

浅谈盾构在复杂地质富水地层施工技术

王威宇

(福州地铁集团有限公司 福建 福州 350000)

摘要：目前全国范围的地铁都在紧锣密鼓的建设中，福州地铁建设也在如火如荼的进行。福州市地处我国东南沿海，地层含水量大，地质条件复杂。本文根据福州地铁6号线十洋站~吴航站盾构区间施工经验，介绍在富水地层中盾构在掘进过程中的技术研究，对盾构推进过程发生的问题进行分析并提出解决措施，为其他工程盾构在类似地层的推进提供参考、借鉴。

关键词：富水地层；掘进；措施

1. 工程概况

福州地铁6号线十洋站~吴航站区间长1.6公里，隧道埋深8.9~22m，线间距11~14m，最小曲线半径500m，最大坡度26‰，区间设置联络通道2座，联络通道采用矿山法施工，区间隧道沿路和路下方行进，道路两侧为老旧城区，建筑物密集。十洋站~吴航站区间隧道区间地质复杂，穿越地层主要位于<2-4-1>淤泥、<2-4-2>淤泥质土、<3-1-1>粉质黏土、<3-6-2>(含角砾)粉质黏土、<4-8>(含泥)卵石、<7-3>强风化凝灰岩(砂土状)、<7-4>强风化凝灰岩(碎块状)、<8-2>中风化凝灰岩、<9-2>微风化凝灰岩，其中硬岩地层最大单轴抗压强度135.0MPa，经过孤石探测及钻孔揭示发现花岗岩孤石。地下水丰富，包含了上层滞水和承压水，承压水按照赋存介质又分为孔隙承压水、裂隙裂隙承压水和构造承压水，且相互之间存在补给关系。本文主要结合该项目工程实践从比较突出的中心滚刀磨损、管片上浮、螺机喷涌等方面进行论述。

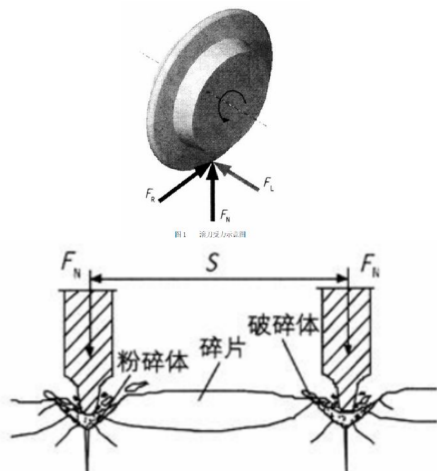
2. 工程特点

该区间地质复杂，软硬地层分布不均，且上软下硬地层及全断面硬岩地层占比较大，上软下硬地层岩面凹凸不平，硬岩地层节理密集，岩面对刀具与刀盘冲击大，刀盘刚度要求高，刀盘驱动系统负荷大，刀具的抗冲击性能要求高。同时，该区间地层水文地质复杂，地下水较为丰富，特别在节理密集发育地层，裂隙构造水发育，掘进过程中螺机容易发生喷涌。

3. 工程难点及解决措施

3.1 滚刀设计缺陷与优化

针对本区间复杂多变的地层情况，盾构在选择使用刀盘与刀具配置时，也做了相应的特殊设计，使盾构施工具有安全、顺利通过特殊地段的能力。刀盘刚度设计：采用6个主梁+6个副梁面板结构形式。刀具配置：刀盘配置6把中心双联滚刀，36把单刀正面滚刀，刀刃数量达48个，正面刀间距75mm，破岩能力强，效率高，适应高强度地层。最外同轨迹为3把边滚刀，可减少边刀换刀次数。



3.1.1-1 刀具破岩原理

本区间隧道在前期掘进过程中，中心滚刀出现严重偏磨，主要

轴承损坏造成滚刀不能转动出现偏磨。

原因分析：中心双联滚刀位于刀盘中心，轨迹半径较小，于其他位置滚刀相比，滚刀刀圈与它运行轨迹圆的切向夹角A最大(如图：3.1.1-2)，刀圈在滚动的过程中一直处于受别的状态，越靠近中心受到轴向力越大，再加上全断面硬岩地层硬度达到80MPa~100MPa，受到的侧向力更大，容易造成刀体、刀架向一侧挤压，从而造成一侧刀架与刀体之间的油封橡胶圈压缩力减小，密封能力下降直至失效，环境中的渣土泥水会进入滚刀内部，破坏轴承，造成轴承不能转动，从而出现偏磨。(从更换下来的旧滚刀靠近刀盘中心一侧磨损程度更严重可以验证，如图3.1.1-3)。

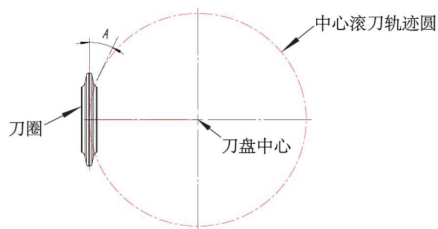


图 3.1.1-2 滚刀刀圈与滚动轨迹关系图



图 3.1.1-3 典型偏磨滚刀

此外，滚刀开始出现偏磨后，由于滚刀无法正常滚动，滚刀与掌子面接触面积越来越大，掌子面对滚刀的摩擦力和挤压力越来越大，螺栓承受的压力也会急剧增大，造成螺栓大面积断裂。本项目出现的中心双联滚刀偏磨产生的主要原因是随着地层岩性的变化，地层硬度提升，中心滚刀受到的侧向力加大，造成滚刀一侧密封失效，泥水进入滚刀内部损坏轴承造成的偏磨，并带来了螺栓断裂等一系列连锁反应。

采取措施：在中心双联滚刀三个刀架之间焊接支撑装置，保证刀架之间的相对位置不发生变化，从而保证在滚刀在受到侧向力时各零部件不向一侧挤压造成一侧密封失效，从而保证密封系统的可靠性，减小密封失效造成泥水进入刀体内部破坏轴承从而引发偏磨的风险。如下图 3.1.1-4。

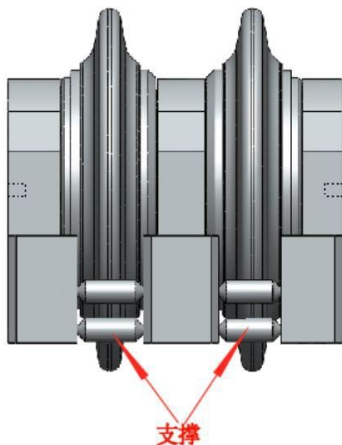


图 3.1.1-4 中心双联滚刀加支撑

3.2 管片上浮量大

由于十吴区间地下水水量较大，岩层段裂隙发育，在硬岩段和上软下硬段掘进过程中，管片脱出盾尾后由于同步浆液不能及时凝固，容易出现管片受到浆液及地下水的浮力造成管片上浮的现象，前期掘进过程存在个别管片拉裂的现象，上浮量多达 100mm 以上。

盾尾与成型管片垂直姿态



区间左线成型管片与盾尾垂直姿态折线图

采取措施：盾构在进入硬岩地层前需将姿态逐步调整至垂直姿态-40~-35mm，避免管片上浮量大，造成成型隧道姿态超限。进入硬岩段后必须同步调整同步注浆浆液配比，增加水泥用量（将水泥用量由 100 调整为 150kg/m³），增加浆液稠度，使浆液能在 6 小时左右快速凝固。同时在脱出盾尾 3 环左右及时采取二次注浆（双液浆），加快管片固结，抑制管片上浮。在盾尾后方每 5 环做一道止水环箍（双液浆），截断管片后方地下水向前流入。



3.3 富水地层螺机喷涌的控制措施

在节理裂隙密集带地下水丰富，硬岩地层掘进通常采取敞开模式施工，该模式下，土仓相当于一个地层“疏干井”，该模式下地层均稳定且围岩强度较高，土仓内细颗粒物质含量低，渣土过稀，在螺机内不能有效形成土塞效应，导致螺机喷涌，渣土及水溅落至盾尾，使盾尾清理工作量加大，影响施工进度。

采取措施：一是脱出盾尾管片每隔 5 环采用双液浆施做一道止水环箍，隔断管片后方地下水进入土仓；二是利用土仓隔板球阀接管管，在掘进前提前放掉土仓中地下水，减少渣土含水量；三是适当增加土仓中渣土量，降低喷涌。

3.4 其他注意事项：

3.4.1 泡沫系统及刀盘喷水系统保护

盾构在全断面硬岩地层掘进根据地下水发育情况选择泡沫系统及刀盘喷水开启方式及数量，在这种地层中一定要注意泡沫管路和刀盘水管路的保护，防止长时间不使用导致管路被堵，当需要使用时耗费大量时间进行修复。十吴区间右线曾因不开启泡沫系统导致 6 路堵塞 5 路，疏通管路耽误 3 天时间。

3.4.2 同步注浆及二次注浆

盾构在全断面硬岩地层掘进同步注浆浆液需要增加水泥用量，增加浆液稠度，使浆液在地下水作用下能正常凝固。同时要加强对二次注浆及止水环箍施做，每 5 环施做一道止水环箍，每环施做二次注浆，及时填充管片背后空隙，截断地下水渗流通道，防止盾尾后方地下水涌入刀盘，加大渣土含水量，造成螺机喷涌和渣土过稀漏渣，增加盾尾清理工作量。

3.3.1.1 卡螺机

盾构在上软下硬地层掘进，当掘进速度小，螺机出土不连续，当螺机停止转动再次启动时，容易被渣土卡住，导致螺机不能转动。

十吴区间总共有两次螺机被卡，建议盾构在上软下硬地层掘进要适当减少螺机伸入土仓长度，缩回 30cm 距离，同时螺机排土尽量连续转动螺机。

3.3.1.2. 卡刀盘

全断面硬岩施工容易卡刀盘，在掘进过程一定要密切关注掘进参数，发现异常情况要及时分析，一般卡刀盘与刀具有关，要对刀具勤检查，尤其是边缘滚刀，防止磨损严重时开挖直径小于盾壳直接造成卡盾壳。当刀盘被卡时可采用正反转刀盘恢复。在掘进时换土斗时刀盘不停转，掘进结束后刀盘继续转动一定时间，当扭矩明显降低后再停转。

4. 结语

通过福州地铁 6 号线十洋站~吴航站区间盾构掘进过程的施工经验，总结以下要点：

- (1)处理好中心双联滚刀偏磨问题。在中心双联滚刀三个刀架之间焊接支撑装置，保证刀架之间的相对位置不发生变化，若出现螺栓中部断裂现象难以取出时，可直接采用火焰吹除的方式熔化。
- (2)选择合适的浆液配比控制管片上浮。进入硬岩段后必须增加同步注浆浆液水泥用量，增加浆液稠度，使浆液能在 6 小时左右快速凝固。
- (3)防范螺旋输送机被较大粒径石块，建议盾构在上软下硬地层掘进要适当减少螺机伸入土仓长度。
- (4)换刀位置选取及刀具的运输。尽量选取 3 点钟及 9 点钟方向换刀，节省人员体力，高效换刀。
- (5)当盾构机需要穿越强度大于 50MPa 的构筑物时，需要更换滚刀才能顺利通过。

本文针对福州地区富水复杂地层中盾构在掘进过程中的技术研究，总结施工经验教训要点，可供类似工程作参考。