

文章编号: 1674—8247(2022)04—0104—07
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.04.017

济南至莱芜高速铁路建设对济南泉群的影响分析

王茂靖 吴 洋

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要: 济南至莱芜高速铁路穿越济南白泉和玉河泉泉群流域, 如何避免对济南白泉和玉河泉群的影响, 是本线亟待解决的问题。本文基于济莱高速铁路岩溶水文地质专题研究和岩溶隧道地质勘察资料, 阐述了济南至莱芜高速铁路通过地段的岩溶水发育特征、岩溶水补、径、排条件, 划分了沿线岩溶含水岩组及水文地质单元, 分析了济南泉群形成机理, 评价了铁路工程对济南泉群影响, 结果表明, 济莱高速铁路济南段工程地质线路方案选线、工程设置比选, 较好规避了铁路工程建设对济南著名泉点的影响。

关键词: 济莱高铁; 济南泉群; 影响分析

中图分类号: U212.32 **文献标志码:** A

Analysis of Impact of Construction of Jinan-Laiwu High-speed Railway on Spring Groups in Jinan

WANG Maojing WU Yang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Considering Jinan-Laiwu High-speed Railway passes through Baiquan and Yuhe Spring Group in Jinan, how to avoid the impact on Baiquan and Yuhe Spring Group in Jinan is an urgent problem to be solved. Based on the special study on karst hydrogeology of Jinan-Laiwu High-speed Railway and the geological survey data of karst tunnels, this paper elaborates on the development characteristics of karst water, karst water replenishment, runoff, and drainage conditions in the section through which Jinan-Laiwu High-speed Railway passes, divides karst water-bearing rock formations and hydrogeological units along the line, analyzes the formation mechanism of the spring groups in Jinan, and evaluates the impact of railway engineering on the spring groups in Jinan. The results show that the route selection and engineering setting comparison of the engineering geological route scheme of the Jinan section of Jinan-Laiwu High-speed Railway can avoid the impact of railway construction on famous spring points in Jinan.

Key words: Jinan-Laiwu High-speed Railway; Jinan spring groups; impact analysis

1 工程概述

1.1 济南至莱芜高速铁路工程概况

济南至莱芜高速铁路(简称济莱高速铁路)位于

山东省中部, 线路长 116 km, 设计速度 350 km/h。西端连接济滨、济青高速铁路, 南端延伸至鲁南高铁, 是山东省高速铁路的重要组成部分。铁路沿线设置济南东、港沟、章丘南、雪野、莱芜北、钢城 6 个车站,

收稿日期: 2022-03-15

作者简介: 王茂靖(1964-), 男, 教授级高级工程师。

引文格式: 王茂靖, 吴洋. 济南至莱芜高速铁路建设对济南泉群的影响分析[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(4): 104-110.

WANG Maojing, WU Yang. Analysis of Impact of Construction of Jinan-Laiwu High-speed Railway on Spring Groups in Jinan[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 104-110.

桥梁 53 座(48.001 km),隧道 25 座(43.0 km)。铁路全线桥隧占比 79.16%,较长的桥有济南东特大桥(7 765 m)和港沟站特大桥(4 170 m),较长的隧道有马家庄隧道(3 021 m)、寨山隧道(4 812 m)和南山寨隧道(4 790 m)^[1]。

1.2 济南泉群概况

济南市以泉水众多闻名于世,辖区内共有泉水 645 处。根据济南泉域的界线范围,结合济莱高速铁路推荐线路方案,济莱高速铁路济南段全部位于白泉泉域内^[2-3]。

为减少济莱高速铁路建设对济南泉群的影响,在线路方案研究阶段,设计人员首先开展了岩溶水专题研究,基本查明了济莱高速铁路通过地段的岩溶、岩溶水的发育特征、岩溶水的补、径、排条件;其次,分析了铁路工程对济南泉群的补、径、排条件及环境水文工程地质的影响,稳定了线路方案;最后,通过设置合理的铁路工程,避免了济莱高速铁路建设对济南泉群的影响。

2 自然地理特征

2.1 气候特征

高速铁路线路通过济南市、莱芜市,属暖温带大陆性湿润、半湿润季风气候,光照充足,四季分明。春季干旱多风,夏季高温多雨,秋季天高气爽,冬季干冷少雪,主要气象指标如表 1 所示。

表 1 主要气象指标一览表

区县名		济南市	章丘区	莱芜市
里程		D4K 2 + 215.11 ~ DK 33 + 500	DK 33 + 500 ~ DK 55 + 600	DK 55 + 600 ~ DK 118 + 845
气温 /℃	年平均	14.8	14.0	13.3
	极端最高	41.2	41.1	39.9
	极端最低	-26.8	-26.8	-19.3
	最冷月平均气温	-1.4	-1.4	-1.9
降水量 /mm	年平均	719.3	709.2	760.9
	年最大	1 253.9	1 121.6	1 369.6
	月最大	421.8	403.3	408.5
	日最大	143.8	152.5	228.3
蒸发量 /mm	年平均	1 420.7	1 839.0	1 646.9
	年最大	1 900.1	2 165.2	1 915.4
最大季节冻土深度/cm		50	50	50
近年最大积雪厚度/mm		22.7	23	23

2.2 地形地貌

济莱高速铁路经过鲁中隆起区、泰莱凹陷东侧外缘,北部地势平坦开阔,中部地势起伏较大,南部莱芜境内地势略有起伏。沿线地貌单元分为北部山前倾斜平原区、中部低山丘陵区 and 南部剥蚀丘陵区,如图 1 所示。



图 1 济莱高速铁路沿线地貌分区图

(1) 山前倾斜平原区(D4K 2 + 215.11 ~ DK 16 + 500)

山前倾斜平原区围绕山地前缘,呈放射状分布,总体地势南高北低,地面坡度一般 0° ~ 5°,个别地段 5° ~ 10°。该区域地面标高 27 ~ 55 m。山地前缘地带冲沟发育,自东向西分布有众多剥蚀残丘,地形变化较大。

北部山前平原地形略微起伏,地势平坦开阔。济南市位于此地貌单元内,来自中部山地丘陵区的岩溶地下水在此受阻于覆盖土下的花岗岩岩体,沿第四系覆盖土以上升泉群的形式涌出。

(2) 丘陵及低山区(DK 16 + 500 ~ DK 78 + 500)

丘陵及低山区主要分布在济南市南部,其中莱芜市北部、东北部,丘陵区地面标高一般小于 200 m,切割深度 50 m 左右,属剥蚀堆积区;山体多呈浑圆状,沟谷发育,形态多为“U”字型。低山区海拔 200 ~ 500 m,山体多陡峻尖峭,坡角一般为 15° ~ 40°。

(3) 剥蚀丘陵区(DK 78 + 500 ~ DK 117 + 875)

剥蚀丘陵区主要分布于莱芜市东部、东南部和泰莱凹陷东缘,海拔一般小于 300 m,浑圆状,沟谷发育,形态多为“U”字型,坡角一般为 6° ~ 15°,地表风化、水土流失较严重。

2.3 水文条件

位于线路中部近东西走向的泰山山脉的长城岭为区域地表水分水岭,也是区域内岩溶地下水的分水岭,如图 2 所示。

长城岭以北属于小清河水系,以南属于汶河水系。



图2 铁路沿线地表水系略图

小清河是山东省主要河流之一,位于黄河之南,发源于济南西郊的睦里村,向东北方向径流,至寿光县羊角沟入莱州湾,主要河流为西巴漏河、巨野河、龙脊河、通天河、港沟河。

汶河发源于山东旋崮山北麓沂源县境内,汇泰山山脉、蒙山支脉诸水,自东向西流经莱芜、新泰、泰安、肥城、宁阳、汶上、东平等地汇注东平湖,出陈山口后入黄河,主要河流为瀛汶河、方下河、牟汶河、盘龙河、辛庄河等。

本文讨论的济南段岩溶地下水主要指长城岭以北地段。

3 济南段水文地质条件

济莱高速铁路沿线沉积岩、火成岩均有出露,平原及沟谷普遍覆盖第四系覆土。可溶岩分布广泛,年代以寒武系至奥陶系为主,岩性为灰岩、白云岩、泥质白云岩、泥灰岩、页岩夹灰岩等,全长 57.263 km,占全线的 49.39%。本文讨论的济南段主要岩性以灰岩、白云岩可溶岩为主,间夹砂泥岩、煤系地层。此外,济南市北部地区下伏燕山期侵入的辉长岩体,又称济南岩体。

3.1 主要含水岩组

济南段岩溶含水岩组由寒武—奥陶系九龙群张夏组(ϵ_2jz)、炒米店组(ϵ_3jc)、三山子组(O_1js)及马家沟群东黄山组(O_1m^d)、北庵庄组(O_1m^b)、土峪组

(O_1m^l)、五阳山组(O_1m^w)、阁庄组(O_2m^g)、八陡组地层(O_2m^h)组成,可将其划分为以下3个含水岩组:

(1) 九龙群炒米店组至马家沟群岩溶含水岩组

九龙群炒米店组至马家沟群八陡组岩性为厚层纯灰岩、灰质白云岩、白云质灰岩、白云岩和泥质灰岩,分布于线路区域北部,为低山丘陵区,山谷多为“U”形谷,地表构造裂隙、岩溶发育,彼此连通,导水性强,有利于地下水的补给、迳流和富集,形成具有统一水面的含水层。但因分布位置及构造、地形、埋藏条件的影响其富水性相差十分悬殊。

低山丘陵区灰岩直接裸露地表,有利大气降水的渗入补给,为岩溶地下水的补给径流区,单井出水量一般小于 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 。在地形、构造及地表水补给有利的条件处,单井涌水量大于 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 。地下水位埋深 $50\sim 100\text{ m}$,局部地区甚至大于 100 m 。水位年变幅为 $20\sim 50\text{ m}$ 。

丘陵及部分岛状山分布区,含水层主要为奥陶系马家沟群灰岩,部分裸露,部分隐伏在 $10\sim 20\text{ m}$ 的第四系松散层之下,呈带状北东南西向分布,浅部岩溶以溶孔、溶穴、岩溶漏斗、落水洞等形式存在,此带形成了岩溶水的多个渗漏带或河流的显著渗漏段。接受大气降水补给及上覆松散岩类孔隙水的渗入补给,局部接受地表水的补给,富水性中等,单井出水量 $500\sim 1000\text{ m}^3/\text{d}$,局部由于构造控制水,单井出水量可大于 $1000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

山前倾斜平原及单斜构造前缘,含水层为奥陶系马家沟群灰岩,部分隐伏于第四系松散层以下,部分被辉长岩体、石炭系碎屑岩覆盖,顶板埋深一般小于 400 m 。岩溶以溶孔、溶穴、大小溶洞为主。地下水储存于裂隙溶洞中,渗透系数一般大于 $50\text{ m}/\text{d}$ 。济南市东郊、明水一带钻孔单井出水量 $3000\sim 5000\text{ m}^3/\text{d}$,局部地区大于 $10000\text{ m}^3/\text{d}$ 。在杨家屯—济钢—武家庄—黄土崖—章丘市区—贺套庄一带形成岩溶水富水区,水位埋深一般小于 10 m ,局部地区自流,水位动态稳定,年变幅小于 10 m ,单井涌水量一般大于 $5000\text{ m}^3/\text{d}$,成井条件好,可形成大型岩溶水集中供水水源地。

裂隙岩溶含水岩组前沿,地下水在循环过程中或受灰绿岩体阻挡,或受到石炭系碎屑岩阻挡,在地势有利位置,或因为岩溶特别发育,或因为断裂构造产生的通道,形成大型岩溶泉群白泉泉群,百脉泉泉群。

(2) 九龙群张夏组岩溶含水岩组

九龙群张夏组岩溶含水岩组呈不连续的东西条带状分布于南部山区,地貌上多为低山,河谷多为“V”型谷,岩性为中厚层鲕状灰岩夹页岩。张夏组鲕状灰岩因其顶部为崮山组页岩、底部为馒头组页岩所隔,形成独立含水层。

在南部,张夏组鲕状灰岩裸露地表,以北隐伏于地下;章丘南部山区分布在分水岭两侧,含水层顶、底板分别为具有相对隔水作用的崮山组、馒头组页岩。灰岩顶部及底部岩溶发育,富水性中等,裸露区单井涌水量小于 $100\text{ m}^3/\text{d}$,水位埋深及水位动态变化较大,埋深数米至数十米,如崔马村 2011 年枯水期水位埋深 42.53 m ,丰水期为 18.37 m ,地下水水位年变幅达 24.16 m ;隐伏区单井涌水量 $500\sim 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。在南部北沙河、玉符河、巨野河两岸及构造与地形有利地段、富水性增强,单井涌水量可大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$,且局部承压自流,具有供水意义。

张夏组灰岩中部夹数层页岩,其底部为馒头组页岩,地下水在循环过程中容易受到阻挡而溢出成泉。泉水一般为下降泉,流量较小,且层位较高;但在张夏灰岩隐伏区的低洼地段也可形成流量较大的上升泉群,如位于济南市历城区柳埠的玉河泉、玉泉泉群和长清万德灵岩寺的袈裟泉群。

(3) 碳酸盐岩夹碎屑岩裂隙—岩溶含水岩组

该含水岩组由寒武系长清群朱砂洞组(ϵ_1z^d)及九龙群崮山组(ϵ_3jg)的薄层灰岩组成,含水层灰岩与页岩成夹层或互层,故岩溶裂隙不发育,富水差,单井出水量一般小于 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 。在构造、地形适宜的地段,单井出水量也可达 $100\sim 500\text{ m}^3/\text{d}$ 。该含水岩层分布的地势一般较高,且有页岩隔水,相互无水力联系,地下水无统一水面。在沟谷切割或构造的控制下,往往出现阶梯水位。地下水流向受地层倾向及地形坡度控制。地下水水位埋深变化很大,一般为 $5\sim 10\text{ m}$,局部由于构造影响而自流。

3.2 水文地质单元划分

济莱高速铁路位于鲁中隆起区,该隆起区总体上是一个以新太古代泰山岩群为基底,以古生代地层为主体的向北倾斜的单斜构造。单斜构造单元中发育多组断裂构造,将其分割成相对独立的单斜断块。结合济莱高铁济南段沉积环境、可溶岩地层分布、岩性组合特征和空间展布、地下水补径排条件以及地质构造因素,济南段可划分为一个单独的水文地质单元—郭店单斜水文地质单元(白泉岩溶水系统)。

济莱高速铁路济南段(DK 0+000~DK 55+500)位于郭店单斜岩溶水文地质单元,单元内出露地层主要为 $\epsilon-O$ 地层,在北段山前平原区为第四系覆盖。寒武系炒米店、三山子组及奥陶系马家沟群为富水性中~强的可溶岩;张夏组、崮山为富水性中~弱的碎屑岩、碳酸盐岩互层岩组;馒头组为富水性弱的以泥岩、页岩为主的地层。

白泉泉域岩溶水单元东边界为文祖断裂,西边界为东坞断裂,南边界为地表、地下分水岭,西部为晚太古代以花岗岩为主的侵入岩及变质岩,东部为寒武系碳酸盐岩夹碎屑岩;北边界为碳酸盐岩与石炭系煤系地层接触带,以灰岩顶板埋深 $400\sim 500\text{ m}$ 为界线,总面积 731.38 km^2 ,其中西南分水岭区晚太古代侵入岩及变质岩分布区面积 41.82 km^2 ,寒武系碳酸盐岩夹碎屑岩分布区面积 205.20 km^2 ,北部奥陶系碳酸盐岩裸露和隐伏区面积 394.76 km^2 ,东北条带状奥陶系灰岩被石炭系覆盖区面积 89.60 km^2 。系统东边界文祖断裂为阻水断裂,形成隔水边界,西边界东坞断裂在义和庄以北段具有一定透水性,在自然状态下,与济南市区岩溶水子系统不发生水力联系,在强烈的人工干预下,可发生一定水力联系,产生水量交换;碳酸盐岩深埋于石炭—二叠系碎屑岩之下,向北产生较缓慢的深循环,在断裂带或燕山期侵入岩体附近形成浅部地热异常。

单元内部地层受到港沟断裂、孙村断裂、曹范断裂等北北西和北北东向断裂的切割,断块之间在平面上产生平推;总体来看,断层西侧地层北移、地层老,东侧地层新,其结果增大了断块内奥陶系灰岩的范围,增强了含水层的导水性和储水空间,使得奥陶系灰岩与石炭—二叠系碎屑岩的接触带拉长并呈北西向展布。

3.3 济南段泉水分布及其形成

济南段主要位于郭店单斜水文地质单元,该单元内集中出露两大岩溶泉群,一是白泉泉群,二是玉河泉泉群。

3.3.1 白泉泉群

在白泉泉群核心保护区内出露的有白泉、冷泉、惠泉、漂泉、团泉、李家泉、漫泉、张家泉、唐家泉、麻泉、葫芦头泉、灰泉、柳叶泉、草泉、当道泉共 15 处泉。

白泉泉群的成因主要是岩溶地下水在南部山区接受补给后,向北沿可溶岩层间流动,在济南山前平原地

带第四系覆土下受到阻水断裂、二叠系砂泥岩及燕山期侵入辉绿岩体阻隔,在平原区形成丰富的高压岩溶水,高压岩溶水向上顶托补给第四系土层,形成系列白泉泉群及特有的湿地景观,如图3所示。

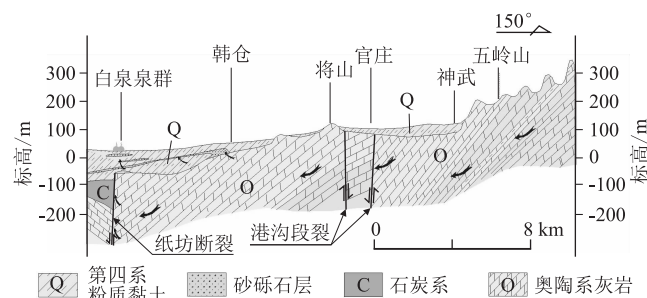


图3 白泉泉群形成机理示意图

3.3.2 玉河泉泉群

泉群内有玉河泉、淌豆泉、玉漏泉、东流泉、老玉河泉、响呼噜泉、东泉、黄路泉、猪拱泉、虎门泉、忠泉、响泉、黄歇泉、卢井泉、义和泉、黑虎泉等泉点,均为下降泉。

玉河泉泉群为寒武系张夏组含水岩组,上下为馒头组、上统崮山组页岩夹薄层或中层灰岩裂隙-溶隙含水岩组。寒武系中统张夏组鲕状石灰岩,厚度较大,岩溶发育,故其富水性较好,除接受大气降水补给外,还接受地表河流补给。由于其顶部和底部分别受上统崮山组和馒头组页岩的阻隔,地下水一部分受构造和地形的影响呈裂隙下降泉出流,另一部分地下水向深部运动,通过断裂及裂隙补给奥陶系裂隙岩溶水,如图4所示。

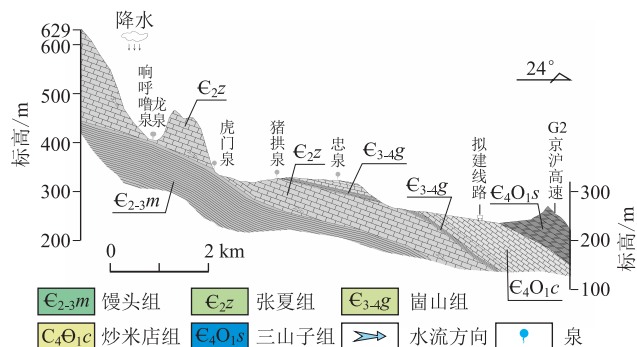


图4 玉河泉泉群形成成因示意图

3.4 济南泉群补、径、排条件

大气降水入渗和小清河水系各条河流沿途渗漏是岩溶水的主要补给来源,南部山区地形切割严重、灰岩裸露,沟谷和地表岩溶发育,有利于地表水的入渗,地表水、地下水流向与地层倾向基本一致,这些都是岩溶水形成、径流的有利条件。单元内有多条河流,西巴漏

河、巨野河、港沟河等均发育于分水岭一带的泰山群地层,流经寒武-奥陶系地层。河流中下游河床碳酸盐岩裸露或第四系厚度较薄,河水渗漏严重,多数在枯水季节成为干谷。建于港沟河上游的狼猫山水库,库区位于奥陶系灰岩之上,水库水渗漏成为岩溶水的补给来源之一。尤其是在枯水季节,对岩溶水产生持续补给,岩溶水总补给资源量 $33 \times 10^4 \sim 35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

郭店水文地质单元北部西侧有济南侵入岩体、东侧有石炭-二叠系碎屑岩等隔水地层阻挡,岩溶水在南部山区接受补给后,沿地层倾向和地势由南向北径流至此,由于受到东坞断裂、济南岩体、石炭-二叠系碎屑岩的阻挡,形成高水头富水区;受阻的岩溶地下水,沿断裂带裂隙岩溶通道上升,溢出地表,进入第四系,使第四系孔隙水水位上升,形成湿地,在低洼地带溢出地表,形成白泉泉群。

此外,岩溶水在径流过程中,局部受地形切割、砂泥岩地层阻隔,也会在径流过程中呈下降泉排泄,如玉河泉泉群就是寒武系张夏组灰岩中地下水受阻于崮山组和馒头组泥页岩阻隔或局部地形切割形成的数量众多的下降泉群。

自然状态下,岩溶水部分通过白泉泉群、玉河泉泉群排泄、部分顶托补给第四系孔隙水。目前,岩溶水排泄方式包括泉水排泄、顶托排泄和人工开采排泄。八、九十年代,随着济南市工业快速发展,大量开采地下水。白泉泉群一度断流。后来济南东郊东联供水工程的实施,减少了大型企业自备水源地对岩溶水的开采,从2003年开始,白泉泉群部分泉开始出流,湿地逐渐得到恢复。

岩溶水补给径流区,地下水位随季节变化明显,升降幅度较大,一般为10~30 m。山前排泄区水位变化幅度小,一般为5~10 m。

4 沿线工程对济南泉群的影响分析

济南泉城名扬天下,济莱高速铁路北西南东走向,全线穿越济南泉群之白泉、玉河泉泉群的排泄、径流、补给区,为尽可能减少铁路建设对济南泉群的影响,在铁路建设前期作了多个方案比选,采用“绕避、抬高、靠河、接近、人字坡”^[4]等岩溶地区线路方案选择及工程设置原则对济莱高速铁路济南段线路方案及工程设置进行了大量比选及优化,尽可能减少了工程建设对泉群的干扰和影响,如在排泄区,绕避了有影响的历史名泉,南部山区补给区尽可能抬高线路、隧道标高,使隧道工程位于岩溶地下水垂直渗流带内,不影响补给

区岩溶地下水的流向及流量^[5]。

尽管作了大量比选优化工作,但线路还是近接通过了白泉、玉泉河泉群,考虑到泉域补给区内存在大量隧道工程,分析了其对济南泉群的影响。

4.1 对白泉泉群影响

济莱高速铁路通过白泉泉域的间接补给区、直接补给区、汇集排泄区主要以路基工程和桥梁工程为主,如图5所示。

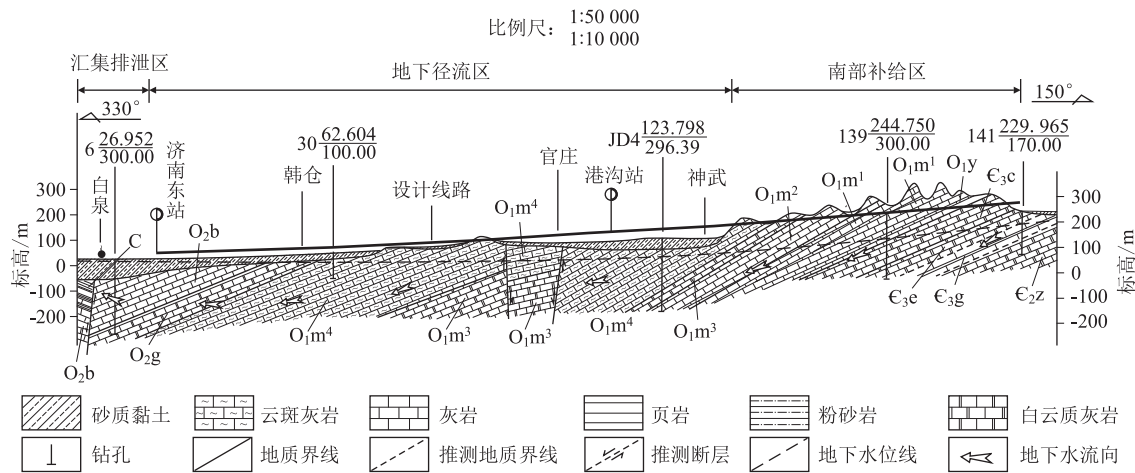


图5 沿线路走向的济南白泉泉群岩溶水补径排剖面图

在间接补给区,站场硬化面对补给区的降雨入渗量存在一定影响。路基、桥梁、隧道对降雨入渗量影响微弱;拟建铁路建设对间接补给区径流通道的影响轻微。

在直接补给区,桩基施工对直接补给区地下水径流影响较小。

在汇集排泄区,拟建铁路距离白泉最近约250 m,据最近泉点惠泉约80 m,距离规划湿地公园110 m;工程建设对岩溶水水量无影响,对第四系松散岩类孔隙水的径流通道有一定影响,应采取措施消除影响;工程建设对泉水水质有一定影响,在工程施工期,应加强管理,处理好污染源。

综上所述,线路建设对白泉泉域的补给影响不大,对白泉泉群的影响较小。

4.2 对玉泉河泉群影响

济莱高速铁路主要以路基工程和桥梁工程穿越玉河泉泉群流域,长度约9 km。玉河泉群泉点众多,泉域含水层为张夏组灰岩,岩溶地下水径流过程中受阻于含水层上下泥页岩阻隔,在地形低洼处形成大量下降泉。

线路以桥梁的形式进入玉河泉泉域的最北侧,含水层隐伏于第四系下,线路建设对玉河泉泉域中的泉水流量影响小。

位于线路以南的独立小泉点,线路建设对其无影响。位于线路以北的个别独立小泉点,线路以隧道穿

越其泉域范围,隧道建设对其补给径流有一定影响,然而,隧道建设一般不会完全破坏页岩的隔水层,因此对其影响较小。

4.3 线路通过补给区对白泉、玉河泉群影响分析

南部山区大量出露可溶岩地层,是岩溶地下水重要补给区,然而济莱高速铁路走向必须通过南部山区,如果不充分认识、认真比选,铁路工程建设势必会严重影响济南泉群。铁路工程主要为桥梁、路基及隧道工程,桥梁桩基施工、路基工程施工对岩溶地下水存在短暂水质影响,不会产生长期不可逆的水量及地下水径流途径影响,进而也不会对白泉、玉河泉群产生严重影响。

南部山区地形高低起伏,隧道工程必不可少。一般来讲隧道工程设置标高过低,隧道工程建设就会截断地下水,引起地下水径流途径改变,进而减少泉水流量甚至使泉水消失。为尽可能减少隧道工程建设对济南泉群影响,在线路方案优化及比选阶段尽可能抬高了线路标高,使隧道工程位于岩溶地下水水平径流带之上,这样保证了铁路工程建设不会对白泉泉群和玉河泉泉群产生实质性影响。岩溶隧道与岩溶水关系如表2所示。

5 结束语

济莱高速铁路济南段主要通过白泉和玉河泉泉群流域,在泉群出露区及径流地段,线路以桥梁、路基工

表 2 济南段岩溶隧道与岩溶地下水关系一览表

序号	名 称	里 程	长度/m	穿越地层岩性	隧道岩溶水分区带
1	有栏峪隧道	DK 17 + 635 ~ DK 18 + 325	690	O ₁ mb 中厚层灰岩、白云岩	垂直渗流带
2	东村隧道	DK 18 + 865 ~ DK 19 + 195	330	O ₁ mb 中厚层灰岩、白云岩	垂直渗流带
3	马家庄隧道	DK 19 + 930 ~ DK 22 + 92	3 021	∈ ₃ jc、O ₁ js 泥晶灰岩、白云岩、白云岩灰质	垂直渗流带
4	黑峪山隧道	DK 23 + 325 ~ DK 25 + 400	2 075	O ₁ js、O ₁ md、O ₁ mb 灰岩、白云岩	垂直渗流带
5	宅科隧道	DK 26 + 635 ~ DK 28 + 860	2 225	∈ ₃ jc、O ₁ js、O ₁ md、O ₁ mb 灰岩、白云岩	垂直渗流带
6	西丝峪隧道	DK 29 + 070 ~ DK 29 + 380	310	∈ ₃ jz、∈ ₃ jg 灰岩、白云质灰岩、泥岩、页岩	垂直渗流带
7	王家峪隧道	DK 29 + 810 ~ DK 30 + 530	720	∈ ₃ jz、∈ ₃ jg 灰岩、白云质灰岩、泥岩、页岩	垂直渗流带
8	寨山隧道	DK 31 + 810 ~ DK 36 + 622	4 812	∈、O 中厚层灰岩、白云岩、泥页岩	垂直渗流带
9	石磨顶隧道	DK 39 + 540 ~ DK 40 + 250	710	O 中厚层灰岩、白云岩	垂直渗流带
10	围子岭隧道	DK 40 + 540 ~ DK 40 + 860	320	O 中厚层灰岩、白云岩	垂直渗流带
11	辛庄隧道	DK 41 + 315 ~ DK 41 + 660	345	O 中厚层灰岩、白云岩	垂直渗流带
12	长青隧道	DK 42 + 730 ~ DK 43 + 540	810	O 中厚层白云质灰岩、泥质白云岩	垂直渗流带
13	文祖隧道	DK 45 + 480 ~ DK 48 + 020	2 540	O 中厚层灰质白云岩、灰岩	垂直渗流带
14	南山寨隧道	DK 54 + 025 ~ DK 58 + 855	4 790	进口段 ∈ 白云岩、灰岩、页岩,出口段泰山群花岗岩	垂直渗流带、中部季节变动带

程通过,局部桩基施工可能对岩溶泉水水质存在短暂影响,长期来看对泉水基本无影响。南部山区可溶岩大量出露,广泛接受大气降雨及地表溪流补给,铁路工程以众多隧道工程通过补给山区。为防治隧道建设截断岩溶地下水径流,减少对白泉和玉泉河泉群影响,线路尽可能抬高爬升,隧道工程处于岩溶水垂直渗流带内。除局部对山区部分小型泉点有影响外,对于出露于排泄区的白泉、径流区的玉河泉泉群基本无影响。

参考文献：

[1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 济南至莱芜高速铁路初步设计—地质篇 [R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2018.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Preliminary design of Jinan-Laiwu High-speed Railway-Geology[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.

[2] 中铁二院工程集团有限责任公司,山东省地质测绘院. 济南至莱芜城际铁路岩溶水文地质专题研究报告 [R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,济南:山东省地质测绘院,2016.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Shandong GEO-Surveying & Mapping Institute. Special Study Report on Karst

Hydrogeology of Jinan-Laiwu Intercity Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Jinan: Shandong GEO-Surveying & Mapping Institute, 2016.

[3] 中铁二院工程集团有限责任公司,山东省地质测绘院. 济南至莱芜城际铁路可溶岩隧道水文地质调查报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,济南:山东省地质测绘院,2017.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Shandong GEO-Surveying & Mapping Institute. Hydrogeological Survey Report on Soluble Rock Tunnel of Jinan-Laiwu Intercity Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Jinan: Shandong GEO-Surveying & Mapping Institute, 2017.

[4] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册(修订版)[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
The First Survey and Design Institute of the Ministry of Railways. Handbook of Railway Engineering Geology (Revised Edition) [M]. Beijing:China Railway Publishing House, 2005.

[5] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
Editorial Board of Hand Book of Engineering Geology . Geological Engineering Handbook[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.