

9月25日,济南五龙潭月牙泉,泉水有力蹦出蘑菇石,倾泻而下,“月牙飞瀑”盛景引来无数游人留影。月牙泉在济南72名泉中喷涌水位最高,通常趵突泉水位达到29米时才能复涌,是所有泉群全部喷涌的“信号泉”。在它南侧约1.9公里,最繁忙的经十路上,地铁4号线空载试运行的列车穿城而过,做着通车前的最后冲刺。

这是世界上首条邻近泉水敏感区的地铁线路,也是济南首条在城市最繁忙的经十路下东西川流的地铁线路。一边是南依泰山、北靠黄河的东西狭长城市亟须解开的拥堵之困,另一边是潜流地下涌动城市生机的泉脉之珍,为泉水让路,与泉水共生,成为4号线地铁建设的主动选择。



济南地铁4号线经十路南侧的泉城公园站(工程名),为地下水让路,车站浮出了地面。

# 与泉水一起川流的地铁

记者 王皇 喻雯 季明智

## “浮”出地面的地铁站

济南经十路泉城公园附近,有一座半地上车站。它的穹顶“浮”出地面,向经十路“抬起了头”。这就是全线最浅车站——泉城公园站(施工名,下同)。

它是为地下水让路才“浮”出地面的,在济南建地铁,保护泉水生态被放在第一位。

在规划设计阶段,济南就提出了“绕避升抬”的泉水保护设计理念:地铁规划线网绕开泉水敏感区、避开岩溶含水层,最大程度减小对径流的影响;同时,升抬地下线路、车站埋深,在临近泉水敏感区采用浅埋方式,让地铁为保泉“抬头”。

正因如此,泉城公园站在地上露出了“半个头”。

济南轨道交通集团建设投资有限公司4号线项目负责人曹殿彬介绍,泉城公园站位于趵突泉泉群正南1.5公里处,邻近泉水敏感区,处于地下径流的“上游”位置。因此对泉城公园站的设计和建设,更要慎之又慎,确保泉水万无一失。

泉的生态保护是第一位的。“车站最初设计需要开挖22米,但根据前期地质勘探数据,挖到这一深度,车站底板就会触及地下含水层近30年最高水位线,可能影响地下水径流。”曹殿彬说,设计团队果断调整方案,将车站整体抬升7米,埋深从22米减少到15米。最终,泉城公园站就从地下“漂”了出来,高出地面2米多,成为济南首座半地下地铁车站。

“泉城公园站是离趵突泉最近的车站,为了泉水的万无一失,我们在这个车站‘上了两道安全锁’。”济南泉脉保护技术研究中心高级工程师黄永亮介绍,抬高的车站避开了地下水位历史最高值,但若地下水位创下新高,车站底部铺设的U型导流通道就将发挥作用。

“有了导流通道,高出车站底板的地下水可以顺着通道,从车站底板下方流过,按原路径流淌,这就像给地下水装了一条‘隐形过水通道’。”黄永亮打了个比方,它的原理类似“U型管”,通过汇水系统将被车站截堵的地下水流迅速汇集,经由导流通道疏导到车站另一侧,最大程度减小轨道交通车站建设对地下水径流的影响。

这一技术在泉城公园站、山师东路站、千佛山站等重点车站应用,并在千佛山站TOD综合开发项目推广。根据监测,车站建成后地下水流场可以基本恢复到原始流场状态。



济南地铁4号线列车。

“泉城公园站是双层岛式车站,因为抬高的设计,站厅层就在地上,未来市民乘车只需要下到地下一层,相比其他站要到地下二层更方便。”曹殿彬说,在保泉的同时,地铁车站也要与城市共融,与乘客方便。泉城公园车站也将与泉城公园融为一体,成为一个地标性站点。

## 从哪来回哪去的地下水

在全线最长的明挖车站省体育中心站,为了减少车站开挖作业对地下水的影响,站点施工用上了济南在一期地铁建设中自主创新研发的“基坑降水原位回灌技术”。

“回灌就是‘把基坑内抽出来的水灌回基坑外地层’,让水从哪里来再回到哪里去。”曹殿彬介绍,通过技术创新确保抽多少水,就回灌多少;从地下哪个层抽水,就回灌到哪个层,同时还不影响地下水水质。

省体育中心站在基坑作业期间,就设置了降水井、回灌井各78口,安装了两套回灌设备,高峰期每天降水、回灌近千方。

整个回灌过程分三步——抽水:用降水井将基坑内的地下水抽出;净化:通过沉淀水箱和水处理装置过滤杂质,确保水质与原水一致;回灌:处理后的水在基坑的止水帷幕外,通过回灌井重新注入原含水层,真正做到“同层、同源、同质、同量”回灌。

“像济南这样专门研发降水回灌系统,把地下水过滤后回灌到地下的做法,我是第一次遇到。”中铁二十局济南轨道交通4号线省体育中心站项目技术主管陆亚中曾在多座城市参与过地铁建设,他说,很多城市建设地铁时,直接把水排入排水管网流走,济南却对地下水格外珍视。

从一期到二期,济南对地下水的珍视

有增无减。相比一期,4号线的回灌设备进行了全面升级,更加智能高效。升级后设备的故障率降低,仅需一人巡检即可保障多站点运行;还实现了按需回灌,通过研发HG-100、HG-200、HG-300等改进型设备(数字代表每小时回灌量),适配不同地质条件富水程度,在4号线14个车站得到成功应用。

黄永亮说,回灌技术不仅最大限度减少了地下水资源流失,还维持了地下水补给、径流与排泄的平衡。

## 一千多米巨大的“CT”

4号线全长40.3公里,33座车站贯穿主城东西,在地下再造了一条经十路,无疑是上班族最期待的线路。它还串联起泉城公园、千佛山风景区、省博物馆、美术馆、众多三甲医院、由西到东的众多商业综合体,将是泉城游购娱医全都有城市服务专线。

满载期待的4号线,“披荆斩棘”而来。在地下遇到了26种复杂地质、多处溶洞群和密集的城市管网。

泉城公园站至千佛山站这段长达1040米的隧道,是施工最难的区间之一,它穿越了最为复杂的溶洞区域。如何让施工不影响地下水脉,如何确保盾构施工安全,都是摆在地铁建设者们面前的大难题。

在动工前,勘察团队就像给大地做了一次“全身体检”——用水文地质钻探“把脉”、瞬变电磁“拍片”、微动探测“听诊”,甚至还做了跨孔CT扫描,把地下含水层和溶洞的分布摸得清清楚楚,绘制出一张精细的“地下水脉地图”。施工中,首次应用了济南重工制造生产,搭载了超前地质预报系统的盾构机,它能提前感知溶洞边界,结合

管片姿态自动调整技术,实现溶洞群中的安全高效掘进。

但光知道地质情况还不够,如何确保施工不破坏泉脉?济南轨道交通集团联合山东大学,创新研发了“黑科技”绿色材料。

“急救绷带”——新型绿色抗动水封堵材料。它能在遇到突发涌水时快速凝结,像防水创可贴一样堵住渗漏点。在千佛山站施工中,它成功封堵了13处渗水点,而且绿色环保,不会污染地下水,就像手术中用的可吸收缝合线,完成任务后不会留下任何“后遗症”。

“能透水的新材料”——新型溶洞充填透水材料。这种材料像海绵一样能让水自由通过,又像钢筋一样坚固。把它填充到溶洞里,既能防止坍塌,又不会堵塞地下水径流通道,就像在溶洞里搭建了一个“透水防塌支架”,让泉水流淌和地铁前行和谐共存。“这些材料就像给泉水区施工上了双重保险。”曹殿彬说,“我们既要让地铁顺利穿过,又要让泉水自由流淌。”

“济南修建地铁必须用慎重态度对待泉水,用智慧方法建设地铁,确保地铁与泉水和谐共生。”济南轨道交通集团有限公司党委委员、副总经理王永军在近期举行的媒体座谈会上说。求解保泉与地铁建设世界级难题,4号线建设中,探索出了地下水精细化探测、降水回灌、结构导流、绿色环保材料等十余项保泉相关技术成果。

4号线正向通车运营冲刺,地铁保泉的工作仍在继续,与泉水共生是一场贯穿地铁全生命周期的持久守护。在泉城公园站,3口深度分别为25米、50米、80米的永久监测井,如同“地下水听诊器”,能精准监测地下水的“呼吸”。济南轨道交通集团已在轨道交通线路沿线布设200余眼地下水长期监测点,对沿线地下水水位进行二十四小时分层实时监测。

今年底,4号线即将迎来通车,这条承载着泉城人万千出行期盼的通勤专线,也将成为泉城“地下经十路”发展新动脉,更重要的是,这条满载人间烟火气的地铁线路,能听得见泉水叮咚。4号线建设的4年多时间,“月牙飞瀑”盛景都如约而至。这是自2003年趵突泉复涌以来,首次连续5年得见。在轨道交通大规模同步建设的2022年,趵突泉水位达到历史最高的30.27米。在降水量较常年略偏少的2023年,趵突泉水位有318天达到28.50米的趵突腾空线。4号线的保泉和建设历程真正实现了泉城人的共同心愿:感受到人、车、泉和谐共生的美好图景,享受到了泉城独有的轨道上的美好生活。