

# 盾构在泥岩中掘进的控制要点

敖付勇

(重庆市铁路{集团}有限公司 重庆 400020)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4765

**[摘要]** 盾构机在泥岩地层中掘进, 极易造成刀盘结泥饼以及管片上浮。刀盘结泥饼严重影响了盾构施工的进度及安全; 管片上浮则严重影响了隧道成型的质量。因此, 如何解决这两个问题, 是盾构在泥岩中施工的重点。本文将通过介绍盾构机在泥岩中刀盘结泥饼和管片上浮的原因, 然后给出针对性措施, 为盾构机在泥岩中施工提供一些技术参考。

**[关键词]** 盾构施工; 泥岩; 结泥饼; 管片上浮; 针对性措施

Control points of shield tunneling in mudstone

Ao Fuyong

(Chongqing railway {group} Co., Ltd. Chongqing 400020)

**[Abstract]** shield tunneling in mudstone stratum is very easy to cause cutterhead mud cake and segment floating. Cutterhead mud cake seriously affects the progress and safety of shield construction; The floating of segments seriously affects the quality of tunnel forming. Therefore, how to solve these two problems is the focus of shield construction in mudstone. This paper will introduce the reasons for the mud cake formation of the cutterhead and the floating of the segment of the shield machine in the mudstone, and then give targeted measures to provide some technical references for the construction of the shield machine in the mudstone.

**[Key words]** shield construction; Mudstone; Mud cake; Segment floating; Targeted measures

## 1 前言

随着我国“十三五规划”的提出, 各大城市的经济都在快速发展。城市经济发展的一个关键需求就是城市道路交通系统的健全与完善。城市地表交通已基本成型, 地下工程的大力发展迫在眉睫。地下隧道工程目前最快速, 又安全的施工方法应该当属盾构法施工。盾构法施工的效率与质量, 和地层的地质情况紧密相连。同事不同地质情况, 对盾构的选型, 盾构的施工工艺, 也有着不一样的需求。泥岩地层在武汉, 重庆, 成都等城市是相对比较常见的地层。盾构施工也常常在泥岩中。本文将谈谈盾构机在泥岩中的施工要点。

## 2 地质介绍

泥岩是指弱固结的黏土经过中等程度的后生作用(如挤压作用、脱水作用、重结晶作用和胶结作用)形成强固结的岩石。是已固结成岩的, 但层理不明显, 或呈块状, 局部失去可塑性, 遇水不立即膨胀的沉积型岩石。矿物成分复杂, 主要由粘土矿物(如水云母、高岭石、蒙脱石等)组成, 其次为碎屑矿物(石英、长石、云母等)、后生矿物(如绿帘石、绿泥石等)以及铁锰质和有机质。质地松软, 固结程度较页岩弱, 重结晶不明显。强风化岩芯呈碎块状, 风化裂隙发育; 中风化岩芯呈柱状、中柱状, 裂隙不发育, 完整性较好。泥岩岩体渗透系数比较低, 透水性为弱透水。盾构施工在泥岩中, 盾构施工的重难点主要是结泥饼和管片上浮。

## 3 分析原因:

盾构施工中由于泥岩地层粘粒成分含量大, 遇水易软化, 在施工扰动(尤其是机械反复碾压)下极易泥化。刀盘切削下来的细小砂土颗粒, 碎屑在高温作用下, 在刀盘面板和土仓内又重新聚集而成的半固结和结状的块状体, 易形成泥饼。

如果在刀盘形成泥饼, 会导致刀具无法转动, 无法切削掌子面, 阻塞刀盘开口, 造成掘进无速度。如果土仓内形成泥饼, 可能导致渣土在仓内固结, 在中心回转散热的情况下, 使舱体内温度急剧升高, 影响主轴承密封的寿命, 甚至毁坏轴承密封。结泥饼之后会导致出土困难、扭矩变大、推力突增、进尺缓慢, 地面沉降过大, 进度滞后。

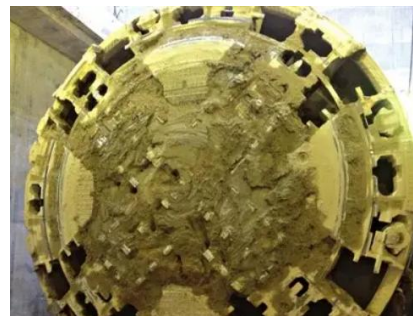


图1 刀盘结泥饼

在盾构掘进过程中, 盾构的开挖直径大于盾构管片的外径, 泥岩自稳性较好, 开挖轮廓与管片外间隙, 无法被地层的收敛及时约束。泥岩的渗透性差, 在管片背后的空隙出现填充不饱满的情况, 同步注浆注入浆液在未凝固的情况下, 会对管片产生浮力作用, 导致管片向上浮动。

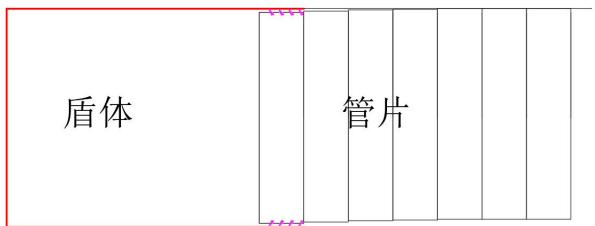


图2 管片上浮示意图

同步注浆注入浆液在未凝固的前提下，对管片受到的砂浆浮力和管片自重情况进行计算分析。取管片外径 8.5m，内径 7.7m，环宽 1.8m 的管片，对其受力情况进行简单的计算为：

管片受到的浮力 F 为： $F = \rho_1 g V_1$

$$= 1.7 \times 9.8 \times 3.14 \times 8.5 \times 8.5 \times 1.8 / 4 = 170t$$

式中： $\rho_1$ —砂浆比重，砂浆比重取值 1.75/m<sup>3</sup>；

$V_1$ —管片体积；

$g$ —取值 9.8N/kg

管片自重 G： $G = \rho_2 V_2$

$$= 2.4 \times 3.14 \times (8.5^2 - 7.7^2) \times 1.8 / 4 = 43.9t$$

式中： $\rho_2$ —混凝土比重，取值 2.4t/m<sup>3</sup>；

$V_2$ —管片混凝土体积。

由上面分析可以看出，每环管片的浮力远远大于管片自重，大了 100 多 t 的力，则在管片砂浆未凝固之前管片始终存在一个很大的浮力。虽然管片间通过管片螺栓连接着，阻碍着管片上浮，但是管片螺栓不足以抵挡这 100 多 t 的力，也终将造成管片的上浮。

管片上浮则是直接影响了工程成型质量。管片上浮是的成型隧道的轴线与设计轴线出现偏差，严重的话造成盾构隧道侵入的建筑限界；管片间的不均匀上浮会使得在管片的端面产生相应的剪切应力，引起管片间的错台，开裂，破损和漏水，降低了管片结构的抗压强度和抗渗压力，严重的话会使得管片间的连接螺栓出现破损，影响结构安全。

如何积极有效的针对这两个重难点，保证盾构正常施工是盾构在泥岩中施工的关键。

#### 4 针对措施

##### 4.1 结泥饼的针对措施：

针对结泥饼的问题，必须从项目确定就开始着手考虑应对措施，做到项目的全过程处理应对。

##### (1) 设备选型

1) 刀盘在选型时选择合适的开口率，尤其是刀盘中心开口率，盾构选型时选择刀盘整体开口率 38%。刀盘开口在整个盘面均匀分布，保证刀盘掘进过程中渣土顺利进入土仓，同时采用中间环梁低于主梁的设计，也能够保证渣土径向方向的顺利流动，使渣土在刀盘中心区域不易因流动不畅而引起堵塞和堆积，从而有效降低中心结泥饼的概率。

2) 刀盘上配置足够的添加剂（10 路泡沫、2 路膨润土）注入入口，保证添加剂均匀的注入到开挖面，并在掘进过程中根据地层变化不断调整添加剂参数，保证渣土改良的效果。

3) 刀盘上主动搅拌棒和土仓内壁上的被动搅拌棒合理设置，确保土体在搅拌棒作用下能够与添加剂充分搅拌混合，使土体具有良好的流塑性，防止土仓内形成泥饼。

##### (2) 掘进过程中

1) 盾构司机要有足够的敏感性，和充足的经验，很明显的辨别出刀盘是否是结泥饼。当推力增大，扭矩也有增大的趋势时，而速度却不见提高，这时候要分析是否有可能刀盘结泥饼了。同时，司机也可以通过对掘进速度，渣土温度等综合观察判断，进而进行参数的调整，来减少结泥饼的机率。

2) 选择合适的泡沫，及泡沫比例来进行盾构掘进，保证渣土改良的效果，避免结泥饼的产生。若确定盾构掘进过程中已结泥饼了，可以通过加大泡沫，膨润土，冷却水的用量，也可采取提高刀盘转速的方法，短时间内增大离心力将泥饼甩掉。

3) 刀盘旋转与周围的地层摩擦，导致土仓内的温度升高，温度的升高会使得泥饼更容易形成。因此需控制温度，向刀盘及土仓内加大水或者膨润土注入量，以降低土仓内的温度。

##### (3) 掘进后

1) 在泥岩地层中，要做到定期开仓检查，查看是否有结泥饼，同时观察刀盘的磨损情况，地质情况。从而总结经验，为接下来的掘进提供指导意见。

2) 在刀盘已经结成泥饼之后，需要及时安排人进场清理。若该处泥岩的地层条件状况好，可以直接常压进去清理。若实在条件不允许，则旋转带压进仓。

3) 在一些特殊的情况选，需要停机时，可向土仓内注入分散剂浸泡刀盘，浸泡完成后，高速旋转刀盘，可有效降低结泥饼概率。

#### 4.2 管片上浮的针对措施：

针对管片上浮的问题，也是必须从项目的确定就开始着手考虑应对措施，做到项目的全过程处理。

##### (1) 设备选型

1) 盾构机的同步注浆系统要针对管片上浮问题做针对性设计。保证注浆泵的数量，在掘进一环的时间可以完成充满地层与管片的间隙。对注浆管路的数量和位置进行合理的确定和安排，保证后期可以搭配不同组合以减少上浮。

2) 盾构机配备二次注浆系统，保证后期遇到管片上浮严重地段，可以利用二次注浆设备，加强二次注浆频率。

3) 配备精度高的导向系统，加强管片及盾构姿态的测量工作，及时复核导向系统显示姿态与实际人工测量姿态是否一致，管片姿态是否预警，以指导盾构机姿态调整。

4) 尾刷密封由四排焊接在壳体上的密封刷组成，最后一道尾刷采用外包钢板，尾刷与管片贴得更紧，密封效果更好。四道尾刷可以防止注浆材料和水漏进盾体内部。盾尾尾部有一排止浆板（钢板束），耐磨钢板制成的止浆板可以防止砂浆流入盾体前部，也可以防止盾体前部的泥浆影响注浆效果。四道尾刷及止浆板设计详见图 7.14-7。

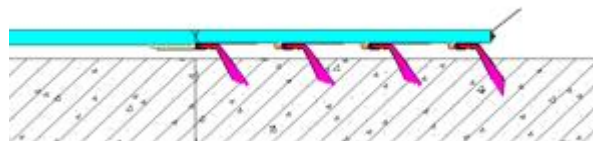


图3 四道尾刷和止浆板设计

5) 适当加强一号台车的重量, 以1号台车的重量来适当抵消的管片的上浮力

(2) 掘进过程

1) 掘进速度的控制, 掘进的速度要和注浆相匹配, 保证有足够的时间是浆液填满管片和地层的间隙。

2) 控制和调整盾构掘进参数与姿态, 提高盾构操作人员的水平。控制盾构机姿态, 防止盾构载头。减少由于载头, 使得主推力在顶推油缸存在向上的分力增大管片的上浮。控制盾构机姿态, 也要做到控制土方的开挖量, 防止超挖, 一旦超挖, 会是管片的上浮空间变得更大。所以必须控制好盾构机姿态, 做到勤纠偏, 小纠偏掘进。

3) 在掘进过程中多次进行螺栓复紧, 至少进出三次, 拼装完成后进行一次使得全环更加牢靠连接; 下一环推进过程中由于油缸的推力会使得管片间挨得更加紧, 这时候需要再进行一次螺栓复紧; 管片脱出盾尾的时候, 没有盾尾的束缚更容易上浮, 这时候也需要进行一次复紧, 必要时使用扭矩扳手进行检查复紧情况。同时掘进过程中可以, 适当增加土仓压力, 使管片挤紧, 保证管片整体性。

4) 掘进过程中在进行同步注浆的过程中, 使用双液注浆设备对脱出盾尾的管片进行双液注浆包裹, 减少上浮。该措施需要控制双液注浆的时间, 位置, 和量, 防止造成盾尾“抱死”现象。

5) 掘进过程中可以将下一环的管片或者其他重物压在脱出盾尾的管片上, 以抵消管片的部分浮力。

(3) 成型后

1) 对脱出盾尾的成型隧道管片背后注浆情况及时进行检查, 打开管片吊装孔, 观察浆液凝固情况, 及时调整浆液初凝时间, 确保浆液初凝时间在不会包裹盾尾的情况下, 尽可能的早凝固, 可以控制在6h左右, 且浆液需要具有一定的早期强度。为了提高早期抗剪强度, 可以通过降低粉煤灰和增加黄砂含量来适当降低浆液的塌落度、稠度值及流动性; 也可以增加膨润土的含量来降低浆液的泌水率; 也可以适当的添加点速凝剂, 以加快浆液的初凝时间。

2) 成型后的隧道要积极安排测量人员对管片的姿态进行监测。根据管片姿态测量结果对注浆方案, 掘进的参数等进行针对性的调整, 如调整注浆部位、注浆量、掘进的速度等。

3) 为防止成型隧道顶部的水流到盾尾, 可以在距离盾尾3-5环的位置, 通过二次注浆设备, 将一环的管片都进行双液浆封堵, 使得前后形成一个隔水环。阻碍后面的水到前影响刚刚脱出盾尾的管片。

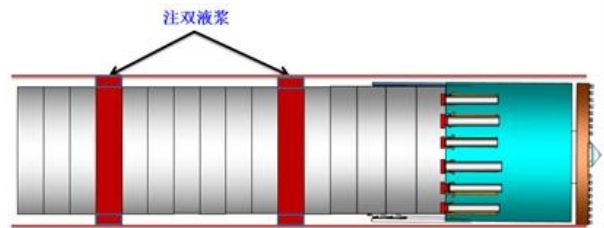


图4 二次注浆形成止水环

5 结论:

如今盾构法在隧道施工中已经应用了好几年了, 但是针对泥岩的这两大难点一直没有得到彻底的解决。盾构施工不能单单的从这一方面, 一个因素分开考虑问题。需要将整个盾构施工, 当一个整体的系统工程来综合考虑各方面的因素, 以此来寻找更合适的解决办法。

面对泥岩中结泥饼的问题, 设备的选型是关键, 项目人员在选择设备的时候, 做好充分的调研与分析, 选择合适的设备。对于后续的正式施工过程, 在遇到结泥饼问题, 施工人员要善于总结, 分析原因, 吸取经验教训, 后续盾构施工过程中, 通过提前预防并做好过程管控、发现异常现象及时处理、调整盾构参数、进行渣土改良等措施, 避免了结泥饼现象的再次发生。项目完工后, 进行整体的总结, 为后期类似工程项目积累了丰富的经验。

面对泥岩中管片上浮问题, 也是要在项目施工前, 提前分析与调研, 在设备方面也做出针对性措施。施工过程中, 通过适当的措施, 掘进控制、螺栓复紧、二次注浆等措施, 阻止管片上浮。同时加强对成型管片姿态变化的分析和总结, 从而来指导施工过程中盾构机姿态的控制及参数的选择, 注浆方法及浆液的初凝时间的确定等。需要综合考虑各种影响管片上浮的因素, 做出最优的调整, 最大可能地控制管片上浮, 保证施工质量。

参考文献

高伟 盾构隧道管片上浮原因分析及应对措施 基层建设 2018 (7)

史华 盾构机硬岩掘进管片上浮问题分析及改进措施.《施工技术》.2018

宋卫博 浅谈盾构施工中泥饼成因及解决办法. 城市建设理论研究. 2014 (23)

李志军, 翟志国, 赵康林 泥水盾构刀盘结泥饼形成原因及防治技术. 地下空间工程学报. 2014