

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.20.015

某城市综合管廊下穿河道段设计与施工

路洪波, 杨晨光, 李大顺

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 城市地下综合管廊在设计与施工中经常会遇到下穿城市河流的工况,针对不同的工程应采取不同的解决方案,包括上跨河流、下穿河流、结合现有桥梁构筑物等措施。以某城市地下综合管廊实际工程项目为例,进行了该段综合管廊穿越河道的三种方案对比,经分析论证,最终选择了“下穿河道”方案。详细介绍了该工程的结构抗浮设计、抗冲刷设计以及围堰施工、基坑支护方案等。目前工程已顺利竣工,实际应用效果良好。

关键词: 综合管廊; 下穿河道; 抗浮设计; 抗冲刷设计; 围堰施工; 基坑支护; 施工方案

中图分类号: TU990.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)20-0082-05

Design and Construction of Under Crossing River Section of an Urban Utility Tunnel

LU Hong-bo, YANG Chen-guang, LI Da-shun

(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: In design and construction of urban underground utility tunnel, it often encounters the working condition of crossing urban river. Different solutions should be adopted for different projects, including measures such as crossing over a river, under crossing a river and combining existing bridge structures. Taking an urban utility tunnel project as an example, we compared three schemes of the utility tunnel crossing the river. After analysis and demonstration, the scheme of “under crossing the river” was finally determined. The anti-floating design of the structure, anti-scouring design, cofferdam construction and foundation support scheme were introduced in detail. At present, the project has been successfully completed and the operation is good.

Key words: utility tunnel; under crossing river; anti-floating design; anti-scouring design; cofferdam construction; foundation support; construction scheme

目前,城市地下综合管廊应用广泛,同时也不可避免会遇到穿越河道的问题,而此类问题目前的专门研究较少。

某城市地下综合管廊项目,需要跨过浑江,对其穿越河道时的方案进行了比选,最终选用“下穿河道”方案。

详细介绍其设计方法与施工措施,以供设计人员参考。

1 工程概况

该项目所处区域地貌类型为低山山坡及河流阶地。管廊过河段用于连接两条路段的管廊,管廊总长 573 m,其中跨过浑江段长 220 m,廊体埋深在河床以下 2.0~2.8 m,过江段管廊断面为 6.9 m×4.5 m 矩形双舱形式,外壁及底板厚度为 0.4 m,管廊外侧距离现状桥梁 11.7 m。

过江段平面示意图 1。



图 1 过江段平面

Fig. 1 Plan of river crossing section

1.1 工程地质条件

场地地基土在钻探深度内自上而下依次为:①素填土。杂色,以卵石为主,充填黏性土及砂土,结构松散,稍湿。局部分布,层厚 7.60 ~ 9.40 m。②卵石。杂色,稍湿~饱和,中密,卵石呈亚圆形,部分为不规则菱形,主要由沉积岩及变质岩组成,一般粒径为 20 ~ 50 mm,大者达 100 mm 以上,砂土充填。性质均匀,分布连续。层厚 1.20 ~ 6.60 m。③强风化花岗岩。黄褐~红褐~青灰色,结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙很发育,岩体破碎,干钻不易钻进,片麻状构造,主要矿物为长石、石英、云母。节理裂隙发育。岩芯呈碎块、短柱状。属软岩,完整程度为破碎,岩体基本质量等级 V 级。本场区普遍分布,埋藏较深,最大揭露厚度为 5.80 m。④中风化花岗岩。黄褐~红褐~青灰色,结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙发育较少,岩体较完整,干钻不易钻进,片麻状构造,主要矿物为长石、石英、云母。节理裂隙发育。岩芯呈短柱、长柱状。属较软岩,完整程度为较完整,岩体基本质量等级 VI 级。此层本场区普遍分布,埋藏较深,最大揭露厚度为 16.60 m。

1.2 水文地质条件

浑江为鸭绿江的一级支流,发源于长白山南麓。全长 284 km,流域面积 13 744 km²,平均比降 1.29%。浑江在管廊工程段河道崎岖,河谷浅平,呈“U”形河谷,两岸为河漫滩,该河段比降 0.11%。

场区地下水类型为潜水,受大气降水及区域水文地质的补给。卵石 $K = 80 \sim 100$ m/d。潜水初见水位在地面以上 0.80 m~地面以下 11.90 m,稳定水位在地面以上 0.80 m~地面以下 11.80 m。该场

区水位随季节变化及区域水文地质的补给变化明显,变化幅度 3 m 左右。

1.3 岩土力学参数

本工程岩土力学参数见表 1。

表 1 岩土力学参数

Tab. 1 Geotechnical mechanical parameters

岩土名称	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	重力密度/(kN·m ⁻³)	承载力特征值/kPa	变形模量/MPa
①素填土	0	20	19		
②卵石	0	40	20	350	35.0
③强风化花岗岩	20	20	23	600	50.0
④中风化花岗岩	40	35	27	1 000	

2 方案对比

根据工程经验结合现场情况,拟定上跨河道、结合现有桥梁、下穿河道三种综合管廊过河方案。

2.1 上跨河道方案

优点:综合管廊上跨河道施工方便;减少开挖,措施费用较低。

缺点:因综合管廊结构庞大,上跨方案影响河道景观;综合管廊跨越河道后需要立即入地,导致管廊在地面穿出、穿入的竖向弯折角度较大,影响管线布置;需要设置桥墩,影响河道水力流态;对防洪安全不利,需要经过水利部门重新论证。

2.2 结合现有桥梁方案

参照现有规范,综合管廊沿铁路、公路敷设时应与铁路、公路线路平行设置,因此可以考虑借助现有桥梁将管线出廊,架空敷设于现状桥梁的桥墩内侧。

优点:施工简单;措施费用低。

缺点:影响桥梁景观;改变管廊管线走向,管廊连续性较差,与原规划不符;不利于管线的敷设、增减、维修和日常管理。

2.3 下穿河道方案

优点:综合管廊布置在地下,连续性较好;不影响河道桥梁及景观;不影响河道行洪能力;维修方便,使用时间长,符合综合管廊 100 年的设计使用年限要求;弯折角度可以根据过河位置进行控制,符合综合管廊设计规范要求。

缺点:施工难度大,需采取围堰、基坑支护、降水排水等措施;综合管廊本体需要进行防水、抗浮设计;施工措施费用较高,短期内一次性投入较大。

由于浑江地处山区,城区内沟河较多,夏季有发生山洪的可能性,而综合管廊的建设可以将市政设

施的防灾能力大幅提升,在大灾大害到来时,仍需保障管廊稳定运行,人民生活不受影响,考虑到防洪安全、景观效益,同时结合本工程的管线布置、实际地质及水文情况,选择下穿河道方案。

根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015),综合管廊穿越河道时应选择在河床稳定的河段,最小覆土深度应满足河道整治和综合管廊安全运行的要求,一般在河道下面敷设时,顶部高程应在河道底设计高程 1.0 m 以下(见图 2)。

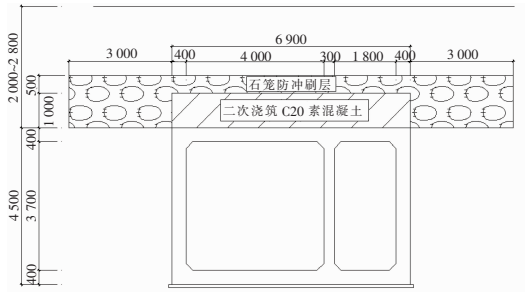


图 2 过江段剖面

Fig. 2 Profile of river crossing section

3 工程设计

3.1 抗浮设计

综合管廊下穿河道段位于地下水位以下,受到地下水的浮托力,存在被浮托起来或者被浮力顶裂的危险,因此,需要按照最不利情况即最大水深为 5 m 时进行抗浮稳定性设计(按每延米计算)。抗浮验算按照下式进行:

$$K_s = G/F \geq 1.05 \quad (1)$$

$$G = G_c + G_t + G_s \quad (2)$$

$$F = \gamma_w h_w A \quad (3)$$

式中: K_s 为抗浮稳定安全系数,根据规范应 ≥ 1.05 ; G 为抗浮标准荷载, kN, 包括管廊自重 G_c 、管廊顶覆土重 G_t 、管廊内设备基础重 G_s ; F 为综合管廊受到的浮托力, kN; γ_w 为地下水的重度, 取 10 kN/m^3 ; h_w 为地下水位至综合管廊底板底的距离, m; A 为综合管廊截面面积, m^2 。

由于管廊顶覆土重 G_t 考虑为浮重度, 计算可得, 抗浮稳定安全系数 $K_s = 1.04 < 1.05$, 不满足抗浮设计要求。

根据上述计算, 为了满足抗浮要求, 将管廊顶覆土改为浇筑素混凝土, 同时也考虑到浑江水位较高, 下穿河道段的综合管廊将长期位于较高水位以下, 河床段易被冲刷, 可能导致管廊顶部覆土逐渐减薄,

不利于管廊本体的混凝土结构耐久性, 故需要增加抗浮措施以保证综合管廊在过河段的抗浮要求。

如图 2 所示, 本次设计在本段管廊顶板布置 1 m 厚 C20 的素混凝土作为压重, 增加管廊抗浮力, 重新计算得 $K_s = 1.26 > 1.05$, 能够保障抗浮稳定安全。

3.2 抗冲刷设计

为了加强综合管廊的防冲性能, 需要进行防冲设计。河床的冲刷深度 h_s 主要由三部分组成^[1-2]: 自然演变冲刷深度(Δh)、一般冲刷深度(h_p)与局部冲刷深度(h_b), 即 $h_s = \Delta h + h_p + h_b$ 。

自然演变冲刷深度 Δh 一般指在不受水工建筑物影响的情况下, 由于水流挟带泥沙行进而引起的河床冲刷, 主要由河床地形、地层特性及自然状态下的水流情况等因素决定, 受到带状河谷城市地形的影响, 历年来浑江水流湍急, 多年平均流量大于 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, 通过对该河段的自然演变冲刷分析, 该河床的自然演变冲刷处在冲淤平衡状态, 故自然演变冲刷深度 $\Delta h = 0$ 。

一般冲刷深度 h_p 与局部冲刷深度 h_b 主要受到河道现状的桥梁、隧道、管道、箱涵等构筑物的影响。由于现状构筑物的修建导致水流压缩, 流速增大, 水流挟沙能力增强, 河床受到冲刷, 称为一般冲刷。根据《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C 30—2015), 江海洋等^[3]针对管道穿越山区河流河段的冲刷深度的计算方法进行了比较研究, 分析认为规范建议的一般冲刷修正式(64-1)能够较好地反映穿越区域的最大冲刷深度, 本工程河段地处山区, 河床底部以卵石层为主, 因此采用非黏性土的一般冲刷深度计算修正公式(64-1)计算:

$$h_p = \left[\frac{A_d \frac{Q_2}{\mu B_{cj}} \left(\frac{h_{cm}}{h_{cq}} \right)^{\frac{5}{3}}}{E d^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (4)$$

$$Q_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_{tl}} Q_p \quad (5)$$

$$A_d = \left(\frac{\sqrt{B_z}}{H_z} \right)^{0.15} \quad (6)$$

式中: h_p 为桥下一般冲刷后最大水深, m; Q_p 为设计流量, m^3/s ; Q_2 为桥下河槽部分通过的设计流量, m^3/s , 当河槽能拓宽至全桥时取用 Q_p ; Q_c 为天然状态下河槽部分设计流量, m^3/s ; Q_{tl} 为天然状态下桥下河槽部分设计流量, m^3/s ; B_{cj} 为河槽部分桥孔过

水净宽, m ; 当桥下河槽能扩展至全桥时, 即为全桥桥孔过水净宽; B_z 为造床流量下的河槽宽度, m ; μ 为水流侧向压缩系数; h_{cm} 为河槽最大水深, m ; h_{eq} 为桥下河槽平均水深, m ; A_d 为单宽流量集中系数; H_z 为造床流量下的河槽平均水深, m ; \bar{d} 为河槽泥沙平均粒径, mm ; E 为与汛期含沙量有关的系数。

计算得一般冲刷深度 $h_p = 1.5 m$ 。

局部冲刷深度 (h_b) 是由于桥墩等水工构筑物的影响, 周围水流形态发生急剧变化, 在床面附近形成漩涡, 剧烈淘刷构筑物迎水端以及周围泥沙, 所形成的局部冲刷坑。本工程位于桥墩上游且距离较远, 故不予考虑, $h_b = 0$ 。

综上, 冲刷深度最大值为 $h_s = \Delta h + h_p + h_b = 1.5 m$, 根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015), 本工程中综合管廊覆土厚度 $2.0 \sim 2.8 m$, 埋深满足计算要求。考虑到管廊工程的耐久性, 同时也应采取必要的防护措施, 在综合管廊顶部设置 $1.5 m$ 厚的石笼防冲刷层 (见图 2), 石笼规格为 $1 m \times 2 m \times 0.5 m$, 孔径不得大于 $80 mm \times 60 mm$, 框丝径不得小于 $3.5 mm$, 基材丝径不得小于 $2.5 mm$, 铅丝要求采用热镀锌, 镀锌量不得小于 $245 g/m^2$, 抗拉强度不得小于 $400 MPa$, 内充填石料粒径 $150 \sim 250 mm$ 。

4 围堰施工

由于本段管廊大部分要跨越浑江, 目前浑江为上游水电站的泄洪渠道, 常年流水, 为给管廊施工提供工作面, 需要采取围堰施工方式进行截水 (见图 3)。围堰分两个阶段进行, 先围南侧 $3/5$ 的河道宽度, 待管廊施工完成, 基坑回填结束, 南岸河堤修复完成后, 打开南侧围堰, 对剩余的北侧 $2/5$ 进行围堰截流, 完成剩余管廊工程的施工。

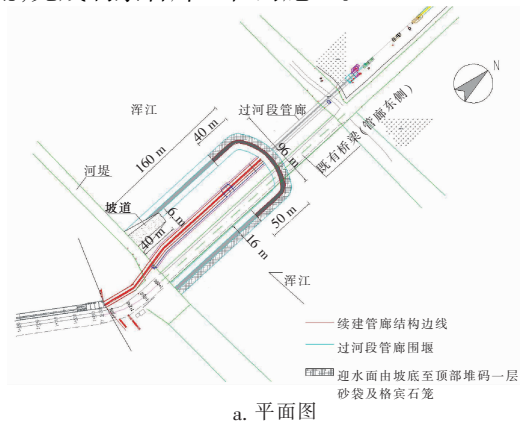


图3 围堰施工示意

Fig. 3 Schematic diagram of cofferdam construction

根据现场观测数据及有关水文资料: 江内水深约 $1 \sim 2 m$, 雨季泄洪期最大水深 $4 \sim 5 m$ 。为了保证控制高水位, 围堰高度定为河床以上 $6 m$, 顶面宽度为 $4 m$ 。为保证围堰堰体的抗渗性能, 需要在堰体中间设置一道黏土芯墙, 在围堰填筑完成后, 在堰体中间自上而下开挖一条底部宽 $1.5 m$ 、顶部宽 $4 m$ 的沟槽。在沟槽的两个坡面满铺一层塑料布, 相邻两幅塑料布的搭接宽度不小于 $0.1 m$, 然后在沟槽内回填黏土, 虚铺厚度每层不大于 $0.3 m$, 分层碾压密实, 回填至围堰顶面。回填及碾压过程中, 不得破坏坡面已经铺设完成的塑料布。

填筑围堰时, 钱堤 (比现有水面高 $0.5 m$) 的填筑采取进占法水下填筑, 进占低高度、全断面、等高程进行。进占施工, 自卸车卸土成堆后, 用推土机推土推进, 并用履带反复碾压, 以保证砂砾填筑密实。进占填筑合拢后, 分层填筑上部堤身, 每层厚度不超过 $0.3 m$, 用推土机反复碾压至稳定。最后一层上部堤身填土用推土机碾压后, 用压路机静压。

针对浑江上游水库在雨季暴雨时有可能泄洪产生激流的情况, 进一步提高围堰的防洪能力, 围堰填筑完成后, 在围堰外侧坡面堆放一层砂袋, 同时为增加围堰抗击激流的冲刷性能, 在围堰迎水面、合拢段及背水面外侧坡面的砂袋外面堆砌一层格宾石笼, 要求石笼的堆放稳固美观。围堰两侧坡度为 $1:1$, 合拢段受江流冲刷部位进行加强处理, 坡度变为 $1:1.5$ 。

5 基坑支护

跨江段基坑开挖深度约为 $7 m$, 根据地形地质水文条件, 同时考虑管廊外侧预留 $1.5 m$ 作业空间, 确定采用 $1:1$ 放坡 + $1:0.5$ 复合土钉墙支护方案。

基坑支护剖面见图 4。

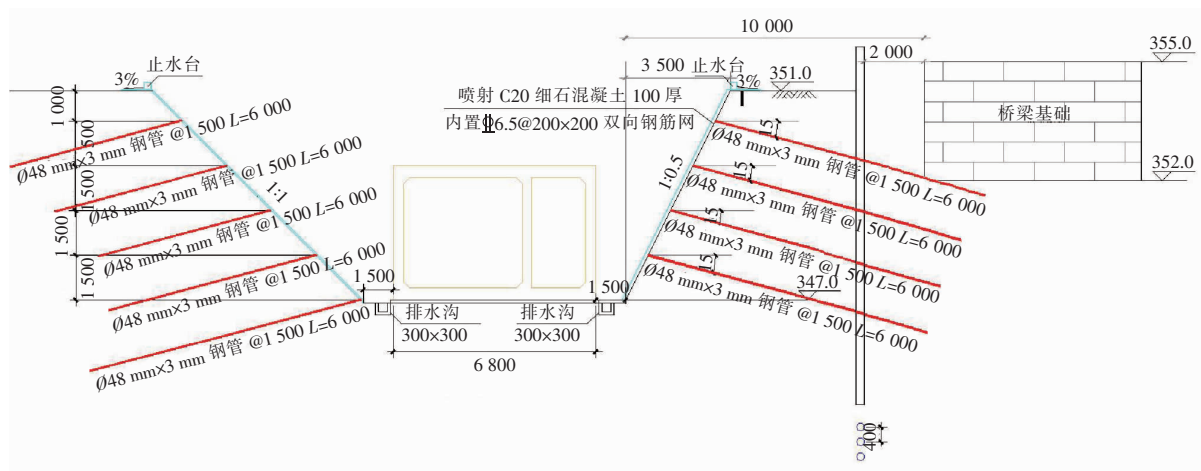


图4 基坑支护剖面

Fig. 4 Section of foundation support

跨江段靠近桥梁一侧为1:0.5放坡+注浆锚管,另外一侧为1:1放坡+注浆锚管。1:0.5坡面喷射100 mm厚C20细石混凝土,内置HPB300 A6.5@200×200双向钢筋网;1:1坡面喷射80 mm厚C20细石混凝土,HPB300 A6.5@200×200双向钢筋网;注浆锚管采用Ø48 mm×3 mm钢管,注浆体直径≥110 mm,锚管的水平间距为1.5 m,每排锚管加设两道HRB400EC16横向通长加强筋,每个锚管加设两道HRB400EC16竖向加强筋。

同时,考虑基坑开挖对桥梁基础稳定的影响,在里程K0+80~K0+300河道内距离桥台2 m处打设一排钢管桩,钢管桩型号:Ø273 mm, $t=7$ mm,桩间距0.4 m,桩长12 m。

6 结语

目前该工程已经竣工完成,运行良好,其经验可供类似工程参考借鉴。

① 进行了综合管廊穿越河道的三种方案对比分析,选择了适合该工程具体情况的下穿河道方案。

② 通过抗浮、抗冲刷计算,选择了适当的河道下埋深度,采取了合适的抗浮、抗冲刷措施。

③ 根据该河道的来水情况,采取了分段分期的围堰施工方案、过河段基坑支护方案,在今后工程中应特别注意处理好施工中的基坑支护与降排水、管廊本体的防水等问题。

参考文献:

- [1] 戴志仁,张莎莎. 考虑黄河冲刷要求的盾构法隧道最小覆土厚度分析[J]. 岩石力学与工程学报,2015,34(8):1712-1720.
DAI Zhiren, ZHANG Shasha. The minimum buried depth of shield tunnel considering the erosion of Yellow River [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(8): 1712-1720 (in Chinese).
- [2] 王兆印,黄金池,苏德惠. 河道冲刷和清水水流河床冲刷率[J]. 泥沙研究,1998(1):3-13.
WANG Zhaoyin, HUANG Jinchi, SU Dehui. River channel scour and scour rate of clear water flow [J]. Journal of Sediment Research, 1998 (1): 3-13 (in Chinese).
- [3] 江海洋,王淑英,许泽星,等. 管道穿越山地河段冲刷深度计算方法的比较研究[J]. 山地学报,2019,37(3):462-467.
JIANG Haiyang, WANG Shuying, XU Zexing, et al. Comparative study on calculation methods of scour depth over riverbed traversed by pipeline [J]. Mountain Research, 2019, 37(3): 462-467 (in Chinese).

作者简介:路洪波(1986-),男,河北唐山人,硕士,高级工程师,从事水工结构设计研究工作。

E-mail: xbylhb@163.com

收稿日期:2020-10-19

修回日期:2020-11-24

(编辑:孔红春)