

# 民用飞机感温探测器发展综述

韩琨\*

上海飞机设计研究院 动力燃油系统设计研究部, 上海 201210

**摘要:** 着火探测系统是民用飞机防火系统的组成部分之一, 而感温探测器是该系统的主要设备。本文综述了民用飞机感温探测器的发展, 重点对热敏电阻式感温探测器和气动式感温探测器进行了阐述, 最后指出了感温探测器未来的发展趋势。

**关键词:** 热敏电阻式感温探测器; 气动式感温探测器; 感温探测器; 民用飞机

中图分类号: V228.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 08-0009-05

民用飞机的防火措施包括主动防火和被动防火。主动防火是指从布局、材料耐火或防火、着火因素相互分离或隔离, 以此减少发生火情的可能性, 提高飞机结构、机载设备和附件耐受火焰的能力。被动防火是指对飞机上各制定防护区进行探测和监控, 一旦发出危险告警信号, 则采取相应措施对告警区域进行灭火或者抑制火情, 从而保障飞机和乘客的安全<sup>[1]</sup>。

民用飞机被划分为指定火区和非指定火区。不同类型的指定火区内的设备及机上环境不尽相同, 需要根据不同环境和设备的特点选用不同类型的探测器, 以达到最佳探测效果。一些非指定火区也需要设置感温探测器, 以防护该区域的设备。

## 1 早期感温探测器发展

早期的感温探测主要应用于歼击机、运输机、教练机、直升机、轰炸机等军用飞机的着火探测系统。国内使用的早期感温探测器种类共40余种。而对于民用飞机的感温探测器, 此前国内几乎一片空白。

在国外, 民用飞机感温探测器的最初类型一般是双金属式探测器和热电偶式探测器。这些种探测器一般属于点式探测器, 对火灾或者高温的响应速度一般, 探测范围小, 目前在民用飞机上少有应用。后期又出现了紫外式感温探测器。相对于点式探测器, 紫外式感温探测器的探测范围更大, 是一种线

型感温探测器, 也是继点式探测器后的新式探测器。随着感温探测器研究的发展, 离子式探测器也相继出现, 这种探测器的响应速率较快, 但是其探测范围比紫外式感温探测器, 并且发生故障后也无法检测, 所以在民用飞机上也没有应用。

## 2 发展现状

现阶段, 民用飞机上使用的感温探测器主要有2种, 即热敏电阻式感温探测器和气动式感温探测器。这两种探测器的虚警率低、响应速率快、探测范围大、发生故障后也可以检测, 在现阶段服役的民用飞机上广泛使用。

### 2.1 热敏电阻式感温探测器

热敏电阻式感温探测器是一种典型的民用飞机感温探测器, 已经广泛用于波音公司的B707/720、B727、B737、B747、B767、B777、B787、KC-135R、RC-135, 麦克唐纳-道格拉斯公司的DC-9、DC-10、MD-80、MD-90、MD-95, 诺斯罗普·格鲁门公司的F-5E, 洛克韦尔·柯林斯公司的T-39、B-1A/B以及川崎重工的P-2J等机型上。热敏电阻式感温探测器以双回路构架安装在飞机上, 每个探测回路由符合TSO-C11e标准的热敏电阻探测器串联而成。两个回路的探测器在物理上平行布置, 在电气上相互隔离, 在功能上互为冗余。其探测器中A回路和B回路的信号使用“AND”逻辑在控制器中叠加。因此, 只有两个回路均发出着火的告警, 系统才会报警。

收稿日期: 2014-03-04; 录用日期: 2014-05-04

\*通讯作者. Tel.: 021-20864025 E-mail: hankun@comac.cn

引用格式: HAN Kun. Development review of thermal detector for civil aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(08):09-13. 韩琨. 民用飞机感温探测器发展综述[J]. 航空科学技术, 2014, 25(08):09-13.

热敏电阻式感温探测器提供一个温度变化下持续的电阻变化。温度告警值在感温探测器的控制器中设定。感温探测器的温度上升,核心材料与地面之间的电阻下降。如果感温探测器周围的温度上升到危险值(可能由燃油或燃气泄漏引起),到达告警值,则触发着火告警。当温度下降时,感温探测器冷却,电阻会回到正常的水平,告警值会重置。

### 2.1.1 基本结构

热敏电阻式感温探测器由外层的金属外壳、中心的2根导线和填充在中心导线与金属外壳之间的热敏材料组成。探测器金属外壳由两层不同的材料构成,外层包覆材料是经过退火处理的高柔韧度不锈钢管形材料,内层包覆材料为合金材料。这种双层钢结构具有耐蚀性、耐用性和高强度等特点。镍合金包覆材料内是硅酸盐类的绝缘材料及锰氧化物半导体热敏材料,热敏材料在硅酸盐类绝缘材料中以圆柱状粒子沿探测线长度方向均匀分布,基本结构如图1所示。

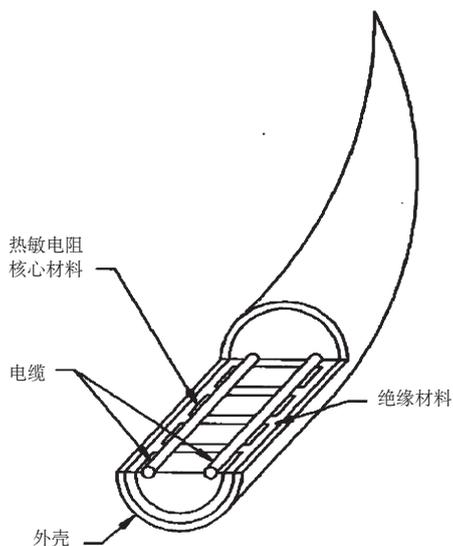


图1 热敏电阻式感温探测器结构图

Fig.1 Structuer diagram of themistor thermal detector

硅酸盐类材料和热敏材料构成了中心内嵌两根导线,一根导线焊接至探测器的两端,通过感温探测器端头接地。另一根导线焊接至感温探测器端头的中心接线柱。锰氧化物半导体热敏材料在探测线内被压缩得十分紧实,中心导线在振动或弯曲时不会移动,也不会导致内部短路。即使是在强振动的条件下,其可靠性也是很高的。采用密封严密的金属外壳,可以防止任何可能导致导线短路的零散金属粒子进入,确保两根导线之间可靠传导。

### 2.1.2 工作原理

热敏电阻式感温探测器可以看成是无限个热敏电阻并

联在两个中心导线之间的一个并联电路。每个热敏电阻单元都有一个与温度呈相反变化趋势的电阻。因此,中心导线与地面之间的电阻沿探测器长度随温度变化,如图2所示。

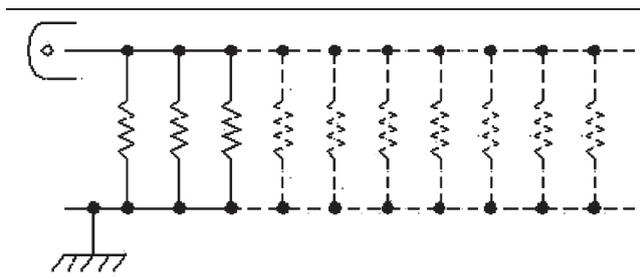


图2 电阻值原理

Fig.2 Resistance value principle

在常温下,其电阻值较高。温度升高,探测线与地面间的电阻值降低。热敏电阻式感温探测器的电阻将沿指数曲线变化。如果环境温度升高至危险水平(可能由燃油或燃气渗漏引起),热敏电阻式感温探测器温度会达到着火告警值,并触发相关的着火告警信号。当温度下降、热敏电阻式感温探测器冷却时,电阻升高至正常值,相关警报解除。若只有一部分元件受热,要达到和全长元件受热引起的电阻值相同,则需要更高的温度。所以,系统响应并不是固定的告警温度值,而是反映非数学平均的并联总电阻值,如图3所示。

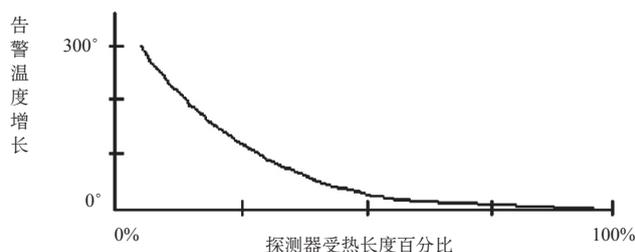


图3 平均特性曲线

Fig.3 Average characteristic curve

热敏电阻元件的温度-电阻特性由材料决定,并在生产期间设定,一旦制成将不能现场调节。目前,热敏电阻核心材料有20多种。

热敏电阻式感温探测器可以对两种不同着火情况发出告警信号,第一种是全局受热而引发的着火告警信号,此时,热敏电阻式感温探测器可以提示发动机,可能由于燃油或燃气渗漏而引起温度升高,也可以是早期的着火告警信号,提醒驾驶员采取相应措施降低部件温度;第二种是局部温度过高而引发的着火告警信号。为了减少虚警率,控制器持续监测着火及短路情况。短路的鉴别取决于控制器对电阻变化速率的监测。一般情况下,元件受热可能引起回路电

阻以确定的速率降低,短路可能引起回路电阻瞬间降低。短路的鉴别如图4所示。

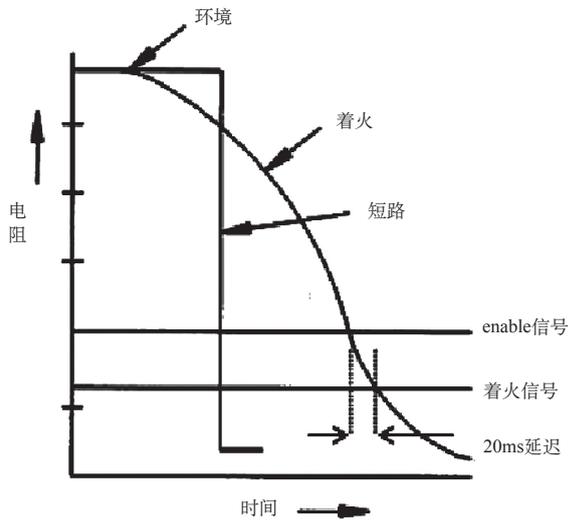


图4 短路鉴别  
Fig.4 Short circuit identification

控制器中的短路鉴别器能够发出“enable”信号,该信号等级高于着火信号等级。当着火引起元件电阻下降时,鉴别器发出“enable”信号,该信号有20ms的延迟。当元件电阻继续下降至着火告警水平时,着火信号产生,但不延迟。如果着火信号产生在“enable”信号延迟消失之后,这意味着两个信号产生的间隔至少相差20ms,着火告警触发,如果着火信号产生在“enable”信号消失之前,这意味着两个等级的信号产生时间间隔较小,着火信号被抑制,虚警信号产生。该功能可有效抑制短路及间歇性短路引起的虚警信号,有效触发着火信号。

## 2.2 气动式感温探测器

气动式感温探测器由探测线管线和响应器组成,在发动机环境及其他感温探测器所在区域下可靠性较高。气动式感温探测器已经在空中客车集团研发的A310、A318、A319、A320、A321、A330、A340、A340-500、A340-600、A350、A380以及波音公司研制的B717、B727、B727-223、B737 NG、B737-200、B737-300、B747、B757、B767、B767-300等飞机型号上使用。

### 2.2.1 基本结构

气动式感温探测器的告警开关和完整性开关安装在密封的响应器外壳内,位于探测线的一端。所有外部结构均采用不锈钢材料,对于多种安装构型会有不同种类的响应器外壳。气动式感温探测器如图5所示。

气动式感温探测器由传感器和响应器组成,其中,传感器是弯曲的探测管路,响应器设计有着火告警开关和完整性



图5 气动式感温探测器  
Fig.5 Pneumatic temperature sensing detector

开关两个开关。着火开关和完整性开关均被密封在不锈钢外壳内,放置在传感器管道的一端,防止任何液体、沙尘、盐沫、湿气或其他污染物进入外壳。气动式感温探测器完全浸没在水中时也可以正常工作,不受飞机清洗程序影响。开关由金属膜和静触点构成,静触点与金属膜之间用陶瓷隔离,金属膜推动静触点控制电路。

### 2.2.2 工作原理

全长升温告警温度和局部着火告警温度都是在工厂设定的,不可更改。当热源移除时,两个开关功能可以恢复工作。气动式感温探测器的工作情况如图6所示。

气动式感温探测器有两个开关,即着火开关和完整性开关。

#### (1) 着火开关

在着火情况下气压增大,告警开关金属膜在压力作用下接触到静触点,从而闭合告警电路。着火开关有两个功能,分别是探测全长升温 and 局部着火。气动式感温探测器在全长受热及局部受热情况下温度上升,对于全长升温及局部着火引发的高温情况均可发出报警信号。

全长升温探测功能由气体的基本性质实现,气体受热膨胀,压力增大。探测元件内充有固定体积的惰性气体——氦气。在环境温度和气压升高时,金属膜推动接触针至着火开关(这一压力值由工厂校准),形成报警通路。在气压下降到低于触发气压值时,金属膜推动接触针离开,断开电流通路,将气动式感温探测器重置至初始状态,报警解除。

在进行局部着火探测时,金属核内有大量氢气的传感器元件暴露在高于告警温度的环境(如着火或者高温气体)中,氢气以极高的速率从金属核心中释放出来,产生触发告警信号的压力,接通着火开关。在热源移除之后,氢气被重新吸入金属核心材料内,气压降低,报警消除。

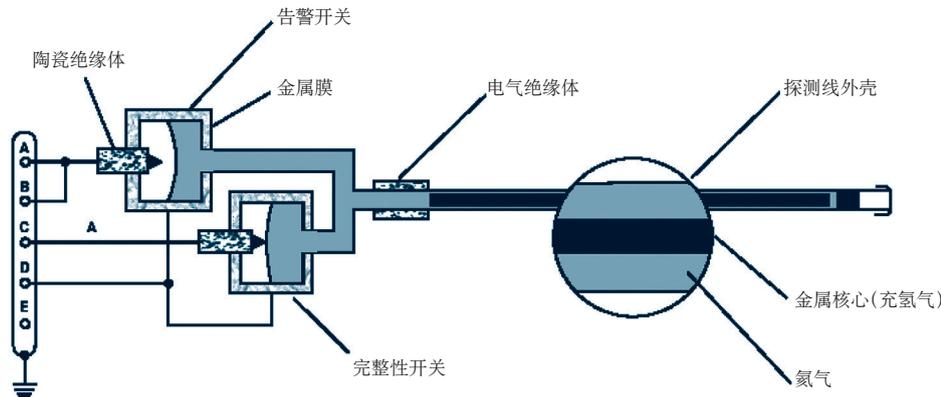


图6 气动式感温探测器原理图

Fig. 6 Principle diagram of pneumatic temperature sensing detector

### (2) 完整性开关

完整性开关结构与着火开关类似。密封在传感器元件内的氮气的气压使得完整性开关处于闭合状态。若探测器损坏，探测器气压将降低，金属膜推动接触针，从而断开电流通路。探测器可以通过该方法区分着火信号和故障信号，如图7所示。

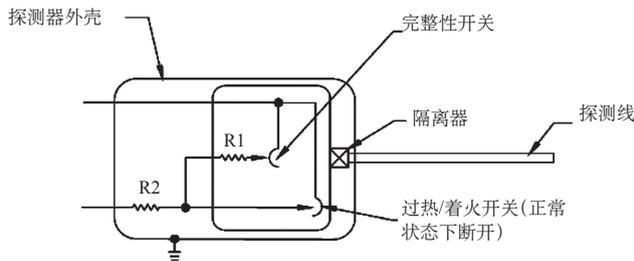


图7 完整性开关工作原理

Fig.7 Principle of integrity switch

## 3 性能分析与发展展望

### 3.1 性能分析

作为当前两种典型的感温探测器，气动式感温探测器和热敏电阻式感温探测器的工作温度满足飞机包线设计要求，平均故障间隔时间及平均故障维修时间均满足飞机设计要求。在1100℃受热情况下，15.24cm长的探测器能够在5s内发出告警指示，其反应时间能够达到TSO-C11e标准和DO-160的各项要求。

热敏电阻式感温探测器对电磁干扰抵抗较差，会受电磁干扰的影响。气动式感温探测器的气动工作原理决定其不

受湿热、振动、电磁干扰等环境的影响，降低了虚警率。

热敏电阻式感温探测器只设置一个平均告警温度，易对发动机正常工作下的局部高温产生虚警。气动式感温探测器设置有全长升温告警温度及局部着火告警温度，不易对此产生虚警。

两种探测器在结构上都有良好的密封，不会受外界污染。热敏电阻式感温探测器对控制设备的要求相对较高。气动式感温探测器的气动原理对控制设备的要求较低。

### 3.2 发展趋势

随着民用飞机安全性的提高，感温探测器的性能需求也随之提高。未来的感温探测器性能将在以下几个方面得到改进：

(1) 环境适应性。未来的感温探测器将具有更强的环境适应性，不仅不易受到环境影响，而且还不影响机载设备和环境。

(2) 虚警率。未来感温探测器的虚警率将有所下降，并能够保证飞机具有更好的续航性能。

(3) 反应时间。对于未来的感温探测器，其响应时间更短，飞机对火情的反应更加灵敏。

(4) 可靠性。对于未来的感温探测器，其平均故障间隔时间更长，平均故障维修时间更短，更能够满足飞机可靠性设计要求。

目前，包括波音和空中客车集团将对光导纤维式感温探测器进行研究，准备用于未来民用飞机。该种类型探测器的在各方面性能均优于热敏电阻式感温探测器及气动式感温探测器，是未来感温探测器的发展方向。

## 参考文献

- [1] 蒋亚龙, 谭启, 陈鲜展. 火灾探测技术及方法[J]. 安全技术与管理. 2009, 12(03): 18-20.  
JIANG Yalong, TAN Qi, CHEN Xianzhan. Fire detection technology and method[J]. Safety Technology and Management. 2009, 12(03): 18-20.(in Chinese)
- [2] 向淑兰, 付尧明. 现代飞机货舱火警探测系统研究[J]. 中国测试技术, 2004, 30(05): 18-20.  
XIANG Shulan, FU Yaoming. Civil aircraft cargo fire detection system study[J]. China Measurement Technology, 2004, 30(05): 18-20.(in Chinese)
- [3] 付尧明, 向淑兰, 现代民用飞机的发动机火警探测系统设计分析[J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2003, 21(3): 3-9.  
FU Yaoming, XIANG Shulan. Civil aircraft engine fire detection system design analysis[J]. Journal of Xi'an Aerotechnical College, 2003, 21(03): 3-9.(in Chinese)
- [4] TSO-C11e. Powerplant fire detection instruments (thermal and flame contact types)[S]. Sanford Organization, 2010.
- [5] DO-160. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment[S]. Radio Technical Commission for Aeronautics, 2002.

## 作者简介

韩琨(1983— ) 女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机防火系统研究。

Tel: 021-20864025

E-mail: hankun@comac.cc

## Development Review of Thermal Detector for Civil Aircraft

HAN Kun\*

*Power Fuel System Design Research Department of Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210*

**Abstract:** Fire detection system is one of the main subsystem of civil aircraft fire protection systems, thermal detector is the main instrument of this system. This thesis introduced development of civil aircraft thermal detector, mainly described themistor thermal detector and pneumatic thermal detector, and the development trend of thermal detector in the future.

**Key Words:** themistor thermal detector; pneumatic thermal detector; thermal detector; civil aircraft

Received: 2014-03-04; Accepted: 2014-05-04

\*Corresponding author. Tel. : 021-20864025 E-mail: hankun@comac.cc