



抚顺分公司设计参考资料

空冷器的工艺设计

FDC—Y—07<1>

中国石油集团工程设计有限责任公司抚顺分公司

前 言

空冷器是一种节水、节能、无污染的环保型冷却设备，空冷器是以取之不尽的空气作为冷却介质，这对我国是世界上主要缺水国家之一，尤为重要。发展空冷是保护环境为民造福事业。

本文对各种空冷器，干、湿、联合空冷，以及近几年兴起的表面蒸发、板式空冷器，结构造型设计条件及要求，并根据 API 对空冷器防冻问题，做了较详细的介绍，文中还列举了计算例题，供设计人员参考，欢迎提出意见，以便逐步修改完善。

整理编辑：冯国治

王雪梅

校 审：冯国治

工作人员：高 玲

廉 玮

2005.08

目 录

| | | |
|-----|--------------|----|
| 一 | 概述 | 1 |
| 二 | 空冷与水冷的比较 | 1 |
| 2.1 | 空冷与水冷的优缺点比较 | 1 |
| 2.2 | 空冷与水冷的能耗比较 | 2 |
| 2.3 | 空冷器的选用原则 | 2 |
| 三 | 空冷器的结构、型式 | 3 |
| 3.1 | 空冷器的结构 | 3 |
| 3.2 | 空冷器的型式 | 3 |
| 3.3 | 翅片管 | 4 |
| 3.4 | 空冷器的型号的表示方法 | 7 |
| 四 | 空冷器的工艺参数 | 9 |
| 4.1 | 设计气温 | 9 |
| 4.2 | 介质 | 10 |
| 4.3 | 管排数 | 10 |
| 4.4 | 迎风面空气流速 | 10 |
| 4.5 | 高低翅片的选择 | 11 |
| 4.6 | 管程数的选择 | 11 |
| 4.7 | 管箱的型式及选择 | 11 |
| 4.8 | 风机的选择 | 11 |
| 五 | 空冷器传热系数 | 12 |
| 六 | 空冷器的估算法 | 14 |
| 七 | 湿式空冷器的计算要点 | 16 |
| 7.1 | 湿式空冷器的使用 | 16 |
| 7.2 | 湿式空冷器的喷水措施 | 17 |
| 7.3 | 湿式空冷器的有关计算关系 | 17 |
| 八 | 空冷器参数表 | 18 |
| 九 | 空冷式换热器验收单 | 21 |

| | | |
|------|------------------|----|
| 十 | 空冷式换热器的防冻保护 | 23 |
| 10.1 | 概述 | 23 |
| 10.2 | 防冻保护区域 | 23 |
| 10.3 | 防冻方法 | 25 |
| 10.4 | 指导准则 | 30 |
| 10.5 | 机械设备 | 31 |
| 10.6 | 启动和停止规程 | 32 |
| 十一 | 板式空冷器 | 33 |
| 11.1 | 板式空冷器 | 33 |
| 11.2 | 板式空冷器的优越性 | 33 |
| 11.3 | 板式空冷器的结构形式 | 33 |
| 11.4 | 板式空冷器的板束焊接 | 33 |
| 11.5 | 板式空冷器的防冻性能 | 34 |
| 11.6 | 苯乙烯装置混合气空冷方案比较 | 34 |
| 11.7 | 板式空冷器与湿空冷经济对比 | 34 |
| 11.8 | 板式蒸发空冷器 | 35 |
| 十二 | 表面蒸发空冷器 | 36 |
| 12.1 | 表面蒸发式空冷器的工作原理与特点 | 36 |
| | 附录: | 37 |
| | 参考文献 | 39 |

空冷器

一 概述

空气冷却器是以环境空气作为冷却介质,对管内高温流体进行冷却或冷凝的设备,简称“空冷器”。

在国外,自20世纪30年代空冷器投入工业使用以来,在石油工业迅速得到应用,从冷却轻油到重油、渣油,从正压到负压系统,从炎热地区到寒冷地区,从水源充足地区到缺水地区都成功地使用了空冷器。有些炼油厂甚至全部使用空冷器;在动力工业中,直接空冷和间接空冷用于火力发电厂汽轮机排汽的冷凝,节水一般可达90%以上;在冶金工业中,高炉、平炉、金属炉循环水的空气冷却技术也比较成熟;此外,在原子能工业、燃气透平和空气透平冷却系统等,空冷器也有较多的应用。1948年,美国某炼厂第一次全部采用空冷器代替水冷。1968年后国外新建炼厂大量使用空冷器,使全厂水耗均在1吨水/吨原油。比利时某炼厂新鲜水平均单耗为0.195吨水/吨原油。

我国于1963年开始研发空冷器,至今已有很大发展,不仅石油工业使用空冷而且扩大到电站等领域,为环境保护作出了贡献。

空冷器作为一种特殊的冷换设备,在石油化工行业起着举足轻重的作用。将取之不尽的空气作为冷却介质,较之水冷却器是一种显著的节能设备,同时也避免了比较敏感的水污染问题。

二 空冷与水冷的比较

水作为理想的冷却介质,被传统工业冷却系统长期广泛地应用,但随着水资源和能源的匮乏以及环保意识的增强,节水、节能、无污染的空冷器在近40多年来得到迅速发展。

2.1 空冷与水冷的优缺点比较

空冷与水冷的优缺点比较见表2.1-1。

表2.1-1 空冷与水冷的优缺点比较

| 序号 | 空冷的优缺点 | 水冷的优缺点 |
|----|--|---|
| 1 | 对环境没有热污染和化学污染; | 排放水对环境没有热污染,也常有化学污染; |
| 2 | 空气可随意取得,不需要任何附属设备和费用,选厂址不受限制,这对无水和缺水地区尤为重要; | 冷却水往往受水源的限制,要设置管线和泵站等设施。特别对较大的厂,选厂址时必须考虑有充足的水源; |
| 3 | 空气腐蚀性小,不需要除垢和清洗,使用寿命长; | 水腐蚀性强,也易于结垢,需要进行处理; |
| 4 | 空气的压降仅有98~196Pa,故空冷的操作费用低; | 循环水压头高(取决于冷却器和冷水塔的相对位置),故水冷的能耗较高; |
| 5 | 空冷系统的维护费用,一般情况下仅为水冷系统的20%~30%; | 由于水冷设备多,易于结垢,在温暖气候条件下易生成微生物,附于冷却器表面,常需停工清洗。 |
| 6 | 一旦风机电源被切断,仍有30%~40%的自然冷却能力。 | 电源一断,既要被迫全部停产。 |
| 7 | 空气比热小,仅为水的四分之一,故空气用量大。 | 在相同热负荷和冷却介质温升条件下,水用量小。 |
| 8 | 冷却效果取决于干球温度,通常不能把工艺流体冷却到环境温度(在湿式空冷器中,还取决于空气的湿球温度)。 | 水冷通常能使工艺流体冷却到低于空气温度2~3℃以下,循环水在水塔中可被冷却到接近环境湿球温度。 |

| | | |
|----|---|---------------------------|
| 9 | 大气温度波动大, 风、雨、阳光、昼夜以及季节变化, 均会影响空冷器的性能, 在冬季还可能引起管内介质冻结。 | 水冷对环境温度变化不敏感, 操作调节比较容易。 |
| 10 | 由于空气密度小, 空气侧对流传热系数低, 故空冷器的冷却面积要人的多。 | 水冷器结构紧凑, 其冷却面积比空冷器要小的多。 |
| 11 | 空冷器周围存在障碍或设计不当, 会引起热风循环, 降低换热效率。 | 水冷器可设置在其他设备之间 (如管线或楼板下面)。 |
| 12 | 通常要求用特殊工艺制造翅片管和风扇, 对降压有一定的限制。 | 用一般管式换热器即可满足要求。 |
| 13 | 有一定的噪声。 | 无噪声 |

由表可见, 在缺水地区 (如沙漠地带)、水供应困难、取水费用高的地区或水冷结垢和腐蚀严重地区, 特别适于采用空冷器 (但具体采用水冷或空冷方案还应该经过技术经济比较)。

空冷器的不足, 工业上常采取下列措施加以改善:

- ①空气侧采用各种扩展表面 (翅片管), 使传热面比光管提高 10~30 倍, 特殊翅片还可提高给热系数 1~2 倍以上;
- ②采用风道上可调的百叶窗开度、可变的的风扇叶片角和可调转速来改善空冷器的调节和适用性能;
- ③采用加湿式空冷、干式空冷与湿式空冷的联合以及空冷与水冷的联合, 使之分别在适当温度区段运行。

2.2 空冷与水冷的能耗比较

空气作为冷却介质, 可以大幅度降低冷却水用量。以洛阳石化总厂为例, 许多装置如常减压、一催化、二催化、直柴加氢、催柴加氢、连续重整等装置的低温位冷却部位都广泛采用了空冷器, 这对于降低装置能耗、减少循环水用量起到很大作用。一催化装置的轻柴、汽油、液化气产品以及富气的冷却器都是空冷器。若将这些空冷器改为水冷器, 冷却水的耗量是相当可观的。从表 2.2-1 可以看出两种情况的巨大差异。

表 2.2-1 空冷器与水冷器耗量对比

| 参数 | 空冷器 | 水冷器 |
|-------------------------------|-------|-------|
| 总热负荷/MW | 17.81 | 17.81 |
| 软化水/t·h ⁻¹ | 43 | |
| 循环水/t·h ⁻¹ | | 15315 |
| 电机功率/kW * | 1300 | 1600 |
| 能耗折合人民币(估算)/元·h ⁻¹ | 734 | 1446 |

*空冷器一栏电机功率包括空冷器风机总功率及软化水泵功率, 水冷器一栏包括凉水塔风机总功率及循环水泵总功率。

从表 2.2-1 可以看出, 若一催化装置所用空冷器全部改为水冷却器, 则该部分能耗约增加近一倍, 循环水量>15000t/h, 超过该厂任何一套联合装置的冷却水量。由此看出, 空气冷却器较之水冷却器在降低能耗方面有着明显的优势。

综上所述, 同水冷相比较来说, 空冷器的优点主要有两方面: 首先是它在很大程度上解决了缺水地区工业用水的供应问题。目前在很多炼厂与化工厂, 有 90%以上的冷却负荷都是由空冷来负担的。由于节约了大

量的工业用水，带来了一系列的好处，例如工厂占地面积较小，对选厂与布置的技术要求较少等等。但是当前最突出的是减少了工业地区水的污染问题。第二优点是：即使在水源丰富的地区，在一般条件下，采用空冷也比水冷经济。这无论是在能耗、投资、成本、维护、检修、还是在生产周期等方面都能体现出来。

2.3 空冷器的选用原则

空冷器并不是用于何处都有利。在确定是否采用空冷器时，一般有 10 项比较重要的判断条件，至少要满足其中 5 项在“尚有利”栏内，方可作进一步设计计算，见表 2.3-1。

当管内介质温度太高，超过 100℃时，则应考虑换热，回收能量。同时过高的管内介质温度采用干空冷时存在防烫问题；而采用湿空冷，即使用软化水结垢倾向也十分严重，所以在考虑表 2.3-1 中第二项时要慎重。

表 2.3-1 选用空冷器的经济性

| 编号 | 设计条件 | 十分有利 | 有利 | 尚有利 | 不利 |
|----|--|---------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 接近温差/℃* | 25 | 25 | 15 | 10 |
| 2 | 有效对数平均温差/℃ | 70 | 25 | 40 | 15 |
| 3 | 冷却水侧污垢系数/ $W \cdot m^2 \cdot ^\circ C$ | 0.00052 | 0.00034 | 0.00017 | 0.0001 |
| 4 | 管内侧给热系数/ $W \cdot m^2 \cdot ^\circ C$ | <870 | 500~1150 | 1150~2300 | 2300~5000 |
| 5 | 管内侧容许压力降/MPa | 0.1 | 0.1 | 0.01 | 0.01 |
| 6 | 冷却方法** | 直接 | 直接或间接 | 直接或间接 | 间接 |
| 7 | 管内冷却温度/℃ | -20 | -20 | 0 | 40 |
| 8 | 安装高度 | 20 | 15 | 10 | 5 |
| 9 | 冷却水配管 | 长 | 长 | 中等 | 短 |
| 10 | 空气再循环 | 无 | 无 | 可能有 | 不可避免 |

*指热流体出口温度与空气出口之差。

**直接冷却指热流体直接进入空冷器被冷却；间接冷却指热流体在其他型式换热器中被第二种流体所冷却，而后者升温后需再被冷却。

除了以上的判断条件，还可以根据下述条件（满足 4~5 项）选用空冷比较有利。

- ① 热流体出口温度与空气进口温度之差（即接近温度）大于 15℃；
- ② 热流体出口温度大于 50~60℃，其允许波动范围大于 3~5℃；
- ③ 空气的设计进口温度低于 38℃；
- ④ 有效对数平均温差大于（或等于）40℃；
- ⑤ 管内热流体的给热系数小于 $2300W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ ；
- ⑥ 热流体的凝固点低于 0℃；
- ⑦ 管侧热流体的允许压降大于 10kPa，设计压降在 100kPa 以上。

三 空冷器的结构、型式

3.1 空冷器的结构

空冷器的结构基本由 4 部分构成：管束、风机、百叶窗及构架。管束是换热的中心部件，由翅片管与管箱所构成，其翅片管的形式及排列方式对管内外传热系数的影响极大。风机是强制空气流通的设备，也是强化管外传热的关键部件，有自动调角风机和手动调角风机两种。百叶窗也可以调节风量，同时对翅片管可起到保护作用。

3.2 空冷器的型式

3.2.1 按管束布置方式有立式、水平式、斜顶式、圆环式、之字式、V 字式等，如图 3-1 所示。

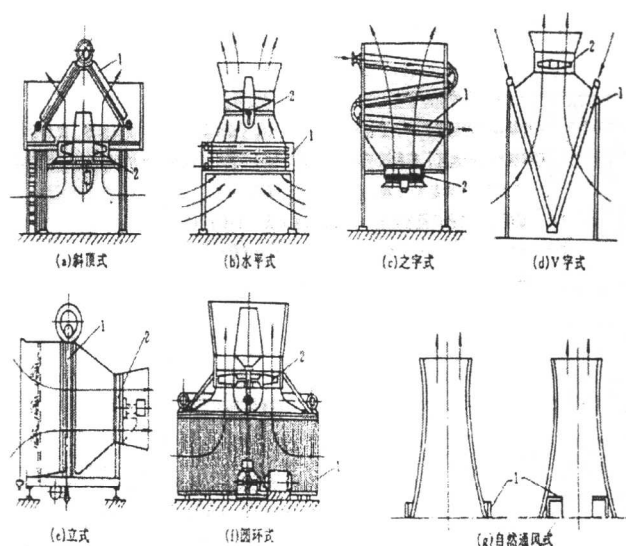


图 3-1 空冷器的基本结构型式

1—管束； 2—风机

在石油化工生产中，最常见的是立式、水平式、斜顶式、圆环式。

①斜顶式空冷器(图 3-1(a))：管束按人字形放置，夹角 60° 左右，常用于冷凝或占地面积受限制的场合，占地面积可比水平式少 40%~50%。其缺点是：管束长度有限制，空气流动分布不易均匀，受自然风影响较大，易形成热风循环，造价也较高。

②水平式空冷器(图 3-1(b))：管束水平放置，如作冷凝器时，为便于凝液排出，管束应有 3%或 1%的倾斜。其使用范围最广，水平管束适于多单元组合，可使用长度达 10m 以上的管子，传热面积大，管外侧空气分布较均匀，热风循环较小，造价较低，但占地面积较大。

③立式空冷器(图 3-1(e))：管束垂直放置，此种型式只用于小规模装置。其缺点是：空气流动分布不均匀，受自然风影响明显。

④圆环式空冷器(图 3-1(f))：管束垂直排列成圆环形，故也属于立式。风机置于上部中央，空气分布较好，安装在塔顶时（例如作为塔顶冷凝器），结构紧凑，但此时风机容量受限，空气流速范围窄，灵活性差。

水平式与斜顶式的比较见表 3.2.1。

表 3.2.1 水平式空冷器和斜顶式空冷器的比较

| 序号 | 项目 | 水平式 | 斜顶式 |
|----|----------|---------------------|--------------------|
| 1 | 管束长度 | 可使用 10 米或更长的管束 | 使用过长管束有困难 |
| 2 | 结构高度 | 较小 | 较大 |
| 3 | 构架制造 | 较简单 | 较复杂 |
| 4 | 占地面积 | 不能节约 | 可节约占地面积 |
| 5 | 风速分布 | 较均匀 | 不均匀 |
| 6 | 热风循环 | 较小 | 较大 |
| 7 | 自然风影响 | 不太敏感 | 敏感 |
| 8 | 排出管内冷凝介质 | 不利 | 有利, 可以利用介质重力 |
| 9 | 风机配置 | 可以比较方便地选用二台或二台以上的风机 | 只能选用一台风机, 对操作和调节不利 |
| 10 | 安装检修 | 较方便 | 较困难 |

斜顶式空冷器通常用于管内冷凝或占地面积受到限制的装置, 或不便于安装多管程和排数过多的管束。水平式的使用最为广泛, 为便于冷凝液的排出, 给翅片管以 1% 的坡度。立式空冷器的布置紧凑, 但是风速不均匀, 受自然风的影响较明显, 所以通常很少使用, 目前只是应用于小型空冷器中(空压机或内燃机的冷却水的冷却)和湿式空冷器中。

(2)按通风方式可分为以下三种类型:

①自然通风式空冷器(图 3-1(g)):空气的流速取决于通风塔的高度及塔内热空气和环境空气间的温度差, 可用于空气设计温度低于 30° 地区。优点是不消耗动力, 无噪声, 综合费用低; 但热负荷小, 散热效率低, 石油化工生产较少使用。

②鼓风式空冷器(图 3-1(a)、(c)):其特点是风机和传动设备置于管束下方, 不接触热空气, 其材料可不考虑温度的影响, 使用寿命长; 可将多个管束配备在同一个空冷器内; 安装检修方便, 但空气分布不均匀; 但热空气通过管束离开时, 流速较低, 易产生热风循环; 管束暴露于大气, 易受雨雪侵蚀; 传热效果受环境影响大, 出口温度不易控制。

③引风式空冷器(图 3-1(b)、(d)、(e)、(f)):其排风速度是鼓风式的 2.5 倍, 气流分布均匀; 不易产生热风循环; 风筒风扇对管束有遮挡作用, 传热效果受气象影响较小, 有利于温度控制; 利用上部的风筒对空气可产生一定的抽力, 使空气产生很强的自然对流, 可降低风机的能耗, 在风机损坏的情况下, 所产生的自然冷却能力较鼓风式空冷器的多, 从而减少动力消耗; 噪声小; 空间利用率高(下方可以布置其他设备)。但风机和传动设备置于管束上方, 风机在热风中运行, 风机和传动设备的材质要有较好的耐热性能, 空气出口温度不宜超过 120℃, 更换管束、检修风机不方便。

目前, 除在斜顶式空冷器中采用鼓风式、湿式空冷中采用引风式外, 其他形式的空冷器中二者均可采用, 但引风式优点较多, 应用较广。

(3)按冷却方式可分为以下三种类型:

① 干式空冷器:即常规空冷器,其操作简单,使用方便,在石油、化工等行业得到较广泛的应用。干式空冷器受环境温度影响较大,其冷却温度取决于空气干球温度,且要求热流体出口温度与空气进口温度之差大于 15°C ,在夏天,热流体出口温度不易满足工艺要求。

② 湿式空冷器:湿式空冷器属于喷淋式空冷器,但这里的湿式空冷器专指在机械通风条件下加装水喷淋并以空气为主要冷却介质的系统。它综合了水冷和空冷的优点,其结构如图 3-2。由于操作过程中在空气入口处通过喷头向管束喷水雾,部分水滴蒸发,可使干空气增湿降温接近湿球温度,从而提高了传热温差,并可能使管内热流体冷却到环境温度;喷淋在管束表面的水蒸发带作可观的热量,强化了传热,使管外给热系数大大增加,可达到普通冷却器的 $1\sim 3$ 倍以上;湿式空冷器用水量很少,一般仅为空气量的 $3\%\sim 5\%$ (质量),且大部分水可循环使用。喷淋后,管束的空气阻力一般将增加 $15\%\sim 20\%$ 。湿式空冷器的最大缺点是喷淋水易在翅片上结垢,故管内热流体进口温度不易于大于 80°C ,对水质也有要求,如水硬度小于 50ppm , pH 值小于 7 ,水温小于 60°C 等。(图 3-2(c)中还表示了利用空气流路上的挡板调节空冷器操作的措施。)

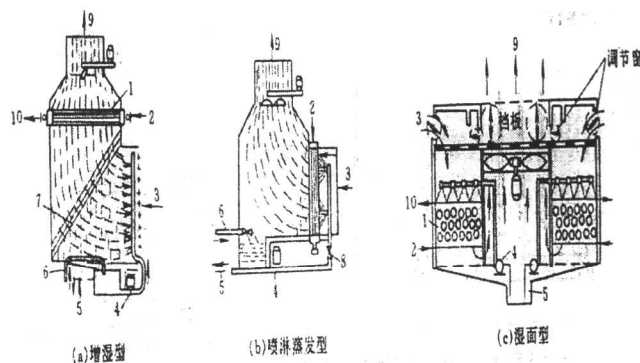


图 3-2 湿式空冷器的结构形式

- 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-热空气入口; 10-热流体出口

③ 干湿联合空冷器,将干式空冷管束和湿式空冷管束组合成一体构成干、湿联合空冷器,其结构如图 3-3。工艺流体一般先进入干式空冷器冷凝或冷却,然后进入湿式空冷器冷却至终温,因此不必再设置其他冷却装置,就可将热流体冷至环境温度。联合空冷器结构紧凑,占地面积小、节省材料、减少了风机,对老厂技术改造尤其有利。但它的热负荷不易调节,热风循环影响较大,而且风机在高温高湿度下操作,检修维护也较困难。

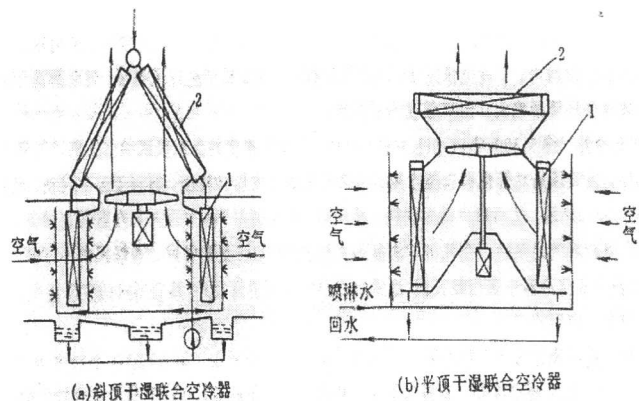


图 3-3 干湿联合空冷器

1-湿空冷管束；2-干空冷管束

干式空冷一般采用水平式管束，湿式空冷采用立式管束，干湿联合空冷可采用斜顶式，采用何种型的空冷应因地制宜。当热流由进口温度冷却到 75°C ，用干空冷最经济；热流由进口温度冷却到 $75\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，用干空冷、增湿空冷均可；热流由 75°C 冷却到比湿球温度高 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ ，可采用湿空冷。

3.3 翅片管

翅片管是空冷器的主要元件，其性能好坏直接影响到空冷器的传热效果。翅片管应具有良好的传热与耐热性能，耐热冲击性能（在壁温频繁变化时，维持翅片与基管间的接触紧密性）和耐腐蚀能力，便于除尘垢，制造费用低，较小的管内、外压降等。

(1) 翅片管的型式与特点

空冷器常用翅片管为横向翅片，按加工方式有以下几种，参见图 3-4。

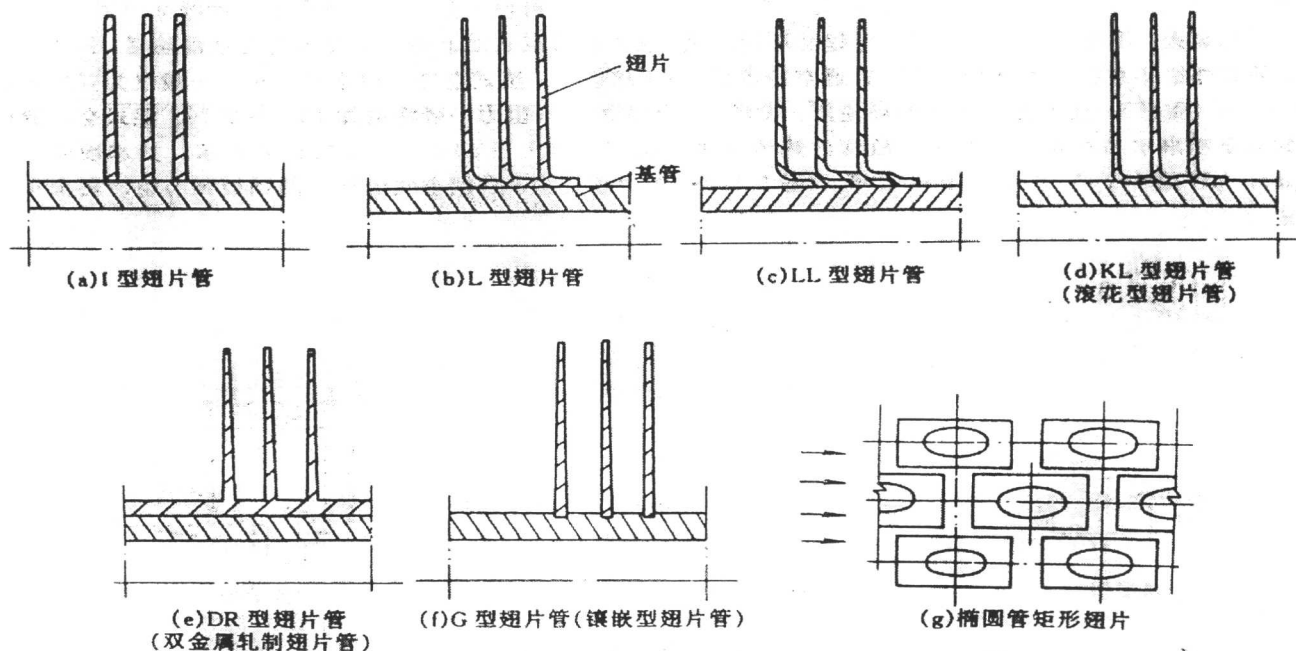


图 3-4 翅片管基本型式

①绕片式：绕片式翅片管是将薄金属带螺旋绕到金属管上制成。翅片材料绝大部分为铝，钢和铜亦有采用。根据翅片截面形状不同，有“I”型、“L”型、“LL”型等。在 L 型翅片管基础上，开发出 KLM (KL) 型翅片

管，它是在滚花的金属管外壁上绕片后，再在 L 型翅片根部滚碾一次，使跟部的一部分面积嵌入管子表面，以强化相互间接触，故具有较好的性能。

②镶片式：代号为“G”型翅片管，它是在钢管表面挤压出深 0.25~0.5mm 的螺旋槽，将“I”型翅片镶入，再滚压管表面，使之镶嵌紧固。

③双金属轧片管：代号为“DR”型翅片管，将铝或铜管紧套在钢管上，然后在外套金属管轧出翅片。

以上几种翅片管性能特点比较如表 3.3(按铝翅片)。它们的使用温度、传热性能和耐热冲击性能均与翅片和基管间的压接情况以及接触压力有关。

表 3.3 翅片管性能比较

| 翅片管 型式 | I 型 绕片管 | L 型 绕片管 | LL 型 绕片管 | KL 型 绕片管 | G 型 镶片式管 | DR 型 双金属轧片式管 |
|-----------|-------------|--------------------------------|---|--|---------------------------------------|--|
| 最高使用温度℃ | <100 | 120~180 | 160~195 (170) | ~250 (350) | 350~400 | 250~350 (280) |
| 管壁使用温度℃ | 70 | 70~100 | 110 | | 250 | 200~285 |
| 传热性能 | 6 | 5 | 4 | 2~3 | 2~3 | 1 |
| 耐大气腐蚀能力 | 6 | 4 | 3 | 2 | 5 | 1 |
| 耐热冲击能力 | 6 | 5 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| 清理尘垢难易程度 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| 制造费用 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| 使用条件 | 仅用于小 厂空调 | 用于工作条 件平稳, 温度 无突变的场 合 | 要求性能优 于 L 型场合 (如大气腐蚀 较重, 传热性 能要求较高) | 要求性能 优于 LL 型 场合, 其综 合指数优 越 | 用于高温 不易产生 腐蚀的场 合, 许用应 力较低 | 适用于高温湿式 空冷, 大气腐蚀 严重等对各项性 能都要求高的场 合 |

注：表中的优劣次序，以 1 为最优

除此之外，尚有套片式与焊片式，通常为钢管钢翅片，其介质许用温度可达 350~400℃ 以上。

按基管形状主要有圆管和椭圆管式两种。其中椭圆管式见图 5-112 (g)，采用椭圆形钢管，外套矩形钢翅片或缠绕带状钢翅片，表面采用镀锌处理。椭圆管式的优点是：与同样截面积的圆管相比，其水力学当量

直径小，但外表面积约大 15%，且截面形状更适合空气流线（椭圆管短轴垂直于流向），故在相同流速下，管外给热系数可提高约 25%，管外压降可减少 15~25%，翅片效率增高，管内给热系数也较大，管束排列更为紧凑，占地可减少 20%左右。普通镀锌椭圆管的最高使用温度可达 320~350℃。不足之处是：承压能力较低，一般工作压力不超过 500KPa；维护检修较困难，造价较高。

按翅片的功能可分为单纯扩展表面式与紊流式。紊流式是在前述几种翅片管的基础上发展起来的，形式很多，见图 3-5。其共同特点是出都有较大的扩展表面外，还通过翅片结构的改变，使空气流过时产生额外的扰流，破坏壁面边界层，以提高管外给热系数，但造价均较高，并易在产生扰流的部位（如沟槽、轮辐孔等）沉积纤维性尘埃而不便清除。

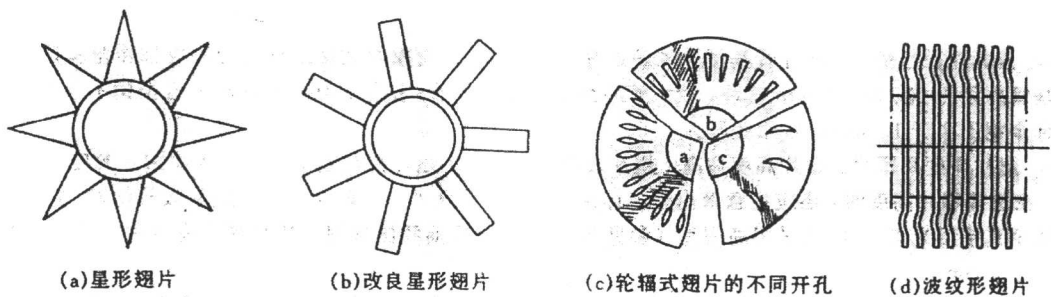


图 3-5 紊流式翅片管

(3) 各种翅片管的耐热性能

各种翅片管的耐热性能见表 3.4。

表 3.4

| 翅片管型式 | I 型 | L 型 | LL 型 | G 型 | 双金属轧片式 | 套片式 焊片式 |
|---------|--------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 介质许用温度℃ | 70~100 | 120~180 | 165~195 | 350~400 | 250~350 | 350~400 |
| 管壁许用温度℃ | 70 | 70~100 | 110 | 250 | 200~285 | |

(4) 国产翅片管的规格及特性

国产管束的翅片及排列参数见表 3.5。

表 3.5 国产翅片管规格及特性

| 翅片管规格 | | 翅片及排列参数, mm | | | | | | 备注 | | |
|--------|------|-------------------------|------|-----------------------------------|----------|------------|---------------|-------|------------|-------|
| | | 基管直径 d_0 | | 翅片外径 | 翅片高 | 翅片厚 | 翅片间距 | | 管心距 | |
| | | 低翅管 | 25 | 50 | 12.5 | 0.5 | 2.3, 2.5, 2.8 | | 54, 56, 59 | |
| 高翅管 | 25 | 57 | 16 | 0.5 | 3.2, 3.6 | 62, 64, 67 | | | | |
| 翅片管的形式 | 翅片间距 | 翅片化 $(A_r + A_r) / A_0$ | | 迎风面积比 S_{min} / S_f ① m^2/m^2 | | | | | | |
| | | 低翅 | 高翅 | 管心距 $p_r = p_{r1}$ mm | | | | | | |
| | | | | 54 | 56 | 59 | 62 | 64 | 67 | |
| 翅片管排列 | LL | 2.3 | 16.4 | 23.0 | 0.407 | 0.429 | 0.458 | 0.460 | 0.476 | 0.500 |
| | | 2.5 | 15.2 | 21.3 | 0.415 | 0.436 | 0.464 | 0.468 | 0.485 | 0.508 |
| | | 2.8 | 13.7 | 19.1 | 0.424 | 0.443 | 0.472 | 0.478 | 0.494 | 1.517 |
| | | 3.2 | 12.1 | 16.8 | 0.434 | 0.454 | 0.482 | 0.489 | 0.506 | 0.527 |
| | | 3.6 | 10.9 | 15.1 | 0.441 | 0.461 | 0.488 | 0.497 | 0.513 | 0.535 |
| 翅片管排列 | KLM | 2.3 | 16.9 | 23.4 | 0.422 | 0.442 | 0.471 | 0.472 | 0.489 | 0.512 |
| | | 2.5 | 15.7 | 21.7 | 0.430 | 0.450 | 0.478 | 0.481 | 0.497 | 0.519 |
| | | 2.8 | 14.1 | 19.5 | 0.440 | 0.459 | 0.487 | 0.491 | 0.507 | 0.528 |
| | | 3.2 | 12.4 | 17.3 | 0.449 | 0.469 | 0.496 | 0.503 | 0.517 | 0.539 |
| | | 3.6 | 11.2 | 15.3 | 0.457 | 0.476 | 0.503 | 0.511 | 0.527 | 0.548 |
| 翅片管特性 | G | 2.3 | 17.3 | 23.9 | 0.437 | 0.457 | 0.484 | 0.485 | 0.501 | 0.524 |
| | | 2.5 | 16.0 | 22.1 | 0.444 | 0.464 | 0.491 | 0.492 | 0.509 | 0.532 |
| | | 2.8 | 14.4 | 19.8 | 0.457 | 0.474 | 0.501 | 0.505 | 0.521 | 0.542 |
| | | 3.2 | 12.7 | 17.4 | 0.465 | 0.484 | 0.51 | 0.516 | 0.531 | 0.552 |
| | | 3.6 | 11.4 | 15.6 | 0.473 | 0.492 | 0.518 | 0.525 | 0.540 | 0.561 |

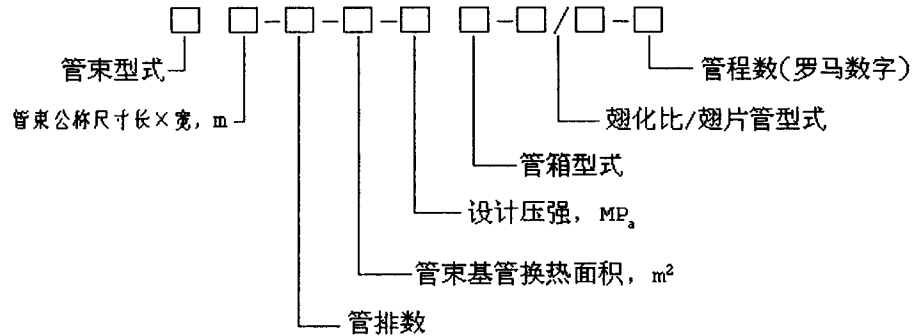
① S_f —迎风面积, 或由管束长度 L_r (m) 与管束公称宽度 (m) 计算。对引风式管束, $S_f = L_r \times$ (管束公称宽度), m^2 ; 对鼓风机管束, $S_f = L_r \times$ (管束公称宽度), m^2 。 S_{min} —管束间最小流通面积, m^2 。

3.4 空冷器的型号的表示方法

空冷器本体几个主要部件如管束、风扇、构架、百叶窗均有各自的型号表示, 分述如下:

3.4.1 管束型号表示方法

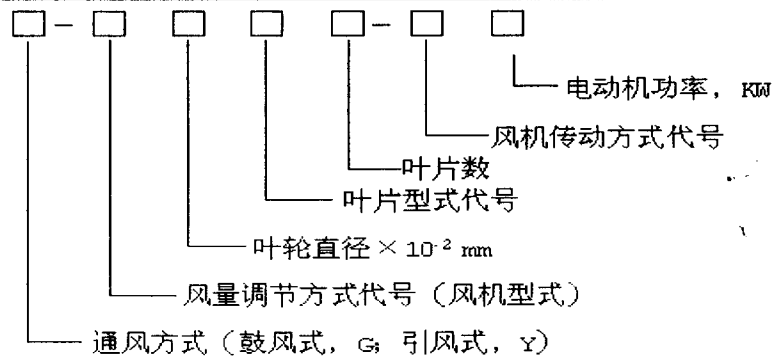
| 管束型式代号 | 管箱型式代号 | 翅片管型式代号 |
|-------------------------------------|--|--|
| 鼓风机式水平管束 GP 斜顶管束 X 引风式水平管束 YP | 丝堵式 S 可卸盖板式 K ₁ 可卸帽盖式 K ₂ 集管式 J | L型翅片管 L 双L型翅片管 LL 滚花型翅片管 KL 双金属轧片型翅片管 DR 镶嵌 g 型翅片管 G |



例: GP9×2-6-140-4K₁-17. 3/G-VI

3.4.2 风机型式表示方法

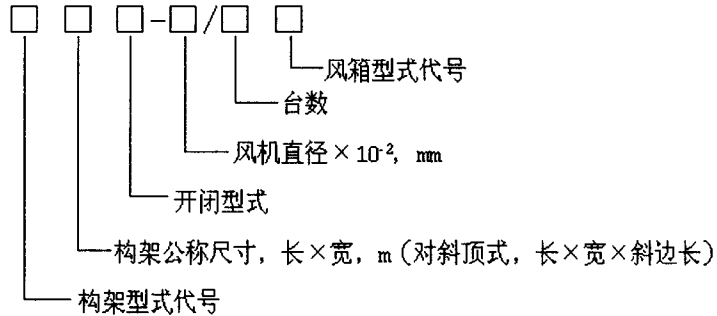
| 风量调节方式代号 | 叶片型式代号 | 风机传动方式代号 |
|---|----------------------------------|---|
| 停机手动调角风机 TF 不停机手动调角风机 BF 自动调角风机 ZFJ 自动调速风机 ZFS | R 玻璃钢叶片 R B 玻璃钢叶片 B 铸铝叶片 L | V 带传动 V 齿轮减速器传动 C 电动机直接传动 Z 悬挂式 V 带传动机轴朝上 V ₁ 悬挂式 V 带传动机轴朝下 V ₂ |



例: G-TF-24B4-V₁18. 5

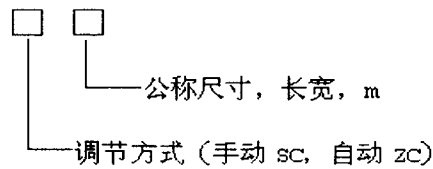
3.4.3 构架型号表示方法

| 构架型式代号 | 构架开(闭)型式 | 风箱型式代号 |
|-------------|------------------|--------|
| 鼓风式水平构架 GJP | 开式构架 K 闭式构架 B | 方箱型 F |
| 斜顶构架 JX | | 过渡锥形 Z |
| 引风式水平构架 YJP | | 斜顶型 P |

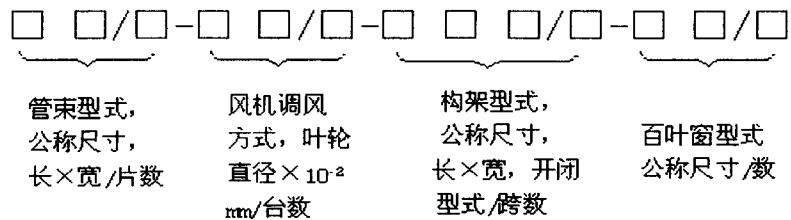


例: GJP9×4B-36/2F

3.4.4 百叶窗型号表示方法



3.4.5 空冷器型号表示方法



四 空冷器的工艺参数

4.1 设计气温

设计气温指设计空冷器时选用的当地空气入口干球温度, 设计气温的选取有以下几种方法。

- ① 保证每年不超过 5 天的最高气温, 即其出现时间约占全年时间的 1.3%;
- ② 按当地最热月的日最高气温的月平均值加 3~4℃;
- ③ 7、8 月的日最高气温的月平均值, 并乘以 1.10;
- ④ 不超过一年的最热三个月中或最热月期间日平均气温 5% 时间的温度;
- ⑤ 假定一设计气温, 一年中仅有 2%~5% 时温度超过该值;
- ⑥ 对高凝固点和高粘度介质, 采用年平均气温。

可根据具体情况取上述方法之一, 考虑到工艺和经济上的合理性及我国大多数地区的气候条件, 采用①较多, 应参照各地具体气象资料确定。

4.2 热流的操作条件

①入口温度：理论上热流体入口温度越高，采用空冷越经济，但入口温度超过 200°C 时，应考虑用其他换热器进行热量回收。目前使用的空冷器，其热流体入口温度一般在 130°C 以下。入口温度若低于 70°C ，可采用水冷。湿式空冷器的热流体入口温度以 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 为宜，以避免喷淋水结垢。

②出口温度：出口温度的选取是直接影响空冷器经济性的重要指标。热流体出口温度与设计温度之差称为接近温差（或接近温度）。一般条件下，接近温度最好大于 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，至少应大于 15°C ，否则不经济。按此要求确定热流的出口温度，并核算校正后的对数平均温差，希望它大于 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。否则必要时再调整热流的出口温度，或者采用增湿空冷以降低空气的入口温度。

若空冷的热流体出口温度不能满足工艺流程的要求时，可考虑加后冷，届时干空冷的出口温度，即后冷的入口温度可定为 $55\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，偏高一些比较经济。另外空冷器热流出口温度对于干空冷、增湿空冷与蒸发空冷的选用有一定的关系，从经济观点出发，对这三种空冷之间的选择，主要决定于热流的最终冷却温度，及其与设计气温之间的差值。一般认为：热流体冷却至 75°C ，选用干式空冷最经济；热流体冷却至 $75\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，选用干式空冷或湿式空冷均可；热流体冷却至比湿球温度高 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ ，选用蒸发式湿空冷最有利，当采用蒸发空冷时，在高温段用干空冷，在低温段采用蒸发空冷，这样能减少水垢的生成。

③ 操作压力与压力降

管内的操作压力越高，或者允许压力降越大，采用空冷比水冷就越经济。

4.2 介质

对于冷凝或冷却干净的气体及轻质油品（如汽油、煤油、轻柴油），采用空冷是很适宜的。对于下列介质是否可用，需要具体分析：

①低沸点的介质当其温度太低（如低于 70°C ）或者当冷却到 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 所取走的热量还不到热负荷的 $75\sim 85\%$ 时，采用干空冷就不一定适宜。对于低沸点的介质如果操作压力比油品的蒸汽压高出较多时，可以根据空气的干湿球温度等具体情况，考虑选用干空冷、增湿空冷或蒸发空冷、空冷与水冷联用，或者直接采用水冷。如果需要冷却到 38°C 以下，用液体丙烷做冷却介质是经济的。

②油品的凝固点最好不超过 5°C 。因为高凝固点的油品过度冷却会造成管子堵塞。

③当油品较脏，需要定期清扫管子及管箱时，一般不希望采用空冷，否则会影响操作周期。但如果能用水洗或化学清洗的方法进行清扫时，空冷器还是可以采用的。对于塔底渣油以及容易产生叠合或缩合反应的某些热加工油品都不能使用空冷。

4.3 管排数

管排数对空冷器的经济性影响较大，排数太少，单位传热面积的造价就高，同时空气的温升较小，需要的风量就大，当然在采用空冷较多的生产装置内，还有占地面积过大的问题；反之如果排数太多，空气的压力降就大。这些因数对投资与成本都有影响。从经济上考虑，一般希望空气温升大于 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，增加管排数，空气温升增加，但压降也增加。合理管排数的选择可参考图4-1和表4-1。图4-1中K，是以光管表面积为基准的总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。