

城市岩溶区地铁隧道的溶洞超前探测及处治技术

刘瑞琪

(中铁十四局集团 隧道工程有限公司, 山东 济南 250002)

摘要: 以正在施工的大连地铁 2 号线(松江路站~东纬路站)暗挖区间工程为例,介绍了暗挖爆破法穿越富水岩溶区、溶洞发育区域时的施工工序流程和超前地质预报手段。利用地质补勘钻孔、超高密度电法跨孔电阻率 CT 探测、洞内超前探孔等技术手段详细探明溶洞发育位置、形态,通过洞内与地表相结合的处理方式消除或减小溶洞对暗挖施工的影响。超前地质预报手段与施工工序流程的成功应用,为类似环境下城市地铁施工提供参考及借鉴意义。

关键词: 暗挖爆破施工; 富水岩溶区; 地质补勘; 高密度电法; 超前探孔

中图分类号: U455 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)02-0042-05

1 工程概况

大连地铁一期工程 207 标段包含一站两区间,分别为松江路站~东纬路站区间、东纬路站、东纬路站~春光街站区间,线路全长 2 568 m,全部采用暗挖法施工。设计阶段地质勘察报告、施工过程中进行的地质补勘钻孔资料表明,松江路站~东纬路站区间段钻孔遇洞率 55%,该区间岩溶发育程度为中等发育。岩溶分布于全线段、发育数量多、大小岩溶构造形态均有发育、垂向分带规律不明显,多数岩溶呈充填或半充填状况。岩面起伏变化大,岩层浅部溶沟、溶槽、溶隙及溶洞等发育强烈,岩层中溶洞存在串珠状分布的特点。

岩溶主要分布于场区内泥灰岩中。勘察中揭露溶洞(层号为⑭1),揭露洞高 0.30~13.50 m,揭露洞顶标高 1.95~27.70 m,揭露洞底标高 12.22~23.70 m,揭露洞顶埋深 11.20~37.00 m。大部分溶洞侵入隧道结构范围内,部分位于结构底板下方及结构顶板上方,溶洞充填物为粘土、红粘土及灰岩碎屑,溶洞上部与含卵石碎石土、粘土接触,施工过程中极有可能发生涌水、突泥、塌方及地表塌陷等情况,对暗挖施工影响很大。

2 溶洞位置超前探测

2.1 高密度电法+地质雷达法

高密度电法和地质雷达法均可用于探测断层、溶洞和空洞、富水带等不良地质体,蓝色区域代表低电阻介质,红色区域代表高阻介质,其他区域为介于高阻与低阻之间介质。受接受线体影响,高密度电法适用于人行道处,在跨路段一般采用地质雷达法。主要优点是时间短、速度快。

高密度电法是指通过电极阵列排列方式来观测人工建立的地下稳定电流场的分布规律,进而可以实现目标体探测的一种电阻率法。主要采用国产 WDA-1 直流电法仪,布点距离 4 m,高密度电法探测成果图为视电阻率等值线断面图。

地质雷达法是利用高频电磁波束的反射来探测地质目标的一种电磁类地球物理方法。地质雷达 SIR-3000 利用超高频电磁波探测地下介质分布,根据介质电性差异的反射影像特征即可再现地下介质的分布形态。

高密度电法和地质雷达法形成的成果分别见图 1 和图 2。

收稿日期: 2012-02-14

作者简介: 刘瑞琪 男 1974 年出生 工程师

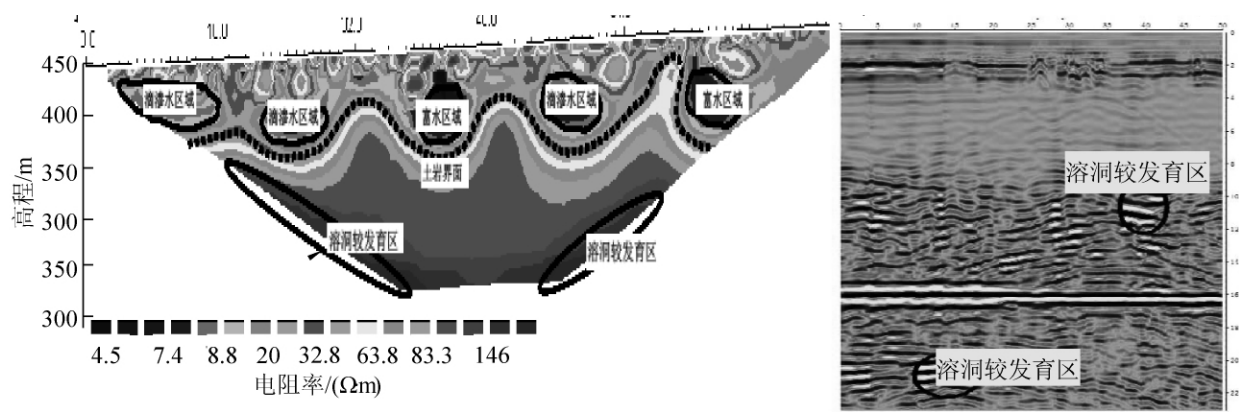


图 1 高密度电法成果图示

图 2 地质雷达法成果图示

2.2 地质钻孔 + 地质 CT

地质钻孔是地质补勘手段, 钻探使用 XY-400 型钻机, 采用冲击加回转及套管、泥浆护壁、合金与金刚石相结合的钻进方法。岩芯按顺序放于岩芯箱内, 及时鉴定、记录, 并用数码相机逐孔逐箱拍摄记录。勘探孔沿岩溶发育区段左右线隧道两侧, 隧道外边线外侧 3 ~ 4 m 和左右线隧道中间, 布置 3 条勘探线, 沿勘探线按纵向间距 6 m 布置钻孔, 勘探孔深度钻至地铁隧道底板下 6 m。

地质 CT 是一种超高密度电法, 是一种电阻率层析成像技术, 原理同高密度电法, 但比常规高密度电法省时^[1]。采用的仪器是 FlashRES 64 多通道超高密度地面/井地/井井直流电法勘探系统, 测线方向主要是横切地铁走向, 利用位于地铁两边的钻孔开展跨孔电阻率 CT 探测, 有效宽度为 25 m。跨孔电阻率 CT 探测时, 两个钻孔中分别放入两根带有 32 个电极的电缆, 电极间距为 1 m, 根据钻孔的深度, 可选择参与数据采集所需电极的数量, 布设井下电极阵, 进而观测跨孔间的电流、电压数据, 最后反演获得两井之间的电阻率分布断面图。

地质钻孔及地质 CT 两种地质探测方法形成的成果互补后见图 3。

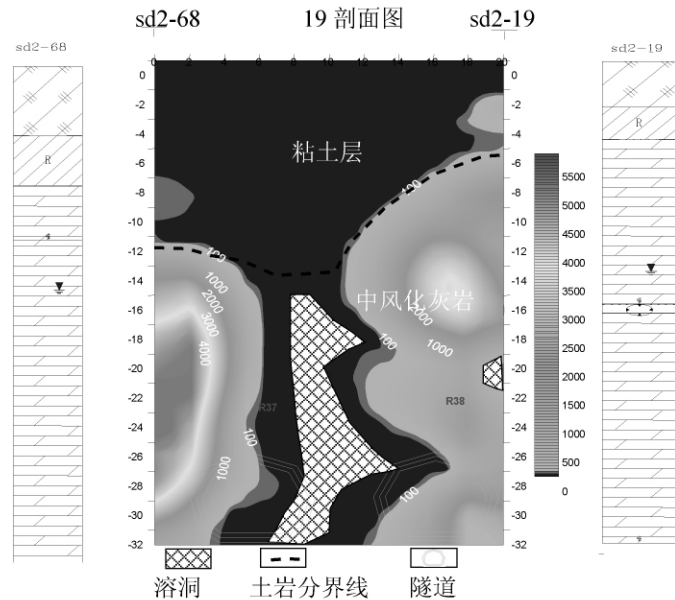


图 3 地质钻探 + CT 成果展示图

2.3 洞内探测方法

地质补勘钻孔岩芯揭示了隧道埋深范围内岩溶发育情况, 跨孔电阻率 CT 探测成像剖面图可直观显示出岩土交接及溶洞发育位置。地质补勘钻孔间距为 6 ~ 10 m, 为准确探测隧道开挖范围内溶洞、溶沟(槽)、软弱夹层、富水带等强溶蚀带的分布情况, 在地质补勘钻孔间距内进行洞内超前探测。利用现有施

工机具设备 YT-28 风枪在洞内进行超前探孔,在掌子面沿掘进方向打设 5 个探孔,探孔深 6 m,可跨越地质补勘钻孔间距。探孔打设过程中详细记录钻进过程中钻杆进度、回浆颜色、突进或卡钻、有无突水等其它情况,以此来判定开挖面前方 6 m 范围内围岩详细地质情况,更好的来指导爆破施工。

3 溶洞的处治技术

依据地质补勘、高密度电法、洞内超前探孔所取得的成果,以岩溶的状况和性质将其分为溶沟、溶槽、溶管和溶洞。根据岩溶不同的发育形态、充填物的形式、富水量的大小,现场施工中分为洞内与洞外两种处治技术^[2-6]。

3.1 洞内处治技术

3.1.1 拱部超前注浆

根据超前探孔资料,洞内可处理发育体积较小,发育部位在隧道开挖范围内的半充填和充填型溶洞。富水岩溶区爆破开挖时严格遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、勤量测、快封闭”的方针,在爆破开挖前先行打设超前小导管进行预注浆处理措施,根据超前探孔探测到的前方围岩渗水量情况,现场采取压注水泥浆液与水泥-水玻璃双液浆两种注浆方式,注浆压力 0.3 ~ 0.6 MPa。注浆导管沿开挖断面拱部 120°范围内打设,导管采用 $\Phi 42$ 热轧无缝钢管,壁厚 3.25 mm,单根长度 3 m,纵向每 1 m 打设一循环并及时进行注浆施工,注浆施工时喷射混凝土封闭拱部掌子面。利用洞内超前小导管注浆可加固隧道开挖范围内软弱破碎带,充填溶沟、溶槽,封堵基岩裂隙水,避免开挖过程中突水现象发生。

3.1.2 全断面帷幕注浆

根据地质详勘成果,结合超前探孔探明的软岩地段、断层破碎带等岩溶发育区,会发生突水、涌水的地段,采用全断面(帷幕)超前预注浆处理措施进行加固处理。全断面(帷幕)超前预注浆设计参数如下:

(1) 1#循环超前预注浆设置 14 个注浆孔,孔深 6 m; 2#循环注浆设置 10 个注浆孔,孔深 10 m; 3#循环注浆设置 5 个注浆孔,孔深 15 m。

(2) 注浆管采用 $\Phi 42 \times 3.25$ mm 小导管,小导管间隔 15 cm 梅花形烧孔,尾部 1 m 不烧孔,孔口外露 200 ~ 300 mm 焊接注浆头。

(3) 注浆孔掌子面以隧道中轴伞状布置,注浆范围为隧道开挖线以外 5 m,浆液扩散半径为 2 m。

(4) 注浆液采用水泥-水玻璃浆液,浆液配合比应在实际施工中根据注浆效果调整。注浆压力 0.5 ~ 1.5 MPa。

全断面(帷幕)超前预注浆施工:

(1) 每循环超前预注浆前设置 300 mm 厚导向墙(止浆墙)。

(2) 采取反复注入、稀浆与浓浆交替、压力控制与注入浆量控制相结合的措施,注浆压力由低到高逐渐加压。初始注浆压力采用 1.2 倍静水压力,注浆时间根据浆量的注入速率进行灵活调整。

(3) 每循环注浆完毕开挖施工后,预留 3 m 左右作为下阶段注浆止浆段。

3.1.3 穿越充填型溶洞施工方法

针对开挖过程中揭示出的拱腰以上存在的充填型溶洞,拱部 180°先施作 $\Phi 42 \times 3.25$ mm 超前小导管预支护,间距 300 mm,压注水泥-水玻璃双液浆;溶洞范围内加密施作格栅,间距 500 mm,铺设双层钢筋网,打设径向注浆锚管用以后期注浆加固。拱部溶洞处治支护参数示意图见图 4。

3.2 溶洞洞外处治技术

针对地质补勘、高密度电法 CT 探测已探测出的较大发育溶洞,应根据其发育部位、形态、大小等采取地面处理的方式以消除溶洞对暗挖施工风险。

溶洞洞外处治技术施工步骤为:溶洞处理与否判定→划定高、低风险区域→溶洞处理→溶洞处理效果检查。溶洞处理施工工序可分为两步:先充填、后灌浆压密。

洞外处治主要针对容积大于 1 m^3 或直径大于 1 m 的溶洞,处治方式采用地表竖向深孔注浆、深孔袖阀管压密注浆、吹砂固结充填法、高压混凝土换填等方式。

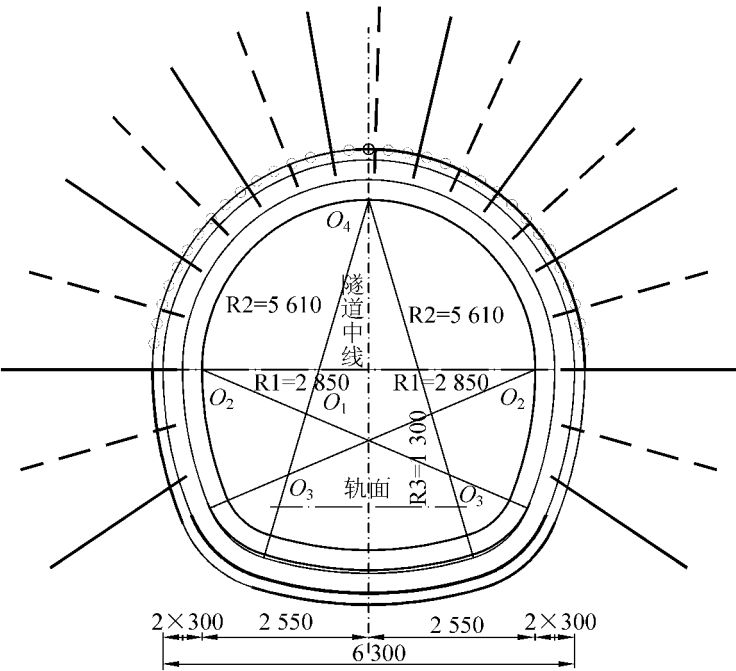


图 4 拱部溶洞处治支护参数示意图(单位: mm)

溶洞灌浆采用袖阀管(PVC 花管)注浆加固法,袖阀管采用 $\Phi 48$ mm PVC 管(管壁厚 4 mm,耐压值 ≥ 7.5 MPa),袖阀管下到溶洞底面,在溶洞段的管壁上钻花眼 $\Phi 6@300$ 作为出浆孔,外包橡皮箍作为单向阀。对于高度 0~2 m 的溶洞,把送浆管直接连通袖阀管,对溶洞内的充填物进行压力注浆;对于高度 2 m 以上的溶洞,在袖阀管内下入双塞芯管,对溶洞内的充填物分层进行压力注浆,分层厚度为 0.5~1.0 m。钻孔平面及立面布置详图分别见图 5 和图 6。

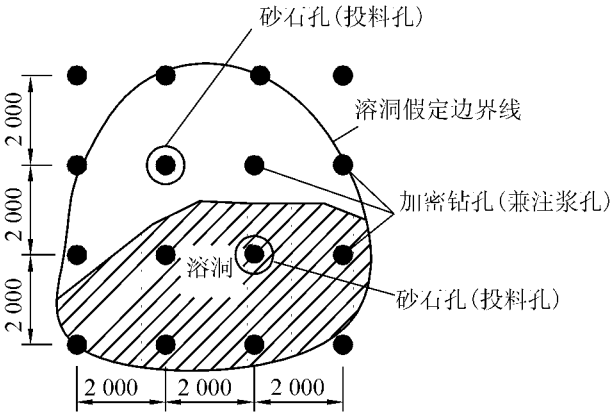


图 5 钻孔平面布置示意图(单位: mm)

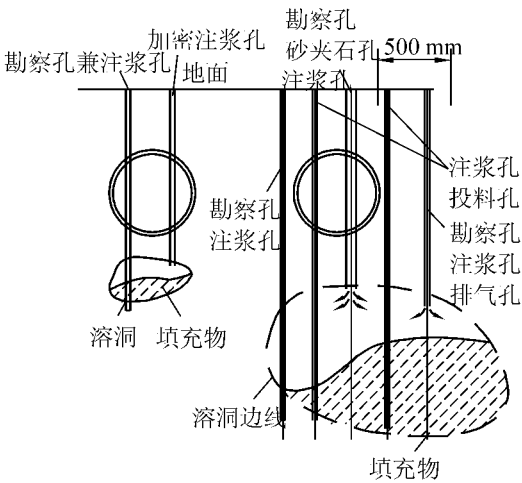


图 6 钻孔立面布置示意图

4 现场岩溶处治效果分析

通过地质补勘钻孔、超高密度电法跨孔电阻率 CT 探测、洞内超前探孔等技术措施探明了施工区域内较大发育的溶洞,并采取相应的洞内及地表处理措施进行了处理,消除了施工风险,确保了已施工段的施工安全。实践证明,地质预报是暗挖隧道施工中不可缺少的重要工作,通过地质预报可将溶洞的发育规模、与洞室的位置关系、溶洞的充填物与富水量等弄清楚,最后在施工中采取相应措施。该工作必须作为一道工序,纳入施工管理和控制中。通过以上处理措施的实施,安全通过了此处溶洞,经长时间不间断量测表明,该段围岩变形已稳定,支护结构表面无明显渗漏水现象。

5 结语

目前所用的各种地质预报手段都有其局限性,为此,不但需要在设计阶段加强地质调查和勘察工作,在施工前要有针对性的详细补充勘察和细致物探,以求地质预报资料的准确。若施工环境条件允许,应尽量提前进行地表预处理,以提高施工功效。施工时必须严格管理溶洞段超前探测、深孔充填注浆等施工工艺。在溶洞地段,还应加强环境监测、地表沉降监测、隧道涌水量和地表环境变化等情况,以确保施工安全。

参 考 文 献

- [1] 山东大学岩土与结构工程研究中心. 大连地铁跨孔电阻率 CT 物探报告[R]. 济南: 山东大学, 2011.
- [2] 李波. 岳家岭隧道地质灾害超前探测技术探讨与实践[J]. 公路交通技术, 2011(5): 117-120.
- [3] 任翔. 岩溶发育石灰石矿山爆破存在的问题及处理方法[J]. 中国矿业, 2008(6): 77-79.
- [4] 罗琼. 岩溶隧道施工技术[J]. 隧道建设, 2004(5): 57-60.
- [5] 李海峰. 浅埋暗挖地铁隧道岩溶地层注浆加固止水施工[J]. 石家庄铁道学院学报, 2006, 19(21): 37-40.
- [6] 吕延豪. 地铁盾构区间穿越溶、土洞区域加固处理设计[J]. 铁道勘测与设计, 2007(4): 18-20.

Construction Treatment Technology for City Metro in Karst Area

Liu Ruiqi

(Tunnel Engineering Company of China Railway 14th Engineering Bureau Group Corporation , Ji'nan 250002 , China)

Abstract: Based on the proposed underground cut tunnel section between Songjiang Road Station and Dongwei Road Station of DaLian metro line 2 , this paper introduces the construction process and method of geology forecast of underground tunneling method , which was adopted in metro construction in water-enriched karst area. The location of development and morphogenesis of karst were detected clearly by means of the technologies of additional geological exploration , high density resistivity method and advance detection. The impact of karst was eliminated or reduced by the combination treatment method between tunnel and ground surface. The successful application of the method of geology forecast provides a good reference for the city tunnel construction.

Key words: underground tunneling method; water-enriched karst area; additional geological exploration; high density resistivity method; advance detection

(责任编辑 车轩玉)

.....
(上接第 5 页)

Arch Rigidity Optimization of Main-vice Arch Cooperation System Bridge with Flexible Tie Bar

Shi Xuefei , Xu Kai

(Department of Bridge Engineering , Tongji University , Shanghai 200092 , China)

Abstract: Main-vice arch cooperation system (inclined arch) bridge is a complicated spatial combination system composed of the main arch and the vice arch. This article is a study of a main-vice arch cooperation system bridge with flexible tie bar. The variation of arch stress state about arch rigidity is calculated. Parameter expression of arch force and resistance about arch section is obtained by fitting data points. The optimization of arch rigidity is achieved under certain optimization objective. Its rationality is tested and verified FEM , which provides a reference for related studies.

Key words: main-vice arch cooperation system; flexible tie bar; arch rigidity; optimization

(责任编辑 车轩玉)