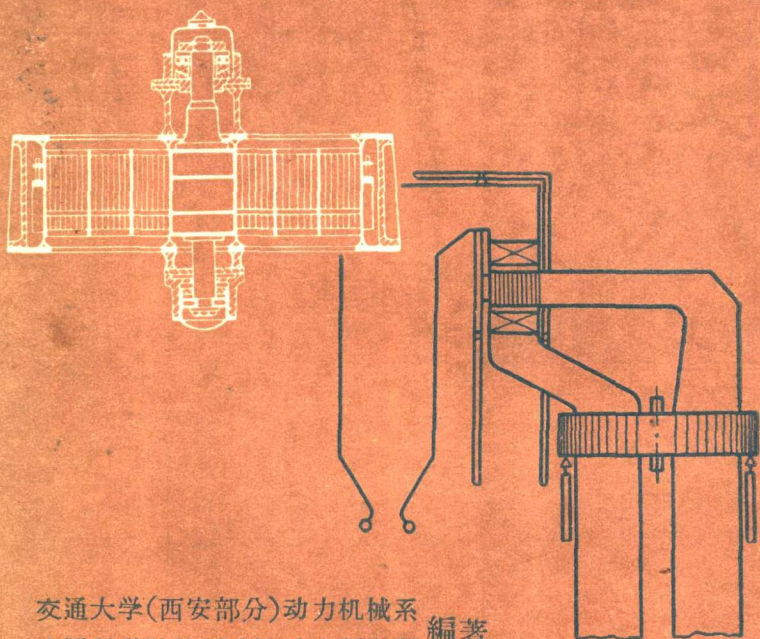




交通大学(西安部分)动力机械系 編著
中国科学院陕西分院动力研究所

再生式迴转空气預热器

水利电力出版社



前 言

鍋炉为火电站三大主要設備之一，在全民办电的新形势下，鍋炉工业将有更进一步的跃进，以适应电力工业的需要。鍋炉方面的中心问题是研究設計提高效率，节省金属和安全运行的鍋炉，鍋炉主要部件之一的空气預热器，在国内目前制造者都是管式的，由于鍋炉容量的不断增加，采用再生式回轉空气預热器已为必然的趋势，同时，由于节省鋼鉄材料，結合我国具体情况，即在中等容量鍋炉上采用这种空气預热器也有很大經濟价值。为此，1958年六月我系鍋炉专业委员会与辽吉电管局、沈阳中心試驗所合作設計及制造了国内第一台再生式回轉空气預热器装于东北某电厂的40吨/时的鍋炉上，十一月又与上海鍋炉厂合作設計中压大容量280吨/时鍋炉上应用的再生式回轉空气預热器。根据这些設計及制造經驗，并参考有关資料加以全面分析，写成专文，以供国内鍋炉制造厂和电厂工作上的参考，以及高等学校教学上教学内容的补充。参加此項具体設計及制造工作及本文編写的有鍋炉专业委员会章燕謀同志，全文并由陈学俊教授加以校閱。

目 录

一、概述.....	3
二、回轉式空气預热器在我国动力鍋炉上广泛采用的可能性.....	4
三、采用回轉式空气預热器时的布置方案.....	10
四、回轉式空气預热器的結構及設計特点.....	14
五、回轉式空气預热器的設計計算.....	40
六、制造回轉式空气預热器的几个主要問題.....	47
七、回轉式空气預热器的安装.....	50
八、回轉式空气預热器的运行、檢修及維護.....	52
九、回轉式空气預热器今后的研究方向.....	56

一、概 述

再生式回轉空气預热器(以下簡稱回轉式空气預热器)是利用一个低速轉动的轉子,在轉子中裝滿作为受熱面的金屬薄板,轉子的一部分处于烟气流中,而另一部分在空气流中,轉子每轉一圈即完成一个热交換循环,在每一循环中受熱面从烟气流中吸取热量(当受熱面在烟气側时),而当轉至空气側时把热量放出傳給空气。

回轉式空气預热器可分为两大类,即軸向垂直型和軸向水平型。軸向垂直型回轉式空气預热器的轉軸是垂直放置的,烟道及空气道亦均为垂直布置,这种型式在实际上采用甚广。軸向水平型預热器其轉軸及烟风道均为水平布置,这种型式应用較少。因此在本文中所述均系对軸向垂直型回轉式空气預热器而言。

为了增加热交換的温差,在預热器中的烟气和空气一般采取逆流式,这样可使烟气逐漸被冷却,而空气逐漸被加热,整个預热器內的热交換速度亦較均匀。有时为了提高受熱面金板的壁温,防止腐蝕現象,也有采用順流形式的。

整个轉子的截面积被划分为三个区域:烟气側,空气側及惰性区域(即密封区域)。这三部分通常分配如下:烟气側占总面积的 $\frac{1}{2}$,空气側占 $\frac{1}{3}$,惰性区域占 $\frac{1}{6}$ (亦即烟气側占 180° ,空气側占 120° ,惰性区域占 60°)。另一种分配为:烟气側占 200° ,空气側占 100° ,惰性区域占 60° 。总之这三部分的分配原則是使傳热系数增加并要能有效地防止漏风。

預熱器的轉子被划分为若干个扇形仓，每个扇形仓中紧密地放置着金屬薄板，其厚度一般为0.5~1.0公厘。轉子的轉速通常采用3/4~5轉/分。傳动所需的功率为0.5~3瓩，視轉子的重量及各摩擦面的摩擦情况而定，回轉式預熱器的几何尺寸决定于鍋爐的容量和空气預热器中的傳热量。通常轉子的高度为600~1,500公厘，轉子的直徑为1,300~5,500公厘。随着鍋爐容量的增大，預熱器的几何尺寸也增大了。例如西安交大为60万瓩机組的超临界压力直流鍋爐(260大气压，585°/570°C)选型上，采用了八台直徑为6,500公厘，高度为2,100公厘的回轉式空气預热器或四台直徑为7,500公厘，高度为3,100公厘的回轉式空气預热器。苏联設計的830吨/时的超临界压力(318大气压655°C)直流鍋爐上采用了两台直徑为7,500公厘，高度为2,800公厘的回轉式空气預热器。

对于回轉式空气預热器而言，漏风是一个很主要的問題，由空气側漏向烟气側的风量有时可达10~20%。为了减少漏风量，必須裝置一套密封裝置，这样就大大地增加了回轉式空气預热器結構上的复杂性，以及制造和安装上的繁复。近年来，由于密封裝置的不断改进，使漏风量大为减少，在密封良好的情况下，漏风量仅为6~7%左右。

二、回轉式空气預热器在我国动力鍋爐上广泛采用的可能性

回轉式空气預热器早在三十多年以前已开始使用，在这几十年中其結構形式上得到了很大的改进，因此在欧美各国由于燃用品質較好的煤早已得到了广泛的应用，尤其以西德及美国

应用最广。近年来由于大容量及超高容量锅炉的发展，在苏联也开始设计及采用这一种型式的空气预热器。

回转式空气预热器所以能得到广泛的采用，主要是由于它具有一系列的优点：结构紧凑，体积小，重量轻，金属消耗量少，简化锅炉尾部受热面的布置，降低锅炉的排烟温度提高锅炉效率等。

对我国来说其中最主要的一点为节约金属消耗量。由于回转式空气预热器的传热量较大（其单位面积的传热量约比板式预热器大3倍），因此在相同的相当直径时，回转式所能传递的总热量比板式或钢管式的预热器都大（虽然其传热系数并不比管式预热器大，但因其金属板的两面均作为受热面，故传递的总热量就增大了）。因而在传热量相同的情况下，其体积及重量比管式及板式预热器大为减少。表1是各种锅炉在相同的热力工况下采用回转式空气预热器及采用钢管式空气预热器时的金属重量比较表。由表1中可以看出采用回转式空气预热器可节约大量钢材。尤其当锅炉的容量增大时，节约钢材的数量更为显著。

钢管式空气预热器的受热面为电焊薄壁钢管，而这种钢管我国目前的产量较少，不能满足生产上的需要，因此在锅炉上钢管式空气预热器的受热面管目前大部分是由国外进口的。而回转式空气预热器的受热面为普通的薄钢板，国内可以生产。因此在现阶段来说采用回转式空气预热器不仅可以大量地节约钢材，而且可以节省外汇，节约资金（因为薄钢板的价格仅为电焊薄壁钢管的60%左右）。

采用回转式空气预热器可降低锅炉的排烟温度（和钢管式相比较）。由于回转式空气预热器的结构紧凑，因此降低排烟温度，温差较小时，不致使预热器的结构变得很庞大，金属消

表1 回轉式和鋼管式空气預热器金屬重量比較表

鍋爐型号	111-35-39	211-75-39	811-120/39	411-130/32	321-230/100
	$D=35$ 吨/时	$D=75$ 吨/时	$D=120$ 吨/时	$D=130$ 吨/时	$D=230$ 吨/时
鍋爐参数	$P_{nn}=39$ 大气压 $t_{nn}=450^{\circ}\text{C}$	$P_{nn}=39$ 大气压 $t_{nn}=450^{\circ}\text{C}$	$P_{nn}=39$ 大气压 $t_{nn}=450^{\circ}\text{C}$	$P_{nn}=32$ 大气压 $t_{nn}=410^{\circ}\text{C}$	$P_{nn}=100$ 大气压 $t_{nn}=510^{\circ}\text{C}$
采用鋼管式空气預热器时					
1. 受热面重量	18.85吨	38.6 吨	65.2 吨	43.1 吨	131.0 吨
2. 管箱重量	25.69吨	46.73吨	75.65吨	55.39吨	144.38吨
3. 預热器总重量	33.94吨	69.79吨	110 吨	61.1 吨	177 吨
采用回轉式空气預热器时					
1. 受热面重量	9.61吨	14.24吨	22.6 吨	13.52吨	49.85吨
2. 轉子重量	13.56吨	18.83吨	28.88吨	17.76吨	63.5 吨
3. 預热器总重量	18.11吨	25.1 吨	38.43吨	25.62吨	82.2 吨

注: 1) 上表中的鍋爐均系东北某鍋爐厂設計及制造的。

2) 回轉式空气預热器的計算是按照原鍋爐的热力工况以及相近似的烟气和空气的速度下而得。

3) 回轉式空气預热器的金屬重量系約值, 仅供参考。

耗量的增加亦并不很多(因为金属壁的两面均为受热面)。而对鋼管式空气預热器則不然, 当排烟温度为 120°C 时, 如要再降低排烟温度則将使受热面剧烈地增加, 这样非但使尾部受热面无法布置, 而且由于金属消耗量的剧增使鍋爐的經濟性很差, 因而采用鋼管式空气預热器时, 不能过分降低排烟温度。而回轉式空气預热器由于上述的情况可采用很低的排烟温度, 个别

的鍋炉甚至可低达 86°C 。

对于大容量的鍋炉在采用鋼管式空气預热器时，尾部受热面的布置常发生很大的困难，如采用“T”形布置，这样使整个鍋炉显得十分龐大，金属消耗量亦大为增加（其中主要是构架的重量增加了）。如果采用回轉式的就可消除这种布置上的困难。因而对于大容量的鍋炉，回轉式空气預热器更具有其优越性。

由于上述各项优点，在我国的鍋炉制造业中也开始广泛地采用回轉式空气預热器，我国某些鍋炉厂新設計的鍋炉上均采用这种型式的空气預热器。

对我国來說，回轉式空气預热器不仅在新設計的鍋炉上具有广闊的发展前途，对于旧有的中等容量鍋炉的改进上也有很大的优越性。我国各地电厂內有很多中等容量的老式鍋炉在运行，这些旧鍋炉因为是在十几年甚至几十年前制造的，所以其結構均較陈旧，排烟温度較高，鍋炉效率較低，煤耗率很大。例如在东北地区的各电厂中有很多鏈条炉排式鍋炉，其容量在 $20\sim 40$ 吨/时之間，这些鍋炉的热效率很低，排烟温度一般在 $180\sim 230^{\circ}\text{C}$ 左右，个别的甚至高达 300°C ，其平均热效率在80%左右，其中有不少鍋炉的热效率甚至在80%以下。对于我国來講由于工业的迅速发展，电力的需要非常迫切，各电厂的发电任务都很重，在这种情况下就必须充分利用現有的設備以滿足各方面对电力的需要。因而这些旧鍋炉在一定的时期內还必须發揮其作用。但是由于这些鍋炉的热效率很低，耗煤率較大，为了充分發揮其效能，把这些旧式鍋炉加以改进是合理的，而且也是必須的。

从这个观点出发，我們曾对东北某电厂的一台中等容量的老式鍋炉进行了改进，改进的目的是要降低鍋炉的排烟温度，

提高热效率，减少耗煤率。这台锅炉是由日本拔柏葛公司出品的分联箱斜水管链条炉排式锅炉，其最高連續蒸发量为 40 吨/时，鍋筒內压力为 24 表大气压，过热蒸汽温度为 415°C ，其平均排烟温度为 210°C 左右。改进后排烟温度降至 140°C ，热效率增至 85%，这样每年可节约燃煤 3200 吨左右。由此可知，如果把所有的旧锅炉加以改进对于我国工业的快速发展将会起巨大的作用。

为了降低排烟温度，可用加装空气預热器的方法来达到。在此情况下就需研究采用那种型式的空气預热器最合算。我們在上述电厂的鍋炉改进工程中，进行了一系列的技术經濟比較，比較結果載于表 2 中。

由表 2 中可知，如加装鋼管式空气預热器，其受热面金属

表 2 1. 东北某电厂鍋爐改进工程改装空气預热器技术經濟比較表

加装的空气預热器的型式	鋼管式 (管徑为 76/70)	鋼管式 (管徑为 38/35)	回轉式
旧鍋爐上原有的受热面 (平方公尺)	683	0	0
排烟溫度降至 140°C 时所需 的受热面(平方公尺)	2240	1910	3330
另需增加的受热面 (平方公尺)	1552	1910	3330
烟气流速(公尺/秒)	8.4	8.4	8.36
空气流速(公尺/秒)	5.3	5.3	6.85
所需增加的受热面重量 (吨)	37.5	22.5	8.04
材料单价(元/吨)	1050	1050	600
受热面投資費用(元)	39400	23600	4824
占地体积(立方公尺)	102.5	36.5	17.1

注：1) 管徑 76/70 公厘的鋼管为原鍋爐上所用的鋼管式空气預热器。

2) 采用較低的烟气及空气流速是由于受到原設备吸风机及送风机压头的限制。

消耗量为采用回轉式时的 2.8 倍(管徑为 38/35 公厘的鋼管) 或 4.67 倍(管徑为 76/70 公厘的鋼管)。采用鋼管式时的受热面投資費用为回轉式的 4.9 倍(管徑为 38/35 公厘的鋼管) 或 8.17 倍(管徑为 76/70 公厘的鋼管); 此外, 在设备的占地体积方面也相差很大, 而由于原鍋炉尾部受热面的地位很小, 如果加装鋼管式預热器放置不下, 故由于地位的限制也提供了加装回轉式空气預热器的必要性。因此無論从節約金属、节省資金方面或从尾部地位的布置方面来看, 均以加装回轉式空气預热器为佳。由于我国各电厂的旧式中等容量鍋炉其形式基本上是相似的, 因此这种情况具有普遍的意义, 亦即在旧式中等容量鍋炉的改装过程中采用回轉式空气預热器具有很大的优越性。

由于加装回轉式空气預热器的投資費用較少, 而加装后效率提高, 大大地節約了燃煤量, 因而加装回轉式預热器的投資費用通常在一年到一年半內即可全部回收。例如上述电厂加装回轉式空气預热器的投資費用在九个月內即可回收(参看下表) 这一点也說明了加装回轉式空气預热器的优点, 即投資費的回收期限較短。

綜合上述情况可知, 回轉式空气預热器不仅在新設計的大容量鍋炉上具有广闊的发展前途, 而且在旧的中等容量的鍋炉改进上也具有广闊的前途。

回轉式空气預热器也有一些缺点: 制造較复杂, 需要一套傳动设备, 需要消耗一定的厂用电 (其中包括傳动设备的电能消耗以及由于阻力的增加所引起的风机功率的增加), 漏风量較大。但根据上海楊树浦发电厂的实际运行經驗来看, 厂用电的增加很少, 由于密封結構的改进, 漏风量亦大为减少。因此比較其利弊得失, 这些缺点决不会妨碍回轉式空气預热器的广泛采用。

2. 东北某电厂加装回轉式空气預热器的投資費用及回收期限

項 目	数 量	价 格	备 注
材料費: (1) 傳热波形板	8吨	5000元	其中包括鍋爐尾部构架的鋼材 2.8延
(2) 普通鋼板	4吨	2400元	
(3) 型 鋼	4.5吨	2300元	
(4) 鑄 鐵	1吨	170元	
(5) 馬 達	1只	700元	
总 計		10570元	
制造費: (1) 机 械 工	300工日	3000元	
(2) 金屬結構工	700工日	5600元	
(3) 临时輔助工	300工日	600元	
总 計		9200元	
安裝費: (1) 安 裝 工	180工日	2150元	
(2) 临时輔助工	150工日	300元	
总 計		2450元	
总 投 資 費 用		22220元	燃用鶴崗四元煤
加装后每年節約燃煤	3200吨	29952元	
投資費用回收期限		9个月	

注: 表中数字均为約值, 仅供参考。

三、采用回轉式空气預热器時的布置方案

在鍋炉設計中采用回轉式空气預热器时的布置, 是一个值得研究的問題。一般講来, 可分为两大类: 1) 当預热空气的温度要求很高时(在300~350°C以上), 一般需采用回轉式和鋼管式空气預热器的联合运用, 即高温段用鋼管式空气預热器, 低温段用回轉式空气預热器; 2) 当預热空气的温度較低时(在300

~350°C以下)可采用单級回轉式空气預热器。

对于上述两大类型各有其不同的布置方案,今分述如下:

1. 采用回轉式和鋼管式联合运用时: 此时一般可有五种布置方案。

(1) 整个鍋炉采用“II”形布置, 将軸向垂直的回轉式空气預热器放置在对流井垂直烟道的下端(如图1所示)。这种形式目前常被采用, 有时为了支持預热器必須把对流井后面的两根主柱向外移, 亦即增大了对流井主支持柱之間在深度方向的跨距, 但如布置适当則尾部构架亦可不向外移。

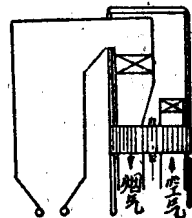


图1 回轉式和鋼管式联合运用布置方案之一

(2) 整个鍋炉采用“II”形布置, 将軸向垂直的回轉式空气預热器放置在对流井的外面, 預热器另用构架支持(如图2所示)。

(3) 将軸向水平的回轉式空气預热器放置在对流井的外面, 另用支座支持之(如图3所示)。

(4) 把回轉式空气預热器布置在鍋炉頂部构架上, 对流井

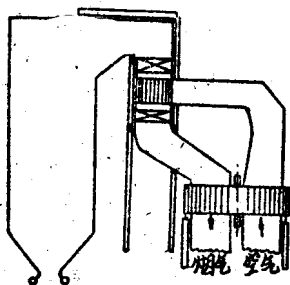


图2 回轉式和鋼管式联合运用布置方案之二

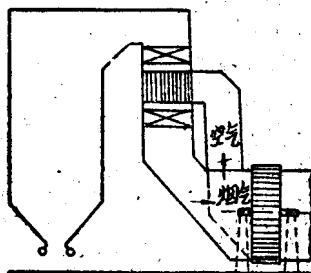


图3 回轉式和鋼管式联合运用布置方案之三

部分的烟气由下向上流，通过回轉式預热器后入烟囱(如图4所示)。这种形式应用很广。

(5)鍋炉采取“T”形布置，在两对流井烟道下面各布置回轉式預热器(如图5所示)。

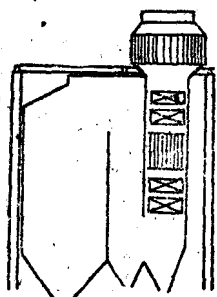


图4 回轉式和鋼管式联合运用布置方案之四

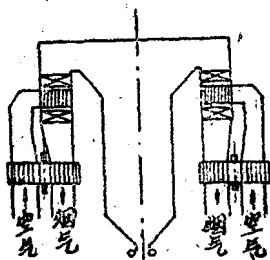


图5 回轉式和鋼管式联合运用布置方案之五

2. 采用单級回轉式空气預热器时：其布置形式約分三种：

(1)回轉式空气預热器布置在对流井烟道的下面(如图6所示)。

(2)回轉式空气預热器布置在炉頂构架上，对流井內烟气由下向上流(如图7所示)。

(3)鍋炉采用“塔形”布置，回轉式空气預热器布置在頂部构架上(如图8所示)。

在以上各种布置方案中(无论对回轉式和鋼管式联合运用，或对单級回轉式)，沿着鍋炉寬度方向可布置一台、两台或四台回轉式空气預热器，对于“T”形布置的鍋炉則可布置两台、四台或八台回轉式空气預热器，視鍋炉的容量大小及預热器的尺寸而定。

在回轉式和鋼管式联合运用的布置方案中，最常見的为图

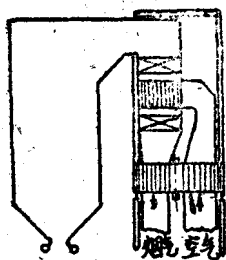


图6 采用单级回轉式空气預热器时布置方案之一

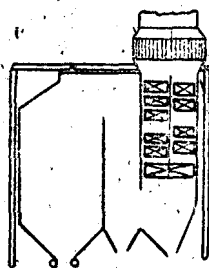


图7 采用单级回轉式空气預热器布置方案之二

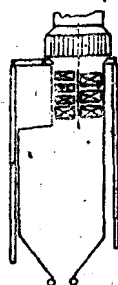


图8 采用单级回轉式空气預热器布置方案之三

1. 和图4的布置形式，而其中欧美各国以采用图4者为最多。因为采用这种布置虽稍增加了一些鍋炉的高度，在构架方面亦使金属消耗量增加了一些，但在檢修預热器更換受热面飯时較方便(因为低温段受热面飯在預热器的上层)。故这种形式应用很广，苏联新設計的一些大容量鍋炉上，也有采用图5的布置方案，不过目前还未正式运用。至于图2和图3則应用較少。

对于采用单级回轉式空气預热器的布置方案，較常用的为图6及图7。苏联新設計的830吨/时超临界压力直流鍋炉回轉式空气預热器即采取这种布置形式。图8的布置形式也有采用的，不过这种布置将大大地增加鍋炉的高度，因而增加了金属消耗量，故应用較少。

总之，以上各种方案均有采用，在設計鍋炉时，应根据具体的情况考虑布置方案，使該鍋炉在技术上及經濟上都能有良好的效果。对于旧式鍋炉的改装，由于地位受到原結構形式的限制，因而在布置时更应根据具体条件进行布置，使原結構的改动較少(如烟风道等)，以减少改装的工作量，使改装所需的金属消耗量較少，并使改装后在运行、維護和檢修上能很便利。

地进行。东北某发电厂加装回轉式空气預热器的布置形式如图9所示，由于原鍋炉尾部烟道的地位很狹小，因而在布置时会发生过一些困难，我們曾布置了五种方案，最后确定了图9的形式。在图9中預热器离操作平台为1.8公尺，以便于鍋炉在运行时的通焦，其次在布置烟风道时，我們也尽量使之不妨碍預热器的檢修以及减少原結構的改动，如在操作平台以下的烟风道我們均不改动。

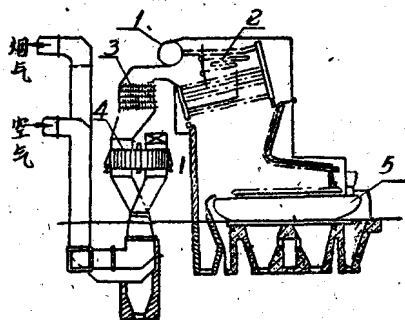


图9 东北某发电厂加装回轉式空气預热器布置图

1—汽包；2—过热器；3—鑄铁式省煤器；4—回轉式空气預热器；
5—鏈条爐排。

四、回轉式空气預热器的結構及設計特点

由于工作情况的不同，回轉式空气預热器和鋼管式空气預热器在結構上有极大的差別。回轉式空气預热器的結構比鋼管式空气預热器复杂，其零件亦比鋼管式的多得多。現对回轉式空气預热器各主要部件的結構形式及其設計特点分述如下：

1. 支承結構 回轉式空气預热器的支承結構，大体上可分为三种形式，如图10、11、12所示。在图10中整个轉子的重量

被分爲兩部分承受：一部分重量（約爲轉子總重量的 $1/2$ ）系由預熱器支撐部的重錘 1 來負擔。重錘 1 位於支承杆 14 的端部，支承杆 14 可繞支點 13 而旋轉，由於重錘的重量使兩支承杆 14 的

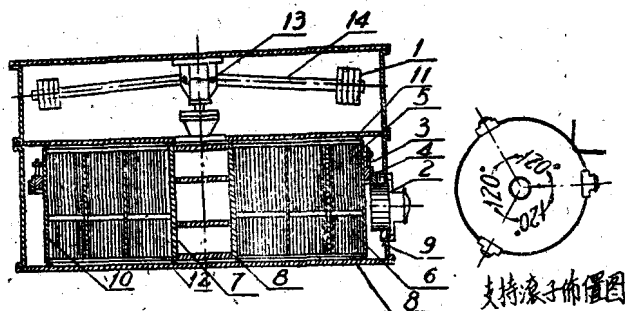


圖10 回轉式空氣預熱器結構形式之一

1—支承重錘；2—支持滾子；3—傳動圓杆；4—導軌；5—高溫段受熱面波形板；6—低溫段受熱面波形板；7—中心軸；8—環向密封裝置；9—外殼；10—轉子；11—頂板；12—底板；13—支點；14—支承杆。

另一端產生一個向上力，此向上力作用在轉子的中心軸上，抵消了轉子的一部分重量。轉子的另一部分重量系由滾子 2 來承受，在轉子外圍圓周上焊有一條環形導軌 4，此導軌的底面和滾子 2 相接觸，滾子固定在預熱器的外殼上，轉子的另一部分重量通過導軌傳遞至滾子上，最後由外殼承受，通過橫梁把整個預熱器的重量傳至鍋爐的主構架上。整個預熱器共有三個支承滾子，在圓周方向每隔 120° 布置一個支承滾子。這種支承結構具有一些缺點，首先由於依靠重錘的杠杆作用支承了一部分轉子的重量，因而在轉子旋轉時易發生不平穩的現象；其次由於三個滾子在安裝時不可能完全在同一个平面內，加以分配在三個滾子上的負重不可能是完全平均分配的，因而在三個滾子處導軌的磨損情況亦各不相同，在運行了一個時期後，導軌的

表面发生高低不平的现象，这样就助长了转子旋转时的偏侧现象。由于上述缺点，这种支承结构不建议采用。

图11的支承结构形式是把平面滚珠轴承2放置在中心轴5上，中心轴5固定在底钣10上，整个转子的重量由滚珠轴承通过中心轴传至底钣及横梁。支持轴承的结构可参看详图，转子的重量通过轮毂11和轴承压盖12的联接压在钢珠13上，轴承座15系用耐磨钢制成，轴承座固定在中心轴盖板16上。在钢珠13的四周绕有金属丝14以减少磨损。这种结构形式亦存在着很大的缺点，由于轴承位于转子轮毂内，处于较高温的情况下，因而使轴承的工作条件恶化，增加了轴承损坏的可能性。故这种结构形式亦不建议采用。

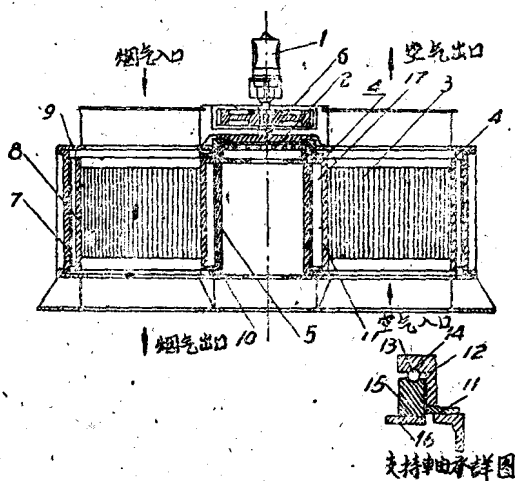


图11 回转式空气预热器结构形式之二

- 1—电动机；2—支持轴承；3—受热面波形钣；4—环向密封装置；5—中心轴；6—传动齿轮；7—外壳；8—转子；9—顶钣；10—底钣；11—转子轮毂；12—轴承压盖；13—钢珠；14—金属丝；15—轴承座；16—中心轴盖板；17—轴向密封装置。