

盾构施工综合管廊设计要点探讨

仲崇军, 李 胜, 张玉珠, 戴 超

(北京市市政工程设计研究总院有限公司 广东分院, 广东 广州 510060)

摘 要: 现行《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)中没有针对采用盾构法施工的综合管廊的具体技术规定,通过对盾构施工工法及综合管廊的技术特点进行分析,从入廊管线、管廊断面布置、平纵布置、关键节点(盾构综合竖井)及管廊附属系统等方面,对盾构管廊设计要点进行了探讨,可为后续盾构管廊设计和规范完善提供参考。

关键词: 综合管廊; 盾构施工; 盾构综合竖井

中图分类号: TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)02-0067-06

Discussion on the Design Key Points of Shield Utility Tunnel

ZHONG Chong-jun, LI Sheng, ZHANG Yu-zhu, DAI Chao

(Guangdong Branch, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,
Guangzhou 510060, China)

Abstract: The current *Technical Code for Urban Utility Tunnel Engineering* (GB 50838 - 2015) does not provide specific technical regulations for the shield utility tunnel. By combining the technical characteristics of the shield construction method and the utility tunnel, the design key points of shield utility tunnel were discussed, which included the urban pipeline into the tunnel, the standard cross-section, the plan and vertical section design, the key node (shield comprehensive shaft) and the accessorial facilities of the utility tunnel, etc. The key points of the paper could provide references for the design of following utility tunnel and specification improvement of current utility tunnel code.

Key words: utility tunnel; shield construction; comprehensive shield shaft

近年来,综合管廊建设在我国各大城市全面铺开,然而受老城区现状道路交通量大、地下管线多等因素的限制,采用明挖施工建设综合管廊的难度极大,因此,非开挖施工工法的应用十分必要。目前,广州、沈阳^[1]、西安^[2]、成都、南昌等城市均有在老城区采用非开挖(盾构)施工综合管廊的报道。

而现行的《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)中并没有对盾构管廊进行具体的技术规定,在已开展的盾构管廊建设工程案例中,对入廊管线、断面形式、管廊吊装口、逃生口等配套设施及通风、消防、排水、供配电、监控等附属系统的设计做法亦有较大差异,因此,很有必要进行相关的研究和探讨。

1 盾构管廊的技术特点及适应性

盾构法是暗挖法施工中的一种全机械化施工方法。它是将盾构机械在地下推进,通过盾构外壳和管片支承四周围岩防止发生往隧道内的坍塌。同时在开挖面前方用切削装置进行土体开挖,通过出土机械运出洞外,靠千斤顶在后部加压顶进,并拼装预制混凝土管片,形成隧道结构的一种机械化施工方法^[3]。一般由盾构工作井、吊出井、盾构掘进机、盾构管片等组成。盾构工法的最大优点是在盾构支护下进行地下工程暗挖施工,不受地面交通、河道、航运、潮汐、季节、气候等条件的影响,能较经济合理地保证隧道安全施工,盾构法施工前进阻力不随隧道长度增加而增加,因此,一个盾构始发井可一次性在

地下盾构2~5 km,甚至更长(根据地质条件确定),对道路交通和现状地下管线的影响很小。

然而应用到综合管廊建设中,亦有其不足之处:

① 隧道埋深较深。盾构隧道覆土深度宜不小于6 m且不小于盾构直径,而为控制地面沉降,隧道最小覆土一般控制在 $(1.5 \sim 2.0)D$ (盾构直径),以地铁中应用最成熟的6 m直径盾构为例,盾构隧道最小埋深将达到15~18 m。因此,受盾构隧道最小覆土的限制,盾构管廊的管线分支接驳、吊装、人员逃生等不如明挖管廊便利。

② 转弯曲线半径要求较高。盾构隧道的最小转弯半径主要与预制管片环宽、楔形量有关,而这两个值与整个工程线路的线形有关。如根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013),正线平面曲线半径在通常情况下 ≥ 300 m而 $\leq 3\,000$ m,竖曲线半径通常采用3 000 m和5 000 m两种。因此,受盾构工法最小转弯曲线半径限制,盾构管廊线路走向不如明挖管廊灵活。

③ 工程造价较高。以广州某盾构管廊为例,盾构直径6 m,常规埋深为18 m,盾构管廊土建每延米综合造价约8.3万元[其中盾构隧道延米造价约4.8万元,盾构综合竖井(兼管廊附属设施功能)为1 800万元/座],满足同等管线规模的明挖管廊每延米土建造价约6.3万元。可见,盾构管廊造价明显高于明挖管廊,且盾构竖井数量对造价影响较大。

因此,从节省工程投资和方便运营维护的角度,能采用明挖施工的应尽量采用明挖,盾构管廊适用于交通繁忙、地下管线密集、不具备明挖施工条件的现状道路,以及管廊下穿大江大河、高速公路、铁路等,开挖施工需要付出巨大代价的情形。

2 盾构管廊设计要点

2.1 入廊管线

通常地下市政管线可分为主干线和支线,主干线连通厂站,负责能源转输和连接支管线,分支数量较少;支管线连通用户,负责能源配给,分支数量较多,在用户接驳位置不明确时,一般间隔100~200 m进行预留。

《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)^[4]第3.01条:“给水、雨水、污水、再生水、天然气、热力、电力、通信等城市工程管线可纳入综合管廊”。规范并没有区分明挖管廊还是盾构管廊,然而考虑到盾构工法的施工特点,入廊管线应为分

支接驳需求量小的主干管线。若将支管线纳入盾构管廊,为满足沿线用户接驳需求,需要增设大量的盾构竖井用于廊内管线进出,一方面大大增加工程造价,另一方面,盾构竖井需采用明开挖施工,过多过密的盾构竖井,必然对道路交通和现状地下管线造成较大影响,也失去了采用盾构法施工的意义。

当然,对管廊下穿大江大河、高速公路、铁路等特殊节点采用盾构法施工时,因为不涉及管线分支接驳需求,入廊管线可为支线。

2.2 管廊标准断面

采用明挖法施工的综合管廊,其标准断面尺寸一般按满足入廊管线规模、管线安装检修空间及各管线之间兼容性等因素的最小尺寸确定,以降低工程造价。盾构管廊断面除考虑上述因素外,还应特别关注当地市场上使用较多的盾构掘进机规格型号,如目前国内应用较多的盾构隧道外径尺寸有 $\varnothing 4$ m、 $\varnothing 6$ m、 $\varnothing 9$ m等,盾构管廊断面尺寸除满足管线需求的最小尺寸外,还应与市场上主流盾构隧道尺寸匹配,尤其是在盾构管廊长度不是很长的情况下,可以有效降低工程造价和施工风险。

2.3 管廊平面位置

盾构管廊平面线型布置应考虑以下几个因素:

①盾构始发井、吊出井、中间盾构竖井的位置;②盾构工法平曲线最小半径需求;③其他地上、地下障碍物避让。

2.4 管廊竖向布置

盾构管廊竖向线型布置应考虑以下几个因素:

①盾构工法安全施工的最小覆土要求;②盾构工法竖曲线最小半径需求;③竖向最小纵坡应满足管廊排水坡度需求;④竖向最大纵坡应满足盾构工法最大纵坡要求;⑤竖向坡向应满足排水安全需求;⑥其他地上、地下障碍物避让。

2.5 盾构管廊关键节点(盾构综合竖井)

根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015):“综合管廊的每个舱室应设置人员出入口、逃生口、吊装口、进风口、排风口、管线分支口等满足管廊必要性功能的口部设施,如电力舱逃生口间距不宜大于200 m,管廊吊装口最大间距不宜大于400 m等”。可见这些口部设施的规范间距并不一致(非强制性要求),然而对于采用盾构法施工的管廊,若仍按规范要求的间距设置口部设施,则盾构管廊需不大于200 m设置一处盾构竖井,不仅

没有起到降低施工影响的作用,还大大增加了管廊的工程造价。

因此,盾构管廊应利用盾构竖井,将人员出入口、逃生口、吊装口、通风口、管线分支口、通风机房、管廊分控室、变配电房、排水泵坑等集成在一起,既满足管廊基本功能需求,又有效地减少了盾构竖井数量,进而降低管廊建设投资和施工影响。

以广州市天河智慧城地下综合管廊为例,该项目为广州申报 2016 年国家综合管廊试点项目之一,总长约 19.4 km,其中盾构管廊约 8.6 km,根据入廊管线种类及规模,管廊外径采用 6 m(内净尺寸为 5.4 m),分上下 2 舱,上舱室为高压电力舱,下舱室为供水通信舱,管廊断面如图 1 所示。盾构综合竖井分 3 层布置:负三层为管廊区(综合舱、电力舱)和排水泵坑;负二层为管廊内管线出舱区、通风机房等;负一层为管廊变配电房、分控室、通风机房等,地面上为吊装口、人员出入口及通风口,见图 2。

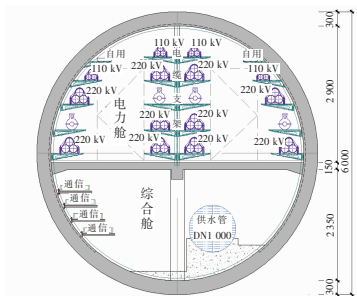
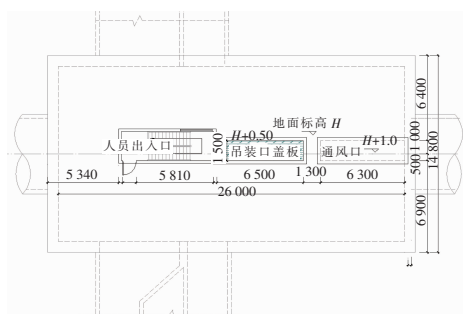
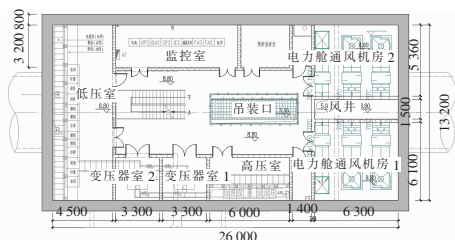


图1 盾构管廊标准断面图(6 m 外径,上下分2 舱)

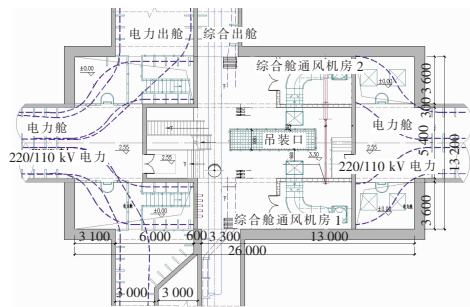
Fig. 1 Standard section of shield utility tunnel



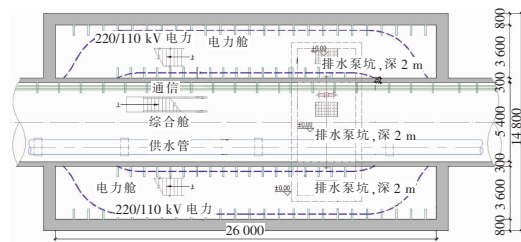
a. 顶层布置



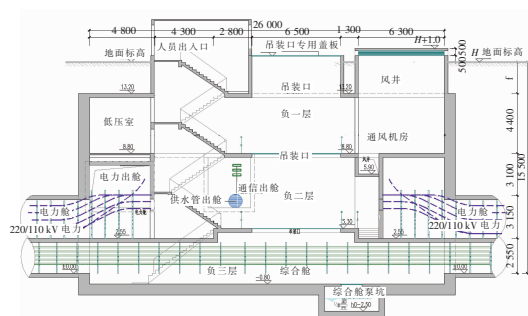
b. 负一层布置



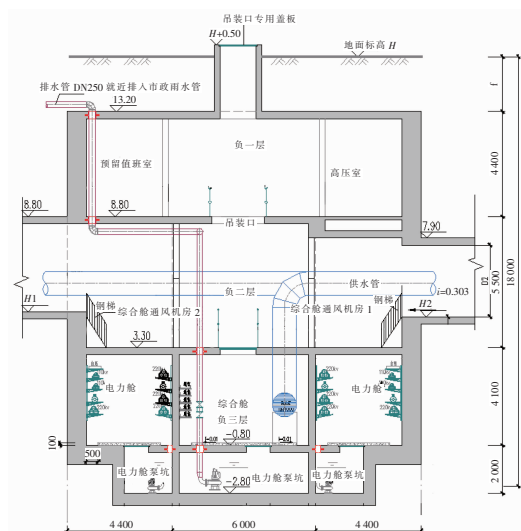
c. 负二层布置



d. 负三层布置



e. 剖面图 1



f. 剖面图 2

图2 盾构综合竖井示意

Fig. 2 Schematic diagram of comprehensive shield shaft

天河智慧城地下综合管廊盾构始发井现场施工照片如图 3 所示。



图3 盾构始发井现场施工照片

Fig. 3 Site construction picture of shield utility tunnel

2.6 盾构管廊附属系统

综合管廊附属系统一般包括消防、通风、供配电、监控与报警、排水、标识系统,与常规明挖管廊相比,盾构管廊附属系统的具体设计也有其特点。

2.6.1 供配电系统

综合管廊一般每隔1~1.5 km需设置一处管廊专用变电所,用于给管廊内通风、消防、排水、监控与报警、照明等系统供电,基于对盾构工法及盾构综合竖井设置原则的认知,管廊变电所应纳入盾构综合竖井,与其他附属设施共建。

2.6.2 监控系统

综合管廊一般每隔2 km设置一处分控室,同管廊供配电系统一样,管廊分控室也应纳入盾构综合竖井,与其他附属设施共建。

2.6.3 消防系统

① 防火分隔:根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015),“天然气管道舱及容纳电力电缆的舱室应每隔200 m采用耐火极限不低于3.0 h的不燃性墙体进行防火分隔”。考虑到盾构管廊的通风口结合盾构综合竖井设置,间距远大于200 m,因此防火门应采用常开式防火门,通风系统的通风区间跨越防火分隔,采用纵向通风方式。

② 逃生设置:盾构管廊的逃生口结合盾构综合竖井设置,考虑到盾构管廊埋深较深,事故逃生、救援难度较明挖管廊大,因此,在条件允许时,应在

盾构管廊各舱室之间设置逃生通道。

2.6.4 通风系统

与传统明挖管廊通常采用不跨防火分隔通风(见图4)不同,盾构管廊的通风口结合盾构综合竖井设置,管廊通风需跨越多个防火分隔采用纵向通风方式(见图5),通风间距除受限于盾构综合竖井距离外,还与防火隔墙处的跨防火门风速有关。此外,考虑到事故后机械排烟,防火隔墙上还应设置全自动防烟防火阀。

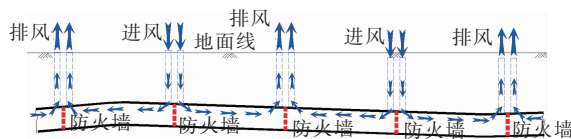


图4 明挖管廊常规通风形式(不跨防火分隔通风)

Fig. 4 Sketch map of conventional ventilation for excavation construction utility tunnel (no cross fire separation)

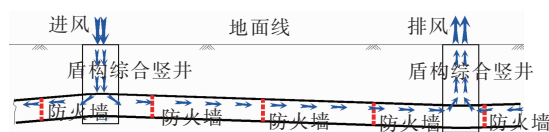


图5 盾构管廊常规通风形式(跨防火分隔通风)

Fig. 5 Sketch map of conventional ventilation for shield utility tunnel (cross fire separation)

2.6.5 排水系统

考虑到盾构管廊埋深较深且通向地面的逃生口(结合盾构综合竖井设置)间距较大,对于纳入供水管、再生水、热力管等存在爆管风险的盾构管廊,应特别注重排水系统设计,包括隧道段排水方向、排水泵选型等。

在确定了盾构综合竖井数量和位置后,盾构管廊排水方向通常有以下3种形式:

① 盾构管廊排水方案1(见图6):管廊埋深最小处($>1.5D$)位于盾构综合竖井,管廊排水汇集在两盾构竖井之间的隧道段。该方案的优点是盾构竖井埋深最小,管廊造价最低。缺点是管廊排水需在隧道内敷设压力管至综合竖井处方能排出管廊,一方面增加了水泵扬程,另一方面,在爆管工况下,积水区位于隧道段,故无法通过事故应急排水泵从盾构综合竖井处排出管廊,管廊存在水淹风险。而此时若有人位于爆管点与排水泵坑之间,则逃生难度极大。故从安全的角度,设计时应尽量规避该排水方案。

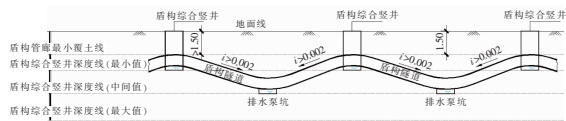


图6 盾构管廊排水方案1(盾构竖井埋深最小)

Fig.6 Drainage scheme 1 for shield utility tunnel (minimum shaft depth)

② 盾构管廊排水方案2(见图7):为避免排水泵坑位于隧道段,管廊坡向可从一个盾构综合竖井坡向相邻的盾构综合竖井。

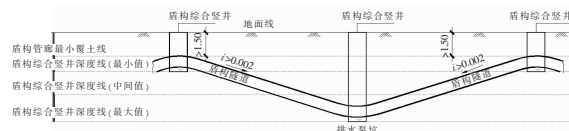


图7 盾构管廊排水方案2(盾构竖井埋深最大)

Fig.7 Drainage scheme 2 for shield utility tunnel (maximum shaft depth)

该方案在最低处的盾构综合竖井内设置排水泵坑,排水泵出水管通过盾构综合竖井排出管廊,在爆管工况下,可通过事故应急排水泵从盾构综合竖井排出管廊积水,可有效避免爆管次生危害。在地势平坦的地区,低处的盾构综合竖井埋深较大,施工难度增大,工程造价较方案1高。该方案适用于有一定地形坡向的地区。

③ 盾构管廊排水方案3(见图8):管廊埋深最小处($>1.5D$)位于隧道段,隧道坡向两边的盾构综合竖井,排水泵坑设于盾构综合竖井内。该方案既规避了方案1排水泵坑位于隧道段的问题,又避免了方案2中某个盾构综合竖井埋深过深的问题,地势平坦的地区较适宜采用该方案。

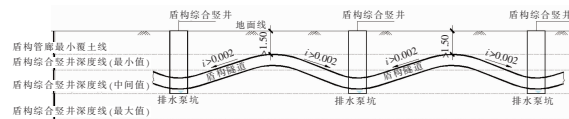


图8 盾构管廊排水方案3(盾构竖井埋深居中)

Fig.8 Drainage scheme 3 for shield utility tunnel (mediate shaft depth)

3 盾构管廊技术的应用前景展望

在我国城镇化发展过程中,很多城市形成了以老城区为中心的多组团发展模式,受老城区阻隔和建设条件限制,存在各功能组团之间能源调配系统

未拉通,供给保障能力与城市功能定位不匹配的矛盾。借助盾构管廊技术打通新老城区主动脉,是解决这一矛盾的有效技术手段。如广州市结合地铁11号线同步采用盾构法建设综合管廊,该管廊贯穿广州市6个老城区中的5个区,连接中心城区各大自来水厂、变电站等,有效地提高了城市供水、供电等能源系统的安全运营水平、安全保障能力和综合防灾能力。

因此,随着我国经济发展和综合国力提升,对关乎城市安全和人民幸福的能源供给系统保障能力的要求必然越来越高,盾构管廊技术的应用也必然越来越广泛。

4 结论及建议

采用盾构法施工的城市综合管廊具有如下设计要点:

① 入廊管线:应为分支接驳需求量小的主干管线。

② 管廊标准断面:除满足最小空间需求外,还应与市场上主流盾构隧道尺寸匹配,以降低工程造价和施工风险。

③ 管廊平面线型:应满足盾构隧道转弯曲线半径要求。

④ 管廊竖向:应满足盾构工法最小覆土、竖曲半径、坡度限制及排水逃生安全需求。

⑤ 关键节点(盾构综合竖井):管廊人员出入口、逃生口、吊装口、通风口、管线分支口、通风机房、管廊分控室、变配电房、排水泵坑等管廊必要的附属设施结合盾构竖井集成在一起设置。

⑥ 逃生:在条件允许时,应在盾构管廊各舱室之间设置逃生通道。

⑦ 通风:可采用跨防火分隔的纵向通风方式,防火隔墙上设置全自动排烟防火阀用于事故后机械排烟。

⑧ 排水:纳入水管的盾构管廊,排水方案应尽量避免将集水坑设置在隧道段。

参考文献:

[1] 肖燃,龙袁虎. 老城区复杂环境下地下综合管廊工程设计[J]. 工程建设标准化,2017(9):24-28.

Xiao Ran, Long Yuanhu. Design of utility tunnel in complex environment of old city [J]. Standardization of

(下转第78页)