

白皮书赞助方：
Sponsors:



铂力特
BRIGHT LASER TECHNOLOGIES

H3D 汉邦科技

3D打印与换热器及散热器应用2.0

合作单位:



中国汽车工程学会
China Society of Automotive Engineers



pdf下载请加入3D科学谷QQ群: 529965687

随时查看请关注“3D科学谷”微信公众号: cn_3dsciencevalley

3D科学谷核心竞争力-整合力量与影响力



前言

下一代换热器与散热器正在来临

换热器与散热器对设备可以长效稳定运行起到了关键的作用，3D打印用于换热器和散热器的制造满足了产品趋向紧凑型、高效性、模块化、多材料的发展趋势。特别是用于异形、结构一体化、薄壁、薄型翅片、微通道、十分复杂的形状、点阵结构等加工，3D打印具有传统制造技术不具备的优势。

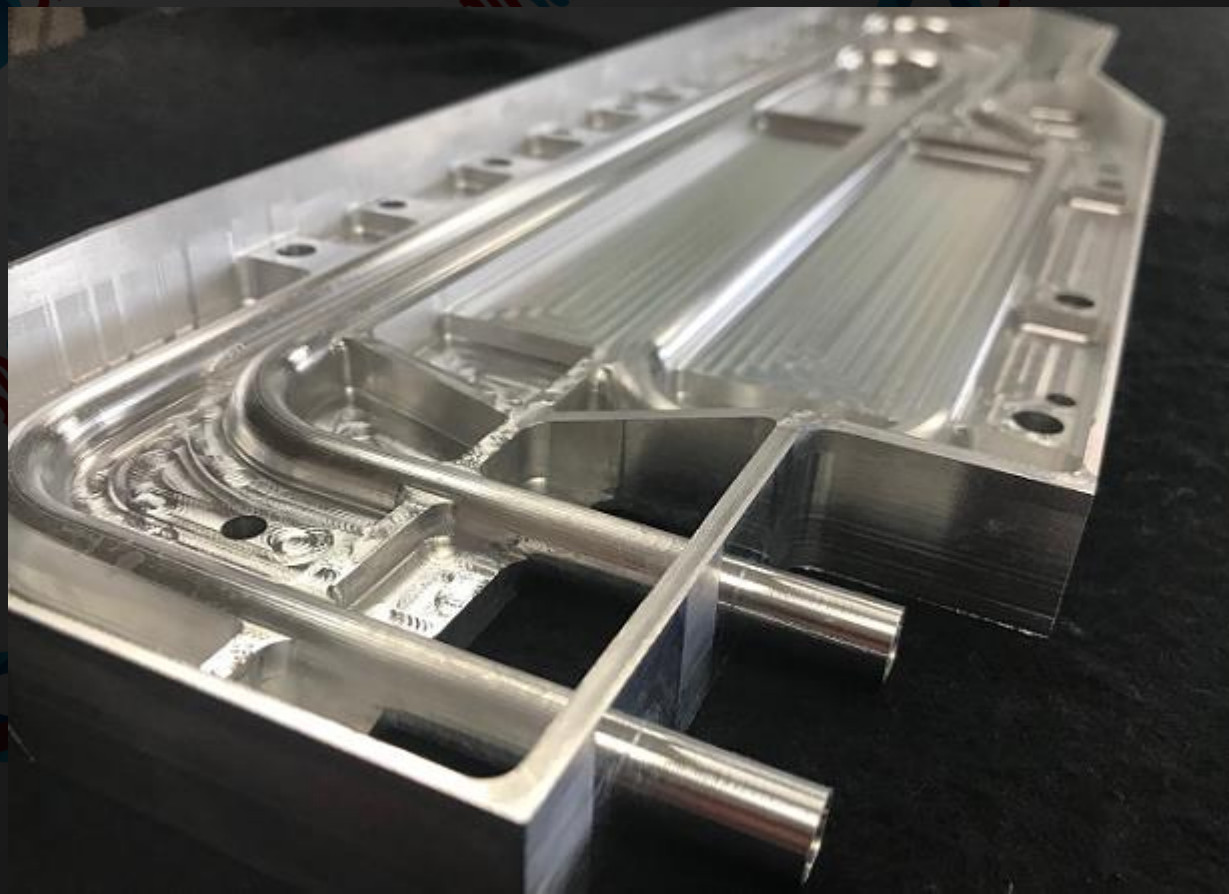
本白皮书从换热器与散热器的分类与市场情况入手，详细剖析了3D打印在换热器与散热器领域的技术优势，国际上和国内商业化的3D打印散热器与换热器案例，国际上和国内的代表性专利情况，CFD软件情况、材料考虑以及后加工考虑等等。

希望本白皮书能够推动和加速我国在引入3D打印技术方面的发展。

感谢本白皮书合作伙伴的支持，更多信息，请参考3D科学谷网站
www.3dsciencevalley.com

3D科学谷市场研究团队 · 2019年

换热器





管状热交换器器



Double Pipe (Reynolds 2015)



Shell and Tube (Techform 2015)



Coiled Tube (Allbiz 2015)



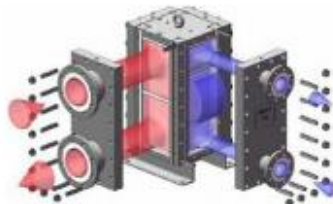
板式热交换器



Gasketed (Delta 2015)



Brazed (West 2015)



Welded (WeldPack 2015)

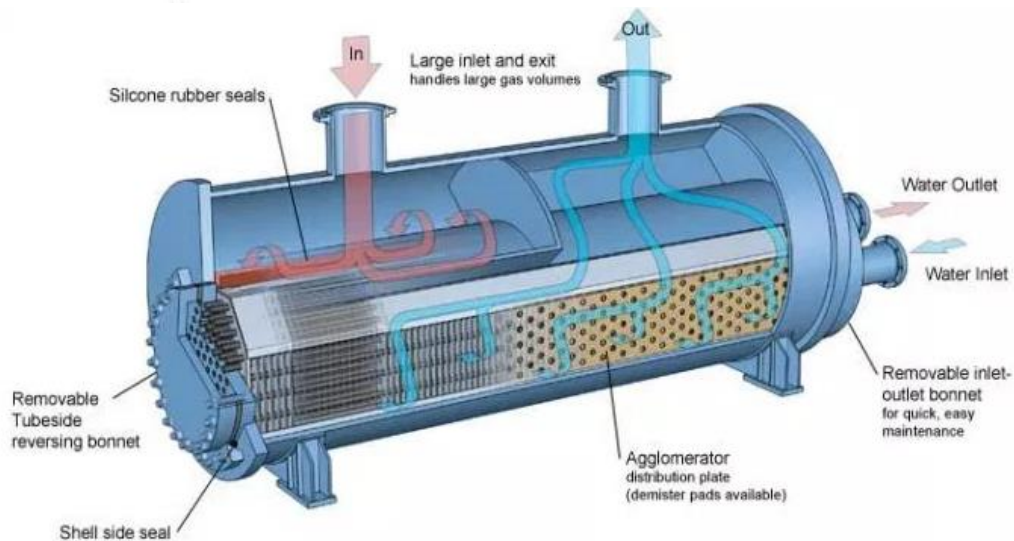
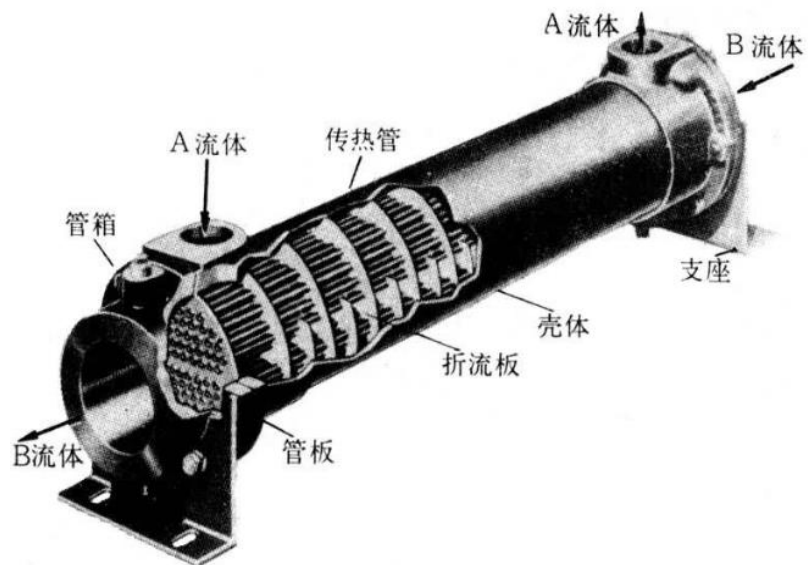


Panel Coil (Tranter 2015)



Lamella (Anthermo 2015)





热交换器（按照传送热量的方法来分）

● 间壁式

热流体和冷流体间有一固体壁面，一种流体恒在壁的一侧流动，而另一流体恒在壁的他侧流动，两种流体不直接接触，热量通过壁面而进行传递。

● 混合式（或称直接接触式）

这种热交换器内依靠热流体与冷流体的直接接触而进行传热，例如工业上的冷水塔以及喷射式热交换器。

● 蓄热式（或称回热式）

其中也有固体壁面，但两种流体并非同时，而是轮流地和壁面接触。当热流体流过时，把热量储蓄于比内，其温度逐渐升高；而当冷流体流过时，壁面放出热量，其温度逐渐降低，如此反复进行，以达到热交换的目的。例如炼铁厂的热风炉。

5 热交换器-间壁式热交换器分类

 管壳式换热器

管壳式(又称列管式)换热器是最典型的间壁式换热器,它在工业上的应用有着悠久的历史,而且至今仍在所有换热器中占据主导地位。管壳式换热器主要有壳体、管束、管板和封头等部分组成,壳体多呈圆形,内部装有平行管束,管束两端固定于管板上。在管壳换热器内进行换热的两种流体,一种在管内流动,其行程称为管程;一种在管外流动,其行程称为壳程。管束的壁面即为传热面。

 板式换热器

板式换热器是由一系列具有一定波纹形状的金属片叠装而成的一种新型高效换热器。各种板片之间形成薄矩形通道,通过半片进行热量交换。板式换热器是液—液、液—汽进行热交换的理想设备。

 夹套式换热器

这种换热器是在容器外壁安装夹套制成,结构简单;但其加热面受容器壁面限制,传热系数也不高。

 沉浸式蛇管型

这种换热器是将金属管弯绕成各种与容器相适应的形状,并沉浸在容器内的液体中。

 喷淋式换热器

这种换热器是将换热管成排地固定在钢架上,热流体在管内流动,冷却水从上方喷淋装置均匀淋下,故也称喷淋式冷却器。

 套管式换热器

是由直径不同的直管制成的同心套管,并由U形弯头连接而成。这种换热器中,一种流体走管内,另一种流体走环隙,两者皆可得到较高的流速,故传热系数较大。

热交换器-间壁式热交换器-管壳式换热器分类

根据所采用的补偿措施，管壳式换热器可分为几种主要类型：

①

固定管板式换热器

管束两端的管板与壳体联成一体，结构简单，但只适用于冷热流体温度差不大，且壳程不需机械清洗时的换热操作。当温度差稍大而壳程压力又不太高时，可在壳体上安装有弹性的补偿圈，以减小热应力。

②

浮头式换热器

管束一端的管板可自由浮动，完全消除了热应力；且整个管束可从壳体中抽出，便于机械清洗和检修。浮头式换热器的应用较广，但结构比较复杂，造价较高。

③

U型管式换热器

每根换热管皆弯成U形，两端分别固定在同一管板上下两区，借助于管箱内的隔板分成进出口两室。此种换热器完全消除了热应力，结构比浮头式简单，但管程不易清洗。

④

涡流热膜换热器

涡流热膜换热器采用最新的涡流热膜传热技术，通过改变流体运动状态来增加传热效果，当介质经过涡流管表面时，强力冲刷管子表面，从而提高换热效率。

*标准方面：美国的TEMA标准，日本的JIS B 8249标准，英国的BS5500标准，德国的AD规范，中国的GB151-89等

热交换器-间壁式热交换器-板翅式热交换器



板翅式热交换器

Plate Wing Heat Exchanger

翅片的主要作用是强化传热，也有增强两金属板强度的作用，在这种热交换器中相邻两通道之间的热交换，一部分通过平板传递热量，但绝大部分热量是通过波纹翅中传递的，因为平板之间均有波纹翅片，因而大大增加了传热面积，所以它的单位体积内的传热面积比一般管式热交换器大10倍以上。通过各通道之间的不同组合，可得到逆流、错流等形式的热交换器。它具有单位体积传热面积大、传热效率高、流体阻力小、热容量小、结构紧凑及同时允许几种介质进行热交换等优点。



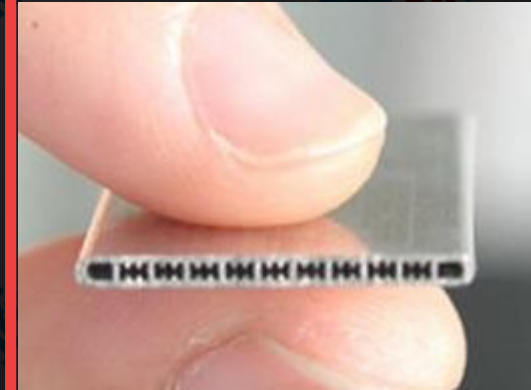
热交换器-微通道换热器



微通道换热器

Micro-tunnel Heat Exchanger

微通道换热器，就是通道当量直径在10-1000 μm 的换热器。这种换热器的扁平管内有多条细微流道，在扁平管的两端与圆形集管相联。集管内设置隔板，将换热器流道分隔成数个流程。



微通道换热器按外形尺寸可分为微型微通道换热器和大尺度微通道换热器。

微型微通道换热器是为了满足电子工业发展的需要而设计的一类结构紧凑、轻巧、高效的换热器，其结构形式有平板错流式微型换热器、烧结网式多孔微型换热器。

大尺度微通道换热器主要应用于传统的工业制冷、余热利用、汽车空调、家用空调、热泵热水器等。其结构形式有平行流管式散热器和三维错流式散热器。由于外型尺寸较大(达1.2m $\times$ 4m $\times$ 25.4mm[13])，微通道水力学直径在0.6~1mm以下，故称为大尺度微通道换热器。国内市场最先将微通道技术产业化的是汽车空调行业。

换热器市场

9

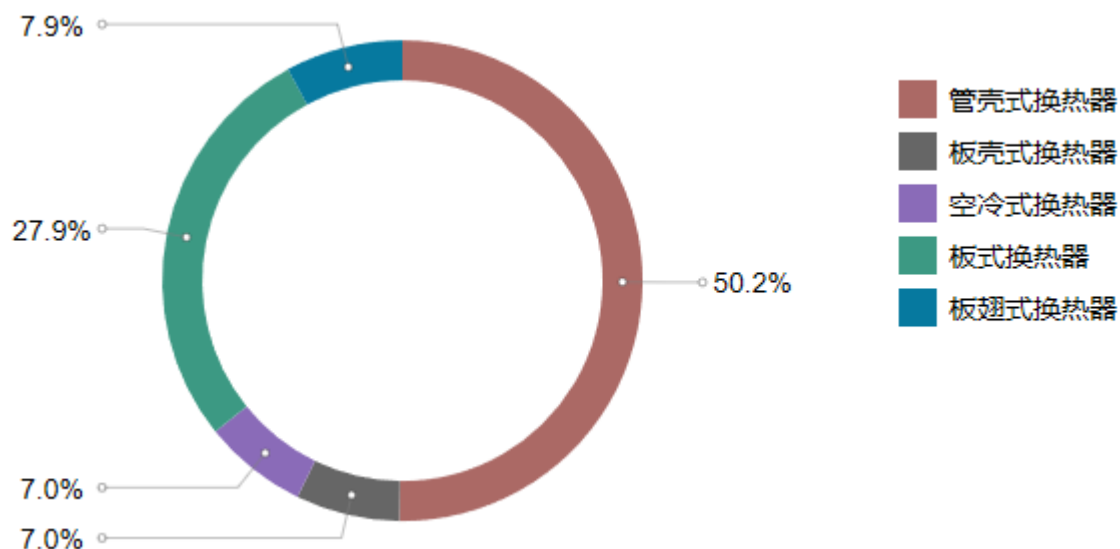
热交换器-间壁式热交换器-板翅式热交换器



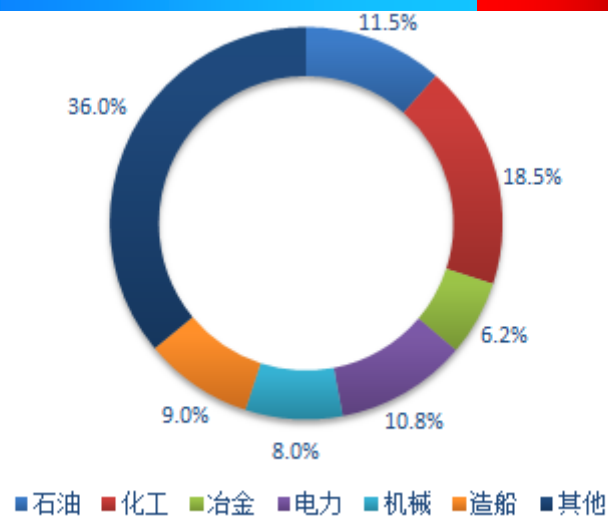
2015年，我国换热器产业的市场规模为 769 亿元，2015年我国换热器行业销售规模较大的是管壳式换热器和板式换热器，分别销售金额达到了386亿元和214.6亿元。

2020年我国换热器产业规模有望达到 1,500 亿元；在各种类型的换热器中，板翅式换热器约占整个换热器行业 6%左右的市场份额，按照这样的市场份额进行估算，至 2020 年，我国板翅式换热器的产值有望突破90 亿元。

2015年中国换热器产品销售结构



2015年中国换热器需求领域分布格局





十大换热器制造企业

兰州兰石换热设备有限责任公司
四平市巨元瀚洋板式换热器有限公司
阿法拉伐（上海）技术有限公司
四平维克斯换热设备有限公司
斯必克(中国)投资有限公司
甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司
传特板式换热器(北京)有限公司
睿能太宇（沈阳）能源技术有限公司
凯络文换热器（中国）有限公司
北京市京海换热设备制造有限责任公司



国际品牌

阿法拉伐Alfa Laval
舒瑞普SWEP
传特Tranter
艾普尔API
SPX
基伊埃GEA
风凯Funke
萨莫威孚 thermowave
日阪Hisaka
IHI, JSW, Hitachi等



板翅式换热器国内厂家

浙江银轮机械股份
杭州杭氧股份
无锡佳龙换热器股份
杭州中泰深冷技术股份
无锡宏盛换热器
开封空分集团
艾普尔换热器苏州
无锡马山永红换热器
湖北迪峰换热器
广州赛唯热工设备

11 汽车行业换热器、散热器 - 国内、国际厂家



经过多年的经验和测试，汽车已经发展成为非常复杂和功能性的机器。选择每个部件的材料和工作流体是出于非常特殊的原因。今天的汽车中的大多数热交换器都是由铝制成，因为它重量轻，可用性相对较高，而且具有很高的导热性。

汽车热交换器包括但不限于散热器，油冷却器和中间冷却器。

散热器是在发动机中使用的冷却装置，其中热液体流过暴露的管道并通过风扇将热量传递给空气。翅片用于传导管子的热量并将其传递到空气中。

油冷却器主要用于变速箱，以保持油温在安全范围内。热交换器用于涡轮增压内燃机，以冷却来自涡轮增压器的热压缩空气。

国内

浙江银轮机械股份有限公司

上海贝洱热系统有限公司

富奥汽车零部件股份有限公司

扬州水箱有限公司

扬州三叶散热器有限公司

扬州通顺散热器有限公司

山东厚丰汽车散热器有限公司

重庆长江电工工业集团有限公司

潍坊恒安散热器集团有限公司

南宁八菱科技股份有限公司

青岛汽车散热器有限公司

青岛东洋汽车散热器有限公司

国际

德国贝洱 (Behr)

美国摩汀 (Modine)

日本东洋 (Toyo)

日本电装 (DENSO)

美国伟世通 (Visteon)



汽车用热交换器波特五力分析

汽车上使用的热交换器品种较多，有散热器（俗称水箱）、中冷器、机油冷却器、空调冷凝器和蒸发器、暖风散热器、尾气再循环系统（EGR）冷却器、液压油冷却器等，它们在汽车上分别属于发动机、变速箱、车身和液压系统。

供应商侃价能力基本不变

铝和铜等主要原材料是市场定价，公司过去和未来都很难有议价能力，只能通过期货和库存等方法平滑原材料价格波动对企业净利润的冲击

热交换器制造商定价能力缓慢提高

随着发动机技术和新能源汽车技术的发展，热管理系统的重要性和性能要求都在显著提高，下游客户将更加依靠热交换器企业的研发能力来优化整机或整车的性能

无替代品

热管理作为一个功能，只会得到加强，完全没有被替代的风险

行业进入壁垒显著提高

随着发动机技术和新能源汽车技术的发展，行业进入壁垒显著提高

行业内部竞争格局

行业内兼并重组增加，集中度进一步提高



方向一

对于新型的清洁能源车辆，对散热器设计提出了较高的要求，希望在结构上**更加紧凑**，以满足新时期车辆的工作要求；



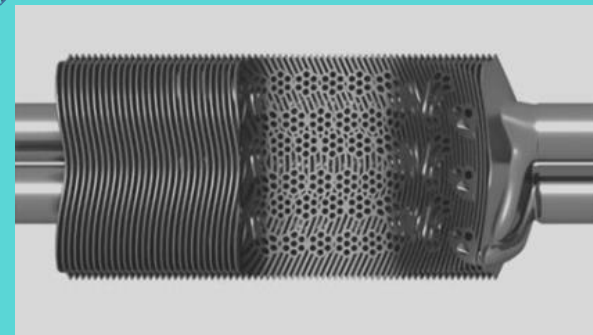
方向二

模块化设计将成为散热器设计的主流，在冷却系统中实现**模块化设计**可以对整车热循环系统进行设计优化；



方向三

新材料新技术的发展催生散热效率高的散热器材料，在小型化和轻型化汽车发展领域将大有作为，节能效果明显。



图片来源：APworks



散热器



散热器按材质分为铸铁散热器、钢制散热器和其它材质的散热器。其他材质散热器包括铝、铜、钢铝复合、铜铝复合、不锈钢铝复合和搪瓷等材料制的散热器。其中，微电子领域遵循摩尔定律飞速发展,伴随晶体管集成度的不断提高,微通道换热器取代传统换热装置已成必然趋势。因此在嵌入式技术及高性能运算依赖程度较高的航空航天、现代医疗、化学生物工程等诸多领域,微通道换热器将有具广阔的应用前景。

航空电子	医疗器械	IT通讯	消费性电子	风力发电	汽车/电动汽车	太阳能	LED灯	机车牵引	电气
雷达控制	医疗检测系统	服务器	电视	变流器	车灯	逆变器	LED灯具照明	变流系统	电气柜
液冷机箱	基因循环仪器	卫星信号接收器	手机	油冷 齿轮箱	电池包				变频器
红外成像系统		基站	可穿戴微型计算机						
卫星 冷却（微通道）		智能手机	电脑/笔记本						
加固计算机		无线网络路由器	Lytro光场相机						
			投影仪						

铝挤：技术相对简单，适合大批量制作散热器。主要是以翅片的高度与翅片间隙的比值衡量优劣。



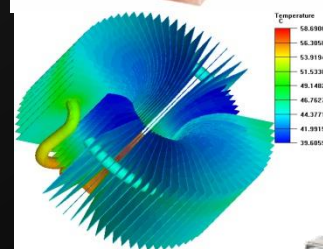
塞铜：



焊接：将翅片与基板焊接起来，散热性能取决于焊接工艺。



焊接串翅：将翅片、热管与基板焊接起来



焊接扣翅：将翅片与基板焊接起来

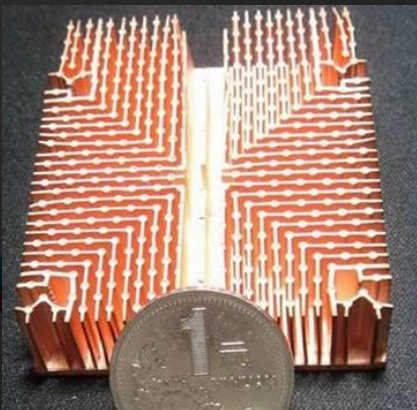




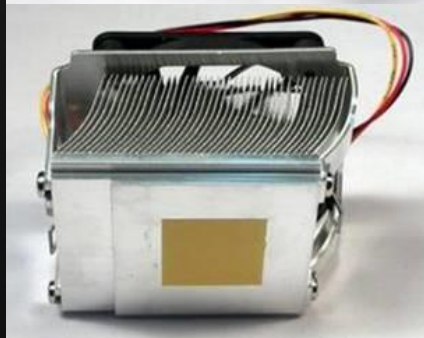
插翅压合：将翅片插入基板的槽内，然后机械挤压。



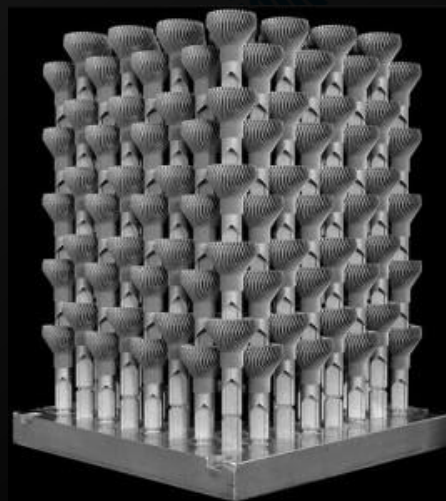
压铸：



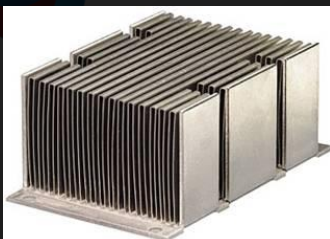
切割：把一整块金属一次性切割，这样切割后的散热鳍片又薄又密，极大增加了散热面积。



3D打印：



焊接折叠：将翅片与基板焊接起来



结构样式 Structure	工 艺 Processing	特 点 Characteristics	图 片 Picture
钻孔式 Brilling pipe	CNC钻孔或型材拉槽 用堵头加焊接将部分区域密封,CNC外型加工 Drilling hole or kerving groove by CNC sealing the part of region with a plug and the welding CNC final machining	工艺简单 批量生产成本低,性能较低 Simple to make low cost in volume, low performance	
压管式 Pressed pipe	CNC铣槽或型材拉槽 将折弯铜管或焊或压或粘入槽腔 CNC外型加工 Milling groove or kerving groove by CNC The bended pipe is welded/stamped/glued in the groove CNC final machining	工艺简单 批量生产成本低 性能较低 Comparatively simple low cost in volume low performance	
组装式 Assembled	CNC或压铸加工水腔与外型与外盖 用螺丝与密封圈或胶水压合密封 "CNC or die-casting Al base/cover plate and water channels" Sealing by O-rings and glues	工艺简单,成本低 性能居中,可靠性低 Variable structures,comparatively low cost middle performance, low reliability	
摩擦焊/电子束焊 Friction welding Electron beam welding	CNC加工水腔与外盖 摩擦焊/电子束焊做密封焊接 CNC成品加工 CNC machining the base/cover plate Friction welding/Electron beam uelding the base and cover plates together CNC final machining	工艺相对复杂,结构相对灵活 性能较好,可靠性高 成本较高 Comparatively hard to make,flexible structures good performance, good reliability high cost	
真空钎焊 Vacuum brazing	CNC或其他方式加工水腔 真空钎焊做面密封 CNC成品加工 CNC machining the base/cover plate Vacuum brazing the base and cover plates together CNC final machining	工艺复杂,结构灵活 性能最好,可靠性高 成本最高 Hard to make, flexible structures excellent performance, good reliability high cost	

钻孔式水冷散热器



压管式水冷散热器



摩擦焊式、电子束焊式水冷散热器





材料

微型微通道换热器可选用的材料有:聚甲基丙烯酸甲酯、镍、铜、不锈钢、陶瓷、硅、 Si_3N_4 和铝等。采用镍材料的微通道换热器,单位体积的传热性能比相应聚合体材料的换热器高5倍多,单位质量的传热性能也提高了50%。

采用铜材料,可将金属板材加工成小而光滑的流体通道,且可精确控制翅片尺寸和平板厚度,达到几十微米级,经钎焊形成平板错流式结构,传热系数可达 $45\text{MW}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$,是传统紧凑式换热器的20倍。

采用硅、 Si_3N_4 等材料可制造结构更为复杂的多层结构,通过各向异性的蚀刻过程可完成加工新型换热器,使用夹层和堆砌技术可制造出各种结构和尺寸,如通道为角锥结构的换热器。

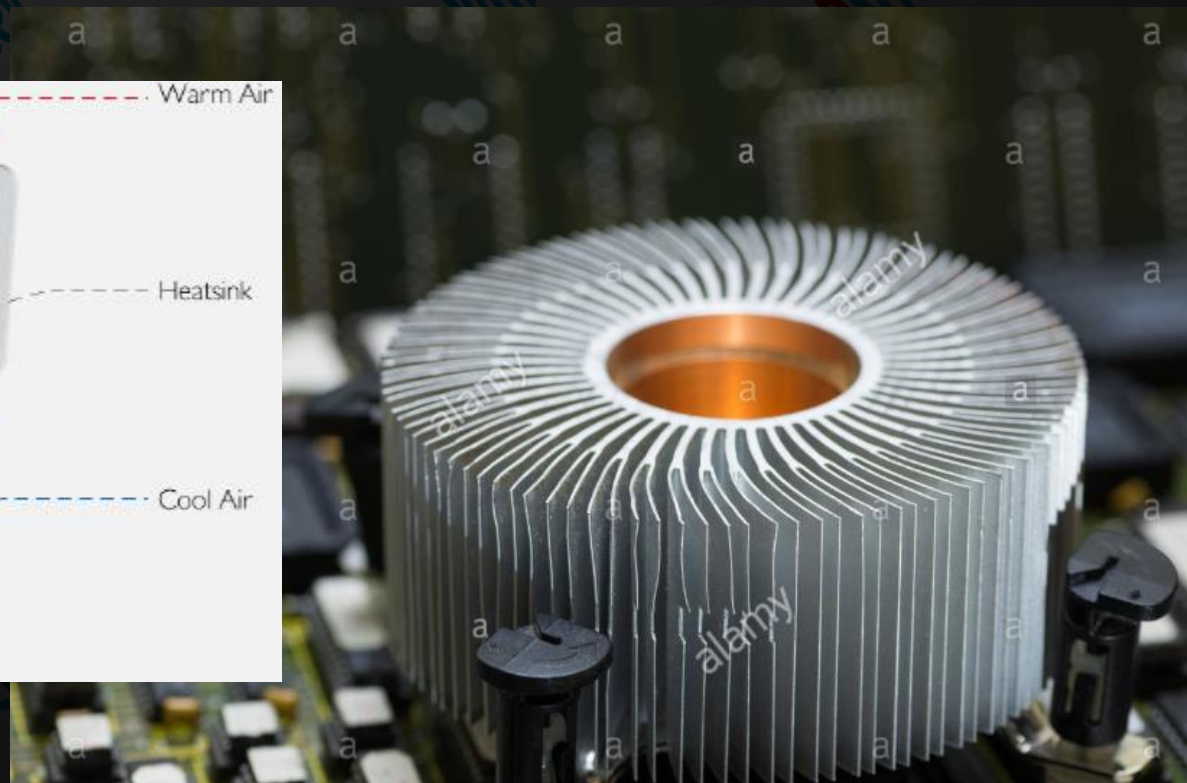
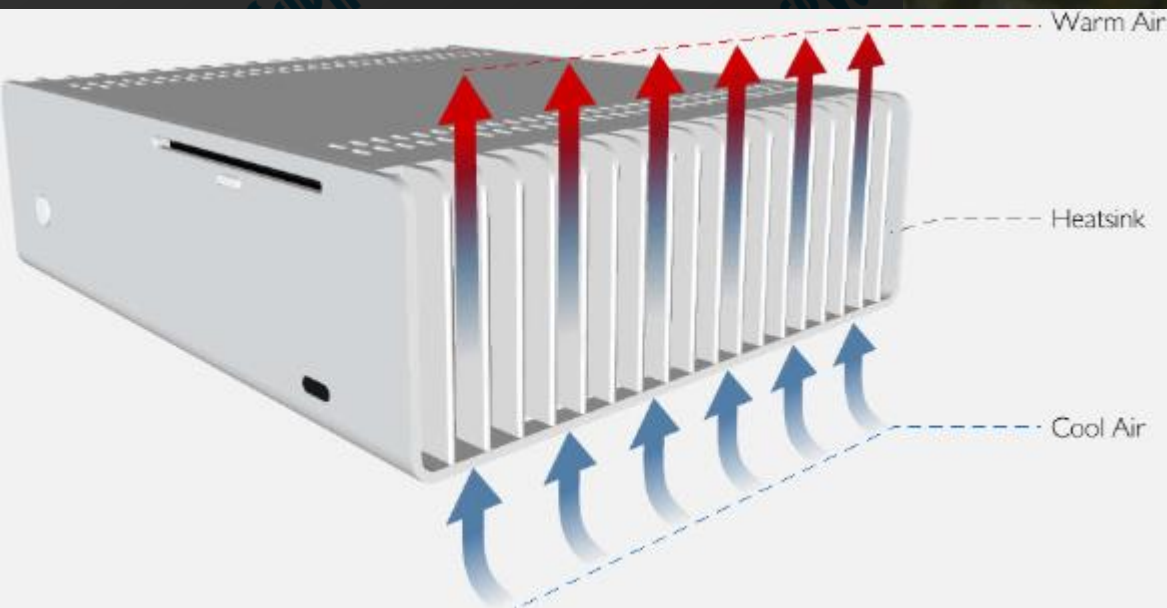
大尺度微通道换热器形成微通道规模化的生产技术主要是受挤压技术,受压力加工技术所限,可选用的材料也极为有限,主要为铝及铝合金。

加工技术

随着微加工技术的提高,目前可以加工出流道深度范围为几微米至几百微米的高效微型换热器。此类微加工技术包括:平板印刷术、化学刻蚀技术、光刻电铸注塑技术(LIGA)、钻石切削技术、线切割及离子束加工技术等。烧结网式多孔微型换热器采用粉末冶金方式制作。大尺度下微通道的加工与微尺度下微通道的加工方式显著不同,前者需要更高效的加工制造技术。



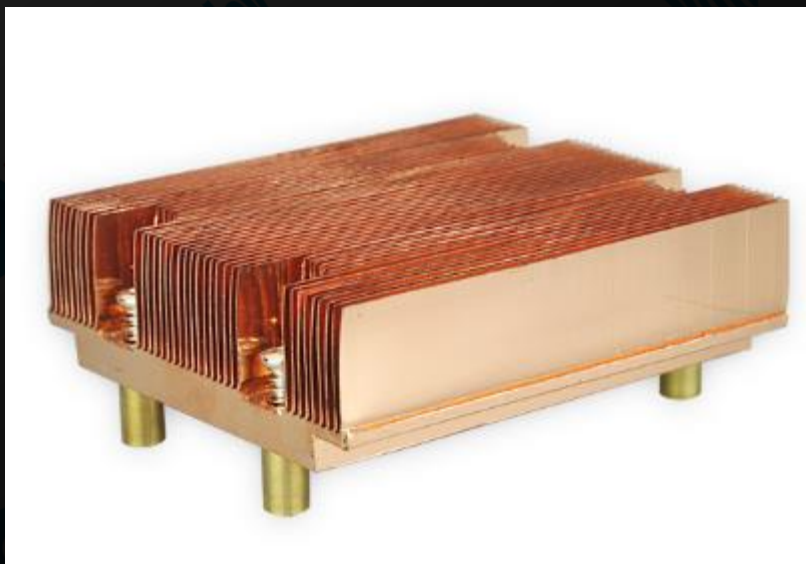
电子散热器具有高热流密度、高传热功率、高温稳定性等特点，其通过高导热率的热界面材料与电子元器件表面紧密接触，通过传导、对流、辐射等热传递方式协助将电子元器件工作过程中产生的大量热量散发到外界环境中。





散热技术	类别	技术说明
空气冷却技术	强制对流空气冷却	主要是借助风扇等设备强迫电子器件周边的空气流动，从而将器件散发出的热量带走。
	自然对流空气冷却	主要是利用电子产品中各个元器件的空隙以及机壳或散热器的热传导、对流和辐射来达到冷却目的。
液体冷却技术	直接液体冷却	冷却液体与发热的电子元器件直接接触进行热交换。热源将热量直接传给冷却液，再由冷却液将热量带走，已很少使用。
	间接液体冷却	液体冷却剂不与电子元件直接接触，而是通过热传导的方式，先把热量传递给换热器，再由换热器中的冷却工质将热量带走，所采用的液体通常是水、碳氢化合物、硅脂等。
微通道传热技术		在定向硅片上或者在基板上利用各向异性蚀刻等技术制造出微尺度通道，液体在流过微通道时通过蒸发或者直接将热量带走。它是利用微尺度换热的特殊性来达到高效冷却的目的，是目前研究的热点。
射流冲击冷却技术		气体或液体在压差作用下通过一个圆形或窄缝形喷嘴垂直（或呈一定角度）地喷射到被冷却的表面上，从而使直接受到冲击的区域产生很强的对流传热效果。
相变冷却技术		相变冷却是利用化学物质（如干冰、液氮）在相变（如固体融化、液体蒸发或固体升华）过程中吸热的现象进行冷却。
热管传热技术		热管是由纯度极高的无氧铜管和内部的毛细结构组成，铜管里面充有适量的液体作为工作介质，并且管内抽成真空。当铜管一端受热后，管内液体将蒸发成气体，并快速到达热管的另一端冷却成液体，冷凝后的液体再通过毛细结构在毛细力的作用下回到热管的受热端。热管有极高的传热能力，有“超导热体”之称，采用热管传热可在很小的温差下传递大量的热量。热管传热是电子产品散热器设计中较为常用的一种技术。

电子产品散热技术主要指外部热设计的方法、方式和技术，涉及与传热有关的散热或冷却方式、材料等多方面内容，目前应用较多的电子产品散热技术主要有空气冷却技术、液体冷却技术、射流冲击冷却技术、相变冷却技术、热管传热技术、微通道传热技术、热电制冷技术等。



在电子产品设计中，提高性能和增加可靠性必须要求电子产品具有良好的散热性，降低产品造价也需要有良好的散热解决方案。通过采用合适的散热技术和散热方案，可能减少银、铜等贵重金属材料的使用，在更低的成本下实现同样的散热效果。

提升电子产品性能与可靠性电子系统故障平均间隔时间随温度倒数呈指数增加。温度越低，故障平均间隔时间越大，因此温度的降低有助于提高系统的可靠性。温度的降低也会降低电子产品失效概率，与温度有关的失效通常被分为机械失效、腐蚀失效和电气失效，具体如下：



类别	含义	说明
机械失效	包括过度变形、屈服、裂隙、断裂或者两片材料结合处的分离。	由于结合材料的热膨胀系数不同，温度梯度会导致相关的机械故障，包括拉伸、压缩、弯曲、疲劳和断裂故障。电子产品容易发生的机械失效如引线疲劳、键合点疲劳、芯片断裂、芯片和基板的粘合疲劳、塑料封装裂纹等。
腐蚀失效	主要包括金属和键合点腐蚀和封装中应力腐蚀。	应力腐蚀失效源于裂纹扩张中的腐蚀加速了疲劳过程。这种腐蚀在高温时容易出现，主要出现在功率器件中。
电气失效	指影响设备性能的失效。	常见电气失效包括电过载、离子污染、电迁移等。电子产品发生电气失效，将降低设备性能，甚至造成电子元器件的永久损伤。

散热器的种类非常多，CPU、显卡、主板芯片组、硬盘、机箱、电源甚至光驱和内存都会需要散热器，这些不同的散热器是不能混用的，而其中最常接触的就是CPU的散热器。国内散热器的主要品牌包括：



电子散热器国内主要品牌

DEEPCOOL 九州风神

深圳市超频三科技

COOLER MASTER 酷冷至尊

Thermaltake (Tt) 曜越科技

AVC

Evercool 捷冷

ASUS 华硕

ENERMAX 安耐美

Corsair 海盗船

ZALMAN 深圳思名烨科技

3D打印的优势

3D打印在热交换器的优势

- 使流体通道尺寸较小，具有较薄的壁的形成而形成的流体通路
- 允许整体制造非常薄的翅片,适合加工翅片极薄、带有狭小内部通道的热交换器
- 可以通过表面光洁度和通道尺寸以改善通过通道的流体流动，改善通道内的热传递等。
- 避免钎焊，减少故障发生
- 更轻，效率更高
- 通过传统制造工艺无法制造出来，更加错综复杂

流体通道复杂且小

非常薄的翅片

更紧凑、更轻、效率更高

避免钎焊

可通过表面光洁度改善热传递效果

3D打印热交换器的优势



24 3D打印的优势



一体化结构实现：3D打印技术可以将几个零件以整体的方式制造出来，这种更高效的设计过程使得热交换器不易发生泄漏，并且能够更好地处理高压应用。在热交换器的世界中，这是重要的，因为传统制造方法的缺点之一是有泄漏的风险。

薄壁：3D打印可以将壁构造成类似于200微米这样的薄度，从而使热交换器应用更加高效，这些壁很薄，它们仍然能够承受高压，无论是使用金属还是某种类型的塑料来制造这些更薄的壁，材料的节省都是巨大的。

减少腐蚀：在热交换器的整个使用寿命期间，遇到的最大问题之一是腐蚀。通过定期维护，可能会立即捕获并处理一些腐蚀，但如果问题已存在一段时间，则通常无法在不更换部件的情况下对其进行任何操作。



图片来源: <https://cn.3dsystems.com/learning-center/case-studies/direct-metal-printing-dmp-enables-ceee-manufacture-lean-and-green-heat>

25 3D打印的优势

复杂的设计：与传统制造方法不同，3D打印释放了设计的自由度。可以用来制造异形管道，或者形状各异的翅片，并且不再需要钎焊来构建微通道板。无限的几何自由度可能带来3D打印热交换器的结构设置更容易，即使使用不锈钢和钛等金属，也可以设计多种类型的零件几何形状，包括涉及大量的内部复杂性。

定制：热交换器是定制化的，但它们可定制的程度始终受到可用制造技术的限制。3D打印突破了这些限制，因为非正统的尺寸和形状现在变得容易被制造出来。这使得可以设计和制造专门适合几乎任何应用的热交换器。



这种新型热交换器中的3D打印金属部件，用于航空航天和其他应用，有助于最大化冷却能力，同时最大限度地减轻重量和体积。由于其复杂的几何内部通道，3D打印部件增加了表面积。（图片：Richard Martukanitz，宾夕法尼亚州立大学直接数字沉积创新材料加工中心）。

https://www.3dmpmag.com/magazine/article/Default.asp?/2016/3/7/Aerospace_Metal_3D_Printing:_Materials,_Machines_and_Methods

26 3D打印的优势

减少污垢：热交换器是复杂的机器，因此，在操作过程中可以进行多种操作。最常见的问题之一是结垢，即当某种类型的外来物质沉积物进入传热表面时。这可以包括沉降结垢，反溶解污垢和化学反应结垢等。

降低成本：一体式3D打印热交换器为制造商节省了资金，在过去，组装需要将非常细的管钎焊到歧管上。这不仅经常导致高压应用中的大量泄漏情况，而且该过程不必要地具有挑战性。3D打印的交换器不会遇到这个问题，因为所有部件都是在一个连续的过程中组合在一起的。

更轻，更高效：3D打印的热交换器比其他方式制造的热交换器更轻，更有效。某些案例中通过3D打印技术生产的热交换器比使用其他方法生产的热交换器轻约20%，效率高20%。



图片来源：EOS

换热器市场规模到2020年预计将超过200亿美元，使其比以往更具竞争力。在这种情况下，制造商将继续寻找更多制造方法来尽可能地改进他们的工作方式，同时保持高水平的质量。



可能性之一 塑料部分替代金属



虽然塑料和其他类似材料具有极差的热性能，但通过3D打印，它们具有更大的表面积，这可以弥补差异。

同样的研究还表明，热传递对表面积变化的敏感性比导电率高约160倍，并且使用3D打印可以轻松实现增加的表面积，特别是在使用非金属材料时。



可能性之二 更多材料



目前用金属进行3D打印的一个缺点是它很昂贵，而由塑料制成的热交换器效率低，因为塑料是热能的不良导体。可以3D打印由塑料和石墨烯或陶瓷的混合物制成的热交换器，以应对这种潜在的问题。

3D打印 在散热器与换热器领域的 精华应用案例

28

热交换器 – 错综复杂的形状



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

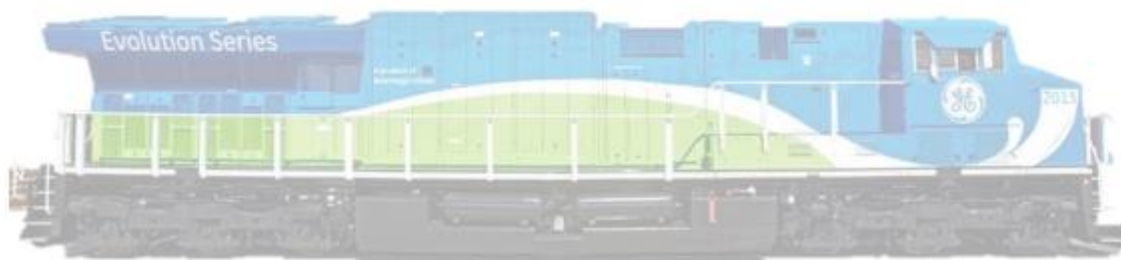
GE locomotive heat exchanger



2000 → 1
PARTS

70%
SMALLER

TIER IV EGR
COOLER

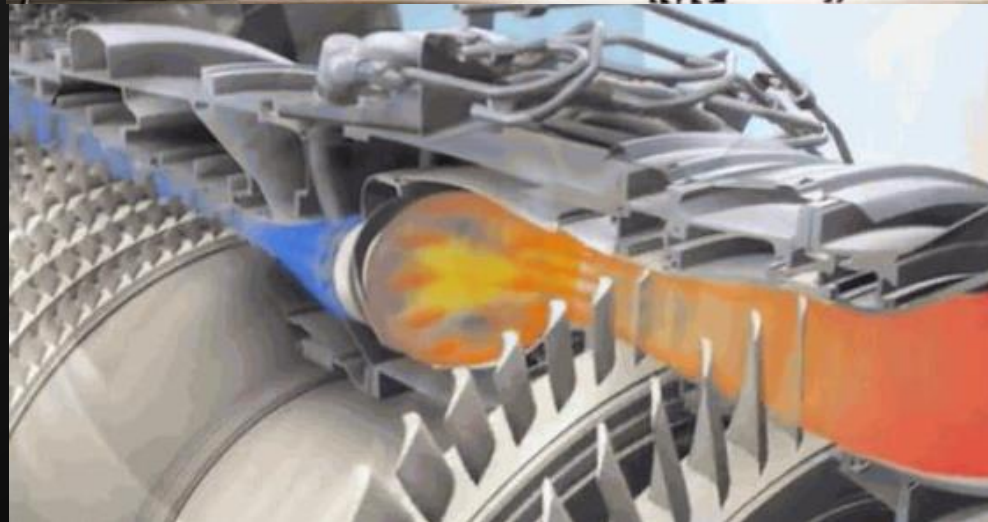




GE9X拥有304个通过增材制造的零件，涵盖了七大类型的3D打印零部件。GE9X的换热器传统上由数十根细金属管组成。用于GE9X的3D打印热交换器具有完全不同的外形，其中包括优化的通道和复杂的内部几何形状，可充分利用增材制造可以实现的设计自由度。

GE9X上的7大3D打印零部件：

- 燃油喷油嘴
- T25传感器外壳
- 热交换器
- 诱导器
- 第5阶段低压涡轮（LPT）叶片
- 第六阶段LPT叶片
- 燃烧器搅拌机

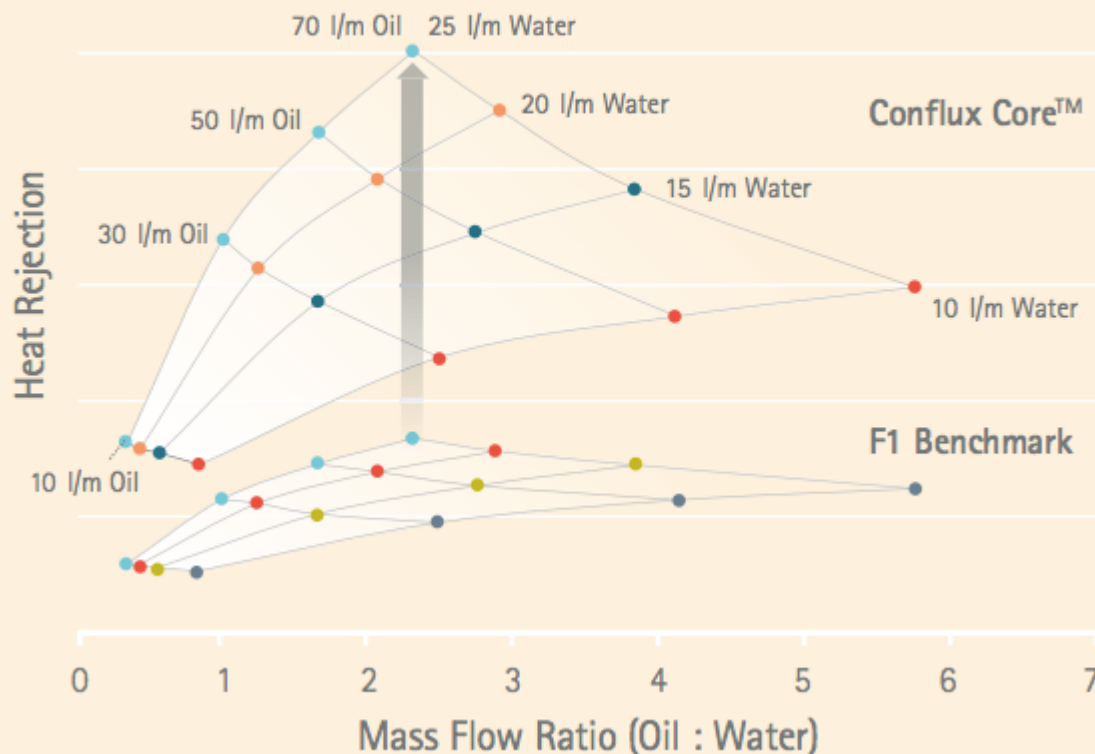


Conflux Core热交换器开发过程非常快，现在，获得专利的Conflux热交换器在各个行业都有各种应用，包括航空航天，汽车，石油和天然气，化学处理和微处理器冷却。

Conflux在某些实验中发现3D打印的热交换器的热绝热性能比传统热交换器高三倍。这归功于3D打印热交换器的复杂内部几何形状，这增加了表面积而不增加体积。

conflux
TECHNOLOGY

Heat Rejection Comparison – Conflux vs. Benchmark



31 重新创造热交换器的商业化案例

HiETA成立于2011年，旨在通过增材制造的方法开发用于生产各种热管理应用的复杂、轻型结构的金属零件。制造的零件包括用于微型燃气轮机的热交换器、涡轮机械和燃烧部件，还包括那些用于燃料电池的相变换热器和综合废热回收系统，以及用于高效内燃机散热的部件。

HiETA已经注册了一些通过3D打印增材制造技术生产热交换器的专利。竞争力涵盖整个增材制造产品的开发流程，从理解客户要求开始，提供从初始设计到计算流体动力学（CFD）、有限元分析（FEA）、3D打印、测试和验证完整过程的工程开发服务。

HiETA还开发了专用参数包，包括开发Inconel材料的无泄漏薄壁结构，厚度达150微米。通过Renishaw在Staffordshire工厂里的AM250和HiETA在布里斯托尔和巴斯科学园附近的设备来完成产品的制造。

HiETA



选区金属熔化3D打印技术



英国的汽车集成商Delta Motorsports的3D打印热交换器项目。长方体换热器（换热器），用作电动车辆的扩展装置。



通过3D打印，HiETA生产的零件通常比市场上同等效率传统方法制造的产品重量轻40%。这些集成式一体化的设计对于传统加工方法来说是非常困难的。

32 重新创造热交换器的商业化案例 – 汽车大灯散热器

Betatype

选区金属熔化3D打印技术

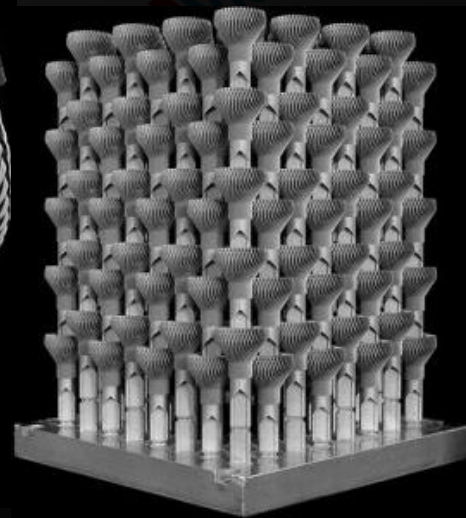
英国Betatype开发了适合通过增材制造技术生产的汽车LED大灯散热器，并通过粉末床选区激光熔融设备实现了批量生产。

Betatype在设计方面做了全面考虑，设计师采用了功能集成化的设计，并设计了内置支撑功能，该功能使得打印零件无需添加额外的支撑结构。完成后的打印件通过手工的方式即可从基板中分离，无需借助其他分离切割设备。

Betatype 在使用多激光器3D打印设备，例如雷尼绍RenAM 500Q，制造散热器时所用的时间进一步减少至19个小时以下。Betatype 对这类高效率生产系统的产能进行了计算，结合优化的设计方案和打印工艺，每个系统生产一年的产能从7055个增加到135,168个，实现19倍的提高，如果安装7台设备，每年可以生产接近100万个3D打印零件。



Betatype 通过智能化的设计技术减少热应力，将热变形最小化。最终，散热器可以以堆叠的形式进行摆放，从而实现生产量的最大化。



存在问题：

传统制作工艺流程复杂，加工周期长，特别是新产品开发期间；
复杂散热器零件结构传统工艺实现不了，设计和制造有一定局限性；

方案：

优化设计结构，整体化打印散热器；
优化内部散热片结构，改善冷却效果；
打印成形特殊的表面光洁度和内部纹路结构可以改善散热效果；

优化结果：

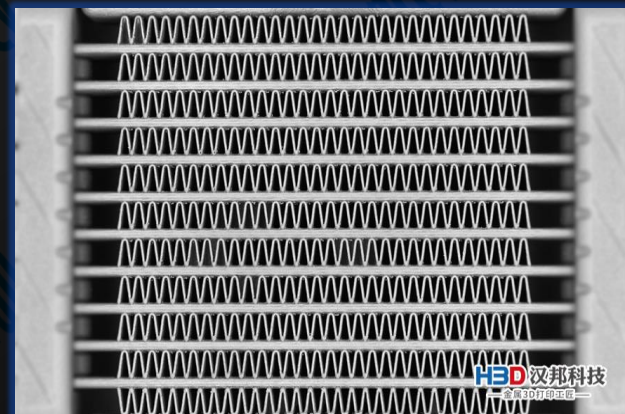
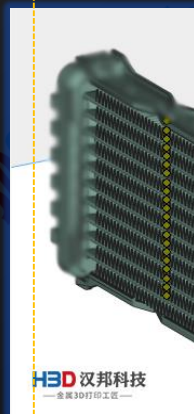
一体化打印成形复杂内部散热结构，简化加工工艺，提升制作效率；

制造出复杂的翼片结构，为设计提供无限可能，可充分提升散热效果；

一体化成形，可以减少零件数量，减少装配工序，节省成本；

需要进一步提高的地方：

传统的制作方式翼片厚度可以做到0.05mm，而金属3D打印产品壁厚太薄时容易产生变形问题；



案例来源：汉邦科技

几十年来，制造商一直在制造称为管翅的换热器，而没有任何重大变化。虽然存在新的高性能设计，但公司一直在努力将它们商业化 - 它们过于复杂，无法通过传统工艺进行经济制造。

马里兰大学的团队优化了他们的换热器设计，因此可以将其打印成单个连续件。从而提高性能和可靠性。

作为蒸发器和冷凝器的热交换器可用于商业和住宅空调或不同尺寸的热泵系统。马里兰大学开发的1千瓦 (kW) 小型空气 - 制冷剂热交换器原型为新设计铺平了道路，有助于减少每年用于供暖，通风，空调和制冷的能源。

除1kW型号外，马里兰大学还将制造10kW原型作为当前项目的一部分。两种原型都将在三吨热泵中进行测试和演示。马里兰大学的研究团队预计，新的换热器将在五年内投入商业生产。

选区金属熔化3D打印技术



下一代换热器



参考来源：

<https://www.3dprintingprogress.com/articles/9290/3d-printing-enables-new-generation-of-heat-exchangers>

<https://aquicore.com/blog/3d-printing-heat-exchangers/>

35

热交换器 – 螺旋结构



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

意大利Aidro公司3D打印的内部螺旋结构的热交换器。



意大利AIDRO开发的
散热器

36

热交换器 – 微通道散热

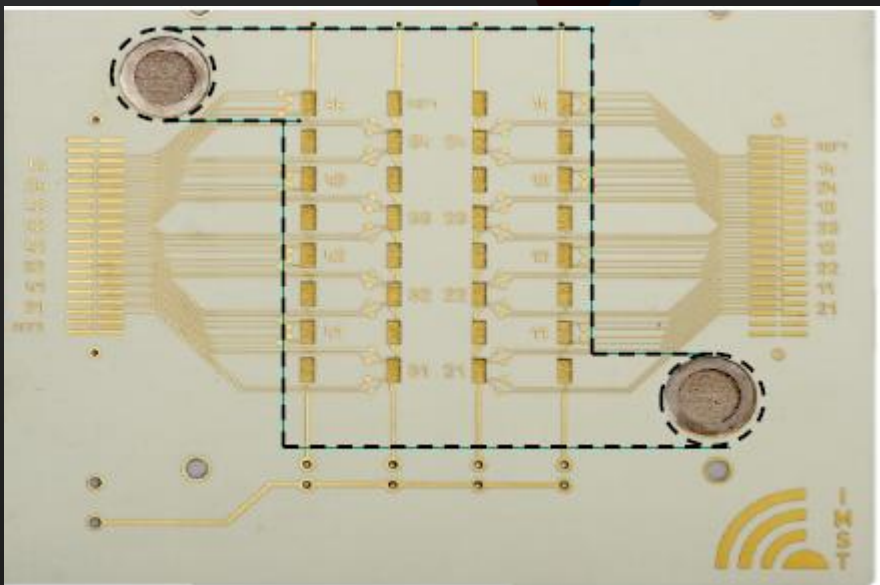


下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

In-board冷却

多层线路板与内置的冷却通道被集成在一起，冷却器部分由镍基合金制成，厚度约0.8mm



德国IQ evolution

开发和制造高效，用于半导体激光器和电子设备冷却的微通道散热器。典型例子包括冷却高功率二极管激光器或晶体管冷却。



Micro cooler for high power laser diodes



Micro cooling plate, 0,8 mm thickness



Transistor cooling device, 1.000 Watt

图片来源：IQ evolution



铜

选区金属熔化3D打印技术

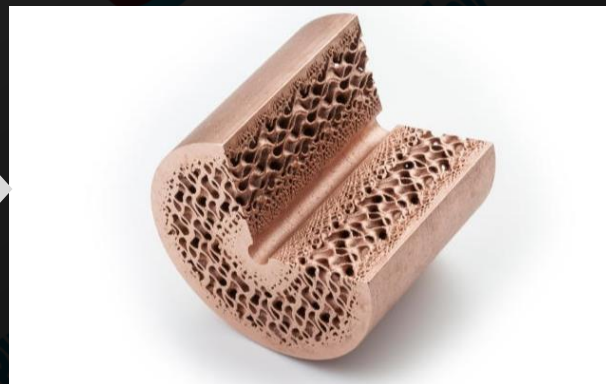


结构一体化

TheSys开发的CPU热交换器，结果是CPU冷却器以相同的冷却性能运行，却节约了81%的空间。并且极大地缩短了开发时间（和成本）。除了CPU冷却器外，还可以用于其他电子应用，包括高功率LED，激光器，自动驾驶单元，电力电子和化学微反应器。



由Heraeus增材制造有限公司与Hyperganic Technologies合作设计和制造的铜质热交换器



图片来源：Heraeus



图片来源：EOS

Stratasys的3D打印服务业务制造的铜材料复杂形状的散热器，避免了焊接的需求，使得结构更加紧凑。



图片来源：Stratasys

38

散热器 – 电子散热



微通道

选区金属熔化3D打印技术



内置散热

金属3D打印可以广泛的应用与电子产品的微通道散热结构制造中，例如激光二极管的散热，晶体管冷却等等。

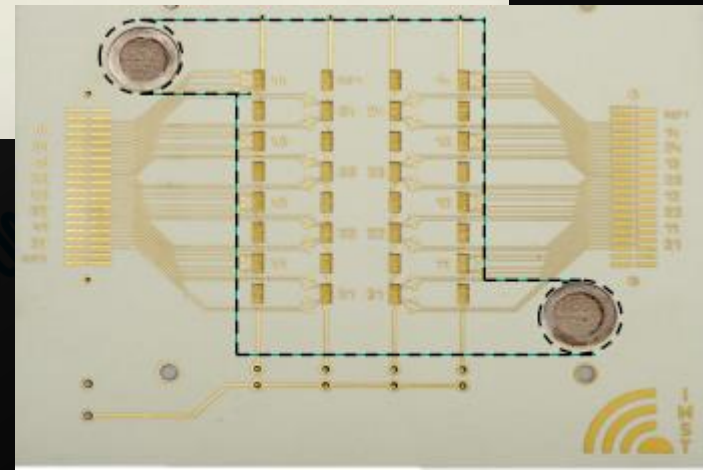
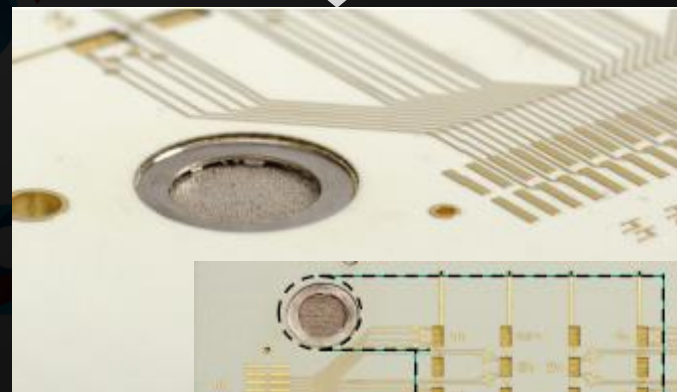
在制造多层电路板的过程中，可以将冷却系统集成制造在电路板的内部，图片上的案例中冷却系统是有镍基合金制造而成的，厚度为0.8mm,整个多层电路板的厚度为1.3mm。



Micro cooler for high power laser diodes



Transistor cooling device, 1.000 Watt



39

热交换器 – 薄壁结构



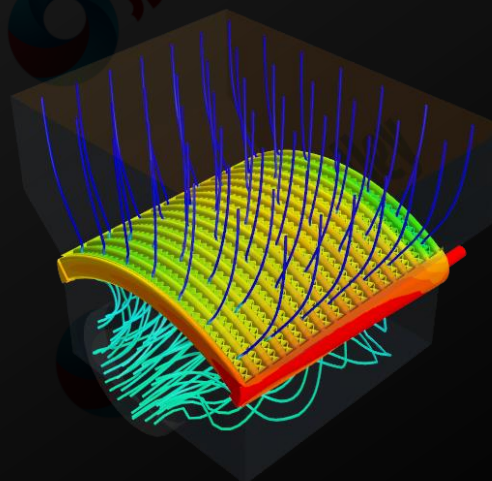
下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

3D Medlab制造的薄壁热交换器，翅片厚度达0.2mm，弯管厚度达0.5mm，整体热交换器尺寸为100x120x25mm。



为了优化热交换器的设计，通过达索的Solidworks设计，西门子的PLM软件进行仿真与优化，通过欧特克的Netfabb完成3D打印准备。



40

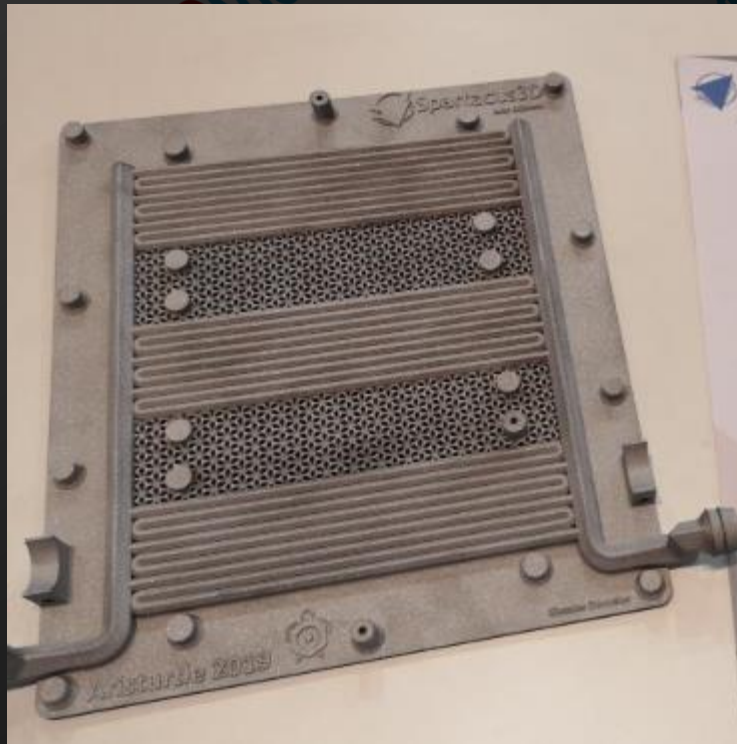
热交换器 – 薄壁结构



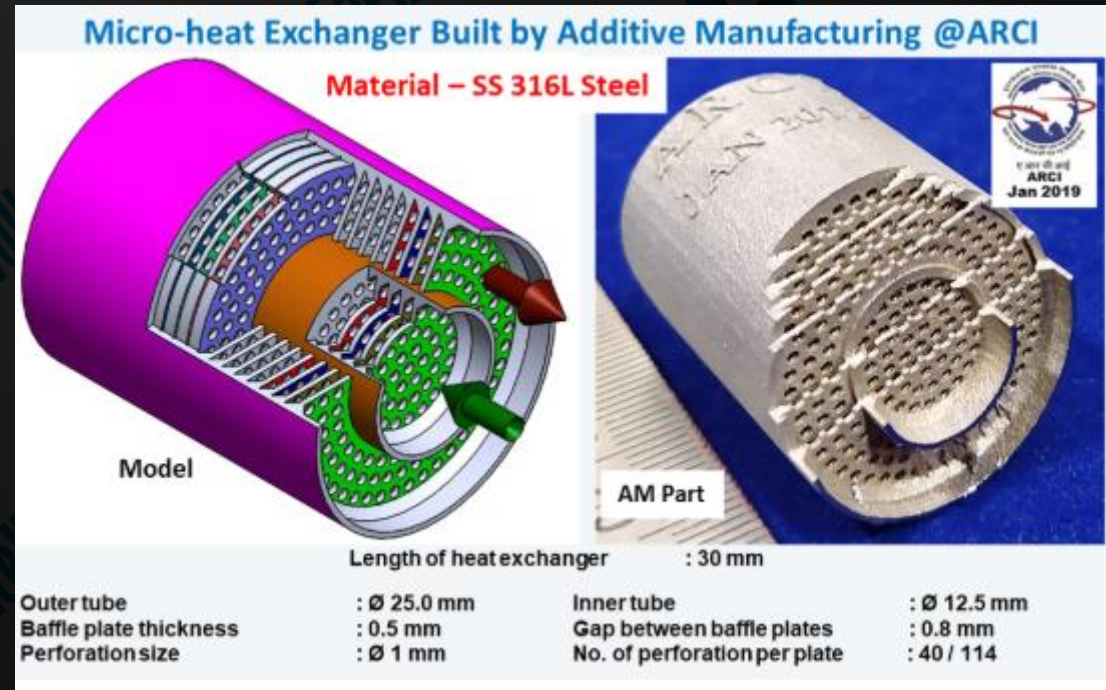
下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

Spartacus3D 为亚里士多德大学赛车队制造的AlSi10Mg材质热交换器



印度ARCI通过3D打印制造的微通道换热器



41

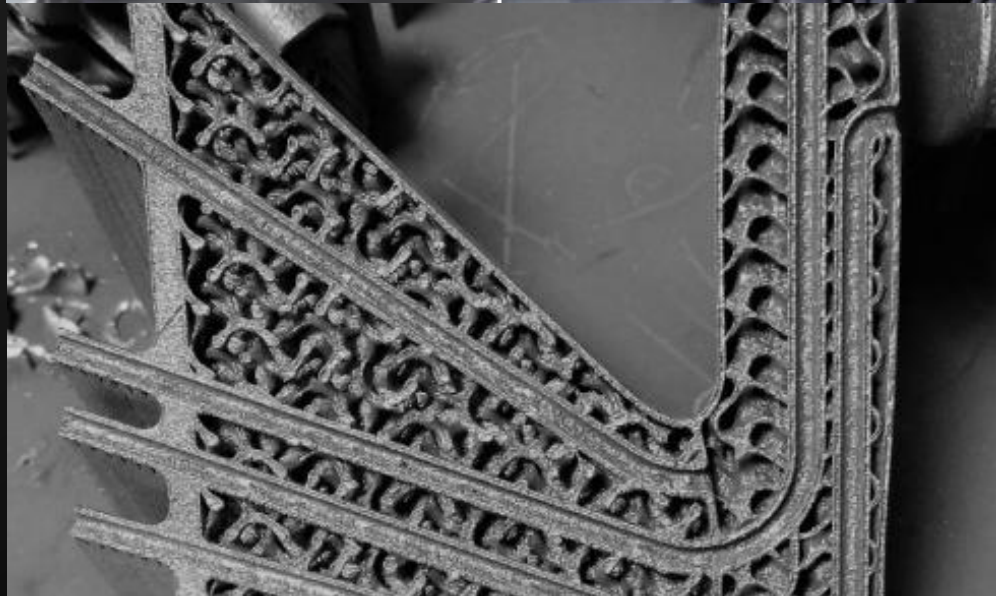
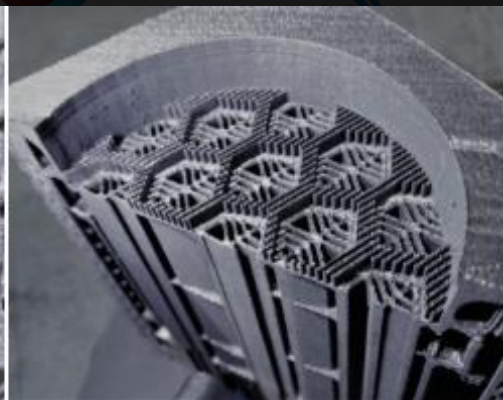
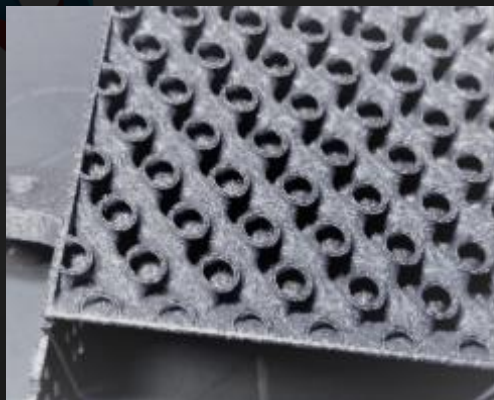
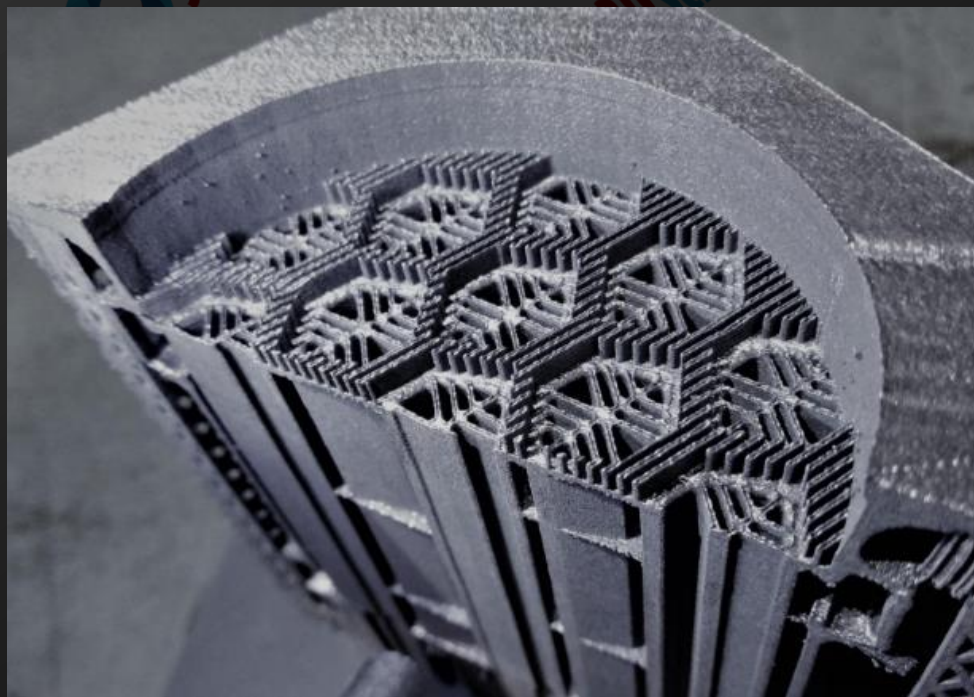
热交换器 – 轻量化



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

TEMISTh通过增材制造的新型热交换系统，不仅实现了轻量化，还避免了焊接带来的泄露风险，可以用做汽车领域的热交换器和用于螺旋结构制造的印刷线路PCHE热交换器。



42

热交换器 – 错综复杂的形状



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

Ultra Performance

2019年GE宣布与马里兰大学和橡树岭国家实验室合作研发UPHEAT超高性能换热器，在两年半内完成开发计划，实现更高效的能量转换和更低的排放。GE希望新型换热器将在超过900°C的温度和高于250 bar的压力下运行，超临界CO₂动力循环的热效率提高4%，在提高动力输出的同时减少排放。材料方面，这种新型换热器将利用独特的耐高温，抗裂的镍基超合金，这是GE研究团队为增材制造工艺而设计的材料。该热交换器包括多个增材制造方法，使流体通道尺寸较小，具有较薄的壁而形成的流体通路，以及具有错综复杂的形状，这些热交换器使用先前传统的制造方法无法制造出来。



43

热交换器 – 随形形状



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

美国联合技术-UTC与America Makes、Stratronics, 3DSIM, 3rd Dimension, 普惠航空合作开发出具有随形形状的热交换器, 可充分利用靠近发动机的可用空间, 提高比传热能力, 并降低总体燃料消耗率。



44

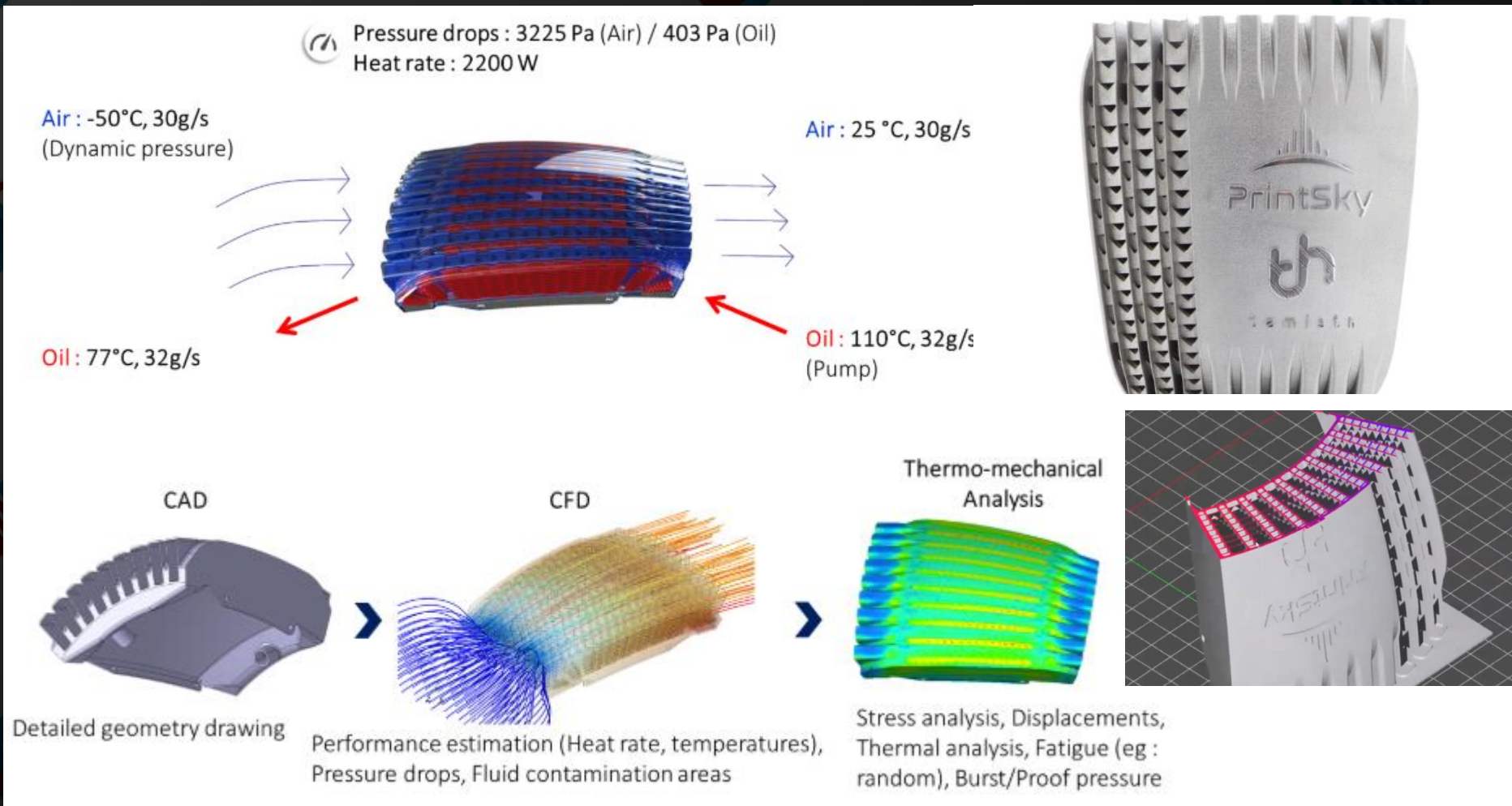
热交换器 薄壁共形结构



下一代换热器

选区金属熔化3D打印技术

AddUp, Sogclair和TEMISTh合作的HEWAM项目, 开发的Inconel 718材料热交换器, 确保薄壁 ($<0.5\text{mm}$) 无泄漏和薄翅片 (0.15mm)。



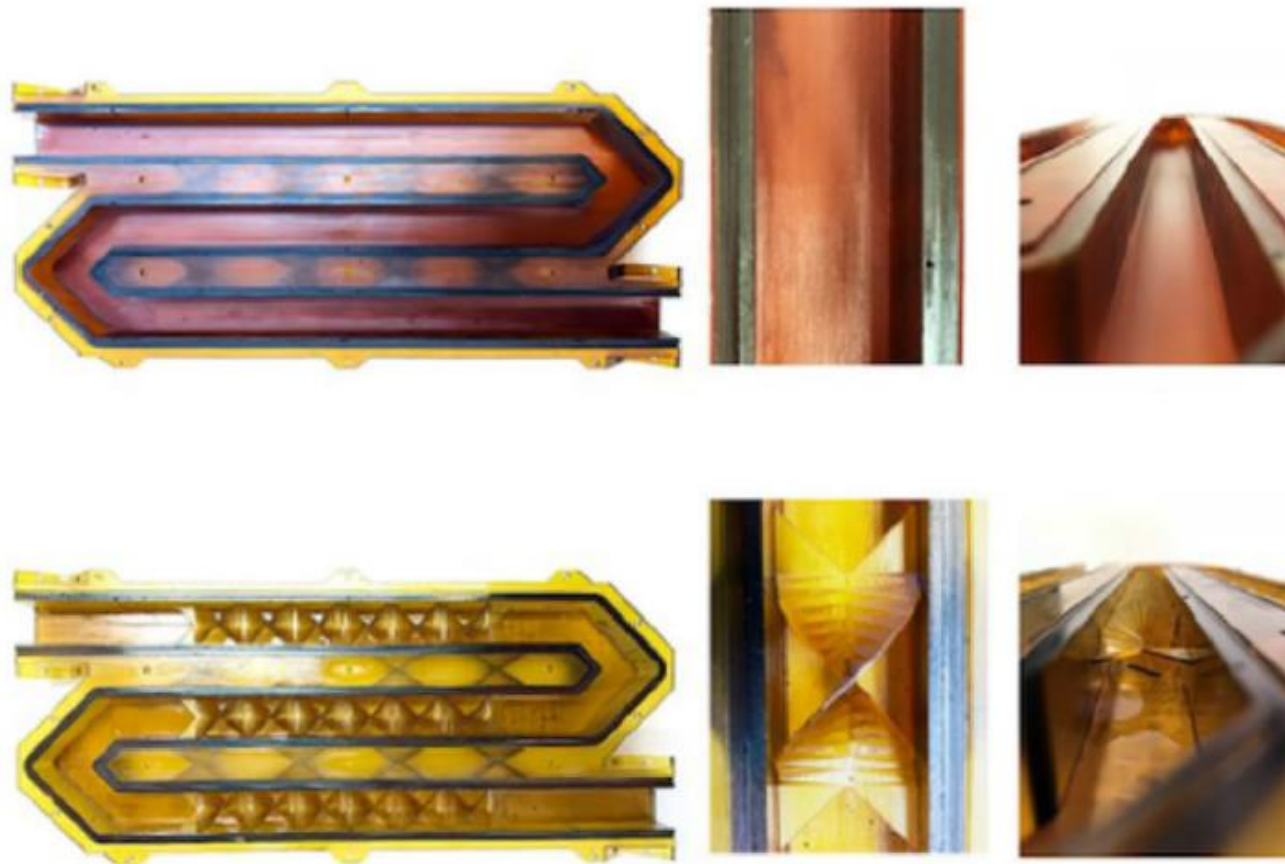
45

热交换器 – 塑料3D打印



下一代换热器

塑料3D打印技术

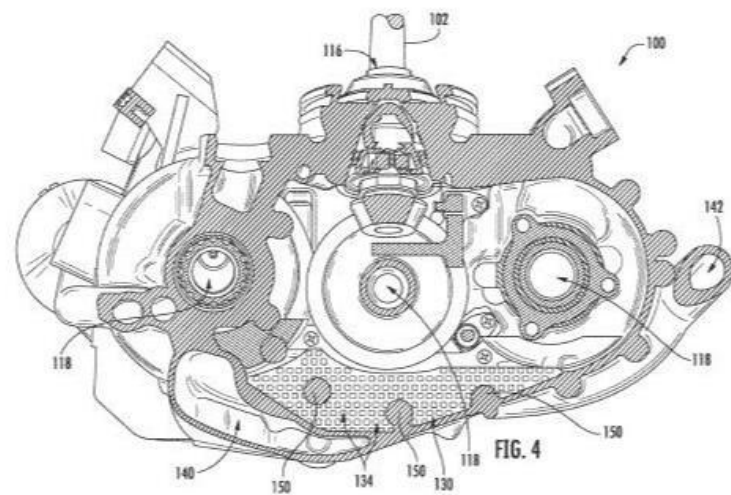
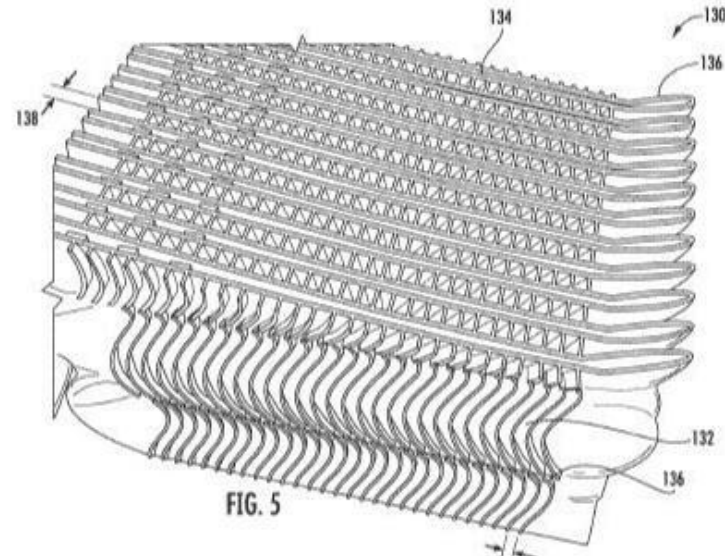


凭借3D打印带来的设计自由度，通过塑料3D打印能够创建具有多种形状的热交换器，这些热交换器能够使用较小体积的流体传递2倍的热量。能够将混合器直接制造成流动通道，然后将它们组装到板上，大大降低了与装配和劳动相关的成本。

图片来源：Carbon

GE开发的集成热交换器的一体化齿轮箱不仅可以 将齿轮箱和热交换器以整体结构制造出来，而且还可以实现非常薄的壁厚，至少一个热交换壁具有小于4毫米的厚度。这种设计理念可以类似地应用于各种变速箱，例如传动齿轮箱，动力齿轮箱，减速齿轮箱，或涡轮风扇的其他部件。可以应用到汽车、航空、海事等领域。

通过3D打印工艺，可以形成特定的表面光洁度和通道尺寸以改善通过通道的流体流动，改善通道内的热传递等。可以通过增加激光扫描速度或粉末层的厚度来实现更粗糙的光洁度，并且可以通过降低激光扫描速度或粉末层的厚度来实现更光滑的光洁度。还可以改变扫描路径或激光功率来改变特定区域的表面光洁度。



47

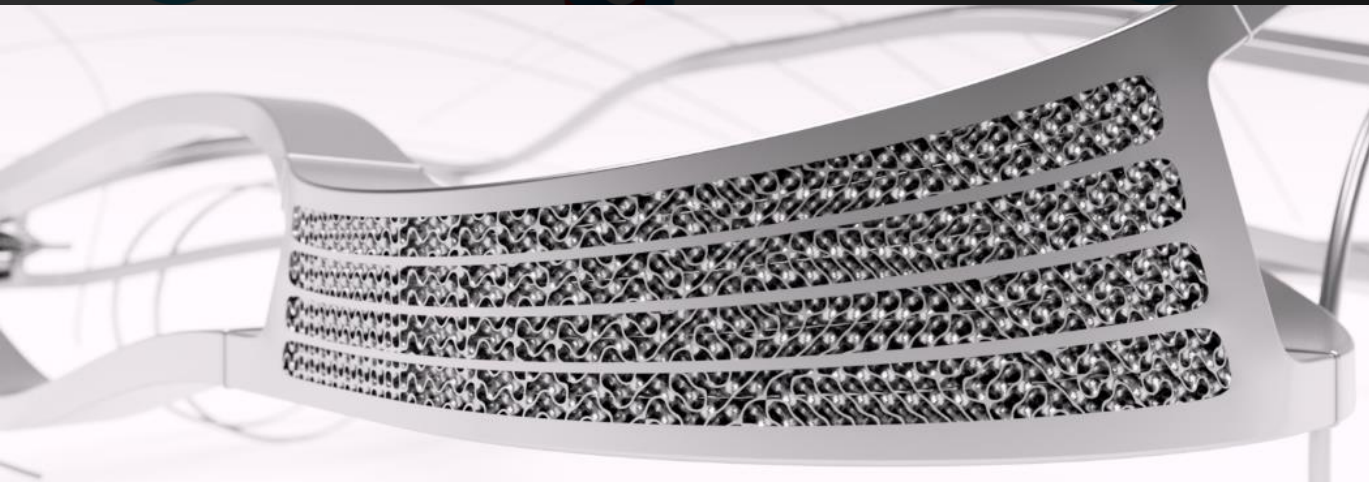
热交换器 – Gyroid结构

选区金属熔化3D打印技术



下一代换热器

Autodesk使用Gyroid结构集成到汽车底盘中的热交换器，可提高热效率，该热交换器采用最少的支撑结构进行增材制造。



西安铂力特3D打印的螺旋结构。



48 热交换器 - 用于供暖、通风、制冷

菲亚特克莱斯勒(FCA汽车集团) 与McMaster大学建立了一项合作, 目标是设计一种新的铝制汽车散热器, 使得通过3D打印技术实现的汽车散热器可以比FCA集团生产的汽车中使用的汽车散热器更轻, 并且还可以保证其性能。为了将新的设计能够无缝衔接到生产中, FCA汽车集团从设计、计算机模拟、生产参数优化、实际生产以及实验和过程分析方面都进行了研究。

通过金属粉末床熔化技术可以获得比传统方式所能制造的更轻的散热器, 由于点阵结构的存在从而保持了广泛的热交换表面, 可以获得较高的散热器表面/体积比, 其值高于FCA散热器, 因此可以减轻相同性能的散热器重量。

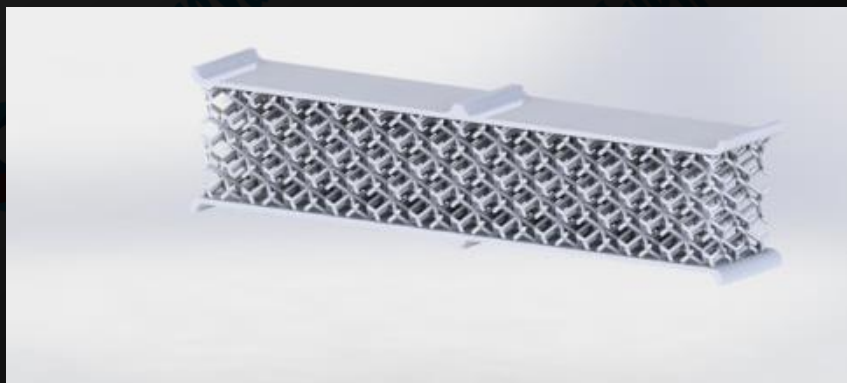
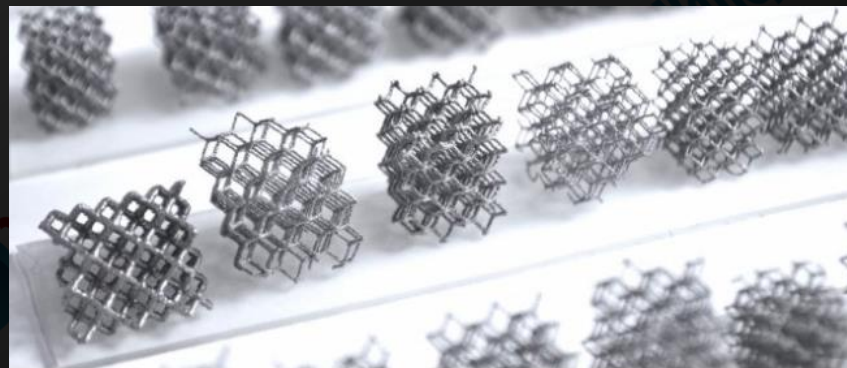
从表面质量的角度来看, 可以通过设置打印机的正确曝光参数来评估可获得的粗糙度的类型, 从而使可以自由地改变粗糙度并优选热交换设置。

这个项目的重点在于应用类似于点阵结构的组合, 这些结构带来良好的对流热交换性能, 并且可以实现可观的减重结果。项目组将重新设计的FCA散热器安装在配备2.0柴油发动机的阿尔法罗密欧系列的汽车上。

选区金属熔化3D打印技术



轻量化换热器



参考来源:

www.51shape.com/?p=11877

www.51shape.com/?p=12156

www.51shape.com/?p=12221

49 热交换器 – 空间应用-多材料3D打印

Fabrisonic

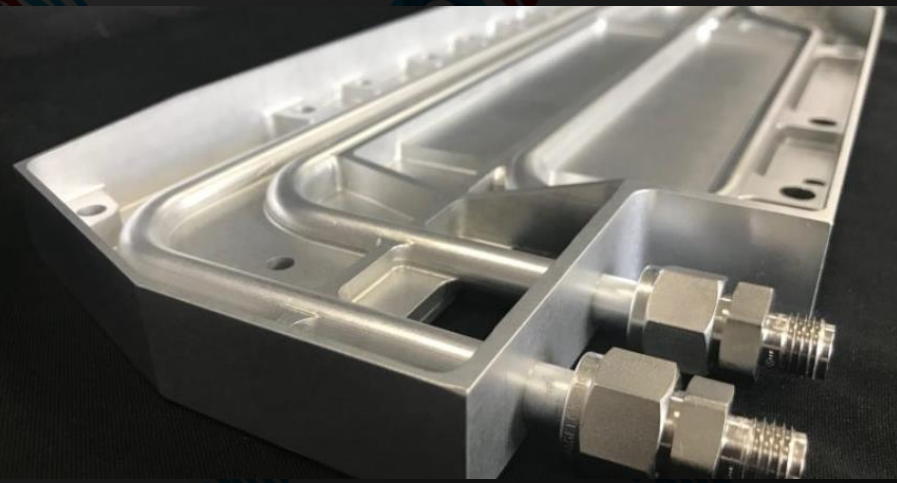
UAM超声增材制造技术

2014年，美国宇航局的喷气推进实验室（JPL）授予总部位于俄亥俄州的Fabrisonic种子基金，以开发其用于改进金属换热器的混合超声波增材制造（UAM）工艺。经过多年来JPL的持续支持和深入的开发和测试，Fabrisonic已成功开发出泵送式流体回路换热器，与传统的环氧管式换热器相比，它更轻，更高效，生产更快。

热交换器在NASA的行星际漫游车任务中发挥着关键作用，因为这些组件对于调节设备敏感电子设备的温度至关重要。

3D打印热交换器的重量也从1.82千克减少到1.26千克。重要的是，与至少两个月相比，3D打印热交换器的交付周期在两周时要低得多。最后，UAM热交换器的热导率提高了约25-35%。

由于其低温打印的特点，UAM技术还能够将传感器嵌入固体金属部件中。对于热交换器应用，这可能意味着改进控制和监控。



德马吉森精机通过混合增材制造设备将铜与不锈钢3D打印为一体化热交换器结构件，将需要热交换效率高的部位用铜金属来制造，提高了热交换效率，并节约了成本。

在另一个案例中，德马吉森精机用SLM粉末床金属熔化技术来制造散热结构的底部（含精细的微小通道），而在这个底部结构的基础上，通过另外一台混合增材制造设备进行蜂窝结构的加工，使得整个零件成为一体化结构件完成，避免了焊接需求，并提高了加工效率。



SLM以及Hybrid技术

混合增材制造设备制造的铜与不锈钢结构一体化换热器

SLM技术与混合增材制造设备搭配完成的一体化结构件，可用于换热器概念组成



3D打印 在散热器与换热器领域的 代表性知识产权

51

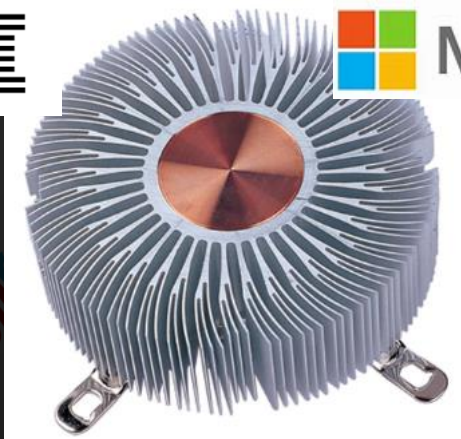
活跃企业



在热交换器和散热器的3D打印领域，国际和国内企业都颇为积极，3D科学谷判断，这些前沿性的研究将推动下一代热交换器和散热器的出现，尤其是在消费电子、航空航天和汽车应用领域。国内包括西南电子技术研究所（中国电子科技集团公司第十研究所），中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所，成都三鼎日新激光科技有限公司，深圳市大观科技有限公司，爱美达（上海）热能系统有限公司，中国航空工业集团公司西安航空计算技术研究所，中国工程物理研究院机械制造工艺研究所以及大连理工大学，北京工业大学，重庆大学等高校都在3D打印热交换器和散热器方面有着自己的开发成果。

消费电子领域活跃3D打印热交换器的国际企业

IBM



Microsoft

ebullient

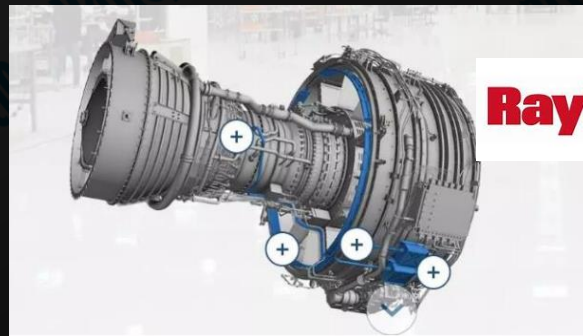


UNISON



United Technologies

航空航天领域活跃3D打印热交换器的国际企业



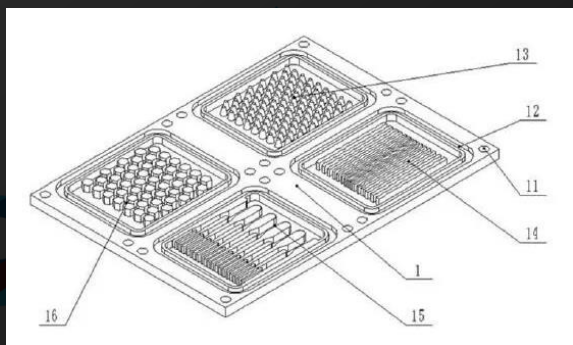
Raytheon

NORTHROP GRUMMAN



成都电子科技大学开发了基于3D批量打印的微通道冷板、散热器及装置，可适用于热源范围较大、热源分布不均的散热需求。在板体上微通道组件的通道结构采用波壁流道模型、分形模型、针刺形模型、蜂窝形模型中的一种或多种。

CN108759533A



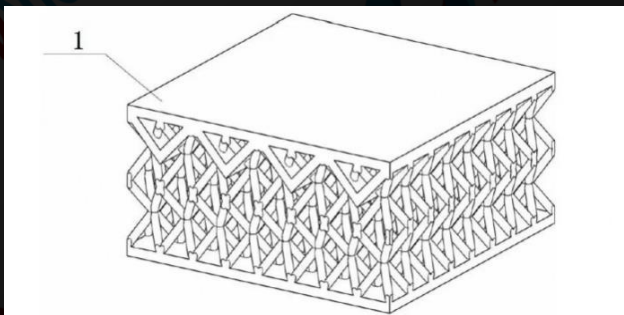
Resource:

<http://www.51shape.com/?p=14271>



大连理工大学开发了含流道的金字塔微桁架夹芯板式散热器，提高了散热器的散热效率，并提高了承载能力、抗缺陷能力和抗冲击防护能力。所应用的微桁架单胞由两个金字塔型点阵单胞顶部相接而成，金字塔型点阵单胞是由四根横截面呈圆形的杆件构成的金字塔型结构，相邻所述微桁架单胞之间通过所述杆件连接。

CN105667837A



Resource:

<http://www.51shape.com/?p=14271>



成都三鼎日新激光科技设计了一种翅片式微通道梭形散热器，解决了以往散热效率低、密封性和可靠性差等问题。采用激光3D打印成型技术保证了梭形散热器的无失真性，使得内部微通道壁面平整，从而可得到结构更为优化的微通道散热器。此外，采用掺有稀土元素镍基合金粉末，制成实体硬度及耐腐蚀性能高于传统铜或铝材，获得更长的使用寿命。

CN108759533A

Resource:

<http://www.51shape.com/?p=14046>

53 结构一体化实现 – 微通道散热&飞机蒙皮

❄️ 微通道

克兰电子采用3D打印技术制造散热器元件，与传统机加工工艺相比，由3D打印过程产生的表面粗糙度对流体产生更高热传递速率。此外，在某些线性流体速度和粘度下，粗糙表面产生较低摩擦，因此在流体冷却系统中产生较低压力损失。

3D打印的散热器元件的壁更薄，并且3D打印的散热器元件更紧凑，更小巧。3D打印的散热器元件的冷却通道可以与其它部件进行冷却的微通道散热器串联连接在一起，节约了零件数量避免了焊接的需要。

CN107210117A

Resource:

<http://www.51shape.com/?p=14046>

❄️ 飞机蒙皮散热

西安飞机设计研究所研究的蒙皮热交换器的外层散热单元与内层散热单元采用3D打印整体成型。其中，外层散热单元外表面、外层散热单元内表面及多个外层散热隔板采用3D打印整体成型。内层散热单元外表面、内层散热单元内表面及多个内层散热隔板采用3D打印整体成型，通过3D打印实现一体化的结构，提高了整体强度。

这是一种双层飞机蒙皮热交换器，包含外层散热单元和内层散热单元，外层散热单元与内层散热单元之间设置有空气通道，外层散热单元设置有外层散热微通道，内层散热单元设置有内层散热微通道，换热效率高，可减少集中热辐射和雷达热反射面积，可以满足飞机隐身性能要求。这种双层飞机蒙皮热交换器安装在机身蒙皮外表面，利用空气带走液体的热量，减小了系统对飞机的燃油代偿损失。

CN105416563A, US 20150122947 A1, US 20170029126 A1

Resource:

<http://www.51shape.com/?p=14195>

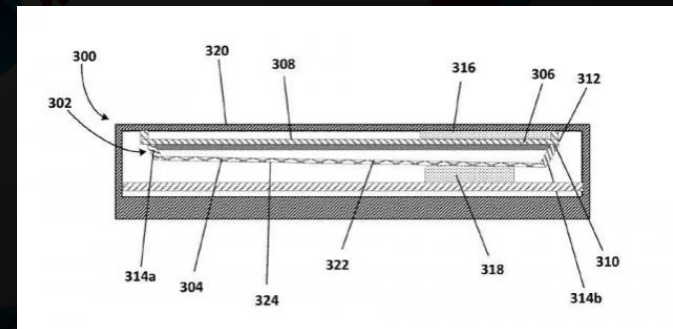


微软正在研究如何通过3D打印技术来改善电子设备的散热装置。3D打印散热装置可实现优化和可定制的散热解决方案。例如，通过3D打印技术可以制造那些传统制造方法难以加工的紧凑型弯曲形状和非平面几何形状。由于制造的几何公差要求，传统制造方法在加工这些散热装置的时候很难满足带微处理器的电子设备内的紧密空间的空间狭小的挑战，而通过3D打印制造的通道来实现散热器的连接可以满足空间狭小带来的挑战。

利用改进的散热功能，微软可以为电子设备安装更强大的微处理器，可以设计更薄的电子设备，可以提供更高的处理速度。构成热管理系统的多个热管理装置还可以作为单个组件一次性通过3D打印技术制造出来，从而消除使用热效率低的粘合方法来连接多个热管理装置，减少了热管理系统的重量，减小了热管理系统的整体尺寸。

微软所开发的3D打印的翅片可以设计成可变密度，使得从处理器到壳体的热传递是可控的。在更靠近发热部件的区域中，翅片可具有低密度/高孔隙率。翅片可以更密集，增加热传递效率。通过调节翅片密度可以为壳体的外表面提供均匀的温度分布，从而提供更优化的热传递。

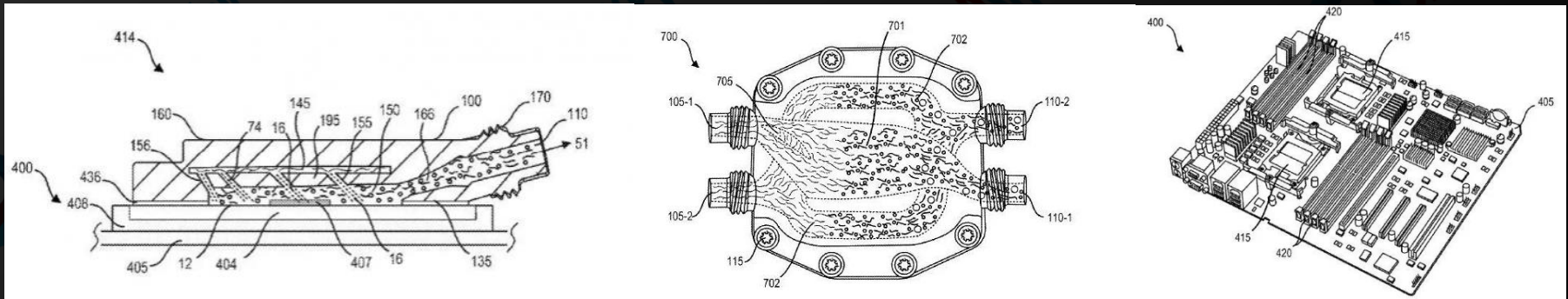
US10054995B2





Ebullient LLC正在通过3D打印技术和其他技术的结合来提供下一代微处理器的冷却解决方案。与水不同，介电冷却剂可以与电子设备直接接触而不会对其造成伤害。遗憾的是，介电冷却剂的比热比水低，因此它们不适合用于单相泵送液体冷却系统。这意味着通过合理地加热介电冷却剂流来冷却微处理器将需要比用于通过合理地冷却相同微处理器的水的流速高大约四倍的流速。这种较高的流速需要更多的泵功率，这意味着更低的冷却系统效率。

Ebullient LLC正在开发的冷却解决方案具有高效率、模块化、灵活、快速连接、小尺寸和热插拔性的特点，冷却装置可以制成适合于结合在汽车，飞机和其他车辆中的较小尺寸，这可以结合到需要冷却的电池，逆变器和其他电子设备中，并且可以小型化以用于平板计算机以及手持移动电子设备中。散热器模块*的冷却剂通道可以通过3D打印技术直接形成在移动设备的电路板上。当然，3D打印还可以直接将冷却剂通道打印在移动设备的处理器，存储器模块或其他电子组件上。

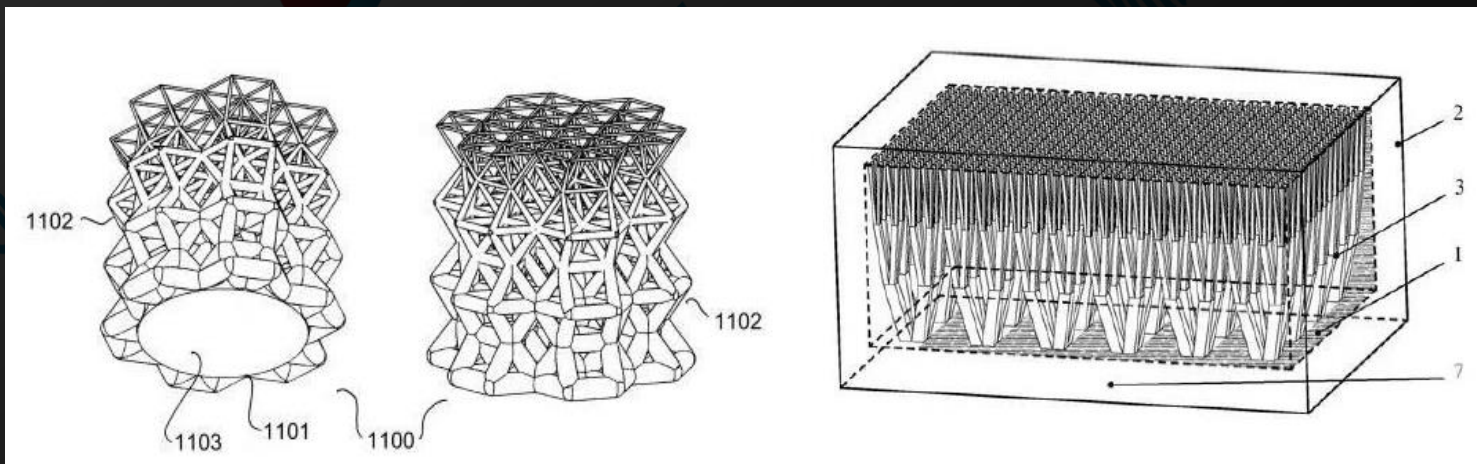


US9852963B2



在变梯度分形点阵夹芯强化相变热沉方面，西南电子技术研究所（中国电子科技集团公司第十研究所）开发了一种技术方案予以实现。强化传热结构按阵列分布在相变热沉壳体中，在一级强化传热结构的变梯度V形端，以形状相同的变梯度V结构逐级递增形成多级强化传热结构，各级强化传热结构比表面积依次呈倍数增加。

随着大规模集成电路和功率电子器件的日益普遍应用而得到广泛的应用。当电子设备停止工作(或环境温度下降、外界热冲击消失)后温度下降(低于相变温度)，相变材料在温度恒定的情况下发生物相变化(一般是由液相变为固相)，释放热量，热量经由相变热沉封装壳体进入周边环境或需要吸热保温的设备，从而解决热量生成和排放在时间、强度及地点上不匹配的问题，确保电子设备在可控的温度环境下可靠工作。



N105144374A、CN106940148A



美国的大型国防合约商雷神公司正在开发通过3D打印增材制造的方法来实现相变材料（PCM）热交换器的制造。这款热交换器的基本结构包括下壳、上壳和内部矩阵。通过增材制造技术将下壳，上壳和内部矩阵结构做为单一组件制造出来。内部矩阵被设计成放置相变材料的空间。

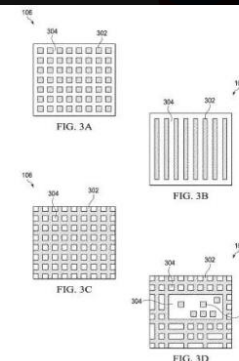
增材制造工艺使得单个部件集成在一起制造出来。结果是通过3D打印的热交换器的制造成本较低并且比传统的热交换器更坚固。不仅如此，其内部矩阵可以具有更复杂的设计，以解决诸如高功率密度部件热交换的特定问题。

雷神公司所设计的内部矩阵可以具有任何类型的三维形状，包括非对称/或非矩阵的设计。这种可定制的复杂设计，是传统加工技术所无法实现的。而这样的热交换器的应用场景很多，可以应用到商业电子设备或需要管理热能的任何其他合适的应用中。

导热材料（例如销或板）的横截面可以是不变的或根据增材制造技术所实现的矩阵形状而变化，不如说可以是沙漏形的销或板。再或者，每个销或板可以独立设计，每个都具有任何所需的形状。因此导热材料可以是包括任何合适的简单或复杂的三维形状，包括传统加工技术不可能实现的曲率形状。

US10123456B2

Raytheon

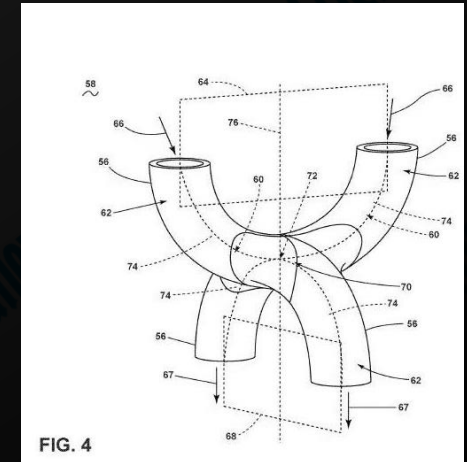
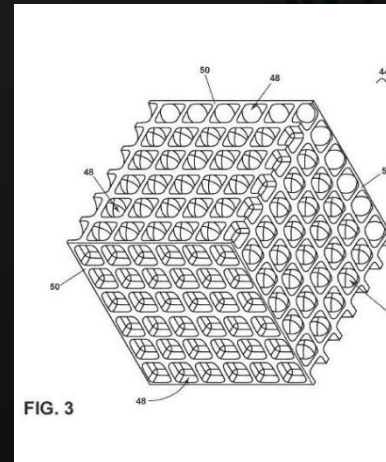
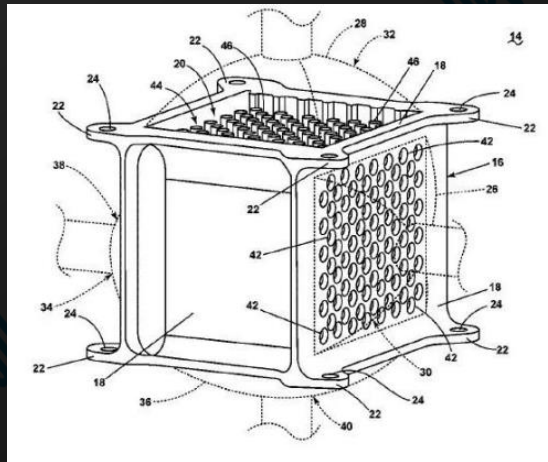




Unison Industries正在开发一种新型的热交换器，这种热交换器包括第一流体入口的第一歧管和限定第二流体入口的第二歧管。这是一种形状十分复杂的热交换器，其中，第一组双曲线流动通道包括一组分叉流动通道，其中包括多个鞍形点，在该鞍形点处，该组第一分叉流动通道中的两个沿着一个平面渐近地会聚，然后在正交平面上渐近地发散。第二组双曲线流动通道与第二流体入口流体连通。

Unison Industries所开发的这款热交换器是设置在飞机的航空电子设备底盘中。不过其设计原理理论上可以拓展到非飞机的应用领域，以及其他移动应用和非移动工业，商业和住宅应用。其设计的核心理念是通过复杂的几何形状提供了多达50%或更多的散热效率。此外，双曲线，分叉和相互缠绕的几何形状提供更大的传热系数，不仅改善了热交换器的效率，同时使压力损失最小化并改善了传热系数。

US10107555B1





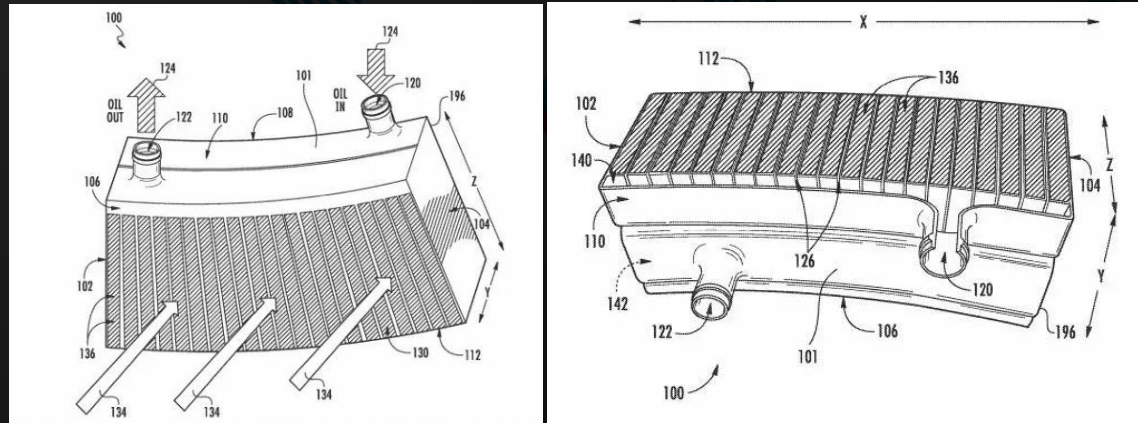
GE通过3D打印重新定义了热交换器。例如，流体通道可以是曲线的，并且可以包括小于0.25mm厚的热交换翅片，并且形成为每厘米多于十二个热交换翅片的翅片密度。另外，热交换翅片可以相对于流体通道的壁成角度，并且相邻的翅片可以相对于彼此偏移。这种热交换结构可以类似地用于汽车，航空，海事和其他工业中，以帮助流体之间的热传递。

3D打印技术允许整体制造非常薄的翅片，例如具有介于约0.10mm和5.08mm之间厚度的翅片。制造极薄翅片的能力也使得能够制造热交换器具有非常大的热交换特征密度。

热交换器可以包括薄壁（小于0.76mm），窄通道和新颖的热交换特征。所有这些特征可能十分复杂，以最大化热传递效果，并使热交换器的尺寸或占地面积最小化。此外，增材制造工艺使得能够制造具有不同材料，特定传热系数或所需表面纹理的结构，可以增强或限制通过通道的流体流动。



US10175003B2



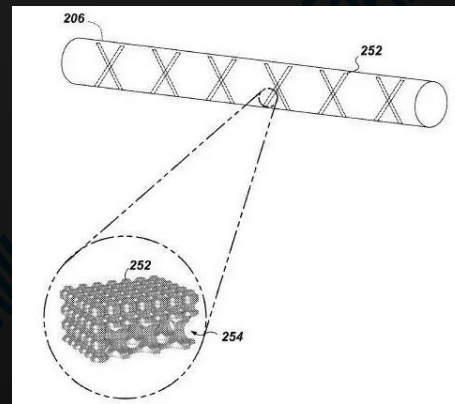
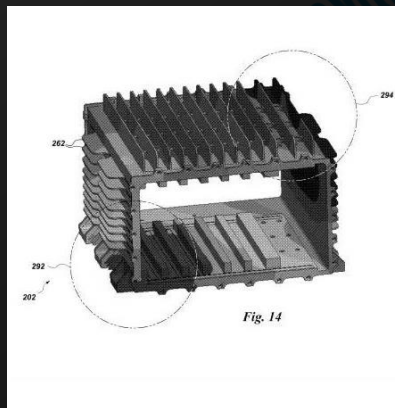
60 航空航天 – 热交换结构一体化实现



GE通过3D打印实现散热装置与电路卡共形的复杂几何形状，GE开发的热管理系统中的壳体，芯结构通过3D打印-增材制造工艺整体完成。通过3D打印-增材制造技术来制造整个结构，使得散热装置实现与电路卡共形的复杂几何形状。而且芯结构可以实现沿厚度方向定向的不均匀芯。

这套热管理系统包括至少一个底盘框架，该底盘框架的构造成使的热管理系统的热扩散阻力最小化。底盘框架包括：至少一个底盘主体，至少一个热循环系统嵌入底盘体内，底盘主体通过3D打印-增材制造技术形成。3D打印还被用来制造带点阵结构的夹层结构，这些点阵结构提供了更大的表面积用于热传输。

GE所开发的热管理系统的技术特点包括重量轻、热阻低、形状不受限制，结构一体化等优点。在商业方面的突出优势包括可实现定制化设计、更低的制造价格、更多的功能以及相同体积的更多热元件。



US10136557B2

Resource:

<http://www.51shape.com/?p=13881>

61 航空航天 – 异形、结构一体化实现

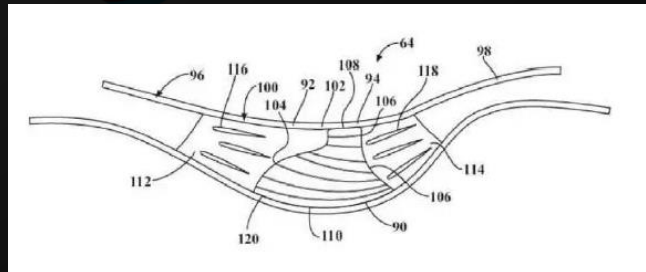
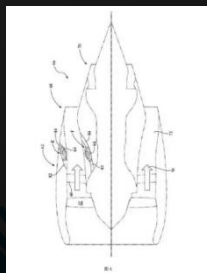


UTC联合技术公司开发出用于燃气涡轮发动机的管道式换热器系统的新型整流罩，其创新之处在于通过3D打印增材制造来完成异形复杂换热器结构的制造。

3D打印-增材制造换热器具有低循环疲劳的特点。与基于典型波纹和钎焊组装技术需要不同材料的常规制造技术相比较，3D打印技术可以实现更加优化的材料组合，并且不需要焊接过程。UTC联合技术公司基于热传递需求设计了减少造成热疲劳的表面特征并且优化了几何结构，从而更加有效的管理热传递。

在某些案例中，与等同热容量的“砖”状结构设计的换热器相比较，3D打印的波状外形的外部几何结构体积减少约15-20%。结合波状外形的增材制造结构，可以实现理想的空气动力学，而无需像以前那样需要妥协于制造的局限性。

翅片密度、厚度和类型可自始至终变化，以使得应力相对于热负载平衡。为了最大化结构负载，内部几何结构还可包括例如蜂窝结构、三角形、点阵结构或其他承重类型结构。



62 航空航天 - 散热结构一体化实现



诺思罗普·格鲁曼公司(Northrop Grumman Systems)在开发一种创新设计的热交换器,特点是外部管道的极大简化,但是这种创新设计的热交换器通过传统制造技术难以构建。特别是连接部位的钎焊或焊接是困难的,尤其是考虑到所涉及的材料非常薄,尺寸非常小,并且接缝都必须防漏。

然而,3D打印很容易构建这些结构。增材制造不仅可以替代钎焊或焊接过程,还可以通过增材制造来构造热交换器通道矩阵,在需要大量集管的情况下,通过增材制造来构造整个热交换器组件 – 包括所有集管成为有效的制造方式。通过增材制造,通道不必是直的,整个热交换器几乎可以呈现任何形状 – 包括弯曲,扭曲,翘曲等形状。

增材制造技术能够制造逆流热交换器中的交替通道,而对于传统制造技术来说这基本是不可能实现的。交替通道的逆流设计提供最大的热交换器效率,这使得热交换器的尺寸和质量最小化,并且流体流速降低。

3D打印可以替代钎焊,实现更随形的管道制造。

NORTHROP GRUMMAN

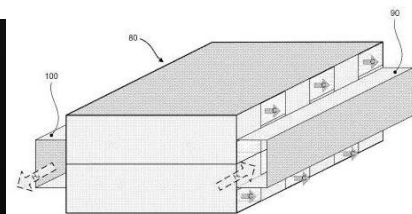


FIGURE 6

Resource:

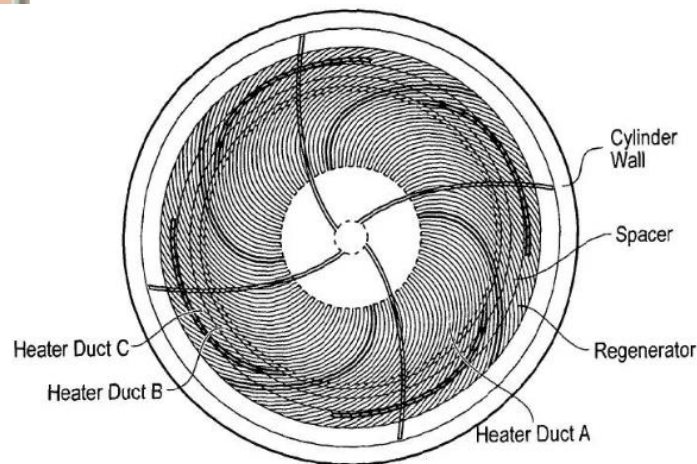
<http://www.51shape.com/?p=13871>



HIETA获得专利的技术提供了一种紧凑的热交换器，其中包括例如燃烧器，空气预热器和加热器，可以与发动机本身的部件（例如汽缸）集成。

斯特林发动机的汽缸，燃烧器，加热器和空气预热器可以通过SLM选区激光熔化3D打印技术构建为一个部件。其他组件（如换热器）也可以集成在同一SLM选区激光熔化3D打印构建过程中。

翅片可以结合到加热器管上，它们还可以用作将相邻管彼此连接的支柱。翅片与适当的挡板一起也可以以这样的方式定向，以便形成围绕加热器管的近水平部分或其他部分的燃烧气体的管道。



软件



CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD是计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics) 的简称，是流体力学和计算机科学相互融合的一门新兴交叉学科，它从计算方法出发，利用计算机快速的计算能力得到流体控制方程的近似解。CFD兴起于20世纪60年代，随着90年代后计算机的迅猛发展，CFD得到了飞速发展，逐渐与实验流体力学一起成为产品开发中的重要手段。计算流体力学和相关的计算传热学，计算燃烧学的原理是用数值方法求解非线性联立的质量、能量、组分、动量和自定义的标量的微分方程组，求解结果能预报流动、传热、传质、燃烧等过程的细节，并成为过程装置优化和放大定量设计的有力工具。板翅式换热器设计是CFD 技术应用的重要领域之一。

目前比较主流的CFD软件有：CFX、Fluent、Phoenics、Star-CD、comsol、star-ccm+、flow-3D、AUTODESK CFD（前身为CFdesign）。其中CFX，Fluent，star-CD，comsol等为通用求解器，能够解决各类流体问题。

换热器CFD仿真分析需求

换热器分析需求

- 核心目标是提高换热效率
- 能否降低结构设计复杂程度，优化设计，降低成本
- 防止污垢堆积，降低后期保养花费，提高换热效率
- 调节流场分配，防止局部出现热点等
- 热分析及结构分析，涉及流固耦合问题
-

流体相关问题

- 流体流动及传热问题（导热、对流、热辐射）
- 多相流及相变问题（颗粒堆积、蒸发沸腾换热问题）
- 流固耦合（共轭传热及热应力）
-



CFD 降低潜在设计缺陷

换热器的传热设计主要依据从试验总结出来的经验关联式。由于试验工况有限，因此各种关联式都有一定的适用范围，很多特殊的工况往往找不到合适的关联式来进行计算。此外，采用关联式进行计算只能得到平均值，无法得到各项参数在时间和空间上的分布。因此，一些设计中的潜在缺陷往往到试验阶段才会被发现，不仅存在安全隐患，而且往往也随之造成较大的经济损失



换热器CFD 设计特点

方法

- 通过三维软件创建几何结构，进行换热器内流动传热及阻力分析，可以全面的分析，换热器内结构的构造，工质的选择对换热器整体换热性能的影响

优势

- 具有费用低、速度快、重复性好、能模拟较复杂或较理想的工况下的流动现象和流动特性，同时可以观察不同操作参数对求解问题的影响，获得所有相关变量的详细信息以及潜在的物理过程等

企业应用

- 以数值模拟为主，以实验验证为辅，把理论研究、数值模拟、实验测量有机而协调地结合起来以实现换热器的研究和开发



CFX是由英国AEA公司开发，是一种实用流体工程分析工具，用于模拟流体流动、传热、多相流、化学反应、燃烧问题。其优势在于处理流动物理现象简单而几何形状复杂的问题。适用于直角/柱面/旋转坐标系，稳态/非稳态流动，瞬态/滑移网格，不可压缩/弱可压缩/可压缩流体，浮力流，多相流，非牛顿流体，化学反应，燃烧，NO_x生成，辐射，多孔介质及混合传热过程。CFX采用有限元法，自动时间步长控制，SIMPLE算法，代数多网格、ICCG、Line、Stone和Block

FLUENT是目前国际上比较流行的商用CFD软件包，在美国的市场占有率为60%。但凡跟流体，热传递及化学反应等有关的工业均可使用。它具有丰富的物理模型、先进的数值方法以及强大的前后处理功能，在航空航天、汽车设计、石油天然气、涡轮机设计等方面都有着广泛的应用。其在石油天然气工业上的应用包括：燃烧、井下分析、喷射控制、环境分析、油气消散/聚积、多相流、管道流动等等。

FloEFD (特别适合电子产品)

是CFD的新分支——同步CFD的应用产品。FloEFD是一款功能齐全的通用CFD工具，与Catia, NX, Creo以及其他主流MCAD系统集成。不过FloEFD主要专注于热分析，是一款专业的热分析软件。



Phoenics是英国CHAM公司开发的模拟传热、流动、反应、燃烧过程的通用CFD软件，有30多年的历史。网格系统包括：直角、圆柱、曲面（包括非正交和运动网格，但在其VR环境不可以）、多重网格、精密网格。可以对三维稳态或非稳态的可压缩流或不可压缩流进行模拟，包括非牛顿流、多孔介质中的流动，并且可以考虑粘度、密度、温度变化的影响。

STAR-CD的创始人之一Gosman与Phoenics的创始人Spalding都是英国伦敦大学同一教研室的教授。STAR-CD 是Simulation of Turbulent flow in Arbitrary, STAR - cd的强项在于汽车工业，汽车发动机内的流动和传热。

GAMBIT

专用的CFD前置处理器，FLUENT系列产品皆采用FLUENT公司自行研发的Gambit前处理软件来建立几何形状及生成网格，是一具有超强组合建构模型能力之前处理器，然后由Fluent进行求解。也可以用ICEM 对CFD进行前处理，由TecPlot进行后处理。

Fluent5.4

基于非结构化网格的通用CFD求解器，针对非结构性网格模型设计，是用有限元法求解不可压缩流及中度可压缩流流场问题的CFD软件。可应用的范围有紊流、热传、化学反应、混合、旋转流（rotating flow）及震波（shocks）等。



Fidap

基于有限元方法的通用CFD求解器，为一专门解决科学及工程上有关流体力学传质及传热等问题的分析软件，是全球第一套使用有限元法于CFD领域的软件，其应用的范围有一般流体的流场、自由表面的问题、紊流、非牛顿流流场、热传、化学反应等等。

Icepak (特别适合电子产品)

专用的热控分析CFD软件，专门仿真电子电机系统内部气流，温度分布的CFD分析软件

CFX-TASCflow

在旋转机械CFD计算方面具有很强的功能。它可用于不可压缩流体，亚/临/超音速流体的流动，采用具有壁面函数的k-e模型、2层模型和Kato-Launder模型等湍流模型，传热包括对流传热、固体导热、表面对表面辐射，Gibb's辐射模型，多孔介质传热等。化学反应模型包括旋涡破碎模型、具有动力学控制复杂正/逆反应模型、Flamelet模型、NO_x和碳黑生成模型、拉格朗日跟踪模型、反应颗粒模型和多组分流体模型。

AUTODESK CFD

AUTODESK CFD的前身是CFDesign，在被AUTODESK公司收购后，更名为AUTODESK CFD，是一款类通用CFD求解器，不过其强项还是在于热分析和建筑通风，人体舒适度分析。

AUTODESK CFD的设计思路是让工程师在设计阶段就能够得到初步的流体分析结果，因此软件操作设计的非常便捷，对于没有CFD基础的设计人员也能很快掌握。

69 电子散热 - 计算流体力学CFD软件 – 推荐

**Mentor Graphics公司的FloTHERM软件**

Mentor Graphics公司令人耳熟能详的是其FloTHERM® XT 软件，是业内首个结合MDA-EDA的电子散热仿真解决方案—从概念阶段贯穿详细设计—能显著缩短产品设计时间。这个解决方案能满足当今电子产品的挑战和复杂几何的两大趋势。FloTHERM XT 技术有效地结合机械设计自动化MDA和电子设计自动化EDA以及针对设计工程师和热学专家的需求。

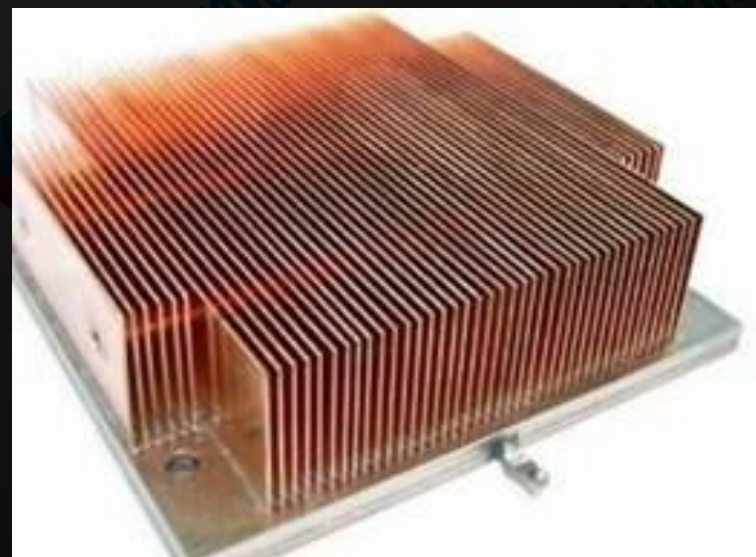
**ANSYS的Icepak软件**

ANSYS Icepak 提供强大的电子冷却解决方案，利用业界领先的ANSYS Fluent 计算流体动力学 (CFD) 求解器对集成电路 (IC)、包、印刷电路板 (PCB) 和电子组件进行热力和流体流动分析。ANSYS Icepak CFD 求解器使用 ANSYS Electronics Desktop (AEDT) 图形用户界面 (GUI)。这为工程师们提供了一个以 CAD 为中心的解决方案，使他们可以利用易用的功能区域界面来管理与ANSYS HFSS、ANSYS Maxwell 和 ANSYS Q3D Extractor 相同的统一框架内的热力问题。在此环境中工作的电气和机械工程师可享受完全自动化的设计流程，能够将 HFSS、Maxwell 和 Q3D Extractor 无缝耦合到 Icepak 以进行热力分析。

换/散热器设计、仿真与优化

主要内容

- 换热器/散热器研究及应用现状
- 换热器/散热器设计流程
- CFD方法的必要性及解决方案
- 换热器/散热器CFD应用案例



大量的学者对换热器/散热器内部构造、传热流动特性做了大量的研究工作，绝大部分采用计算流体力学方法（CFD）与实验进行了对比验证

国内学者对换热器/散热器的研究与应用取得重大突破，
但仍在以下方面具有一定距离：

换热器/散热器技术基础薄弱：设计标准和技术较为滞后

仿制为主，缺乏创新性技术

高效换热器/散热器的研发与应用还距国际水平有一定距离

1、热计算	2、结构计算	3、流动阻力计算	4、强度计算
依据换热器/散热器类型，流体进出口温度、压力、流体物理化学性质等具体条件求K，进而求F（换热面积）	根据F大小计算换热器/散热器主要部件和构件的尺寸	得到流阻曲线，目的在于为选择泵与风机提供依据	计算换热器/散热器各部件所受应力大小是否在其强度之内

换热器/散热器效率
问题

换热器/散热器结构
问题

传热系数及阻力

腐蚀、泄漏





一些设计中的潜在缺陷往往到试验阶段才会被发现, 不仅存在安全隐患, 而且往往也随之造成较大的经济损失

换热器/散热器设计需求

- 核心目标是提高换热效率
- 能否降低结构设计复杂程度，优化设计，降低成本
- 防止污垢堆积，降低后期保养花费，提高换热效率
- 调节流场分配，防止局部出现热点等
- 热分析及结构分析，涉及流固耦合问题
-

流体相关问题

- 流体流动及传热问题（导热、对流、热辐射）
- 多相流及相变问题（颗粒堆积、蒸发沸腾换热问题）
- 流固耦合（共轭传热及热应力）
-



方法

- 通过三维软件创建几何结构，进行换热器/散热器内流动传热及阻力分析，可以全面的分析，换热器/散热器内结构的构造，工质的选择对换热器/散热器整体换热性能的影响

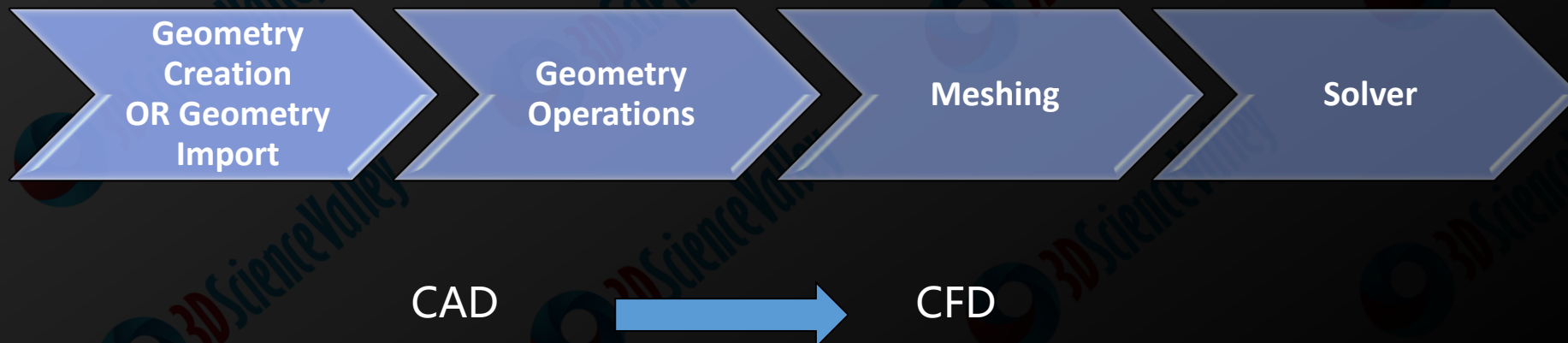
优势

- 具有费用低、速度快、重复性好、能模拟较复杂或较理想的工况下的流动现象和流动特性，同时可以观察不同操作参数对求解问题的影响，获得所有相关变量的详细信息以及潜在的物理过程等

企业应用

- 以数值模拟为主，以实验验证为辅，把理论研究、数值模拟、实验测量有机而协调地结合起来以实现换热器/散热器的研究和开发

- ❑ 换热器/散热器结构形式多样性，几何处理难度大；
- ❑ 物理问题准确理解
- ❑ CAD数模与CAE链接遇到挑战
- ❑ 网格划分难度大，需要灵活的网格划分策略
- ❑ 计算规模大，流场复杂，对求解器要求较高
- ❑ 涉及多场耦合



78 CFD换热器/散热器三大类仿真方法

1. 直接计算整体CFD模型,通常规模过于庞大

整体尺寸量级；局部尺寸量级：管径、气隙、翅片。。
为了得到整体模型的计算结果，网格数量可能上亿！

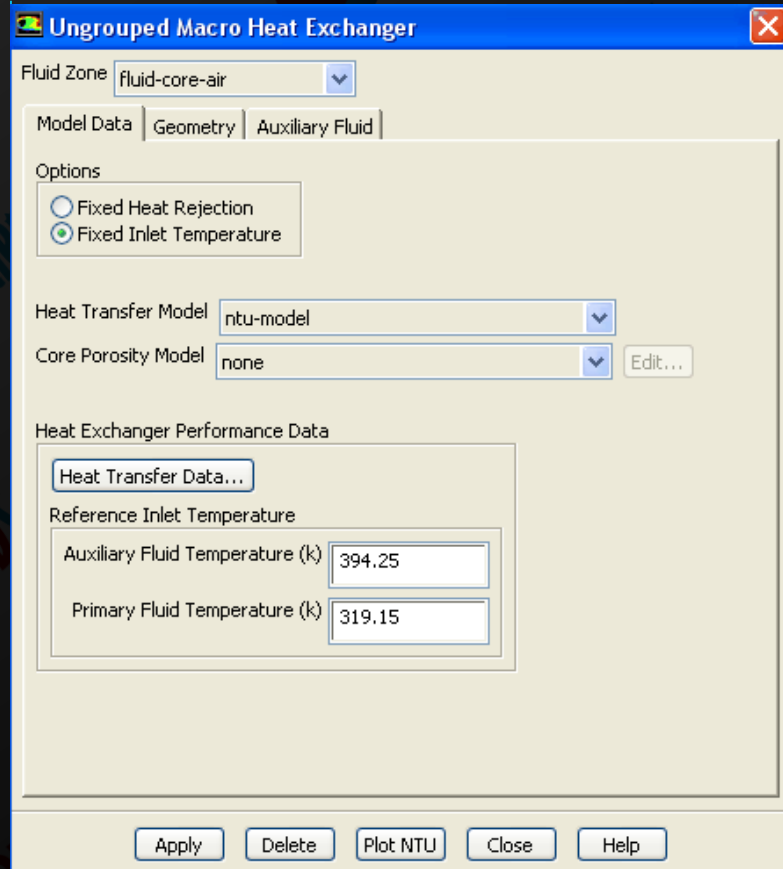
2. 换热器求解模型

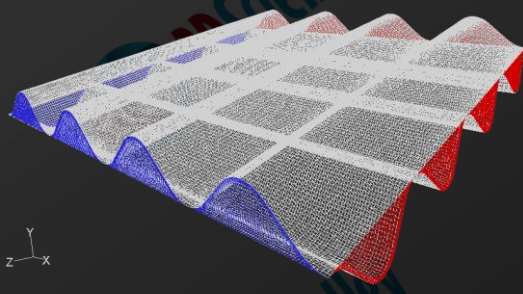
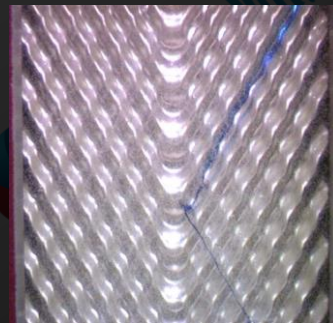
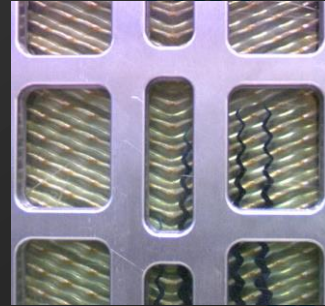
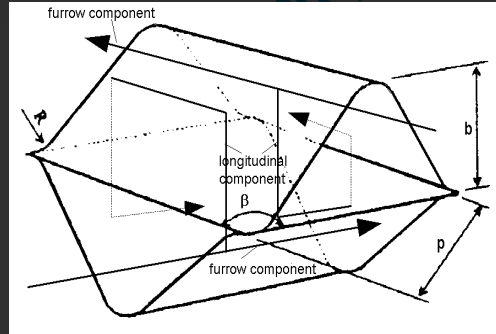
根据传热学中的效能-传热单元数法评估计算。设计：基于效能，求换热面积。校核：基于换热面积，求效能。Porous Model、Dual Cell Heat Exchanger Model

此种方法基于传热学理论公式求解，无法研究详细的流体动力学机理。常用的通用换热器模型一般两种：macro模型（ungrouped和grouped）和dual cell模型。但核心的换热器计算方法是simple-effectiveness-model和number-of-transfer-units (NTU)。这些模型可以用于计算固定换热量时的辅流入口温度或者固定辅流入口温度时的总换热量。对于simple-effectiveness-model，辅流体可以是单相或两相。dual cell使用NTU模型计算换热。这种模型允许在分离的网格（有别于计算主流的网格）上计算辅助流体，而macro则把辅流作为1D问题。dual cell模型还提供更加灵活的换热器外形，解决macro问题中存在的某些限制。

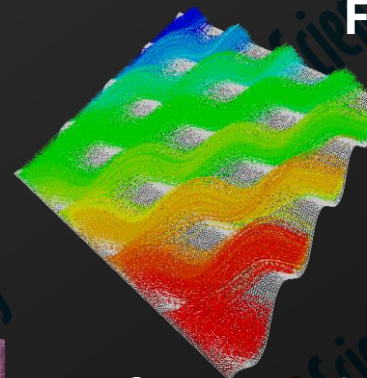
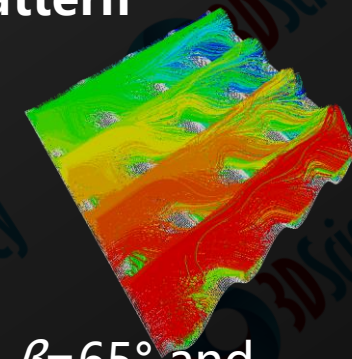
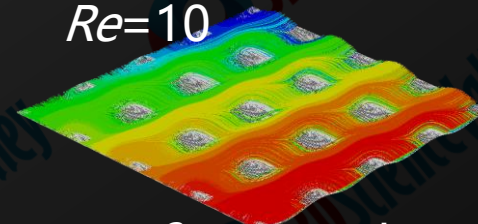
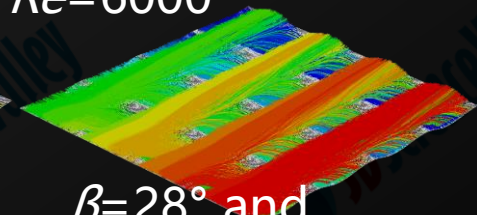
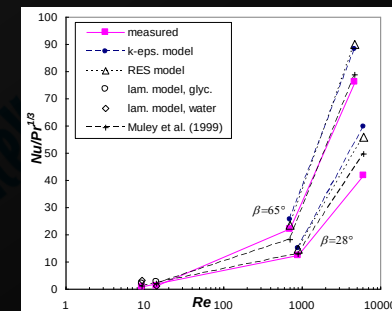
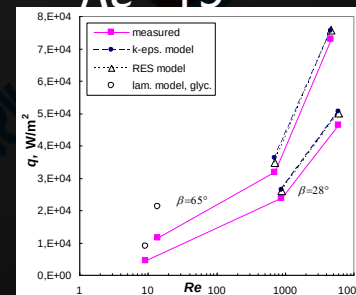
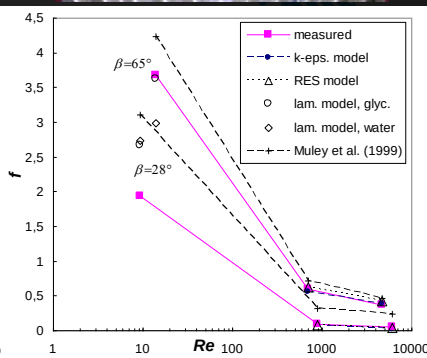
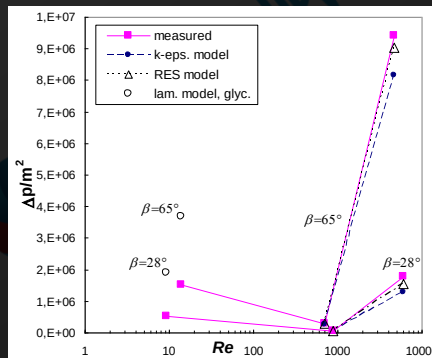
3. 局部等效法

此方法能够研究详细的流体动力学机理，又能获得整体散热器的冷却效果，计算量相对较小，是较为有效、可行的散热器设计和优化的方法。





Flow pattern


 $\beta=65^\circ$ and $Re=10$

 $\beta=65^\circ$ and $Re=6000$

 $\beta=28^\circ$ and $Re=15$

 $\beta=28^\circ$ and $Re=4667$


Simulated hydraulic and thermal characteristics of modeled channels with $b=28^\circ$ and $b=65^\circ$ compared to the experimental data from present measurements and literature (Muley *et al.*, 1999)

换热器/散热器设计分析案例 ----微通道换热器/散热器应用案例

来源：安世亚太

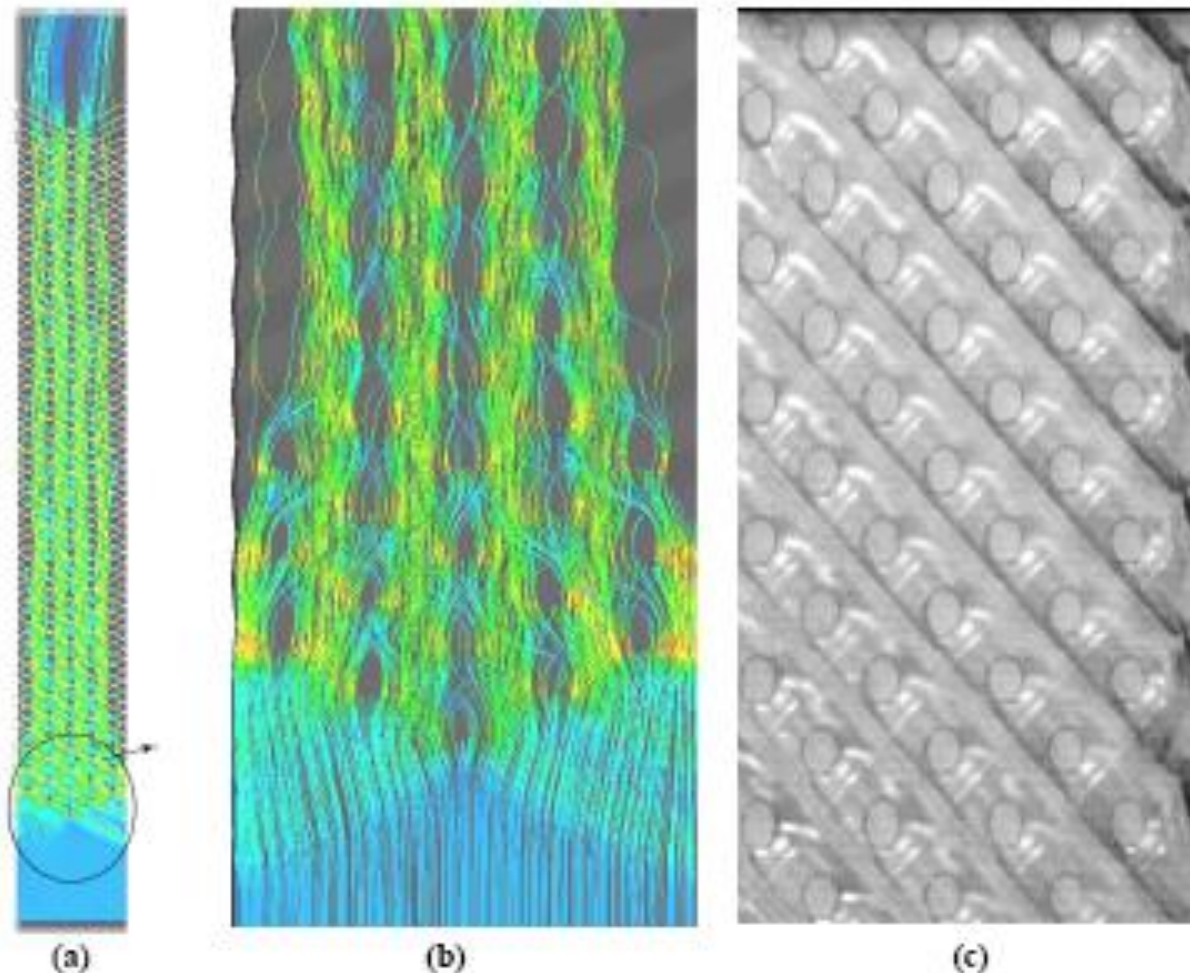
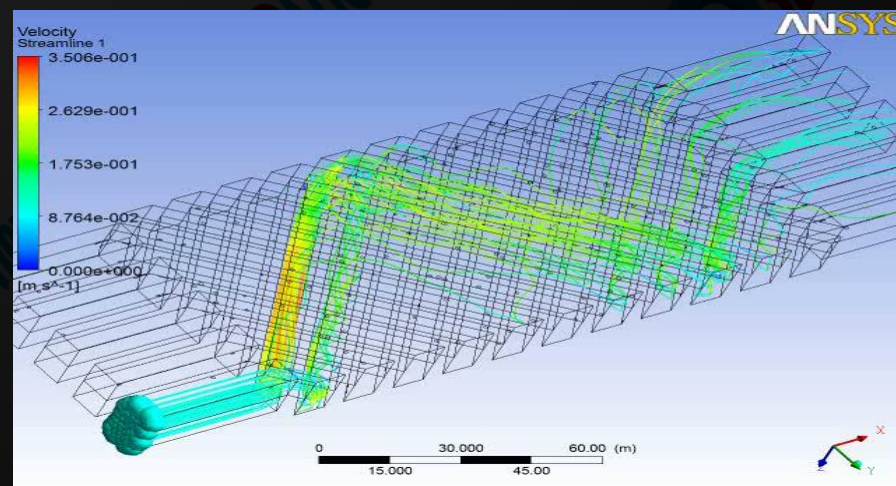
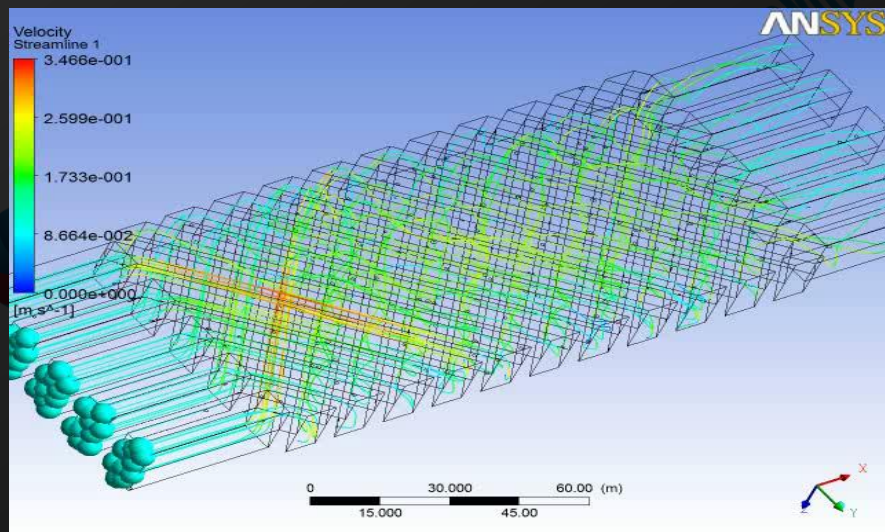
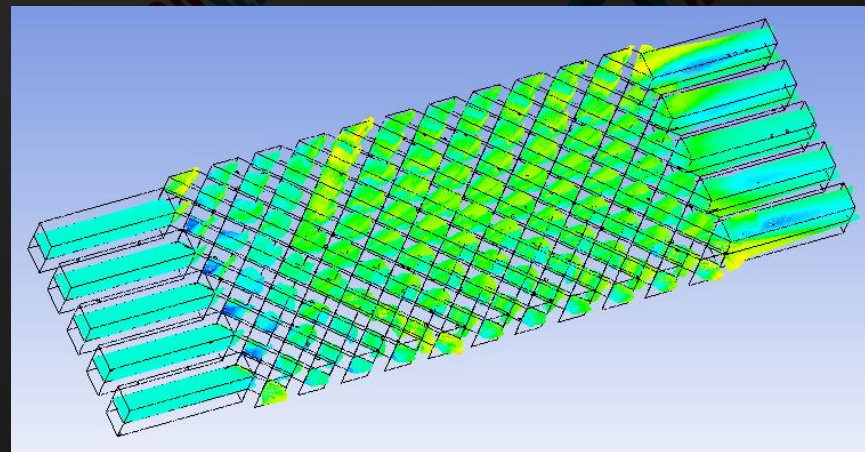
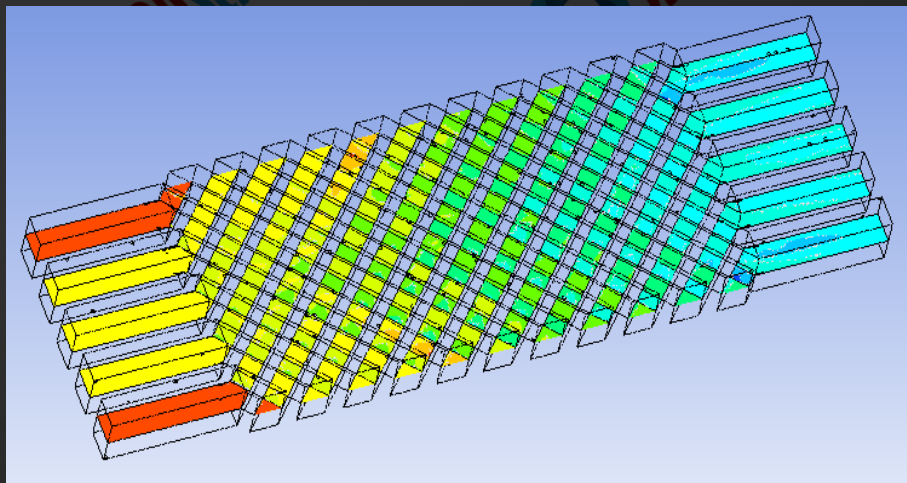
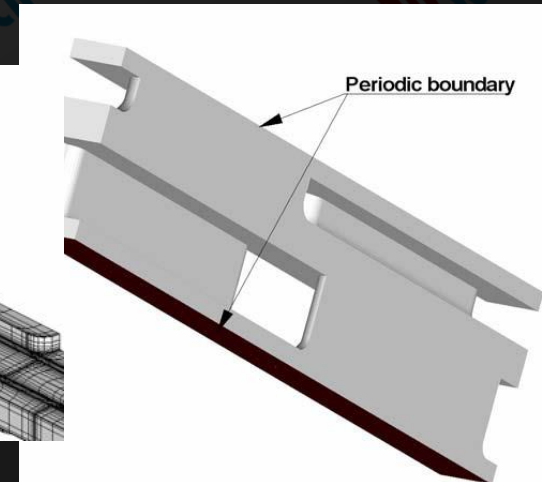
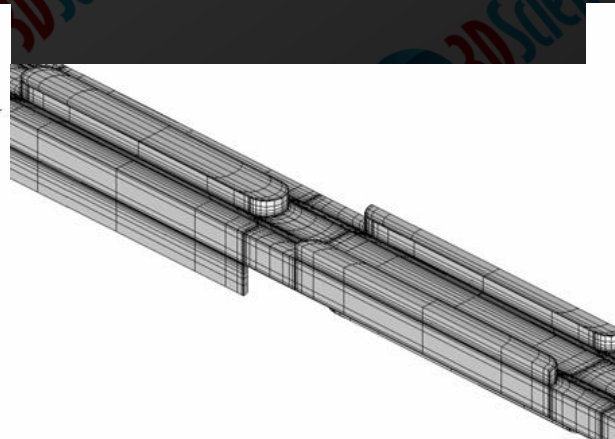
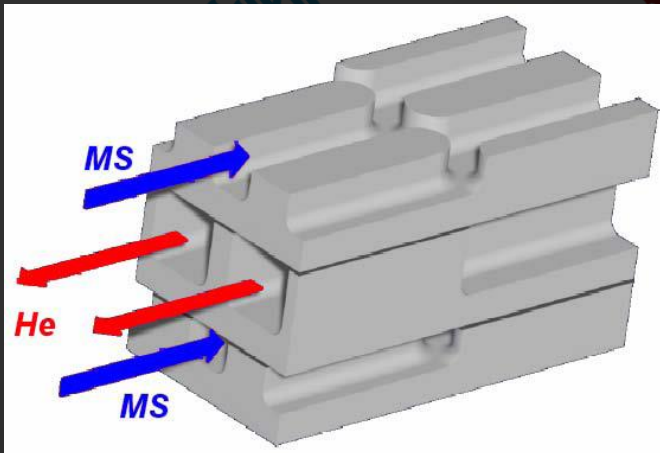
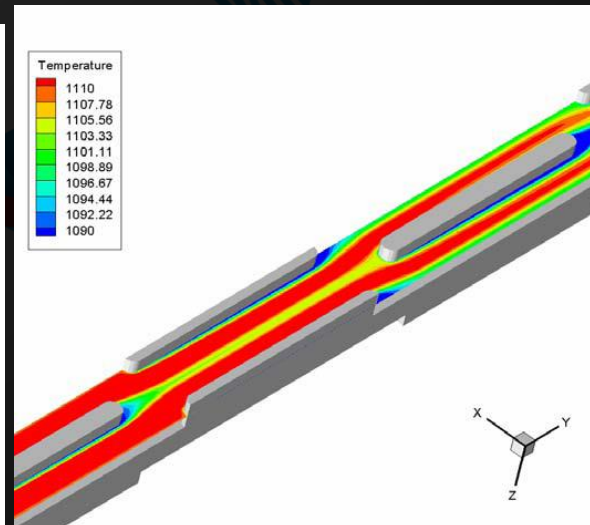
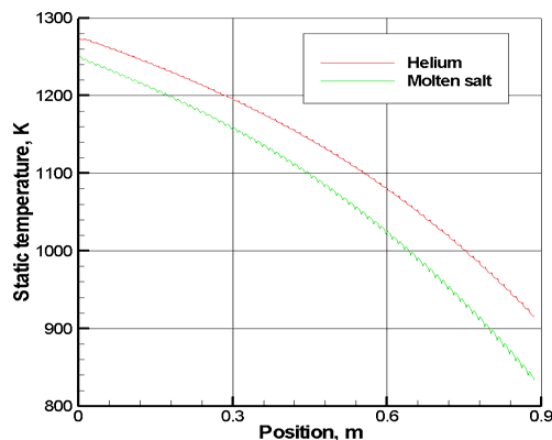


Figure 9. (a) Streamlines in the left half of the channel; (b) Close up of the flow pattern; (c) Photo of the flow in the cross-corrugated geometry^[3]





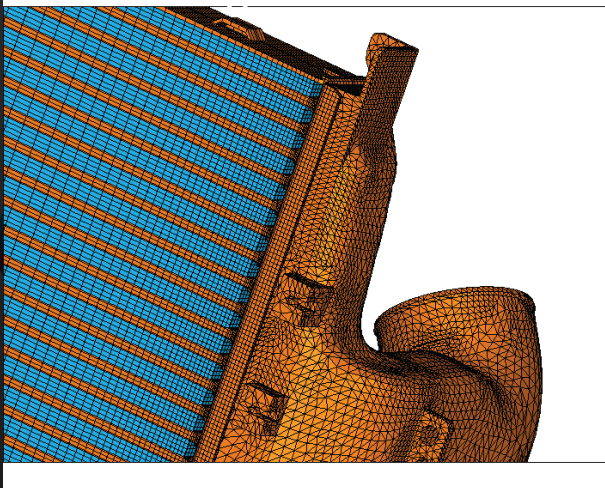
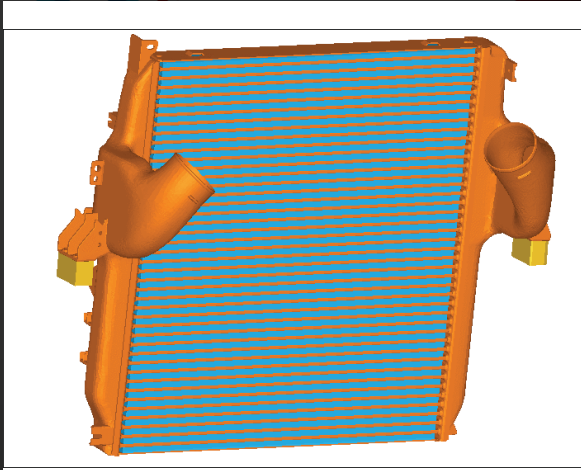
Involved in the hydrogen production plant
THE FLOW CALCULATIONS IN THE HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGER WITH THE MANUFACTURING GEOMETRICAL EFFECTS
 Valery Ponyavin, Sundaresan Subramanian, Clayton Ray DeLosier, Yitong Chen, Anthony E. Hechanova3 Per F. Peterson



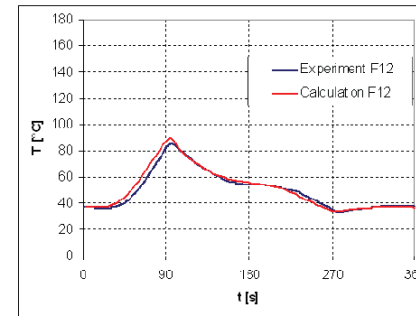
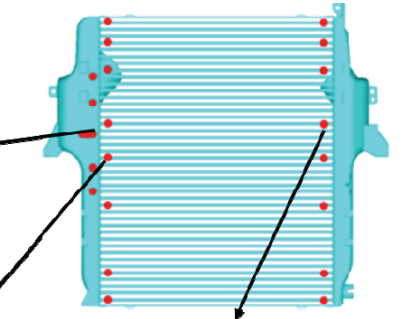
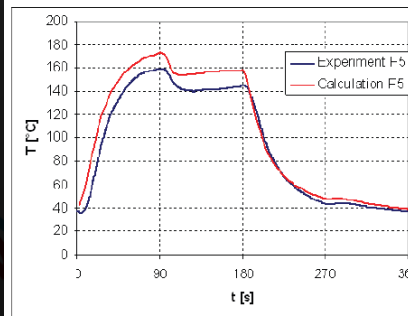
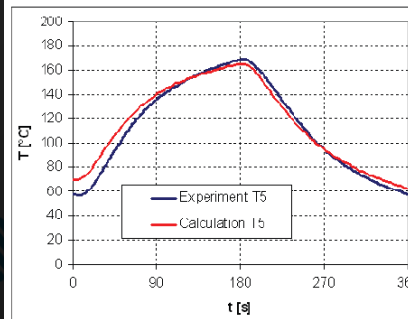
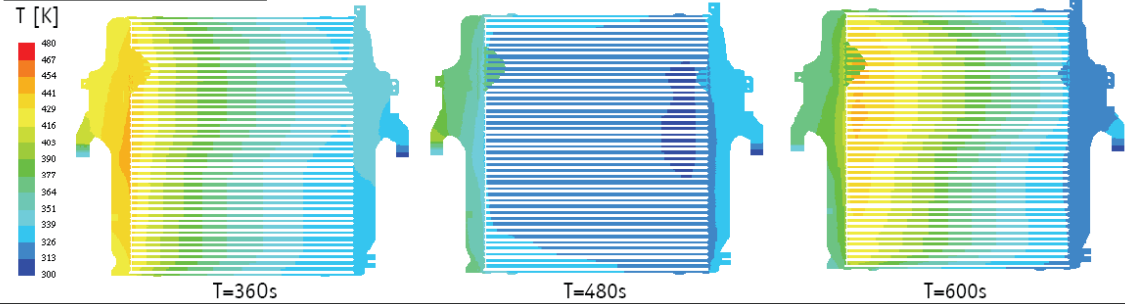
- The manufacturing geometrical effects (the roundings on the bottom of the fins) influence on resulting parameters very appreciable for pressure drop and negligible for temperature distribution.

- The results show that the CFD tools such as FLUENT can adequately demonstrate the flow physics and heat transfer for these types of complex geometries and is also useful for fin optimization studies.

Methodology Transfer of Transient Charge Air Cooler Thermal Cycle Analysis to FLUENT
 Dr. C. Merkle, S. Larpent, Dr. W. Kühnel, Dr. T. Heckenberger, F. Guilbaud
 Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart, Germany
 Dr. Y. Chen



Fluent results



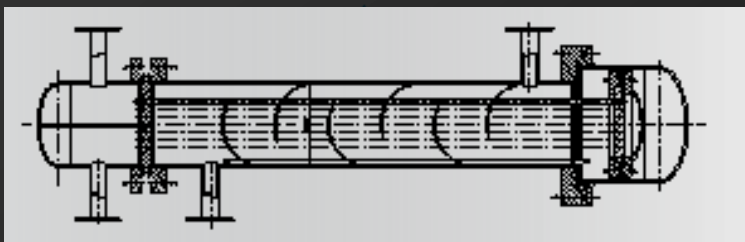
Good agree with
experiment data

换热器/散热器设计分析案例 ----管壳换热器/散热器：折流板研究

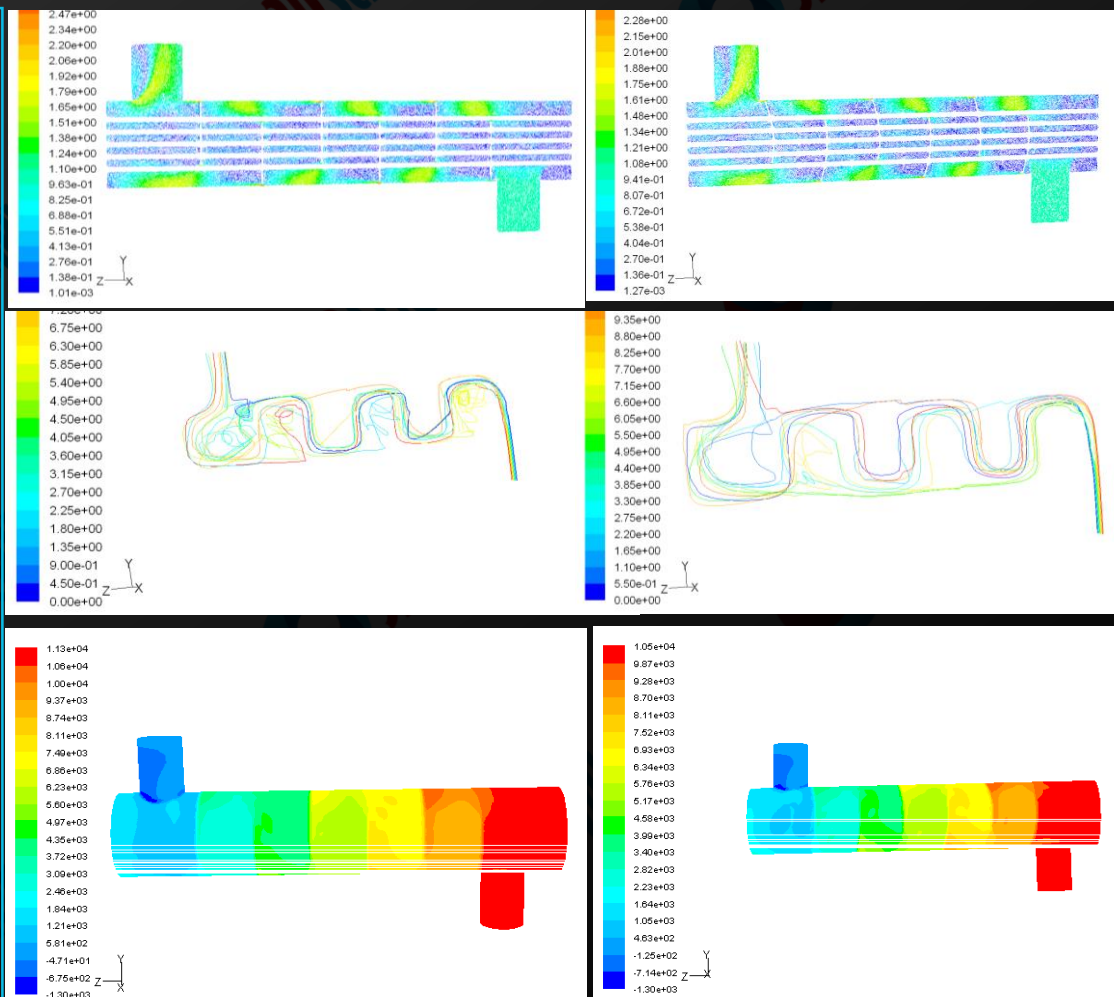
来源：安世亚太



• 曲面折流板换热器/散热器的结构设计 与数值模拟



- 通过仿真研究曲面折流板相对于平面折流板的改进效果
- 曲面弓形折流板换热器/散热器中，壳程流体流速变化均匀，有效消除折流板附近的流动死区。
- 在相同的流量条件下，曲面折流板换热器/散热器壳程的流动压降大大低于弓形折流板换热器/散热器的壳程压降



平面折流

曲面折流

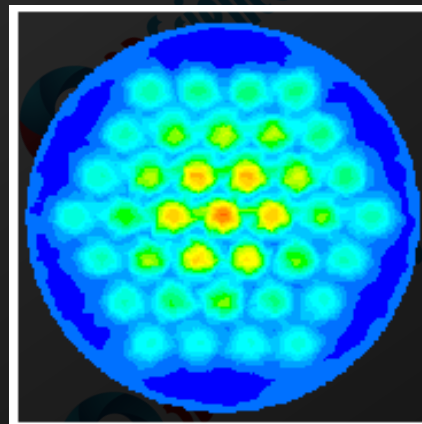
85

换热器/散热器设计分析案例 ----管壳换热器/散热器：热点消除

来源：安世亚太

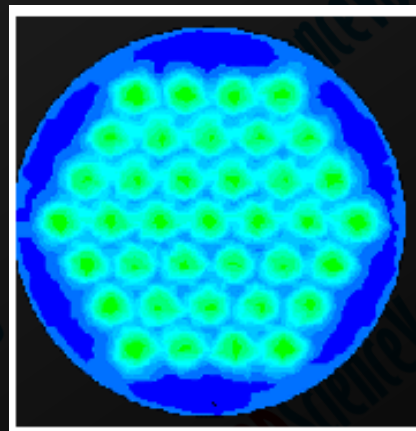


Under-performing, 324 tube, heat exchanger



Maldistributed

原设计有热点



Improved

改进后热点消除

- 通过仿真改进流动分配消除热点

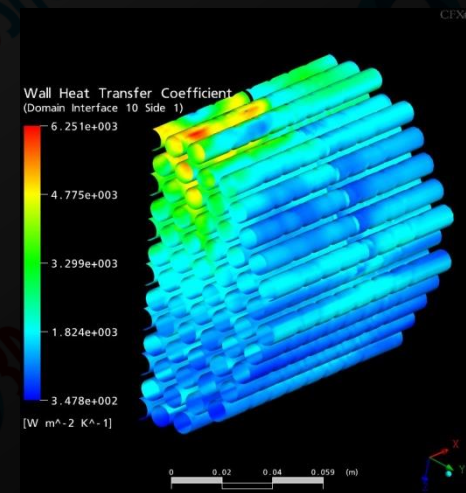
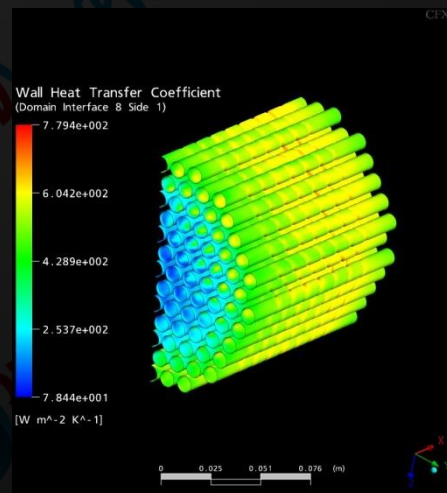
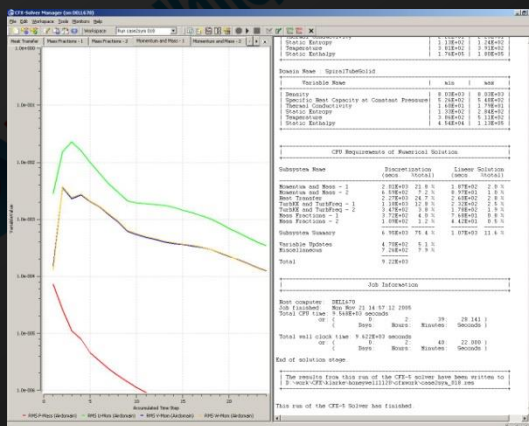
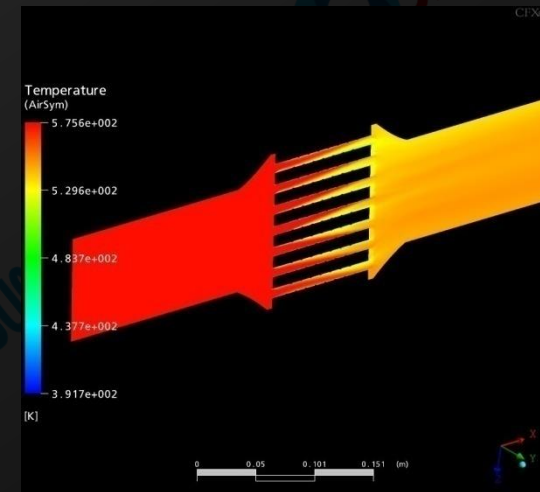
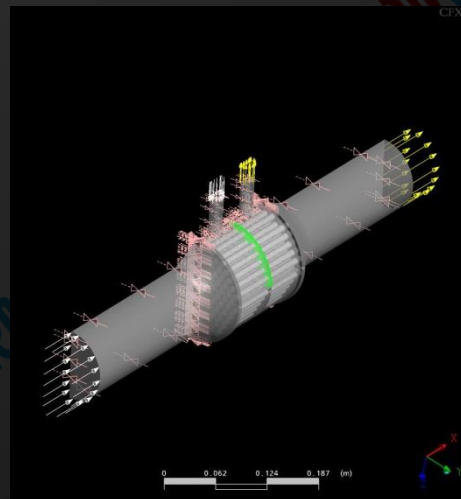
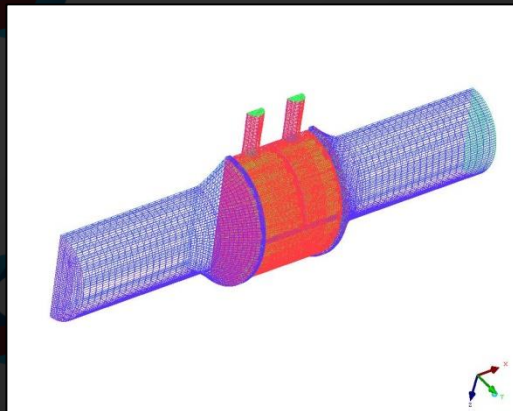
Axial velocity at the inlet to the tubes; no "hot spots" visible for the improved design

换热器/散热器设计分析案例 ----压缩空气冷却分析案例

来源：安世亚太



高温空气分析结果

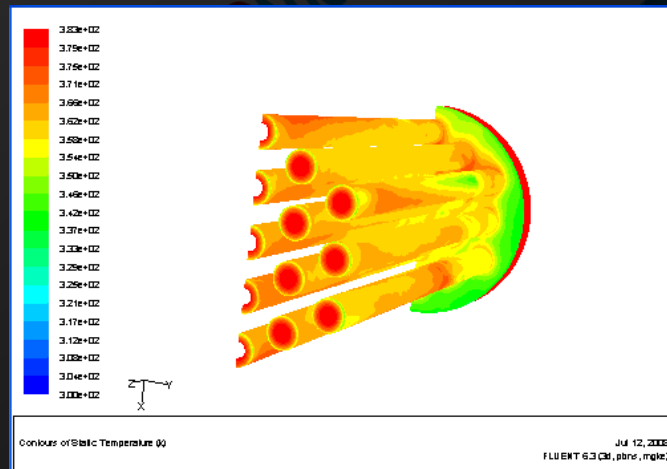
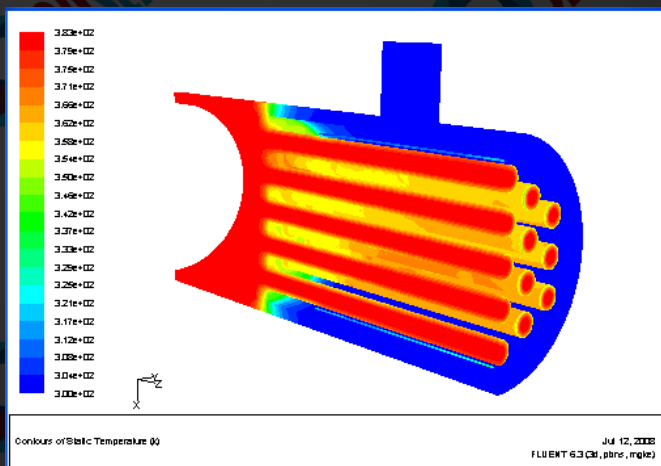


87

换热器/散热器设计分析案例

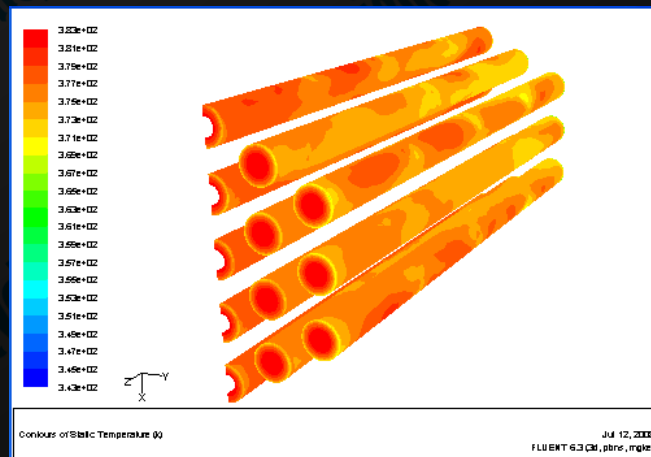
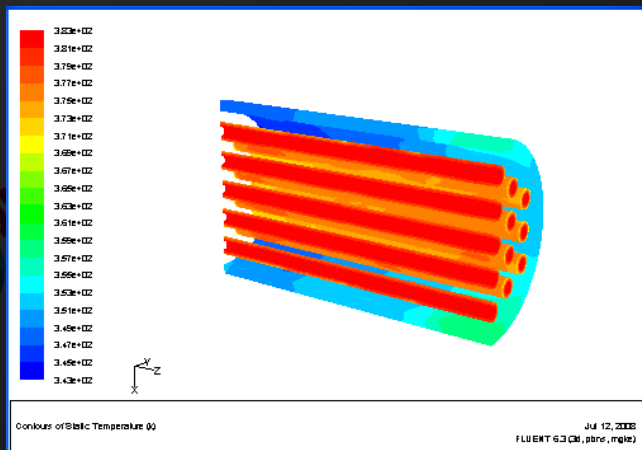
----管壳换热器/散热器：共轭传热及流固耦合

来源：安世亚太



入口段CFD模拟温度场分布

入口段管子及管板CFD模拟温度场分布

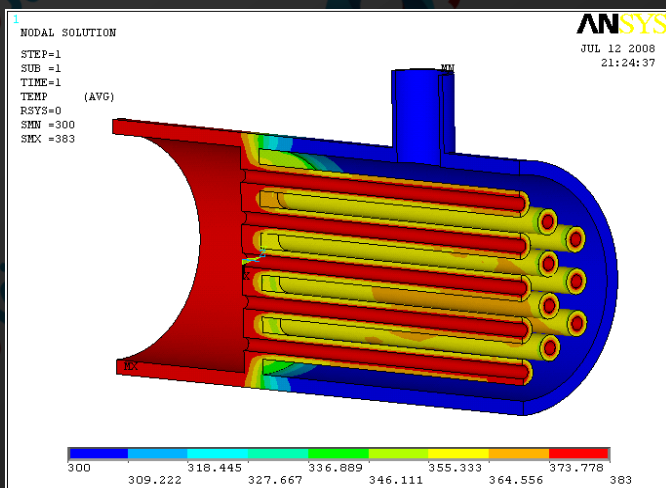


折流栅段（四）CFD模拟温度场分布

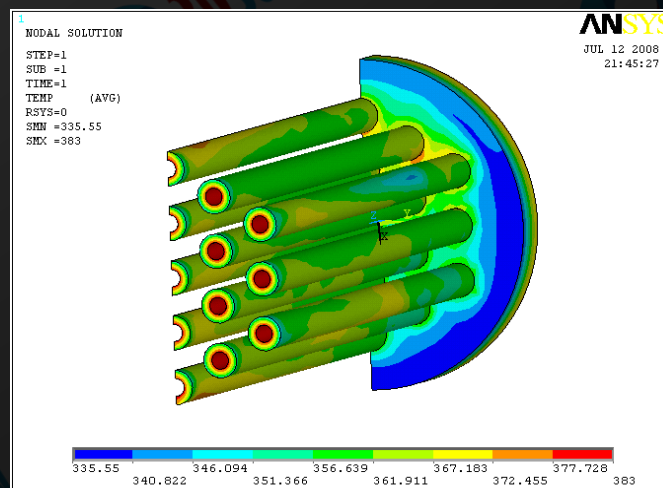
折流栅段（四）管子CFD模拟温度场分布

换热器/散热器设计分析案例 ----管壳换热器/散热器：共轭传热及流固耦合

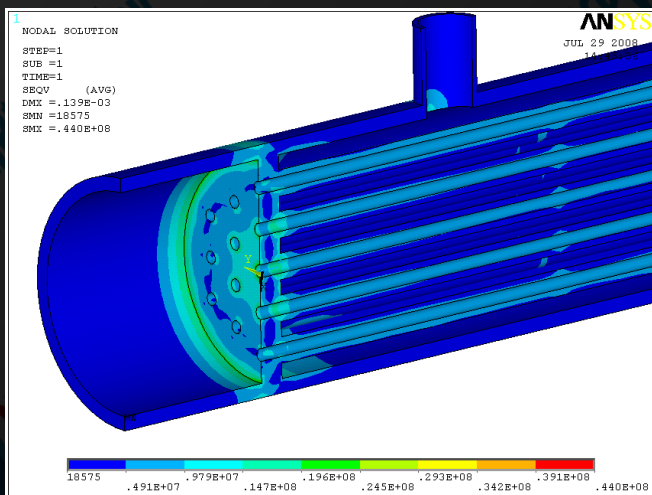
来源：安世亚太



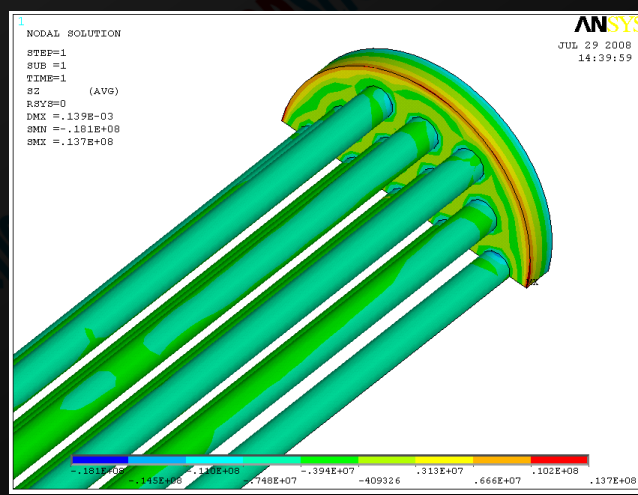
入口段温度场分布



入口段管子及管板温度分布



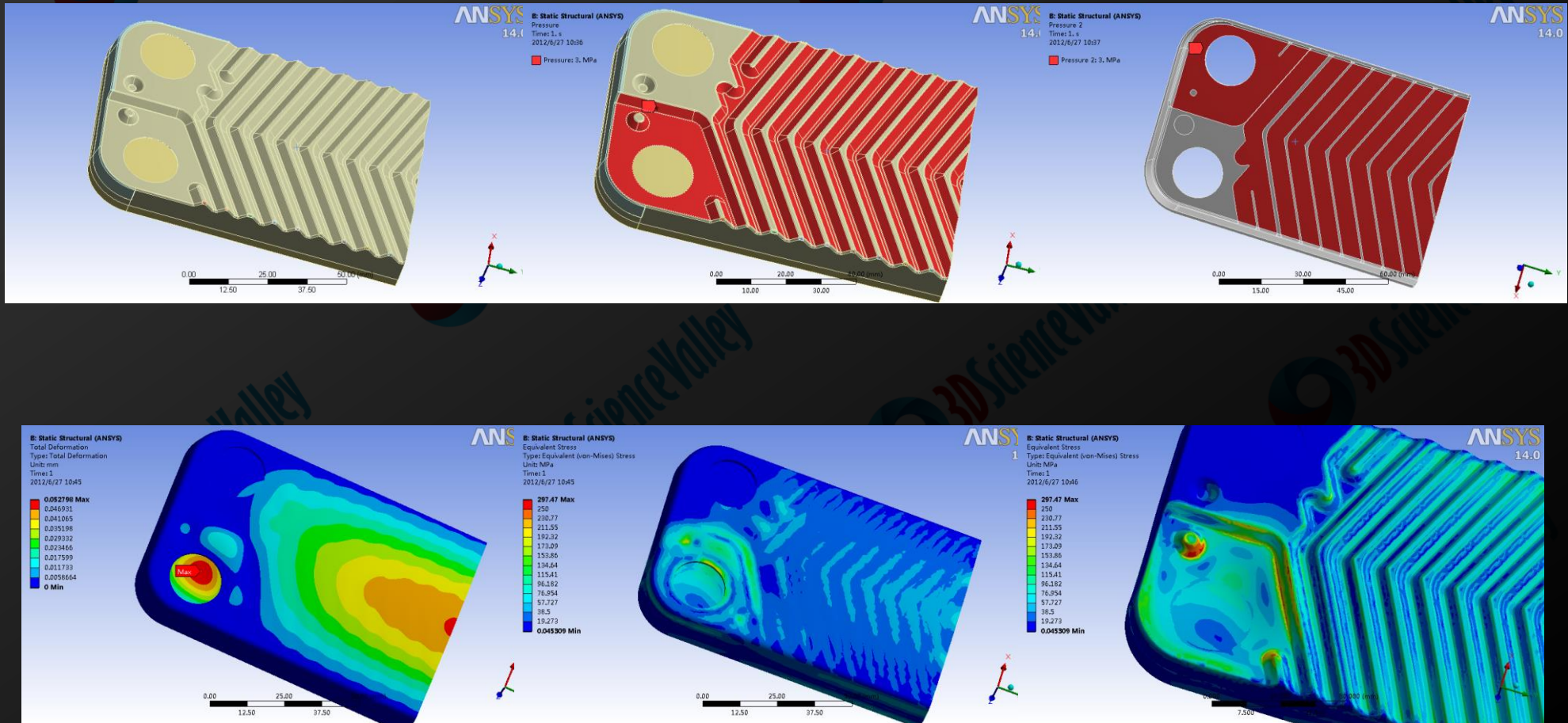
管束、壳体与管板的应力分布



管子和管板轴向应力分布（壳程侧）

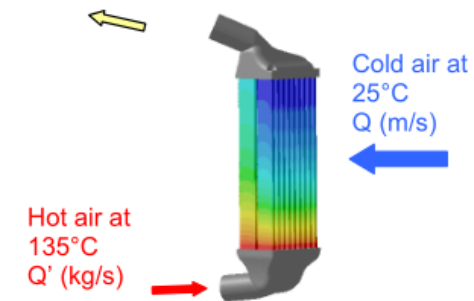
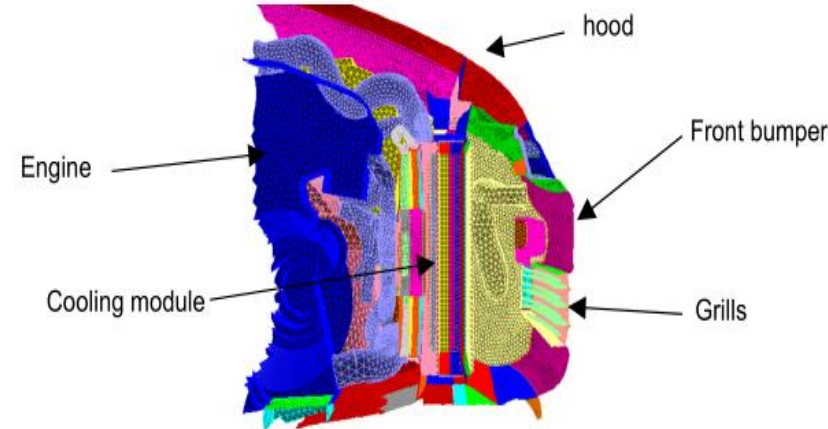
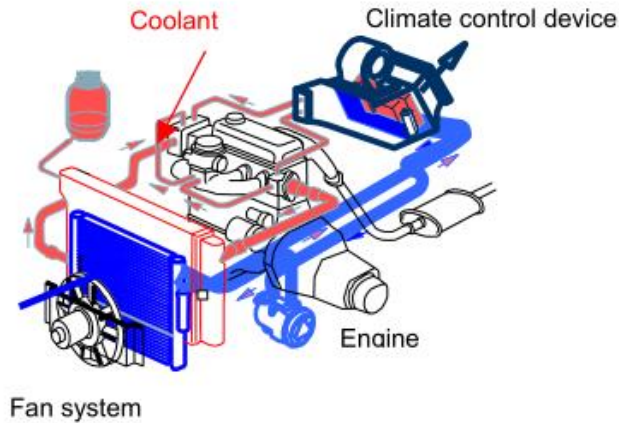
换热器/散热器设计分析案例 ----板式换热器/散热器强度分析

来源：安世亚太



90 Valeo车用散热器设计、CFD分析和优化

来源：安世亚太



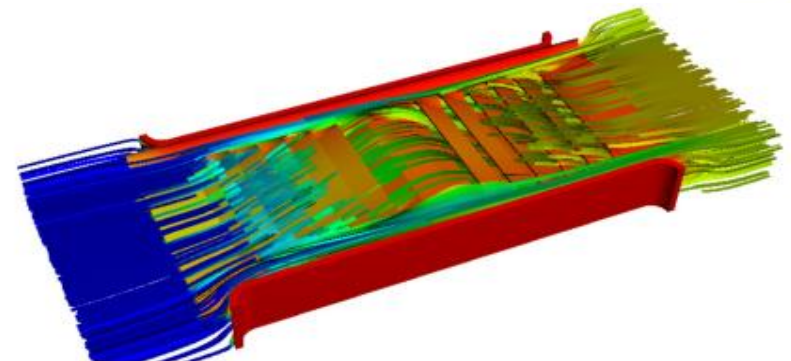
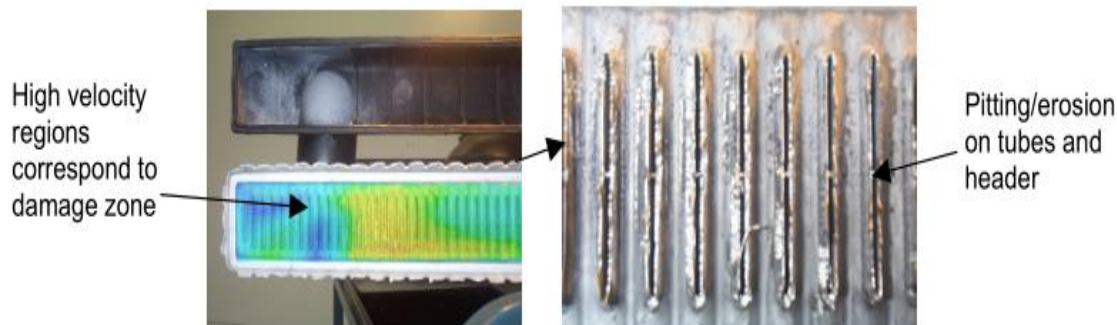
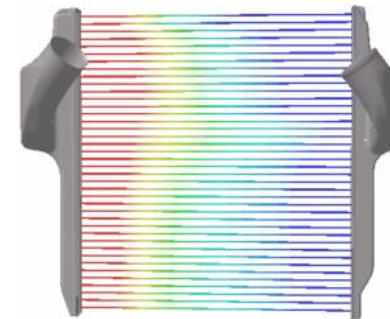
		Discrepancy						
Q' (kg/s)	Q (m/s)	Tinlet Air (°C)	Tinlet CAC (°C)	Toutlet CAC (%)	Pwr (%)	Twall (%)	DP (%)	
0,168	1,5	25,0	134,8	1	2	4	2	
0,168	3	25,0	134,8	2	5	2	4	
0,168	6	26,5	135,7	2	4	4	5	
0,125	1,5	24,6	134,8	3	6	2	5	
0,124	3	25,1	134,9	2	4	2	4	
0,125	6	26,3	135	2	3	6	4	
0,069	1,5	25,3	134,8	1	1	5	6	
0,068	3	25,0	135	2	5	8	5	
0,07	6	25,9	135,9	2	4	10	6	

Thermal performance comparison: Fluent vs. Tests

+7 (+3)	+10 (+8)	-6 (-4)	-1 (+3)	-1 (0)
+8 (+3)	-1 (+4)	+1 (+5)		
-1 (+5)	+4 (-7)	+8 (+7)		
+2 (-5)	+9 (-7)	+3 (+5)		
-5 (+5)				
-5 (-15)	+7 (+9)	+2 (-14)	+1 (+2)	0 (+1)

Entrée : 200°C

Sortie : 50°C +2



换热器/散热器设计分析案例 ----板式换热器/散热器强度分析

来源：安世亚太



Figure 15: Radiator mounted on test bench.

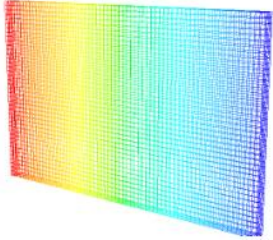


Figure 17: Fluent heat exchanger model definition

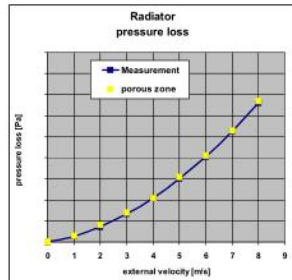


Figure 16: Pressure drop calibration.

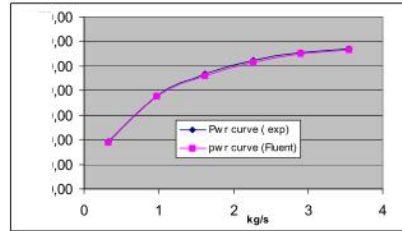


Figure 18: Heat transfer calibration

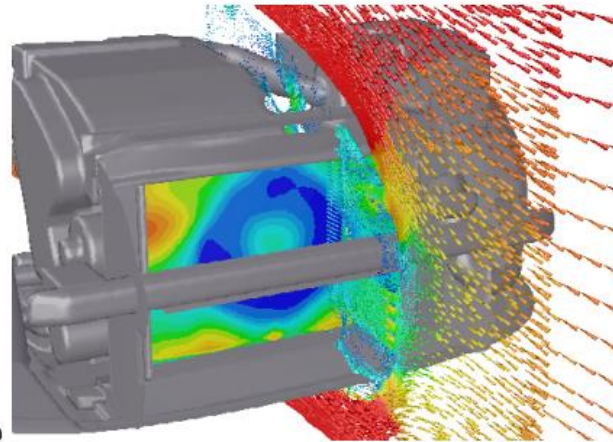


Figure 27: Air temperature distribution on the radiator and velocity vectors from the CFD.

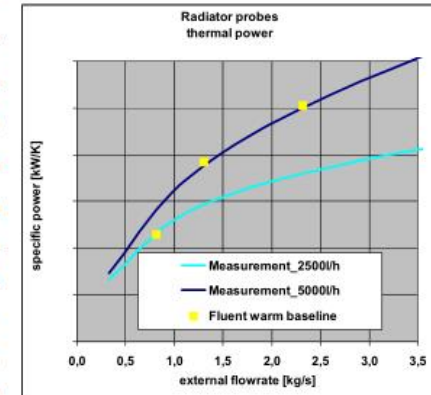
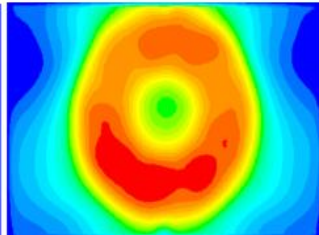
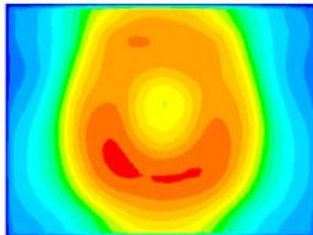
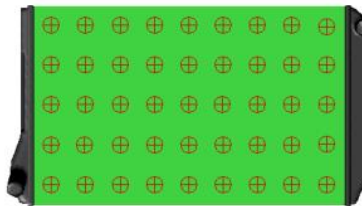
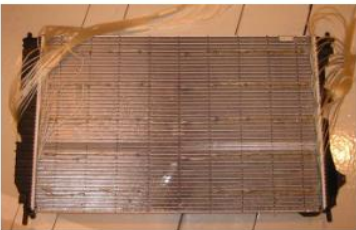


Figure 28: Heat rejection comparison FLUENT vs. wind tunnel.

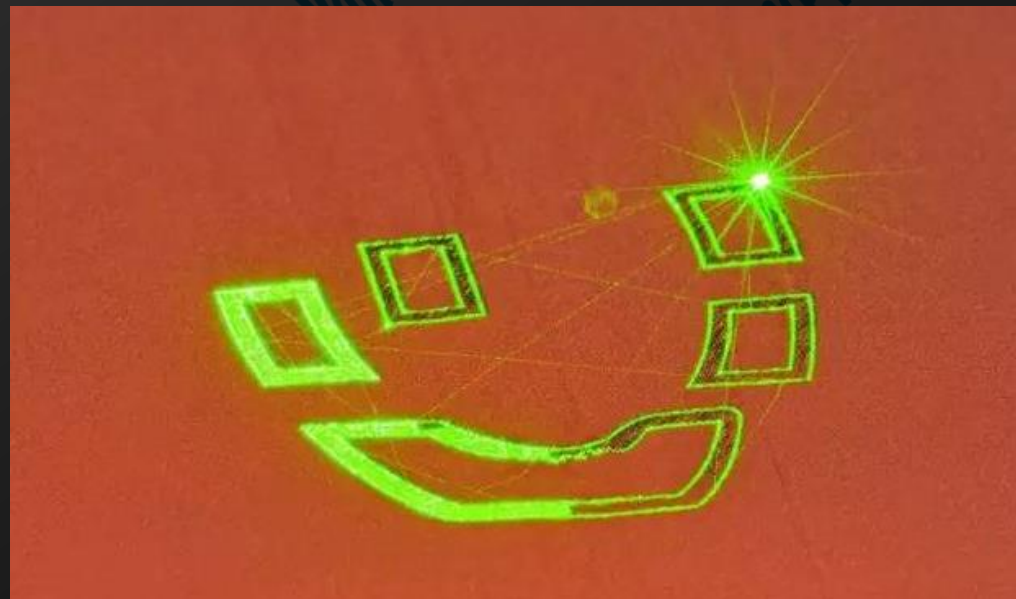


激光考虑

❄️ 铜金属的加工

由于铜的导热性和反射性极佳，这使得铜金属在3D打印机内部难以操作。虽然当前选择性激光熔化（SLM）3D打印技术可以用于制造铜金属粉末材料。但是铜金属在激光熔化的过程中，吸收率低，激光难以持续熔化铜金属粉末，从而导致成形效率低，冶金质量难以控制等问题。此外，铜的高延展性给去除多余粉末这样的后处理工作增加了难度。

Fraunhofer ILT推出了绿色激光器解决方案，与 $1\mu\text{m}$ 波长的波长相比更短，波长在 515nm 。这意味着更少的激光功率输出，此外，激光束可以更精确地聚焦，使其能够使用新的SLM工艺制造更加精细的部件。



❄️ 铜金属的加工

2018 年，岛津公司拟（日本）实现了其 BLUE IMPACT 蓝光冲击二极管激光器的商业化，这种激光器可以在高亮度下产生 100 瓦的功率。这款产品是岛津公司与日本大阪大学合作开发的，是日本国家项目的一部分。

BLUE IMPACT 激光器结合了日亚化学公司（日本）的许多氮化镓(GaN)蓝色激光二极管，自 2006 年以来效率提高了一倍，输出功率提高了一个数量级。岛津 450 纳米蓝色二极管激光器的一个关键应用是铜材料的 3D 打印。

铜对蓝色激光的吸收率很高，背反射的减少可以使加工过程变快，这对传统的红外激光器是一个严峻的挑战。新研发的 3D 打印机可以用纯铜粉高效打印物体。现有的 3D 打印机技术一般采用 CuCr1Zr 等铜合金来代替纯铜。

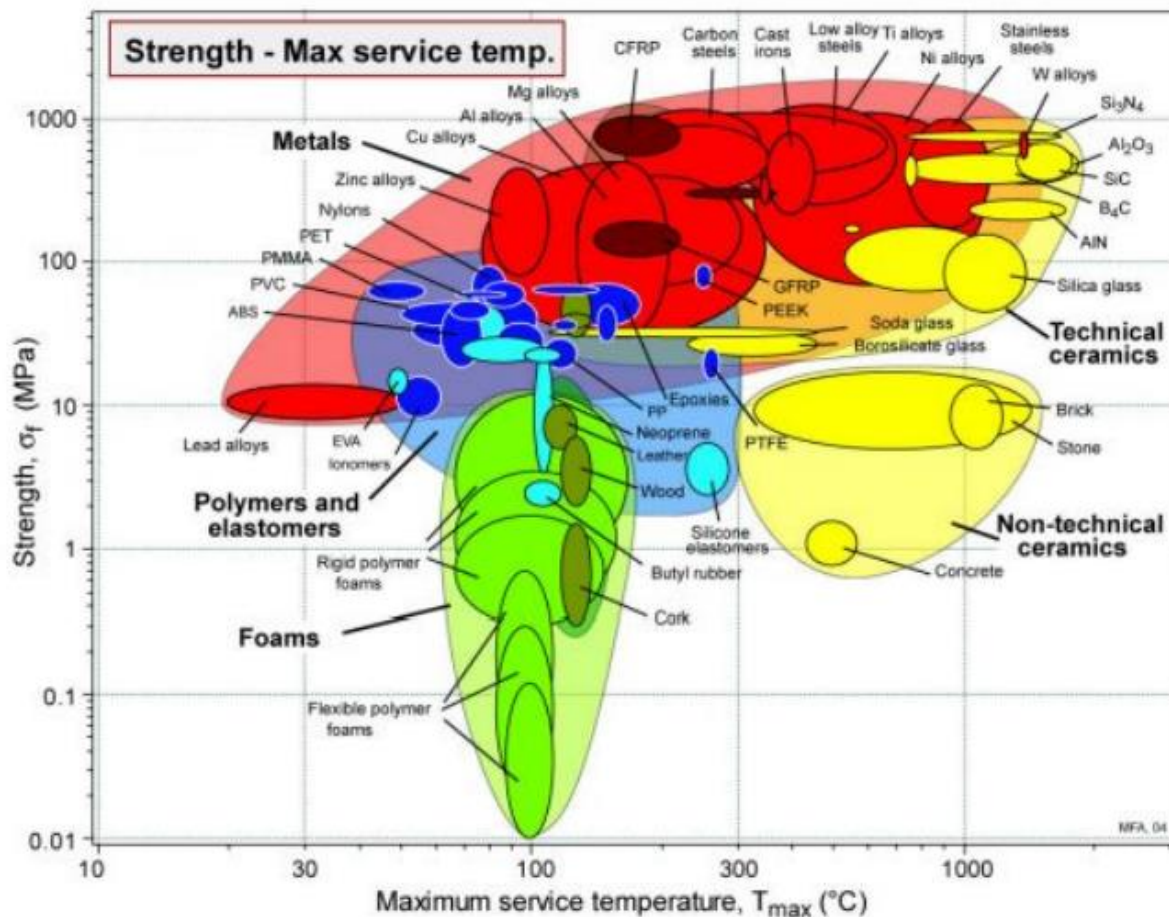


材料考虑

❄️ 换热器材料考虑

在进行换热器设计时，换热器各种零部件的材料，应该根据设备的操作压力、操作温度，流体的腐蚀性以及对材料的制造工艺性能等的要求来选取。当然，还要考虑材料的经济合理性。一般为了满足设备的操作压力和操作温度，即从设备的强度或刚度的角度来考虑，是比较容易达到的。但是材料的耐腐蚀性能，有时候是复杂的挑战，选材不妥，不仅会影响换热器的寿命，还会提高设备成本。

❄️ 材料温度与强度



散热片材质是指散热片所使用的具体材料。每种材料其导热性能是不同的，按导热性能从高到低排列，分别是银，铜，铝，钢。不过如果用银来作散热片会太昂贵，故最好的方案为采用铜质。虽然铝便宜得多，但显然导热性就不如铜好（大约只有铜的百分之五十多点）。常用的散热片材质是铜和铝合金，二者各有其优缺点。铜的导热性好，但价格较贵，加工难度较高，重量过大（很多纯铜散热器都超过了CPU对重量的限制），热容量较小，而且容易氧化。而纯铝太软，不能直接使用，都是使用的铝合金才能提供足够的硬度，铝合金的优点是价格低廉，重量轻，但导热性比铜就要差很多。有些散热器就各取所长，在铝合金散热器底座上嵌入一片铜板。对于普通用户而言，用铝材散热片已经足以达到散热需求了。

Property		Silicon Carbide	Inconel 718	Haynes 214	Inconel 601	SS304
可3D打印性	Printability	2	5	1	4	4
	Density	5	2	2	2	3
密度	Thermal conductivity	5	2	4	2	3
导热系数	Expansivity	5	3	2	2	1
膨胀	Yield Strength	4	5	3	2	1
屈服强度	Ductility	1	4	3	4	5
延展性	Oxidation resistance	5	3	4	2	1
抗氧化性	Corrosion resistance	5	3	4	2	1
耐腐蚀性能	Creep & rupture strengths	5	4	2	2	1
蠕变和破裂强度	Fatigue	4	3	5	3	2
疲劳	Sustainability	1	4	3	4	5
可持续性	Cost	1	2	3	4	5
Total		273	264	243	226	223

后处理考虑



虽然3D打印的散热片可以蕴含更优越的内部结构，但一直存在一个细微的问题难以解决：金属3D打印的合金组织成分与传统方式制造的合金组织成分是不一样的，正是这些细微的差异，3D打印的散热片可能导致不利的热效应。

田纳西大学与美国橡树岭国家实验室的科学家们最近专注于3D打印铝（A1_AM）散热器性能与传统制造铝散热器（A1_6061）性能的比较研究。

3D打印合金成分由10%的硅和0.5%的镁组成，而传统的铝合金中含有小于1%的硅和1.5%的镁。虽然3D打印和传统工艺制造的散热器在高温下的热性能是相似的，但在低温下，3D打印的散热器表现较差，在较低的温度下（70°C），由于两种合金之间的微观结构的差异导致了10%的性能差异。这使得3D打印的合金整体性能不如传统工艺制造的合金。

田纳西大学通过采用一个简单的退火工艺，使得3D打印的合金上升到与传统工艺制造的散热器类似的性能水平。退火的过程包括在高温下加热3D打印的散热器，然后让它慢慢冷却。用来去除材料的内部应力，使其更硬，更不易碎。经过高温退火的3D打印散热器的性能变得相当于传统方法制造的散热器性能。

Resource:

<http://www.51shape.com/?p=6593>

敬请关注3D科学谷微信公众号，或参考3D科学谷出版物（京东、当当有售）



《3D打印与工业制造》
京东售书链接



3D科学谷官方网站



3D科学谷微信公众号



3D科学谷三千人QQ群



3D科学谷系列白皮书



特别感谢对本白皮书制作的赞助支持：



铂力特官方网站



汉邦官方网站



- 本书中包含的数据、部分内容来源于网络或其他公开资料，版权归原作者所有。任何以盈利为目的使用，所产生的后果由使用者自己承担。
- 本书中所有引用的数据都已标明出处，如任何个人或单位认为内容存在侵权之处，请及时与我们联系，3D科学谷将及时给予处理。
- 3D科学谷力求内容的严谨性，但限于时间和人力因素，书中难免有不足之处，如存在失误、失实，敬请您不吝赐教、指正。我们热忱欢迎各界专业人士免费加入3D科学谷交流平台。
- 本书内容仅作交流学习之用，不构成任何投资建议，请读者仅供参考。