

城市地下综合管廊供水管道设计

王长祥¹, 冯树健¹, 赫明水¹, 杨进春², 白旭峰¹, 吕彦¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100048)

摘要: 介绍了供水管道在综合管廊中的布置原则,以及国标图集中含供水管道舱室典型断面布置,并对国内、国外的多个含有供水管道的管廊舱室布置案例进行了展示和说明。给出了供水管道的几种出舱方式和适用条件;详述了供水管道设计中整体连接钢管以及承插接口球墨铸铁管在管廊内的总体结构布置原则和几种布置形式(包括固定支墩和补偿器的布置方式),以及管道支墩设计的要点;总结了管廊内供水管道钢管、球墨铸铁管及塑料管的管材、连接方式的选择以及工程设计中应注意的问题。

关键词: 综合管廊; 供水管道布置; 管道支墩; 管线设计

中图分类号: TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0068-07

Design of Water Supply Pipeline in Urban Underground Utility Tunnel

WANG Chang-xiang¹, FENG Shu-jian¹, HE Ming-shui¹, YANG Jin-chun², BAI Xu-feng¹, LÜ Yan¹

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. China Institute of Building Standard Design & Research Co. Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: This paper introduced the layout principle of the water supply pipeline in the utility tunnel, briefly described the typical section layout of compartment with water supply pipeline in national standard drawing collection, and illustrated several layout cases of utility tunnel cabin containing water supply pipelines both at home and abroad. Several exit modes and corresponding applicable conditions for the water supply pipeline were given. The overall structural arrangement principle and several layout forms of the integrally connected steel pipes and the socketed ductile iron pipes in the water supply pipeline design were described in detailed, including the arrangement of fixed piers and compensators, as well as the main points of pipe pier design. It also summarized the selection of materials and connections for steel pipes, ductile iron pipes and plastic pipes of water supply pipeline in utility tunnel, and what should be considered in the project design.

Key words: utility tunnel; water supply pipeline layout; pipeline pier; pipeline design

地下综合管廊发源于欧洲,1833年巴黎在系统规划排水网络的同时,就开始兴建综合管廊,至今巴

黎市综合管沟总长已超过2 000 km。1890年德国也开始在汉堡建造地下综合管廊,伦敦、莫斯科、布

拉格、赫尔辛基、斯德哥尔摩等城市都建设了地下综合管廊。日本共同沟建设开始于1926年,在制订《共同沟法》以后,共同沟建设得到快速发展,目前已发展成为世界上共同沟建设最先进的国家之一,其在综合管廊的投资、规划设计、建设施工、后期管理等方面已形成较为成熟完善的系统,东京共同沟的规划长度超过2 000 km。

我国地下综合管廊建设起步晚,1958年北京在天安门广场建设了地下综合管廊,1994年上海张杨路建设了国内规模较大、距离较长(11.13 km)的现代化地下综合管廊,随后其他城市陆续建设了一些综合管廊。近几年来,在“国务院办公厅关于推进城市地下综合管廊建设的指导意见(国办发[2015]61号)”的指导下,特别是2015年—2016年相继确定了25个试点城市后,国内综合管廊的建设进入了高速发展阶段。2016年—2017年综合管廊开工建设的长度超过4 000 km,至今中国成为综合管廊在建里程最长的国家。国内外综合管廊容纳的管线一般包括:电力、通信、给水、再生水、雨水和污水、供热、供冷、燃气等管线,供水管道(包括给水、中水管道)是综合管廊内出现频率最高的管线之一。

1 供水管线入廊分析

供水管道一般为压力输送管道,传统的敷设方式为直埋,管道的材质一般为钢管、球墨铸铁管及化学管材等。随着城市开发建设,道路开挖过程中经常出现供水管道被挖断的现象,也有管道基础敷设不良、地质沉降或管道腐蚀造成管道破坏爆管等现象。如果供水管道入廊敷设,可以避免管道意外挖断、地基沉降或管道腐蚀造成爆管事故,提高管线运行的安全性。因此,当具备建设综合管廊的条件时一般都会将供水管线纳入管廊。

《城镇供热管网设计规范》(CJJ 34—2010)中,对热力管与自来水管同舱敷设时提出了要求:热力网管道可与自来水管、电压10 kV以下的电力电缆、通信线路、压缩空气管道、压力排水管道和重油管道一起敷设在综合管沟内。将供水管道纳入综合管廊,有利于管线的维护、更换和扩容,保障安全运行,减少给水管道的漏损率。供水管道及再生水管道纳入综合管廊可与电力、通信及供热、供冷等管线同舱敷设,节约管廊断面空间,因此管径适当的给水管道及再生水管道经入廊分析后是优先入廊的管线。同时,理论上供水管道也可与燃气管道同舱敷

设,但由于燃气舱防爆要求较高,供水管道与天然气管道同舱敷设技术尚需进一步研究完善。国内外已建综合管廊中,入廊供水管线的最大直径已达到DN2 000以上,供水管线直径大于DN1 200时,入廊应进行技术经济分析。

2 供水管道在管廊中的布置

综合管廊内供水管道的布置宜根据纳入管线的种类、规模以及周边用地功能等因素综合确定。供水管道与墙壁及其他管线的距离尚需考虑管线安装、检修、维护作业及管线更新等所需要的空间要求。供水管道一般布置于电力、通信管线的下方,同时宜布置在雨水、污水管道的上方。《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)要求,“给水管道与热力管道同侧布置时,给水管道宜布置在热力管道下方”。

供水管线因同舱布置的管线的不同,在管廊内布置的方式很多,国家标准设计图集《综合管廊工程总体设计及图示》(17GL101)中,在综合管廊断面设计中共给出了包含给水和再生水管道的断面形式A类2种,B类5种,C类6种,D类8种,共计21种断面布置形式。其中典型断面包括给水管线与电力管线同舱,见图1(a);给水管线与热力管线同舱,见图1(b);给水管线与电力及通信管线同舱,见图1(c);给水管线与再生水、污水及通信管线同舱,见图1(d);给水管线与再生水、污水及电力、通信管线同舱,见图1(e)等。实际工程中当供水管道管径较大或双管时也有单舱布置的情况。

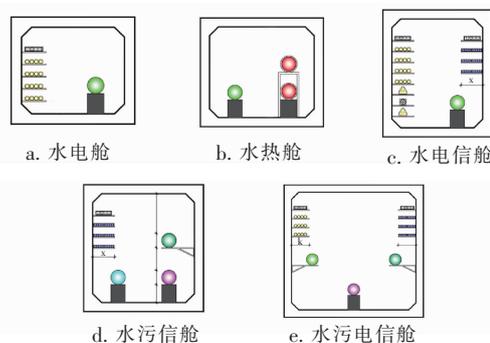


图1 供水管线管廊典型断面

Fig. 1 Typical section of utility tunnel with water supply pipeline

国内综合管廊建设中,含有供水管道的舱室一般称之为综合舱或水电舱等。如四平市慧智街综合管廊水电舱中包含有DN1 000给水管、DN400中

水管道、66 kV 和 10 kV 电力管线等,如图 2(a)所示,这是供水与电力管线共舱的较有代表性的布置方式。图 2(b)所示为青海省海东市钢结构综合管廊断面,舱内布置了 DN700、DN300 供水管道以及电力和通信管线,这是圆形钢结构管廊综合舱室的布置案例。

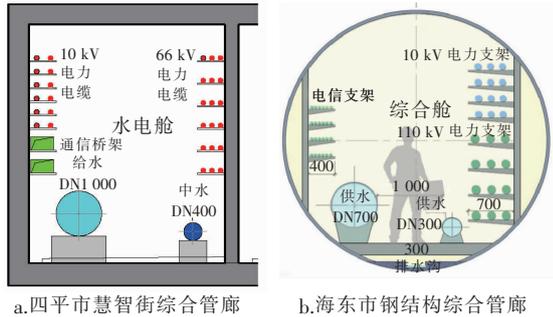
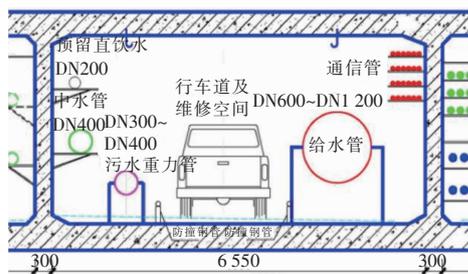


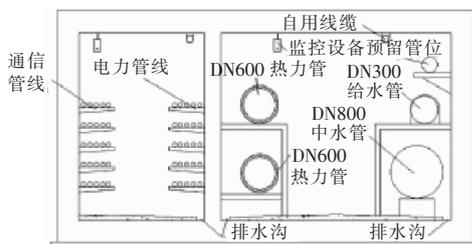
图 2 综合管廊水电舱典型断面

Fig. 2 Typical section of hydroelectric cabin in utility tunnel

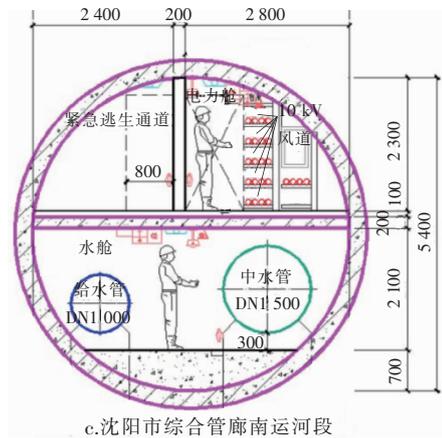
平潭市坛西大道综合管廊综合舱中包含有 DN600 ~ DN1 200 给水管、DN400 中水管、DN200 直饮水管、DN300 ~ DN400 污水管以及通信管线等,且设计考虑了维修车辆的通行可能,这是一个给水与污水等多种管线同舱的典型案列^[1],如图 3(a)所示。图 3(b)所示正定新区隆兴大道综合管廊是给水管道、中水管道与供热管线同舱布置的一个案列^[2]。沈阳市地下综合管廊南运河段采用直径 $\varnothing 5 400$ mm 盾构方案,该盾构设计为三个舱室,其水舱位于圆形断面的下半部分,舱内布置有 DN1 000 供水管道和 DN1 500 中水管道,如图 3(c)所示,这是一个盾构管廊供水管道舱独立设置的典型案例^[3]。



a. 平潭市坛西大道综合管廊



b. 正定新区隆兴大道综合管廊



c. 沈阳市综合管廊南运河段

图 3 综合管廊多管入廊典型断面

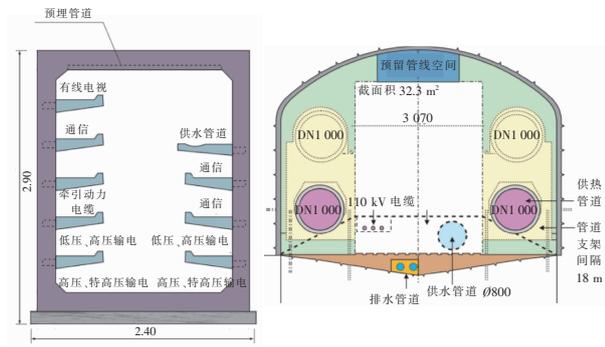
Fig. 3 Typical section of utility tunnel with multi-pipeline

国外综合管廊建设中舱室的划分原则有所不同,特别是早期建设的一些管廊很多种管道在一个舱室内。有关资料显示,其建议的矩形管廊断面内各种管线的位置分布见图 4。2005 年在法国出版的《综合管廊实践指南》^[4]中的三个断面布置案例介绍如下:比利时布鲁塞尔北部地区综合管廊,单舱布置,供水管道 DN600,位于通信管线上方,同舱室内还有高压特高压电力、低压电力、通信、有线电视等多种管线,如图 5(a)所示。瑞典赫尔辛基市伏马萨里-帕斯拉 (Voussaari-Pasila) 综合管廊属于断面较大的单舱隧道,断面如图 5(b)所示,舱室内布置有供水、供热、排水和电力等多种管道, DN800 供水管道位于管廊底部,敷设后回填。法国里昂-热尔兰管廊如图 5(c)所示,是一个与社区建筑物相结合的小型管廊,其舱室内包含了供水、供热、污水、电力及通信管线,供水管道位于污水管道上方、热力管道下方。新加坡滨海湾区综合管廊[如图 5(d)所示]是于 2004 年开始分阶段陆续投入运行的较为现代化的管廊,其管道舱内布置了给水管道 (DN1 200)、再生水管道 (DN300)、中央供冷管道 (2DN1 500) 及气动垃圾管道 (DN500) 等管线,其舱室断面尺寸较大,也是一个多种管线同舱布置的特别案列^[5]。



图 4 矩形舱管线空间位置

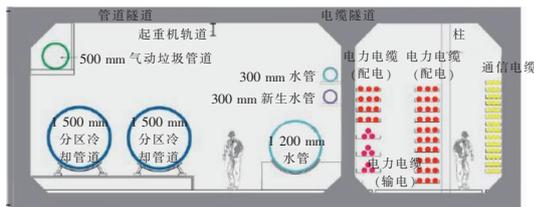
Fig. 4 Space position of pipelines in rectangular cabin



a.布鲁塞尔北部地区综合管廊 b.赫尔辛基市伏马萨里-帕斯拉管廊



c.法国里昂-热尔兰管廊



d.新加坡滨海湾区综合管廊

图5 国外综合管廊经典断面

Fig.5 Typical section of overseas utility tunnel

3 供水管道出舱方式

供水管道常用的出舱方式主要包括管道侧面出舱、管道上(顶)出舱、管道下(底)出舱等方式^[6],如图6所示。当给水管道舱位于综合管廊外侧时,可采用侧面出舱的方式。对于多舱管廊一般采用上出舱或下出舱的方式,当管廊顶部覆土深度允许时一般优先考虑采用上出舱的方式,特别是管道直径较小时适合采用。当供水管线穿过管廊墙壁出舱后进入埋地段时,应根据工程条件考虑采取措施防止管道因管廊沟槽回填土不密实或软土地基产生的沉降等因素造成该处管线的破坏。同时考虑到抗震设计的要求,此处管廊墙壁上宜采用柔性套管,或者在埋地段采用柔性接头等措施。管道采用下出舱方式且埋深较大时,不宜采用直接从侧面出舱,建议采用廊侧转换并将管道标高抬升后再从侧面出舱的方式

[见图6(c)],以避免出舱后直埋管道维修时开挖困难。另外当出舱管线需要横穿道路时,应根据情况采取支管廊过路或者外加套管过路的措施,不宜采用供水管道直埋过路的方案,以避免管道维修及更新时对道路交通的影响。

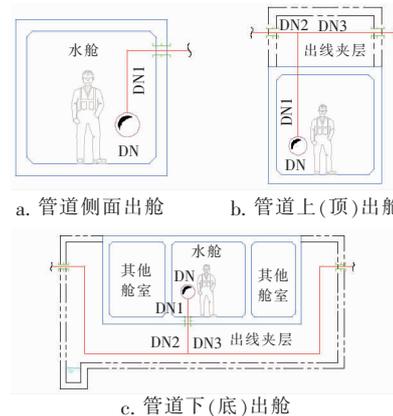


图6 管道出舱示意

Fig.6 Schematic diagram of pipeline exiting cabin

4 供水管道设计

4.1 整体连接钢管在管廊内的结构布置

整体连接的钢管在管廊内的结构布置形式应综合考虑。管道的温差计算时,宜取管道安装时的闭合温度与管廊内夏季最热月平均气温或冬季最冷月平均气温的差值。当直线管段的长度适当时,可采用在直线管段中间设置固定支墩的方案^[6],直线管段上的其他支墩采用滑动支墩,在垂直折线管段上设置两个角向变形补偿器(只允许转动),则直线管段的温度变形可以得到释放,管道结构布置见图7。角向补偿器(共3个)和导向支座需配合使用,以保障管线既可以产生转动变形又避免平面外失稳。管道出管廊外的固定支墩的设置,应视埋地段管线的管材及长度等情况而定,当采用整体式钢管且长度较大时,也可不设该固定支墩。

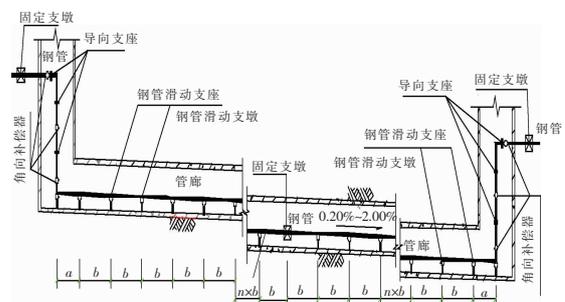


图7 整体连接钢管结构布置示意(一)

Fig.7 Layout of integrally connected steel pipe(1)

当管廊主体结构允许时,也可采用在直线管段中间设置轴向伸缩型补偿器,在直线段两端转角处设置固定支墩的方案^[6],直线管段上的其他支墩采用滑动支墩,则直线管段的温度变形可以得到释放。管线结构布置见图 8。当直线管段较长时,上述两个方案均可在直线段上分段设轴向伸缩型补偿器,在由补偿器分隔的每段的中间设置固定支墩,其他支墩采用滑动支墩。当直线段的管道长度较小或者有其他需要时,也可在直线段的一端弯折处设置固定支墩,其余部位设置滑动支墩,而在另一端竖向弯折管段上设置两个角向型补偿器,从而使得管道的温度变形向一端释放。角向型补偿器可以在垂直管段或倾斜管段上设置,一般应成组布置以便于释放变形,同时角向型补偿器应具有在轴向与管道等强度传递轴向力的能力。当考虑了各种条件和因素后,对供水管道采用整体建模进行应力分析并满足两种极限状态要求时,支墩及补偿器的设置可不受此限制。

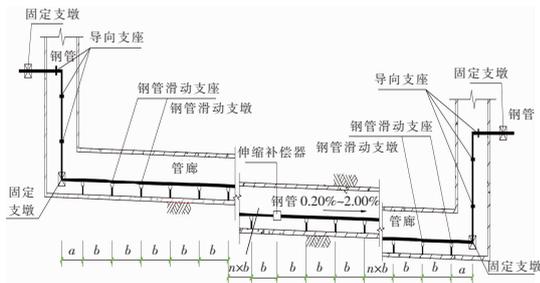


图 8 整体连接钢管结构布置示意(二)

Fig. 8 Layout of integrally connected steel pipe(2)

4.2 球墨铸铁管道结构布置

球墨铸铁管道当直线段管道采用自锚式接口时,其固定支墩和补偿器的设置方式与整体连接的钢管类似。当采用普通柔性承插口连接时,在弯头处无论采用钢管或铸铁管弯头均需设置固定支墩^[6],直线段其他部位可采用滑动支墩,见图 9。

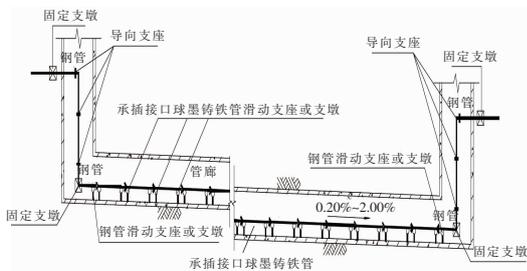


图 9 承插式球墨铸铁管结构布置

Fig. 9 Layout of socketed ductile iron pipe

当在管道弯头位置设置固定支墩困难时,可以将弯头处的钢管的直线段延长,在直线段上设置固定墩。当近似直线段或弧形线段上管道借转角较大时,应采取措施使得借转角处的支墩能够承受借转角产生的推力,且应发挥管道抱箍的作用。

4.3 支墩设计

给水钢管或铸铁管道支墩处的设计包括管道设计和支墩设计两部分,管道的设计主要是验算支墩处管道的局部应力应满足规范要求,具体计算可参照《自承式给水钢管跨越结构设计规程》(CECS 214:2006)相关内容。支墩的设计包括支墩的选型和强度、稳定计算及正常使用状态验算。固定支墩设计计算时应考虑管道的设计内水压力以及温度应力等作用所产生的支墩反力。滑动支墩设计时一般应考虑纵向摩擦力,同时支墩设计还应考虑地震作用。

钢管直线管段上固定支墩做法^[6]可参见图 10。

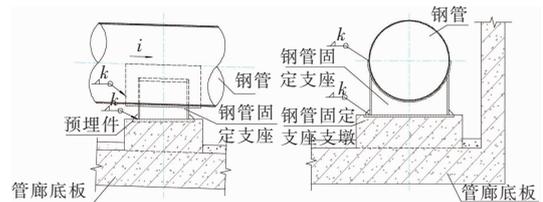


图 10 固定支墩示意

Fig. 10 Drawing of fixed pier

鉴于一般入廊的给水管道的管径在 DN1 200 以内,滑动支墩的形式采用鞍形(或称弧形)支墩比较常见,其受力合理且制作施工比较简单,当管道直径更大时,可考虑采用其他支墩形式。钢管滑动支墩一般有两种做法^[6],第一种为滑动导向支墩,即上部为钢结构滑动导向支墩,下部为混凝土支墩,如图 11 所示。滑动导向支墩一般为成品,在钢支座底部平板与预埋在混凝土支墩顶部钢板之间设置有聚四氟乙烯滑动摩擦副,允许纵向水平滑动且摩擦系数较小。第二种滑动支墩采用钢筋混凝土弧形支墩,在钢管与弧形支墩之间设置有聚四氟乙烯垫板或橡胶垫板,以利于钢管与支墩之间产生滑动,弧形支座的支承角角度根据计算确定,一般可取 120°~180°,如图 12 所示。工程设计中根据抗震烈度情况在各滑动支墩(支墩)处尚应设置抱箍构造措施以保证管道横向位置的稳定,抱箍也可间隔设置。

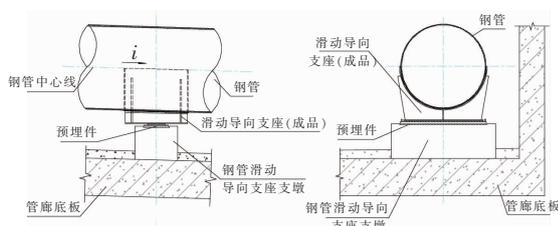


图 11 滑动支座支墩示意

Fig. 11 Drawing of slider base and pier

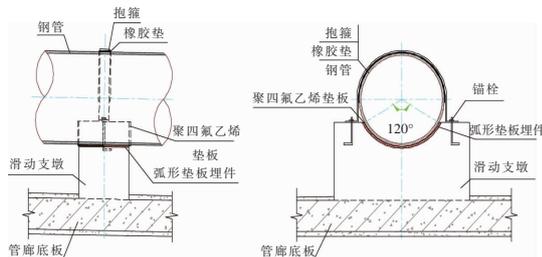


图 12 滑动支墩示意

Fig. 12 Drawing of slider pier

5 供水管道管材及连接方式的选择

《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)规定:给水、中水管道可选用钢管、球墨铸铁管、塑料管等。在综合管廊供水管道设计中,应了解各种管材不同连接方式的特点和适用范围,结合管径、压力、线形、施工安装等工程条件,通过经济技术比较合理选择,从而保障管道结构安全。

5.1 钢管

钢管的连接方式有如下几种:沟槽(卡箍)式连接、法兰连接、承插口连接和焊接等。

沟槽式连接一般适用于管径 DN400 以内,沟槽管件连接方式一般不会破坏管道内防腐涂层,并具有独特的柔性特点,使管路具有抗震动、抗收缩和膨胀的能力,与焊接和法兰连接相比,管路系统的稳定性增加,更适合温度的变化,也减少了管道温度应力。沟槽式连接操作简单施工效率高,所需操作空间小,便于管廊内管道日后的维修和更新。沟槽式连接的管件应满足《沟槽式管接头》(CJ/T 156—2001)的行业标准的要求。当管廊内管道直径适当时,可考虑采用沟槽式连接。

钢管的焊接连接是比较常用的连接方式,适用于各类管径,其优点是钢管整体性强、受力性能好,能够传递纵向力,可减少固定支墩的设置。其不足主要是施工效率较低、焊口的检验比较复杂,在管廊内连接需采取通风措施,同时对于较小的管径(如

DN800 以下),其接口部位的内防腐的现场修补比较困难,质量难以保障,不利于管道的耐久性。建议在管廊内钢管采用焊接连接适用于管径 DN800 及以上的管道。

钢管的承插式连接是一种新型的接头方式,《给水排水工程埋地承插式柔性接口钢管管道技术规程》(T/CECS 492—2017)规定,该规程适用于新建、改建和扩建,工作压力不大于 1.6 MPa 埋地承插式柔性接口连接的城镇给水排水管道工程设计、施工和验收。当管廊内架空敷设的管道采用承插式连接时,可参照该规程执行,其支墩、固定墩的设置原则与柔性承插口铸铁管道基本一致。

钢管法兰式连接也是常用的连接方式,其现场施工简单方便效率较高,且法兰连接的管道能够传递一定的纵向力。鉴于管径较大时,其连接成本较高,建议在管廊中法兰连接管道的适用管径范围为 DN400 ~ DN800。

5.2 球墨铸铁管

球墨铸铁管的连接方式包括:承插式连接、法兰连接和可传力承插连接。球墨铸铁管道的承插式连接应用广泛,耐久性好,历史悠久。在法国巴黎地下综合管廊博物馆中的铸铁管(见图 13)应用较多,效果良好,且有各种接口方式的应用,如承插口、传力接头和法兰连接等。因其连接的方便、快捷、可靠,且其耐久性好,球墨铸铁管在综合管廊中的直线管段上得到较为广泛的应用。柔性承插口接头是球墨铸铁管道应用最多的连接方式,当工程需要管道传递纵向推力时,可采用可传力的承插式连接。从技术及经济性等方面综合考虑,建议球墨铸铁管道的适用管径范围为 DN800 以内。



图 13 巴黎综合管廊内铸铁管道

Fig. 13 Cast iron pipes in utility tunnel in Paris

5.3 塑料管道

直埋式供水工程中采用的化学管材较多,如 PE

管、玻璃钢管以及UPVC管等。一般PE管采用整体连接方式,玻璃钢管道和PVC-UH管道采用承插连接方式。在综合管廊内使用时,化学管材具有较好的耐久性,其水力条件较好,无需做内外防腐处理。使用中当与热力管道同舱时,要考虑环境温度的影响。同时当在综合舱内使用且与电力电缆等同舱时,还要考虑火灾的影响。此外,作为架空管道要考虑其材料刚度与时间的关系,但当管道直接敷设于连续的管道基础之上时,可以不必考虑管道刚度问题。目前国内尚无塑料管道自承式架空敷设的管道结构设计标准,管廊内供水管道采用塑料管道的工程案例较少,应加强塑料管道入廊的设计技术研究和工程应用。

6 管道设计中应注意的问题

在城市地下综合管廊供水管道设计中,应充分了解各种管材和连接方式的特点及适用范围,通过合理选择做到扬长避短,使得工程管道的本质安全性和耐久性在全寿命周期内得到最大保障。要特别重视整体连接管线的纵向温度应力及变形的影响。对于承插式连接等非整体连接管道,在垂直和水平方向转弯处、分叉处、管道端部堵头处以及管径截面变化处应设置固定支墩,并根据管径、转弯角度、管道设计内水压力等因素计算其支墩推力。柔性胶圈承插口架空管道的借转角处管道的稳定与埋地管道不同,应注意其稳定性验算。应关注管道的细部节点的构造措施,包括管道与支墩之间的抱箍的设置,管道进出管廊部位的防差异沉降措施和抗震措施等。应重视供水管道内、外防腐措施的选择,根据管廊的区域气候特点,考虑不同季节管廊内部的环境条件,合理选择防腐措施,以进一步保障管道在设计使用年限内的正常使用或进一步延长其使用年限。根据供水管道运行要求,供水管道需要设置必要的检修阀、排水阀、放空阀、排气设备等。

参考文献:

- [1] 曹益宁,董永红. 城市综合管廊入廊污水管道及重要节点的设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(20): 67-71.
Cao Yining, Dong Yonghong. Design of sewage pipe and important nodes of urban utility tunnel[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(20): 67-71 (in Chinese).
- [2] 姚枝良. 石家庄正定新区隆兴大道综合管廊设计[J]. 中国市政工程, 2014(3): 49-51.

- Yao Zhiliang. A design of Longxing Ave. utility tunnel in Zhengding New District, Shijiazhuang [J]. China Municipal Engineering, 2014(3): 49-51 (in Chinese).
- [3] 肖燃. 集约建设城市综合管廊规划设计实践与思考[A]. 智能交通智慧城市国际会议[C]. 上海: 同济大学, 2017.
Xiao Ran. Practice and thinking on planning and design of the intensive construction of urban utility tunnel [A]. International Symposium on Intelligent Transportation and Smart City (ITASC2017) [C]. Shanghai: Tongji University, 2017 (in Chinese).
- [4] Par le Groupe de Recherche *Clé de Sol*. Guide Pratique des Galeries Multiréseaux [M]. France: Éditions Techni Cités, 2005.
- [5] 梁忠恕. 新加坡综合管廊设施管理[A]. 城市地下综合管廊技术研讨暨工程观摩会[C]. 深圳: 中国建设科技集团股份有限公司, 2016.
Liang Zhongshu. Common services tunnel facilities management in Singapore [A]. Conference on Urban Utility Tunnel Technology and Engineering Visit [C]. Shenzhen: China Construction Technology Group Co. Ltd., 2016 (in Chinese).
- [6] 17GL301, 17GL302, 综合管廊给水管道及排水设施 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
17GL301, 17GL302, Drawing Collection for Design of Water Supply Pipeline and Drainage Facilities in Urban Utility Tunnel [S]. Beijing: China Planning Press, 2017 (in Chinese).



作者简介: 王长祥(1964—), 男, 天津人, 硕士研究生学历, 教授级高工, 副总工程师, 一级注册结构师, 主要从事市政工程结构及综合管廊工程设计与研究工作。

E-mail: wangcx87@163.com

收稿日期: 2019-02-28