

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.14.012

虹吸技术在污水管道穿越交叉管线工程中的应用

孙怡强¹, 李国然²

(1. 新乡市市政设计研究院有限公司, 河南 新乡 453000; 2. 新乡市市政工程处有限公司, 河南 新乡 453000)

摘要: 新乡市高村路新建 $d1\ 000\ \text{mm}$ 污水管道与已建DN2 800南水北调输水主管道交叉时发生高程冲突,遵循小口径管道避让已建大口径管道原则,经工程建设、运行维护等方面的分析比较,并通过水力计算,最终确定采用污水管道虹吸技术。虹吸系统由虹吸管道、进水水封井、出水水封井、真空管路、真空泵等组成,通过在进水水封井设置沉泥槽、选取较大设计流速、定期冲洗、定期抽吸真空等措施,解决了污水管道真空管路失灵、堵塞、渗漏污染等问题,确保了系统正常运行。

关键词: 管道交叉; 虹吸; 水封井; 真空管路

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)14-0069-04

Application of Siphon Technology in Sewage Pipeline Crossing Other Pipeline Project

SUN Yi-qiang¹, LI Guo-ran²

(1. Xinxiang Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Xinxiang 453000, China;
2. Xinxiang Municipal Engineering Department Co. Ltd., Xinxiang 453000, China)

Abstract: A height conflict occurred due to the intersection of a newly constructed $d1\ 000\ \text{mm}$ sewage pipeline with the existing DN2 800 South-to-North Water Diversion Project mains in Gaocun Road, Xinxiang City. Following the principle of small diameter to avoid existing large diameter pipelines, through hydraulic calculation, the sewage pipe siphon technology was ultimately recommended for use in terms of engineering construction, operation and maintenance. The siphon system consisted of siphon pipes, inlet water seal wells, outlet water seal wells, vacuum pipes, vacuum pumps, and other components. By incorporating a sedimentation tank in the inlet water seal well, selecting a large design flow rate, implementing regular flushing and vacuum pumping procedures, the issues related to vacuum pipe failure, blockage, leakage and pollution in the sewage pipeline were effectively resolved, and this ensured the normal operation of the system.

Key words: pipeline intersection; siphon; water seal well; vacuum pipeline

1 工程概况

为保证新乡市铁西北部污水处理厂的进水,需新建高村路 $d1\ 000\ \text{mm}$ 污水进水主管。该管道自东向西流入西环路 $d1\ 200\ \text{mm}$ 污水主管,经污水泵站中途提升后流入新乡铁西北部污水处理厂。高村路污水管道在西环路高村路口处与已建的DN2 800

南水北调主干管交叉,二者高程冲突(见图1)。DN2 800管道为南北走向,是南水北调中线工程32号老道井分水口门向新乡市区和新乡县供水的原水主管道,总长约10.5 km,位于西环路道路中线西21.5 m处,于2014年5月经河南省发展和改革委员会批复并实施。由于南水北调管道建设在先,并遵

循小口径管道避让大口径管道原则,在条件限制的情况下,考虑采用虹吸技术解决重力流污水管道与南水北调管道的交叉高程冲突问题。

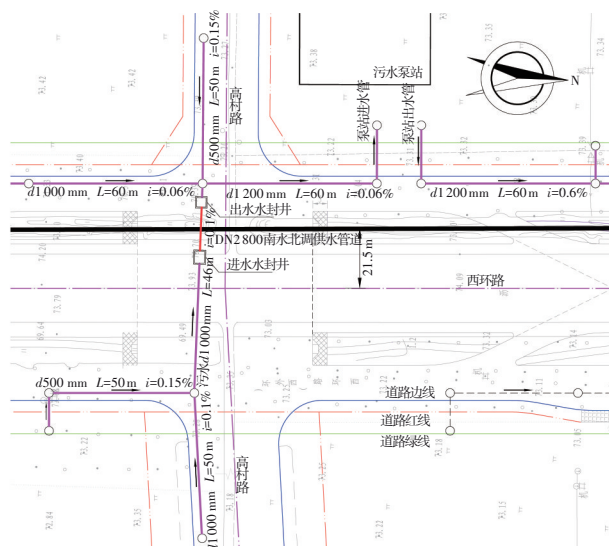


图1 污水管道与供水管道交叉情况

Fig.1 Intersection of sewage pipeline and water supply pipeline

2 污水管道穿越方案论证

2.1 工程地质情况

管道交叉处的场区地质为黏性土均一结构,上部由第四系全新统重、轻粉质壤土组成,下部由第四系上更新统重、中粉质壤土组成,局部夹细砂及砂壤土,地基土承载力标准值 $f_k=100\sim 160$ kPa。地下水埋深为6.6~8.5 m,水位高程为64.8~68.8 m,地下水位具有动态变化特征。黏性土一般为极微~弱透水性,局部为中等透水性,管线分布区域大部分为砂性土及砂土,不具有地震液化潜势。

2.2 穿越方案

高村路 $d1\ 000$ mm钢筋混凝土污水管道与南水北调DN2 800预应力钢筒混凝土管主干管平面90°交叉,西环路和高村路路口处路面高程为73.77 m, $d1\ 000$ mm高村路污水干管管底高程为67.38 m,管底埋深为6.39 m;西环路南水北调供水管道中心高程为67.23 m,管底埋深为8.14 m。污水管道穿越南水北调主干管方案有虹吸和倒虹吸2种方式。

① 方案一:虹吸方式

污水管道虹吸跨越南水北调供水主干管的布置见图2。高村路污水管道采用 $D820\text{ mm}\times 9\text{ mm}$ 钢管从南水北调管道上方虹吸通过,设置进水水封井(水面高程为68.13 m)、倒U型虹吸管道(顶部中心

高程为69.70 m,进、出水虹吸管管口高程均为66.03 m,虹吸管道与南水北调主干管净距为0.5 m)、出水水封井(水面高程为67.87 m)、真空管路及真空泵等。污水虹吸钢管在南水北调管道上部开挖施工,进、出水水封井沉井施工。为了防止污水渗漏造成污染,按照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版),在虹吸管下部、DN2 800南水北调主干管上方,设置厚20 cm的C30钢筋混凝土防护板,板内下层配双向 $\phi 12@200$ 钢筋,防护板沿南水北调主干管方向长度为7 m,两端超出虹吸管道外缘3.1 m。施工期间工程均位于地下水位以上,无需降水,施工方便,工程造价约45万元。

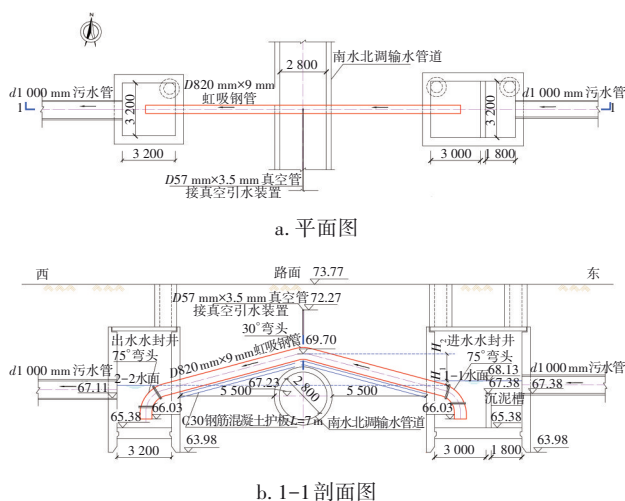


图2 污水管道虹吸跨越南水北调主干管布置

Fig.2 Layout of the siphon of sewage pipeline crossing over the main pipeline of the South-to-North Water Diversion Project

② 方案二:倒虹吸方式^[1]

污水管道倒虹吸穿越南水北调主干管的布置见图3。高村路 $d1\ 000$ mm污水管道从南水北调主干管下方倒虹吸通过,顶管施工,需设置进水井、倒虹吸直管段、出水井等。按照《其他工程穿越邻接河南省南水北调受水区供水配套工程设计技术要求(试行)》,污水管道从下部顶管穿越时,与南水北调主干管净距应不小于穿越管道最大外径的2倍,即2.4 m,则 $d1\ 000$ mm污水管道埋深为11.64 m。进、出水井井底深均为12.64 m,低于地下水位4.14 m,为避免对南水北调管道的影响,进、出水井均采用不降水沉井施工,倒虹吸管采用泥水平衡法施工,施工难度大,工程造价高,约170万元。由于进、出水井井底深度已超吸污车的吸水高度,工程运行

后倒虹吸管一旦淤积,清淤困难,维护费用高。

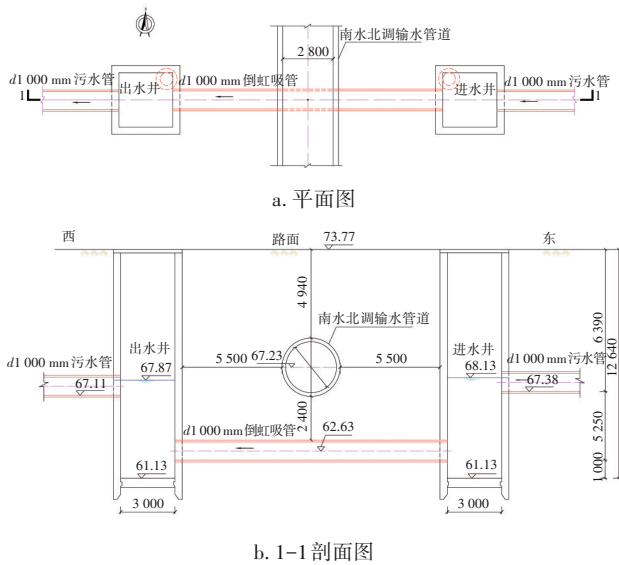


图3 污水管道倒虹吸穿越南水北调主干管布置

Fig.3 Layout of the inverted siphon of sewage pipeline crossing over the main pipeline of the South-to-North Water Diversion Project

2.3 穿越方案比选

比较方案一、二,虹吸方式的工程造价低,更有利于保护南水北调输水主干管的安全,施工方便且便于运行期间的维护管理,运行效果较好,故推荐采用方案一。该方案通过了专家评审并获得批复。

3 虹吸技术原理

真空管路与穿越管道顶部相连,当需要虹吸引水时,首先打开闸阀,使真空管路与真空装置相通,在真空负压作用下,进水井中的水沿穿越管道向上满管上升,直至穿越管道水满;当水流沿穿越管道顶端进入水环真空泵,气液分离器内有水溢出时,证明引水成功,此时手动关闭闸阀,停掉真空泵,整套引水工作完成。穿越管道处于真空状态,水流靠上下游水位落差克服水头损失自然流动。

4 虹吸系统设计计算

4.1 虹吸管道水力计算

① 虹吸管管径 d

虹吸管管径 d 的计算如下:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (1)$$

式中: Q 为污水管道设计流量, m^3/s ; v 为虹吸管管内水流速,一般大于 0.7 m/s ,考虑到污水中有杂物易淤积的情况,尽量选择较高值,取 1.2 m/s 。

将污水管道设计流量 ($0.641 \text{ m}^3/\text{s}$)、流速 (1.2 m/s) 代入式 (1), 计算可得 $d=0.82 \text{ m}$ 。经技术经济分析, 选择采用 $D820 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ 钢管。

② 水头损失

以进、出水井水面为基准面, 建立进水井水面 1-1 和出水井水面 2-2 的伯努利方程:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1} \quad (2)$$

式中: Z_1 、 Z_2 分别为进水井水面 1-1 与出水井水面 2-2 的水位, m ; h_{w1} 为从进水井水面 1-1 到出水井水面 2-2 的水头损失, m ; P_1/γ 、 P_2/γ 分别为水面 1-1 和水面 2-2 的压强值换算水柱高度, m ; v_1 、 v_2 分别为进水井和出水井的行进流速。

因水面 1-1、水面 2-2 均为与空气接触的自由水面, 故 $P_1=P_2$ 。 v_1 、 v_2 因数值较小, 可忽略不计。整理式 (2) 可得:

$$h_{w1} = Z_1 - Z_2 = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \times \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

式中: λ 为沿程阻力系数, 通常取 0.03 ; L 为虹吸管道的长度, 本工程取 20 m ; $\sum \zeta$ 为局部阻力系数之和, 本工程管路进口、进水 75° 弯头、 30° 弯头、出水 75° 弯头及管路出口的局部阻力系数分别为 0.5 、 0.8 、 0.2 、 0.8 、 0.5 , $\sum \zeta=2.8$ 。

将各参数值代入式 (3), 可得水头损失为 0.26 m 。该工程 $Z_1=68.13 \text{ m}$, 故 $Z_2=67.87 \text{ m}$ 。

③ 管顶 3-3 断面的真空度 h_v

以进水井水面为基准面, 建立进水井水面 1-1 和虹吸管顶部 3-3 断面的伯努利方程:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_{w2} \quad (4)$$

式中: Z_3 为 3-3 断面高程, m ; P_3/γ 为水面 3-3 的压强值换算得到的水柱高度, m ; h_{w2} 为进水井到虹吸管顶部 3-3 断面的水头损失, m 。

整理式 (4) 后得到如下公式:

$$\frac{P_a - P_3}{\gamma} = Z_3 - Z_1 + \frac{v^2}{2g} + h_{w2} \quad (5)$$

即:

$$h_v = H_2 + \frac{v^2}{2g} + \left(\lambda \frac{0.5 \times L}{d} + 0.5 \times \sum \zeta \right) \times \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

式中: H_2 为水面 1-1、断面 3-3 的高程差。

本工程 $Z_1=68.13 \text{ m}$, $Z_3=69.70 \text{ m}$, 故 $H_2=1.57 \text{ m}$ 。将各参数值代入式 (6), 可得 $h_v=2.52 \text{ m}$ 。 $h_v=$

2.52 m(水柱)<虹吸管允许真空高度 $[h_v]=7\sim 8$ m(水柱),所以虹吸管可以正常工作。

4.2 真空管路及真空泵的设计计算

① 真空泵抽气管路布置

从虹吸管顶部引出D57 mm×4 mm镀锌钢管作为抽气管道,并引至附近西环路机非分隔绿化带中,管道长32 m,管道出口设置闸阀和真空表。

② 真空泵抽气量W

真空泵抽气量W的计算如下^[2]:

$$W=K\times\frac{W_1+W_2}{T}\times\frac{H_g}{H_g-Z_s} \quad (7)$$

式中:K为漏气系数,一般采用1.05~1.10,取1.10;W₁为吸水管内空气容积,本工程取10.05 m³;W₂为泵壳及真空管路内的空气容积,本工程取0.1 m³;T为水泵充水时间,不宜超过5 min,取4 min;H_g为大气压的水柱高度,取10.33 m;Z_s为水泵安装几何高度,即自吸水井水位到水泵轴中心或基准面的垂直高度,本工程取6.17 m(真空泵轴线安装高度为74.30 m,进水井水面1-1水位为68.13 m)。

将各参数值代入式(7),计算可得真空泵抽气量W=6.93 m³/min。

③ 最大真空度H_{v,max}

$$H_{v,max}=Z_s\times 9.81=6.17\times 9.81=60.53 \text{ kPa}。$$

④ 真空泵选型

选择2BE1型水环式真空泵,W=7.4 m³/min,H_{v,max}=80 kPa,配套电机功率N=15 kW。

5 虹吸管道及真空系统的维护管理

5.1 防堵塞措施

① 进水水封井进口处设置沉泥槽,便于沉积污泥和避免较大的杂物进入虹吸管道。

② 虹吸管道采用较大的设计流速1.2 m/s,在最小流量时段污水流速为0.75 m/s,均大于不淤流速0.7 m/s,可以最大限度地避免淤积。

③ 每隔半年打开真空管路出口阀门,空气进入,虹吸管道停运,再通过高压水枪以清水冲洗真空管道,避免管路杂物堵塞。

5.2 真空管路失灵分析

当出现真空管路出口处闸阀漏气、真空管路进气失灵、真空被破坏时,空气进入虹吸管路,虹吸现

象被破坏,出现断流现象,污水不能通过虹吸从进水水封井流入出水水封井。此时上游出现壅水,应及时维修,更换出口闸阀,同时架设真空泵,抽吸空气管路,直至真空度上升,虹吸现象形成,污水正常流动为止。

6 结语

新乡市高村路d1 000 mm污水干管建设时与已建南水北调DN2 800输水干管相交叉,遵循小口径管道避让已建大口径管道的原则,采用污水管道虹吸跨越南水北调主干管道。该工程自2017年12月建成至今已运行6年多,每年对虹吸进水井清淤,每半年停运虹吸管道,采用高压水枪冲洗真空管路,未出现真空管路被杂物堵塞的现象,运行情况良好。该项目为解决重力流污水管道与其他管道高程冲突问题提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 北京市政工程设计研究总院有限公司. 给水排水设计手册(第5册)城镇排水[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 32-35.
Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd. Design Manual for Water & Wastewater (Vol. 5), Urban Drainage [M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017: 32-35 (in Chinese).
- [2] 北京市政工程设计研究总院有限公司. 给水排水设计手册(第3册)城镇给水[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 321-322.
Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd. Design Manual for Water & Wastewater (Vol. 3), Urban Water Supply [M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017: 321-322 (in Chinese).

作者简介:孙怡强(1972-),男,河南新乡人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给水排水工程设计工作。

E-mail:444016956@qq.com

收稿日期:2023-09-09

修回日期:2024-01-27

(编辑:沈靖怡)