

实践性教学环节报告书

学 院	石油天然气工程学院
专 业	能源与动力工程
课程名称	热交换原理与设备课程设计
姓 名	
专业班级	
学 号	

2022 年 4-5 月

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

摘 要

空压机二段空冷器设计属于常规压力容器设计。空冷器由筒体、封头、管箱、折流板、传热管、拉杆、法兰等结构组成。

本论文主要包括了换热器以及空冷器的概述，工艺计算，结构计算以及零件设计四部分。概述部分主要包括了换热器的概念及分类，空冷器的概念及优点以及空压机二段空冷器的作用；工艺计算部分主要包括了传热量的计算以及换热管、折流板等基本机构的参数的选择和换热管的排列方式的选择；结构计算部分主要包括了筒体和封头壁厚计算，水压试验校核以及开孔补强计算；零件设计部分中主要包括了是否设置膨胀节，法兰、垫片的选取，拉杆、弓形折流板的参数确定以及鞍式支座的选择和校核。

设计计算说明书所得数据是为了绘制图纸提供尺寸依据，随着计算机技术的不断发展，计算机绘图已经取代手工绘图，所以在下一步的计算机绘图中可选用说明书中的相关数据。

关键词：空冷器，结构计算，鞍座，校核

目 录

1 概述	1
空冷器概述	3
2 工艺计算	7
工艺设计计算	8
3 结构计算	9
开孔补强计算	12
4 零件设计	18
垫片的选取	20
法兰的选择	21
折流板	22
拉杆	24
鞍座设计	25
结 论	29
参考文献	30

1 概述

换热器是将热流体的部分热量传递给冷流体的设备，又称热交换器。

换热器的应用广泛，日常生活中取暖用的暖气散热片、汽轮机装置中的凝汽器和航天火箭上的油冷却器等，都是换热器。它还广泛应用于化工、石油、动力和原子能等工业部门。它的主要功能是保证工艺过程对介质所要求的特定温度，同时也是提高能源利用率的主要设备之一^[1]。

换热器既可是一种单独的设备，如加热器、冷却器和凝汽器等；也可是某一工艺设备的组成部分，如氨合成塔内的热交换器。

由于制造工艺和科学水平的限制，早期的换热器只能采用简单的结构，而且传热面积小、体积大和笨重，如蛇管式换热器等。随着制造工艺的发展，逐步形成一种管壳式换热器，它不仅单位体积具有较大的传热面积，而且传热效果也较好，长期以来在工业生产中成为一种典型的换热器。

二十世纪 20 年代出现板式换热器，并应用于食品工业。以板代管制成的换热器，结构紧凑，传热效果好，因此陆续发展为多种形式。30 年代初，瑞典首次制成螺旋板换热器。接着英国用钎焊法制造出一种由铜及其合金材料制成的板翅式换热器，用于飞机发动机的散热。30 年代末，瑞典又制造出第一台板壳式换热器，用于纸浆工厂。在此期间，为了解决强腐蚀性介质的换热问题，人们对新型材料制成的换热器开始注意。

60 年代左右，由于空间技术和尖端科学的迅速发展，迫切需要各种高效能紧凑型的换热器，再加上冲压、钎焊和密封等技术的发展，换热器制造工艺得到进一步完善，从而推动了紧凑型板面式换热器的蓬勃发展和广泛应用。此外，自 60 年代开始，为了适应高温和高压条件下的换热和节能的需要，典型的管壳式换热器也得到了进一步的发展。70 年代中期，为了强化传热，在研究和发​​展热管的基础上又创制出热管式换热器。

辽宁石油化工大学本科性实践性教学环节报告书

换热器按传热方式的不同可分为混合式、蓄热式和间壁式三类^[2]。

混合式换热器是通过冷、热流体的直接接触、混合进行热量交换的换热器，又称接触式换热器。由于两流体混合换热后必须及时分离，这类换热器适合于气、液两流体之间的换热。例如，化工厂和发电厂所用的凉水塔中，热水由上往下喷淋，而冷空气自下而上吸入，在填充物的水膜表面或飞沫及水滴表面，热水和冷空气相互接触进行换热，热水被冷却，冷空气被加热，然后依靠两流体本身的密度差得以及时分离。

蓄热式换热器是利用冷、热流体交替流经蓄热室中的蓄热体(填料)表面，从而进行热量交换的换热器，如炼焦炉下方预热空气的蓄热室。这类换热器主要用于回收和利用高温废气的热量。以回收冷量为目的的同类设备称蓄冷器，多用于空气分离装置中。

间壁式换热器的冷、热流体被固体间壁隔开，并通过间壁进行热量交换的换热器，因此又称表面式换热器，这类换热器应用最广。

间壁式换热器根据传热面的结构不同可分为管式、板面式和其他型式。管式换热器以管子表面作为传热面，包括蛇管式换热器、套管式换热器和管壳式换热器等；板面式换热器以板面作为传热面，包括板式换热器、螺旋板换热器、板翅式换热器、板壳式换热器和伞板换热器等；其他型式换热器是为满足某些特殊要求而设计的换热器，如刮面式换热器、转盘式换热器和空气冷却器等。

换热器中流体的相对流向一般有顺流和逆流两种。顺流时，入口处两流体的温差最大，并沿传热表面逐渐减小，至出口处温差为最小。逆流时，沿传热表面两流体的温差分布较均匀。在冷、热流体的进出口温度一定的条件下，当两种流体都无相变时，以逆流的平均温差最大顺流最小。

在完成同样传热量的条件下，采用逆流可使平均温差增大，换热器的传热面积减小；若传热面积不变，采用逆流时可使加热或冷却流体的消耗量降低。前者可节省设备费，后者可节省操作费，故在设计或生产使用中应尽量采用逆流换热。

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

当冷、热流体两者或其中一种有物相变化(沸腾或冷凝)时,由于相变时只放出或吸收汽化潜热,流体本身的温度并无变化,因此流体的进出口温度相等,这时两流体的温差就与流体的流向选择无关了。除顺流和逆流这两种流向外,还有错流和折流等流向。

在传热过程中,降低间壁式换热器中的热阻,以提高传热系数是一个重要的问题。热阻主要来源于间壁两侧粘滞于传热面上的流体薄层(称为边界层),和换热器使用中在壁两侧形成的污垢层,金属壁的热阻相对较小。

增加流体的流速和扰动性,可减薄边界层,降低热阻提高给热系数。但增加流体流速会使能量消耗增加,故设计时应在减小热阻和降低能耗之间作合理的协调。为了降低污垢的热阻,可设法延缓污垢的形成,并定期清洗传热面。

一般换热器都用金属材料制成,其中碳素钢和低合金钢大多用于制造中、低压换热器;不锈钢除主要用于不同的耐腐蚀条件外,奥氏体不锈钢还可作为耐高、低温的材料;铜、铝及其合金多用于制造低温换热器;镍合金则用于高温条件下;非金属材料除制作垫片零件外,有些已开始用于制作非金属材料的耐蚀换热器,如石墨换热器、氟塑料换热器和玻璃换热器等^[4]。

空冷器概述

空冷器是独立的一套设备,占地面积小,可以按用户要求放置室内或室外,与设备连接可以用软管也可以用钢管。水压可通过调节阀调整,由分水包上压力表显示,使用前将进高频设备的所有截门关闭,通过自身循环后,由分水包下排污阀将水排尽,确保设备使用中无杂物,从而不会造成堵塞。

空气冷却器是以环境空气作为冷却介质,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,简称“空冷器”,也称“空气冷却式换热器”。空冷器也叫做翅片风机,常

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

用它代替水冷式壳—管式换热器冷却介质。当前使用的空冷器系统主要有 3 种，即直接空冷（直冷）、表面式凝汽器间接空冷（间冷）和复合式凝汽器间冷系统^[5]。

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。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。

随着感应加热设备使用的不断增多，因用户自身条件各不相同，对于设备的水冷系统往往却不够重视，许多用户未按规定使用蒸馏水，则使用普通井水或自来水，而在实际工作中水质对设备的水冷系统及元器件响很大，如使用空冷有以下诸多优点：

一、提高电子管使用寿命（高频设备）。普通水易结垢，需定期清洗，一旦结垢就已经影响到电子管的发射功率及寿命，严重时电子管阳极易被烧穿。

二、节省电能。（以 100KW 高频电子管设备为例）在直流高压作用下阳极水路对地耗电量为：普通水在 8KW 左右，蒸馏水则在 70W 左右。

三、降低电解腐蚀。阳极高压通过水阻对地形成直流电流。造成电子管水套进出口电解腐蚀，普通水的电解腐蚀速度是蒸馏水的一百倍以上。

～，每吨纯水价格 250 元至 300 元之间。因为使用了闭合循环，所以蒸馏水消耗量极低，为使用蒸馏水创造了条件，同时如按一定比例加入我公司专门研制的防冻产品可彻底解决高频水路的冬季冻结难题。使用蒸馏水不仅提高了设备及元件寿命，而且减少维修费用，从而达到提高生产率，节电的目的。

四、空冷器通过空气和软化水间壁换热，把电炉感应器、可控硅、电子管等电气元件发出的热量排放于空气中。高导热性能的传热管，组合后形成很高的热流密度，所以该装置冷

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

却效率很高。使用空气连续换热，将热量传到空气中，清除了积热，满足了感应加热系统温度的要求。

该冷却系统使用蒸馏水在空冷器和感应加热设备内闭路循环，水质干净，使被冷却的电气系统长期不结水垢，不被异物堵塞。冬季可在冷却水中加入防冻剂，杜绝了水路被冻坏的故障，减少了感应加热设备的故障发生，该冷却系统不需要水池和冷却塔。

五、空冷器解决了常规水冷系统存在的许多问题：

- 1、无需水池、冷却塔，占地面积小。
- 2、纯净水循环，水质干净，不结水垢。
- 3、闭路循环，无杂物进入，不长青苔，管路不会堵塞。
- 4、体积小，整体性好，安装方便。
- 5、使用闭合循环，耗水量极少。
- 6、能避免夏季设备出现冷凝水造成的故障。
- 7、储水箱体积小，冬季可使用高频水路防冻液，避免高频系统结冰造成的水路故障。
- 8、本设备在突然停电、停水情况下仍然能够继续冷却。
- 9、耗电量低。

六、空冷器常为密封式，闭合循环。设备出水经观察水箱后进入储水箱，由管道泵将软化水打入传热管组，强制风冷，冷却后进入分水包，分水包上设有与设备相对应的水管，再通过软管或硬管分别接到设备所需的进水口^[6]。

喷淋装置是为夏季最炎热的天气时准备的，它由喷淋泵、托水盘、喷淋管等组成独立的循环系统。在风机和传热管之间增设喷头，少量的水喷射至传热管的翅片表面上，使表面温度降至大气温度以下，从而满足换热温差的要求，喷射到传热管表面的水经过汽化可带走大量的热量，起到对散热能力的补充作用。

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

风机选用大风量、低噪音、小功率的轴流风机，循环泵选用管道泵，因此，在同等扬程和流量的情况下，常规水冷系统使用的离心泵的电机功率与空冷器使用的风机和循环泵功率之和基本相当。本空冷器设置了配电箱，可控制循环泵、风机、喷淋泵及数字温度显示仪，还能和设备互锁。

使用翅片管的原因：管内侧水的换热很强，对流换热系数大约 $5800 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ ，而如果不加翅片，管外空气侧换热系数仅仅 $120 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ ，总传热系数 k 就很低（一定低于 120 ：这是传热学中一个最基本的原理），加了翅片以后， k 就可以一下子提高几倍，达到 700 （钢管）， 1100 （复合管），这是增强换热最有效、最经济的途径。

冷风机主要用于食品行业中的肉食、家禽、水产品、果蔬、蛋奶、冷饮制品的冷却加工和冷冻储藏，啤酒、白酒等各种酒类和各种饮料的冷却冷藏，另外还刻满足化工、制药行业、机械、电子、水电等行业工艺性冷却加工原料和场所的冷却需要。

空压机二段空冷器一般是管壳式结构。管内通水，管间通空气，通过管内外流体的热交换起到冷却的作用。它可以消除前段压缩时所产生的热量，减低次段的进气温度，从而提高压缩效率。影响空压机二段空冷器冷却效果的原因有：

1) 冷却水量不足。空气的热量不足以被冷却水带走，造成下一级吸气温度升高，气体密度减小，最终造成排气量减少；

2) 冷却水温度太高。水温高使水、气之间温差缩小，传热冷却效果降低。即便冷却水量不减少，也会使气体冷却后温度仍然很高；

3) 冷却水管内水垢多或被泥沙、有机质堵塞，以及空冷器气侧冷却后有水分析出，未能及时排放，这都会影响传热面积或传热工况，影响冷却效果。冷却效果不好，使进入下一级的气温升高，影响下一级的性能曲线，使其出口压力和流量都降低。此外，当下级吸

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

气量减少时，造成前一级压出的气量无法全部“吃进”，很容易使前一级的工作进入喘振区，在该级发生喘振。

处理方法有：检查上水温度及水压，并进行调整；如上水温度及压力正常，就停车解体检查，用物理、化学方法清洗空冷器或更换空冷器^[7]。

2 工艺计算

1、操作条件 管程：Mpa，入口温度：31℃，出口温度：42℃

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

壳程：Mpa ，入口温度：270℃，出口温度：42℃

1、操作介质：管程：冷却水

壳程：空气

2、保温材料：岩棉

3、保温厚度：100mm

4、结构尺寸及开孔方位见图

工艺设计计算

$$\Delta t_{\text{管}} = 42^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C} = 11^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{壳}} = 270^{\circ}\text{C} - 42^{\circ}\text{C} = 228^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{平均}} = 1/2 (\Delta t_{\text{管}} + \Delta t_{\text{壳}})$$

$$= 1/2 (11^{\circ}\text{C} + 228^{\circ}\text{C})$$

$$= ^{\circ}\text{C}$$

已知传热系数 $K=400\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，换热面积 $F=520\text{m}^2$ ，则可求得：

$$\text{换热量 } Q = F \cdot K \cdot \Delta t_{\text{平均}}$$

$$= 520 \times 400 \times$$

$$= 24856000 \text{ W}$$

壳体内径：D=1200mm

总管数：n=878 根

管子规格尺寸： $\phi 25 \times \times 6000\text{mm}$ ，钢管

管子排列方式：正三角形排列

管心距：t=32mm

换热面积：F=520m²

辽宁石油化工大学本科学生实践性教学环节报告书

管程数: $m=4$

壳程数: $m_s=1$

每管程的流通面积: $F_t=878 \times \times \times 1/2 =$

折流板形式: 切除百分数为 25%的弓形折流板

折流板切除高度: $H=25\%D=300\text{mm}$

折流板数: $N=18$ 块

折流板间距: $h=300\text{mm}$

折流板的直径: $D_B=1195\text{mm}$

折流板的厚度: $\delta=15\text{mm}$

折流板上的管孔直径: $d=26\text{mm}$

折流板上的管孔数: $N_B=790$ 个

圆缺区内的管数: $N_{T,w}=88$ 根

3 结构计算

筒体、封头材料均选择 16MnR^[8]。

由于设计压力 p_c 小于 5 MP_a, 所以可忽略不计。

$$\text{计算厚度: } \delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi} = \frac{0.9 \times 1200}{2 \times 151.2 \times 0.85} = 4.2\text{mm}$$

式中: 270°C $[\sigma]^t$

焊缝系数 $\phi =$

名义厚度: $\delta_n = \delta + C_1 + C_2 = 4.2 + 0.6 + 1 = 5.8\text{mm}$, 圆整 6mm。

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

有效厚度: $\delta_e = \delta_n - C_1 - C_2 = 6 - 0.6 - 1 = 4.4\text{mm}$, 圆整 5mm。

根据 GB151, 直径 1200mm 的筒体最小壁厚为 12mm, 所以有效厚度取 12mm。

名义厚度: $\delta_n = \delta_e + C_1 + C_2 = 12 + 0.6 + 1 = 13.6\text{mm}$, 圆整 14mm。

最小厚度校核: $\delta_{\min 1} = \frac{2D_i}{1000} = \frac{2 \times 1200}{1000} = 2.4\text{mm} \leq (\delta_n - C_2) = 13\text{mm}$, 满足要求。

筒体水压试验校核:

校验公式为:

$$\sigma_T = \frac{P_T(D_i + \delta_e)}{2\delta_e\phi}$$

式中 $P_T = 1.25P \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} = \times \times 1 =$;

;

P ;

$[\sigma]$ 是实验温度下的材料的许用压力 163MPa

有效厚度 $\delta_e = 12\text{mm}$

则

$$\sigma_T = \frac{1.125 \times (1200 + 12)}{2 \times 12 \times 0.85} = 66.84\text{MP}_a$$

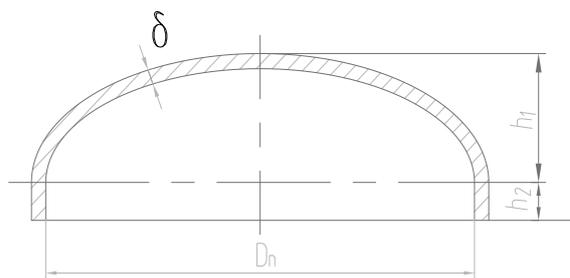
材料的屈服应力 $\sigma_s = 325\text{MPa}$, 规定液压试验中此应力的值不得超过该试验温度下材料屈服强度的 90%, 由上述数据可知:

$$\sigma_T = 66.84\text{MP}_a \leq \sigma_s = \times 325 =,$$

所以筒体水压试验强度足够。

封头采用长短轴比值为 2 的标准椭圆形封头。

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书



椭圆形封头

由于设计压力 p_c 小于 5 MPa, 所以可忽略不计。

$$\text{计算厚度: } \delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi} = \frac{0.5 \times 1200}{2 \times 151.2 \times 0.85} = 2.33 \text{ mm}$$

式中: 270°C $[\sigma]^t$;

焊缝系数 ϕ ;

名义厚度: $\delta_n = \delta + C_1 + C_2 = 2.33 + 0.6 + 1 = 3.93 \text{ mm}$, 圆整 4mm。

有效厚度: $\delta_e = \delta_n - C_1 - C_2 = 4 - 0.6 - 1 = 2.4 \text{ mm}$, 圆整 3mm。

根据 GB151, 直径 1200mm 的封头的最小厚度为 12mm, 所以有效厚度取 12mm。

名义厚度: $\delta_n = \delta_e + C_1 + C_2 = 12 + 0.6 + 1 = 13.6 \text{ mm}$, 圆整 14mm。

最小厚度校核: $\delta_{\min 2} = \delta_n - C = 12.4 \text{ mm} > 0.15\% D_i = 0.15\% \times 1200 = 1.8 \text{ mm}$, 满足要求。

封头水压试验校核:

校验公式为:

$$\sigma_T = \frac{P_T (D_i + \delta_e)}{2\delta_e \phi}$$

式中 $P_T = 1.25P \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} = \times \times 1 =$;

;

P ;

辽宁石油化工大学本科实践性教学环节报告书

$[\sigma]$ 是实验温度下的材料的许用压力 163MPa;

有效厚度 $\delta_e = 12\text{mm}$;

则:

$$\sigma_T = \frac{0.625 \times (1200 + 12)}{2 \times 12 \times 0.85} = 37.13\text{MP}_a$$

材料的屈服应力 $\sigma_s = 325\text{MPa}$, 规定液压试验中此应力的值不得超过该试验温度下材料屈服强度的 90%, 由上述数据可知:

$$\sigma_T = 37.13\text{MP}_a \leq \sigma_s \times 0.9 = 292.5\text{MP}_a,$$

所以封头水压试验强度足够。

综上所述, 取筒体和封头的壁厚为 14mm。

开孔补强计算

$\times 12\text{mm}$, $l=180\text{mm}$ 的接管

(1) 补强及补强方法判别

a: 补强判别

根据《过程设备设计》表 4-14, 允许不另行补强的最大接管外径为 $\phi 89\text{mm}$, 本开孔外径为 $\phi 510\text{mm}$, 故需另行考虑其补强^[9]。

开孔补强的形式: 外加强平齐接管

结构简单, 制造与检验方便

开孔补强的结构: 补强板搭焊结构

b: 补强计算方法判别

开孔直径: $d = d_i + 2C = 486 + 2 \times 1.8 = 489.6\text{mm}$

本筒体开孔直径 $d < \frac{1}{2} D_i = 600\text{mm}$, 且 $d \leq 520\text{mm}$, 满足等面积法开孔补强计算的适用条件,

故可用等面积法进行开孔补强计算。

(2) 开孔所需补强面积

辽宁石油化工大学本科生实践性教学环节报告书

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/965034011144011312>