维普资讯 http://www.cqvip.com

以地貌单元划分线路工程地质灾害危险性评估区段的可行性分析

——以三门峡电厂～洛阳牡丹变 500 kV 输电线路工程为例

宋红伟，赵东力，姬道新，郭艳凤，靳卢芳
（河南省地球物理工程勘察院，河南 新乡 453000）

［摘 要］ 线路工程的地质灾害危险性评估有其自身的特点。通过三门峡电厂～洛阳牡丹变 500 kV 输电线路工程评估实例，重点分析了以地貌单元划分线路工程地质灾害危险性评估区段的可行性，并提出了相应注意事项。

［关键词］ 地貌单元；线路工程；评估区段；注意事项
［中图分类号］ X144 ［文献标识码］ B ［文章编号］ 1004－1184(2007)02－0115－03

0 工程概况

三门峡电厂～洛阳牡丹变 500 kV 输电线路工程，是由三门峡电厂向南出线，跨过 209 国道和陇海铁路后转角向东，跨越 220 kV 紫五Ⅱ回线后平行 220 kV 五高Ⅰ回线走线，经曲村南，在柳林村北跨越苍龙涧河，经瑶头村北，在桃王村南跨越青龙涧河，在太阳村东右转离开 220 kV 五高Ⅰ回线，之后经赵原村南，在上店村南跨越 249 省道继续向东走线，经邓家村北，杨村北，苏屯北，在秦村南跨越 220 kV 龙高线和九五线，在下三里村东跨越310 国道，接着跨越涧河和陇海铁路至刘家坑村东，经后洼村东，在范家坑村东南跨越连霍高速公路，经田家坡村西，樱桃沟村东经董菊园村东进入洛阳牡丹变。

据统计，沿线跨越 209、310 国道各 1 次，高速公路 2 次（其中规划 1 次），铁路 3 次（其中规划 1 次），220 kV 线路 6 次，110kV 线路 11 次。全线采用同塔双回架设，线路全长 144 km，共设立铁塔 327 基，其中直线自立塔 284 基，占 86.9%；耐张转角塔 43 基，占 13.1%，平均 2.29 基/km。根据不同的地质环境条件，结合线塔自身对基础类型的要求，该工程采用了六类塔基：插入式全开挖基础、岩石锚桩基础、全掏挖基础、斜柱式全开挖基础、直柱式全开挖基础和钻孔灌注桩基础。

1 线路工程及其地质灾害危险性评估的特点

在所有的地质灾害评估项目中，线路工程以其走径长、容易跨越不同地质地貌单元、水文及工程地质分区甚至不同的气候带而显得较为复杂，又因与其它线路工程交叉或毗邻其它非线路工程面临地质灾害的共同防治而备受学界关注。

常见的线路工程类型有公路、铁路、运河（如南水北调）、工业管道（如西气东输）、输电线路、通讯线路等，因其工程特点不同，在具体的评估事项中采用的评估策略应该有所差异，但线路工程的评估仍然具有一些共同的特征；根据国土资发〔2004〕69 号文及附件 1《地质灾害危险性评估技术要求（试行）》（以下简称《技术要求》），结合地质灾害危险性评估工作实际，可以简单地概括如下：

1.1 确定评估级别的额外原则

通常，线路工程作为国家的经济命脉，一旦遭受破坏，造成的后果和损失十分严重，因此其项目重要性级别较高，一般为重要或较重要建设项目；另一方面，线路工程沿线不同区段地质环境条件变化不一，其复杂程度可简单可中等可复杂，按照通常的判定，不同区段评估级别不同，但整个工程评估级别的确定，采取“就高不就低”的原则，以地质环境条件复杂

［收稿日期］ 2006－11－21
［作者简介］ 宋红伟（1972－），男，河南新乡人，工程师，主要从事地质矿产、地质灾害勘查工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

程度高的区段来判定整个线路工程的评估级别，因而一般该类评估项目评估级别较高。

1.2 确定评估范围的双重限制

按照《技术要求》的规定，崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝按其灾害发育特点及对线路工程危害特征的不同，应该各个圈定其评估范围；但对于重要的线路工程建设项目，又作出了评估范围一般应以相对线路两侧扩展 500～1 000m 为限的规定。实际操作中，划定的评估范围必须同时考虑以上两个方面的要求，但主要是针对泥石流、地面沉降和地裂缝而言。

1.3 增加不良工程地质问题作为评估灾种

线路工程容易遇到六大灾种以外的其它灾害，如沙埋、塌岸、黄土湿陷、黄土陷穴、膨胀土、砂土液化、红粘土和冻土。根据现场实际，应当增加调查灾种，为岩土工程勘查及地基处理提供地质灾害学方面的信息，避免工程建设完毕或投入运营后引发并遭受新的地质灾害。

1.4 划分多个区段进行评估

划分区段是因为不同区段地质环境条件不同，发育的地质灾害类型不同，可以根据资料分析结果有目的地调查现状条件下地质灾害的发育情况，进行现状评估。通过区段划分，便于分析各地质环境因素对致灾地质作用形成和发育所起的作用、性质，更容易划分出主导地质环境因素、从属地质环境因素和激发因素，为预测评估提供依据。最终在现状评估和预测评估的基础上，进行综合评估。这并非线路工程独有的，面状工程同样会遇到这一问题，只不过线路工程问题更突出。关键是如何合理地划分区段，本文提出以地貌单元来划分区段，并论述了其可行性，具体见第三节。

1.5 基本防治方针与共同防治

线路工程的防治，应在选择线路走径时即纳入考虑范畴，从备选的多条线路中选择地质环境条件简单的线路，或绕开地质环境条件特别复杂的区段，同时，对沿线灾害易发区段及重要单项工程进行重点防治，对于输电线路工程，要特别注意塔基的选择，远离不稳定的高陡斜坡，避免设立在沟谷底部，充分贯彻“以防为主，避让与治理相结合”的方针。

对于线路工程与其它线路工程交叉或毗邻其它非线路工程，因而面临的地质灾害共同防治问题，因项目建设属于不同单位，建设时间不同且涉及到不同单位的经济利益，共同防治的先例不多，但这却是避免重复建设，“少花钱、多办事”的一个值得关注的课题。

2 以地貌单元划分评估区段的可行性

2.1 地貌与地质构造、水文地质、工程地质等条件的联系

地质环境条件，包括地质灾害发育程度，地形与地貌类型复杂程度，地质构造条件、岩性及岩土体工程地质性质，工程地质、水文地质条件及破坏环境的人类工程活动五个方面。其中地质灾害发育程度可以涵盖在评估的范畴，地形与地貌类型复杂程度是划分的依据，破坏环境的人类工程活动是人为因素，所以，如果找到地质构造条件、岩性及岩土体工程地质性质，工程地质、水文地质条件与地貌单元的划分存在某种形式的联系，也便从理论上找到了命题成立的依据。

首先，根据现代地貌学的研究成果，地貌形成的物质基础是岩石和地质构造，而地貌形成的动力来自地球内、外营力的相互作用。地貌的分类在一定程度上反映了该地域的地质构造条件，根据其所受地质作用的特点，又可大致分析其地质灾害的类型及发育特征。

其次，地质地貌条件是一个地区地下水活动的重要背景。在山区，地质构造对地下水往往起着主要控制作用，一定的地质构造与岩性组合，构成一定的含水系统；在平原，地下水的形成和分布主要受第四纪沉积物的成分、分选性及岩性结构的控制。另外地貌对地下水的补给、径流、排泄及水量、水质的变化也有影响。水文地质条件与地质地貌条件具有密切的关系，这也是水文地质调查必须进行地质地貌研究的原因所在。

第三，工程地质条件是一个综合概念，包括岩土类型及其工程性质、地质结构、地貌、水文地质、工程动力地质作用和天然建筑材料等多个方面。线路工程的工程地质条件，属于区域工程地质研究的范畴，即按工程地质条件进行区划。而不同的工程地质条件，归根结底是由其不同的地质条件决定的。工程地质分区，就是在地貌分区的基础上，根据区域稳定性及岩土体类型划定的。

不管是影响地貌的形成，还是受地貌的影响和控制，地貌与地质构造、水文地质及工程地质诸多条件具有一定的约束关系，这种约束即为以地貌单元划分地质灾害危险性评估区段的理论依据。

2.2 实际应用

三门峡电厂—洛阳牡丹变 500 kV 输电线路工程

维普资讯 http://www.cqvip.com

地质灾害危险性评估项目，即在上述命题基础之上，根据线路走径所跨越的地貌类型不同（图1），将评估区划分成5个评估区段：① 三门峡电厂—陇海铁路段；② 陇海铁路—上点段；③ 上点—鬼门关段；④ 鬼门关—洛阳牡丹变段；⑤ 涧河冲积河谷平原段（下山里—礼河沟段，此处直接以地貌名字命名）。需要说明的是，涧河冲积河谷平原段实际上将鬼门关—洛阳牡丹变段一分为二，但因两侧地貌特征完全一致，且涧河冲洪积平原段范围很小，故未进一步作划分。将根据地貌单元划分的评估区段与地下水类型及富水性分区（图2）和区域工程地质图（图3）对比，很容易发现三者之间的划分基本吻合。



图1 地貌分区图

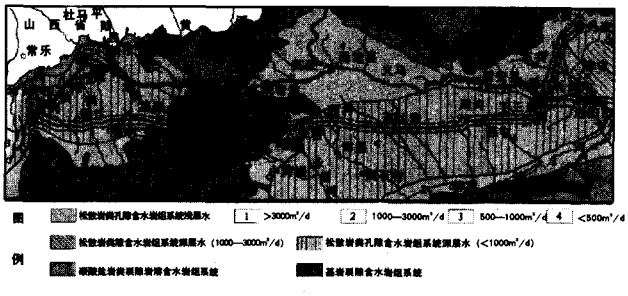


图2 地下水类型及富水性分区图

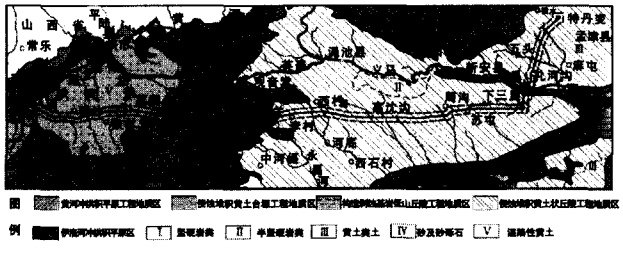


图3 区域工程地质图

2.2.1 不同区段的地质构造、水文地质及工程地质特征

（1）三门峡电厂—陇海铁路段

地貌类型为黄河冲洪积平原，地势平坦，有少量冲沟发育，出露地层为上更新统淡黄色粉土和粉质粘土层，具有大孔隙和直立节理，下部有中、下更新统湖—河相和洪积相的砂砾层和厚层卵砾石层存在，含水性和导水性良好，地下水类型为松散岩类孔隙水，富水等级为中等富水，涌水量500～1 000 m^3/d，为该区域主要集中供水水源地；上部上更新统之淡黄色粉土和粉质粘土层自重湿陷性黄土或非自重湿陷性黄土，湿陷等级Ⅱ～Ⅲ级，地基承载力160 kPa。地下水位埋藏深度达82 m，对工程无影响，地面上残留有旧式“地坑院”民居，影响深度约5 m，应注意避让。

（2）陇海铁路～上点段

地貌类型为侵蚀堆积黄土台塬，由第四系中、上更新统黄土构成，下伏地层为新近系红色粘土岩，局部为砂砾岩。塬之地面较平坦，该线路工程跨越董家塬、张汴塬、张村塬、赵塬等多个黄土塬及梁、峁；黄土冲沟比较发育，跨越主要沟谷有五原沟、苍龙涧和青龙涧等沟壑区。该段大部分没有良好的含水层，其中的结核层及局部砂砾层，含不均匀的孔隙水（为松散岩类孔隙水），多以潜水和悬挂水的形式出现，但富水性差，一般涌水量小于500 m^3/d，且地下水位埋深较大多大于40 m，开采价值较低；地面由离石黄土（Q_2l）和马兰黄土（Q_3m）组成，二者均为自重湿陷性黄土，湿陷等级Ⅱ～Ⅲ级，厚15 m左右，地基承载力160 kPa。该区段之台塬地面平坦，但冲沟发育，侵蚀强度大，沟壑呈带状或树枝状，地形破碎，在沟壑区及其周边一带易发生崩塌、滑坡等不良物理地质现象。

（3）上点—鬼门关段

地貌类型为基岩构造剥蚀低山丘陵。地层主要为中元古界火山岩。构造活动较强烈，地面以风化剥蚀作用为主，流水侵蚀作用也占一定地位，形成高低差异较大的低山和丘陵地貌，植被一般比较发育。沟谷下部一般有残留的淡黄色黄土和卵砾石等松散堆积物，部分沟谷泥石流较为发育；该段属基岩裂隙水分布区，富水性差而不均，涌水量一般小于500 m^3/d，开发价值较低，地下水径流模数小于5×10^4 $m^3/a\cdot km^2$，多为分散开采，一般未见地下水露头；该段工程地质特征根据地貌进一步划为两个分区：①基岩构造剥蚀低山工程地质区（上店—宫前）—出露地层主要为中元古界鸡蛋坪组（Pt_2j）之安山玢岩、玄武玢岩、英安岩等，岩石坚硬块状，完整性好，形成陡峻的山地地貌，岩石裸露风化残层薄，岩体之构造裂隙及原生裂隙较发育。该区发育泥石流地质灾害，多能采取避让措施避开。②基岩丘陵工程地质区（宫前—鬼门关）—出露地层主要由中元古界马家河组（Pt_2m）之安山玢岩、英安岩、玄武岩和沉积碎屑岩等，岩石破碎，完整性差，其碎屑岩中之砂岩地基承载力特征值为300 kPa，因而形成较低矮的丘陵，较少出现陡壁和危岩，沟谷发育，具有形成泥石流

（下转第127页）

维普资讯 http://www.cqvip.com

要使垫层消纳土体冻胀量，应使垫层孔隙体体积大于土体冻胀量，即应 $Vv' \geqslant H$ 或者 $n' \cdot H' \geqslant n\ Sr\ H_1 r_w 4℃(1+0.09)$。

则垫层厚度应满足下式：

$$H' \geqslant n\ Sr\ H_1 r_w 4℃(1+0.09)/n' \quad (11)$$

式中：H'—垫层厚度；n'—垫层孔隙率。

这就得出了垫层设计厚度计算的理论公式。可以看出，当土体饱和度 $Sr=1$，$r_w 4℃=1$，则可以得到垫层设计厚度计算的理论公式如下：

$$H' \geqslant n\ SrH_1(1+0.09)/n'$$

也就是说，对于饱和土，孔隙水结冰而膨胀的体积被垫层的孔隙消除，疏导了对衬砌体的冻胀力。

总之，通过抵抗与削减相结合的方法，使渠道衬砌体的冻胀破坏问题得到了有效解决。

3 结论

在认真分析冻胀机理的基础上，首先合理地削减部分冻胀量，再在理论研究的基础上，通过冻胀力计算模型，分别计算出渠道横断面上不同电位的冻胀力值，并合理地计算选定混凝土强度，计算确定砌体结构形式和尺寸（对应于冻胀力值的衬砌厚度），是理智的，而不是盲目的将渠道衬砌体冻胀破坏这一难题予以解决，实践证明，也是可行的。

（上接第117页） 的条件，为泥石流之物源区和流通区之上部，历史上曾出现泥石流并造成灾害。支沟底部地下水埋藏深度 5～10 m，较大沟谷地下水位埋藏深度更浅。

(4)鬼门关—洛阳牡丹变段

地貌类型属侵蚀堆积黄土状土丘陵，在水流侵蚀作用下形成诸多冲沟。岩性以中更新统棕红色黄土状土为主，下伏地层多为新近系红色砂质粘土岩和砂、砾岩及钙质层。丘陵多呈浑圆形，与冲沟相间呈带状分布。该区黄土状土之黄土特征不明显，但沟谷中可见残留有部分冲洪积黄土；该地下水类型为孔隙水，下部新近系为其主要含水层，富水性差而不均，涌水量小于 500 m^3/d，地下水位埋藏较深，一般大于 40 m，在沟谷中地下水位埋深较浅，一般 3 m；冲沟侵蚀切割深度 60～120 m，上部为棕红色黄土状粉质粘土，易碎裂，含钙质结核，但一般不形成直立陡壁地貌。中下部有似残留阶地状之黄土地貌，其黄土呈淡黄色，具大孔隙和直立节理特征，多形成陡壁地貌，并具有湿陷性特征。冲沟切割深处可见黄土状土下伏新近系红色砂质粘土岩和砂、砾岩及钙质层等，地下水位一般埋藏较深 10～33 m，不影响工程建设，但在沟谷中地下水位埋藏浅，小于 3 m 则应予以重视。

(5)涧河冲洪积河谷平原段

从下三里至礼河沟，由河床、河漫滩和阶地构成，为河流冲积地貌。阶地地势平坦，地层为二元结构，上部为粉质粘土、粉土及砂，下部为砂卵石层。河漫滩高出河流正常水位 1～2 m，为粉质粘土、粉砂等，低漫滩则为砂砾石等；涧河冲洪积平原与伊洛河平原相连，含水层为下、中更新统的巨厚砂砾石层，地下水类型为松散岩类孔隙水，其富水性强至中等，单井涌水量 1 000～3 000 m^3/d；上部黄土层 3～8 m，下部为砂砾石层。河床、河漫滩由松散粉质粘土、砂及卵石组成。地下水位与河水位持平为浅埋区。

2.2.2 注意事项

(1)地貌的概念具有相对等级，作为线路工程划分评估区段依据的应是中型和小型地貌，微地貌只在具体灾害点的评估中具有价值。

(2)以地貌单元划分的地质灾害危险性评估区段，只是一种概略划分，根据其它地质环境因素还应作进一步细分。比如上点～鬼门关段，又根据工程地质条件差别较大，进一步划分为上点～宫前（基岩构造剥蚀低山）和宫前～鬼门关段（基岩丘陵）。

3 结论

以地貌单元划分地质灾害危险性评估区段，主要是针对线路工程走径长，地质环境条件复杂多变，为便于根据实际情况分别评估、区别防治提出的一种划分依据，其适用条件是“跨越多个地貌单元”，这在一般线路工程中是必然碰到的问题。使用这一划分依据进行划分时，要注意不能简单地以地貌特征的分析替代其它地质环境条件的分析。

参考文献

[1] 地质灾害危险性评估技术要求（试行）[S]. 国土资发〔2004〕69 号文. 北京：2004.

[2] 杜恒俭，陈华慧，等. 地貌学及第四纪地质学[M]，北京：地质出版社，1979.

[3] 三门峡电厂～洛阳牡丹变 500 kV 输电线路工程建设地质灾害危险性评估报告[R]. 河南省地球物理工程勘察院，2005.