

运行与管理

厦门翔安海底隧道给水管道的设计和运行维护

费霞丽

(厦门水务集团有限公司, 福建 厦门 361009)

摘要: 介绍了厦门翔安海底隧道给水管道的特点及运行情况,为实时监控海底隧道内给水管道的运行状况,自控系统采用压力降、流量差以及隧道底部水池的水位变化作为爆管事故的判断依据,为给水管道的安全运营提供保障。

关键词: 海底隧道; 给水管; 爆管; 自动化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)02-0118-05

Design and Operation Maintenance of Water Supply Pipeline in Xiamen Xiang'an Submarine Tunnel

FEI Xia-li

(Xiamen Water Group Co. Ltd., Xiamen 361009, China)

Abstract: The characteristics and operation of the water supply pipeline project in Xiamen Xiang'an submarine tunnel were introduced. For real-time monitoring the operation status of water supply pipeline in the submarine tunnel, the automatic control system uses differential pressure drop, differential flow and the water level of the bottom tank of the tunnel as the basis for judging pipe-bursting accidents so as to guarantee safe operation.

Key words: submarine tunnel; water supply pipeline; pipe burst; automation

厦门本岛现有净水厂两座,即高殿水厂(规模为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和莲坂水厂(规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),水源主要来自九龙江北溪。翔安区现状水源主要依靠同安汀溪水库群及“西水东调”一期 DN1 200 单管长距离输送北溪原水。其中,“西水东调”一期工程主要供给翔安水厂,设计供水能力为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;而汀溪水库群原水供应翔安区仅约 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,目前落户翔安火炬园区的企业均属高耗水用户,园区用水呈飞跃性增长,到2017年该区高峰供水量已达 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,而且每年以20%~30%的增长率递增,区域供水安全性问题日益凸显。

厦门本岛与翔安供水主管互通工程的起点为高殿水厂,沿环岛北路、环岛干道,经过翔安海底隧道、翔安大道至翔安水厂,管道总长约24.5 km,管径为

1.0~1.4 m,其中翔安隧道服务隧洞内采用钢管,西滨加压泵站规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (见图1)。



图1 项目方位图

Fig. 1 Project orientation diagram

除隧道段为互通管道外,其余18 km供水主管

建成后承担平时区域供水主干管的任务。该工程实现岛内给水干管和翔安给水干管的互连互通,实现双向供水,使厦门本岛与翔安区形成大的供水环路,提高了供水的安全性。

1 翔安隧道段管道简介

厦门翔安海底隧洞是国内第一条跨海隧道,海底隧洞长约6 km,隧洞采用三孔,两侧为行车主洞,中间一孔为服务隧道。

自来水管埋设于服务隧道路面下方供水自来管道空间[2.6 m(宽)×2.15 m(高)]内(见图2),采用D1 020 mm×14 mm成品防腐钢管,管道工作压力为1.2 MPa,试验压力为1.70 MPa。管道焊接、X探伤、防腐等采用国标高标准,外涂层采用熔结环氧/挤塑聚乙烯结构3 mm;内涂层采用1 mm聚脲材料防腐。

服务隧洞管位见图 2。

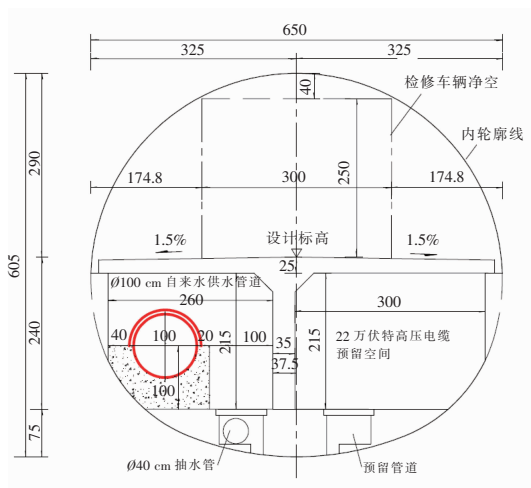


图2 服务隧洞管位

Fig. 2 Service tunnel pipe bitmap

2 翔安隧道段管道安全防护现状

2.1 管道泄漏事故防范

给水管道泄漏是不可避免的,造成管线的泄漏原因包括管道腐蚀、冻结、变形、破裂和爆管等。管道自身原因包括管道材料、运行状态、使用时间和防腐措施等,外界原因包括管道安装施工质量、受到撞击或振动等^[1]。

隧道内长期的车辆运行产生振动引起管道的位移,造成管线的不均匀沉降,促使管线出现裂缝或是连接部位发生错位,隧道段管道与一般管道相比更易发生泄漏。为此,管道在隧道内采用混凝土基础,局部满包加强,以减少因振动引起的管道位移。

2.2 水锤事故防范

翔安隧道段管道在隧道内沿线路坡度敷设,形成不同坡度的多段管道,与一般管道相比,易聚积大量的气体,在充水、停泵、关阀过程极易诱发水锤事故^[2]。因此,采取了以下措施避免水锤的发生:①管道采用美国 Hammer 水锤分析软件模拟分析,按分析结果采取有针对性的措施。②管道间隔 1 km 设置 DN250 进口优质大口径排气阀,可快速排出管道内的空气。

2.3 应急切断供水

隧道两端设置总控制耐高压(2.5 MPa)电动阀门,隧道内每1 km设置一套耐高压(2.5 MPa)电动蝶阀,共设置7个,事故时可自动同时切断供水。

2.4 设置排水泵房

海底隧道纵向为“V”字型坡度,洞口在陆域段标高比洞内高,洞口及沿线管道的渗漏水均要沿隧道向洞底流,加上隧道底部的海底裂隙水,均聚集在海底隧道底端。为了排除隧道底端的海底渗漏水以及管道爆管泄漏水,翔安隧道最低点设置了排水泵房,集水池容积达 $3\,500\text{ m}^3$ 。配置了 9 台大型水泵(7 台工作,2 台现场备用)。根据排水泵房的水位信号、压力异常信号,随时可自动启动水泵抽吸,不需人工操作。平常开启 2 台潜水泵,服务隧道内给水管道事故时需再开启 2~5 台,共开启 4~7 台水泵。单台潜水泵参数: $Q=250\text{ m}^3/\text{h}$, $H=1.38\text{ MPa}$, $P=160\text{ kW}$ 。泵房操作地面标高为 -70.186 m 。水池底标高为 -79.136 m ,事故时运行水位不高于 -75.136 m 。隧道内管道阀门安装示意图图 3。

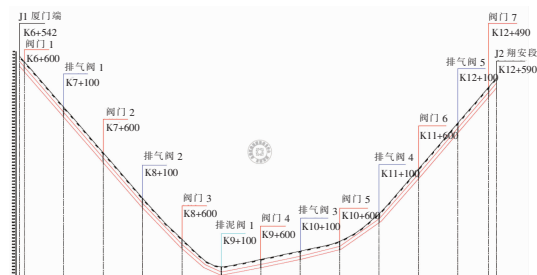


图3 隧道内管道阀门安装示意图

Fig. 3 Schematic diagram of tunnel pipeline valves installation

3 自动化控制系统

3.1 设置自动化控制系统的必要性

由于翔安隧道内高差较大,最低处为地下 70 m,最低点管道压力达 1.1 MPa,从安全角度出发,最

初设计理念是平常隧道段互通管处于关闭状态,只有在特殊情况下才投入运行,作为双向备用水源输送主干管。但是由于翔安区短期内难以增加新的供水水源,为了确保该区域的供水,自2015年5月开始,海底隧洞管道常态运行,由厦门本岛向翔安区供水。

该管道是目前国内第一条大口径海底管道,压差大。隧道的排水泵站设备及配电系统均设置在隧洞最低点,目前仅隧道排渗漏海水水量就达到 $14\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。原设计水池容量偏小,一旦给水管道的发生爆管事件,将给隧道的安全运行带来极大的隐患。

为科学应对供水管道运行过程中出现的爆管事故,并在一旦发生紧急情况,迅速做出有效反应,使事态影响控制在最小程度,除了漏水预警反应预案并入隧道安全预案,应急响应的手动系统外,对给水管道的自动化监控系统也提出了更高的要求,对异常漏水量及压力的变化,要做到自动化控制及反应。

3.2 系统组成

根据工艺流程和生产管理的需要,隧道内供水干管沿线共设置7个压力变送器(间隔1 km)、在两个隧道口各设置一个电磁流量计等检测仪表;在每个阀门电动执行机构内设置阀位变送器;在隧道内储水池设置液位变送器。自控系统采用可靠的PLC模块,系统配置和功能设计按各工艺处理阶段无人值守的原则进行。当转换开关置于自动位置时,可在计算机测控管理系统的工作站或中心控制室的主机上对电动阀门进行控制。

隧道内仪表安装示意图4。

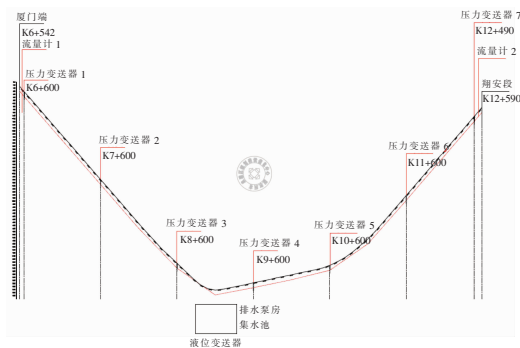


图4 隧道内仪表安装示意图

Fig.4 Schematic diagram of tunnel instruments installation

隧道内的12套PLC全部采用以太网通信,通

信介质为单模光纤;隧道内主控PLC通过GPRS无线网与西滨泵站中控室管理主机和水务集团售水管网抢修处分机通信,采用两套不同通信公司的GPRS系统,互为备份,以提高稳定性与准确性。

计算机测控系统和电动阀门控制箱电源由隧道内外的4个变配电所提供。隧道内设置有4个配电计量箱。每个变配电所各引两路电源至配电计量箱,再由配电计量箱放射式配电至各电动阀门控制箱和PLC终端。

隧道内计算机远程监控系统及电动阀门的最大用电负荷约为30 kW,设计为一级用电负荷。

3.3 系统功能

3.3.1 中控室主机

在西滨泵站中控室设置2台管理主机,互为备份,值班人员通过管理主机对输水管道运行工况进行实时监测,并具有数据存储、图形显示、报表打印等功能。一旦发生爆管泄漏事故,管理主机发出声光报警,并启动应急预案处置程序。

3.3.2 抢修处分机

在水务集团售水管网抢修处设置1台管理分机,该分机作为西滨泵站管理主机的后备分机,实时显示输水管道运行工况,一旦发生爆管泄漏事故,管理分机发出声光报警,通知抢修人员。

3.3.3 隧道内主控PLC

隧道内主控PLC作为整个监控中心的“大脑”,根据电动阀门PLC远程终端传送的信号,监测供水干管的压力、流量和液位等参数,并将上述参数通过有线和无线网传送至西滨泵站主机。若发生爆管事故,主控PLC会自动命令电动阀门PLC远程终端关闭电动阀门,同时通知送水泵站立刻停开送水泵。上述管理主机同时工作,以确保系统的可靠性。

3.3.4 电动阀门PLC远程终端

检测阀位变送器、压力变送器、液位变送器和电磁流量计的输出信号,检测电动阀门的开关、事故状态。通过以太网(光纤)将检测参数传送至隧道主控PLC和西滨泵站管理计算机,并接受主控PLC命令对阀门进行控制。

电动阀门的控制模式有:

① 手动模式。通过阀门控制箱的按钮控制阀门的开关。

② 遥控模式。即远程手动控制方式,操作人员通过隧道主控PLC操作面板或西滨加压站中控

室管理主机控制阀门的开关。

③ 自动模式。隧道主控 PLC 根据各阀门 PLC 采集并传送的检测参数自动控制阀门的开关,不需要人工干预。

④ 电动阀门的控制模式通过强电设计中的“手动/自动”切换开关可实现“手动模式”和“遥控模式”或“自动模式”的转换,通过隧道监控室 PLC 操作面板可以选择“遥控模式”和“自动模式”的转换。其中就地“手动模式”控制优先权最高,以保证现场操作维修安全。正常运行情况下,自控系统采用自动模式。

为了加强监控管理,管道投运后在服务隧洞内部增加视频监控系统,两侧又各增加一个监控主机,值班人员实行三班运转,采用现场人工巡检、视频远程监控等手段,保障管道的运行安全。

3.4 爆管事故的判断及处置

采用以下 3 种模式进行爆管事故的判断。

① 供水干管压力骤降

当发生爆管时,通过压力报警信息中的时间标识和地点标识,确定爆管方位。这是由于发生爆管

时,在距离爆管位置附近的测压点压力会马上下降,而距离爆管位置越近,压力会下降得越快,当压力下降到测压点下限报警压力时,测压点会发出报警信号,自控系统可根据测压点发出数据的情况判断爆管的位置,及时作出处理,减少因爆管造成的损失。

② 隧道两侧流量差骤增

通过隧道两侧流量计的流量差值,确定有无爆管还是小的渗漏。这是由于发生爆管时,隧道两侧流量计流量差值会增加很快,累计流量差也会增加很快,自控系统可根据发出数据流量差值的情况及时作出处理,将因爆管造成的损失最小化。

③ 隧道内储水池水位骤升

翔安隧道最低点设置了排水泵房,排水池容积达 $3\,000\text{ m}^3$ 。隧道内储水池水位骤升的原因包括隧道出现事故、隧道裂隙水突然增加或自来水爆管。当供水干管上的压力正常及隧道两端的流量差正常时,为隧道事故;若伴有压力及流量异常,则为爆管事故。爆管预警反应预案并入隧道安全预案,对异常水量的监控非常敏感,可做到自动化控制及反应。自控程序框图见图 5。

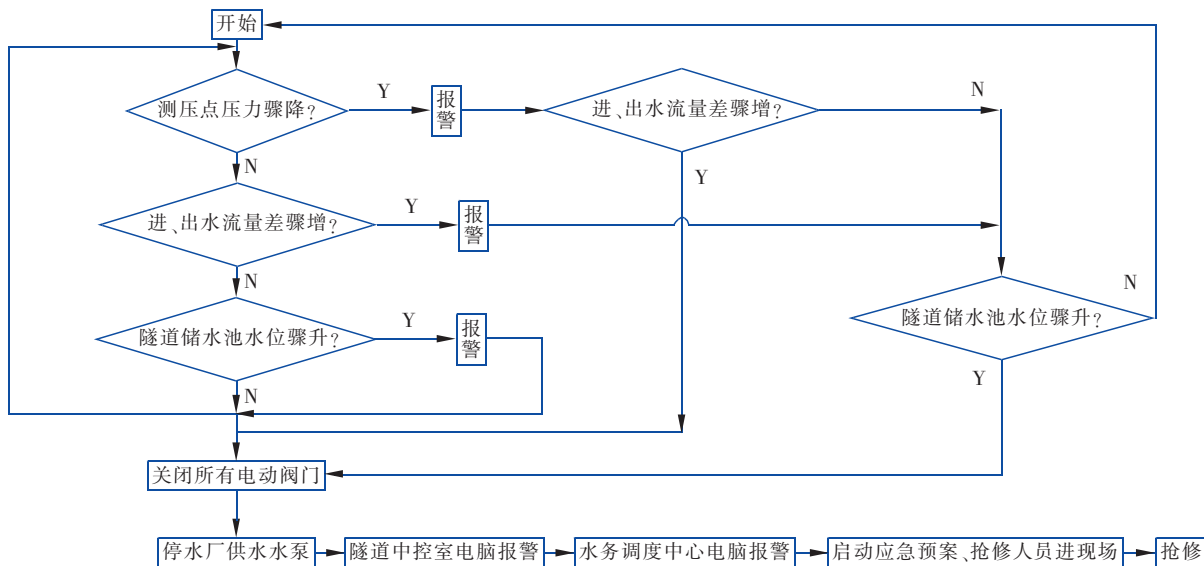


图5 自控程序

Fig. 5 Self-control program diagram

3.5 模拟试验

在管道投入使用前进行了模拟试验,通过控制隧道底部的排污泄水阀开启度,来模拟压力和流量的波动,自控系统检测泄水阀开启后各压力监测点的压力降和流量差,当压力降和流量差达到各自设

定值后,自控系统启动阀门关闭程序,以此来测试自动化系统的敏感性。

鉴于隧道底部海水渗漏量已经远大于设计数据,隧道管理方要求排入水池的水量不能大于 $300\text{ m}^3/\text{h}$,根据此要求,测算排污阀开度和流量的关系

后确定试验时阀门的开启度。在正常地面上主干管爆管瞬间压力降超过 0.3 MPa,而在隧道内,因高差的存在导致瞬间爆管压力降会更大。为检验系统的灵敏度,初步将压力报警值设定为压力降 0.1 MPa,流量报警值设定为 90 m³/h。在试验过程中,实时观察和记录压力降、流量差以及水池水位的瞬时变化,系统先发出声光报警,判断爆管后,启动阀门关闭程序,根据设定程序,60 s 内关闭隧道内所有阀门,模拟试验结果达到原设计要求。在管道实际运行过程中,一旦发生爆管,系统将按此程序启动应急关阀程序,若自动系统失效,须采用手动方式紧急关闭隧道两端的阀门,降低爆管造成的损失。

4 结论及建议

目前,该工程已投入使用约两年,系统较为稳定,但是由于该管道安装位置的特殊性,工艺系统较陆地埋设管道复杂,在运行中还存在不少问题需要进一步优化。

① 为了提高安全性,除了隧洞内 7 个手动电动两用的电动蝶阀外,在隧道两侧陆地上各增设 2 个手动蝶阀,同时还设置响应快捷的机械式快速管道关断阀。一旦发生爆管事件,若隧洞内断电阀门无法关闭,可在隧道两侧快速关断阀门,避免大量水涌入隧道,目前手动模拟调试已经完成,但因为要激发阀门自动关闭,流速必须大于 1.5 m/s,而目前的实际运行条件无法满足,因此阀门无法进行实际生产性试验。

② 隧道设计单位在设计时对海底的海水渗流量预估不足,造成隧道底部的集水池容积偏小,而且排水泵房的配电控制柜设计在隧道最底部的排水泵房内,且标高远低于供水干管底部标高,一旦爆管,底部的配电设备极易进水损坏,从而影响泄漏水量的抽排。为避免管道爆管后影响隧道运营安全,建议尽快将隧道底部排水泵房的高低压配电控制柜外移至隧道外两侧陆地端,并对泵房设备进行提标改造,从技术上提升和确保翔安隧道底部排水泵房应对事故的排水能力,保证翔安隧道的安全运行。

③ 爆管压力报警值、各设计节点的设计参数的设置以及水锤计算分析,是结合经验及通过模拟试验得出,未经过实际爆管的验证。一旦爆管,对隧

洞及附属设施的影响是巨大的,其设置参数的有效性尚待验证。水锤模拟试验得出爆管时水锤影响的最不利点是隧道最低点管道,但紧急关阀水锤对陆上管网系统及水厂的影响也不容忽视。

④ 服务隧道内存在海水的局部渗漏,管道在服务隧道内明管敷设,基本暴露在高盐高湿环境中,虽然管道采用 PE 防腐,但无法增加阴极保护以增强管道的防腐能力。三通等现场焊接焊缝是最薄弱的环节,这对日常的养护提出更高的要求。除了定期对设备和仪表进行养护外,尚需进一步更新完善系统的检测功能和应急控制功能,建议与隧道管理自控系统形成联动响应机制。

⑤ 此管道原设计为应急时投用,但因为目前翔安地区供水紧张,管道常态化供水运行两年来,为了加强管线监测,避免爆管事故的发生,运行管理单位付出极大的人力和物力,建议今后在类似高差大的隧道中慎重与交通隧道及其他管线等并廊安装城市供水管道。

参考文献:

- [1] 白健生,王恩祥. 天津市供水管网的漏失现状及分析[J]. 中国给水排水,2001,17(2):25-27.
- [2] 金锥. 停泵水锤及其防护(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.



作者简介:费霞丽(1971—),女,山东日照人,博士,高级工程师,从事给排水工程规划建设工作的。

E-mail:13606083312@163.com

收稿日期:2017-11-03