

文章编号: 1671-6612 (2019) 01-098-5

机场跑道异物探测系统光学探测转台 温度控制实验研究

刘双富 余南阳

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 针对机场跑道异物 (FOD) 探测系统光学探测转台内部空间的温度控制, 提出了壁面辐射传热结合强化对流的控制方案。通过制作一比一同材质简化模型, 针对不同的环境条件对系统温度控制效果进行了实验与分析。实验证明: 在 -20°C 的环境温度下, 温度变化达到每小时 20°C 时; 在夏季气温逐时变化、日出日落时玻璃窗口存在阳光直射、极端高温和环境温度急剧变化的条件下, 系统均可以达到很好的温度控制效果。

【关键词】 FOD 探测系统; 光学探测转台; 温度控制; 方案设计; 实验分析

中图分类号 TK124 文献标识码 A

Experimental Study on Temperature Control of Optical Detection Turntable of Airport Runway Foreign Body Detection System

Liu Shuangfu Yu Nanyang

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 Aim at internal space temperature control of optical detection turntable of foreign object debris (FOD) detection system, a control scheme of wall radiation heat transfer in combination with reinforced convection was proposed. The system temperature control effect was experimentally and analyzed in different environmental conditions by making a simplified model of the same size and material. The experimental result shows that in -20°C ambient temperature, temperature changed 20°C per hour, when the summer temperatures hourly changed, when there is direct sunlight on glass window at sunrise and sunset, under the condition of extreme high temperature and environmental temperature change sharply, the system can satisfy the requirement of the cavity internal temperature control.

【Keywords】 FOD detection system; optical detection turntable; temperature control; scheme design; experimental analysis

0 引言

随着我国民航事业的高速发展, 机场跑道的使用率越来越高, 其安全问题变得越来越重要, 机场跑道异物 (FOD) 探测系统则是针对该问题的有效解决办法。国外目前最具代表性的探测系统有四个^[1-4]: 英国的 Tarsier Rader 系统、以色列的 FODetect 系统、美国的 FOD Finder 系统和新加坡的 iFerret 系

统。国内关于 FOD 探测系统的研究目前还处于起步阶段。2011 年, 李煜等^[5]通过调研和实验, 设计了基于毫米波雷达、可见光、红外图像的检测系统。2016 年, 何泳等^[6]提供了一种基于雷达探测与视频辅助识别的混合式系统的设计与应用。以上 FOD 探测系统中均包含了光学探测部分, 而光学元件的温度分布不均匀、温度变化较大都会影响其光学成

作者简介: 刘双富 (1994-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 849847304@qq.com

通讯作者: 余南阳 (1961-), 男, 博士, 教授, E-mail: rhinos@126.com

收稿日期: 2018-04-08

像效果。针对这一问题,目前的解决办法主要有在外筒包裹隔热材料、内壁粘贴加热片、连接处使用隔热材料减小结构变形、采用热电制冷技术控制 CCD 温度、外辐射器表面涂抹白漆降低太阳辐射、采用热管导走多余热量等措施^[7-9]。本文所采取的解决办法则是针对其光学探测转台的内部空间进行温度控制。

1 光学探测转台概述

本文所研究的对象为 FOD 探测系统的光学探测转台,如图 1。需要控制温度的区域为转台中间的长方体铝合金腔体,如图 2。腔体前方有光学玻璃窗口用于光学设备采集机场跑道实时图像。转台整机外部工作温度(空气)为 -32°C 到 52°C ,内部光学器件最大容许工作温度范围为 -10°C 至 40°C 。



图 1 光学探测转台实物图

Fig.1 Picture of real optical detection turntable

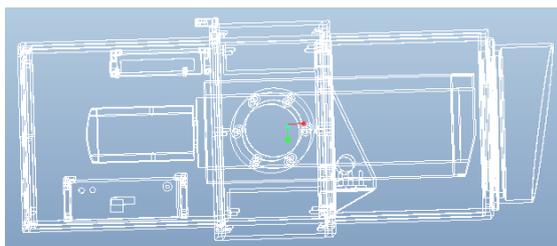


图 2 转台腔体透视图

Fig.2 Perspective drawing of turntable cavity

转台露天安装于室外环境下,因受到日照强度、近地面二次辐射、环境温度、空气湿度以及风力强度等诸多环境因素的影响,腔体内部容易产生非均匀性温度场。温度及各点间温差的变化,将会导致安装于系统内部的光学元件的形状和材料特性发生变化,最终导致光学探测系统的成像质量急剧下降,影响系统的工作性能^[10]。

为保障光学探测系统具有较好的成像质量,转台内的温度场需满足以下控制要求:(1)腔体内部

日内温差不超过 10°C ;(2)温度变化率不超过 $2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$;(3)控制区域内,各点间的温差不超过 2°C 。

2 温度控制方案

在腔体外壳外紧密围绕一层流体管道,在管道层外再包裹保温层;另设一带有冷热水源的水箱,用水泵将水箱内的水循环泵入围绕腔体的管道内,水箱内的冷热水源可控制进入管道的水温保持在设定温度一度范围内;腔体内壁附近安装数个微型风扇,加强腔体外壳与腔体内空气之间的对流换热以及腔体内部空气的循环流动,使腔体内部的热量分布更加均匀,温度场更加均衡。

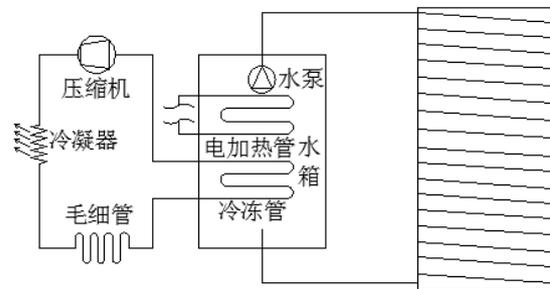


图 3 系统原理图

Fig.3 Schematic diagram of the system

系统原理图如图 3 所示:水箱由压缩机、冷凝器、毛细管和冷冻管组成制冷系统提供冷源,由电加热器提供热源。制冷系统和电加热器根据水泵进水温度进行启停控制,可控制水泵进水温度在设定温度一定范围内变化(例如将制冷系统启停温度设定为 30°C ,容许温差设置为 1°C ,则当温度高于 30°C 时开始制冷,而当温度低于 29°C 时停止制冷;电加热器控制温度设置为 30°C ,容许温差设置为 1°C ,则当温度低于 29°C 时开启加热,而当温度达到 30°C 时停止加热)。不断循环的水将热量传递到腔体外壳,腔体外壳再通过辐射传热将热量传递到腔体内空气及光学元件,达到稳定后腔体内温度将稳定在水温的一定范围内,受外界环境的影响大大减弱。

3 实验分析

采用与实际转台相同的 4mm 厚铝合金材料按照转台尺寸 1:1 加工制作光学探测转台腔体简化模型一个,包括腔体、镜筒、镜筒安装板、玻璃窗口。在模型腔体偏前和偏后的上、下、左、右内壁中间设置 8 个温度测点,镜筒上、下、左、右、前、后

的中间设置 6 个温度测点, 相机所处的位置和玻璃内、外表面各设置 1 个温度测点。

使用 8mm 岩棉板搭建低温实验室一间, 长 3m, 宽 1.5m, 高 1.8m, 将高原地区热泵室外机放置其中, 开启热泵, 利用室外机冷风将房间内温度降低, 内部温度可降低至 -20℃ 且房间内具有一定的风速; 用 TRM-PD4 矩阵式稳态太阳模拟器模拟

不同的太阳辐射值和太阳高度角、方位角, 调节太阳模拟器的辐射值可以制造不同的环境温度。

3.1 最不利低温环境下控制效果

设定电加热管的控制温度为 25℃, 容许温差为 0.1℃, 保持绕管进水温度在 25℃ 上下波动。通过启停低温实验室的高原热泵, 使其内部温度不断发生波动, 得到实验结果如图 4 所示

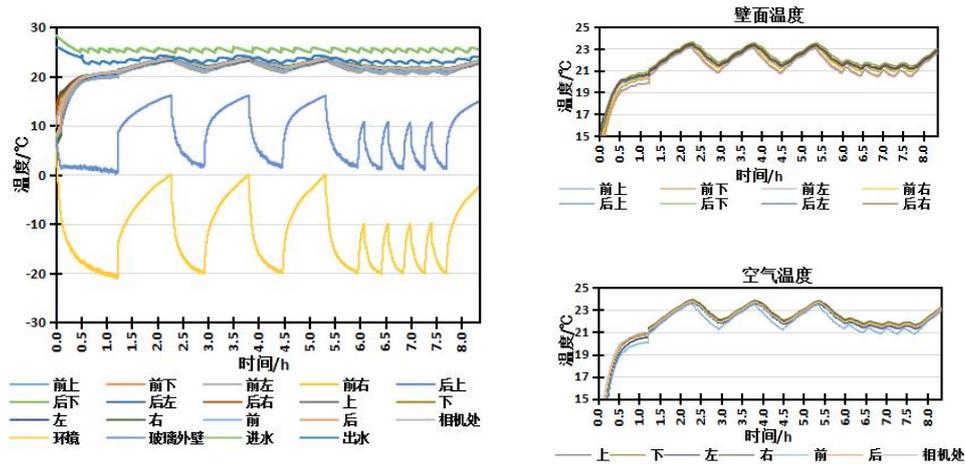


图 4 最不利低温环境下温度控制效果

Fig.4 Temperature control effect in the most unfavorable low temperature environment

当环境温度达到 -20℃ 时, 腔体内空气温度仍能保持在 20℃ 以上, 且各点间温差在 1℃ 以内; 当环境温度变化幅度在 20℃ 时, 空气温度的变化幅度在 2℃ 左右; 而当环境温度变化幅度在 10℃ 时, 空气温度的变化幅度在 0.5℃ 左右。由于低温实验

间只能控制高原热泵的启停, 而不能控制温度, 所以温度变化较剧烈, 但实际环境中环境温度的变化不会达到每小时 10℃ 甚至 20℃ 这么剧烈。可见在实际环境中, 系统的控制效果更佳。

3.2 夏季逐时温度下控制效果

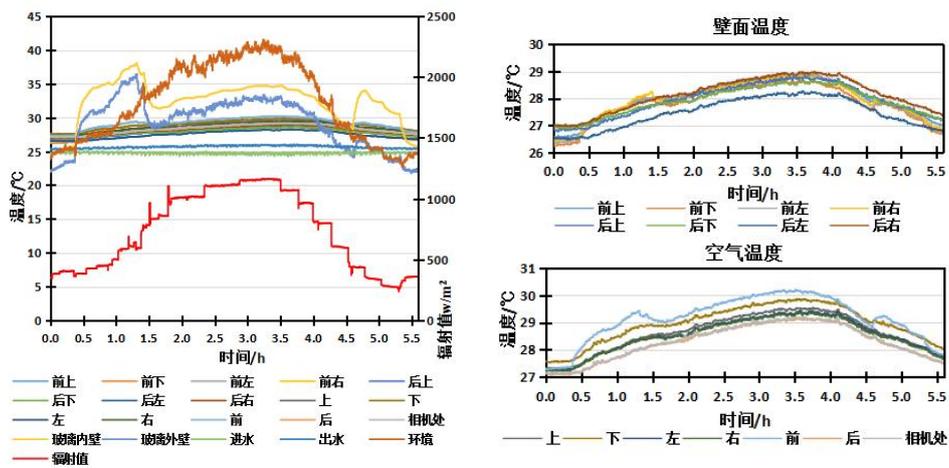


图 5 夏季逐时温度下控制效果

Fig.5 Control effect by hourly temperature in summer

通过不断调节太阳模拟器的辐射值, 模拟一天

内气温的变化情况, 并调整腔体玻璃窗口的朝向模

拟日出和日落时太阳直射玻璃窗口的情形, 得到的实验结果如图 5。在日出和傍晚时分, 虽然环境温度不高, 但由于光线直射玻璃窗口, 并从玻璃窗口照进腔体内, 使得玻璃窗口的温度急剧上升, 甚至高于环境温度; 壁面温度中受到光线直射的前左、前右尤其是前下壁面温度也很快上升; 空气温度中镜筒前处的空气温度也有所上升, 同时由于腔体内热量的突然增加, 各处空气的温差也有所增大。但腔体内壁面和空气温度的变化均控制在 $2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 内, 各点间温差也不超过 2°C 。

在光线未直射玻璃窗口时, 随着辐射值的变化环境温度也发生相应的变化, 但由于没有光线直射, 玻璃壁面的温度有所降低, 腔体内的温度变化幅度有所减小, 各点间温差也有所缩小。

3.3 最不利高温环境下控制效果

调节太阳模拟器的辐射值使环境温度逐渐升高到 55°C 再逐渐降低至 30°C , 之后调节辐射值使环境温度不断发生突变, 测得温度控制效果如图 6 所示。

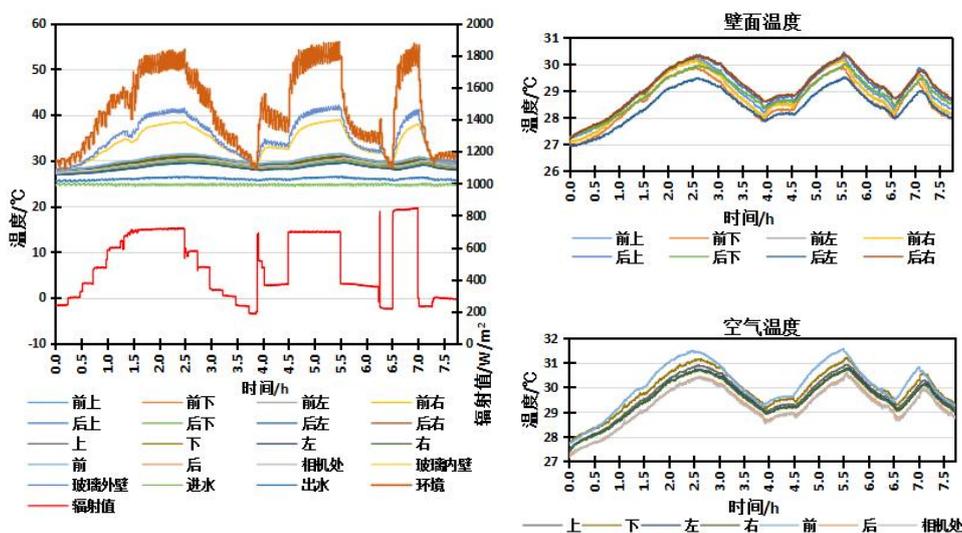


图 6 最不利高温环境下控制效果

Fig.6 Control effect under the most adverse high temperature environment

从图中可以看出: 当环境温度达到 55°C 左右超过转台实际工作环境中的最高温度时, 腔体内空气温度控制在 31°C 左右, 且各点间温差在 1.5°C 以内; 当环境温度从 30°C 逐渐升高到 55°C 再逐渐降低至 30°C 时, 腔体内空气温度变化幅度在每小时 1.5°C 左右; 当环境温度发生突变时, 变化幅度有所增大, 但即使在环境温度每小时突变 25°C 的情况下, 变化幅度也在每小时 2°C 左右。

4 结论

本文针对 FOD 探测系统光学探测转台内部空间, 采用壁面辐射传热结合强化对流的方案对其内部的温度进行控制。通过实验测试, 得到不同环境条件下的温度控制效果如下: (1) -20°C 的低温环境下, 可以控制腔体内空气温度保持在 20°C 以上,

且各点间温差在 1°C 以内; 当环境温度变化幅度在 20°C 时, 空气温度的变化幅度在 2°C 左右; 而当环境温度变化幅度在 10°C 时, 空气温度的变化幅度在 0.5°C 左右。(2) 在日出和傍晚时光线直射玻璃窗口时, 腔体内壁面和空气温度的变化仍能控制在 $2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 内, 各点间温差不超过 2°C 。(3) 无阳光直射时, 在 55°C 的高温环境下, 腔体内空气温度控制在 31°C 左右, 且各点间温差在 1.5°C 以内; 当环境温度从 30°C 逐渐升高到 55°C 再逐渐降低至 30°C 时, 腔体内温度变化幅度在 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 左右; 在环境温度每小时突变 25°C 的情况下, 腔体内温度变化幅度在 $2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以内。

参考文献:

- [1] Beasley P. Tarsier: a unique radar for helping to keep debris off airport runways[J].The Future of Civil Radar,

- 2006,6(15):11-28.
- [2] Mazouni K, Kohmura A, Futatsumori S, et al. 77GHz FMCW Radar for FODs detection[C]. Proceeding of the 7th European Radar Conference. Paris, France:EuMA, 2010:451-454.
- [3] Feil P, Menzel W, Nguyen T P, et al. Foreign Objects Debris Detection (FOD) on Airport Runways Using a Broadband 78 GHz Sensor[C]. Proceedings of the 38th European Microwave Conference, Amsterdam, Netherlands: EuMA, 2008:1608-1611.
- [4] 李文强. 机场跑道异物检测技术及发展趋势[C]. 第二届中国航空科学技术大会, 2015.
- [5] 李煜. 机场跑道异物检测系统设计与研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(8):909-915.
- [6] 何泳, 孙灿飞. 一种混合式机场跑道异物监测系统的研究与实现[J]. 测控技术, 2016, 35(3):32-35.
- [7] Garcia R, Jones J, Stultz J. Thermal Design of the Wide Field Planetary Camera[J]. AIAA, 89-1752.
- [8] Jakel E, Camus J P, Soulat G. Thermal balance qualification testing of the thermal control system of the faint object camera[J]. AIAA, 82-0832.
- [9] 樊越. 航空相机光机热分析与热控技术研究[D]. 成都: 中科院光电技术研究所, 2013.
- [10] 朱承希. 红外成像系统的光机热集成分析及散热设计[D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2014.

(上接第 93 页)

- [9] 李延钊. 生态视野下西安住区物理环境优化设计[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
- [10] 涂逢祥. 建筑节能[M]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
- [11] GB/T 7106—2008, 建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 袁建新. 建筑隔声设计—空气声隔声技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [13] 吴静. 高层建筑室内外声环境评价与分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.