

航空航天电子设备冷却技术综述与研究进展

刘 阳

新乡航空工业(集团)有限公司 河南 新乡 453000

摘要: 随着航空航天电子设备的不断发展,对其散热和温度管理的要求也越来越高。综述了当前航空航天电子设备冷却技术的研究进展和应用前景。传统冷却技术的局限性促使研究人员寻求创新的解决方案。微通道冷却技术通过微小通道的设计和优化,提供了高效的散热和温度控制。纳米流体冷却技术则利用纳米颗粒在流体中的悬浮状态,改善了传热性能和散热效率。

关键词: 航空航天; 电子设备; 冷却技术; 研究进展

1 航空航天电子设备冷却的重要性

航空航天电子设备的冷却是至关重要的,其涉及到设备的性能、可靠性和寿命等诸多方面。在航空航天领域,电子设备经常处于极端的温度和环境条件下工作,如高温、低温、真空等。恶劣的热环境会对电子设备的性能和可靠性产生严重影响,因此,有效的冷却措施对于保证设备正常运行是至关重要的。第一、航空航天电子设备的冷却有助于保持设备的性能稳定。电子设备在工作过程中会产生大量的热量,如果无法及时有效地将这些热量排出,设备温度会持续升高,导致性能下降甚至损坏。通过冷却系统,可以将热量快速有效地散发出去,保持设备在良好的工作温度范围内,从而保证其稳定性能^[1]。第二、电子设备的冷却对于延长设备的使用寿命非常重要。高温环境会加速电子元件的老化和损坏,导致设备的寿命大大降低。通过合理的冷却措施,可以降低设备的工作温度,减缓电子元件的老化速度,从而延长设备的可靠使用时间。第三、航空航天电子设备的冷却也对设备的可靠性和安全性具有重要影响。高温环境会导致设备内部元件的工作点偏移,可能引发电子设备故障甚至火灾等严重安全事故。通过保持设备的适宜工作温度,可以保障设备的可靠性和安全性,提高系统的运行稳定性。

2 航空航天电子设备冷却技术的基本原理

航空航天电子设备冷却技术的基本原理是通过热传导、对流和辐射等方式将设备内部产生的热量迅速散发出去,保持设备在合适的工作温度范围内。热传导是航空航天电子设备冷却的基本机制,它是通过传导介质将设备内部产生的热量传递到外部环境中。常见的热传导方式包括导热材料、散热片和散热管等。导热材料通常用于提高设备与散热器之间的热接触效果,以便更快速地传导热量。散热片和散热管则可以提高散热面积,增

加热量的散发效率。对流也是航空航天电子设备冷却的重要手段,对流是指通过将冷却介质,如液体或气体,传送到设备周围,与设备表面接触并吸收热量,然后带走热量的过程。对流冷却可以通过设置风扇、风道和散热器等设备来实现。风扇可以产生气流并将热空气带走,而散热器可以增加散热面积,增强对流效果。辐射也是航空航天电子设备冷却中的重要机制,辐射冷却是指通过辐射的方式将热量传递到周围环境中。设备表面通常覆盖着具有辐射性的材料,如黑色或金属涂层,以便更高效地散发热量。辐射冷却与设备表面温度和周围环境温度之间的温度差有关,温度差越大,热量散发越快。

3 航空航天电子设备传统冷却技术

3.1 自然对流冷却

在航空航天电子设备的冷却技术中,传统的自然对流冷却是一种常见且有效的方法。自然对流冷却的基本原理是,当电子设备产生热量时,热空气的密度减小,从而使其比周围环境的冷空气更轻。这将导致热空气上升,冷空气下沉,形成热空气的循环流动。这种自然对流的循环流动可以将热量从电子设备散发到周围环境中。为了有效利用自然对流冷却,设计中通常会考虑到以下几个因素,设备的布局 and 排列方式:设备的布局应确保热量的上升方向不被阻碍,使得热空气能够顺利地从中升起,冷空气能够顺利地进入设备。冷却系统的散热面积:增大散热面积可以增加热量的散发效率。通过扩大设备表面积、添加散热片或散热器等方式,可以提高自然对流冷却的效果。设备的散热材料选择:选择辐射性较好的材料,如黑色或金属涂层,可以增强热量的散发能力。传统的自然对流冷却技术具有简单、可靠、低成本等优点。然而,自然对流冷却技术的冷却效率比较有限,对于高功率、紧凑型的电子设备,可能无法满足其散热需求。因此,在一些特殊情况下,可能需

要结合其他冷却技术,如强制对流冷却或液冷技术,以提高散热效果。

3.2 强制对流冷却

强制对流冷却是一种广泛应用于航空航天电子设备的高效冷却技术。在强制对流冷却中,通常会设置风扇或风道等设备,通过排气或吸气的方式,提供足够的空气流动。这样可以有效地带走设备内部产生的热量,并为设备提供较低的工作温度。强制对流冷却技术具有几个重要优点,提高散热效率:由于强制对流冷却的流速较高,能够更快速地带走热量,从而提高了散热效果。相比自然对流冷却,强制对流冷却可以更有效保持设备在合适的工作温度下。适用范围广:强制对流冷却技术适用于各种不同尺寸和功率的电子设备。无论是小型的电子芯片还是大型设备,都可以利用强制对流冷却来降低温度、增强散热效果^[2]。灵活性强:强制对流冷却技术的风扇或风道可以根据设备的需求进行调整和优化。通过改变风扇的转速、调整风道的设计或者添加散热装置,可以满足不同设备的散热要求。然而,强制对流冷却技术也存在一些挑战和限制。例如,较高的功耗和噪音、设备的复杂性以及额外的能源消耗等问题都需要考虑。

3.3 热管技术

热管技术是一种常用于航空航天电子设备冷却的高效传热技术。热管是一种由密封的金属管道组成的装置,内部充满特定工质的液体。热管技术的工作原理基于两个主要过程:蒸发和凝结。当热管的一端受热时,内部液体工质会在高温处蒸发成为气体,热量通过蒸汽传递到热管的另一端。在低温端,蒸汽冷却并凝结成为液体,然后通过循环管道回流到热源端,不断循环运行。这样,热量可以从热源端快速传导到低温端,实现高效的热传导和散热。热管技术具有几个重要优点:首先,热管可以在短时间内将热量从热源迅速传递到散热部分,相比传统的散热技术,热管具有更高的热传递效率。其次,热管内部无机械运动部件,因此具有较长的使用寿命,同时也减少了机械故障的风险。再次,热管技术可以根据设备的冷却需求进行设计和定制,适用于各种形状和尺寸的设备。此外,热管技术还可以与其他冷却技术相结合,如强制对流冷却、液冷技术等,进一步提高散热效果。然而,热管技术也存在一些限制。热管的传热能力会受到热管内径、工质特性以及环境温度等因素的影响。在设计和选择热管时,需要充分考虑设备的散热需求和工作环境条件。热管在长时间高温环境下可能会发生蒸汽堵塞或其他故障,影响传热效果。

3.4 液体冷却技术

当航空航天电子设备产生大量热量时,通常采用液体冷却技术来有效地降温。液体冷却技术是将液体冷却剂通过散热装置循环流动,以吸收和带走设备产生的热量,从而确保设备始终保持在安全工作温度。液体冷却剂具有高热容量,可以在相对较小的体积和重量下吸收更多的热量。相较于空气冷却,液体冷却具有更高的传热效率。液体的高传热性能可以迅速将热量传递到冷却装置上,并将其散发到周围环境中。液体冷却系统可通过调整流速和流动路径来控制 and 优化热传递效果,以适应不同设备的需求。然而,液体冷却技术也面临一些挑战。由于液体冷却系统需要额外的冷却装置和管道,它们的安装和维护比空气冷却系统复杂。液体冷却系统涉及到液体的流动和泵送,因此需要合理的设计和控制,以确保系统的稳定运行、防止泄漏和故障。

3.5 气液混合冷却技术

气液混合冷却技术是一种常用于航空航天电子设备冷却的先进技术。在气液混合冷却技术中,通常使用压缩空气或惰性气体作为冷却介质,与液体冷却剂相结合。冷却介质通过喷洒、喷射或雾化等方式与设备表面接触,吸收设备产生的热量。同时,液体冷却剂也可以用来降低冷却介质的温度,进一步提高散热效果。混合介质在接触设备表面过程中,热量通过传导、对流和蒸发等方式迅速传递和散发,从而实现有效的降温。气液混合冷却技术具有以下几个重要优点。首先,气液混合冷却技术充分发挥了气体和液体的特性,既可以利用气体的高热传导性和对流能力,也可以利用液体的高热容量和蒸发散热效应,从而实现高效的热传递和散热。其次,气液混合冷却技术可以根据不同的冷却需求和设备特性进行灵活的调节和优化,以达到最佳的散热效果^[3]。此外,由于冷却介质实现了气体和液体的混合,冷却系统的体积和重量相对较小,适合于空间有限的航空航天应用。然而,气液混合冷却技术也面临一些挑战。合理的气液比例和喷射方式对于冷却效果的优化至关重要。混合介质的流动和喷射需要精确的控制和调节,以确保冷却效果的稳定和可靠。

4 航空航天电子设备先进冷却技术研究进展

4.1 微通道冷却技术

近年来,为了满足航空航天电子设备日益增长的散热需求,微通道冷却技术逐渐成为研究的焦点。微通道冷却技术的核心是微通道热交换器的设计和制造。微通道热交换器具有数以千计的微通道,其尺寸微小,通道间距大,使冷却剂在通道内形成高速流动,从而增强了

传热效果。另外,微通道热交换器通常采用高导热性能的材料制造,并具有大表面积,可将热量快速传递到冷却剂中。微通道冷却技术在航空航天电子设备中具有许多优势。微通道冷却器具有高传热效率和散热能力,可以在相对较小的体积内实现高效的热管理。由于微通道尺寸微小且通道间距大,可以显著减小冷却系统的重量和体积,适应航空航天设备对轻量化和紧凑性的需求。微通道冷却器的表面积大,有利于增加冷却剂与设备表面的接触面积,提高传热效果。微通道冷却技术还可以与其他冷却技术,如液冷、气液混合冷却等相结合,进一步提高散热效果。由于微通道的尺寸微小,其制造过程较为复杂,需要采用微纳加工技术。微通道内易堵塞,需要定期清洗和维护,以保持系统的正常运行,微通道冷却技术的应用还需要克服流阻增大、泄漏等问题。

4.2 纳米流体冷却技术

纳米流体冷却技术是一种新兴的先进冷却技术,在航空航天电子设备中具有广泛的应用前景。纳米流体冷却技术利用纳米颗粒具有的高热导率和大比表面积的特点,实现了较高的传热效率。当纳米流体与设备接触时,纳米颗粒能够迅速吸收设备产生的热量,并将热量传递到冷却剂中。纳米颗粒的大比表面积可以提高与冷却剂的热交换效率,使得热量能够迅速传导到冷却剂中,从而实现有效的散热。纳米流体能够提高散热效率,有效降低设备的工作温度。纳米流体在传热过程中的流动性较好,能够适应不同设备的冷却需求。纳米流体还能够与其他冷却技术相结合,如微通道、热管等,形成更加高效的冷却系统。

纳米流体的稳定性需要得到保证,以防止纳米颗粒的沉积或团聚,从而影响传热效果。为了克服这个挑战,研究人员正在积极开展对纳米流体的稳定性和分散性的研究,以提高其长期稳定性和可靠性。其次,纳米流体的制备过程相对复杂,需要精确的加工和控制,以确保纳米颗粒的分散度和均匀性。此外,纳米流体冷却技术还需要解决与使用纳米颗粒相关的环境和生物安全性问题。尽管纳米流体冷却技术面临挑战,但其在航空航天电子设备冷却领域的应用前景仍然十分广阔。

4.3 相变材料冷却技术

相变材料冷却技术是一种创新的先进冷却技术,被广泛研究和应用于航空航天电子设备中。相变材料冷却技术的原理是将相变材料应用于电子设备的散热部分。当设备产生热量时,相变材料吸收热量导致相变,从而吸收大量的热能。相变材料在相变过程中的体积变化非常小,可以实现紧密的接触和高效的热交换,从而实现快速而高效的散热效果。当设备温度降低时,相变材料再次凝固并释放出吸收的热量,回到原来的固态,并准备下一次循环^[4]。相变材料具有高热容量和高传热效率,能够在相对较小的体积和重量下实现高效的散热。其次,相变材料的相变过程具有较大的潜热吸收或释放,可以实现瞬时的温度控制,有效降低设备的工作温度。此外,相变材料冷却技术不需要外部能源供应,具有自动调节和节能的特点。相变材料的选择非常关键,需要考虑其相变温度、热容量和热导率等因素,以满足特定设备的散热需求。相变材料的设计和制造需要精确控制,以确保相变过程的稳定性和可靠性。相变材料的可靠性和寿命也需要进一步研究和改进。

结束语

航空航天电子设备冷却技术的综述表明,传统冷却技术的局限性推动了新型冷却技术的发展。微通道冷却技术、纳米流体冷却技术和相变材料冷却技术都展现出了潜力和优势。这些技术仍面临一些挑战,包括稳定性、制造和成本等方面。未来的研究应注重解决这些问题,并推动冷却技术的进一步发展。航空航天电子设备冷却技术的创新成果将为航空航天工业带来更高效、可靠和安全的电子设备,助力行业的发展。

参考文献

- [1]陆翔.张金龙.田立坚,等.航空航天电子设备冷却技术综述与研究进展[J].电子元件与材料.2021.40(6):2.
- [2]王心悦.航空航天电子设备冷却技术综述[J].中国新技术新产品.2021(7):4.
- [3]刘长亮.航空航天电子设备冷却技术进展及在卫星中的应用[J].电子技术与软件工程.2021(15):4.
- [4]陈明华.王江萍.王志东.航空航天电子设备热管冷却技术的研究进展[J].机械工程学报.2021.57(3):6.