

板式换热器板片损坏原因分析

楼滢 胡毅

(杭州汽轮辅机有限公司 浙江 杭州 310012)

摘要: 板式换热器因其具有结构紧凑、体积小、传热强度高的特点,在航空领域受到广泛关注,成为近年来发展最为迅速的热交换设备之一。航空器对机载设备的重量及体积尺寸有着严格的限制,机载设备设计的成功与否,直接关系到飞机的性能和质量。这就要求在换热器的设计过程中,既要充分保证换热效果,还需要有更小的体积和重量。换热器的结构设计优化问题通常存在众多的设计变量、约束条件和优化目标,它们之间往往相互耦合,必须作为一个整体加以考虑。传统的设计过程是一个繁琐、复杂且需要反复迭代改进的过程,现代计算机技术和遗传算法的发展为解决这一问题提供了强有力的保障,可较完美地解决换热器的优化设计问题。

关键词: 板式换热器;板片;损坏原因;分析

0 引言

现如今,板式换热器已经广泛应用于各种制冷站中,尤其在区域供冷能源站中,板式换热器是不可或缺的换热设备,中央空调系统的能效运行情况很大程度上取决于板式换热器系统的换热效果。对于区域集中供冷系统,冷冻水系统存在输送距离远、热容量大、惰性大、温度反应慢的特点,为此,可以建立区域能源站用户侧板式换热器系统的模型,对变频器、调节阀、板式换热器、末端、控制器等设备进行调试。同时结合 DeST 软件建立了区域能源站建筑末端负荷模型,模拟了板换间运行参数的动态变化过程,分别讨论了不同负荷、调节阀 PID 参数对板式换热器一次侧和二次侧水温的影响。这对运用到板式换热器的实际工程运行调节具有重要的指导意义。

1 板式热交换器的特点

(1) 传热系数高和金属消耗少,使其传热有效度可达 85% ~ 90% 以上。(2) 适应性大。可通过增减板片达到所需要的传热面积。(3) 结构紧凑,体积小,耗材少。(4) 制作方便,易于拆洗、修理。(5) 价格低廉。(6) 单位长度的压力损失大。(7) 易结垢,易阻塞。(8) 使用温度受垫片材料耐温性能的限制。(9) 适用于水-水小温差。

2 板式换热器板片损坏原因分析

在板式换热器运行过程中,换热器水循环可造成板片各部位产生作用应力,尤其是在一次循环水进水侧人字形沟槽的右侧沟槽弧形凸棱边缘与胶垫边缘对应部位作用应力较大。同时胶垫边缘对应部位、凸棱边缘可以形成缝隙腐蚀环境,这是因为两块金属表面或是在一块金属表面与另一块非金属表面之间的连接处或接触部位的缝隙,都会提供有助于产生称之为缝隙腐蚀的浓差电池腐蚀条件。而在供给水中溶解的固体大多数都存在有含铁、钙、钠等阳离子的化合物,常见的阴离子是碳酸根、硫酸根等。当温度较高时,这些离子化合物从溶液中析出形成沉积物,系统中的供给水是经过相关处理的,加入的相关物质可能集中到这些空隙中,造成供水中腐蚀环境。试验分析结论已证实系统水中存在较高 Na 离子及 S 离子,可能形成腐蚀环境;加之基体材料中在奥氏体

基体上析出 α -相铁素体,腐蚀倾向增加,吸附金属离子能力加强。三种因素联合作用很容易在一次循环水进水侧人字形沟槽的右侧沟槽弧形凸棱边缘与胶垫边缘对应部位产生缝隙腐蚀开裂,并在应力作用下产生腐蚀疲劳而快速扩展,严重者最终形成孔隙性穿孔。大部分不规则圆形空洞属快速点蚀破坏,产生的主要原因是板片材料中 α -相铁素体存在,铁素体和奥氏体的电位不同,容易形成微电池,显著增加点蚀倾向,在介质环境中具有的 Na、S 离子和应力共同作用时,产生区域性浓度差异而形成电化学电池,结果在较小的阳极区上腐蚀速率总是高的,腐蚀优先往深处扩展,从而形成快速点蚀凹坑。有时,即使受腐蚀影响的全部区域的腐蚀情况相当轻微,腐蚀区域也可能完全被穿透,最终形成宏观空洞。

3 防止板式换热器板片损坏措施

3.1 优化换热器的结构设计和性能

国内外学者开展了很多研究。利用 Fluent 有限元仿真方法得到了不同几何参数下摩擦因子 f 和努赛尔数 Nu 的关系式,并且利用模拟得到的局部性质参数提出了局部节距平均努赛尔数关联式。他们证明了该公式的准确性,进一步提出了考虑换热器尺寸、压降和成本的设计方法。利用数值模拟的方法得到了换热性能随着通道尺寸的增加而单调递减,通道的截面形状对换热性能没有显著影响,各通道之间的间距几乎不影响 PCHE 换热性能的结论。对 PCHE 的几何尺寸进行了理论分析,并且与 FLUENT 软件的计算结果对比,验证了该计算模型的可靠性,证实了几何尺寸对换热效率和压降具有显著影响。采用实验研究的方法,研究流动摩擦因子和泊肃叶数随雷诺数和宽高比的变化趋势,并且进一步拟合了宽高比对换热特性影响的经验关系式。利用 FLUENT 软件得到了板式换热器的最优参数,在水侧换热和压降性能最佳时,综合传热因子达到了最大值。研究了氢/氦微流道板式换热器,基于对数平均温差法建立了换热器的数学模型,得到了尺寸参数对换热器传热性能的影响,采用人工鱼群算法优化了换热器的设计参数。通过 FLUENT 仿真,研究了微米级 PCHE 的热工水力结构特性,并且以氢气和氦气用作工作流体,不

锈钢 316 用作固体基底。研究了通道深宽比对传热性能的影响,他们认为 $w/h=2$ 矩形通道实现了最平衡的应力特性和更高的热工水力性能。利用多目标遗传算法,以温度和压力作为评估 PCHE 性能的目标参数,通过研究流道结构的长宽高与目标参数之间的关系得到 PCHE 内部结构的最优解。另外,还可以优化参数,换热器的设计参数很多,芯体作为换热器的核心和主要换热部分,其外形尺寸应作为优化变量。在板翅式换热器中主要是靠翅片和隔板来完成换热过程,其组成的通道能扩大换热面积、强化换热能力,翅片相关参数的设计对换热器性能的影响较为关键,故应将翅片相关参数作为优化的变量。翅片相关参数中,翅片厚度、侧板厚度及隔板厚度均非独立参数,它们的数值可根据工作压力、翅片高度、翅片间距及强度校核要求进行关联计算,进而得到相应优化结果。

3.2 板式换热器通道布局优化设计

板式换热器由封头、导流片及多层片等组成。换热器设计是一个进行封头入口段流动分析和多层片组成的换热区域热力学设计的综合过程。通过入口段结构与流动的关联分析确定的封头出口流动不均匀性,会导致进入换热区域的冷流体的流动分布不均匀,对换热区域的通道布局优化和片结构优化设计产生严重的恶化影响。为了改善封头入口段流动不均匀性,国内外研究学者在传统瓜皮式封头结构的基础上,提出了一系列改进封头结构。构建了带隔板的多种封头结构,进行了理想和实际工况下的压降分析计算。一种新型导流翼封头结构,通过仿真优化确定流动均匀性最好的结构参数为导流翼角 70° 、翼片顶端安装距离 6mm 。另外还有一种“先分配,后混合”的气液两相分配封头,数值模拟结果显示新封头结构使流动不均匀度下降了一个数量级。虽然这些改进封头结构减少了封头出口流动不均匀性,但无法彻底消除封头流动不均匀性,在换热区域的设计中仍需考虑封头流动不均匀性的影响。通过通道布局优化设计,部分补偿了板式换热器由于入口流量分布不均而引起的换热性能下降。建立了基于积分平均温差的热力学计算模型,采用混合粒子群算法对入口流量分布不均匀情况下的通道布局进行了优化设计。分析了不同封头结构下的热补偿效果。结果表明,入口质量流量的平均值越低,入口质量流量不均匀性越严重,通道布局优化的热补偿效果越明显;随着入口质量流量标准差的提高,入口质量流量不均匀性越严重,通道布局优化设计的热补偿效果越明显。

3.3 基于多目标进化算法的板式换热器优化

多目标进化算法(Multi-objective Evolutionary Algorithms, MOEA)是在遗传算法的基础上发展起来的一种全局性启发式的概率优化搜索算法。多目标优化方法与单目标优化方法存在本质差异,由于存在多个目标,这些目标一般不会同时达到最优,因此通常不存在唯一最优解,只存在可接受的非劣解集,即 Pareto 最优解集。采用的单参考向量系多目标进化算法以 MOEA 为基础,使用改进型 Latin 超立方样本生成技术,随机产生第一代分布特性良好的初始种群,

再通过分析评估种群个体在目标空间中的分布特性和适应度,建立 Utopia 参考系以及一组均匀分布的方向向量,采用精英保存策略、适度分配机制以及具有局部探索能力的优化算子等关键技术,对种群执行选择、交叉和变异等进化操作,使种群围绕方向向量开展高效搜索,使得种群中个体的适应度不断提高,并逐步向 Pareto 阵面逼近,最终获取收敛性和多样性均良好的 Pareto 最优解集。(1)在给定换热器尺寸限制及约束条件下,以质量和效率为目标函数,建立了换热器优化模型,运用多目标进化算法对换热器进行了结构参数优化设计,得到了该优化问题的 Pareto 最优前沿,并根据工程实际选择了最佳结构参数设计方案,达到了换热器结构优化设计的预期。(2)将单参考向量系多目标进化算法技术应用于换热器结构优化,有效避免了传统单目标优化方法考虑不全面的问题,有助于提高优化效率,保证了优化结果解集的完整性,在工程化应用方面,有实际的参考意义。(3)所应用的优化算法具有通用性,可为其他类型换热器的结构优化问题提供借鉴。

4 结语

目前设备采购普遍存在及碰到的问题:图纸上仅能反映设备的性能参数,设计单位往往注重的是系统的合理性而对设备的制造认识不足,而有的建设单位在专业人员不到位的情况下单单看商务价格而忽略了产品的差异,进而出现在实际招投标过程中由于没有明确设备的各部分构造材质及应达到的标准而出现各投标单位不在统一平台上投标,最终导致对一些设备厂商的显失公平(比如材质不同),甚至造成建设单位的经济损失。设备技术参数和材质等技术文件的条款明确是招投标过程中的一个重要环节,建议务必在招标前或者投标过程中通过答疑的方式进行明确。各项目根据上述指导建议选择适合自己的产品,同等条件下建议选择信誉好制造工艺精密的品牌厂家。

参考文献:

- [1] 王林文,姬克丹,赵宏,杜世聪.长输热网系统大型板式换热器阵列运行与维护探析[J].区域供热,2020,(05):12-20+27.
- [2] 李大瑞,张国栋.改善板式换热器系统压降常用方法[J].节能与环保,2020,(10):55-56.
- [3] 程晓峰,张耀,万兴.板式换热器的结构设计与优化[J].节能,2020,39(09):81-84.
- [4] 邓杰文,何适,魏庆,郝志刚,张辉.公共建筑空调系统运行调适方法研究(2):二级泵多级板式换热器水系统[J].暖通空调,2019,49(11):87-93+124.
- [5] 杨艳霞,马晴婵,左玉清.人字形板式换热器流道传热特性及参数优化[J].农业工程学报,2019,35(21):210-215.
- [6] 韦国新,纪震.板式换热器在船舶轮机中的应用分析[J].船舶物资与市场,2019,(08):55-56.
- [7] 李凡,陈鑫,张子琛,张晓玟.板式换热器的性能仿真[J].河北建筑工程学院学报,2018,36(04):66-68+79.
- [8] 张姜红,刘功祥.基于有限元模拟的板式换热器结构应力分析[J].化工装备技术,2018,39(06):25-27.