

第十一章 给水除氧设备

编写单位 上海电站辅机厂

上海发电设备成套设计研究所

编写人 郑学华 张曼玲 张时飞 王 玺

常用符号表

<p>A——安全阀喉部截面积(mm^2)</p> <p>a——水的热扩散率(m^2/h)</p> <p>C_g——气体在水中的溶解度(mg/L)</p> <p>C_o——流量系数</p> <p>C_b——除氧器出水比热容 [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]</p> <p>$D_a$——阀杆漏汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{ba}$——补充水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_c$——加热蒸汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{cg}$——加热抽汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{cz}$——总加热汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{dj}$——低压加热器疏水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{ki}$——高压加热器疏水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{gl}$——锅炉蒸发量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{gs}$——锅炉给水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{gt}$——其他进入的流量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{jwy}$——减温减压器用水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_k$——来自排污水扩容器的蒸汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_M$——额定出力($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_n$——进入除氧器的主凝结水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{nb}$——雾化水量($\text{t}/\text{h}$)</p> <p>$D_p$——单只喷嘴流量($\text{t}/\text{h}$)</p> <p>$D_{pq}$——排汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_{pw}$——锅炉连续排污量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_s$——轴封漏汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$D_z$——总进水量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$d_{bp}$——水滴平均粒径($\text{m}$)</p> <p>$d_{cy}$——除氧头直径($\text{m}$)</p> <p>$d_o$——阀座喉径($\text{mm}$)</p> <p>$d_p$——雾化粒径($\text{m}$)</p> <p>$F$——喷嘴的汽、水接触面积($\text{m}^2$)</p> <p>$F_{gr}$——喷嘴切线槽入口面积($\text{m}^2$)</p> <p>$F_L$——喷嘴的理论总加热面积($\text{m}^2$)</p> <p>$F_s$——水滴实际加热面积($\text{m}^2$)</p> <p>$F_z$——总加热面积($\text{m}^2$)</p> <p>$G$——安全阀排汽量($\text{kg}/\text{h}$)</p> <p>$g$——重力加速度($\text{m}/\text{s}^2$)</p> <p>$H$——开启高度($\text{mm}$)</p> <p style="padding-left: 2em;">喷雾高度(m)</p>	<p>H_p——雾化水滴行程(m)</p> <p>h_a——阀杆漏汽焓(kJ/kg)</p> <p>h_{ba}——补充水焓(kJ/kg)</p> <p>h_c——加热蒸汽焓(kJ/kg)</p> <p>h_{cy}——出水焓(kJ/kg)</p> <p>h_{dj}——低压加热疏水量(kJ/kg)</p> <p>h_{gs}——锅炉给水焓(kJ/kg)</p> <p>h_{hz}——进入除氧器水混合焓(kJ/kg)</p> <p>h_n——进入除氧器的主凝结水焓(kJ/kg)</p> <p>h_s——轴封漏汽焓(kJ/kg)</p> <p>I_{rw}——雾化区热负荷强度(W/m^3)</p> <p>K_g——气体溶解度系数</p> <p>K_{pl}——比例常数</p> <p>K_a——蒸汽向水的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]</p> <p style="padding-left: 2em;">n——喷嘴数量</p> <p style="padding-left: 2em;">p——气体总压力(MPa)</p> <p style="padding-left: 4em;">安全阀入口蒸汽压力(kPa)</p> <p style="padding-left: 2em;">p_i——气体中某种气体的分压力(MPa)</p> <p style="padding-left: 2em;">p_f——残余压力(MPa)</p> <p>Q_a——漏汽放热量(W)</p> <p>Q_{ba}——补给水所需热量(W)</p> <p>Q_c——加热蒸汽放出热量(W)</p> <p>Q_{ki}——高压加热器疏水放热量(W)</p> <p>Q_L——允许热负荷(W)</p> <p>Q_n——凝结水所需热量(W)</p> <p>Q_s——轴封漏汽放出热量(W)</p> <p>Q_z——除氧器总热交换量(W)</p> <p style="padding-left: 2em;">q——喷淋层容积热负荷(W/m^3)</p> <p style="padding-left: 2em;">r_1——喷雾区半径(m)</p> <p style="padding-left: 2em;">r_2——半径(m)</p> <p style="padding-left: 2em;">r_p——喷口半径(m)</p> <p style="padding-left: 2em;">r_x——喷嘴旋流室半径(m)</p> <p style="padding-left: 2em;">s——斜边(m)</p> <p style="padding-left: 2em;">t——进水温度($^{\circ}\text{C}$)</p> <p style="padding-left: 2em;">t_{cy}——工作压力下水的饱和温度($^{\circ}\text{C}$)</p> <p style="padding-left: 2em;">t_{hz}——进水混合温度($^{\circ}\text{C}$)</p> <p style="padding-left: 2em;">t_M——出水温度($^{\circ}\text{C}$)</p> <p>Δt——除氧器压力下的饱和温度与出水温度差</p>
---	---

($^{\circ}\text{C}$)
 Δt_{pd} ——进水平均对数温差($^{\circ}\text{C}$)
 v_0 ——喷雾初速度(m/s)
 v_p ——雾化水滴平均流速(m/s)
 V ——喷淋层容积(m^3)

λ ——平均热导率 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]
 ρ ——水的密度(kg/m^3)
 μ ——流量系数
 θ ——喷射角
 η_{cy} ——除氧器热效率(%)

第一节 概 论

一、给水除氧的必要性

(一) 气体在水中的溶解特性

任何气体或气体混合物与水相接触时，有一部分气体就会溶于水中。气体在水中的溶解度与气体的种类、水的温度以及气体的压力有关。道尔顿定律指出，混合气体中的各种气体的分压力之和等于气体的总压力，即

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4-11-1)$$

式中 p ——气体的总压力(MPa);

p_i ——气体中某种气体的分压力(MPa); ($i=1, 2, \dots, n$)。

在给水处理设备的设计计算中，涉及的气体是空气和蒸汽组成的混合气体。在平衡的条件下，气体在水中的溶解度服从亨利定律。该定律指出：在给定的温度下，溶解于水中的某种气体的溶解度与该种气体在水面所接触的气体中的分压力成正比，即

$$C_g = K_g \frac{p_g}{p} \quad (4-11-2)$$

式中 C_g ——某种气体在水中的溶解度(mg/L);

K_g ——该种气体的溶解度系数(mg/L);

p_g ——该种气体的分压力(MPa)。

气体的溶解度系数仅与气体的种类及水的温度有关，见图 4-11-1 所示。从该图可知，在温度、压力相同的条件下，不同种类的气体的溶解度是各不相同；任何一种气体，其溶解度随着温度的升高而下降。

由式(4-11-2)可知，如果有几种气体同时存在于水面上，那么每种气体的溶解度只是与其本身的分压力成正比关系。在给定温度的条件下，并不因为其他气体的存在而改变。

(二) 氧化腐蚀作用

锅炉补给水取自江河或地下，这些水源对大气是开放的。因此空气中的氧气、氮气、二氧化碳以及氨气等都会溶于水中。其次，在真空条件下工作的设备和管道的法兰、轴承等处，若密封失效，也易漏入空气。溶在水中的氧气、二氧化碳、氨气等对热力设备产生氧化腐蚀。其中溶氧的危害性最为严重，因此人们把热力设备的除气设备称谓除氧设备。

溶入水中的氧引起钢材化学或电化学腐蚀，其

过程是这样：铁素体作为阳极放出自由电子后，生成 Fe^{2+} 离子进入水中，自由电子流至阴极渗碳体，水中溶解的氧在阴极接受电子后生成氢氧根。在氧化腐蚀过程中，反应速度为阴极过程所支配，而阴极反应取决于水中溶氧扩散到阴极表面的速度，因此溶解氧腐蚀又被称为氧浓度控制腐蚀。氧向阴极的扩散速度与氧的浓度、水温、水的流速以及水的 pH 值有关，其中决定因素是溶解氧的浓度。

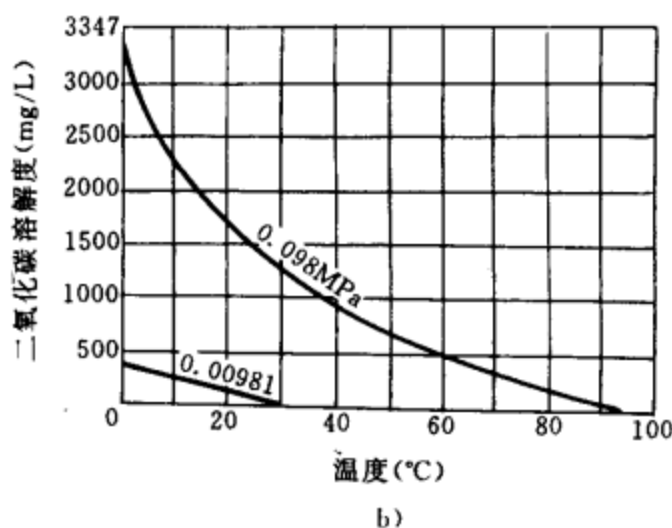
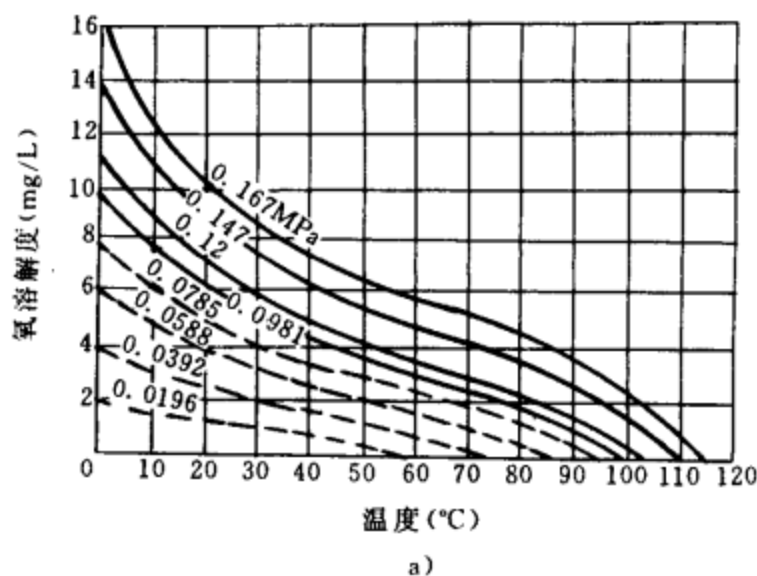


图 4-11-1 水中溶解气体量与温度的关系

a) 水中氧的溶解度 b) 水中二氧化碳的溶解度

腐蚀产物种类很多，不单纯是二价或三价铁的氢氧化物。腐蚀产物的结构比较疏松。通常氧化腐蚀呈不均匀状，在钢材表面形成许多小的鼓包，其直径大小不等，小的 1mm 左右，大的可达几十 mm。当腐蚀的直径与深度基本相等时，称谓点腐蚀；当腐蚀的直径大于深度时，称谓溃疡腐蚀；当腐蚀的直径远远小于深度时，称谓针状腐蚀。

(三) 氧化腐蚀对热力设备的危害

溶解于水中的气体对热力设备的危害表现在两方面。其一,那些在热力设备工作条件下不发生相变的气体会影响能量转换过程中的传热效果,增加机组的不可逆损失。其二,以氧为主体对热力设备金属的腐蚀作用会大大缩短设备的使用寿命,降低设备的可靠性,甚至导致不可预测的事故。

在热力系统中的水和汽的温度一般都比较,并且氧化腐蚀具有局部性和延续性,所以氧化腐蚀速度相当快。氧化腐蚀通常多发生在给水管道及集箱、省煤器、疏水箱、低位水箱、凝结水泵出口和除氧器的除氧头等处。在正常运行工况下,锅内不会发生腐蚀。

当给水的溶解氧超过允许值时,就会在给水管道和省煤器中发生点状腐蚀。若省煤器管发生腐蚀穿孔,将造成停炉事故。在实际运行中,给水管道及集箱的管壁取得比较厚,否则也会发生短时期内腐蚀穿透的现象。在疏水系统中,因疏水箱及低位水箱是通大气的,有些疏水管不是经常存满水,因此便暴露在空气中,而且疏水的溶氧量较高,所以疏水系统也是氧化腐蚀严重的地方。

热力设备在安装、存放及停运期间,如果护养不善,往往也会发生腐蚀现象,甚至很严重。尽管在设备启动运行前要清洗掉腐蚀产物,但留存下的腐蚀陷坑还会成为腐蚀电池的阴极,继续发生腐蚀。因此,实践表明,去除给水中的溶解氧是确保热力设备安全、经济运行的重要工作。

二、除氧设备的分类

除氧设备的类型很多,可按其工作机理、工作参数或结构型式分类。

(一) 按工作机理分类

1. 物理除氧

以物理学中有关吸收与解吸现象的理论为基础设计的除氧设备有热力除氧设备和解吸除氧设备。

只要将水定压加热到饱和温度时,气相与液相界面上的水蒸气分压力会接近于气相的总压力,而其他气体的分压力趋近于零。根据亨利定律和道尔顿定律可知,这时水就不具有溶解气体的能力,溶解氧将从水中离析出来。这就是热力除氧的机理。

根据上述机理,研制出真空除氧器、大气式热力除氧器和压力式除氧器。

如果将水面上的气相空间充以对热力设备无害的其他气体,如氮气时,并且令该气体的分压力接近

等于气相的总压力。那么,根据亨利定律也可以去除水中的溶解氧。利用这一原理的除氧器称为解吸除氧器。

2. 化学除氧

化学除氧分为化学药剂除氧和钢屑除氧。

在水中添加适量的化学药剂,如亚硫酸钠等,将水中的溶解氧固定,形成稳定的化合物,然后借助锅炉排污将化合物排出炉外。在火力发电厂中,常把化学除氧作为辅助除氧手段。

当一定温度的水通过钢屑时,水中的溶解氧与铁发生化学反应,消耗掉水中的氧。根据这一原理研制成钢屑除氧器。

3. 电化学除氧

当在溶有氧的水中插入电极板时,在直流电动势的作用下,氧得到电子并与水分子作用生成氢氧根,然后与阳极板金属生成稳定的氢氧化物,从而达到除氧的目的。人们利用上述原理制成了电化学除氧设备。

4. 其他除氧机理

随着科学技术的发展,人们在不断地探索新的除氧机理和相应的除氧设备。如最近几年来探索的树脂除氧、离析抽气除氧等已经成功,且获得小范围的应用。

(二) 按工作压力分类

按照工作压力可将热力除氧设备分为真空式、大气式和压力式。这3种除氧器的工作压力见表4-11-1。

表 4-11-1 除氧设备按工作压力分类

名 称	工作压力(表压) p (MPa)
真空式除氧器	$p < 0.007 \sim 0.02$ (绝对) 或 $p < 0.065$
大气式除氧器	$p = 0.065 \sim 0.098$
压力式除氧器	$p > 0.098$

(三) 按结构型式分类

大气式除氧器的结构型式繁多。按照除氧器的外形可分为立式和卧式。所谓立式是指除氧头轴线与其相连的水箱中心线相垂直;卧式是指除氧头中心线与其相连的水箱中心线相平行。

按照热力除氧器除氧头的内部构件可分为喷雾式、淋水盘式、填料式、喷雾-填料式、喷雾-淋水盘式、喷雾-蒸汽喷盘式以及其他形式的除氧器。

在我国火力发电厂中,广泛采用的是压力式热力除氧器。因此,在本章内的以下各节中,只叙述与热力除氧器有关的内容。

三、除氧设备的特性参数和选用

(一) 给水除氧指标

GB12145—89《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准》中规定,锅炉给水中溶氧量应符合表4-11-2的规定指标。

表 4-11-2 给水溶氧量标准

炉 型	锅筒锅炉				直流炉
	3.8~ 5.8	5.9~ 12.6	12.7~ 15.6	15.7~ 18.3	
锅炉压力(MPa)					5.9~ 18.3
溶氧($\mu\text{g/L}$)	≤ 15	≤ 7	≤ 7	≤ 7	≤ 7

由表4-11-2可知,我国规定的锅炉给水溶氧量指标,按锅炉的工作压力可分为2个区域,当锅炉的工作压力 $\leq 5.8\text{MPa}$ 时,规定给水溶氧量小于 $15\mu\text{g/L}$;当锅炉的工作压力 $> 5.8\text{MPa}$ 时,规定给水溶氧量不大于 $7\mu\text{g/L}$ 。亚临界和超临界参数的锅炉,其给水则必须更严格地除氧。因为高参数下运行的热力装置中,溶氧及其产物不仅直接威胁着锅炉和有关设备的安全性,还会显著地降低汽轮机的出力。

(二) 热力除氧特点及特性参数

1. 热力除氧特点

在热力除氧设备中,在给定的压力下当水达到饱和温度或稍高于饱和温度时,气相空间的水蒸气分压力接近于气相的总压力。那么,氧的分压力接近于零。经验表明在上述条件下,约有90%的溶解气体以小气泡的形式从水中逸出,残留的10%左右的气体通过扩散方式进入气相空间。因此热力除氧过程可分为2个阶段,即初期除氧阶段和深度除氧阶段。

初期除氧阶段:在初始加热过程中,水中溶解的气体主要是以机械离析方式进入气相。由于水中溶解的气体较多,两相不平衡压力较大,故气体可以呈小气泡形式克服表面张力而离析出水。在这一除气过程中,能去除水中气体的80%~90%,使水的溶氧量降到 $0.05\sim 0.1\text{mg/L}$ 。

深度除氧阶段:深度除氧是热力除氧的最后阶段。经过初期除氧后,水中仅残留少量的气体。气液两相之间的不平衡压差很小,故溶解于水中的气体不再具有克服表面张力从水中离析出来的能力。此

时,气体只能以分子形式从水中扩散出来。扩散过程与气体分子的动能、介质的性质以及需要扩散的距离有关。在实际除氧操作中,必须加大蒸汽与水的接触面积,缩小氧逸出时所经历的扩散距离,同时造成水的湍流来加强扩散作用,从而达到深度除氧的目的。

2. 热力除氧的主要特性参数

热力除氧设备的主要特性参数有设计压力、工作压力、设计温度、进水温度、额定出力和温升等。

(1) 设计压力。它是用以确定除氧器壳体及其他受压元件尺寸的参数,设计压力应略高于除氧器在使用过程中的最高工作压力。装有安全阀的除氧器,须以安全阀的开启压力作为除氧器的设计压力。目前较多电厂的除氧器安全阀的开启压力是根据除氧器1.25~1.3倍最大工作压力来确定的。

(2) 工作压力。它是指除氧器顶部在正常工作过程中所产生的表压力,其值是通过经济技术比较和实用要求来确定的。影响除氧器工作压力的因素应该包括汽轮机的抽气压力、汽轮机抽汽段的压力误差以及合理的裕度这3个部分。当然,在确定除氧器工作压力时还应顾及到对给水泵的能耗的影响和对系统暂态工况运行时的安全性的影响。

(3) 设计温度。它是指除氧器在正常工作过程中,在相应的设计压力下,除氧头和给水箱的壳壁或元件金属可能达到的最高或最低温度,其值主要是考虑事故工况时,运行中除氧器突然失去凝结水,除氧头内和给水箱水位以上空间充满蒸汽,使壳体壁温可能达到的最高温度(即加热蒸汽温度),因此,除氧器的设计温度可取为汽轮机在最大功率下运行时除氧器所采用的回热抽汽温度和除氧器在起动或低负荷时所采用辅助蒸汽温度两者中的较大值。在除氧器设计中,一般都把给水箱设计温度与除氧头设计温度取为相同值。

(4) 出水温度。它是指除氧水箱出口处的水温。除氧头与水箱组成的除氧器相当于一个混合加热器。在稳态运行工况下,除氧器内的工质始终处于额定工作压力下的饱和状态。水箱中的水温是均一的,因此水箱出口处的水温就等于除氧器额定工作压力对应的饱和温度。

(5) 除氧器出力。它是指除氧器出水管在单位时间内输出符合规定溶解氧含量的给水量。它有额定出力、最大出力和最小出力之分。

额定出力是指除氧器在规定条件下运行时,除

氧水箱出口连续排出的最大除氧水量。实际上,额定出力接近等于总进水流量与加热用的蒸汽凝结量之和,它表示除氧器所能承受的除氧能力。

最大出力是指除氧器满足锅炉最大出力时的给水量。由于锅炉最大出力通常是锅炉额定出力的105%~110%,所以除氧器的最大出力就不应低于额定出力的110%。

最小出力是指锅炉在低负荷运行时所需的给水量,其值取决于锅炉最低负荷和除氧器在启动时所需的给水再循环量。由于锅炉的最低负荷通常是25%~30%的额定负荷,除氧器启动再循环流量一般为30%~40%的额定给水量。因此,除氧器的最小出力不应高于额定出力的30%。

(6) 温升。它是指除氧器进水的平均温度与除氧器工作压力相应的饱和温度之差。一般为10~15℃,大机组为20~35℃。

(三) 除氧设备的选用

1. 除氧方法的选用

在火力发电厂中,通常选用物理除氧和化学除氧2种方法。与化学除氧相比,物理除氧方法是火电机组给水除氧的主要手段。

物理除氧设备不仅能去除给水中的溶解氧,而且还可去除其他溶解气体。物理除氧不生成任何残留物质;同时具有造价低廉、除氧效果稳定可靠等优点。

化学除氧生成无腐蚀性的稳定化合物,需由锅炉排污清除;目前广泛采用的化学辅助除氧剂为水合联氨,其效果较好,但毒性大、安全性较差。正在开发和推广中的新型化学辅助除氧剂是肼类化合物。通常化学除氧方法只作为水质要求高的、超高压参数以上机组的热力除氧的补充措施。

2. 除氧设备的选用

能否合理地选用除氧设备,直接关系到机组的经济性、运行寿命和安全可靠性。经验指出,应根据机组的参数、运行特点等实际情况选择除氧设备的容量、结构型式和设计参数。

(1) 额定出力的选择。除氧器的额定出力主要取决于机组给水的最大消耗量,同时与给水装置的自动化程度有关。一般选其为系统热平衡计算中的最大给水量的105%。

在计算除氧器出力时,除计入各路需除氧水进水量之外,还应计入加热用蒸汽的冷凝量。其额定出力还应根据国内有关标准规范和产品系列规格,由

设计部门通过方案比较才能确定。

(2) 工作压力的选择。通过技术经济分析论证,确定除氧设备的种类及合理的工作压力。

真空式除氧器的工作压力低于0.06MPa。其工作温度低于大气压下的饱和温度,通常只有30~70℃。如果选用真空除氧器,需除氧水的加热量有限,可以用热水加热,也可以用蒸汽加热。真空式除氧器主要用于热电厂和锅炉房。在某些中低压电厂中也曾采用过。

真空式除氧器的优点在于工作温度低,节省能耗;可以远离主厂房,布置在化水车间或其他合适的地方;并可以使用塑料或纸质填料,降低造价。但其不能做到完全除氧,只适合于出水含氧量高于7μg/L的场合。选用真空式除氧器时,必须配置抽真空设备。

如果除氧器的工作压力稍高于大气压时,则属于大气式热力除氧器,其工作温度稍高于100℃。在运行时,逸出的气体及未凝结的蒸汽可自行排出。大气式热力除氧器主要用于中温、中压电厂及热电厂的给水和回水除氧,也可作为高压电厂的第一级预除氧设备。

大气式热力除氧器适应负荷变化的范围较大,检修方便。与真空除氧器相比,无空气漏入问题,无抽真空设备;其工作温度较高,耗能较大。

工作压力大于0.098MPa的是压力式除氧器。我国电厂用的多数压力式除氧器工作压力为0.49MPa左右。压力式除氧器的工作温度较高,有利于降低出水的含氧量。

高压、超高压和更高压力的电厂多采用压力式除氧器,这是由于:1)可减少价格昂贵的高压加热器的台数,以节省材料和提高运行的安全可靠性。2)有利于在高压加热器停运时仍有较高的给水温度,减少给水温度的变化幅度,有利于锅炉运行。3)可避免除氧器的“自生沸腾”现象,以保证除氧的稳定性。

(3) 除氧器结构型式的选择。除氧器结构型式选择得合理与否,直接关系到火电机组的经济性、运行寿命和安全可靠性。

根据“电站压力式除氧器安全技术规定”,除氧器的结构型式可按下列规定选择:

- 1) 300MW及以上机组,应采用卧式除氧器。
- 2) 200MW机组,一般可采用卧式结构。
- 3) 125MW及以下机组,可以采用立式结构,

但除氧头在给水箱上的开孔直径不应大于给水箱直径的 $1/3$ ，并不应大于 1000mm ，若开孔直径超过上述规定，则应做详细的应力分析，必要时应做验证性水压试验，以校核设计可靠性。

(4) 除氧器及系统选用要求。根据原水利电力部火力发电设计技术规程 SDJ1-84 的规定，对安装容量为 $500\sim 600\text{MW}$ 的凝汽式发电厂及高温高压供热式机组的热电厂，除氧器的选用应按下列原则：

- 1) 中间再热机组的除氧器宜采用滑压运行；
- 2) 除氧器总容量应根据最大给水消耗量来选择，每台机组宜配 1 台除氧器；
- 3) 高压及中间再热凝汽式机组宜采用 1 级压力除氧器，高压供热式机组或中间再热供热式机组在保证给水含氧量合格的条件下，可采用 1 级压力除氧器；
- 4) 单元机组的除氧器，应配置可靠的起动及备用汽源；
- 5) 除氧器及有关系统应有可靠的防止除氧器超压爆炸的设施；
- 6) 低负荷运行的除氧器宜采用滑压运行，高负荷运行的除氧器宜采用定压运行，以减少除氧器爆破事故，提高运行的经济性。

我国生产的压力式除氧器的主要技术参数见表 4-11-3。

3. 除氧设备材料的选用

(1) 除氧器壳体材料。可按照下列规定选择：

- 1) 200MW 以下的机组，一般采用 20g ；
- 2) 200MW 以上的机组，当锅炉为直流炉时，除氧头壳体材料应采用 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 不锈钢与 20g 的复合钢板；给水箱壳体材料一般采用 20g ；锅筒炉时，除氧器壳体材料可采用 20g 。

(2) 零部件材料。可按下列规定选用：

1) 除氧头内凡与从凝结水中释放出来的氧气接触的雾化喷嘴、淋水盘、填料、挡板、内件支架及余气冷却器管道等零部件，宜采用不锈钢材料，以防腐蚀；

2) 易腐蚀的进水管、排汽管、多孔板等零件，建议采用耐腐蚀材料或采取有效的防腐措施；

3) 除氧器壳体上接管材料一般采用 10 、 20 钢，对于介质温度大于 430°C 的蒸汽管座应采用耐高温的合金钢管。

四、除氧器结构设计的基本要求

除氧器结构设计应满足下列基本要求：

(1) 除氧头应具有一定的空间容积，使水汽有足够的接触时间，以保证水中所溶气体排出。为了使机组在甩负荷或进汽压力突然变化时，除氧头与水箱之间的蒸汽压力能迅速达到平衡，除氧头和水箱之间的汽水流通应均匀、通畅。

(2) 定压运行的除氧器，在除氧器的常用回热抽汽管道上应装设电动隔离阀、调节阀和高、低水位自动警报装置以保证除氧设备压力稳定。当采用高一级回热抽汽作为汽轮机低负荷工况下除氧器的加热蒸汽时，应在切换蒸汽管道上装设电动隔离阀和减压阀。

(3) 滑压运行除氧器，在除氧器常用回热抽汽管道上不装设加热蒸汽调节阀。当采用起动锅炉的蒸汽(或厂用辅助蒸汽)作为起动加热蒸汽，或者采用高压缸排汽(冷段再热蒸汽)作为汽轮机低负荷工况下使用除氧器的备用加热蒸汽时，应在切换蒸汽管道上装设稳压集箱。除氧器在滑压运行阶段，稳压集箱一般处于热备用状态，其蒸汽压力是通过稳压集箱入口蒸汽压力调节阀来维持除氧器的额定工作压力。在起动和低负荷运行阶段，可通过稳压集箱出口蒸汽压力调节阀来维持除氧器高压运行。稳压集箱的设计压力可按除氧器设计压力确定；设计温度可按最高进汽温度确定；稳压集箱的公称直径应不小于除氧器常用抽汽管道的公称直径加 200mm 。

(4) 除氧器各组成元件应坚固耐用、耐腐蚀。除氧器内的凝结水喷嘴、加热蒸汽喷管、淋水盘、散水槽、填料层、加强圈等部件的布置，不仅应使除氧器具有高效的传热、传质性能，而且应使除氧器具有合理的承载结构和足够的强度、刚度。除氧器的壳体应考虑腐蚀裕量，一般除氧头为 2.5mm 、水箱为 1.6mm 。

(5) 除氧器的焊接结构件设计应符合 GB150—89《钢制压力容器》中的有关章节，当除氧器内部构件采用焊接连接时，应减少由于构件之间不均匀热膨胀和承载后不同变形所引起的约束应力。当除氧器内部构件采用螺栓连接时，应采取点焊等措施，防止螺母与螺栓之间松动和脱落。

(6) 除氧器的加热蒸汽接管座和汽轮机阀门门杆漏汽接管座，应采用套管与除氧器壳体连接的结构。

汽轮机阀门门杆漏汽接管座，给水泵再循环水接管座和高压加热器疏水接管座，在插入除氧器壳

体内侧的部分应做成管子侧面开孔的喷管结构,以达到对介质降压和喷雾作用,在门杆漏汽接管座内应加装限流孔板,以便安全、经济运行。除氧器的接管管座一般以焊接形式与外部管道系统连接,接管座高度一般为 200mm。

(7) 除氧器筒体上的开孔宜避开焊缝,开孔边缘与焊缝的距离应大于 3 倍的筒体壁厚,且不小于 100mm;若开孔必须通过焊缝时,则开孔中心两侧各不少于 1.5 倍开孔直径范围内的焊缝,应进行 100%无损探伤。

椭圆形封头上开孔的孔边或补强圈的边缘与封头边缘间的投影距离不应小于 0.1 倍的封头内直径。

(8) 除氧器上任意相邻 2 个开孔的中心距离宜大于 2 倍的两孔平均直径,反之应进行补强。当 2 个轴向开孔中心距不大于 2 倍的两孔平均直径或周向开孔中心弧长不大于 2.5 倍的两孔平均直径时,应采用联合补强圈,联合补强圈的补强面积应等于各单独开孔所需补强面积之和,在计算联合补强时,任何一部分截面不得加以重复计算;当开孔中心距不大于 1.5 倍的两孔平均直径时,开孔之间的补强面积应至少等于两个孔所需总补强面积的 50%;当 2

个开孔中心距小于 $1\frac{1}{3}$ 倍的两孔平均直径时,两开孔间的任何金属均不能作为补强用;数量任意而位置很靠近的开孔,不论其排列形式如何,均可作为一个假想孔(其直径包括了所有靠近的开孔)来补强。开孔补强圈的材料宜与壳体材料相同;补强圈的厚度不应超过 1.5 倍的壳体壁厚。

(9) 除氧器筒体上的开孔形状应为圆形、椭圆形或长圆形,严禁在除氧器上开方孔、三角孔等。当在除氧器上开椭圆或长圆形孔时,孔的长径与短径之比不应大于 2。

(10) 除氧头和给水箱上应分别设置铰链型人孔门,其直径根据检修时拆卸至壳体外的零件尺寸决定,但不小于 $D, 450\text{mm}$ 。

(11) 当安装所有内部喷嘴时,为避免喷嘴喷雾对钢板的冲击,一般应均匀布置,其排列方式应便于喷嘴能从除氧头壳体中取出。

(12) 除氧头和水箱的结构应能保证便于内部检修及安装。为便于运输及安装,一般是制成单一整体,分散运往工地进行安装。除氧头和给水箱一般均在制造厂内安装,并在厂内进行水压试验,以减少工地安装时单项设备的水压试验和工地安装的工作量。

第二节 热力除氧器

一、除氧头的主要结构型式

1. 淋水盘式

这是旧式中、小型电厂中使用比较广泛的一种结构形式,见图 4-11-2。使用的抽气压力为 0.12~0.25MPa,故亦称大气式除氧器。

这种除氧头内的给水是通过多层平行的带孔淋水盘,形成大量细水流,自上而下流入最下层淋水盘后进入贮水箱。加热蒸汽由除氧头的下部进入汽室,并经最下层淋水盘的通汽孔上升,不断穿过下落的细水流。在汽流上升的同时,通过热量的传递,把水加热到相应压力下的饱和温度。这时水中的溶解氧不断解析出来,并被汽流携带上升,最后从顶部的排汽管排出。

在稳定的运行条件下,可取得预期的除氧效果,但对运行工况变化的适应性较差。在高负荷时易形成溢水,使传热条件变坏。尤其当抽汽压力下降或给水量增加、进水温度较低时,因受到热交换条件的限制,除氧效果就较差。

2. 喷雾式

这是一种除氧效果较好的结构,它是依靠水泵的压力,用喷嘴将需要除氧的水喷射成雾状微粒,见图 4-11-3。

由于水与加热蒸汽接触面积大大增加,从而创造了较好的热交换条件,使溶解于水中的氧能迅速地除去。这种除氧头对水温要求较低,低温水进入除氧头后仍能立即加热至饱和温度,不会影响除氧效果,这是淋水盘式除氧头无法比拟的优点。在喷雾过程中,大约有 90%溶解于水中的氧气以小气泡形式逸出,残余部分将靠扩散来除去。但当水滴大量雾化时,由于水滴直径变小,表面张力增大,从而影响包含于水滴中部分气体的向外扩散。因此,单靠喷雾还不能获得满意的除氧效果,必须通过增加水与气体表面面积接触机会,以有利于气体及时扩散,从而达到进一步深度除氧效果。如装设填料层、淋盘等十分有效的深度除氧装置。

3. 填料式

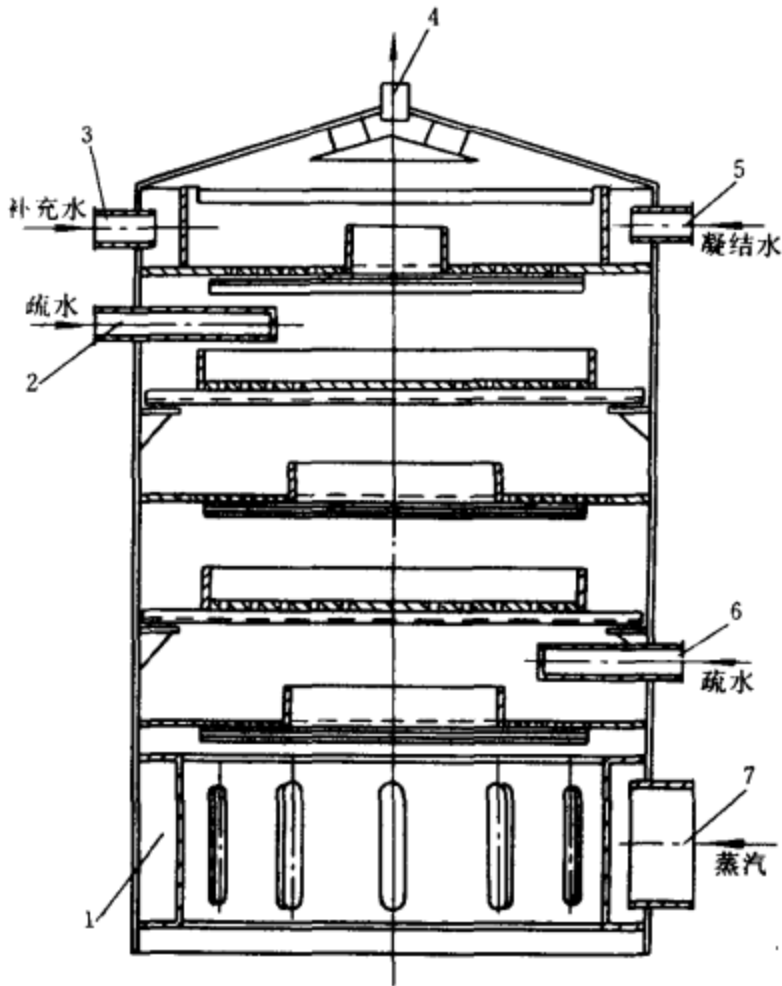


图 4-11-2 淋水盘式除氧头结构简图
1—汽室 2—疏水管 3—补充水管
4—排汽管 5—凝结水管 6—高
压加热器疏水管 7—进汽管

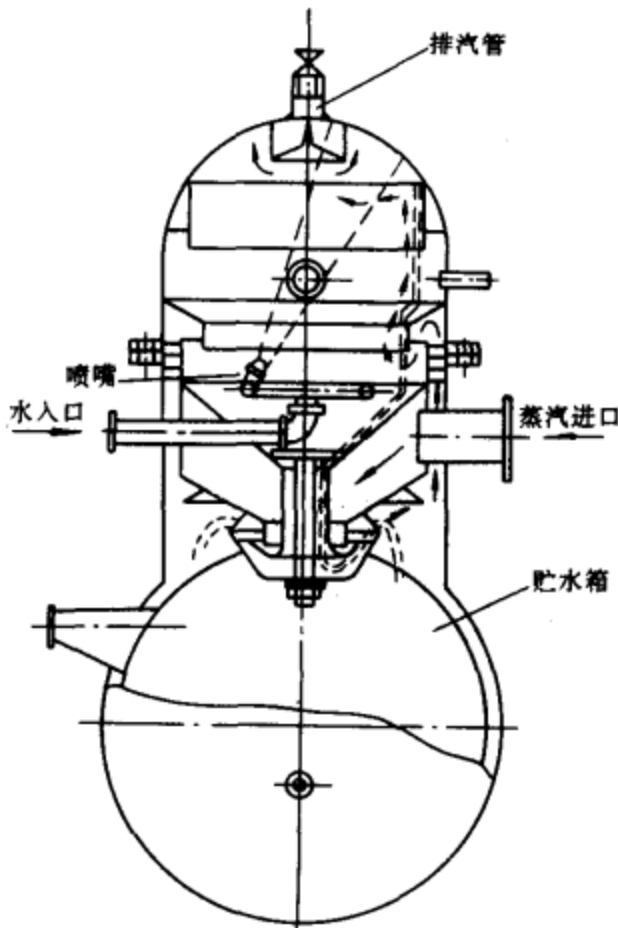


图 4-11-3 喷雾式除氧器构造图

填料式除氧头内，装有一种由比表面积较大的固体物所组成的填料层，其目的就是使水流经填料层被分散呈水膜状态，充分与蒸汽接触，加热除去水中溶氧。因填料的表面积是固定不变的，所以它不受运行工况的影响。填料一般是用不易腐蚀且不会污染水质的材料制成。填料按其在除氧设备中放置的相对位置，可分为无规则的与有规则的 2 种。无规则堆放的填料有 Ω 形、圆环形、拉西环等；有规则堆放的填料有栅格式、托盘式等，一般其比表面积为 $200\text{m}^2/\text{m}^3$ 左右。填料型式虽多，但其中 Ω 形和鲍尔环的不锈钢压制成的圆环形效果较好。

当加热度 $\Delta t = 20 \sim 30^\circ\text{C}$ 时，除氧头的除氧强度可达 $90 \sim 100\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；但当 Δt 升到 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 时，除氧强度降至 $20 \sim 30\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，此值比淋水盘式除氧头的除氧强度还小，可见采用本结构的除氧头时，应严格控制水温。因制造填料需用大量不锈钢材料，故除氧头全部采用填料式也不利于提高经济效益。因此现代电厂中除氧头内的结构，仅部分采用填料式，再与其他形式结构相组合，取长补短，以获得较好的除氧效果。

4. 喷雾-蒸汽喷盘式

这是一种将进水通过喷水管及喷嘴喷出呈雾状被加热而完成除氧的除氧头。同时加热蒸汽在喷盘内对进水进行再次加热，使水内氧气进一步扩散以达到深度除氧的目的。由于水经过 2 次加热、扩散，故除氧效果良好(见图 4-11-4)。

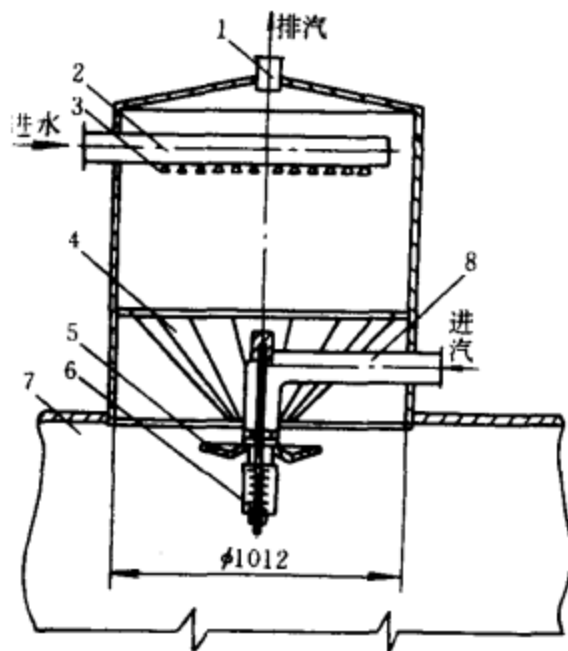


图 4-11-4 喷雾-蒸汽喷盘式除氧器
1—排汽管 2—进水管 3—喷嘴 4—集水斗
5—喷盘 6—弹簧 7—贮水箱 8—进汽管

5. 喷雾-角钢栅盘式

这是一种利用角钢栅盘作为填料结构的除氧头。角钢栅盘是用普通型钢或耐腐蚀的薄钢板弯曲成形后按一定的节距组合而成的。它是依靠角钢栅盘本身所形成的水膜以及水流依层次下落时所形成的水幕作为汽、水传质过程的界面。除氧头上部为喷雾区，下部为填料层，中部筒壁上装有一截锥形挡水板，环与填料层之间装有一层配水淋水盘，下部装有9层角钢制成的栅盘，总高约为900mm，一次加热蒸汽由填料层下部进入，二次蒸汽管是从除氧头顶部直接插入雾化区。水的雾化是靠喷嘴来完成，深度除氧是靠角钢栅盘填料层来完成(见图4-11-5)。

6. 喷雾填料式

喷雾填料式除氧器是喷雾和填料两种除氧形式的组合，上面为喷雾层，下面为填料层。水的雾化是靠喷嘴来实现，深度除氧是靠填料层中的填料来完成。在喷雾层内是利用喷嘴将需除氧的水喷成雾状，通过水气的混合达到水的加热和初步除氧过程。经过喷嘴除氧后的水和填料层相接触使水在填料层表面形成水膜状态，再通过向上流动的加热蒸汽在填料层中与水的接触来达到深度除氧。因此，这种除氧器有较好的除氧效果，常见的有2种形式。

(1) 立式除氧器。它又可分为单封头喷雾填料式除氧器和双封头喷雾填料式除氧器2种结构。图

4-11-6 是装于青山热电厂100MW机组的单封头喷雾填料式除氧器，除氧头中设有圆形挡水板、供凝结

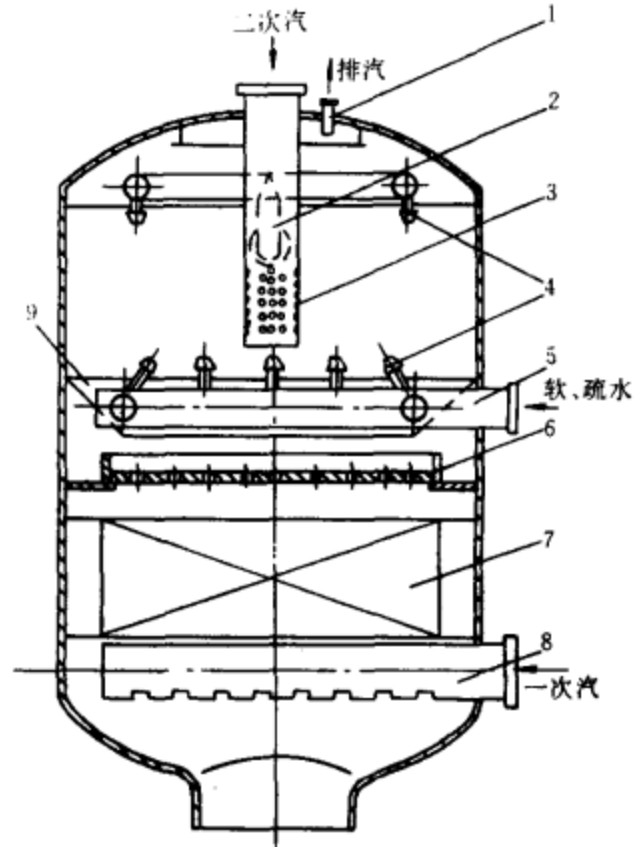


图4-11-5 喷雾-角钢栅盘式除氧器
1—排汽管 2—凝结水管 3—二次汽管
4—喷嘴 5—软化水和疏水管
6—配水盘 7—角钢栅盘
8—一次汽管 9—挡水板

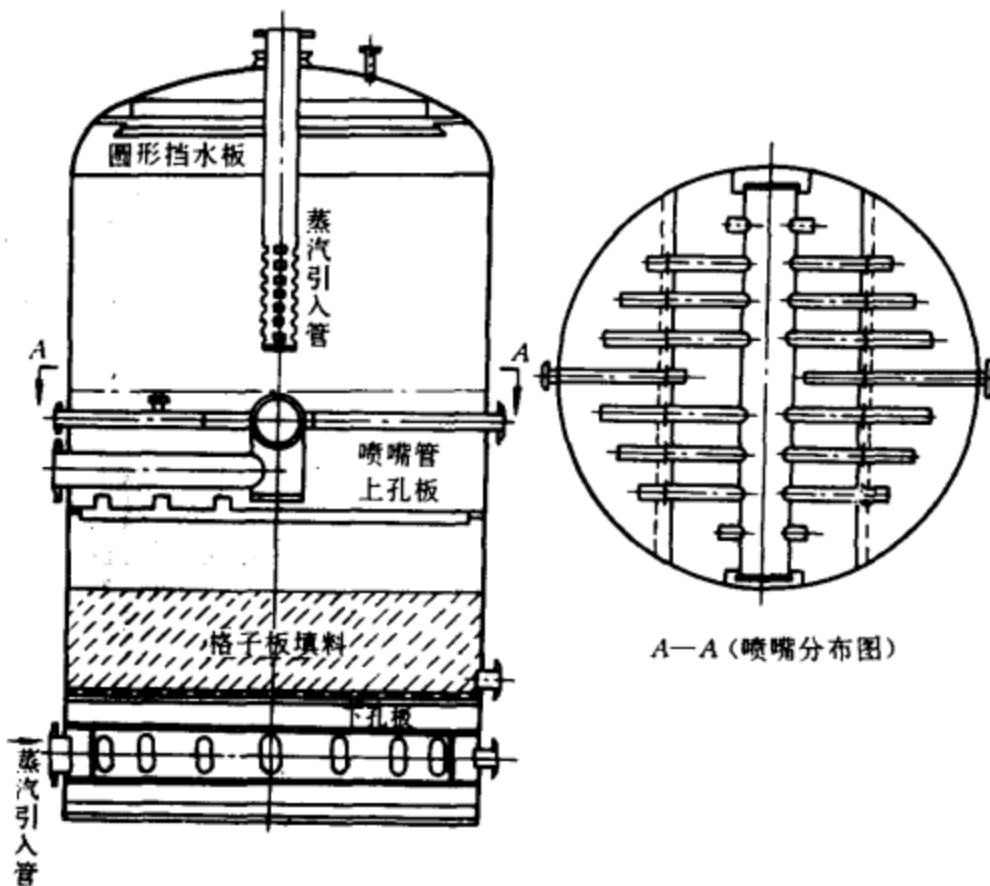


图4-11-6 单封头喷雾填料式除氧器

水和补充水喷射用的喷水装置。高压加热器疏水喷管、加热用蒸汽管和分汽圈以及孔板和填料等。从低压加热器来的主凝结水由进水管进入除氧器后，流入喷水装置，通过进水支管及均匀布置在支管上单只容量为 10t/h 的喷嘴将水喷成雾状。这样不仅有利于与蒸汽接触，强化汽、水之间的传热和传质过程，而且易于水中溶解氧的逸出。在除氧空间顶部的中心有 1 根蒸汽进入管，自顶部引入的蒸汽经该喷汽管上的 4 排(每排 7 只)矩形孔喷出，达到加热除氧。在一般情况下，进水在此即可加热至饱和温度。被第一次除氧后的水和蒸汽凝结水经上孔板往下流入交错排列而叠置在一起的钢质百叶窗的格子板填料层，并在填料层的表面形成水膜或细水流，再经过格子板填料的曲折通道继续下流，与进入除氧器底部向上流动的二次加热蒸汽进行逆向流动加热，使水中的氧气得到进一步排除，而进行第二次除氧，这样就能较彻底地把水中的残留氧除掉。二次加热蒸汽量约为总加热蒸汽量的 2/3。离析出来的气体经除氧器顶部挡水板后，随同部分蒸汽一起由排汽管排出。经过二次除氧后的水流入下孔板，通过 $\phi 14\text{mm}$ 小孔向下流入给水箱中贮存。为防止除氧器筒壁及附件的腐蚀，该机组的除氧器筒身内壁用不锈钢复合板制成，除氧器内的管道、附件也都是用不锈钢制成。

图 4-11-7 是装于朝阳发电厂 200MW 机组的 GC-680 立式单封头高压除氧器。凝结水和电厂各处的疏水经弧型的配水槽 12 进入配水管 13，在配水管上装有 28 只喷嘴 3，水经旋流式喷嘴成雾状喷出，这样有利于汽水接触，强化了汽水间的传热和传质过程，使溶于水中的气体易于析出。在水管的下部装有一次加热蒸汽管 9，蒸汽自此进入与喷成雾状的水进行充分的热交换。经过初步除过氧的水和蒸汽凝结水落到淋水盘 8 上，再经淋水盘上的小孔分配到下部的筛盘 7 上。筛盘共有 10 层，每层由许多扁钢条组成。在筛盘上形成水膜的水与下部进入的二次加热蒸汽进行热交换，从而增加了传热面积，提高除氧效果。由于在喷雾空间需除氧的水还不能完全达到饱和温度，故尚须经过下部 3、4 层筛盘后，才能达到对应压力下的饱和温度，然后再经过几层筛盘的加热交换，使水中气体有了充分的扩散时间，便于使残余氧气分离出去。这样经过 2 次加热和深度除氧就更进一步保证了除氧效果。高压加热器的疏水是通过疏水管与进入除氧器的淋水盘上部，与凝

结水直接进行热交换。淋水盘下部的蒸汽及空气混合物是经淋水盘上排气支管 4 排至喷雾空间，此蒸汽及混合气体也可以用来加热除氧水，同时排汽孔也能防止盘下的蒸汽把盘上的水托住而形成水封，造成汽水冲击(水振)和由排汽管向外喷水现象的发生。在除氧空间被析出来的气体经顶部挡汽板 2 后，由排气管 1 排出。挡汽板的作用在于防止水被带出。经过除氧后的水向下流入给水箱中，从而完成了完全除氧的过程。

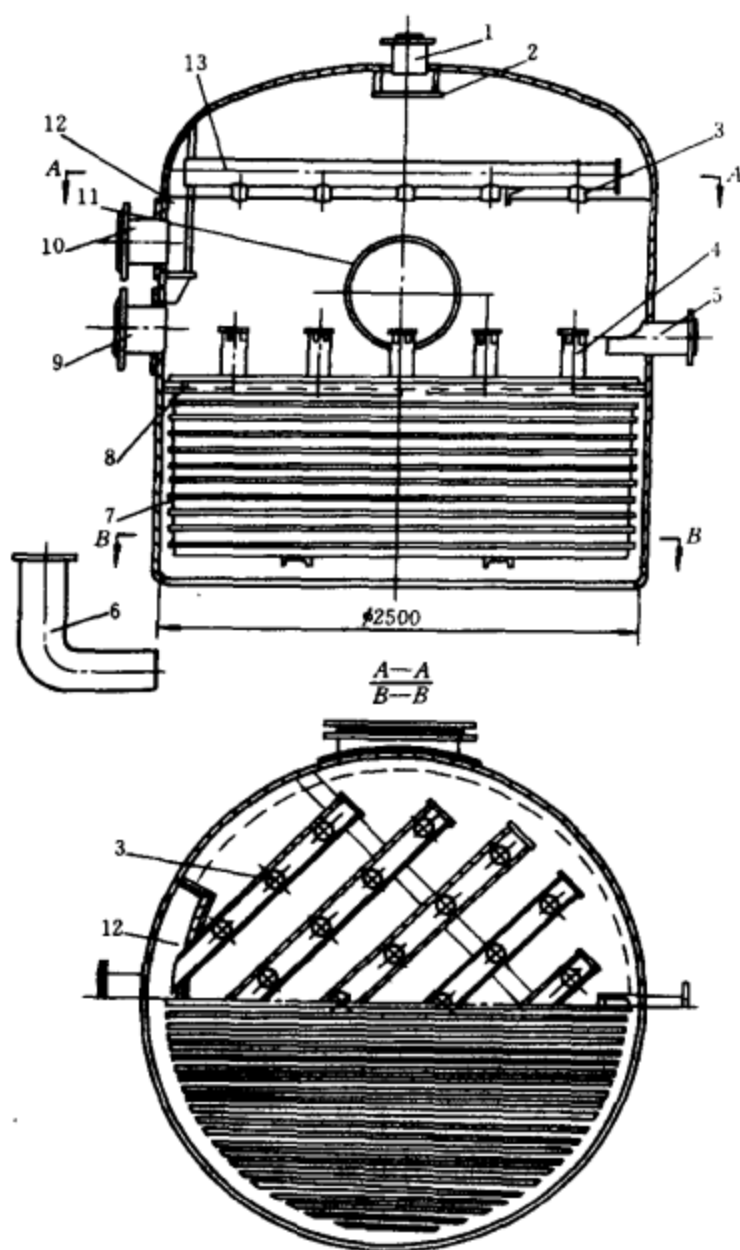


图 4-11-7 GC-680 立式单封头高压除氧器
1—排气管 2—挡汽板 3—水喷嘴 4—排
气支管 5—高加疏水管 6—二次加热蒸
汽管 7—筛盘 8—淋水盘 9—一次
加热蒸汽管 10—主凝结水管
11—人孔 12—弧形配水槽
13—配水管

图 4-11-8 为双封头喷雾填料式除氧器。它的工作原理与单封头是相同的，都是利用喷嘴将需要除氧的水喷射成雾状微粒，使凝结水流和加热蒸汽的

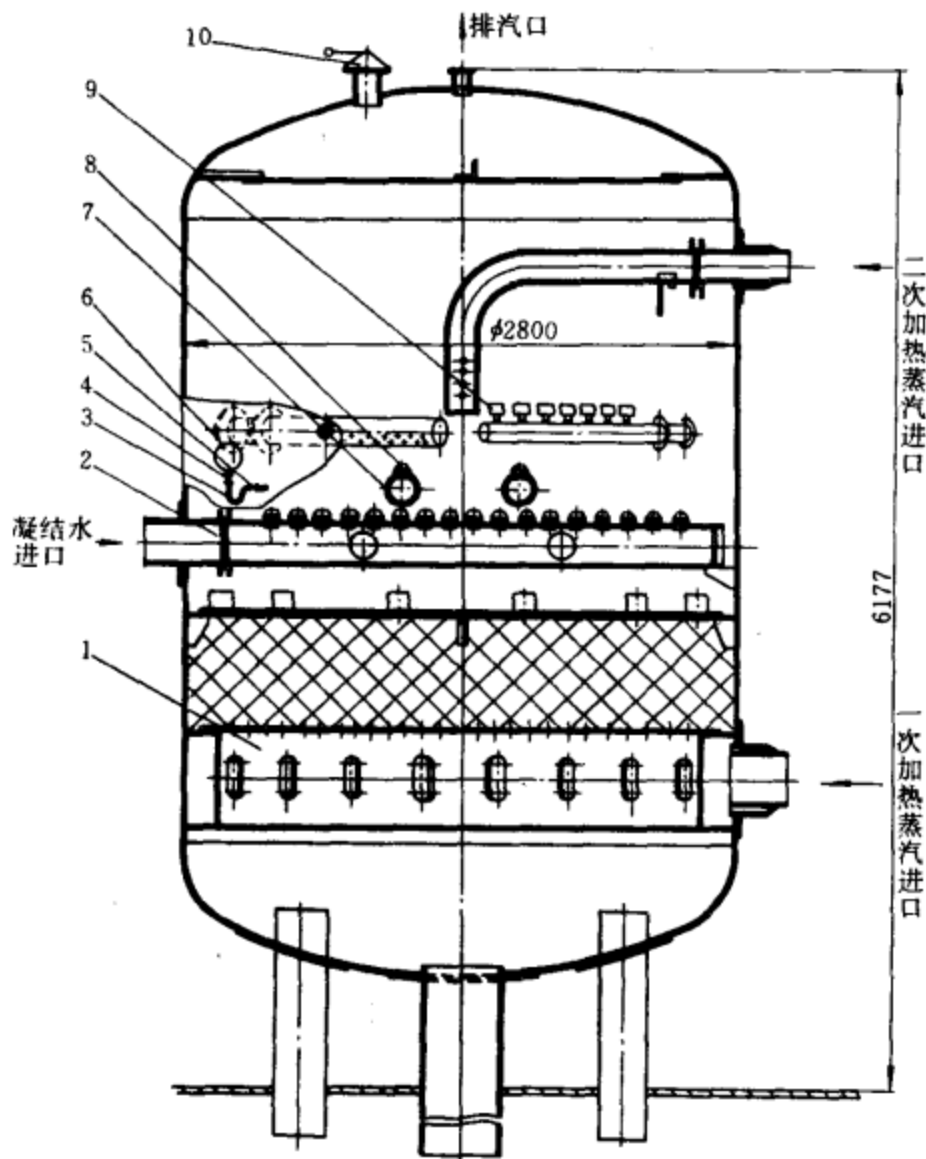


图 4-11-8 双封头喷雾填料式除氧器

- 1—筒体 2—50%流量进水装置 3—压力表传压管 4—压力表旋塞
5—截止阀 6—压力表 7—25%流量进水装置 8—5t/h 喷嘴
9—35t/h 喷嘴 10—弹簧安全阀

接触面积大大增加，以强烈的热交换方式把溶解于水中约 90% 的气体在很短的加热过程中分离出来。然后同样是利用凝结水流经过与填料层中放置的 Ω 形不锈钢片接触，以增加水中残留气体的扩散面积，延长水流的停留时间，为溶解于水中氧的扩散、离析创造良好条件，来达到深度除氧。所不同的地方主要是设备型式。双封头不仅能使水和蒸汽在除氧器内分布均匀，流动通畅，而且能增加除氧器的空间容积，延长水、汽的接触时间。主要能改善给水箱的开孔强度，是水箱安全可靠运行的保证。显然，双封头结构要比单封头优越，因此现代电厂中已得到了广泛应用。

双封头结构的缺点是所占的空间高度要比单封头略高，对于高度有限制的火电机组就不宜采用此种结构形式。

(2) 卧式除氧器。它是目前国内外大型火电机

组中采用的一种较先进结构。它卧座在除氧水箱上，除氧器筒体与水箱筒体的轴线同样为水平布置。这样既有利于进水喷嘴的布置，又可降低除氧设备的总高度，同时还可以减小除氧头在水箱上的开孔直径，降低马鞍形焊缝处应力，改善水箱的受力情况，它与立式相比具有占空间小，与水箱连接安全可靠，便于电厂系统布置等优点。这种除氧器与系统管道的连接常用焊接短管，因此可在制造厂用水压试验来验证。在沿除氧器顶部的长度方向，设置一个弓形面积的凝结水进水室，它能布置较多喷射凝结水的喷嘴，从而可提高除氧器的出力和负荷的适应性。卧式除氧器的除氧头是放置在水箱上，出水口是通过两根直径较小的短管与水箱连接，这不仅可简化连接系统，而且有利于提高水箱筒体的强度。但卧式结构上也有制造工艺复杂、检修不方便等缺点。

图 4-11-9 是由东方锅炉厂制造配国产 200MW 机组的卧式高压除氧器，它的喷雾是由出力为 11t/h 的 54 只喷嘴组成，深度除氧段采用槽盘填料结构，填料高度为 0.98m，除氧头本体的几何容积为 27m³。

7. 喷雾淋水盘箱式

喷雾淋水盘箱式除氧器的除氧头分上下两部分。上部空间是喷雾除氧段，下面空间为装有淋水盘箱的深度除氧段(见图 4-11-10)。水的雾化是依靠凝结水泵的压力，利用恒速喷嘴将凝结水喷射成雾状来实现。在喷雾层内可将水滴雾化，这对于除去小气泡极为有利，但会增加其表面张力，对残留氧气的扩散是不利的。因此，靠喷雾除氧段还不能获得满意的除氧效果，尚须深度除氧段来弥补其不足。这种除氧器的深度除氧是靠淋水盘中的淋水箱来完成。加热蒸汽是由下面进入，在上升过程中，蒸汽的绝大部分放热凝结成水与除过氧的水一同进入下面的除氧水箱贮存。余下的未凝结的蒸汽和从水中分离出来的气体从顶部排出，它的外形结构如图 4-11-11 所示。

现以此种除氧器在除氧过程中的 2 个阶段为例来说明这类除氧器的结构特性和工作过程。

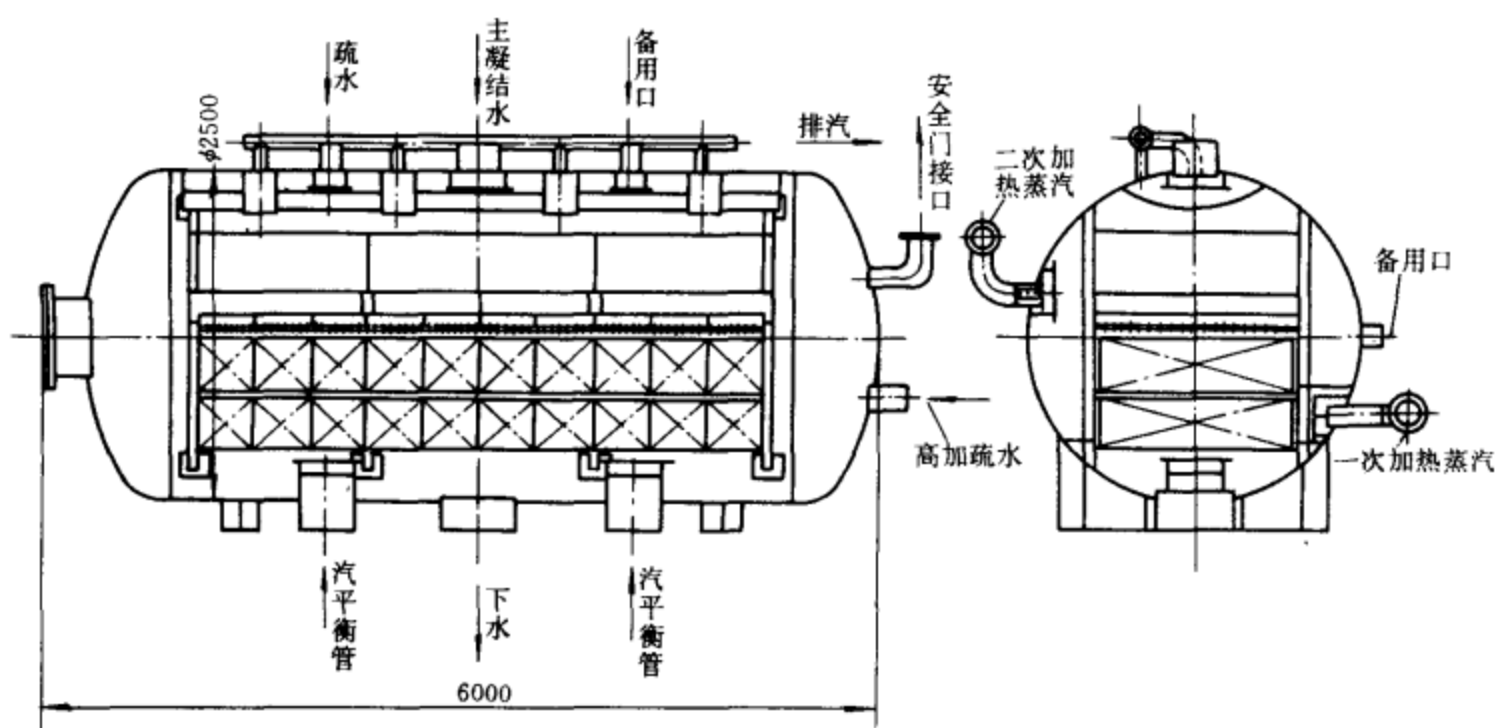


图 4-11-9 200MW 机组的高压除氧器

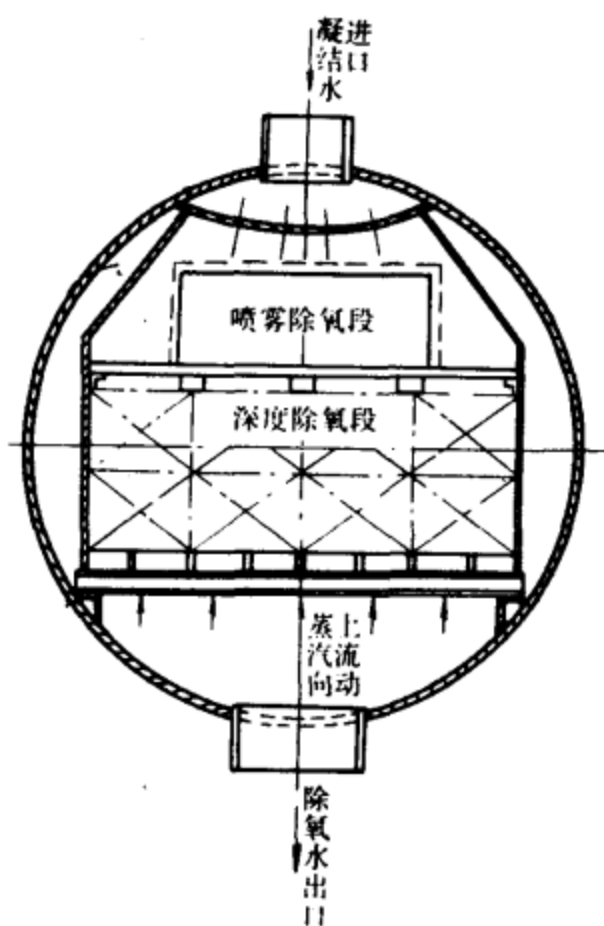


图 4-11-10 淋水盘箱式除氧器断面简图

(1) 喷雾除氧段。喷雾除氧段系由两侧的 2 块侧包板与两端的密封板焊接组成(见图 4-11-11)。为便于检修,在两端密封板上设有人孔,可供检修人员进入除氧器内部进行检查和维修。在深度除氧段里的淋水盘箱亦是通过此人孔或除氧器本体上的搬物孔取出进行校正维修。凝结水是通过进水管进入除氧器的弓形进水室。进水室是由 1 个弓形的不锈钢

罩板和两端的挡板所组成。在弓形罩板上沿除氧器的长度方向均匀布置了按除氧器出力确定的若干只恒速喷嘴和 6 根排汽套管。利用凝结水的压力高于除氧器的汽侧压力所产生的水汽两侧的压差 Δp 作用在喷嘴板上,喷嘴板受轴向力后通过喷嘴轴将弹簧压缩并打开喷嘴板,凝结水就从喷嘴与喷嘴架的缝隙中喷出,形成一个圆锥形的水膜,进入喷雾除氧段,由于雾化的凝结水与从下面上来的加热蒸汽充分接触,从而实现了良好的喷雾除氧。绝大部分非凝结气体在此段中除去,并通过特定的排气管排向大气。显然,雾化的基本条件取决于水量,由于被雾化后的水与加热蒸汽的接触面积大大增加,从而强化了传热和传质条件。即使进水全部都是温度较低的补给水时,经雾化除氧段后,水中的溶氧通常可降低到 0.1~1mg/L。

(2) 深度除氧段。深度除氧段亦是由两侧的 2 块侧包板与两端密封板焊接而成(见图 4-11-10)。该段是由上层布水槽钢、中层淋水盘箱、下层栅架组成。栅架搁在工字梁上,工字梁搁在沿除氧器长度方向上两个基面角钢上,基面角钢的平面工字梁的两平面及栅架的两平面都经过切削加工,从而保证了淋水盘箱上的上层小槽钢的两侧流入下面的小槽钢中,上下小槽钢彼此交错重叠,以使凝结水与蒸汽的接触面积达到最大值。布水槽钢用螺栓连接在侧包板上,布水槽钢下侧设有 U 形压块紧紧地压住淋水盘箱,使淋水盘箱在受到蒸汽向上推力时不会出现向上移动的情况,布水槽钢能把从喷嘴中喷出的

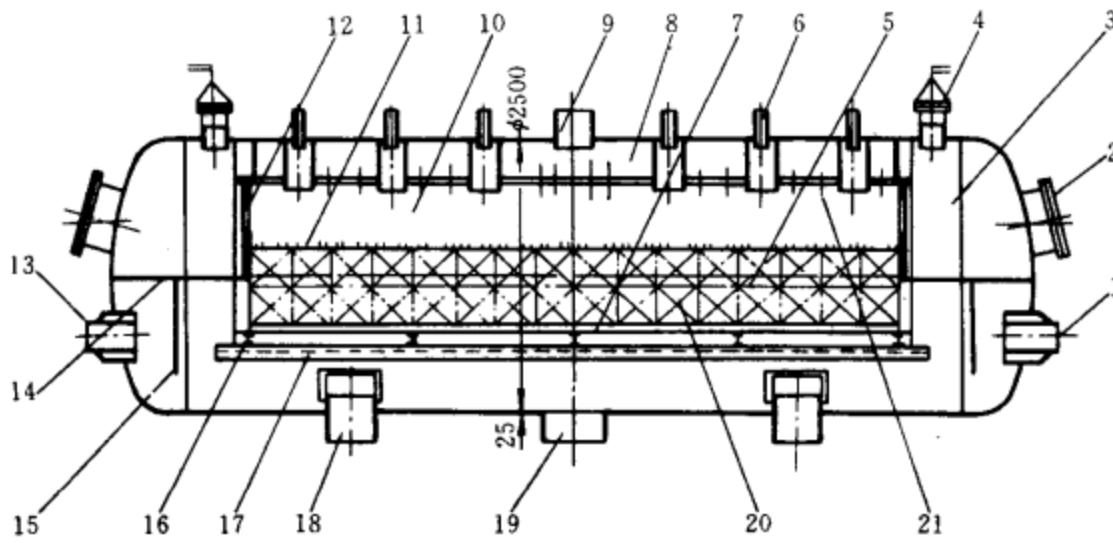


图 4-11-11 喷雾淋水盘箱式除氧器

- 1—进汽管 2—搬物孔 3—除氧器本体 4—全启式安全阀 5—淋水盘箱 6—排气管 7—搁淋水盘箱栅架
 8—凝结水进水室 9—凝结水进水管 10—喷雾除氧段空间 11—布水槽钢 12—喷雾除氧段人孔门
 13—进汽管 14—进口平台 15—布汽孔板 16—搁栅架工字梁 17—基面角铁
 18—蒸汽连通管 19—除氧水出口管 20—深度除氧段 21—恒速喷嘴

凝结水，从箱槽两侧均匀地流向淋水盘箱中，起到均匀布水的作用。凝结水经第一步喷雾除氧后，便进入深度除氧段。在此段内，水自上往下流动，而加热蒸汽是由下往上流动。从上往下流动的水经过特制的一层层淋水盘箱(见图 4-11-12)形成了无数的水膜，与逆向流动的加热蒸汽进行充分接触，实现最佳的热交换，同时由于加热蒸汽的加热作用，淋水盘箱中水的不断进行再沸腾，从而完成了第二次的除氧过程，使凝结水中剩余的非凝结气体可进一步去除，以达到深度除氧的目的。

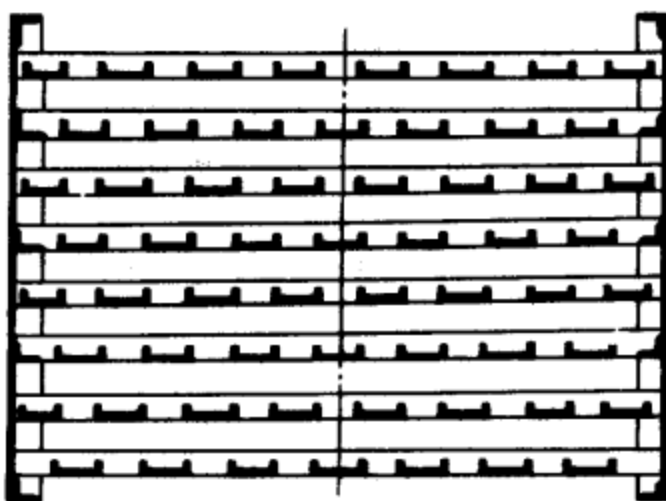


图 4-11-12 淋水盘箱的结构

通过二次除氧后，保证了除氧器的出水品质。实践证明：喷雾淋水盘箱式除氧器有较好的除氧效果，一般出水含氧量 $\leq 0.007\text{mg/L}$ ，达到了国内外锅炉给水水质标准的最小值。由于这种喷雾淋水盘箱式除氧器特性较完善，能达到深度除氧的要求，故在国

内外大型机组中已得到广泛的应用。

二、除氧头主要元件的结构

除氧头内的凝结水喷嘴、加热蒸汽喷管、淋水盘、散水槽、填料层等部件的布置，不仅应使除氧头具有高效的传热、传质性能，而且应使除氧头具有合理的承载结构和足够的强度与刚度。除氧头的主要元件有以下 2 种：

1. 喷嘴

喷嘴是喷雾除氧的主要除氧元件之一。雾化的关键是水的雾化程度，而雾化程度决定于喷嘴结构。喷嘴的形式虽然很多。但其雾化的原理基本相同，下面仅以电厂中常用的几种喷嘴为例，来说明喷嘴的工作原理及结构特性。

(1) 旋流芯喷嘴 图 4-11-13 是旋流芯式喷嘴的结构，它由外壳 1、旋流芯 2、喷管 3、铣槽 4 和铣齿 5 组成。凝结水由水管进入喷嘴的管座后，进入旋流芯。由于旋流芯中的水通道都是与流动方向成 30° 的夹角，所以流入外壳的水是旋转的。最后水经切线槽，从喷口喷射出去，水就被雾化。试验证明，此种喷嘴具有较好的雾化效果，是目前国内常用的喷嘴之一。国产 50~125MW 机组除氧器大都采用此种喷嘴。

这种喷嘴在额定出力时，雾化较好；但在低负荷时，由于水量少、压降低，雾化明显变坏。所以，在选用这种喷嘴时，常将除氧器设计成分路进水，补给水或凝结水分成几路，以便在负荷降低时可关闭其中的一部分喷嘴，使其继续工作的喷嘴仍能有效地

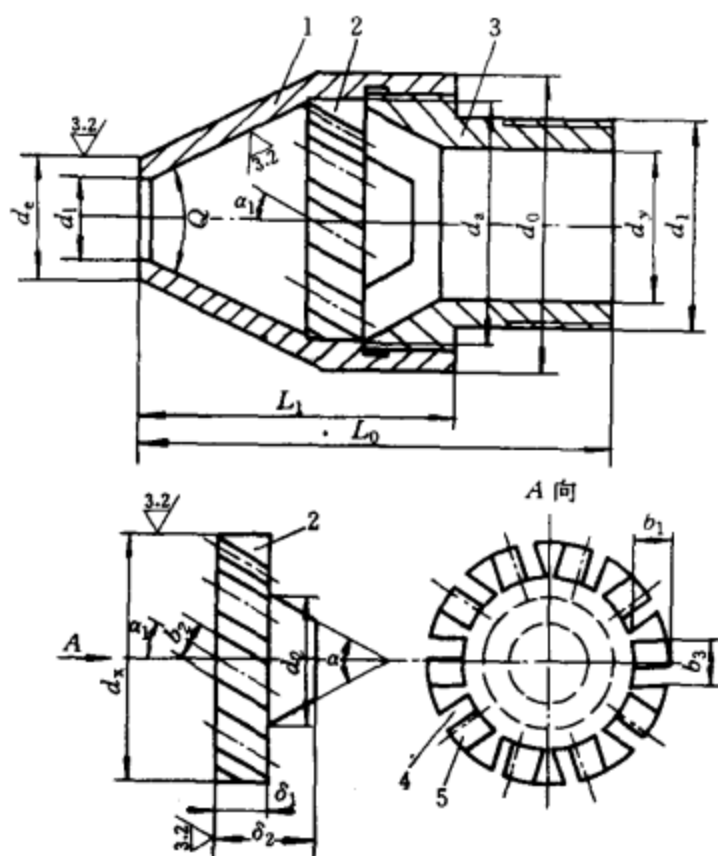


图 4-11-13 旋流芯喷嘴

1—外壳 2—旋流芯 3—喷管 4—铣槽 5—铣齿

工作。

(2) 喷射旋流式喷嘴。图 4-11-14 是喷射旋流式喷嘴，它由喷嘴旋流芯 1，外壳 2，止回垫圈 3 和接头 4 组成。凝结水由进水管进入喷嘴的喷头，然后循两路喷出，一路沿旋流芯中心喷出，一路经特殊槽道，先由中心斜向引入四周，再由四周斜向引入中心，在两次斜向前进中水的直线运动变为强烈旋转运动，虽能保证水的雾化，但因播散面积呈锥状，空间利用较差。经验表明，水自喷嘴旋转喷出形成的锥体具有一定抽吸作用，即在锥口处可以造成一定压降。假如在旋流芯中心打孔，利用水压以及锥口处的压降，水就可以由中心压出并雾化，这就使雾化水滴充满度大为提高，使除氧头上部的空间能得到充分有效的利用。

这种喷嘴当进水压力为 0.0392MPa 时，出水旋转力很小，喷射出来的水滴直径达 3mm 以上；当进水压力增至 0.0785MPa 时，喷射情况有明显改善，出水旋转力提高，水滴直径变小；当进水压力进一步增至 0.0981MPa、0.147MPa 和 0.196MPa 时，喷射情况更好，不但水滴小，而且喷散的面积和高度也可

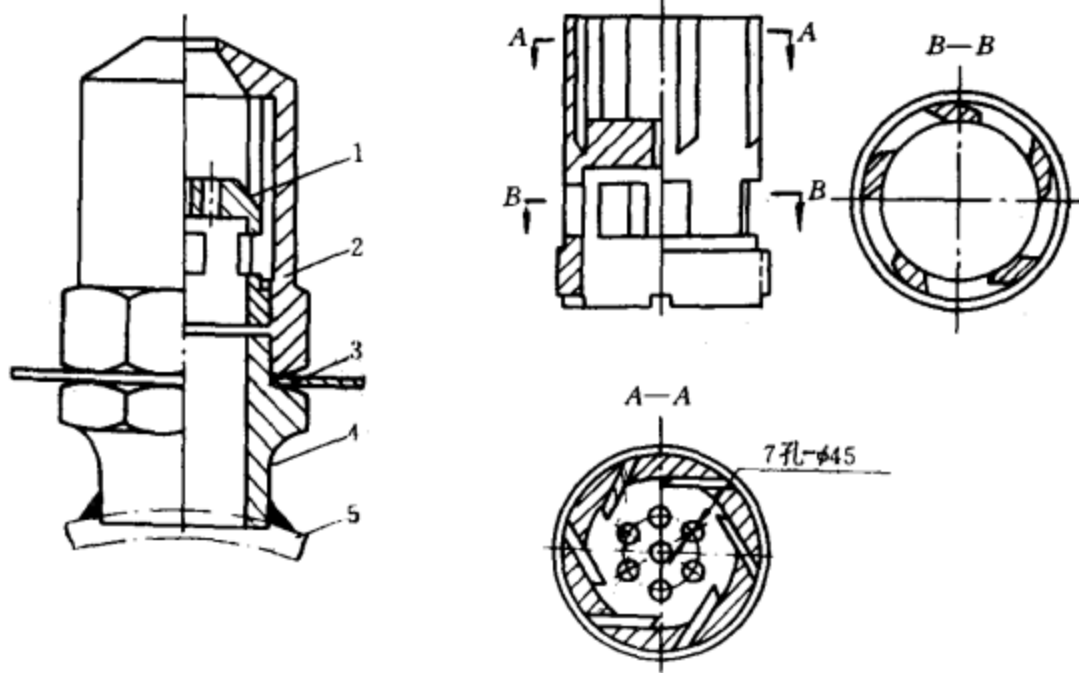


图 4-11-14 喷射旋流式喷嘴

1—喷嘴旋流芯 2—外壳 3—止回垫圈 4—接头 5—进水管

大大增加，水呈细雾状态，喷射的角度近 90°。因此，为保证雾化效果，喷嘴的进水压力不应低于 0.0785MPa。青山热电厂的国产 450t/h 喷雾填料式除氧器就是采用此种喷嘴。

(3) 环形喷嘴。图 4-11-15 所示是环形喷嘴，它由进水盖 1，旋流管 2、喷嘴管座 3 和喷口盖 4 组成。

凝结水由配水管进入喷嘴管座 3 内，然后进入旋流管 2。在喷嘴室的圆周每 60° 开有一个长方形的斜孔，使水可沿 60° 夹角的切线方向进入喷嘴室并旋转起来，形成旋流后再进喷嘴孔喷射而出，使水达到雾化。朝阳发电厂的国产 200MW 机组立式高压除氧器喷雾段的配水管上所装的 28 只出力为 20t/h 的