

道路工程中地质灾害危险性评估

——以京开高速公路（辛立村收费站~市界段）为例

何维彬¹，朱志刚²，陈国华²

（1 北京市路政局门头沟公路分局，北京 102300；2 北京市勘察设计研究院有限公司，北京 100038）

摘 要：道路工程一般多跨越不同的微地貌单元，岩土体和地下水类型存在差异，地质灾害的类型和危害程度也不尽相同。文章以京开高速公路（辛立村收费站~市界段）为例，对道路工程的地质灾害危险性的现状评估、预测评估和综合评估工作进行了详细的阐述，并对该类型的地质灾害评估工作提出了建议。

关键词：地质灾害；危险性评估；高速公路

中图分类号：P642

文献标识码：A

文章编号：1006-7973（2009）06-0182-02

一、引言

道路工程一般线路较长，可能跨越多个微地貌单元，场地地质构造多较为复杂，建设用地的地基土的物理力学性质和地下水类型存在差异，不可避免的要受到地质环境条件的限制和地质灾害的影响。线路工程，特别是高等级的公路，与当地的经济发展具有密切的联系，一旦工程受损，损失将非常严重。因此，为保障道路工程的顺利实施和安全运营，有必要对其地质灾害的危险性进行评估。本文以京开高速公路（辛立村收费站~市界段）为例，按照《地质灾害危险性评估技术要求（试行）》^[1]（以下简称《技术要求》）和《北京市建设用地地质灾害危险性评估技术要求（暂行）》^[2]的规定，结合评估区地质环境条件、工程项目特征等，分析了工程可能存在的地质灾害类型，对道路工程建设用地地质灾害危险性的现状评估、预测评估和综合评估进行了分析，为道路工程地质灾害危险性评估工作提供参考。

二、工程概况及地质背景简介

1. 工程概况

拟建的京开高速公路（辛立村收费站~市界段）位于北京市大兴区榆垓镇，工程起点位于现状京开高速公路黄垓分离式立交桥，终点位于市界（永定河河道中间），路线总长度 8.791km。

2. 地质背景简介

拟建公路位于永定河冲洪积扇的下部，终点在永定河河床内，地形总体起伏较小。根据拟建道路建设场地的地层结构及其工程地质特性，可将评估区分为 2 个工程地质区（单元）^[3]（参见图 1），分界线在辛立村附近。一区地面下 46m 范围内分布有人工堆积层和第四系沉积层，赋存两层地下水，地下水类型为潜水和承压水；二区地面下分布有人工堆积层、新近沉积层和第四系沉积层，分布有一层地下水，类型为潜水。评估区松散沉积层的覆盖厚度约为 220~330m，下覆基岩主要为蓟县系硅质白云岩。线路穿越了呈北东走向的礼贤~牛堡屯

断裂，评估区位于地震动峰值加速度为 0.15g 区^[4]。

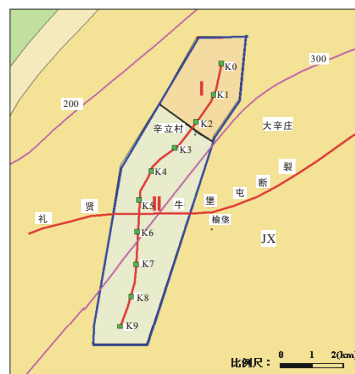


图 1 工程地质分区图

三、评估范围和灾害类型确定

建设用地地质灾害危险性评估范围的确定应根据项目的特点并考虑其所处区域的地壳稳定性和地质环境特点综合分析确定。本项目是重要的线路工程，参照《技术要求》，以相对线路两侧扩展 500m 为基础，在靠近沉降中心附近，适当的扩大评估范围；断裂的调查则延伸到建设用地外围 5km 范围，以满足地质灾害危险性评估的要求。

综合历史地质资料和现场地面测绘，评估区地处平原区，不具备崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷与地裂缝等地质灾害发生的地质环境条件，因此本次评估的重点灾害类型为地面沉降、砂土液化和活动断裂。

四、地质灾害危险性评估

1. 现状评估

现状评估师对未进行工程建设之前，评估区内已有的地质灾害危险性的评估，是一种相对静态的危险性评估^[5]，是在查明评估区内灾害类型、规模、分布范围、稳定性和承灾对象社会经济属性的基础上，对其危险性进行现状评估。

（1）砂土液化。按《公路工程抗震设计规范》^[6]的规定，采用标准贯入试验判别法对评估区内地下 20m 以内的砂土

收稿日期：2009-04-20

作者简介：何维彬（1974-），男，北京市路政局门头沟公路分局工程师，主要从事道路建设项目管理等相关工作。

和粉土进行液化判别。

相关计算公式为:

① 对于饱和砂土,修正标准贯入锤击数临界值可按下式进行计算:

$$N_c = 11.8(1 + 13.06 \frac{\sigma_o}{\sigma_c} K_h C_v)^{\frac{1}{2}} - 8.09$$

② 对于饱和亚砂土,修正标准贯入锤击数临界值可按下式进行计算:

$$N_c = \left[11.8(1 + 13.06 \frac{\sigma_o}{\sigma_c} K_h C_v)^{\frac{1}{2}} - 8.09 \right] \xi$$

式中: ξ ——粘粒含量 (P_c) 修正系数; $\xi = 1 - 0.17\sqrt{P_c}$; σ_o ——试验处总的上覆压力 (kPa),

$\sigma_o = \gamma_u d_w + \gamma_d (d_s - d_w)$; σ_e ——试验处有效覆盖压力 (kPa), $\sigma_e = \gamma_u d_w + (\gamma_d - 10)(d_s - d_w)$; γ_u ——地下水位以上土容重,对于砂土 $\gamma_u = 18.0$ (kN/m³),亚砂土 $\gamma_u = 18.5$ (kN/m³); γ_d ——地下水位以下土容重,对于砂土 $\gamma_d = 20.0$ (kN/m³);亚砂土 $\gamma_d = 20.5$ (kN/m³); d_s ——标贯点的深度 (m); d_w ——地下水位深度 (m); K_h ——水平地震系数,按中国地震动峰值加速度区划图,水平地震系数为 0.15,基本烈度相当于 7 度; C_v ——地震剪应力随深度的折减系数。

当实测的修正标准贯入锤击数 $N_1 < N_c$ 时,则判定为液化,否则为不液化,其中 $N_1 = C_n N_{63.5}$, $N_{63.5}$ ——实测的标准贯入锤击数; C_n ——修正系数。

通过初判和复判计算,在现状实测水位情况下,建设用地地基土层不液化,砂土液化的危险性为小。

(2) 地面沉降。北京地区从上世纪 50 年代开始出现地面沉降,根据收集到在沉降资料显示,评估区位于北京市大兴榆堡~礼贤地面沉降的西边缘,截止 2007 年,评估区累计沉降量约为 630~700mm,沉降量由西向东方向增加,年沉降速率为 12.11~13.46mm/a,建设场地累计沉降量约为 650~680mm;现场调查也发现,评估区及周边地区部分村庄的低层民房存在房屋开裂的现象。由此可见,该地区地面沉降地质灾害已对本地区建(构)筑物造成了一定的影响,因此现状评估认为地面沉降地质灾害危险性为危险性中等。

(3) 活动断裂。拟建线路穿越了礼贤~牛堡屯断裂,该断裂是北京南部平原地区的一条主要控制性断裂,总体走向北东 30°,倾向南东,局部倾向北西,倾角 50°,为一正断层,但在东田阳一带第四纪时期表现为逆冲性质。该断裂 1960~1978 年 18 年间位错约 11mm,年变化速率 0.61mm/a。从本区历史地震看,自 1057 年在榆堡附近发生 6.75 级地震以来,本区及附近一直未发生 4.7 级以上的地震,微震活动次数也不多,说明礼贤~牛堡屯断裂在本场地区区域段第四纪全新世以来虽有继承性活动,但活动强度较弱。

评估区所处地区地震烈度为 7 度,满足《建筑抗震设计规范》^[7]规定的抗震设防烈度小于 8 度时,可以忽略活动断裂错动对地面工程影响的条件,加之断裂所在地区的土层覆盖厚度在 220~330m 之间,因此现状评估认为活动断裂的危险性为危险性小。

2. 预测评估

地质灾害危险性预测评估具有一定的动态性特点,主要从以下两个方面展开评估:

(1) 工程建设可能引发、加剧地质灾害的危险性评估。根据现状地质灾害产生的机理和发生条件,结合工程建设的特性,高速公路的修建虽会进行挖方、填方等工程施工,但不会对地形地貌和地质环境条件产生较大的影响,因此不会引发新的地质灾害或加剧已有地质灾害,因此引发、加剧地质灾害危险性小。

(2) 工程建设可能遭受地质灾害危险性预测。工程建设遭受的地质灾害包括原有存在的地质灾害,也包括工程建设诱发的新的灾害体。拟建高速公路建设不会引发新的地质灾害,可能遭受的地质灾害仍为地面沉降、砂土液化和活动断裂。现状评估表明可以忽略活动断裂错动对地面工程影响,因此预测工程建设遭受活动断裂地质灾害的危险性小。

① 砂土液化预测评估。根据已有资料显示,虽该地区现状水位埋藏较深,一般在 14m 以下^[3],但建设场地历史最高水位可接近地面,因此预测评估时,地下水位统一按照埋深 0.5m 计算,其结果表明建设用地地基土在水位埋深 0.5m 的不利条件下将发生液化。

《公路工程抗震设计规范》中,未对砂土液化指数计算方法作相关规定,因此本次评估中参照了《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)^[7]中砂土液化等级判别指标的计算方法,得到液化指数为 0.18~11.85,综合判别该地区液化等级为中等,建设场地遭受砂土液化危险性为中等。

② 地面沉降预测评估。地面沉降的发生、发展与人类活动密切相关,拟建高速公路所在地区地下水资源的大量开采是地面沉降的发生和发展的主要诱因。评估区及其附近区域居民生活和农业用水主要依靠自备井,现场调查时发现,线路沿线涉及的 10 余个村庄中,共有自备井约 112 眼左右,近几年受人口增长和大气降雨量减少的影响,地下水开采量仍不断增加,造成地面沉降不断加大。道路工程涉及的区域较大,预测评估计算沉降量时,选取了 3 个较有代表性的钻孔(深度一般为 150m~200m)进行地层模型概化,计算结果表明线路建设用地未来 5 年年沉降速率约为 20.0mm,累加现状已有的沉降量,建设用地最大累计沉降量在 5 年后将达到 780mm,因此建设用地遭受地面沉降地质灾害的危险性为中等。

3. 综合评估

综合评估是根据现状评估和预测评估结果,综合评估建设用地的地质灾害危害程度,并作出适宜性评价。高速公路为不可移动的永久性建筑,一旦所在区域有地质灾害发生,其受地质灾害的影响机率是 100%,而且其破坏造成的社会影响和经济损失均比较大,因此从工程安全的角度考虑,综合评估采取就大原则。综合评估认为拟建高速公路建设用地地质灾害危险性等级为中等,从地质灾害危险性评估角度,认为建设场地适宜性为基本适宜。

五、防治措施

针对已有地质灾害建议采取如下工程防治措施:

(1) 地面沉降的防治措施。预先对可能发生的地面沉降量作充分考虑,道路修建特别是涉及到桥 (下转 192)

$$C' = C \square W = (C'_1, C'_2, \dots, C'_8) = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_8 \\ w_1 C_{11} & w_2 C_{12} & \dots & w_8 C_{18} \\ w_1 C_{21} & w_2 C_{22} & \dots & w_8 C_{28} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 C_{n2} & w_2 C_{n2} & \dots & w_8 C_{n8} \end{bmatrix} \quad (4)$$

各换乘枢纽点与理想换乘点关联度用夹角余弦和模数来表示: 将每个换乘枢纽看成一个行向量, 则每个换乘枢纽 A_i 与理想换乘枢纽 A_0 之间的夹角 θ_i 为灰色关联投影角, 夹角余弦为

$$w_i = \frac{C'_i \square C'_0}{\|C'_i\| \|C'_0\|} = \frac{\sum_{j=1}^8 W_j C_{ij} \square W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^8 [W_j C_{ij}]^2} \sqrt{\sum_{j=1}^8 W_j^2}} \quad (5)$$

决策方案 A_i 的模数 d_i 可按下式计算:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^8 [w_j C_{ij}]^2} \quad (6)$$

称换乘枢纽 A_i 在理想换乘枢纽 A_0 上的投影值为灰色关联投影值 D_i , 计算公式为:

$$D_i = d_i \square w_i = \sqrt{\sum_{j=1}^8 [w_j C_{ij}]^2} \frac{\sum_{j=1}^8 W_j C_{ij} \square W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^8 [W_j C_{ij}]^2} \sqrt{\sum_{j=1}^8 W_j^2}} = \sum_{j=1}^8 C_{ij} \bar{w}_j \quad (7)$$

式中:

$$\bar{w}_j = \frac{w_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^8 [w_j]^2}} \quad (8)$$

\bar{w}_j 为灰色关联投影权值。

通过上述分析得知: 若要使换乘枢纽 A_i 接近理想换乘枢

纽 A_0 , 则不仅要求 A_i 与 A_0 的交角要小, 而且模的大小要相近。夹角余弦越大, 表示换乘枢纽 A_i 与理想换乘枢纽 A_0 之间的变化方向愈一致, 当夹角余弦为 0, 换乘枢纽与理想枢纽的模接近时, 表明该场址已为最佳枢纽场址。因此将模数的大小与夹角余弦的大小相结合, 就可以全面准确地反映各换乘枢纽与理想换乘枢纽之间的接近程度。

经过上述步骤分析计算后, 就可以得到各换乘枢纽投影值。根据这些投影值的大小来确定或调整公共交通换乘枢纽的选址, 从而进一步优化公共交通换乘枢纽布局衔接及组织管理, 提高换乘枢纽的综合服务水平。

三、结语

本文针对目前比较常用的选址方法, 通过分析其各自特点, 并在充分考虑定性和定量因素影响的条件下, 提出了枢纽规划的新思路, 即: 先通过交通配流法选择枢纽的初步备选场址, 利用运筹学模型确定备选枢纽, 在此基础上结合层次分析法, 建立枢纽选址的评价体系, 确定评选指标, 最后运用灰加权关联度方法确定枢纽选址的最佳方案。该思路为城市规划和建设部门在建设综合公共交通体系时, 提供一种比较可行的选址方法, 其在实际应用中有待进一步完善。

参考文献

- [1] 吕慎, 田 锋. 城市综合客运换乘枢纽选址模型研究[J]. 深圳大学学报理工版, 2007, 24 (2).
- [2] 胡列格, 刘中, 杨 明. 交通枢纽与港站[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005. 105 - 114.
- [3] 刘灿齐. 现代交通规划[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001. 357 - 368.
- [4] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [5] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. 84 - 113.
- [6] 郭晓芬. 基于灰加权关联度的公路主枢纽站场布局决策方法[J]. 中国公路学报, 1997, 10 (3) 83 - 88.

(上接 183) 梁工程时, 应当选择对地面沉降不敏感的基础和上部结构型式。

(2) 砂土液化的防治措施。在详细查明地基土中液化土层的分布范围基础上, 对存在液化的土层采取部分消除液化沉降的措施, 如加密法加固、用非液化土替换液化土层等, 或对基础和上部结构进行处理, 从而消除地震液化对工程建设的影响。

六、结语

(1) 高速公路一般线路较长, 且多跨越不同的微地貌单元, 岩土体和地下水类型存在差异, 在建设用地地质环境条件分析时, 可根据实际情况分区讨论。

(2) 地质灾害的危险性评估应当在充分考虑灾害体本身的规模、稳定性的基础上, 结合承灾对象的属性进行综合性的评估。

(3) 危险性评估需考虑高速公路遭遇灾害产生的社会影响和经济损失, 目前对此还没有界定的标准, 评估中存在许多人为因素, 因此在工作中应当充分的分析、比较和调查,

以保证评估结论的客观性。

参考文献

- [1] 《地质灾害危害文献危险性评估技术要求 (试行)》, (国土资源部 2004)。
- [2] 北京市建设用地地质灾害危险性评估技术要求 (暂行)》, 北京市国土资源和房屋管理局. 2001.
- [3] 北京市勘察设计院有限公司. 京开高速公路(辛立村收费站~市界段)工程建设场地地质灾害危险性评估报告 [R]. 2008.
- [4] GB18306-2001 中国地震动参数区划图[S].
- [5] 陈君. 公路建设用地地质灾害危险性评估实践与认识——以湖北襄十高速公路襄武段为例. 中国地质灾害与防治学报, 2001 年第 1 期, P67 - 70.
- [6] JTJ004-89. 公路工程抗震设计规范. [S].
- [7] GB50011-2001. 建筑抗震设计规范. [S].