

# The Measures for Preventing the Shield Tunnel Crossing Risk

Changbin Fan, Xuefeng Zhao, Lizhao Hao, Xinjian Wang, Xiaohui Wang

No. 4 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd., Langfang Hebei  
Email: g4-fanchanb@cnpc.com.cn

Received: Dec. 21<sup>st</sup>, 2017; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2018; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In the shield tunnel crossing projects, if improper measures and plans were taken in the tunnel penetration phase; it was easy to induce collapse in driving surface strata, water and sand gushing and the occurrence of dangerous situations, caused personnel and property losses. By taking Nanjing Jinling pec Shield Project for example, aiming at various hidden dangers existing in the shield machine in the penetration phase, the measures of hole detection, installation of sealing devices in cave doors, penetration section grouting, change of segment types are taken by the Project Department, it effectively reduces all kinds of risks in the penetration process, the work tasks are successfully completed in tunnel penetration.

## Keywords

Shield Tunnel, Crossing, Risk, Preventive Measures

---

# 盾构隧道贯通风险防范措施研究

范昌彬, 赵雪峰, 郝立钊, 王新建, 王晓辉

中国石油管道局工程有限公司第四分公司, 河北 廊坊

作者简介: 范昌彬(1988-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事盾构施工管理工作。

Email: g4-fanchanb@cnpc.com.cn

收稿日期: 2017年12月21日; 录用日期: 2018年3月21日; 发布日期: 2018年6月15日

## 摘要

在盾构法隧道工程中, 如在贯通阶段操作控制或方案措施不当, 易造成掘进面地层塌陷、涌水涌砂等险情的发生, 导致人员及财产损失。以金陵石化物料管道长江穿越隧道工程为例, 针对盾构机贯通阶段所存在的各种安全隐患, 项目部通过采取打探孔检测、洞门密封装置安装、贯通段注浆、管片类型的变化等措施, 有效降低了贯通过程中的各类风险, 圆满地完成了贯通任务。

## 关键词

盾构隧道, 贯通, 风险, 防范措施

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

金陵石化南京长江盾构工程位于江苏省南京市境内, 隶属于金陵石化物料管道长江穿越隧道工程。该工程采用泥水平衡盾构工法穿越长江, 隧道全长 2000 m, 内径 3.08 m。该工程隧道穿越地层岩性主要为粉细砂、含卵石砾砂、中风化砂砾岩及粉质黏土层等松散地层。在贯通时存在地层坍塌、涌水涌砂等风险。因此, 如何降低隧道贯通风险, 保证盾构顺利贯通是该工程的一个关键控制点[1] [2] [3] [4] [5]。为此, 项目部制定了打探孔检测盾构机位置、洞门密封装置安装、贯通段注浆、管片类型的变化等一系列防范措施, 有效降低了贯通过程中的各类风险, 圆满地完成了贯通任务。

## 2. 探孔检查盾构机实际位置

在盾构隧道贯通之前, 为了防止盾构机实际位置偏离设计轴线, 在接收井打探孔观测盾构机的实际位置, 从而保证盾构机能够顺利进入接收井[6] [7] [8]。具体方法为:

1) 盾构机距离接收洞门 5 m 前, 在接收井洞门端面上完成 3 个探测孔的施作任务。探测孔垂直于洞门端面, 直径 50 mm、深 850 mm。

2) 当盾构机掘进到距离接收井洞门 500 mm (即显示掘进里程 1982.80 m) 时, 盾构机与 3 个探孔接触, 此时停止掘进, 立即通过循环将刀盘舱内泥浆抽空, 最大限度地减少涌入接收竖井的泥浆量。

3) 待泥浆抽空后, 人员按照流程进入刀盘舱, 一方面观察开挖面和隧道后方的渗漏水情况, 一方面通过探测孔确定盾构机与接收洞门的相对位置。

4) 首先将刀盘开口旋转至任意探测孔位置, 并在刀盘上记录下该孔所在的位置; 然后旋转刀盘直至第 2 个探测孔出现在该开口处, 测量探测孔与刀盘上所记录位置的距离, 即盾构机在该方向上的偏移量; 随后再次旋转刀盘, 记录下第 3 个探测孔距离刀盘上所记录位置, 即盾构机在该方向上的偏移量; 最后根据测量数据对盾构机掘进姿态进行调整, 待探测孔封堵完成后继续掘进。

5) 探测孔封堵采用黏土与速凝水泥相结合的方式处理, 即先使用黏土封堵 300 mm, 并进行捣实, 再用膨胀水泥+膨胀剂的混合料封堵 200 mm, 确保封堵牢固。

### 3. 洞门密封

洞门密封是为盾构机在进洞时防止地层中水土外泄所用, 由于洞门与盾构外径有一定的间隙, 为了防止盾构机进洞时水土从该间隙中流失, 在洞圈周围安装由帘布橡胶板、扇形压板等组成的密封装置, 作为洞门的防水措施[7][8]。

接收井施工时, 在洞门处预埋圆环板, 圆环板内径 4100 mm, 外径 4400 mm, 圆环板背面焊接 M20 螺栓套筒, 螺栓套筒间圆心角  $9^\circ$ , 共焊接 40 个内螺栓套筒。预埋圆环板与井壁钢筋网片焊接成整体。将 M20 螺杆安装到预埋圆环板中, 然后安装帘布橡胶板(外径 4400 mm, 内径 3140 mm), 再次安装圆环板及翻板, 并用 2 只螺母固定。

安装前应提前在橡胶帘布上预制螺栓孔, 安装后采用  $\text{O}12$  mm 以上钢丝绳固定翻板, 并通过 1.5 t 手扳倒链调节紧固量。

### 4. 贯通段注浆

南京长江盾构工程隧道贯通段, 盾构机是由松软地层进入稳定地层的, 对贯通段的防水要求十分严格[9][10], 因此该工程在贯通段实施了同步注浆与二次注浆两部分。

#### 4.1. 同步注浆

同步注浆的原理为: 随着盾构不断掘进, 砂浆经均匀分布在盾尾壳体上的 4 个注浆孔同步注入管片外壁空间, 及时快速地完成填充任务。

1) 优化浆液类型。针对贯通处的地质情况, 对浆液进行了适当优化, 增大了浆液的稠度, 提高了浆液的填充性能, 确保浆液不发生过量流失, 有效填充管片外壁空间。砂浆配合比为: 水 1 t+ 水泥 0.5 t+ 膨润土 0.1 t+ 粉煤灰 0.06 t+ 砂子 0.3 t。配制的浆液凝结时间为 6~8 h (根据地层条件和掘进速度, 通过现场试验变更配比来调整胶凝时间), 浆液稠度为 125~135 mm, 倾析率(静置沉淀后上浮水体积与总体积之比) < 3%。

2) 同步注浆加强位置。在盾尾距离接收洞门 100 m 的位置开始试验并调试浆液配比, 在盾尾距离接收洞门 67 m 处, 加强该阶段的注浆控制。

3) 注浆压力。为保证达到对环向空隙的有效充填, 同时又能确保管片结构不因注浆产生变形和损坏, 根据覆盖层厚度及地下水位分别计算注浆压力, 使注浆压力略高于地层静压 0.05 MPa。

4) 注浆量。根据《盾构法隧道施工与验收规范》(GB 50446—2008), 注浆量至少为理论体积的 1.3 倍, 即每环注浆量至少为  $2.3 \text{ m}^3$ , 鉴于粉砂层和强风化砂砾岩的扩散系数, 从盾构机刀盘进入地层交接带(1592 环)至贯通, 每环注浆量由  $2.5 \text{ m}^3$  提高至  $3 \text{ m}^3$ 。

5) 注浆速度。同步注浆速度应与掘进速度相匹配, 按盾构单环掘进时间确定注浆速度。

6) 注浆结束标准。采用注浆压力和注浆量双指标控制标准, 即当注浆压力达到设定值、注浆量达到  $3 \text{ m}^3$  时, 可认为达到了注浆质量要求。同时, 若盾尾铰接压力在超过  $280 \text{ bar}$  ( $1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa}$ ) (额定压力为  $350 \text{ bar}$ ) 后, 并持续上升, 为防止盾尾被浆液包裹住, 应根据实际情况减少同步注浆量。

7) 注浆控制。在贯通期间, 提高泥水压力( $0.5\sim 0.7 \text{ bar}$ )进行掘进, 避免过低水压造成浆液吸入盾构机前方。同时确保盾壳与地层之间的间隙得到充分填充, 以达到隔断地下水的目的。注浆时利用 4 个注浆孔同时注浆, 班组掘进完成后用  $0.5 \text{ m}^3$  泥浆进行管路清洗, 以防在交接班期间管路堵塞。

## 4.2. 二次注浆

1) 注浆开始时间。当盾构掘进到 1602 环直至贯通, 对后续隧道补浆。此时, 前 12 环(即 1593~1604 环), 每隔 2 环补一环浆, 如遇拖车可前后调整, 1605~1640 环每隔 5 环补一次浆。

2) 注浆类型。二次注浆先采用单液浆压注, 再采用双液浆压注(二次注浆配合比见表 1)。

**Table 1.** The mixing ratio of secondary grouting

**表 1.** 二次注浆配合比

浆液类型	水的质量/t	水泥的质量/t	砂子的质量/t	膨润土的质量/t	水玻璃的质量/t
单液浆(砂浆)	1	0.5	0.3	0.1	—
双液浆	A 液	1	—	—	—
	B 液	1	—	—	1

3) 注浆形式。利用同步注浆泵, 接入加长管路选择在  $1^{\#}\sim 4^{\#}$ 拖车后部这一段区间的管片上选择合适的注入点, 一环尽量多点注入, 至少注入 3 孔, 连续注入压力不高于  $7 \text{ bar}$ , 瞬间注浆压力不高于  $8 \text{ bar}$ 。隧道贯通前, 对 1600、1610、1620、1630、1640 环注入双液浆, 一环尽量采用多点注入, 形成密封“止水环”。若凿孔查看止水效果不明显, 可加密注入的环数。在双液浆注浆的邻近环每环打开 5 个孔(除 T6 外), 检查是否渗漏水。

## 5. 隧道贯通段管片处理

为了增加隧道的整体稳定性, 在距离接收井  $24 \text{ m}$  位置拼装带有预埋钢板的管片, 钢板宽  $130 \text{ mm}$ , 厚度为  $10 \text{ mm}$ 。每两块之间用  $10 \text{ mm}$  厚的钢板焊接, 每两环之间用  $120 \text{ mm}$  槽钢均匀焊接 3 处(焊接位置大致为 1 点、4 点、10 点等)。焊接位置的焊缝、焊角尺寸不得小于  $100 \text{ mm}$ , 且采用双面焊。后 20 环(即 1633~1652 环, 其中 1645、1647、1649、1651、1652 环用带有多个注浆孔的管片)管片的块与块、环与环之间连接成整体, 加强了管片的整体稳定性。

最后一环管片拼装出接收洞口后, 一方面利用管片内侧预埋钢板将其与成型隧道焊接成一体, 并用管材进行内弧面支护处理, 另一方面在探出洞门的管片与接收轨道之间加垫钢板带, 防止管片发生下沉。同时, 最后一环管片需将嵌入块置于隧道底部, 最大限度地减少顶部接缝数量, 依靠管片自身结构维持隧道的整体稳定性, 再安装圆环板及翻板, 并用两只螺母固定。

## 6. 结语

南京长江盾构工程隧道贯通过程中, 采取了打探孔观测盾构机实际位置、安装洞门密封装置、贯通段注浆、管片的选择等措施, 有效地保证了盾构隧道的顺利贯通, 避免了地层坍塌、涌水涌沙等突发事件的发生, 取得了较好的效果。

## 参考文献

- [1] 易觉. 盾构施工风险防范及个例分析[J]. 中国高新技术企业, 2012(14): 135-137.
- [2] 周行人, 王飞龙. 过江盾构隧道施工安全风险评估[J]. 长沙铁道学院学报(社会科学版), 2010(2): 189-192.
- [3] 崔玖江. 盾构隧道施工风险与规避对策[J]. 隧道建设, 2009(4): 377-396.
- [4] 杨秀权. 复杂地质盾构隧道安全管理与风险防范对策[J]. 隧道建设, 2012(6): 763-766.
- [5] 吴彬. 浅埋松散围岩隧道贯通施工方法[J]. 黑龙江科技信息, 2013(22): 201.
- [6] 甘小江. 隧道贯通段塌方处理施工技术[J]. 现代隧道技术, 2012(6): 168-171.
- [7] 安政翔, 季玉国. 大型越江盾构隧道施工安全与风险管理探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008(12): 78-83.
- [8] 吴贤国, 吴刚, 骆汉宾. 武汉长江隧道工程盾构施工风险研究[J]. 中国市政工程, 2007(1): 51-53.
- [9] 吴贤国, 王锋.  $R=P \times C$  法评价水下盾构隧道施工风险[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2005, 22(4): 44-46.
- [10] 季玉国. 江海盾构隧道施工风险分析与评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008(6): 76-79.

[编辑] 龚丹

**Hans** 汉斯

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)