



# 换热器 (第二版)

HEAT EXCHANGER

兰州石油机械研究所 主编

(下册)

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



# 换热器 (第二版)

HEAT EXCHANGER

兰州石油机械研究所 主编

(下册)

中国石化出版社  
HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

Tk172

18-2

V2

## 内 容 提 要

本书是换热器技术专著,分上、下两册,共计10篇63章。上册系统介绍了管壳式换热器、特种管壳式换热器、板状换热器,以管壳式换热器为主,全面介绍其工艺计算与设计、结构设计、强度计算,还重点介绍了流体诱发振动及强化传热新技术。下册主要介绍了空冷式换热器、热管换热器、特殊材料换热器以及其他换热器,还介绍了换热器计算机辅助设计、制造检验与使用安全管理等方面的内容。

本书可供换热器科研、设计、制造及现场的专业技术人员使用,也可供相关专业技术与管理 人员、高等院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

换热器 / 兰州石油机械研究所主编. —2 版.  
—北京: 中国石化出版社, 2013. 1  
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1253 - 9

I. ①换… II. ①兰… III. ①换热器 IV. ①TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 271781 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭,  
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 126.75 印张 3218 千字

2013 年 1 月第 2 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

定价: 398.00 元(上、下册)

# 下册目录

## 第五篇 空冷式换热器

<b>第一章 普通型空冷式换热器</b> .....	(1184)
第一节 概述 .....	(1184)
第二节 空冷器的组成及分类 .....	(1196)
第三节 管束 .....	(1201)
第四节 风机 .....	(1235)
第五节 百叶窗 .....	(1250)
第六节 风筒和构架 .....	(1251)
第七节 噪声振动及其控制 .....	(1251)
第八节 空冷器的调节与防冻 .....	(1260)
第九节 干式空冷器的工艺计算 .....	(1269)
第十节 湿式空冷器的设计计算 .....	(1307)
第十一节 空冷器设计的几个问题 .....	(1326)
第十二节 空冷器的工业应用 .....	(1336)
第十三节 空冷器的新发展——板式空冷器 .....	(1344)
<b>第二章 表面蒸发型空冷式换热器</b> .....	(1349)
第一节 概述 .....	(1349)
第二节 结构形式 .....	(1353)
第三节 设计 .....	(1355)
第四节 工业应用 .....	(1358)
<b>第三章 自然对流式空冷器</b> .....	(1366)
第一节 概述 .....	(1366)
第二节 结构 .....	(1367)
第三节 设计计算 .....	(1369)
第四节 国内外工业应用 .....	(1374)

## 第六篇 热管换热器

<b>第一章 绪论</b> .....	(1378)
第一节 热管的发展及现状 .....	(1378)
第二节 热管的工作原理 .....	(1379)
第三节 热管的基本特性 .....	(1379)
第四节 热管的分类 .....	(1380)
第五节 热管的相容性及寿命 .....	(1381)

第六节 热管技术及特性 .....	(1382)
<b>第二章 热管及热管理论</b> .....	(1387)
第一节 热管理论 .....	(1387)
第二节 热管的传热极限 .....	(1391)
第三节 两相闭式热虹吸管 .....	(1405)
第四节 旋转热管 .....	(1411)
第五节 分离式热管 .....	(1417)
<b>第三章 热管换热器设计</b> .....	(1426)
第一节 热管换热器的类型与结构 .....	(1426)
第二节 热管设计 .....	(1428)
第三节 热管换热器设计计算 .....	(1437)
<b>第四章 热管技术在工业工程中的典型应用</b> .....	(1458)
第一节 气-气热管换热器 .....	(1458)
第二节 气-汽热管换热器 .....	(1462)
第三节 气-液热管换热器 .....	(1465)
第四节 组合应用举例 .....	(1465)
第五节 热管化学反应器 .....	(1467)
<b>第五章 热管技术在电子电器工程中的应用</b> .....	(1473)
第一节 密闭壳体中电子器件的散热 .....	(1473)
第二节 计算机 CPU 的散热 .....	(1475)
第三节 大功率电子元件的冷却 .....	(1477)
第四节 热管电机 .....	(1477)
<b>第六章 热管技术在其他领域中的应用</b> .....	(1480)
第一节 热管在太阳能中的应用 .....	(1480)
第二节 热管在核电工程中的应用 .....	(1482)
第三节 热管技术在航天飞行技术上的应用 .....	(1487)

## 第七篇 特殊材料换热器

<b>第一章 石墨换热器</b> .....	(1492)
第一节 概述 .....	(1492)
第二节 不透性石墨制设备的设计特点、强度计算及典型结构 .....	(1497)
第三节 不透性石墨换热器的类型、结构及传热特点 .....	(1499)
第四节 不透性石墨换热器的工业应用及发展前景 .....	(1517)
<b>第二章 氟塑料换热器</b> .....	(1520)
第一节 概    述 .....	(1520)
第二节 氟塑料换热器的结构形式 .....	(1525)
第三节 氟塑料换热器的传热系数与流体阻力 .....	(1528)
第四节 氟塑料换热器的工业应用及发展前景 .....	(1529)

<b>第三章 陶瓷材料换热器</b> .....	(1536)
第一节 概述 .....	(1536)
第二节 陶瓷对流换热器的传热原理 .....	(1539)
第三节 陶瓷材料换热器的结构设计 .....	(1540)
第四节 陶瓷换热器的工业应用及发展前景 .....	(1543)
<b>第四章 钛、钽、锆制换热器</b> .....	(1544)
第一节 概述 .....	(1544)
第二节 结构设计及制造工艺 .....	(1547)
第三节 工业应用及发展前景 .....	(1551)
<b>第五章 玻璃换热器</b> .....	(1553)
第一节 概述 .....	(1553)
第二节 玻璃换热器的结构形式和传热性能 .....	(1554)
第三节 工业应用及发展前景 .....	(1557)
<b>第六章 涂层换热器</b> .....	(1558)
第一节 概述 .....	(1558)
第二节 有机化合物涂层换热器 .....	(1559)
第三节 Ni - P 合金化学镀层换热器 .....	(1565)

## 第八篇 其他换热器

---

<b>第一章 回转式换热器</b> .....	(1570)
第一节 概述 .....	(1570)
第二节 回转再生式空气预热器工作原理 .....	(1572)
第三节 回转再生式空气预热器计算 .....	(1579)
第四节 回转式全热换热器 .....	(1594)
<b>第二章 直接接触式换热器</b> .....	(1603)
第一节 概述 .....	(1603)
第二节 液 - 液直接接触式换热器 .....	(1605)
第三节 气 - 液直接接触式冷凝器 .....	(1615)
第四节 混合气体直接接触式冷却冷凝器 .....	(1632)
第五节 直接接触式环流换热器 .....	(1637)
<b>第三章 刮板式换热器</b> .....	(1643)
第一节 概述 .....	(1643)
第二节 充满式刮板换热器 .....	(1646)
第三节 液膜式刮板换热器 .....	(1652)
<b>第四章 滴状冷凝器</b> .....	(1660)
第一节 冷凝传热现象 .....	(1660)
第二节 滴状冷凝传热 .....	(1661)
第三节 工业化的努力 .....	(1664)

<b>第五章 流化床换热器</b> .....	(1666)
第一节 传热机理 .....	(1666)
第二节 流化床换热器结构 .....	(1671)
第三节 流化床换热器的应用 .....	(1674)
<b>第六章 微型换热器</b> .....	(1680)
第一节 概述 .....	(1680)
第二节 微槽微型换热器 .....	(1682)
第三节 多孔微型换热器 .....	(1716)
第四节 微型换热器性能比较与评价 .....	(1729)
<b>第七章 制冷空调用换热器</b> .....	(1742)
第一节 概述 .....	(1742)
第二节 制冷换热器的主要结构 .....	(1744)
第三节 制冷换热器表面传热系数的计算 .....	(1763)
第四节 冷凝器的设计与计算 .....	(1772)
第五节 蒸发器的设计与计算 .....	(1780)
第六节 制冷装置中的其他换热器 .....	(1786)
<b>第八章 高温喷流换热器</b> .....	(1793)
第一节 概述 .....	(1793)
第二节 喷流换热传热机理 .....	(1793)
第三节 结构设计 .....	(1798)
第四节 工业应用 .....	(1801)
<b>第九章 新能源换热器</b> .....	(1804)
第一节 核电站换热器 .....	(1804)
第二节 地热换热器 .....	(1812)
第三节 太阳能换热器 .....	(1817)

## 第九篇 换热器计算机辅助设计

---

<b>第一章 概述</b> .....	(1836)
第一节 我国化工设备设计技术的进展 .....	(1836)
第二节 换热器计算机辅助设计 .....	(1839)
<b>第二章 换热器工艺计算与换热网络优化计算机辅助设计</b> .....	(1844)
第一节 换热器工艺计算软件介绍 .....	(1844)
第二节 换热器物性计算与流程模拟软件 .....	(1850)
第三节 换热网络优化设计程序 .....	(1859)
<b>第三章 计算机辅助绘图</b> .....	(1863)
第一节 简介 .....	(1863)
第二节 二维 CAD 软件介绍 .....	(1864)
第三节 三维 CAD 软件介绍 .....	(1874)

第四节 国内外软件对比 .....	(1880)
<b>第四章 CFD 在换热器中的应用 .....</b>	<b>(1881)</b>
第一节 计算流体力学的方法概述 .....	(1881)
第二节 CFD 软件简介 .....	(1883)
第三节 CFD 在换热器中应用的研究 .....	(1887)
第四节 问题与前景 .....	(1892)
<b>第五章 换热器机械设计 .....</b>	<b>(1894)</b>
第一节 机械设计程序概述 .....	(1894)
第二节 常规机械设计 .....	(1894)
第三节 分析设计 .....	(1906)
第四节 国内外机械设计软件对比 .....	(1918)
<b>第六章 问题与展望 .....</b>	<b>(1920)</b>

## 第十篇 换热器制造检验与使用安全管理

---

<b>第一章 换热器制造检验 .....</b>	<b>(1926)</b>
第一节 概述 .....	(1926)
第二节 制造检验规范 .....	(1927)
第三节 材料检验 .....	(1930)
第四节 壳体与封头制造检验 .....	(1934)
第五节 管束制造检验 .....	(1941)
第六节 焊接检验 .....	(1947)
第七节 热处理检验 .....	(1961)
第八节 换热器最终检验 .....	(1964)
<b>第二章 换热器使用安全管理 .....</b>	<b>(1969)</b>
第一节 概述 .....	(1969)
第二节 设计管理 .....	(1970)
第三节 制造管理 .....	(1977)
第四节 使用管理 .....	(1985)
第五节 定期检验 .....	(1994)



# 第五篇

## 空冷式换热器

# 第一章 普通型空冷式换热器

(孔繁民 任书恒 张延丰 姜学军 赖周平)

## 第一节 概 述

普通空气冷却式换热器是以环境空气为冷却介质并横掠翅片管外,使管内高温工艺流体得到冷却或冷凝的设备。其名称有多种,如翅片风机式换热器、空冷式翅片换热器、翅片管式空冷换热器等,也称空气冷却器或空冷式换热器,总的称为空冷器。

本来,水是较理想的冷却介质,故传统的工业冷却系统都是用水作冷却介质。自20世纪20年代以来,空冷渐被人们重视,在一些领域中水冷逐渐被空冷取代。这一转变的主要原因有以下5个方面:

① 随着工业,特别是炼油、石油化工、冶金及电力工业的发展,用水量急剧增加,出现了大面积缺水的问题。

② 人们对保护环境,防止和减少工业用水对江、河、湖、海污染的要求愈来愈高。

③ 能源日益短缺,要求最大限度地节约能源。

④ 装置大型化要求水的用量日益增多。

⑤ 空冷技术的发展可部分或全部代替水冷。

### 一、空冷器的发展

用空气作为冷却介质,其来源没有问题,但空气热焓太低,其比热容( $1005\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )仅为水的 $1/4$ ,因此在相同的冷却热负荷下,需要的空气量将是水的4倍。而且空气的密度和给热系数又远比水小,所以若用常规的传热元件,空冷器的体积势必比水冷器大得多。又由于大气温度随气象、季节及昼夜的变化很大,加之被冷介质的出口温度又不易控制。所以直到20世纪20年代末才出现第一台空冷器。这台作为排汽冷凝器的空冷器安装在美国西部的一个炼油厂。它采用了立式布置管束及自然通风。但可能由于效果不佳,以后若干年内未见大的发展。1930年开始用单面立式和卧式布置的翅片管管束,并用风机驱动空气。这一发展可以说是空冷技术发展史上的一次突破。大约到1935年前后,具有现代雏型的水平布置管束的引风式和鼓风式空冷器投入工业运转。在20世纪40年代,为了节省占地面积而出现了V形、圆环形、多角形和“之”字形等结构。但当时这些结构都存在着管束出口的热风向入口循环等问题。在20世纪50年代以前,工业装置上用的空冷器都是干空冷,结构形式和操作经验都很不完善。以后,为了提高冷却性能和扩大适用范围,又从多方面进行了改进。例如,为了适应高气温的要求发展了湿式空冷;为了减小占地面积而发展了干、湿联合空冷;为了提高传热效率,增强空冷器的适用性,发展了蒸发式空冷、板式空冷;为了适应低气温与高黏、易凝流体的冷却,又设计出了加有内、外热风再循环,自调百叶窗,加热蒸汽盘管,电加热及内翅片管等结构;为了精确控制工艺介质的出口温度和节约动力消耗,发展了自调倾角风机及变频自动调速风机等;为了适应各

种操作温度和压力，研制出了多种结构形式的管束和管箱；为了提高管束的传热效率及耐腐蚀性能、降低风机功率损耗，研制开发了数十种不同类型的翅片管；为了降低噪声及提高风机效能，发展了各种风机叶型和传动形式。总之，随着空冷器应用范围的扩大，其技术在不断提高，结构形式日趋多样和完善。空冷器的基本发展过程是：干空冷—湿式空冷—蒸发空冷—板式空冷。

## 二、空冷与水冷的比较

水冷和空冷是目前工业装置中最重要的两种冷却方式。这两种冷却方式各有优点和不足，选用时要视具体情况而定。如果冷却水供应困难，又有严格控制环境污染的要求，自然应选用空冷器；如果厂地面积及空间都受到限制，水源也无问题，也就只有选用结构紧凑的水冷器。但在一般情况下还是应作全面比较，因为影响因素比较复杂。有关专家已作了许多分析和比较，一般都认为空冷优点多于水冷，所以即使在水源比较充足的地方，也推荐采用空冷。

空冷的最大优点就是节水效果好，对环境污染小，操作费用低，缺点是占地面积(或空间)大，一次性投资多，受到介质和环境的温度限制；水冷的最大优点是结构紧凑，安装费用低，但操作费用高，对环境污染严重，具体比较如表 5.1-1 和表 5.1-2<sup>[1]</sup>。

表 5.1-1 空冷与水冷相比的优点

空冷的优点	水冷的缺点
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对环境污染小</li> <li>2. 空气可随意取得</li> <li>3. 选厂址不受限制</li> <li>4. 空气腐蚀性小，设备使用寿命长</li> <li>5. 空气侧的压降小，操作费用低</li> <li>6. 空冷系统的维护费用，一般情况下仅为水冷系统的 20%~30%</li> <li>7. 一旦风机电源被切断，仍有 30%~40% 的自然冷却能力</li> <li>8. 无二次水冷却问题</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对环境污染严重</li> <li>2. 冷却水往往受水源限制，需要设置管线和泵站等设施</li> <li>3. 特别对较大的工厂和装置，选厂址时必须考虑有充足的水源</li> <li>4. 水腐蚀性强，需要进行处理，以防结垢和杂质的淤积</li> <li>5. 循环水压头高(取决于冷却器和冷水塔的相对位置)，故水冷能耗高</li> <li>6. 由于水冷设备多，易于结构，在温暖气候条件下还易生长微生物，附于冷却器表面，常常需要停工清洗</li> <li>7. 电源一断，即要全部停产</li> </ol>

表 5.1-2 水冷与空冷相比的优点

水冷的优点	空冷的缺点
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水冷通常能使工艺流体冷却到低于环境空气温度 2~3℃，且循环水在凉水塔中可被冷却到接近环境湿球温度</li> <li>2. 水冷对环境温度变化不敏感</li> <li>3. 水冷器结构紧凑，其冷却面积比空冷器小得多</li> <li>4. 水冷器可以设置在其他设备之间，如管线下面</li> <li>5. 用一般列管式换热器即可满足要求</li> <li>6. 噪声小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由于空气比热容小，且冷却效果取决于气温温度，通常把工艺流体冷却到环境温度比较困难</li> <li>2. 大气温度波动大，风、雨、阳光，以及季节变化，均会影响空冷器的性能，在冬季还可能引起管内介质冻结</li> <li>3. 空气侧膜传热系数低，故空冷器的冷却面积要大得多</li> <li>4. 空冷器不能紧靠大的障碍物，如建筑物、大树，否则会引起热风循环</li> <li>5. 要求用特殊工艺设备制造翅片管；</li> <li>6. 噪声大</li> </ol>

文献[1]对如图 5.1-1 所示的空气冷却、凉水塔冷却、蒸发冷却及开放式(管壳式)水冷却等 4 种冷却方式进行了比较,其结果示于表 5.1-3。从表中可以看出,在 20 个比较项目中,空冷只有两项劣于平均值,一项接近平均值,其余均优于平均值。

在对两种冷却方式的经济性讨论中,国内外学者都发表过许多对比分析资料。下面列出几个代表性的例子。联邦德国有人通过实例对比指出,虽然空冷器比套管式水冷器投资高,但总的看还是比较经济。如把 90℃ 的有机液冷却到 40℃ (热负荷  $1.163 \times 10^6 \text{W}$ ),空冷器投资在低压范围内高 3~4 倍,在高压范围内(如 32.5MPa)约高 25%~30% (因为高压空冷器用的管子直径较小,壁厚不必增加太多,材料费相应增加较少),但水冷器的管理费是空冷器的 2 倍,水费是空冷的 6 倍。对于冷凝过程二者的总费用大致相同。

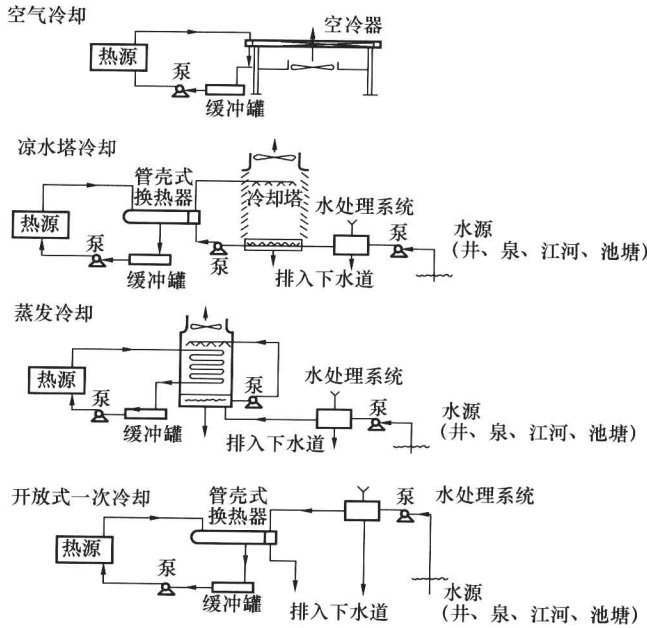


图 5.1-1 4 种不同冷却方式的系统流程

美国有人从节能观点出发,举 3 个实例进行了详细比较。如表 5.1-4 所示。对比的条件为:设备使用期 15 年,每年运转 8400h,预计 5 年的燃料和能量消耗以及相同期间内的设备折旧费。文献[1]的作者认为,对比的因素很多,必须逐项考虑,但其中工艺设计因素最重要,每台设备必须根据具体使用条件分别进行考虑。这样工艺设计费可能增加,但可从最经济地操作中获得最大经济效益。从表 5.1-4 中不难看出,例 1 无疑用空冷最好;例 2 补偿期未超过 5 年,仍以选空冷为好;例 3 虽然用水冷最经济,但每年要消耗 8000 美元的水,会造成污染,仍可考虑空冷。

表 5.1-3 4 种不同冷却方式的比较

比较项目		冷却方式			
		空冷器	冷却塔	蒸发冷却器	开放式水冷器
一次投资	基本投资	△	△	△	★
	占地面积	○	△	△	★

续表

比较项目		冷却方式			
		空冷器	冷却塔	蒸发冷却器	开放式水冷器
运行费用	生水消耗	★			○
	污染处理	★	△	△	○
	电能消耗	★	△	△	★
	水处理	★	△	△	△
	防火保险	★	○	★	●
维护修理费用	积垢和生物的清埋	★	△	○	○
	机械设备数量	★	△	△	★
	生物腐蚀	★	○	○	○
系统冷却能力	基于干球温度	★	●	○	△
	基于湿球温度	○	★	★	○
	在低温下干球/湿温度	★	△	△	△
	长期结垢	★	△	△	△
	长期微生物生长	★	○	○	△
污染的控制	蒸汽云雾和喷溅噪声	★	○	○	★
	自然水的热污染	★	△	△	○
	意外性化学污染	★	△	△	○
	排污	★	○	○	△
	排水	★	○	○	○

注：★—优于平均值；△—平均值；○—劣于平均值；●—不适用。

我国也有不少工程技术人员从经济观点对这两种冷却方式进行过对比，如对南京炼油厂减压塔顶冷凝器改造前后进行的对比。该厂改造前为水冷，含油污水约  $150 \times 10^3 \text{ kg/h}$ ，占全厂污水量的 28%，新鲜水耗量达  $400 \times 10^3 \text{ kg/h}$  以上。1979 年全部改为湿式空冷，工业用水降到 1%，污水处理费降到 1.3%，一次投资虽然多了些，但操作费可大大节约，两、三年即可回收全部投资。文献[1]的作者，对不同形式冷却器的选择原则作了专题研究。他从管内介质不同温度范围对水冷却和各种空气冷却所需要的冷却面积、动力消耗、投资以及操作费用进行了技术经济核算，得出了各种冷却方式适用的经济温度范围，可供初选空冷器时参考。这一经济温度范围为循环水冷却  $< 60^\circ\text{C}$ ；干空冷  $> 55^\circ\text{C}$ ；增湿空冷 =  $50 \sim 90^\circ\text{C}$ ；喷淋空冷  $< 80^\circ\text{C}$ 。

综上所述，不难得出以下结论：发展空冷技术及其设备既是节水和环境保护的要求，也是节能的要求。在我国，目前除炼油、化工、冶金及电力行业空冷器应用较普遍外，其他领域还不够多，今后还应加强对空冷技术和设备的开发，以提高其适应性和扩大使用范围。

表 5.1-4 对空冷与水冷的经济比较

例 1	热负荷： $Q = 8.79 \times 10^7 \text{ W}$		进口温度： $93^\circ\text{C}$	出口温度： $77^\circ\text{C}$
	空冷		水冷	差值
	设备费/\$	1500000	1100000	400000
	操作费/( \$/a)	75000	590000	515000
	偿还期/a	$400000/515000 = 0.78$		

续表

		热负荷: $Q = 4.4 \times 10^6 \text{ W}$		进口温度: $77^\circ\text{C}$	出口温度: $38^\circ\text{C}$
		空冷	水冷	差值	
例 2	设备费/ \$	1750000	1150000	600000	
	操作费( \$/a)	75000	290000	215000	
	偿还期/a	600000/215000 = 2.8			
		热负荷: $Q = 1.17 \times 10^6 \text{ W}$		进口温度: $77^\circ\text{C}$	出口温度: $46^\circ\text{C}$
		空冷	水冷	差值	
例 3	设备费/ \$	55000	22000	33000	
	操作费( \$/a)	2400	8000	5600	
	偿还期/a	33000/5600 = 5.9			

### 三、空冷器的选择

在充分就选用水冷还是空冷的论证后, 在认为用空冷不仅能满足工艺要求, 且从能耗、水耗及平面布置等都比较合适的情况下, 还必须从性能和经济性等方面考虑, 以确定是选用干式空冷还是选用湿式、联合式、蒸发式、板式空冷。通常情况下, 可按管束布置方式、通风方式和冷却方式的不同进行选用。

#### (一) 按管束布置方式

管束布置形式虽有多种, 但在炼油厂及石油化工厂中应用最多的是水平式, 其次是斜顶式、立式和圆环式。见图 5.1-2。

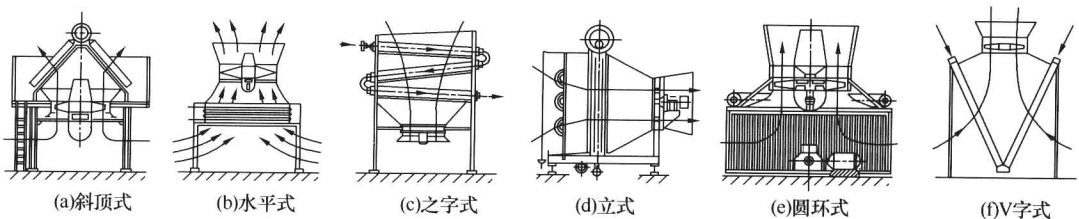


图 5.1-2 空冷器的基本结构形式

1. 水平式空冷器(图 5.1-3)。管束为水平放置, 但作冷凝器时, 为防止冷凝液停留在管子中, 管子应向介质出口方向有 1% 的倾斜。百叶窗置于管束上方, 风机置于管束下方

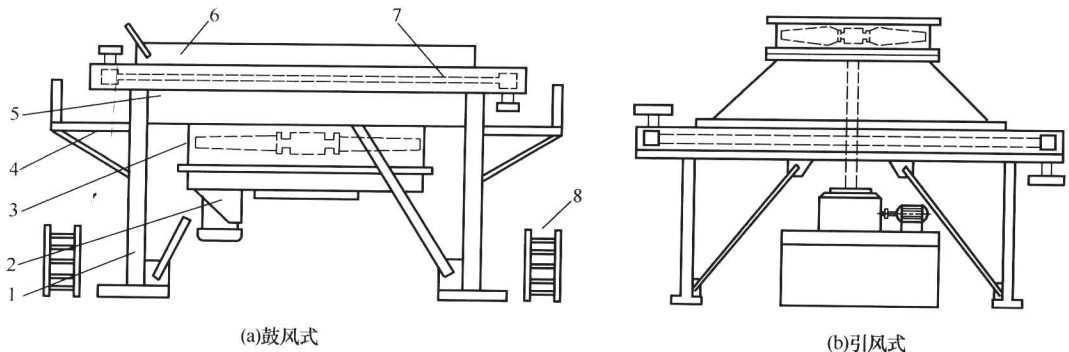


图 5.1-3 空冷器的通风方式

1—构架; 2—风机; 3—风筒; 4—平台; 5—风箱; 6—百叶窗; 7—管束; 8—梯子

(鼓风式)或上方(引风式),见图 5.1-3(a)、(b)。水平布置的特点是:管子布置清晰且整齐,适于多单元组合;传热面积及管束长度不受限制;造价比斜顶式大约低 0.5%;管内热流体和管外空气分布比较均匀。新建的大型炼油厂一般都采用此种形式。

2. 斜顶式空冷器。管束斜放呈人字形,夹角一般在  $60^\circ$  左右,百叶窗也斜放呈人字形置于管束外侧,风机置于管束下方空间的中央,换热管有水平放置和斜立式放置两种。其优点是,占地面积小(比水平式少 40%~50%),结构紧凑[见图 5.1-2(a)]。但管内介质和管外空气分布不够均匀,热空气容易形成较严重的热风再循环,成本也较高。一般多用作汽轮机冷凝器,与立式管束配合,用于干、湿联合空冷(图 5.1-4)以及适用于老厂改造或场地比较小的场合。

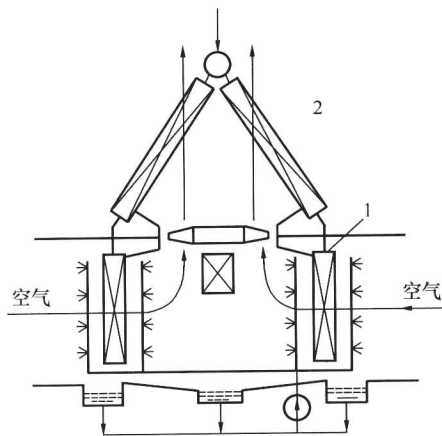


图 5.1-4 干湿联合空冷器

1—湿式空冷管束；2—干式空冷管束

3. 立式空冷器。管束立放,风机置于两管束中间之顶部外侧[图 5.1-2(d)],而换热管有水平放置和立式放置两种。优点是结构紧凑,占地面积小,但管束中空气分布不均匀,易受外界自然风的干扰,管束不宜太长。多用于湿空冷、联合空冷和小型冷却装置,如用作压缩机、内燃机及冶金高炉等循环水的冷却器。

4. 圆环式空冷器。多排管束立放排成圆环形,风机位于上部中央(图 5.1-2e)。这种形式结构紧凑,适于安装在塔顶作冷凝器,不占用土地。但风机容量受到限制,空气流速变化范围较窄,灵活性差。

## (二) 按通风方式

采用何种通风方式,乃是空冷器设计者应首先考虑的问题。从空冷器的发展史上看,最早的空冷器是靠自然通风,也称无风机空冷器。它的最大优点是不消耗动力、无噪声,但热负荷小,散热效率低。目前在石油化工行业用的主要是鼓风式和引风式两种。这两种形式各有其优点和缺点,人们的评价也不尽相同。例如,美国 HUDSON 公司推荐用引风式,而英国 HeadWrightson 公司和日本笹仓公司则主张用鼓风式。但从总的情况看,一般倾向于用前者。目前国外应用情况大约是引风式占 60%,鼓风式占 40%。国内干式空冷中多用鼓风式,在湿式空冷、蒸发空冷、板式空冷上多用引风式,其优缺点如下:

### 1. 鼓风式空冷器

#### 优点

- ① 风机和传动机构不与热空气接触,其结构材料可不考虑温度的影响,使用寿命较长;
- ② 结构简单,便于维护保养;
- ③ 比较容易设置多个空冷器单元。

#### 缺点:

- ① 气流经过底排管束的速度大,压力损失大,虽然可以强化传热,但气流分布不均匀;
- ② 管束暴露于大气中,翅片管易被冰雹、雨雪和风沙侵袭损伤、弄脏或腐蚀;
- ③ 在特殊气候条件下,管内热流体的出口温度不易得到精确控制,操作波动大;
- ④ 热空气离开管束时,流速较低,有可能产生热风再循环现象。

## 2. 引风式空冷器

### 优点:

① 风叶和风筒对管束有屏蔽作用,能减少暴风雨及烈日对管束的直接影响,有利于温度的控制;

② 经风机排出的热风流速较高,约为吸入速度的 2.5 倍,故热风再循环的可能性大为减少;

③ 进入管束的气流分布较均匀,空气压降稍有降低;

④ 风筒具有一定的吸风作用,能促进空气进行自然对流,因而可减少动力消耗;

⑤ 因为风机安装位置较高,所以平台处噪声较低,如中心走廊处的噪声比鼓风式的约低 3dB(A);

⑥ 占地面积小,因为管束下面的走廊可安装其他设备,如管线,泵等。

### 缺点:

① 风机位于管束之上,直接受热空气作用,叶片和轴承需要较好的耐热性能,一般要求风机出口温度不超过 120℃

② 为防止空载时的超负荷,风机要有一定的余量;

③ 风机及传动机构的维修保养较为麻烦。

造价:文献[1]认为,引风式的造价比鼓风式低,其理由是鼓风式的构架比引风式的复杂,且后者在制造厂内的预装配程度较高。在工地安装时的费用只有鼓风式的 80%,因此引风式的总造价比鼓风式的低。

动力消耗:按理论上的功率计算方法计算,引风式比鼓风式约大 5%。但美国 HUDSON 公司对两台条件相似的鼓风式和引风式空冷器进行对比试验表明,后者所消耗的功率在一定条件下并不比前者大,反而在功率相同的情况下,由于引风式的排风体积流率大于鼓风式,因而相对来说还要小。下面为试验结果。

空冷装置形式	排风流率(21℃)/(m <sup>3</sup> /s)	功率/W
引风式	43.88	1.1558 × 10 <sup>4</sup>
鼓风式	38.23	1.1855 × 10 <sup>4</sup>

上述结果相当于在引风式出口空气温度比鼓风式高 55℃ 时二者具有相等的质量流率。也即,当二者的排风温度差小于 55℃ 时,引风式的功率消耗较低。

从上述对比中可以看出,引风式具有较多的优点。所以目前多采用引风式。美国 HUDSON 公司推荐,除由于受特殊条件限制外(如热流体温度过高),一般都应采用引风式空冷器。

### (三) 按冷却方式

#### 1. 干式空冷器

就是仅依靠空气温升带走热量,靠翅片管和风机强化传热的空冷器。操作简单,使用方便,但由于其冷却温度取决于空气的干球温度,其接近温度(热流出口温度减去冷流入口温度)高于 15~20℃ 时才经济,所以只能把管内热流体冷却到高于环境温度 15~20℃。

#### 2. 湿式空冷器(图 5.1-5)

就是依靠空气温升带走热量,靠翅片管和风机及喷雾水增湿降温强化传热的空冷器。在传热过程中有少量的蒸发传热,是为了弥补干空冷的缺点而开发出的一种空冷器。湿式空冷器综合了空冷和水冷的优点。出现于 20 世纪 50 年代,发展于 20 世纪 60 年代,在英国、美



国、德国及墨西哥等世界各地的炼油厂、化工厂和气体加工厂中均有广泛采用。我国 1975 年研制成功第 1 台湿空冷，目前主要用于炼油厂的常减压塔顶、汽油再蒸馏、丙烷脱沥青及酮苯脱蜡等装置的冷凝或冷却过程中。

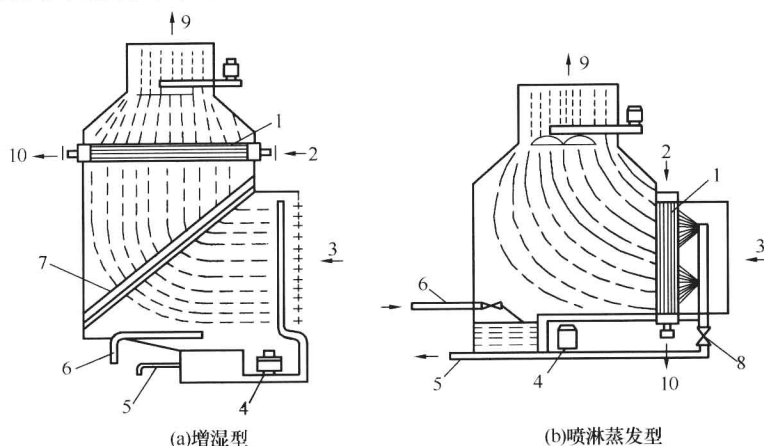


图 5.1-5 湿式空冷器的结构形式

1—管束；2—热流体进口；3—空气进口；4—循环水泵；5—排水管；6—供水管；  
7—挡水板；8—阀门；9—热空气出口；10—热流体出口

根据喷水方式湿式空冷器基本可分为增湿型、喷淋型和表面蒸发型 3 种。在石油化工厂中，以前两种为主。一般都可把热流体出口温度冷却到接近环境湿球温度。

(1) 增湿型空冷器。如图 5.1-5(a) 所示，它是在空气入口处喷雾状水，使干燥的空气增湿到接近饱和温度，且降温。增湿后的低温空气经过挡水板除去水滴，再横掠翅片管束。干空气相对湿度愈小，增湿后降温愈多，冷却效果也愈显著。因此，这种空冷器只适于相对湿度低于 50% 的干燥炎热的地区。表 5.1-5 列出了国外几个干燥地区的干、湿球温度。从表中可以看出，墨西哥地区相对湿度为 27.1%，即干湿球温度相比下降了 16℃，这是很可观的。

表 5.1-5 国内外某些地区干、湿球温度

地 区	设计最高干球温度/℃	相对湿度/%	对应的湿球温度/℃
墨西哥	43	27	27
巴基斯坦	49	18	27
撒哈拉	47	17	25
沙特阿拉伯	46	28	29
中国(乌鲁木齐)	30	46	18.3

常用的增湿型空冷器还有如下两种形式。

〈 i 〉同凉水塔并用型<sup>[1]</sup>

它是空冷器与湿式凉水塔(夏季)或干式凉水塔(冬季)并联在一起工作的，图 5.1-6 所示为其典型结构。空气先与水直接接触进行增湿降温，降温后的空气进入管束用以冷却管内流体。

这种结构虽使占地面积和投资增加，但却不必专门建造凉水塔。其主要优点是：

a. 由于水不直接接触翅片管，所以水不需经任何方法处理，也不致引起翅片管结垢或