

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.027

## 球墨铸铁顶管的设计与应用

李瑞清<sup>1</sup>, 黄跃明<sup>2</sup>, 董 杨<sup>3</sup>, 李海涛<sup>1</sup>, 崔现军<sup>4</sup>

(1. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430000; 2. 新兴铸管股份有限公司, 河北 邯郸 056300; 3. 江宁水务集团, 江苏 南京 211100; 4. 新兴铸管股份有限公司 武汉销售分公司, 湖北 武汉 430000)

**摘 要:** 随着国家对城镇给排水管道使用寿命要求越来越高,设计不仅要考虑一次性投资,更要考虑管材的性价比及综合造价,还要趋向于管线同材质设计以提高其全周期使用年限。新型 XTJ 球墨铸铁顶管在穿越河道、公路上下翻及碰头处采用同材质球铁自锚管件,既保证了高标准的管线全周期寿命,又减少了开挖造成的二次环境污染,且不影响公路施工标段的交通。从 XTJ 球墨铸铁顶管的开发背景入手,介绍了 XTJ 球墨铸铁顶管的同材质设计理念、特点与性能验证,并结合湖北省安陆市“引徐济安”饮水工程实例对 XTJ 球墨铸铁顶管的应用进行了阐述。

**关键词:** 非开挖技术; 球墨铸铁顶管; 同材质设计; 球铁自锚管件

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0144-04

## Design and Application of Ductile Iron Pipe Jacking

LI Rui-qing<sup>1</sup>, HUANG Yue-ming<sup>2</sup>, DONG Yang<sup>3</sup>, LI Hai-tao<sup>1</sup>, CUI Xian-jun<sup>4</sup>

(1. Hubei Institute of Water Resources Survey and Design, Wuhan 430000, China; 2. Xinxing Ductile Iron Pipes Co. Ltd., Handan 056300, China; 3. Nanjing Jiangning Water Business Group Co. Ltd., Nanjing 211100, China; 4. Wuhan Sales Branch, Xinxing Ductile Iron Pipes Co. Ltd., Wuhan 430000, China)

**Abstract:** As the national requirement on durable pipe network for water supply and sewerage is getting much higher than before, not only should the design and selection of materials consider one-time investment, cost performance and comprehensive cost, but also tend to consider the same materials of pipes and its fittings to improve the full cycle service life. The new XTJ ductile iron pipe jacking products adopt the ductile iron self-anchored pipe fittings of the same material at the turning up and down points where the pipeline crosses the river and highway. It not only ensures the high standard full cycle life of the pipeline, but also reduces the secondary environmental pollution caused by the excavation, without affection on highway traffic. Starting from the development background of XTJ ductile iron pipe jacking, this article introduces the same material design concept, characteristics and performance verification of XTJ ductile iron pipe jacking, and expounds the application of XTJ ductile iron pipe jacking in case of drinking water diversion project from Xujiache River to Anlu City, Hubei Province.

**Key words:** trenchless technology; ductile iron pipe jacking; same material design; ductile iron self anchored pipe fittings

2012 年国家出台了《城镇给水排水技术规范》(GB 50788—2012),要求埋地管道使用年限不能低

于50年,引导设计选择性能、使用寿命折合年投资最经济的管材,最大限度地避免因选材不当而造成重复设计、资金浪费的情况。

欧美发达国家对供水行业管道设计选材有两项评判标准:①综合投资及性价比;②整条管线全寿命周期评价。目前我国大多习惯采用传统设计理念,即在管线遇到穿越河沟及道路标段采用钢管,而现场焊接的钢管很难控制接口处焊接的质量以及二次防腐的效果,且处于河床底下淤泥层环境,因此其接口处最容易被腐蚀,是整条管线使用年限的短板,不符合全周期寿命的评价标准。

湖北省安陆市“引徐济安”饮水工程突破了国内给排水管的传统设计方法,与国际先进设计理念接轨,在上述特殊地段选用新型XTJ球墨铸铁顶管,这是一种基于同材质设计的不开挖沟槽而敷设柔性承插式接口的顶管,利用工作井内油压千斤顶产生顶力,逐支将顶管推入指定区域,上下翻及碰头处依靠同材质自锚管件实现,不需要焊接,安装速度快,还可避免管线采用多种材质设计而导致服务年限不等的情况发生。

## 1 新型XTJ球墨铸铁顶管的特性

球墨铸铁材料具有与碳钢接近的力学性能,如机械强度高、韧性好等,同时具有铸铁特有的耐腐蚀性能,已逐渐成为当今世界给排水领域最安全可靠的管材之一<sup>[1]</sup>。由于它不需要开挖沟槽,可以从地下穿过城市主干公路、城际间的铁路、高速公路乃至高楼大厦等大型建筑,因此可节约大量铺设成本。XTJ球墨铸铁顶管是在普通T型承插式球墨铸铁管的外壁整体包覆一个筒状结构的钢筋混凝土保护套,使得管体的外形尺寸与承口的最大外径一致,同时在管道的插口部位焊接有顶推法兰。具体构造见图1。

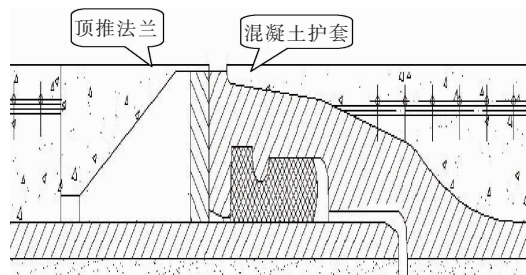


图1 新型XTJ球墨铸铁顶管构造

Fig.1 Structure of new XTJ ductile iron pipe jacking

① XTJ球墨铸铁顶管具有铁的本质、钢的性

能,尤其是离心球墨铸铁管中碳呈球状分布,埋地后不利于氯离子、氢离子向管壁内渗透,因而耐腐蚀性能好、管道使用寿命长。连云港连云区黄窝水库口径350 mm的铸铁管(管身印有1932年溯源钢印)至今已运行89年。因此,综合考虑使用年限和施工成本,离心球墨铸铁管折合年每米造价最低。

② 新型XTJ球墨铸铁顶管采用柔性滑入式接口,具有铺设速度快、连接严密性好等优点。XTJ球墨铸铁顶管接口采用SBR胶圈,使用年限达到50年以上;若选用高等级EPDM胶圈,则使用年限可达80年以上。2000年西安市引黑河供水工程新安路段DN2 000球墨铸管配套的密封胶圈使用SBR胶圈,2015年因新建工程,一段DN2 000管道需改造位移35 m,挖出4根已运行15年的球墨铸铁管检测,管道内外层完好,SBR胶圈外观及台钳夹紧弹性完好。对该胶圈取样送国家橡胶密封制品质量监督中心检测,报告显示SBR胶圈还能继续使用45.1年。

③ 施工允许顶推力安全系数高,6 m长管节允许偏转角0.5°,可实现曲线顶管。以湖北省安陆市“引徐济安”饮水工程为例,DN1 600的XTJ球墨铸铁顶管若采用K8级壁厚,则施工允许顶推力为7 418.6 kN,采用K9级壁厚,则施工允许顶推力为12 357.8 kN。该工程穿越河底,情况较为复杂,设计选用K9级壁厚更为保险,并且这种通过加大壁厚而提高施工允许顶推力上限的方式十分经济,投入成本小而顶推力提升大。

## 2 XTJ球墨铸铁顶管技术参数

XTJ球墨铸铁顶管符合《无管沟铺设用球墨铸铁管》(ISO 13470—2012)及《非开挖铺设用球墨铸铁管》(YB/T 4564—2016)标准,管道有效长度( $L_u$ )为4 m或6 m<sup>[2]</sup>,技术参数见图2及表1。

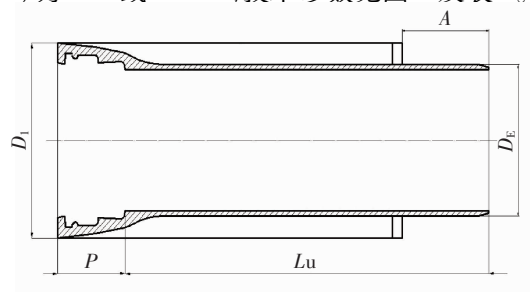


图2 球墨铸铁顶管产品技术参数示意

Fig.2 Schematic diagram of technical parameters of ductile iron pipe jacking product

表 1 XTJ 型球墨铸铁顶管的技术参数

Tab. 1 Technical parameters of XTJ ductile iron pipe jacking

管径/ mm	尺寸参数(壁厚 K9)/mm				总质量/ (kg·支 <sup>-1</sup> )	允许顶 推力/kN
	$D_E$	$D_I$	$A$	$L_u$		
250	274	342	95	4 000	518	920
				6 000	773	
300	326	397	100	4 000	639	1 240
				6 000	953	
400	429	502	100	4 000	907	1 350
				6 000	1 353	
500	532	616	110	4 000	1 268	1 910
				6 000	1 890	
800	842	956	150	4 000	2 661	3 300
				6 000	3 992	
900	945	1 064	165	4 000	3 171	4 140
				6 000	4 706	
1 000	1 048	1 170	175	4 000	3 685	5 080
				6 000	5 376	
1 200	1 255	1 396	205	4 000	5 046	7 240
				6 000	7 349	
1 400	1 462	1 630	229	4 000	6 154	9 020
				6 000	8 963	
1 600	1 668	1 840	252	4 000	7 749	12 360
				6 000	11 255	
1 800	1 875	2 060	290	4 000	9 523	12 360
				6 000	13 826	
2 000	2 082	2 280	309	4 000	11 352	16 970
				6 000	17 069	
2 200	2 288	2 492	318	4 000	13 712	16 970
				6 000	20 128	
2 400	2 495	2 710	336	4 000	15 843	16 970
				6 000	23 240	
2 600	2 702	2 928	355	4 000	18 144	23 340
				6 000	26 590	

注: 管径为各规格的合同订货管道口径; $D_I$  为顶管带混凝土外径尺寸; $D_E$  为球墨铸铁管插口插入承口的直径尺寸; $A$  为管道插口插入承口长度; $P$  为管道承口工作面深度, $A = P - 10$ ;  $L_u$  为管长,分 4 m 和 6 m 两种。

### 3 施工案例

湖北省安陆市“引徐济安”饮水工程二水厂支线输水管(桩号二支 0+000~1+180)总长度 1.18 km,3 个采用 XTJ 球墨铸铁顶管的特殊标段分别是:府河段、G346 国道段和四屋湾段。

#### ① 府河段顶管

2020 年 12 月中旬,管道穿越府河河床,采用 DN1 600 的球墨铸铁顶管敷设,顶管长 508 m。工程

难点在于穿越府河,距离长、地质情况复杂,顶管上部水压大,可能产生较大的渗透水压力。

府河河床宽约 330 m,设计顶管位于河床下方,垂直府河流向,管道陆地埋深约 16 m,河底埋深约 10 m。该顶管段顶部基岩厚 2.5~4.2 m,上段为第四系全新统冲积砂壤土,中段为砂卵石层,下段为泥岩,地下水较丰富。

因在泥水平衡式顶管施工中,泥浆可能通过泥土层向砂卵石层渗透,导致泥水无法循环、作业受阻,故设计选用先进的 XTJ 球墨铸铁顶管,每节管接口安装速度快(需 15~18 min),每节管顶进作业接口对接停滞时间短,加上配置了自动跟踪注浆系统,使泥浆循环畅通,保障工程顺利施工(见图 3)。无论工作井还是接收井,XTJ 球墨铸铁顶管均设计使用同材质自锚管件,保证工程上下翻及碰头处的使用寿命同管体一致,符合国际先进的管道设计全周期寿命要求。

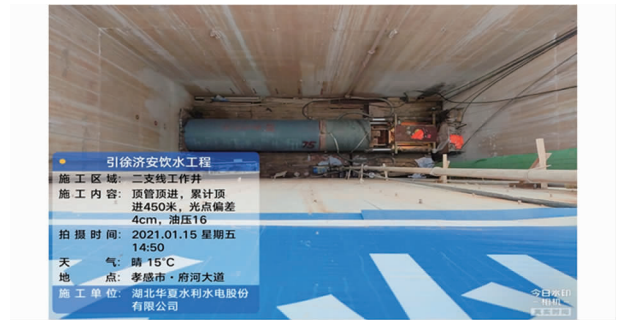


图 3 XTJ 球墨铸铁顶管施工现场

Fig. 3 Construction site of XTJ ductile iron pipe jacking

对该工程复盘分析,若选用 DN1 600 钢管,现场每节钢管接口对口焊接及内外防腐处理等共约需 6 h,会导致顶管顶进间隔时间较长,泥浆易渗透,泥水循环受阻,施工慢,使用寿命折合年每米造价高,无法保证整条管线的全周期寿命。

具体施工步骤:主顶千斤顶采用 4 台 2 000 kN 的油缸,固定在型钢制作的千斤顶支架上,支架焊在井底的横梁上,4 台千斤顶着力点在顶管圆周上,即与管道中心的垂线对称,其合力的作用点在管道圆心上,每个千斤顶的纵线坡度应与管道设计坡度一致,设计考虑约 500 m 的长顶距,故在河底施工放置 4 个中继间备用。但在实际施工操作中,XTJ 球墨铸铁顶管精度高,外壁刷了一层环氧漆,较光滑,顶进 250 m 时总推力在 1 960 kN 左右,每日顶进 20~25 m。得益于 XTJ 球墨铸铁顶管的优良性能,本段



施工的最大顶推力达 4 086.6 kN,仅用了该顶管工厂允许顶推力参数的 1/3,顶管穿越府河约 500 m 长的距离没有启用中继间,耗时约 30 d 就将该标段顶通,堪称国内大口径顶管在河床复杂地段工程的经典案例。

### ② G346 国道段顶管

该工程采用新型 XTJ 球墨铸铁顶管,仅用 8 d 就完成了 G346 国道(3+050~3+274)总长 224 m 的穿越。

原设计方法为先顶一根 DN2 200 或 DN2 400 的混凝土管,再在混凝土管里设计 DN1 600 工作管及制作固定支架,固定架的作用是避免管道运行过程中产生水锤内管振动(见图 4)。原设计需要顶两根管才能实现输水功能,一是增加了管材费用,二是加大了施工难度及附件制作费用,更为关键的是若设计工作管为钢管,则对整条管线全周期寿命考虑不周,是设计理念的缺失。

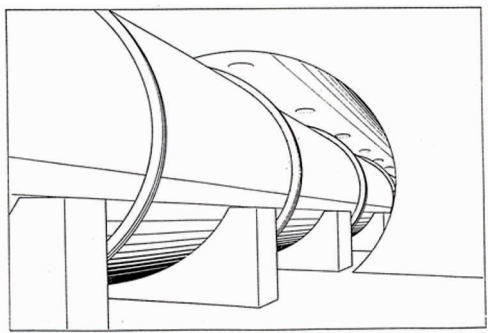


图 4 DN1 600 工作管固定支架

Fig.4 DN1 600 pipe fixing bracket

此次在过路段,设计采用高等级离心球墨铸铁顶管,将外护 DN2 400 混凝土管与 DN1 600 内管合并成 XTJ 球墨铸铁顶管,既节省了管材投资,又加快了施工进度。

### ③ 四屋湾段顶管

四屋湾线路原设计为隧洞,桩号为 2+109~2+399,长 290 m,单线布置;进口接新庵村埋地球管,出口接长岭埋地球管,采用直径 DN1 600 的 XTJ 球墨铸铁顶管,底高程 88.05~87.78 m,设计纵坡 1:1 000,设计引水流量 2.46 m<sup>3</sup>/s;主要穿越地层为绢云石英纳长片岩、变辉长辉绿岩,呈强风化~弱风化状。原隧洞方案采用钻爆法施工,炸药采购困难;受疫情影响,工期紧张;该段自坟群下部穿过,受当地民俗影响,多次协调未果;钻爆产生粉尘污染严

重,影响环境保护。综合考虑诸多影响因素,将原设计隧洞爆破施工变更为 XTJ 球墨铸铁顶管施工。

## 4 结论

XTJ 球墨铸铁顶管的机械性能接近碳钢管,并且壁厚等级高的离心球墨铸铁管能够承受的顶推力更大,同时其在防腐能力、抗内外压能力方面性能优异,加之柔性接口的优势,能够确保管线具有极长的全周期使用寿命。

湖北省安陆市“引徐济安”饮水工程全线采用球墨铸铁管同材质设计,没有选用其他管材,管线设计使用服务年限符合《城镇给水排水技术规范》(GB 50788—2012)要求。目前这条管线已运行半年,状况良好。该工程对 XTJ 球墨铸铁顶管的设计与应用突破了以往顶管的传统思路,以全周期寿命设计理念审视管线工程,值得同类工程借鉴。

同时,该工程摸索出 XTJ 球墨铸铁顶管设计参数:DN1 100 以上大口径球墨铸铁管为涂料热模法生产工艺,管模冷却慢,不建议设计壁厚等级 K12 级的顶管,防止管道口径大在浇铸离心过程中管壁过厚冷却不良而造成球化衰退现象,进而影响管材性能,因此,XTJ 球墨铸铁顶管最大壁厚设计为 K11 级较为适宜。

## 参考文献:

- [1] 周忠陆. 泥水平衡式顶管施工关键技术的分析与应用[J]. 城市建筑,2014(17):111-112.  
ZHOU Zhonglu. Analysis and application of key construction technologies of sludge-water balanced pipe-jacking[J]. Urbanism and Architecture, 2014(17): 111-112(in Chinese).
- [2] 张榕生. 泥水平衡式顶管施工难题的分析与处理[J]. 福建建设科技,2002(3):27-29.  
ZHANG Rongsheng. Analysis and treatment of sludge-water balanced pipe-jacking[J]. Fujian Construction Science & Technology, 2002(3):27-29(in Chinese).

作者简介:李瑞清(1963—),男,河南睢县人,硕士,教授级高级工程师,研究方向为江汉平原水资源管理。

E-mail:785167289@qq.com

收稿日期:2021-06-22

修回日期:2021-08-09

(编辑:衣春敏)