

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.016

# 温州市“南水北调”过江给水管道路设计与施工案例

卢建景<sup>1</sup>, 汤泽和<sup>2</sup>, 陈毅<sup>3</sup>

(1. 温州市水务集团有限公司, 浙江 温州 325000; 2. 温州设计集团有限公司, 浙江 温州 325000; 3. 温州市公用事业发展集团有限公司, 浙江 温州 325000)

**摘要:** 温州市“南水北调”工程是有效缓解乐清水资源供需矛盾、保障广大群众饮水安全的应急清水供水管道工程,供水规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,管线桩号总长约8.6 km,其中龙湾段采用DN1 400给水管,瓯江南北汊过江段采用 $2\times\text{DN1 000}$ 双管布置,七都段采用DN1 200给水管,管道设计总长约11.2 km。该工程采用水平定向钻法进行给水管道路过江穿越,介绍了设计及施工要点,评估了工程影响,并给出了相应的质量控制措施。该工程的顺利实施可为长距离大口径给水管道路施工提供借鉴。

**关键词:** 给水管; 过江管道; 设计; 施工; 水平定向钻

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0096-05

## Design and Construction of Cross-river Water Supply Pipes for the South-to-North Water Diversion Project in Wenzhou

LU Jian-jing<sup>1</sup>, TANG Ze-he<sup>2</sup>, CHEN Yi<sup>3</sup>

(1. Wenzhou Water Group Co. Ltd., Wenzhou 325000, China; 2. Wenzhou Design Assembly Co. Ltd., Wenzhou 325000, China; 3. Wenzhou Public Utility Development Group Co. Ltd., Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** The South-to-North Water Diversion Project with supply capacity of  $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  in Wenzhou, is an emergency water supply pipeline project that effectively alleviates the supply-demand contradiction of water resources in Yueqing and ensures the safety of drinking water for the general public. The total pipeline pile length is approximately 8.6 km and the overall design pipeline length is around 11.2 km. Among them, DN1 400 water supply pipes are utilized in Longwan section, a  $2\times\text{DN1 000}$  dual-pipe arrangement is employed in Oujiang River's north and south branches, while DN1 200 water supply pipes are used in Qidu section. The project adopts the horizontal directional drilling method for water supply pipeline to cross the river. Its design and construction points are elaborated, the impact of the project is evaluated, and the corresponding quality control measures are provided. The successful execution of this project could provide reference for the construction of long-distance, large-diameter water supply pipelines.

**Key words:** water pipe; cross-river pipeline; design; construction; horizontal directional drilling

### 1 工程概况

温州市南水北调工程为温州至乐清的应急清水供水管道建设工程。该工程跨越鹿城区、龙湾区和

乐清市3个区域,以缓解乐清、柳市片区水资源供需矛盾、极端干旱情况下的供水紧张等问题。

该工程应急供水能力为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,给水管起

点为温州状元水厂,终点为乐清市北白象镇南头村沿江路。管道从龙湾状元水厂接出后往北穿越瓯江后横穿七都,再穿越瓯江后至乐清,与乐清市拟建应急给水管连接。整个工程管线桩号总长约8.6 km,管道设计总长约11.2 km,分为龙湾段、瓯江南汉过江段、七都段和瓯江北汉过江段4个部分,具体工程示意图1。



图1 温州市“南水北调”工程示意

Fig.1 Schematic diagram of the Wenzhou South-to-North Water Diversion Project

该工程穿越的瓯江为浙江省第二大河流,温州区段干流长约72 km,均为下游地段,多年平均含砂量为 $0.1\sim 0.2\text{ kg/m}^3$ 。江中多江心滩、江心洲与边滩,横截面形态多半呈“W”形。流至状元桥镇,江心有七都涂沙洲,江水分南、北两汉,南流经龙湾区,北流经永嘉乌牛镇及乐清北白象镇。工程所在七都段,南北两汉两岸已经修有塘坝,河汉深槽已逐年发育,河段整体较为稳定,大部分区域的冲淤变化维持在 $\pm 0.8\text{ m/a}$ 以内。

该工程范围内建成区条件限制多,现状管线复杂,大口径给水管需多次穿越已建公路、高速、河流,尤其是两次穿越瓯江,实施难度较大。

## 2 设计及施工要点

### 2.1 管道设计要点

工程所在瓯江段被七都涂沙洲分为南北两汉,综合地形、地质、河流条件、交通状况等多方面因素,并核算流速及压力后,最终确定采用 $2\times\text{DN}1\,000$ 给水管两次穿越瓯江。管道从龙湾接出往北第一次穿越瓯江南汉至七都(过江管道单管长1 356 m),横穿七都后,再从七都往北第二次穿越瓯江后至乐

清(过江管道单管长1 063 m)。

瓯江南汉过江管穿过龙湾区海塘安澜工程(蒲州水闸至炮台山段海塘)状元段,从高速公路西侧河床下通过,再穿过七都南岸堤坝达到七都,过江管的管中间距约10 m。

瓯江北汉过江管穿过七都北岸堤坝,从高速公路东侧河床下通过,再穿过乐清瑯头塘堤坝到达乐清工程,过江管的管中间距约10 m。

### 2.2 过瓯江段给水管施工工艺

江底管线敷设常采用漂浮法、敷管船法、底托法和水平定向钻法。考虑到该工程为应急工程,对施工工期的要求较高,同时给水管穿越的瓯江南汉和北汉均为通航河流,需要考虑管道施工对航道的影响。而漂浮法、敷管船法、底托法等工艺需要封航或工期较长,无法满足工期需求。经实地勘察发现,除乐清瑯头海塘有填土及护坡抛石外,海床20 m以浅为松软的淤泥及淤泥质土,海床基本稳定,符合水平定向钻施工条件<sup>[1]</sup>。综合考虑施工时间、工程投资、施工条件等因素,确定采用水平定向钻法进行管道过江穿越。

### 2.3 管材及防腐

目前,我国在工作压力高、穿越条件复杂的长距离输水工程中使用的的大口径管材主要有钢管(SP)、球墨铸铁管(DIP)、预应力钢筒混凝土管(PCCP)、玻璃钢夹砂管(RPMP)。其中,钢管具有管材质量轻、强度高、管道接口精度高、对各种地形和地质条件适应性强、运输及施工相对容易的优点<sup>[2]</sup>。考虑到输水管需穿越瓯江等不利条件,因此设计输水主管采用钢管。

因钢管的耐腐蚀性能较差,过江钢管外防腐在挤压聚乙烯防腐层3层结构(即3PE)加强级基础上对环氧涂层进行加厚处理。钢管内防腐采用8701饮用水涂料特加强级或双组分无溶剂环氧树脂涂层或环氧粉末。采用铝合金阳极,通过牺牲阳极法进行管道阴极保护。通过阴极保护与防腐绝缘层联合保护的方法进行输水钢管防腐,可有效延长管道的使用寿命。

### 2.4 管道附属构筑物

① 检修阀门井。在管道穿越瓯江前后位置设置检修阀门井。阀门井采用钢筋混凝土地下操作卧式蝶阀井。

② 压力检测点。出于系统运行安全和泄漏

分析的需要,在供水管线穿越瓯江的两端设置压力检测点,检测结果用于分析供水管线的运行状态和加强供水管线的运行管理,及时发现事故以及事故隐患、调整供水管线的运行。

③ 排气阀。在实际运行中可能造成供水管线破坏的主要因素有2个,即管内静压过高和关阀水锤对管道的破坏。为解决这两个因素对管道可能造成的破坏,采用CARH防水锤型复合式排气阀,布置在管线高点以及穿越前后。

## 2.5 地层处理

在穿越段两端地面,需根据地质条件采取防止塌陷和冒浆的措施。对于定向钻穿越不利地层,采取开挖换填、套管隔离、地质改良等方法进行地层处理,并对堤坝两侧一定范围内进行水泥砂浆换填。

## 2.6 降浮、防渗措施

该工程管道的浮力为4.9 kN/m,采取主管内穿De630PE管、PE管内注水的降浮措施。为保证现状堤坝的安全稳定,在定向钻穿越的出、入土点侧直管段各设置两道混凝土止水环,止水环设置完成后,再用黏性土进行换填,从而阻断可能的渗流通道。

## 3 瓯江南汉过江段管线设计及施工

### 3.1 过江管工程设计

瓯江南汉为通航河流,航道等级为500吨级。给水管穿越路由处江面宽度1115 m,现状江底最低标高约-15.5 m。采用定向钻防水穿越瓯江,管道从河床及滩地底部穿越。管道从龙湾状元水厂接出后往北,在现状沈海高速温州大桥(龙湾—七都段)西侧设置2根DN1000给水管穿越瓯江至七都。两条给水管中心间距约9.63 m,距温州大桥最近的给水管与温州大桥间距约229 m。过江管穿越航道段顶标高为-30.5~-25.73 m,泥面标高为-14.99~-11.56 m,穿越段最小覆土厚度为12.46 m,非穿越段最小覆土厚度为9.9 m。

### 3.2 穿堤设计

龙湾侧及七都南侧均建有现状防洪堤坝。过江管道南侧涉及温州市龙湾区海塘安澜工程(蒲州水闸至炮台山段海塘)状元段,该海塘处于提标建设中。现状标准海塘为混合式断面结构,海塘挡浪墙顶高程7.47 m(提标建设后加高至7.80 m),地基

采用塑料排水板进行处理,设计防潮标准为100年一遇。管道穿海塘处最大标高-8.9~-2.5 m,管道穿龙湾侧堤坝段高程为-10.3~-3.1 m。过江管道穿越龙湾区海塘安澜工程断面见图2。

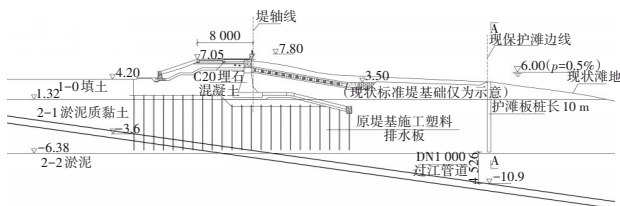


图2 过江管道穿越龙湾区海塘安澜工程断面

Fig.2 Section diagram of the cross-river pipeline through the Anlan section of the sea wall in Longwan District

过江管道北侧涉及七都南岸堤坝,堤顶高程6.5 m,堤身迎水面采用中间设斜坡绿化带的组合式断面。休闲平台高程4.40 m,休闲平台下设置两排灌注桩,防洪挡潮标准100年一遇。管道从七都南岸堤坝长桩(桩长35 m,间距5.4 m)间穿过,下穿密排短桩(桩长15 m,底高程-15.0 m),短桩桩底与管道净距5.0 m,穿七都南岸堤坝处高程为-21.4~-20.4 m。过江管道穿越七都南岸堤坝断面见图3。

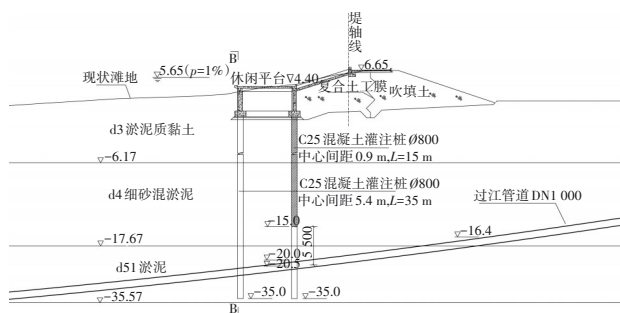


图3 过江管道穿越七都南岸堤坝断面

Fig.3 Section of crossing the river pipeline through the south bank embankment of Qidu

### 3.3 施工方法

本段过江穿越管道采用D1020 mm×20 mm(Q235B)螺旋焊缝钢管,钢管径厚比为51(<80),径向屈曲计算 $P_{yp}=1.43$  MPa,  $0.6P_{yp}=0.86$  MPa(>泥浆静水压力 $P_s=0.63$  MPa),穿越场地的基本地震动峰值加速度为0.05 g(<0.1 g)。

本段定向钻穿越长度约1391 m,穿越曲线入土角为10°,出土角为8°,穿越管段的曲率入土曲线半径为1500 D(D为穿越管段外径,余同),出土曲线

半径为 $1\,500D$ 。出土点位于龙湾侧堤坝后侧43 m处,入土点位于七都南岸堤坝后侧143 m处,定向钻穿越段大部分管顶覆土深度控制在现状河床下 $\geq 15$  m位置。

#### 4 瓯江北汉过江段管线设计及施工

##### 4.1 过江管工程设计

瓯江北汉为通航河流,航道等级为3 000吨级。给水管穿越路由处水面宽度约860 m,现状江底最低标高约-16.5 m。采用定向钻防水穿越瓯江,管道从河床及滩地底部穿越。

管道横穿七都后往北,在现状深海高速温州大桥(七都—乐清段)东侧设置2根DN1 000给水管穿越瓯江至乐清,两条给水管中心间距约142 m。

过江给水管穿越航道段顶标高为-31.5 m,泥面标高-16.123~-12.005 m,穿越段最小覆土厚度为15.377 m,非穿越段最小覆土厚度为6 m。

##### 4.2 穿堤设计

七都北岸及乐清侧均建有现状防洪堤坝。管道南侧涉及七都北岸堤坝,规划防洪挡潮标准100年一遇,堤顶高程6.5 m,宽6.0 m,休闲平台高程4.40 m,宽度7.5 m,休闲平台下设置两排D80 cm灌注桩,外排桩顶为独立一桩一柱,间距5.4 m,设计给水管从七都北岸堤坝长桩中间穿过,下穿密排短桩,与短桩净距5 m,短桩桩底与管道净距5.0 m,穿越七都北岸堤坝处高程为-20.0~-17.2 m。管道穿越七都北岸堤坝断面见图4。

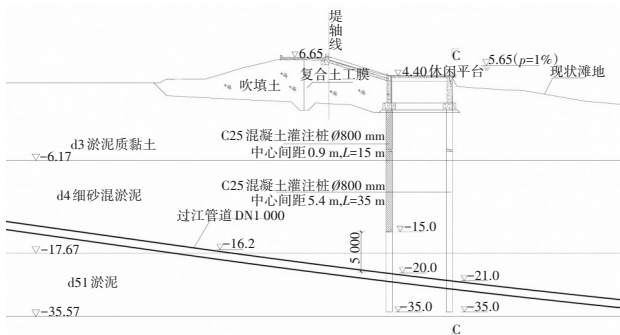


图4 管道穿越七都北岸堤坝断面

Fig.4 Sectional drawing of pipeline crossing the dam on the north bank of Qidu

过江管道南侧涉及乐清瑄头塘,该海塘处于提标项目初步设计阶段。现状海塘结构基本完整,管道穿堤段为直立挡墙标准堤结构,无桩基础迎海侧为直立式混凝土挡墙,堤顶高程4.70~5.10 m,宽

4.0~5.0 m。管道从瑄头塘老挡墙处穿过,管顶高程为-6.9~-4.9 m。根据与乐清市海塘安澜工程(翁垟等海塘)前期协调沟通结果,该工程给水管先行实施,后续海塘安澜工程堤坝桩基施工时做好给水管保护和避让调整措施。管道穿越乐清市瑄头塘断面见图5。

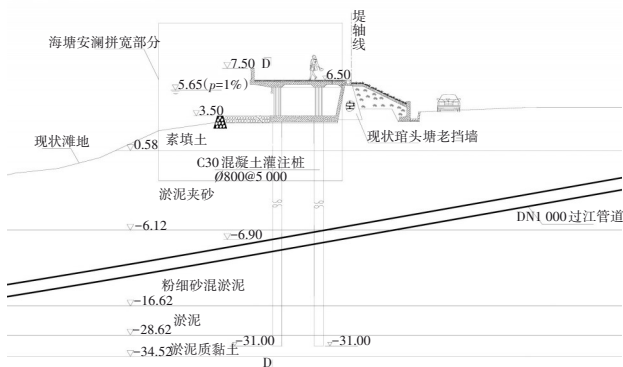


图5 管道穿越乐清市瑄头塘断面

Fig.5 Pipeline crossing section diagram of Guantoutang in Yueqing

##### 4.3 施工方法

本段过江穿越管道采用D1 020 mm×20 mm (Q235B)螺旋焊缝钢管,钢管径厚比为51(<80),径向屈曲计算 $P_{yp}=1.43\text{ MPa}$ , $0.6P_{yp}=0.86\text{ MPa}$ (>泥浆静水压力 $P_s=0.63\text{ MPa}$ ),穿越场地的基本地震动峰值加速度为 $0.05g$ (< $0.1g$ )。

本段定向钻穿越长度约1 100 m,穿越曲线入土角为 $10^\circ$ ,出土角为 $8^\circ$ ,穿越管段的曲率入土曲线半径为 $1\,500D$ ,出土曲线半径为 $1\,500D$ 。入土点位于瑄头塘后侧63 m处,出土点位于七都北岸堤坝后侧163 m处,定向钻穿越段大部分管顶覆土深度控制在现状河床下 $\geq 15$  m,靠近乐清的局部段(长度约250 m)管顶覆土深度控制在现状河床下 $\geq 6$  m位置。

#### 5 工程影响评估及措施

##### 5.1 对水利工程安全的影响评估及措施

① 按Peck经验公式,管道穿瓯江南北汉为2根DN1 000钢管,在平均值情况下,龙湾区海塘安澜工程(蒲州水闸至炮台山段海塘)堤顶沉降0.122 cm,不利值情况下沉降0.310 cm;七都南/北堤堤顶沉降0.082/0.083 cm,不利值情况下沉降0.151/0.153 cm;乐清市瑄头塘堤顶沉降0.110 cm,不利值情况下沉降0.274 cm。管道施工横向影响范围管道两侧20.0~50.0 m。管道施工引起的沉降较

小,为安全起见,施工期间通过加强监测,控制施工质量。

② 温州市龙湾区海塘安澜工程(蒲州水闸至炮台山段海塘)原老堤已运行20年,基础采用排水板处理,管道穿海塘处标高为-8.9~-2.5 m,局部可能穿过现状排水板,施工期间通过控制施工速度,减小对排水板的破坏。

③ 管道从七都南/北堤长桩(灌注桩桩长35 m,间距5.4 m)间穿过,密排短桩(灌注桩桩长15 m,底高程-15.0 m)下方5.0 m穿过,管道施工通过控制施工精度,避免对堤防基桩的破坏。

## 5.2 对跨江大桥的影响评估

供水管道工程施工对温州大桥结构影响较小,基本不会对温州大桥的桥梁结构与正常运营、交通通行产生安全风险。

## 5.3 对航道通航条件的影响评估

该工程过江管道分别穿越瓯江南/北汉通航河道,选址与相关规划、河道条件、航道条件符合性较好。瓯江北汉段管道敷设标准为现状泥面标高以下4 m,瓯江南汉段管道敷设标准为现状泥面标高以下6 m,实际穿越段管道最小覆土厚度约12~15 m,未对周边码头、桥梁等设施造成影响。

过江管道建成后,工程河段航道设置与海底管道建设之前的航道设置保持一致,且相关水流、冲淤等航道条件基本维持现状,海底管道保护范围内无相关导助航设施和航道整治工程,对河段航道条件基本无影响。

## 5.4 对通航安全的影响评估

该工程管道采用定向钻施工工艺,不涉及水上作业,建成后埋设于泥面以下,施工期及营运期对船舶通航安全不会产生影响。为加强海底管道的保护宣传工作,工程建成后会在登陆点位置附近设置醒目的警示标志,明确海底管道过江段位置并提醒过往船舶航经时引起重视。

## 5.5 效益分析评估

本工程为应急工程,工程实施时间仅有80 d,先后攻克了工期短、线路长、穿越地形复杂、钢管水平定向钻法穿越瓯江两岸堤坝基础桩精度控制要求高、长距离定向钻姿态控制要求高等一系列技术难关,顺利完成了工程建设。工程实施后,打通了温州区域供水互联通道,温州可向乐清供水 $10\times 10^4$

$\text{m}^3/\text{d}$ ,有效提高了乐清市供水系统的抗风险能力,有效保障了乐清市市民用水,缓解了旱情,实现了温州市大都市区范围内城市水资源的合理配置,保障了城市供水安全,维护了经济发展和社会稳定。

## 6 结论

① 本工程长距离大口径给水管过江采用水平定向钻施工作业,不受水面环境干扰,能实现不间断施工,符合应急工程的要求,且工艺也有较成熟的应用案例。

② 鉴于钢管具有质量轻、强度高、接口精度高、适应性强、运输及施工较易等优点,本工程过江管道采用钢管。外防腐在挤压聚乙烯防腐层3层结构(即3PE)加强级基础上对环氧涂层进行加厚处理,内防腐采用8701饮用水涂料特加强级或双组分无溶剂环氧树脂涂层或环氧粉末,并采用铝合金阳极,通过牺牲阳极法进行管道阴极保护。

③ 工程实施前的影响评估是必要的,包括对水利工程安全影响评估、对跨江大桥影响评估、对航道通航条件影响评估、对通航安全影响评估等。工程建成后与评估结果一致,基本无安全风险和影响。

## 参考文献:

- [1] 陈金象. 水平定向钻在城乡供水一体化供水管线敷设中的应用[J]. 水利科技, 2023(2): 23-24, 29.  
CHEN Jinxiang. Application of horizontal directional drilling in the laying of integrated urban and rural water supply pipelines [J]. Hydraulic Science and Technology, 2023 (2): 23-24, 29(in Chinese).
- [2] 罗靖. 惠州市东江引水一期长距离输水管道工程管材优化比选分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(23): 107-109.  
LUO Jing. Analysis on optimization comparison and selection of pipe materials for long-distance water transmission pipeline of Huizhou Dongjiang water diversion phase I project [J]. Engineering and Technological Research, 2022, 7 (23): 107-109 (in Chinese).

作者简介:卢建景(1969—),男,浙江温州人,本科,高级工程师,研究方向为城市给排水工程。

E-mail:wzgygc123@126.com

收稿日期:2024-02-28

修回日期:2024-03-08

(编辑:衣春敏)