

输水管道穿越跨海长堤设计方案比选与探讨

柳瑞海¹, 白旭峰², 渠元闯², 资强²

(1. 温州市公用事业投资集团有限公司, 浙江 温州 325700; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 温州洞头陆域引供水工程管道穿越灵霓大堤长度达 14.5 km, 是典型的输水管道穿越跨海长堤。结合大堤结构, 从管道路由选择、施工难度、大堤影响、维护检修及工程造价等方面对管道穿越大堤方案进行了充分的比较, 并选择了结合海堤顶部道路防护墙设置管槽进行敷设的穿越方案。采用植筋、抗滑齿墙、管道“蛇”型布置及端部各两个角向补偿器形成铰接链杆的方法解决了管槽结构稳定、管道沉降、热胀冷缩问题。工程建设及运行效果良好, 表明方案合理可行, 可为类似工程提供经验借鉴。

关键词: 输水管道; 跨海长堤; 穿越

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0054-05

Comparison and Discussion on the Design Scheme of Water Conveyance Pipeline Crossing a Long Sea Dyke

LIU Rui-hai¹, BAI Xu-feng², QU Yuan-chuang², ZI Qiang²

(1. Wenzhou Public Utilities Investment Group Co. Ltd., Wenzhou 325700, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The length of water conveyance pipeline crossing the Lingni sea dyke of water diversion project in Dongtou of Wenzhou reaches 14.5 kilometers, which is a typical water pipeline crossing the sea dyke. Combined with the structure of dyke, the scheme of pipeline is compared in the aspects of the route selection, construction difficulty, influence of the sea dyke, maintenance and the project cost etc., the crossing program of pipe groove with road protective wall at the top of the seawall was selected. The structural stability, settlement, thermal expansion and cold shrinkage problems were solved by reinforcement planting, anti-slide key-wall, groove sand filling and splice chain pole formed of two angle compensator methods. The good results of the construction and operation showed that the program was reasonable and feasible, which provided experience for similar projects.

Key words: water conveyance pipeline; long sea dyke; crossing

1 工程概况

温州洞头陆域引供水一期工程是一项涉海的复杂长距离输水管道工程, 设计、施工及建设管理难度都很大, 很多难点是国内其他工程难以遇到的, 在建设过程中, 建设方、设计方及施工方都积极献计献策, 进行了多次方案比选, 克服了很多难题。该工程输水规模为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中输水主管全长约 39

km, 管径 DN1 000, 沿途穿越三座岛屿、四段海域, 开凿隧道 1.5 km; 输水支管 5 km, 管径 DN300, 跨越三座桥梁、四座隧道。该工程于 2009 年 6 月顺利完工, 将新状元水厂生产的甘甜的珊溪水输送上岛, 解决了沿途瓯江口新区、霓屿岛、状元岙深水港及洞头本岛的前期供水需求, 至今运行良好。管道穿越灵霓大堤是工程的关键环节, 设计中对输水管线穿越

灵霓大堤的方案进行了比选和探讨^[1]。

1.1 管道路由概况

洞头陆域引水的必经之地为穿越灵昆岛与霓屿岛之间的海域,也是工程的关键所在,两岛之间仅由一条约 14.5 km 的海堤相连(灵霓大堤),具体如图 1 所示。

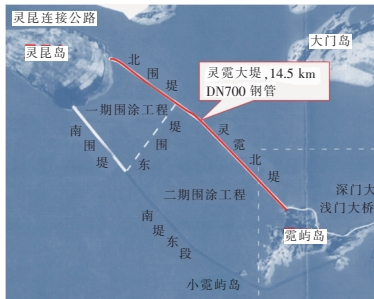


图1 管道穿越灵霓大堤示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pipeline crossing the Lingni sea dyke

1.2 灵霓大堤基本情况

灵霓大堤是连接灵昆岛和霓屿岛具有交通功能的大堤,于 2006 年 5 月建成通车,其基本结构为底部排水板处理,上部抛石填筑,护坡采用 350 mm 厚灌砌块石护砌(见图 2)。

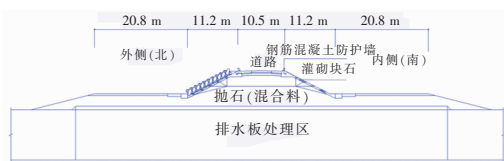


图2 灵霓大堤结构示意图

Fig. 2 Structure of the Lingni sea dyke

2 管道穿越大堤方案比选

设计中形成了四个穿越灵霓大堤的方案(见图 3),方案一和方案二是将管道布置于海堤两侧的高滩海床,方案三是将管道布置于海堤北侧镇压层,方案四是结合海堤顶部道路的钢筋混凝土防护墙新设管槽敷设。

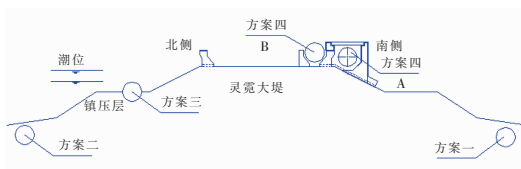


图3 管道穿越灵霓大堤方案示意图

Fig. 3 Schematic diagram of schemes of pipeline crossing the Lingni sea dyke

2.1 各方案概述

2.1.1 方案一

方案一将管道布置于海堤南侧的高滩海床,从施工方法来讲是典型的海底管线施工方案,管道采用敷管船敷设,国内有着丰富的经验,施工方法较为成熟。但从温州市总体规划来看,随着温州市发展东移,灵霓大堤南侧是规划瓯江口新区的区域,且正在进行围涂造地(见图 1),因此,方案一影响到了未来该区域的规划布局。

2.1.2 方案二

方案二将管道布置于海堤北侧的高滩海床,其优点是管道敷设在围垦区以外,不受围涂工程影响,避开了近岸段,远离海堤且埋于海底,受台风的影响较小,管道运行相对安全。缺点是管道位于堤坝的北侧,管道完全敷设于海底,单管条件下,一旦发生事故,修复难度很大,如果采用供水保证率较高的双管敷设,则代价过高。

2.1.3 方案三

方案三将管道敷设于灵霓大堤北侧镇压层。根据海堤镇压层的厚度确定管道在镇压层中的埋设方式,当镇压层厚度 ≥ 2.0 m 时采用沟埋方式敷设,当镇压层厚度 < 2.0 m 时采用半埋方式敷设。共分为三段,其中头尾两段采用半埋方式敷设 6.6 km,中间一段采用沟埋方式敷设 7.9 km。

① 沟埋方式

沟埋方式是通过在镇压层上开挖沟槽后敷设管道的方法,沟槽槽底平均宽为 1.2 m,平均坡度为 1:0.5~1:1.0,沟槽开挖后,应进行地基的整平处理,在管道四周首先铺设土工布,然后铺设级配砂石以保护和稳定管道,并在管道上部采用浆砌或干砌块石的方法保护管道(见图 4)。

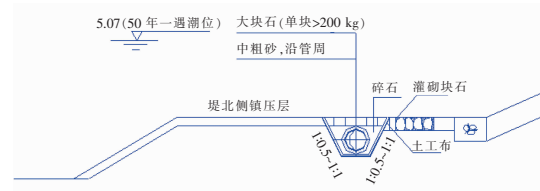


图4 管道沟埋做法示意图

Fig. 4 Practice of buried pipeline

② 半埋方式

头尾两段,为了避免对镇压层造成较大破坏而影响大堤的安全,采用开挖镇压层约 0.70 m,将一半管道放置在沟槽内敷设,在管道上方采用 U 型块

保证管道的稳定和安全。U型块开孔率为20%~40%,起到粉碎波浪及削浪的作用(见图5)。经分析计算,管线所受的水平波浪力为7.8 kN/m,垂直波浪力为5.2 kN/m,管线整体所受的浮托力为41.6 kN/m,考虑管道受到的浮托力后,U型块的最小质量为5.45 t/m。

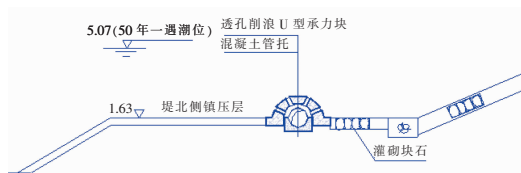


图5 管道半埋做法示意图

Fig. 5 Practice of half buried pipeline

③ 方案三分析

管道铺设于堤外镇压层平台上,敷设后的管道与海堤的安全休戚相关,不论是开挖镇压层,还是增加压块荷载,都会改变大堤的原设计使用条件,大堤今后的稳定也决定管道的安全。方案三没有可供参考的国内外实例,尚需进行水力模拟试验,大堤设计单位也需重新进行管道敷设对大堤的影响评估。虽然相比方案一和方案二,管道维护检修相对方便,但管道总体运行风险较大。

2.1.4 方案四

方案四主要是结合海堤顶部道路的防护墙设置管槽进行敷设,管槽可敷设在防护墙的内侧和外侧,从安全性方面看,在内侧结合防护墙设置管槽是最为可靠的方案,但占用了道路断面。经与大堤及道路相关部门协商,堤顶道路是连接洞头的唯一交通要道,仅有双向两车道,堤顶道路设计宽度并不富余,管道敷设内侧,挤占了行车道,存在交通隐患,而且在交通事故情况下又会对管道造成损坏。因此,方案四只能考虑将管槽设置在道路钢筋混凝土防护墙外侧。

将管槽设置在堤顶道路防护墙外侧,一方面管道在高程上达到了50年一遇高潮位的标高,能够尽量避免潮位影响;另一方面不会对大堤内部的结构层产生破坏,对大堤的影响也相对较小,后期的检修也较为方便。

考虑到灵霓大堤在建设初期并不稳定,每天的沉降量约为2 mm,因此为了减少输水管道对大堤的影响,降低荷载,建设方提出将方案四作为应急路由方案,先敷设应急管道,经计算管径确定为DN700,

满足洞头近期的应急供水量,待后期DN1 000管道与77省道公路建设同时进行。

2.2 管道穿越海堤方案选择

为了进行全面比较,对各方案的工程投资进行了比较(见表1)。

表1 各方案造价对比

Tab. 1 Cost comparison of each scheme 万元

项 目	工程投资	备 注
方案一	7 522	投资按2006年工程建设期物价水平计算,其中方案四包含了应急管道及后期管道两部分的总投资
方案二	7 845	
方案三	10 250	
方案四	8 869	

从投资上看,方案一和方案二差别较小,方案三投资较高,方案四较方案一和方案二略大,但是包含了后期管道的投资,近期管道投资最少。综合以上四个方案的分析,管道穿越海堤,第一要考虑温州市总体规划的影响,第二要考虑对已建大堤及堤顶道路的影响,第三要考虑管道运行后自身维护检修,第四是工程造价要相对合理。从以上四个方面进行分析,方案一与温州市总体规划有冲突,方案二不利于后期的维护检修,方案三对大堤的影响较大,投资也最大,方案四较大程度上克服了其他方案的缺点,投资也相对较省,主要需要解决的难点是管槽与大堤间的连接及稳定。

在征求意见后,方案四也是各相关部门可接受的最优方案,因此,选择方案四作为管道穿越灵霓大堤的推荐方案。

3 管道穿越大堤设计

3.1 管材选择

考虑大堤沉降及管道敷设条件的复杂性,穿越灵霓大堤管道考虑采用连续管材。主要对钢管及PE管进行比较,管道管径为DN700,钢管选用D720×9,PE管选用dn710,δ=33.9 mm,实际管内径为642 mm。

管道水力计算采用海曾-威廉公式,钢管海曾-威廉系数取值为135,而PE管管壁光滑,海曾-威廉系数取值为145。经过水力及经济计算,两种管材的供水量及投资比较见表2。从供水量及延米综合投资看,同等条件下,PE管供水量较钢管小,且投资高,因此,综合考虑钢管强度高、接口精度高、对各种地形和地质条件及恶劣环境适应性强的特点,管道穿越灵霓大堤的管材选择采用钢管。

表2 管材比较

Tab.2 Comparison of pipe material

项 目	应急供水量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	延米投 资/元	备 注
钢管 (DN700)	4.27	3 300	延米投资按 2006 年 工程建设期物价水 平计算
PE 管 (dn710)	3.85	4 128	

3.2 管槽设计

管槽设计主要是管槽与大堤护坡及堤顶道路侧防护墙之间的连接。为尽量避免扰动大堤,管槽外侧壁板及底板通过在原大堤混凝土及灌砌块石上植入钢筋进行连接,并在大堤上间距 5 m 设置一个混凝土齿墙,起到抗滑及加强与大堤间整体性的作用;堤顶道路侧防护墙部位也通过植筋方式进行加高,沟槽每隔 10 m 左右设伸缩缝(与堤顶道路防护墙伸缩缝对应设置);管槽顶部设置钢筋混凝土预制盖板,便于后期检修维护;管槽底部与道路排水孔对应设置排水管,不影响降雨及涌浪上堤时道路排水(见图 6)。

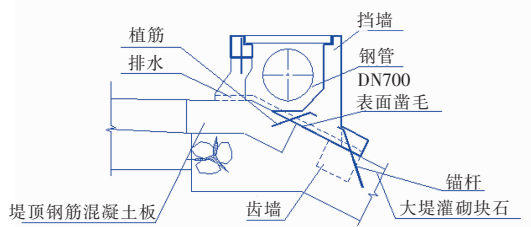


图6 管槽与大堤连接做法

Fig.6 Connection of pipe groove and sea dyke

3.3 管道沉降处理

由于大堤底部采用排水板处理,其建成后的沉降问题对管道具有较大的影响,特别是管道两端与岛接点部位,由于岛上主要为岩石层,几乎不发生沉降,与大堤海内部位形成的沉降差很大。为了适应海堤的沉降,在海堤两端的堤、岛接合部分别设置了两个角向补偿器,形成一个两端铰接的链杆,再叠加补偿器自身可转动的角度后,它们适应沉降的能力会大大增加。同时,管道铺设时在管槽内“蛇”形布置,进一步增加了管道适应沉降的能力^[2]。

3.4 温差条件下热胀冷缩处理

管道施工闭合温差及使用阶段季节温差取 $\pm 25^\circ\text{C}$,经计算,14.5 km 的管道总伸长或缩短量为 4.35 m。设计中适当加大管槽横断面,在管槽内满槽填

充中粗砂,削减温度变化的影响,降低管道的伸缩量,并在管槽内“蛇”形布置,尽量消除温差条件下热胀冷缩对堤、岛接合部位产生的不利影响^[2]。

4 管道运行

2009 年,温州洞头陆域引供水一期工程建成通水,至今灵霓大堤沉降已经超过 1 m,同时还经历了多次台风及大堤南侧 77 省道施工堆载预压的影响,但管道总体运行情况良好,对洞头县供水发挥着至关重要的作用。图 7 为管道投入运行后的现场照片。

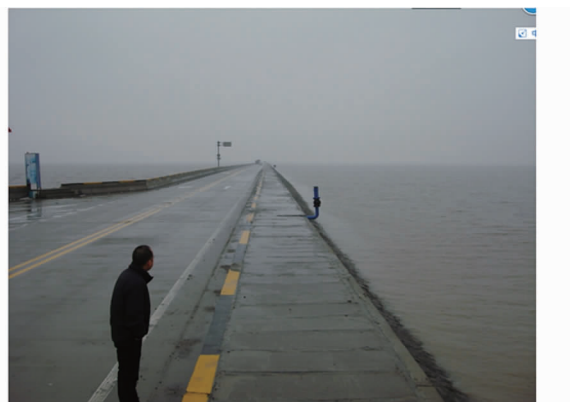


图7 管道现场照片

Fig.7 Picture of pipeline site

5 结论

① 输水管道与海堤结合进行敷设时,管道应结合海堤结构进行设计,与海堤主体结构间的连接要确保稳定可靠,并且应尽量不对大堤主体结构造成破坏影响。

② 管道路由及高程选择时,要尽量避开波浪影响区,避开设压层。如布置在波浪影响区,一方面长期条件下波浪冲刷对管道结构有不利影响,防护措施的投资会比较大,另一方面管道的建设也会影响到大堤自身的安全。

③ 由于海堤的沉降量一般比较大,设计中要充分考虑海堤沉降对管道的影响,可采取“蛇”形敷设的方式,堤岛接合部位设置角向补偿器等措施,保证管道运行安全。

④ 管材选择上,对穿越地质状况复杂的长距离海堤应尽量选用钢管。本工程中,后期大堤南侧 77 省道的施工堆载及建成后的影响,再次证明选择抗变形能力强的钢管是正确的。

⑤ 穿越长距离海堤,尽量通过设置管槽、槽内

(下转第 62 页)