

捷克斯洛伐克工程师 I. 温斯赫著

蒸汽鍋爐給水 压力式热力除气器

王 行 达译



电力工业出版社

內 容 提 要

这本小册子介紹給水除气器的計算和設計的有关資料，除气器在运行中所取得的經驗数据。此外，还介紹了散水盤式、滴淋式、噴射式和噴霧式等各种型式的热力除气器的运行特性。

本書可供发电厂和鍋爐运行技术人員以及工業部門中除气器設計人員参考。

J. WÜNSCH
**TLAKOVÉ THERMICKÉ ODPLYNOVÁKY
NAPÁJECÍ VODY PRO PARNÍ KOTLE
STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ
LITERATURY PRAHA 1953**

蒸汽鍋爐給水压力式热力除气器

根据捷克斯洛伐克国立技术書籍出版社1953年布拉格版翻譯

王 行 达 譯

*

668R172

电力工業出版社出版(北京府右街 26 号)

北京市書刊出版營業登記證出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

787 × 1092 毫米开本 * 1 1/8 印張 * 24 千字

1957年10月北京第 1 版

1957年10月北京第 1 次印刷(0001—1,700册)

統一書号: 15036·574 定价(第10类)0.19元

目 录

第一章	概論	2
第二章	热力除气的理論	3
第三章	各种型式的表压式热力除气器的簡述	9
第四章	表压式热力除气器的物理热力工作条件	15
第五章	表压式热力除气器的运行与运行效果	26
第六章	結論	36

第一章 概 論

蒸汽鍋爐內部加熱面由於各種原因引起的腐蝕，是目前造成動力設備、汽機裝置運行故障的主要原因。因為腐蝕通常系由幾個因素共同形成，所以在許多情況下，要對腐蝕的原因進行正確的分析是較困難的。目前絕大部份的腐蝕現象系由電化學加以解釋。高壓蒸汽鍋爐的內部加熱面具有高的熱力負荷，可由某種原因發生內部腐蝕，而這種原因在中壓鍋爐並不會造成腐蝕。因此，具有過熱蒸汽的高壓鍋爐在運行時，應該嚴格注意由於腐蝕而發生故障的可能。及時地採取措施，防止故障的發生是特別重要的。

鍋爐材料發生腐蝕的主要原因是：由於氣體溶解而引起的電化學腐蝕、材料含有雜質、金屬的局部電壓作用或爐水及蒸汽的 pH 值較低；鐵-水與鐵-蒸汽在鍋爐部件局部過熱時和在過熱器中由於高溫反應而產生的腐蝕效應；由於金屬迅速加熱或冷卻而發生的熱震，能使材料應力迅速變化，並在一定的條件下能形成磁鐵氧化物；由於電氣設備接地至給水系統或鍋爐而發生的漏電；停爐時間過久並缺乏應有保護也會發生腐蝕。本書主要討論如何防止由於給水中含有溶解的氣體在鍋爐內發生的電化學腐蝕。對給水進行除氣就能達到這樣的要求。進行除氣，能將水中大部份腐蝕氣體除去。目前在發電廠與熱電廠運行中，主要只採用表壓式的熱力除氣，而在很多情況下，表壓式熱力除氣與化學法除氣亦一起使用。

第二章 热力除气的理论

根据亨利—道尔顿定律(1803年),被液体吸收的气体量(在饱和状态时)与液面上气体的压力成正比例。一定容积的液体 V 在不同压力下吸收相同容积的气体 v (对液面上气体压力和温度所进行的测量)即

$$\frac{v}{V} = \alpha', \quad (1)$$

式中 α' 为气体的溶解度[按俄斯特發尔特 (Ostwald)法], 并表示被单位容积液体所吸收的气体容积。

吸收系数(本生系数) α 为在液面上的气体压力下和温度 0°C 时测定的气体容积 v_0 和液体容积 V 的比例。气体溶解度 α' 与吸收系数 α 间的关系如下式:

$$\alpha = \frac{v_0}{V} = \frac{v}{(1+\gamma t)V} = \frac{\alpha'}{1+\gamma t}, \quad (2)$$

式中 $\gamma = 0.00367$ (气体膨胀系数)。吸收系数 α (同气体的溶解度 α') 通常在水温升高时降低很快; 仅某几种稀有气体(He 氦, Ne 氖)不降低。

在液面上若为混合气体, 则每种气体被液体吸收的容积与其分压力成正比例, 即

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

式中 V_x ——被液体吸收的气体的容积;

α'_x ——气体的溶解度; p_x ——气体的分压力;

$$\text{或} \quad V_x = \alpha_x (1 + \gamma t) p_x, \quad (4)$$

式中 α_x 为一定气体的本生吸收系数。

圖 1 所示为氧的溶解度 α'_{O_2} 与温度的关系。

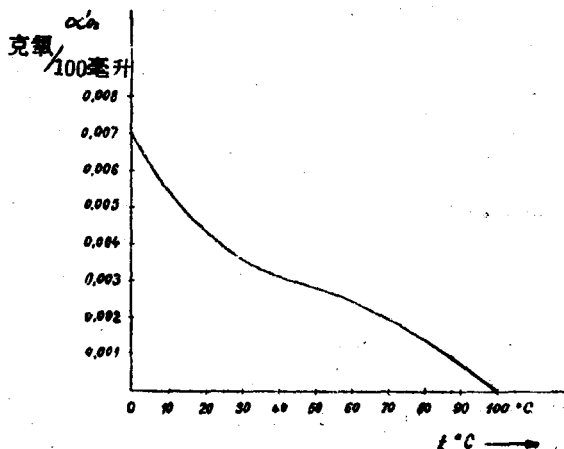


圖 1 氧的溶解度 α'_{O_2} 与温度的关系

在热力除气时，由于水温的提高能降低气体的溶解度 α'_x (吸收系数 α_x 亦同)，并同时升高水汽的分压力(降低气体的分压力)。一定压力下水为沸点温度时，在液面上仅有饱和水蒸汽，其分压力为 $p_x = p$ ，此时其余气体的分压力等于零，则水被除气。

这种状态仅在接近水面的一薄层存在，被放出的气体能成泡状分离。但液体的表面张力和粘滞性能阻止气泡自水分离，此表面张力与粘滞性在温度升高时降低。

当一个半径为 r 的球体在液体中以速度 v 运动时，斯陀克斯(Stokes)导出了与此球体相对运动的阻力 P 为

$$P = 6\pi\eta r v, \quad (5)$$

式中 η 为内摩擦系数(粘滞性)，单位为克/厘米秒。

球体在液体中落下时，仅在开始时增加速度，最后达到常速，在常速时由于液体浮力所减少的球体重量，正好等于液体对它的阻力。

設球体的密度为 S ，液体的密度为 s ，則得，

$$\frac{4}{3}\pi r^3(S-s)g = 6\pi r\eta v, \quad (6)$$

自此式得等速运动的終速为

$$v = \frac{2}{9} \frac{gr^2(S-s)}{\eta}, \quad (7)$$

若將以上关系应用于气泡，其半徑为 r ，密度为 S （此时 $S < s$ ），則得負的 v 即和下降方向相反的速度，或气泡离开液体的速度。

式(7)表明了气泡自水逸出过程的运动学。气泡的离开速度与其半徑的平方和气体及水的密度差乘积成正比；与水的粘滯性成反比。当气体自水分离时，所發生的气泡愈小，則穿过水層至水面所需的时间愈長。根据可靠的見解，微小的气泡不能通过液体的表面薄膜（厚度約为 10^{-7} 厘米），也就是說热力靜止过程不能完善地对水进行除气。

在这里还需要研究一下另一个由式(7)得出的重要关系。在水进行除气时，由于压力的提高（温度也提高），减少了 S 与 s 的差。根据波义尔—馬略特定律，虽然温度提高时气体进行膨脹，但所产生的气泡半徑 r 仍然减小。这就是說在高压除气时，在考虑到水的粘滯性减少的同时，必須还考虑到分离气体时间的延長（近乎直綫对平方的关系）。如果用一种机械的方法或更好是用热力的方法（如利用自噴管出来的蒸汽动能）播散水的細流，則可推迟粘滯性和表面張力的作用，即人为地帮助了气泡的逸出。具有气体的水播散得愈好，則在一定条件下除

气愈完善。

从这些論点說明，不可能在敞开的或封閉的水箱中，以純粹加热至沸点的方法，在很短的时间內达到完善除气。必須指出，用这种除气方法实际上不可能使高压鍋爐所要求的殘余氧份达到 0.01 至 0.03 毫克/公升。

若將一定压力下的水的温度降低到沸点以下，則气体的溶解度 α'_x 与液体的分压力 P_x 不能平衡。因此，对已經除气的水來說，若与空气接触，可能有再吸收气体的趋向。在除气时，若水沒有加热到所需要的沸点温度，則除气水中的含气量亦会提高。

圖 2 所示为殘余氧份对除气水未完全加热度的关系。从圖中可以看出，水的未完全加热度为 1°C 的話，可在 55°C 以上的温度范圍中形成大于 0.05 毫克/公升的氧份^①。

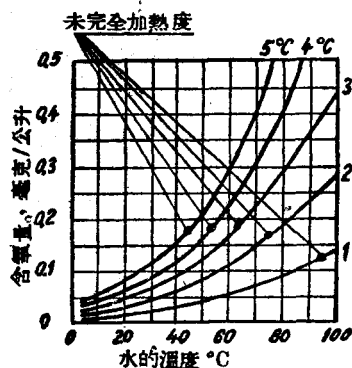


圖 2 殘余氧份对除气水未完全加热度的关系(在真空时)

未完全加热度 0.1°C 时，
水中的殘余氧份，毫克/公升

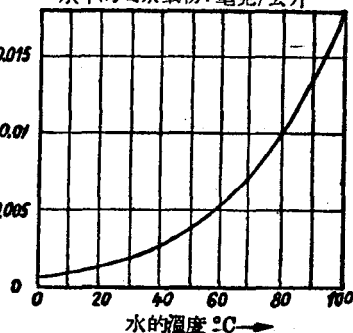


圖 3 除气水未完全加热 0.1°C 时，殘余氧份的提高与温度的关系(在真空时)

^① 見“蒸汽鍋爐运行中給水处理设备的規范”(Eignung von Speisewasser-Aufbereitungsanlagen im Dampfkesselbetrieb VDI) 德国工程协会，1940 年出版，第 138 頁。

在圖3中可以看出，对一定压力下的沸点温度来说，水的未完善加热度为 0.1°C 时的残余氧份。自圖2及圖3可以看出，温度升高时，氧的溶解度升高也很快^①。

圖4所示为氧的溶解度与溶剂(水)温度的关系^①。

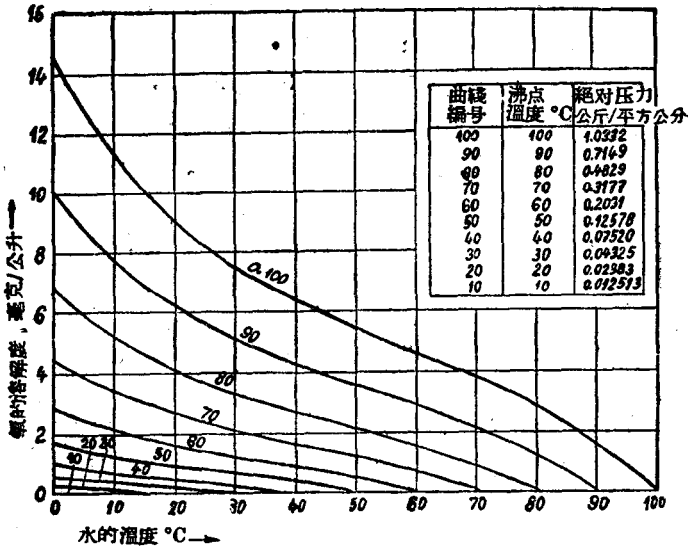


圖4 氧的溶解度与溶剂(水)温度的关系

对于其它的腐蝕气体可有类似的圖表，其中每种气体有不同溶解度的特性曲线。

由上述理論上的条件出發，对水的完善除气有下列要求：

1. 水完全被播散成稀薄的水流，成气泡形逸出的气体可較迅速和較完全地自稀薄的水流中分离出来。
2. 較大表面的水播散得愈完善，則自水中完全分离气体所

^① 見愛歇尔·維斯的报告，“給水除气”，H. 博里尔著，(Escher Wyss Mitteilungen, H. Bollier: Entgasung des Speisewassers)1950年出版。

需的时间愈短。

3. 除气器中必须时刻保持在一定压力下的水的沸点温度。
4. 分离的气体能顺利排出。

经过钠离子交换法软化作用后，除气水中若含有酸式碳酸钠(碳酸氢钠)，此碳酸氢钠由于达到沸点，按方程式则被分解成碳酸钠、二氧化碳及水：



在除气器中水停留的时间很短。因为重碳酸钠在加热至沸点时分解是很慢的(圖 5)，此过程实际不能进行。

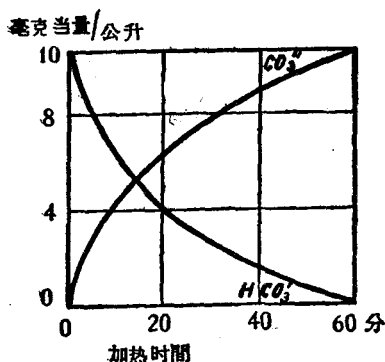


圖 5 碳酸氢钠 NaHCO_3 的分解与水的加热时间的关系

若需在給水中除去大部份的碳酸氢钠，则必须在給水以前有足够时间先进行蒸发。因此，給水箱中可采用一表面式加热器的加热系统，饱和蒸汽或微过热蒸汽的热降约为 $10-25^{\circ}\text{C}$ ，或者給水箱中的水可直接以蒸汽喷管进行蒸发。除气器部份地以自水箱出来的余汽进行加热。如前所述，水箱中的加热系统不能降低除气水中的残余氧份。仅当主除气器发生故障时，可作为給水的保证，此时水的蒸发除气效果则比除气器本身的除气效果差得多，这在前面几节已经作过说明了。

除气水中的残余氧份仅与除气器的性能有关，除气器的构造与热力状况，在运行时必须满足物理热力条件能使气体顺利地与水分离的要求。如果满足了这个条件，而不考虑废热损失，虽然在水箱中仍有大量給水进行蒸发，也不会进一步提高除气

效果。

由于水箱中水的蒸發，可部份地降低碳酸氫鈉的含量，但此时被放出的二氧化碳聚集在液面上，又会造成运行上的困难。因为蒸汽自水面上升至除气器的速度不大，聚集在水面上的二氧化碳以其分压力妨碍了气体全部自水进行分离。当水箱中除气水的温度降低至沸点以下时，立即發生强烈吸收二氧化碳的现象，此现象一直进行到水饱和为止。因此，在連續运行时一般不使用这种保証除气水的方法。

第三章 各种型式的表压式热力 除气器的簡述

根据运行的压力，表压式热力除气器分为：

1. 大气式，具有表压力 1.05 至 1.15 绝对大气压；
2. 压力式，具有表压力在 1.2 绝对大气压以上（除气水的工作温度为 104.2°C 以上）。

根据水的播散方式所要求的結構，压力式热力除气器可分为：

1. 散水盤式；
2. 滴淋式；
3. 喷射式；
4. 喷雾式；
5. 特殊的型式。

散水盤式（重力式）。其进水通过各層平的弓形淺盤。为了較好的播散水，此淺盤作成冲孔的（圖 6）。加热蒸汽一般自除气器的底部經冲孔管引入。加热蒸汽与水流的通路方向成十字形，即蒸汽垂直地流过水幅。

由于在設計时已决定在額定出力下淺盤中正确的流孔数目，所以为了使这种除气器正确的發生作用，需在运行时經常保持設計的額定出力。如果降低其出力，則水不流过每塊淺盤

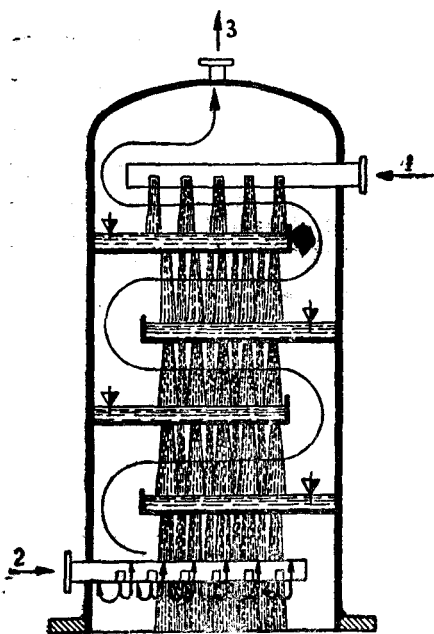


圖 6 散水盤式(弓形淺盤式)除氣器
1—水進口；2—加熱蒸汽進口；3—余汽
及氣體出口。

中的所有流孔，蒸汽穿過的路徑縮短，因此水幅加熱較差，就不能很好地分離含於水中的氣體。水與加熱蒸汽的溫度差可自十分之几度起直至更高。相反，如果超過了額定出力，則淺盤的流孔不能滿足水的流過，水會自淺盤邊緣溢出，形成垂直的水溢流。水壁會阻礙加熱蒸汽的通路，並在除氣器的底部產生蒸汽的間斷凝結，而發生水震。這種型式的除氣器僅適用於中壓運行，且其額定出力亦不應有太大的改變。

淺盤亦可裝成中間圓盤式的(圖 7)。在除氣的出力要改變的情況下，則採用滴淋式除氣器，其淺盤具有錐形的沖孔底(圖 8)。如果降低除氣器的出力，水在流過錐形淺盤孔時，始終成為圍繞除氣器垂直中心綫的水幅，因此加熱蒸汽必然垂直地通過水幅。用此法可較前述情況容易以蒸汽將除氣水加熱到沸點溫度，所以滴淋式除氣器在除去除氣水中的殘余氧份能得到較好和較可靠的效果。當然，如果提高與淺盤流孔數有關的除氣器出力時，流孔便不能滿足進水的流過，水會自淺盤溢出而對

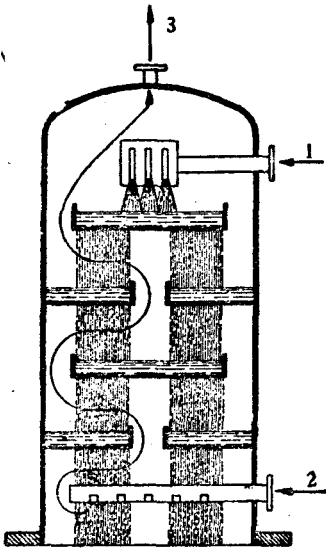


圖 7 具有盤形淺盤的散水
盤式除氣器
1—水進口；2—加熱蒸汽進口；
3—余汽及氣體出口。

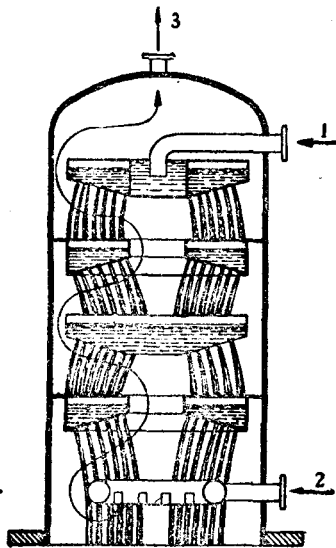


圖 8 滴淋式除氣器(錐形淺盤)
1—水進口；2—加熱蒸汽進口；
3—余汽及氣體出口。

通入蒸汽形成水壁，这样仍会形成弓形淺盤間加熱蒸汽的凝結与水震。很明显，蒸汽凝結时，进水就不能充分的加热，而且在除气水中残余氧份会迅速的提高，一般能达到十分之几的毫克/公升。

噴射式除氣器(圖 9)用特殊的噴管代替前述水幅自由落下的重力播水方式，以噴管將进水播散至很細的微粒(水滴)，其大小可如霧点。水在強烈播散时，水滴表面張力的影响降至最小，因此蒸汽能強烈地冲击到水滴上；同时細水滴可十分迅速地以蒸汽加热，所以水在除氣器中停留的时间可以变得很短(即除氣器的体积可以縮小)。当加热系統發生短时故障时(如

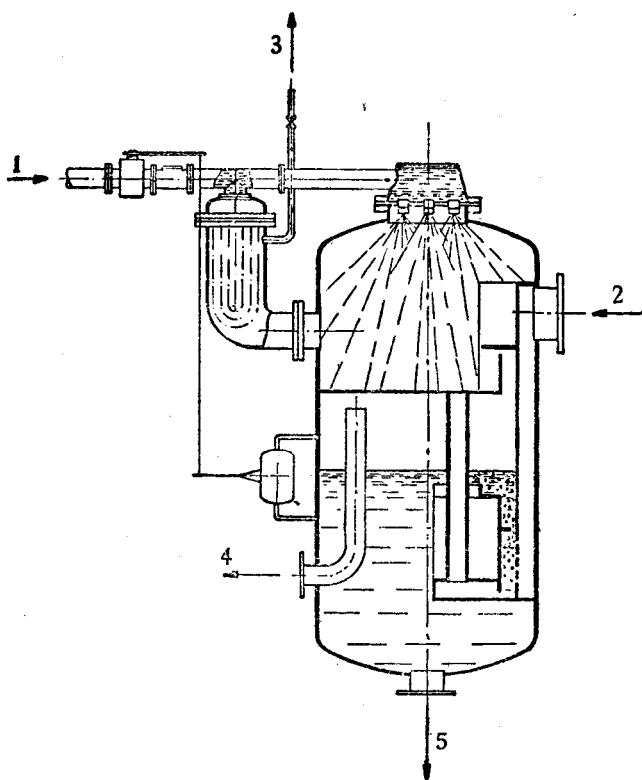


圖 9 噴射式除气器(白尔姆季特 Permutit型)

1—水进口；2—加热蒸汽进口；3—余汽及气体出口；4—溢水管；
5—除气水出口。

加热蒸汽不足), 則因除气器中沒有足够的热水作为备用, 而会迅速的提高除气水的含氧量, 根据未加热的程度, 此含氧量可达每公升 1 毫克。因此, 噴射式除气器在这一方面的缺点, 比散水盤式除气器严重得多, 由于散水盤式除气器在每塊淺盤中有較多的加热至沸点的水量, 所以有較多的备用热量。

噴射式除氣器一般利用膨脹原理來保證可靠的運行。進水先在表面式加熱器進行預熱到約高於除氣器工作溫度的 15 至 25°C，再以噴管將水的進入壓力降至除氣器的工作壓力。於是噴管播散的水在除氣器中進行蒸發，直至壓力及溫度平衡為止。這個方法來自水中排出氣體是很有效的。如進水未能過熱，還可加入二次加熱蒸汽加以保證。

噴霧式除氣器適用於高壓鍋爐給水的除氣，此種除氣器進水由二級系統播散：水噴管以及加熱蒸汽。此種裝置的原理如圖 10 所示^①。

進水 1 通過余汽凝結器 a 至噴水管束 b，在汽室 c 此噴水管將水播散成極細的水流。在用加熱蒸汽和余汽播散及加熱之後，經預熱的水沿集水器 d 流至噴霧底盤 e 上，加熱蒸汽可由噴霧底盤借彈簧 f 節流通過短管 g 進入除氣器。

經節流的加熱蒸汽已呈過熱狀態，並強烈地以自己的動能將噴霧底盤的水播散至 g 室。經過完善除氣的水從 g 室流出自由落下至儲水箱。由於水的霧化，水在 g 室完善的播散成霧狀的細粒，因此促進了完善的除氣^②。

余汽及過剩的加熱蒸汽自噴霧底盤沿集水器 d 進入汽室 c，並在室 c 加熱自噴管 b 出來的水幅細流。過剩的余汽在表面式凝結器內凝結，而凝結水沿管子外壁流出到噴霧底盤。不能凝結的氣體自余汽凝結器本體頂部排至大氣。

噴霧式除氣器的工作特性與噴射式除氣器相同。加熱蒸汽亦必須進行十分靈敏的調整。因為在除氣器密閉器中，水不能保持較長的時間（如在過負荷的滴淋式除氣器中一樣），噴霧式

① 布拉格杜克拉(ČKD-Dukla)工廠工業水處理研究所製成。

② 以典型的噴霧式除氣器試驗時，在加熱蒸汽及除氣水間壓力平衡時，一般可得較 0.01 毫克/公升為低的殘余氧份；這種含量由電測法（死定點法）測定。

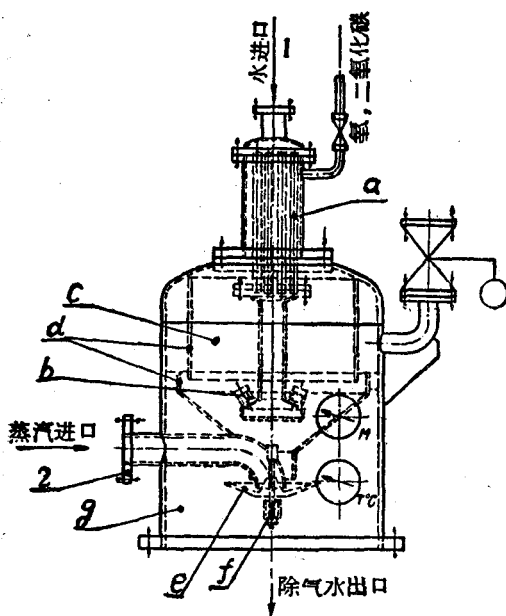


圖 10 ČKD噴霧式除气器

除气器無論在很大的过負荷情況下，也不会發生水震，進水的溫度可以很低。

除上面所介紹的幾種基本的除气器以外，表壓式熱力除气器亦可有其它特殊的型式(例如：管子式、雙單位式、船用式、機車用式、鍋爐內除气器等等)。這些特殊型式的除气器對動力設備的運行沒有很大的意義，因為一般工作的殘余氧份比滴淋式及噴霧式除气器大得多，因此，這些特殊型式的除气器僅在低壓運行時使用。

第四章 表压式热力除气器的物理 热力工作条件

下面我們介紹一下滴淋式及噴霧式除气器物理热力工作条件的两种特点。如果有相似的工作特性的話，則所討論的条件也可应用到其它型式的除气器。

1. 滴淋式(散水盤式)除气器

具有平的淺盤的滴淋式除气器見圖 11，淺盤底部有流出孔，水从这些流孔以 v_0 速度流出，該速度由下式决定：

$$v_0 = \sqrt{2gh} \quad (8)$$

每小时流过每一流孔的水量 Q_v 为：

$$Q_v = \frac{\pi d_0^3}{4} \alpha_v \gamma_v 3600 \sqrt{2gh} = 900 \pi d_0^3 \alpha_v \gamma_v \sqrt{2gh} \quad (9)$$

式中 d_0 ——流孔直徑；

α_v ——水幅縮小系数；

γ_v ——水的比重；

h ——流孔上的水面高度；

g ——重力加速度。

如每一淺盤有流孔 z 个，每个流孔的直徑为 d_0 ，則除气器的平均出力为：

$$Q_v = 900 \pi d_0^3 \alpha_v \gamma_v z \sqrt{2gh} \quad (9a)$$

如加热蒸汽以垂直方向流过除气器，即垂直于滴水的方向，則由于提高 $A-A$ 与 $B-B$ 位置之間的压力降而产生压力損失。此压力降与通过淺盤的蒸汽通路最狹窄位置有关，即近似于通路流孔的截面 d ，其关系如下式：