

电伴热保温在陕西公路隧道消防系统中的应用

周 瑶

陕西省交通规划设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：隧道水消防系统对于高速公路隧道火灾预防起着至关重要的作用，陕北地区冬季低温期消防管道冻裂现象频发，部分路段运营公司只能通过将管道内的水排空的方式防止管道冻结，该措施影响隧道水消防系统的正常运行，存在较大的安全隐患，本文根据陕西省高速公路隧道消防管道的保温现状，介绍了在消防管道上设置电伴热系统的保温方案，为陕北地区消防管道的保温措施提供一定依据。

关键词：高速公路；隧道消防系统；电伴热系统

1 概述

公路隧道水消防系统由高位消防水池、低位消防水池、水源井、洞内主干供水管网、洞外上下山供水管网、消防加压泵房、消火栓、水成膜泡沫灭火装置、阀门等设备组成。陕北地区冬季寒冷，隧址区域最低气温通常在-25℃左右，个别路段山区气温能达到-30℃。隧道洞外管道比洞内管道所处的环境恶劣，低位水池向高位水池补水的管道和高位水池往洞内管网供水的管道经常要沿着陡峭的山体敷设，较为平缓的区段，管道可以埋地敷设，管顶埋深在冻土层以下30cm的位置可以防止管道冻结。管道无法埋地的区段，采用架空敷设的方式，通过槽钢支架和扁钢管卡将管道固定在混凝土支墩上，洞外架空敷设的管道易发生冻结现象，需要加强保温措施。目前主要的管道保温方式有：被动保温措施（包裹保温材料保温）和主动保温措施（填注防冻液保温、电伴热保温）。采用填充防冻液进行保温的措施，防冻液需求量大，成本高、且防冻液可能与水成膜泡沫液发生化学反应，影响水成膜泡沫液的正常使用。因此，不适用于消防管道保温。陕北地区气温低，仅设置被动保温措施不能防止管道冻结。因此采用电伴热系统+阻燃型聚氨酯保温材料包裹+铁皮保护的方式对消防管道进行保温可以较好的解决这一问题^[1]。

2 电伴热系统

电伴热系统由电伴热控制配电箱、电伴热管理软件、电源接线盒、伴热电缆、尾端接线盒、温度传感器、供电电缆等配件构成。电伴热系统工作的原理是：将伴热电缆紧贴管道壁敷设，伴热电缆通电发热，从而防止管道内的水冻结。目前伴热电缆主要分为自限温伴热电缆和恒功率伴热电缆两大类。

自限温伴热带一是由PTC导电材料和两根平行的金属导线（母线）及绝缘护套构成。其特点是与被加热体相

互关联，能随被加热体温度的变化而自动调节输出功率，自动限制加热的温度。单根使用最长为100m，在使用长度内可任意截短或接长使用，并允许多次交叉重叠而无高温点及烧坏之虑。自限温伴热电缆对电源点数量的要求比较高，启动电流对配电系统的要求比较高，供电电缆数量大，造价高，不适用于公路隧道消防管道保温。

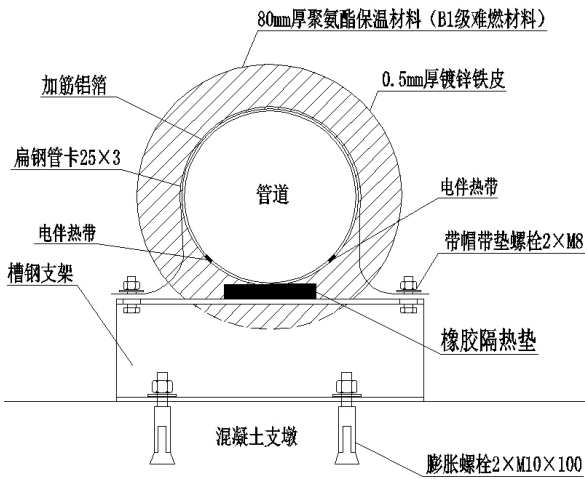


图1 伴热电缆和保温材料敷设示意图

恒功率型伴热电缆在通电后功率输出恒定，不会随外界环境的变化而变化，由电伴热控制配电箱根据采集的温度数据控制伴热电缆的启停。恒功率伴热电缆分串联型和并联型两种^[2]。串联型恒功率伴热电缆是一种由芯线作发热体的电热带，在具有一定电阻的芯线上通过电流，其电阻丝是串联连接方式，工作时是靠电阻丝发热对管道进行加热。串联型恒功率伴热电缆使用长度最长可达1600米左右，实际应用中通常需要根据管道的长度定制，结合陕北高速近年来实施的串联型伴热电缆的运行效果可以得出如下结论：串联型恒功率伴热电缆回路长度通常在一公里以上，出现故障点会导致整个回路停止工作，且定制的伴热电缆很难找到相同线径的电

缆进行接续,且接续维修工艺难度高、故障点排查难度高,且出现接续点会很大程度降低伴热电缆的使用寿命,为后续的维护管理工作增加难度和工作量。鉴于串联型伴热电缆的上述弊端,后续路段大多采用并联型伴热电缆。



图2 芯串联型恒功率伴热电缆结构图

并联型恒功率伴热电缆内部2根或3根平行的绝缘铜线为电源母线,在内护套绝缘层外缠绕电热丝,并将该电热丝每隔一定距离(即发热节长)与母线循环连接,在每两相间形成连续并联电阻,当母线通以三相电后,各并联电阻同时发热,因而形成一条连续的加热带。

这种并联型电热带在使用过程中可以根据发热节长进行裁剪,将开始发热部分控制在需要伴热部分,利用冷端作为下次维修的备用线。恒功率伴热电缆不允许叠绕、交叉及夹在绝热层材料中间,避免造成电热带过热损坏。并联型恒功率伴热电缆单根最长可以达到250m。

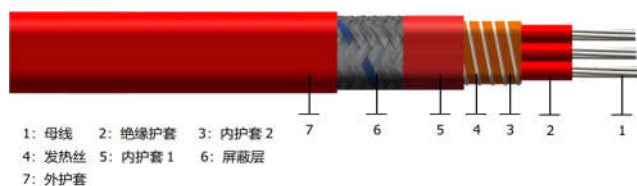


图3 芯并联型恒功率伴热电缆结构图

陕北地区内由于极低温度均低于 -20°C ,为保证消防管网供水的可靠性,洞内管道和洞外架空的管道均需敷设电伴热系统。并联型恒功率伴热电缆相较于串联型恒功率伴热电缆回路短、更智能,一个回路故障不影响其他回路正常工作,同时可根据洞外、洞内、洞口管道管壁温度的不同控制开启1根、2根或3根伴热电缆,保温的同时还能起到节能的作用。并联型恒功率伴热电缆也是目前公路隧道消防管道保温中应用最广泛的一种伴热电缆^[3]。

3 隧道消防管道电伴热保温方案及要点

为保证冬季消防系统可靠使用,隧道洞内管道全部采用并联型恒功率伴热电缆+5cm聚氨酯保温材料包裹+0.5mm厚镀锌铁皮保护的方式保温;隧道洞外架空敷设的管道全部采用并联型恒功率伴热电缆+8cm聚氨酯保温材料包裹+0.5mm厚镀锌铁皮保护的方式保温;在隧道洞

内侧壁和变电所分别设置电伴热控制配电箱,在变电所设置电伴热汇总控制柜,用于监测和控制隧道洞内外全部电伴热系统。

3.1 电伴热系统计算

3.1.1 计算方法:

第一步:根据工艺条件及要求,由管道热损失公式:

$$Q = 2\pi \times (T_v - T_d) / [1/\lambda \cdot \ln(D_o/D_i) + 2/(D_o \times \alpha)]$$

$P = KQ$ (工程功率、 K 为工程系数,一般取1.40)

Q ——单位长度管道的热损失 W/m

P ——单位长度管道的工程功率 W/m

T_v ——管道的维持温度 $^{\circ}\text{C}$

T_d ——最低环境温度 $^{\circ}\text{C}$

λ ——保温材料的导热系数 $\text{W/(m} \cdot ^{\circ}\text{C)}$

D_o ——保温层外径($D_o = D_i + 2\delta$) mm

D_i ——保温层内径mm

δ ——保温层厚度mm

α ——保温层外表面向大气的放热系数($\text{W/m}^2\text{C}$)与风速 ω (m/s)有关

$$\alpha = 1.163 (6 + 3\omega^{1/2}) \text{ W/(m}^2\text{C)}。$$

计算出管路的每米热损失 Q ;

第二步:根据每米管路热损失得出相应的热补偿量,由于电热带对介质隔着管路补偿热量,伴热效果有一定的影响,热吸收量也就在70-80%;需要考虑一定的余量。

第三步:确定电热带安装系数:伴热电缆沿管道敷设过程中会经过阀门、法兰、卡箍、管道伸缩器等管件,需增加电热带敷设数量保证该处不冻。且每个电热带配件需要预留不少于1米作为余量,以便于接线及日后检修用。结合各路段现场实际实施情况,综合考虑取安装系数为1.1,则电热带的安装数量为设计数量 $\times$ 安装系数^[4]。

3.1.2 计算条件:

①冬季室外设计温度: -30°C (极低)。

②保温层材料:聚氨脂管壳保温,导热系数, $0.023\text{w/m}^{\circ}\text{C}$ 。

③安装位置:隧道洞内。

④保温层厚度:洞内50mm、洞外80mm。

⑤维持温度: 5°C ,防冻,保证水流动性。

管道单位散热量:根据管道散热量计算公式,在设计温度环境下,考虑余量按照20%取,安全系数洞内取1.4,洞外取1.5,管道单位热损失计算如下:

消防管道散热及热补充量计算表

管径	设计温度	散热量 Q (W/m)	工程功率 P (W/m)	热补偿量 (W/m)
DN150 (洞内)	-30°C	10.36	14.50	17.40
DN150 (洞外)	-30°C	7.35	11.03	13.24

3.1.3 伴热电缆选型

工程中伴热电缆的选取应保证电缆发热量大于维持消防管网正常运行所需的热补偿量,并需要考虑发热电缆发热效率对发热电缆型号选取的影响。本次设计选用并联型恒功率伴热电缆,洞内、外全线单根管道敷设2根伴热电缆,每根发热功率10W/m,伴热电缆平行敷设,1根管道敷设2根伴热电缆可满足环境温度-30℃时的管道保温要求^[5]。

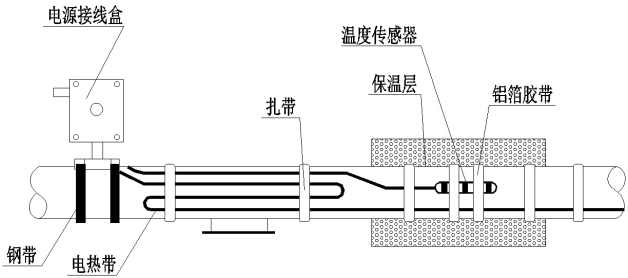


图4 电热带安装示意图

3.2 系统供电及控制

隧道洞内侧壁和洞外变电所设置电伴热控制配电箱,由变电所低压配电柜取电。从电伴热控制配电箱引恒功率伴热电缆至隧道消防管网。

电伴热保温系统将每根管道上的环境温度传感器测量的各温度信号转变为电信号,然后送入配电箱内的温控模块。电伴热控制配电箱主模块内的单片机对各通道信号循环检测,经A/D转换再经单片机内软件的算法处理,便可得知各管道的工作温度参数和电缆工作状态,并输出相应的显示信号和控制信号。管道的温度高于设置的伴热温度5℃时,控制箱就停止加热此根管道;而低于5℃时,控制箱就开始加热此根管道。如果某根管道上的伴热电缆断了,控制箱发出该路断缆的声光报警信号。

控制箱具备串行通讯功能,便于实现集中控制。同时还能记录管道的故障种类、时间、次数等信息,以便设备、人员的管理和备案^[6]。

结束语

本文介绍了电伴热系统在陕北隧道消防管道上的应用方案,对比了不同伴热电缆的优缺点,对管道散热量的计算方法和如何选择伴热电缆的功率做了详细的论述。目前并联型恒功率伴热电缆+阻燃型聚氨酯保温材料+铁皮保护的保温方案在陕北地区隧道消防管道上应用广泛,从目前青兰高速陕西段凤翅山隧道、石家河隧道、羊泉隧道、善化隧道、柯家庄隧道、北河隧道的并联型伴热电缆的实际运行效果看,在正确的安装和维护条件下,该方案基本解决了陕北地区高速公路隧道水消防系统管道保温的问题,且并联型伴热电缆回路短、方便检修维护,冬季低温期不用将管道排空,为冬季突发火灾的扑救提供了有力的保障,消除了冬季行车安全隐患,取得了较好的预期效果。

参考文献

[1]JTG D70/2-2014《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》。
[2]GB50974-2014《消防给水及消火栓系统技术规范》。
[3]16S401《管道和设备保温、防结露及电伴热》。
[4]任卫英.电伴热保温在公路隧道水消防系统中的应用[J].山西建筑,2013,039(020):177-178.
[5]梁正才.电伴热技术在寒冷地区隧道水消防管道保温中的应用[J].电器工业,2022(3):67-69.
[6]林立彬,廉海浔,刘胜军,等.公路隧道消防管道保温措施研究[J].隧道建设(中英文),2022,42(S02):548-555.