5-8]。基于不同的假定, 具有不同的极限平衡法, 包括瑞典条分法、毕肖普法 (Bishop 法)、简布法

(Janbu 法)、Morgenstern-Price 法 (M-P 法) 等^[3]。瑞典条分法是最早出现的稳定性计算方法, 它假定滑动面为圆弧面, 且不考虑条块之间的相互作用力。Bishop 法同样假定滑动面为圆弧面, 且忽略条间切向作用力。Janbu 法则适用于任意滑动面, 而不必规定圆弧滑动面, 且只考虑条间法向作用力。M-P 法同样适用于任意滑动面, 要建立两个正交方向的力和力矩的平衡方程且要考虑条间力的影响^[9-10]。

近年来, 针对人工边坡的稳定性问题已有大量的理论研究和现场实例分析, 认为降雨入渗对边坡稳定性有着较大影响, 渗流场在人工边坡失稳事故中起到了决定性的作用。然而, 现有研究主要针对降雨入

渗对公路边坡、高陡边坡、岩质边坡稳定性的影响^[11-13]和降雨入渗对区域内特殊性土质边坡稳定性的影响^[14-17],考虑降雨入渗对人工堆积边坡、尾矿坝等稳定性影响的研究较少。

以某变电站人工堆积边坡为研究对象,采用基于极限平衡法的GeoStudio中的SLOPE/W模块,对该人工堆积边坡天然工况和暴雨工况下的稳定性进行综合评价,并提出适宜的支护方案。

1 工程概况

某输变电工程建设场地位于北京市门头沟区,变电站及人工堆积边坡地理位置及平面图见图1,场地东侧毗邻新建九龙路,西侧为高边坡,北侧修筑有排洪渠。边坡土体长约130 m,高约18 m,坡角约50°~55°,主要为人工堆积的碎石填土,堆积时间短,土质松散且不均匀,现状条件下稳定性较差,现只采用红砖进行简易支护,局部已发生垮落迹象(见图2),当场地上进行人类工程活动时,在短时强降水灌入、冲刷等不利情况下,回填土部分可能会沿土岩交界面或不利结构面发生滑动,产生失稳破坏;此外,回填土作为场地边坡侧壁土时可发生坍塌,对边坡稳定不利。经前期勘察,初步评价其危险性中等。

2 工程地质条件

2.1 气象水文

研究区域位于北京市门头沟区,区域属大陆性季风气候,四季温差较大。年最高气温40.2℃,最低为-19.5℃,年平均气温11.7℃,年温差30.1℃,平均气温随地势升高逐步降低。该区年平均降水量约610 mm,降水量年际变化大,最多为970.1 mm(1977年),最少为377.4 mm(1997年),其中7—8月的降水量可达全年降水量的60%左右。建设场地处于西山迎风带,处于北京市暴雨易发区,每年出现1~2次短时暴雨,高强度降雨往往集中在几个小时之内,降水时间短、降水集中、降水量大,往往形成较大洪水,对边坡的稳定性有较大影响。

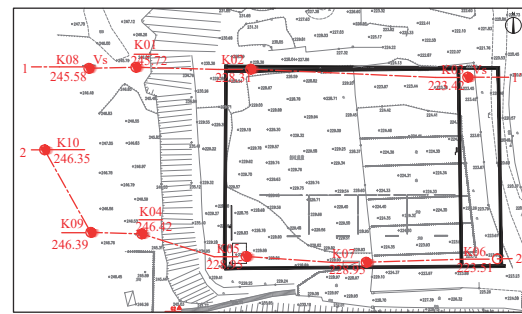
项目地块范围内无地表河流通过,雨季有短时地面径流,位于场地北侧修筑有排洪渠,利于场地周边雨洪水的排泄。工程场区潜水主要接受大气降水入渗方式补给,以地下水侧向径流及蒸发为主要排泄方式。天然动态类型属渗入-径流、蒸发型,其水位年动态变化规律一般为:6—9月水位较高,其他月份水位相对较低。

2.2 地形地貌

研究场区位于门头沟浅山区,区域地势北高南低,属于山麓斜坡山间沟谷地貌。地貌受地质时期北



(a) 地理位置图



(b) 平面配置图

图1 变电站及人工堆积边坡地理位置

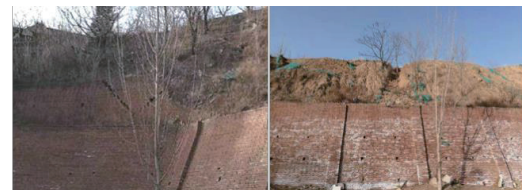


图2 人工堆积边坡及支护现状

京地壳不断抬升的影响,形成了具有明显的层状地貌特征,最高峰刺茅花坨海拔990.31 m,向南过渡至海拔300~400 m左右,为明显的台地地貌;整个区域地貌特点为缓坦台面和陡急山坡交替出现,状似层层台阶。

研究区域场地周边地形坡度约为10°~20°,场地由三级平台组成,东侧平台为砖料堆积场,中间平台原为砖厂宿舍楼所在地,西侧平台最高,为本文所研究的人工堆积边坡。该人工堆积边坡南北长约130 m,高约18 m,坡向86°,坡角约50°~55°,现只采用红砖进行简易支护,局部已发生开裂。

2.3 地质构造

研究区域大地构造位置处于中朝准地台(I)燕山台褶带(II₁)中段的西山迭拗褶(III₅)中的门头沟迭陷褶(IV₁₁)。对研究区域有控制影响的区域地质构造有红庙岭—八大处背斜、九龙山—香峪向斜和石景山向斜,形成了该区域盆底与山峰相对应的地貌景观^[18]。东侧相距约4 km处有永定河隐伏断裂通过,永定河断裂大致沿军庄、三家店、鬼子山、卢沟桥呈NW—SE方向延展,走向NW330°左右,倾向NE,倾

角约 70°。断裂至水屯村附近与八宝山断裂和黄庄—高丽营断裂互相切错,继续向南东方向延至大兴以西,全长约 40 km,为次级重力异常带。永定河断裂最新活动时间为中更新世早期,无发震背景^[19],本工程中可不考虑其影响。

2.4 地层岩性

根据现场钻探、原位测试结果,按地层沉积年代、成因类型,将拟建场地地面以下 60 m 深度范围内的地层划分为人工堆积层、一般第四纪沉积层和侏罗纪窑坡组(Jy)基岩,按地层岩性及土的物理力学性质指标分为碎石填土①层、杂填土①₁层、碎石②层、粉质黏土②₁层,全风化砂岩③层、强风化砂岩③₁层、中等风化砂岩③₂层、微风化砂岩③₃层,本次勘探最大深度钻孔止于该层。

场地表层为人工填土,人工填土层堆积时间短,回填过程未经过碾压夯实,软硬不均,土质结构整体较为松散,承载力低,渗透性好,工程性质差,不宜直接进行工程建设,须经过处理后才能使用。

3 边坡稳定性评价

3.1 边坡稳定性评价标准

根据《建筑工程边坡技术规范》(GB 50330—2013)^[20]相关规定以及边坡的规模和危害程度,综合确定该边坡治理工程等级为二级,并确定在天然工况和暴雨工况下,边坡稳定安全系数分别为 1.3 和 1.15,处于稳定状态。边坡稳定状态评价按照《建筑工程边坡技术规范》(GB50330—2013)^[20]执行,评价标准见表 1。

表 1 边坡稳定状态评价标准

安全系数	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

3.2 土体及其物理力学性质

对该变电站场址进行现场钻探和原位测试,勘探点及变电站场地平面配置图如图 3 所示。勘测结果表明,该人工堆积边坡土层自上而下依次为表层碎石填土①及杂填土①₁、第四纪沉积的碎石②及粉质黏土②₁和侏罗系砂岩。侏罗系砂岩均有不同程度的风化,分别为全风化砂岩③、强风化砂岩③₁、中等风化砂岩③₂以及微风化砂岩③₃,边坡工程地质剖面图如图 3 所示,其岩土物理力学参数见表 2。取微风化粉砂岩作为岩石样品进行岩石点荷载强度试验,得出岩石的单轴抗压强度 R_c 为 26.806 ~ 52.354 MPa。

3.3 边坡稳定性分析

将该人工堆积边坡分为若干个剖面进行稳定性

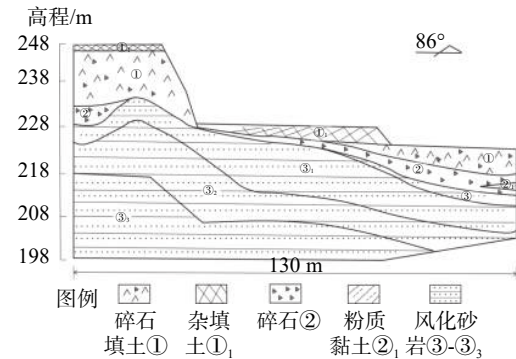


图 3 边坡工程地质剖面示意图

表 2 岩土物理力学参数表

名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	弹性模量 E/GPa	泊松比 ν
碎石填土	19.5	0	37	0.01	0.20
杂填土	18	6	12	0.01	0.20
碎石	21	0	40	0.25	0.20
粉质黏土	19	25	20	0.08	0.25
强风化砂岩	26	200	40	3.00	0.18
中等风化砂岩	27	500	45	3.30	0.18

分析,其中,采用极限平衡法着重分析剖面 1-1 和剖面 2-2 处边坡在天然工况和暴雨工况下的稳定性。特别地,暴雨工况设定为降雨极端的情况,即认为整个边坡坡均处于完全饱和的状态,计算结果见表 3。

表 3 边坡在不同状态下的稳定性系数

边坡剖面	计算工况		稳定性判别
	天然工况	暴雨工况	
1-1	1.016	0.967	欠稳定—不稳定
2-2	0.984	0.864	不稳定

由图 4 可知,剖面 1-1 处边坡在天然工况下,危险滑动面位于碎石填土与杂填土层,边坡稳定系数为 1.016,该系数低于标准值,此时边坡为欠稳定状态,当场地上进行人类工程活动时,边坡较大可能发生坍塌失稳。

由图 5 和图 6 可知,暴雨工况下,边坡危险滑动面位于碎石填土与杂填土层,边坡稳定系数为 0.967,该系数低于标准值,边坡处于不稳定状态。

由图 7 可知,剖面 2-2 处边坡在天然工况下,危险滑动面位于碎石填土层,边坡稳定系数为 0.984,此时边坡处于不稳定状态。

由图 8 和图 9 可知,在暴雨工况下,危险滑动面位于碎石填土层,边坡稳定系数为 0.864,边坡处于不稳定状态。

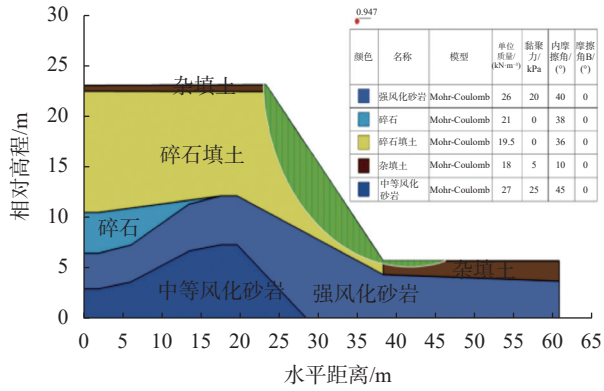


图4 天然工况下边坡稳定系数(剖面 1-1)

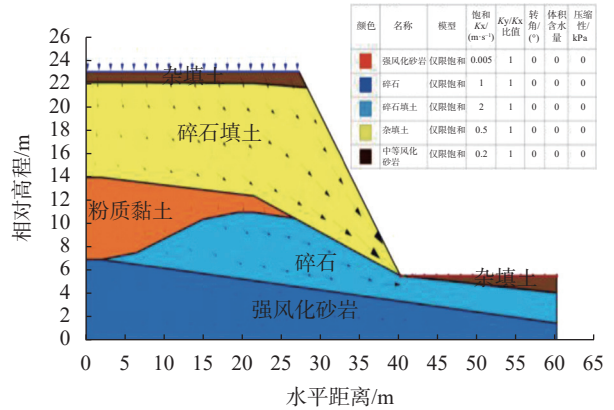


图8 暴雨工况下边坡渗流场(剖面 2-2)

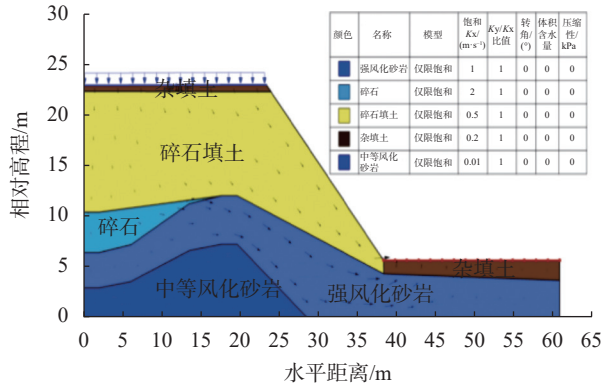


图5 暴雨工况下边坡渗流场(剖面 1-1)

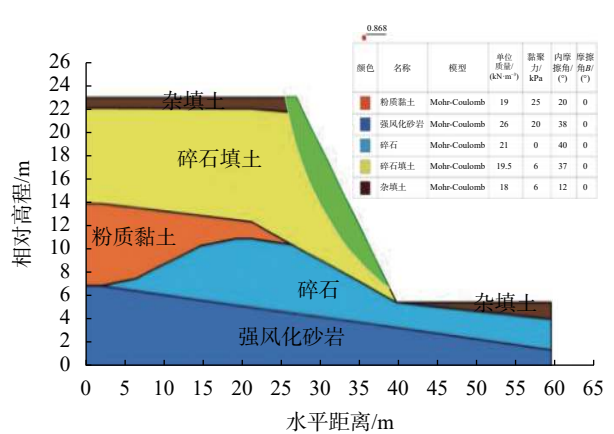


图9 暴雨工况下边坡稳定系数(剖面 2-2)

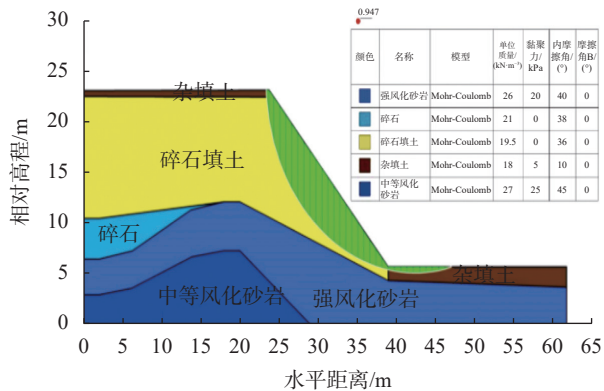


图6 暴雨工况下边坡稳定系数(剖面 1-1)

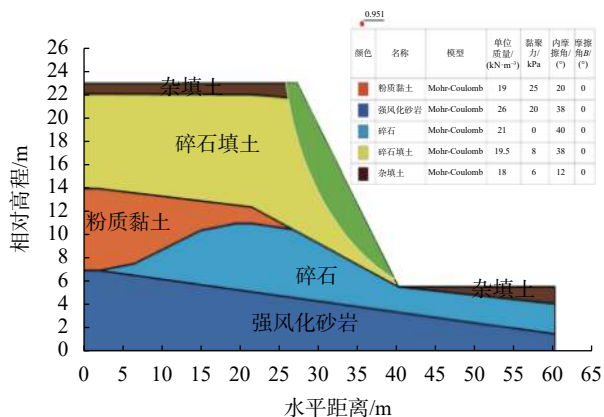


图7 天然工况下边坡稳定系数(剖面 2-2)

暴雨时由于强降雨的不断灌入及势能差的作用,边坡土体中存在渗流场,渗流场中的饱和土体受到水压力的作用,即受到渗透力的作用,可以引起土体内部应力状态发生改变。当渗透力过大时,便可引起边坡土颗粒的移动,使得边坡稳定系数较天然工况下下降较快,从而可能导致边坡土层沿危险滑动面发生滑动。加之降雨对边坡的冲刷和侵蚀作用,土颗粒分散、流失并局部堆积,最终边坡发生失稳破坏。

4 边坡安全防护措施

边坡安全防护措施的选取应结合边坡的现状及其边坡周边的环境特征,本着“安全绿色、水土保持、经济高效、施工方便”的设计原则。该边坡坡角约55°,高度约18m,其表层由人工随意堆积形成,堆积时间短,未完成自重固结,密实度低,具湿陷性,土质不均,承载力低,整体工程特性较差。该人工边坡整体处于不稳定状态,在暴雨等极端工况下容易发生垮塌。建议边坡支护方式分为以下几种:

(1)边坡截排水措施。在详勘阶段进一步查明不良地质的分布情况,并预留时间对其进行防范和处理。对于潜在的泥石流,建议在场区四周建立截水沟等,防止雨水从场地流过。

(2)设置支挡工程。对于不稳定斜坡,建议采用挡土结构进行加固支护。对于浅部采空区,建议采取注浆法或灌注桩进行处理。

(3)支挡结构类型选择。考虑到加固的边坡为土质边坡,如采用挡土墙进行加固,不仅可以增加坡体的抗滑能力,还能够减小降雨对于边坡表面的冲刷侵蚀作用,从而可以达到更加充分高效的加固效果。重力式挡墙和板肋式挡墙为两种常见的挡土墙,在边坡治理工程中广泛应用。该人工堆积边坡高度较高,如若采用重力式挡土墙,其稳定所需的高度较高,由此导致其截面较为庞大,挡土墙自重较大、底部较宽,造成了材料及有限建设用地的浪费,性价比较低,且重力式挡土墙更多适用于可就地取材的情况,但由于该建设场区缺乏石料,故暂不考虑该措施。桩板式挡土墙结构较为独特,为抗滑桩及桩间的挡板两部分构成的钢筋混凝土结构,其作用机理是挡板将墙后的土坡作用力传递给抗滑桩,利用深埋入稳定土层的抗滑桩与周围的土体的相互制嵌作用,实现有效的边坡加固作用^[20],具有自身断面较小、占地面积较少、质量轻、桩位布置较为灵活且施工方便等优点,性价比较高,是加固该边坡的优选措施。结合实际工程情况以及经济效益分析,最终确定设置桩板式挡土墙为该人工边坡的优化加固措施。

5 结论

(1)在天然工况下,剖面 1-1 和剖面 2-2 处边坡稳定系数分别为 1.016 和 0.984,边坡处于欠稳定—不稳定状态;在暴雨工况下,由于强降雨入渗及渗流场的存在,边坡稳定系数迅速下降,剖面 1-1 和剖面 2-2 处边坡稳定系数分别为 0.967 和 0.864,边坡处于不稳定状态。

(2)该人工边坡整体上处于不稳定状态,在暴雨等极端工况下容易失稳,为保证该边坡的稳定及周边环境的安全,建议采用结构独特、占地面积小、施工灵活方便的桩板式挡土墙作为此边坡的加固措施。

(3)拟建场地内人工填土层厚薄不一,且层底起伏变化较大,不排除在填土范围内存在其它异常土质,建议在项目岩土工程详细勘察阶段进一步查明,并对其工程性质作出相关评价。

参 考 文 献

[1] 孙超,孙益哲,单博.某变电站边坡稳定性分析及评价[J].吉林建筑大学学报,2019,36(6):7-12.

- [2] 郑颖人,赵尚毅,时卫民,等.边坡稳定分析的一些进展[J].地下空间,2001,(4):262-271,337-338.
- [3] 王玉平,曾志强,潘树林.边坡稳定性分析方法综述[J].西华大学学报(自然科学版),2012,31(2):101-105.
- [4] 谢桂华.岩土参数随机性分析与边坡稳定可靠度研究[D].长沙:中南大学,2009.
- [5] 陈祖煜.土质边坡稳定分析-原理·方法·程序[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [6] 朱大勇,李焯芬,黄茂松,等.对3种著名边坡稳定性计算方法的改进[J].岩石力学与工程学报,2005,24(2):183-194.
- [7] 介玉新,柏永亮,余卓憬,等.边坡的潜在滑动面分析[J].工程地质学报,2015,23(S1):242-246.
- [8] 李广信.高等土力学(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2016.
- [9] 王汉勋,张彬,张中俭,等.渗流与地震作用下铁矿尾矿坝稳定性分析[J].地质与勘探,2018,54(3):614-622.
- [10] 王旭,刘东升,宋强辉,等.基于极限平衡法的边坡稳定性可靠度分析[J].地下空间与工程学报,2016,12(3):839-844.
- [11] 曾铃,付宏渊,贺炜,等.降雨入渗因素对炭质泥岩路堤边坡稳定性的影响[J].公路交通科技,2013,30(3):39-44,58.
- [12] 刘鹏辉.降雨入渗对土石混填路堤边坡稳定性的影响分析[D].郑州:郑州大学,2010.
- [13] 卢小超.考虑降雨入渗影响的公路边坡稳定性评价方法及其应用[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [14] 李国荣,陈文婷,朱海丽,等.青藏高原东北部黄土地区降雨入渗对土质边坡稳定性的影响研究[J].水文地质工程地质,2015,42(2):105-111.
- [15] 刘永涛.降雨入渗对黄土边坡稳定性影响研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2010.
- [16] 阙云,胡昌斌,姚晓琴.降雨入渗对裂隙性粘土边坡稳定性作用机理的分析[J].福州大学学报(自然科学版),2009,37(3):423-429.
- [17] 王晓峰.降雨入渗对非饱和土边坡稳定性影响的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2003.
- [18] 刘焕存,孙凤岭,魏海涛,等.增北路顺层岩质滑坡治理工程设计与实践[J].岩石力学与工程学报,2013,32(10):181-186.
- [19] 徐锡伟,吴为民,张先康,等.首都圈地区地壳最新构造变动与地震[M].北京:科学出版社,2002.
- [20] GB 50330—2013 建筑工程边坡技术规范[S].

收稿日期:2022-07-25