

# 盾构小半径曲线割线始发施工技术

李传保

中铁二十五局集团有限公司盾构工程分公司

**摘要：**盾构始发在是盾构隧道施工过程中重中之重，这一点在盾构小半径割线始发中体现得最为明显。本文由深圳地铁16号线大运北站~龙城西站盾构区间项目的施工出发，以盾构始发关键技术全盘推进、小半径曲线割线始发的注意事项等方向进行研究。其中，盾构始发关键技术控制的研究内容，涵盖始发线路确定、托架的安装、反力架装配、洞门密封装置的安装、洞门凿除、洞口始发导轨的安装、以及盾构割线始发的规划等多个方面，对同类隧道工程具有指导作用。

**关键词：**隧道工程；小半径曲线；割线始发；盾构机

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.031

## 引言

本文着眼于深圳地铁16号线项目大运北站~龙城西站盾构区间进行盾构始发步骤中的注意事项分析。该区间由大运北站大里程端始发，其盾构机始发处于半径 $R=450\text{m}$ 圆曲线上，并行10.168%下坡阶段，使盾构始发受到阻碍。

## 一、工程概况

大运北站~龙城西站区间线路间距12.0~16.2m，线路由直线和两段曲线构成，曲线半径为 $R=450\text{m}$ 、 $R=1200\text{m}$ ，线路埋深17.19m~25.19m。区间线路从大运北站出发以10.0%下坡、11.73%上坡到达龙城西站。区间起止里程为K12+066.116~K12+829.385，左线含一长链 $K12+888.06=K12+877.042$ ，长链长11.082m，区间长度为763.269m。区间于K12+575.063里程处设置联络通道兼废水泵房。

大运北站~龙城西站区间盾构隧道依次穿越地层为：强风化砂岩、全风化砂岩、强风化砂岩、粉质黏土、微风化灰岩。盾构机始发段长度为100m，始发段隧道埋深为25.595m~26.595m，地质为粉质黏土素填土、全风化砂岩、强风化砂岩。

## 二、盾构始发关键技术控制

### （一）始发线路确定

由于盾构机在始发的一定距离内不能转向，本项目选用盾构机盾体长8m，盾体全部进入隧道后方可转向，如果按照正常直线始发，盾构机进入隧道9米后在450半径的曲线中将会出现9cm偏差，严重超出了偏差5cm的要求。这就要求我们在小半径曲线始发中需要寻求合适的线路，以满足盾构机行走线路与设计线路之间到达规范要求。本次盾构始发采用曲线的割线拟合隧道线路进行施工，始发时，盾构机盾首位置与隧道中心线重合，盾尾向左偏离90mm，斜体割线始发（盾构机偏移角度

$0.573^\circ$ ，盾体最大偏移量为 $d=23\text{mm}$ （曲线内侧），满足规范要求），始发采用直线始发。盾构机掘进9m后，盾构机刀盘与隧道中心线重合，盾构机刀盘处于曲线内侧。该阶段盾构机盾体已经完全脱离始发托架，开始转弯掘进施工。

计算公式为： $\sin r=L/2R$   $d=R-R\cos r$

$L$ 为割线长度9m。始发曲线半径 $R=450\text{m}$ 。经计算割线中心点距离设计线路最大偏差为 $d=2.3\text{cm}$ ，割线角度为 $r=0.573$ ，满足要求。

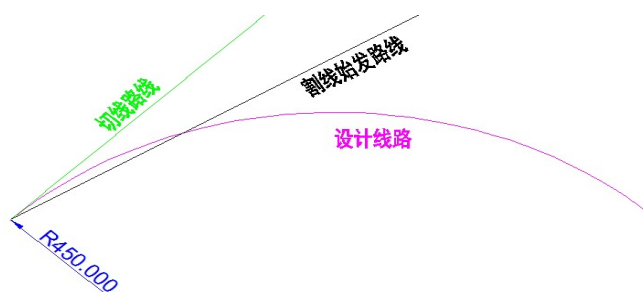


图1 割线始发示意图

### （二）始发托架安装

盾构始发托架不仅起到调整盾构姿态至可始发状态的作用，也为盾构始发之前的组合工作提供施工空间，是重要的辅助设施。多项实践及研究表明，为保障盾构始发的质量，最基本的条件是要使支持盾构始发的托架与隧道的设计坡度数值相一致，在布置时需要遵循沿盾构始发井内的始发路径延长线布置的原则以外，还需要采取以下三种方法：

1. 保障结构的稳定性：通过分析盾构始发时，托架需要受到盾构推进横纵向推力的反力与刀盘旋转的扭矩，因此需要在始发前，对始发托架两侧使用200mmH型钢支撑至扩大端侧墙进行加固；

2. 提高定位的准确性：定位时不仅需要获知中心轴线坐标及标高，更要另行测算来自2条托架轨道的中心线的坐标及标高，使盾构机的中线与托架中线以及始发线路中线，三线重合；

3. 维持基座的固形性：理论实践表明，基座具有一定程度的压缩与变形问题，且在盾构大下坡型始发中存在明显的磕头趋势，因此为保障基座形态的固定，需要在安装过程中将基座整体抬高20mm进行布置。

### （三）反力架布置

反力架布置在完成盾构主机安装的时候开始，使用前需确保其各个部件链接紧密且牢固。因反力架安装时与车站侧墙不垂直，故在始发推进过程中，反力架将会

受到来自盾体的不平衡的侧向力，导致反力架侧斜变形。为避免以上事故发生，同时反力架端面在安装时必须保证垂直于始发托架水平轴面，因此在反力架安装过程中，需要：

1. 增加反力架侧边的支撑，避免始发早期的受力不均状况；
2. 安装过程中，注意沿始发线路中线布设反力架中线，避免夹角的产生；
3. 根据测算数据，着重注意割线始发施工条件下的反力架稳固性；
4. 在安装反力架和始发托架时，要保证负环管片的高程和圆心与盾构机盾壳的中心偏差小于 $\pm 5\text{mm}$ ；
5. 工作井内沿隧道方向长13m，夹层板基础框架梁（JKL2）到端墙距离为12.2m，结合工作井尺寸和后期施工便利等方面考虑，反力架直接后靠在夹层板基础框架梁上，拼装7环负环，1环零环，零环嵌入扩大端端墙60cm。

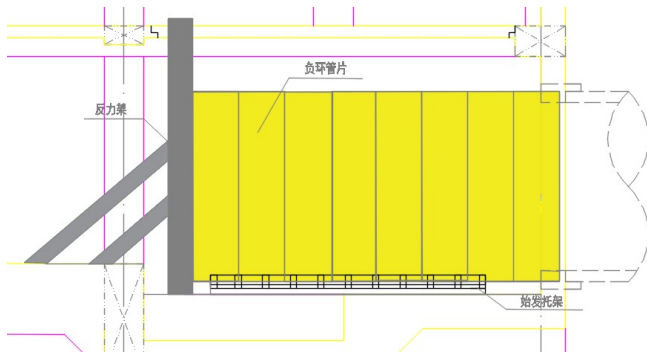


图2 割线始发示意图

#### （四）洞门密封装置的安装

由于工作井洞圈直径与盾构外径存有一定的间隙，为了防止盾构始发时及施工期间土体从该间隙中流失，在洞圈周围安装由帘布橡胶板、圆环板、固定板、翻板等组成的洞口防水密封装置。

对洞口上的密封装置采取必要的保护措施：盾构向洞口靠拢，为避免刀盘上的刀头损坏洞口密封装置，在刀头和洞口密封装置上涂抹黄油以减少摩擦力，盾构机刀盘通过时由专人保护，防止盾构机刀头损坏橡胶板。

#### （五）洞门凿除

洞门凿除阶段需注意保证脚手架做双排搭设、加设斜撑以保障支架稳定。在盾构始发前，需要先通过破除混凝土结构、留存内侧钢筋的做法对端头地层进行保护。准备阶段中，根据洞门暴露的围岩条件与施工时间长短，可以在必要时对洞门端头喷射混凝土加固。

本工程盾构始发井口处在半径 $R=450\text{m}$ 的圆曲线段上，归类于小半径曲线割线始发，始发托架、反力架以及盾构机会由于刀盘与洞门平面不平行而产生侧移的现象，导致始发方向与割线方向不一致。因此要确保处理后的洞门平面平整且无较大坑洞，同时必须与刀盘平面平行（如图所示）。

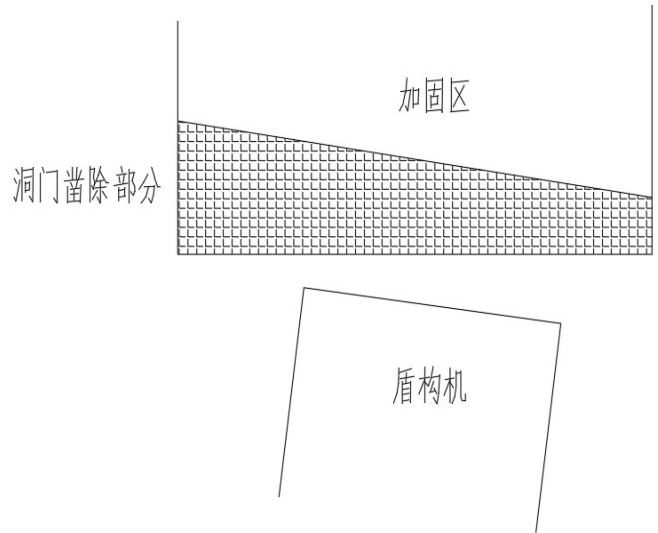


图3 洞门凿除示意图

#### （六）洞口始发导轨的安装

在洞门混凝土破除完毕后，始发托架端部距离洞口土体2米，为保证盾构机在始发时不致于因刀盘悬空而产生盾构机“低头”现象，需要在始发洞内安设洞口始发导轨，以防止盾构机在始发时不产生前倾现象。在安装始发导轨时应注意，在导轨的末端预留足够的空间，以保证盾构机在始发时，不致因安设始发导轨而影响刀盘旋转。

#### （七）盾构机始发

从现场施工情况分析，可获知本工程是小半径曲线割线始发类型，因此始发拟采取割线始发法，施工要点如下所示：

1. 始发施工前明确国家规范，在允许范畴拟合隧道线路，采取曲线割线数据定性的直线线型；

2. 始发前明确以半径 $R=450\text{m}$ 作为始发区间，确认盾构机相对隧道轴线姿态正常并确保相应施工方案，内容包括：

- （1）在盾构机进入施工土体、开启铰接装置后，需要提前将弧形态势推出；

- （2）保证盾构机在曲线割线方向上掘进的预偏量在30-50mm范围内，降低管片向曲线外侧的偏移量；

- （3）维持推进速度在可控范围，必要时适当降低，以低速启动、微量加速度递增的方式控制盾构机的推进；

- （4）施工推进过程中，注意在一定纠偏幅度内调节左右油缸组的压力差，保证曲线外侧油缸压力略微高于内侧油缸，以确保正常施工；

3. 始发时注意重合盾构机盾首位置—隧道中心线一线，保证始发盾尾左偏90mm，盾构机偏移 $0.573^\circ$ ，以斜体割线始发；

4. 掘进9m深度后，保证盾构机刀盘—隧道中心线重合。达成该要求后，盾构机盾体可进行转弯掘进施工，完整从始发托架脱离。

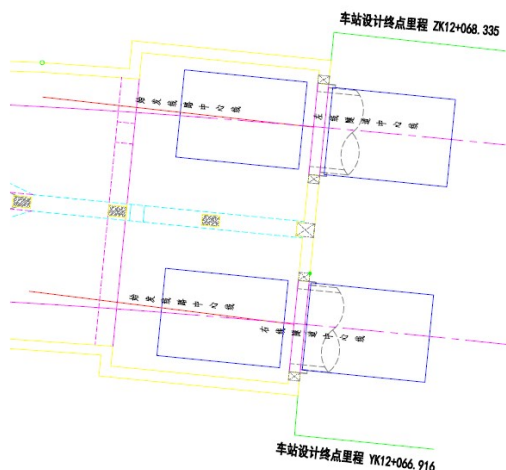


图4 盾构机始发示意图

### 三、盾构始发施工中可能出现的问题及解决办法

#### (一) 问题分析

1. 盾构进洞时始发托架变形，其相对隧道轴线、盾构工作井的状态变化，导致掘进轴线偏离割线路线。

对已经变形损坏的部件，及时补加固或更换，若托架变形严重，应尽快将盾构托架分离，再修复托架；

2. 盾构进洞时大量土体进入工作井，导致外侧地面沉降。

采用注浆堵漏法，阻止进一步的土体流失，恢复密封圈、弧形板、密封橡胶带的密封性能，使其重新进入工作状态；

3. 盾构进洞时，后靠支撑过量承受盾构推进动力，导致支撑体系局部性位移及支撑结构变形。

及时填充裂缝缝隙并进行养护工作，直到强度恢复至合格范围再进行推进；注意修补变形构件，检验体系稳定性。

4. 盾构进洞后，部分管片出现错台现象，导致隧道有效尺寸受到影响。

在结束每一环的推进时实时纠偏，且每次纠偏量应在5mm/环以内；采用3-10的方法进行连接螺栓的复紧工作，即每完成3环，进行一次最近10环管片的复紧，减少成环隧道的浮动。

5. 盾构进洞后，由于输送机内部阻塞或开挖面压力过低，导致输送机出土不畅。

以恢复密封性能为主，若性能足够仍无法达到所需土压，则增设密封装置以达到效果。

6. 盾构始发时，台车与站内台车存在夹角，导致传送皮带磨损弯曲。

对于这种情况，应当以预防为主，提高对传送带当前状态的关注，避免此类情况的发生。

#### (二) 应急措施

1. 盾构始发各项准备工作就位后，由生产经理下达指令，盾构保持始发姿态加快推进，使刀盘快速通过帘布橡胶板进入加固区。

2. 如在盾构进入洞门前出现局部土体坍塌或突泥现

象，应用木板对其后部进行加固，刀盘快速抵至掌子面，盾构机进入加固区；如洞门出现土体坍塌或突泥现象，当连续坍塌较严重的，应重新加固洞门，同时在掘进方向采用超前注浆。

3. 当帘布橡胶板锁紧后仍不能阻止涌水涌砂时，同时在盾构超前注浆也不能控制情况下，首先采取地面注双液浆，在涌水涌砂处采用堆积砂袋的办法阻击外泄，如其不能达到堵水引排的效果，应即刻启动应急降水井，通过降低水位实现盾构的快速出入洞，降水井启动同时派出监测人员加强对周边建筑的沉降监测。如上述措施仍无法阻止大量的突泥、涌水现象，应采取立模板浇筑混凝土封闭洞门，以避免事态进一步扩大。

4. 值班工程师立即电话通知监测组，监测组应马上组织相关人员进行地表沉降观测、隧道位移观测以及地表建筑物巡视，发现问题及时反馈至总工程师处。

5. 一旦出现地表有程度较轻沉降或盾构刀盘前方有坍塌现象，但不会影响到建筑物、住户安全和正常工作生活秩序时，应采取相应的应对措施，严密监测，保证地表沉降或刀盘前方坍塌不加剧。

6. 一旦发现地表沉降程度较大或盾构刀盘前方坍塌较严重，可能威胁到建筑物、住户安全和正常工作生活时，应立即报告轨道公司，共同协作妥善疏散人员，保护建筑物等。

#### 四、结语

综上所述，在深圳地铁16号线大运北站~龙城西站项目的盾构施工过程中，抓质抓量，严进严出显得尤为重要。本文仅指出始发线路确定、托架的安装、反力架装配、洞门密封装置的安装、洞门凿除、洞口始发导轨的安装、以及盾构割线始发的注意要点，在实际操作中需要做到全面的质量把控，严格的数据测量分析，以确保整体工程的顺利开展。小半径割线始发复杂度相较一般盾构始发要大的多，是地铁施工的重要技术，文章以深圳市地铁站16号线大运北站~龙城西站盾构区间的工程项目为例。详细分析了盾构小半径割线始发的关键技术控制的研究内容，同时还探讨了施工的保障措施，在一定程度上提高了小半径盾构始发的施工效率，保障了盾构施工的安全性，有利于进一步推动国内其他地铁站主体结构的施工建设。

#### 参考文献

[1] 李茂松. 盾构施工中大角度割线始发技术[J]. 中国铁路. 2017. 11. 23-25.  
 [2] 崔明, 崔仕征, 蔡清池. 小曲线半径富水砂层泥水盾构始发[J]. 施工技术. 2017. 6. 8-9.  
 [3] 马龙, 邓永红. 盾构机小曲线半径始发技术[J]. 施工技术. 2009. 31. 32-35.  
 [4] 吴海潮. 轨道交通工程盾构施工阶段风险研究[J]. 低温建筑技术, 2013. 2. 9-11.  
 [5] 方江华, 张志鹏, 张国强. 城市地铁隧道盾构始发施工技术分析[J]. 市政技术, 2011. 08. 69-72.