

盾构分体掘进在上软下硬地层中下穿城市快速路的施工方法

黄国辉

广东华隧建设集团股份有限公司 广东广州 510000

【摘要】为优化城市在上软下硬地层中地铁过街通道施工方法，通过比选多种暗挖方式，具体项目在广州某地铁车站人行通道中采用盾构分体掘进的方法替代了原设计的顶管法，顺利通过了隧道洞身下部岩石强可达度70-90Mpa微风化灰岩地层+上覆黏土的上软下硬地层。在该地层下，隧道暗挖施工保证了上部重要电力管线，城市快速路以及地表沉降控制在规范要求范围内。盾构分体掘进施工方法比顶管法更加适用于城市上软下硬地层中地铁过街通道的施工。

【关键词】机械法暗挖；盾构机；分体掘进；上软下硬地层；强灰岩

1 引言

在城市暗挖施工方法中，机械法施工以其对地表沉降控制强为主要优势成为城市地铁暗挖施工的首选。地铁车站过街通道一般采用顶管法施工，主要适用于粉砂、卵石、黏土层等具有一定自稳性且强度不高的地层^[1]。在中国东南部城市集群中，大量发育有上软下硬的灰岩地层，随着地铁建设越来越多，地铁车站过街通道越来越多的穿越了上软下硬地层^[2-5]。该地层下考虑到安全、成本、工期，目前采用的是顶管法，但是顶管法因其机械特点和施工方法，在上软下硬地层中特别是洞身范围内有硬岩的地层难以顺利掘进，本文基于广州某地铁工程，通过方案比选和实践，提供了一种解决城市地铁工程中上软下硬地层中短距离隧道施工的安全性高的思路与案例。

2 工程概况

出入口通道埋深5.67~7.58m（长66m），隧道直径5.5m，暗挖隧道主要经过的地层分为三段，第一段全断面粉质黏土层（硬塑）、第二段上部为硬塑-塑状粉质黏土，下部为强风化灰岩、第三段上部为软塑状黏土下部为微风化灰岩。过街通道上部有城市快速路，地勘工作难以进行，结合微风化灰岩在广东地区岩面线发育较为导致该段通道地勘资料与现场实际施工情况出入可能较大，通过类比该地区同类工程，发现该段岩溶地层强烈发育，岩面线起伏大，落差高因此推断，可能出现未被发现可能出现局部岩面线入侵暗挖隧道工作范围内的情况，结合该地区发现

的微风化灰岩单轴抗压强度可达90Mpa，可能使用原设计顶管法造成顶管机卡死或者抬头的严重风险。



图1：地表平面图



图2：地质条件图

3 方案比选

在城市地铁过街通道的常用工法主要明挖、暗挖两种，前者的优势为方法简单，工序简单，成本低廉，但是对工程周边经济、政治、自然条件要求较高。后者的优势

为对工程地周边经济、政治、自然条件要求低，但是工序相对复杂，风险较高。为了降低施工风险，简化施工中人工工序，在原有的暗挖工法上，衍生除了机械法暗挖，机械法相对于传统暗挖有着更加安全，对周边环境影响更小的优势。

3.1 人工暗挖

人工暗挖法是采用预加固地层配合人工挖土出土的方式逐米推进完成隧道施工，其施工步骤多，在软土地层风险较大，容易发生隧道坍塌的风险。结合本工程的洞身范围主要地层为硬塑-软塑状黏土，大部分为松软地层，如采用地层加固辅助施工，相对于机械法暗挖施工则有加固施工本身对隧道上方管线、城市快速路等建构筑物可能造成不利影响，加固后开挖慢，施工风险面暴露期长等不利因素。

3.2 机械法

城市出入口过街通道机械法施工主要有顶管法和盾构法两种，相对来讲顶管法经济性较强，盾构法适用地层较广。在两者的方案比选中，适用顶管的尽量选择顶管，顶管法不能适应的施工条件考虑盾构法施工。

在本工程中，洞身范围内存在岩石强度可以到达70-90Mpa的中-强灰岩+软土地层，属于典型的上软下硬地层，该类地层下的顶管施工，常会出现轨迹向上偏移的情况，考虑顶管机纠偏能力较弱，隧道质量风险控制能力较弱。顶管法难以适应该地层条件施工顶管机卡死风险较大。在实际的顶管施工工程中也出现了多例因硬岩而造成的顶管机卡死问题，造成重大损失^[6-8]。

而盾构法相对于顶管法，因其顶推方式不同，在破岩过程中所需的推理远小于同长度隧道顶管法推力。相比之下可以更好的控制隧道施工过程中地层扰动带来的地表沉降。但是相比于普通顶管机，盾构机的后配套设备较多，一般应用在较长隧道中的掘进，综合成本来说，盾构法较高。

经过比选，采用了盾构分体暗挖法即盾构后配套设备放置在始发端地表位置工作，盾构机本体下井进行隧道的掘进工作。该方法既可以完成在微风化灰岩这种高强度灰岩层中的机械法暗挖掘进，又可以有效控制地表沉降，降低施工对环境带来的不利影响^[9-10]。

4 施工步骤

4.1 盾构始发

在盾构始发前，需要检测洞门防水，端头加固情况是否复合要求。同时进行洞门位置复测，为盾构始发托架、反力架及盾构下井组装提供基准点。完成盾构机调试组装、托架安装、反力架安装后即可开始盾构始发施工，这时与普通盾构始发不同的是，受限本工程客观施工的空间条件，盾构采用分体始发，其后配套台车置放于始发端地面，通过延长管路的方式保证盾构机主机正常运作。连续墙洞门部位采用玻璃纤维筋，可以直接通过盾构机掘进破除。

4.2 盾构掘进破岩

本工程采用土压盾构机，盾构在黏土中正常掘进出土并在盾身中完成管片拼装工作，待盾尾脱出管片后进行同步注浆填充管片与地层之间的间隙。

始发时考虑到反力架承载力设计值的限制，推力尽量控制在800T以内。鉴于盾构始发为直接切削洞门，盾构操控手应密切关注盾构掘进各参数的变化，合理进行调整，推力和扭矩应与刀盘转数和掘进速度相结合进行控制，防止损坏刀具，或造成其他风险。

针对洞身范围内上软下硬的岩溶地层，盾构机刀盘配置滚刀，在推进千斤顶的压力下完成对微风化灰岩的破除，配合滚刀间的刮刀，盾构螺旋机，完成切削碎石出运工作。

4.3 管片拼装

管片是在盾壳保护下，并在其空间内进行拼装的。管片拼装后直接形成隧道，所以拼装质量好否也就奠定了工程的质量等级。管片拼装一般均按照先下后上、先纵后环、左右交错、纵向插入、封顶成环的工艺进行。

(1) 拼装过程中按各块管片位置，须缩回相应位置的千斤顶，形成管片拼装空间使管片到位，然后伸出千斤顶完成一块管片的拼装作业，千斤顶操作人员在反复伸缩千斤顶时必须做到保持盾构不后退、不变坡、不变向要求，并要与拼装操作人员密切配合。

(2) 逐块拼装管片时要注意确保相邻两块管片接头的环面平正，内弧面平正，纵缝的管片端面密贴。

(3) 最后封口块插入拼装前必须做好下列各项工作：

当采用纵向全插入成环工艺时，检查千斤顶顶块到前一环环面净距不小于 $2b+2\text{cm}$ ， b 为管片宽度；检查已拼装管片的开口尺寸，要求略大于封口块管片尺寸。拼装机把封口块管片送到位，伸出对应的盾构千斤顶将封口块管片插入成环，作圆环校正，并全面检查所有纵向螺栓。

(4) 封顶成环后，测定其各项指标，按测得指标值作圆环校正，然后测得圆环成果报表，并拧紧拼装环的所有纵向螺栓。

在管片环脱离盾尾后对管片连接螺栓进行二次紧固，并随时紧固。

拼装过程中遇有管片损坏，应及时用规定材料修补。在拼装全过程必须保持已成环管片环面及拼装管片各个面清洁。

4.4 反力架拆除

负环及反力架拆除的条件为已拼装成型隧道的管片的摩阻力大于盾构的实际推力。

表1: 管片摩阻力计算公式:

式中:	—	土体与管片的摩擦系数, 取0.3
	—	管片直径 (m), 为5.0
	—	已拼装的隧道长度 (m)
	—	作用于管片背面的平均土压 (KPa), 取100KPa

盾构机掘进约70m (管片拼装50环) 时, 管片摩阻力为2885t, 由于盾构机最大推力为2805t, 掘进推力一般控制在800t以内, 此时可拆除反力架及负环管片, 拆除负环后, 控制推力不超过800t。由于本次掘进距离较短, 可在盾构机到达后拆除负环及反力架。

首先进行反力架支撑的拆除, 然后拆除反力架框架体, 再按照-7环~0环顺序开始拆除管片。0环拆除前须确认洞门注浆密实。负环管片拆除先从顶块拆起, 先用10#角钢把所有的负环管片的邻接块连在一起, 以防拆除顶块后邻接块失稳; 然后拆除顶块的连接螺栓, 使用汽车吊起顶块; 再用汽车吊吊住邻接块, 拆除邻接块连接螺栓, 割断角钢, 吊走邻接块, 最后同样方法拆除标准块, 从而完成负环管片的拆除。

4.5 盾构纠偏

在掘进施工中, 由于地质突变等原因盾构机推进方向

可能会偏离设计轴线并超过管理警戒值。在稳定地层中掘进, 因地层提供的滚动阻力小, 可能会产生盾体滚动偏差; 在线路变坡段或曲线段掘进, 有可能产生一定的偏差。因此应及时调整盾构机姿态、纠正偏差。

(1) 参照上述方法分区操作推进油缸来调整盾构姿态, 纠正偏差, 将盾构机的方向控制调整到符合要求的范围内。

(2) 在曲线和变坡段, 必要时可利用盾构机的超挖刀进行局部超挖来纠偏。

(3) 当滚动超限时, 盾构机会自动报警, 此时应采用盾构刀盘反转的方法纠正滚动偏差。

4.6 盾构到达吊出

盾构在破除到达井围护结构后空推, 并逐步填充管片与地层间缝隙, 最终在到达井托台上主机完成到达, 并解体吊出。

始发端到达端端头加固完成后即可开始盾构法暗挖施工, 相比于一般的盾构法施工, 本工程中盾构法只需要将盾构机主机下放组装后即可开始盾构始发、掘进、到达施工, 并在到达后于到达井吊出, 后配套台车无需下井。大量降低了盾构掘进过程中台车下放的吊装工作。

4.7 施工监测

在盾构穿越前先记录各测点的初始值, 在每次量测后的值与初始值相比较, 并描绘有关的曲线, 针对监测结果作出相应处理措施; 施工时必须加密监测点加强监测频率, 盾构机过后仍需进行后期的监测工作直到沉降稳定。

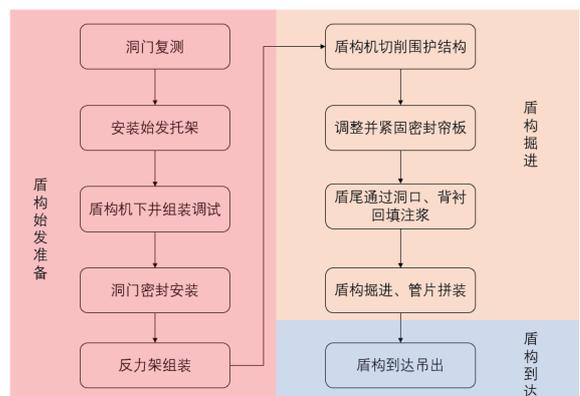


图3: 盾构分体始发流程图

4.8 施工效果

经过比选采用盾构法暗挖施工后, 利用盾构机强大的破岩能力, 顺利完成了改地下通道的施工, 与地铁出入

口安全连接, 监测结果地表沉降最大约13mm, 控制在规范要求之内, 隧道上方管线、道路在施工过程中都保持正常运营。

5 结论

本地下通道工程特点有二, 一是下穿城市快速路, 二是上软下硬的复合岩溶+黏土地层。我们从技术的实用性为出发点, 对比了现有的隧道施工工法, 提出了在城市复杂环境下有较大硬岩的地层中, 更加适用盾构法暗挖施工。并结合工程特点, 将盾构整体台车下放改成了分体掘进, 以适应短距离的隧道施工, 同时也节省了大量的台车吊装组装时间。

本次工程试验得出如下结论:

1、传统顶管法难以适应在大块强度高岩层存才的暗挖施工;

2、盾构法可以适用于短距离上软下硬地层掘进, 并保证上部建构物安全, 更加适用于该地层下城市暗挖隧道施工。

通过本次工程试验, 验证了盾构法在也适用于小型短距离隧道掘进, 在顶管法难以解决的环境难点下, 考虑使用盾构法降低工程施工危险, 提高施工效率, 不失为一种明智之举。

参考文献:

[1] 孟汉才. 泥水平衡顶管法在砂卵石地层中的应用[J].

山西水利, 2023.

[2] 张国林, 吴祯, 陈云强. 大断面矩形顶管穿越上软下硬地层施工关键技术[J]. 科技风, 2021(13): 2.

[3] 张玲, 方翔, 闫朝, 等. 复杂环境下大截面矩形顶管穿越既有地铁施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(12): 23-26.

[4] 高程鹏, 顾诗意, 谢欣. 复合地层中顶管引发路面沉陷的分析及修复措施[J]. 特种结构, 2023, 40(5): 75-80.

[5] 肖先. 上软下硬复合地层顶管施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2021. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4539.2021.05.027

[6] Barla M, Camusso M, Aiassa S. Analysis of Jacking Forces During Microtunnelling in Limestone[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2006, 21(6): 668-683.

[7] 蔡正茂. 利用中深孔爆破技术解决中风化岩层顶管中的顶力问题[J]. 福建建筑, 2009(11): 3.

[8] 宋华奇, Song, Huaqi (China, 等. 复杂地层顶管隧道掌子面坍塌处理技术[J]. 施工技术, 2012.

[9] 竺维彬, 易觉, 等. 富水岩溶发育条件下复合地层地铁盾构工程成套关键技术[J]. 中国科技成果, 2021.

[10] 汲广坤, 李健. 复合地层中盾构近距离下穿地铁区间隧道施工技术研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2015, 000(036): 352-353.