

济南泉域重点地段地铁建设适宜性评价

孙斌

(山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:为评价济南泉域重点地段地铁建设适宜性,分析了影响地铁建设的主要影响因素,选取岩溶顶板埋深、岩溶水位埋深、岩溶含水层富水性、岩溶水功能分区、隔水层厚度、裂隙水位埋深、裂隙水富水性、地表水体分布、孔隙水位埋深、孔隙水富水性、活动断裂共 11 个因子建立评价指标体系,采用 GIS 空间分析法及 AHP 确定隶属度及权重,根据模糊评价结果,将济南泉域重点地段地铁建设划分为适宜区、一般区和不适宜区,并给出了各主要交通干道地铁建设与泉水保护的可行性建议。

关键词:泉域重点地段;地铁建设;适宜性评价;影响因素;济南市

中图分类号:U231.3

文献标识码:B

引文格式:孙斌. 济南泉域重点地段地铁建设适宜性评价[J]. 山东国土资源, 2015, 31(2): 35 - 39. SUN Bin. Suitability Evaluation of Metro Construction in Key Sections of Jinan Spring Region[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(2): 35 - 39.

随着济南城市化发展,开发利用地下空间资源成为迫切需求^[1],地铁将成为解决城市交通问题的主要手段之一。但由于地质条件差异较大,地铁建设过程中常会引发地面沉降、岩溶塌陷、围岩失稳等各类环境地质问题^[2-6],也会引发巷道突水、水位下降、水质污染^[7-9]等各类水环境问题。济南市四大泉群排泄区是济南泉域的重点地段,区内存在大大小小共计 136 处泉眼,受千佛山断裂与文化桥断裂构造控制形成“地垒”,燕山期侵入岩顺层侵入,形成极其复杂的地质条件,在此范围内修建地铁极有可能改变原有地质构造条件,破坏泉水径流通道,影响泉水正常喷涌,在脆弱部位还有可能对岩溶水水质造成潜在污染风险,为保持泉水持续喷涌的良好态势,保护泉水水质,必须针对区内特殊的地质及水文地质条件进行统筹考虑,选取适合的影响因子、权重及评价方法,才能真实准确地反应地铁建设的适宜性。

1 影响因子分析

济南泉域重点地段地形东南高西北低,第四系

覆盖普遍,下伏燕山期侵入岩分布广泛,奥陶纪岩溶含水层又被侵入岩覆盖,宏观上第四纪孔隙含水层组、燕山期侵入岩裂隙含水层组及奥陶纪岩溶裂隙含水层组大致具有层叠垂向排列特征,这一独特的空间结构特征对于研究地铁建设泉水保护影响因素具有可靠依据。

1.1 岩溶含水层(组)条件

岩溶地层中的溶孔、溶洞及溶蚀裂隙为地下水的赋存和运移提供了空间与通道,岩溶地层是泉水形成的关键层位,岩溶地层顶板埋深、岩溶地下水位埋深、含水层富水性、岩溶含水层主要发育层位及地下水功能分区对地铁建设有不同程度影响。

1.1.1 岩溶地层底板埋深

国内外地铁建设埋深基本位于 18 m 左右,基于这一特点,岩溶地层底板埋深越大,地铁建设揭露岩溶含水层的几率越小,对岩溶含水层造成破坏的风险越小,越有利于泉水保护。

1.1.2 岩溶地下水位埋深

岩溶地下水具微承压性及承压性,岩溶地下水

收稿日期:2014-05-14;修订日期:2014-07-03;编辑:陶卫卫

项目基金:山东地矿重大科技攻关项目 2012-045

作者简介:孙斌(1982—),男,山东荣成人,工程师,从事水文地质与环境地质研究工作;E-mail:spinhlr@163.com

位埋藏较浅,尤其当地铁穿过奥陶纪岩溶地层时,有可能减小岩溶水过水断面面积或造成顶板突水,引发水动力场及水化学场的改变,不利于泉水保护。

1.1.3 岩溶水含水介质富水性

地铁建设过程中,当岩溶含水岩组与其上覆含水岩组发生水力联系时,岩溶含水岩组的富水性愈好,地铁开挖风险愈大,容易形成岩溶水顶托补给甚至发生巷道突水,改变岩溶水径流和排泄条件,对泉水造成影响。

1.1.4 岩溶地下水功能分区

四大泉群是岩溶水主要排泄区,泉水与上覆含水层有不同程度联系,地铁建设对岩溶地下水排泄通道的改变构成较大风险,南部汇集径流区风险相对小些,而北部岩溶含水层顶板埋深相对较深,岩溶裂隙不甚发育,地下水向北部侧向径流为主,可视为非岩溶水功能区,地铁建设基本对泉水不存在影响。

1.2 裂隙水含水介质和孔隙含水介质

1.2.1 隔水层厚度

地铁底板隔水层厚度是反应隔水性能的重要指标,底板是否具有隔水性能,隔水层分布是否连续稳定,厚度是否足够大,都有可能对泉水保护造成不同程度的影响,研究表明有效隔水层厚度大于 19 m 时^①,可以有效阻隔上部含水层与岩溶含水层之间的水力联系,而且还可以减少地铁隧道开挖引发巷道突水的几率,同时,良好的隔水层对防止隧道污染物渗入岩溶含水层也具有保护作用。

1.2.2 含水层富水性与水位埋深

孔隙水含水岩组和裂隙水含水层组是地铁行进的主要层位,这 2 个含水岩组富水性强弱对地铁建设影响类似,地铁修建层位通常位于潜水位以下,施工过程中地层开挖和工程降水均会造成原有地质应力改变,有可能引发岩土体固结压缩,引发地面沉降和建筑物变形、破坏,当地铁线路与地下水径流方向交叉时,又改变了地下水径流条件,地下水运移方向及径流速度均发生变化,地下水流场的改变可能引发污染物进入地下水系统,使水环境遭受破坏,尤其在与岩溶含水岩组存在密切联系的区域,对岩溶水造成污染。因此,这 2 个含水岩组富水性愈好,水位埋深愈浅,愈不利于泉水保护。

1.2.3 地表水体分区

区内地表水体有护城河、大明湖、西泺河等,泉水喷出地表后汇入护城河及大明湖,地表水体对于

地铁建设有一定影响,尤其在地铁站明挖时,离地表水体愈近对工程建设影响愈大。

1.3 构造稳定性

区内无岩溶地下水大量开采、无矿产资源开采、环境地质条件比较简单,但具有复活性的千佛山断裂和文化桥断裂有可能对泉水造成影响,活动断裂主要对隔水层破坏作用较大,会严重削弱岩溶含水层上覆隔水层防护性能,从而使原本岩溶含水岩组与孔隙、裂隙含水岩组之间水力联系条件发生改变,间接造成对泉水的影响。

2 地铁建设适宜性评价

2.1 评价思路

为论证济南泉域重点地段地铁建设适宜性,着重对岩溶含水层组及泉水径流通道的保护程度,兼顾工程建设条件分析,综合考量各评价因素对泉水影响的贡献量,准确突显各要素之间的相对重要程度,采用 GIS 空间分析及 AHP^[10] 分析法进行评价因子区划及权重确定,具体步骤如下:

首先,确定评价等级;其次,利用 GIS 空间插值、缓冲分析、叠置分析等划分基础评价小区;再次,构建单因素隶属度矩阵;然后,确定评价指标权重;最后,进行模糊综合评价,利用 GIS 对相同适宜性等级分区融合形成最终评价结果。

2.2 评价指标体系

2.2.1 评价体系建立

选取岩溶含水岩组、裂隙含水岩组、孔隙含水岩组和构造稳定性作为一级评价指标,选取岩溶顶板埋深、岩溶地下水位埋深、岩溶含水层富水性、岩溶水功能分区、隔水层厚度、裂隙水位埋深、裂隙水富水性、地表水体分布、孔隙水位埋深、孔隙水富水性和活动断裂作为二级评价指标,建立三层层次结构评价体系。

2.2.2 评价指标确定

以地铁浅埋 18 m 深度为评价基准来划分评价等级,与泉水保护有直接联系的敏感评价指标以绝对定量进行划分,与工程建设有直接联系的评价指

① 山东省地矿工程勘察院,韩连山等,济南市轨道交通建设对泉水影响研究(线网规划阶段)—泉水地下流场特征研究,2009 年。

标以相对定量进行划分,对定性描述的指标根据相对适宜性进行量化,划分为适宜、一般和不适宜 3 个级别(表 1)。

表 1 地铁建设适宜性分级

评价指标		适宜性		
一级指标	二级指标	适宜	一般	不适宜
岩溶含水岩组	岩溶顶板埋深(m)	>30	18~30	<18
	岩溶水位埋深(m)	>30	18~30	<18
	岩溶含水层富水性(m ³ /d)	100~1000	1000~5000	>5000
	岩溶水功能区	侧向排泄区	汇集径流区	集中排泄区
裂隙含水岩组	隔水层厚度(m)	>30	19~30	<19
	裂隙水水位埋深(m)	>4	2~4	<2
	裂隙水富水性(m ³ /d)	无	<100	100~500/天窗
孔隙含水岩组	地表水体分布	非水体	水体近岸	水体
	孔隙水水位埋深(m)	>4	2~4	<2
	孔隙水富水性(m ³ /d)	<10	10~100	100~500
构造稳定性	活动断裂	非影响带	间接影响带	直接影响带

2.3 隶属度及权重

2.3.1 隶属度矩阵建立

利用 GIS 对二级指标参数进行叠置分析,在 GIS 属性数据库中的 dbase 表提取所有基础评价小区的二级指标属性值,并导入至 Excel 表中,根据属性表计算基础评价小区内各评价指标对各评价等级的隶属度矩阵 R 。

2.3.2 权重集确定

利用 AHP 模型分别确定一级评价指标和二级评价指标的权重集 A 。一级评价指标岩溶含水岩组、裂隙含水岩组、孔隙含水岩组的权重集为:

$$W_c = [0.5100, 0.2669, 0.1434, 0.0797]$$

岩溶含水岩组二级指标岩溶顶板埋深、岩溶地下水水位埋深,岩溶含水层富水性,岩溶水功能分区的特征向量为:

$$W_{c1} = [0.3693, 0.4154, 0.1327, 0.0826]$$

裂隙含水岩组二级指标隔水层厚度、裂隙地下水水位埋深,裂隙含水层富水性的特征向量为:

$$W_{c2} = [0.6483, 0.2297, 0.1220]$$

孔隙含水岩组二级指标岩溶顶板埋深、岩溶地下水水位埋深,岩溶含水层富水性,岩溶水功能分区的特征向量为:

$$W_{c3} = [0.1634, 0.5396, 0.2970]$$

由以上一级及二级指标权重计算得出 11 项评价指标(岩溶顶板埋深、岩溶水位埋深、岩溶含水层富水性、岩溶水功能分区、隔水层厚度、裂隙水位埋

深、裂隙水富水性、地表水体分布、孔隙水位埋深、孔隙水富水性、活动断裂)的权重集为: $A = [0.1884, 0.2119, 0.0677, 0.0421, 0.1730, 0.0613, 0.0326, 0.0234, 0.0774, 0.0426, 0.0797]$

3 评价结果分析

基于隶属度矩阵 R 和权重 A 进行模糊综合评判,将济南泉域重点地段地铁建设适宜性划区(图 1)划分为适宜区、一般区和不适宜区。

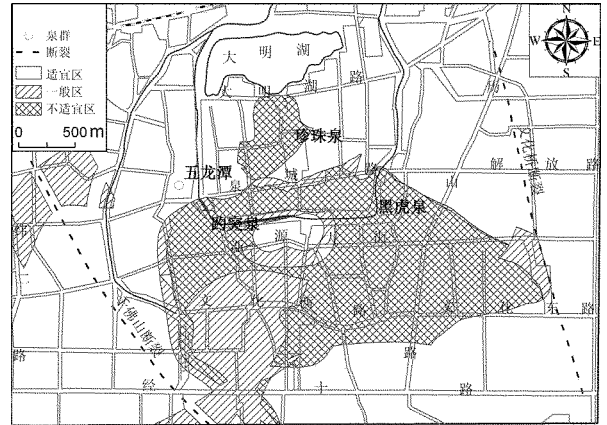


图 1 济南泉域重点地段地铁建设适宜性评价结果图

3.1 适宜区

主要分布在沿重点区东部文化桥断裂以东,西部千佛山断裂以西,北部泉城路以北,顺河高架桥邻近及东南部文化路以南。

文化桥断裂以东地区:南部地势高,岩溶水埋深大于 30 m,北部地势低,岩溶水埋深小于 18 m,岩溶水富水性为 100~1 000 m³/d,岩溶地层顶板埋深普遍大于 30 m,侵入岩厚度基本大于 30 m,具备有效隔水性能,孔隙水与裂隙水水位埋深相对较深、富水性也相对较差,地铁建设对泉水影响较小。

千佛山断裂以西地区:岩溶承压水位埋深普遍小于 16 m,地处四大泉群主径流补给带附近,岩溶裂隙发育,单井出水量可大于 5 000 m³/d,但岩溶顶板埋深较大,一般超过 100 m,而且岩溶顶板上覆巨厚侵入岩地层,一般超过 100 m,隔水层防护性能很好,孔隙水和裂隙水水位埋深也相对较深,富水性极差,地铁建设对泉水影响较小。

泉城路以北地区:岩溶承压水位埋深一般小于 16 m,局部地段可达到自流状态,岩溶富水性也较强,一般为 1 000~5 000 m³/d,但该区基本位于岩溶地下水侧向径流排泄区,且岩溶含水层顶板埋深

大于 30 m, 隔水层厚度也大于 30 m, 处于活动断裂非影响带, 地铁建设对泉水影响较小。

顺河高架桥近邻: 岩溶承压水位埋深一般小于 16 m, 位于岩溶主径流通道附近, 岩溶富水性强, 但该区受千佛山断裂构造控制及侵入岩体影响, 灰岩顶板埋深一般都超过 30 m, 侵入岩厚度相对较大, 孔隙水、裂隙水富水性也相对较差, 地铁建设对泉水影响较小。

文化东路以南地区: 第四纪地层厚度较薄, 岩溶地层顶板埋深相对较浅, 一般小于 18 m, 且第四纪地层与岩溶地层之间无有效隔水层, 但岩溶地下水位埋深普遍大于 30 m, 且孔隙水水位埋深也相对较大、富水性较弱, 地铁建设不会削减岩溶含水层厚度, 对泉水影响较小。

3.2 一般区

主要分布于重点区西北经一路和经四路附近, 泉城路附近, 饮虎池西街及上新街附近, 植物园至齐鲁医院周边地带, 文化桥断裂中段西侧。

经一路和经四路附近地区: 该区位于岩溶地下水汇集径流区, 灰岩顶板埋深大于 30 m, 岩溶承压水位埋深小于 16 m, 岩溶水富水性较强, 为 1 000~5 000 m³/d, 孔隙水、裂隙水埋深及富水性均属中等, 且位于活动断裂间接影响带附近, 地铁建设对泉水造成影响相对较小, 但工程建设适宜性一般。

泉城路、饮虎池西街和上新街附近局部地区: 该区岩溶顶板埋深大于 30 m, 但岩溶承压水位埋深小于 16 m, 隔水层厚度也相对较薄, 为 19~30 m, 隔水层防护性能相对薄弱, 岩溶水富水性大于 5 000 m³/d, 地铁建设主要考虑是否会破坏隔水层防护性能, 若破坏隔水层, 则有可能使岩溶含水岩组与上覆裂隙含水岩组产生水力联系, 对泉水造成影响。

植物园至齐鲁医院周边地区: 该区岩溶承压水位埋深普遍小于 16 m, 第四纪地层厚度薄, 岩溶顶板埋深较浅, 为 18~30 m, 隔水层厚度也较小, 一般小于 19 m, 孔隙水、裂隙水水位埋深相对较大, 富水性相对较差, 地铁建设有可能破坏泉水径流条件, 工程建设存在一定风险。

文化桥断裂中段羊头峪大沟附近地区: 该区岩溶顶板埋深为 18~30 m, 岩溶水位埋深也相对较浅, 为 18~30 m, 岩溶水富水性较强为 1 000~5 000

m³/d, 侵入岩隔水层厚度小于 19 m, 但该区孔隙水、裂隙水埋深相对较大, 富水性也较差, 地铁建设有可能对泉水造成一定影响。

3.3 不适宜区

主要分布于趵突泉、黑虎泉、珍珠泉集中排泄区附近, 南护城河以北至泉城路, 青年西路附近, 黑虎泉以南至文化路片区。

趵突泉、黑虎泉集中排泄区附近地区: 该区地溶承压水位埋深较浅, 一般小于 16 m, 岩溶顶板埋深较浅, 一般小于 18 m, 岩溶水富水性强, 大于 5 000 m³/d, 隔水层厚度也小于 19 m, 甚至在泉群排泄口一带, 侵入岩缺失, 完全无隔水层, 孔隙水、裂隙水水位埋深一般为 2~4 m, 孔隙水富水性也相对较强。地铁建设极有可能破坏原有水文地质条件、水动力条件, 甚至破坏泉水径流通道, 影响泉水流出。

珍珠泉集中排泄区附近地区: 该区岩溶承压水位埋深小于 16 m, 岩溶顶板埋深较大, 一般超过 100 m, 侵入岩厚度也相对较大, 隔水层厚度一般超过 100 m, 但该区泉群主要是岩溶水通过侵入岩构造裂隙及风化裂隙后向地表喷出, 裂隙含水岩组在一定程度上与岩溶水含水岩组之间存在裂隙联通通道, 地铁建设主要考虑对泉水排泄通道的影响, 工程建设有可能破坏侵入岩裂隙, 影响泉水正常排泄途径。

南护城河以北至泉城路地区: 该区岩溶水位埋深小于 16 m, 岩溶水顶板埋深 18~30 m, 隔水层厚度小于 19 m, 岩溶水富水性大于 5 000 m³/d, 孔隙水、裂隙水水位埋深为 2~4 m, 孔隙水和裂隙水富水性相对较强。地铁建设极有可能破坏隔水层, 甚至破坏岩溶含水层, 改变水动力条件, 对泉水正常喷涌构成较大风险。

黑虎泉以南至文化东路地区: 该片区岩溶顶板埋深一般小于 18 m, 岩溶地下水埋深也较浅, 为 18~30 m, 岩溶水富水性较强, 大于 5 000 m³/d, 区内侵入岩地层缺失, 无有效隔水层, 孔隙水、裂隙水水位埋深相对较大, 富水性也较差。但以 18 m 地铁埋深考虑, 地铁主要穿越岩溶地层, 工程建设对浅表层岩溶径流通道的破坏作用较大, 甚至可能堵塞岩溶地下水补给径流通道, 而且岩溶水位埋深也相对较浅, 工程建设极有可能削减岩溶含水层厚度, 减少泉水流量, 从而对泉水径流及循环条件均造成破坏。

4 结 论

(1) 济南泉域重点地段地铁工程建设应注重对整体构造单元的保护, 确保工程建设做到万无一失。修建地铁对泉水可能存在的影响主要有 2 方面, 一是对泉水流量的影响, 二是对泉水水质的影响。由于区内水文地质条件差异较大, 对泉水影响程度也有所不同, 工程建设存在风险不一, 地铁建设适宜性也差别较大。

(2) 评价结果显示, 明湖北路一线对泉水水量和水质均不产生影响; 大明湖路一线对泉水水量有一定削减的潜在风险, 应注意保护裂隙通道; 泉城路一线对泉水水量和水质均有较大影响; 泺源大街一线对泉水水量和水质有很大影响, 由于离趵突泉和黑虎泉排泄点较近, 地铁建设对泉水岩溶通道破坏较大, 容易引发巷道突水、岩溶塌陷和水质污染等; 文化路一线对泉水水量和水质有较大影响, 地铁建设有可能破坏岩溶通道、引发巷道突水和水质污染; 经十路一线主要对泉水水质存在影响, 局部地铁建设有可能引发巷道突水, 但工程保护措施施工难度较小; 历山路一线对泉水水量和水质均存在影响, 地铁建设极有可能破坏岩溶通道、引发巷道突水和水质污染; 纬二路一线对泉水水量和水质均不构成影响。

(3) 从主要交通干道看, 明湖北路和纬二路基本不需进行泉水保护措施控制, 地铁建设适宜; 大明湖路和经十路泉水保护工程措施可控, 地铁建设也适

宜; 泉城路、泺源大街、文化路和历山路泉水保护工程措施难度大, 地铁建设不适宜。

参 考 文 献:

- [1] 徐军祥, 秦品瑞, 徐秋晓, 等. 济南市地下空间资源开发地质环境适宜性评价[J]. 山东国土资源, 2012, 28(8): 14-17.
- [2] 孙亚哲. 南京市玄武湖水下交通隧道环境地质评价[J]. 水文地质工程地质, 2003, (4): 72-75.
- [3] 宁国民. 武汉城市地下空间工程地质研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, (6): 29-35.
- [4] C. O. Aksoy. Chemical injection application at tunnel service shaft to prevent ground settlement induced by groundwater drainage[J]. Rock Mechanics and Mining Sciences, 2008, 45(3): 376-383.
- [5] 欧树君. 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.
- [6] 谢远成. 城市轨道交通工程第三方监测模式探讨[J]. 山东国土资源, 2013, 29(8): 15-20.
- [7] 许崧. 城市地下工程中的环境岩土工程问题[J]. 工程地质学报, 2003, 11(2): 127-132.
- [8] J. Raben - Levetzau, tec. Copenhagen Metro: Groundwater Control in Sensitive Urban Areas[J]. Employment Deconcentration in European Metropolitan Areas, 2005: 1-8.
- [9] 邢巍巍. 南京市地铁工程环境地质评价[J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 298-302.
- [10] 陈南祥, 董贵明, 贺新春. 基于 AHP 的地下水环境脆弱性模糊综合评价[J]. 华北水利水电学院学报, 2005, 26(3): 63-66.

Suitability Evaluation of Metro Construction in Key Sections of Jinan Spring Region

SUN Bin

(Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Exploration Institute, Shandong, Jinan 250014, China)

Abstract: In order to evaluate the suitability of metro construction in key sections of Jinan spring region, main influencing factors which will affect metro construction have been analyzed in this paper. By choosing 11 influencing factors, the evaluation index system has been set up, including karst roof depth, buried depth of karst groundwater level, water abundance of karst aquifer, function division of karst water, thickness of aquifuge, buried depth of fissure water, bwater abundance of fissure water, distribution of pore water, buried depth of pore water, pore water abundance and active faults. By using GIS spatial analysis method and AHP method, membership degree and weight have been determined. According to the result of fuzzy comprehensive evaluation, suitability of metro construction in main sections of Jinan spring region can be divided into suitable areas, general areas and unsuitable areas. Feasible suggestions have also been given to metro construction and spring water protection in main roads.

Key words: Key section of Jinan spring region; metro construction; suitability evaluation; influencing factors