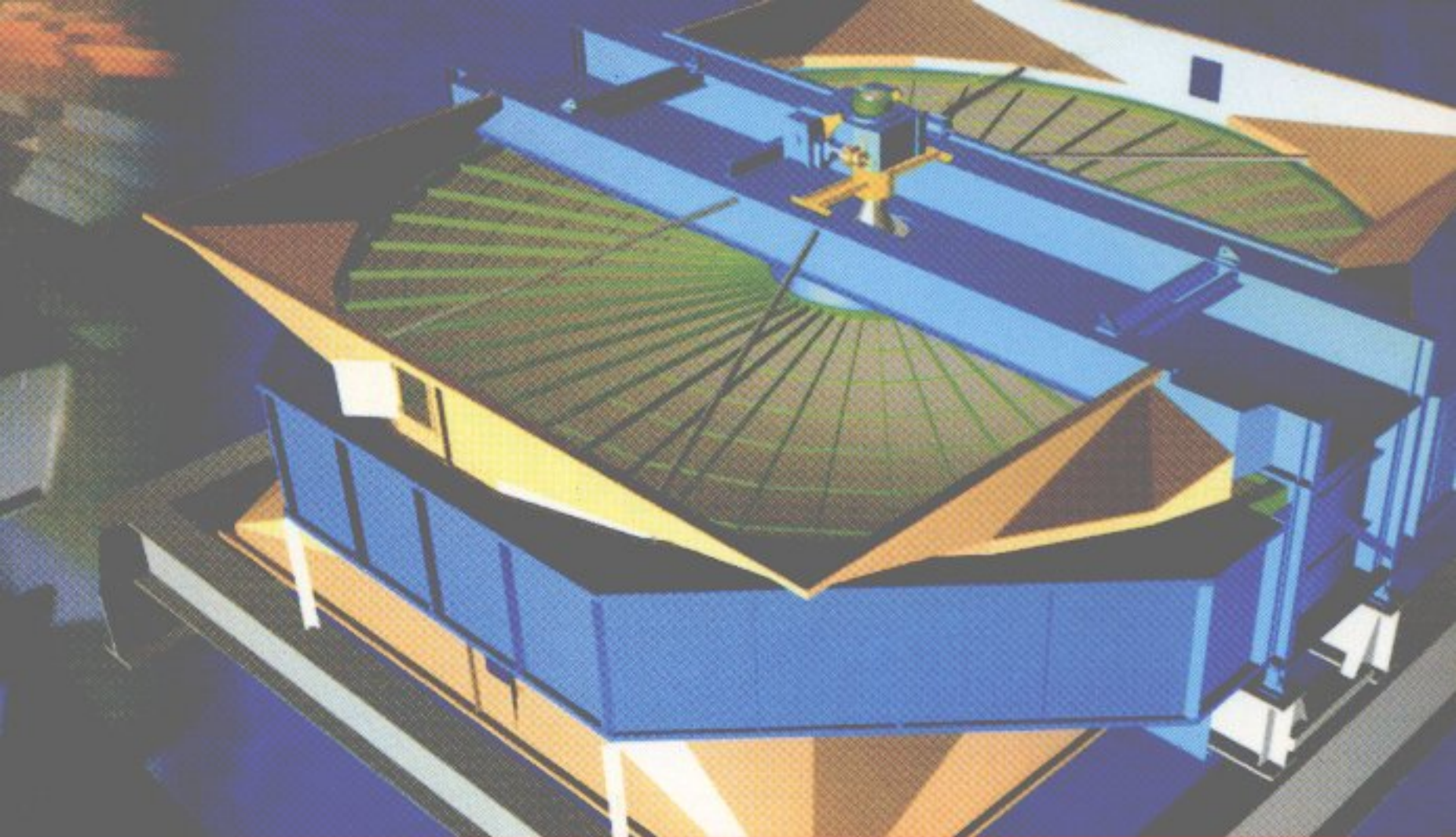




电站锅炉 空气预热器

国家电力公司电力机械局
中国华电工程（集团）公司
中电联标准化中心



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电站锅炉 空气预热器

国家电力公司电力机械局
中国华电工程（集团）公司
中 电 联 标 准 化 中 心



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍空气预热器的工作原理及分类、空气预热器的设计计算方法、空气预热器的安装与检修、空气预热器的故障处理与改造,并介绍 VN 回转式空气预热器。本书还对烟气再热器的结构及安装作了简要介绍。

本书既可作为锅炉专业技术人员的参考书,也可作为大专院校热能与动力专业师生的参考书。另外,还可供石油、化工、冶金及其他相关行业的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电站锅炉空气预热器/国家电力公司电力机械局,中国华电工程(集团)公司,中电联标准化中心编. -北京:中国电力出版社,2002

ISBN 7-5083-0992-8

I. 电... II. ①国... ②中... ③中... III. 火电厂-锅炉-空气预热器 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 016409 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 7 月第一版 2005 年 6 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 364 千字

印数 3001—5000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



编委会主任 黄其励

编委会副主任 江自生

委 员 (以姓氏笔划为序)

王文生 王 春 卢仲颐 吴必胜

刘 俭 岳 东 黄海涛

主 编 应静良 李永华

副 主 编 庞力平 陶 哲



空气预热器是火力发电厂主要辅助设备，它是利用烟气的余热来加热锅炉燃烧所需空气的热交换设备。空气预热器工作于锅炉中烟气温度最低的区域，回收了烟气的热量，降低了排烟温度，从而提高了锅炉效率。同时，也由于空气被预热，使燃料的燃烧过程更加完善，减少了燃料不完全燃烧损失，因而使锅炉的效率进一步得到提高。目前空气预热器在锅炉上得到普遍应用，其技术也有了很大发展。

我国自 1952 年开始制造火力发电设备，经历了中压、高压和大容量、高参数机组的发展，空气预热器也由最初的管式空气预热器，发展至回转式和热管空气预热器。我国的空气预热器制造一般依附于锅炉制造厂，即由锅炉厂直接配套供给用户，而且基本上沿用 20 世纪 80 年代世界各国的技术，因此漏风率普遍比较高，一般都在 12% ~ 20%，有些甚至高达 30% ~ 40%，这就大大影响了锅炉效率和送、引风机的出力，所以设计单位往往将送、引风机的出力提高，防止因风机出力不够而影响主机的出力。影响空气预热器漏风的因素很多，主要与设计 and 运行参数及维护、保养等有关，如燃烧条件、燃料中的灰分和硫的含量等，磨损和腐蚀往往加剧空气预热器的漏风程度，所以在设计中考虑上述因素，无疑对减少空气预热器的漏风和提高锅炉效率和降低厂用电至关重要。我国电力工业要持续发展，必须重视走发展和节约并重的道路，即在新建能源点的同时，对原有电厂能耗高的设备进行改造，其中对空气预热器的改造有很大的潜力。20 世纪 90 年代初，我们引进国外先进技术对沙角 A 厂的 200MW 机组空气预热器进行改造，改造后的空气预热器漏风率降至 6%，因而使送、引风机的功率消耗减少，热风温度提高，锅炉得到充分燃烧，使飞灰可燃物降低，

从而使锅炉效率提高。据胜利油田自备电厂改造后的测试报告可知,由于空气预热器减少了漏风率,锅炉的效率达到该厂历史最高水平。漏风量的减少,也使锅炉排烟温度达到设计要求,使冷端换热元件和电除尘的低温腐蚀情况得以改善,而且使维护工作量大大减少,所以国内很多电厂如台州、黄埔、半山、首阳山、盘山和元宝山等电厂先后对空气预热器进行改造,并普遍取得了较好的经济效益。这对于电力体制改革,厂网分离,竞价上网有很大意义。

本书是根据电厂的需要,在收集了有关空气预热器的资料的基础上编撰而成的。

本书内容包括空气预热器工作原理、安装、运行和检修以及烟气再热器,最后将一些典型机组新建或改造的测试报告作为附录。本书既可供电力行业专业技术人员选用设备时参考,也可作为大专院校热能与动力工程师生的参考书。

本书由华北电力大学李永华、庞力平、陶哲老师执笔,其中李永华编写绪论及第一~三章,庞力平编写第四~七章,陶哲编写第八章。本书最后请有关专家进行了审定。

在本书编写过程中,我们参考了电力行业的有关空气预热器的规程和导则,并得到很多同志的帮助,谨在此表示衷心的感谢。由于编写时间较短,编者水平有限,错误与遗漏之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

2002年1月



前 言

绪论	1
第一章 空气预热器的的工作原理	3
第一节 概述	3
第二节 空气预热器的类型和优缺点	4
第二章 空气预热器的设计及计算	14
第一节 空气预热器的设计方法	14
第二节 空气预热器的布置	33
第三节 空气预热器的选型	35
第三章 空气预热器的主要故障及预防	38
第一节 低温腐蚀的产生、影响及预防	38
第二节 磨损的产生、影响及预防	51
第三节 堵灰的产生、影响及预防	55
第四节 二次燃烧的产生、影响及预防	58
第五节 振动的产生、影响及预防	59
第六节 大型电站空气预热器在运行中的常见故障实例分析	60
第四章 回转式空气预热器的安装及调试	64
第一节 VN 型空气预热器的安装步骤及要求	66
第二节 空气预热器的试运行及要求	72
第五章 大型电站空气预热器的运行、维护和检修	74
第一节 大型回转式空气预热器的运行	74
第二节 大型空气预热器的检修	75
第六章 VN 型空气预热器的特点和结构	77
第一节 VN 型空气预热器简介	77
第二节 VN 空气预热器特点	78
第三节 VN 型空气预热器的部件及构造	79
第四节 空气预热器配置的火警报警及消防系统	88
第五节 VN 空气预热器同其他空气预热器比较的优点	92

第七章 大型电站空气预热器的改造及其实例	94
第一节 大型电站空气预热器的改造	94
第二节 空气预热器改造方案的比较	98
第三节 空气预热器改造前后的技术经济分析	99
第八章 烟气再热器	103
第一节 概述	103
第二节 VN 型回转式烟气再热器的特点	104
第三节 VN 型回转式烟气再热器的设计	106
附录一 火力发电厂锅炉机组检修导则 第 8 部分: 空气预热器检修 (节录)	117
附录二 黄埔电厂 4 号炉空气预热器性能试验及改造前后热效率试验报告	142
附录三 台州电厂 2 号炉空气预热器改造后性能试验及效果分析报告	154
附录四 沙角 A 厂 1 号炉空气预热器性能试验报告	161
附录五 大同第二发电厂 6 号炉空气预热器改造后运行一年性能试验报告	169
附录六 石景山热电厂 2 号炉空气预热器改造半年后性能试验报告	178
附录七 安阳华祥电力有限责任公司 10 号锅炉大修后空气预热器考核试验报告	186
附录八 彭城发电厂 1 号炉回转式空气预热器改造后漏风试验报告	195
附录九 大坝电厂 2 号炉空气预热器试验报告	206
附录十 威海电厂 3 号炉空气预热器漏风试验报告	214
附录十一 元宝山发电厂 3 号炉大修后锅炉热效率试验报告	220
参考文献	231



绪 论

一、空气预热器的发展历史

锅炉炉膛在公元前 4000 年烧陶器和公元前 3000 年炼铜时开始发展起来，但空气预热器的发展，却是近代的事情。在 1880 年以前，有人开始采用空气预热器来改善船用蒸汽锅炉的性能，当时空气预热器实际上全部是管式空气预热器，管束布置有垂直的，也有水平的；管子有长的，也有短的；有些管子里面流过烟气，有些管子流过空气。20 世纪 20 年代初期，CE 公司开始发展和生产板式空气预热器，以便从锅炉排出的热烟气中回收热量，从而提高锅炉效率。与此同时，容克型连续再生式空气预热器随着第一台涡轮机车一起研制成功。1923 年，瑞典人 Fredrick Ljungstrom 申请了容克式空气预热器的专利。此后，James Howden 公司与 Ljungstrom Turbine Manufacturing Co. 公司共同成立了一个合资公司，并将容克式空气预热器投入到商业运行中。从此，容克式空气预热器正式成为锅炉的配套辅机。目前，我国设计制造的最大的回转式空气预热器是 600MW 锅炉机组回转式空气预热器，转子锅炉直径达到 15m。国际上最大的空气预热器为菲律宾奎松电厂 480MW 机组回转式空气预热器，锅炉由美国 F&W 公司制造，空气预热器由 Howden 公司制造，转子直径 18.6m。一台锅炉只配一台空气预热器。

目前，空气预热器作为热量回收装置，已广泛应用于各工业设备中。

二、空气预热器在热力过程中的应用

从各种废气源（燃气轮机、气体和柴油发动机、各种类型焚烧炉以及水泥厂、玻璃熔化厂、化工厂和钢铁厂等工艺过程排放的高温气体）中回收热量，可以提高各动力装置的效率。因此，热量回收装置广泛应用于各热力过程。空气预热器是回收装置中的一种，为气体—空气热回收方式，目的在于用烟气加热燃烧空气。通常采用间壁式换热器来实现，也用在直接燃烧式空气或气体加热器中，如爱雪—维斯（Escher-Wys）闭合循环燃气轮机系统。那里，气体在燃烧式加热器中被加热到该循环所需要的温度。

在电站锅炉中，在省煤器后都使用空气预热器，用管式、回转式或热管式空气预热器，降低排烟温度，预热燃烧空气，强化燃烧，提高锅炉效率。空气预热器是电站锅炉不可缺少的受热面。

船用空气预热器几乎都是管式空气预热器，通常是卧式布置以节省空间。为避免积灰，烟气从管外流过，空气从管内流过。

空气预热器也用于工业和公用事业的开式循环燃气轮机上，其结构通常与使用直径很小

的管子的管壳式热交换器类似，高压空气在管内流动，低压排气在管外流动。飞机用的空气预热器还可用轻金属薄板制的芯型或蜂窝形结构，以便为空气和排气提供通道。

在工业锅炉及工业窑炉中也广泛采用空气预热器回收热量，以提高装置的效率。

三、我国现有空气预热器的应用现状和问题

我国目前所应用的空气预热器，一般是管式空气预热器、回转式空气预热器、热管式空气预热器和暖风器四种型式。在 200MW 及以下容量机组锅炉中，一般采用管式空气预热器。为了克服普通管式空气预热器传热系数较小、易发生低温腐蚀的缺点，一些机构研制了螺旋槽管空气预热器、螺纹管式空气预热器等新型空气预热器，以增大传热系数，提高管壁温度，减轻低温腐蚀。

在 300MW 及以上容量锅炉和部分 200MW 锅炉，一般采用回转式空气预热器，主要是受热面转动回转式空气预热器。极少部分电厂采用了风罩转动回转式空气预热器。

在采用管式空气预热器和回转式空气预热器的锅炉中，一般都装有暖风器，以达到减轻低温腐蚀的目的。

在我国电站锅炉空气预热器运行中，存在的主要问题是：管式空气预热器易发生低温腐蚀、堵灰和磨损问题；回转式空气预热器虽然结构紧凑，较为合理，但大多漏风量大，一般在 10% 以上，有的达到 30% 左右。本文所重点介绍的 VN 回转式空气预热器很好地克服了这一弱点，使回转式空气预热器的优势更为突出。

热管式空气预热器主要存在热管失效的问题，会导致排烟温度升高，不宜大量采用。所以现在已很少用热管式空气预热器来进行改造。

第一章



空气预热器的 工作原理

第一节 概 述

空气预热器一般是利用烟气的热量来加热燃烧所需空气的热交换设备。由于空气预热器工作于烟气温度最低的区域，回收了烟气的热量，降低了排烟温度，因而提高了锅炉效率。同时也由于空气被预热，提高了燃料与空气的初始温度，强化了燃料的着火和燃烧过程，减少了燃料不完全燃烧损失，进一步提高了锅炉效率。此外，空气预热还能提高炉膛内烟气温度，强化炉内辐射换热。因此，空气预热器已成为现代锅炉的一个重要组成部分。

现代电站锅炉都采用给水回热来提高电厂效率，给水温度已经很高。超高压锅炉给水温度达 240°C ，亚临界锅炉达 260°C ，超临界锅炉更高，达 280°C 以上。因此靠省煤器受热面来降低排烟温度已很困难，如果要使烟温降低到 100 多度已不可能。而空气预热器中进来的冷空气只有 20°C 左右，因此可以把排烟温度降得很低，使锅炉效率达到 90% 以上。

在采用煤粉燃烧时，磨制煤粉需要热空气来烘干原煤和煤粉。燃烧过程中也需要热空气使煤粉气流着火稳定、燃烧快、燃烧完全。因此，在现代大型电站锅炉上，空气预热器已是不可缺少的受热面。

燃烧方式不同，对预热空气温度的要求也不同。为防止层燃炉炉排结渣，只能用温度较低的预热空气；燃油、燃气和挥发分较多的烟煤煤粉（固态排渣），空气预热的温度可以低些；燃烧挥发分少或水分高的煤种，如无烟煤和褐煤，或采用液态排渣燃烧方式，预热空气温度必须选得高些，才能满足燃烧或磨煤的需要。具体的数值可参考表 1-1。

表 1-1 不同燃料和燃烧方式对预热空气温度的要求

燃料及燃烧方式		预热空气温度 ($^{\circ}\text{C}$)
固态排渣煤粉炉	烟煤	250 ~ 300
	无烟煤、贫煤	350 ~ 400
	褐煤（用空气干燥煤粉）	350 ~ 400
	褐煤（用烟气干燥煤粉）	300 ~ 350
液态排渣煤粉炉		380 ~ 420
油炉、天然气炉		250 ~ 300
高炉煤气炉		250 ~ 300
链条炉	烟煤	25 ~ 100
	贫煤、无烟煤	25 ~ 180
抛煤机与固定炉排	烟煤	25 ~ 200

第二节 空气预热器的类型和优缺点

空气预热器的种类很多，按传热方式可将空气预热器分为两大类：传热式和蓄热式。在传热式空气预热器中，热量连续地通过传热面，由热源气体传给空气，热源气体和空气有各自的通路。在蓄热式空气预热器中，热源气体和空气交替地通过受热面，当烟气同受热面接触时，热量由烟气传给受热面，并蓄积起来，然后使空气与受热面接触，把热量传给空气；或热源气体把热量传给中间介质，然后由中间介质传给空气。在后一种情况中，热源气体和空气也有各自的通路，中间介质在两种气体中来回流动，传递热量。

传热式空气预热器可分为板式空气预热器和管式空气预热器，热源有锅炉烟气、盘管中的蒸汽和单独炉膛。蓄热式空气预热器分为回转式、热管式、联苯式和粒状载热体式，热源有烟气和单独炉膛。

下面分别介绍各种空气预热器。

一、板式空气预热器

板式空气预热器由 1.5~2.0mm 厚的钢板制成，钢板的大小一般为 2500mm×1250mm。

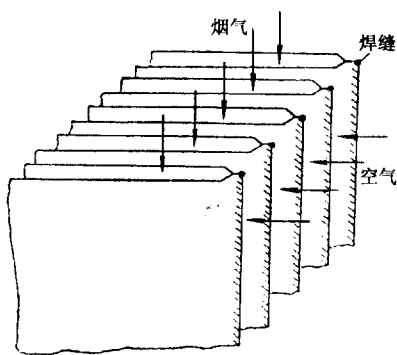


图 1-1 板式空气预热器

每块板与一侧相邻板的左右两边焊接在一起，而上下两边则与另一侧相邻板焊接在一起，分别构成空气（水平方向）和烟气（垂直方向）互相间隔的通道，如图 1-1 所示。空气通道宽为 13~24mm。当燃用多灰燃料时，烟气通道的宽度可适当放宽，以免堵塞。板式空气预热器的平板，刚性较差，很容易弯曲，温度较高时尤其如此。因此，这类空气预热器不能用于高烟温区，一般进口烟气温度不超过 400℃。

板式空气预热器的结构简单，但金属用量较多，传热差，漏风量也较大，另外腐蚀和飞灰磨损也较严重。因此目前已不再生产这种空气预热器。

二、管式空气预热器

管式空气预热器是小型机组中采用较多的一种空气预热器，它由许多平行错列布置的钢管组成，管的两端与管板焊接，形成具有一定受热面的立方体管箱，其结构如图 1-2 所示。为了能使空气多次交叉流动，装有中间管板，中间管板用夹环固定在个别管子上。电站锅炉通常采用立管式空气预热器，其烟气在管内纵向流动，空气在管外横向流动（横管式的则空气在管内流动），烟气与空气做交叉逆流传热。

为了降低造价和防止管内堵灰，管式空气预热器大多采用外径为 40~51mm 的有缝薄壁钢管，壁厚为 1.25~1.5mm。由于烟气在管内是纵向流动，因此飞灰对管子的磨损较小。若烟气速度较高，不但可以提高烟气侧放热系数，还具有较好的吹灰能力。一般烟气流速取为 10~14m/s。

为了使空气预热器的结构紧凑，管子以错列方式排列，如图 1-3 所示。这样可以提高管

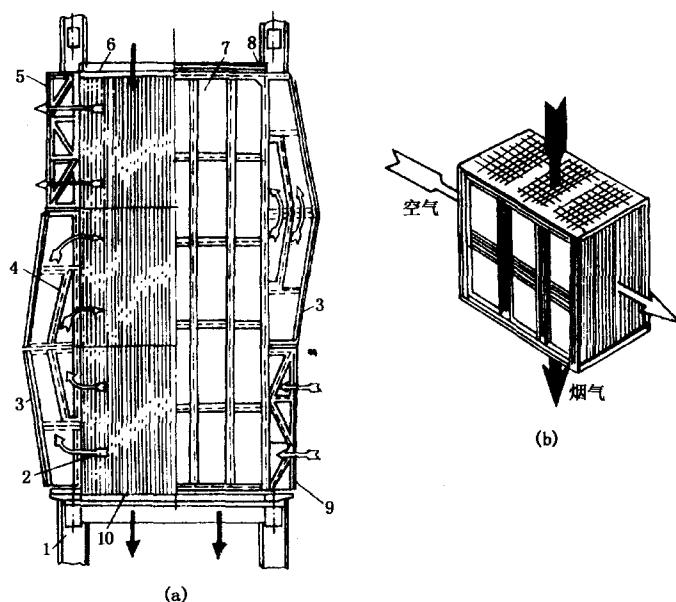


图 1-2 管式空气预热器

(a) 空气预热器组结构图; (b) 管箱

- 1—锅炉钢架; 2—空气预热器管子; 3—空气连通罩; 4—导流板; 5—热风道连接法兰; 6—上管板; 7—空气预热器墙板; 8—膨胀节; 9—冷风道连接法兰; 10—下管板

外横向流动空气与管壁的放热系数。一般 $s_1/d = 1.5 \sim 1.75$, $s_2/d = 1 \sim 1.2$ 。通常错列布置的管间距离满足下列等式:

$$s_1 = \frac{2s_2^2}{d} - \frac{d}{2} \quad (1-1)$$

这样使得横向管间间隙 ($s_1 - d$) 等于斜向管间间隙 Δ ($s_2 - d$) 的 2 倍。可使空气在管间流动时没有过多的压缩和膨胀, 因而流动阻力较小, 且可以减少振动。同时 Δ 不得小于 10mm, 以免管板在焊接时发生过大变形。根据计算, 表 1-2 的一些 s_1 、 s_2 的配合数据是比较适合外径 40mm 的管子。

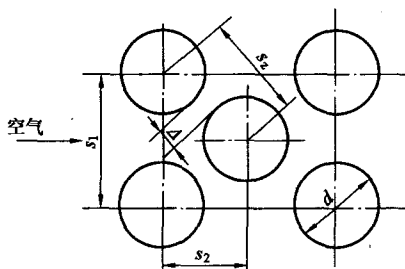


图 1-3 空气预热器管子排列

表 1-2

管式空气预热器的配合

mm

s_1	60	64	68	72	77	82
s_2	40	41	42	43	44	45

管式空气预热器的总传热系数既取决于烟气侧的放热系数, 也取决于空气侧的放热系数。为了最经济地使用受热面, 希望烟气侧与空气侧的放热系数相等。由于空气是横向流动, 在相同流速下, 比烟气纵向流动放热系数大, 所以空气流速可以比烟气流速低些, 一般以烟气流速的 0.4~0.55 倍为宜。

管式空气预热器的管板尺寸应该与烟道截面匹配，管子数目、直径及节距的选择必须保证适当的烟气速度，管子的长度取决于所需传热面积的数值。为此，为了保持空气流速与烟气流速的合理比值，必须正确地选择空气通道的数目及进风方式。图 1-4 所示为不同容量锅炉管式空气预热器的几种典型布置方式。

管式空气预热器的管箱是通过下管板支撑在预热器框架上，预热器框架再与锅炉构架相连。在运行中空气预热器管子温度较高，它的膨胀要大于外壳的膨胀，更大于锅炉钢架的膨胀。因此空气预热器的上管板和外壳都不能完全固定在锅炉钢架上，而应允许有相对的位移，以补偿部件之间的不同伸缩。图 1-5 表示了管式空气预热器的膨胀补偿装置，其中补偿器由薄钢板制成。膨胀补偿装置既允许各部件能相对移动，又能防止漏风，因此有密封作用。

管子横置而空气在管中流动的管式空气预热器称为横管式空气预热器。这种空气预热器过去曾因堵灰严重没有在燃煤锅炉上得到应用，后来采用钢珠除尘，效果比较好，它才逐渐发挥了它的优点而得到应用。通过计算得知，横管式空气预热器比立管式空气预热器管壁温度高 $10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，如作为低温段空气预热器时，对防腐有利。但横管式空气预热器外形尺寸大，结构不够紧凑，膨胀时密封较困难，易堵灰，故大型锅炉应用较少。

管式空气预热器结构简单，理论漏风少，故在小型机组中得到广泛应用。但其体积大，金属耗量大，布置不灵活，易发生低温腐蚀，引起漏风增大。随着电站锅炉蒸汽参数的提高和容量的增大，管式空气预热器由于受热面增大而使其体积和高度显著增大，给锅炉尾部受热面的布置带来很大困难。因而一般只在 125MW 以下锅炉机组中使用，而 200MW 及以上容量锅炉，通常都采用结构紧凑、质量较轻的回转式空气预热器。船用空气预热器一般只采用横管式空气预热器。

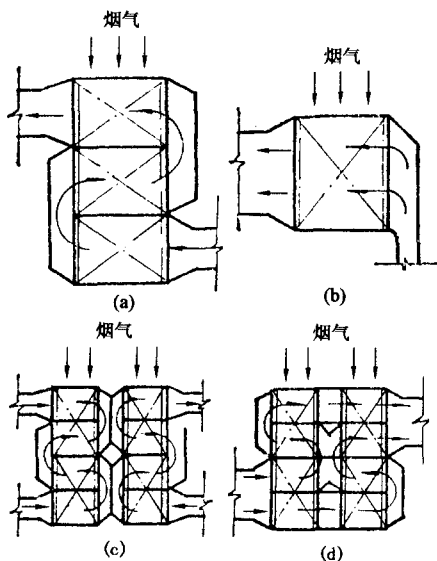


图 1-4 管式空气预热器的布置系统
(a) 单道多流程；(b) 单道单流程；(c) 双道多流程；(d) 单道多流程双股平行进风

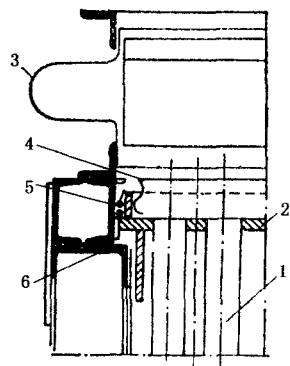


图 1-5 补偿器装置
1—管子；2—上管板；3—钢架与外壳间的补偿器；4—上管板与外壳间的补偿器；5—石棉绳；6—外壳

三、回转式空气预热器

回转式空气预热器分为受热面旋转和风罩旋转两种型式。

1. 受热面旋转式空气预热器

受热面旋转式空气预热器如图 1-6 所示，一般是二分仓或三分仓的。圆筒形转子从上到下用隔板沿径向分隔成互不相通的若干个扇形仓，每个扇形仓又被分成若干段。仓内装满由波纹金属板制成的传热元件，也叫蓄热板。烟气或空气通过传热元件内的缝隙上下流通。在八角形外壳的顶部和底部，上下对应地用两个扇形板将整个截面分隔为烟气流通区、空气流通区和密封区三部分。烟气流通区和空气流通区分别与烟道和风道连接，密封区中既不流通烟气，也不流通空气，因而烟气与空气不会相混。转子由电动机驱动，以 $0.75 \sim 2 \text{ r/min}$ 的转速旋转，受热面不断交替通过烟气和空气流通区。转至烟气流通区时，烟气自上而下流过受热面，对受热面进行加热。当它转至空气流通区时，高温受热面把积蓄的热量传给自下而上流过的空气。每转一周完成一个热交换过程。目前国内外空气预热器的设计大都为：烟气侧与空气侧的流通面积相同，只有部分小型空气预热器（100MW ~ 125MW 机组）的扇形区不对称。对于二分仓空气预热器，烟道和风道的流通面积相同。在三分仓预热器中，烟气通道一般占 165° ；一次风占 $50^\circ \sim 55^\circ$ ；二次风占 $95^\circ \sim 100^\circ$ ；其余 45° 为三个密封仓所占，各为 15° 。

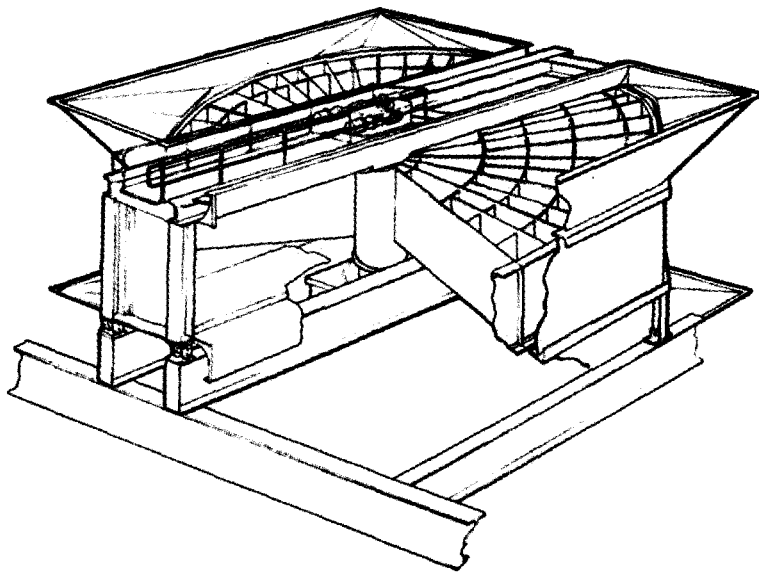


图 1-6 受热面旋转的回转式空气预热器

回转式空气预热器的转子一般支承在下部的主轴承上，而主轴承安装在空气预热器的底梁上，底梁固定在锅炉钢架的横梁上。转子上部由一导向轴承固定，上、下两轴承设定了转子的垂直度，下轴承支承了空气预热器的大部分质量。顶、底轴承均为球面滚子轴承。

转子扇形仓格内安装的传热元件，是由厚度为 $0.5 \sim 0.8 \text{ mm}$ 的薄钢板轧制成的波纹板和定位板组成的，如图 1-7 所示。波纹板与定位板相间放置。波纹板的波纹为有规则的斜波纹，定位板则为垂直波纹与斜波纹相间。波纹板和定位板的斜波纹与气流方向成一定的夹

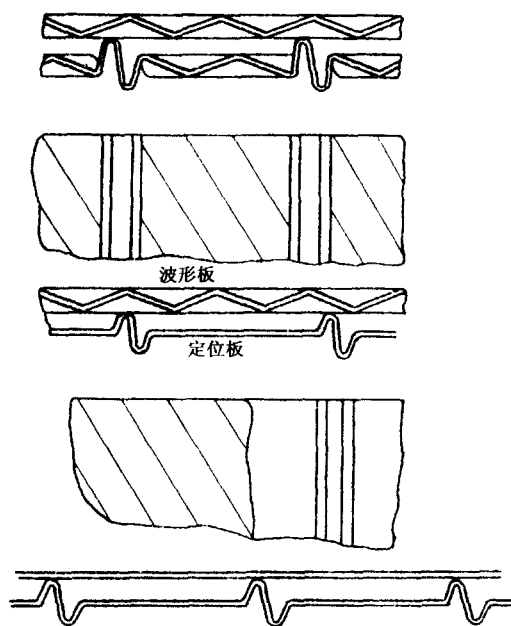


图 1-7 预热器蓄热板

的刚性，以及便于传热元件的安装，在每个扇形空间内再焊接横向隔板，以分隔成许多扇形仓格。传热元件预先组装成扇形组合件，安装时逐一放在转子的扇形仓格内，并由转子的下端的支撑杆来支撑。采用这种安装方法，当传热元件受到严重腐蚀或磨损需要更换时很方便。

一般的二分仓式回转式空气预热器，空气只有一个通道，出口热空气具有相同的温度和压力，因此供燃烧用的二次风与供送粉、干燥和燃烧用的一次风相同。但现代大型电站锅炉根据燃烧和制粉的需要，对一、二次风要求的风量、风温及压力是不同的。因此出现了三分仓的受热面旋转空气预热器。它有两股空气进入空气预热器，分别流过被烟气加热的波纹板受热面，通过不同的空气通道截面积，以得到不同温度的热风。三分仓回转式空气预热器适用于燃煤锅炉常采用的冷一次风机正压制粉系统。这样将高压一次风和低压二次风分隔在两个仓内进行预热，二次风可用低压头送风机，可降低风机电耗。同时，以冷一次风机代替二分仓的热一次风机，可选用体积小、电耗低的高效风机，还能减轻磨损，延长风机寿命，使系统运行的可靠性和经济性得到提高。

三分仓受热面旋转回转式空气预热器是在二分仓空气预热器的基础上，将空气通道一分为二，用径向扇形密封件和轴向密封件将它隔开，形成各自独立的一次风通道和二次风通道。这两个通道的大小，根据锅炉燃烧系统的需要而定。烟气通道则与二分仓空气预热器相同。在转子全周 360° 中，一次风通道截面积所占角度可随燃煤的需要确定。

图 1-8 为三分仓受热面旋转的回转式空气预热器简图。三分仓空气预热器的传热元件和二分仓空气预热器一样。传热元件按烟气流动方向，分为热端层、中层和冷端层。

此外，还有四分仓空气预热器，有两个二次风通道。结构同三分仓式类似。

2. 风罩转动的回转式空气预热器

角，目的是为了增强气流扰动，改善传热效果。定位板不仅起受热面作用，而且将波纹板相互固定在一定的距离，保证气流有一定的流通截面。传热元件的板形对于热交换情况、气流阻力和受热面污染程度都有一定的影响。为抵抗低温腐蚀，低温段的传热元件要用较厚的钢板或用耐腐蚀的低合金钢（一般采用考登钢）制成。

回转式空气预热器的外壳，由外壳钢板、过渡烟风道组成。转子是由中心筒、径向隔板、横向隔板组成。中心筒和转子外围均由钢板卷制而成，两者之间依靠径向隔板连接成一个整体。径向隔板的数量决定于密封区的大小和转子直径。密封区越小和转子直径越大，则分隔的数目也就越多。例如 300MW 锅炉所配的受热面旋转空气预热器，转子外缘直径为 $10.56 \sim 11.0\text{m}$ ，转子分成 48 个扇形空间，每一扇形空间为 7.5° 。为了增加转子

回转式空气预热器的另外一个支流设计是风罩转动的回转式空气预热器。图 1-9 所示为一般单流道的风罩转动回转式空气预热器。它由静子、上、下烟罩，及传动装置等组成。静子部分的结构和受热面转动与回转式空气预热器的转子相似，但它是不动的，故称为静子或定子。上、下烟罩与静子外壳相连，静子的上、下两端装有可转动的上、下风罩。上、下风罩用中心轴连接，电动机通过传动装置带动下风罩旋转，而上风罩也跟着同步旋转。上、下风罩的空气通道是同心相对的“8”字形，它将静子截面分为三部分：烟气流通区、空气流通区和密封区。冷空气经下部固定的冷风道进入旋转的下风罩，自下而上流过静子受热面而被加热，加热后的空气由旋转的上风罩流往固定的热风道。烟气则自上而下流过静子，加热其中的受热面。这样，当风罩转动一周，静子中的受热面进行两次吸热和放热。因此，风罩转动回转式空气预热器的转速要比受热面转动式慢一些。

与三分仓受热面转动回转式空气预热器相似，为了得到不同温度的一、二次风，现代大型电站锅炉多采用双流道风罩转动回转式空气预热器。

双流道风罩转动回转式空气预热器由静子、风罩、烟罩和传动装置等组成。图 1-10 为双流道风罩转动回转式空气预热器示意图。它具有相互独立的一次风流道和二次风流道，适宜于冷一次风机正压直吹制粉系统。双流道风罩旋转回转式空气预热器与单流道风罩转动回转式空气预热器结构相似。不同的是，其固定不动的静子受热面被分隔成内外两层，内圈为一次风通道，外圈为二次风通道；对应的上下风罩也分为内外两层。一、二次风通道为同心、相对的两个扇形通道，呈双翼形布置。每个扇形通道分为内外两层，内层为一次风罩，外层为二次风罩，各与相互独立的一、二次风道连接。为使得流过受热面的空气流速分布均匀，在上风罩内部装有导向叶片。风罩转动一周，空气和烟气交替流过受热面两次。

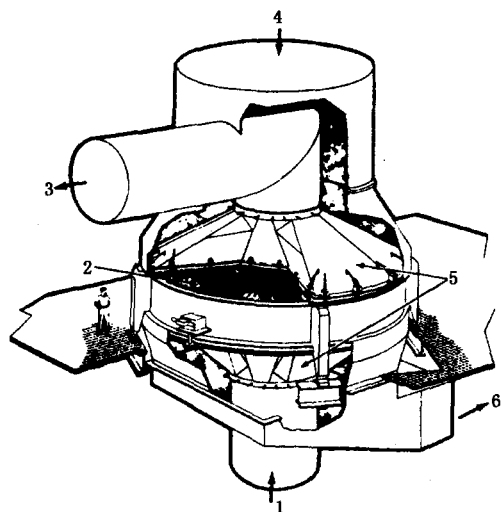


图 1-9 风罩转动的回转式空气预热器
1—冷空气入口；2—静子；3—热空气出口；4—烟气进口；5—转动的上、下风罩；6—烟气出口

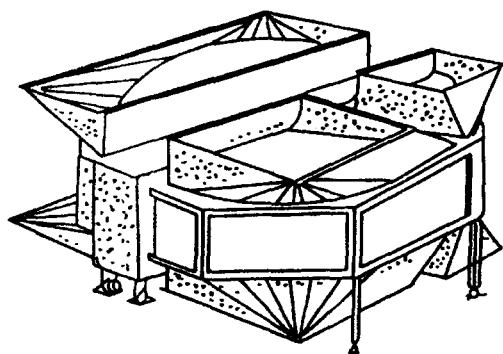


图 1-8 三分仓回转式空气预热器

回转式空气预热器与管式空气预热器相比，有以下优点：

（1）回转式空气预热器由于其传热面密度高达 $500\text{m}^2/\text{m}^3$ ，因而结构紧凑，占地面积小，其体积约为同容量的管式空气预热器的 $1/10$ 。

（2）质量轻，因管式空气预热器的管子壁厚为 1.5mm ，而回转式空气预热器的蓄热板，其厚度不过 $0.5 \sim 1.25\text{mm}$ ，而且蓄热板布置很紧凑，故回转式空气预热器金属耗量约为同容量管式空气预热器的 $1/3$ 。