

郑州市轨道交通2号线地质灾害危险性评估^{*}

贺为民^{1,2}

(1. 中国地震局地球物理研究所博士后流动站, 北京 100081; 2. 中国地震局地球物理勘探中心博士后工作站, 河南 郑州 450002)

摘要:通过野外调查和勘察,认为郑州市轨道交通2号线沿线地形简单,工程地质条件和水文地质条件较差,破坏地质环境的人类工程活动较强烈。在采用Peck公式计算盾构施工地表沉降量、采用瑞典条分法计算车站深基坑边坡稳定性安全系数、采用分层总和法计算车站深基坑降水地面沉降量的基础上,对整个轨道交通工程中各个分项工程分灾种进行了地质灾害危险性预测评估。采用表格分析法对评估区地质灾害危险性进行综合评估,将评估区划分为地质灾害危险性中等区和小区。指出边坡失稳、地面塌陷、地面沉降等主要灾害皆为在轨道交通工程建设施工过程中可能产生的地质灾害,因此要特别重视工程施工过程中的质量和安全管理,预防和避免因不合理工程活动引发地质灾害。

关键词:地质灾害; 预测评估; 综合评估; 轨道交通; 郑州市

中图分类号: P642.22; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)02-0034-06

《国务院关于加强地质灾害防治工作的决定》明确指出,在地质灾害易发区内进行工程建设,要严格按照规定开展地质灾害危险性评估^[1]。我国自2000年开展地质灾害危险性评估以来,针对城市轨道交通建设场地地质灾害危险性评估工作已有少量研究结果^[2-5]。然而,我国幅员辽阔,各地地质环境条件差异很大,因而其地质灾害类型和危险性评估途径也有差异。因此,本文以郑州市轨道交通2号线建设场地地质灾害危险性评估为例,研究黄河冲洪积平原区城市轨道交通建设场地地质危险性评估方法和途径。

1 工程概况与评估范围

郑州市轨道交通2号线线路全长为27.7 km,其中高架线路里程为右AK0+000~右AK9+430,地下线路里程为右AK9+430~右AK27+700(图1)。高架线路设高架车站6座。地下线路区间采用双线单圆隧道,两线中心距离一般为13 m,隧道底板埋深一般为15~24 m,隧道直径为6.0 m,拟采用盾构法施工。地下线路设地下车站15座,基坑开挖深度为16~22 m,主要采用明挖法施工。全线设停车场和车辆段各1座,其中出入段线、牵引线、试车线等路基填土高度为3~4 m。

郑州市轨道交通2号线工程为重要建设项目,地质灾害危险性评估级别为一级。根据该工程特点、地质环境条件和地质灾害危险性来源范围,确定评估区范围以线路两侧外扩100 m为界。

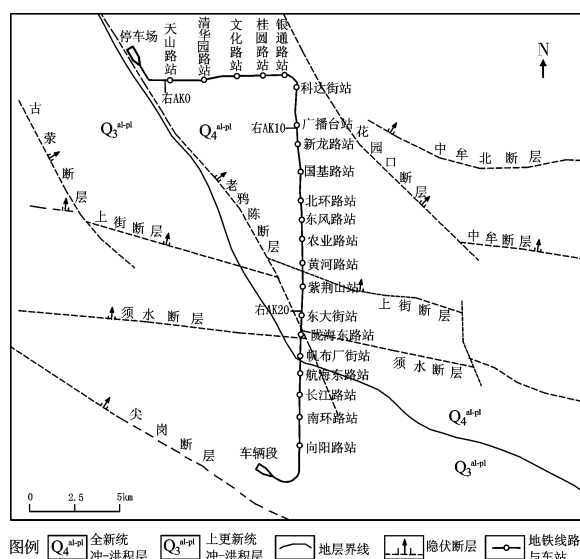


图1 轨道交通线路与地质构造图

2 地质环境条件

2.1 气象

评估区位于北温带大陆性季风气候区。历年平均气温为14.4℃,平均月最高气温为20℃,平均月最低气温为9℃,绝对最高气温为43.0℃,绝对最低气温为-17.9℃。

近50年以来,评估区年最大降水量为1041.3 mm,年最小降水量为349.3 mm;日最大降水量为214 mm。降水多集中在7~9月,占全年降水量的

^{*} 收稿日期: 2012-08-17 修回日期: 2012-09-20

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划项目(XH12068)

作者简介: 贺为民(1965-),男,河南洛宁人,高级工程师,在读博士后,主要从事地震地质灾害和岩土工程勘察、评价和防治工作。E-mail: wmhe65@163.com

55%。多年平均蒸发量为 1 853.2 mm。

2.2 水文

评估区穿越贾鲁河、熊耳河、金水河等河流, 这些河流是郑州市主要的泄洪排涝河道。其中贾鲁河全长为 247 km, 最大流量为 400 m³/s; 金水河全长为 28.2 km, 最大排洪量为 240 m³/s; 熊耳河全长为 21.4 km, 最大排洪量为 150 m³/s。

2.3 地形地貌

评估区位于黄河冲洪积平原, 沿线地形西南高, 东北低, 地势总体上由西南向东北倾斜, 地面高程为 88.2~125.5 m, 全线路高差为 37.3 m。

2.4 地质构造

评估区及邻区被第四纪沉积物覆盖, 地质构造较复杂, 构造行迹以断裂为主, 均处于隐伏状态, 见图 1 和表 1。地震勘探等研究表明^[6-7], 老鸭陈断层、古荥断层、花园口断层、上街断层、中牟断层、中牟北断层和尖岗断层新近系以来已不活动; 须水断层新近系仍在活动, 但第四系以来已不活动。

表 1 断层基本特征

断层名称	长度/km	走向	倾向	断层性质
老鸭陈断层	50	北西	北东	正断层
古荥断层	16	北西	北东	正断层
花园口断层	19	北西	北东	正断层
尖岗断层	21	北西	北东	正断层
上街断层	120	东西	北	正断层
须水断层	40	东西	北	正断层
中牟断层	37	东西	北	正断层
中牟北断层	40	东西	北	正断层

2.5 工程地质条件

以图 1 中地层界线为界, 可将整个评估区划分为北部工程地质单元区和南部工程地质单元区。

北部工程地质单元区地表出露全新统冲洪积层(Q₄^{al-pl}), 下覆中更新统冲洪积层(Q₃^{al-pl})。以国基路站为例, 在 40 m 深度内岩土主要物理力学性质指标见表 2。

表 2 国基路站岩土主要物理力学性质指标

层号	岩性	地质年代	层顶埋深/m	天然容重/kN/m ³	压缩模量/MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	杂填土	Q ₄	0				
2	粉土	Q ₄	1.8	18.7	6.0	13	21
3	粉质粘土	Q ₄	3.0	18.9	3.0	20	13
4	粉土	Q ₄	3.5	18.9	5.6	12	20
5	粉土	Q ₄	6.8	19.2	7.0	15	22
6	粉土	Q ₄	10.5	19.4	7.5	16	22
7	粉质粘土	Q ₄	13.0	18.4	3.0	22	14
8	细砂	Q ₄	16.3		18.0	0	26
9	细砂	Q ₄	18.0		24.0	0	27
10	粉质粘土	Q ₃	26.8	19.7	8.0	28	19
11	粉砂	Q ₃	27.4		18.0	0	26
12	粉质粘土	Q ₃	31.5	19.2	9.5	30	18
13	粉土	Q ₃	38.5	19.6	14.0	17	23

南部工程地质单元区地表出露上更新统冲洪积层(Q₃^{al-pl}), 下覆中更新统冲洪积层(Q₃^{al-pl})。以南环路站为例, 在 40 m 深度内岩土主要物理力学性质指标见表 3。

表 3 南环路站岩土主要物理力学性质指标

层号	岩性	地质年代	层顶埋深/m	天然容重/kN/m ³	压缩模量/MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	杂填土	Q ₃	0				
2	粉土	Q ₃	1.0	19.9	7.1	16	22
3	粉砂	Q ₃	5.2		14.0	0	23
4	粉土	Q ₃	6.8	19.4	8.0	17	23
5	细砂	Q ₃	8.4		25.0	0	27
6	粉土	Q ₃	11.4	19.6	14.0	18	24
7	粉砂	Q ₃	12.3		24.0	0	25
8	粉土	Q ₂	16.4	20.1	16.0	17	26
9	粉质粘土	Q ₃	19.0	20.0	10.0	30	17
10	粉质粘土	Q ₃	26.2	19.9	9.6	21	19
11	粉质粘土	Q ₃	31.2	19.6	10.0	26	20
12	粉质粘土	Q ₂	39.5	19.8	11.0	24	24

2.6 水文地质条件

评估区浅层地下水(指深度 60 m 以内)以图 1 中地层界线为界, 北部为由砂土含水层为主的孔隙水, 为富水区, 单井涌水量为 1 000~3 000 m³/d, 具微承压性, 地下水水位埋深为 4.2~12 m。南部为由粘性土夹砂土含水层为主的孔隙、裂隙水, 单井涌水量为 500~1 000 m³/d, 为中等富水区, 地下水水位埋深为 16~22 m。

评估区浅层地下水主要接受大气降水入渗补给以及河流下渗、侧渗补给。排泄方式主要以人工开采、地下径流为主。

由于长期开采地下水, 目前已形成了郑州市地下水降落漏斗。在丰水期(8 月份), 呈现为两个降落漏斗区(市区漏斗和东郊漏斗); 而在枯水期(4 月份), 呈现为一个降落漏斗区。

2.7 人类工程活动对地质环境的影响

评估区穿越郑州商城遗址。郑州商城为商代前期王都, 距今约 3 500 年^[8]。

评估区穿越陇海铁路、京广铁路、连霍高速等重要交通干线。评估区地面建构物物和地下管线密集。

评估区长期城市建设改变了原始自然地形和工程地质、水文地质条件。郑州市轨道交通 2 号线工程建设将开挖近 20 km 浅埋双线隧道和 15 座地下车站深基坑。可见, 评估区内破坏地质环境的人类工程活动较强烈。

3 地质灾害危险性现状评估

通过野外调查和访问, 现状条件下, 评估区

内未发现地质灾害。根据地质灾害危险性分级标准^[9]，现状评估认为评估区地质灾害危险性小。

4 地质灾害危险性预测评估

根据地质灾害危险性评估技术要求^[9]，结合评估区地质环境条件和郑州市轨道交通 2 号线工程特点，确定本次评估的地质灾害类型为边坡失稳、地面塌陷和地面沉降。评估时将该工程划分为地下线路、高架线路、停车场、车辆段分项工程。其中地下线路又可分为区间隧道、北部地下车站和南部地下车站分项工程。根据地质灾害危险性分级标准^[9]，对各个分项工程分灾种进行地质灾害危险性预测评估。

4.1 边坡失稳

对本工程而言，边坡主要为深基坑边坡和填土路堤边坡，崩塌和滑坡灾害可归结为边坡失稳灾害来评估。

边坡稳定性安全系数采用瑞典条分法时，可按下式计算^[10]：

$$k_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (1)$$

式中： k_s 为边坡稳定性安全系数； R_i 为第 i 计算条块滑动面上的抗滑力， T_i 为第 i 计算条块滑体在滑动面切线上的反力。

地下车站深基坑不具备放坡开挖条件。以国基路站、东大街站和南环路站为例，采用瑞典条分法分别计算直立开挖不同深度时车站深基坑边坡稳定性安全系数见表 4。

由表 4 可知，国基路站、东大街站和南环路站等地下车站深基坑直立开挖时，自稳高度大约为 4 m。而地下车站深基坑开挖深度为 16 ~ 22 m，显然天然深基坑边坡稳定性极差。地下车站深基坑为永久性深基坑，开挖深度大，防治难度较大，对勘察、设计、施工要求高，但采用成熟的工程措施进行深基坑支护后可以取得良好的支护效果。因此，可以认为在地下车站深基坑施工期间，工程建设可能引发深基坑边坡失稳灾害危险性中等，工程建设可能遭受边坡失稳灾害危险性中等，评估区内建构筑物可能遭受边坡失稳灾害危险性中等。而在轨道交通建成后运行期间，工程建设可能引发和遭受边坡失稳灾害危险性小，评估区内建构筑物可能遭受边坡失稳灾害危险性小。

停车场和车辆段路基填土高度为 3 ~ 4 m，形成的路基边坡高度小，边坡稳定性易于控制。因此，可以认为在施工中和建成后，工程建设可能引发和遭受边坡失稳灾害危险性小。

表 4 深基坑边坡稳定性安全系数

开挖深度/m	边坡稳定性安全系数		
	国基路站	东大街站	南环路站
2	1.808	1.810	1.933
4	1.036	1.027	1.104
6	0.727	0.769	0.747
10	0.570	0.476	0.497
16	0.426	0.367	0.342
22		0.296	

4.2 地面塌陷

盾构法施工将引起隧道周围土体的松动和沉降，它直观表现为地表沉降、隆起和裂缝，受其影响隧道附近的建构筑物将产生变形、沉降或变位，甚至使建构筑物遭受破损或破坏^[11]。这对地质灾害危险性评估而言，属于地面塌陷灾害的范畴，而一般文献称为地表沉降。

盾构法施工引发的地面塌陷(地表沉降)主要是由盾构施工的地层损失和松动土体固结沉降引起的。研究表明^[12]，盾构法施工横向地表沉降曲线与 Peck 公式或一系列修正的 Peck 公式所给出的地表沉降曲线吻合较好，沉降曲线可近似为正态分布曲线。其中 Peck 横向分布公式为^[13]：

$$\delta(x) = \delta_{\max} \times \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right), \quad (2)$$

$$\delta_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \times i} \quad (3)$$

式中： $\delta(x)$ 为距中心横向距离为 x 处的沉降量； δ_{\max} 为地表最大沉降量； V_s 为沉降槽体积、也称地层损失量(推进每米)； x 为距隧道中心线的距离； i 为曲线反弯点的横坐标，也称沉降槽宽度系数。

以国基路站—北环路站区间和南环路站—向阳路站区间为例，隧道顶板埋深分别为 9.8 m 和 16.4 m。计算时，两条隧道开挖造成的横向地表沉降槽，可以认为是两条隧道单独开挖造成的沉降槽的叠加。盾构施工引发的横向地表沉降量计算结果见表 5。

表 5 盾构施工地表沉降量估算值

区间名称	地层损失率/%	地表最大沉降量/m	隧道中心沉降量/m
国基路站—北环路站	1	0.019	0.017
	2	0.039	0.035
	5	0.099	0.087
南环路站—向阳路站	1	0.017	0.015
	2	0.033	0.029
	5	0.083	0.074

依据我国的管理标准，将地层损失率限定在 5% 以内，将地表最大沉降量限定在 30 mm 以内^[14]。由表 5 可知，盾构施工中地层损失率为 5% 时，引发的地表最大沉降量达 83 ~ 99 mm，这时对路面和现有建构筑物(含铁路、地下市政管线设施

等)的不利影响较大;而严格施工时地层损失率可控制到 1%,这时对路面和现有建构筑物的不利影响较小。因此,可以认为在区间隧道施工期间,工程建设可能引发地面塌陷灾害危险性中等,工程建设可能遭受地面塌陷灾害危险性中等,评估区内建构筑物可能遭受地面塌陷灾害危险性中等。而在轨道交通建成后运行期间,工程建设可能引发和遭受地面塌陷灾害危险性小,评估区内建构筑物可能遭受地面塌陷灾害危险性小。

4.3 地面沉降

降水引起的地面沉降量可采用分层总和法,按下式计算^[15]:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P}{E_i} H_i \quad (4)$$

式中: S 为降水引起的地面总附加沉降量; S_i 为第 i 计算土层的附加沉降量; ΔP 为第 i 计算土层降水引起的附加荷载; E_i 为第 i 计算土层的压缩模量; H_i 为第 i 计算土层的土层厚度。

以国基路站、东大街站和南环路站为例,计算车站深基坑降水引发的地面沉降量见表 6。

表 6 基坑降水地面沉降量估算值

车站名称	天然水位 埋深/m	降水后水位 埋深/m	附加沉降量/m
国基路站	6.1	17.5	0.057 4
东大街站	11.4	23.5	0.041 9
南环路站	15.2	17.5	0.001 4

由表 6 可知,国基路站、东大街站等北部地下车站天然地下水位较高,施工时要求地下水位降幅较大,深基坑降水引发地面沉降量较大,且在近基坑处较大,而远离基坑时逐渐变小,为不均匀的地面沉降,这对已有的建构筑物危害较大。郑州市已发生过几期深基坑降水引发的建构筑物损害事故。因此,可以认为在北部地下车站深基坑降水施工期间,工程建设可能引发地面沉降灾害危险性中等,工程建设可能遭受地面沉降灾害危险性中等,评估区内建构筑物可能遭受地面沉降灾害危险性中等。

由表 6 可知,南环路站等南部地下车站天然地下水位较低,施工时要求地下水位降幅小,深基坑降水引发地面沉降量小,对已有的建构筑物不利影响小。因此,可以认为在南部地下车站深基坑降水施工期间,工程建设可能引发地面沉降灾害危险性小,工程建设可能遭受地面沉降灾害危险性小,评估区内建构筑物可能遭受地面沉降灾害危险性小。

停车场基坑开挖深度浅,施工时要求地下水位降幅小,引发地面沉降量小。因此,可以认为停车场基坑降水施工期间,工程建设可能引发和遭受地面沉降灾害危险性小。

郑州市轨道交通 2 号线穿越地下水降落漏斗区,郑州市地面沉降是客观存在的^[16]。该工程在建成后运行期间,存在遭受地面沉降灾害的可能性。目前,郑州市地下水管理已见成效,地下水水位下降幅度已得到有效控制。因此,可以认为在郑州市轨道交通 2 号线全线建成后运行期间,工程建设可能遭受地面沉降灾害危险性小。

5 地质灾害危险性综合评估

5.1 综合评估原则

地质灾害危险性综合评估应坚持下述原则:

(1)“以人为本”的原则

评估时必须把人民的生命、财产、社会资源放在首位,要尽可能地避免或减少地质灾害造成的损失;力争确保工程建设和运营的安全;同时也要充分考虑工程建设对地质环境的影响。

(2)“区内相似,区际相异”的原则^[9]

在地质灾害危险性等级分区和分级中,将控制和影响地质灾害的因素相似的地区划归为同一单元,不相似的地区划为另一单元。

(3)“取最大值”原则^[17]

在地质灾害危险性等级分区和分级中,若同一地段内有两种或两种以上地质灾害叠加分布时,以其中地质灾害危险性最大级别的灾种的危险性等级作为该地段的危险性等级。

5.2 综合评估方法

依据上述综合评估原则,在前述地质灾害危险性现状评估和预测评估的基础上,充分考虑评估区地质环境条件的差异和潜在的地质灾害隐患点的分布、危险程度,根据地质灾害危险性分级标准^[9],采用表格分析法进行地质灾害危险性综合评估,综合判定郑州市轨道交通 2 号线工程各分项工程地质灾害危险性等级,并进行地质灾害危险性分区。

如表 7 所示,将整个评估区划分为地下线路区段、高架线路区段、停车场区段、车辆段区段,其中地下线路区段又细分为区间隧道区段、北部地下车站区段和南部地下车站区段,使评估区各区段与各分项工程相对应。

由于评估区现状评估为地质灾害危险性小,对本工程综合评估结果影响权重小,仅将预测评估结果列入表 7。预测评估内容分为三个方面:①工程建设可能引发地质灾害的危险性分级;②工程建设本身可能遭受地质灾害的危险性分级;③评估区内建构筑物可能遭受由工程建设引发的地质灾害的危险性分级。每个方面又包含工程建设过程中可能存在的地质灾害危险性和工程建成后使用中可能存在的地质灾害危险性。

如表 7 所示,郑州市轨道交通 2 号线工程地下

线路综合评估为地质灾害危险性中等区，又可细分为三个亚区。其中区间隧道区段(Ⅱ₁区)主要潜在地质灾害为隧道施工过程中的地面塌陷灾害；北部地下车站区段(Ⅱ₂区)主要潜在地质灾害为地下车站施工过程中的边坡失稳和地面沉降灾害；南部地下车站区段(Ⅱ₃区)主要潜在地质灾害为地下车站施工过程中的边坡失稳灾害。

类似地，依据潜在地质灾害的差异，可将地质灾害危险性小区也细分为高架线路区段(I₁区)、停车场区段(I₂区)和车辆段区段(I₃区)。

5.3 建设场地适宜性评价

依据建设场地适宜性评价标准^[9]，在郑州市轨道交通 2 号线工程建设场地中，高架线路区段(I₁)、停车场区段(I₂)和车辆段区段(I₃)分别适宜该分项工程建设；区间隧道区段(Ⅱ₁)、北部地下车站区段(Ⅱ₂)和南部地下车站区段(Ⅱ₃)分别基本适宜该分项工程建设，见表 7。

5.4 防治措施

地质灾害防治应坚持预防为主、防治结合，科学运用监测预警、搬迁避让和工程治理等多种

手段，有效规避灾害风险^[1]。

在本工程的勘察设计和施工中要特别注意工程质量和安全管理，提高施工人员安全能力(感知能力、判断能力和响应能力)^[18]，预防和避免不合理工程活动引发地质灾害。在详细岩土工程勘察的基础上，对深基坑工程应专门设计护坡桩和内支撑或其它技术成熟、效果良好的深基坑支护方案，深基坑降水应采用基坑内降水方案或采用止(隔)水、回灌等工程措施；对区间隧道工程应优选对地面变形影响小的盾构机型和优化盾构施工参数。

工程建设前应对沿线铁路、立交桥、商代遗址、地下管线和其它建(构)筑物采取必要的保护措施。

工程建设前应作好边坡失稳、地面塌陷、地面沉降等地质灾害紧急事故应急预案。在施工过程中应强化地质灾害动态监测，建立健全险情预警和响应机制，及时消除工程安全隐患和风险。

应建立健全郑州市轨道交通 2 号线工程地质灾害长期监测预警体系和应急体系。

表 7 地质灾害危险性综合评估表

评估区段		地质灾害类型	预测评估						综合评估	
			工程建设可能引发地质灾害的危险性分级		工程建设本身可能遭受地质灾害的危险性分级		评估区内建构筑物可能遭受由工程建设引发的地质灾害的危险性分级		地质灾害危险性分区	建设场地适宜性评价
			建设中	建成后	建设中	建成后	建设中	建成后		
地下线路	区间隧道	地面塌陷 地面沉降	中等	小	中等	小	中等	小	中等区(Ⅱ ₁ 区)	基本适宜
	北部地下车站	边坡失稳	中等	小	中等	小	中等	小	中等区(Ⅱ ₂ 区)	基本适宜
		地面沉降	中等		中等	小	中等			
	南部地下车站	边坡失稳	中等	小	中等	小	中等	小	中等区(Ⅱ ₃ 区)	基本适宜
		地面沉降	小		小	小	小			
	高架线路	地面沉降				小			小区(I ₁ 区)	适宜
	停车场	边坡失稳	小	小	小	小			小区(I ₂ 区)	适宜
		地面沉降	小		小	小				
	车辆段	边坡失稳	小	小	小	小			小区(I ₃ 区)	适宜
		地面沉降				小				

6 结语

(1)郑州市轨道交通 2 号线工程位于黄河冲洪积平原。评估区内边坡失稳、地面塌陷、地面沉降等主要灾害皆为在城市轨道交通工程建设施工过程中可能产生的地质灾害，因此，要特别重视工程勘察设计和施工过程中的质量和安全管理，提高施工人员安全能力，预防和避免因不合理工程活动引发地质灾害。

(2)通过采用瑞典条分法计算边坡稳定性安全

系数来评估深基坑工程可能引发的边坡失稳灾害、通过采用 Peck 公式计算地表沉降量来评估盾构施工引发的地面塌陷灾害和通过采用分层总和法计算地面沉降量来评估深基坑降水引发的地面沉降灾害是可行的。

(3)采用表格分析法进行地质灾害危险性综合评估，将整个评估区内各区段划分(对应整个工程各分项工程划分)、现状评估(危险性中等或大时)、预测评估和综合评估基本结果都呈现在一张表上，使城市轨道交通工程地质灾害危险性评估的结论表述简洁，针对性强。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于加强地质灾害防治工作的决定(国发[2011]20 号文件)[Z]. 2011-06-13.
- [2] 欧树君, 郑健生, 陈立根. 广州地铁地质灾害危险性预测评估[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(1): 50-53, 58.
- [3] 朱志刚, 刘衡秋, 陈国华. 北京轨道交通工程地质灾害危险性预测评估-以昌平线(S2 线)为例[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(9): 109-114.
- [4] 邓亚虹, 彭建兵, 卢全中, 等. 地铁工程地质灾害危险性综合评估定量方法-以西安地铁一号线为例[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 291-294, 298.
- [5] 赵化, 唐益群, 王建秀, 等. 软土地区地铁工程地质灾害链及危险性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(Suppl): 385-385.
- [6] 赵成斌, 李德庆, 赵景尧, 等. 郑州市东区浅部断层的构造特征研究[J]. 中国地震, 2007, 23(1): 65-74.
- [7] 郝凯, 田勤俭, 刘保金, 等. 郑州老鸦陈断裂的探测与活动性调查研究[J]. 地震学报, 2008, 30(4): 416-423.
- [8] 杨育彬. 再论郑州商城的年代、性质及相关问题[J]. 华夏考古, 2004(3): 52-70.
- [9] 中华人民共和国国土资源部. 国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知及其附件 1-地质灾害危险性评估技术要求(试行)(国土资发[2004]69 号文件)[Z]. 2004-03-25.
- [10] 中华人民共和国建设部. GB50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [11] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [12] 姚宣德, 王梦恕. 地铁浅埋暗挖法施工引起的地表沉降控制标准的统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(1): 2 030-2 035.
- [13] Peck R B. Deep excavation and tunneling in soft ground[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico, 1969: 225-290.
- [14] 崔玖江. 隧道与地下工程修建技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB50307-1999 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2000.
- [16] 郭新华, 李建欣. 开展郑州市地面沉降监测工作的必要性[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(1): 147-148.
- [17] 侯金武, 殷跃平, 颜宇森. 西气东输管道工程地质灾害危险性研究[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005.
- [18] 李启明, 王盼盼, 邓小鹏, 等. 地铁盾构坍塌事故中施工人员安全能力分析[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 73-77.

Risk Evaluation of Geological Hazards in Zhengzhou Rail Transit Line 2

He Weimin^{1,2}

(1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China;

2. Geophysical Exploration Center, China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Through geological investigation and survey, the results show that terrain along the Zhengzhou Rail Transit Line 2 is relatively simple. Engineering geological and hydrogeologic condition is relatively poor. Human engineering activities of destructive geological environment are relatively intense. Peck formula was used to calculate the values of ground collapse (settlement) in the shield construction. Swedish slice method was used to calculate the safety factor of slope stability of station deep foundation pit. Layer-divide summation method was used to calculate land subsidence values of dewatered station deep foundation pit. Risk of geological hazards of each sectional engineerings were made predictive evaluation by separating hazards types. Form analysis was used to make comprehensive evaluation of the risk of geological hazards in the evaluation area. The evaluation area is divided into medium parts and small parts of the risk of geological hazards. The major geological hazards such as slope destabilization, ground collapse and ground subsidence may occur during the rail transit engineering construction. Therefore, quality and safety management in the process of the construction should be paid much attention, and the unreasonable engineering activities that cause geological hazards should be prevented and avoided.

Key words: geological hazard; predictive evaluation; comprehensive evaluation; rail transit; Zhengzhou