

兰州石油机械研究所 主编

换热器

中



烃加工出版社

换 热 器

中 册

兰州石油机械研究所 主编

烃加工出版社

内 容 提 要

本书是有关换热器技术的专著,各章均由专家执笔。系统介绍了当代换热器技术,包括理论与实践上的新成就、新技术。不但可作为科研、设计人员的重要参考资料,也是生产的重要依据。

本书分上、中、下三册。中册主要介绍换热器情况与检修、强化传热管、换热器的选材、腐蚀及防护、管壳式换热器的计算机辅助设计、模拟和制图、板翅式换热器、板式换热器。可供科研、设计及现场工程技术人员阅读。

换 热 器

中 册

兰州石油机械研究所主编

*

轻加工出版社出版

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 27印张 688千字 印1—3820

1988年12月北京第1版 1988年12月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-011-1/TQ·008 定价:6.50元

本书编写人员

黄鸿鼎	李修伦	冯亚云	余德渊	郭豫伟
王兴一	徐永康	冯殿沅	钱颂文	罗运录
陈登丰	唐广荪	谭盈科	邓颂九	章武
王抚华	肖成基	孙芳珍	易永清	胡礼林
杜光照	吕新生	徐昂千	张华林	郭宜祐
林纪方	牛天沅	潘焕敏	庄骏	胡华燃
谢宗治	任书恒	刘振全	许永祥	迟淑惠

目 录

第七章 换热器清洗与检修	(1)
第一节 管壳式换热器的清洗	(1)
一、概述	(1)
二、机械清洗	(1)
三、化学清洗	(5)
四、酸洗和碱洗	(9)
五、溶剂清洗	(12)
六、在线清洗	(13)
第二节 管壳式换热器的检修	(16)
一、概述	(16)
二、抽出换热器蕊子的专用设备	(16)
三、换热器管子的更换和堵漏	(21)
参考文献	(24)
第八章 强化传热管	(26)
第一节 概述	(27)
一、节能与传热强化	(27)
二、强化传热管的进展	(27)
第二节 无相变传热的强化	(28)
一、螺旋槽纹管	(28)
二、横槽纹管	(31)
三、缩放管	(32)
四、内翅片管	(34)
五、管内加插入物	(38)
六、流体中加固体颗粒	(43)
七、使流体产生脉动来强化传热	(46)
第三节 有相变的传热强化	(47)
一、单面纵槽管	(47)
二、低螺纹翅片管	(49)
三、锯齿形翅片管	(50)
四、外加电场强化冷凝传热	(51)
五、滴状冷凝促进剂	(52)
六、表面多孔管	(54)
七、双面纵槽管	(60)
八、T形翅片管	(60)
第四节 评价强化传热措施的方法	(61)
一、管子基本尺寸固定, 泵的功率消耗相同, 采用强化措施后增加的热流率(q)	(61)
二、考虑设备与操作费用的计算基准	(62)
小结	(63)

参考文献	(64)
第九章 换热器的选材、腐蚀及防护	(67)
第一节 换热器用材的选择	(67)
一、材料选择的原则和实践	(70)
二、七十年代以来换热器用材的发展动向	(89)
三、选材的经济比较	(94)
四、有关选材的其他问题	(94)
第二节 换热器的腐蚀	(96)
一、有关换热器腐蚀的一些基本知识	(96)
二、换热器的腐蚀实例	(108)
第三节 腐蚀的监测、检查及理化分析	(115)
一、腐蚀的监测	(115)
二、腐蚀缺陷的检查	(117)
三、换热器腐蚀破坏的分析及理化检验方法	(119)
第四节 换热器的防腐蚀方法	(121)
一、缓蚀剂	(122)
二、电化学保护	(127)
三、表面技术	(129)
四、结构设计	(131)
参考文献	(133)
第十章 管壳式换热器的计算机辅助设计、模拟和制图	(136)
第一节 概述	(144)
第二节 国外换热器的计算机辅助设计	(144)
一、换热器的计算机辅助设计	(144)
二、换热器性能计算的类型	(146)
三、换热器最优化设计方法	(150)
四、管壳式换热器的计算机程序	(166)
第三节 国内换热器的计算机辅助设计	(209)
一、无相变管壳式换热器计算程序	(209)
二、管壳式冷凝器计算程序	(213)
三、管壳式冷却-冷凝器 计算 程序	(214)
四、立式热虹吸再沸器计算程序	(220)
五、卧式再沸器计算程序	(224)
六、计算机在换热器物性计算及换热器研究中数据处理的应用	(224)
第四节 换热器特性的计算机模拟	(227)
一、换热器的计算机模拟	(227)
二、换热器的稳态特性计算	(228)
三、换热器的动态特性计算	(241)
四、换热器网络的最优化设计方法简介	(247)
第五节 换热器自动设计制图概述	(255)
一、换热器自动设计制图的技术开发	(256)
二、我国RHZSXT系统的研制	(257)
第六节 换热器系列自动设计制图系统(H 系统)	(259)
一、H系统的功能及特点	(259)

二、H系统中的设计计算	(263)
三、H系统采用的标准及设计规定	(263)
四、H系统的应用程序	(270)
五、H系统的功能模块	(281)
六、H系统的基本构成	(282)
参考文献	(282)

第十一章 板翅式换热器 (290)

第一节 概述 (293)

一、国外和国内发展概况	(293)
二、板翅式换热器的特点	(294)
三、板翅式换热器的应用	(295)

第二节 结构设计 (297)

一、翅片	(298)
二、导流片和封条	(299)
三、隔板和盖板	(300)
四、封头和接管	(301)
五、组装结构	(301)

第三节 传热计算 (302)

一、翅片传热方程式	(302)
二、多股流板翅式换热器的几种传热计算方法	(309)
三、带有不凝气体的多组分混合物的冷凝传热计算	(318)
四、给热系数的计算	(324)
五、平均温差 Δt_m 的计算及T-Q图的应用	(334)

第四节 流体阻力计算 (337)

一、简单系统的流体阻力计算	(337)
二、可压缩流的压降计算	(338)
三、几何效应	(338)
四、两相流	(339)
五、板翅式换热器总阻力降计算	(343)

第五节 强度计算 (344)

一、设计参数选用的规定	(344)
二、主要零部件强度计算	(345)

第六节 制造工艺 (354)

一、概述	(354)
二、零件的制造	(356)
三、元件的清洗	(357)
四、元件的组装	(357)
五、预热和钎焊	(361)
六、焊后清洗及钝化	(374)
七、总装	(376)
八、检查和试验	(377)

参考文献	(380)
------	-------

第十二章 板式换热器 (382)

第一节 概述 (382)

一、板式换热器的一般特性.....	(382)
二、板式换热器的发展.....	(384)
第二节 板片.....	(385)
一、板片本体.....	(385)
二、角孔.....	(399)
三、进出口部分.....	(401)
第三节 板式换热器.....	(402)
一、板片的组装.....	(402)
二、流程组合.....	(405)
三、板式冷凝器与蒸发器.....	(406)
第四节 辅助装置.....	(407)
一、垫圈.....	(407)
二、机架及压紧机构.....	(409)
三、其它机构.....	(412)
第五节 板式换热器的设计计算.....	(412)
第六节 板片的制造.....	(418)
一、板片的加工.....	(418)
二、模具设计和制造.....	(419)
三、板片材料.....	(421)
参考文献.....	(421)

第七章 换热器清洗与检修

唐 广 荪

第一节 管壳式换热器的清洗

一、概 述

换热器管内外壁及壳体结垢或腐蚀产物粘附,使传热效率降低,发生故障或堵塞,需要清洗。过去采用手工清洗(除垢),工效甚低。现在多采用机械清洗、化学清洗^[2]及在线清洗,现将管壳式换热器所接触的流体如水、石油及有机化合物等的清洗作简要叙述。

一般换热器大多数用于冷却冷凝的用途。冷却介质是井水、河水、湖水及海水。这些水中的溶解物在加热后,大部分溶解度都提高了。而硫酸钙类型的物质,则几乎没有变化。氢氧化钙的溶解度变小。冷却水经常循环使用,由于水的蒸发,使盐类浓缩,产生沉积或污垢。又因水中含有腐蚀性溶解气体及氯离子等引起设备腐蚀。腐蚀与结垢交替进行,形成不均匀的多孔物,而不能形成防腐保护层。在管壁表面上由于温度差或溶解物浓度差又形成浓差电池,更加激化了钢材的腐蚀。

化学工业和石油化学工业中的换热器所通过的液体和气体等及有机物由于不纯净或浓缩、聚合等原因,生成了固态物质和腐蚀生成物而形成了污垢。结垢就是这种复杂作用的结果。为了防止结垢和腐蚀,可用某些方法进行处理。但由于使用河、湖、井等天然水或使用其他含有有机物的水,故结垢或腐蚀不可能完全避免,因此采用化学或物理的方法进行清洗,仍是必要的。

根据清洗的场所、范围、除垢难易程度、垢的性质来决定采用机械清洗或化学清洗。凡不溶于酸碱和溶剂的污垢宜采用机械清洗。

二、机械清洗

1. 喷水清洗^[3]

喷水清洗是用高压水喷射或机械冲击的除垢方法。采用这种方法,水压一般为200~500公斤/厘米²。喷水清洗法对化学清洗法不能除去的炭化物污垢或硬质垢的清除是有效的。但清洗换热器时,须将设备解体。这对固定管板换热器壳程就不能清洗了。喷水清洗的优点是钢材损耗微小。

从喷射器喷嘴喷出高压水,把污垢冲掉。对没有粘着性的硬垢使用小口径高压泵特别有效。最近采用更高的压力500~700公斤/厘米²。由于高压,安全性及操作性能降低,故需对污垢进行试验,决定所需压力。化学工厂对换热器进行管内喷水清扫,通常适用于 $\Phi 19\sim 50$ 毫米的管子。

美国环球热交换公司^[4]推出了一种用压缩空气和水的管子清洗机。它在清洗管子时完全不会造成污染。目前该公司提出一种更快、更安全和更经济的现场用的清洗机,用于各种场合清除管中的积垢。清洗操作时,采用循环水,只用少量的水就可以清洗整个管束,几乎不损失洗液,不需弃置受到污染的数十米³水或化学溶液。使用过的水可以软化或静置分离积

垢,在易燃环境中还可以起到冷却剂和阻火剂的作用,从而防止了产生火花的可能性。

该公司喷水清洗机可以清洗12.2米长,内径7毫米至152毫米的管子内壁,能够清除金属及酸性盐类,海水及淡水的沉积物、胶凝剂、废催化剂、合成橡胶、有机聚合物以及各种化学过程中产生的炭质沉积物。适用范围包括换热器、化学反应器、冷凝器、锅炉、重沸器、吸收器等其他设备。

美国巨旦(Tritan)公司生产了一种Hydro-laser移动式自动管束清洗机^[5]。清洗管束是放在可转动的滚轮上的。清洗臂可旋转180°,一个接一个地清洗。所清洗的管束最长达9.2米,直径508毫米,清洗头上有40个高压水喷嘴。清洗水量可在700公升/厘米²、22.5公升/分;350公斤/厘米²、33.75公升/分之间调节。机器配有23千瓦柴油机驱动的高压水泵,机器总尺寸为6.1米×11米。

欧洲国家,例如^[6]德国在七十年代采用水力清洗设备。如某厂制造的水力清洗设备的水压达200大气压或更高些,但很少达到700大气压的。压力水冲洗,要用特殊喷嘴、有前面、侧面和侧斜开孔。带斜孔的喷嘴有特殊的优点,喷枪本身可插入管中。

喷嘴的清洗能力较高。管子可用大喷嘴从外面冲洗,管板可用同样喷嘴冲洗。外面带翅片也可以冲洗。但翅片不能是铝制的,喷射水尽可能垂直于翅片。为加强压力水设备的清洗能力,可在水中加入细砂。但应注意翅片镀锌受到严重损伤,故尽可能不加砂。还应注意设备对操作者可能有回击冲力,任何情况下,不可引向人员。

2. 喷砂清洗^[7]

我国抚顺石油一厂1972年曾用喷砂法清洗换热器。石油炼厂换热设备在管程或壳程形成的污垢(焦质、油渣、水垢及机械夹杂物)在受热的情况下,结成硬垢,凝结在内外管壁,造成严重的管径堵塞,致使传热效率降低,热量损失增大,直接影响生产。

喷砂清洗将经筛分的石英砂粒(一般粒度为3~5毫米)用压缩空气(3~3.5公斤/厘米²),通过喷枪产生强大的线速度,冲刷换热器管内壁,将污垢冲掉,使管子恢复原有尺寸。砂粒要求硬度高,粒度形状复杂,颗粒均匀。

近年来,壳程也有用管束喷砂机清洗的^[8]。能发挥十到二十倍一个人所能掌握的冲力。这就提高了物质冲击量,保证管子的良好清洗。清洗喷头还可偏转90°,一般可满足冲洗管子的要求。

自动化的崭新方法是采用管程喷枪机^[9]。这种机械通常把四根刚性的喷枪以一致和均匀的速度推进去,在进和出的行程中,均用水压控制,使清洗作用可在管子的最端部开始,伸进管子25~50毫米,以代替手工喷枪操作。

由于清洗工作采用高压水,若干年来已造成一些受伤和死亡的事故。清洗工作的自动化发展,有助于改善安全操作,清洗人员离高压水越远,受伤的可能性就越小。在某些情况下,手工喷枪和喷射工作还是需要的。只要可能,就应采用自动化操作。

现已发展一些自动防止故障放空开口措施,使带压气体可迅速排空。当清洗人员用手工喷枪工作时,该措施有许多考虑因素,其中最主要的考虑是操作人员可以在有压力的地方控制放空开关。

近年来机械清洗除自动化和安全措施外,对喷枪和喷口的设计也作了许多改进,其清洗性能已达到了非常完善的程度。

3. 喷丸清洗^[10]

喷丸清洗器是由海绵球(喷丸)和将球推进需清洗的管内的流体喷枪组成,总称为喷丸

清洗器。

(1) 喷丸清洗的优越性 拉削法、喷水法及喷砂法和喷丸法对比, 喷丸法费用低廉, 效率高。不仅用于直管且可用于蛇管、T型管、弯管等, 适用范围较广。该法如图7-1所示, 在管的一端装入海绵球, 接上喷枪, 拧紧、开喷枪的阀门, 即可射出压力流体。由于流体压力, 将球推入管内, 球受流体的反压力, 借助海绵体的弹力, 对管内壁施加挤压力。由于反压力, 此挤压力增大, 能很好地削掉污垢, 且从球和管内壁间隙出来的流体以射(喷)流喷出, 研削效果很高, 同时污垢沿前方排出, 具有机械研削和喷射清洗的优点。

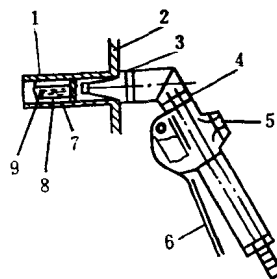


图 7-1 喷丸清洗器

1—管; 2—筒端; 3—筒端; 4—喷枪; 5—阀;
6—杆; 7—表皮; 8—海绵体; 9—球

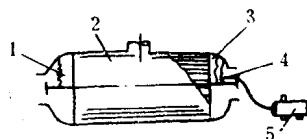


图 7-2 用喷丸清扫器清扫冷凝器

(2) 球 为炮弹形, 以半硬质发泡聚氨酯的海绵体挤压成型, 富有弹性。因其具有弹性, 可以调节海绵体的密度及球的硬度。为增加球的研削力, 在海绵体的表面加耐研磨材料(金刚砂、二氧化硅等)、硬毛、网状物等构成加强型。球的直径通常较管内径稍大(1~3毫米), 以增大对管内壁的挤压力。但在污垢层较厚或较硬时, 球直径应与管内径相等。有时比管内径稍小为宜。总之, 应根据结垢情况, 选择球的种类、硬度、直径。在垢软的时候, 球要硬且小。在管径小时, 由于截面周长与截面之比大, 球难以通过, 故球的直径应选小些。软球通常用作清洗弯管、蛇形管等。

(3) 流体的加压 推进球的流体压力通常为1~3公斤/厘米², 一般的压缩机就可以。如用水作介质, 清洗效果比压缩气方法好些。

(4) 喷枪 喷枪由筒兼手把、杆、阀门及锥状筒端组成。使用喷枪时, 首先用人工将球装入管内, 当将喷枪的锥状筒端接到管口时, 再开压力阀即可。此时, 锥状筒端的外面和管口相接处呈密封状态。因装置不同, 且筒端外面是锥形, 当管径有变化时, 即使不更换筒端也可。当管径变化超过这个界限, 只需更换筒端。使用这种联接方式的喷枪, 因装卸简单, 对于象换热器这种管子数目多的设备, 可在短时间内清扫完毕。每根管子清扫时间, 随管长变化, 使用加压流体作为载压介质时, 装球时间2秒, 操作喷枪1~3秒, 共计3~5秒。

(5) 清洗的步骤 清洗方法如图7-2所示。清洗 $\Phi 13$ 毫米 $\times 8$ 米 $\times 2000$ 根管子的冷凝器时, 用200个球(为管数的1/10)。先将200个球装入管内, 采用压力喷枪连续进行喷射。球从管子另端喷射出去, 经过捕集幕落下。这样球可避免无故损伤, 且不飞散又容易收回。如有必要, 球可进行水洗, 再装入管中, 重复十次同样的操作, 即可结束清洗。通常备用球数为管子数的1/5~1/10。

(6) 喷丸清洗法尚存在的问题 现今喷丸清洗法只用人工将喷枪对接在管子外口, 这能否承受住流体喷射的反作用力? 如用于管径小的情况还是十分有把握的。例如内径为25毫米的管子, 其截面积约为6厘米², 按流体压力为1.5公斤/厘米²计算, 反作用力是9公斤。实际上, 因球以高速向前运动, 其反作用力要小得多。对于管径大、流体压力高、反作用力大的情况, 可采用肩托式喷枪, 以空气管线为支承。

1. 海绵橡胶球连续清管法^[18]

海绵橡胶球反复循环清洗管线或设备是经济的。

连续清洗就是连续操作的自动化清洗。在冷却水系统中装入海绵橡胶球，平均每5分钟通过一个橡胶球，其直径略大于管径。因此，能有效地擦去管子表面的沉积物或污垢。

美国亚美达卜 (Amertap) 公司1975年提供的冷凝器和换热器的连续清洗工具和冷却水过滤用的工具，对于维持冷凝器的传热效率有重要作用。该清洗工具的基本原理是在操作过程中经常洗涤管子内部。用特殊设计的橡胶球在整个装置中连续不断地循环，以达到保持管内壁洁净的目的。因球直径略比管径大，故在管内运动时，受到挤缩，产生连续不断的摩擦作用，除去管内壁上各种类型的污垢。这种悬浮的球，经常保持不停的运动，因而阻止了污垢的沉积。而且水的层流膜不断被破坏，也降低了热阻。

换热器采用海绵橡胶球清管，可取得最好的清洗效果。球的比重约等于冷却介质的比重。由于管子进出口有压力差，迫使球通过管子。球在工作时，稍有压缩并伸长，如同活塞一样，因而提供了扩张的清洗表面。球面设计应有沟纹允许一定量的水流通过，以与管壁有接触区域，并在球的前面冲出累积的污垢。根据需要，球分若干弹性等级。

亚美达卜公司清洗工具有一种外包研磨剂的球，可用于冷却水管结垢严重的地方，不同的结垢程度可采用不同等级的研磨剂，其效用是轻轻擦拭管子，除垢速度较慢，但连续一直到可以用海绵橡胶球清洗为止。在这个过程中，传热效率将逐步上升。应注意在操作过程中，清洗和擦拭作用要均匀遍及管壁。采用橡胶球的优点如下：

- A. 采用连续海绵橡胶球清洗(以下简称连续清洗)，可保证获得最佳的背压(反压力)，提高了设备的可靠性。
- B. 节省了燃料和氯气(防止生物繁殖)的费用。增加了纯利收益。
- C. 减少了由于结垢、腐蚀、渗漏或堵塞所造成的无计划停工。
- D. 减少或不用化学药剂及其费用，冷却水管的连续清洗可以大大减少水的化学处理或取消化学处理。在需要化学处理的场合，用该项机械可获得最佳化性能和安全操作。

E. 节约清洗人工及费用。可省去手工或其他机械清洗的费用。提高劳动生产率，减少了停工时间。

F. 创造了良好的清洗条件。采用连续清洗，能保持设备高效运行，如设备用不锈钢或钛制造时，可达最好的清洗效果，即可达95%~100%的洁净率。不必考虑巨大的换热面积及污垢系数以节约投资，可用较小的设备取代原有设备。

G. 延长设备寿命。由于在冷却水中排除了烈性化学药剂、固体碎粒和腐蚀剂，所以延长冷却水管使用时间，即延长了设备寿命。

5. 钢丝刷子清洗^[10]

苏联某厂提出的立式管壳式换热器清洗机装置如图7-3所示，它可以清除换热器管内低硬度的垢层，而不需抽出管束。内径为36~55毫米的管子3，用钢丝刷子5进行清扫。钢丝

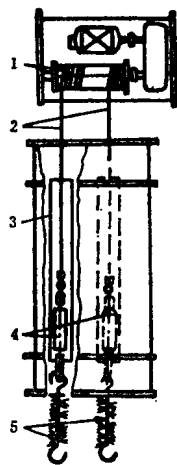


图 7-3 立式管壳式清洗装置图

4

刷子用钩子挂在重锤4上；重锤固定于钢丝绳2的一端，钢丝绳连在滚筒1上。滚筒用电动机（ $N=2.5$ 瓩）通过PM-350减速机驱动。钢丝刷子通过滚筒提升和下降重锤，而使管子得到清扫。

据介绍，钢丝刷子的速度在15米/分左右时，效果最好。用一个滚筒可以清洗一根管子。据说，用这种机械清管装置可以提高劳动生产率好几倍。过去用手工清洗加热表面积为175米²的预热管子需7人、10小时，现在只需4人，4小时就可以。

6. 刮刀或钻头除垢^{[10][4]}

这种清管机械只适用于除去管子或圆筒里面的污垢，在挠性旋转轴的顶端安装刮刀或钻头，以除去污垢。旋转动力多用压缩空气或电力，也有使用水力或蒸汽的。一般是将驱动机构设在外边，通过旋转轴将动力传给刀具。旋转轴是挠性的。因此，即使是弯管也能在里面灵活转动。

刀具的种类极多，根据用途进行选择，主要有粗加工用钻头，半精加工用刀具，精加工用电刷。由于旋转产生离心力，将刀具或电刷压在外侧，与管子内表面接触，而管内壁受力不大，几乎不会损伤管子内壁。

美国环球热交换公司^[4]所生产的炭化钨钻头、刷子和钻—刷组合装置，可以去除管子中的各种硬性、软性、脆性及磨蚀性堵塞物质。它们不会损伤由低碳钢、不锈钢、钛合金、铜或黄铜等制成的管束。

7. 冷凝器管子清洗塞

根据美国专利u.s.p.3939519(Feb, 24, 1976)^[17]，作简要介绍。这种清洗塞子特别适合于冷凝器管子或相似的设备。操作时，使用不同流体压力（如高压水）推动在管内的清洗塞子。该塞为装有多元的刮刀圆盘，圆盘之间有间距，浇铸在同一芯体上。圆盘径向有狭长的开口槽，开口从芯体延伸到圆周外侧，形成四个挠性扇片，容易偏转或弯曲。当清洗塞受流体压力推进管子时，可使圆周的刮刀起到刮削作用。圆盘的直径应大于管子的内径。操作时，狭长的开口槽受压挤窄，使扇片倾斜彼此接触。如在管径小的情况下，因扇片富有挠性彼此搭叠而迅速闭合。狭长开口内部成为推动流体及其他物料的开口通道，同时从清洗塞前推动其他物料。轴向通道通过芯体也可提供这种作用。每个清洗塞子用7个或更多的盘子，对清洗能发挥更好的作用。

清洗塞子整体用高密度聚乙烯制成。对清洗外径为22毫米的管子，规定了刮刀圆盘直径为20.8mm，开口槽宽为0.8mm，刮刀圆盘厚度约为8mm。设计时已提供了圆盘的间距和排列，以使纵向增加搅拌作用，并改进正向运动，产生正压。

清洗塞子的结构如图7-4 (a) 及7-4 (b) 所示。

三、化学清洗

1. 化学清洗的优点及缺点^[12]

(1) 优点

- A. 化学清洗常可不拆开设备，这种优点对塔类和管式设备特别重要。
- B. 化学清洗能清洗到机械清洗不能清洗到的地方。无论管程或壳程均能进行清洗。
- C. 化学清洗均匀一致，微小的间隙均能洗到。不会剩下沉积的颗粒，形成新垢的核心。
- D. 化学清洗可避免金属表面的损伤，如形成尖角。这种尖角能促进腐蚀，并在其附近形成污垢。

E. 由于进行了防锈或钝化处理, 清洗后可以防止生锈。

F. 化学清洗的钢材腐蚀量, 几乎可以忽略不计。即使是把酸洗时钢材腐蚀率取1毫克/厘米², 其所损伤的壁厚也只在10微米以下, 而且一般情况比这个腐蚀率还低。

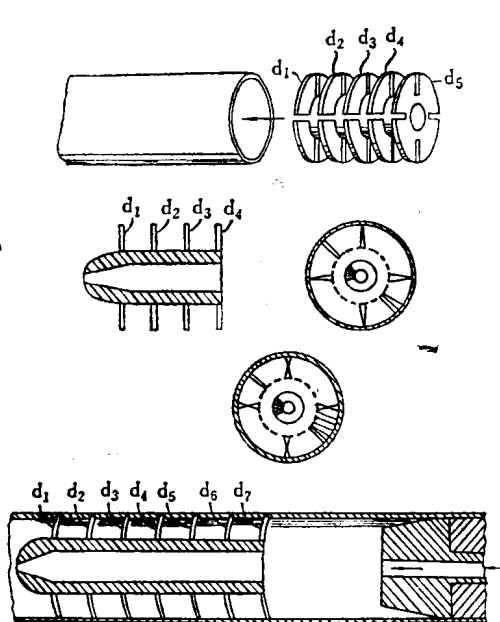


图 7-4(a) 清洗塞子结构图

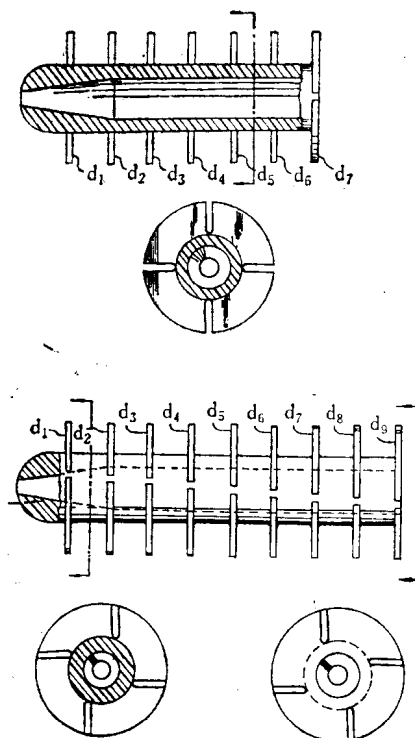


图 7-4(b) 清洗塞子剖面图

(2) 缺点

A. 钢材因加了缓蚀剂而抑制了腐蚀。倘缓蚀剂的选定和使用条件有错误, 就会产生腐蚀现象。

B. 管程、壳程全被污垢堵塞后, 无法用化学清洗。

C. 因使用了各种药剂, 对清洗废液须加处理。

D. 难以除去炭化污垢。

2. 化学清洗方法^[12]

(1) 清洗方法的选择 清洗可在原地进行或在集中地点进行, 应根据不同的情况而定。原地清洗可以不起吊、不挪动, 不致伤害被清洗的设备。如污垢物能适当地溶解于某种标准洗涤剂或两种混合剂; 例如, 后一情况, 污垢含有重油馏分, 其中又含有无机物需要清除, 可用不同溶剂和酸相结合的清洗剂进行清洗。

如污垢不易溶解, 或所需清洗设备不易拆卸(例如, 为检测需卸去管束), 这就有理由送到集中清洗的场所进行清洗。在此, 清洗小型设备常比原地清洗的效率为高。集中场所有许多洗涤槽盛有不同的洗涤液准备使用。

有些部件清洗不完全, 或者因拆卸易损坏, 或者在清洗中有危险, 均应在集中场所进行清洗。

(2) 清洗方法 工厂在设计时应考虑用化学清洗方法的清洗设备, 并提供适当的排污系统和设施, 以收集废液。

工厂在基本建设中，应考虑提供必要的喷管连结管线和辅助设备。

清洗操作中，应特别注意在清洗中防止产生毒性和爆炸性气体，应提供充分的通风设备。同时设立排气设施。

目前使用的清洗方法有：Ⅰ.循环法：用泵强制清洗液循环。Ⅱ.浸渍法：将清洗液充满设备，静置一定时间。Ⅲ.浪涌法：将清洗液充满清洗设备，每隔一定时间把清洗液从设备的底部卸出一部份，再将此液装入设备内，以达到搅拌清洗的目的。

(1) 清洗前的准备工作

- A. 了解或检测清洗设备的种类，型式和几何形状或尺寸。
- B. 对设备的材质，应清洗的地方，应全部了解或掌握。
- C. 清洗液的浓度和用量（作出计算及计量），应根据临时试验情况决定。
- D. 清洗用的水源及加热洗液的热源，以及污水处理和排放，应予妥善安排。
- E. 安排清洗地点。

F. 污垢调查。在代表性结垢的位置取样进行分析和溶解试验。将污垢用各种药剂进行处理，求出溶解度，决定药剂品种及剂量以及清洗时间。

(2) 水垢清洗 化学清洗对水垢最为有效。水侧污垢清洗时，加入有缓蚀剂的盐酸，其清洗步骤如下：

- A. 把循环设备连接到换热器。
- B. 先用水进行循环，检查泄漏。因为盐酸和水垢反应会放出 CO_2 ，因此应从底部到顶部进行循环，以排出反应生成的气体。
- C. 加入化学药剂（缓蚀剂及盐酸），并把溶液加热到 60°C 。
- D. 循环约4小时，然后每30分钟用滴定法检查酸浓度及三价铁百分率和总铁百分率。继续循环直到酸浓度保持1小时无变化为止。
- E. 排出酸液，用水冲洗换热器，直到出入口pH值相等。
- F. 加入1%（重）纯碱再循环30分钟。
- G. 排出溶液，准备投入生产。

(3) 对冷却冷凝器的水侧进行在线（操作中）清洗是现代一种流行的清洗方法^[14]。假设冷凝水不能完全切断，其步骤如下：

- A. 工艺流体侧尽可能减少流量，维持生产。
- B. 将进水阀门关小，在温度许可范围内尽量减少进水量。
- C. 向换热器内注入足够量的酸，使酸浓度达10%。
- D. 这种酸溶液流经换热器的时间最少为15分钟。
- E. 把烧碱注入换热器的下游或凉水塔的水池中，以维持适当的pH值。

在线清洗的效果不象停工清洗那样好，但能维持装置运转直到计划停工。

(4) 冷却器、冷凝器及换热器的化学清洗方法^[14] 为保证取得上述设备的管束化学清洗的成效，必须不使其结垢太厚，这点对管侧清洗应当特别注意。在这样的情况下，沉积在冷却器、冷凝器和换热器的污垢应证实其可以溶解，并用循环洗涤剂可以清除。对这种清洗的标准组列如图7-5所示。

冷却器、冷凝器和换热器的壳侧可与标准排列连接。采用这样的方法，设备中不能出现空泡。因此，流体应向上流动。

清洗溶液系统应能与被清洗的设备用活动弯头（或活动弯管）连接；也可采用和喷管连

接以适应冷却器、冷凝器和换热器进出口的要求。在后一种情况下，盲板法兰应置于喷口与进出口阀门之间。设备上其他一切开口应一律盲闭。

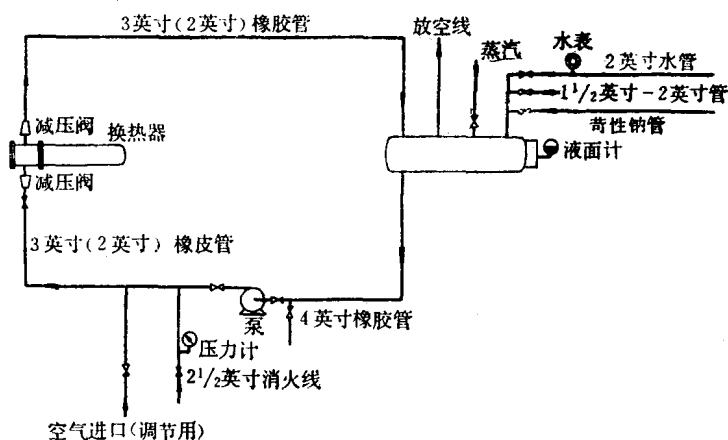


图 7-5 换热器标准清洗组列图

冷却器、冷凝器和换热器的壳侧和管侧均可用洗涤剂进行处理。其方法为采用循环泵从储罐抽出洗涤剂流经壳侧或管侧又回流到储罐中。

洗涤剂溶液应事先在储罐中配好，其量应根据清洗设备的大小，计算求出。系统中清洗液的温度，在清洗之后可能提高。一俟清洗液配好，循环即可开始。在此期间清洗液可用空气搅拌或使用惰性气体搅拌。

冷却、冷凝器及换热器在充分进行了洗涤循环之后，用水冲洗。化工厂或炼油厂的消防水管线可作这项引水之用。其优点是水压较高。经洗涤后的废水收集在循环槽中。在此，加入苛性钠溶液，以中和酸性洗涤液，再从排放管放出。

在清洗操作完毕后，在循环槽配好1~2%的苛性钠溶液，使之流经设备。此后，设备再次用水冲洗。

用雾状洗涤剂导进设备的特殊清洗方法，在蒸汽再沸器上已取得成功。这种方法也适用于具有固定管板的蒸汽冷凝器和气体分离的再沸器。

清洗后，需要排出处理液，因清洗对象构造不同，存在不可能将处理液完全排出的情况，这时，需要预先设置冷凝水排出管。而且由于化学清洗，污垢不可能完全溶解。一部分淤泥堆积在容易滞留的地方，对此，应采取妥善排出的措施。

3. 化学清洗可节约费用和时间^[13]

近十几年来，工厂换热器相继采用化学清洗，其理由如下：

- A. 能按标准完善地完成清洗任务。
- B. 节省时间和费用。
- C. 当设备负荷最大而工效最小时，进行清洗，可以节约劳力。

苛拉 (F. A Koehler) 于1967年曾对23台换热器进行了酸洗，其效果如表7-1所示^[14]。

水冷换热器不停车进行清洗，需要较少劳动力。如用砂浆冲刷一台换热器需要120工时，用射塞清洗需要56工时，而用酸洗，只需12工时。清洗每台换热器所需酸的成本低于15美元。酸洗时，可以不停工，故不影响生产。不致带来生产损失。同时也不会因为装置停工而

表 7-1 酸洗后换热器的效果

项 目	换 热 器 x		换 热 器 y	
	清 洗 前	清 洗 后	清 洗 前	清 洗 后
传热系数 千卡/米 ² ·20℃时	58.6	88	98	181
水的流速 米/秒	0.55	0.3	0.975	0.457
水的流量 升 ³ /分	946	492	750	348

使机械损坏。

美国德克萨斯州莫比尔 (Mobil) 公司炼油厂日生产成品油325000桶 (51670米³)。采用“重芳香烃”专利溶剂进行清洗^[15]，从一年停车清洗一次到两年停车清洗一次。原来清洗需2~7日，而化学清洗只需一日。由于维持了换热器的高效运行，减少了加热原油的燃料费用。根据计算，每月节约燃料气费用达1000美元。每年共节约12000美元。

酸洗最好用循环泵循环酸液。对钢制大件必须经常用化学分析检测法测量酸洗情况。每 $\frac{1}{2}$ ~1小时，作一次酸液的进料分析。其内容为：取样检查酸的浓度和二价及三价铁的含量。二价铁含量应为最大，而三价铁含量最小。不论最大，最小应在约一小时内保持恒定，这表示清洗已结束。每次酸洗结束后，尽可能用完全脱盐水进行冲洗，即水的导电性达到最小为止。这大致为15~30分钟。紧急情况下，也可用自来水冲洗。所有酸洗的钢制件，最后也可用30~40℃热的0.5%磷酸液进行钝化处理。因而，钢制件呈现鼠灰色。

四、酸洗和碱洗

1. 酸洗常用药剂

近年来发展了清洗换热器的新材料和新方法。如有机酸和螯合剂等新材料，而新方法包括这些材料的应用方法，如pH值的控制及金属钝化等。其优点为操作安全，并可避免严重腐蚀。缺点为费用高，温度高，时间长。

为了把氧化铁，硬质污垢和其他金属氧化物溶解，以及去除石油炼厂与石油化工厂常出现的沉积物，需要进行酸洗。

酸洗需对清除沉积物性质和有关设备的构造材料有所了解，以及确定选用酸类。清除锈垢要用适合的酸、防凝剂及作辅助用的还原剂、二氧化硅溶解剂、湿润剂、铜钝化剂^[7]。清除氧化铁、钙或镁污垢最有效的酸是盐酸，大部分用稀释酸，如处理钢管可用12%的盐酸。柠檬酸效率较差，但如只有少量腐蚀产物也可使用。对奥氏体钢，如拆开有关部件有困难，可用盐酸，但有人认为这是冒风险。如主要部件由不锈钢制造，如蒸汽过热器等则不许用盐酸。盐酸加入氟化物，对铁的溶解可稍为有利，而对含硅的物料溶解大为有利。因而，如含有硅沉淀物，可推荐使用。柠檬酸加氟化物大体上可改进氧化铁的溶解速率。

理论上可作酸洗的酸类有硫酸、硝酸、磷酸和盐酸等，但是最前面的三种酸，现在已不常用。硫酸处理是危险的，稀释硫酸时，会放出大量的热。而且，产生不溶性硫酸钙沉积物。采用硝酸也有危险。硝酸要放出有毒的亚硝酸烟雾。磷酸对人身有危害，而且产生不溶解的磷酸钙。盐酸与其他三种酸比较，显示出以下的优点：应用时危险较小、价格低廉、容易稀释、且无危险、形成不溶解的盐较少、在60℃温度下，可起缓蚀作用。由于上述原因，10~20%的盐酸可作为炼油设备清除沉积物最常选用的清洗剂。在盐酸中加入缓蚀剂后，能溶解污垢，如石灰沉淀物和各种氧化铁，而铁却不受侵蚀，钢也不受盐酸侵蚀。最著名的西德出的缓蚀剂为Dr. Vogels-sparbeize，这种缓蚀剂主要成分为萘酚。有时还加入湿润剂。为增