

# 地铁盾构区间管片椭变处理施工技术

文 / 漆亚军 中铁二十五局集团有限公司

**摘要：**盾构施工作为现代隧道工程中的关键性技术，凭借其高效、安全、全机械化的特点，在全球基础设施建设中占据着举足轻重的地位。近年来，随着我国城市化进程的加速，地铁、隧道等工程的数量与日俱增，盾构施工技术也得到了广泛的应用与提升。本文旨在对盾构法在软土底层施工中面临的因地面堆载、隧道沉降所造成的一系列问题所采用的施工技术，探讨其技术要点、常见问题及解决方案，为进一步提升盾构施工的效率与质量提供参考。

**关键词：**地铁隧道；盾构；椭变；椭圆度；隧道支撑；洞内注浆

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.059

## 引言

本文将从产生椭变问题的外部环境、隧道监测、采取的施工措施以及施工的准备工作和步骤流程和控制要点等方面进行详细阐述，探讨研究地铁盾构区间椭变后的处理方法，为盾构施工技术的进一步发展贡献一份力量，推动我国基础设施建设迈向新的高度。

### 一、工程概况

该地铁区间隧道采用泥水/土压双模盾构机施工，最小曲线半径为1010m，线间距为6.6~30.86m，最大坡度为24%，最小坡度为2%，区间设计总长度2225m，隧道埋深15.2m~41.6m。区间覆土从上至下主要有：〈1-2〉素填土、〈2-1A〉淤泥层、〈2-1B〉淤泥质土层、〈2-2〉淤泥质粉细砂、〈2-3〉淤泥质中粗砂、〈4-2BG〉固结淤泥质粉质黏土、〈3-1〉粉细砂、〈3-2〉中粗砂、〈3-3〉砾砂、〈4N-2〉粉质黏土、〈7-3〉强风化泥质粉砂岩、〈8-3〉中风化泥质粉砂岩，如下图-1所示。地下水按地下水孔隙性质划分为第四系松散层孔隙水、块状基岩裂隙水和层状基岩裂隙水等三种类型。区间周边多为湿地、水塘，地表水丰富，区间下穿十八涌、十九涌及多

个鱼塘，地貌主要为珠江三角洲冲洪积平原地貌，地面标高-2.81~4.68m。

隧道外径8500mm，内径7700mm，管片楔形量为46mm，拼装方式为错缝拼装。衬砌的设计强度为C50，抗渗等级为P12。衬砌每环宽1.6m，由1个封顶块，2个相邻块，4个标准块共七块构成。衬砌环缝纵缝之间采用弯螺栓连接，19根M30纵向连接螺栓，14根M30环向连接螺栓。区间施工范围内水文地质情况，地下水按地下水孔隙性质划分为第四系松散层孔隙水、块状基岩裂隙水和层状基岩裂隙水等三种类型。区间周边多为湿地、水塘，地表水丰富，砂层呈层状分布，透水性好。

### 二、盾构隧道椭变成因

盾构隧道椭变成因主要为：一是区间广泛分布深厚高灵敏的淤泥、淤泥质土，隧道围岩过于软弱，对管片的约束力不足，受压易变形；二是区间上方道路填土碾压、河涌填方、地面超载施工，增加隧顶荷载，淤泥、淤泥质土、粉质粘土固结沉降，加重了区间管片顶部荷载等多项原因导致盾构管片发生椭变和渗水情况。

16-1区间左线第三方断面椭圆度扫描折线图

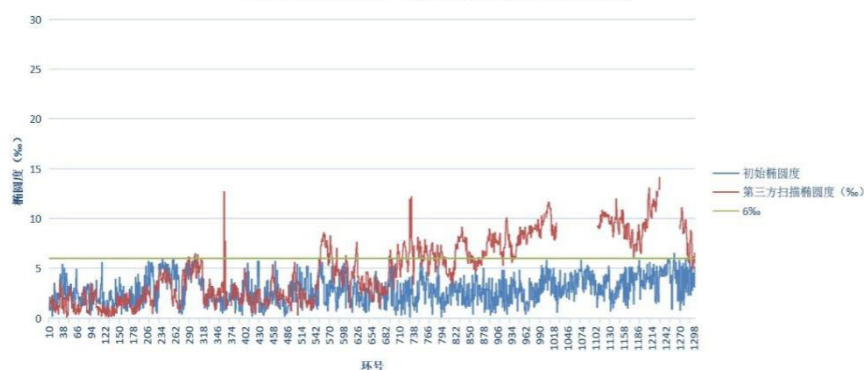
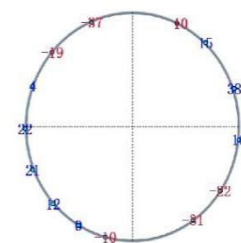


图1 区间左线隧道第三方断面椭圆度测试图

左线区间超出6%范围的区域主要集中在820到1280环范围，总计有1环超20%，9环超15%，457环超6%。右线区间超出6%范围的区域主要集中在740到1280环范围，总计有169环超20%，80环超15%，375环超6%。右线椭圆度变形最大区域位置地层，贯击在10-12点位993环，最大28.5%。左线椭圆度最大值为1242环的15.2%。



16-1区间左线管片典型断面如上图(1255环,面向掘进方向)

### 三、椭变处理方案

经组织研究和论证分析，在本次施工过程中，主要分为隧道支撑加固施工和洞内注浆施工。首先，对地面的监测以及隧顶上方的围蔽，其次是隧道支撑加固施工，隧道内管片椭圆度监测，对椭圆度大于等于15%的区间全部架设洞内支撑，第一步先将隧道上方120°范围内架设弧形钢架，顺序为椭圆度由大到小、椭圆度变化

趋势由大到小、破损率由大到小；第二步在隧道支撑架设完成后进行注浆，注浆参数根据现场实践进行实时调整；第三步在注浆完成后并隧道变形稳定后进行隧道下环240°的弧形钢架架设及破损率较大管片的二衬修复。

(一) 隧道支撑施工

在本次隧道支撑施工中，主要施工内容是利用型钢作为临时或者永久支撑，在地面将加工好的钢支撑零用电瓶车运送到指定位置进行安装，支撑成型后进行注浆，注浆之后如果支撑结构有变化，再根据管片变化进行调整支撑结构，重复此步骤，直到管片椭圆度彻底稳定在规定范围内。

1. 支撑方案一

在本次隧道支撑施工中，针对椭变在15%以上椭变速率在上升或加剧趋势的管片采用半环加井字支撑的方案一支撑，起到快速响应，支撑受力作用。

首先采用22A槽钢作为底部支撑，在底部管片进行打孔，将槽钢放置于指定位置，利用化学锚栓对其进行紧固，并在安装完成后在槽钢与管片之间利用刚性环氧注浆料填充密实；之后分别将HW200\*200竖撑以及HW175\*175顶部支撑型钢运输到指定位置进行安装，型钢与型钢之间、型钢与槽钢之间均利用法兰对接并使用螺栓进行紧固；各榀竖撑之间利用两道16B槽钢进行连接，同榀竖撑之间用横撑HW175\*175型钢连接。

连接紧固后，安装顶部以及侧边弧形型钢，顶部弧形HW175\*175支撑型钢安装完成后，与底部槽钢同样在弧形型钢与管片之间利用刚性环氧注浆料填充密实。至此，该阶段钢支撑安装完成，等待下一阶段注浆之后管片发生相应变化，再通过修正、顶升等措施调整钢支撑，直到管片变形稳定。

2. 支撑方案二

针对隧道管片椭变在15%左右，椭变无加剧或上升趋势或无管片破损渗水情况的，采用全环型钢方案二支撑。

首先采用22A槽钢作为底部支撑，在底部管片进行打孔，将槽钢放置于指定位置，利用扩底锚栓对其进行紧固，并在安装完成后在槽钢与管片之间利用刚性环氧注浆料填充密实；之后利用机械臂拼装其余分块，每块分块上焊接有吊耳，利用该吊耳将分块锚固于管片上，分块之间焊接有法兰，利用螺栓连接固定，直到拼装完成。

(二) 洞内注浆施工

综合考虑本工程地质条件、周边环境及施工工艺等因素，在左右线范围内注双液浆（经研判，左右线不得同时注浆），浆液填充系数1.2-1.3，注浆点应根据管片设计注浆孔位置结合管片椭圆度选择注浆位置（注椭圆度长轴，注浆以轴心为对撑点注浆）。结合现场实际，管片加固处置应分为两种情况：

针对12%≤外径椭圆度<15%的管片环，主要以控制椭变发展为标准，在隧道椭变长轴方向开展洞内注浆措施。针对外径椭圆度≥15%的管片环，应立即架设洞内钢架支撑，架设顺序为实际椭圆度由大到小、椭圆度变化趋势由大到小、破损率由大到小综合判定。架设完成后，再实施洞内深孔水平注浆。当左右线椭变均超12%时，洞内水平注浆需同步实施。

1. 浅孔注浆

(1) 浅孔二次注浆方式及浆液配比

二次注浆双液浆采用水泥浆+水玻璃组成的双液浆，水泥采用42.5#普通硅酸盐水泥，水玻璃采用38Be的浓度。注浆压力控制在比该位置水土压力增加0.1~0.2Mpa，使浆液具有一定的扩散能力，又不至于对周边土体和注浆体产生较大影响。钻孔注浆施工工序为：钻孔布置→钻孔→简易压水试验→注浆→封孔。

首先是人工凿开管片吊装孔，再插入注浆管注浆。先注水泥浆液（水、水泥）对背衬进行填充，然后是注水玻璃双液浆对注浆孔（开孔位置）进行封口。

单次注浆每个孔约注浆1方（结合注浆压力），钻孔深度1m，注浆初凝完成后进行管片椭圆度复测，如测量数据满足设计要求，则封孔注下一环管片；

如单次注浆未能恢复，需对该环进行二次补注，钻孔深度1.2m，注浆每个孔约注浆1方（注浆压力适当提高0.1-0.2bar），注浆初凝完成后进行管片椭圆度复测，如测量数据满足设计要求，则封孔注下一环管片；

注浆浆液的配比：

表-1 浆液配比

水：水玻璃	水：水泥
1:0.5	(0.6~1.0):1

(2) 注浆压力及注浆量

宜进行多次注浆，每次注浆压力宜控制在0.2~0.5Mpa，实施压力根据现场试验确定。终浆压力宜控制在0.5MPa，并按要求控制隧道变形。二次注浆的水泥浆注浆压力为0.5Mpa以内，浆液流量：10~15L/Min，使浆液能沿管片外壁较均匀的渗流，而不致劈裂土体，形成团状加固区，影响注浆效果；水玻璃双液浆注浆压力为0.5Mpa以内。

二次注浆结合管片椭圆度数据注浆。形成有一定范围的环箍，从而限制隧道的变形和沉降。注浆量一般约为1~1.5m³（根据现场实际情况，注浆压力及用量进行动态调整），并根据实际隧道沉降监测情况调整，以保证隧道线形在规范要求范围内。

2. 深孔注浆

(1) 对椭变超过12%的隧道，在隧道水平方向开展洞内注浆措施，提高隧道两侧土体侧向力。当左右线隧道椭变均超过12%时，左右线洞内水平注浆须同步实施，具体注浆流程图以及示意图如图2所示。

(2) 承压水地层开孔注浆需采用有效防喷涌措施，加装孔口管或球阀等措施。

(3) 注浆过程中加强对左右线管片变形量（拱顶沉降、拱底沉降、水平收敛）、椭圆度、管片错台、裂缝、渗漏水进行监测。

(4) 浆液拟采用WSS浆液，水灰比为(0.6~1.0):1。初凝时间为1~2小时，注浆速率7~10L/min，且不大于15L/min。注浆速率需根据不同深度位置进行调整。

(5) 浆液扩散半径不应小于0.6m，注浆深度4m（可采用50cm分段的前进式注浆），具体根据浆液扩散半径及加固强度等试验结果确定注浆孔数量，保证加固效果。

(6) 注浆加固应多点、多次、少量、对称、均匀进

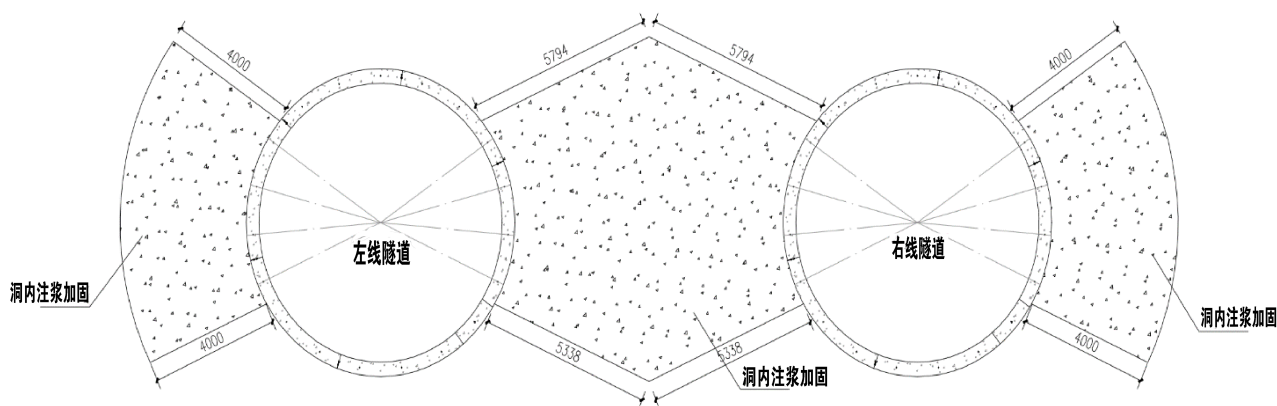


图 2 深孔注浆示意图

行，详细设定注浆孔位、注浆流量、注浆压力及注浆管拔管速度等。

(7) 注浆结束标准：一般情况下注浆压力和注浆流量是影响注浆效果的关键参数，因此施工中采用注浆量和注浆压力双重控制指标。

①浆液沿注浆管壁上冒出，击裂封堵层，应立即停止注浆。

②注浆应加强过程控制，需做到注浆与监测同步，全程对管片进行沉降、变形监测，采用信息化施工，出现异常情况立即停止灌浆、跳孔灌浆或间歇灌浆等措施。

### (三) 隧道监控量测

对隧道管片椭圆度进行精确测量，并根据测量结果划分风险区段，进而制定相应的计划。首先，测量时，应确保仪器的稳定性和准确性，避免外界因素对测量结果的干扰。同时，还需要对测量数据进行多次验证和复核，以确保数据的可靠性和有效性。在获得隧道管片椭圆度的测量结果后，第一时间反馈现场，指导隧道型钢支撑和洞内支撑施工，并对隧道进行风险区段划分。根据椭圆度的大小，可以将隧道划分为不同的风险等级区段。一般来说，椭圆度较小的区段，其结构稳定性相对较好，风险等级较低；而椭圆度较大的区段，则可能存在较大的结构安全隐患，风险等级较高。针对不同风险区段的隧道，需要制定相应的计划。对于低风险区段，可以采取常规的维护和保养措施，如定期巡检、测量管片椭圆度以及隧道沉降，以确保隧道的正常运行。对于中风险区段，除了常规的维护措施外，还需要加强监测和检测频率，及时发现和处理潜在的安全隐患。

## 四、椭圆处理施工要点及存在的问题和解决措施

### (一) 施工要点

支撑施工应收集隧道沿线的地质勘察报告，了解土质类型、地下水位、地层结构等信息，重点观察型钢支撑与管片的密贴效果，对照监测数据判断确定支撑顶升情况。注浆施工，进行试注浆是必不可少的步骤，在此阶段，需要分别监测深孔与浅孔注浆对于管片椭圆度的影响。通过精密仪器对管片的变形情况进行详细记录，

分析不同注浆深度对管片结构的影响程度。深孔注浆可能更适用于地基较软、沉降风险较高的情况，而浅孔注浆则有助于局部调整和修补，通过对比数据，确定最佳的注浆深度和方式。

通过以上隧道支撑和注浆措施，型钢支撑架设后管片椭圆度即可回升 3% 左右，随着外部环境的稳定、支撑的顶升密贴和进一步受力，管片椭圆度逐渐恢复到设计要求范围以内。

### (二) 存在的问题和解决措施

常见存在问题为测量工程量大，型钢支撑安装、运输效率低，交叉施工等问题。因此，针对测量工程量大问题，采用优化测量流程、配足测量人员、加强测量人员培训和使用自动化工具解决，如使用徕卡 RTC360 三维激光扫描仪，该仪器高度自动化、可视化，图标界面的特性，操作简单直观，一键扫描，各类用户都可以轻松上手使用；后处理软件自动提取标靶，无需人工干预，高度智能化，关键和复杂的步骤实现自动化操作。

针对型钢支撑安装和运输效率低问题，改进钢支撑产品或采用能减轻自重的材料，如封闭式物理结构和圆形冲孔设计，提高钢支撑的荷载力和使用寿命，减少变形和损坏；改进运输方案、采用专业运输设备和安装设备，如机械臂拼装机器人。

### 结语

隧道区间变形椭圆一般为突发情况，需要应急抢险施工，所以时间紧、任务重，这就要求我们在工作中不断优化施工流程，精益求精。通过精确的力学计算确定各项参数，严格把控材料质量与施工工艺，从方案确定到前期准备，再到型钢支撑加工生产、洞内注浆以及后续处理等各环节都做到精细操作、规范实施。加强施工过程中的监测与质量管控，监测数据反馈现场指导施工，及时调整优化施工流程也是必不可少的。

### 参考文献

- [1] 谢家冲，王金昌，黄伟明. 地面堆载作用下盾构隧道管片开裂行为分析 [J]. 铁道科学与工程学报. 2021, (1).
- [2] 何小辉，周纯择，王海波，等. 上软下硬复合地层盾构隧道变形特征研究 [J]. 现代城市轨道交通. 2019, (2).