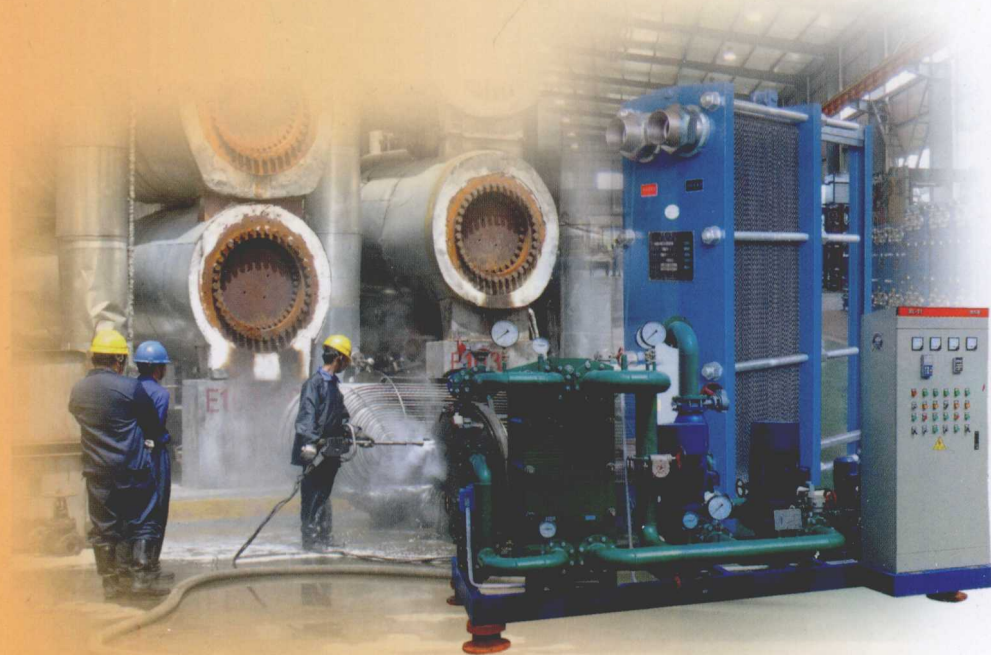


高职高专教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOCAI

换热设备运行、维护与检修

朱晏萱 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专教材

换热设备运行、维护与检修

朱晏萱 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以提高化工设备维修技术专业学生的专业能力及职业岗位技能为目的, 为培养学生对换热设备的维护与检修能力而编写的。全书共分七章, 主要内容为换热设备概述, 换热设备的基本运行、维护, 管壳式换热器的拆装, 换热器的清洗及常见故障处理, 管壳式换热器的试压以及对一些其他型式换热器的了解认识。

本书可以作为高职院校三年制和五年一贯制化工设备维修技术专业学生的学习教材, 也可以供相近专业选用和有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

换热设备运行、维护与检修/朱晏萱主编.

北京: 石油工业出版社, 2012. 4

(高职高专教材)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 8969 - 3

I. 换…

II. 朱…

III. 换热设备 - 高等职业教育 - 教材

IV. TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 042695 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64240656 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 6

字数: 112 千字

定价: 15.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

根据全国机械职业教育专业教学指导委员会关于“深化高等职业技术教育人才的改革，加强高职教材建设”的精神，结合学院特色，同时配合我院示范专业建设，发挥学院优势，以提高化工设备维修技术专业学生的专业能力及就业岗位技能为目的，培养学生对换热设备的维护与检修能力，开设《换热设备运行、维护与检修》课程。本课程内容的选取坚持职业教育目标，以“必需、够用”为度，适当选取教学内容，具有理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽等特点。我们以“应用”为主旨和特征构建课程和教学内容体系，突出实用性、实践性的原则重组课程结构，编制教学内容，使本课程对化工设备维修技术专业教学更具有针对性和实用性。为此，我们组织校内专业教师与企业专家共同探讨，结合换热设备现场工作情况，编制《换热设备运行、维护与检修》课程的配套教材。教材内容紧紧扣住学生对换热设备现场维护与检修的岗位职业能力来阐述，将必需的理论知识点融于能力培养过程中，注重实践教学、注重操作技能的培养。

本教材第一、第三、第四章由克拉玛依职业技术学院朱晏萱编写，第二、第六章由李继霞编写，第五、第七章由毕启玲编写，全书由朱晏萱统稿。在教材编写及审定过程中，得到了独山子石化公司炼油厂副总工程师吴生辉的现场指导，以及我院机械工程系各位领导和同事的大力支持与热情帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者能力有限，缺点错误在所难免，望大家批评指正。

编者

2011 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 换热设备的运行、维护	6
第一节 换热设备的运行	6
第二节 换热设备的维护	9
第三章 管壳式换热器的拆装	14
第一节 管壳式换热器的工作原理及结构认识	14
第二节 管壳式换热器的拆卸、检查	32
第三节 管壳式换热器的安装	39
第四章 换热器的清洗	43
第一节 各种清洗方法的认识	43
第二节 管程、壳程的清洗	54
第五章 换热器常见故障处理	58
第一节 法兰处密封泄漏的处理	58
第二节 传热效果差的处理	70
第六章 管壳式换热器的试压	74
第一节 压力试验基础知识	74
第二节 换热器试压过程	81
第七章 其他型式换热器	86
第一节 管式换热器	86
第二节 板面式换热器	87
参考文献	91

第一章 绪 论

【学习目标】

知识目标：了解换热设备在工业中的应用；掌握换热设备的分类及特性；了解我国换热设备的发展趋势。

一、换热设备的应用

换热设备是石油、化工生产中应用最普遍的单元设备之一。它在生产中用来实现热量的传递，使热量由高温流体传给低温流体。同时换热设备也是动力、医药以及冶金等工业部门中广泛使用的节能设备。一般，在炼油、化工装置中，换热器占设备数量的40%左右，占总投资的30%~45%。

随着环境保护要求的提高，近年来加氢装置的需求越来越多，如加氢裂化，汽油、柴油加氢和润滑油加氢等，所需的高温、高压换热设备的数量随之加大。在这些场合，换热设备通常占总投资的50%以上。

换热设备也是回收余热、废热，特别是低位热能的有效装置。例如，烟道气（约200~300℃）、高炉炉气（约1500℃）、需要冷却的化学反应工艺气（约300~1000℃）等的余热，通过余热锅炉可生产压力蒸汽，作为供热、供电和动力的辅助能源，从而提高热能的总利用率，降低燃料消耗和电耗，提高工业生产的经济效益。

进入20世纪90年代以来，随着装置大型化的发展要求，换热设备也随之大型化。如 66×10^4 t/a 乙烯装置、 800×10^4 t/a 常减压蒸馏装置、 350×10^4 t/a 重油催化裂化装置中的换热设备随之加大。在国外，管壳式换热设备的最大直径已达到 $\phi 4650$ mm，国内已达到 $\phi 3200$ mm，传热面积达到7000 m²，质量达到260 t。

为了使换热设备高效经济地运行，更好地服务于生产，一台完善的换热设备，除了满足特定的工艺条件外，还应满足以下基本要求：

- (1) 传热效率高，传热面积大，流体阻力小，满足工艺条件；
- (2) 作为压力容器，换热设备应有足够的强度、刚度、稳定性，运行安全可靠；
- (3) 保证结构合理，制造、维修方便，操作简单；
- (4) 成本较低，经济合理。

二、换热设备的分类

1. 按工艺过程或热量回收用途分类

- (1) 冷却器，冷却工艺物流的设备。冷却剂一般多采用水。若冷却温度低时，可采用氨或者氟利昂作为冷却剂。
- (2) 加热器，加热工艺物流的设备。一般多采用水蒸气作为加热介质，温度要求高时可采用导热油、熔盐等作为加热介质。
- (3) 再沸器，用于蒸馏塔底蒸发物料的设备。
- (4) 冷凝器，蒸馏塔顶物流的冷凝或者反应器的冷凝循环回流的设备。
- (5) 蒸发器，专门用于蒸发溶液中的水分或溶剂的设备。
- (6) 过热器，对饱和蒸汽再加热升温的设备。
- (7) 废热锅炉，从高温物流或废气中回收其热量来加热水而产生蒸汽的设备。

2. 按传热方式分类

1) 直接接触式换热器

直接接触式换热器如图 1-1 所示，是通过冷、热两种流体直接接触，在相互混合过程中进行热量交换的设备，也称为混合式换热器，如冷却塔、气压冷凝器及传质、传热的塔设备等。直接接触式换热器的优点是设备结构简单，传热效率高，单位体积的传热面积大，成本低，但只适用于允许两流体混合的场合。

2) 蓄热式换热器

蓄热式换热器利用冷热两种流体交替通过换热器内的一种固体填料（蓄热体）的表面而进行热量传递，见图 1-2。当热流体通过时，把热量传给换热器内的蓄热体，待冷流体通过时，将积蓄的热量带走。由于冷、热流体交替通过同一通道，不可避免地会有两种流体的少量混合。因此，不能用于两流体不允许混合的场合，并且必须成对使用，使生产得以连续进行。

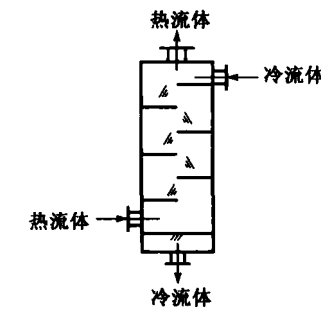


图 1-1 直接接触式换热器

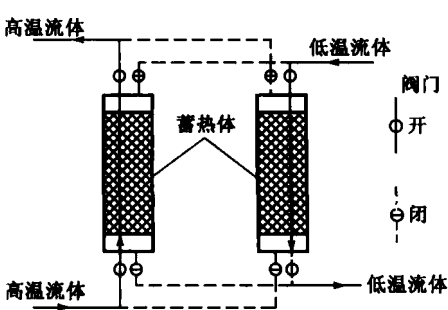


图 1-2 蓄热式换热器

蓄热式换热器设备结构简单，价格便宜，单位体积的传热面积大，因此比较适合于气—气热交换的场合。

3) 间壁式换热器

间壁式换热器是利用间壁将冷流体和热流体隔开，互不接触，通过固定壁面（传热面）进行热量传递。间壁式换热器的特点是能将冷、热两种流体截然分开，适应了生产的要求，故应用最为广泛。

间壁式换热器按传热面形状和结构可分为管壳式换热器、板式换热器和其他型式的换热器。其中以管壳式和板面式最常见，具体分类及特性见表 1-1。

表 1-1 间壁式换热器的分类及特性

分 类	名 称	特 性
管壳式	固定管板式	使用广泛，已系列化；壳程不易清洗，管壳两物液温差大于 60℃ 时应设膨胀节，最大使用温差不应大于 120℃
	浮头式	壳程易清洗；管壳两物料温差可大于 120℃；内垫片易渗漏
	填料函式	优缺点同浮头式；造价高，不宜制造大直径
	U 形管式	制造、安装方便，造价较低，管程耐高压；但结构不紧凑、管子不易更换且不易机械清洗
板面式	板翅式	紧凑、效率高，可多股物料同时热交换，使用温度不大于 150℃
	螺旋板式	制造简单、紧凑，可用于带颗粒物料，温位利用好；不易检修
	伞板式	制造简单、紧凑、成本低、易清洗，使用压力不大于 1.2MPa，使用温度不大于 150℃
	板壳式	结构紧凑、传热好、成本低、压降小，较难制造
	板面式	结构紧凑，传热效率高，便于组装和拆卸，清洗、除垢方便；适用于温差和压力都不大的场合
管式	蛇管式	结构简单，造价低廉，操作敏感性较小，由于管外物体流速很小，因而传热系数小，传热效率低，设备显得笨重
	套管式	制造方便、不易堵塞，耗金属多，使用面积不宜大于 20m ²
其他型式	波纹板式	紧凑、效率高、易清洗，使用温度不大于 150℃，使用压力不大于 1.5MPa
	热管式	高导热性，热流密度大，制造要求高

三、我国换热设备的进展与发展

(1) 提高换热器制造水平，大力采用新技术、新工艺。例如，南京工业大学在化工设备及换热器快速创型和制造方面取得了很大进展，尤其是在开展高温板翅式换热器方面。

(2) 迫切需要发展新材料。管壳式换热器是一个量大而且品种繁多的产品。随着工业及国防工业技术的不断发展，换热器操作条件日趋苛刻，迫切需要新的耐磨损、

耐腐蚀、高强度材料。近年来,我国在发展不锈钢、钢合金、复合材料、铝镁合金及碳化硅等材料方面都有所进展,其中尤以钛材发展较快。目前一些制造单位已经较好地掌握了钛材的加工制造技术。对材料的喷涂,我国已从国外引进生产线。铝镁合金具有较高的抗腐蚀性和导热性,价格比钛材便宜,我国也有一定研究开发。

(3) 重视对钢板预处理工艺水平。对钢材表面进行预处理,是提高产品质量的重要环节,国外 20 世纪 70 年代就已建成了钢材预处理生产流水线。经试验证明,除锈质量的好坏直接影响钢材腐蚀速度,不同的除锈方法,对钢材的保护寿命也不同。如抛丸和喷丸除锈后涂漆的钢板比自然风化后经风动钢丝刷除锈涂漆的钢板要耐腐蚀,寿命长 5 倍。此外,钢板表面氧化皮,对腐蚀速度影响也很大。锈层还影响环境卫生,容易造成数控切割和光电切割机的割嘴堵塞。

(4) 管板加工制造技术。管壳式换热器中加工量最大的是管板,由于管板管孔多而密集、切削量大、精度要求高等特点,所以成为制造中的关键。石油化工设备的大型化,使得管板的加工显得更为重要。今以国外某公司加工的 $\phi 4800\text{mm} \times 600\text{mm}$ 的管板(管孔 19mm,孔数 22000 个)为例,来说明机械加工技术的发展:1959 年双轴钻床加工周期为 20 周,1969 年二轴钻床(BIA 钻头)加工周期为 11 周,1975 年五轴钻床加工周期为 3 周,20 年中效率提高了约 6 倍。我国 20 世纪 70 年代末采用数控技术,有条件的厂还可配备各种加工中心和组织柔性自动化制造系统。在山东一家致力于数控机床研发、生产的厂家,自从 2003 年研制成功第 1 台超大型数控钻床 PD4040M4 以来,技术日臻成熟,已经生产了几十台超大型数控钻床。这种数控钻床,大大提高了加工精度和生产效率。彻底消除了在整个生产过程中管板加工的瓶颈。

(5) 焊接工艺。工业发达国家在焊接自动化方面是突飞猛进,随之出现了诸如多功能自动化、集成自动化、焊接专家系统等高技术。目前,管壳式换热器管子与管板的连接主要有:①焊接法,全自动钨极惰性气体焊、惰性气体保护金属极电弧焊、电子束焊接、爆炸焊;②胀接法,爆炸胀、软胶胀、液压胀等。我国焊接技术也有较快发展,如钨极惰性气体焊、惰性气体保护金属极电弧焊、内孔焊、爆炸焊、旋转氩弧焊等,都已得到应用;胀管中的爆炸胀、橡胶胀、液压胀都已有成功的经验,有些设备像旋转氩弧焊已国产化,焊缝自动跟踪等也早有引进。

(6) 紧凑式换热器的研究。紧凑式换热器包括板翅式、板式、螺旋板式以及板壳式等换热器,它们具有优异的性能,在采用多流道布置后,其优越性更为显著。在紧凑式换热器的研究方面,国内外均有很大进步,中国通用机械研究院有限公司(原合肥通用机械研究所)等对螺旋板式换热器的研究取得了很大成绩。板式换热器需要改进密封结构,增强板片的刚度,研究新的垫片材料以提高操作温度和操作压力,这是

其今后发展的重点。板壳式换热器由于从结构上解决了耐温、抗压和高效之间的矛盾，已得到初步应用。由兰州石油机械研究所研制的大型板壳式换热器最大面积已达到 $3000\text{m}^2/\text{台}$ ，用于工业装置中取得良好的效果。

(7) 管壳式热交换器挡板结构的改善。为了提高壳程的传热膜系数，增加介质的湍流性，防止介质走短路，华南理工大学、兰州石油机械研究所和洛阳石化工程公司等开发了折流杆结构和空心环结构以及螺旋折流板，取得了可喜的成果，已在生产中广泛应用。壳程的传热膜系数，对热交换器总传热系数的提高较大。一般热交换器的壳程传热膜系数由于介质流速低，湍流形成困难等，其数值不高，折流杆结构与纵向流的壳程强化技术可以减少热交换器的传热面积，降低压降和热交换器的吨位。华南理工大学化机所与大庆石化机械厂合作，开始开发扭曲管和异型管等混合管束。

(8) 防垢涂层。为了避免管内外表面污垢的生成，在传热管的内外表面上涂以涂料层，可以起到抗垢的作用，这样就可以使传热管的内外表面具有较低的热阻。目前，涂层的使用温度不高，南京第二化工机械厂在研究开发耐高温涂料方面做了不少工作。

(9) 换热设备防腐领域的研究。近年来在热交换器耐腐蚀领域的研究、设计方面也取得了较为令人满意的结果，解决了不少生产中的难点。具体来说，有热交换器阳极保护技术，采用石墨、聚四氟乙烯、搪玻璃等制成热交换器，也可采用高合金含量的耐腐钢种；但由于投资高等原因，推广应用的难度较大。

(10) 研究新型强化传热技术。当前我国开发的强化传热技术，都是采用被动（无源）型强化传热；近年来，国外在主动（有源）型强化传热电流体动力技术强化无相变和有相变传热冷凝、沸腾，进展很大。我国上海理工大学亦开展了研究，华南理工大学化机所还开展了电磁强化传热研究，均取得一定进展。

(11) 进一步开展数值传热技术的研究。上述的强化传热技术都是从宏观方面进行探索，今后应多开展数值传热和流体力学方面的研究。从微观上探索管程、壳程的奥秘，国外进展很快，目前我国各高校均已普遍开展这一工作，如北京化工大学、西安交通大学等。最近西安交通大学在板翅式换热器进口封头上的数值分析，改善了进口流体分配，大大提高了传热效率并降低了流动阻力，这也是一例。

思 考 题

1. 换热设备如何分类？它们分别应用于哪些场合？
2. 换热设备的研究进展如何？

第二章 换热设备的运行、维护

第一节 换热设备的运行

【学习目标】

知识目标：①了解换热设备的运行过程；②掌握换热设备日常检查内容；③掌握换热设备的各种防护措施。

技能目标：能够对换热器的运行情况进行检查。

换热设备的运行使用包括开工和日常检查两大部分。

一、换热设备开工

换热设备开工指装置开工过程中换热器必须完成的工作程序或达到装置开工条件对换热器的必备要求。

换热设备基本开工程序：升温—螺栓预紧—置换空气—冷却器水侧预膜处理。

1. 升温

使换热器达到装置所要求的基本温度，一般使用蒸汽作为预热的热载体。加热初期排气阀应打开，有蒸汽泄出后关闭。疏水器应保持在良好状态，及时排出凝水。升温应逐渐地进行，使加热速度不超过 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，并保证长度方向的温度梯度不大于 $30.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

2. 螺栓预紧

为确保介质在运行过程中不发生泄漏，要求对换热器主密封面螺栓逐根进行热紧，消除螺栓热膨胀可能造成的压紧力下降。

在螺栓连接中，采用设计合理的预紧碟簧，可有效防止由于螺栓热膨胀造成的压紧力下降。一般可免除热紧。

3. 置换空气

对要求隔绝空气的装置，需用氮气置换空气，换热设备放空点氮气含量达到 95% 为合格。

4. 冷却器水侧预膜处理

为保证换热器在循环冷却水系统中能长期、正常、稳定地运行，必须在投入运行前进行预处理。预处理包括清洗和预膜两项工作。

1) 系统的清洗

清洗的目的是清除循环水系统中的铁锈、无机盐垢、沉淀物、生物粘泥等污垢，使换热器及其他设备有洁净和新鲜的金属表面，从而提高换热效率，并为设备的预膜创造条件。清洗应在开车前进行，以便清洗结束后，对清洗好的新鲜金属表面预膜处理，预膜结束后立即投入正常运行。清洗有机械清洗和化学清洗两种方法，最好结合使用。机械清洗可以节约清洗药剂的费用并减轻排污的数量，而化学清洗则可除去腐蚀产物和硬垢，以及清净机械方法无法清洗的部位。

2) 预膜

预膜的目的是用预膜剂在洁净的金属表面上预先生成一层薄而致密的保护膜，使设备在运行中不被腐蚀，预膜过程应在清洗结束后立即开始。

二、日常检查

日常检查是及早发现和处理突发性故障的重要手段。检查内容：运行异声、压力、温度、流量、泄漏、介质、基础支架、保温层、振动、仪表灵敏度，等等。

1. 温度

温度是换热器运行中主要的操作指标，测定及检查换热器中各流体的进、出口温度计变化，可以分析判断介质流量的大小及换热情况的好坏。传热效率主要表现在传热系统上，传热系统系数降低，换热器的效率也降低，通常传热系数在短时间变化较小，发生变化时会连续下降，定期测量换热器两种介质的出入口温度、流量，计算传热系数作记录图表，作为判断传热系数变化的依据。若低于某一定值，则应清洗管束以提高传热系数，保证一定的传热效率。

要防止温度的急剧变化，因温度剧变会造成换热器内件，特别是管束与管板的膨胀和收缩不一致，产生温差应力，从而引起管束与管板脱离或局部变形及裂缝，还会加快腐蚀及产生热疲劳裂纹。

用水作为冷却介质时，水的出口温度最好在 38℃ 以下，因为超过 38℃，微生物的繁殖加速，腐蚀生产物的分解也加快，引起管子腐蚀穿孔，同时结垢情况会加重，故出口温度最大不能超过 45℃。

2. 压力

通过对流体压力及进出口压差的测定与检查，可判断换热器内部结垢、堵塞情况及流体流量大小或泄漏情况。高压流体往低压流体中泄漏，使低压流体压力很快上升，甚至超压，并可能产生各种不良后果，对运行中的高压换热器应特别警惕这一点。

操作中若发现压力骤变，除检查换热器本身问题以外，还应考虑系统内部其他因素的影响，如系统阀门损坏及输送流体的机械发生故障，等等。

3. 泄漏

换热器在运行中产生外漏是较容易发现的。对低毒介质轻微的气体外漏，可以直接抹上肥皂水或发泡剂来检查，亦可借助试纸变色情况检查。检查换热器外壳体表面涂层的剥落污染情况，来预测壳体的泄漏，是低压换热器检查壳体外泄漏点的一种常用方法。对严禁泄漏的中高毒性介质，最常用的方法是在易泄漏口，如法兰、接管处涂对该毒性介质反应非常灵敏的涂料，有毒介质发生微小泄漏，涂料颜色即会发生明显的变化，以此可作出迅速判断，采取措施。

定期对壳体各连接处周围空气取样分析，也能判断泄漏及泄漏量的大小，此法不仅准确可靠，操作方便，而且对外部、内部泄漏都适用，并且实现自动分析、记录及报警。

内部泄漏，操作人员不易直接发现，但可从介质的温度、压力、流量、异声、振动及其异常现象来判断。例如，某一换热器管内是压力较高的气体，管间是压力较低的液体，当列管穿孔时，管内的气体窜到管间液体中，从液体压力表中马上会反映出压力上升和压力波动大。由于气体窜入液体，引起液体剧烈的翻腾，造成压力波动，用听音棒会发现壳体内有异常的响声。如有较多的泄漏，用手摸壳体和液体出口管，会有振动的感觉。

对于冷却器，可在冷却水出口处对低压介质管上装上取样接管，定期取样检查，判断有无被冷却介质混入。当被冷却介质是气体时，可在冷却水出口管道上部装积气报警器，以此检测泄漏。

对一般换热器（不使用冷却水），在出口处对低压介质定期取样，可知有无泄漏，试验项目根据两介质的特性选取，如色相、密度、粘度和成分等。

4. 振动

换热器内的流体一般有较高的流速，由于流体的脉冲和横向流动都会引起基础支架的振动，如支架结构，位置不合适或螺栓的松动、折断等都会使振动加剧。要求控

制振动偏差在 $250\mu\text{m}$ 以下，超过此值，则需要检查处理。

5. 保温

保温（保冷）层的损坏会直接影响换热器的传热效率，另外，由于保温（保冷）层一旦破损，在壳体外部就将积附水分，使壳体发生局部腐蚀，因此，发现保温（保冷）层破损应尽快修补，并且要采取措施，防止水分进入保温层内部。

第二节 换热设备的维护

【学习目标】

知识目标：①掌握换热设备的腐蚀分析与防护；②掌握换热设备产生振动的原因分析及防护。

技能目标：能够对换热器进行日常检查维护。

一、腐蚀分析与防护

1. 腐蚀特征

换热器的主要腐蚀部位是管子、管子与管板连接处及壳体。

1) 管子的腐蚀

管子的腐蚀有全面腐蚀与局部腐蚀两种。全面腐蚀减薄时，寿命可以预测，局部腐蚀减薄如图 2-1 所示。离管子入口端 $40 \sim 50\text{mm}$ 处的管端腐蚀最经常发生，这与入口介质的涡流磨损与腐蚀共存有关，管子内侧有遗物堆积或粘着也易产生点腐蚀。

2) 管子与管板连接处的腐蚀

腐蚀主要分布在管板边、管板孔与管子之间的缝隙区，对单纯的强度胀接，会产生应力腐蚀裂纹。

3) 壳体的腐蚀

壳体及其附件完全是焊接结构，因此焊缝及热影响区易发生腐蚀、裂纹，特别是

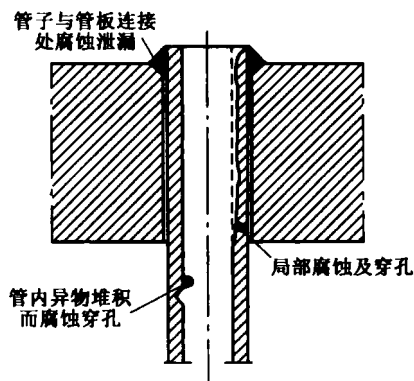


图 2-1 管板与管子连接、管内腐蚀示意图

处理腐蚀性介质时，由于焊接质量不好更容易发生。

当壳体材质与折流板材质的电解电位不同，折流板材质的电位高于壳体，且壳侧介质为电解质时，壳体内侧因此受电化学腐蚀，尤其当电解质是含离子化合物的水时腐蚀更剧烈。这种腐蚀易发生在卧式换热器的下部，如图 2-2 所示。

防止此类腐蚀的方法：

(1) 壳程为电解质时，应避免选用不同电解电位材质的折流板；

(2) 在已制成的换热器中有折流板对壳体的电化学腐蚀，要做到定期检查，折流板部分的壳体要重点检查；

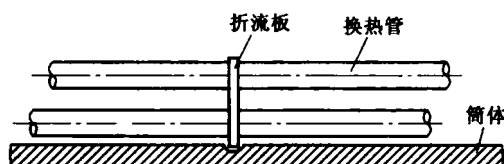


图 2-2 比筒体材料高电位折流板
对筒体的腐蚀示意图

(3) 对已造成的壳体减薄，检修时对减薄部分堆焊；

(4) 壳体外侧进行补强；

(5) 对必须采用高电位折流板的壳体内侧应作贴衬处理。

2. 防腐蚀措施

防止换热器腐蚀的最根本的方法是采用能耐介质腐蚀的金属和非金属材料，或采取有效的防腐蚀措施。

1) 金属隔离层

在换热器与腐蚀介质接触到表面，通过一定的方法覆盖上一层耐腐蚀性较强的金属或合金，隔绝腐蚀介质与换热器表面接触，常用的方法有衬里、金属堆焊、复合板、复合管和金属喷涂、渗金属等。

2) 涂料保护

在换热器与腐蚀介质接触的表面，通过一定的涂覆方法，覆盖上一层耐腐蚀的涂料保护层，以避免碳钢与腐蚀介质直接接触，这是一种最经济有效的方法。

对防腐涂料的要求有以下三点：

(1) 涂层要有较好的耐蚀性。涂料所形成的涂层，在接触各种酸、碱、盐、工业污水和污染大气等腐蚀介质时，应比较稳定，涂层既不能被腐蚀所溶解、溶胀或分解，也不能与介质起化学反应生成新的有害物质。

(2) 涂层要有较好的防渗性，涂层在接触渗透性较大的液体和气体介质时，能较好地阻止渗透；涂层的防渗性除涂料本身的品质外，涂层的层数和厚度，也是达到较好防渗性必要条件，必须达到规定的涂层和厚度。

(3) 涂层要有较好的附着力和柔韧性。不能因为换热器的振动或轻微变形就脱

落，并要求涂层有一定的机械强度。

(4) 涂层必须在运输、安装过程中保护好。

3) 电化学保护

采用阴极保护和阳极保护两种。阴极保护是利用外加直流电源，使金属表面变为阴极而达到保护的目。此法耗电量大，费用高，用得不多。阳极保护是把被保护的换热器接以外加电源的阳极，使金属表面生成钝化膜，从而得到保护。

3. 防止应力腐蚀措施

换热管的应力腐蚀多发生在管和管板焊接部位，以及管与折流板交界处。这些部位都有局部应力集中，在腐蚀介质状态条件下，易产生应力腐蚀，表现为焊接部位出现裂纹；管与管板间的间隙，易产生 Cl^- 的聚集及氧的浓差，从而容易在管表面形成点坑或缝隙腐蚀，使它成为 SCC（应力腐蚀开裂）的裂源。管子与折流板交界处，往往是由于管子长，折流板多，管子稍有弯曲，容易造成管壁与折流板处产生局部应力集中，加之间隙的存在，故其交界处成为应力腐蚀的薄弱环节。对于换热器的应力腐蚀，可采取以下方法防护：

1) 消除 Cl^- 浓缩积聚的条件

对管子与管板采用新型连接结构——内孔焊接，这样可以从根本上消除管头的缝隙，杜绝 Cl^- 在这里浓缩的可能性。但这种连接形式需要专用的焊接设备，近年国外已开始原子能工业的换热器、蒸汽发生器等重要设备中应用。

2) 胀管段应占全管板厚度

目前消除管与管板间隙最简单实用的做法是强度焊加贴胀，但胀管深度应达管板底部，以消除全部缝隙。目前绝大多数制造厂和检修单位，采用的多辊式挤压机械胀管法，使管子产生塑性变形以及加工硬化现象，产生很大的残余应力。因此，对强应力腐蚀介质下的换热器，应对管板进行消除应力热处理。而采用静压式液袋、橡胶胀管法可大大降低管子外表面的拉伸应力。

二、振动的防护

1. 产生振动的原因及危害

换热器管子产生振动的原因主要有两种：一种是外界激振源引起的振动，如往复机械（如往复压缩机）的脉动气流引起的激振，或通过支撑构件或连接管道传来的振动。另一种是流体流动激振，又可分为管侧和壳侧流体激发的振动。由于一般情况下管侧流动激发的振动振幅小，危害性不大，往往可以忽略，除非在流速远远高于

正常流速的情况下，管侧激振才需要考虑。换热器内的振动主要是壳侧介质所激发的，在正常流速下壳侧流动就可能引发很大的振幅，对换热管的危害最大。

理论研究表明，仅当流体诱发振动频率与换热元件的频率一致或相当接近时，才会使元件的振幅突然大幅度增加，从而导致其破坏。

换热管子振动损坏情况主要有两种，即管子的磨损和管子材料的疲劳断裂。管子磨损又分为两种情况：一种是在振幅很大的振动情况下，管子与管子相互接触而磨损（磨平穿漏）成菱形，这种情况绝大多数产生在振动位移最大的中间跨度处。管子的热膨胀增加了振动磨损的可能性。这是由于管子的热变形扩大了引起接触的相对运动，致使管子产生六角形的磨损。另一种是管子与支撑板由于振动发生相对运动而产生磨损，导致管壁逐渐变薄而最后磨穿。另外，由于折流板（支承板）上的管孔通常都比管子外径大 $0.8 \sim 1.2\text{mm}$ ，振动管的管壁有可能被折流板（或支承板）切割、断裂，且当折流板很薄而材料比管材硬时尤其突出。接头的松弛与腐蚀同时存在的情况下，振动磨损增加，这种磨损形状呈马鞍形。在管子穿出管板处，也会由于振动而使管孔尖锐的边缘对管子起切割作用。

管子的疲劳断裂则是由于周期的循环激振（包括出现共振或微振的情况下）所造成的。因为当管子振动时，会出现反复弯曲作用的周期性交变应力。如果管子长久地承受很强的交变应力，管子的某些应力最高部位就会出现疲劳破裂。

振动破坏的位置一般出现在下列位置处：

- (1) 传热管件支承跨度中间位置处，由于管间相互碰撞，外观呈现明显磨口；
- (2) 紧靠折流板缺口处，换热管与折流板发生碰撞而遭磨损；
- (3) 折流板管孔内，传热管振动时折流板管孔边缘对传热管的锯切、碰撞，严重时会导致管子断裂；
- (4) 传热管原有的一些细小裂纹或缺陷，因振动逐渐扩展，最终导致破坏。

管子振动破坏多发生在壳程内介质是气体或蒸汽的场合，操作压力高于 0.8MPa 则更明显。壳程内介质为液体时，也会发生管子振动破坏，但一般限于流体局部高速区的少数管子。

2. 主要的防振措施

通过以上分析可知，防振的措施须从两个方面入手，即降低局部高速流体的流速和改变换热元件的固有频率。采取的主要方法有如下三种。

- (1) 降低流体在壳程的流速。

当传热管的固有频率一定时，降低壳程流速，就可避免激发共振，若运行条件不能改变，可在换热器进出口管处设计防冲板、导流筒或液体出口分配器等，降低壳程