

岩溶区盾构施工关键技术研究

程俊瑞

中铁隧道局集团有限公司 广东 广州 518000

摘要：随着城市化进程的加快，地铁和城铁路等地下工程建设越来越多地涉及到岩溶地区的施工。盾构法施工作为一种先进的隧道施工技术，在岩溶区施工中面临诸多挑战。本文以深大城际2标（五和-聚龙）土建五工区盾构穿越岩溶区施工为例，探讨了盾构在岩溶区施工的关键技术，包括岩溶处理技术、盾构机选型、掘进参数控制、泥浆管理、出渣管理以及刀具管理等，旨在为类似工程提供参考和借鉴。

关键词：岩溶区；盾构施工；关键技术

引言

岩溶地区地质条件复杂，盾构施工中常遇到溶洞、高强度硬岩、富水砂层等不良地质，这些地质条件对盾构机的掘进效率和安全性构成挑战。因此，研究盾构在岩溶区的施工技术具有重要的理论和实践意义。深大城际白大1#工作井~大运站区间位于深圳市龙岗区，区间左线长度5201.12m，右线长度5191.19m。区间采用2台9130mm双通道泥水盾构施工，岩溶区长度2793m，岩溶段长度占隧道总长度的52.7%。区间岩溶为覆盖性岩溶发育，岩溶整体见洞率为25.62%，整体线溶率为15.21%，溶洞洞高0.30~28.70m，大部分为无充填或半充填溶洞，充填物为软塑或流塑状粉质黏土、含黏性土砂、碎石及角砾状岩块，结构、成分较为杂乱。

1 岩溶处理技术

1.1 溶洞处理原则

盾构隧道溶洞处理是为防止出现盾构施工的“栽头”、“陷落”、地表沉降过大或地面坍塌事故等情况，确保施工及运营期间的安全。处理时对于半填充和未填充溶洞，可以采用吹砂夹石加静压灌浆的方法，对于填充物密实度在中密以下的全填充溶洞可采用静压灌浆方法。

1.2 溶洞处理工艺流程

溶洞处理施工应遵循“探边界-填充洞-注浆充填-注

浆效果监测”的顺序进行。在单个溶洞加固区的施工顺序为：钻孔、灌浆、注浆效果监测。

1.2.1 钻孔

（1）对于岩溶专项勘察中确定的溶洞范围，若溶洞需要预处理，施工前应布置2m×2m钻孔摸探溶洞边界，梅花形分布，钻孔深度满足溶洞处理注浆要求。对于钻孔揭示岩溶洞穴平面尺寸不大于1m溶洞，一般在已揭露溶洞的勘探钻孔处布置钻孔1孔。对于钻孔揭示岩溶洞穴平面尺寸1m~2m的溶洞，应围绕已揭露溶洞的勘探钻孔呈三角型布置钻孔3孔，间距2m×2m。对于钻孔揭示岩溶洞穴平面尺寸大于2m的溶洞，应围绕已揭露溶洞的勘探钻孔呈梅花型布置钻孔，间距可为2m×2m。（2）施工勘察平面范围依据岩溶处理范围要求，隧道结构轮廓外侧3m至隧道范围内推测岩溶发育区^[1]。（3）探边以钻探揭露溶洞为中心，围绕勘探孔呈梅花形布置钻孔，钻孔间距为2m×2m，探边孔由中心依次向外围钻探。当探边孔超过隧道轮廓结构外侧3m外时，终止探边。（4）对于岩溶专项勘察中确定的推测岩溶发育区，应结合详勘钻孔及CT扫描成果布置施工探孔，勘察盲区范围内布孔按照间距5m×5m布置，以规避大型溶洞风险。

1.2.2 注浆

注浆方式需根据探明溶洞大小做相应的调整，如图1。

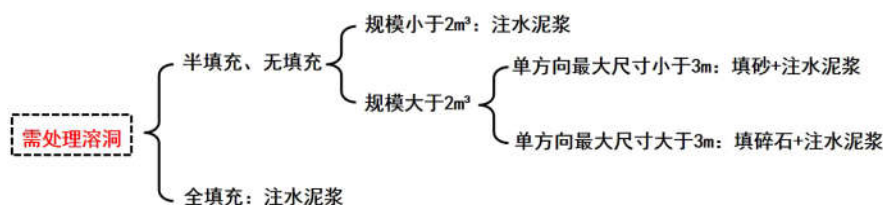


图1 注浆方式

本段材料采用压注单液浆和双液浆处理。单液浆水灰比为0.8，双液浆需要根据注浆深度调整浆液初凝时

间。注浆顺序为周边后中间，周边孔采用双液浆，中间孔采用单液浆，周边孔注浆控制压力为0.3~0.8MPa，中

间孔注浆控制压力为0.8~1.0MPa，达到终灌压力值及预估注浆量，可结束注浆作业。

2 盾构机选型

2.1 盾构机比选

泥水平衡盾构机对高水压开挖的平衡稳定性及控制地面沉降性能好，适用于岩溶发育强、埋深大、岩溶区水压大的情况。土压平衡盾构机适用范围较广，但对地面沉降控制精度相对较低。本工程岩溶发育强，埋深大，最大岩溶埋深70米，岩溶区水压大，最大水压约6bar，远远超过土压盾构正常3bar水压的工作能力，若采用土压盾构施工，将会导致螺机开关闸门出渣期间大量喷涌以及超排等不可控因素的发生，从而导致地表出现较大的沉降和坍塌，存在极大的安全隐患。由于岩溶强发育区大粒径石块非常多，能在刀盘通过的石块最大直径超过60cm，普通直排式泥水盾构采用土仓内设置破碎机，破碎完后直排管直接排出的模式，这就不可避免的会出现前置破碎机异常损坏、大直径石块过多导致破碎机失效的情况，此时需要人工带压进仓进行处理，但该作业方式一般在浅埋地段保压不高（均在3bar左右）的条件下进行，而在本工程深埋地段，保压将超过5bar，大大增加了作业风险，极易出现安全事故。泥水双通道盾构机如图2。

综合上述原因，本工程盾构机采用螺机抽排+后置破碎机的模式。该模式是将土仓内的大直径石块通过螺机抽到后置破碎机箱体，后置破碎机由于不在土仓内，可

用空间大大提高。本工程配置了大型颚式破碎机，每分钟最多可动作20次左右，最大直径可达70cm，大大提高了破碎能力，且一旦破碎机箱体出现堵塞以及破碎机发生故障，可直接关闭螺机闸门泄压后，在外部常压环境下进行处理，保证了作业的安全、快捷、高效。

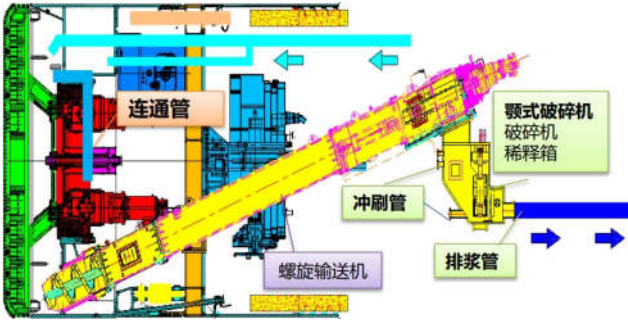


图2 泥水双通道盾构机示意图

2.2 盾构机适应性分析

综合考虑岩溶区的地质水文条件，本工程盾构机采用螺机抽排+后置破碎机的模式，以提高破碎能力和作业安全性。

3 掘进参数控制

3.1 参数管理

在盾构穿越处理岩溶地层时，需要严格控制盾构机的掘进速度与出渣速度，以保持土仓内压力稳定，同时必须控制同步注浆，确保管片与地层的空隙能得到均匀、密实填充。

分类	刀盘转速（r/min）	扭矩（KN·m）	总推力（KN）	贯入度（mm/r）	推进速度（mm/min）
参数	2.5	2000-2500	31000-40000	4-7	12-18

岩溶强发育地层，盾构参数设定如下：

分类	刀盘转速（r/min）	扭矩（KN·m）	总推力（KN）	贯入度（mm/r）	推进速度（mm/min）
参数	1.5	1800-2500	36000-42000	4-5	4-8

3.2 泥浆管理

每环掘进前、掘进过程中、掘进后分别进行泥浆比重、粘度、含砂率等参数试验，以保证泥浆的性能满足施工要求。由于岩溶地层掘进过程中细颗粒主要为岩粉，当泥浆比重大于1.15g/cm³容易发成沉淀情况，导致整个循环过程出现问题，当比重超过这个指标后通过泥浆管抽排至废浆罐，通过压滤机压滤处理，剩余泥浆加水稀释。岩溶中等发育地层，泥浆比重控制范围1.08-1.12g/cm³；岩溶强发育区地层，当泥浆比重小于1.12-1.15g/cm³；当大于此范围则通过泥浆管抽排至废浆罐，通过压滤机压滤处理，当小于此范围则从新浆池中抽取新浆至调整池使用。

4 出渣综合测量系统

采用出渣综合测量系统进行渣土量统计计算，通过光学传感器测量地面皮带输送机上渣土断面轮廓面积，结合皮带机实时转速计算皮带机输送渣土体积流量，同时在皮带机下方增加称重传感器，实时测量渣土质量流量。出渣综合测量系统集成两大功能：渣土体积测量、渣土称重测量。渣土体积测量系统采用渣土轮廓扫描传感器实时采集渣土渣片表面轮廓点云数据，进行逆向建模，积分计算渣土渣片体积与流量。渣土称重测量系统在高速皮带机上通过面式称重传感器进行瞬间重量积分计算，得出定额时间内传送皮带上的出渣重量^[2]。盾构掘进时，盾构司机与质检通过观察盾构机上位机出渣综

合测量系统界面,实时掌握出渣量。本工程穿越岩溶期间,每环理论出渣量为 117m^3 (300t),当实际出渣量为理论出渣量的 $\pm 5\%$ 时,提升仓内压力,加强洞内注浆,关注渣土滞排情况;大于5%时密切关注地表情况,必要时采取地面注浆措施。每环掘进过程中采集渣样并分析其颗粒组成、含水量和密度,以识别岩溶层中是否存在未完全处理的空隙或溶洞。若出渣含水量异常增大,可能是突水征兆,需立即调整掘进参数并加强泥浆压力^[3]。

5 刀具参数调整

5.1 初装刀刀具参数选择

左右线盾构始发阶段地层均为全断面微风化灰岩,岩石平均强度60~70兆帕,其中右线刀刀形式为普通平刀,刀宽24mm,刀圈硬度57-59HRC,未采取梯度硬度;左线刀刀形式一半采用圆弧刀刀圈,刀宽22mm,一半采用平刀刀圈,刀宽24mm,刀圈硬度57~59HRC,梯度硬度。

5.2 初装刀具掘进使用情况

在全断面微风化地层中掘进,刀具每35~40环主动检查一次刀具,检查发现,刀具出现掉块、崩刃的现象,结合掘进参数及刀具的损坏形式,初步认定刀圈硬度偏高,平刀刀圈偏宽。从掘进参数看,同样是微风化灰岩地层,右线盾构采用刀宽24mm,普通平刀刀圈掘进,相同贯入度情况下,所需总推力更大,扭矩更大,1~50环,右线总推力1800t~3000t,贯入度4~6mm/r。左线盾构,一半采用圆弧刀圈,刀宽22mm,一半采用刀宽24mm,普通平刀刀圈,相同贯入度情况下,所需总

推力相对小,1~50环,右线总推力1500t~2600t,贯入度4~6mm/r。以上对比说明,刀宽22mm圆弧刀圈在本项目灰岩地层,使用性能优于刀宽24mm普通平刀刀圈。

5.3 刀具参数调整

进入岩溶区前,项目对刀圈形式及刀圈硬度进行修改,正面采用19寸圆弧刀圈,刀宽22mm;边滚刀采用19.5寸,刀宽22mm,刀圈硬度调整为:57HRC ± 1 ,内圈梯度硬度,平均70环更换一把。后续将刀宽调整至25.4mm,平均更换环数达到100环,通过对比刀宽22mm圆弧刀圈,更耐撞击、耐磨。参数调整后,边刀使用寿命有所增加、刀具异常损坏量有所减少,后续施工继续优化。

结束语

泥水盾构在岩溶区施工中,关键在于对岩溶地层的预处理、盾构机的合理选型、掘进参数的精确控制、泥浆的科学管理和出渣量的准确测量。通过上述关键技术的实施,可以有效提高盾构施工的安全性和效率,为类似工程提供参考。

参考文献

- [1]徐毅兴.试论地铁隧道盾构法施工技术应用[J].绿色环保建材,2018(2):132-133.
- [2]王又平.地铁隧道盾构法施工关键技术[J].黑龙江科技信息,2015(14):220-221.
- [3]李帆.岩溶区地铁隧道盾构法施工对地层稳定性影响的研究[D].山东建筑大学,2017(5):169-174.