

高速列车温度监控系统的统型化研究

张 帅 陈显波 阙光旭 范 超 魏文明 张艳明

(中车长春轨道客车股份有限公司售后服务部,130062,长春//第一作者,工程师)

摘 要 现有各型列车的温度监控系统均为单独设计,设计概念各不相同,故障查找及故障应急方式各不相同,这导致在实际应用中,易造成多发性故障,严重影响实际运营秩序。针对这一情况,提出各种车型有必要采用统一的标准化温度监控系统。介绍了温度传感器的类型,分析了温度控制系统的工作原理,提出了新的温度控制逻辑。

关键词 高速列车;温度监控系统;控制逻辑;标准化

中图分类号 U260.35

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.02.017

Research on Unification of Temperature Monitoring System in High-Speed Train

ZHANG Shuai, CHEN Xianbo, QUE Guangxu, FAN Chao, WEI Wenming, ZHANG Yanming

Abstract The temperature monitoring system is designed for each type of train respectively at the moment, the design concept of which differs from one another. Consequently, the troubleshooting and emergency response mechanism is different as well. This has caused frequent fault occurring in actual application and has affected the actual operation order seriously. In terms of the above situation, the necessity of putting forward a unified and standardized temperature monitoring system for all types of train is proposed. Temperature sensor types were introduced and the working principle of temperature monitoring system was analyzed. Thus new temperature controlling logic was proposed.

Key words high-speed train; temperature monitoring system; control logic; standardization

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

列车在高速运行中,由于受线路条件制约,走行部各部件时刻处于滚动及振动等工作条件下,轴箱、齿轮箱、牵引电机时刻处于摩擦状态中。当其其中的润滑油出现异常时将导致部件发生异常磨损,温度将随之大幅度变化。当温度超过一定限制时,将导致机械部件的机械强度不断降低,甚至发生软

化、热切等严重故障。各传动系统的温度控制对于列车运行的安全性和可靠性起着至关重要的作用。

由于现有产品设计采用故障导向安全原则,因此当温度监控系统发生故障时,将会导致列车自动限速;极端情况下,列车会自动触发紧急制动停车,严重影响铁路的运营秩序。况且我国现在同时应用多种型号动车组,不同动车组的设计理念不同,温度监控系统的设计更是不尽相同,这就造成在日常工作中需要对不同车型的温度监控系统进行学习。因此,对温度监控系统进行研究、分析,选出合适的温度传感器及控制系统,然后对温度监控系统进行统型,以应用于各种型号列车上,这具有十分重要的意义。

1 温度传感器

温度传感器作为温度监控系统中最为重要的一个部件,其稳定性直接影响到整个温度监控系统的稳定性。

1.1 热电偶温度传感器

热电偶温度传感器是目前应用较为广泛的一种温度传感器,具有结构简单、测量温度范围大、承受机械冲击能力强、温度变化响应快等优点。热电偶温度传感器通过测量端两种不同成分的均质导体的热电效应形成测量回路。当导体两端存在温差时,会在回路中形成电流,在测量端将形成感应电动势,感应电动势的大小仅跟测量端导体材质与测量端温差存在关系,其它因素均不影响感应电动势^[1]。

设其中测量的电动势为 $e(T)$,选取恒温时电动势作为接触电动势 $e(T_0)$,则温度测量关系为:

$$f(T) = e(T) - e(T_0)$$

式中:

T ——测量的温度值;

T_0 ——环境温度值。

但是热电偶温度传感器采集的为弱电压信号,

而车辆运行过程中时刻处于高压供电状态,电磁兼容环境较差。尤其是在初送电时,感应电动势甚至可以达到 600 V。同时,由于车辆与大地间可能存在异常电动势,其也会对热电偶温度传感器的测量造成影响,进而影响到整套系统的稳定性,因此热电偶温度传感器无法应用于高速列车。

1.2 PT100 型温度传感器

PT100 型温度传感器为铂热电阻温度传感器,具有抗震动、稳定性好、准确度高、耐高压等特性。铂热电阻利用铂金属阻值随着温度的变化而线性变化的性质,通过测量金属当前阻值来获取环境温度。其测量温度范围为 $-200\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其允许偏差值为:A 级 $\pm(0.15+0.002|t|)$,B 级 $\pm(0.30+0.005|t|)$, t 为测试温度值。其允许接通电流 $\leq 5\text{ mA}$ 。

PT100 型温度传感器电阻值变化率如图 1 所示。

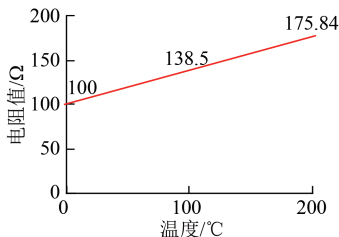


图 1 PT100 型温度传感器电阻值随温度变化曲线

电阻值随温度变化公式为:

$$R_T = 100 \pm 0.38T$$

当温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,电阻值为 $100\text{ }\Omega$;当温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,电阻值为 $138.5\text{ }\Omega$ 。

PT100 温度传感器分为两线制、三线制、四线制 3 种类型。其中四线制 PT100 温度传感器,将恒流源输入电路,并与电压测量电路分开,避免由线路电阻造成的温度误差,在提高温度传感器测量精度同时,避免了因测量线路较长而导致的精度下降。

1.3 PT1000 型温度传感器

PT1000 型温度传感器为铂热电阻温度传感器,阻值随温度的变化而变化。在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是,阻值为 $1\text{ }000\text{ }\Omega$ 。电阻值随温度变化公式为:

$$R_T = 1\text{ }000 \pm 3.8T$$

温度变化时,与 PT100 型温度传感器相比,PT1000 型温度传感器的电阻变化率更大,这便于后续信号处理。如果温度监控系统因条件限制仅能使用两线制温度传感器,则应选择 PT1000 型温度传感器。在两线制连接条件下,PT1000 型温度传感

器测量的温度要高于 PT100 型温度传感器的^[2]。

1.4 热熔断器

热熔断器又称超温保险器、温度保险丝,是一种不可复位的一次性接入元件。当温度出现过热情况,热熔断器迅速分断,起到预警作用。现有车辆应用的温度熔断器动作温度设置为 $165\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当温度超过设定温度后,温度熔断器快速熔断,车上熔断继电器失电,车辆触发相应保护^[3]。

但是由于车辆熔断器为多根串联构成,因此存在较多节点。任一节点存在断开或接触不良的情况,均会导致熔断环路断开,导致继电器失电。但此时还无法快速确认故障点是否是由于走行部器件温度超限或是由于连接线路存在问题导致的故障。

熔断器为一次性器件,无法将温度变化情况实时传递到车上及远程终端,无法对车辆相关部件的温度变化情况进行监控分析,因此无法提前对故障进行预防及处理。

通过对多种温度测量方式进行比较发现,四线制恒流源铂热电阻 PT100 型温度传感器具有温度测量范围宽、温度测量精度高、响应时间短、抗干扰能力强、不受线路长度影响、抗震动性好、稳定性高等优点,完全适用于高速列车车辆使用。

2 高速列车温度监控系统工作原理

高速列车温度监控系统主要由温度传感器、温度控制主机 (HADS)、列车控制和管理系统 (TCMS) 三部分构成。其中温度传感器主要负责将测量的电压信号传输到 HADS 中进行处理;HADS 对轴温数据进行分析处理后,将电压信号变换成温度值并进行计算分析,然后将相应情况传递到 TCMS 中,并由 TCMS 输出相应控制逻辑控制车辆运行。

2.1 单熔断器控制机制

在单熔断器控制机制下,车辆关键部位如轴箱、齿轮箱、牵引电机加装温度熔断器,并将温度熔断器进行串联接入熔断继电器;当任一位置熔断器发生熔断情况时,熔断继电器失电,辅助触点断开;TCMS 收到熔断器断开反馈,发出温度异常指令,指挥车辆进行相应保护操作,进行降温。

这种控制机制的优点是:控制方式简单,无需复杂器件进行计算,无需加装温度控制主机 HADS;当某一位置温度超限时,直接断开熔断继电器,直

接将信号传递给 TCMS,并由 TCMS 发出相应指令,控制车辆运行。

这种控制机制的缺点是:各个熔断器为串联关系,节点较多,任一位置发生开路或接触不良都将导致整个系统发生保护,造成误报;故障查找时较为复杂,不利于实际应用。同时,仅使用温度熔断器的车辆无法对相应位置的温度情况进行实时查看及统计分析,无法通过温度变化情况提前进行预处置。

2.2 单通道温度传感器加温度熔断器控制机制

单通道温度传感器加温度熔断器控制机制下,车下关键部位加装单通道温度传感器及温度熔断器。通过温度传感器实时监控该位置的温度变化情况,及时进行预判。温度传感器与温度熔断器互为冗余机制,当任一部件发生故障后,另一部件仍能保证车辆正常运行。

此种控制机制的优点是:既能实现温度的实时查看,也能保证车辆的稳定性,冗余系统更能保证车辆的运行稳定性;当任一部件发生故障后,另一部件仍可以维持车辆运行,保证运营秩序,减少故障的发生。

此种控制机制的缺点是:仅有一根温度传感器,无法通过对比确认温度传感器的状态;同时仍存在单熔断器机制中的缺点,即节点较多,任一节点发生故障后,均会导致整套系统的崩溃,导致故障发生。

2.3 双通道温度传感器控制机制

双通道温度传感器是使用具有双通道的 PT100 型温度传感器作为感温部件;具有两个 HADS,将不同通道的传感器测量的电压值分别输入到不同的 HADS 中进行计算分析,同时对两个通道的数值进行比较分析。双通道温度传感器能够实现温度测量的冗余控制。

这种控制机制的优点是:当任一路出现故障后,可以将故障线路自动隔离,使用另一路进行温度监控,实现系统的高度自动化。这些工作均是由 HADS 自动完成,减少了人为操作流程,整个系统更加可靠。

这种控制机制的缺点是:整个系统相对复杂,且当故障温度传感器变化不明显时,判断并不十分准确,存在误报的可能性。

如 CRH 某型动车组,其温度监控系统采用的是恒流制式四线制 PT100 型温度传感器。HADS 具

有电压采集接口及数据传输端口。正常工作时,HADS 输出 400 μ A 电流通过 PT100 型温度传感器。电压采集电路直接采集铂电阻两端电压信号,通过 HADS 内部计算获得温度数据^[4]。同时 HADS 将温度信号传递给 TCMS,经 TCMS 计算分析后,输出温度升高、温度预警、温度报警等逻辑,控制车辆的运行。同时每台车具有 A、B 两个温度控制单元,不同通道的电压信号由不同 HADS 采集并分析计算,实现温度控制的完全冗余。

3 温度控制逻辑

温度控制逻辑是温度监控系统的重中之重,只有逻辑控制系统的正常工作才能实现温度控制系统的安全、稳定运行。

如 CRH 某型动车组,每台车具有 A、B 两个 HADS,两个 HADS 之间形成冗余控制。同时两个 HADS 分别采样双通道 PT100 温度传感器的 A、B 路电压值进行计算分析。将连续 5 次的采样值进行平均计算后与设定值进行对比,以此进行预(报)警控制。同时,两个 HADS 之间通过通信,交换各自数据并进行比较分析,当某一路出现故障时会被自动隔离,并生成代码记录到车载数据中供地面检修处理。如果两个 HADS 均正常工作,则优先将装置 A 的温度数据传递给 TCMS。

同时车辆设置温度升高、预报警、报警三种温度限制。以轴箱温度为例:当任一轴箱温度超过 100 $^{\circ}$ C 并小于 120 $^{\circ}$ C 时,则触发温度升高代码,此代码对车辆正常运行无影响,仅将代码存储在车载数据中,在车辆入库检修时进行检查处理;当轴箱温度大于 120 $^{\circ}$ C 小于 140 $^{\circ}$ C 或某一轴箱温度与同侧其余轴箱温度平均值差值大于 40 $^{\circ}$ C 时,报温度预报警,车辆自动限速,并报出故障代码,当温度达到 118 $^{\circ}$ C 以下时自动恢复;当轴箱温度大于 140 $^{\circ}$ C 或某一轴箱温度与同侧其余轴箱温度平均值差值大于 65 $^{\circ}$ C 时,报温度报警,车辆自动限速 40 km/h^[5]。

同时,车辆设置传感器短路、断路等故障,当传感器测量电阻接近于无限大时,自动判断为传感器断路;当传感器测量电阻无限小时,则认为传感器短路。当仅有单通道报出故障时,则使用另一通道维持运行,同时生成代码储存在 TCMS 中,待车组回库后处理。当双通道均出现异常后,单位位置温度无法进行监控,车辆自动限速,保证车辆安全。

此种制式可以实现温度传感器测量值超出限

界及离线等情况下的数据判断,并将数据进行屏蔽。但是如果出现传感器跳变等情况却无法实现故障的准确判断。所以可以引入另一个轴温变化率变量来进行判断。当轴温变化率超过正常范围时,则认为传感器存在故障并对其进行隔离。将该时刻的温度与上一时刻的温度进行比较,当该时刻的温度上升超过上一时刻的温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,则认为温度变化率异常变动;当该时刻的温度下降超过上一时刻的温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,也认为温度变化率异常变动。

在南方高温天气中,阳光直射下,可能导致单侧轮轴轴端温度较高,当车辆高速运行时,将导致温度发生预(报)警等情况。在此种情况下,应该在转向架适当区域新增外温传感器^[6],当外温温度超过一定限值时,将逻辑判断温度进行适当提升,保证车辆的正常运行。新的轴箱温度控制逻辑如图 2 所示。

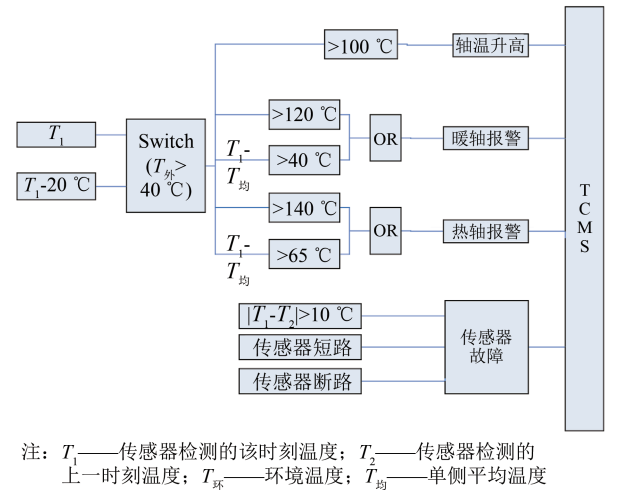


图 2 新的轴箱温度控制逻辑

4 高速列车温度监控系统运用优化方案

在实际应用中,通过现有的轴温系统对轴温进行监控分析,同时实时传输到地面终端,每日对轴温数据进行统计分析。

通过每日的数据统计分析,可提前预设温度,对检测温度超过预设温度的,待车组入库后,提前进行检查,提前预防硬件系统发生故障,减少线上故障发生率。实际验证表明,通过这种方式可以大幅降低轴端异常情况导致的轴端温度异常升高事件发生率和线上停车故障率。

车组在正线上运行时,可通过远程监控系统实时监控列车各走行部的温度,当温度逼近临界值且仍具有上升趋势时,提前人为对车辆进行降速处

理,使温度相应下降。例如:在车辆轴端预报警温度为 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 情况下,当远程实时监控发现某车组轴箱温度达到 $118\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可通过铁路局调度台通知该列车司机适当降速运行;同时,实时监控温度数据变化情况,当温度随之下下降或维持当前状态时,则维持运行;当温度仍然具有上升趋势时,则继续降速,直到温度不再具备上升趋势。当列车到达前方具备故障处理条件的车站后再进行处理,防止车辆因为温度系统发生预报警停于运营区间,进而对全线运营秩序造成大范围影响。此种模式在北京铁路局动车段已多次成功实施。实际应用情况表明:此种方式确实可以大幅度降低车辆临停事故,同时在保障车辆安全的前提下,能够最大限度地保证运营秩序;可减少因为某一列车故障停车后,对全线运营秩序造成较大影响。

5 结语

温度监控系统作为 TCMS 中最为重要的一部分,其工作的稳定性直接影响到车辆运营的稳定。现在我国铁路线路建设速度较快,各车型的制造工作也十分迅速,但是温度监控系统的设计不尽相同,温度控制逻辑也不尽相同,导致在实际应用中,易造成多发性故障,严重影响到实际运营秩序。当车辆发生轴温预(报)警情况时,轻则降速运行,重则停车降温。因此,本文提出各种车型有必要采用统一的标准化温度监控系统,这点是十分重要的。标准化温度监控系统能够实现系统的统一性和共同性,能够简化实际工作流程及应急指挥流程,能够减少停车的次数及临停时间,能够提高车辆运行的稳定性。

参考文献

[1] 孙文斌.浅析动车组温度传感器优化设计方案[J].内燃机与配件,2017(1): 11.

[2] 杨军,孙文斌.CRH5 型动车组轴温检测系统改进方案探讨[J].大连交通大学学报,2013(5): 37.

[3] 孙汉军.关于 CRH380AL 动车组轴温报警故障分析[J].电子技术与软件工程,2015(15): 141.

[4] 赵泽斌.高速动车组轴温自动控制分析[C]//第八届中国智能交通学术委员会.第八届中国智能交通年会优秀论文集.北京:电子工业出版社,2013.

[5] 王新德.CRH380B 型动车组轴温监测与控制逻辑研究[J].铁路工程造价管理,2015(4): 29.

[6] 张婧.轴温报警系统在混合动力动车组上的应用研究[J].数字技术与应用,2014(7): 117.

(收稿日期:2019-08-25)