

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 08. 009

重庆长寿长江二桥跨江给水管道工程设计

皮家悦, 周传, 周志强, 梁正芳

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 沿桥梁主体铺设是给水管道跨江过河的主要方式之一, 具有施工难度低、检修维护便利等优点。长寿长江二桥是一座跨长江的大跨度悬索桥, 主桥及引桥全长1 401 m, 主跨采用739 m的单跨简支钢箱梁悬索桥, 该次实施的给水管道管径为DN500。在主体桥梁未预留管位的情况下, 将给水管道布置在中间分隔带中, 通过有限元分析软件和风洞试验可知, 给水管道的铺设对该桥的抗风性能没有本质影响; 对管道和桥梁伸缩变形进行了分析, 合计最大伸缩量为2 073.12 mm, 合理布置了伸缩节和支座; 通过防水锤、防爆管应对措施等多方面的优化设计, 为工程建设的顺利实施创造了条件。工程建成通水后正常运行至今, 相关设计经验可为类似项目提供参考。

关键词: 跨江给水管; 悬索桥; 伸缩节; 水锤; 抗风性能

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0054-05

Design of River-crossing Water Supply Pipeline for Changshou Yangtze River No.2 Bridge in Chongqing

PI Jia-yue, ZHOU Chuan, ZHOU Zhi-qiang, LIANG Zheng-fang

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: One of the primary methods for river-crossing water supply pipelines is to lay them along the main structure of the bridge. This approach offers several advantages, such as relatively low construction complexity and ease of maintenance. Changshou Yangtze River No.2 Bridge is a long-span suspension bridge spanning the Yangtze River. The total length of the main bridge and approach bridge is 1 401 m, with the main span being a single-span simply supported steel box girder suspension bridge measuring 739 m. Additionally, this project incorporates the water supply pipeline with diameter of DN500. In the event that the main bridge has not reserved a conduit position, the water supply pipeline was arranged within the median strip. Finite element analysis software and wind tunnel tests demonstrate that the placement of the water supply pipeline does not exert significant influence on the wind resistance performance of the bridge. The analysis of the expansion and deformation for both the pipeline and the bridge indicates a total maximum expansion of 2 073.12 mm. Based on this analysis, the expansion joints and supports were strategically positioned. The implementation of optimization designs such as preventing water hammers and pipe bursting, and other measures established favorable conditions to ensure the smooth progress of project construction. The project has operated normally since its completion, and the associated design insights can serve as a valuable reference for similar projects.

Key words: river-crossing water supply pipeline; suspension bridge; expansion joint;

water hammer; wind resistance performance

1 项目概况

长寿长江二桥位于重庆市长寿区,连接了长江北岸的化工园区、晏家工业园区和长江南岸的江南钢城,是长寿区城市路网跨越长江的重要节点工程^[1],其航拍照片如图1(a)所示。长寿长江二桥为城市主干道,设计时速60 km/h,主桥及引桥全长1 401 m,主跨采用739 m的单跨简支钢箱梁悬索桥,主缆矢跨比为1:9,桥塔采用门式混凝土框架结构。桥面上包括中间分隔带、车行道、人行道和吊索区,总宽度34 m,吊索标准间距12 m,南北锚碇均为埋置式重力锚。

在桥面施工过程中,要求新增一根DN500给水管道,自北向南由江北的水厂向江南片区供水,近期供水量为5 000 m³/d,远期供水量为20 000 m³/d,项目布置如图1(b)所示。桥梁在设计之初未预留给水管管位,因此,选择合适的管位、优化相关设计、采取必要的技术措施是保证项目顺利实施、桥梁和给水管道安全稳定运行的重要条件。



a. 航拍照片

b. 项目布置

图1 长寿长江二桥航拍照片及项目布置

Fig.1 Aerial view of Changshou Yangtze River No.2 Bridge and layout of the project

2 跨江方式分析与论证

国内常用的给水管道跨江方式主要有3种^[2]:

① 沿江底河床以下铺设

根据地质情况、水深情况、实施风险等因素,可以选用顶管法、盾构法、沉管法等施工方式^[3]。该方法的优点是建成后管道位于河床底部,对江河通航能力影响小;缺点是施工周期长,施工难度大,管道建成后维护难度大。

② 修建专用的过江管桥

该方案的优点是可以实现专管专用,便于维护

管理;缺点是造价高,施工周期长,且管桥的修建可能会影响河道的通航功能。

③ 利用桥梁主体跨江

该方案施工周期短,便于施工和维护,建成后对河道通航能力影响小,但需要桥梁提前预留合适的管位并考虑相关荷载。如果桥梁在设计之初没有预留管位,则需要结合具体情况进行论证,要求新增的给水管道必须在桥梁允许的荷载范围内,且不能对桥梁的主体结构产生不良影响。《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011,2019年版)规定:条件许可时,在桥上敷设的电信电缆、热力管、给水管、电压≤10 kV的配电电缆、压力≤0.4 MPa的燃气管必须采取有效的安全防护措施。

鉴于此次新增管道需要跨越长江,江底地形复杂多变,水下作业难度较高且有通航需求,因此新建DN500管道利用现有桥梁主体跨江,实施难度小、成本低、工期短,符合该工程的实际需求。

3 跨江给水管道设计

该项目服务范围内远期供水量为20 000 m³/d,时变化系数为1.4。确定给水管道管径为DN500,最高时流速为1.65 m/s;工作压力0.80 MPa,试验压力1.30 MPa。

3.1 管位的选择

给水管道在桥梁上的管位如图2所示。

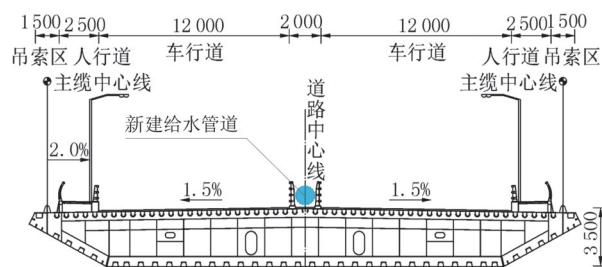


图2 给水管道在桥面位置示意

Fig.2 Schematic of the position of water supply pipeline at the bridge deck

与桥梁共建的给水管道主要敷设位置包括人行道下、桥梁钢箱梁处等,但该桥梁在设计之初未预留给水管管位,两侧的人行道高度不足,且空间也已被其他综合管线占据。经综合考虑,此次新增给水管道布置于宽度为2 m的桥梁中间分隔带。管

道采用钢支座固定,管中心距离桥面565 mm。管道正常运行时,新增荷载为4.2 kN/m。在满布荷载作用下,管道荷载增加前后桥梁跨中竖向挠度分别为1 023.14、1 023.27 mm,可见管道荷载对桥梁的荷载影响微小,荷载增加前后的竖向挠度均小于 $L/250$,即2 956 mm。

3.2 管材的选择

新建跨江给水管道的桥面上架空敷设,因此要求管材具有足够的强度和防腐性能,还需适应桥梁的变形。选用螺旋缝焊接钢管,外径530 mm,壁厚10 mm,具有强度高、耐冲击性强等优点。管道外防腐采用聚氨酯,GH602环氧铁红底漆2遍,GH701环氧云铁中层漆2遍,GH502氯化橡胶彩色防腐漆1遍;明露部分面漆调为白色,与桥梁栏杆颜色相匹配;防腐层厚度 $\geq 600 \mu\text{m}$ 。内防腐采用无毒环氧树脂(达到饮用水卫生指标的IPN8710-1)以专用涂料机械喷涂,二底四面,总干膜厚度 $\geq 450 \mu\text{m}$ 。

3.3 防水锤措施

该工程最高点与桥梁最低点高差约60 m,输水管道长5.8 km,可能会发生水锤效应,引起管道压强的剧烈变化。为保障桥梁及管道安全,一方面通过优化管道线型和排气等设施的布置减弱管道压强的变化,另一方面合理设置镇墩降低水锤冲击荷载。

该工程主要采取的措施如下:①桥梁上的管道采用直线布置,不转弯,不设置阀门;②上下桥段处设置的阀门与桥梁起拱段的距离保持在10 m以上;③在容易发生弥合水锤的制高点设置防水锤型空气阀(高速吸气口径100 mm,微量排气口径5.6 mm)、其余管道隆起处设置复合式高速进排气阀(高速吸气口径100 mm,高速排气口径100 mm,微量排气口径5.6 mm);④桥梁上的排气管竖直向上安装引至中间分隔带上空,既满足了给水管道的进排气需求,又避免了管道设备对桥梁安全通行的影响^[4-5]。

为进一步保障管道安全,在明敷管道的两端(管道从埋地转为明敷处)按照管道的试验压力设置独立镇墩,其承担了大部分由冲击荷载引起的动力效应,减轻了对桥梁结构的不利影响^[6]。

3.4 防爆管措施

桥面上管道最高安装高度为237.37 m,而江南和江北段的管道均有258~262 m的制高点。当桥面

上的管道发生爆管时,桥梁两侧水流可能会对桥梁结构造成冲击。该工程在管道上桥前和下桥后的埋地段各安装爆管控制阀1个,放置于阀门井中。爆管控制阀通过感知流量变化实现启闭,采用液动力,无需外部供电。如果桥上管道发生爆管,两侧阀门自动关闭,避免水流对桥梁产生冲击,从而保障桥梁的安全。

4 管道和桥梁伸缩变形研究

当管道明铺于桥面时,不仅管道会发生伸缩变形,桥梁也会存在受力变形,但二者的变形不同步。钢箱梁悬索桥的伸缩主要由汽车位移、温度和风荷载决定,而管道自身的伸缩主要受温度影响,二者伸缩量叠加即为管道总的伸缩量。钢箱梁悬索桥主桥桥面在风荷载作用下还会产生一定的横向变形,在风荷载和车辆荷载作用下会发生高频率震动,因此管道伸缩节需同时考虑管道较大的纵向伸缩变形以及微量的横向变形,解决上述问题是该项目的核心内容之一。

4.1 管道伸缩量的计算

DN500管道在主桥及引桥的架空全长1 401 m,长寿区多数年份极端高温38℃,极端低温0℃,管道内水温15℃,分别计算管道在高温及低温情况下的伸缩量。管道伸缩量计算公式如下:

$$\Delta L = L \alpha t \quad (1)$$

式中: ΔL 为管道伸缩量,m; L 为管道长度,m; α 为管道的线膨胀系数,钢管采用 $12.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; t 为最大温差,℃。

经计算,高温时管道伸缩量 $\Delta L_1 = 1\,401 \times 12.2 \times 10^{-6} \times (38 - 15) = 0.393\,12 \text{ m}$,低温时管道伸缩量 $\Delta L_2 = 1\,401 \times 12.2 \times 10^{-6} \times (0 - 15) = -0.256\,38 \text{ m}$ 。因此,管道的伸缩变形主要受温度影响,其最大变形量为393.12 mm。

4.2 桥梁伸缩量的计算

根据桥梁设计单位提供的资料,桥梁主要受汽车位移、横风位移、整体降温、整体升温等多方面的影响。主桥最大伸缩量为1 623.04 mm,悬索桥在主桥两端设置1680型伸缩缝,纵向变形量 $\pm 840 \text{ mm}$,以应对桥梁的变形。

4.3 总伸缩量的计算

通过上述数据可知,桥梁的变形量远大于给水管道的变形量。为保障管道及桥梁安全,考虑两种

极端情况:当桥梁伸缩缝在荷载下达到最大伸长量(1 680 mm),同时管道处于全年最低气温(管道变形量-256.38 mm)时,管道伸缩节即达到最大伸长量(1 936.38 mm);反之,当桥梁伸缩缝在荷载下达到最大收缩量(1 680 mm),同时管道处于全年最高气温(管道变形量393.12 mm)时,管道伸缩节即达到最大收缩量(2 073.12 mm)。经上述分析可知,管道伸缩节需应对2 073.12 mm的变形量。

4.4 伸缩节和支座布置

该项目钢管铺设于钢箱梁悬索桥桥面,除受温

度影响外,还需应对桥梁的伸缩变形。为适应钢管较大的伸缩需求,设计采用4个特制的1000型伸缩节进行组合(最大伸缩量 ± 500 mm),同时还设有2个双球型伸缩节(最大伸缩量 ± 120 mm),合计最大伸缩量2 240 mm,其中双球型伸缩节还能应对微小的横向位移,伸缩节组合布置在引桥上靠近桥梁的伸缩缝处。为保证钢管的变形可控,同时充分发挥各特制伸缩节的伸缩性能,在主桥中间设置固定支座,其余位置设置滑动支座。伸缩节和管道支座的具体布置如图3所示。

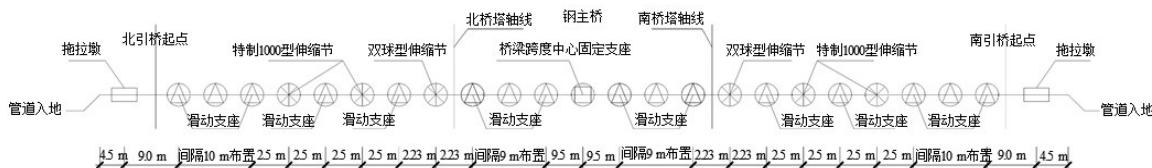


图3 伸缩节和管道支座布置示意

Fig.3 Layout diagram of expansion joints and pipeline supports

4.5 与桥面的连接

一般明敷管道约 100 m 设置 1 个镇墩,并在镇墩中间设置伸缩节,以应对管道的伸缩变形。该项目明敷管道位于桥梁中间分隔带,管道和桥梁存在不同步的变形,若仍按照常规设计会存在如下问题:

① 悬索桥和给水管道的受力变形特性不一致,钢箱梁悬索桥的伸缩量远大于管道伸缩量。若每隔 100 m 设置镇墩和常规伸缩节,管道将难以适应桥梁的伸缩变形,导致伸缩节失效甚至拉脱;

② 按照常规设计,需设置 10 余个伸缩节。受风荷载影响,管道存在一定量的横向变形。在这种工况下,管道伸缩节的长期伸缩动作会导致伸缩节变形,从而引起漏水等问题,给运行造成较大困扰。

针对上述问题,该项目提出了以下解决方案:

① 仅在桥梁中部设置镇墩(固定支座),其余均为减震型限位滑动支座,其间隔为9~10 m。滑动支座既能使管道在纵向自由伸缩变形,又能起到固定管位的作用,协调管道和桥梁之间的变形;同时在桥梁伸缩缝处设置特制加长伸缩节,以适应桥梁和管道伸缩产生的较大变形;

② 在桥梁伸缩缝处,先设置双球型伸缩节应对桥梁的横向变形,再设置特制伸缩节,使特制伸缩节始终处于同一直线,提高伸缩节的使用寿命。而且伸缩节数量较少、布置集中,有利于运行维护。

支座主体材质为钢材,与钢箱梁悬索桥桥面采用焊接连接,滑动支座在钢管下侧设置辊轴,辊轴及其垫槽涂满特种润滑脂。滑动支座能够应对纵向的伸缩变形,辊轴也不会破坏管道的外防腐。限位装置由矩形方钢管焊接组成门型钢架,既能固定管位,也能应对一定量的横向变形。滑动支座大样如图4所示。

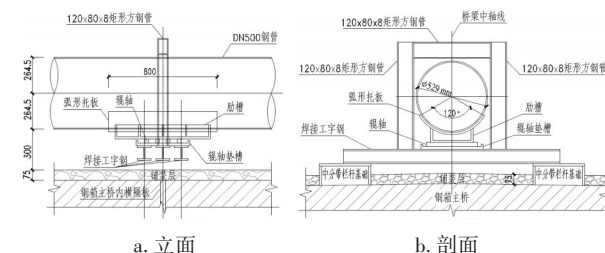


图4 滑动支座大样

Fig.4 Detailed drawing of sliding support

5 抗风性能研究

特大跨径的悬索桥在风荷载的作用下可能会引发结构构件的涡激共振、抖振等有限振幅振动或者颤振、驰振等气动失稳,严重威胁桥上车辆行人的安全,甚至导致风毁事故。长寿长江二桥为一座跨长江的悬索桥,对风的作用较为敏感。静力三分力系数是研究桥梁抗风性能的重要参数,包括阻力系数 C_D 、升力系数 C_L 和扭转系数 C_M 。采用节段模型风洞试验对主梁在无管道状态和有管道状态下的

静力三分力系数进行研究,节段模型采用1:48的几何缩尺比,具体如图5所示。试验攻角范围为 $-12^{\circ} \sim 12^{\circ}$,取 1° ,采用三分量应变式天平测试主梁分别在12、15和20 m/s下的静力三分力系数,以平均值作为试验结果。结果表明,主梁在无管道状态和有管道状态下的静力三分力系数变化幅度较小,故安装管道对该桥的颤振稳定性基本没有影响,均能满足规范要求。



a. 桥梁模型俯视

b. 桥梁模型侧视

图5 节段模型风洞试验

Fig.5 Wind tunnel test of sectional model

以风洞试验测量的静力三分力系数为基础,可以得到该桥在无管道状态下的静风临界失稳风速为101.5 m/s,而在有管道状态下及管道注满水情况下的静风临界失稳风速分别为105.7和108.6 m/s,均远大于静风失稳校验风速,表明该桥具有足够的静风稳定性。因此,在桥梁中间分隔带内安装给水管道对该桥的抗风性能没有本质影响。

6 结语

以重庆为代表的山地城市地形高低起伏,河网纵横,被山川河流切分成数个独立板块,对突发事件的应急响应能力不强,对区域之间互联互通管网的建设需求日益迫切。利用桥梁主体铺设给水管道是管道跨江过河的重要方式之一,能够加强区域之间供水的互联互通。

此次实施的跨长江向江南片区供水工程,给水管管道管径为DN500,在主体桥梁未预留管位的情况下,对管位、管材、防水锤、抗风性能、爆管应对措施等多方面进行了优化设计,为工程建设的顺利实施创造了条件。该项目通水两年以来,运行效果良好,为长寿江南片区提供了稳定可靠的供水保障,相关设计经验可为类似项目提供参考。

参考文献:

[1] 谭雪琴,彭禹铭,李研,等.重庆长寿长江二桥桥位选

址方案研究[J].公路交通技术,2011(4):66-69.

TAN Xueqin, PENG Yuming, LI Yan, *et al.* Research on site selecting shemes for location of Chongqing Changshou Yangtze River No.2 Bridge[J]. Technology of Highway and Transport, 2011(4):66-69(in Chinese).

[2] 沈炜.大型供水管道过河方式选择及实例分析[J].工程建设与设计,2020(20):52-53.

SHEN Wei. The river crossing scheme selection of large water supply pipeline and case analysis [J]. Construction & Design for Project, 2020(20):52-53(in Chinese).

[3] 周炜峙,陈位洪,陈伟雄.广州市西江引水工程管道穿越北江方案设计优化[J].中国给水排水,2011,27(12):5-8.

ZHOU Weizhi, CHEN Weihong, CHEN Weixiong. Optimization design of Beijiang River crossing in Guangzhou Xijiang River diversion project [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(12):5-8(in Chinese).

[4] 刘宝林.南京利用过江隧道空间敷设DN500供水管线工程设计[J].中国给水排水,2021,37(24):51-55.

LIU Baolin. Engineering design of laying DN500 water supply pipeline through river crossing tunnel space in Nanjing[J]. China Water & Wastewater, 2021,37(24):51-55(in Chinese).

[5] 寇殿良,刘存莉,王学攀.长距离大管径跨海供水管道水锤防护设计[J].中国给水排水,2023,39(22):84-88.

KOU Dianliang, LIU Cunli, WANG Xuepan. Design of water hammer protection for long distance and large diameter cross-sea water supply pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(22):84-88(in Chinese).

[6] 段凯,黄毅.用于大跨度柔性悬索桥的输水管道系统设计[J].给水排水,2022,48(10):161-166.

DUAN Kai, HUANG Yi. Design of water conveyance pipeline system for long-span flexible suspension bridge [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022,48(10):161-166(in Chinese).

作者简介:皮家悦(1989-),男,湖北潜江人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水设计工作。

E-mail:pijiayue@qq.com

收稿日期:2024-02-21

修回日期:2024-03-21

(编辑:沈靖怡)