

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.05.032

武汉深隧全线施工工法比选研究

周文芳

(武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430000)

摘 要: 针对武汉深隧工程(主隧内径 3.4 m, 支隧内径 1.5 m)特点, 参照国内外既有类似工程经验, 结合工程地质情况、各段主要风险源及控制因素, 对全线施工工法比选进行了研究, 综合提出了适合本工程的分段施工工法, 对类似工程有一定的参考意义。

关键词: 隧洞; 围岩; 盾构法; 顶管法

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)05-0125-04

0 引言

武汉深隧工程作为武汉城市地下建筑, 其主要功能解决城市排水问题。工程主隧段长约 17.6 km, 内径 3.4 m, 支隧段长约 1.7 km, 内径 1.5 m, 埋深约 23 ~ 40 m, 隧洞分别穿越粉细砂、强 - 中风化泥质砂岩、中风化白云岩或碎石土等各类围岩。且不同区间存在各种风险源, 严重制约了工程设计及施工。因此, 合理选择各段的施工工法对于工程顺利实施具有重大意义。

1 国内外隧洞工程案例总结

目前, 国内外大型长距离转输管道工程技术主要有明挖法、盾构法、顶管法和矿山法^[1-4], 由于明挖法对城市交通、既有管线等影响较大, 且对于埋深较大的基坑支护经济性较差, 一般不予采用。国内外主要排水隧洞工程案例见表 1。

通过对国内外排水隧道的资料收集, 可以看出, 直径小于 2 m 的排水隧道, 采用顶管法居多; 直径大于 2 m, 小于 4 m, 盾构法、顶管法均有成功案例; 直径大于 4 m, 采用盾构法居多, 总体而言顶管法、盾构法是排水隧道的主要施工方法, 在地层条件较好且工期较为宽裕的情况下也可采用矿山法进行施工, 明挖法较少采用。

2 给排水隧道常用施工方法特点

2.1 明挖法

明挖施工可以适用于各种不同的地质情况, 减

收稿日期: 2021-08-31

作者简介: 周文芳(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事土建结构设计工作。

表 1 国内外主要排水隧道工程案例表

工程名称	施工方法	工程特点
青岛市城市供水工程	顶管法	管径 1.5 m, 壁厚 0.15 m
北京环北东路排水工程	顶管法	管径 2 m, 壁厚 0.2 m
北京亮马河污水隧道	盾构法	内径为 2.7 m, 单层衬砌结构, 壁厚 0.25 m
上海青草沙长江原水输水隧道工程	盾构法	隧道长度 13.8 km, 最大内径 5.84 m, 双管单层衬砌结构
南水北调中线穿越黄河隧道	盾构法	隧道长度 4.25 km, 隧道内径 7.0 m, 双层衬砌结构
芝加哥深隧工程	盾构法	隧道长度 176 km, 隧道内径 2.5 ~ 10.1 m, 埋深 45 ~ 107 m
香港净化海港计划一期工程	盾构法	长度约 23.6 km, 管道直径 1.5 ~ 3.5 m, 深度约 150 m
新加坡污水深隧工程	盾构法	长度 48 km, 管道内径 3.6 ~ 6.0 m, 深度 18 ~ 50 m, 双层衬砌结构
香港净化海港计划二期甲污水输送工程	矿山法	长度约 21 km, 管道直径 0.9 ~ 3 m, 采用钻爆法施工, 深度 70 ~ 160 m
深圳水库流域污水截排工程主污水隧道	盾构法、明挖法、矿山法、顶管法	隧道全长 7 133 m, 穿越地层复杂多变

少线路埋深, 施工工艺简单, 技术成熟。但当施工区域位于城市道路上或居民密集区时, 明挖法施工对地面交通的干扰较大, 对城市居民生活有较大影响, 且地下管线改迁工作量较大, 基坑深度大时基坑支护费用较高。

2.2 矿山法

矿山法是主要用钻眼爆破的方法开挖断面而修筑隧道及地下工程的施工方法。在山岭隧道工程中广泛使用, 根据隧道所穿越的不同地层及埋设深度, 分别采用不同的支护型式。矿山法施工主要的缺点是地表沉降较大且不易控制, 对周边的建筑物的安全影响

较大,防水效果相对较差。

2.3 盾构法

盾构法是采用盾构掘进机进行开挖,以钢筋混凝土管片作为衬砌支护的隧道暗挖施工法。盾构法主要的特点一是盾构管径不受限制;二是盾构曲线半径 $R \geq 250$ m 为安全转弯半径;三是在施工过程中掘进一段距离后,需组装和内衬相应的管片;四是工作井满足盾构施工需求即可;五是单次顶进长度不受限制,可按需求制定单次掘进长度。

2.4 顶管法

顶管法是地下管道或隧道穿越铁路、道路、河流、建筑物等各种障碍物时采用的一种暗挖式施工方法。顶管法的主要特点一是顶管管径一般适用于顶进 $DN \leq 4\,000$;二是顶管曲线半径 $R \geq 600$ m 为安全转弯半径;三是为保证长距离顶管过程中的安全及顶力,采用中继间;四是提供一定强度的工作井(后背墙),保证顶进的安全;五是需根据实际的土层地质资料,在保证施工的安全的前提下制定单次顶进距离,一般安全距离为 $\leq 1\,000$ m。

3 施工方法适用性分析

3.1 隧道施工工法初步选择

本工程主要位于现状及规划道路下,埋深较大,明挖施工风险高,措施费高,且需管线改迁及交通疏解量大,因此不推荐采用明挖法施工。

本工程线路长,主要位于现状及规划道路下方,多处穿越市政桥梁、铁路、轨道交通等重要风险源,且地层复杂多变,围岩等级从 II ~ V 级均有分布,若采用矿山法施工辅助工法较多,且施工机械化程度低,施工速度慢,施工风险大^[5],因此不推荐采用矿山法施工。

根据目前国内外顶管施工的技术水平,内径 4.0 m 以下的排水深隧可采用顶管法施工,但顶管法施工对隧道的曲线半径要求较高,深隧曲线段较多,最小转弯半径 R 为 300 m,且多处转弯半径 R 为 300~500 m,而且需避让地下构筑物,因此无法全线采用顶管法施工,可结合深隧线路及现场地形在曲线半径大于 600 m,便于设置顶管工作井的地段采用顶管法施工。

根据前述分析可知,本工程深隧均可采用盾构法施工。盾构法对周围建筑及地面变形控制较好,施工速度快,施工环境好,施工工作井少,对地面交通影响小,且造价已接近甚至低于矿山法隧道或明挖

法隧道。

3.2 工法选择原则

通过上述隧道常用工法的分析可知,本工程不推荐采用明挖法、矿山法施工;盾构法、顶管法具有可行性,表 2 针对盾构法和顶管法具体特点进行比较。

表 2 盾构法与顶管法具体特点对比表

工法项目	盾构法	顶管法
施工竖井	施工竖井少,间距可达 3 000 m 以上	施工竖井较多,间距不宜大于 1 000 m
结构性能	螺栓连接整体性、腐蚀性、抗渗性能差	整体性、防腐性、抗渗性能好
对环境影响	控制地面沉降较容易,施工影响持续时间短,对地面及地下构筑物影响小	施工影响持续时间长,对地面及地下构筑物影响较大
工期	较长,平均 6 m/d	较短,平均 10 m/d
曲线半径	不小于 250 m	不小于 600 m
土建投资	综合估算,3.4 m 内径盾构每延 m 造价约 6.15 万(双层衬砌)	综合估算,3.4 m 内径顶管每延 m 造价约 4.12 万,综合比较顶管法节约 30%

根据对比,顶管法在工期、节约工程总投资方面相比盾构法具有较为明显的优势,且整体性、防水性、防腐性能好。故本工程工法选择的原则:在平面布置、交通、环境等条件下允许下尽量采用顶管法施工,在深隧穿越区段有敏感建筑及高危风险源或地面交通不允许设置工作井时采用盾构法施工。

4 全线隧道工法分段分析

东湖污水深隧工程将原有沙湖、二郎庙、落步嘴、武东污水处理厂收集的污水集中转输至新建北湖污水处理厂,二郎庙污水处理站至北湖污水处理厂约 17.6 km 污水主隧工程,落步咀预处理站至三环线 1.7 km 支隧工程。东湖污水管道深隧工程平面设计图见图 1。



图 1 东湖污水管道深隧工程平面设计图

(1) 沙湖港段

本段段隧道长约 3.63 km,主要风险控制点为下穿地铁 4 号线铁罗区间,隧道与地铁区间隧道最小竖向净距约 6 m。隧道与地铁 4 号线位置关系见图 2。

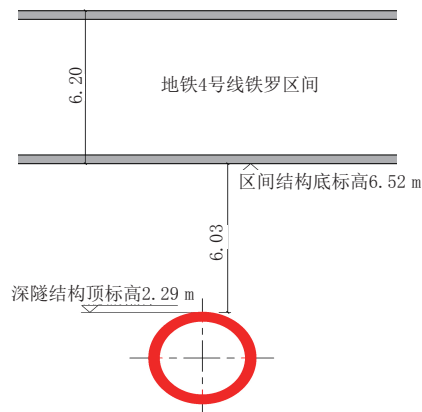


图2 隧道与地铁4号线相互关系图(单位:m)

本段隧道主要穿越砾卵石层、粉细砂层、粉质黏土层、强风化泥质砂岩层。由于隧道下穿地铁等重要建构筑物,且长距离下穿沙湖港,设置施工竖井条件较为苛刻,综合考虑,本段推荐采用盾构法施工。

(2) 欢乐大道段

本段隧道与欢乐大道高架并行,直至三环线主隧与支隧汇流处侧穿欢乐大道高架。本段长 3.2 km,主要风险控制点为欢乐大道高架桥桥桩,隧道与桥梁桩基最小水平净距约 3.5 m。隧道与欢乐大道高架桥关系见图 3。

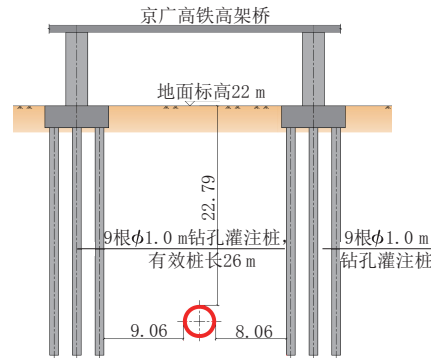


图3 隧道与欢乐大道高架桥相互关系图(单位:m)

本段隧道主要穿越粉质黏土层,强风化泥质砂岩层,中风化泥质砂岩层。由于长距离侧穿欢乐大道高架桥桥桩,且水平距离较近,并下穿京广高铁客运专线高架桥等重要建构筑物,隧道施工存在较高的风险,由于交通疏解等因素,本段施工竖井设置存在较大困难,综合考虑,本段推荐采用盾构法施工。

(3) 武鄂高速段

本段隧道长 4.2 km,主要风险控制点一是下穿三环线高架,隧道与桥梁桩基最小水平净距约 4.2 m。二是下穿武九铁路、武钢专线铁路。三是侧穿武鄂高速高架,隧道与桥梁桩基最小水平净距约 9 m。本段主要穿越风化泥质粉砂岩层。隧道施工存在较高的风险,且由于三环线、武鄂高速高架桥结构的影响以

及道路交通等因素的限制,本段施工竖井设置条件较为苛刻,综合考虑,本段推荐采用盾构法施工。

(4) 严西湖段

本段隧道长 2.43 km,主要风险控制点为下穿严西湖,隧道距离湖底最小竖向净距约 28 m。本段隧道主要穿越中风化泥质粉砂岩层、中风化灰岩层、碎石土层。本段隧道沿线控制性建构筑物较少,但是由于竖井设置区段受到现状场地条件、沿线建构筑物影响等多方面综合因素的制约,竖井设置环境条件较为苛刻,综合考虑,本段推荐采用盾构法施工。

(5) 北湖段

本段隧道下穿严西湖之后沿东北向拐行,一直北直至北湖污水处理厂,本段隧道长 4 km,主要风险控制点为下穿北湖,隧道距离湖底最小竖向净距约 30 m。本段隧道主要穿越中风化白云岩层、中风化泥质粉砂岩层,本段隧道沿线控制性建构筑物较少,且沿线设置施工竖井的条件较为宽松,综合考虑,本段推荐采用顶管法施工。

(6) 支隧段

支隧出落步咀污水处理厂之后下穿地铁4号线青山车辆段出入段线区间,一直向南直至主隧与支隧汇流点,本段隧道长约 1.7 km,主要风险控制点为下穿地铁4号线出入段线区间,隧道距离地铁区间结构最小竖向净距约 6 m。本段隧道主要穿过强风化泥质细粉砂岩层、中风化泥质粉砂岩层,主要风险控制点为下穿地铁4号线青山车辆段出入段线区间,综合考虑本区间长度及隧道断面尺寸,本段推荐采用顶管法施工。

深隧工程支隧段采用顶管法施工。管道外径为 1.86 m,管道内径为 1.5 m,壁厚为 0.18 m,每一环宽度为 2.5 m。

支隧段下穿地铁4号线青山车辆段出入段线区间,该区间采用明挖法施工,下穿段区间结构底板埋深约 14.25 m,结构全高 6.01 m,两者相互关系示意图如图 4 所示。

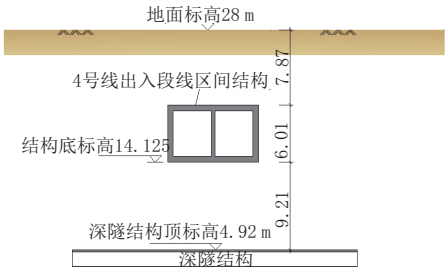


图4 支隧与出入段线区间相互关系图(单位:m)

根据有限元(有限元模型见图5)计算结果可知,由于支隧下穿引起的出入段线结构最大竖向位移发生在底部(在隧道穿越的正上方位置),最大值为0.105 mm,小于5 mm的控制值(见图6),从计算结果中可以看出,支隧道施工对地铁区间的影响较小,地铁区间与深隧之间的距离是安全的。

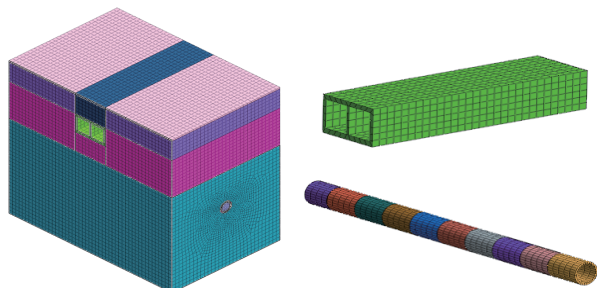


图5 支隧下穿地铁4号线出入段线区间有限元计算模型

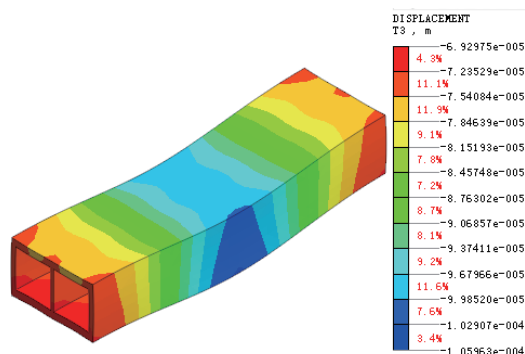


图6 出入段线结构最大竖向位移图(单位:m)

综合地质条件,风险源及施工环境等因素后各段隧道推荐工法见下表3。

表3 分段推荐工法表

隧道分段	长度 /m	推荐工法
沙湖港段	3 630	盾构法
欢乐大道段	3 200	盾构法
武鄂高速段	4 200	盾构法
严西湖段	2 790	盾构法
北湖段	3 660	顶管法
支隧段	1 700	顶管法

5 结 语

本工程已竣工,通过文中分析及现场反馈可见,施工工法选择对拟建深隧施工极为重要。风险控制点对施工工法影响较大。文中在参照国内外既有类似工程经验的基础上,通过对武汉深隧工程主隧洞工程地质情况、各段主要风险源及控制因素,对全线施工工法比选进行了研究,综合提出了适合本工程的分段施工工法,对类似工程有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 严来章.复杂地质环境下隧道施工技术[J].安徽建筑,2014,21(2):74-75,84.
- [2] 吕善.盾构选型及综合施工技术研究[D].石家庄铁道大学,2017.
- [3] 张双亚.北京铁路地下直径线盾构选型[J].隧道建设,2007(2):21-23,46.
- [4] 吴洪涛.复杂地质条件下隧道施工方法及其力学分析[J].西部探矿工程,2000(5):84-85.
- [5] 黄永健,尹涛.某地铁新建区间下穿既有地铁隧道的工法比选[J].广东土木与建筑,2018,25(12):58-61.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com