

李 芬 和

低温腐蚀与 玻璃管空气预热器

Q050.9

电力工业出版社

低温腐蚀与玻璃管 空气预热器

李 芬 和

电 力 工 业 出 版 社

低温腐蚀与玻璃管空气预热器

李 芬 和

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3 印张 64 千字

1982年 3 月第一版 1982年 3 月北京第一次印刷

印数 0001—3310 册 定价 0.28 元

书号 15036·4299

前 言

对于燃用高硫燃料的锅炉，防止烟气低温腐蚀是保证锅炉正常运行所必需解决的一个突出问题。我国自1960年开始进行试验研究工作，探索解决这个问题的各种途径和措施。电力工业部对这项工作十分重视和关心。在此期间，山东、四川、陕西等省的电力中心试验所以及许多电厂都做了大量的工作。在许多防腐措施中迄今使用较广、技术比较成熟的为玻璃管空气预热器。

为了总结这一科技成果，电力工业部生产司于1978年6月召开了“全国玻璃管空气预热器经验交流会”，并确定在全国进行推广。

本书系根据国内80余台锅炉玻璃管空气预热器的运行实践和本单位在烟气低温腐蚀及防腐试验工作中积累的资料，以及国外的一些经验分析编写成的。书中除叙述烟气低温腐蚀性能与机理，总结各厂玻璃管空气预热器的使用经验外，还以较大的篇幅提出了玻璃管空气预热器的设计计算方法，以及安装、维护等要求。同时针对目前在设计上普遍存在的问题，提出进一步提高玻璃管预热器经济性的措施，以利推广。

由于作者水平有限，错误之处在所难免，欢迎读者指正。

在编写本书稿过程中得到四川省电力中心试验所左继纲与骆长可同志协助，本书原稿曾经电力工业部生产司崔兴洲等同志审阅，在此谨致谢意。

目 录

前 言

第一章 空气预热器概述	1
一、空气预热器的作用	1
二、空气预热器的类型	2
三、预热空气温度与排烟温度的选择	10
四、空气预热器的漏风计算	11
第二章 烟气低温腐蚀	17
一、烟气低温腐蚀的危害	17
二、 SO_3 的形成	20
三、烟气的腐蚀性能	21
第三章 玻璃管空气预热器概况	30
一、结构与型式	31
二、管端密封装置	34
三、玻璃的化学成分及物理化学性能	42
第四章 玻璃管空气预热器的运行	48
一、技术经济性	48
二、实际传热系数与烟、风阻力	50
三、布置型式对运行性能的影响	51
四、玻璃管空气预热器的漏风	53
五、堵灰及清灰装置试验	54
六、玻璃管破损情况与原因分析	61
七、玻璃管空气预热器的腐蚀与二次燃烧	68

第五章 玻璃管空气预热器的设计计算与推荐

的结构原则	69
一、布置	69
二、玻璃管空气预热器最低出口风温计算	69
三、传热系数与利用系数	75
四、风烟速比的选择及阻力计算	76
五、卧式管束排列方式及节距选择	79
六、密封方式	82
七、玻璃管材质与规格的选择	85
八、清灰方式	87
九、玻璃管空气预热器的防护措施	87

第一章 空气预热器概述

一、空气预热器的作用

空气预热器是近代锅炉设备的重要组成部分。一般是装在省煤器后面，用它把烟气冷却到经济的排烟温度，同时把空气预热到锅炉燃烧所需的温度。在锅炉各热交换部件中，空气预热器的受热面最大，约占锅炉金属重量的20~30%和费用的10~15%。空气预热器的主要作用是：

1. 强化燃烧和传热：通过提高锅炉燃烧空气的温度，可以加速燃料的干燥和析出挥发份，使燃料迅速着火并加快燃烧，对于低挥发份的煤尤为需要。由于强化燃烧使炉膛火焰温度提高，能够加强炉内辐射热交换和后部的对流热交换，从而可减少锅炉受热面。

2. 提高锅炉运行经济性：空气预热器受热面的大小，在很大程度上决定了排烟温度及其热损失，而排烟热损失在锅炉总热损失中占主要部分。在近代火电厂中，为了提高全厂经济性，都采用给水回热循环，将给水温度提高到145~265℃，因而省煤器后烟温都相应提高了。为了减少排烟热损失，这就需要装设较多的空气预热器受热面，以提高锅炉热效率。一般排烟温度每降低20℃，锅炉热效率可提高约1.0%。随着排烟温度的降低，引风机电耗亦有所减少。

此外，提高热空气温度及随之燃烧过程的强化，还可降低锅炉化学未完全燃烧热损失与机械未完全燃烧热损失。

二、空气预热器的类型

空气预热器按传热的方式可分为导热式和再生式两大类。导热式空气预热器有板式、管式及热风器等。在这种传热方式中烟气（板式、管式）或蒸汽（热风器）和燃烧空气被金属壁互相隔开，热传导是由烟气对金属壁放热，通过金属壁再传给燃烧空气来完成。它的特点是二种介质连续不断地通过空气预热器。再生式空气预热器主要为回转式。在回转式空气预热器中，烟气加热波纹形金属板或陶瓷体组成的受热面，接着由空气冷却受热面，二种介质不是连续不断地通过受热面，而是在同一受热面上间隔通过两种介质。

1. 板式空气预热器

板式空气预热器是早期使用的预热器。它由许多垂直的薄钢板组成，在板与板之间形成水平的和垂直的狭缝通道，供空气与烟气流通，用间隔件保证板间间距。最简单的间隔件是在钢板上冲压出一些乳头状凸端，如图1-1所示。

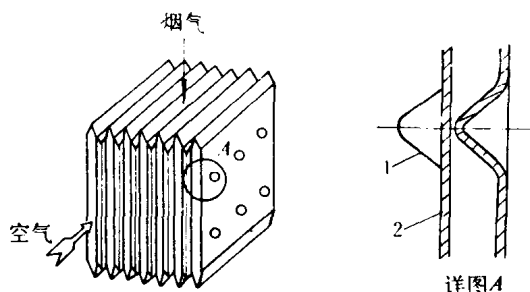


图 1-1 板式空气预热器

1—乳头状凸端； 2—受热面板

板式空气预热器结构笨重，传热系数不高，在受热与风、烟差压作用下易弯曲变形，造成焊口开裂而引起漏风。狭窄的烟气通道在变形后更易引起堵灰，因此五十年代以后已较少采用，现已趋于淘汰。

2. 管式空气预热器

管式空气预热器由若干管箱装配而成，每个管箱由平行的薄壁钢管、支撑管及管板组成。管子两端与管板的连接大多采用焊接，严密性好，如图1-2所示。它比板式空气预热器

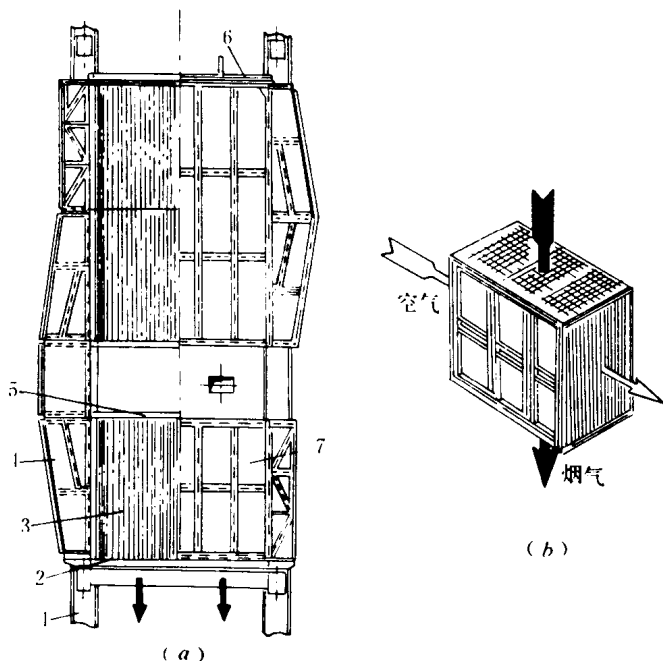


图 1-2 管式空气预热器

(a) 空气预热器组纵剖面图；(b) 管箱

1—锅炉钢架；2—下管板；3—空气预热器管子；4—空气连通罩；

5—上管板；6—膨胀节；7—预热器端板

结构简单紧密，不易泄漏。管式预热器在我国已投运的机组中占有很大的比例。

管式空气预热器在锅炉中有立式及卧式两种布置。立式的管子直径从传热性能来看，以小管径适宜，但是管径过小会导致严重堵灰。近年来多采用 $\phi 40 \times 1.5$ 毫米管子。为使结构紧凑，传热系数高管束排列均采用错列。

卧式空气预热器在国内很少采用，曾认为易发生堵灰，外形尺寸大以及膨胀密封较复杂。但对玻璃管空气预热器，则卧式比立式好，堵灰轻，易于清除，外形尺寸也小（可采用较大的纵向与横向节距比 S_2/S_1 ），同时运行性能也优于立式。

近年来随着锅炉容量的不断增大，管式空气预热器耗费钢材较多，在大容量锅炉上几乎都采用回转式空气预热器。但苏联 ПКЗ 锅炉厂近年来一直还在研究改进管式空气预热器。其研究方面是：提高传热效率、缩小尺寸和降低制作工时等。该厂在试验研究的基础上设计了一种所谓 Z 型交错的空气预热器。在新的 Z 型布置方式中，受热面各部分的温压均匀，因而提高了受热面总的传热效果。图 1-3 所示为 C 型与 Z 型两种布置方式的比较。在空气预热器进、出口烟、风温度完全相同的对比条件下，Z 型的受热面可减少 $1/3$ 。当然 Z 型方式也带来风道布置复杂、困难等问题。目前此项工作仍在试验研究之中。

3. 回转式空气预热器

回转式空气预热器可分为受热面回转式与风罩回转式两种。在受热面回转式空气预热器中受热面装于可转动的圆筒形转子中，转子被划分为若干个扇形仓，每个扇形仓紧密地放置着金属薄板（波形板）。转子流通截面分隔为二部分，分

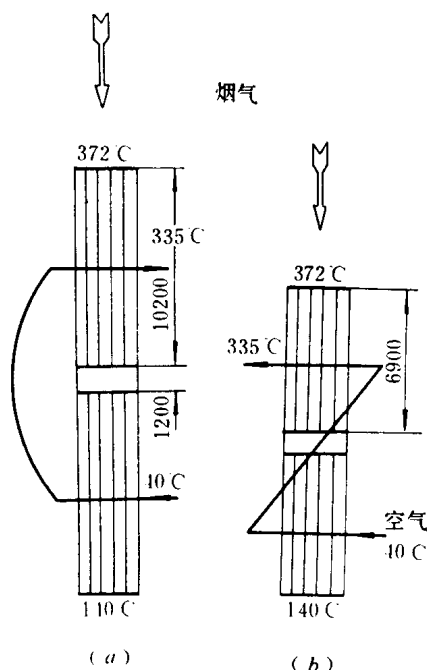


图 1 3 Z型与C型的比较
(a) C型; (b) Z型

别与空气道及烟气道相通,如图1-4所示。转子旋转一周就完成一次热交换循环。在每一循环中处于烟气侧的受热面从烟气中吸收热量,而当转至空气侧时又把热量传给空气。转子的转速一般为1~4转/分。

风罩回转式空气预热器受热面也装于圆筒中,但圆筒并不旋转,故称静子或定子。静子上下端与烟道连接,烟道内装有可转动的上、下八字风罩,如图1-5所示。风罩旋转一次受热面完成二次吸热与放热过程。

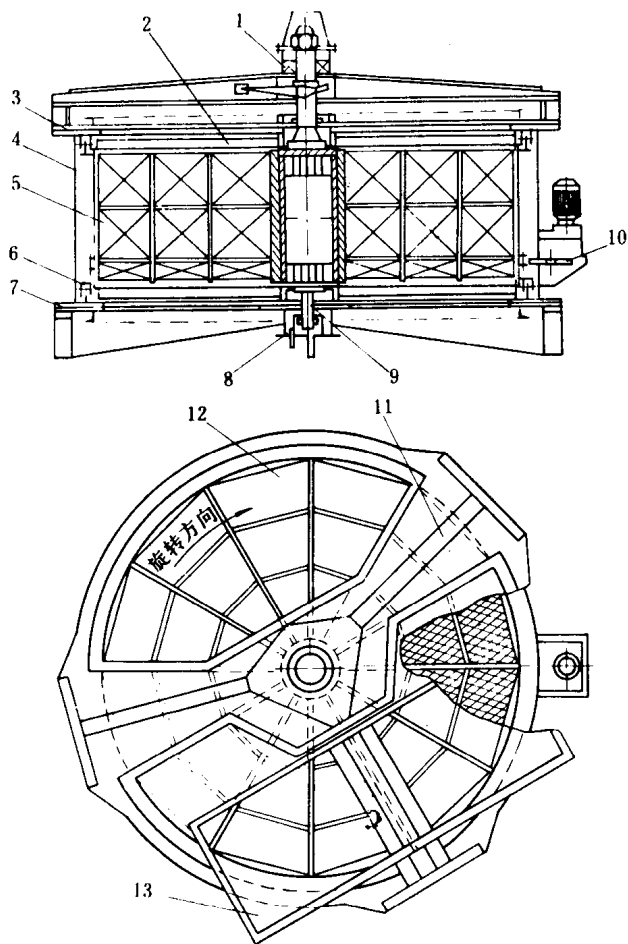


图 1-4 受热面回转式空气预热器

- 1—上轴承；2—径向密封；3—上端板；4—外壳；5—转子；
6—环向密封；7—下端板；8—下轴承；9—主轴；10—传动装置；
11—三叉梁；12—空气出口；13—烟气进口

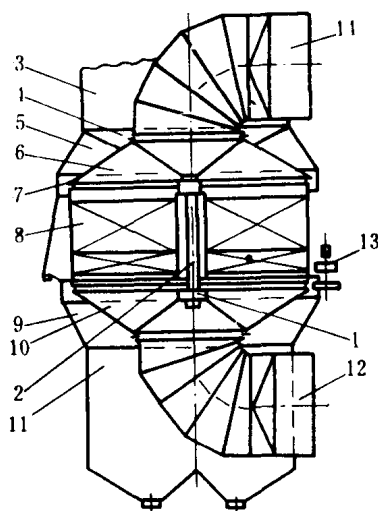


图 1-5 风罩回转式空气预热器

- 1—轴承座；2—主轴；3—进口烟道接头；
4—喉口密封；5—上烟罩；6—上八字风罩；
7—外圆密封；8—静子；9—下烟罩；10—
下八字风罩；11—出口烟道接头；12—进口冷
风接头；13—传动装置；14—出口热风接头

回转式空气预热器与其它空气预热器相比具有下列特点：

(1) 布置紧凑、占用空间少。一般管式空气预热器(管径 $\phi 40 \times 1.5$) 单位体积内能布置的受热面为 $50 \text{米}^2/\text{米}^3$ ，而回转式空气预热器可达 $300 \sim 400 \text{米}^2/\text{米}^3$ 。

(2) 金属耗量少。回转式空气预热器采用薄壁波形板受热面，单位受热面金属耗量少。如一台30万千瓦锅炉机组采用管式空气预热器耗费钢材约1000吨，而采用回转式空气预热器时仅需462吨。

(3) 在燃用高硫燃料时腐蚀与堵灰较轻,产生的破坏性较小,也便于更换。在回转式空气预热器的受热面中烟气及空气交替、反向流动,因此烟气中沉积到受热面上的灰粒,在与烟气反向的空气流动时比较容易被吹走,不致越积越多,而且积灰本身也成为载热体。但在管式空气预热器中积灰成为阻碍传热的绝热体。再则即使受热面腐蚀穿孔时,只逐渐降低蓄热能力,而不致象管式空气预热器那样导致严重漏风。

近几年来,回转式空气预热器在我国得到了迅速发展。在国外,采用回转式空气预热器已有四、五十年的历史。已制成的最大直径达到20米,在90万千瓦锅炉机组上只需配置一台这种大直径的空气预热器。

目前受热面回转式与风罩回转式均被国内外广泛采用。在欧洲采用的数量基本相当(西德大多为风罩回转式),但在美国和日本以受热面回转式较多。

回转式空气预热器也有一些缺点:如漏风较大,密封装置与制造工艺复杂,精度要求高,加工周期长,其相应的安装与维修工艺水平要求较高。

回转式空气预热器一般用于预热空气温度 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 以下,如超过 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 时,采用管式与回转式配合使用。

4. 热风器

热风器是一种用汽机抽汽预热空气的汽-气热交换器。一般在燃用含硫燃料的锅炉上装用,作为提高空气预热器进风温度、防止烟气低温腐蚀的一种措施。因布置于锅炉低温段空气预热器前(进风通道上),故又称前置式空气预热器。

热风器由一些传热管(及联箱)组成,目前传热管均采用鳍片式结构,其特点是传热系数高(以心管外表面传热面积计高达 $400\text{大卡}/\text{米}^2\cdot\text{时}\cdot^{\circ}\text{C}$)、结构紧凑、耗用钢材少,并

由此带来体积小、布置方便等优点。

鳍片传热管的型式较多,常用的结构示于图1-6。一种是将金属片(铝片、铁片或铜片)绕卷在钢制的心管上制成(图1-6a)。在加工中使鳍片与心管之间具有一定紧力,但两者接触面积小,在使用于 150°C 以上时,接触不够充分。改进的办法是:传热管制成后再镀一层金属,或使鳍片根部卷成L型(图1-6b),以扩大接触面积,这样使用温度可提高到 180°C 。采用b型结构时,鳍片只能采用铝片。

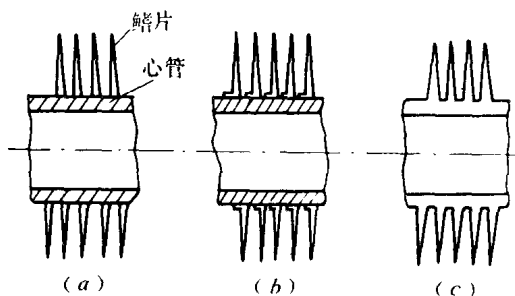


图 1 6 鳍片式传热管结构

(a)一般结合管;(b)L型结合管;(c)单金属管

另一种称单金属管(图1-6c)。它是在混轧机上将铝管或铜管混轧制成,由于鳍片与心管完全成一体,无接触热阻,传热效果好。

装设热风器会使排烟温度升高,但由于利用了蒸汽潜热(蒸汽冷却成凝结水后返回热力系统),汽机排汽冷源损失减少,可使热力循环效率提高,部分或全部地补偿锅炉所增加的排烟热损失。最终对全厂经济性的影响决定于抽汽压力:在采用低压抽汽($2\sim 3$ 公斤/厘米²)时全厂热效率可基本保持不变;但若采用较高压力的抽汽(如 $8\sim 13$ 公斤/厘米²或

更高) 则全厂热效率会有不同程度的降低。

热风器有立式与卧式两种布置。装于立式空气预热器入口风道时, 选用卧式较为有利, 因为它可以采用上、下传热管数不等的排列形式, 即由下部至上部传热管数逐渐减少, 使热风器出口或立式空气预热器入口截面上由下部至上部风温逐渐降低、风量逐渐增多, 从而避免立式空气预热器上部壁温与排烟温度不必要的增高。

图1-7中示出了美国历年投产的锅炉机组中, 各种类型空气预热器的配置比例^①, 以示其发展趋势。

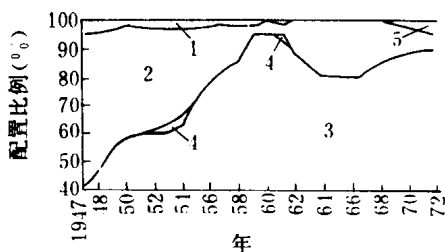


图 1-7 美国历年投产的锅炉机组中
各种类型空气预热器的配置情况

1—板式; 2—管式; 3—回转式; 4—回转式+管式; 5—热风器

三、预热空气温度与排烟温度的选择

预热空气温度和排烟温度是锅炉基本的参数, 两者互相关联, 在整个锅炉机组热力计算中首先要选定。

预热空气温度的选择主要应根据燃料特性与燃烧方式, 保证燃料着火与稳定燃烧和具有较高的燃尽度。预热空气温度愈高, 对燃烧愈有利。但达到一定温度后, 对强化燃烧收

^① 《大容量锅炉机组对流部分》, Л. Б. Кроль, И. Н. Розенгауз, 1976年。

效逐渐减少,反而要耗费过多的空气预热器受热面并增加尾部受热面布置上的困难。采用液态排渣、旋风燃烧方式时为维持炉内高温保证流渣畅通,以及燃用低挥发份或多水分燃料时,必须选取较高的预热空气温度。预热空气温度的选用范围列于表1-1^①。它因受到金属耐温性能的限制,最高值为400~420℃。

排烟温度应按照有效地利用燃料的热值和尾部受热面的金属耗量的条件去选择,亦即要根据金属耗量与燃料价格等投资与运行收益作技术经济比较后确定,表1-2列出了排烟温度的推荐值^②。

近年来随着锅炉容量的不断增大,要求锅炉运行经济性较高,选用较低的排烟温度。

表1-2中所列排烟温度未考虑尾部受热面腐蚀。在燃用高硫燃料时,如无防止低温腐蚀措施,为了避免受热面腐蚀,空气预热器最低壁温应高于最强腐蚀点温度。但是这将导致排烟温度高达180~200℃,远超过表1-2中所列出的推荐值,造成锅炉热效率大大降低。因此,对高硫燃料必须采用防腐蚀措施。

应当指出,由于不同的防腐措施,排烟温度的抉择有所不同。国内外广泛使用的低温玻璃管空气预热器的实践证明,由于维修费用减少,运行收益增加,排烟温度可降至110~130℃。

四、空气预热器的漏风计算

空气在预热过程中,由受热面不严处泄漏至烟侧的漏风对锅炉运行经济性与安全性有很大影响。漏风直接导致排烟热损失升高,而且增加吸、送风机的负荷及耗电率。严重的

① 《锅炉原理与设计》,西安交通大学,1974年。

② 苏联《锅炉机组热力计算标准方法》,1973年。