

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.023

大口径球墨铸铁管在沉管施工中的创新性应用

杨 贺¹, 黄跃明², 胡金财³, 张智军¹, 赵 健², 史卫斌²

(1. 无锡市城乡给排水工程设计院有限责任公司, 江苏 无锡 214000; 2. 新兴铸管股份有限公司, 江苏 南京 210000; 3. 无锡市水务集团有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘 要: 长期以来,钢管在国内大口径过河管沉管施工中被广泛应用,但其防腐施工要求高,焊缝防腐质量控制难度大,限制了管道的使用寿命,增加了运维成本和漏损风险。无锡严埭河DN800给水管沉管工程经过力学性能、耐腐蚀性和电蚀性、综合性价比以及接口形式等多方面分析比较,最终选择采用SIA Wb型内自锚接口球墨铸铁管作为管材,并对影响工程成功实施的3个要点——吊点设置间距、接口结构安全和胶圈有效性以及管道弯头处加固处理进行分析总结,可为今后类似工程实施提供借鉴。

关键词: 球墨铸铁管; 沉管; 大口径; 内自锚接口

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0135-05

Innovative Application of Large-diameter Ductile Iron Pipe in Immersed Pipe Construction

YANG He¹, HUANG Yue-ming², HU Jin-cai³, ZHANG Zhi-jun¹, ZHAO Jian², SHI Wei-bin²

(1. Wuxi Urban and Rural Water Supply & Drainage Engineering Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214000, China; 2. Xinxing Ductile Iron Pipes Co. Ltd., Nanjing 210000, China; 3. Wuxi Water Group Co. Ltd., Wuxi 214000, China)

Abstract: For a long time, steel pipe has been widely used in the construction of large-diameter river crossing and submerged pipes in China, but the high anti-corrosive construction requirements and the difficult control of weld anti-corrosion limits the service life of the pipeline, increases operation, maintenance costs and leakage risk. By analyzing and comparing the mechanical performance, corrosion resistance and electric corrosion resistance, comprehensive cost, and interface form, SIA Wb ductile iron pipe with internal self-anchor interface is selected as the pipe material for DN800 water supply sinking project in Yandai River in Wuxi. Three key points affecting the successful implementation of the project are summarized: the spacing of lifting points, the safety of interface structure, the effectiveness of rubber rings, and the reinforcement treatment of pipe elbows, which can provide reference for the implementation of similar projects in the future.

Key words: ductile iron pipe; immersed pipe; large-diameter; internal self-anchor interface

沉管是管道穿越大型河道、湖泊的常用施工工艺,其通过汽运和浮运将管道吊装沉水的独特作业方式,对管材及管道接口性能有较高要求。长期以

来,大口径沉管管材仍以钢管为主,但钢管防腐施工要求高,焊缝位置的现场防腐质量控制难度大,不仅限制了沉管设计使用寿命,而且导致后期运维成本

高、抢修难度大。寻求更可靠、更经济的沉管管材,成为城乡供水领域亟待解决的问题。

球墨铸铁管具有力学性能优、耐腐蚀性及耐电蚀性强、管道接口便于施工和综合性价比高等优点,但相较于刚性连接的钢管,球墨铸铁管的传统滑入式柔性接口抗滑脱能力差,在承受自重带来的较大弯矩时,易发生管道接口滑脱,导致其始终无法用于实际的沉管施工。随着自锚式接口产品的开发,球墨铸铁管在定向钻穿越、免支墩敷设和超高层建筑生活消防供水等场景中得到广泛应用,其可靠性也被充分验证。因此,考虑使用有较大抗滑脱能力的自锚式接口球墨铸铁管代替钢管用于沉管施工,具备现实可行性。

在总结无锡张塘河DN600沉管项目工程经验的基础上,经过前期充分论证和后期精细化施工,无锡严埭河DN800球墨铸铁管沉管项目取得圆满成功。作为目前全国口径最大、施工距离最长的球墨铸铁管沉管项目,该项目的顺利实施,可为今后类似工程提供借鉴。

1 工程概况

312国道无锡锡山段锡虞立交至通江大道快速化改造工程,路线起点位于锡山区锡虞立交西,沿现状312国道老路线位以高架形式扩建,全长3.242 km。为配合道路快速化改造,需对沿线道路两侧的DN800和DN300给水管进行迁改,DN800给水管穿越严埭河为迁改的重要节点(见图1)。



图1 沉管位置

Fig.1 Location of immersed pipe

严埭河为7级航道,河道宽50 m,底标高-1.20 m(吴淞高程),由于管道斜交穿越河道,所以穿越处的河口宽度为90 m。给水管穿越河道通常采用管桥、沉管、顶管、定向钻穿越等方式,具体方式选择

涉及现场环境、地质情况、驳岸基础形式、防洪标准、通航安全、工程造价等多个因素。河东岸现状物流园区毗邻河道与道路,且河底有废除的现状给水管、高压燃气管及新建的高压燃气管、信息管线,顶管和定向钻穿越风险大、无足够施工空间。经过综合比较,过严埭河段DN800管采用沉管工艺具有可实施性,且经济安全。设计方案结合防洪影响评价和通航条件影响评价,沉管实际总长度为144 m,其中水平直管段126 m,两侧斜管段分别为9 m,沉管管底标高-3.09 m(吴淞高程),见图2。

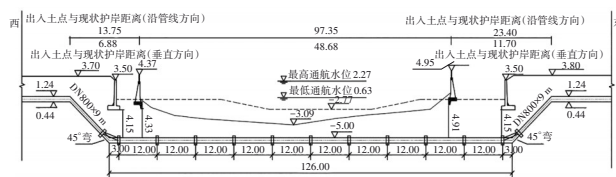


图2 沉管剖面图

Fig.2 Profile view of immersed pipe

2 管材选择

2.1 球墨铸铁管与其他管材的比选

目前,给水管沉管可选用的管材仅有钢管与PE管两种^[1],但两种管材优、缺点明显。钢管具有较好的抗拉强度与屈服强度,施工与运行期间具有较强的抵抗外力破坏的能力,但其防腐施工要求高,焊缝位置现场防腐质量控制难度大,从而影响了钢管的整体使用寿命;PE管具有较好的柔韧性、曲率半径小、水力性能好,而且不存在防腐问题,但其抗外力破坏能力差,对管道沟槽基础及回填要求较高。而球墨铸铁管具有如下优点:

① 耐腐蚀性、耐电蚀性优

球墨铸铁管耐腐蚀性优于碳钢管,同时其独特的腐蚀生成物可以降低管道腐蚀量,而钢管不具备该性能,且其锈蚀物会加快管道的腐蚀速率;球墨铸铁管采用柔性接口连接方式,避免了钢管现场焊接防腐;球墨铸铁管的耐电蚀性能也优于钢管,其电阻率是碳钢管的5~7倍,同时橡胶密封圈起到绝缘作用。

② 力学性能优

离心球墨铸铁管采用离心铸造工艺和退火工艺,使其金相组织在铁素体和珠光体的基础上分布有一定数量的球状石墨,实现了高强度、高伸长率、低硬度的力学性能,相同压力等级下壁厚与碳钢管接近。

三种管材力学性能比较见表 1。

表 1 管材力学性能比较

Tab.1 Comparison of mechanical properties of pipes

管材	弹性模量/(N·mm ⁻²)	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	硬度/ HB	抗弯强度/MPa
球墨铸铁管	16×10 ⁴	≥250	≥420	DN40~1 000:≥10; DN1 100~2 600:≥7	≤230	≥590
Q235B 钢管	20.6×10 ⁴	225	370	≥18	约 140	≥400
PE 管	920		25	≥300		

③ 管材经济性好

以无锡地区市政工程项目不同管材询价情况为基础,对比了常见的 3 种给水管材的主材价格,见表 2。内自锚接口球墨铸铁管虽然在主材价格上稍高于 Q235B 钢管,但考虑到管道寿命、河底管道维修及更换成本和大口径管线供水可靠性要求,球墨铸铁管显现出良好的性价比。

表 2 管材价格和寿命对比

Tab.2 Comparison of price and service life of pipes

PN16 管材	不同管径的主材单价/(元·m ⁻¹)				管材寿命/a
	DN600	DN800	DN1 000	DN1 200	
内自锚接口球墨铸铁管	2 070	2 520	3 720	4 192	50~70
Q235B 钢管	1 180	1 890	2 270	2 600	30~50
SDR11 PE 管	2 980	4 820	7 530	11 970	

根据以上分析,球墨铸铁管不但兼有钢管和 PE 管两种管材的性能优点,而且综合价格也具有一定优势,可见球墨铸铁管用于沉管具有较好的经济性。

2.2 球墨铸铁管接口形式的选择

在沉管施工过程中,管道接口不仅需要承受轴线拉力,还需要承受吊装时纵向弯曲带来的弯矩。当接口超过极限借转角度时,会导致接口滑脱、破坏和橡胶圈的变形,因此接口位置的可靠性成为影响施工的关键点和薄弱点。目前球墨铸铁管接口形式极其丰富,用于给水工程的可以分为以下几类:滑入式柔性连接、机械式柔性接口、半柔性接口、法兰接口和其他特殊接口。

① 滑入式柔性接口。靠承口、插口的尺寸使胶圈压缩产生接触压力形成密封,主要代表为 T 型接口。根据橡胶圈类型不同,衍生出了 XT2 接口、

防拉脱胶圈接口。滑入式 T 型接口施工方便,能够适应基础变形,并具有一定的抗震能力,同时接口胶圈具有自密封作用,胶圈与管壁产生的接触压力大于内水水压,对高内压有较好的适应能力^[2],经过爆破试验, DN800 试验压力达到 9.7 MPa,管壁破损,但接口完好不渗漏,所以滑入式 T 型接口为球墨铸铁管使用范围最广的接口形式,顶管中采用的 XTJ 球墨铸铁管也是采用滑入式柔性接口。

② 机械式柔性接口。由压兰的作用使胶圈压缩产生接触力形成密封,主要代表为 K 型接口,还有用于燃气管道的 N II 型和 S II 型接口。

③ 半柔性接口。在滑入式柔性接口的基础上,考虑到轴向防脱的需要而开发出的接口形式,主要有 TF 自锚接口(口径 DN100~1 200)、SIA Wb 型内自锚接口(口径 DN80~1 200)、新兴锚接口(口径 DN1 400 以上)。此类管道可用于高层、超高层建筑加压消防给水室外埋地管、定向钻穿越、免支墩和管道坡度较大的场景。

④ 法兰接口。通常在管材转换时使用,不作为管道接口使用。

其他特殊接口形式工程实践中使用较少。

经过对比分析,有可能用于沉管的接口形式有 TF 自锚接口与 SIA Wb 型内自锚接口(见图 3)。

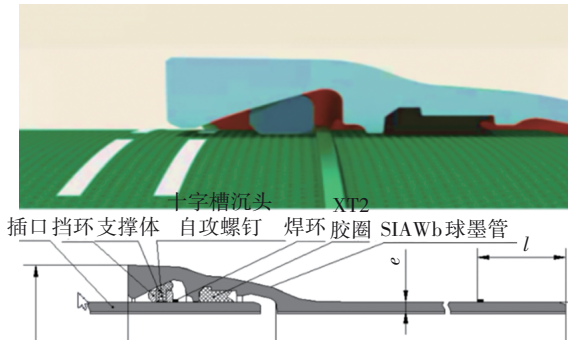


图 3 SIA Wb 型内自锚接口

Fig.3 Schematic diagram of SIA Wb internal self-anchor interface

根据实际工程经验,TF 自锚接口较多应用于高层、超高层建筑加压消防给水室外埋地管,大口径产品成本较高,所以本工程选择可用于定向钻穿越的 SIA Wb 型内自锚接口球墨铸铁管作为沉管管材, DN800 口径 SIA Wb 型内自锚接口球墨铸铁管最大允许轴向应力约 1 390 kN,能够满足沉管吊装、浮运和沉放需求。

3 沉管施工工艺

3.1 沉管施工方法

沉管施工通常选用水面浮运法、铺管船法及底拖法。本项目河道水文和气象变化稳定,水流速度较小,河道宽度50 m,沉管河口宽度为90 m,沉管长度144 m,采用水面浮运法最可靠、经济。

3.2 沉管施工步骤

水面浮运法通常包含以下施工步骤:挖泥船沟槽开挖、管道拼装、管道浮运、管道沉放、稳管回填。本项目两侧为垂直驳岸,施工步骤还包括沉管前河岸外围堰及驳岸拆除、沉管后河岸内围堰及驳岸修复。

① 挖泥船沟槽开挖

根据地勘报告,沉管管道位于粉质黏土层和粉土夹粉砂层,本次设计沟槽开挖底宽为3 m,边坡尺寸为1:3.5。

② 管道拼装、管道浮运、管道沉放

本次沉管管道长度为144 m,河岸西侧为道路建设时施工场地,现场无障碍物,较适合进行管道整体拼装,所以采用整体拼装、整体浮运及整体沉放施工方式较合适。管道拼装试压后,经汽吊与浮吊协同进行溜下水作业。下水过程中,管道平卧吊装,待前段管道到达东岸后,通过调整吊点管道由平卧状态转换至竖直状态,并定位好管道沉管准确位置,充水下沉。充水过程中为避免水流在管道中剧烈晃动,采取一个管头充水、另一个管头排气的方式,同时控制好吊点的沉放速度,保证平直段管道中段先下沉,管道中液面逐渐向两段抬高。

③ 稳管回填

管道沉放到位后进行稳管回填,采用碎石覆盖管道至直管段管顶50 cm,两侧斜管段回填碎石至管顶以上2 m,剩余部分沟槽采用干黏土回填至河道原底标高。

4 球墨铸铁管沉管难点分析

沉管拼装后进行吊装、浮运和沉放,不可避免地会出现轴向扭曲、环向变形和纵向弯曲现象。施工过程中需采取有效方式将变形控制在允许范围内,以满足沉管的要求。SIA Wb型内自锚接口球墨铸铁管用于沉管施工,主要存在如下几个问题:①管道吊装下水作业过程中吊点设置间距确定;②管道纵向弯曲与轴向扭曲对接安全及橡胶圈有效

性影响;③管道弯头处加固处理。

4.1 吊点间距设置可行性分析

本工程采用汽吊和浮吊对DN800供水管进行协同溜放下水作业,每两个吊点间距17 m,见图4。

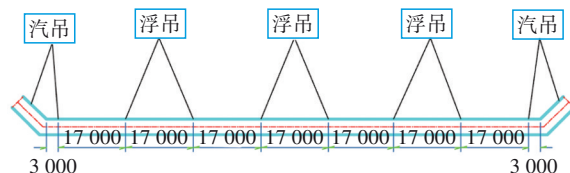


图4 吊点布置

Fig.4 Layout of the lifting point

因相邻吊点间的水平距离均为17 m,且浮吊和汽吊的吊钩位置基本在同一水平面,故每个吊点处的受力情况基本一致,故可取其中2个吊点之间的管段进行受力分析。供水管为球墨铸铁管,每节管长为6 m,则2个吊点之间分布3节管段,见图5。

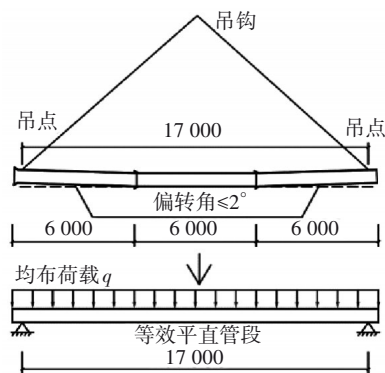


图5 受力分析简图

Fig.5 Schematic diagram of force analysis

DN800口径SIA Wb自锚接口球墨铸铁管,接口偏转角不超过 2° ,允许轴向拉力为1 392 kN。经过验算,由于吊绳的水平分力和偏转角引起的重力水平分力之和远远小于允许回拖力,故在起吊过程中管段不会在接口处发生脱离;又因管段接口的偏转角很小,由此造成的接口处应力突变量可忽略不计,故可将3节管段等效于一根管道进行受力分析,吊点处的竖向拉力等效于支座力。继而可以将管道两吊点之间的水平距离转化为管道最大允许跨距进行分析。管道允许跨距的计算应按强度和刚度两个条件进行,取两者中较小值作为推荐的最大允许跨距^[3]。经过验算,按强度条件计算管道的允许跨距为25.82 m,按刚度条件计算管道的允许跨距为25.2 m,选取较小值25.2 m作为推荐的最大允

许跨距。本次工程两吊点间的实际跨距为 17 m,满足最大允许跨距的要求。

4.2 接口结构安全及橡胶圈有效性分析

纵向弯曲主要发生在管道溜下水作业过程和沉放过程,管道自重可能导致接口超过允许借转角度。接口位置为整根管道的薄弱点,较大的借转角度产生较大的弯矩,从而造成接口破坏,同时也会造成橡胶圈的屈服变形。在方案设计阶段,拟考虑采用角钢对接口加固处理,提高管道结构安全系数;在方案论证阶段,新兴铸管在无接口加固的情况下进行了吊装试验,发现实际管道借转角度较小,最终设计方案取消了接口加固措施。

由于管道接口偏转角度较小,吊装时接口不会额外承受较大的弯矩,同时橡胶圈也不会出现屈服变形,沉管施工能够保证管道的安全。

4.3 管道弯头处加固处理

沉管两侧布置有斜管段,管道吊装过程中由于管道形状不规则,导致受力不均匀,为避免弯头处集中受力,本项目弯头处采用角钢加固处理,同时吊装过程中管道由平卧转换至竖直状态时,加固措施可对弯头产生一定的支撑作用,见图 6。

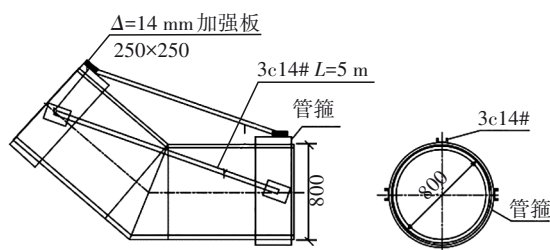


图 6 弯头加固

Fig.6 Elbow reinforcement

5 结语与展望

本工程为全国首例 DN800 大口径球墨铸铁管用于沉管的案例,项目的成功实施与验收通过,证实了 SIA Wb 型内自锚接口球墨铸铁管用于沉管具有较好的可行性与可靠性。设计和施工要点总结如下:

① 通过分析比选,采用 SIA Wb 型内自锚接口球墨铸铁管作为沉管管材,最大允许轴向应力 1 392 kN,可以保证管道在沉管吊装、浮运和沉放等

施工工序中轴向受力安全性。

② 通过计算,吊点设置间距 17 m,管道强度和刚度符合规范要求,且有足够的安全系数。

③ 通过预吊装试验,验证了吊装时管道借转角度较小,接口不会额外承受较大的弯矩,同时橡胶圈也不会出现屈服变形。

球墨铸铁管推广用于沉管工艺对于提高过河管供水管网寿命、降低管网漏失、节省管网运维成本具有重要意义。今后应继续创新铸管工艺,丰富接口种类,探索更大口径的球墨铸铁管沉管安全技术,使球墨铸铁管沉管应用更广泛、更经济和更易施工。

参考文献:

- [1] 杨国洪,徐晓明,付朝晖,等.港珠澳大桥珠海口岸人工岛管线上岛沉管设计研究[J].中国给水排水,2021,37(8):120-124.
YANG Guohong, XU Xiaoming, FU Zhaohui, et al. Design and research on sinking pipeline technology of artificial island at Zhuhai-Macao Port of HZMB [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8): 120-124(in Chinese).
- [2] 李晓明,白占顺,王宁,等.大口径球墨铸铁管用于长距离输水工程的优势分析[J].中国给水排水,2015,31(14):30-33.
LI Xiaoming, BAI Zhanshun, WANG Ning, et al. Performance analysis of large diameter ductile iron pipes in large-scale water diversion project [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(14): 30-33(in Chinese).
- [3] 国振喜,曲昭嘉.管道支架设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998:39-40.
GUO Zhenxi, QU Zhaojia. Pipe Support Design Manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998: 39-40(in Chinese).

作者简介:杨贺(1970-),男,湖北武汉人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),院长,主要从事市政给水排水、建筑给水排水、海绵城市等设计工作。

E-mail:569567522@qq.com

收稿日期:2023-02-21

修回日期:2023-04-10

(编辑:衣春敏)