

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.008

南京利用过江隧道空间敷设 DN500 供水管线工程设计

刘宝林

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 南京市和燕路-八卦洲过江隧道为盾构形式隧道,共设两孔,为了解决八卦洲现状供水问题,集约化利用过江隧道下部空间,在每孔隧道检修舱下部设置管沟敷设一根 DN500 供水管线,连通八卦洲供水管网和江南城北水厂供水管网,实现八卦洲由江南供水的格局。对管线最大泄水量、管材的优化比选、附属设施的设置、监测和监控系统、水锤模拟及防控措施等进行了研究,论证了在隧道内敷设供水管线的可行性,通过采取一系列的措施,可以确保供水管线和隧道同步运行的安全性,减小了供水管线与隧道的相互影响,为今后同类型项目提供了参考。

关键词: 供水管线; 长距离输水; 集约化; 水锤防护

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0051-05

Engineering Design of Laying DN500 Water Supply Pipeline through River Crossing Tunnel Space in Nanjing

LIU Bao-lin

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Heyan Road-Baguazhou river crossing tunnel in Nanjing is a shield tunnel with two holes. In order to solve the current water supply problem of Baguazhou and effectively utilize the lower space of the tunnel, a DN500 water supply pipeline was set up under each tunnel inspection cabin to connect the water supply network of Baguazhou and the water supply network of Jiangnan Chengbei waterworks, so as to realize water supply of Baguazhou from Jiangnan. The maximum discharge of the pipeline, optimal selection of pipes, setting of ancillary facilities, monitoring and control system and simulation of water hammer and prevention and control measures were explored, and feasibility of laying water supply pipeline in the tunnel was demonstrated. A series of measures were taken to ensure the safety of the synchronous operation of the water supply pipeline and the tunnel, and reduce the interaction between them, which provide a reference for similar projects in future.

Key words: water supply pipeline; long-distance water conveyance; intensification; water hammer protection

1 工程概况

南京市和燕路-八卦洲过江隧道为盾构形式隧道,共设两孔,盾构段长度 2.965 km,单孔隧道上部为行车道,下部分为逃生舱、检修舱、电力舱。

为了解决八卦洲现状供水问题,集约化利用过江隧道下部空间,在每孔隧道检修舱下部设置管沟

敷设一根 DN500 供水管线,连通八卦洲供水管网和江南城北水厂供水管网,实现八卦洲由江南供水的格局。

2 工程设计

2.1 管径确定

至 2030 年八卦洲地区需水量将达 1.35×10^4

m^3/d , 结合和燕路—八卦洲过江隧道新建的两根供水管线(两根管线分别位于两孔隧道, 一用一备), 按照 DN500 管径实施, 在时变化系数为 1.4 的情况下输送水量为 $1.35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时流速为 1.114 m/s , 水力坡降 $i=0.0026$ 。

表 1 泄水量计算

Tab. 1 Discharge calculation

破裂长度/m	破裂宽度/m	出流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	破裂口水流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	事故泄水量/ m^3	接管点至事故点距离/m	事故点总水头/m	接管点至事故点水损/m
0.50	0.05	0.61	38.49	142.03	1 000	75.57	4.43
0.50	0.10	1.13	35.97	162.87	1 000	66.02	13.98
0.50	0.15	1.54	32.83	179.50	1 000	55.00	25.00
0.50	0.20	1.86	29.63	192.03	1 000	44.78	35.22
0.50	0.25	2.09	26.65	201.27	1 000	36.24	43.76
0.50	0.30	2.26	24.01	208.05	1 000	29.42	50.58
0.50	0.40	2.48	19.76	216.83	1 000	19.93	60.07

假定事故破裂口面积 0.15 m^2 , 从事故发生到阀门全部关闭时间设定为 40 s , 泄水量为 90.24 m^3 , 加上管道存水 117.81 m^3 , 共计 208.05 m^3 。

2.3 管材选择

结合隧道内敷设管线的环境要求, 所选管材应满足以下要求:

- ① 管材应有足够的强度, 能够承受隧道内大幅高差的压力要求;
- ② 管材应采用柔性接口, 能够抵抗隧道的变形要求;
- ③ 管材应有良好的耐腐蚀性, 能够与隧道的设计服务周期相匹配;
- ④ 管材连接简单方便, 满足在狭小管沟内安装的要求。

和燕路盾构井靠近城北水厂, 出厂水总水头约 55.0 m , 隧道最低点标高约 -62.2 m , 管道最低点承压约 117.2 m 。考虑到球墨铸铁管延展性好、耐腐蚀性能优加上柔性接口, 其在抗事故、抗沉降、抗震、适应温差变化等方面性能较优, 因此在隧道平直 A 段选用 K9 级球墨铸铁管(允许工作压力 3.8 MPa , 允许试验压力 5.0 MPa); 盾构井内 C 段由于高差较大, 管线转折较多、配件较多, 实施条件困难, 采用不锈钢管; 隧道最低点 B 段采用球墨铸铁管。其中 C 段与 A 段管道衔接位置选用不锈钢管材, 不锈钢管从盾构井底部进入隧道段管沟内长度 20 m , 之后采用转换接头与球墨铸铁管连接, 具体管材分区如图 1 所示。

2.2 管道泄水量计算分析

由于管线敷设于隧道内, 承压较高, 隧道最低点压力达到 1.2 MPa , 在假定接管点压力一定和流量足够的情况下, 采用迭代方法分析计算在起端盾构井附近发生事故时泄水量较大, 泄水量计算见表 1。

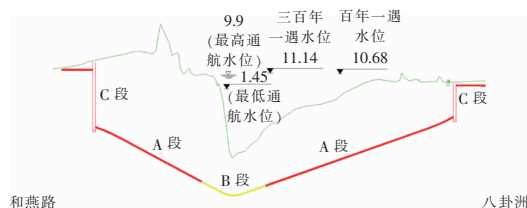


图 1 管材分区示意

Fig. 1 Pipe partition diagram

2.4 管道横断面设计

管沟在检修车通道下部, 标准段净宽 1.4 m , 阀门节点处向左加宽至 1.7 m 。沟顶用钢筋混凝土盖板盖平, 用螺栓锚固, 管沟内每 3 m 设 1 处混凝土墩加不锈钢抱箍固定管道, 具体如图 2 所示。

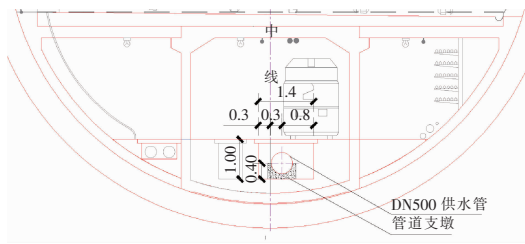


图 2 管道横断面图

Fig. 2 Cross section drawing of pipeline

2.5 附属设施

① 检修阀设置

根据《室外给水设计标准》(GB 50013—2018) 第 7.5.5 条, 输水管(渠)道的始点、终点、分叉处以及穿越河道、铁路、公路段^[1], 应根据工程的具体情

况和有关部门的规定设置阀(闸)门。本工程在隧道两端盾构井外及盾构段内间隔约 500 m 设置阀门,确保管线的运行安全。

② 排气阀设置

压力管线应在局部隆起点设置排气阀,本工程两端盾构井外属于局部高点,需要设置复合排气阀,确保运行安全^[2];盾构段内管线呈 V 字型,被控制阀门分隔成若干段落,由于高差较大,为了确保管线

运行安全,本工程在控制阀门间段落最高点设置排气阀。

③ 泄水阀设置

管线在投入运行前需要冲洗,在后期检修时需要放空管道,结合管线在隧道内的布置情况,本工程在盾构段内每两个控制阀门的最低点处设置泄水阀。

检修阀、排气阀、泄水阀设置如图 3 所示。

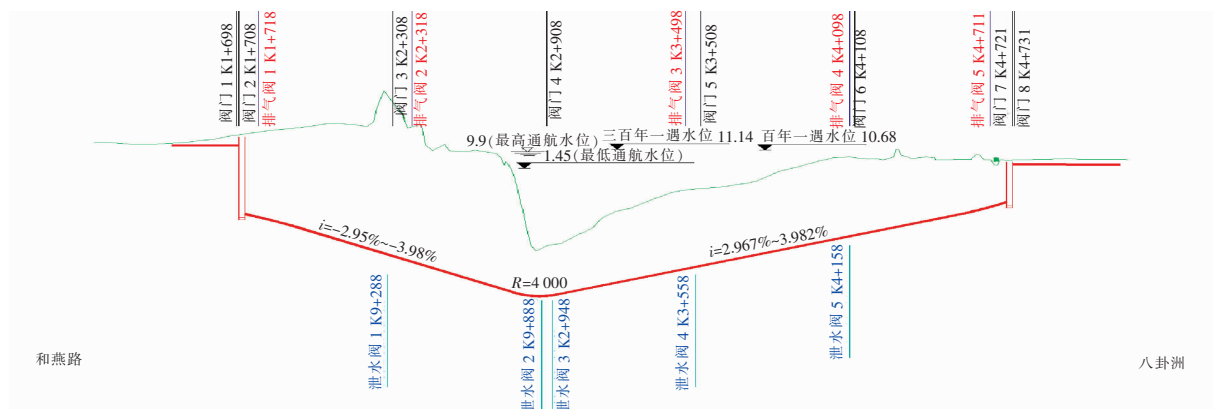


图 3 附属设施布置方案

Fig. 3 Layout plan of ancillary facilities

④ 流量计设置

在隧道两端盾构井外设置流量计,时刻监测隧道内管线起、终点的流量变化,可用于判别是否发生事故。

⑤ 压力监测系统设置

在盾构段管线两个控制阀门中间设置压力变送器,时刻监测管段的压力变化,可用于判别是否发生事故。

⑥ 液位监测系统设置

在隧道最低点位置集水坑内设置高低液位探头,时刻监测隧道内集水情况,可用于判别是否发生事故。

3 安全防护

3.1 管道支墩设置

隧道管沟内的管线设置支墩,每根管线设置 2 处支墩,支墩高度为 150 mm,上部采用 180°弧形支墩,支墩与管道间设置橡胶垫加不锈钢抱箍,支墩采用 C20 素混凝土,支墩尺寸受管道外径、抱箍用预埋螺栓、沟槽尺寸的控制,支墩尺寸设计为 1 032 mm(B)×265 mm(H),支墩沿管道方向长度为 300 mm。

3.2 管沟盖板的设置

按隧道最低点管线为最不利点考虑,此处管线承压高达 1.2 MPa,按照不同的事故破裂口面积进行分析,发生事故后,管内水流从破裂口以高速冲出,对周边障碍物产生较大的冲击,因此考虑采用钢筋混凝土盖板加螺栓锚固以抵抗高压水流的短时冲击,对管沟的侧壁及底部可采用钢筋混凝土防护,按照破裂口处水流的速度计算水流对管沟的冲量,公式如下:

$$Ft = \Delta mv \quad (1)$$

$$\Delta mv = m(v_0 - v_1) \quad (2)$$

式中: F 为物体所受力, N; t 为物体受力时间段, s; m 为物体质量, kg; v 为水流流速, m/s; Δ 为水流冲击物体前后冲量的变化; v_0 为水流冲击物体前的流速, m/s; v_1 为水流冲击物体后的流速, m/s。

计算得出当管线破裂口面积为 0.05 m² 时,管沟所受冲力最大,可达 30 kN,考虑管沟上采用盖板加螺栓进行锚固,短时内可抵抗高压水流产生的冲力,不致对人员、设备产生直接冲击,可保证事故时隧道、人员、设施的安全。采用钢筋混凝土盖板,螺栓固定于沟槽两侧,盖板尺寸为 200 mm×1 800

mm,厚度为 150 mm,单块盖板设置 4 个螺栓孔,方便螺栓安装。

3.3 水锤防护

本段管线最高点位置与隧道最低点位置高差较大,约 82 m,容易发生弥合水锤^[3],产生汽蚀,针对于此,通过建模分析,确定管道系统中控制阀门、排气设施的布置及运行模式等。

建模条件:本段管线为单向输水管路,起始点自和燕路附近城北水厂二泵房,二泵房内设有 5 台泵位,水泵流量 6 300 m³/h,扬程 350 kPa,清水池最低水位 20.2 m,考虑泵站站内水头损失 2 m,则水泵出水管总水头为 53.2 m,从城北水厂至江南盾构井距离约为 1.6 km,供水管管径为 DN1 000 ~ DN1 500,管线水力坡度按照 0.2% 计,则江南盾构接收井处接管点总水头约 50 m。以江南盾构井外接管点为控制节点进行建模分析。

利用 BENTLEY HAMMER V8i 水锤模拟软件进行建模,分析控制阀门、排气设施的设置方案。盾构段内管线高差较大,最低点管线承压较高,当水厂断电或者前端阀门关闭时,本段管线内水压会发生较大的波动,容易产生汽蚀现象,对管道造成损坏,一旦管线发生破损,将对隧道运行产生极不利的影响。本项目对以下四种控制阀门和排气设施的布置方案进行研究,以确定最佳的布置方案。

① 仅在江南盾构井外起端设置控制阀门及排气阀,研究在阀门关闭过程中管段内的压力变化情况,分析结果见图 4。

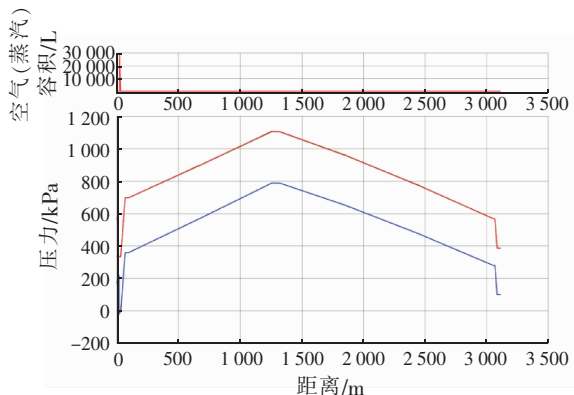


图 4 水锤模拟图 1

Fig. 4 Water hammer simulation diagram 1

② 仅在八卦洲盾构井外末端设置控制阀门及排气设施,研究在阀门关闭过程中管段内的压力变化情况,分析结果见图 5。

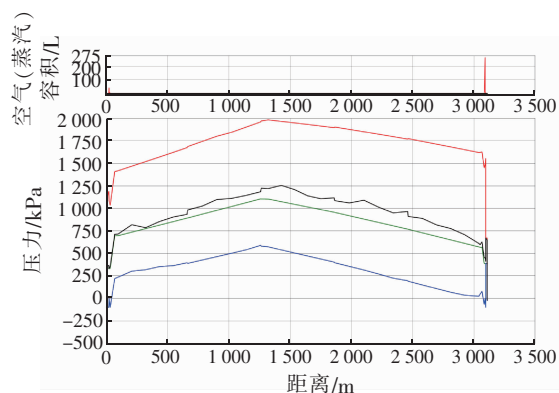


图 5 水锤模拟图 2

Fig. 5 Water hammer simulation diagram 2

③ 在两侧盾构井外设置控制阀门及排气设施,研究在两端阀门同时关闭过程中管段内的压力变化情况,分析结果见图 6。

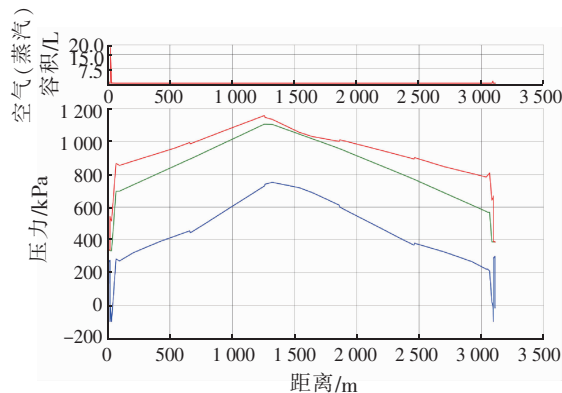


图 6 水锤模拟图 3

Fig. 6 Water hammer simulation diagram 3

④ 在盾构井外及盾构井内每隔 500 m 左右设置控制阀门及排气设施,研究在阀门同时关闭过程中管段内的压力变化情况,分析结果见图 7。

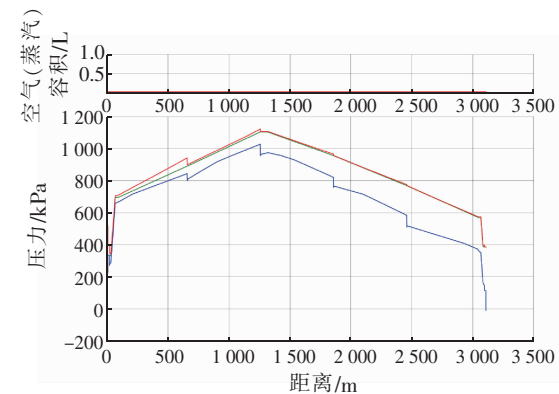


图 7 水锤模拟图 4

Fig. 7 Water hammer simulation diagram 4

由图 7 分析,在第四种情况所有阀门同时关闭

情况下,盾构段管线内的水压变化范围比前三个方案都小,节点处压力最高与最低差值约 0.2 MPa,两端盾构井附近管线最低压力值都大于 0,整个过程中管段沿线均未产生汽蚀,隧道内最低点处最大压力约 1.12 MPa,此种控制阀门及排气设施的布置方案能够满足管线及隧道的运行安全。因此推荐在两端盾构井外及盾构井内每隔 500 m 处设置控制阀门(电动蝶阀),同时在两端盾构井内管线高点及盾构井每两个控制阀门中间最高点位置设置排气设施,既可以确保管线在各种运行情况下不产生较大的压力波动,也缩短了管段间距,保证在事故时泄漏到隧道内的水量在可控制范围内,不对隧道产生较大的影响。

4 设计要点

① 选择适应隧道特点并耐高压的管材,尽量降低事故风险;

② 在两端盾构竖井外侧设置双电动阀门,确保事故时隧道外地面管网的水不再进入隧道内;

③ 在隧道内合理布置电动阀门,减小设置间距,严格控制阀门关闭时间,可有效避免事故时进入隧道的泄水量;

④ 在隧道两端设置流量计,隧道内各阀门间管段设置压力变送器,隧道最低处设置液位报警探头,采取多种措施监测判断事故发生;

⑤ 采用封闭式盖板形式,确保管线事故时不对隧道产生影响。

5 结论

和燕路-八卦洲过江隧道供水管线的设计为国内供水管线与交通隧道合建的首例,集约化地利用了隧道空间,在落差较大的隧道内敷设了大口径供水

水管线。分析确定了管材选择、附属设施、自控监测、安全防护等多项内容,依托系统化设计,确保管线的运行安全和隧道的通行安全,减小了管线对隧道的影响,实现了在隧道内敷设大口径供水管线的目标。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 室外给水设计标准:GB 50013—2018[S]. 北京:中国计划出版社,2019.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Water Supply Engineering: GB 50013 - 2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2019 (in Chinese).
- [2] 金锥,姜乃昌,汪兴华,等. 停泵水锤及其防护[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
JIN Zhui, JIANG Naichang, WANG Xinghua, et al. Pump-stop Water Hammer and Its Protection [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004 (in Chinese).
- [3] 熊水应,关兴旺,金锥. 多处水柱分离与断流弥合水锤综合防护问题及设计实例(上)[J]. 给水排水, 2003, 29(7): 1-5.
XIONG Shuiying, GUAN Xingwang, JIN Zhui. Problems and design example of comprehensive protection for water hammer due to cavities collapsing with water column separation at multi-points [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(7): 1-5 (in Chinese).

作者简介:刘宝林(1985-),男,河北沧州人,大学本科,工程师,研究方向为给水处理技术。

E-mail: 631233786@qq.com

收稿日期:2020-11-09

修回日期:2020-11-28

(编辑:孔红春)

贯彻《中华人民共和国水法》,依法治水管水