

滨海地区淤泥质地层盾构施工技术研究

丁世忠 杨立民 高明明

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 盾构隧道穿越滨海地区淤泥质地层时, 由于淤泥质地层具有高含水率、强度低、高灵敏性, 盾构机施工过程中姿态难以控制, 极易出现盾构机“栽头”、管片上浮等一系列质量问题。以深圳地铁12号线二期海上田园东站~明挖段区间盾构穿越淤泥质地层施工为研究对象, 通过在盾构施工中不断的对施工参数进行优化调整, 掌握盾构在淤泥质地层施工中的质量控制措施。

关键词: 淤泥质地层; 刀盘配置; 盾构“栽头”; 管片上浮

1 引言

盾构在滨海地区淤泥质地层中施工, 盾构姿态难以控制, 经常出现“栽头”的情况, 管片姿态难以拟合设计轴线; 在淤泥质地层中管片也极易上浮, 从而导致管片错台、破损。如何克服在滨海地区淤泥质地层盾构施工遇到的各种困难, 高效优质地完成盾构施工工作是一个艰巨的任务。在以往的研究中, 文献^[1]对盾构刀盘结构、基本配置及工程应用进行了举例说明, 论述了刀盘形式及选用。刀盘结构形式有面板式、辐条式及介于二者之间的幅板式, 它们在土舱构造、开挖面稳定、土压保持、砂土的流进性、刀盘负荷和扭矩及检查换刀等方面存在较大的差异, 应综合考虑地层条件、开挖面的稳定性、刀盘适应性以及障碍物的处置等因素来选用刀盘形式^[1]。针对填海地区复杂多变的地层, 分析总结填海区盾构掘进的各种难点, 并提出了相应的技术措施^[2]。通过对盾构区间穿越全断面淤泥质地层(尤其是区间穿越晋安河)施工技术进行研究, 妥善解决了盾构机过全断面浅埋淤泥质地层掘进问题。对于福州地区河流冲击平原地貌地层的盾构施工具有借鉴意义^[3]。主要探讨了在软土地层中盾构机掘进姿态的控制要点, 从而使盾构隧道施工

质量满足设计标准, 研究表明, 在地铁盾构机掘进施工过程中, 施工人员要高度重视施工机械设备的性能和施工现场的地质环境, 科学调节盾构姿态, 提升盾构施工过程的稳定性, 确保整个盾构施工工程得以顺利完工^[4]。本文以深圳地铁12号线二期工程一工区海上田园东站~明挖段盾构区间为依托, 总结在滨海地区淤泥质地层中盾构掘进的成功经验, 以供同类工程施工借鉴。

2 工程概况

(1) 线路设计情况

海上田园东站~明挖段区间线路呈单向下坡从海上田园东站延申至区间明挖段, 区间隧道最大纵坡为5‰, 最小曲线半径500m, 左、右线隧道长度均为423m; 区间隧道埋深10.27~13.22m。

(2) 地质概况

区间隧道穿越地层位于海相淤泥, 淤泥质粉质黏土、粉质黏土层中; 海相淤泥层、淤泥质粉质黏土层具有易变形、沉降反应迅速、承载力较低等特点, 导致盾构掘进施工时, 盾构姿态控制难、地面沉降不易控制、易超挖、成型管片上浮量大等施工难点。区间地质断面图如图1所示:

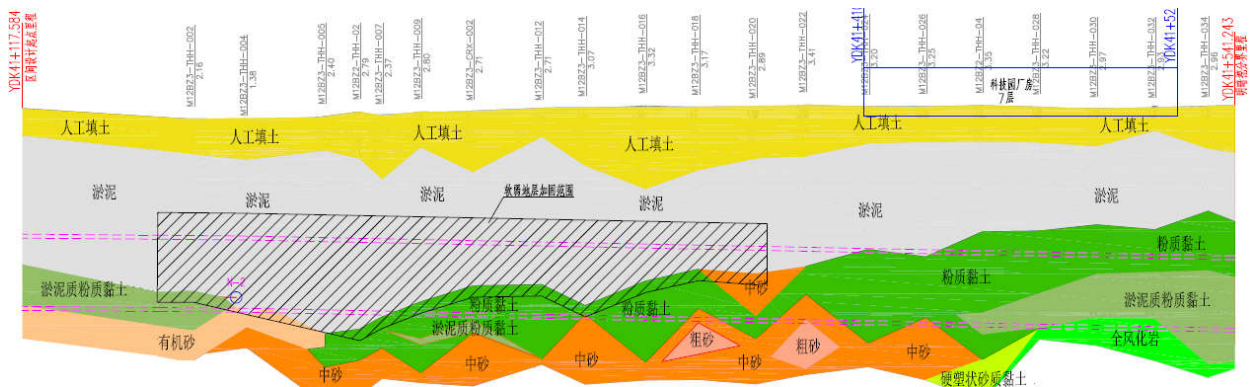


图1 海上田园东站~明挖段区间左线地质纵断面图

(3) 衬砌管片设计概况

区间管片外径为6700mm，内径为6000mm，管片厚度为350mm，环宽1500mm，强度等级为C50，抗渗等级为P12。管片纵向和环向均采用弯螺栓连接，螺栓强度为8.8级。

3 淤泥质地层刀具及刀盘优化配置

本区间采用2台中铁装备土压平衡盾构机施工，刀盘采用辐板式刀盘，刀盘钢结构主要由六个主刀梁，六个副刀梁、外圈梁和刀盘法兰等组成。六个主刀梁和六个副刀梁焊有耐磨复合钢板，保护刀盘本体。

在满足能够破除洞门混凝土的前提下，应尽量选择使刀盘具有大的开口率且能够减轻刀盘重量的撕裂刀。本区间盾构机刀盘安装6把中心双联撕裂刀（图中标红位置双联滚刀变为撕裂刀），刀间距为90mm，17寸单刃滚刀38把，其中12#—32#刀刀间距为80mm，33-38#刀刀间距75mm，刮刀共49把，刀高145mm，边刮刀12把，刀高145mm。刀盘中心开口率38%，整体开口率33%，刀盘图如图2所示：

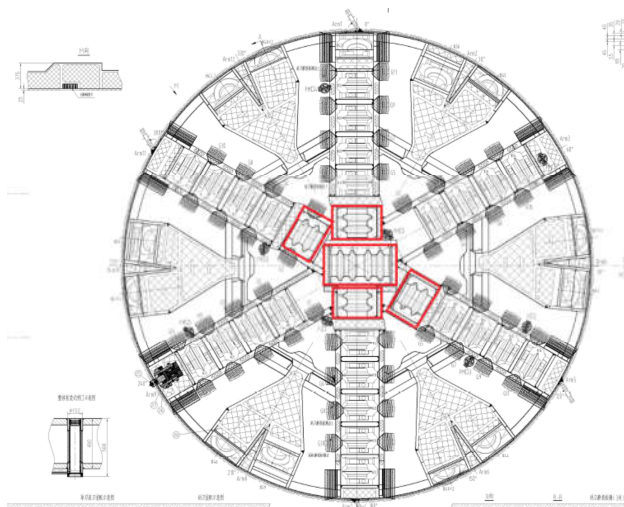


图2 刀盘图

4 盾构始发

(1) 始发基座安装时应考虑设计轴线与始发基座的相对位置关系，在调整始发基座高程时，应控制盾构机姿态前后点形成的坡度比设计坡度略高一些，且盾构机姿态的轴线要高于设计轴线2~3cm，保证盾构机为上扬的姿态开始掘进，不易产生盾构机栽头的情况。

(2) 盾构机始发姿态前盾“抬头”25-35mm，尾盾“抬头”8-12mm，始发基座呈相对线路增加2-4‰的上坡，以保持盾构机向上运动的趋势；

(3) 在盾构机进入加固体前，如果始发托架与加固体间距离较长且未采取支托措施，会造成盾构机“栽

头”现象，因此需在始发基座与洞门钢环之间安装导轨，对盾构机起到支撑的作用。

(4) 负环管片在脱出盾尾的过程中，在管片与托架间采用木楔楔紧，同时，每环管片用1道钢丝绳环向箍紧；

(5) 始发前在盾构机中盾与尾盾两侧焊接防滚动扭转钢板，操作人员及时通过左右旋转刀盘转向调整，刀盘滚动角控制在±3以内；

5 淤泥质地层掘进参数分析

(1) 盾构机推力控制

在淤泥及淤泥质粉质粘土层中掘进时，盾构机推力维持在600t~1000t之间，在后续的上部为粉质粘土层、下部为中砂层中掘进时推力维持在1400~1800t之间。

(2) 扭矩控制

在淤泥及淤泥质粉质粘土层中掘进时，盾构机扭矩较为稳定，基本维持在0.5~0.7MN.m之间。

在后续的上部为粉质粘土层、下部为中砂地层中掘进时扭矩基本维持在1.3~1.5MN.m之间。

(3) 刀盘转速和推进速度控制

在淤泥质地层中掘进时，盾构机刀盘转速基本保持在1.0~1.1r/min，掘进速度基本保持在45~65mm/min。

(4) 出土量控制

淤泥质地层掘进过程中每环出土量控制在70m³左右，盾构穿越过程中严格把控出渣方量，安排专人负责看渣。

通过人工测量体积（现场管理人员根据推进进尺统计出渣量）和门机称重两种方式，建立盾构渣土反馈机制，发现连续5环超过平均数，即组织专家对掘进过程进行评估优化。

(5) 同步注浆控制

因为穿越深厚淤泥地层，盾构掘进引起地面沉降变化明显，推进过程中加密监测，根据监测数据及时调整同步注浆量。地面基本无变化时每环同步注浆量控制在7m³左右，地面监测数据变化时，同步注浆量在5~10m³之间调节。同步注浆压力保持在0.2~0.3MPa，同时根据地面监测数据来对同步注浆量及同步注浆压力进行调整。

6 淤泥质地层盾构施工常见质量问题及应对措施

6.1 盾构机“栽头”

(1) 原因分析：

由于淤泥质地层具有高压缩性、低强度和含水率的特点，盾构机在此地层中掘进极易出现“栽头”现象，而一旦出现盾构机“栽头”现象，姿态的调整就会变的非常困难以致造成盾构机刀盘越推进越往下栽，最后远远偏离隧道设计轴线。

(2) 控制措施:

1) 垂直姿态的控制

盾构机需一直保持抬头趋势向前掘进, 盾构机前部垂直姿态控制在+35~48mm之间, 盾构机尾部姿态控制在-35~-45mm之间。盾构机前部垂直姿态保持在+35~48mm之间可以抵消掉因管片拼装期间刀盘下沉引起的盾构姿态变化; 盾构机尾部垂直姿态控制在-35~-45mm可以抵消掉后期管片的上浮量。

2) 水平姿态控制

盾构机在软土地层中掘进, 受到的反力小, 总推力普遍在800t以下, 盾构机为维持抬头的趋势, 下部油缸一直保持较大的推力, 分给左右分区的推力较小, 这对于曲线段盾构姿态的调整十分不利。因此在曲线段掘进时, 要及时调整左右分区油缸压力差使盾构机拟合设计轴线推进, 避免出现水平姿态异常而垂直姿态又需要保持抬头的趋势掘进的情况。

盾构机在淤泥质软土地层中的姿态纠偏, 采取“少量纠偏, 多次纠偏”的方式, 将盾构机姿态变化范围控制在3mm/环, 切忌纠偏过大或者强行纠偏, 造成管片挤压, 出现错台、破损、渗漏等现象。

因此在盾构掘进至曲线段时可适当增加土仓内存土量, 提高盾构总推力, 增加左右油缸压力差。

(3) 盾构姿态出现偏差时的处理措施

1) 当盾构机出现栽头情况时, 要增加下部油缸压力, 减小上部油缸压力, 努力使盾构机抬头。推进过程中在关注垂直姿态变化的同时, 垂直趋势的变化更是判断纠偏效果的最佳参数, 因为盾构机由栽头变为抬头的过程中是伴随着垂直趋势由负数变为正数的过程, 即使盾构机垂直姿态在下降, 如果垂直趋势在逐渐增大, 说明垂直姿态的纠偏是有效果的, 应保持施工的连贯性, 减少停机时间, 使盾构姿态尽快调整回来。

2) 当水平姿态出现偏差时, 可以增加土仓内存土量, 并提高推进速度, 这两种措施均可提高盾构机总推力, 使得在保持上下分区油缸推力的同时, 可以提高左右分区的油缸推力, 更有利于水平姿态的纠偏。

6.2 管片上浮

(1) 原因分析

1) 同步注浆不饱满, 存在管片上浮空间

土层与管片之间存在建筑空隙, 如果同步注浆未能使管片外侧与土层之间的间隙有效地充填, 就必然出现管片上浮的空间。

2) 盾构机下部推力大

盾构机在淤泥质地层中掘进时, 为保持盾构机仰着

头向前掘进的姿态, 通常采用下部油缸推力大, 上部油缸推力小的分配方式, 盾构机的反推力传递到管片上会造成管片受到向上的分力较大, 管片易上浮。

3) 掘进速度快, 同步浆液凝结时间较长

淤泥质地层中, 盾构掘进速度快, 同步注浆凝结时间较长, 使脱出盾尾的管片有足够的上浮空间和时间。当管片脱出盾尾后, 因同步注浆未能将管片上部空隙填充饱满且浆液还处于液体状态的情况下, 管片自重无法克服砂浆的浮力, 造成管片快速的上浮。若浆液凝结时间过长, 更会造成连续多环管片的上浮, 使累计上浮量偏大。

(2) 控制措施

1) 调整同步注浆材料配比

在淤泥质地层中盾构掘进, 解决管片上浮的问题实际上就是缩短同步注浆浆液初凝时间的问题, 因为当管片脱出盾尾后, 包裹管片的浆液能够在短时间内凝固, 管片的上浮量就会大大的减小。因此可调整浆液的配比, 缩短浆液初凝时间, 控制管片上浮量。本工程我方采用的同步注浆浆液配合比如表1所示:

表1 同步注浆砂浆配合比 (1m³)

材料名称	水	水泥	粉煤灰	膨润土	河沙
配合比	400	200	500	50	450

2) 调整同步注浆孔的位置, 分配好注浆量

将2根同步注浆管的位置调整到盾构机的上部注浆孔, 并加大上部2根同步注浆管的注浆量, 下边的2根同步注浆管减少注浆量, 或者仅作保管处理, 避免堵管。适当增加同步注浆量, 保证管片顶部注浆密实, 同时应做好地面监测, 根据地面隆沉值实时对同步注浆量进行调整。

3) 盾构掘进参数控制

土压力控制: 合理设置盾构推进压力, 土仓压力设定值根据盾构隧道埋深, 所在位置的地层情况进行设定, 推进时根据盾构推力及地面监测情况进行调整, 保持刀盘附近地表轻微隆起为益。

推进速度: 盾构在淤泥质地层中掘进速度不易过快, 若同步注浆浆液的凝结时间达不到及时固结管片的作用时, 应降低掘进速度, 使管片脱出盾尾后能保持稳定。

4) 合理控制好盾构姿态

盾构在淤泥质地层中掘进, 管片不可避免的会上浮。通过对本工程中淤泥质地层成型隧道管片上浮量的统计分析, 管片平均会上浮30mm, 因此在盾构机掘进时预先使盾构机垂直姿态控制在-35~-45mm, 以此来抵消管片后续上浮量, 使成型隧道轴线尽可能拟合设计轴线。

5) 严格落实管片螺栓三次复紧制度、及时对管片螺栓进行二次复紧,使相邻管片拉的更紧,减小上浮量。

(3) 管片上浮后的处理措施

根据以往施工经验及本工程的实践研究,管片上浮后要想将管片调整至设计轴线位置是非常困难的。因此,一旦发现管片有上浮的情况发生,要立即采取相应的措施防止管片上浮的情况加剧。对已上浮的管片通过注浆孔进行二次注浆,二次注浆采用水泥+水玻璃双液浆,把已上浮的管片分段截住,使上浮情况稳定下来。浆液注入顺序应为顺隧道坡度方向,且要在隧道拱顶向两腰位置注浆,隧道底部不得注浆。

7 结束语

根据盾构穿越全断面淤泥质地层时遇到的问题,总结以下几点:

(1) 盾构机选型是区间隧道施工成败的关键,需充分考虑区间段地质情况、周边环境、覆土厚度以及这些因素条件可能引发的风险。

(2) 盾构在淤泥质地层施工时,保持盾构前部为正

值,盾构机尾部为负值的姿态向前掘进,可以减小因管片拼装期间刀盘下沉引起的盾构前部姿态的下沉,也为后期管片的上浮留出预期的空间,使成型隧道轴线更贴合设计轴线。

(3) 盾构在淤泥质地层中,应调整注浆材料配比,选择初凝时间短的同步注浆浆液有利于减小施工期间管片上浮。

参考文献:

[1] 宋克志,王本福.常见盾构刀盘型式及选用[J].筑路机械与施工机械化,2007(06):44-46.

[2] 程林飞,许建飞,谭娇.填海区盾构掘进难点控制[J].隧道建设,2012,32(S1):71-74.

[3] 陈开良.盾构穿越全断面淤泥质地层施工技术研究[J].福建建材,2014(06):76-78.

[4] 张焯.软土地层中土压平衡盾构机姿态控制技术分析[J].工程技术研究,2021,6(11):118-119.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.11.055.