

欧标隧道消防管网系统压力测试及自动化运行流程介绍

靳朝祥 张文杰 黄清阳
中国公路工程咨询集团有限公司

摘要：伴随“一带一路”合作倡议在全球多个国家落地开花，众多中国企业开始走出国门，迈向世界。在欧洲高端公路建设市场上，很多中国企业也取得持续重大突破，了解并熟悉欧洲标准规范下的施工工艺也成为摆在中国施工企业面前的重要工作和迫切需求。该文依托中东欧黑山共和国黑山南北高速公路项目建设过程，介绍了欧洲标准下的公路隧道消防管网系统压力测试流程和自动化运行流程，可以帮助更多中国施工企业了解欧标消防设施的施工标准，进而建设更多更高质量的欧洲高速公路。

关键词：欧标；消防管网；产品选型；压力测试；自动化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.22.085

引言

黑山南北高速公路优先段于2022年7月13日顺利通车，该条高速公路的建设被誉为黑山共和国的“世纪工程”，也是中国企业在欧洲公路市场建设的海拔最高、地质条件最复杂、桥隧比最高、施工难度最大的一条高速公路，公路优先段全长近41km，包含16座隧道、20座桥梁和3座互通式立交桥，项目桥隧比约60%。高规格公路建设也伴随着高质量建设要求，国内隧道消防管网安装普遍采用缆沟敷设、支架固定方式，消防管道安装与维护较为方便，而黑山南北高速公路优先段隧道右侧管道采用埋地敷设安装，消防管道敷设于隧道行车道下方0.9m处，因此消防管网系统压力测试流程更为繁琐，测试合格指标更加严苛，与国内消防管网压力测试流程差异较大。

一、消防系统安装工艺介绍

(一) 产品选型

按照欧标标准，隧道消防管道多选用球墨铸铁材

质，内部采用环氧树脂涂塑，管道组装采用承插式与卡箍式结合的方式进行连接，具有运行安全、耐压防腐、工作寿命长等优点，但由于管体相对笨重和单向安装限制，打压测试后出现漏水时必须将漏水管道整体挖出或者在漏水点位置切割管道并安装伸缩器，漏水情况处理工艺复杂。由于黑山南北高速公路项目气候具有多盐多湿的特点，所以内部涂塑环氧树脂的球墨铸铁管道也成为该项目首选材料，同时结合设计最大工作压力16bar的要求，最终选用TRM公司生产的DN150和DN200球墨铸铁管道。

(二) 安装工艺介绍

(1) 基坑处理

根据设计图纸中消防管道安装位置要求，同时结合消防管道组装工艺需求，对消防管道位置进行定位并标记。开挖尺寸严格按照设计文件要求进行以免侵占土建设路基，同时开挖过程中做好安全设施支护，开挖完毕进行基坑清理后，均匀铺设至少10cm厚度砂垫层，砂垫层采用0~12mm直径砂石料并采用机械装置进行紧密压实，然后由第三方独立实验室进行压实度和干密度的测量：采用MS法测得砂垫层压实度 $\geq 15\text{MPa}$ ，采用灌砂法测得砂垫层干密度 $\geq 95\%$ 。

(2) 管道组装

首先清理干净管道接口，并将管道润滑剂均匀涂抹于管口，然后按照厂家技术指导依次装入消防管道密封胶圈和密封卡箍，最后利用机械装置缓慢匀速推进管道进行组装，推进过程中要及时按照设定路由调整管道敷设位置，管道组装完毕后采用0~12mm砂石料进行回填以能够牢固固定管道（注意：管道接口处不能回填，否则影响后续压力试验进行），最后在消防管道位置最低的一端安装供水打压装置和压力测试仪表，消防系统管网组装与固定见图1。

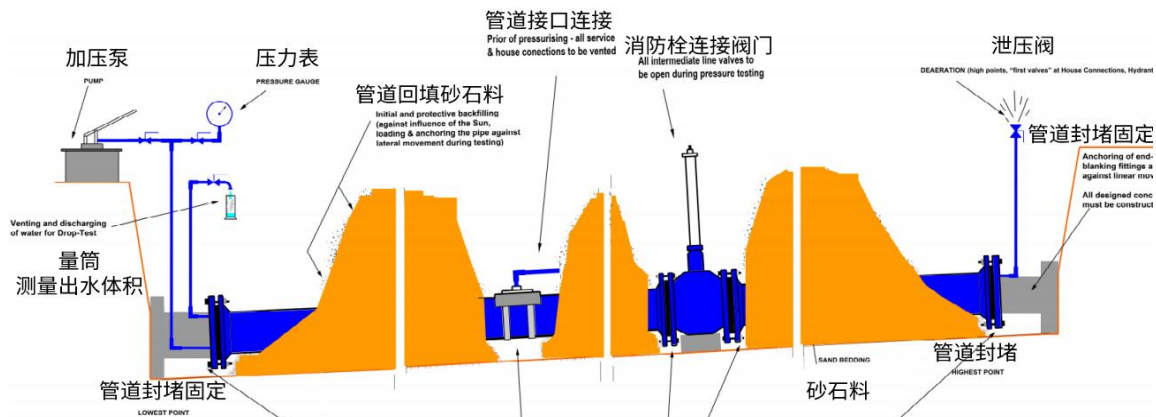


图1 消防系统管网组装与固定

二、消防管道压力测试

由于国内隧道消防管道多采用支架安装方式将管道敷设于隧道电缆沟内，该种安装方式无需进行回填压实作业，管道安装与维护工作相对而言更加高效便捷，因而消防管道压力测试多采用固定值测试法，即消防管网水压强度测试的测试压力选用设计工作压力+0.4MPa（设计压力大于1Mpa情况下）进行测试，消防管网水压严密性测试的测试压力采用设计工作压力进行测试，测试流程和测试工艺也相对简单便捷。而按照欧洲当地标准规范，消防管道压力测试采用分步测试、整体评估的方式，主要包括三种测试：初步测试、压降测试、主测试，测试过程应当按照先总管，后干管，再支管的原则进行，同时也可以按照施工现场安装进度分区域、分段落进行测试。具体测试细节如下。消防管道压力测试流程见图2。

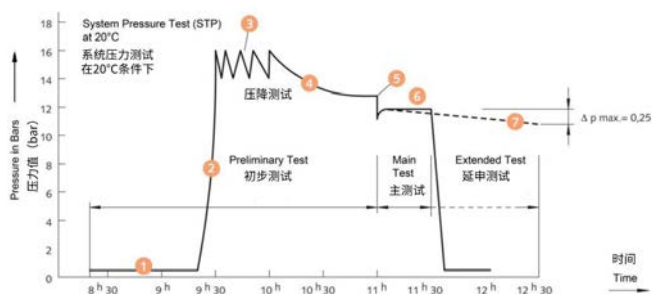


图2 消防管道压力测试流程示意图

(一) 测试前准备工作

(1) 器具准备

按照欧洲标准规范，消防管网压力测试的允许温度是0℃-20℃，低于0℃或高于20℃均不允许进行压力测试，测试用压力表量程不应大于0.2 bar且经过专业仪器标定机构标定合格，因此压力测试前需要按照相应标准规范要求购置满足要求的温度计和标定合格的压力表，压力表有弹簧式压力表和电子式压力表，推荐使用检测精度更高的电子压力表。

(2) 盲板隔离

消防管网压力测试前应对不能参与试压的设备、仪表、阀门及附件进行拆除或使用盲板隔离。加设的临时盲板应安装牢固确保无渗漏发生，安装盲板的数量、位置应明确记录，以便试验结束后进行拆除。

(2) 管道静置排气

打开消防管网位置最高点的排气阀，在消防管网位置最低点采用加压泵开始均匀注水以排除消防管道内部空气，直至消防管网全部注满水，然后关闭管道进水管阀门静置消防管道至少24小时，以使消防管网内部环氧树脂填充物质充分吸收水分，以免影响后续一系列压力测试数据。静置过程中需要检查消防管网各个接口位置是否存在渗漏情况，如发现有管道接口渗漏需要重新组装管道并再次注水进行渗漏检查，直至确保无渗漏情况发生时才可以进行后续一系列压力测试。

(二) 初步测试

(1) 测试压力值确定

按照欧洲标准规范，消防管网初步测试压力值=1.5×消防管网工作压力，按照标准要求安装测试仪表后进行现场验证。该测试压力必须重复2次，中间间隔10min，持续时长30min。在测试过程中的30min内，消防管网压降 $\nabla p < 0.6 \text{ bar}$ ，同时管网无渗漏情况发生。

(2) 现场初步测试

以黑山项目7#隧道 (Vjeternik) 为例，设计文件要求消防管网工作压力13.6bar，可以计算得到初步测试压力值=1.5×13.6bar=20.4bar，考虑该压力表量程选定测试压力值为20 bar，该压力值重复进行两次2次加压，中间间隔10min，持续时长30min，试验测得压力降 $\nabla p = 0.4 \text{ bar}$ ，同时管网无渗漏，初步压力测试结果合格，可以进行下一步压降测试。

(三) 压降测试

(1) 测试压降值确定

按照欧洲标准规范，消防管网压降测试的压降值需要根据现场管网长度进行选定，且选定的压降值 $\nabla p \geq 0.5 \text{ bar}$ ，并按照标准公式计算出压降测试允许最大出水体积 ∇V_{max} ：

$$\Delta V_{\text{max}} = 1.5 * V * \Delta p * [(1/E_w) * D(e * E_r)] \quad (1)$$

式(1)中： ΔV_{max} 为允许的水损失量(L)；V为测试管道段的体积(L)；

Δp ——按公式所述的测得的压力损失，单位取kPa。

E_w ——水的体积模量，单位为千帕斯卡；($E_w = 2.03 \times 10^6 \text{ kPa}$)；

D——内部管道直径，以米为单位；

e——管道的壁厚，以米为单位；

E_r ——管壁在周向上的弹性模量，以千帕斯卡为单位；

1.5——在主压力测试之前允许的空气含量的允许系数。

然后在测试过程中用量筒测量实际出水体积 ∇V ，测得的实际出水体积 ∇V 应小于计算允许最大出水体积 ∇V_{max} ，即 $\nabla V < \nabla V_{\text{max}}$ ，则消防管网压降测试合格，此时管道内部气体已经充分排尽，可以进行下一步压力主测试。

(2) 现场压降测试

以黑山项目7#隧道 (Vjeternik) 为例，由于该条隧道为长隧道，因而选定隧道入口段消防管道测试压降值 $\Delta p = 1 \text{ bar}$ ，实测DN200铸铁消防管道长度52m，内径 $D = 0.20 \text{ m}$ ，壁厚 $e = 0.0048 \text{ m}$ ，弹性模量 $E_r = 170 \times 10^6 \text{ kPa}$ 。按照标准公式计算得到允许的最大水分损失 $\Delta V_{\text{max}} = 0.18 \text{ L}$ 。测试人员在管道压力稳定在20bar后泄压1bar至19bar，测量管道阀门口出水体积，实测出水体积 $\Delta V = 0.18 \text{ L}$ ，在允许的水分损失 ΔV_{max} 范围内，因而判定压降测试合格。

（四）主测试

（1）主测试压力值确定

按照欧洲标准规范，压降测试合格后，可以进行消防管网压力主测试。首先将管道内部压力恢复至测试压力，观察一个小时，在观察期间消防管网整体压力降 ∇p 不超过0.2bar，则消防管网压力主测试合格。如果测得的压力降 ∇p 超过0.2bar，则压力主测试不合格，表明此时消防管网存在微小渗漏，需要进行进一步消防管网漏点排查。

（2）现场主测试

以黑山项目7#隧道（Vjeternik）为例，将消防管网内压力恢复至测试压力20bar，等待一个小时，期间持续观察压力表示数，查看压力表示数变化。观察完毕得到压力降变化为 $\nabla p=0.05\text{bar}$ ，不超过标准规范要求的0.2bar，压力主测试合格，相应压力测试流程结束。

主测试合格后方可对消防管道进行整体回填压实，第一层回填料采用0~12mm砂石料，回填厚度至少超过管道顶端20cm，并采用机械装置进行紧密压实，然后由第三方独立实验室进行压实度和干密度的测量：采用MS法测得回填料压实度 $\geq 25\text{Mpa}$ ，采用灌砂法测得回填料干密度 $\geq 100\%$ 。第一层砂石料回填层压实度和干密度测试合格后，可以安排进行第二层回填，回填料可采用与路基回填料相同材料并采用大型机械装置与路基回填同步施工。

（五）消防栓放水试验

按照欧洲标准规范，隧道消防管网的压力测试只有在初步测试、压降测试和主测试全部合格的情况下，方可判定隧道消防管网系统整体压力测试合格，此时可以判定消防管网整体已经具备稳定运行前提条件。在以上压力测试结果得到监理工程师认可并正式签字批复后，可以进行消防栓安装作业，在消防栓完成安装并自检合格后可以邀请第三方检测公司进行隧道消防栓放水试验，该试验要求在0℃~20℃环境下，消防栓正常出水流量不应小于1200 L/min，放水试验持续2小时内消防管网可以正常供水。

以黑山项目7#隧道（Vjeternik）为例，在消防栓安装完毕后，聘请当地消防验收第三方服务公司组织进行消防栓放水试验，测得的消防栓正常出水流量为1350 L/min，当管网压力下降到设定值后消防水泵自动启动供水增压，消防管网整体压力维持在正常工作区间，在持续2小时后放水试验结束并判定合格，第三方服务公司签发消防管网放水试验测试合格报告并在消防栓上张贴测试合格标识，此时隧道消防管网整体具备正式投入使用条件。

（六）消防管网自动化运行

消防管网的自动化控制核心部件是泵房控制柜，该机柜通过压力开关、压力传感器及水房液位计来控制相应泵组的启动停止实现消防管网自动化稳定运行。同时，泵房控制柜与监控中心SCADA控制系统实现数据传

递，可以在监控中心内通过SCADA系统远程监控消防设施相关运行数据，也可以进行手动干预控制，以进一步增强消防管网自动化运行的稳定性。

以黑山项目7#隧道（Vjeternik）为例，泵房控制柜位于消防水池内，柜内的主控制器PLC控制程序优先检测储水池内的液位计信号，当水位低于液位计最低报警水位时，液位计向控制柜内PLC输出最低报警水位信号，当PLC检测到最低报警水位信号时，相应消防泵组停止运转同时供水泵组马上启动供水。当隧道消防栓现场进行消防作业用水时，消防管道内水的压力将持续下降，一旦压力传感器检测到管道内压力低于10bar时，PLC将控制两台消防主泵直接启动，给现场消防栓持续加压供水；当现场停止用水时，短时间内消防泵组继续运转，一旦压力传感器检测到管道内压力高于14bar时，PLC将控制两台消防主泵直接停止，实现消防作业供水自动化运行。消防泵采用“2主+1备”工作方式，两台消防主泵中任何一台出现故障，备用泵将会立即启动，备用泵的运行逻辑与主泵相同。

自动控制系统参数调整时需要充分考虑消防管网内部的“水锤”效应，这就需要将消防水泵启动运转和停止运转间的压力阈值区间设置相对大些。液位计的最低液位信号线应在进水管道上方约50cm位置，这样既可以避免水位太低导致泵无水空转，同样也能防止泵内进入大量空气导致泵无法停止运行。

三、结语

本文结合黑山南北高速公路项目中消防管网安装过程中的特异性，系统性地介绍了欧洲隧道消防管网的安装工艺、压力测试和自动化运行流程。通过该文可以使中国企业了解欧洲标准下的消防设施安装、测试及自动化运行流程，实现中国企业在欧洲项目建设过程中熟悉并遵循欧洲施工标准规范，切实提升项目施工质量，也能够促进中国企业相应地降低施工成本和管理成本，进而更加有利于中国企业在该地区后续发展并不断扩大中国“一带一路”倡议在欧洲国家的影响力。

参考文献：

[1] 德国水、污水和废物协会. 排水沟和下水道的建造和测试: DIN EN 1610-2015 [S]. 德国: Steinzeug Abwassersysteme GmbH, 2015.

[2] 欧洲标准化委员会. 室外供水系统和组件的相关要求: EN 805-2000 [S]. 英国: British Standards Institution, 2000.

[3] 欧洲标准化委员会. 水管的球墨铸铁管, 配件, 附件及其接头-要求和试验方法: BS EN 545-2010 [S]. 英国: British Standards Institution, 2000.

[4] 欧洲标准化委员会. 固定消防系统-自动喷水灭火系统-设计, 安装和维护: BS EN 12845-2015 [S]. 英国: British Standards Institution, 2015.

[5] 高阳. 国内与东欧高速公路隧道机电设计方案对比研究[J]. 公路交通科技, 2019(8): 108-114+132.