

上硬下软土层中盾构法施工上浮的控制

隋 星

中交一公局第八工程有限公司 天津 300000

摘要: 盾构法隧道施工能够有效地缓解我国大型城市长期存在的交通拥堵和交通困难的情况。在软土层中采用盾构法施工, 很容易遇到软粘土层、上硬下软土层、上软下硬土层等。其中上硬下软富含(微)承压水土层在盾构施工中常常造成盾构机及管片上浮现象。本文结合苏州地铁3号线宝带东路站至迎春路站区间施工经验, 重点介绍上硬下软土层中盾构机及管片上浮的原因及控制要点。

关键词: 盾构机; 管片; 上浮; 防治措施

1 工程概况

1.1 区间概况

宝带东路站至迎春路站盾构区间全长710m, 主要穿

越土层为④2粉砂层和⑤1粉质黏土层, 首先在全断面④2粉砂层中始发、掘进310m, 然后进入土层一半为④2粉砂层, 一半为⑤1粉质黏土层, ④2粉砂层富含微承压水。

表1 宝-迎区间穿越地层地质特性

地层名称		颜色	状态	特征描述及分布
④2	灰色粉砂	灰色	稍密~中密, 饱和	局部夹薄层状粉质粘土, 夹云母碎片。厚度一般为2.6~16.1m, 层顶标高-3.37~-6.42m, 层底标高-7.49~-19.98m, 埋深在6.5~22.8m之间。该层呈中密~密实状态, 压缩性中等, 仅分布于个别路段。
⑤1	灰色粉质粘土	灰色	流塑	水平层理发育, 夹较多薄层状粉土或粉砂, 下部粉土、粉砂与粉质粘土呈互层状, 稍有光泽, 干强度中等, 韧性中等偏低, 无摇振反应。厚度一般为3.41~14.1m, 层顶标高-5.73~-16.93m, 层底标高-15.07~-23.82m, 埋深在9.6~26.5m之间。该层压缩性偏高, 在部分路段有分布。

1.2 管片设计情况

管片衬砌内径为5500mm, 外径为6200mm, 管片厚度为350mm, 管片衬砌环宽度为1200mm。管片采用标准环、左转弯环和右转弯环管片, 楔形量为37.2mm。管片拼装采用错缝拼装方式, 管片之间的环向和纵向均采用M30(8.8级)弯螺栓连接, 每环管片环向螺栓12根, 纵向螺栓16根, 相邻纵向螺栓角度为22.5度。

1.3 盾构机概况

投入使用的是日立R59盾构机, 盾构机开挖直径6350mm, 盾构机长约8.6m, 刀盘重34T、前盾120T、中

盾90T、盾尾30T、总重约290T。该盾构机未配备超挖刀、分区油压功能, 铰接油缸在始发前期盾体外部进行焊接, 现处于停用状态, 不能正常开启。

2 盾构机及管片上浮情况

盾构机进入④2粉砂层和⑤1粉质黏土层后, 根据测量数据显示, 成型管片与掘进时对比, 上浮量在4cm左右, 掘进时在控制范围之内, 脱出盾尾后超出控制范围10cm, 并随盾构姿态的上浮逐渐成增大趋势, 成型管片姿态最大达到213.3mm。

表2 成型管片偏差

管片号	测量坐标			设计坐标			里程	水平偏差(mm)	垂直偏差(mm)
	X	Y	Z	X	Y	Z			
475	39785.3613	55112.7597	-16.6649	39785.3703	55112.7582	-16.8962	K21+841.254	9.2	211.3
474	39785.5765	55113.9437	-16.6693	39785.5719	55113.9445	-16.8826	K21+842.457	-4.7	213.3

盾构机姿态整体成上浮趋势, 盾构机掘进时俯仰角为-0.197°, 设计轴线坡度为-0.65°; 盾构机在478环拼装完成时, 千斤顶行程上88.4cm、下85mm、左86.4cm、右86.5cm, 盾尾间隙上3.2cm、下3.6cm、左

1.2cm、右1.2cm; 盾构机铰接出洞前为焊死状态, 掘进过程中未伸出。

按此趋势推进, 盾构机应该是向下掘进, 但盾构机呈阶梯上浮状态, 并不能向下方向掘进。

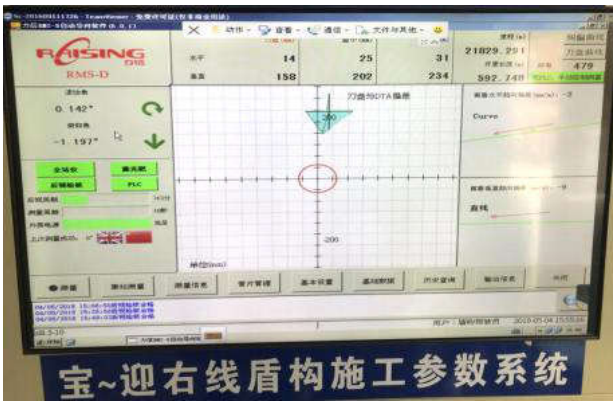


图1 盾构机姿态

3 出现上浮的风险分析

盾构机在上硬下软土层中施工，最后100环的位置盾构机及管片出现上浮，施工掘进过程若盲目调整，容易出现下列情况：

盾构机轴线与设计轴线偏离过大，难以正常进洞，面临调线、调坡，甚至改线；

掘进过程关闭下部千斤顶，盲目压头，盾构机俯仰角与成型管片俯仰角夹角过大，盾尾间隙不均，管片易被拉伤、挤裂、产生错台和漏水，盾构刷易被破坏，盾构机在微承压水中掘进，管片破损及盾尾刷被破坏都将成为重大风险隐患，引起安全生产事故；^[1]

掘进过程降低土仓压力，地面、管线、建筑物将产生沉降风险；

4 上浮原因分析

4.1 管片上浮原因

本区间盾构机外径为6340mm，管片外径为6200mm，管片脱出盾尾后平均存在35mm间隙，掘进同步注浆浆液为惰性浆液，主要成分为砂、膨润土、消石灰、粉煤灰、减水剂、水，初凝时间大于12h，该地层富含微承压水，浆液容易被稀释，短时间内难以束缚脱出盾尾管片，造成管片上浮。^[3]

前期调整盾构姿态时，下部千斤顶关闭，上部千斤顶压力过大，成型管片尚未稳固时，盾构机对其提供一个向上的反力，造成刚脱出盾尾的管片及盾构机尾部上浮。

4.2 盾构机上浮原因

盾构机上半处于④2粉砂层，下半处于⑤1粉质黏土层，④2粉砂层呈中密实状态，有一定强度，⑤1粉质黏土层流塑性强，下部土层优先排出，上部硬土对盾构机

通讯作者：姓名：隋星，性别：男，民族：汉，出生年月：1990.10，籍贯：黑龙江省大庆市人，学历：大专，职称：中级工程师，研究方向：上硬下软地层盾构掘进施工，邮箱：2224803696@qq.com

首提供向上分力。^[2]

盾构掘进过程中，下部千斤顶关闭，运用上部千斤顶向前提供推力，相反，成型管片对盾构机尾上部提供反作用力，盾尾产生向上的分力。

以上两个向上的分力将盾构机呈架起状态，加之该土层富含微承压水，再对盾构机产生浮力，因此，盾构机出现上浮现象。

5 处理措施总结

5.1 调整掘进参数

盾构掘进后，最终成型的是管片，掘进过程中应保证成型管片质量及管片线型。对盾尾管片出现上浮的原因进行分析后，掘进过程中，应增加盾构机下部千斤顶伸长量，对成型管片提供一个向下分力。同时，控制好掘进速度，放慢至20-30mm/min。

5.2 盾构机中盾上部注浆

盾构机受微承压水影响，掘进过程中，通过土仓土体改良孔及盾尾下部管片吊装孔进行泄压，效果不佳，最后在中盾位置上部注浆孔注入同步注浆浆液，对盾构机产生向下的压力。

5.3 调整同步注浆配比

管片脱出盾尾后，存在35mm空隙，处于浮动状态，普通同步注浆浆液初凝时间太长，受微承压水影响，浆液稀释严重，更难起到尽快稳固管片的作用。结合现场实际情况，经过大量试验确定，同步注浆浆液在输送至同步注浆浆箱后，掘进使用前每环加入4包水泥，注浆量控制在3.8-4m³。

同步注浆浆液配比

消石灰	粉煤灰	膨润土	特细砂	水	减水剂	水泥	备注 (kg)
60	400	70	840	320	2	50	每方浆液

5.4 对成型管片做环箍

为了进一步约束成型管片，使成型管片在盾构掘进中不易摆动，能对盾构机提供有力的反力，以管片姿态确定盾构机姿态为原则，对脱出盾尾的成型管片环向注入双液浆，脱出盾尾10环注1次，每环上部开2孔，中间开2孔，下部开2孔，每环注浆量水泥用量控制在1-1.5t，防止双液浆注入盾尾刷。

注浆设备使用盾构配套的注浆泵。注浆前，凿穿管片吊装孔外侧保护层，安装专用注浆用接头，一般注入点位交替进行，K块不开孔。采用水泥浆和水玻璃溶液的双液浆，水玻璃波美度原液模数2.6~2.8；波美度39~48，按照水玻璃用水稀释1:3，水泥浆水灰比为1:1，水泥浆与水玻璃体积比=1:1配制，水玻璃溶液根据凝结和时间相应调整水玻璃原液和水的比例。

5.4.1 二次注浆作业步骤:

①首先进行水泥浆、水玻璃液的拌制;

②将注浆头(对丝、球阀)旋入注浆孔,用冲击钻捅破注浆孔的混凝土保护层(冲击钻转杆长度保证85cm以上,直径22mm,钻孔深度以钻进土体20cm控制);管片开孔后关闭球阀,防止注浆孔漏水漏砂。

③将阀门与混合器、注浆管路连接好。然后打开阀门,将两种浆液通过注浆泵压注,经注浆孔处的混合器混合注入管片壁后;

④浆液注完成后,关闭球阀并对管路放气卸压,最后拆除连接注浆管、混合器并用水清洗管路。

浆液要求

①浆液配比

双液浆配比表

编号	水灰比	A液:B液 (体积比)	浆液密度 (g/cm ³)	凝结时间
1	1:1	1:1	1.44	30-60

A、B两液配需经现场试验,初凝时间必要时确定为30~60秒(每次二次注浆前进行配比试验,试验合格后方可投入使用)。

5.4.2 二次注浆浆液拌制

①首先按水灰比为1:1在拌浆筒内配制好水泥浆。

②两种浆液配制好后,采用管道管径大小相同的注浆管分别放入浆筒和油筒内,启开注浆泵,开始注浆作业即可达到1:1比例配制的双液浆。

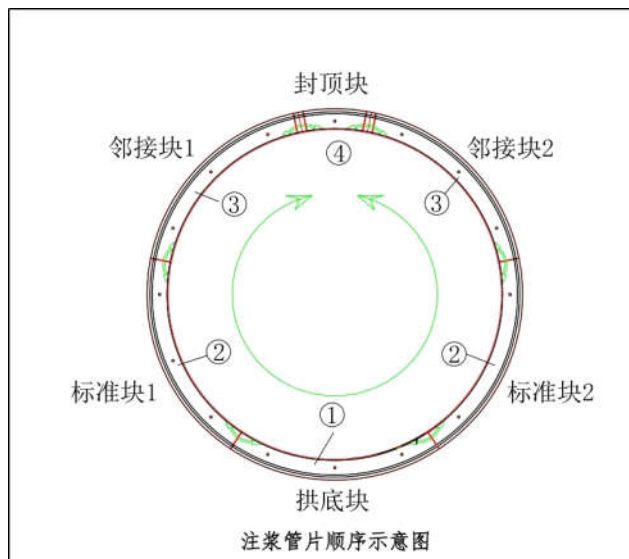
③水泥浆和水玻璃经过注浆泵压注,在端头的浆液混合器充分混合后即可得到双液浆。二次注浆作业顺序及布置范围

1)整体注浆顺序:洞内向洞门方向逐环进行全断面注浆处理。

单环注浆顺序:先下后上、左右交错,即拱底块→标准块→邻接块→封顶块的顺序。注浆控制标准:底部开孔注浆,两侧注浆开始冒浆则此孔注浆到达要求。

2)注浆压力0.25~0.35Mpa(拟定取1.1-1.2倍覆土压力),以地面沉降及周边环境监测情况为指导,保证持续对沉降进行控制,注浆压力逐步提升,先低后高、

平稳注入。



5.5 调整管片选型及管片螺栓复紧

盾构掘进过程中,盾构机俯仰角与管片俯仰角夹角太大,盾尾间隙不均,容易出现卡壳现象,管片容易被拉损或挤压破损,掘进过程中对盾尾内2环管片进行拉紧装置,对掘进一半时,已拼装管片螺栓进行二次复紧,对掘进完成时,已拼装管片螺栓进行三次复紧。并用转弯环适当做上部超前,尽量使盾构机和管片轴线保持一致,掘进过程中管片能够均匀用力,促使管片的姿态决定着盾构机的姿态。

结束语

盾构机在复杂地层中掘进,出现上浮时应尽早控制。类似本标段情况,可以通过调整掘进参数、同步注浆浆液配比、及时对成型管片注浆稳固,调整管片选型等措施控制盾构机及管片上浮。

参考文献

- [1]常富贵,胡德华.盾构法隧道管片选型及拼装技术[J].科技创新与应用,2015。
- [2]张子真,孙玉辉,陈昌彦,王金明.盾构隧道穿越粉细砂层时的地表沉降分析[J].城市轨道交通研究,2017。
- [3]叶飞.软土盾构隧道施工期上浮机理分析及控制研究.Diss.同济大学,2007。