

北溪引水主干渠改造平面方案比选及水力计算

许励耕¹, 王璐璐²

[1.厦门市市政建设开发有限公司, 福建 厦门 361008; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 基于北溪引水主干渠改造中灌新路节点形式提出 3 种平面布置方案,通过渠线选择、水力计算、造价等方面的比选可知,利用现状箱涵过灌新路隧道使得水头损失较小、不占用地块、对 4 号线影响较小。同时,结合其他因素确定改造工程选线平面方案,进行新旧箱涵水力复核计算,为类似工程提供参考。

关键词:北溪引水主干渠;方案比选;水力计算

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0111-04

1 工程概况

马銮湾地理坐标在东经 $117^{\circ}52'53''$ — $118^{\circ}01'41''$ 、北纬 $24^{\circ}30'11''$ — $24^{\circ}37'06''$ 之间。马銮湾地区基本地形特征是背山面水,东邻厦门西海域,南、西、北三侧都是陆域,形成典型的海湾地形特征。本次北溪引水主干渠改造工程属于主干渠厦门段(全长 22.084 km),由下尾村至陈井村,沿途经过后头村、贞岱村等村庄,现状箱涵全程采用暗涵形式^[1]。

本工程为供水工程,工程等别为 I 等,主要建筑物为 1 级,次要建筑物为 3 级,临时性建筑物为 4 级。主体部分箱涵、虹吸管为主要建筑物,建筑物等级为 1 级;其他建筑如有利于维护的节制闸、分水渠和分水闸等为本工程次要建筑物,建筑物等级为 3 级;基坑、临时围堰等级为 4 级。洪水标准:设计选取 30 a,校核选取 100 a。

基于北溪引水主干渠现状产生的问题,改造工程的建设,将改善城市供水情况,推动优化片区规划,促进周边地块的开发,提供更好的休闲场所,对提高居民生活质量、改善投资环境均十分有利^[2]。

2 工程设计

2.1 渠线设计

改造工程位于厦门市马銮湾新城北侧临湾地段,项目起于规划过芸溪湿地公园西侧(即轨道2号线东侧),沿孚莲东二路与环湾大道向东延伸,途径下尾村、贞岱村、陈井村、地铁4号线、灌新路、浦林,终于深青溪东侧,全长约5.746 km。跨越海沧、集美

收稿日期：2022-01-20

作者简介: 许励耕(1969—), 男, 学士, 高级工程师, 从事给排水工作。

两个区域,改造原左干渠桩号 K5+223~K11+066,新建主干渠桩号 K0+000~K5+739。

本次改造工程西侧为已建成地铁 2 号线,本工程处于马銮湾北与马銮中心站之间。工程起点建设于老箱涵过芸溪倒虹吸西边,距离地铁 2 号线约为 50 m。

由于过芸溪湿地公园正在方案阶段,根据规划过芸溪河道宽度和深度,设计箱涵倒虹段,起点施工与过芸溪湿地公园施工工序统筹协调,保证过芸溪行洪功能。

根据地形、地貌、城市用地布局,经过多方面综合比较,最终选择综合效益最佳的方案。走线方案见图 1。工程范围总体布置图见图 2。

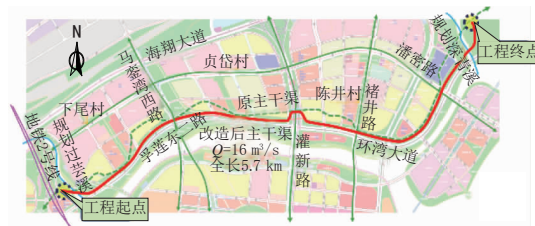


图 1 工程初步总体选线方案

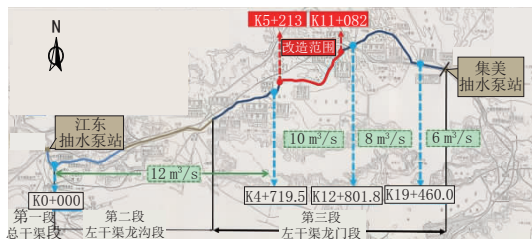


图2 北溪引水主干渠改造工程(马銮湾新城段)工程范围

2.2 水力计算

2.2.1 明渠均匀流水力计算公式^[3]

流速公式 $V = C\sqrt{Ri}$

流量公式 $Q = AV = AC\sqrt{Ri}$

流量模数 $K = AC\sqrt{R}$

$$\text{曼宁公式 } C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

式中: C 为谢才系数,对于平方摩阻区宜按曼宁公式确定; R 为水力半径, m ; i 为渠道纵坡,本项目初步拟定 $i=0.1\%$; A 为过水断面面积, m^2 ; n 为曼宁粗糙系数,其值按《渠道防渗工程技术规范》(SL 18—2004)确定,按混凝土材料 $n=0.012\sim 0.015$ 计取。

2.2.2 虹吸管水力计算公式

依据《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—2018)附录 N 倒虹吸水力计算。

$$Q_{引} = \mu_c A \sqrt{2gZ}$$

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{L}{D} + \sum \xi_i}}$$

式中: $Q_{引}$ 为引用流量, m^3/s , 计算值为 $0.4 m^3/s$; A 为虹吸管断面积, m^2 ; Z 为上下水位差, m , 计算值为 $0.5 m$; D 为虹吸管管径, m ; L 为管长, m ; λ 为沿程损失系数; ξ_i 为局部损失系数。

3 工程选线平面方案

3.1 灌新路节点方案拟定

基于上述渠线设计进行细化,整体思路为新建主干渠建于原左干渠与孚莲东二路、环湾大道中间。灌新路附近环境较为复杂,灌新路隧道与新、老干渠均有交叉,此处灌新路隧道结构为 U 型槽结构,断面示意图见图 3。

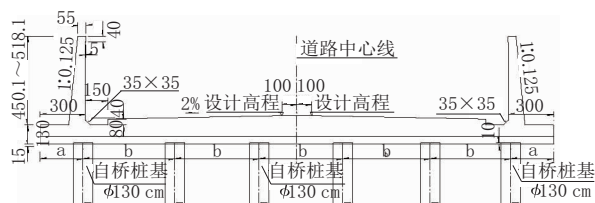


图3 U型槽断面图

拟定3个方案进行比选,具体内容如下:

方案一: 利用现状箱涵+联接管过灌新路 U 型槽。新建箱涵沿孚莲东二路桥北侧铺设,与灌新路相交时,向北折与现状箱涵连通,利用现状箱涵通过灌新路。下游过灌新路后,向南转折继续沿新建环湾大道敷设。考虑到远期供水规模需达到 $16 m^3/s$,如仅采用现状旧箱涵,难以满足,故在现状箱涵南侧新建 $3 m$ 直径联接管一根,总长约 $80 m$,待远期供水规模提升后,联接管使用,保证灌新路节点过流能力。方案一平面图见图 4。

方案二: 顶管下穿灌新路 U 型槽。为减少新老箱涵切割存在的断水风险,减少割接次数,拟新建 2 孔

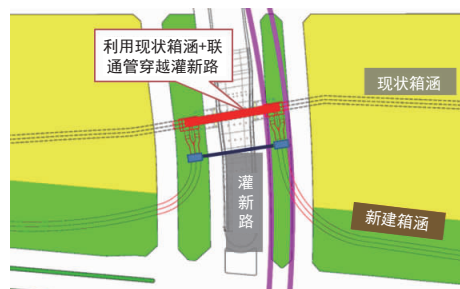


图4 方案一平面图

钢管 DN3 000 倒虹下穿灌新路隧道,采用顶管方式施工。新建 2 孔钢管分别从 U 型槽两个排架中间穿越,钢管外壁与桩基外边线最小净距 $1.2 m$ 。顶管两侧分别设置工作井与接收井。方案二平面图见图 5。

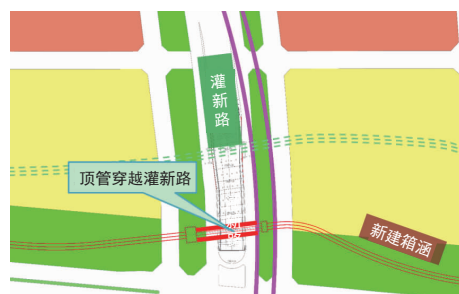


图5 方案二平面图

方案三: 拆除 U 型槽新建箱涵。为减少新建箱涵埋深,新建箱涵沿孚莲东二路桥北侧铺设,与灌新路相交时向北折,建于现状箱涵南侧。下游过灌新路后,向南转折继续沿新建环湾大道敷设。修建时需拆除部分 U 型槽底板和侧板,新箱涵建设后,恢复 U 型槽。方案三平面图见图 6。

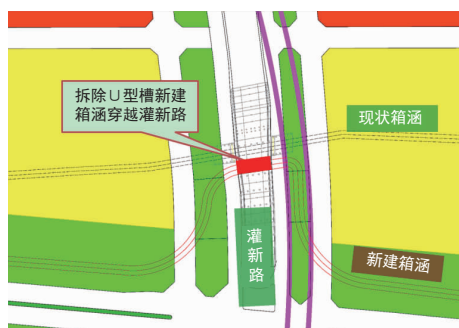


图6 方案三平面图

3.2 灌新路节点方案比选

灌新路节点 3 种方案优劣见表 1。

由图 4 及表 1 可知,方案一虽然平面线形图突起,局部转折,直观感受欠佳,但仍布置于两侧绿地,并不占用地块。由于利用了老箱涵,施工期对灌新路隧道影响较小。箱涵底标高为 $-1.48 m$ 左右、联接管底标高为 $-5.36 m$ 左右,地铁 4 号线基本位于 $-6.5 m$ 以下,箱涵和联接管皆不影响未来地铁 4 号

表 1 灌新路节点方案比选

项目	方案一	方案二	方案三
水头损失	0.029 m	0.059 m,较大	0.021 m
平面线形	平面线形突起,局部转折	平面线形平滑,纵向上增加一处倒虹段	平面线形突起,局部转折
占地	布置于两侧绿地,不占用地块	少量占用地块	布置于两侧绿地,不占用地块
对未来地铁 4 号线影响	较小	较大	相对较小
对灌新路隧道影响	较小	较大	拆除重建 U 型槽,破坏结构整体性
造价	较低,约 317 万元	较高,约 913 万元	较高,约 879 万元
标高	标高顺接	标高突变	标高顺接

线建设。近期阶段,联接管暂不开启,从箱涵纵向标高上考虑,箱涵整体标高顺接,并无突变点。经水力计算,方案一水头损失为 0.029 m。远期供水规模达到 16 m³/s 后,开启联接管保证灌新路节点过流能力。灌新路局部区域新建主干渠+联接管造价较高,约 1 317 万元。

由图 5 及表 1 可知,方案二平面线形顺滑,顶管方案需建设工作井和接收井,东侧由于顶管井和管线最小转弯半径等要求,局部超出绿地,占用少量地块。顶管净距距离桩基 1.2 m,施工过程对灌新路隧道影响较大,施工风险较大。顶管底标高为 -6.5 m 左右,虽然地铁 4 号线基本位于 -6.5 m 以下,但两者纵向距离较近,影响未来地铁 4 号线建设。从箱涵纵向标高上考虑,纵向增加一处倒虹。经水力计算,方案二水头损失稍大,为 0.059 m。灌新路局部区域新建主干渠造价较高,约 913 万元。

由图 6 及表 1 可知,方案三虽然平面线形突起,局部转折,直观感受欠佳,但仍布置于两侧绿地,并不占用地块。本方案需拆除重建 U 型槽,破坏结构整体性,且施工期间对灌新路影响较大、协调方较多,施工期间,影响交通,需协调区域交通和临时通道。箱涵底标高为 -3.93 m 左右,地铁 4 号线基本位于 -6.5 m 以下,箱涵不影响未来地铁 4 号线建设。经水力计算,方案三水头损失为 0.021 m。灌新路局部区域新建主干渠造价较高,约 879 万元。

综上所述,本次北溪引水主干渠改造工程选择水头损失较小、不占用地块、对 4 号线影响较小的方案一——利用现状箱涵过灌新路隧道。

3.3 其他因素

道路和综合管廊及绿地的规划也对北溪引水主干渠改造工程选线有较大影响。

孚莲东二路与环湾大道下方均有综合管廊。综合管廊位于道路红线以内,主干渠与综合管廊关系见图 7。主干渠平面布置时,需考虑与综合管廊的关

系,在与老箱涵和道路较近区域采用基坑形式进行开挖。



图 7 主干渠与综合管廊关系图

北溪引水主干渠改造工程中,主干渠布置于规划绿地中。规划绿地平面布置见图 8。

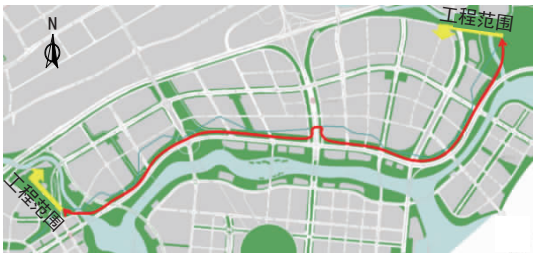


图 8 主干渠与综合管廊关系图

3.4 选线方案确定

本次渠道改造工程尽量少占耕地、不毁或少毁林带,同时避免渠道在改造过程中出现过大的填挖方量,渠道纵坡在实地测量的基础上稍作调整。

灌新路段利用现状箱涵过 U 型槽,箱涵线路在灌新路段呈“几”字形。主干渠结构形式为双孔钢筋混凝土箱涵,矩形暗涵内口断面尺寸为:2 m×4.3 m×4.5 m(孔×宽×高),设计过流 16 m³/s。

4 渠道水力计算

结合各渠道的实际情况,考虑施工方便,首先确定底宽,再根据明渠均匀流计算公式计算渠道水深、渠深等渠道参数,复核渠道过流能力。通过渠道水力要素计算表,使其满足渠道不冲不淤流速,以达到设计要求^[4]。

4.1 水力参数

改造段采用自流输水方式,设计输水量为 $16 \text{ m}^3/\text{s}$,工程起终点与原箱涵接顺,满足箱涵供水能力,保证进口水位不变,保持底板高程和断面形式与现状箱涵接顺。工程控制点各设计断面、水位和高程见表2和表3。

表2 已建箱涵断面水力参数

设计流量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	比降	水深 /m	断面尺寸 /m	流速 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
16	1/30 000	3.891	$2 \times 4.3 \times 4.5$	0.48

表3 已建箱涵控制断面水力参数

断面位置	原始桩号	底板高程 / m	水面高程 / m
过芸溪湿地公园	K5+220	-1.430	1.840
灌新路左	K8+274	-1.622	1.648
灌新路右	K8+380	-1.626	1.644
浦井路	K9+620	-1.651	1.619
陈井村	K10+240	-1.680	1.590
深青溪	K11+080	-1.712	1.558
集美抽水站	K22+084	-2.110	水位不低于 0.82 m

4.2 原箱涵复核

现状箱涵总长度约 5 860 m,线位多处弯折,沿程有过芸溪过河、后浦溪过河、潮瑶倒虹段,共 3 处倒虹。现状箱涵设计坡降 1/30 000,总水头损失 0.274 m。本工程改建箱涵在起终点与老箱涵接顺,新建箱涵水头损失不影响供水能力。

4.3 新建箱涵水力计算

本工程采用重力自流输水方式,设计输水量为 $16 \text{ m}^3/\text{s}$,工程起终点与原箱涵接顺,满足箱涵供水能力,保证进口水位不变,保持底板高程和断面形式与现状箱涵接顺。与现状箱涵相比,新建箱涵沿线水力条件变化如下:

(1)新建箱涵取消了现状多处弯折,线形顺畅,箱涵总长度减少 130 m,标准段损失大大降低。

(2)新建箱涵糙率采用 0.015,设计坡降 1/30 000,

断面设计流速 0.48 m/s,设计水深 3.891 m。

(3)沿线 4 处过河倒虹段:a. 过芸溪倒虹,规划河底高程 1.30 m。b. 后浦溪倒虹,规划河底高程 0.50 m。c. 贞岱渠倒虹,规划河底高程 0.00 m。d. 深青溪倒虹,规划河底高程 1.10 m。

新建箱涵倒虹过河,倒虹段为满管压力流^[5]。经水力计算,采用坡降 1/30 000,设计流速 0.41 m/s,糙率 0.015,利用现状灌新路过路、倒虹断面与现状一致的方案,总水头损失可节省 0.019 m。

因此,利用现状箱涵过灌新路,设计倒虹段与现状倒虹断面一致,通过设置倒虹入口段沉砂池,沉砂池设计流速 0.22 m/s,可沉积大于 0.35 mm 以上颗粒,满足规范要求。闸室内建有闸门,可满足清通要求。清通设备采取可用吸泥机配合潜水员作业清淤。

设计箱涵总水头损失较现状箱涵低 0.019 m。其中,标准段水头损失降低 0.053 m,倒虹段总水头损失增加 0.034 m。

5 结 语

以北溪引水主干渠改造工程为实例,通过对改造选线中灌新路节点方案的比选及其他因素的分析确定最终选线方案,并进行了新老箱涵水力计算。结果表明,新建箱涵水头损失大大降低。北溪引水主干渠改造工程的实施可为今后类似工程提供依据和参考。

参考文献:

- [1] 李焯明.九龙江北溪引水左干渠改造二期工程技术及特点[J].水利科技,2013(4):28-30.
- [2] 陈振炉.北溪引水左干渠角美区域内涝成因分析与治理[J].湖南水利水电,2020(6):93-96.
- [3] 武汉水利电力学院水力学教研室.水力计算手册[M].武汉:水利电力出版社,1983.
- [4] 周赤,万里巍,何勇,等.南水北调中线工程倒虹吸管道水力学试验研究[J].长江科学院院报,2002(S1):8-10.
- [5] 姚霄雯,张秀丽,傅春江.混凝土坝溃坝特点及溃坝模式分析[J].水电能源科学,2016(12):83-86.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com