

# 静摩擦力与动摩擦力在盾构机平移中的受力分析

典军伟

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450001

**摘要：**城市繁华地带地铁车站施工多采用半盖挖施工法，而隧道区间盾构掘进施工完成后，面临盾构机主机部分的整体平移，而8.6m盾构机主机重量超重，在盖挖法车站中的平移是一大难题，本文针对成都轨道13号线一期工程在半盖挖车站中8.6m盾构机主机的平移中，对摩擦力进行了详细的研究分析，巧妙的利用静摩擦力、动摩擦力、“滚动摩擦力”的互相转换，将摩擦阻力降至最低，实现了超级大吨位盾构机主机的快速平移，可供类似工程参考和借鉴。

**关键词：**8.6m盾构机主机；静摩擦力；动摩擦力；滚动摩擦力

## 1 引言

成都轨道交通13号线一期工程成都轨道交通13号线一期沿线主要经过青羊区、武侯区、锦江区、龙泉驿区，工程自西向东依次沿东坡路西三段~培风路~东坡路~家园路~青华路~青羊上街~锦里中路~小天竺街~致民路~龙江路~净居寺路~静安路~成龙大道敷设。我项目承担文翁石室站~华西坝站~新南门站~九眼桥站~三官堂站~净居寺站，共计5个区间的盾构掘进施工任务。项目所承担掘进的5个区间均位于成都市九眼桥及锦江景观带周边区域，所属区域周边土地资源有限，同时需兼顾市政道路通行需求，因此成都轨道交通13号线在三官堂站、九眼桥站小里程、新南门站大里程、华西坝站采用半盖挖设计，仅给盾构施工预留吊装井口，而8.6m盾构机又与传统6m级盾构不同，8.6m盾构机主机重量接近900吨，约为6m级盾构的2.5倍，采用传统小盾构机的平移方法，无法顺利实施平移工作。通过在实施盾构机平移过程中发现静摩擦力与动摩擦力的关

系及重物与钢板摩擦面之间的微变形，引入理想中的滚动摩擦力，克服摩擦面之间微变形，从而顺利实现8.6m盾构机主机在车站底板的平移工作。本文针对成都轨道交通13号线8.6m盾构机在车站底板平移过程的所遇到的困难、静摩擦、动摩擦力及两者之间的微妙转化，引入中间过渡材料，从而减小盾构机平移过程中的阻力，进行了论述，以供同类工程借鉴。

## 2 盾构机主机概况

成都轨道交通13号线采用的是8.6m土压平衡盾构机，盾构机主机部分采用分块设计，主机部分在吊装井口采用400t履带吊进行吊装下井组装。主机部分主要包括刀盘、中前盾分块1、中前盾分块2、中前盾分块3、中前盾分块4、主驱动、管片安装机行走梁、管片安装机回转机构、米字梁、盾尾分块1、盾尾分块2、盾尾分块3、螺旋输送机<sup>[3]</sup>。各部件的尺寸重量见下表，盾构机托架重约35t，盾构机主机及托架总重接近900t，平移时整体平移。

表2.1 盾构机平移主机重量尺寸表

序号	设备	数量	尺寸(长宽高)mm	重量T	备注
1	刀盘	1	8630×8630×1693	约128	含刀具
2	中前盾总成	1	5845×6333×2682	约90	分块1
		1	5845×5259×2412	约78	分块2
		1	5845×7205×2994	约96	分块3
		1	5845×5259×2412	约70	块4
3	盾尾总成	1	4761×6261×1411	约25	块1
		1	4761×7253×2059	约29	块2
		1	4761×8188×3126	约38	块3
4	管片拼装机	1	6850×3160×3285	约27	主梁
		1	4400×4400×1800	约33	回转总成
5	米字梁	1	4969×4303×1300	约18	
6	主驱动	1	5010×5010×2005	约148	
7	螺旋输送机	1	16860×1300×2472	约40	

### 3 盾构机主机平移前准备工作

项目首次进行8.6m盾构机主机平移工作是在三官堂车站大里程，根据车站结构情况，三官堂站采用半盖挖施工，在三官堂车站大里程及小里程左线未设置吊装井口，盾构机从净居寺站始发掘进至三官堂站大里程，左线出洞后不具备吊装条件，且不具备直接过站条件，需平移至右线井口吊出，再转运至小里程从右线下井，再平移至左线始发，继续掘进九眼桥站-三官堂站区间<sup>[2]</sup>。

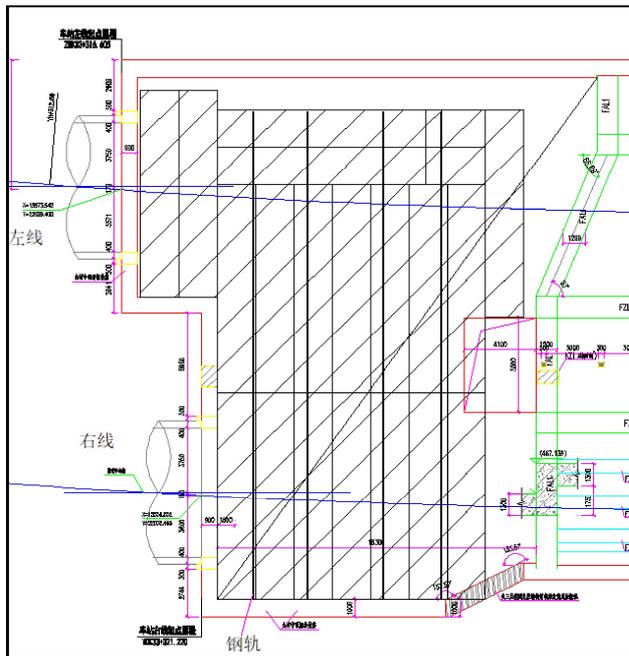


图3.1 三官堂小里程底板钢板铺设示意图

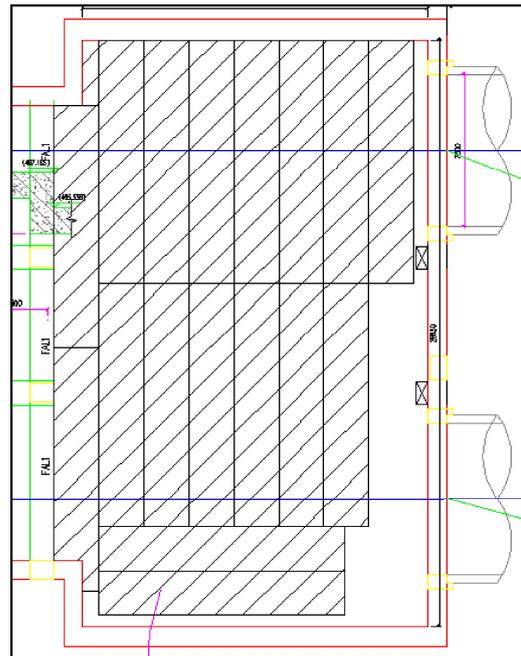


图3.2 三官堂大里程底板钢板铺设示意图

在盾构机主机在下井前，在大里程接收井平行铺上17块 $12\text{m}\times 2.2\text{m}\times 3\text{cm}$ 、小里程始发井平行铺上19块 $12\text{m}\times 2.2\text{m}\times 3\text{cm}$ 、2块 $3.4\text{m}\times 2.2\text{m}\times 3\text{cm}$ 的钢板。每块钢板打好坡口并将相邻边段焊在一起，段焊焊缝长度不小于10cm。在始发台托架下铺设2块 $12\text{m}\times 2.2\text{m}\times 3\text{cm}$ 的钢板并与始发台焊接牢固，以加强始发台在平移过站过程中的整体性，使其有足够的强度；在盾构机出洞前将改造后的始发台安装固定到位，作为盾体平移的载体。

盾构机从净居寺站到达三官堂站后，三官堂站大里程端车站隧道中心线与车站底板相对位置存在高差，盾构机出洞需通过4根400t油缸将盾构机整体逐步降下至下沉段底板后实施平移工作；三官堂站小里程端则需将盾构机整体升高至合适位置后方可完成始发。因左线采用盖挖法施工，无法直接将盾构机吊装出井，需从左线平移至右线吊装井口，再拆机完成吊装工作<sup>[4]</sup>。盾构机平移前将盾构机主机与接收托架焊接固定成为整体，在铺设的钢轨表面进行滑动，通过在事先铺好的厚度30mm钢板

车站平移结构段均为下沉底板，因车站结构，不能一次实施平移工作，需经过多次平移，才能将盾构机平移到位。在盾构机主机平移工作实施前，车站结构已完成，临时灌注桩结构柱完成割除，车站底板积水池及预留钢筋处理满足盾构机需求<sup>[6]</sup>。盾构机主机平移区域采用满铺厚度30mm的钢板，其中三官堂车站大小里程的钢板方法见下图。

上焊接反力支座，并利用2根200t、行程1000mm液压油缸提供平移推力，通过油缸的推进逐步将盾构机从左线平移至右线。

### 4 初次盾构机主机平移所遇到的问题

项目初次在三官堂车站大里程左线盾构机出洞后进行主机平移工作，刚开始采用原有传统平移方法，将盾构机主机与托架整体放于事先铺好的钢板上面进行平移。通过查询机械手册可知，托架下钢板与车站底板预先铺设的钢板在无润滑剂的情况下其滑动摩擦系数为0.15，在有润滑剂的情况下其滑动摩擦系数为0.05~0.1，取最大摩擦系数0.15，可以计算出盾构机主机在钢板上滑动时的最大动摩擦阻力<sup>[5]</sup>。根据盾构机尺寸重量表可知，可知盾构机与托架的最大总质量M为867T，摩擦系数f取0.15，则可计算出推力：

$$F = f \cdot M = 0.15 \times 867 = 130.05\text{T}$$

上述所计算得出的推力为在理想状态下所得出的动摩擦力，然而在现场实施过程中将侧向推力加至800t仍

未将盾构机主机推动。由于初次进行8.6m盾构机主机的平移，无现场的实际操作经验。仔细分析其中的原因，8.6m盾构机主机接近900吨，如此重量级别的设备，重力施加至车站底板预先铺设的钢板上，会引起钢板或下方混凝土产生微变形，以致相对滑动面发生变化，而非原先设想的两块钢板相对滑动力学作用面。由于上下相对滑动面产生的微变形，另上下钢板大面积的接触，也会造上不可预知微变形增多，造成盾构机侧向平移阻力数倍的增加，以致施加800吨的推力未将盾构机主机推至滑动<sup>[1]</sup>。同时得出重物在静止时的静摩擦力将远远大于其在滑动状态下的动摩擦力，或许微变形产生的阻力将是无法克服的阻力。因此，如何克服微变形产生的阻力，将是实现8.6m盾构机主机顺利平移的至关重要点。

### 5 静摩擦力与动摩擦力的转变

由于上述盾构机主机初次在三官堂车站中遇到的困难，归根到底是静摩擦力与动摩擦力的转变中的难题。为克服微变形造成阻力的增大，在上下钢板中引入过度材料，通过在上下钢板中引入60\*60mm45#钢方钢条，上下钢板为普通Q235钢板，方钢条材质硬度大于钢板，以减少同类材料之间的微变形，同时引入方钢条，使上下钢板作用面变为间接接触，滑动面的受力面积，由面接触变为线接触，钢板之间的微变形由不可控的大面积接触，变换至几根方钢条上。上述变形阻力的减小，使相关滑动的静摩擦力更容易转换为动摩擦力<sup>[7]</sup>。盾构机平移托架下方方钢条的铺设方法见下图：



图5.1 滑动方钢条铺设方法图

通过采用在始发托架钢板下方及底板铺设的钢板上面加入方钢条，摩擦阻力大大的降低。该台8.6m盾构机在三官堂站大里程顺利的实现了平移。同时由于平移阻力的减小，使整个盾构机平移工作更加容易，整个事先预判的7天方能完成，目前使用该方法3天即可完成整个平移工作，工作效率也有了大大的提升。

### 6 结论

本次通过解决8.6m盾构机初次的车站底板的平移工作中的难题，利用静摩擦力与动摩擦力相互转化的关系，通过加入滑动方钢，大大减少大盾构机在车站底板平移过程中的阻力。虽然盾构机滑动之后为滑动摩擦力，同时也可以想象为一种虚拟的“滚动摩擦力”，因此大大有利于大型盾构机在车站内的平移工作。项目采用此方法已高效的完成了成都轨道交通13号线8.6m盾构机在多个盖挖或半盖挖车站内的底板的平移工作。本文对指导今后类似车站情况下的盾构机主机快速平移工作，有特别借鉴作用。

### 参考文献

- [1]梁昆森.力学(上册)[m].高等教育出版社, 1998.
- [2]周少华.城市地铁施工机械作业安全风险管理[J].工程建设与设计,2018,(04):197-198.
- [3]王珣,杨博,刘文斌.盾构机平移过站技术[J].隧道建设, 2007,(4):52-54.
- [4]唐经世等.盾构机械的研究.筑路机械与施工机械化
- [5]谭慧军.地铁施工盾构法的施工技术分析[J].建材与装饰,2018,(31):259-260.
- [6]周文波.盾构法隧道施工技术及应用.中国建筑工业出版社
- [7]李椿,夏学江.大学物理[m].高等教育出版社, 1998.