

电子设备箱体结构的散热性能优化设计研究

李 刚

中电科航空电子有限公司 四川 成都 610037

摘 要：文章聚焦电子设备箱体结构的散热性能优化设计研究。阐述了电子设备散热基础理论，包括热传导、对流换热、热辐射原理及散热方式。介绍了利用数值仿真分析箱体散热性能的方法，涵盖模型建立、参数设置与结果分析。从散热材料选择、结构参数优化、新型技术集成及协同优化等方面提出散热性能优化设计策略。通过数值模拟与实验验证，确保模拟准确性，为电子设备箱体散热设计提供可靠依据。

关键词：电子设备；箱体结构；散热性能；优化设计

1 电子设备箱体散热基础理论

1.1 热传导与对流换热基本原理

热传导是指由于物体内部分子、原子和自由电子等微观粒子的热运动而产生的热量传递现象。在固体中，热传导主要依靠自由电子的运动和晶格振动来实现。对于电子设备箱体而言，箱体材料内部的热传导性能直接影响热量在箱体内部的传递效率。对流换热则是流体（气体或液体）流过固体表面时，流体与固体表面之间发生的热量交换过程。在电子设备箱体中，常见的对流换热形式是空气对流。当箱体内部温度高于外部空气温度时，箱体表面附近的空气会因受热而密度减小，从而上升，周围的冷空气则补充过来，形成自然对流，还可以通过安装风扇等设备强制空气流动，形成强制对流，大大提高对流换热的效率。对流换热的强度受到多种因素的影响，如流体的物理性质（密度、比热容、导热系数、粘度等）、流体的流速、换热表面的形状和粗糙度等。

1.2 热辐射原理及计算

热辐射是指物体由于具有温度而辐射电磁波的现象。一切温度高于绝对零度的物体都会不断地向外辐射电磁波，同时也会吸收周围物体辐射的电磁波。在电子设备箱体散热中，热辐射也是不可忽视的散热方式之一。特别是在高温环境下或当箱体表面与周围环境存在较大温差时，热辐射的作用更为明显。热辐射的计算通常基于斯蒂芬-玻尔兹曼定律，该定律表明一个黑体在单位时间内从单位面积上辐射出的总能量与其热力学温度的四次方成正比^[1]。然而，实际物体的辐射能力与黑体不同，引入了发射率的概念来修正。发射率是实际物体的辐射能力与同温度下黑体辐射能力的比值，其值在0到1之间。通过考虑发射率，可以更准确地计算实际物体之间的热辐射换热量。在电子设备箱体散热分析中，需要考虑箱体表面以及内部电子元件表面的发射率，以评估

热辐射对散热的贡献。

1.3 电子设备散热方式概述

电子设备的散热方式多种多样，常见的有自然散热、强制风冷散热、液冷散热、热管散热等。自然散热主要依靠热传导、自然对流和热辐射将热量散发到周围环境中，其优点是结构简单、成本低，但散热能力有限，适用于发热量较小的电子设备。强制风冷散热通过风扇等设备强制空气流动，增强对流换热效果，能够有效地提高散热效率，广泛应用于各种电子设备中。液冷散热则是利用液体的高比热容特性，通过液体循环将热量带走，散热效果较好，但系统结构相对复杂，成本较高，通常用于高发热量的电子设备。热管散热是一种高效的传热元件，它利用工质在热管内部的相变过程实现热量的快速传递，具有传热效率高、均温性好等优点，在电子设备散热中得到了越来越多的应用。

2 电子设备箱体散热性能仿真分析

随着计算机技术的发展，数值仿真方法在电子设备箱体散热性能分析中得到了广泛应用。通过建立箱体散热模型，设置合理的仿真参数并进行计算，可以快速、准确地预测箱体的散热性能，为散热设计提供依据。

2.1 箱体散热模型建立

建立准确的箱体散热模型是仿真分析的基础。首先，需要对电子设备箱体的几何结构进行精确建模，包括箱体的外形尺寸、内部电子元件的布局、散热通道等。在建模过程中，可以适当简化一些对散热影响较小的细节，以提高计算效率。同时，需要考虑箱体材料的热物性参数，如导热系数、比热容、密度等。对于内部电子元件，也需要根据其实际发热情况建立相应的热源模型。还需要定义箱体与周围环境之间的边界条件，如环境温度、对流换热系数等。

2.2 仿真参数设置与计算

在建立好散热模型后,需要设置合理的仿真参数。这些参数包括求解器的选择、网格划分、时间步长(对于瞬态分析)等。网格划分的质量直接影响仿真结果的准确性,需要根据模型的复杂程度和计算要求进行合理的网格划分。对于关键部位,如热源附近、散热通道等,需要进行网格加密处理,以提高计算精度。设置好参数后,利用仿真软件进行计算,得到箱体内部的温度分布、热流分布等结果。

2.3 仿真结果分析

对仿真结果进行分析是评估箱体散热性能的关键步骤。通过查看温度分布云图,可以直观地了解箱体内部各部位的温度高低情况,找出温度较高的区域,这些区域往往是散热的薄弱环节^[2]。分析热流分布可以了解热量在箱体内部的传递路径和散热效率。同时还可以计算一些关键指标,如最高温度、平均温度等,与设计要求进行对比,判断箱体的散热性能是否满足要求。如果散热性能不满足要求,需要根据仿真结果对箱体结构或散热方式进行优化调整,然后再次进行仿真分析,直到满足设计要求为止。

3 电子设备箱体结构散热性能优化设计

为了提高电子设备箱体的散热性能,需要从散热材料的选择、箱体结构参数优化、新型散热技术的集成应用以及散热结构与设备内部布局协同优化等方面进行综合考虑。

3.1 散热材料的选择与应用

散热材料的选择对箱体的散热性能有着重要影响。如前文所述,金属材料如铜、铝具有良好的热传导性能,常用于制作散热片、散热器等散热部件。另外,一些新型的高导热复合材料也逐渐得到应用,这些材料通过在基体材料中添加高导热填料,如碳纳米管、石墨烯等,显著提高材料的导热性能。在选择散热材料时,除了考虑导热性能外,还需要综合考虑材料的成本、加工性能、重量等因素。同时合理的材料应用方式也很重要,例如,可以通过增加散热片的数量、面积或优化散热片的形状来提高散热效率。

3.2 箱体结构参数优化

箱体的结构参数,如箱体的尺寸、形状、通风孔的位置和大小等,都会影响箱体的散热性能。通过优化这些结构参数,可以改善箱体内部的空气流动情况,增强对流换热效果。例如,合理设计通风孔的位置和大小,可以使空气在箱体内部形成更顺畅的流动通道,提高散热效率。采用有限元分析等方法对不同结构参数下的箱体散热性能进行模拟分析,找出最优的结构参数组合。

此外,还可以考虑采用一些特殊的结构形式,如增加散热肋片、采用蜂窝状结构等,来提高箱体的散热面积和散热效率。

3.3 新型散热技术的集成应用

随着科技的不断进步,一些新型散热技术逐渐应用于电子设备箱体散热中。例如,微通道散热技术通过在散热部件内部加工出微小的通道,使冷却液在通道内流动,大大提高了散热效率。相变散热技术利用相变材料在相变过程中吸收或释放大热量特性的特性,实现对电子设备的有效散热。还有一些基于纳米流体、热电制冷等原理的新型散热技术也在不断研究和应用中。在集成应用新型散热技术时,需要充分考虑其与箱体结构的兼容性、成本以及可靠性等因素。

3.4 散热结构与设备内部布局协同优化

电子设备内部布局的合理性也会影响箱体的散热性能。合理的布局可以使电子元件之间的热量传递更加顺畅,减少热量的积聚。例如,将发热量较大的元件分散布置,避免集中发热;合理规划电路板的布局,保证空气能够在元件之间顺畅流动。同时,散热结构的设计也需要与设备内部布局相协同。例如,散热片的安装位置应尽量靠近热源,散热通道的设计应与电子元件的布局相匹配,以提高散热效率。通过综合考虑散热结构和设备内部布局,进行协同优化设计,可以实现电子设备箱体散热性能的整体提升^[3]。

4 数值模拟与实验验证

数值模拟虽然能够快速预测电子设备箱体的散热性能,但由于模型简化、参数设置等因素的影响,其结果可能存在一定的误差。因此,需要通过实验验证来确保数值模拟的准确性和可靠性。

4.1 数值模拟模型建立

数值模拟模型建立是一个严谨且细致的过程,尽管它与前文提及的箱体散热性能仿真分析中的模型建立存在相似之处,但在此阶段对准确性和与实际实验条件一致性的要求更为严苛。在构建模型时,必须全面且深入地考量实验中可能出现的各类因素。实验环境的温度并非一成不变,不同时间段、不同地理位置的温度波动都可能对散热结果产生影响,因此在模型中要精确设定温度参数范围。湿度同样不可忽视,高湿度环境下空气的导热性能和流动特性会发生变化,进而影响散热效果,需将湿度因素纳入模型考量。空气流动情况更为复杂,自然风的风速、风向变化,以及实验场地内可能存在的局部气流扰动等,都应在模型中通过合理的边界条件和流体动力学参数进行模拟。只有尽可能地使模型真实反映实验情

况,才能确保后续数值模拟结果的有效性和可靠性,为准确评估电子设备箱体散热性能提供坚实基础。

4.2 模拟结果分析

对数值模拟结果进行全面且深入的分析是获取有价值信息的关键步骤。首先,要从模拟结果中精准提取关键的温度、热流等数据。温度数据不仅包括箱体内部各关键部位的温度值,还需关注温度随时间或空间的变化趋势,以了解散热过程中温度的动态分布情况。热流数据则能反映热量在箱体内部的传递路径和强度。提取这些数据后,要将其整理成清晰、直观的图表或表格形式,为后续与实验结果的对比分析做好充分准备。同时要仔细审视模拟结果,查找其中可能存在的异常情况或不合理之处。例如,某些区域出现温度异常升高或降低,或者热流分布出现不符合物理规律的现象^[4]。一旦发现此类问题,就要深入检查模型设置和参数输入是否准确无误。可能是在材料属性设置、边界条件定义或求解器参数选择等方面出现了偏差,及时发现问题并修正,才能保证数值模拟的准确性和可靠性。

4.3 实验方案设计与实施

设计合理的实验方案是确保实验验证能够顺利开展并获得准确可靠结果的核心环节。实验方案必须明确界定实验目的,清晰阐述通过本次实验想要探究的问题,例如是验证某种散热结构的有效性,还是确定不同材料对散热性能的影响等。在实验设备方面,要精心准备各类专业设备。温度传感器需具备高精度和高稳定性,能够准确测量箱体内部和表面不同位置的温度,且其测量范围要覆盖实验中可能出现的温度区间。数据采集系统要能够实时、准确地记录温度传感器传输的数据,并具备数据存储和分析功能。实验步骤的制定要详细且具有可操作性,从实验前的准备工作,如设备的安装调试、环境参数的测量等,到实验过程中的具体操作流程,如电子设备的运行时间、数据采集的时间间隔等,都要一一明确。在实验过程中,实验人员必须严格按照实验方案进行操作,杜绝任何随意更改操作步骤或参数的行为,以保证实验数据的准确性和可靠性,为后续与数值模拟结果的对比分析提供可信的依据。

4.4 模拟与实验结果对比分析

将数值模拟结果与实验结果进行细致且深入的对比

分析,是评估数值模拟准确性的关键环节。通过对比温度分布数据,可以直观地看到数值模拟预测的温度分布与实际实验测量得到的温度分布是否一致。例如,检查箱体内部高温区域和低温区域的位置是否相符,温度梯度的变化趋势是否一致等。对于热流分布数据,要分析热量在数值模拟和实验中的传递路径是否相同,热流密度的大小是否相近。如果两者之间的差异较小,说明数值模拟模型能够较为准确地反映实际情况,模拟结果具有较高的可靠性,可以为电子设备箱体散热设计提供有效的参考^[5]。然而,如果差异较大,就需要深入分析原因。可能是模型简化不合理,例如在建模过程中忽略了某些对散热有重要影响的结构细节;也可能是参数设置不准确,如材料的热物性参数与实际情况存在偏差;或者是实验过程中存在误差,如温度传感器的测量误差、环境因素的干扰等。根据对比分析结果,有针对性地数值模拟模型进行修正和完善,或者对实验方案和实验过程进行改进,从而提高数值模拟和实验验证的准确性和可靠性,为电子设备箱体散热设计提供更加可靠的依据。

结束语

电子设备箱体结构的散热性能优化设计是一个复杂且关键的课题。通过深入探究散热基础理论,运用数值仿真技术进行性能分析,并从多个方面进行优化设计,能够有效提升箱体的散热性能。数值模拟与实验验证的结合,进一步保障了设计结果的可靠性。未来,随着电子设备性能的不断提升,对散热性能的要求也将更高,需持续深入研究,探索更高效的散热方案,以满足电子设备发展的需求。

参考文献

- [1]张巧艳.基于深度学习的电气工程中电力设备状态监测与预警系统研究[J].电工技术,2024,(S2):102-104+108.
- [2]赵海亮,郭强,姚利.电气工程中电力电子技术的应用探讨[J].高科技与产业化,2024,30(10):73-74.
- [3]王宇飞.电气工程中电力综合自动化系统与变电站继电保护[J].中国科技信息,2024,(18):118-120.
- [4]唐兵.某户外便携密闭机箱的结构与热设计[J].舰船电子对抗,2022,45(06):115-120.
- [5]杨美娟,曾志华,郝靖,李泽扬.某机载电子设备的热仿真及试验分析[J].机电工程技术,2022,51(11):190-193.