

500 kV 鹏深线杆塔边坡运营风险评估

刘丙财¹, 詹晓强^{2,3}, 戴旭明⁴, 赵小盎⁴, 黄浩⁴

(1. 深圳供电局有限公司输电管理所, 深圳 518020; 2. 地质工程福建省高校工程研究中心, 福州 350116;
3. 福州大学环境与资源学院, 福州 350116; 4. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]为了保证架空输电线路安全平稳运行,提高输电线路边坡的稳定和安全,加强运维人员对山区输电线路边坡的认识,提高管理部门对边坡风险的管控能力。[方法]以深圳500 kV鹏深甲乙线34级杆塔边坡为评估对象,结合工程地质研究方法和实践经验积累,构建了一套符合输电线路边坡特征的风险评估指标体系,确定了边坡风险等级;并且制定了相应的风险管控对策和风险分级管理措施,同时提出应对突发事件的应急措施和流程。[结果]边坡风险评估结果与实际边坡现状相印证,能够简单、高效、合理的划分边坡风险等级,其相应的风险管控对策和分级管理措施能够有效的降低边坡风险。[结论]所提的风险评估方法和风险管理思路基本满足输电线路边坡的管理需求,对提高输电线路边坡运维管理部门的风险应对能力、降低输电线路边坡风险有较大实际价值。

关键词: 风险管理; 边坡风险评估; 指标体系法; 重要性排序法; 风险分级管理

中图分类号: U418.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0128-07

Risk Assessment of 500 kV Peng-Shen Transmission Line Tower Slope Operation

LIU Bingcai¹, ZHAN Xiaoqiang^{2,3}, DAI Xuming⁴, ZHAO Xiaopan⁴, HUANG Hao⁴

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Limited Company Transmission Management Institute, Shenzhen 518020, China;
2. Department of Geotechnical and Geological engineering, School of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 3. Geological Engineering Research Center, Fujian Provincial University, Fuzhou, 350116, China;
4. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, 510663, China)

Abstract: [Introduction] In order to ensure the safe and stable operation of overhead transmission lines, improve the stability and safety of transmission line slope, strengthen the awareness of operation and maintenance personnel of transmission line slope in mountainous areas, and improve the management ability of slope risk. [Method] Taking the 34-grade tower slope of Shenzhen 500 kV Pengshen A-B Line as the evaluation object, combining with the engineering geological research methods and the accumulation of practical experience, a set of risk assessment index system conforming to the characteristics of the transmission line slope is constructed, and the risk grade of the slope is determined; and the corresponding risk control countermeasures and risk grading management measures are formulated. Emergency measures and procedures for dealing with unexpected accidents are proposed. [Result] The results of slope risk assessment corroborate the actual situation of the slope. It can classify the risk grade of the slope simply, efficiently and reasonably. The corresponding risk control countermeasures and grading management measures can effectively reduce the risk of the slope. [Conclusion] The proposed risk assessment methods and risk management ideas basically meet the management needs of transmission line slope, and have great practical value for improving the risk response ability of the operation and maintenance management department of transmission line slope and reducing the risk of transmission line slope.

Key words: risk management; slope risk assessment; index system method; importance ranking method; risk classification management

收稿日期: 2018-12-05 修回日期: 2019-05-14

基金项目: 中国南方电网公司科技项目(090000KK52160020)“输电线路边坡建设维护研究”

架空输电线路作为电能输送载体,它的安全平稳运行关系到社会发展、经济发展和人们的正常生产生活。南方输电线路由于其山地地形地貌原因,

不得将输电线杆塔修建于自然边坡上。其中深圳架空输电线路发生多次由于边坡变形、局部坍塌等导致杆塔基础移位, 甚至倒塔, 造成供电中断, 产生较大经济损失。因此, 开展切实有效的输电线路边坡风险评估工作, 对于输电线路安全平稳运行, 有着重大的实际需要和现实意义。

目前国内边坡风险评估研究工作在高速公路边坡开展较多, 取得了一系列研究进展和成果。边坡风险评估方法主要有指标体系法^[1]、模糊层次分析法^[2]、蒙特卡洛法^[3]等。无论何种方法, 都在实际案例中得到较好的应用, 能够合理的实现边坡风险等级划分。同时研究工作也涉及边坡施工^[4-6]、运营^[7-8]等各个阶段。针对不同阶段, 对边坡进行风险评估工作, 满足不同阶段对风险的控制要求。借鉴公路边坡方面风险评估研究相关工作, 以日常电力巡检资料为基础, 建立切实有效的输电线路边坡风险评估方法, 指导输电线路边坡日常的运维管理, 实现边坡事故发生后的被动抢修向事前预防治理的转变。

本文结合作者在深圳地区长期从事输电线路运营、维护、管理工作, 以 500 kV 鹏深甲乙线 34 级杆塔边坡作为本文评估的研究实例。通过建立切实可行、合乎实际、满足目的的风险评估指标体系; 依据各指标对杆塔边坡运营风险的重要性程度, 运用层次分析法确定指标权重值; 而后进行输电线路边坡风险分级, 同时提出相应的风险管控对策和分级管理措施, 为输电线路边坡风险管理提供一条可行的方法, 对提高电网的风险管控能力和防灾减灾能力具有重要的实际意义。

1 杆塔边坡风险评估技术方法

1.1 边坡风险评估的总体思路

输电线路边坡风险评估采用指标体系进行运营风险评估工作, 如图 1 所示。其主要的评估技术流程为: 首先成立由专门技术人员或专家组成的评估小组, 制定评估的总体方案、理清关键技术要点等; 然后搜集待评估输电线路的勘察、设计、施工等资料, 选取评估对象并进行野外实地调查; 根据调查结果, 建立评估指标体系并打分, 运用层次分析法确定各个指标权重; 将各指标权重与其指标评分相乘后累加, 对照风险分级标准, 得到各个输电线路边坡风险等级; 根据不同风险控制措施的具体

要求, 按照前述所确定的边坡风险等级, 实施相应的有针对性、专业性的风险管理对策, 降低、转移或规避风险。

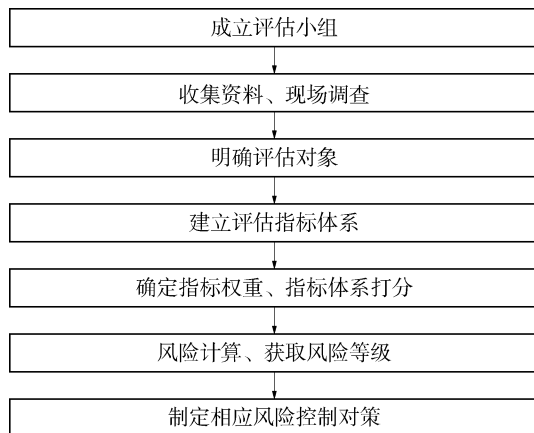


图 1 评估技术流程

Fig. 1 Assessment of technical process

1.2 杆塔边坡风险评估指标体系

本文提出的风险评价指标体系, 来源于对边坡工程地质分析研究的各类指标分类标准, 以及在深圳地区进行输电线路运营维护的经验积累, 同时经过不断的实践运用调整与完善。指标体系构建基本符合深圳地区输电线路边坡工程特点、地质条件、植被覆盖特征等, 在输电线路边坡日常运营维护过程中快速确定边坡风险等级, 为输电线路边坡风险管控提供依据。

表 1 评估指标体系

Tab. 1 Evaluation index system

一级指标	二级指标
地质条件	杆塔边坡坡度
	边坡岩土结构
	塔基岩土性质
气象水文	气候降雨
	植被覆盖
	边坡截排水
孕灾环境	坡表病害
	人类活动
	建构筑物
工程对策	边坡防护措施
	杆塔基础条件
	抗震设防烈度

因此, 根据指标的代表性、合理性、获得容易程度及该地区的实际工程条件, 建立一套科学、合

理、简单、实用的评价指标体系(表1)。该指标体系综合考虑了影响深圳地区输电线路边坡稳定性的主要因素,包括:工程地质条件、气象水文条件、孕灾环境特点、工程处治对策4类一级评估指标。在这4类一级指标的基础上再进行细化,得到杆塔边坡坡度、边坡岩土结构等12个二级指标。依据各个输电线路边坡特点、现场条件、周边环境等,选取具有代表性、容易获取、影响程度高的指标作为评估指标。

1.3 风险评估指标体系的权重确定

权重系数反映了评估指标对边坡风险影响的程度,本文采用层次分析法确定各风险评估指标权重值^[1]。通过专家对指标进行评分并建立二级指标对上一层指标重要性两两比较结果的判断矩阵。两两重要性比较取值按1~9取值,具体含义见表2,数值越大代表前者比后者更加重要。然后计算判断矩阵,获得该矩阵的最大特征值和特征向量;同时,判断矩阵必须满足一致性检验,从而获得各个指标相对权重,具体的计算流程见下文。

表2 标度取值含义

Tab. 2 Meaning of value in the scare method

标度	含 义
1	2个因素相比,具有相同重要性
3	2个因素相比,前者比后者稍重要
5	2个因素相比,前者比后者明显重要
7	2个因素相比,前者比后者强烈重要
9	2个因素相比,前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 <i>i</i> 与因素 <i>j</i> 的重要性之比为 γ ,则因素 <i>j</i> 与因素 <i>i</i> 的重要性之比为 $1/\gamma$

1.4 边坡风险值计算及风险分级标准

风险指标的评分值是边坡相对安全状况的反映,不同的风险指标由于其表征内容、量纲不同,因此对其进行处理,转化为一个可以综合评价的相对数值0~100。本文采用四分法,将每一个二级风险评估指标分为4个等级,各个等级分值范围为0~25, 25~50, 50~75, 75~100,越危险分值越高。分值范围内取值可按照实际指标特性进行插值得到,当指标对边坡安全影响越重要,由高值往低值方向插值得到,若影响程度较低,则反之。评估总体分值由公式(1)计算获得。

$$F = \sum (R_{ij} \times \gamma_{ij}) \quad (1)$$

式中: R_{ij} 为评估指标基本分值; $i=1, 2, 3, 4$; $j=1, 2, 3, 4, \dots, n$; n 为二级指标数量; F 为边坡风险评估值

计算得出风险值 F 后,对照表3确定输电线路边坡风险等级,进行风险分级管理,并作出相应的风险防控对策。

表3 风险分级标准

Tab. 3 Risk classification standard

风险等级	F
等级 I (极高风险)	$F > 60$
等级 II (高度风险)	$45 < F \leq 60$
等级 III (中度风险)	$30 < F \leq 45$
等级 IV (低度风险)	$F \leq 30$

2 500 kV 鹏深甲乙线杆塔边坡风险评估

2.1 沿线边坡工程典型特征

500 kV 鹏深甲(乙)线起点位于深圳市宝安区源高路500 kV 鹏城变电站,终点位于深圳市深圳龙岗区牛始埔路500 kV 深圳变电站,杆塔线路总长约26.63 km,共计98级杆塔。场地地貌为低山、丘陵地貌,地形地貌较复杂,陡坎、陡坡及水土流失一般发育;根据区域地质图及地质调查,场地第四系覆盖土层主要有坡积粉质粘土、残积砂(砾)质粘性土、粉质粘土等,下伏基岩为花岗岩或粉砂岩等;场区属亚热带季风气候区,气候湿热,4~9月为雨季,雨量充沛;杆塔周边常有人类活动,如耕种、修建道路等人类活动和靠近居民区、临近道路;沿线目前暂无大型滑坡、泥石流等不良地质灾害发生。

2.2 边坡风险主控因子及权重确定

2.2.1 示范杆塔边坡概况

以500 kV 鹏深甲乙线N03杆塔为例进行评估。塔基采用大板桩基础,塔基区域表面出露地层为粉质粘土及人工耕植土,整个塔基位于坡顶平台区域,地势平坦,植被发育,无水流冲刷现象;I号塔腿北侧10 m处为浪花路边坡的支挡结构,采用的是浆砌片石挡土墙支挡,墙顶有排水沟,挡土墙运行良好,墙体排水通道运行良好,坡顶排水沟局部有堵塞;II号塔腿东侧10 m处为源高路边坡的护面结构,采用三维网植草护面,植被发育,坡高约4~5 m,坡率约1:1,坡顶1 m处有排水沟,

现场踏勘发现边坡护面及排水通道运行良好, III IV 号塔腿均处于凹形坑中, 塔腿区域较湿润, 表面生长有苔藓, 周边植被发育良好, 未见破坏, 现状较稳定。经踏勘发现边坡局部存在冲刷现象。

2.2.2 风险评估指标体系构建

山区输电线路边坡具有地形变化大、边坡坡度陡、岩土结构种类多, 构造复杂、水文地质条件复杂等特征, 影响输电线路边坡安全运营的因子众多, 如果将所有因子纳入到评估指标体系中, 会导致指标排序不清晰、工作量大; 并且由于指标权重算法关系, 当指标体系项数超过一定数量项时, 其最后一个指标权重大小较小, 对边坡风险值贡献较小。因此挑选对输电线路边坡影响程度较大的几项指标, 建立风险评估指标体系, 满足边坡风险评估分级。

确定输电线路边坡风险评估主控因子, 构建评估指标体系, 指标意义分述如下:

1) 杆塔边坡坡度: 杆塔填挖边坡的综合坡度或杆塔位置天然斜坡的综合坡度。

2) 边坡岩土结构: 杆塔所在边坡岩土体的结构类型。

3) 塔基岩土性质: 杆塔基础持力层岩土性质。

4) 杆塔基础条件: 杆塔基础类型、尺寸等。

5) 边坡防护措施: 边坡加固防护类型。

6) 边坡截排水: 边坡截排水措施及积水情况。

7) 植被覆盖: 输电线路杆塔周边植被分布情况及生长状况。

8) 坡表病害: 边坡坡表水土流失、坡表冲蚀、浅层溜滑、局部坍塌, 以及滚石、落石等坡表病害发育程度。

9) 人类活动: 场区附近的人居环境、车流量、耕植等人类生产生活条件。

10) 建构物: 杆塔周边建筑物和构筑物的分布情况及其荷载条件、变形控制要求、安全防护等级等情况。

11) 气候降雨: 场区位置年平均降雨量、降雨持续时间及雨强。

12) 抗震设防烈度。

2.2.3 指标权重计算

依据层次分析法原则, 基于专家打分, 数学检验等, 比较各级指标的作用机制的影响权重, 形成一个表征各层级指标相互作用程度的判断矩阵, 如

表 4 所示(以一级指标为例)。

表 4 判断矩阵
Tab. 4 Judgement matrix

评价指标	地质条件	气象水文	孕灾环境	工程对策
地质条件	1	3/2	3	4
气象水文	2/3	1	2	3
孕灾环境	1/3	1/2	1	3/2
工程对策	1/4	1/3	2/3	1

计算最大特征值和特征向量(即权重), 最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.002$, 归一化特征向量为 (0.441 3, 0.303 0, 0.151 5, 0.104 2)。

然后进行一致性检验。其中, 判断矩阵阶数 $n = 4$, 查表 5 可得到 $R_1 = 0.90$, $C_1 = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.000 65$ 。

表 5 RI

Tab. 5 RI

阶数	1	2	3	4	5
R_1	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12
阶数	6	7	8	9	
R_1	1.24	1.32	1.41	1.45	

$C_R = C_1/R_1 = 0.000 65 < 0.1$, 故满足一致性检验, 具体权重分配结果如表 6 所示。

表 6 指标权重值

Tab. 6 The weight values of indexes

一级指标	权重	二级指标	权重
地质条件	0.441 3	杆塔边坡坡度	0.705 9
		边坡岩土结构	0.176 5
		塔基岩土性质	0.117 6
气象水文	0.303 0	气候降雨	0.523 9
		植被覆盖	0.278 6
		边坡截排水	0.197 5
孕灾环境	0.151 5	坡表病害	0.571 4
		人类活动	0.285 7
		建构物	0.142 9
工程对策	0.104 2	边坡防护措施	0.557 2
		杆塔基础条件	0.320 2
		抗震设防烈度	0.122 6
合计	1.00	合计	4.00

N03 杆塔经过上述风险评估流程, 得到总体风险值为 44.09, 风险等级为 III 中度风险。该处边坡要定期检评并且加强日常巡视或跟踪调查, 局部的

水土流失和冲刷采取封闭防护或绿化措施,防止病害加剧;ⅢⅣ号塔腿附近排水措施较差,有轻微积水现象,应及时设置排水措施,防止地基土长时间浸泡,导致承载力下降,致使塔腿产生不均匀沉降,造成杆塔倾斜破坏。

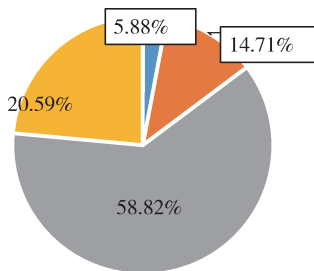
表7 风险评估表

Tab. 7 Risk assessment form

指标名称	相对权重	取值	风险值
杆塔边坡坡度	0.311 5	43	13.394 5
边坡岩土结构	0.077 9	58	4.518 2
塔基岩土性质	0.051 9	52	2.698 8
气候降雨	0.158 7	55	8.728 5
植被覆盖	0.084 4	30	2.532
边坡截排水	0.059 8	32	1.913 6
坡表病害	0.086 6	34	2.944 4
人类活动	0.043 3	60	2.598
建构筑物	0.021 6	40	0.864
边坡防护措施	0.058 1	36	2.091 6
杆塔基础条件	0.033 4	35	1.169
抗震设防烈度	0.012 8	50	0.64
求和	1	—	44.09

2.3 沿线边坡风险评估及风险分级成果

对于第一批34级杆塔500 kV鹏深甲(乙)线,杆塔边坡进行风险评估工作,其中I级(极高风险 $F > 60$)杆塔共计2级,占评估杆塔总数的5.88%;II级(高度风险 $45 < F \leq 60$)杆塔共计5级,占评估杆塔总数的14.71%;III级(中度风险 $30 < F \leq 45$)杆塔共计20级,占评估杆塔总数的58.82%;IV级(低度风险 $F \leq 30$)杆塔共计7级,占评估杆塔总数的20.59%,其边坡风险分级结果统计如图2所示:



- I级 (极高风险)
- II级 (高度风险)
- III级 (中度风险)
- IV级 (低度风险)

图2 风险分级结果饼状图

Fig. 2 Risk classification results pie chart

3 500 kV鹏深甲乙线杆塔边坡风险管控

3.1 风险管控方案

为有效防范各类输电线路边坡突发事故,并提高输电线路运维部门应急处置能力,确保输电线路安全平稳运行,减少经济损失和降低社会影响,应进行制定相应的风险控制措施,建立风险应急机制和制定相应的应急管理措施。

依据上述风险评估方法,确定相应的边坡风险等级,共设置四类接受准则及其相应的控制对策(如表)。风险控制对策应提出重点风险源的控制措施,需要投入的人力、物力、财力等情况。在风险管理方面,主要从管理和人两个方面控制风险,主要包括加强管理、提高人员素质。加强管理重点抓管理落实,如安全管理人员、安全制度、安全资金、管理措施等落实情况;提高人员素质主要是进行安全教育和培训,强化安全意识和观念,提高安全操作技能,对特殊工种进行专门培训,对关键风险控制点进行专人巡查。

表8 风险接受准则与控制对策

Tab. 8 Risk acceptance criteria and control strategies

风险等级	接收准则	控制对策
等级I(极高风险)	不可接收	高度重视,采取规避措施并进行监测
等级II(高度风险)	不期望	必须采取各种措施降低风险
等级III(中度风险)	可接收	加强边坡巡视,采取风险防控措施
等级IV(低度风险)	可忽略	不需采取特别的风险控制措施

3.2 风险分级管理措施

对于不同风险等级的边坡,采取分级管理措施,共设置四级措施:日常巡维,专业评估,定期检评,特殊检修,如表9所示。日常巡维主要以简单工具,可采取肉眼观察、工具敲打、耳朵听音、简易测量等方法,初步辨别边坡可能存在的风险,同时进行排水沟、泄水孔等清淤工作;专业评估需要专业的岩土工程师,主要检查日常运维管理工作到位情况和核实日常巡维中发现边坡存在的各类病害、结构破损等问题,并给出相应处理建议,指导日常运维管理工作的开展;定期检评主要进行全面评价边坡的稳定性和风险状态,及其是否需要实施专项治理;特殊检修是在工程师检查或定期检查工作开展的基础上,对所发现的存在异常状况或使边坡出现变形或变形加大、防护结构损坏严重的情

况, 应进行特殊检修(动态监测、工程监测、专家会诊和应急响应)

表 9 风险分级管理措施

Tab. 9 Risk grading management measures

风险等级	分级管理措施
等级 I (极高风险)	特殊检修
等级 II (高度风险)	定期检评
等级 III (中度风险)	专业评估
等级 IV (低度风险)	日常巡维

对于综合评估为 I 级的杆塔, 要加强日常巡维, 对杆塔稳定性有重要影响的不良地质现象和重大风险源应进行治理, 若在极端天气下产生滑塌失稳现象应启动应急响应程序。

对于综合评估为 II 级的杆塔, 在加强日常巡维的同时应该进行定期检评, 评估边坡现在的风险等级及其稳定性, 并对杆塔稳定性有影响的区域应该制定相应的加固防护措施, 以免进一步影响杆塔边坡的稳定性。

对于综合评估为 III 级的杆塔, 在加强日常巡维同时进行专业评估, 针对局部的水土流失、坡表冲刷、局部坍塌采取坡面防护措施或进行植被绿化。

对于综合评估为 IV 级的杆塔, 主要采取日常巡维为主。

3.3 风险应急响应流程

在深圳地区, 2011 年 4 月 220 kV 象创甲乙线 N79 塔因河堤坍塌, 引起杆塔基础移位, 导致杆塔横担折断, 造成供电中断; 2014 年 5 月, 受“5·11”持续强降雨影响, 500 kV 鹏深甲线 N37 等 57 基杆塔基础边坡出现不同程度塌方, 这样由于自然或人为因素导致杆塔边坡的失稳将对电网安全运行构成了重大威胁。当杆塔边坡失稳发生时, 必须建立相应的应急相应机制和管理机制, 降低突发灾害造成的人员伤亡、财产损失及环境破坏等(图 3 应急处治流程)。

1) 边坡发生破坏危及输电铁塔后, 边坡巡检人员应立即向公司有关部门人员及公司应急领导小组报告现场情况、日常巡维状况, 启动应急预案。

2) 公司应急领导小组成员及有关部门人员应立即赶往现场核实事故情况、规模, 是否可能进一步加重, 同时做出相应的现场应急措施; 必要时还应

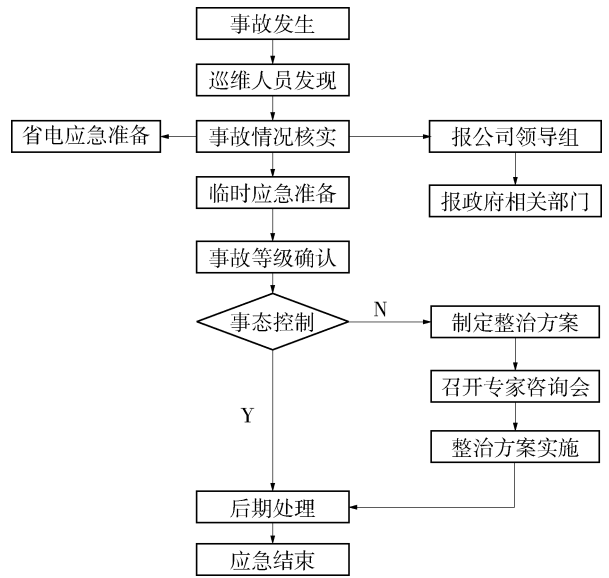


图 3 应急处治流程

Fig. 3 Emergency treatment process

向当地政府应急办、行业管理等部门报送。

3) 为控制事态进一步发展, 应急领导小组应迅速采取相关手段与措施, 并按照事态发展情况进行统一协调分配任务, 同时也可尽早联系相关机构做好应急抢险与救援工作。

4) 组织开展应急抢险救援、事故现场控制及边坡抢险及整治专家会议, 及时制订各类方案, 将事故损失降到最低, 同时避免二次事故的发生。

5) 做好事故后期的处理工作。

4 结论

本文结合边坡工程地质分析研究和层次分析法, 将边坡工程分级融入输电线路边坡风险分级工作中。根据长期的输电线路设计、运营、维护工作和实际调查综合考虑风险评估指标对边坡稳定性的影响, 能够实现输电线路边坡风险分级, 并提出相应的风险调控方案和分级管理措施, 对于输电线路边坡风险评估、风险管理及风险应对能力具有重要的实际意义。

本文基于边坡工程地质分析研究原理及结合实践经验, 从工程地质条件、气象水文、孕灾环境、工程对策等方面构建 4 类 12 个输电线路边坡风险评估指标体系, 并且明确各个指标的意义; 运用层次分析法确定各个指标权重, 针对 500 kV 鹏深甲(乙)线 34 级杆塔边坡进行风险等级划分, 并与实

际边坡现状相印证,能够简单、高效、合理的划分边坡风险等级;基于边坡风险分级,提出相应的风险管控对策和分级管理措施,并制定突发事件的应急响应程序,对提高输电线路边坡运营维护管理部门的风险应对能力、降低输电线路边坡风险有较大应用价值。

参考文献:

- [1] 何海鹰,胡甜,赵健.基于AHP的岩质高边坡风险评估指标体系[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(7):2861-2868.
HE H Y, HU T, ZHAO J. Risk assessment indexes system of high rock slope based on AHP [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43 (7): 2861-2868.
- [2] 王浩,林一夫,吴栋梁,等.复杂路堑高边坡病害治理效果模糊层次评价[J].工程地质学报,2014,22(5):936-943.
WANG H, LIN Y F, WU D L, et al. Fuzzy hierarchy analysis for treatment effect of complex cutting high slope disease [J]. Journal of Engineering Geology, 2014, 22 (5): 936-943.
- [3] 吴忠广,王海燕,陶连金,等.高速公路高边坡施工安全总体风险评估方法[J].中国安全科学学报,2014,24(12):124-129.
WU Z G, WANG H Y, TAO L J, et al. Method for general risk assessment of expressway high slope in construction safety [J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(12): 124-129.
- [4] 叶咸,陈华斌,吴铸,等.山区高速公路路堑高边坡工程施工安全总体风险评估技术探讨[J].公路,2018,63(3):42-47.
YE X, CHEN H B, WU Z, et al. Study of mountain highway cut slope engineering construction safety overall risk assessment techniques [J]. Highway, 2018, 63(3): 42-47.
- [5] 曾铁权,高立虎.公路路堑高边坡施工风险总体评估标准研究[J].中国标准化,2017(24):123-124.
ZENG T Q, GAO L H. Study on overall assessment standard of highway cutting high slope construction risk [J]. China Standardization, 2017(24): 123-124.
- [6] 孟续峰.山区公路高陡边坡工程施工安全风险评估分析[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(6):125-126.

MENG X F. Construction safety risk assessment of high steep slope engineering in mountainous area [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Applied Technology Version), 2016, 12(6): 125-126.

- [7] 张建伟,廖小平,魏土荣.高速公路运营期高边坡安全风险评估体系研究[J].路基工程,2015,6(44):193-203.
ZHANG J W, LIAO X P, WEI T R. Study on safety risk assessment system for high slope of highway in operation [J]. Subgrade Engineering, 2015, 6(44): 193-203.
- [8] 吴忠广,申瑞君,万福茂,等.岩质高边坡运营安全风险源辨识方法[J].公路交通科技,2018,35(3):8-15+27.
WU Z G, SHEN R J, WAN F M, et al. A method for identifying operation safety risk source of rocky high slope [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35(3): 8-15 +27.

作者简介:



LIU B C

刘丙财

1982-,男,广东河源人,工程师,工学硕士,主要从事输电线路运维管理及新技术研究与应用(e-mail)153535591@qq.com。

詹晓强

1993-,男,福建龙岩人,地质工程专业硕士,主要从事边坡方面的研究工作(e-mail)867564800@qq.com。

戴旭明(通信作者)

1981-,男,重庆市人,高级工程师,工学硕士,主要从事岩土工程勘察与设计工作(e-mail)daixuming@126.com。

赵小盘

1990-,男,安徽砀山人,高级工程师,硕士,主要从事输电线路运行与维护(e-mail)158264590@qq.com。

黄浩

1975-,男,广东东莞人,工程师,学士,主要从事输电线路运维工作(e-mail)289519823@qq.com。

(责任编辑 李辉)