

南京长江隧道大型泥水盾构施工风险分析及对策

张智博

(中铁十四局集团有限公司, 山东 济南 250014)

摘要:结合南京长江隧道工程复杂的工程及水文地质条件,分析大型泥水盾构过江隧道在施工中存在的重大风险及其可能引起的严重后果。针对不同的风险,组织专家及技术骨干力量进行工程风险评估,梳理了大型泥水盾构过江隧道的风险工程,提出预防措施,并制定风险发生的应急对策,减少和预防重大安全质量事故发生。

关键词:泥水盾构;过江隧道;施工风险;预防;应急对策;南京长江隧道

中图分类号:U455.43 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2011)06-0065-05

Risks Analysis on Large Slurry Shield Tunnel Construction in Nanjing Yangtze River Tunnel and the Counter-measures/ZHANG Zhi-bo (China Railway 14th Bureau Corporation Co., Ltd., Jinan Shandong 250014, China)

Abstract: This article analyzed the major risks and serious consequences in the large slurry shield construction of Nanjing Yangtze River tunnel under the complicated geotechnical and hydrological conditions. The engineering risks were evaluated and summed up by experts and professional engineers with prevention measures. The emergency countermeasures were formulated to reduce and prevent the major safety and quality accidents.

Key words: slurry shield; cross-river tunnel; construction risk; prevention; emergency countermeasure; Nanjing Yangtze tunnel

1 工程概况

南京长江隧道工程位于南京长江大桥与长江三桥之间,是连接南京河西新城区和浦口区的城市快速通道。整个工程总长 5853 m,采用“左汊盾构隧道+右汊桥梁”方案,见图 1。左汊盾构隧道分为东

西两线,左线全长 3022.025 m,右线全长 3014.76 m,采用 2 台德国海瑞克公司生产的 $\varnothing 14.93$ m 的泥水混合式盾构机,衬砌管片外径 14.5 m,内径 13.3 m,厚度 60 cm,环宽 2.0 m。



图 1 南京长江隧道工程总平面图

2 工程及水文地质

隧道长江段水下地层上部为填土和第四系全新统冲淤积流塑淤泥质粉质粘土、粉质粘土、粉土、粉砂等,中部为第四系全新统中密~密实粉细砂组成,下部为上更新统密实状砾砂、圆砾等。盾构隧道主要穿越地层有④层淤泥质粉质粘土,⑥层淤泥质粉质粘土夹粉土,⑦₁层粉细砂,⑦₂层粉土,⑧层粉细砂,⑨层粉细砂,⑩层砾砂,⑬层圆砾。

始发场地地下水主要分布第四系冲积层含水岩

组,赋存于粘性土和砂性土中,为透水性上弱、下强的多层结构,含水层上部粘性颗粒含量高,沉积韵律明显,下部含水层渗透性相对较强。地下水埋深较浅,区域降雨量大,陆域孔隙潜水稳定地下水水位埋深 0.30~3.00 m。见图 2。

3 施工重大风险点

南京长江隧道工程位于长江河床底部及长江冲淤积低漫滩,盾构始发及接收段超浅埋,隧道洞门段

收稿日期:2011-05-23

作者简介:张智博(1980-),男(汉族),山东滕州人,中铁十四局集团有限公司工程师、国家注册一级建造师,交通土建工程专业,从事技术管理工作,山东省济南市, zhang_zibbo@gmail.com。

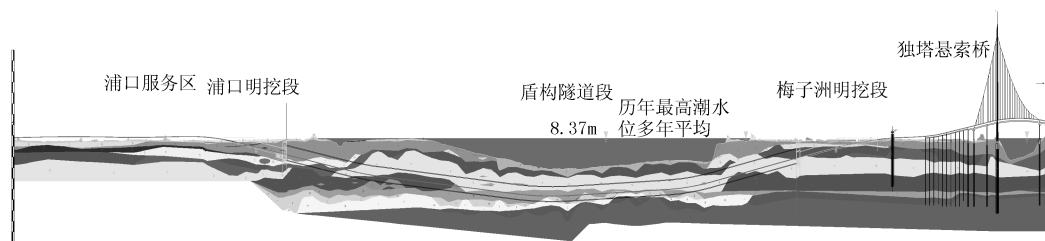


图2 南京长江隧道工程纵断面图

上方覆土仅6 m左右(约0.4倍洞径),且为富含水淤泥质、流塑状土层,始发及到达阶段可能出现掌子面失稳,洞门密封失效,地下水涌入基坑,造成塌方及地面沉降。由于隧道线路纵断面受地形条件制约,最大覆土厚度约30 m,最大水压约0.65 MPa,水土压力高,致使进仓作业风险大,带压进行刀具更换及维修极其困难。隧道穿越多种地层,地质条件复杂,软硬地层交互出现,造成刀具磨损加剧,刀盘受损甚至解体,或造成隧道超、欠挖,同步注浆压力及注浆量设置不当,导致管片错台开裂、渗漏水严重,或隧道弯曲蛇行,沉降变形大。江底隧道埋深超浅,且地层为高透水性的粉细砂层,盾构掘进时掌子面不稳定会造成江底塌方,刀盘被卡死,或者江水倒灌入隧道,危及人员及设备安全。

3.1 地质勘测的准确性

3.1.1 地质勘测准确性风险

由于地质勘探的局限性,加之隧道从江底穿过,通过深水进行地质勘测比在地面的地质勘测更困难,且准确性相对较低,所以遇到未探测到的不良地质和地下障碍物的风险较大。施工中必须通过掘进出渣颗粒分析对掌子面前方地质进行判断,采取有效的应对措施。

由于存在未知地质,一方面造成盾构等主要施工机械不能很好适应工程地质条件致使掘进困难;另一方面,对施工造成了难以预料的风险,甚至产生灾难性的后果。

3.1.2 地质预测预报准确性风险对策

(1)工程施工前,通过补充地质钻孔和采用双频回声测深仪,进一步查清过江隧道的地质条件和覆土厚度,为盾构掘进参数的选取及制定相应的辅助措施提供依据;

(2)通过盾构机上配有的超前地质钻机在施工中对掌子面前方地层进行探测。

3.2 盾构机适应性和可靠性

3.2.1 盾构机适应性和可靠性风险

南京长江隧道盾构穿越地层主要有淤泥质粉质

粘土、粉细砂、砾砂,部分地段开挖面上同时存在着粉细砂、砾砂、卵砾石层,同时盾构在江底穿越江中冲槽浅埋段。隧道埋深及掘进地层的特点和多样性对盾构机的适应性和可靠性提出了高的要求,包括保持开挖面的稳定、切削刀盘的种类、主轴的扭矩、推进能力以及最为关键的盾构机械的密封性能等方面。在穿越江底盾构隧道施工过程中,如果选用盾构机适应性较差,可能会造成刀盘刀具磨损速度太快;主轴承磨损,密封件防水失效,密封仓内泥浆向盾构机内渗漏,不能保证工作面土压力;盾尾密封系统不可靠或长时间磨损,导致周边水土流失,盾构机内涌水或沉陷。

3.2.2 盾构机适应性和可靠性风险对策

(1)认真研究工程地质和水文地质条件,明确工程施工对盾构机性能和功能的要求,盾构机设备配置必须考虑突发事件的处理;

(2)通过补充地质勘探,进一步查明盾构隧道特别是过江段的地层特性、江底覆土厚度、江中冲槽浅埋段等地质条件,为盾构选型提供尽可能详实的地质资料;

(3)针对软硬不均地层,重点做好盾构刀盘和刀具的设计,增加刀盘刀具耐磨和防磕碰能力;

(4)盾构机必须具有可靠的舱压选择、控制、调节性能,通过与泥浆系统的配合,很好的实现泥水平衡,确保开挖面稳定下的顺利掘进;

(5)盾构机必须配备超前地质钻机等超前地质预报系统,加强施工过程中的地质预报;

(6)为满足长距离穿越长江掘进要求,盾构机各系统、各部件必须有较高的可靠性,较好的耐久性,且故障少,维修方便。

3.3 盾构进出洞

3.3.1 盾构进出洞施工风险

国内外盾构施工经验表明:盾构法隧道多起事故均发生在盾构进出洞上,主要表现在盾构进出洞端头地层的加固(加固方案、加固范围等)、盾构姿态的控制、良好的泥水平衡的尽快建立、洞口密封等

方面。南京长江隧道盾构始发及到达端头地层主要为淤泥质粉质粘土、粉细砂层,地下水丰富、土层含水率高,水位高,覆土浅(出洞端5.5 m,进洞端7.0 m)。为保证盾构进出洞时地层稳定与有效防水和防止涌水涌砂,选择合理可靠的端头地层加固方案、良好可靠的密封止水装置至关重要。

盾构机进出洞时的主要风险为:盾构进出洞端头地层处理不当,盾构在进出洞时工作面可能产生突然涌水、涌砂,不能及时形成压力平衡,大幅度地面沉陷,盾构机被掩埋,工作井周边构筑物损坏。始发基座定位不够准确、反力架刚度不够,可能使盾构机一出洞就偏离设计轴线。

3.3.2 盾构始发、到达风险对策

(1)针对端头地层性质,对进出洞端头土体采用旋喷桩+冻结方法进行加固,即在洞门前方采用满堂高压旋喷桩劈裂地层加固,在旋喷加固土体和端头连续墙之间通过人工制冷工艺形成一个冻土壁,将高压旋喷加固土体和地下连续墙胶结,增强土体强度及密封性,使旋喷土体与冻结壁共同抵抗水土压力;

(2)在地面对洞门旋喷加固区进行竖向抽心检查,没有达到加固效果要重新进行旋喷加固;

(3)在洞门掌子面上每隔1 m钻水平探测孔,抽心取样判断洞门前加固区土体含水量、涌水涌砂状况,如果有泥水涌出,评估加固效果并重新进行地基处理;

(4)盾构进出洞前,预先安装洞门圈预埋钢环,采用双层帘布橡胶板以及折叶式压板等进行密封止水;盾构到达时,在刀盘推出隧道后立即将洞门密封的折叶式压板用钢丝绳箍紧在盾壳上,在刀盘推出洞门前一环在盾尾建筑空隙内注入水泥-水玻璃双液浆,并根据实际情况进行二次补充注浆,保证管片背后填充密实,切断地下水、浆液通道;

(5)始发及到达前检查盾尾密封油脂的注入压力,确保始发及到达过程密封作用安全可靠;

(6)严格控制负环管片拼装精度,找准管片基准面,为后续管片拼装提供良好的基准面;做好负环管片加固,控制负环管片沉降及变形;

(7)始发和到达时注意防止盾构机栽头,选用下部千斤顶推进,上部千斤顶跟随;

(8)盾构出洞时,使盾构机在切入掌子面时就可建立起泥水平衡,防止出洞时掌子面发生大面积坍塌;出洞段应根据洞门圈深度、盾构机尺寸等正确计算出盾构开始旋转刀盘以及开始同步注浆的里

程,并通过同步注浆将洞门圈充填密实。

3.4 开挖面失稳

3.4.1 开挖面失稳风险

泥水加压式盾构在掘进过程中,泥水不断循环,开挖面的泥膜因受刀盘的切削而处于形成-破坏-形成的过程中。开挖面的动态变化及掌子面前方不确定的地质因素,可能导致的安全风险如下:

(1)致使前方地表或江底产生较大隆起或沉降;

(2)掌子面前方遭遇流砂或发生管涌,盾构机将发生磕头或突沉;

(3)推进过程中出现超浅覆土将导致冒顶、江水回灌、泥水冒溢等事故;

(4)承压水引起突然涌水回灌,盾构正面塌方。

3.4.2 开挖面失稳风险对策

在泥水盾构施工中,保证开挖面稳定的主要措施是合理进行泥水、切口水压管理,控制每循环掘削量是开挖面稳定的必要保证。适合的泥水指标和泥水压力对于开挖面稳定是至关重要的。

(1)由于隧道穿越地层较为复杂,泥浆特性(密度、粘度、压力等)必须适应地层的变化而及时调整,正确地计算选择合理的泥水压力并对泥水压力精细调节,泥水液面由气压控制,随时补偿正面压力的变化;

(2)粉细砂及砾砂地质条件时,要及时补充新鲜泥浆,在掌子面形成泥膜,从而使泥水对整个开挖面发挥有效的支护作用;对透水性小的粘性土可用原状土造浆,并使泥浆压力同开挖面土层始终动态平衡;

(3)控制推进速度和泥浆循环排渣量及新鲜泥浆补给量;

(4)超浅覆土段,一旦出现冒顶、冒浆随时开启气压平衡系统。

3.5 盾尾密封失效

3.5.1 盾尾密封失效风险

盾尾密封主要是防止地下水、泥水和壁后注浆浆液渗入盾壳后部,确保开挖面的稳定和盾构的正常掘进。由于盾尾密封装置随盾构机移动而向前滑动,当其配置不合理或受力后被磨损和撕拉损坏时,就会使密封失效,注浆浆液、地层中水(或江水)、砂涌入隧道,造成开挖面失稳,地表过大沉陷(江中段严重时可能产生冒顶)。

3.5.2 盾尾密封失效风险对策

(1)高水压下,地层渗透系数较大情况下,选用

可靠的盾尾密封装置,设4排密封刷,有紧急止水装置,集钢弹簧、钢丝刷、不锈钢金属网于一体,尾刷密封压力要达到1.2 MPa;

(2)采用自动或手动装置经常向密封刷注油脂;

(3)控制同步注浆压力,避免同步注浆浆液对钢丝刷的损害;

(4)管片应居中拼装,以防盾构与管片之间建筑空隙一边过大、一边过小,从而可能降低盾尾密封效果;

(5)针对漏水、渗水、漏泥浆部位集中压注盾尾油脂。

(6)制定更换维修盾尾密封的预案。

3.6 软硬不均且差异性较大地层施工

3.6.1 软硬不均且差异性较大地层施工风险

盾构机掘进地层主要为粉细砂层,但在江中段,开挖面上同时存在着粉细砂层、砾砂层、卵砾石层及强风化钙质泥岩层,存在较明显的上软下硬地层。掘进中地层的多变性严重地影响了盾构的掘进速度和刀具的寿命。刀具严重磨损后会造成切削能力变差,刀盘扭矩增加,推进速度下降,开挖面变小,导致刀盘磨损。刀盘刀具的磨损超限将会导致盾构无法掘进,整个工程面临失败的风险。

3.6.2 软硬不均且差异性较大地层施工风险对策

(1)加大工程地质的补勘密度,认真研究地质特点及岩层参数,合理进行盾构参数(特别是盾构刀盘刀具)的设计与选型,确保盾构特别是盾构刀盘与刀具对地层的适应性;盾构刀具采用刮刀与先行刀相结合的组合方式,既可适应软岩段盾构掘进的需要,也可适应软硬不均地层掘进的需要;

(2)采用小贯入度、低转速推进,保护刀盘及刀具;

(3)加强泥水管理,选择高粘度、低密度的泥浆进行掘进,控制进出泥流量,掘进操作时通过对泥水密度、粘度、析水量以及切削土方量的管理,维持盾构开挖面泥水压力的稳定;

(4)针对软硬地层差异调节同步注浆对应的注浆压力,确保实际注浆量大于理论注浆量,减少地层、隧道变形位移;

(5)实施信息化施工,对掘进参数进行动态管理。

3.7 江中浅埋段掘进

3.7.1 江中浅埋段掘进风险

盾构穿越江中浅埋段时,由于地层为高透水性

的粉细砂层,且覆土浅、水土压力高,泥水平衡不易建立,掌子面不稳定会产生冒顶透水水流,造成江底坍塌、冒顶。

3.7.2 江中浅埋段掘进风险对策

(1)提高泥浆质量,使掌子面形成较好泥膜,保证进泥管和排泥管的压力平衡顺畅,同时保持开挖仓内水土压力与切削面的平衡;

(2)加强对出土量与进泥浆量的准确统计,保持压力平衡,防止超挖而造成下陷;

(3)选择高粘度,稍大密度泥浆,合理低压进行掘进,并加强测量监测,做到信息化指导调整盾构掘进各项参数;

(4)减小刀盘转速,控制盾构姿态,避免蛇形姿态,减少对周围砂层的扰动;

(5)在盾构掘进的过程中,保持切口水压平稳,以保证地层的稳定,避免出现地面冒浆的情况。

3.8 江底段换刀

3.8.1 江底段换刀风险

根据地质勘察资料,盾构隧道主要在江底段穿越软硬不均地层(上部为粉细砂层,中部为砾砂层,下部为卵砾石层及强风化钙质泥岩),由于软硬不均地层对刀具磨损较大,盾构穿越时不可避免地需要进行换刀作业。对于常压可更换刀具可不进入开挖仓而在刀盘幅臂内进行更换;对于其他非常压刀具,由于在江底很难采取地层加固后开仓换刀,只能带压进仓作业,安全风险巨大。因江底换刀的复杂性,可能对工期产生严重影响,从而影响整个工程的进展。

3.8.2 江底段换刀风险对策

开仓换刀作业过程中要预防塌方、中毒、窒息、物体打击,突发事件时要以紧急逃生、避免人员伤亡为原则,需做好以下安全措施:

(1)制定常压换刀流程与作业指导书,对作业人员进行交底,实行开仓审批;

(2)制定作业各种突发状况的应急预案,相应材料、机具、人员落实到位。

3.9 防洪大堤不均匀沉降

3.9.1 防洪大堤不均匀沉降风险

盾构主要下穿江北和梅子洲长江防洪大堤,由于主要在淤泥质粉质粘土和粉细砂层穿过,泥浆参数、泥水压力、壁后注浆、盾构密封等施工过程或参数控制不好,就有可能产生较大的地层损失以及不均匀沉降。

3.9.2 防洪大堤不均匀沉降风险对策

(1)通过三维有限元模拟分析,预测盾构掘进对防洪大堤的影响,并指导施工及监控量测控制;

(2)在盾构机试掘进段,通过信息化施工积累盾构机掘进参数;

(3)加强盾构推进过程中切口水压、推进速度、推力及扭矩等主要技术参数的控制,防止波动过大;

(4)加强盾构设备的保养与维修,避免盾构发生故障;

(5)通过同步注浆及时充填盾尾建筑空隙,严格同步注浆量、注浆压力和注浆质量的控制,减少施工过程中土体变形;

(6)根据地表的变形情况和监测结果及时通过管片预留注浆孔进行二次注浆;

(7)制定监控量测方案,施工中加强对长江大堤及周围道路和管线的监测,及时进行信息反馈,据此调整和优化施工技术参数,做到信息化施工。

3.10 隧道上浮

3.10.1 隧道上浮风险

泥水盾构在建立泥水压力开始正常掘进时,具有一定压力的泥水会从开挖面沿着盾壳窜至盾尾,甚至窜到已建成的隧道衬砌外。泥水会从开挖面沿着盾壳窜至盾尾后约30 m处,已建成的隧道就会处于泥水的包裹中而产生上浮的风险,同时,浆液参数及配比的适应与否,也会是t盾构隧道产生上浮的风险。

隧道上浮可能使隧道轴线偏离设计轴线,严重时可能侵入建筑限界并将给后续工程施工带来一定难度。

3.10.2 隧道上浮风险对策

(1)严格控制隧道轴线,使盾构正确沿着设计轴线推进,每环均匀纠偏,减少对土体的扰动;

(2)提高同步注浆质量,注浆及时均匀充盈,要求浆液有较短的初凝时间,使其遇泥水后不产生劣化,并要求浆液具有一定的流动性,能均匀地布满隧道一周,及时充填建筑空隙;

(3)加强隧道纵向变形的监测,并根据监测的结果控制注浆压力和注浆量,调整注浆部位,配制快凝浆液并提高其早期强度;

(4)当发现隧道上浮量较大应立即采取二次注浆对隧道外侧进行充填加固。

4 结语

南京长江隧道工程盾构段于2010年5月28日运营通车。隧道建设过程中,通过对风险工程识别与风险评估,制定了相应的措施,有效化解了诸多工程风险与难题,积累了一定的经验与教训。通过落实风险识别与预控机制,切实减少和预防了重大质量安全事故的发生,使得盾构掘进施工处于可控状态,全面提升了企业盾构施工技术水平,取得了良好的经济效益与社会信誉。

参考文献:

- [1] 黄威然,竺维彬.泥水盾构过江工程江底塌方风险的应对及处理[J].现代隧道技术,2006,(2).
- [2] 黎向平.泥水盾构施工重大技术风险控制措施及其效果[J].施工技术,2008,(S1).
- [3] 张庆贺,王慎堂,严长征,等.盾构隧道穿越水底浅覆土施工技术对策[J].岩土力学与工程学报,2004,(5).
- [4] 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),2008,35(6).
- [5] 崔玖江.盾构隧道施工风险与规避对策[J].隧道建设,2009,(8).
- [6] 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,(2).

小秦岭金矿整装勘查打下“第一钻”

国土资源网消息(2011-05-31) 河南省灵宝市小秦岭金矿田整装勘查项目“第一钻”日前在阳平镇下原村正式启动。

灵宝市是全国重要的产金基地,拥有小秦岭金矿田矿区664平方千米。经过30多年的开发,这一矿区浅部资源日渐枯竭,深部资源探明不足,严重制约了灵宝矿业的发展。

近年来,为破解资源供需矛盾,河南省加快深部找矿步伐,积极推进小秦岭金矿田整装勘查,河南省地矿局第一地质调查队与灵宝合作,开展了小秦岭金矿田整装勘查项目前期调查与论证,圆满完成了总体设计和申报工作。

2010年,灵宝市5个整装勘查项目被列入部、省合作勘查找矿计划,其中“河南省小秦岭金矿田北矿带F5矿脉深部金矿整装勘查”(普查)和“河南省小秦岭金矿田南中矿带金矿整装勘查”2个项目被

河南省国土资源厅列为首批试点项目,小秦岭金矿田整装勘查项目首批中央财政专项资金600万元也已顺利拨付项目承担单位。目前,灵宝市小秦岭金矿田整装勘查项目已被列入全国首批找矿突破战略行动、河南省地质找矿行动计划名单。

据悉,这一整装勘查项目分为5个子项目,预计总投入8.97亿元,计划施工钻探23.1万m、坑探3.8万m、槽探3.5万m³,预期提交金属资源量120t左右。此次启动的是小秦岭金矿田整装勘查的两个子项目,属于金矿深部验证项目,项目设计孔深1500m,最低控制标高可达海拔-900m。其中,小秦岭金矿田北矿带整装勘查项目批准第一年度钻探工作量12000m,预获(333)+(334)金资源量30t;小秦岭金矿田南中矿带整装勘查项目批准第一年度钻探工作量15000m,预获(333)+(334)金资源量70t。