[控制系统]

地铁隧道测温预警系统的设计

文/深圳市电利通科技有限公司　赖武光

针对地铁隧道的特殊环境，给出了热点探测预警系统在地铁隧道的详细应用方案，同时从工作原理、技术参数等方面分析了热点探测预警系统、光纤测温系统和感温电缆测温系统的性能特点。

地铁隧道空间狭小，且处于相对密闭状态，自然排烟困难，一旦发生火灾，燃烧时产生的热量不易散发，极易导致火灾的迅速蔓延。隧道横断面小，地面不便行走，人员疏散困难，消防人员也很难接近火源扑救。因此，地铁隧道一旦发生火灾不仅将造成巨大的经济损失，还会造成重大的人员伤亡、引起交通秩序混乱。因此，及时、准确并可靠地对隧道火灾进行预警，对于尽早组织人员安全疏散、控制火情、组织实施灭火及降低损失尤为重要。热点探测预警系统可以为地铁火灾探测系统提供一个优良的解决方案。

系统原理与设计

1．系统概述

热点探测预警系统以美国进口的线型温度探测器——热点探测器（Flexible Thermocouple Line Detector，FTLD）作为系统的主要检测元件，连续实时监测地铁沿线、站台电缆夹层及重要设备机房等区域的最高温度，克服了传统的“点式”温度传感器只能探测“某点”温度、感温光纤采样周期长及感温电缆在火灾已发生，达到定温点后才能发出报警信号的缺陷。系统可自由设定报警温度值，包括一级报警、二级报警和温升速率报警，温度过高或变化过快系统都会发出报警，同时为火灾报警系统提供干接点报警信号，在火灾发生前及时、准确、可靠地发出预警信号，使用户采取相关措施，避免事故发生，实现“防范胜于救灾”这一宗旨。

2．系统架构

热点探测预警系统利用现场测控单元采集各区域温度信号，然后转换成Modbus总线信号上传到系统控制主机，控制主机集中监控所有区域的温度信号，然后通过Internet或GPRS网络上传到中央控制室。系统架构如图1所示。

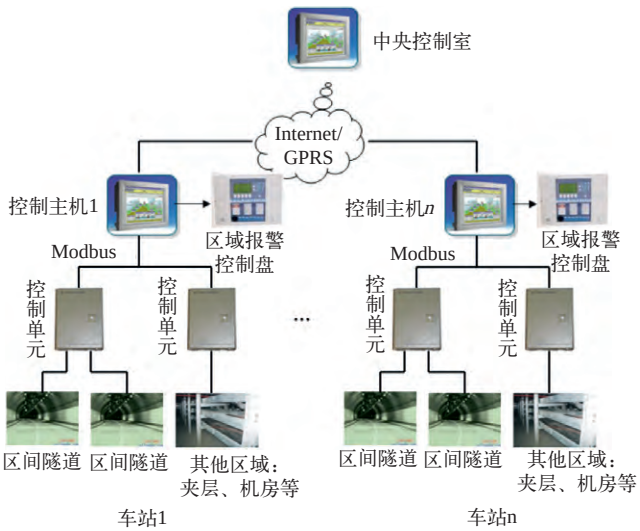

图1　系统架构

系统由热点探测器FTLD、测控单元和系统控制主机构成。

热点探测器FTLD作为线形温度传感器，检测测温区域地铁沿线的最高温度，输出标准K型热电偶信号。

测控单元采集FTLD输出的K型热电偶信号，转换为数字温度信号，通过Modbus总线上传到系统控制主机，每台测控单元最多可同时采集8路FTLD信号。如果测控单元与FTLD的安装位置相距较远，可用补偿导线连接。

系统控制主机集中监控显示各区域最高温度，处理报警信号，生成温度曲线，打印报表等。

中央控制室通过Internet或GPRS网络集中监控各子站温度情况，发出相关指令，如起停风机等。

3．工作原理

FTLD是美国近30年来在线型温度感测器技术发展中取得的主要成果，它能够连续测量其长度所及范围内的最高温度。FTLD外观如图2所示。

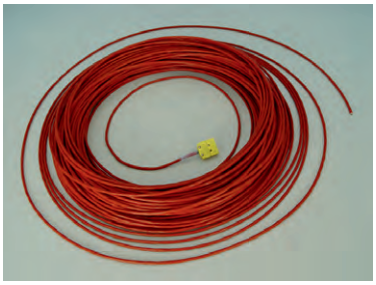

图2　热点探测器FTLD

热点探测器FTLD，又称“连续”热电偶或“寻热”热电偶，它与普通热电偶不同之处在于它的热接点不固定，而是始终与线缆上的最高温度点相对应，能够连续测量其长度所及范围内的最高温度。其结构如图3所示。

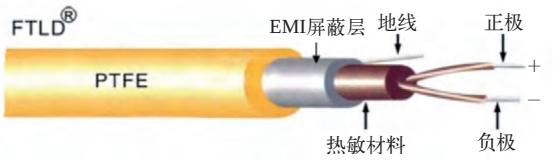

图3　FTLD结构图

其最外层为聚四氟乙烯PTFE，具有耐腐蚀、耐老化、耐温范围广及弹性好等特点，里面一层为EMI屏蔽层和地线，具有良好的抗电磁干扰能力，最里面为双绞平行的信号线，信号线间填充热敏材料。温度升高，热敏材料的阻抗降低，如图4所示。

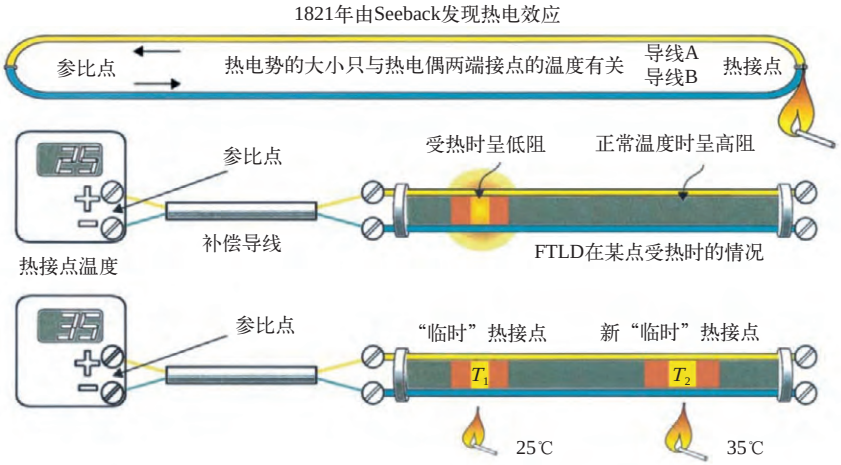

图4　原理图

FTLD利用了热电效应原理，当FTLD线缆上任何一处T_1的温度高于其他部分的温度时，该处的热电偶导线之间的绝缘电阻降低，表现为一个“临时”的热接点，其作用与普通点式热电偶的热接点相同。当FTLD线缆上另外一处T_2的温度高于T_1处时，该处的热电偶导线之间的绝缘电阻低于T_1处的电阻，从而出现一个新的热接点，通过仪表采集该信号可计算出沿线的最高温度。

FTLD技术参数如下所示。

1）外层护套。PTFE（聚四氟乙烯）。

2）测量元件。“K”型热电偶。

3）输出信号。与缆线最高温度点温度相对应的直流毫伏信号。

4）正常工作温度。－40～＋180℃。

5）极限温度范围。－40～＋200℃。

6）电磁干扰保护。双绞线、金属箔。

7）绝缘保护。使用注入特殊绝缘材料的玻璃纤维。

8）线缆结构。双绞线、NTC绝缘、EMI屏蔽和外层护套。

9）外径尺寸。3.5 mm。

10）最大连续长度。500 m。

4．系统设计

（1）现场分区

区间隧道根据隧道长度划分，典型为300 m一个区。电缆夹层根据实际布局，一般不超过100 m一个区。重要机房、设备等也可以监控，长度根

据实际情况而定。

每车站典型分10个测温区域，如图5所示。

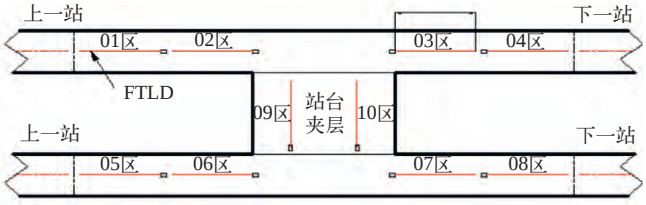

图5　分区图

（2）安装方式

1）布线距离。热点探测器距离被保护处不应超过2 m。

2）曲率半径。热点探测器弯曲半径不应小于0.05 m。

3）安装形式。

a. 测温电缆FTLD安装在电缆桥架或电缆夹层时，宜以正弦波方式铺设，也可以采用接触安装。具体安装方法如图6所示，固定卡具选用阻燃塑料卡具。

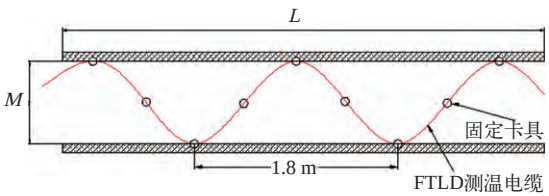

图6　FTLD安装方式

FTLD以正弦波方式铺设在动力电缆上时，其固定卡具的数目计算方法为

固定卡具数目＝正弦波半波个数×2＋1　（1）

铺设FTLD的长度的计算公式为

热点探测器的长度＝托架长L×倍率系数k　（2）

倍率系数k按表1选定。

表1　倍率系数

托架宽W/m	倍率系数k
1.2	1.75
0.9	1.50
0.6	1.25
0.5	1.15
0.4	1.1

b. 测温电缆FTLD安装在区间隧道时，其安装形式如图7所示。

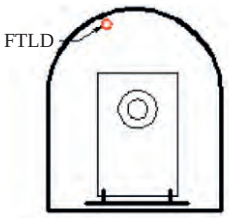

图7　FTLD装于区间隧道

FTLD悬吊于隧道斜上部，使用ϕ 2 mm不锈钢丝或镀锌钢丝作为支撑线，每隔1 m用阻燃扎带将热点探测器和支撑线卡紧，防止热点探测器下落。每根FTLD的典型长度为300 m，分4个区域，车站只监控与其相邻的两个区域，视隧道长度而定（如区间隧道为1 km，则每个区域为250 m）。

区间隧道信号传输有三种信号方案。

方案一：使用补偿导线传输，如图8所示。测控单元安装和控制主机均安装在控制室，利用屏蔽双绞补偿导线把FTLD输出的毫伏信号传输到控制室的测控单元。此方案的优点是区间隧道不需要安装控制箱，不需要通电。缺点是需要使用较多的补偿导线。

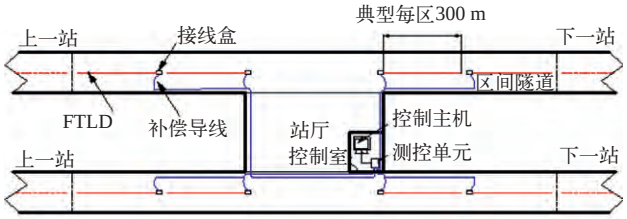

图8　补偿导线方式

方案二：使用现场总线传输，如图9所示。测控单元安装在区间隧道，热点探测器直接接于测控单元，然后利用Modbus总线把数据传输到控制室的控制主机。此方案的优点是使用总线传输信号，不需要连接补偿导线。缺点是需要在区间隧道安装测控单元。

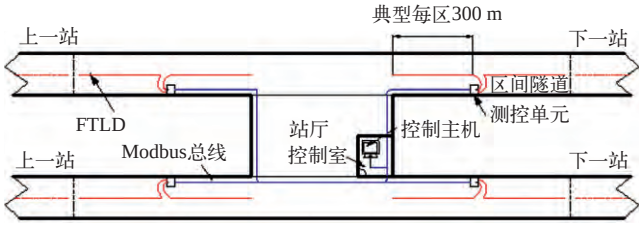

图9　现场总线方式

方案三：使用无线网络传输，如图10所示。无线测控单元安装在区间隧道，热点探测器直接接于测控单元，然后利用移动GPRS网络把数据传输到控制室的控制主机。此方案的优点是使用无线网络传输信号，控制室与测控单元之间不需要拉通信线。缺点是需要在区间隧道安装测控单元。

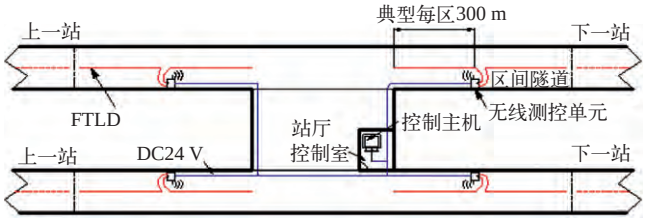

图10　无线传输方式

5．系统特点

1）实时监控、集中显示区间隧道及电缆夹层等测温区域的最高温度。

2）无需现场标定，报警温度不受环境温度影响，系统安装、维护简单方便。

3）用户可自行设定报警温度值和温升速率（ROC）报警值。

4）具备声光报警、语音报警和手机短信报警功能。

5）提供干接点报警信号，与火灾报警系统相连。

6）具有温度棒图、实时曲线、历史曲线、历史数据存储、报表数据打印及数据查询等功能。

7）先进的温度分析系统，可分析各区域日、月、年的最高、最低、平均温度及对应时间，并以报表或直方图显示，温度变化情况一目了然。

8）热点探测器防湿防潮，无需外加电源，属于本安型设备，传输设备采用DC24 V安全电压供电，系统安全、稳定、可靠。

9）具有电子地图功能，可实时查看各地铁沿线的温度情况。

10）良好的扩展能力，需监测其他重要区域或设备时，可直接接入现有系统。

11）抗干扰能力强，能够长期在潮湿、高温及粉尘多等恶劣环境下可靠稳定运行。

12）系统寿命15年，平均无故障运行时间10年。

同类系统比较

地铁隧道环境特殊，具有粉尘多、潮气重、风速大及电磁干扰强等特点，因此地铁隧道不适宜采用点式火灾探测器及吸气式烟雾探测器进行火灾探测，宜采用线型感温探测器进行地铁隧道火灾探测。现有的线型感温探测系统主要有热点探测预警系统、分布线光纤测温系统和感温电缆火灾报警系统。从各系统的原理、技术参数及安装维护等方面进行综合比较，如表2所示。

表2　同类系统对比

对比内容 \ 系统名称		热点探测预警系统	分布式光纤测温系统	感温电缆火灾报警系统
工作原理		利用热电效应原理，能够连续产生与其长度所及范围内之最高温度点温度相对应的毫伏信号	由激光器产生一束激光，通过光学模块调制后入射测温光纤中，光纤中反射回的拉曼光通过光谱分离模块分解成不同波长的Stokes和Antistokes反射光，反射光的强度与温度成正比，因此光学模块与高速AD计算反射光的强度可得出光纤沿线的温度分布曲线	开关量式感温电缆由两根弹性钢丝分别包敷热敏材料，绞对成形而制成。当被测区域温度上升到额定动作温度时，其钢丝间热敏绝缘材料性能被破坏，绝缘电阻几近短路，利用短路信号发出报警
技术参数	测温范围/℃	－40～200	－30～90（瞬间120）	不能测温
	输出标准信号	输出标准K型热电偶信号	后向散射光强	开关量报警信号
	显示温度	可以，最高温度	可以，沿线温度分步	不能
	测量最高温度	测量被测区域最高温度	空间分辨率内的平均温度	不能测温
	外加电源	不需要	不需要	需要
	最大连续长度/m	500	8 000	200
	响应时间/s	<3	60，与光纤长度、精度相关	15（典型）
报警形式	报警值设定范围	－40～200℃内任意设置	－30～120℃任意设置	固定68℃、88℃、105℃、138℃、180℃
	报警方式	三级预警及温度变化率报警	节点输出	定温报警
	温升报警	有	有	无
	预警功能	可发出预警信号	可发出预警信号	无
	应力影响	不受应力影响	光纤极易受应力影响，会产生测量误差，产生误报（移动光纤或光纤受压后会产生应力）	不受应力影响
	现场标定	无需现场标定	需标定，更换光源	无需现场标定
	故障定位	分区定位	定点	分区定位

对比内容 \ 系统名称		热点探测预警系统	分布式光纤测温系统	感温电缆火灾报警系统
安装维护	系统构成	由FTLD、测控单元和主机构成，系统结构简单	由测温光纤、光端机和主机构成，系统结构简单	由感温电缆、微机控制器、终端盒和监控盘构成，系统设备多，结构复杂
	安装于危险区域	可以，FTLD属本安设备	可以，光纤属本安设备	不可以，需加安全栅
	与DCS/PLC相连	容易，标准信号，可直接相连	需经主机转换信号后再连接	不能
	可连接 /可分断性	容易，用接插件直接对接	不容易，需用专用设备熔接且熔接3次后需更换整根光纤	容易，用接插件直接对接
可分断性	系统稳定性	稳定，双层电磁屏蔽抗干扰；聚四氟乙烯护套不易老化，稳定无误报	较稳定，不受电磁干扰	电磁兼容性差，一次性使用，超温即被破坏，经常需要维护、误报率高
	系统维护	系统简单可靠，不需标定，报警后可重复使用，终身免维护，稳定运行长达十年	因光源衰减等问题，需定期标定、维护	绝缘材料易老化，报警后需更换电缆，运行后维护费用高，误报率高
成本分析		前期投入较高，后续维护成本低	前期投入较高，后续维护成本高	前期投入较低，后续维护成本高
总体性能		测温精度高，实时响应，抗干扰能力强，维护简单，扩展性好	抗干扰能力强，分辨率较低，响应时间慢，维护费用高，扩展性差	价格低，稳定性差，误报率高，安装维护检修复杂

由表2可以看出，在地铁隧道火灾自动报警系统中，由于感温电缆火灾报警系统存在需带电工作、不能测温、误报率高且不能提供预警信号等问题，并不适合在地铁隧道中使用，因此地铁隧道火灾自动报警系统主要使用的是热点探测预警系统和分布式光纤测温系统。其中分布式光纤测温系统具有系统简单、抗干扰能力强、可以测量沿线温度分布、可以定点等一系列优势，但同时也存在测温范围较窄、响应时间慢、扩展性较差及需标定维护等问题。与光纤测温系统相比，热点探测预警系统具有以下优势。

1）热点探测预警系统是利用热电效应原理，输出标准K型热电偶信号，可以直接连接工业测温仪表，不需要现场标定，免维护；分布式光纤测温系统是利用拉曼散射原理，经光的调制与解调后测量分布式光纤测温系统沿线温度，而反射光的光强很弱，对入射光要求极其严格，光源衰减会引起测量温度的偏差，因此需要定期标定，系统运行一段时间后需更换光源，后续维护量大。

2）热点探测预警系统测温范围是－40~200 ℃（瞬时300 ℃），分布式光纤测温系统测温范围是－30~90 ℃（瞬时110 ℃），当发生火警时，如果温度高于90 ℃，分布式光纤测温系统很容易损坏从而需要更换。热点探测预警系统能长时间在200 ℃高温下运行而不会损坏，因此热点探测预警系统更加可靠稳定。

3）热点探测预警系统测量的是沿线最高温度，分布式光纤测温系统测量的是分辨率范围内的平均温度，因此使用热点探测预警系统测量的温度精度更高，以此作为隧道风机等设备的起停信号具有更高的准确度。

4）热点探测预警系统响应时间<3 s；分布式光纤测温系统响应时间典型为1 min，与主机信道数、分布式光纤测温系统长度、分辨率有关，信道越多，长度越长，分辨率越高，系统响应时间更长。当隧道存在火灾险情时，光纤测温系统缓慢的响应速度无法及时发出报警信号。而热点探测预警系统几乎实时的响应速度可及时准确地发出极早期的预警信号，因此具有更强的预警性能。

5）热点探测预警系统分区灵活，系统扩展简单，可实现多设备、多区间监控。而分布式光纤测温系统受制于主机信道数量限制，几乎无暇顾及隧道电缆夹层和变压器等重要区域，系统兼容性、扩展性差。

6）在检测电缆（FTLD、光纤）意外破损后，FTLD具有很好的连接性，可直接使用接插件连接，而光纤的连接性差，需专业人员利用专业设备熔接，且多次破损后需要更换光纤，维护量大且成本高。

结束语

热点探测预警系统可对地铁区间隧道、站台电缆夹层及变压器等重要区域或设备极早期的火灾信号进行监测，能及时、准确、可靠地发出预警信号，完全符合“预防为主，防消结合”的消防方针，是地铁隧道火灾自动报警系统的最佳选择。EA

（收稿日期：2015.10.22）

（编辑：杨得润）