

QSFP+光收发模块的热设计研究*

杨明冬,全本庆,关卫林

(武汉光迅科技股份有限公司, 湖北 武汉 430205)

摘要: QSFP+光收发模块作为有源光器件中的重要组成部分,在宽带通信网络领域占有非常重要的地位。随着光网络信息容量激增, QSFP+光收发模块的速率逐步提高,其热流密度逐渐增大,模块的散热性能成为制约其进一步发展的重要因素。文中通过分析 QSFP+光模块的热传递路径,建立了光模块的热模型,采用仿真分析的方法得出不同材料、接触热阻以及发热器件布局对光模块温度场的影响。结果表明,通过减小接触热阻、提高材料的导热系数、缩短发热器件与散热片之间的距离可以有效提高光模块的散热性能。

关键词: 四通道小型可插拔光收发模块;热设计;热分析;接触热阻

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-5300(2017)04-0038-04

Research on Thermal Design for QSFP+ Optical Transceiver Module

YANG Ming-dong, QUAN Ben-qing, GUAN Wei-lin

(ACCELINK Technologies Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

Abstract: QSFP+ optical transceiver module as an important component of the active optical device plays a key role in the field of broadband communication network. With the increase of the data capacity of optical network, the data rate of QSFP+ optical transceiver module and the heat flux of the module increase gradually, and the thermal performance of the module becomes an important factor restricting its further development. This paper analyzes the heat transfer path of QSFP+ optical module and then establishes the thermal model of the optical module. The effects of different materials, contact thermal resistances and layouts of heating devices on the temperature field of the optical module are concluded by simulation analysis. The results show that the thermal performance of the optical module can be improved by reducing contact thermal resistance, increasing material thermal conductivity and reducing the distance between heating devices and the heat sink.

Key words: QSFP+ optical transceiver module; thermal design; thermal analysis; contact thermal resistance

引言

随着信息产业的全面普及以及由它带来的全球数据量的爆发性增长,全球数据中心建设如火如荼。同时,随着节能减排、绿色环保成为世界产业界的必由之路,数据中心的能耗降低也迫在眉睫。四通道小型可插拔(Quad Small Form-factor Pluggable Plus, QSFP+)光收发模块^[1]体积小,功耗低,可以支持客户高密度单板的需求,具备针对性的解决方案。它能够广泛应用于云计算、数据中心、企业网等应用领域,在高速大容量数据传输中承担重要的角色,拥有巨大的市场前景^[2]。

现代电子技术的迅猛发展与热控制技术的不断进步有着密切的关系,热设计目前成为光电子组件、器件与模块设计的重要组成部分。早期出现的光收发模块如 SFP+封装形式的热流密度一般不超过 2 W/in^2 ,这类光模块一般不需要加装散热片进行散热,而随着光模块朝高速率、高集成度、微小型化方向发展,其热流密度不断增大,导致发热量增加和温度急剧上升。商业级光模块内激光器的壳温要求不得超过 $70 \text{ }^\circ\text{C}$,比光模块所在交换盘其他元器件温度要求低 $15 \text{ }^\circ\text{C}$,导致光模块对温度的要求极为苛刻,散热问题成为制约光收发模块技术发展的关键技术之一。针对光收发模块的

* 收稿日期:2017-03-14

热设计,文献[3]以 XFP 模块为例,模拟分析其在不同温度条件下的工作状态;文献[4]提供了一种针对 SFP 光收发模块内部光发射次模块的热学建模方法;文献[5]研究了 CFP 模块级封装中的热场问题,对 CFP 模块内部的热场分布进行了热分析。

本文以 QSFP+光收发模块为研究对象,使用 Flotherm 软件对 QSFP+光收发模块的散热问题进行了数值模拟,研究了光收发模块壳体材料的导热系数、发热器件和散热片的相对位置以及模块外壳与散热器接触界面的接触热阻对 QSFP+光收发模块的散热影响,可为光收发模块的设计提供参考与建议。

1 QSFP+光模块热设计建模

1.1 QSFP+光模块散热路径

光模块传递的热量按照 Fourier 导热定律计算,热传导、对流换热和辐射换热是热传递的 3 种基本方式^[6]。基于热设计的基础理论分析, QSFP+光模块工作时的热环境及传热路径如图 1 所示。QSFP+光模块插入面板后,内部产生的热量小部分由周围空气自然对流散热,大部分则以热传导的方式散热。热量由温度高的一端传递到温度低的一端,模块热量向上传递至封装外壳及散热器,再由散热器通过对流和辐射散出,向下传递至主板。

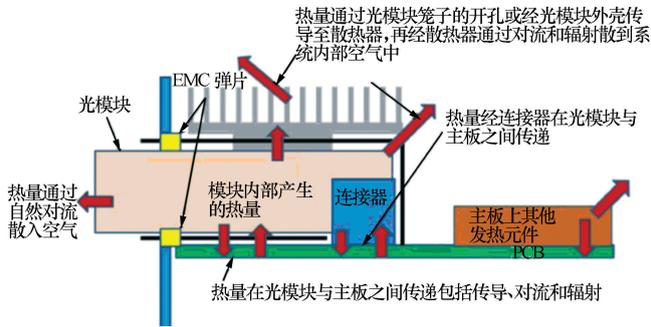


图 1 光模块工作热环境及传热路径^[7]

由于光模块封装外壳与散热片之间接触表面在微观上不平整,其中必然存在空气等介质,因而接触表面总存在一定的接触热阻^[8]。为提高模块整体散热效率,需尽可能减小光模块与散热片之间的热阻。

1.2 QSFP+光模块热模型

QSFP+光模块包括 TOSA 组件(Transmitter Optical Sub-assembly)、ROSA 组件(Receiver Optical Sub-assembly)以及驱动和控制 IC,其封装结构如图 2 所示。

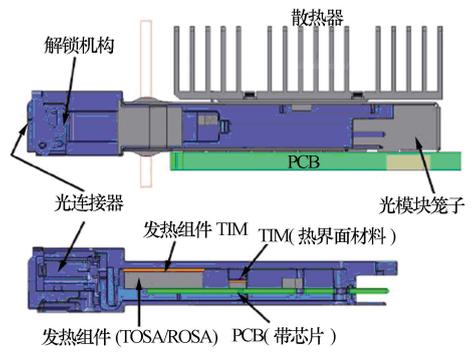


图 2 QSFP+光模块封装结构示意图

QSFP+光模块的总功耗为 5 W,模块的总功率密度达到 1.34 W/cm²。散热片材料采用铝合金,导热系数为 200 W/(m·K)。利用 Flotherm 软件建立 QSFP+光模块热模型,如图 3 所示。

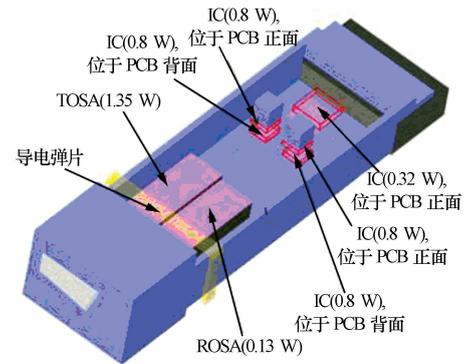


图 3 QSFP+光模块热模型

在该模型中,为 QSFP+光模块外壳基板设置不同材料,对比研究不同导热系数材料对光模块温度场的影响。外壳导热材料具体分为 4 种类型,见表 1。

表 1 外壳导热材料

材料	铸造 锌合金	铸造 铝合金	铜	真空腔 均热板
导热系数 (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	113	169	385	1 000

考虑 QSFP+光模块封装外壳与散热片接触面的接触热阻对温度场的影响,在封装壳体与散热片接触面设置接触热阻。具体分为 2 种情形:1)接触热阻为 R_{c1} ,接触面表面粗糙度 R_a 为 1.6 μm ,对散热片施加 5 N 的压力;2)接触热阻为 R_{c2} ,接触面表面粗糙度 R_a 为 0.6 μm ,对散热片施加 10 N 的压力。为简化分析,上述 2 种情形均不考虑封装壳体和散热片的平面度对接触热阻的影响。参照文献[9]提供的计算方法,计算出上述 2 种情形下的接触热阻: $R_{c1}=3.2 \text{ cm}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, $R_{c2}=1.05 \text{ cm}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

改变 QSFP+光模块中发热组件和散热片基板的

相对位置,研究不同布局对温度场的影响。具体分为4种情形,见图4。其中,图4(a)为初始布局,该条件下光模块功率密度为 1.34 W/cm^2 ,功率密度等级为pd14^[7];图4(b)为保持散热片位置不变,缩短发热组件与散热片基板之间的距离;图4(c)为保持发热组件位置不变,缩短散热片基板与发热组件之间的距离;图4(d)为发热组件和散热片基板位置均不变,散热片与模块封装外壳接触面基板的长度增加5 mm,该条件下光模块功率密度为 1.14 W/cm^2 ,功率密度等级为pd12^[7]。

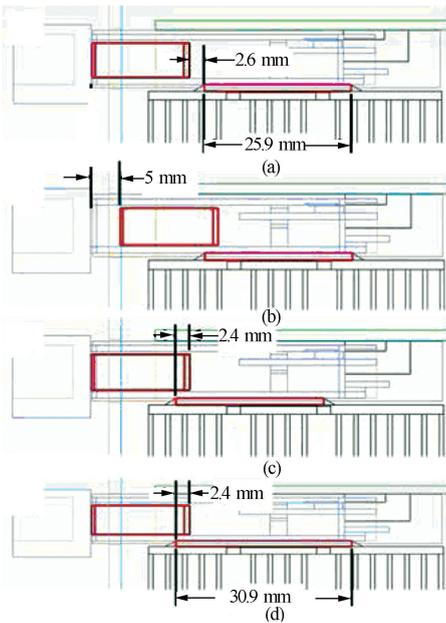


图4 发热组件和散热片基板的相对位置

2 仿真结果分析

利用 Flotherm 软件,针对不同壳体材料、接触热阻、器件布局,对建立的 QSFP+光模块的热模型进行仿真分析,输出模块壳温数据,建立相关曲线。根据 MSA 协议^[1,10]规定, QSFP+光模块的散热性能重点关注模块壳温以及模块壳体和散热器之间的温差。

图5为 QSFP+光模块壳体导热系数、器件布局、接触热阻与模块最大壳温的关系。图6为 QSFP+光模块壳体导热系数、器件布局、接触热阻与模块壳体和散热器之间温差的关系。

由图5、图6可知,光模块散热的重要影响因素包括:

1) 壳体导热系数。在相同散热条件下,提高壳体导热系数有利于降低模块壳温,同时有利于降低模块壳体和散热器之间的温差。

2) 器件布局。缩短散热片基板与发热组件之间的距离,有利于降低模块壳温及模块壳体和散热器之

间的温差。由图5和图6可知,提高壳体导热系数,有利于降低器件布局对模块散热的影响。

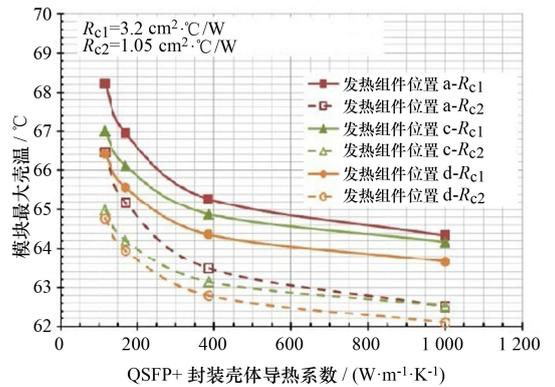


图5 QSFP+光模块壳体导热系数、器件布局、接触热阻与模块最大壳温的关系

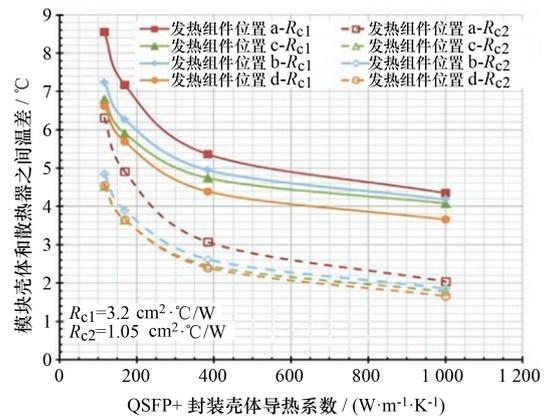


图6 QSFP+光模块壳体导热系数、器件布局、接触热阻与模块壳体和散热器之间温差的关系

3) 接触热阻。模块壳体与散热器之间的接触热阻是模块散热的重要影响因素。降低接触热阻有利于提高模块的散热性能,进而降低模块壳温及模块壳体与散热器之间的温差。由图5、图6可知,在相同散热条件下,接触热阻为 R_c2 时模块的壳温及模块与散热器之间的温差比接触热阻为 R_c1 时低 $2 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

4) 散热器与模块壳体的接触面积。由图6可知,通过增加散热器接触面长度,模块壳温及模块壳体与散热器之间的温差可以降低约 $1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

综合采用提高壳体导热系数、降低接触热阻以及增大模块壳体与散热片的接触面积的多种措施,最大可以改善模块壳温及模块壳体与散热器之间的温差约 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$,可以有效改善 QSFP+光模块的散热。

3 结束语

本文主要围绕与可靠性相关的散热问题对 QSFP+光收发模块展开研究。在分析模块内热传导路径的基

基础上,通过建立 QSFP+光模块的热模型,仿真得出不同材料、接触热阻以及发热器件布局对光模块温度场的影响。仿真结果表明,减小接触热阻、提高材料的导热系数、缩短发热器件与散热片之间的距离可以有效提高光模块的散热性能。

参考文献

- [1] SFF Committee. SFF-8661. Specification for QSFP+ 4X Pluggable Module[S]. Rev 2.3, 2014.
- [2] 赵佳丽,王逸文,薛原,等. 数据通信 40 Gbit/s 并行光收发模块的研究[J]. 光通信研究, 2014(2): 25-27.
- [3] 宋蓓莉,杨电,赵先明,等. 热分布对 XFP 模块寿命的影响研究[C]//第十八届十三省市光学学术会议论文集. 上海, 2010.
- [4] 姜振超,唐杰,黄宏光. 基于热传递的光发射次模块结温计算方法[J]. 四川电力技术, 2013, 36(5): 9-12.
- [5] 蔡媛媛,刘旭,孙小菡. 100G 光模块热设计研究[C]//全国第 17 次光纤通信暨第 18 届集成光学学术会议;可

实施光元部件、光纤光缆、子系统、系统、网络与应用最新进展专辑. 南京, 2015.

- [6] 赵博彦. 电子设备热设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [7] Optical Internetworking Forum. OIF-Thermal-01.0. Implementation Agreement for Thermal Interface Specification for Pluggable Optics Modules[S]. 2015.
- [8] 答邦宁. 导热衬垫在印制板组件上的应用研究[J]. 电子机械工程, 2013, 29(3): 50-52, 64.
- [9] TEERTSTRA P. Calculating Interface Resistance[EB/OL]. <https://www.electronics-cooling.com/1997/05/calculating-interface-resistance/>.
- [10] SFF Committee. SFF-8663. Specification for QSFP+ 28 Gb/s Cage (Style A)[S]. Rev 1.5. 2014.

杨明冬(1982-),男,工程师,主要从事光通信设备、模块的热设计工作。

(上接第 37 页)

3 结束语

本文以小型高轨星载天线为研究对象,通过对比热仿真模型的仿真结果与试验结果,验证了仿真模型的有效性。在此基础上,研究了全轨道工况下不同太阳辐射角 β 和不同天线材料表面吸发比 α/ε 对天线温度的影响。主要结论有:

1) 在 $30^\circ \sim 150^\circ$ 范围内,太阳辐射角 β 为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 时,小型高轨天线温度达到极大值 119.6°C ;当 $\beta = 150^\circ$ 时,天线最低温度达到极小值 -94.6°C 。该结果可作为天线材料选取及天线开展无空间辐射的地面耐功率试验的重要依据。

2) 在不影响电气性能的前提下,对小型天线表面进行喷砂或砂面处理,可明显降低材料表面吸发比,从而降低天线在空间辐射条件下的温度。该结果可为天线热设计提供重要参考。

参考文献

- [1] 徐晓婷,朱敏波,杨艳妮. 电子设备热仿真分析及软件应用[J]. 电子工艺技术, 2006, 27(5): 265-268.
- [2] 朱敏波. 星载大型可展开天线热分析技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [3] 范琦. 基于热变形的星载抛物面天线误差研究[M]. 西

安: 西安电子科技大学, 2014.

- [4] 王帅. 星载天线热-结构仿真分析方法研究[M]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [5] 朱敏波,曹峰云,刘明治,等. 星载大型可展开天线太空辐射热变形计算[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2004, 31(1): 28-31.
- [6] 朱敏波,钟杨帆,段宝岩. 星载天线在轨热变形多因素影响仿真分析[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(6): 1376-1378.
- [7] 杨艳妮. 星载天线在轨热稳定性影响因素分析[M]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [8] 陈志华. 星载抛物面天线赋形方法及热分析研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [9] 陈志华,关富玲. 星载抛物面天线反射器太阳辐射热流分析[J]. 工程设计学报, 2007, 14(2): 148-152.
- [10] 杨玉龙,关富玲. 可展开桁架天线温度场和热变形分析[J]. 空间科学学报, 2005, 25(3): 235-240.
- [11] 于坤鹏,彭超,王志海. 某星载天线反射罩的热应力优化设计[J]. 电子机械工程, 2016, 32(1): 48-51.
- [12] 闵桂荣. 卫星热控制技术[M]. 北京: 宇航出版社, 1991.

包 胜(1987-),男,工程师,主要从事电子设备热管理与结构设计工作。