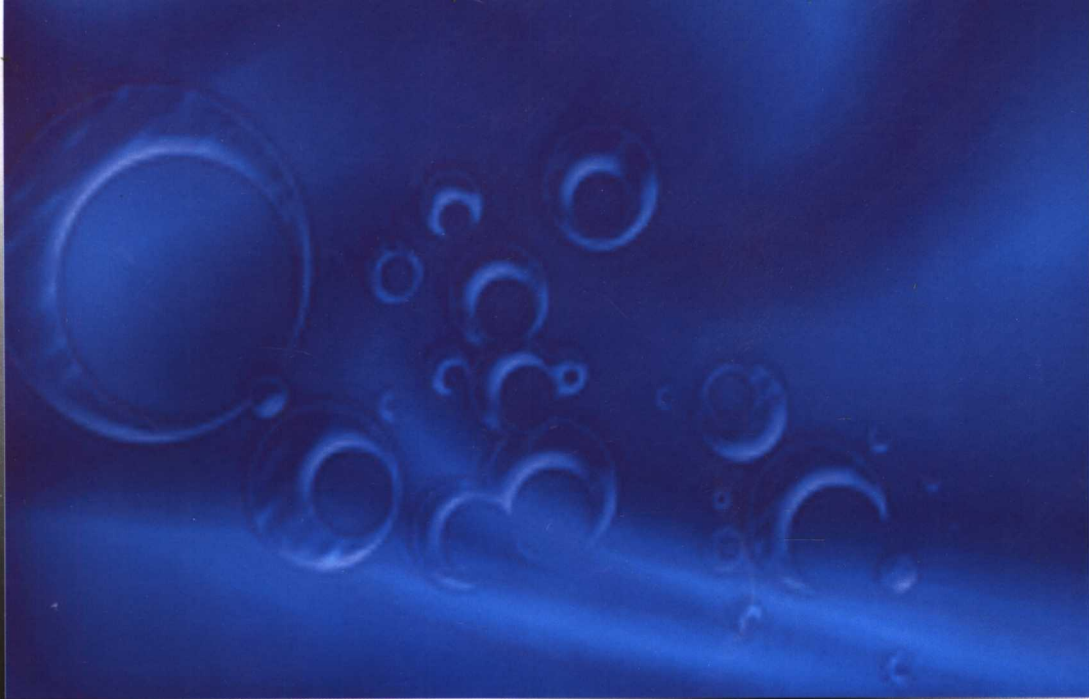




火电厂除氧器

蔡锡琮 蔡文钢 编著 ▶



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火电厂除氧器

蔡锡琮 蔡文钢 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

除氧器是火力发电厂的一项重要辅助设备。作者根据长期从事除氧器和高压加热器等电站辅机的设计工作所积累的经验,在充分了解国内技术现状,并参照一些国外文献的基础上编写了本书。书中系统地阐述了除氧器的理论、类型、热力和水力工作条件、结构、运行、故障检修、含氧量及其测定等方面的内容。

本书内容全面,实用性强。可供从事火电厂锅炉开发、设计、运行、检修工作的技术人员参考使用,也可供高等院校热能动力专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂除氧器/蔡锡琮,蔡文钢编著. —北京:中国电力出版社,2007

ISBN 978-7-5083-5021-9

I. 火... II. ①蔡...②蔡... III. 火电厂-除氧器
IV. TM621.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第160051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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007年4月第一版 2007年4月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 7.75印张 159千字
印数0001—3300册 定价18.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

PREFACE

除氧器是火力发电厂的一项重要辅助设备，它利用汽轮机抽汽加热锅炉给水，使锅炉给水达到该压力下的饱和温度，以便除去给水中的氧等气体，防止锅炉腐蚀并延长锅炉寿命，对电厂的安全运行起到重要作用；同时除氧器又是汽轮机系统回热给水加热的一环，可提高电厂热效率，对电厂的经济运行起到重要作用。在大中型电厂均有单独的除氧车间以安置除氧器及其水箱，它一般位于锅炉车间与汽轮机车间之间，也有露天布置或安放在厂房顶上者。

我国自建国以来建设了大量的火电机组，目前发电设备装机总容量已居世界前列，在此期间也设计制造了大量的作为电厂重要设备的除氧器。20 世纪 50 年代，我国在开始建设发电机组的同时也开始设计制造除氧器设备，从仿造国外淋水盘式除氧器开始起步。但从 60 年代起，鉴于淋水盘式除氧器结构体积庞大以及运行检修中暴露出的缺点，国内各制造厂纷纷自行研制喷雾—填料式等除氧器，呈现出百花齐放、百家争鸣的局面，在改善除氧性能、提高负荷适应性、缩小体积、提高可靠性和减少检修工作量等方面都取得了显著的可喜成果，创造出性能良好、令用户满意的中国人自己的除氧器，这是国内业界人士努力摸索创新的结果。虽然在漫长的前进道路上也出现过曲折，例如国内个别除氧器设备曾发生过重大事故，但失败为成功之母，有关科研人员在总结各方面经验教训的基础上，以除氧器的安全为出发点，将整个除氧器系统从设计、制造直至安装、运行都推进了一大步，杜绝了重大安全事故的再次发生。

作者从事除氧器 and 高压给水加热器等电站辅机的设计技术工作达数十年，积累了丰富的工作经验，充分了解国内技术状况，并参照一些国内外文献编写成本书，以飨读者。

本书系统地阐述了除氧器的理论、类型、热力和水力工作条件、结构、运行、故障检修、含氧量及其测定等方面的内容，概括了 40 多年来中国人民在设计研究除氧器方面所取得的经验，并介绍了国外的一些有关情况。

本书的编写出版得到了南京汽轮电机集团泰兴宁兴机械有限公司及其总经理曹国和、设计研究所所长何雨花的大力支持。另在本书编写过程中也得到了邱竑翔的协助。在此一并致谢。

作 者

2006 年 8 月

目 录

前言

第一章 热力除氧的理论.....	1
第一节 概述	1
第二节 热力除氧器的理论	2
第二章 除氧器的类型.....	6
第一节 一段传热式除氧器	6
第二节 两段传热式除氧器	18
第三章 除氧器的物理工作条件	27
第一节 淋水盘除氧器的热力和水力工作条件	27
第二节 喷雾式除氧器的热力和水力工作条件	31
第三节 有规则填料的热力和水力工作条件	34
第四节 不规则填环的特性数据	35
第四章 除氧器的结构	38
第一节 雾化喷嘴	38
第二节 筒壳	52
第三节 内件	55
第四节 接管	58
第五章 除氧器的热力水力计算	61
第一节 淋水盘除氧器的计算	61
第二节 喷雾槽盘式除氧器的计算	65
第六章 贮水箱和余汽冷却器	72

第一节 贮水箱综述	72
第二节 水箱的结构	74
第三节 水箱的容积	79
第四节 水箱容积的计算	80
第五节 余汽冷却器	82
第七章 除氧器的参数	84
第一节 设计参数	84
第二节 除氧器的分类	86
第三节 定压运行与滑压运行	87
第四节 各种流速	90
第五节 除氧器和热力系统	91
第八章 附件	95
第一节 泄压装置	95
第二节 水位调节装置	98
第三节 蒸汽压力调节装置	100
第四节 仪表和报警	100
第九章 除氧器的运行和维护	104
第一节 除氧器的运行准备和启动	104
第二节 除氧器的运行	105
第三节 除氧器的停用和保养	106
第四节 除氧器的检修	106
第五节 除氧器的事故和故障	107
第十章 化学除氧及含氧量	109
第一节 化学除氧	109
第二节 水质标准	110
第三节 含氧量的测定	111
附录	113
参考文献	115

热力除氧的理论

第一节 概 述

火力发电厂的热力除氧器利用汽轮机的抽汽加热锅炉给水,使锅炉给水达到该压力下相应的饱和温度,以除去溶于水中的氧等气体,防止锅炉、汽轮机和管道等热力设备遭受腐蚀;另一方面除氧器是汽水直接接触式加热器,它是给水加热系统中的一环,利用汽轮机的抽汽加热锅炉给水,可以提高电厂热效率,节省燃料。

在火力发电厂的整个设备系统中,除了锅炉、汽轮机、发电机这三大主机以外,还有各种辅助设备,它们对电厂的安全、经济运行也起着非常重要的作用,而除氧器是电厂重要的辅助设备之一,是电厂热力系统中不可缺少的环节。

蒸汽锅炉的受热面由于各种原因而引起腐蚀,会对锅炉运行造成故障。腐蚀通常系由几个因素共同形成,而大部分的腐蚀现象可由电化学作用解释。高压以上锅炉的受热面具有高的热负荷,可能因某种原因发生内部腐蚀,而这种原因在中压锅炉造成的腐蚀较轻,所以对高压以上锅炉应采取更严格的防腐蚀措施。

锅炉发生腐蚀的一些主要原因是:水中含有溶解的氧等气体而引起的电化学腐蚀,金属材料含有杂质,金属的局部电压作用,炉水及蒸汽的 pH 值较低,铁—水与铁—蒸汽在锅炉局部过热和在过热器中由于高温反应而产生的腐蚀效应,金属迅速加热或冷却而发生的热震能使材料应力迅速变化,并能在一定条件下形成磁铁氧化物,停炉时间过久而缺乏应有的保护。

而锅炉热力设备腐蚀最主要的原因是水中含有氧等可溶解的气体,这些气体呈游离状态,在温度较高的条件下可以直接和钢铁金属发生化学反应,因而使热力设备和管道遭受腐蚀,因此水中溶解有任何气体对于锅炉热力设备的安全可靠运行都是十分不利的。

溶解在水里的气体最主要的是氧气,氧对钢铁的氧化腐蚀作用虽进行得很缓慢,但是对于长期连续运行的热力设备来说是十分危险的,锅炉、汽轮机的设计寿命长达 30 年,在中国甚至实际使用到 50 年,在这样漫长的使用寿命中,要保证它不被腐蚀损坏,防止氧气腐蚀显然是一个十分重要的措施。

为了防止给水中含有溶解的氧等气体使锅炉内发生化学腐蚀,就需要对给水进行除氧,将水中的绝大部分腐蚀气体除去。除氧的方法主要有热力除氧、钢屑除氧、化学除

氧、解吸除氧等。

热力除氧是将水进入除氧器后播散成微细的水柱液滴或微薄的水膜，同时加热蒸汽进入除氧器后与水直接接触而使水被加热，由于水流细小，形成的表面积大，因此能与蒸汽充分接触被加热而达到相应压力下的饱和温度，使氧气析出，而微细的水流又使氧气易于逸出，从而达到充分的除氧。除氧虽有多种方法，但在火力发电厂中实际应用的只有热力除氧器。溶解在水中的气体主要是氧气，但还有小部分其他腐蚀性气体，在热力除氧器中把它们一并除去，因此除氧器也可以称为除气器〔在国外就称为除气器 (Deaerator)〕。

钢屑除氧器是在除氧器体内堆放着钢屑，其原理是钢铁与氧气接触时发生氧化的化学反应，使氧气与钢铁起氧化作用成为氧化铁，氧气就被除去，水进入钢屑除氧器经除氧后流出。待运行一个阶段钢屑全部被反应为氧化铁后，须清除掉氧化铁而更新装填入新的钢屑后重新工作。这种钢屑除氧器仅使用在工业上的小型装置上，在火力发电厂基本不被采用。

化学除氧是将化学药剂注入给水中，此药剂与氧气发生氧化化学反应，从而消耗掉氧气，达到除氧的目的。化学除氧在发电厂中得到广泛的应用，但它不是一个设备容器，只是作为热力除氧的一个补充，以防止除过氧的水重新吸氧而保持良好的残余含氧状况。

第二节 热力除氧器的理论

按照亨利—道尔顿定律，被液体吸收的气体体积在饱和状态时与液面上气体的压力成正比。一定体积的液体在相同压力下吸收相同体积的气体（在液面上气体的压力和温度下），则

$$\frac{V}{V_1} = \alpha' \quad (1-1)$$

式中 V_1 ——液体的体积；

V ——气体的体积；

α' ——气体的溶解度，表示为单位体积液体所吸收的气体体积。

吸收系数 α 为在液面上的气体压力下，当温度为 0°C 时测定吸收的气体体积 V_0 与液体体积 V_1 的比值。气体溶解度 α' 与吸收系数 α 之间的关系见式 (1-2)，即

$$\alpha = \frac{V_0}{V_1} = \frac{V}{(1 + \gamma t)V_1} = \frac{\alpha'}{1 + \gamma t} \quad (1-2)$$

式中 γ ——气体膨胀系数， $\gamma = 0.00367$ ；

t ——气体温度， $^\circ\text{C}$ 。

溶解度通常在水温升高时降低很快。

在液面上如果是混合气体，则每种气体被液体吸收的体积与其分压力成正比，用公式表示为

$$V_x = \alpha'_x p_x \quad (1-3)$$

式中 V_x ——被液体吸收的气体的体积；

α'_x ——该气体的溶解度；

p_x ——气体的分压力。

也可表示为

$$V_x = \alpha_x (1 + \eta) p_x \quad (1-4)$$

式中 α_x ——该气体的吸收系数。

图 1-1 示出氧气的溶解度与水的温度的关系。在热力除氧时，将水温提高能降低氧气和其他气体的溶解度，并同时升高了水蒸气的分压力即降低了氧气等气体的分压力。当水达到该压力下的沸点温度时，在液面上就仅有饱和水蒸气，其分压力为 $p_x = p$ ，而此时其余氧气等气体的分压力等于零，则被除氧。这种除氧状态仅存在于接近水面的薄层，被放出的气体能成气泡状分离，但液体的表面张力和黏度能阻滞气泡自水分离，在温度升高时此表面张力和黏度会降低。

一个半径为 r 的球体在液体中以速度 v 运动时，对此球体相对运动的阻力 F 为

$$F = 6\pi\mu r v \quad (1-5)$$

式中 μ ——动力黏度。

当球体在液体中落下时，仅开始时增加速度，最后达到等速，在等速时而球体重量与液体浮力之差恰好等于液体对它的阻力。

设球体的密度为 ρ_1 ，液体的密度为 ρ_2 ，则得

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_1 - \rho_2) g = 6\pi\mu r v \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 得等速运动的终速为

$$w = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho_1 - \rho_2)}{\mu} \quad (1-7)$$

如将上述关系应用于气泡，其半径为 r ，密度为 ρ_1 ，此时 $\rho_1 < \rho_2$ ，则得负的 w ，即和下降方向相反的速度，也就是气泡离开液体的速度。

式 (1-7) 表明了气泡自水逸出过程的运动学关系。气泡的离开速度与其半径的平方以及气体与水的密度差成正比，与水的黏度成反比。当气体自水中分离时，所发生的气泡越小，则穿过水层至水面的速度越小，所需的时间越长。微小的气泡难以通过液体的表面薄层，也就是说热力静止的状态不能完善地对水除氧。在水进行除氧时，由于压力的提高减少了 ρ_1 和 ρ_2 的密度差，而随着压力的提高，温度也提高，则氧气会膨胀，

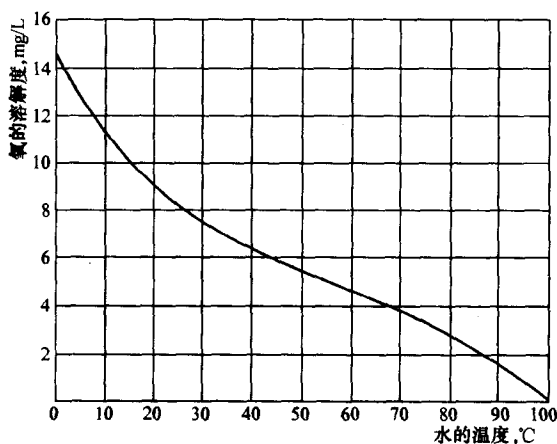


图 1-1 氧的溶解度与温度的关系

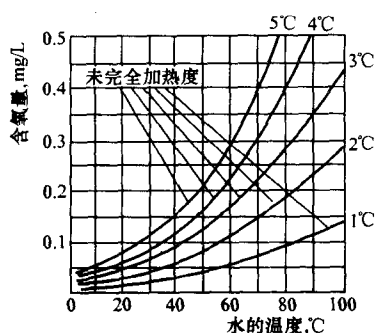


图 1-2 水的未完全加热度对残余含氧量的关系

含氧量。

在除氧时如果水没有被加热到所需要的沸点温度，则水中的含氧量较高，达不到要求的残余含氧量。

如将一定压力下的水的温度降低到沸点以下，则氧气的溶解度与液体的分压力 p 不能平衡，此时已经除过氧的水如与空气接触，则有再吸收氧气的趋势。

图 1-2 为水的未完全加热度对残余含氧量的关系（在真空时），从图中可以看到，水的未完全加热度为 1°C ，则可在 55°C 以上的温度范围内形成大于 0.05mg/L 的含氧量。

图 1-3 示出未完全加热度为 0.1°C 时在一定的负压下的沸点温度与残余含氧量的关系（在真空时）。

由图 1-2 和图 1-3 可知温度升高时，氧的溶解度升高也很快（存在未完全加热时）。

图 1-1 所示为水的温度与氧的溶解度的关系。对于其他的腐蚀气体可有类似的图表，不同气体溶解度的特性曲线是不同的。

综上所述，对水的完善的除氧（除气）有下列要求：

(1) 水完全被播散成细小的水流或水滴，气体成气泡形式逸出，可以较迅速和较完全地从细小的水流中分离出来。

(2) 水播散得越细小则汽、水接触表面积越大，自水中完全分离气体所需的时间越短。

(3) 除氧器中的水必须时刻保持相应压力下的沸点温度。

(4) 分离的气体能顺利排出。加热蒸汽从进口沿着规定的路线流动直至出口，防止有停滞区。

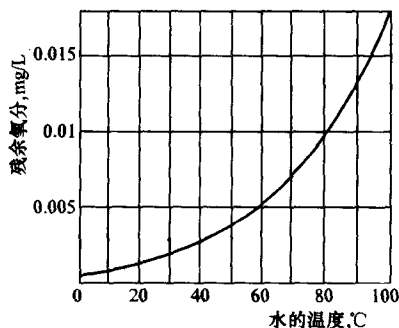
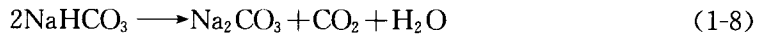


图 1-3 未完全加热度为 0.1°C 时残余含氧量与温度的关系

国内各厂设计制造的除氧器，结构形式趋向多样化，一般的设计结构良好、运行正常的压力除氧器的残余含氧量均可满足要求，大、中型压力除氧器一般能达到残余含氧量小于等于 $7\mu\text{g/L}$ ，即 0.007mg/L ，甚至接近于零。

对于采用钠离子交换法软化水处理作为补水源的小型动力装置，一般采用大气式小型除氧器，需除氧的水中若含有酸式碳酸钠（碳酸氢钠），此碳酸氢钠达到沸点时，被分解为碳酸钠、二氧化碳及水，即有



碳酸氢钠在加热至沸点时分解是很慢的，见图 1-4，而在除氧器中水停留的时间很短，因此来不及分解出来。若需在给水中除去大部分的碳酸氢钠，需在给水进入除氧器前先加热达到蒸发，因此可设置预置给水箱以蒸汽喷管作加热蒸发或设置表面式加热系统，然后给水进入除氧器除气，除气时可部分地利用此水箱出来的余汽进行加热。

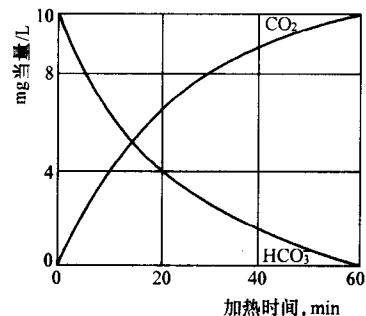


图 1-4 碳酸氢钠分解
与加热时间的关系

火力发电厂中的除氧器除了具有将给水除氧的作用外，它还是一个直接接触式的给水加热器，是给水加热系统中的一环。在电厂热力系统中，来自锅炉的蒸汽进入汽轮机做功后从汽轮机的出口排入凝汽器，被冷却水冷却后排汽（或称乏汽）就冷凝成主凝结水，经凝结水泵升压后送入低压加热器等设备加热，之后再送入除氧器加热，从除氧器水箱流出的给水由给水泵升压至较高压力，经高压加热器加热后流向锅炉，形成循环。

作为给水加热器的除氧器，其工作原理是进入除氧器的主凝结水等给水被播散成细小的水流或水滴与来自汽轮机的抽汽直接接触，蒸汽温度高、水的温度低，在直接接触中由于二者的温差，蒸汽加热了给水；由于直接接触的传热效果好，一般给水就被加热达到蒸汽饱和温度，其温度端差达到零。

从汽轮机中抽出一定数量的做过一部分功的蒸汽称为抽汽，用汽轮机抽汽加热主凝结水（也称为给水）的过程称为回热过程，它能提高电厂热效率。其原理是因为蒸汽在汽轮机内做功后的排汽还具有相当多的热能，排汽在凝汽器内被冷凝成主凝结水，这部分热能就在凝汽器内传给冷却水而白白浪费掉，造成很大损失。而除氧加热器就是将在汽轮机内已经做过一部分功的蒸汽从汽轮机抽汽口抽出到除氧器中，用以加热给水，这部分抽汽在冷凝过程中把热量传给了给水，又回到锅炉中去而不排入凝汽器，它的热量不是被冷却水带走而是由给水回收，这部分抽汽的热量就几乎全部被利用而无损失，所以具有回热过程的热力循环比没有回热过程的热力循环热效率高。可见除氧器和高、低压加热器一样也是一个提高电厂热效率、节省燃料的设备。

除氧器的类型

Chapter 2

第一节 一段传热式除氧器

除氧器一般按结构分类,依据除氧器由水播散成微小细流被蒸汽加热方式的不同,除氧器有着各种结构形式,国内各厂家设计制造的除氧器也形式多样。有的在除氧器内采取一种传热结构形式,例如(单纯)淋水盘除氧器,它的水流播散方式是多孔淋水盘,通过一层一层多个淋水盘把水加热达到出水温度,它的传热结构方式是一种,即都是淋水盘,所以可称为一段传热式除氧器。另一种可称之为两段传热式除氧器,它将两种不同的传热方式组合在一个除氧器内,例如喷雾填环式除氧器,给水先经喷嘴雾化成微细水滴再被蒸汽加热,加热后的水再经另一种结构形式(填环式)的加热段去加热,两段式除氧器实际上就是把两种一段式传热结构放在一个除氧器内。现在国内除氧器绝大部分都采用两段传热式结构。现将一段传热式的各种除氧器叙述于下。

一、淋水盘式除氧器

图 2-1 是淋水盘式除氧器的示意,它是在圆筒形承压外壳顶部焊有封头的密闭容器,需除氧的水自上部进水接管进入器内的配水装置,将水初步均布,依靠重力向下流

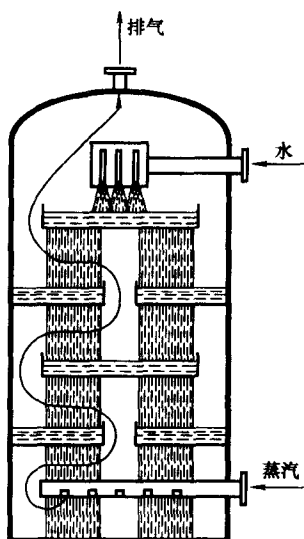


图 2-1 淋水盘除氧器示意

向淋水盘,此淋水盘为中央圆盘,盘底板上钻有大量通孔,盘边缘为很短的圆筒形挡板,用它挡住水,使水在盘内形成一定的水位,由于水自重的作用,以水位高度为压头使水成细小圆柱状自孔内向下流出,由于孔的数量很多,使水流播散成大量的圆柱细流而形成传热面积,也是使氧气析出的传质表面积,可在中央淋水盘底盘下面焊以肋板,肋板接近到圆筒体内,放置在圆筒体内的角铁等构件上并以螺栓固定。

图 2-1 中,第一层淋水盘的淋水孔内流出的水流到第二层淋水盘,此为中间有中央通汽口的环形淋水盘,盘的外圆连接至圆筒体内壁,形成盛水盘,它的底盘同样有大量小孔,成为淋水孔,使水流出成大量的细小水柱。如此一层层相互交叉,最后一层淋水盘流出的水向下流入贮水箱。

加热蒸汽（即来自汽轮机的抽汽）从下部接管进入除氧器内，由配汽装置作均布，流向四周空间，蒸汽向上流动，在最下层淋水盘的中央通汽口处转弯向上，然后经其上一层的中央淋水盘阻挡而转弯，在中央淋水盘与圆筒内壁间的环形空间处转弯向上，如此一层层向上流动，最终到达除氧器顶部，蒸汽携带着氧气由顶部排气管流出除氧器。这样加热蒸汽垂直于水流，二者成十字形的接触，成直接接触的传热，水流自最上层淋水盘起一层层逐步加热至最下层达到沸点饱和温度，而逐步加热的过程也是溶解在水中的氧气因温度升高而溶解度降低的逐步脱氧的过程，最终到达最下一层后使水中的氧气脱尽，使残余含氧量达到规定标准。

由于在设计时按额定出力计算并确定了淋水孔的数量，所以运行时希望经常保持在额定出力工况，在负荷变化亦即水量变化时，淋水盘内的水位就发生变化。

如果出力超过额定值而出力过高，需要传过更多热量才能将给水加热到蒸汽饱和温度。但是淋水孔数量是按额定出力计算确定的，出力的增加只是使淋水盘内水位升高，孔内水流水柱的流速加快，而水柱数量没有增加，亦即传热面积、传质（脱氧）面积没有增加，只能依靠原设计的富裕量才能使除氧效果保持在原水平上。如果传热面积富裕量已用尽，将使加热除氧的效果降低。更有甚者，如淋水盘上水位高度过高而超过边缘挡圈的高度时，水将会从边缘挡圈溢出，它的水幅厚，重量大，可能造成淋水盘震动，而且该水幅会形成圆桶形瀑布似的水幅，会阻碍蒸汽的通路，并在除氧器下部产生蒸汽的间断凝结，从而发生水震。这样进水就不能被充分加热，而出水之中的残余含氧量会迅速提高，每升能达到十分之几毫克（当进水含氧量高时）。

如果出力过低，水流将不能流过所有的孔，因此出现淋水水柱数量减少和大滴的水不规则地下落等状况，使传热面减少，水与加热蒸汽之间的温度差可能达到十分之几摄氏度甚至更高，因此水中的氧气等气体不能很好地析出，由于淋水盘直径达到1~2m甚至更大，而淋水盘上水位仅数十毫米，因此淋水盘装配的倾斜度和翘曲度将加剧这种水柱分布不均匀的局面。

淋水盘式除氧器是我国早期的传统结构，也是国外早期的传统结构，至今仍为一些国家所采用，例如欧洲一部分国家和俄罗斯等，只要设计制造牢固可靠，在运行工况较稳定的情况下，除氧效果能满足要求。

但是淋水盘式除氧器也存在一些缺点：例如负荷适应性较差，如果淋水盘在制造安装中存在倾斜度及翘曲度较大则会加剧这个缺点；此外，长期运行中可能由于水震等原因而造成淋水盘等内件损坏而需检修，由于氧气具有腐蚀性，会对碳钢板制造的淋水盘等薄板构件造成腐蚀损坏，淋水孔腐蚀变形，使水流变粗，一些孔流出的水成大的滴状，或淋水孔堵塞使孔变小，这些都会使除氧效果恶化，经长期运行淋水盘与筒壁的连接处甚至会因腐蚀而脱开，造成淋水盘跌落，使除氧效果严重恶化而完全不能正常工作。由于上述这些缺点，我国目前已较少采用这种形式的除氧器。有一些早期的淋水盘除氧器曾经因除氧效果不佳等原因，被改造成喷雾淋水盘两段式除氧器，即拆掉上面几层淋水盘而改成雾化室，在顶部加装喷嘴，从而取

得较好效果。

现将存在过的一些淋水盘除氧器结构分述于下。

1. 中央圆盘型淋水盘除氧器

中央圆盘型淋水盘除氧器已如上述。

2. 锥形淋水盘除氧器

图 2-2 所示为一锥形淋水盘除氧器。水从上部进水管进入第一层水盘中央，经溢流而沿圆周均布流入淋水盘内。淋水盘成斜度较小的锥形，由于盘底的倾斜使淋水孔流出的水成倾斜的细水流。其优点是出力较低时水位降低，一部分孔无水，而其余的孔在一定的水位之下仍能形成细小水柱流出，避免了平底盘低水量时不能形成细小水柱而出现不规则大水滴的局面，这些水柱仍能保持一定量的传热面，使传热和脱氧保持了一定效果而不致恶化。但在过度超负荷时与前述淋水盘一样水可能会从边缘溢出。

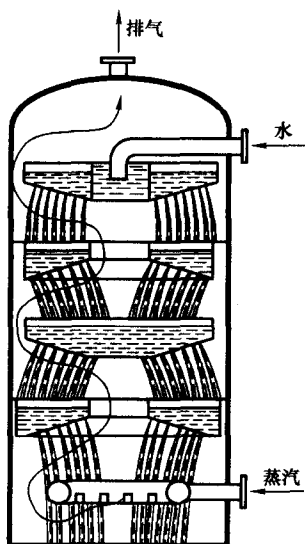


图 2-2 锥形淋水盘除氧器

蒸汽从下部进汽口进入蒸汽多孔管，蒸汽均匀地自各孔中流出，然后逐步向上转弯流向顶部，该类型除氧器曾被东欧国家所采用。

3. 弓形淋水盘除氧器

图 2-3 所示为弓形淋水盘除氧器，其淋水盘的表面为缺圆形，加热蒸汽自下部进汽管进入，经盘的阻挡转弯流动（如图 2-3 所示）成为弓形，蒸汽流动经过的距离较长。

4. 大气式淋水盘除氧器

图 2-4 所示为一种传统结构的大气式除氧器，它由上下两节组成以便于拆卸检修。二者间用大法兰螺栓连接。

除氧器内从上至下排列有五层多孔淋水盘，在上部一层淋水盘处设有两个管接头，一个供引入汽轮机主凝结水，另一个可供引入化学补充水。水进入除氧器后经矮圆筒形板的阻挡，均匀地溢流进入下一层淋水盘，水在淋水孔内成细小水柱流下。在一、二层水盘之间的高度处有两个可拆卸的管接头，供引入高于 100℃ 的热凝结水，例如高压加热器（中压机组）的疏水。

除氧器外壳顶部是个锥形封头，对属于常压容器的大气除氧器而言，采用锥形封头是允许的，但最好还是采用碟形封头或椭圆封头。封头中央焊有排气管接头，以排出未凝结的蒸汽和氧气等气体的混合物，排向大气或余汽冷却器。除氧器下部设有进汽管接头和蒸汽分配装置，该装置有一圆筒形挡板，它与上、下平板及筒壳内壁形成空间，此挡板开有多个腰圆形大孔使蒸汽均匀通向器内后再向上流动。

这种除氧器用于配套中压机组。此类除氧器外形尺寸见表 2-1（供参考）。

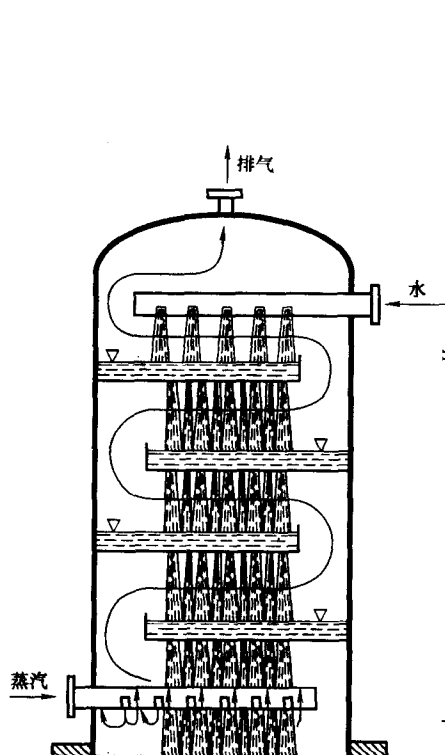


图 2-3 弓形淋水盘除氧器

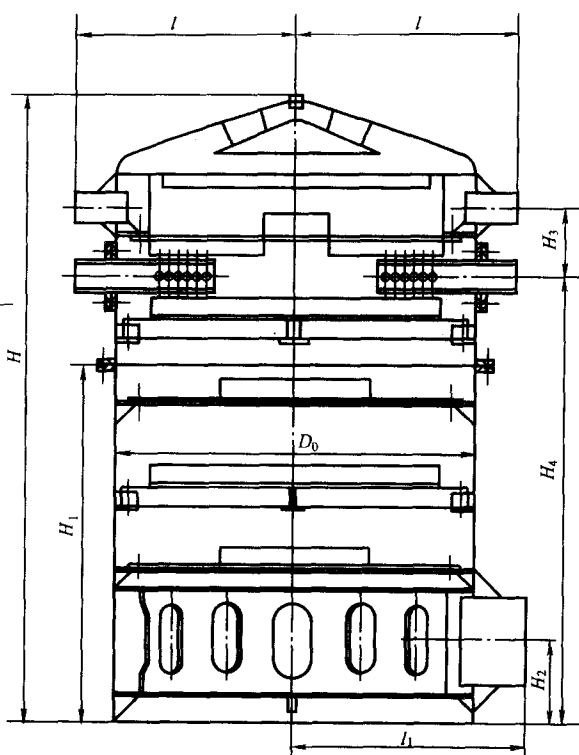


图 2-4 大气式除氧器

表 2-1

大气式淋水盘除氧器外形尺寸

mm

序号	容量 (t/h)	主要尺寸							
		D_0	H	H_1	H_2	H_3	H_4	l	l_1
1	25	1112	2530	—	—	—	—	700	700
2	75	1292	2760	1550	320	330	2000	840	900
3	100	1492	2790	1550	320	310	2020	940	1000
4	150	1712	2950	1750	380	310	2160	1050	1100
5	200	1892	2990	1750	380	310	2160	1140	1200
6	300	2092	3680	2200	480	430	2700	1240	1300

5. 淋水盘式压力除氧器

国内早期的一种淋水盘式压力除氧器如图 2-5 所示，它用于高压机组，由上、下两节筒壳组成，中间用法兰螺栓连接，除氧器内从上到下依次装有七或八层多孔淋水盘，外壳上部装有多接管，主凝结水进口管由此处接入，各水流（如主凝结水和化学补充水）进入器内混合后，经溢流装置溢流进入一层水盘并依次向下流入各盘，筒壳中部有数个接管，用于进入高温热水（如高压加热器疏水），在筒壳下部有加热蒸汽接管以进入汽轮机抽汽，在除氧器顶部设有排除蒸汽和氧气混合物的排汽管，并接有阀门以控制蒸汽量。

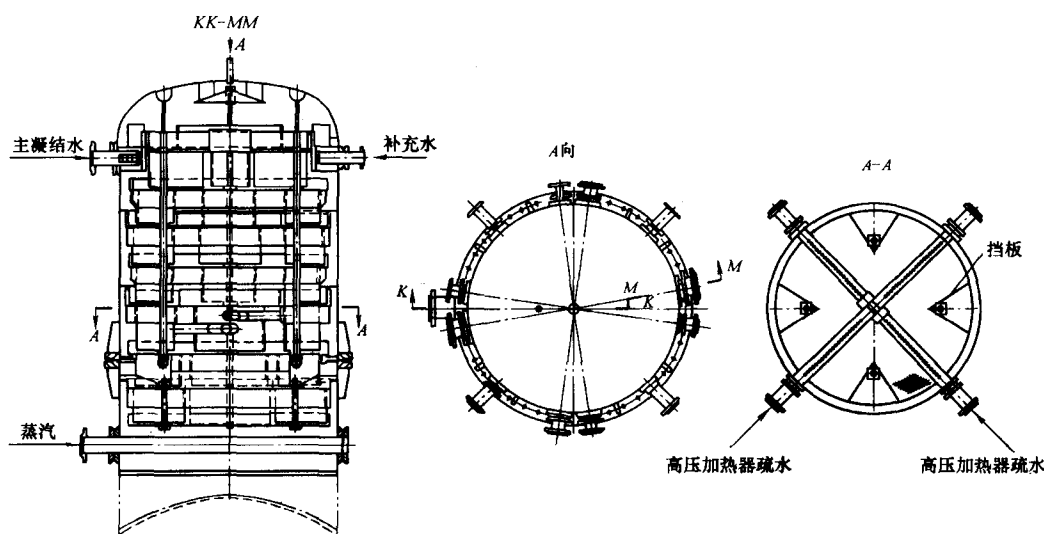


图 2-5 淋水盘压力除氧器

蒸汽从筒壳下部的进口接管进入管内，管上开有排孔，蒸汽从孔内流出到除氧器空间，经各淋水盘阻挡而逐步转弯向上流动至顶部出口，淋水盘之间焊有挡板（见图 2-5 中的 A-A 截面图），使蒸汽沿着挡板隔成的通道流动。

整个淋水盘结构以拉杆连接到顶部封头内，当上部筒壳拆卸后，整个淋水盘装置可被一起吊出以便于检修。为了防止腐蚀，每一层淋水盘焊装完成后表面均作喷铝处理。

二、喷雾式除氧器

喷雾式除氧器虽然国外早期已有，但我国的喷雾式除氧器是自主开发、自行研制的。喷雾式除氧器的工作原理是：给水进入上部的喷嘴内，经喷嘴的旋流或节流使水流喷出形成微细颗粒状液滴（或形成水流薄膜），从上往下喷（也有的是从下往上喷的）。由于播散成细滴，传热面积大，所以传热效果好。与淋水盘式相比，其设备高度会矮一些，即使进水温度很低也能适应而达到较好的出水温度。喷雾室内除了喷嘴外，其他零件很少，所以即使在过负荷的情况下，也不会产生水震和震动，不易发生零件损坏，因而有利于运行。

由于水在除氧器中停留的时间可以很短，也即除氧器体积可以缩小，当加热系统发生短暂故障（如加热蒸汽不足），则因除氧器中没有足够的热水作为备用，会使除氧水中的含氧量迅速升高，根据未加热的程度，此含氧量可达 1mg/L （如进水含氧量在 1mg/L 以上）。因此喷雾式除氧器在这方面的缺点比淋水盘式的严重得多，因为淋水盘式除氧器在每层水盘中有较多的加热至沸点的水量，所以有较多的备用热量。

此外，喷雾式除氧器需要大约 0.1MPa 的压力损失在喷嘴，即喷嘴内外的压差也在 0.1MPa 左右，这会造成水泵压头的增加，并增加水泵电能的消耗，造成了一点能量的损失。

现将一些喷雾式除氧器结构叙述于下。

1. 二次喷雾除氧器

图 2-6 所示为一种二次喷雾除氧器，是东欧的一种用于小型动力装置的除氧器。在密闭压力容器筒壳的顶部，给水首先进入余汽冷却器 a 进行预热，然后向下进入中心进水管，流动到达除氧器中部，此处一个小的水室上装有数个水的雾化喷嘴 b，将水向上喷出成锥形膜状水流（伞形），经蒸汽加热后沿罩壳 c 的筒内壁从上向下流动，向下流

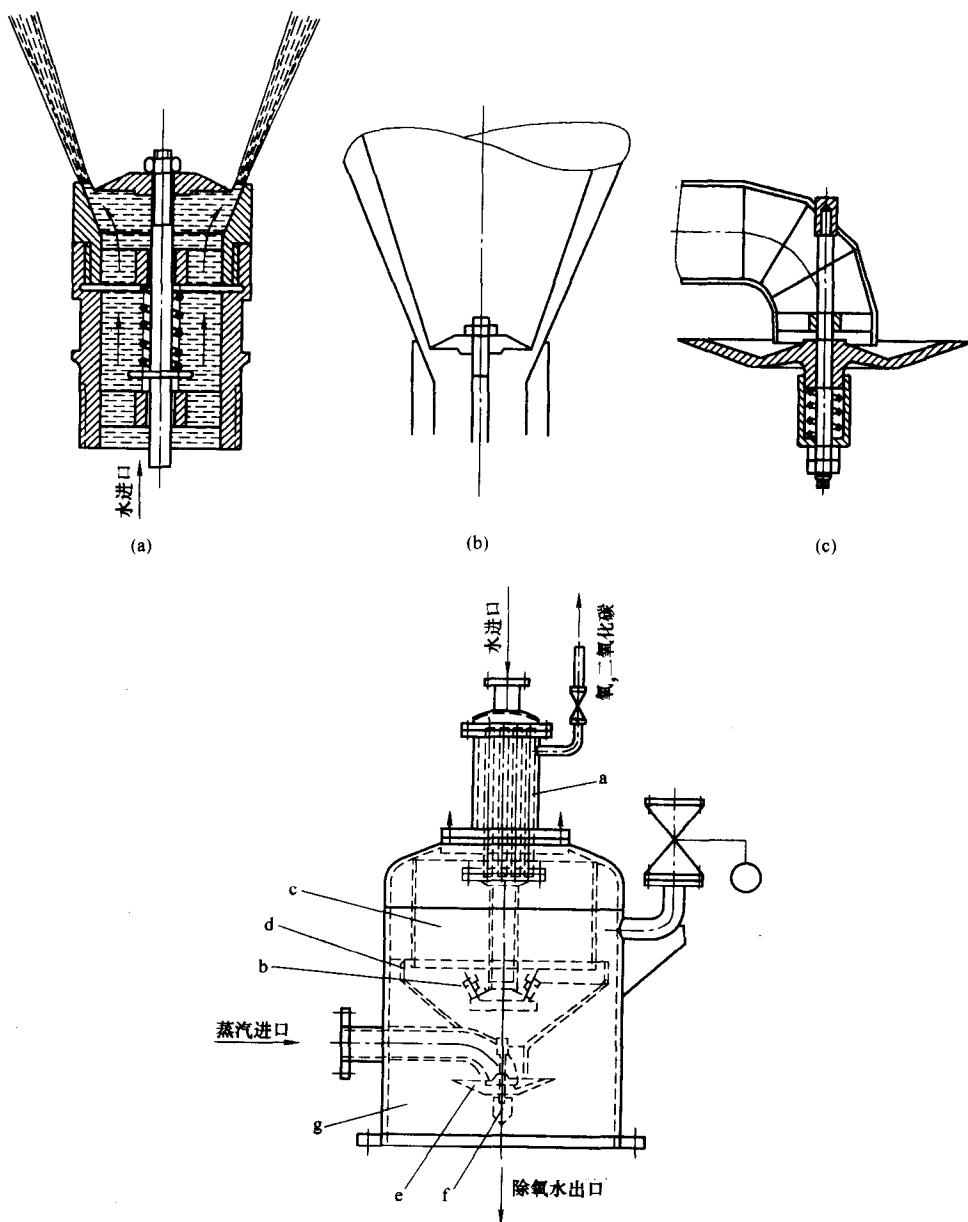


图 2-6 二次喷雾除氧器及其水和汽喷嘴

(a) 水的喷嘴；(b) 水喷出水膜；(c) 蒸汽喷嘴。