

地表不具备钻探条件下的盾构机 通过空洞地段施工技术

晏胜荣, 贺 飞

(中铁十四局集团有限公司, 山东 济南 250013)

摘 要:本区间因隧道下穿南航酒店和火车站地中海商场及停车场,大部分区域无法实施钻探。而由周边地质资料及施工所反映的情况推测,该区域有存在空洞的可能。未探明的空洞可能对盾构机掘进造成不利影响,如盾构机栽头、地层塌陷等。因此,在盾构机通过未探明区域前必须进行探测和预处理,以指导盾构机掘进。

关键词:盾构;空洞;物探;注浆回填

中图分类号:U455.43 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)09-0076-04

Construction Technology of Shield Machine Passing the Undrillable Section with Possible Caving/YAN Sheng-rong, HE Fei (China Railway Shisiju Group Corporation, Jinan Shandong 250013, China)

Abstract: In the possible caving section, which could not be drilled because of the existing buildings and facilities, detecting and preconditioning should be made to avoid the falling of shield machine and formation collapsing.

Key words: shield; cave; physical exploration survey; grouting back-filling

1 工程概况

广州市轨道交通五号线草暖公园—广州火车站盾构区间位于草暖公园与广州火车站之间,隧道线间距 13~31 m,最大坡度 18‰,覆土厚度约 21.5 m。隧道通过地层以中、微风化含砾泥质粉砂岩地层为主,围岩稳定性好,透水性差。地下水水位埋藏稍深,地下水按赋存方式分为第四系松散岩类孔隙水、层状基岩裂隙水,稳定水位埋深为 1.90~12.50 m。地下水位的变化与地下水的赋存形式及排泄、补给方式关系密切。

本区域地层属湖泊相与下伏基岩呈不整合接触,区域岩性主要为杂色砾岩夹暗紫红色粉细砂岩。本区间揭露的岩性主要为含砾泥质粉砂岩夹砾岩。详细勘察阶段岩土工程勘察中本区间在 MEZ3-GX-05、MEZ3-GX-10 发现有溶蚀空洞存在;补充地质勘察中在 MEZ3-XC-7、MEZ3-XC-8、MEZ3-XC-9 三个钻孔中发现溶蚀空洞,在 MEZ3-XC-1、MEZ3-XC-3 两个钻孔中发现软弱夹层。空洞最大高度为 2.6 m (MEZ3-XC-9),全填充溶洞高度为 2.25 m (MEZ3-XC-7,充填物主要是松散状粗砂及粉土)和半填充溶洞高度 2.7 m (MEZ3-GX-10,充填物为粉质粘土,夹砾岩碎块)。

另外,草暖公园始发井内钻孔桩施工时,52 号桩钻进至 20 m 深度时发生漏浆现象;火车站 4 号风亭围护结构施工时 23 号桩在钻进 26 m 时也发生了漏浆现象;火车站(五号线地铁站)暗挖结构施工时在隧道西端也发现了全填充溶洞,溶洞位于右线隧道肩部,充填物为松散状粗砂、碎石及粘土(泥浆)。

勘察结果和岩心取样结合施工记录表明,本区间空洞为含砾泥质粉砂岩中砾石被风化腐蚀所引起的,其规模较小,连通性较差。

本区间因隧道下穿南航酒店和火车站地中海商场及停车场(地面为大型公交站场,地下为商场及停车场),因此大部分区域无法实施钻探。南航酒店为天然基础,续建工程为桩基础,其施工竣工图纸无发现空洞记录。火车站地中海商场及停车场桩基础较浅,施工记录也未发现空洞记录。而由周边地质资料及施工所反映的情况推测,该区域有存在空洞的可能。

未探明的空洞可能对盾构机掘进造成不利影响,如盾构机栽头、地层塌陷等。因此,在盾构机通过未探明区域前必须进行探测和预处理,以指导盾构机掘进。

收稿日期:2008-07-23

作者简介:晏胜荣(1975-),男(汉族),湖北黄冈市人,中铁十四局集团有限公司工程师,供热通风及空调工程专业,从事隧道及地铁施工工作,山东省济南市和平路 1 号,crecgy@63.com;贺飞(1981-),男(汉族),河北石家庄人,中铁十四局集团有限公司助理工程师,土木工程专业,从事隧道及地铁施工工作。

2 过空洞地段采取的措施

盾构机通过此区域总体思路为:通过物探,查明空洞的范围和与盾构掘进的位置关系,以便采取相应措施,确保盾构机安全、快速通过。

2.1 超前地质预报

设计隧道处在岩石微风化带中,微风化含砾泥质粉砂岩、砾岩与岩石空洞中的充填土及空气相比,其导电率、介电常数、地震波传播速度差别较大,有利于开展物探工作。为确保探测结果的准确性和可靠性,我公司与广东省地质科学研究所进行合作,进行物探工作。

由于探测隧道深度精度要求高,而物探探测需要足够地质资料来校正,加上地面探测受建筑物限制,通过现场线路调查,确定采用综合物探方法,包括地质雷达、瞬变电磁波和地震映像等。

本次探测共发现空洞 20 个,其中左线 7 个,右线 13 个,空洞规模在 2~5 m,高度 2~3 m。对盾构掘进影响较大需进行处理的空洞为 Z3、Y7、Y11。

结合详勘、补勘和物探结果进行推测,岩洞的形成在多次不同方向断裂构造作用下,特别是环市路断裂,造成岩体破碎,在断裂交汇口处或裂隙带,含 Ca 成分高的砾岩层在水的作用下溶蚀形成了空洞。从地质资料可知,调查区内岩洞分布在同一层位,洞高 2~3 m,与出现岩洞的砾石层厚度一致。此种地层条件下的空洞存在连通性差、规模较小的特点。受环市路断裂带影响,本区间右线(靠近环市路断裂一侧)空洞较多,规模较大。左线因距离环市路断裂较远,空洞数量和规模均较小。

2.2 空洞的分类及处理方法

根据物探报告结果结合本区间地质详勘、补勘资料,决定对本区间发现的空洞采取以下处理措施,确保盾构机顺利通过。

2.2.1 地质详勘期间发现的空洞处理

详勘期间本区间钻孔 5 个,发现空洞的钻孔为 MEZ3-GX-5 和 MEZ3-GX-10,两个空洞均距离盾构隧道较远(MEZ3-GX-5 孔距离隧道中心线 6.7 m,MEZ3-GX-10 孔距离隧道中心线 8.6 m),且物探表明此两个空洞并无向隧道一侧发展趋势,所以不予处理。

2.2.2 地质补勘发现的空洞处理

补勘期间本区间钻孔 10 个,发现空洞的钻孔为 MEZ3-XC-7、MEZ3-XC-8 和 MEZ3-XC-9,因为此区域内空洞密集分布广泛,且当时钻探结束后均预留了注浆管路,出于充填空洞、加固地层和止水

的原则,对此区域预留的空洞均采用地面注浆进行充填。

2.2.3 基坑施工期间发现的空洞处理

草暖公园西侧始发井施工期间 52 号桩钻进至 20 m 时发生了漏浆现象,火车站 4 号风亭施工时 23 号桩钻进 26 m 时发生漏浆现象。西侧始发井基坑开挖期间未发现空洞,且西端头进行了端头加固,所以空洞可不再进行处理。4 号风亭漏浆位置靠隧道方向物探发现空洞 2 个,需进行处理。

2.2.4 物探发现的空洞处理

左线物探共发现空洞 7 个,分别为 Z0、Z1、Z2、Z3、Z4、Z5 和 Z6,其中在隧道投影范围内的空洞为 Z0、Z3、Z4、Z5 和 Z6。Z0、Z4 和 Z6 均距隧道较远,Z0 在隧道以下 3.2 m,Z4 在隧道以下 3.4 m,Z6 在隧道以下 3.6 m,盾构掘进对其不造成影响,故可不进行处理。Z5 完全位于盾构机掘进范围内,盾构机掘进可完全将其破除,也可不进行处理。Z3 在隧道以上 0.19 m,盾构机通过可能对地层带来扰动,为确保地层稳定,对此地层进行地面注浆加固。

右线物探共发现空洞 13 个,分别为 Y1~Y13,其中在隧道投影范围内空洞为 Y1、Y4、Y7、Y10、Y11、Y12、Y13。其中 Y1、Y4 完全在隧道机掘进范围内,盾构机掘进可完全将其破除,可不进行处理。Y10、Y12、Y13 距离盾构隧道较远(隧道顶以上 1.2、4.5、1.5 m),盾构掘进对其不造成影响,也不进行处理。Y7 空洞距离隧道较近,在隧道顶以上 0.2 m。盾构机通过可能对地层带来扰动,采用地面注浆进行加固,并在盾构机通过后加大壁后注浆量及二次注浆量。Y11 在盾构隧道底部,对盾构机掘进有较大威胁,采取地面注浆加固处理。

2.3 注浆回填

为了保证盾构机通过空洞位置,当探明隧道线路前方的空洞后,在盾构机继续掘进前需提前进行注浆回填。

物探发现空洞后考虑 2 种注浆方案:一为地面注浆,二为盾构机通过后盾构机由管片注浆孔进行双孔注浆(一孔注浆,一孔排气)的方式进行充填加固。在场地允许的情况下优先考虑地面注浆(Z3、Y7、Y11),即采用小型钻孔注浆设备在空洞位置处由地面钻孔下花管进行注浆或在钻孔中插入袖阀管进行深孔注浆。本次发现的空洞都优先尝试进行地面注浆。当空洞地面注浆条件无法满足且对掘进本身无较大影响时(空洞位于盾构机上部的 Y10、Y13),则采用第二种方案。

水泥浆设计配比参数:注浆压力 0.4 ~ 4.0 MPa,逐步提高,达到注浆终压 4.0 MPa 并继续注浆 10 min 以上;水泥采用 32.5 普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.5 ~ 1;注浆速度 30 ~ 70 L/min;注浆扩散半径设计为 1.5 m;灌浆量初步按 2.0 m³/m 考虑。实际灌浆参数根据现场实验确定。对于溶洞水有流动性时,则在浆液中加入 3% 速凝剂或采用水泥-水玻璃双液浆。

2.4 技术保障措施

盾构机通过空洞地段因可能揭露空洞造成地面沉降或盾构机栽头,所以采用土压平衡模式掘进,为便于控制盾构机姿态和减小盾构机栽头的影响,盾构机掘进速度不易过快,掘进线路稍高于设计线路;为防止空洞填充物突然泄出造成土仓压力骤降,螺旋机转速和出土口开门不宜过大。

因此,通过空洞地段土仓压力控制在 0.11 ~ 0.13 MPa,盾构掘进速度控制在 10 ~ 15 mm/min,螺旋机开口控制在 40% 以下,转速与掘进速度和土仓压力相适应。盾构设计线路为 18‰,掘进线路坡度按 15‰ 控制。

盾构机通过后加大空洞位置处的同步注浆量,并试监测情况进行二次注浆,确保空洞及围岩与管片之间充填密实,防止管片脱出盾尾后发生上浮或下沉。

2.5 人员保障措施

项目部成立过空洞地段领导小组、施工小组和监测小组。领导小组由项目部领导和外聘盾构专家和地质专家组成。项目部领导 24 h 轮流值班,对盾构掘进进行管理和督导,审查每天的掘进信息和监测情况,如有异常情况发生,及时采取应急措施并通知小组其他成员召开紧急会议,制定下一步方案。

施工小组由富有丰富盾构施工经验的盾构机操作手和工程师组成。盾构机通过此段区域时项目部将安排具有丰富盾构机操作经验的盾构机操作手进行操作,另每班加设主管工程师一名在井下跟班作业,负责对注浆量、土仓压力、刀盘压力、扭矩及出土量等盾构机参数进行监控。如有异常,及时停止掘进封闭土仓,避免事故扩大,并及时将情况上报领导小组值班领导处。

监测小组由具有盾构施工监测经验的测量人员组成。地面监测人员轮流值班,按时对地表进行监测。如井下掘进出现异常,则迅速对异常区域进行加密监控,并及时将情况反馈至领导小组和井下主管工程师处。

2.6 设备保障措施

项目采用的德国维尔特土压平衡盾构机拥有先进的参数监控系统 and 导向系统,可对盾构机土仓压力、刀盘压力、盾构机姿态等情况进行监测,当刀盘遇到空洞时土仓压力将骤降,可起到预警作用。

盾构机机身长 9450 mm,重心位于距刀盘 2300 mm 处,理论上可悬空 2295 mm 不发生栽头现象(按 18‰ 下坡考虑),实际施工中由于盾体受到围岩约束和粘滞力影响,盾构机可悬空长度要大于理论可悬空长度,即当盾构机揭露空洞后并不会立即发生栽头现象。另外当盾构机发生栽头现象时,盾尾铰接千斤顶将拉长。盾构机铰接千斤顶限位为 150 mm,当铰接伸长超限时,盾构机将停止动作,可防止盾体进一步发生栽头现象。

2.7 制度保障措施

施工前制定严格的操作制度,对管理人员和操作人员技术交底和安全交底。使操作人员深入了解空洞位置、类型和对盾构掘进的危害性,掘进时发现空洞能及时采取正确的措施,不野蛮施工,发生异常情况不拖延、不隐瞒。设置主管工程师和项目部领导双重监督,确保操作指令落到实处。

2.8 突发事件应急措施

由于地层的复杂性和地质勘测及物探工作的局限性,掘进线路上可能存在未发现的空洞,当盾构机通过未发现的空洞时,可能出现掉头、塌陷等事故,为防止事故发生,控制影响,降低损失,特制定以下应急措施以应对突发事件。

(1) 掘进过程采用土压平衡模式,土仓内充满渣土,当盾构机揭露未发现的空洞时,受土仓内压力影响,土仓内渣土将被压至空洞之中,如空洞规模较大,土仓内压力将骤降。掘进过程中如有此种情况发生,则马上停止掘进,采用气压作业模式,人工进入土仓,从掌子面确定空洞位置和规模,并采取相应措施进行处理。

(2) 地层塌陷:当掘进到空洞时因破坏了原有的围岩稳定性,可能产生地层塌陷。掘进时需保持较高的土仓压力以避免此种事故的发生。如发生地层塌陷,则对塌陷区域进行注浆回填处理,并增大盾构机的同步注浆量,控制地层塌陷。

(3) 其他问题:我公司已与德国维尔特公司协商,如盾构机因空洞问题导致无法正常施工时,维尔特公司将第一时间派遣有盾构机通过空洞地段施工经验的技术服务人员来华协助我们解决问题。

(4) 洞内应急措施:立即停止盾构掘进,并保持

土仓压力,有效控制地表继续沉降,在沉降还没控制,沉降原因没分析清楚,沉降控制措施没到位的条件下,严禁继续掘进,避免事态扩大。

(5)对已拼装成形的盾构隧道,在沉降区内进行管片背后补注浆,在此期间提高监测频率,及时绘制变形曲线图,加强与上级单位和有关部门的沟通,以便根据变形发展情况采取相应措施。

3 施工过程对空洞探测及处理的检验

现广州市轨道交通五号线草暖公园—广州火车站盾构区间左右线施工均已完成,施工过程中当盾构机掘进至空洞位置处有明显的围岩软硬不均反应(围岩强度为 40 MPa 左右,空洞加固体强度仅为几兆帕),掌子面涌水量也较大。因准备较充分,大部分地段未因空洞问题对盾构掘进造成影响。

本区间唯一一次异常出现在右线掘进至里程 YCK7 + 511.060 处(靠近溶洞群位置,但此区域为地中海停车场出入口位置,物探受车流影响较大),盾构出渣量异常(渣土含水量及表观密度正常),一环掘进出渣量超过 100 m³ 仍未完成(正常情况下每环掘进出渣量应为 $V = \pi r^2 ld = 3.14 \times 3.14^2 \times 1.5 \times$

$1.6 = 74 \text{ m}^3$,其中 d 为土层的松散系数,取 1.5)。此时地面监测数据一切正常,为确保施工的安全可靠,我公司及时停止掘进封闭土仓,并提高土仓压力。在该区域再次进行了物探,发现地下 15 m 以下至掘进掌子面出现了塌陷,而 15 m 之上的围岩仍然具有良好的稳定性和完整性,随后进行的钻孔也证明了这一点。

发现这一问题后,我公司及时对塌陷区域进行了回填充浆加固,盾构机顺利通过了该区域,监测数据一切正常。

4 结语

事实证明,含空洞地层中的盾构掘进施工,对地层探测和预处理是必不可少的。而在不具备钻探条件的情况下,通过试验到实施,由已知到未知的物探方法,也可以取得良好的探测效果。

在对地质条件进行详实的探测和有针对性的预处理后,采用切实可行的施工技术方案的和严格的控制措施,土压平衡盾构机是完全可以顺利完成空洞地段的掘进施工的。

我国开始研制 4500 米级深海作业系统

中国地质调查局网站消息 深海科学探查和资源开发利用所必需的重大技术装备“4500 米级深海作业系统”总体实施方案通过专家评审,正式启动。该项研究被国家“863”计划确定为重点项目给予资助。这一项目的实施,对我国形成具有自主知识产权、探查范围覆盖绝大部分海域的水下运载和作业系统,开发深海资源具有重要的战略意义。

“4500 米级深海作业系统”研制项目由国土资源部广州海洋地质调查局作为业主单位,并牵头联合上海交通大学等 6 家单位共同承担,其主要目标是:研制一套实用化的强作业型潜水器及其作业工具系统,作业范围包括深海海底观测网布放和维护、海底探测和取样等。主要研究内容包括 4500 米级特种作业型潜水器与深海爬行装置和作业工具系统。我国将通过这一项目的实施,把握深海潜水器的关键技术,基本实现装备研制的国产化,探索一条有效的运行、应

为开拓深海科学探查提供高技术支撑

用机制和管理模式,形成国家级共享共用试验平台,奠定今后包括深潜水器研制在内的科研基础。

深海运载和作业系统一般包括载人潜水器(HOV)、水下自治机器人(AUV)和遥控潜水器(ROV)三大类。“4500 米级深海作业系统”将与我国研制的其他深海作业装备共同构成 3500、4500 和 7000 m 三个级别的水下运载和作业装备系列,使我国初步具备深水运载和作业能力,为海底矿物和生物资源勘查、海洋地质和地球物理等科学研究以及深海观测网络建设等提供重要手段。

4500 米水深覆盖了我国南海 98% 的海域以及国际大洋海底富钴结壳资源富集区和 95% ~ 98% 的热液硫化物富集区。研制这一级别的深海运载和作业装备,能够满足我国绝大部分深海探查和作业的相关需求。

欢迎订阅 2009 年《铁道建筑技术》(月刊)

主管单位:中国铁道建筑总公司
 主办单位:中国铁道建筑总公司
 全国性土木工程交通工程实用技术杂志,中国科技论文统计源期刊,中国核心期刊(遴选)数据库录用期刊,铁道部优秀科技期刊。
 国内外公开发刊,刊号:ISSN 1009-4539 CN11-3368/TU
 国内邮发代号:2-731;国外邮发代号:C3617。国内每期定价 12.50 元,全年价值 150.00 元;国外每期定价 \$12.50,全年价值 \$150.00。

请到各地邮局订阅;亦可直接汇款至杂志社订阅。
 主要内容:铁路、公路、桥梁与结构工程、隧道与地下工程、水利工程、岩土工程、房屋建筑、工程机械、工程爆破、工程材料、交通工程

抢修、工程管理等方面的科技成果、先进技术和经验;本行业的产业政策、法规、规范;相关领域的最新动态、信息等。

读者对象:铁道、交通、建筑、水电、冶金、有色、煤炭、城建、市政、地矿等部门从事相关专业的勘测、设计、施工、科研等工作的技术、管理人员及相关专业的院校师生。

地址:北京市大兴区康庄路 9 号 邮编:102600

电话:(010)51011596 传真:(010)51011595 联系人:马爱军

开户行:中国工商银行股份有限公司北京大兴支行

户名:《铁道建筑技术》杂志社

帐号:0200011409024615243(请注明“期刊费”)

E-mail: editor@rctech.com.cn