

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.02.09

西藏藏中与昌都联网工程八宿县 10L336 – 10L338 段滑坡及塔基稳定性分析

樊柱军, 刘晓娟, 程东幸

(西北电力设计院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 本文通过地质类比法, 分析了塔基所在老滑坡特征及其成因, 通过定性分析和定量计算的方法, 评价了滑坡稳定性, 在此基础上, 结合塔基周围地质环境发育特点, 对位于斜坡浅表部塔基地基的稳定性进行了分析, 评判了塔基立塔的适宜性, 结果表明: 塔基所在的斜坡为岩质滑坡堆积形成的厚层堆积体, 滑坡堆积体处于稳定状态, 除 10L337 塔基浅基础存在安全隐患外, 其余塔基稳定性较好, 适宜立塔。

关键词: 地质类比; 堆积体; 滑坡; 稳定性; 浅基础

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)02-0055-06

Stability analysis of the landslide and the tower foundations at the section 10L336 – 10L338 of the network project between Tibet's Central Region and Changdu Region

FAN Zhujun, LIU Xiaojuan, CHENG Dongxing

(Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shaanxi, Xi'an 710054, China)

Abstract: In this paper, the causes of the landslide where the tower located foundations were analyzed by the geological analogy method. The stability of the landslide foundations was evaluated by qualitative analysis and quantitative calculation. Based on the characteristics of the geological environment around the tower foundations, the stability of the foundation of the superficial parts of the slope was analyzed, and the suitability of the tower foundations was evaluated. The results show that the slope where the tower was located was a thick layer accumulation body formed by rocky landslide, and the landslide accumulation was in stable state, besides the 10L337 tower shallow foundation was potentially unsafe. The stability of other tower foundations was relatively good and suitable for tower construction.

Keywords: geological analogy; accumulation body; landslide; stability; shallow foundation

0 引言

藏中联网工程线路^[1]海拔高程在 2 930 ~ 5 200 m, 一般高差在 500 ~ 1 200 m, 最大高差达 1 550 m, 整个线路沿线主要为侵蚀溶蚀剥蚀高山峡谷及侵蚀剥蚀溶蚀中、高山地貌。线路路径走廊十分狭窄, 塔基所处的

地质环境条件十分复杂。绝大部分塔基位于斜坡上, 斜坡包括基岩斜坡、土岩混合斜坡、崩塌堆积体斜坡、滑坡堆积体斜坡等, 斜坡上塔基的稳定性受到多种因素的影响。

韦立德等^[2]建立了输电线路塔基土质边坡稳定性安全系数的 BP 预测模型; 赵有余等^[3]分析了影响

收稿日期: 2017-04-20; 修订日期: 2017-06-05

第一作者: 樊柱军(1983-), 男, 河南南阳人, 岩土工程专业, 硕士, 高级工程师, 主要从事特高压输电线路岩土工程研究。E-mail: 1120906664@qq.com

西南山区线路塔基稳定性的因素,提出了相关的处理措施;章诚亮^[4]分析了不同塔基基础类型及稳定性特点;鲁先龙等^[5]从塔基基础稳定性考虑,提出了不同基础类型塔基的适用。相关文献对输电线路塔基稳定性的研究,主要集中在塔基所在的宏观地质环境条件和塔基基础两方面,很少将二者统一起来。对于受构造断裂发育、剥蚀强烈、风化严重、地质灾害易发的剥蚀峡谷地区,塔基的稳定性需要综合考虑多种因素,本文以八宿县 10L336-10L338 段塔基为研究对象,分析了塔基所在堆积体的成因,查明了堆积体的物质结构特点,分析了斜坡的稳定性和塔基基础的稳定性,综合判断了各个塔基的立塔条件和适宜性,提出了塔基地基方案和结构优化的相关建议措施。

1 塔基所在工程区地质概况

10L336-10L338、10R335-10R337 塔位边坡大致倾向 W,坡体顶部较陡,坡度大于 40°,中上部发育一平台,平均坡度约 10°,中下部坡度在 25°~40°;坡体两侧、坡体中部均可见流向东至西的冲沟,坡体前缘发育河流阶地,怒江上游支流冷曲河由南向北从坡体前缘流过;此外,在坡体前部发现多处泉点,并可见较大范围的渗水区域。塔位 10R335、10L336、10R336、10L337、10R337、10L338 由北向南展布于坡体中部(图 1)。

工程区主要发育古生界石炭系、二叠系来姑组(C_2P_1l)灰黑色板岩、结晶灰岩,偶见乳白色、白色大理岩,中生界侏罗系(δoJ)石英闪长岩,且塔基所在斜坡主要为板岩,板岩中发育两组结构面,结构面倾向坡外,组合形成楔形体。



图 1 塔基在斜坡分布

Fig. 1 A photo showing the tower foundation distribution in the slope area

2 滑坡特征及成因分析

2.1 宏观定性分析

塔基两侧发育冲沟,坡体中上部发育缓倾坡外平

台,其后为一较光滑的陡壁,圈椅状地形显著;边坡下部发育多处泉点及渗水区域;堆积体覆于河流相卵砾石堆积体之上,据此分析认为该边坡为一古滑坡,滑坡发生于该处河流堆积阶地之后,运动方向与坡向近一致,为一典型的大型岩质滑坡。滑坡主滑方向 W,前缘抵达乡村公路,高程 3 920 m,后缘高程 5 000 m,顺河宽约 1 km,横河长约 1.4 km。目前,残余滑坡堆积物体积约 $6.00 \times 10^7 \text{ m}^3$,主要分布于 4 470 m 高程以下,4 300~4 470 m 为滑坡平台,坡度 10°~15°,起伏不平,4 300 m 以下坡度较大,约 35°~40°,滑坡舌部外有阶地分布,宽约 400 m。

滑坡在地形上较为明显,边界易区分,前部被泥石流等堆积体覆盖,整体呈开口微闭的“马蹄形”。该滑坡体后壁为上部缓倾平台 E 侧陡峻山体,后壁较平直光滑,可见“圈椅状”地形。滑坡前缘位于下部缓倾平台上部坡体泉水出露一带,下部缓倾平台主要为原河流阶地,其 N 侧可见卵砾石堆积体,滑坡体基本覆盖在原始河流阶地上,左右侧位于两侧山脊。

2.2 成因机制分析

该边坡滑坡之前为一较陡峻的岩质边坡,岩倾向坡内,且板岩、凝灰岩硬度大,因此边坡较为陡峻。边坡上部海拔较高,风化、冻融作用强烈,再加之岩体发育有两组倾向坡外的结构面(图 2),倾坡外的结构面在上述作用下逐渐向下发展贯通。此外,坡体前缘河流侵蚀坡脚形成临空面,后期可能受上部崩坡积体荷载、前缘河流侵蚀、地震等作用,山体上部可能产生垮塌、滑移,坡体下部岩体受剪切作用,最后坡体沿着贯通的结构面形成滑坡。其演化过程,大致可分为以下几个阶段:岩体结构面向下发育→岩体结构面逐渐贯通→结构面完全贯通,下部产生剪切破坏滑坡形成→滑坡堆积体前部受河流侵蚀形成现今地貌(图 2)。

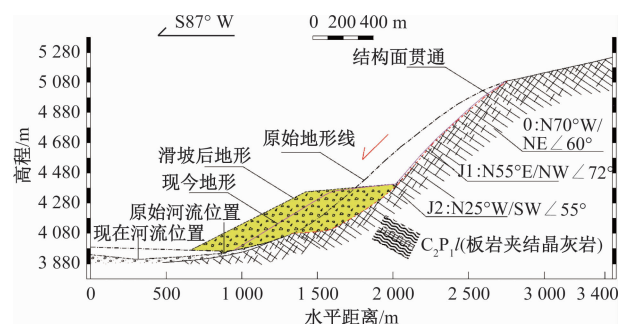


图 2 滑坡堆积纵剖面图

Fig. 2 A longitudinal plan of the landslide accumulation

3 滑坡稳定性分析

3.1 定性分析

综合野外调查及室内资料分析认为,塔位边坡虽堆积体较厚,整体坡度较大,地下水发育,且为古滑坡堆积体。现今滑坡堆积体前缘为坡度 30° 的斜坡,滑坡上发育一级滑坡平台,未见后期滑动形成的次级滑坡平台。滑坡堆积体上游边界处,生有直径 30 ~ 50 cm 的古树,树木未见弯曲等变形现象。说明滑坡发生后,堆积体稳定性较好,未发生次级滑动,近期也没有产生明显的蠕滑变形。现今堆积体前部延伸远,坡脚位置不存在陡倾的临空面,且现今的泥石流堆积体堆积在坡前,这多种因素使得坡体向前滑动方向受阻,抗滑力较大。此外基岩为板岩,层面倾向坡内,增大了坡体与基岩的摩擦阻力,抗滑力亦随之增加,有利于坡体稳定,故定性分析认为边坡整体稳定性较好。

3.2 定量分析

3.2.1 剖面选择和模型建立

定量计算采用 Geostudio (SEEP/W&SIGMA/W) 模块,首先运用 SEEP/W 软件分析斜坡体的渗流场,接着采用 SIGMA/W 对其应力进行分析,然后运用 SLOPE/W 进行稳定性计算。

滑坡体大致形状呈散开的扇形,考虑所选剖面既能反映坡体的典型特征,又能对滑坡体本身稳定性进行全面评价,且对塔位边坡亦能予以关注,并分析评价,综合各因素,计算剖面参考滑坡主滑方向,垂直两回线路走向,分别选取 10R335 - 10L336 (1 - 1') 剖面、10R336 - 10L337 (2 - 2') 剖面、10R337 - 10L338 (3 - 3') 剖面,分析认为,边坡前部阶地平台对研究坡体稳定性无实际意义,坡体顶部基岩于滑坡体稳定性影响亦不大,故通过适量简化边坡剖面,所建立的典型剖面数值模型见图 3,其中各模型所设滑带均位于基伏界线处,图中①至④为指定的滑面,①为基伏界线处滑面。

3.2.2 参数选取及计算工况

参考相邻区域的岩土工程资料,再利用工程经验法结合实际情况综合选取研究区的岩土参数,研究区各地层参数见表 1。

结合研究区实际,本次数值模拟主要考虑天然稳定性、暴雨稳定性、地震稳定性以及塔基荷载稳定性,对应的工况分别为:天然工况、天然 + 荷载工况、暴雨工况、暴雨 + 荷载工况、地震工况。

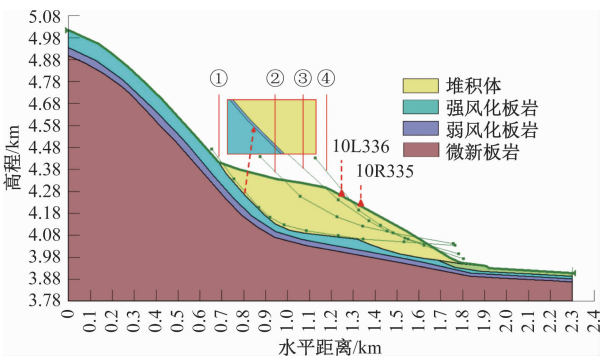


图 3 典型剖面数值计算模型

Fig. 3 A numerical model of the typical profile

表 1 研究区各类岩土体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of various types of rocks and soils in the study area

材料类型	天然			饱和		
	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
滑坡堆积体	35	32	21	22	30	22.5
滑带	25	29	21	20	26	22.5
全 - 强风化板岩	100	35	24	65	33	24.5
弱风化板岩	900	38	25	700	34	25.5
微新板岩	1 200	42	26	1 000	40	26.5

3.2.3 计算结果

计算过程中选取的 3 条剖面中,其中 10R336 - 10L337 (2 - 2') 剖面基本上沿着滑坡的主滑方向,该剖面两侧坡面冲沟发育,坡面受冲沟冲刷侵蚀影响,植被发育一般,在斜坡的中部平台上堆积了冲沟坡洪积物。从对滑坡稳定性影响程度上分析,该剖面的计算分析更具有典型性和代表性,计算结果见表 2。

天然工况下 2 - 2' 剖面边坡稳定性系数为 1.246,天然工况下加上输电塔等外部荷载后,边坡稳定性系数有所降低,为 1.236。暴雨工况下边坡数值模拟计算结果见图 4、图 5,在暴雨工况下坡体上部缓倾平台外侧坡体以及缓倾平台上部坡脚有负量值区域存在,表明该处受拉,这与该边坡靠近缓倾平台顶部存在大量冲沟的现象近一致,初步判断其冲沟是由融雪或降雨形成的径流侵蚀形成的。在暴雨工况下,堆积体内部存在多处剪应变集中区域,说明暴雨情况下坡体有向外运动的趋势,但这些剪应变集中区域尚未贯通,是局部存在的,坡体整体稳定性影响较小。从表 2 可知,暴雨情况下边坡稳定性系数为 1.239;在暴雨工况下加上外部荷载后,边坡稳定性略有降低,稳定性系数为 1.217。在地震作用下边坡稳定性显著降低,其稳定性系数降为 1.055,当存在输电塔等荷载后,地震作用使得边坡稳定性系数进一步降低,为 1.054。

表 2 各剖面各工况安全系数平均值

Table 2 The average values of the safety factor of each section

工况	天然		天然 + 荷载	暴雨		暴雨 + 荷载	地震		地震 + 荷载
	综合确定滑面	指定滑面①		综合确定滑面	指定滑面①		综合确定滑面	指定滑面①	
1-1'剖面稳定性系数	1.33	1.70	1.302	1.236	1.584	1.234	1.060	1.512	1.059
2-2'剖面稳定性系数	1.246	1.650	1.236	1.239	1.569	1.217	1.055	1.439	1.054
3-3'剖面稳定性系数	1.298	1.715	1.163	1.185	1.649	1.179	1.202	1.517	1.137
平均值	1.291	1.689	1.234	1.220	1.601	1.210	1.106	1.489	1.083

10R336-10L337 及其它两剖面计算结果统计分析,见表 2 可以得出,边坡整体在天然、荷载、暴雨、暴雨+荷载、地震+荷载工况下稳定,在地震工况下亦较稳定,综合评价认为边坡在各工况下处于稳定状态。

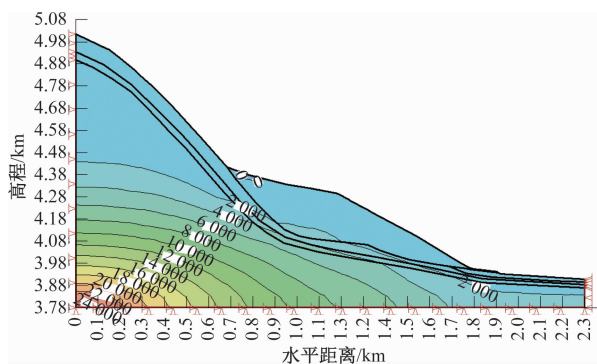


图 4 暴雨工况最小主应力

Fig. 4 Diagram showing the minimum stress distribution under rainstorm condition

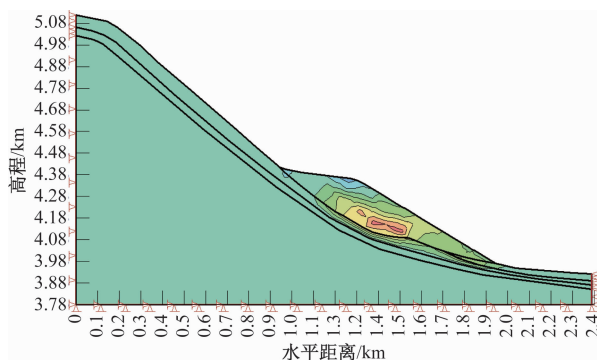


图 5 暴雨工况最大剪应变

Fig. 5 Diagram showing the distribution of maximum shear strain under rainstorm condition

4 塔基稳定性分析

4.1 定性分析

通过对滑坡体进行定性分析和定量计算,结果显示:古滑坡体在天然、暴雨等工况下处于稳定状态,不存在整体复活的可能性,这为在该场地立塔提供了基础条件,该古滑坡区六基塔为原状土掏挖基础^[6],上

部钢结构的稳定性通过桩周土的剪切力提供,掏挖基础埋深在 10~13 m,塔基基础的稳定性依赖于古滑坡体的稳定性,但是,对于整个古滑坡体来说,塔基基础仍然属于浅基础的范畴,塔基在坡面加载、施工扰动,易对滑坡体表层地质环境条件产生破坏,在降雨等外在工况的触发下,地质环境平衡系统被打破,滑坡体易产生浅表层变形,进而对塔基稳定性产生影响,因此在对古滑坡整体稳定分析的基础上,对塔基基础浅表层斜坡稳定性分析显得十分必要。

对 6 基塔所处微地貌单元、地表植被、地形坡度、地表不良地质作用等方面进行综合定性分析,除 10L337 塔基外,其余 5 基塔处于稳定状态,10L337 塔基存在极大的安全隐患。10L337 塔位于堆积体坡肩部位,缓倾平台边缘,10L337 塔 A、B 腿位于上部缓倾平台边缘,C、D 腿位于斜坡上,斜坡坡度约 35°(图 6)。10L337 塔位于堆积体坡肩部位,A、B 腿后缘平台形成的汇水面,通过 C、D 腿所在斜坡坡面宽浅冲沟自然排泄,坡面受冲刷影响,地形较破碎,地形线凹向坡体内,地表植被不发育,坡面由较为松散的碎石组成,在坡面暂时性流水作用下,碎石易垮塌,引起浅表层松动变形,进而牵引堆积体坡肩受拉,产生法向力,引起变形,从而对塔基稳定造成影响。



图 6 10L337 塔基全景

Fig. 6 Panoramic photo of the slope area of 10L337 tower foundation

4.2 定量计算

通过定性分析可知,10L337 塔基所在坡面发育宽

浅冲沟,对塔基稳定性产生影响,为进一步定量评价其在荷载、暴雨工况、地震工况下的稳定性,拟采用Geostudio 进行计算分析。据野外调查,分析认为冲沟侵蚀形成的临空面使得坡体局部稳定性降低,塔位边坡在荷载、暴雨、地震等情况下可能产生局部滑动、垮塌,其剪出口较大可能位于临空面上。基于此,通过指定出入口地毯式搜索确定危险区域后,指定了不同角度的6条滑面,计算模型及滑面见图7。

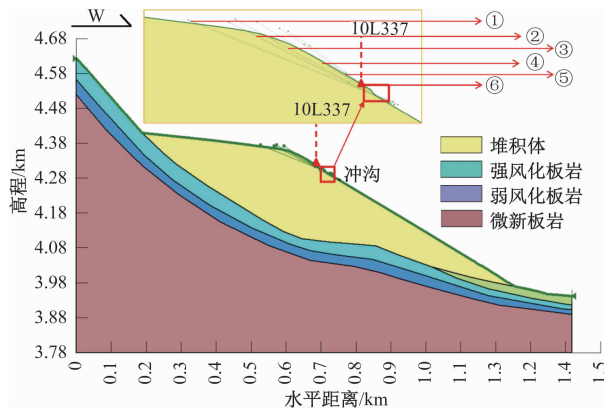


图7 10L337 塔基计算模型

Fig. 7 Diagram of the calculation model of 10L337 tower foundation

岩土参数详见表1,各工况计算结果见表3,详细分析列于表后。

表3 10L337 塔基各工况计算结果

Table 3 Calculation results of the slope stability factor around the 10L337 tower foundation

工况	天然	荷载	暴雨	暴雨 + 荷载	地震	地震 + 荷载
稳定性系数	1.324	1.268	1.022	0.976	1.055	1.015

由通过计算可知滑面③为最危险滑面。在暴雨情况下(40 mm/d)塔位边坡稳定性明显降低,稳定性系数为1.022,接近极限平衡状态。暴雨情况下加上输电塔荷载后,塔位边坡稳定性系数降为0.976(图8),其失稳的可能性较大,根据计算结果估计来看,其滑动平均深度约10 m,滑动体积约 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,于冲沟侵蚀临空面剪出,考虑到塔基基础埋深在12 m左右,塔基基础地基土处于变形范围内,因此分析认为在暴雨工况下,塔位边坡局部可能会出现垮塌,影响塔基的安全。

在地震工况下塔位边坡稳定性系数为1.055,边坡基本稳定。地震情况下加上输电塔等荷载后边坡稳定性系数略有降低(图9),为1.015,处于基本稳定状态。

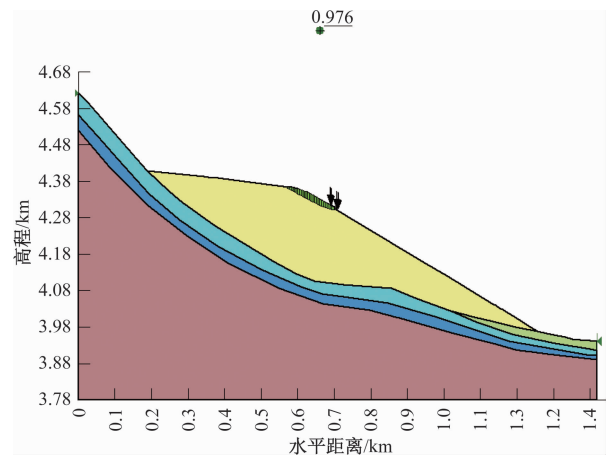


图8 暴雨 + 荷载安全系数

Fig. 8 Diagram showing the results of safety factor under the rainstorm and load conditions

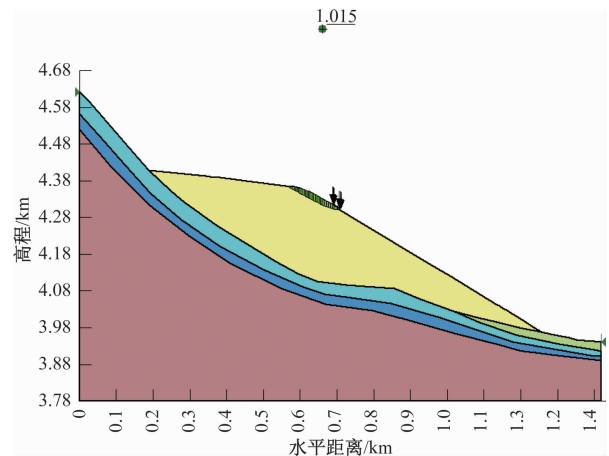


图9 地震 + 荷载安全系数

Fig. 9 Diagram showing the results of safety factor under the earthquake and load conditions

由此可以看出,10L337 塔位边坡对降雨较为敏感,在暴雨工况下坡体稳定性显著降低,这与定性分析是一致的。综合分析认为10L337 塔位边坡在天然工况以及天然 + 荷载情况下坡体稳定性较好,边坡失稳的可能性小;在地震工况下,边坡处于基本稳定状态,边坡失稳的可能性小;但在暴雨工况下以及暴雨 + 荷载工况下边坡稳定性较差,边坡局部向冲沟内失稳的可能性较大。

5 结论

通过对塔基所在斜坡宏观地质条件和基础两方面进行综合分析,对塔基稳定性获得的结论及建议如下:

(1)塔基所在斜坡为大型岩质滑坡形成的厚层 - 巨厚层堆积体,该滑坡处于稳定状态;位于滑坡堆积体

浅表部的塔基,除 10L337 塔基存在安全隐患外,其余塔基处于稳定状态。

(2)塔基的稳定性和塔基所在斜坡的稳定性是两个范畴,斜坡整体稳定是立塔的基本条件,塔基稳定性不仅依赖于整个斜坡的稳定,更取决于塔基地基的稳定性。

(3)鉴于塔基稳定性主要取决于塔基基础持力层以及下卧层土体的稳定性,因此山区输电线路塔基应尽量选择在稳定可靠的基岩上,对于位于斜坡堆积体上的塔基,一定要查明基础埋深范围、下卧层岩土体的特征以及工程性能,采取由整体到局部、由宏观到微观等方法,综合判定塔基的稳定性。

参考文献:

- [1] 樊柱军. 西藏藏中与昌都联网工程 500 千伏线路工程包 10 岩土工程勘察报告[R]. 西安:西北电力设计院有限公司,2016.
FAN Zhujun. The design No. 10 geotechnical investigation report of 500 kV network project between Tibet's Central Region and Changdu Region [R]. Xian: Northwest Electric Power Design Institute Co. Ltd, 2016.
- [2] 韦立德,安少鹏,等. 输电线路塔基土质边坡稳定性评价的 BP 网络模型[J]. 电力勘测设计,2013,30(2):17—20.
WEI Lide, AN Shaopeng, et al. Bp network model of stability evaluation of tower foundation soil slope in transmission line [J]. Electric Power Survey & Design, 2013, 30(2): 17—20.
- [3] 赵有余,王永忠,等. 西南山区某高陡斜坡输电线路塔基地质灾害的预防与治理[J]. 土工基础,2014,27(6):33—37.
ZHAO Youyu, WANG Yongzhong, et al. Geological hazards prediction and prevention for transmission tower foundation on steep slopes [J]. Soileng and Foundation, 2014, 27(6): 33—37.
- [4] 章诚亮. 高压输电线路杆塔基础稳定性分析[J]. 企业技术开发,2013,32(2):112—114.
ZHANG Chengliang. Analysis on stability of poles foundation in High-Voltage transmission line [J]. Technological Development of Enterprise, 2013, 32(2): 112—114.
- [5] 鲁先龙,程永峰. 中国架空输电线路杆塔基础工程现状和展望[A]. 第五届输配电技术国际会议论文集[C]. 北京:中国电力出版社,2005:189—193.
LU Xianlong, CHENG Yongfeng. Current status and prospect of transmission tower foundation engineering in China [A]. Papers of the 5th international conference on transmission and distribution technology [C]. Beijing: China Electric Power Press, 2005: 189—193.
- [6] DL/T 5219—2005, 架空送电线路基础设计技术规范[S].
DL/T 5219—2005, Technical Regulations for Foundation Design of Overhead Transmission Lines [S].

关于为《中国地质灾害与防治学报》征集照片的启事

为了使本刊论文内容更加形象、生动,便于读者清晰地识别地质灾害的各种地质作用及现象,反映治理措施及治后效果,我刊每期另附彩版照片。凡为彩版或封面提供照片者,每版应附 100~500 字说明,每张照片也应有相应说明。为保证出版效果,请提供原照片;若用数码相机拍摄,请采用 200 万像素以上的模式拍照。照片的分辨率应在 1 600×1 200 dpi 以上(Fine 或 High 模式);如照片文件为扫描版,请采用 600 dpi 以上的设置扫描。如用电子邮件发送,请提供照片的原电子文档 JPG 格式(勿自行用 Photoshop 或 ACDsee 等软件处理),以保证照片的清晰度。另请提供 1 份 Word 文档,但其仅供排版时参考,不能作为印刷、排版的原始稿件。提供的照片采用刊登后,付稿酬。欢迎各地、各界同仁踊跃选送各种典型照片(含国外照片)。

感谢您的支持与合作!

本刊网址: www. zgdzzyfzxb. com

电子信箱: nitx@mail. cigem. gov. cn zhaoh@mail. cigem. gov. cn

《中国地质灾害与防治学报》编辑部