

空冷器设计与应用

空冷器设计与应用

马义伟 编著

合不案



哈尔滨工业大学出版社

空冷器设计与应用

马义伟 编著

哈尔滨工业大学出版社
哈 尔 滨

内 容 提 要

本书共七章,分别介绍空冷器的基本结构、翅片管、传热计算、空冷器的设计及应用、电站空冷技术及展望。

本书列举了大量图表、数据、计算公式、设计计算例题、应用实例等,具有很强的工程应用和参考价值。可作为石油化工企业、电站、换热管制造厂的工程技术人员、设计人员,大专院校相关专业的师生参考。

空 冷 器 设 计 与 应 用

Konglengqi Sheji yu Yingyong

马义伟 编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨市工大节能印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.125 字数 234 千字

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

印数 1~3 000

ISBN 7-5603-1372-8/TH·69 定价 18.00 元

前 言

随着工业的发展,人民生活水平的提高,水源的短缺已成为全球性的问题,采用空气冷却方式是解决水源问题的措施之一。空气冷却方式具有很多优点,如空气可以免费取得、工厂厂址选择不受限制、维护费用低等,另外,环境保护的要求更促进了空气冷却技术的发展。

从 60 年代开始,作者就开始从事空冷技术的研究和开发工作,合作研制新型空气冷却器,发表了一些文章和著作。1982 年合作编著了《空气冷却器》(化学工业出版社出版),1985 年参加编写了《炼油厂设备加热炉设计手册》(第二分篇炼油厂设备设计中册),1990 年合作编著《电站凝汽设备和冷却系统》(水利电力出版社出版),1997 年发表了个人专集《电站空冷若干专题的讨论》(哈尔滨工业大学能源科学与工程学院)。

本书在编写过程中,尽可能反映近些年空冷技术的成果和进展,采用国际单位制,所有资料均采用公开发表的文献和报告。

在本书的编写过程中,受到石油化工系统的朋友刘积文、朱坚、陈允中、赖周平、刘兵、吕志元等人士的鼓励、支持和帮助,在此表示真诚的谢意。

我和哈尔滨空调机厂的合作,已有 30 余年的历史,其中第一个合作项目是“哈工大 50kW 试验电站空冷凝汽器试验研究”。合作开展扩张表面的传热试验研究,研制开发出多项科技成果,如湿式空冷器、热风循环式空冷器、渣油空冷器等,均获得成功的应用。在此,感谢哈尔滨空调机股份有限公司(哈尔滨空调机厂)给我的支持和合作,致以真诚的敬意。

本书不当之处,欢迎指正。

作 者

1998.11.

目 录

总 论

- 0-1 空气冷却方式和水冷却方式的比较 (1)
- 0-2 空气冷却技术的应用 (2)
- 0-3 我国空冷技术的发展 (3)

第一章 空气冷却器的基本结构

- 1-1 空气冷却器的分类 (5)
- 1-2 空冷器的基本结构 (6)
- 1-3 管束 (7)
- 1-4 风机 (11)
- 1-5 构架 (16)
- 1-6 百叶窗 (19)
- 1-7 蒸汽加热盘管 (20)
- 1-8 空冷器型号表示 (21)

第二章 翅片管

- 2-1 翅片管的类型 (22)
- 2-2 翅片管的特性参数 (27)
- 2-3 翅片管束的结构 (30)
- 2-4 电站空冷散热器的冷却元件 (33)

第三章 空冷器的传热计算

- 3-1 热交换的基本方程 (36)
- 3-2 传热系数和传热热阻 (37)
- 3-3 管内换热系数的计算 (41)
- 3-4 管外流体与壁面的换热 (45)
- 3-5 污垢热阻 (49)
- 3-6 翅片效率和翅片热阻 (51)
- 3-7 翅片管的间隙热阻 (53)
- 3-8 湿式空冷器的管外换热与气流阻力 (55)
- 3-9 换热器效率 E - 传热单元数 NTU (60)
- 3-10 传热平均温差 (61)

第四章 空气冷却器设计计算

- 4-1 空冷器的总体设计 (71)
- 4-2 空冷器设计条件和基本参数 (72)
- 4-3 设计计算步骤 (76)
- 4-4 干式空冷器设计计算举例 (78)

4-5	湿式空冷器设计计算及举例	(80)
4-6	联合型空冷器设计计算及应用	(87)
4-7	易凝油品空冷器设计计算及举例	(91)
4-8	电站空冷凝汽器面积估算和结构布置	(95)
第五章 空冷器的应用		
5-1	热风循环式空冷器	(98)
5-2	采用气液分离技术的联合型空冷器	(104)
5-3	湿表面式空冷器	(107)
5-4	增湿型空冷器	(110)
5-5	杭炼干-湿联合型空冷器的结构及应用	(111)
5-6	冶金高炉循环水的空冷器	(113)
5-7	变压器油空气冷却器	(115)
5-8	空冷器的防冻防凝和预防热风再循环	(116)
第六章 电站空冷技术		
6-1	电站空冷技术的进展	(120)
6-2	电站空冷系统的经济性	(124)
6-3	空冷塔空气动力计算	(127)
6-4	电站空冷技术的几个设计问题	(132)
6-5	电站空冷技术的扩大应用	(136)
6-6	国内外几个大型空冷电站的技术数据	(141)
第七章 展望		
7-1	塔顶空冷器	(146)
7-2	湿-干冷却塔和湿-干冷却系统	(148)
7-3	自然通风式空冷器	(151)
附 录		
1.	干空气的热物理性质	(152)
2.	全国主要城市气温一览表	(153)
参考文献		(154)

总 论

采用水作为冷却器的冷却介质已有多年的历史,由于水的换热系数较高,可使设备紧凑、投资低,因而受到重视,并成为一种最重要的冷却方式。但是,由于下列三方面的原因,这种传统的冷却方式已受到严重的挑战^[1]。

1. 工业迅速发展使工业用水量大幅度增加,出现了供水不足的情况。

2. 人们开始注意到保护环境,免受污染的重要性。如果采用河水冷却,本身就是对河水的一种热污染,河水温度升得太高就会破坏河流中的生态平衡;而由于冷却设备泄漏而造成的对水质的污染,则会造成更为严重的问题。

3. 新型空冷器设计的经济性大为提高。

因此,在过去的 50 年中,有一部分水冷却器逐渐被空气冷却器所代替,有更多的炼油厂和石油化工厂安装了空气冷却器或空冷凝汽器。空气冷却技术在动力、冶金、原子能等部门的应用也有了新的进展。事实证明,空气冷却器不仅维护费用低廉,且与水冷却系统相比较,具有更长的使用寿命。

如果有冷却水可用,水冷却器和空气冷却器之间的选择取决于经济性和对环境的保护;如果冷却水的供应有困难,那就没有别的选择,只有采用空冷。为防止对水源的污染,也要优先采用空气冷却。

0-1 空气冷却方式和水冷却方式的比较

空气冷却是在空气冷却器中实现的,冷却介质为空气,可用于各种流体的冷却和冷凝。由于空气的比热小(约为 $1.005\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$),仅为水的比热的四分之一,因此若传热量相同,冷却介质温升相同,则所需的空气量将为水量的四倍。再考虑到空气的密度远小于水,则相对于水冷却器,空冷器的体积是很大的。

另外空气侧的换热系数很低,约为 $50\sim 60\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$,导致光管空冷器总传热系数也很低,较水冷却器的传热系数约低 $10\sim 30$ 倍,为抵消空气侧换热系数较低的影响,所以空冷器一般均采用扩张表面的翅片管,其翅化比大致为 $10\sim 24$ 。

空气冷却方式和水冷却方式的讨论持续了相当长的时间,到目前仍在进行两者之间的经济分析和讨论,但是空冷器的优越性愈来愈受到人们的注意,以空冷代替水冷的趋势仍在持续发展。

表 0-1, 0-2 对空气冷却和水冷却的优缺点进行了比较^[1,2]。

表 0-1 空气冷却优于水冷却

空气冷却的优点	水冷却的缺点
1. 空气可以免费取得,不需各种辅助费用 2. 采用空冷,厂址选择不受限制 3. 空气腐蚀性低,不需采取任何清垢的措施 4. 由于空冷器空气侧压力降为 100 ~ 200Pa 左右,所以运行费用低 5. 空冷系统的维护费一般为水冷系统维护费的 20% ~ 30%	1. 冷却水一般是难于取得的,即使可以取得,也必须设置各种泵站和各种管线 2. 特别是大厂的厂址,取决于水源条件 3. 水有腐蚀和水垢,需进行清理 4. 水的运行费高,循环水泵压头高 5. 在水冷器中,某些生物能附着在换热器表面上,需停下设备清除,增加了维护费用

表 0-2 水冷却优于空气冷却

水冷却的优点	空气冷却的缺点
1. 水冷却能将工艺流体冷却到比空气低 2 ~ 6℃,且循环水在冷却塔中可被冷却到接近环境湿球温度 2. 水冷却器结构紧凑,冷却面积比空冷器要少得多 3. 水冷却对环境气温变化不敏感 4. 水冷器可以放在其它设备之间 5. 一般的管壳式换热器即可满足要求	1. 由于空气比热小,且冷却效果取决于空气的干球温度,不能将流体冷却到环境气温 2. 空气侧换热系数低、比热小,所以空冷器需要较大的面积 3. 空冷器性能受环境气温,雨雪,大风的影响 4. 空冷器不能靠近大的建筑物,以免形成热风再循环 5. 空冷器要求采用特殊制造的翅片管

0-2 空气冷却技术的应用

在国外,自 30 年代空气冷却器投入工业使用以来,在石油化工企业迅速得到应用,从轻油到重油、渣油,从正压到负压,从炎热地区到寒冷地区,从水源充沛地区到缺水地区都成功的使用了空气冷却器^[1]。

1948 年,美国在 Texco Corpris Christi 炼油厂第一次全部采用空气冷却方式取代传统的水冷却方式。50 年代末期,英国在水源充足的 Whitecate 炼油厂和 Nolyton 炼油厂也全部采用了空气冷却方式,目前采用全部空气冷却的炼油厂在不断增加。

在化工厂中,合成氨、合成甲醇、氯化物、聚氯乙烯及单体氯乙烯等生产工艺过程都有采用空气冷却的实例。易凝油品如腊油、渣油的换热已完全可以采用空气冷却。对与水接触能发生爆炸的介质,实践表明,采用空气冷却也是适宜的。

在动力工业,由于水源紧张,汽轮机排汽的直接空冷系统和间接空冷系统日益得到重视,发展很快。在国外的炼油厂、石油化工厂的驱动汽轮机采用空冷凝汽器有众多的应用实例。目前,电站直接空冷系统的单机容量已达到 600MW 级,采用表面式凝汽器的间接空冷系统的单机容量为 600MW 级,采用混合式凝汽器的间接空冷系统的单机容量为 250MW 级。采用空气冷却系统电站的装机容量的增长以指数曲线的方式增加,示于图 0-

1. 直接空冷和间接空冷系统装机容量的比值约为 3:2^[3]。

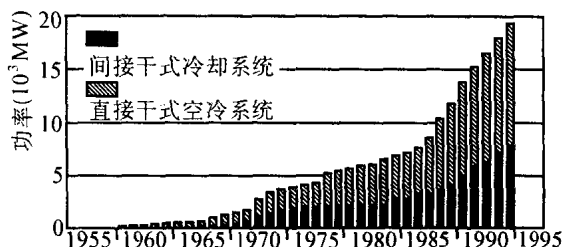


图 0-1 电站空冷装机容量的增长

在冶金企业,空气冷却技术的应用也有了一些进展。高炉炉壁循环水的空气冷却已有了成熟的经验,其原则性系统示于图 0-2,图 0-3 示出了转炉循环水的蒸发冷却系统。

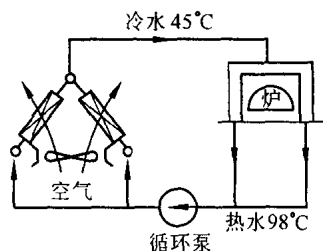


图 0-2 高炉循环水的空气冷却

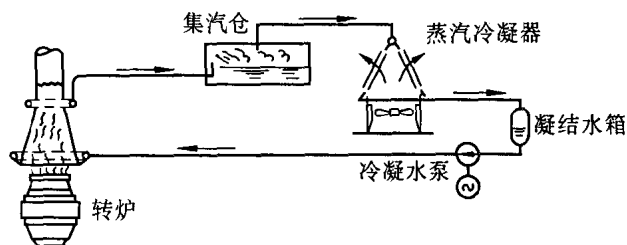


图 0-3 转炉的空气冷却系统

空气冷却器还可用于空气压缩机的中间冷却器、燃气轮机的回热器、发电机的空气冷却器以及废热回收装置。

液态金属快中子增殖反应堆中应急的心部空气冷却是一个应用实例。在这一点上,空气冷却较其它的冷却方法有两个显著的优点:一是空气总是取之不尽的;二是如果发生熔融的盐或金属从管子的工艺侧泄漏,不会发生危险反应。

冷冻和空气调节设备中氟里昂、氨或丙烷的冷凝采用空气冷却器是人所共知的,但多是小型的。

0-3 我国空冷技术的发展

我国从 1963 年开始空气冷却器的开发和研究工作,经过哈尔滨空调机厂、兰州石油机械研究所、北京石油设计院的共同努力,仅用了一年的时间,就攻克了缠绕翅片管的技术难关,试制成功我国第一台空气冷却器,装于锦西石油五厂,运行效果良好,获得 1978 年全国科学大会奖^[1]。

由于空气冷却器是节约工业用水、避免环境污染的有效措施,因此 30 多年来,在新老石油化工厂、冶金企业、电站得到了应用和推广,应用范围在扩大。

1966 年,哈尔滨工业大学和哈尔滨空调机厂联合发起开展电站空冷技术的开发和试验研究工作,在哈工大 50kW 试验电站采用空冷凝汽器获得成功^[1,4]。此后,1987 年在大同第二发电厂的 2×200MW 机组装设具有混合式凝汽器的间接空冷装置,1992 年起在丰镇发电厂 4×200MW 机组装设具有混合式凝汽器的间接空冷装置,1994 年在太原第二热

电厂 2 台 200MW 机组装设具有表面式凝汽器的间接空冷装置均获得成功^[3]。

为使空冷器扩大应用到 70℃ 以下的工艺流体的冷凝和冷却,给炼油厂实现全空冷创造条件,1973 年,哈尔滨空调机厂和哈尔滨工业大学等单位共同发起湿式空冷器的开发和试验研究工作,和有关单位合作,我国第一台湿式空冷器在抚顺石油二厂试验成功,此后又在试验研究的基础上,制定出湿式空冷器设计计算方法^[1,5]。湿式空冷器及其计算方法于 1978 年获全国科学大会奖。

为适应老炼油厂的技术改造和炼油厂的某些特定条件,南京炼油厂在有关单位的协助下,于 1975 年安装了一台联合式空冷器,取得了良好的效果^[1]。

为适应易凝油品的冷却,大庆石油化工设计院等单位于 1986 年研制成功热风循环式空冷器,运行效果良好,获得中国石油化工总公司科技进步奖^[6]。

近几年,国内又开发出湿表面空冷器(有人称之为蒸发式空冷器),用以提高空冷器的传热效果和老装置的技术改造,起到了节水、节能的效果^[7]。

从发展趋势看,由于水源的日益缺乏,环境保护的严格要求,空气冷却技术必将得到越来越广泛的应用,前景是光明的。

第一章 空气冷却器的基本结构

1-1 空气冷却器的分类

空气冷却器又称空冷器,通常按以下几种形式进行分类^[1,7,8,9,10]:

1. 按管束布置方式:立式、水平式、斜顶式(人字式,A形)、V形、圆环式、多边形;
2. 按通风方式:鼓风式、引风式和自然通风式;
3. 按冷却方式:干式空冷、湿式空冷(包括增湿型、喷雾蒸发型、湿面型)、联合型;
4. 按防寒方式:热风内循环式、热风外循环式、蒸汽拌热式。

图 1-1 示出最常用的鼓风式、吸风式和斜顶式空冷器示意。

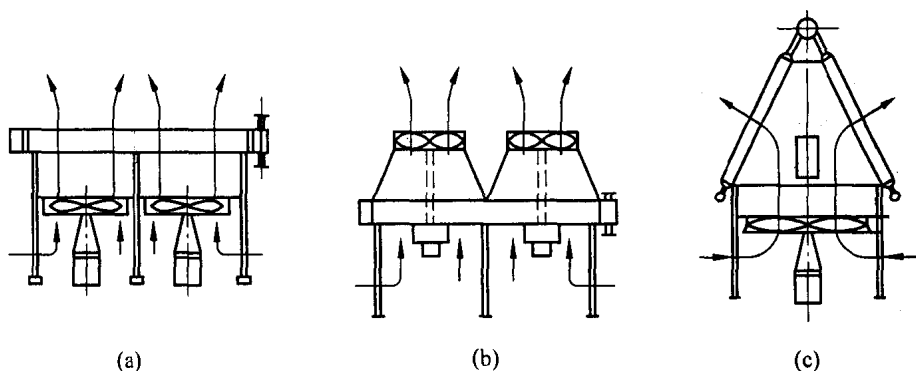


图 1-1 鼓风式(a)、吸风式(b)和斜顶式空冷器(c)示意

水平式空冷器的特点是管束为水平布置,用作冷凝器时,为防止冷凝液滞留在管内,管子有 3° 或 1% 的倾斜,管束长度不受限制,管内热流体和管外空气分布比较均匀。适用于多元组合,适宜于场地宽敞和新建的炼油厂。

斜顶式空冷器的特点是管束倾斜呈人字形放置,夹角一般在 60° ;占地面积少,为水平式的40%左右;结构紧凑;管内介质和管外空气分布不够均匀,易形成热风再循环;建造成本高。它适用于联合式空冷器、干-湿联合式空冷器,适用于老厂改造和场地较小的情况,特别适用于电站汽轮机空冷凝汽器。

湿式空冷的三种结构型式示于图 1-2^[7]。

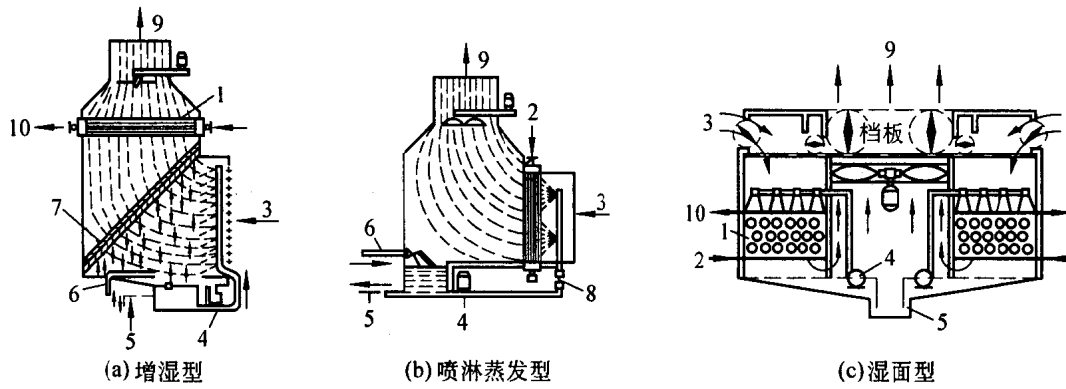


图 1-2 湿式空冷的三种结构型式

1—管束;2—热流体入口;3—空气入口;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

1-2 空冷器的基本结构

一台空气冷却器的基本部件如下:

1. 管束:包括管箱、换热管、管束侧梁及支持梁等;
2. 风机:包括轮毂、叶片、支架及驱动机构等;
3. 百叶窗:包括窗叶、调节机构及百叶窗侧梁等;
4. 构架:用于支撑管束、风机、百叶窗及其附属件的钢结构;
5. 风箱:用于导流空气的组装件;
6. 附件:如蒸汽盘管、梯子、平台等。

空冷器的基本结构示于图 1-3。

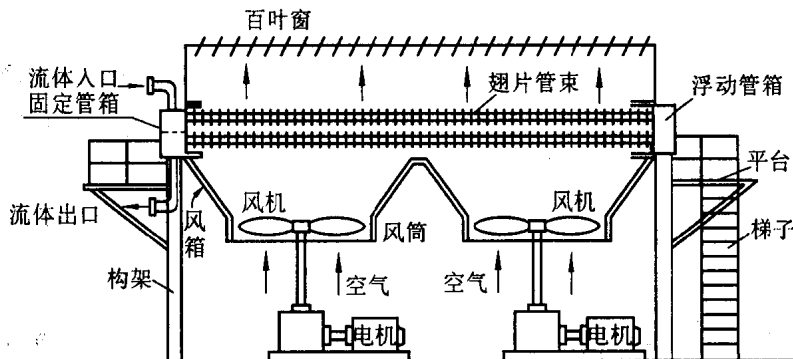


图 1-3 空气冷却器的基本结构

1-3 管 束

1.3.1 管束的基本要求, 结构及分类

管束是空冷器的核心部件, 空气横向掠过管束以冷却管内的热流体, 达到换热目的。

管束主要由翅片管、管箱及框架组成, 是一个刚性的、独立的结构, 应设计成可以完整地在空冷器的构架上进行装卸, 其造价约占空冷器主体的 60%。

对管束的基本要求:

1. 管束应为独立结构, 是便于整体装卸的组合体;
2. 管束应有适应翅片管热膨胀的措施;
3. 管束在构架上的横向位置, 至少在两边各有 6mm 或一边有 12mm 的移动量;
4. 最低一排翅片管下面应设支持梁; 支持梁间距不应超过 1.8m, 且与管束侧梁用螺栓(或焊接)固定; 支持梁部位的各排翅片管应有支撑件;
5. 用于冷凝的单管程管束的翅片管应向流体出口方向倾斜, 倾斜度最少为 1:100。多程冷凝器管束的管子不必倾斜;
6. 管束中凡产生空气旁流的部位, 当间隙超过 10mm 时, 均应设置挡风件。挡风件的厚度不小于 3mm, 且须固定。

由于管箱和翅片管的配合形式不同, 管束有各种不同的形式。

国家标准^[8]对管束型式与代号作了如下的规定, 示于表 1-1。

表 1-1 管束型与代号

管束型式	代 号	管箱型式	代 号	管束型式	代 号
鼓风式水平管束	GP	丝堵式管箱	S	L 型翅片管	L
斜顶管束	X	可卸盖板式管箱	K ₁	双 L 型翅片管	LL
引风式水平管束	YP	可卸帽盖式管箱	K ₂	滚花型翅片管	KL
		集管式管箱	J	双金属轧制翅片管	DR
				镶嵌型翅片管	G

国家标准^[8]对管束型号的标注作了规定和示例, 示于图 1-4。

示例:

1. 鼓风式水平管束: 长 9m, 宽 2m; 6 排管; 基管换热面积 140m²; 设计压力 4MPa; 可卸盖板式管箱; 镶嵌式翅式管, 翅化比 17.3; VI 管程的管束型号为

$$GP 9 \times 2 - 6 - 140 - 4K_1 - 17.3/G - VI$$

2. 斜顶式管束: 长 4.5m, 宽 3m; 4 排管; 基管换热面积 63.6m²; 设计压力 1.6MPa; 丝堵式管箱; 双 L 型翅片管、翅化比 23.0; I 管程的管束型号为

$$X4.5 \times 3 - 4 - 63.6 - 1.6S - 23.0/LL - I$$

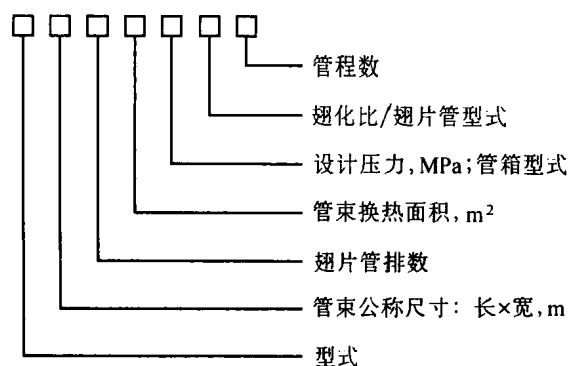


图 1-4 管束型号图示

水平式管束的基本结构如图 1-5 所示。高压管束的基本结构示于图 1-6。

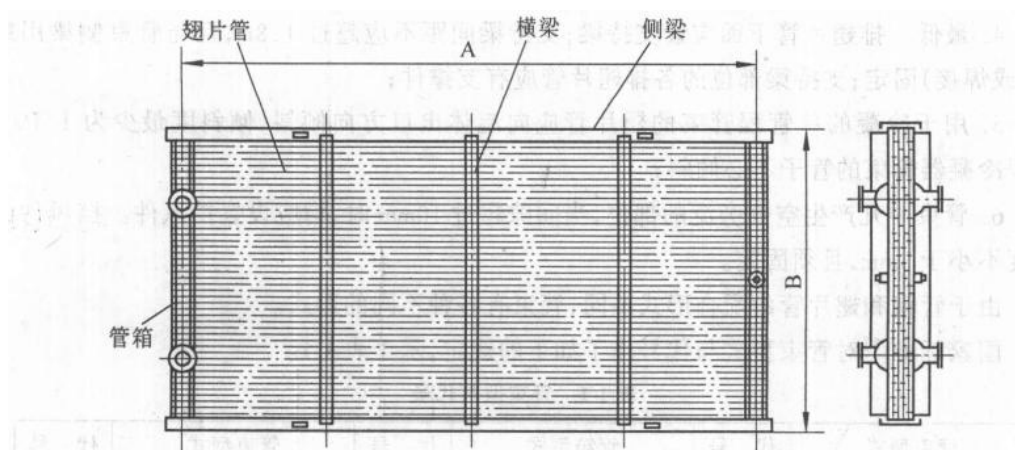


图 1-5 水平式管束的基本结构

A—管束长； B—管束宽

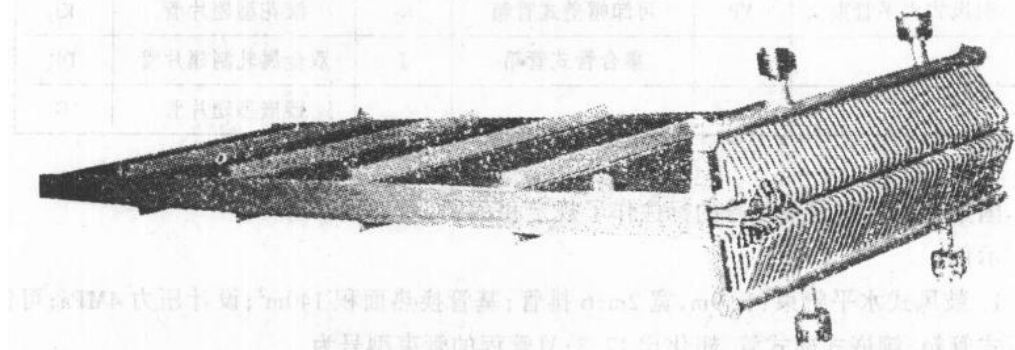


图 1-6 水平式高压管束

1.3.2 翅片管

翅片管是空冷器的核心和关键部件,其性能优劣直接影响空冷器的性能和发展,事实上,正是由于翅片管的出现,才使空冷器得以发展。

有关翅片管的介绍请参阅本书的第二章。

1.3.3 管箱

管箱是被冷却介质的集流箱,是空冷器的受压容器。

1. 对管箱的基本要求

(1)管箱的允许工作压力示于表 1-2。

表 1-2 管箱允许工作压力

管 箱 形 式	允许工作压力,MPa
可卸盖板式,可卸盖帽式	≤ 6.4
丝堵式	≤ 20
集合管式	≤ 35

(2)同一管箱上流体进出口之间温差大于表 1-3 的规定时,应采用分解管箱(示于图 1-7)^(1,11),U 形管结构或其它可以减少温度应力的措施,示于表 1-3。

表 1-3 管箱钢材适用温度范围

钢 材	进出口温差,℃
碳 素 钢	> 110
奥氏体钢	> 80

(3)板制空冷器管箱管板的厚度应不小于表 1-4 的规定。

表 1-4 板制管箱各板的厚度的规定

名 称	碳素钢及低合金钢	高合金钢
管板,mm	20	16
丝堵板,mm	20	16
盖板,mm	25	25
顶板,底板,端板,mm	12	10
管程隔板,加强板,mm	12	6

(4)管箱各管程的流通横截面积应大于或等于相应管程翅片管的流通面积。

(5)管箱中的横向流速应不超过接管中的流速。

(6)管箱焊接结构可参考 GB 985, GB 986 的规定。

(7)接管与管箱连接结构可参考 GB 150 附录 G 的规定。

(8)接管(或接头)一般与管箱的内表面平齐。

(9)管箱接管扣除腐蚀裕量后允许承受的弯矩和力,按管最小壁厚见国家标准^[8]。

(10)每个固定管箱或浮动管箱与侧梁的连接以及其它支撑构件的设计,应使所有接管载荷之和作用于一个管箱而不致破坏,作用于一个管箱上的所有接管载荷之和不应超过国家标准表 12 的规定^[8]。