

密闭机箱风冷散热结构设计与分析

谢锦荣

全亿大科技(佛山)有限公司 广东 佛山 528100

[摘要]随着电子元器件的小型化、微型化和集成化技术的发展,电子元器件和设备的装配密度迅速增加,元器件和设备的热流密度也迅速增加。研究表明,电子元器件的失效率随着温度的升高而增加,温度每升高10℃,电子元器件的失效率就会增加一倍,电子设备的平均使用寿命也会随着工作温度的升高而降低。如何保证电子元器件在规定的热环境中按照预定的参数稳定可靠地工作,已经成为电子设备结构设计中必须考虑的重要因素之一。

[关键词]电子设备;风冷散热;机箱

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.1679

以在严酷环境条件下使用的某型便携式电子设备为研究对象,结合传统机箱结构,设计出一款在高温环境下强迫风冷散热的密闭机箱。通过中空盖板设计,让气流在中空盖板内流动,以提高发热芯片与空气的换热速度,有效地降低整机设备及内部模块的温度,保证设备在湿热、盐雾、淋雨、高温等恶劣环境下能长时间正常工作。

一、设计思路

传统风冷散热通过风扇直接对发热元器件进行冷却,这种散热效果固然显著,却满足不了其三防设计要求,故装备的散热装置无法直接采取传统风冷散热。经综合考虑,决定采用间接风冷结构形式。间接风冷散热的原理是:由于热空气密度小,具有浮升力,因此可将主要发热元器件的热量传递至空腔盖板,空腔内流动的冷却气体与盖板进行热交换,盖板温度的降低可使发热元器件及设备温度显著下降,实现间接风冷散热。通过间接风冷散热方式,不仅使该电子设备满足防水、防潮、防盐雾腐蚀等技术要求,还可避免风扇电机产生的电磁辐射对设备内部功能模块的正常工作造成影响。

二、结构设计

该密闭机箱风冷散热系统的结构设计如下:将功耗小的元器件布置在机箱的底部或中间层,将电源和发热量大的芯片安装在机箱的顶部与盖板内表面贴合,并在它们之间加入绝缘导热胶垫,以保证两者之间接触良好,减少间隙,降低其接触热阻,将热量高效可靠地传递给盖板。风扇隐藏于盖板内,对鳍片进行强迫风冷散热降低盖板的温度。强迫风冷散热的关键是风道的设计,风道设计的好坏直接决定风阻的大小,从而影响最终的散热效果。盖板是将铝板经铣加工成鳍片散热器,然后在鳍片顶部加鳍片盖板形成风道。该风道易于加工,便于拆装及维修。由于设备体积小,机箱外形尺寸受限,盖板的厚度通常比较薄,所以进风口与出风口需垂直布置。鳍片盖板上的进风口设计成小孔状,可过滤掉空气中体积较大的杂质,防止其堵塞气流通道的,影响散热效果。

三、案例分析

1. 整机设计。(1) 结构布局。根据设备总体研制要求,

结合机箱内部器件尺寸和安装空间,确定机箱的基本外形尺寸为380mm×160mm×280mm,模拟器机箱由箱体、前、后盖板,均温散热板,散热风机,把手等组成,箱体内部包含6个微波模块、1个电源、1块制板、若干连接器和开关。机箱总重质量约为6.5kg,整机总质量约为12kg。6个微波模块安装在箱体的侧壁和后盖板上,1个电源和若干连接器安装在前面板,印制板散热板安装在机箱左边,风机支架、风机、风机盖板依次与之安装。

(2) 密封设计。所设计的机箱使用环境为露天野外环境,按照设计要求需要具备防雨、防尘、防沙的密闭要求,因此机箱前、后盖板,印制板散热板与机箱之间采用密封绳密封,器件的各个安装孔设计为盲孔,风机选用防水式风机,接插件选用防水接插件,并在安装法兰处加装橡胶密封垫。因为密封的要求,打破了传统的风机给内部机箱循环送风的制冷形式,机箱的框架和前后盖板、印制板散热板已经形成一个密闭的腔体,风机只是单独给发热量最大的印制板鳍片散热。

(3) 冷却方式选择。因为箱体密闭性要求,初步考虑选择自然散热冷却方式。整个机箱的热耗合计121.4W,其中微波器件和电源的热量分布在器件底部,印制板热量分布在各个芯片表面,稳态下机箱表面的热流密度按照公式 $\phi=Q/A$ 计算得到,其中:Q为机箱内部总的发热量;A为机箱散热表面积;机箱使用环境的极限温度为50℃;内部器件耐温取值85℃。在40℃的温升条件下计算 $\phi=Q/A=121.4W/8812cm^2=0.014W/cm^2$,该热流密度处在自然对流散热阈值范围内,但是经过初步的仿真计算得到印制板芯片表面温度超过85℃,说明该种散热方式不能满足机箱的使用条件。分析原因,印制板表面热量较为集中,计算时将其中热量均分给整个机箱散热,降低了整机的热流密度,而实际传导过程中,印制板散热器不可能将热量迅速传导给整个机箱,故需将印制板散热与其他器件散热单独计算。箱体上内部微波器件和电源稳态下热流密度:

$$\phi_1=Q_1/A_1=7.29 \times 10^{-3} W/cm^2$$

印制板散热板热流密度:

$$\Phi_2=Q_2/A_2=0.046\text{W}/\text{cm}^2$$

其中, A_1 为箱体外部除去印制板散热板的散热总面积, A_2 为印制板散热板的散热总面积。机箱内部微波器件和电源的总热耗 $Q_1=55\text{W}$, 印制板的总热耗为 $Q_2=66.4\text{W}$ 。

从计算结果和可知热流密度为 Φ_1 的散热方式小于自然散热的阈值; 在极限 35°C 温升条件下, 热流密度为 Φ_2 散热方式介于自然冷却和强迫空气冷却之间, 因此在印制板散热器冷却方式选择为强迫风冷散热, 设计时在散热鳍片外面加装散热风机形成空气的强制对流换热。另外还将印制板散热器内部设计成均温板结构形式, 进一步提高热传导效率。综上, 该机箱的冷却方式确定为一种自然散热、均温板导热、外部强制风冷散热的组合散热方案, 然后通过仿真计算验证该方案是否可行。

(4) 散热齿设计。机箱内部器件都布置在内表面贴壁安装, 整个机箱外表面都可作为散热齿布置区域, 由于机箱壁厚限制, 取散热齿高度为 7mm , 宽度为 2mm , 间距为 5mm 。印制板散热板采用内嵌式设计, 外部再加装风机, 尽量减少侧边突出距离, 增加机箱整体的设计美感。装配完整后, 风机采用抽风式工作, 风由印制板散热板外侧的四周流经散热板外表面, 达到冷却的效果。

(5) 风机选型。一般来讲, 风机能提供的最大风量越大, 对流就越强, 散热效果就越好, 但同时结构尺寸就越大, 产生的噪声也越大。根据设备环境使用要求, 取环境试验中最高使用温度 50°C , 进出风口 5°C 的温差。 60°C 时空气特征参数: 空气密度 $\rho=1.06\text{kg}/\text{m}^3$; 空气动力黏度 $\nu=18.97\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$; 空气比热容 $C_p=1005\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 。根据热力学平衡方程, 计算得到总风量:

$$Q_f=Q/(C_p\times\rho\times\Delta t)=0.0124\text{m}^3/\text{s}=44.87\text{m}^3/\text{h}$$

式中: Q 为印制板的发热量; Δt 为进出风口温差。综合考虑结构安装尺寸, 电源输入功率等因素, 选择型号为SanAce9WP0812H401风机, 其输入电压为 12V 直流, 输入功率为 1.56W , 额定转速 $2900\text{r}/\text{min}$, 最大风量为 $1.03\text{m}^3/\text{min}$ 即 $61.8\text{m}^3/\text{h}$, 最大风压为 35.3Pa , 采用抽风形式。该风机为防水型风机能够满足露天淋雨的使用条件。

2. 热仿真分析。(1) 模型简化。热仿真分析与计算采用Flotherm(NX10.0)进行计算分析。在不影响仿真结果准确性的前提下, 对机箱模型进行简化。简化原则如下: 1) 由于机箱密闭, 忽略内部对流换热和辐射换热; 2) 忽略内部散热量较小微波器件的特殊外形, 简化为立方体, 忽略安装螺钉等紧固件, 并将整体的热耗均匀分布在接触面; 3) 忽略内部几何形状较小且几乎无热耗的滤波器和开关等; 4) 忽略前面上布置的接插件、指示灯、开关等对热分析无影响的

器件; 5) 将风机按照选型的风机的风量和风压值简化处理。

(2) 边界条件设定。外部环境极限温度: 50°C 。器件上限温度: 印制板芯片表面 85°C , 微波器件表面 105°C 。界面填充介质: 印制板芯片与印制板散热器之间导热衬垫厚度取 0.1mm , 导热系数 $10\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; 其他微波器件与箱体之间涂覆导热硅脂, 导热系数取 $5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。材料: 箱体整体均为5A05型铝合金, 密度为 $2700\text{kg}/\text{m}^3$, 导热系数为 $209\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 比热容为 $896\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$, 印制板散热板导热系数为 $1000\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。空气比热容为 $1005896\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$, 空气密度为 $1.06\text{kg}/\text{m}^3$ 。(3) 网格划分。应用Flotherm软件自带的网格划分功能, 印制板散热器和印制板芯片区域由于热量比较集中, 特征较多, 散热齿排列较密, 采用局部网格细化。设置软件的初始网格级别为3级, 最小缝隙尺寸为 1mm , 均匀分布网格, 计算得到总网格数为 327413 , 流体网格数为 1364917 , 固体网格数为 1909296 , 热接触流体网格数为 1080860 。

(4) 结果分析。机箱表面的最高温度为 81.72°C , 低于许用温度 105°C ; 如图10所示, 印制板上芯片表面的最高温度为 76.25°C , 低于许用温度 85°C , 印制板散热板均温性约为 7°C 。

综上所述, 针对某型便携式电子设备的散热问题, 提出了一种新型强迫风冷散热机箱设计方案。该型封闭式机箱利用小型风速激发气流在空腔基板内快速流动, 从而带走芯片上的堆积的热量。通过三维数值仿真分析发现, 在外型尺寸相当的情况下, 与传统板自然冷却散热机箱结构相比, 强迫风冷散热机箱可使芯片温度进一步降低 10°C 以上, 尤其是当热量集中时, 在热流密度越大、温差越大的情况下, 该强迫风冷设计的散热优势越明显。进一步研究发现, 当风扇风速在 $1.5\text{m}/\text{s}$ 时, 该强迫风冷散热结构的电能消耗一散热性能达到最优, 从而为风机选型提供了量化指标。以某型雷达模拟器实际设计需求为依托, 对模拟器机箱进行结构设计和热设计, 在保证机箱密闭性的同时, 实现了内部器件的散热需求, 尤其是较大热耗的印制板芯片正常工作。通过热仿真软件仿真分析对结构的散热性能进行分析验证, 可以验证设计正确。产品生产完成后, 又对机箱进行了GJB150A中相关的高低温试验、淋雨试验、振动试验及冲击试验, 该机箱均通过上述试验, 说明产品性能符合设计要求。

参考文献

- [1] 王晓玲. 浅谈密闭机箱风冷散热结构设计与分析. 2020.
- [2] 刘晓婷. 高密度密封电子设备热设计与结构优化. 2020.