

文章编号: 1000-8241(2016)03-0336-03

西三线长江盾构断层带分析与风险应对措施

苏卫锋 王贵涛 张磊

中国石油天然气管道工程有限公司

摘要: 受地质因素影响,盾构施工过程中存在一定风险。西三线中段长江盾构穿越断层 56 处,最宽断层为 14 m,其他断层宽度为 1~10 m 不等,断层带中多分布宽度小于 30 cm 的石英结晶体。断层带部位因地质软硬不均、含水量大,容易出现地层超挖导致地面沉降风险;石英脉结晶体具有体积小、强度高的特性,与周围的围岩强度差距大,不易被钻孔发现,施工中容易产生刀盘卡阻、刀具严重磨损、周边围岩不稳等风险。针对长江盾构地质复杂的特点,结合以往工程施工经验及对盾构设备的研究,提出了针对性的施工措施,并首次提出了盾构机、刀盘和刀具整体选型要求,可为国内岩石地层盾构机选型及施工提供参考。(表 1,参 10)

关键词: 西三线;盾构;断层;应对措施

中图分类号: TE89

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2016.03.020

Fault zones along the Yangtze River crossing and countermeasures against risks in shield-driven tunneling for the 3rd West-to-East Gas Pipeline

SU Weifeng, WANG Guitao, ZHANG Lei

China Petroleum Pipeline Engineering Corporation

Abstract: Shield-driven tunneling may involve certain risks due to geologic conditions. The middle section of the 3rd West-to-East Gas Pipeline crossing the Yangtze River encounters 56 faults in shield-driven tunneling. The maximum width of fault is 14 m, and most of these faults have widths at 1-10 m. These faults mostly contain veins of quartz crystals with distribution widths not more than 30 cm. With uneven distribution of geologic conditions and significant water contents, these fault zones may suffer ground subsidence because of overbreak. Since crystals in quartz veins are characterized by lower volumes, high strength and significant contrast in strengths with surround matrix, it is not easy to identify quartz veins during drilling. Consequently, drilling operations in these formations may encounter disc jamming, severe abrasion and instability of matrix. With consideration to complex geologic features encountered in shield-driven tunneling for the Yangtze River crossing and previous experiences in shield-driven tunneling, together with understanding to relevant facilities, specific countermeasures are proposed. In addition, specific requirements for the shield machinery, discs and cutting devices are raised for the first time. Relevant research results may provide valuable references for operations and selection of shield machinery in rock formations in China. (1 Table, 10 References)

Key words: 3rd West-to-East Gas Pipeline, shield machinery, fault, countermeasure

盾构法施工是比较成熟的地下工程施工技术,其不受地形地貌等环境的影响,且地层适应性强、施工风险较小,目前已广泛应用于地铁、隧道、城市排水、水气油输送管道等地下工程^[1-4]。虽然盾构法在实践中越来越成熟,但作为地下隐蔽工程,受各种不确定性因素影响,其发生安全事故的概率依然很大^[5]。

西三线长江盾构穿越的地层主要为强~中风化板

岩,其中里程 0 km+600 m~2 km+100 m 为连续的断层破碎带,且整个地层中分布了 56 处断层,给施工带来较大风险。断层最宽为 14 m,分布于西岸接收井 70 m 处,其他断层宽度为 1~10 m,断层带中多分布宽度小于 30 cm 的石英脉,脉体受构造作用而破碎、杂乱。断裂破碎带最突出的地质特点是岩石破碎,且单个碎块硬度大、强度高,地下水丰富,补给迅速^[6]。

盾构机通过硬岩断裂带时,易卡刀盘,从而损坏刀具^[7],因此,对于断层中的盾构穿越,应进行详细的分析研究,以确保施工安全、顺利。

1 工程地质情况

1.1 断层

根据地表观察,并参考钻探和物探资料,断层的主要构造形式有:古弧形构造、东西向构造、体系不明构造、华夏式构造、新华夏系构造等。

长江隧道穿越工程拟建场地属长江中下游地震带,位于华北断块与华南断块交汇部位,断裂发育,由于地表出露基岩较少,只能根据区域地质、钻探和物探综合解释成果推断断层数量。此次穿越段内主要有北西、北东东及北西西3组共56条断裂带,断层规模较小,多为潜伏性次生断裂,两岸及江面发育较多,边滩相对较少,两岸竖井处断裂不发育,由于地表基岩露头较少,钻探所发现的断层数量亦较少,很难量化和判别3组断层的发育程度和规模(表1)。

表1 穿越段断层分布

分布里程	分布区域	断层发育数量
0 km+000 m~0 km+845 m	北岸	21
0 km+845 m~1 km+965 m	河床段	17
1 km+965 m~2 km+685 m	边滩段	6
2 km+685 m~3 km+311.7 m	南岸	12

北西组:倾向以东北为主,少数倾向东西,倾角一般 $45^{\circ}\sim 80^{\circ}$,缓倾角发育较少。断裂规模小,总体平直延伸,断层影响带为碎块岩,多已劈理化,岩体破碎;断层带中多分布宽度小于30 cm的石英脉,脉体受构造作用而破碎、杂乱;沿断层多有风化加剧现象,岩质坚硬程度较围岩低;断层带纵波速度较低,结合水文地质实验结果,经综合分析和工程地质类比,该组断层中胶结差~较差者为中等透水,形成脉状富水透水体。主断带斜切岩层,其走向与穿越断面轴线方向呈小锐角相交;断层多显压性或压扭性特征,对拟穿越隧道围岩的稳定较为不利。

北东东组:该组断层走向 60° 左右,倾向东南,倾角 $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。该组断层构造岩多为灰绿色碎裂岩,少数为角砾岩,多数胶结较好,少数胶结较差,多已劈理化;断层带中有小石英脉分布,脉体破碎,断层构造岩风化严重,岩质坚硬程度较围岩稍低,纵波速度一般较低。

北西西组:该组断层走向 $280^{\circ}\sim 298^{\circ}$,倾向西南,与岩层倾向相反,倾角 $55^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。该组断层构造岩多为灰绿色碎块岩,少数为砾岩、碎裂岩,胶结较差,碎块岩多已劈理化;断层带中有较多石英脉延伸,脉体破碎;断层带内构造岩局部有风化加剧现象,岩质坚硬程度较围岩稍低,纵波速度一般较低,透水性较弱,局部较强,与穿越断面轴线呈大角度相交,对拟穿越隧道围岩的稳定性影响较小。

总体而言,穿越区内断裂具有以下特征:①断裂在各地段分布具有不均匀性,两岸及河床段发育较多,但两岸竖井无断裂通过,边滩段发育较少,拟穿越段断裂主要集中在里程0 km+25 m~0 km+845 m段、0 km+845 m~1 km+965 m段、2 km+785 m~3 km+265 m段,分布间距较小;②断裂规模大小不一,各地段亦有一定差别;③断裂发育具有明显的优势方向。通过对穿越场地进行工程地质调绘得知,场区断裂北西组最发育,穿越段基本以该组为主,另两组不发育。北西组与穿越断面轴线呈小角度相交,断裂倾角以陡倾角为主,少数为缓倾角。

1.2 层间破碎带

层间破碎带是指受构造运动影响,岩层之间相对滑动所产生的力偶作用形成的劈理带,力学性质上属破劈理,其产状与岩层基本一致,破碎带内微裂隙极发育,岩体破碎。穿越区岩体原岩为泥岩,岩质较软,局部为砂岩,岩质坚硬,经过江水长期冲刷、浸泡、渗透及风化剥蚀,在构造断裂运动时高温高压的作用下,原岩呈糜棱化,形成鳞片状的构造运动产物。由钻探成果可知,左岸(北岸)大堤至边滩钻孔岩层内层间破碎带较发育,表现为集中出现在受构造带影响的岩层间,分层厚度不均,江面段夹有石英岩透镜体,岩质坚硬。

从钻探揭露的构造破碎带分析,构造剪切带具有如下特征:①分布严格受构造和岩性控制,产状与岩层产状基本一致,泥质板岩中较发育,浅变质粉砂岩中少见;②层间破碎带分布具有区域性,南北岸竖井不发育,0 km+105 m~0 km+865 m段、0 km+865 m~2 km+225 m段较发育,且分布较连续,2 km+245 m~2 km+865 m段发育相对较少;③规模差别较大,大者厚度达数十米,出现在北岸大堤内至江面钻孔,小者数

米,多呈层间分布,延展性较好;④层间破碎带内多顺剪切面分布石英条带,石英条带破碎,界面一般平直稍粗~较光滑,面上具有数毫米厚的糜棱岩及泥化物,其中1 km+45 m~1 km+325 m段发育石英岩透镜体,厚度达数米至数十米,岩质坚硬;⑤剪切带内主要发育3组节理面:一是原生板节理面,最发育;二是走向与板理面接近垂直的北东~北东东组裂隙;三是走向与板理面一致、倾角较陡的北西组裂隙,各组结构面相互切割,岩体破碎,多已劈理化,岩石呈碎块状、薄片状或鳞片状;⑥沿剪切带普遍存在风化加剧现象,部分存在水蚀现象,岩质坚硬程度较围岩低。

2 风险分析与对策

2.1 做好超前地质预报及施工勘察

掘进之前,对地质情况进行详细地补勘十分必要^[8]。断层位置不准确,容易增加施工风险的随机性,给施工带来盲目性,在断层较大及断层密集的部位采用超前地质预报并增加地勘钻孔,以查明断裂带的走向、倾向、倾角以及分布宽度^[9],为注浆、刀具更换等准备工作提供依据。

2.2 加强施工监测及超前土体加固

出现断裂带的部位因地质软硬不均、含水量大,采用泥水平衡盾构施工时,若控制不当,容易出现地层超挖导致地面沉降。为此需要在江堤等主要部位建立监测点,跟踪地表沉降情况,为盾构掘进施工提供参考依据,鉴于土层、岩体的复杂性和不确定性,必须通过正确的监测数据来判断地层及岩性的稳定,核对原有的设计并指导施工^[10]。必要时对大堤、竖井等主要部位采用防渗墙、灌注桩、地层注浆等措施进行土体加固。

2.3 掘进风险及控制措施

由于断裂带中岩石破碎,地下水丰富,采用泥水平衡盾构穿越断裂带时,若泥水压力失衡,容易发生掌子面坍塌、地表隆起等情况。为确保盾构安全顺利地通过断裂带,在盾构掘进过程中应采取以下控制措施:①采用泥水平衡盾构机;②利用快速通过的方式掘进,减小对原地层的扰动;③控制出土量;④加强同步注浆;⑤采用上喷嘴掘进,加大对刀盘面的冲刷,防止“泥饼”形成,以控制地面沉降及喷涌的发生。

2.4 掘进前盾构机的检查

盾构施工前需要对盾构机进行维护保养,盾构机

到达断裂带前30 m时,对所有设备(包括地面设备)进行彻底的检查和维修,以确保盾构机以良好的状态顺利穿过断裂带。

2.5 石英脉结晶体风险及施工措施

地层中石英脉结晶体一般具有体积小、强度高的特性,与周围的围岩强度差距大,不易被钻孔发现,施工中容易产生刀盘卡阻、盾构机姿态不易控制、刀具磨损严重、周边围岩不稳等风险。考虑到整个盾构隧道地质的复杂性,选择开口率为10%~30%的挡板式刀盘,刀具选择具有硬岩切削能力的滚刀(盘形或牙轮)及圆形切削刀具组合。

3 结论

(1)尽管盾构技术日趋成熟,但复杂的地质条件仍会给施工带来一定的风险。

(2)在复合地层,尤其是长江盾构穿越这样的特殊地质条件下进行施工,对盾构施工地质条件的判断应引起高度重视。

(3)掘进前充分做好地质补勘工作,探明断层及结晶体位置,以及断裂带走向、倾向、倾角、分布宽度。

(4)在施工前应做好风险排查并制定应对措施,在盾构掘进前对已经探明的风险采取预先处理,确保施工的顺利进行。

(5)选择与地质条件相匹配的盾构设备,包括刀盘、刀具。

(6)施工前应该对所有设备(包括地面设备)进行彻底的检查和维修,以确保盾构机以良好的状态顺利穿过断裂带。

参考文献:

- [1] 王梦恕. 中国盾构和掘进机隧道技术现状、存在的问题及发展思路[J]. 隧道建设, 2014, 34(3): 179-187.
WANG M S. Tunneling by TBM/shield in China: State-of-art, problems and proposals[J]. Tunnel Construction, 2014, 34(3): 179-187.
- [2] 刘宣宇. 盾构技术的发展与展望[J]. 施工技术, 2013, 42(1): 20-23.
LIU X Y. The development and prospect of the shield technology[J]. Construction Technology, 2013, 42(1): 20-23.

(下转第342页)

- [6] 姜涛. 水平井冲砂技术研究与应用[J]. 石油地质与工程, 2009(4): 99-101, 136.
JIANG T. Application of sand washing technique in horizontal well[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009(4): 99-101, 136.
- [7] 蔡林芳. 粉砂质泥沙运动特性的实验研究与数值模拟[D]. 天津: 天津大学, 2010: 10-23.
CAI L F. Experimental study and numerical simulation on powder sand movement characteristics[J]. Tianjin: Tianjin University, 2010: 10-23.
- [8] 张会强, 王赫阳. 两相混合层中颗粒运动的数值模拟[J]. 工程热物理学报, 2000, 21(1): 115-119.
ZHANG H Q, WANG H Y. Numerical simulation of particle motion in two-phase mixing layer[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2000, 21(1): 115-119.
- [9] 秦荣昱. 不均匀沙的起动规律[J]. 泥沙研究, 1980(1): 83-91.
QIN R Y. Starting law of inhomogeneous sand[J]. Journal of Sediment Research, 1980(1): 83-91.
- [10] 何素娟, 闫化云, 赵大伟, 等. 西江油田现役海底管道内腐蚀现状评估[J]. 油气储运, 2012, 31(1): 23-26.
HE S J, YAN H Y, ZHAO D W, et al. Assessment on the inner corrosion of submarine pipeline in Xijiang Oilfield[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(1): 23-26.
(收稿日期: 2015-01-26; 修回日期: 2015-08-14; 编辑: 杜娟)

基金项目:“十二五”国家科技重大专项资金资助项目“荔湾3-1及周边气田水下管道回接技术及配套装备应用研究”, 2011ZX05056-002-03。

作者简介: 刘文涛, 男, 工程师, 1986年生, 2009年毕业于哈尔滨工程大学机械设计制造及其自动化专业, 现主要从事深水设施水下调试工作。地址: 广东省深圳市南山区蛇口南海大道1067号科技大厦一期四楼AB单元, 518067。电话: 18680289017, Email: liuwentao050716@163.com

(上接第338页)

- [3] 王凯强, 田明飞, 周阳. 浅谈盾构技术及发展前景[J]. 技术研发, 2013, 20(3): 80.
WANG K Q, TIAN M F, ZHOU Y. Shield technology and development prospect[J]. Technology Development, 2013, 20(3): 80.
- [4] 郭陕云, 万姜林. 我国地铁建设概况及修建技术[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(4): 1-6.
GUO S Y, WAN J L. Outline of the metro construction and the techniques adopted in our country[J]. Modern Tunnelling Technology, 2004, 41(4): 1-6.
- [5] 刘建航, 侯学渊. 盾构法隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991: 3.
LIU J H, HOU X Y. Shield tunnel[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1991: 3.
- [6] 曾伟华. 盾构穿越断裂带掘进施工技术[J]. 隧道建设, 2006, 26(增刊2): 44-46.
ZENG W H. Construction technology for shield boring through fractured zones[J]. Tunnel Construction, 2006, 26(S2): 44-46.
- [7] 杨晓强, 薛瑞麟. 盾构机掘进中几个值得关注的问题[J]. 工程机械与维修, 2005(7): 83-85.
YANG X Q, XUE R L. Several questions of shield digging construction[J]. Construction Machinery & Maintenance, 2005(7): 83-85.
- [8] 邹大鹏, 王珣. 北京地区山前冲洪积扇复杂地层盾构施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2008(7): 64-67.
ZOU D P, WANG X. Shield construction technique on the complicated stratum of piedmont alluvial-pluvial fan in Beijing[J]. City Traffic Rail Research, 2008(7): 64-67.
- [9] 张庆林, 詹晨曦, 陈晔翔. 福州地铁1号线工程特性及地质风险研究[J]. 福建地质, 2014, 33(2): 142-148.
ZHANG Q L, ZHAN C X, CHEN Y X. Study on engineering properties and geological risk of Fuzhou metro line 1[J]. Geology of Fujian, 2014, 33(2): 142-148.
- [10] 李鸿斌. 盾构隧道施工中经常出现的问题与处理[J]. 中国科技博览, 2012(24): 483-485.
LI H B. Common questions and treatment of shield construction[J]. China Science and Technology Review, 2012(24): 483-485.
(收稿日期: 2015-03-11; 修回日期: 2015-08-18; 编辑: 杜娟)

作者简介: 苏卫锋, 男, 高级工程师, 1977年生, 2007年毕业于中国石油大学(北京)岩土工程专业, 现主要从事长输油气管道的设计工作。地址: 河北省廊坊市和平路146号, 065000。电话: 15932616053, Email: 307015048@qq.com