文章编号：　1008-8857(2011)01-0032-06

角管式蒸汽锅炉汽水分离装置的设计特点

毛艳悦，黄　莹，袁伟明

（上海工业锅炉有限公司，上海　200042）

摘　要：　角管式锅炉由于设计了炉外再循环系统，减少了进入锅筒的汽水混合物数量，降低了汽水混合物的动能，在达到同样目的的情况下，锅内分离设备变得十分简单，不仅降低了锅内设备的耗钢量和制造工作量，而且缩小了锅筒直径及壁厚。根据锅筒内部汽水分离原理以及由各分离原理衍生的分离方法，分析和介绍了角管式锅炉锅内装置的设计理念，供业内人士参考。

关键词：　角管式锅炉；蒸汽锅炉；锅内汽水分离装置

中图分类号：　TK223.4　　文献标识码：　A

蒸汽锅炉的锅筒是锅炉的主要部件，它起着稳定提供高品质的蒸汽和组织良好水循环的重要作用。在正常运行时，临界参数以下蒸汽锅炉的锅筒内分为上部汽空间和下部水空间，汽水分界面在锅筒中部附近小幅波动。在汽空间经清洗分离后，向用户提供湿度、含盐率在许可范围内的蒸汽。水空间向炉膛水冷壁提供循环水源。

然而，如果具有一定动能的汽水混合物毫无阻拦地直接进入锅筒，势必会严重冲击汽水界面，造成循环水中带汽、出口蒸汽湿度增大等现象，破坏整个锅炉的工质循环。设置锅筒内部装置的作用就是：既要使蒸汽在锅筒内进行有效分离，同时又要保持水室的平静。因此，合理地设计锅筒内部装置是影响蒸汽锅炉正常运行的关键之一。各制造厂都十分重视锅内装置的设计，有关部门还出台了设计导则[1]和有关技术条件[2]。

1　控制蒸汽湿度的重要性

锅炉通常以水作为热媒。为了保证锅炉及其后的用热设备能够高效长期安全运行，应该对锅炉给水中所含的盐类和杂质加以严格控制[3]。

自然界的水含有多种盐类，特别是钙、镁盐类，在水吸热蒸发后就会沉淀在受热面管内形成水垢，妨碍管壁的传热，使管壁温度升高，甚至造成爆管事故。因此，锅炉给水必须进行软化处理，将钙、镁离子除去。中低压饱和蒸汽基本上不溶解盐类，只是由于携带水滴而含盐。饱和蒸汽在进入过热器后，水滴被蒸干，一部分盐类就积聚在管壁上形成热阻，另一部分以固体状态悬浮于蒸汽中，带入锅炉后面的热用户设备里，日积月累，就会损坏热用户设备。所以

收稿日期：2010-08-20

作者简介：毛艳悦(1978-)，女(汉)，工程师，maoyanyue@sina.com

在锅炉设计中要严格控制蒸汽携带的水滴，才能保证蒸汽携带的盐分在允许的范围内。

蒸汽携带的水滴量用ω表示

$$\omega=\frac{W_{\mathrm{w}}}{W_{\mathrm{q}}}\times 100\%$$

式中，W_{w}为水滴的质量，$\mathrm{kg\cdot s^{-1}}$；W_{q}为蒸汽的质量，$\mathrm{kg\cdot s^{-1}}$。

在中低压锅炉中，蒸汽不溶解盐类，因此，蒸汽的含盐率即为蒸汽的湿度。也就是说，控制蒸汽的湿度就等于控制了蒸汽的含盐率。然而，随着压力的升高，饱和水和饱和蒸汽的密度比越来越小(见表 1[4])，汽水分离将越来越困难，锅炉的锅筒内部汽水分离装置的设计就显得尤为重要。

表 1　不同蒸汽压力下的水汽密度比

Table 1　Density ratio of water to steam under different pressures

蒸汽压力/MPa	低压		中压	次高压	高压	超高压
	1.25	2.5	3.82	6.3	9.8	13.8
水汽密度比($\rho_{\mathrm{w}}/\rho_{\mathrm{q}}$)	135.1	67.9	41.7	23.2	12.7	7.4

当蒸汽压力高于 6.0 MPa 时，蒸汽本身有选择性地溶解某些盐类的现象就变得明显起来，例如对硅酸盐的溶解度就比较高，这种特性被称作蒸汽的选择性携带。当蒸汽压力更高时，还会有更多的盐类溶解于其中，此时的蒸汽含盐率还包括了该压力下的蒸汽选择性携带量。压力越高，水汽密度比越小，饱和蒸汽具有饱和水的特性也越加明显。所以，随着压力升高，对于锅炉给水、蒸汽湿度的要求就越来越高。

当给水在锅炉中形成汽水混合物后，由于蒸汽不含盐，混合物中水的含盐浓度就会升高，这时的水被称作炉水。为了确保蒸汽的品质，就需要对炉水的含盐浓度加以控制，通过或加药或排污等措施来降低炉水含盐量。这在临界参数以下蒸汽锅炉中都是必须进行的锅内过程。

2　锅内汽水分离原理

在锅内，汽水混合物分离有三个途径：重力分离、撞击分离、离心力分离。

(1) 重力分离：利用汽水的密度差，在汽水混合物作上升运动时，较轻的汽上升速度快，水由于质量大，上升速度慢，水与蒸汽会自然剥离。常见的有水下孔板。

(2) 撞击分离：汽水混合物撞击在阻碍物上，消除了混合物的动能，密度大的水沿壁面向下流动，密度小的汽向上运动，进行分离。常见的是汽水挡板。

(3) 离心力分离：利用汽水混合物的动能切向进入圆形容器内作高速旋转运动，质量较大的饱和水在离心力的作用下被甩到筒壁上，以此达到汽水粗分离的目的。最典型的离心分离设备是旋风分离器(俗称旋风子)。水沿筒壁流入水空间，粗分离后的饱和蒸汽由旋风子上部的顶帽(俗称百页窗)得到进一步汽水分离后进入汽空间。旋风子在锅内的布置位置是十分讲究的。为了充分利用汽水混合物的高速动能，减少动能损失，旋风子的切向进口应尽可能地布置在汽水混合物的锅筒入口处附近，旋风分离器筒体直径控制在ϕ350 mm 以内，便于维修时进出锅筒端部人孔。

通常，在蒸汽锅炉的锅内装置中组合使用这三种分离方法。在中低压锅炉中，由于汽水密度差异较大，一般不采用离心力分离的方法。而在高压及以上锅炉中，这三种方法都要用。

3 各种汽水分离装置的设计原理及应用范围

根据设计导则[1]的要求，工业蒸汽锅炉的锅内装置在适用范围内应力求简单。为了保证锅炉及以后用热设备的安全运行，规定：对于有过热器的锅炉，饱和蒸汽的湿度不大于 1%；对于无过热器的水管锅炉，饱和蒸汽的湿度不大于 3%；对于无过热器的锅壳式锅炉，饱和蒸汽的湿度不大于 4%。由于对蒸汽湿度的要求较高，因此在汽水分离装置的设计中分为一次(粗)分离装置和二次(细)分离装置。一次分离装置的任务是消除进入锅筒的汽水混合物的动能，把蒸汽和水初步分开。二次分离装置的任务是把蒸汽中携带的细小水滴分离出来，并把蒸汽从锅筒中均匀地引出。属于一次分离装置的有：汽水挡板、水下孔板、旋风分离器等；属于二次分离装置的有：均汽孔板、波纹板百叶窗、钢丝球分离器、陶瓷套管分离器等。

(1) 汽水挡板：在工业锅炉中，汽水挡板最主要的功能是消除汽水混合物动能，减小对汽水界面的冲击，避免锅筒水位的剧烈波动。汽水挡板通常布置在混合物入口处，当汽水混合物进入锅筒时，由于挡板的阻挡，混合物径向速度降为零，动能消失；混合物沿挡板壁面流入水空间，由于动能消失，因质量差异汽水已开始分离，水从锅筒底部的下降管流出进行再循环，蒸汽则积聚在水下孔板下面等待粗分离。

(2) 水下孔板：一般布置在水空间，距汽水界面约 150 mm。孔板上密布小孔。蒸汽积聚在水下孔板下面形成一层汽垫并均匀地从小孔中流出，起到均衡蒸发面负荷的作用，也有稳定汽水界面的功效。蒸汽在穿过小孔时的速度应按标准要求选择，根据蒸汽穿孔速度确定小孔的直径和数量。小孔直径一般为 8~12 mm。小孔直径过小容易堵塞，过大容易破坏汽垫导致负荷不均匀。小孔数量应根据不同压力下的蒸汽穿孔速度和锅炉蒸发量来确定。

(3) 旋风分离器：汽水混合物切向引入旋风分离器，靠离心力进行粗分离，上升汽流通过顶帽时，湿蒸汽再次得到分离。其适用范围是对蒸汽品质要求高且蒸发量不小于 35 $t \cdot h^{-1}$ 的锅炉。在旋风子布置时，相邻 2 个旋风子的旋流方向应相反，这样可以进一步消除水流旋转动能，保持水室平静。旋风分离器的负荷一般为 3.5 $t \cdot h^{-1}$ 左右，蒸汽压力越高，负荷越小。

(4) 波形板百叶窗或钢丝球分离器：均属于细分离装置，一般布置在锅筒顶部蒸汽出口处，与其配套的还有均汽孔板和溢水管，见图 1。

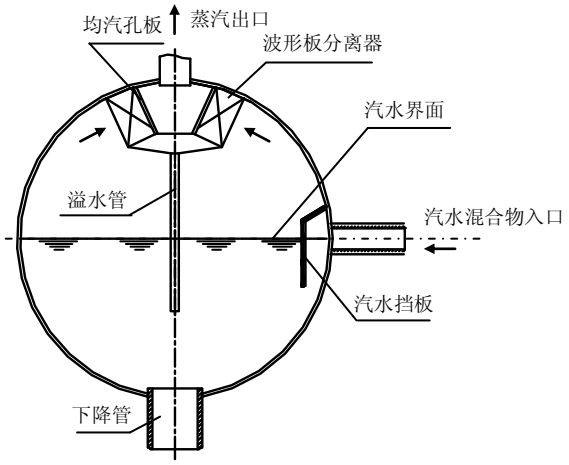

图 1 汽水细分离装置布置示意图

Fig. 1 Schematic layout of the fine separation unit for steam-water mixture

波形板百叶窗由多块波形板相间排列而成。波形板间的曲折通道，始端望不见终端，湿蒸汽曲线行进在其间，每走一段，水滴均会碰到波形板随壁面流入溢水管，然后进入水空间。最后湿度极小的蒸汽在均汽孔板下形成汽垫，均匀地对外供汽。

由于波形板百叶窗的制作比较复杂，有厂家采用不锈钢丝做成球状杂乱地堆放在蒸汽出口处，同样可以起到阻留水滴的作用。但是，在制作时要避免形成直线短路。也有采用瓷套管代替钢丝球的，经研究发现，在高温高压的长期闷蒸下，瓷套管的坚硬特性会发生变化，成为粉末，不仅起不到汽水分离的效果，反而会造成蒸汽中二氧化硅携带量超标。本公司援建巴基斯坦的 35 $t\cdot h^{-1}$、3.82 MPa 的锅炉就发生过类似事故。

通常，重力分离需要有较大的垂直空间，在汽水的密度差比较大的时候，采用重力分离的方法较为经济，效果也好，因此常用于低压蒸汽锅炉。而离心分离的分离效果最好，所得到的蒸汽纯度较高，常用于高压、超高压蒸汽锅炉。在设计时，经常将这些按不同原理设计的分离装置组合在一起，形成一个完整的汽水分离装置。如在低压锅炉中，一般都采用汽水挡板和水下孔板组合，如图 2。

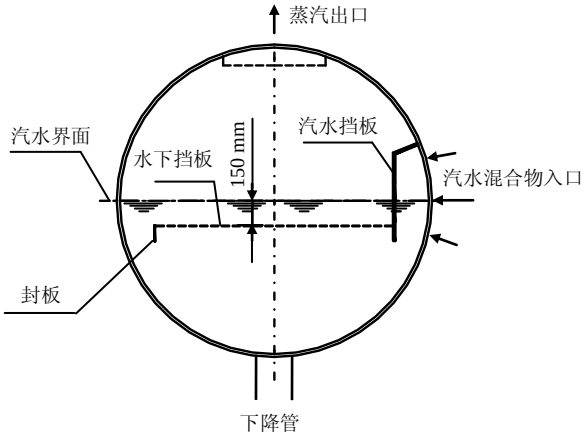

图 2　汽水挡板与水下孔板组合

Fig. 2　Combination of underwater orifice and water baffle plate

在高压及以上参数的锅炉中，由于饱和水和饱和蒸汽的密度比越来越小，汽水分离将越来越困难，单纯依靠重力分离手段已不能保证蒸汽的品质，一般都采用旋风子取代结构简单的水下孔板等分离装置。粗分离后的饱和蒸汽由旋风子顶部的百页窗进入汽空间，如图 3。

中压锅炉介于低压锅炉和高压锅炉之间，其汽水分离设备有各种组合，本文不再列举。

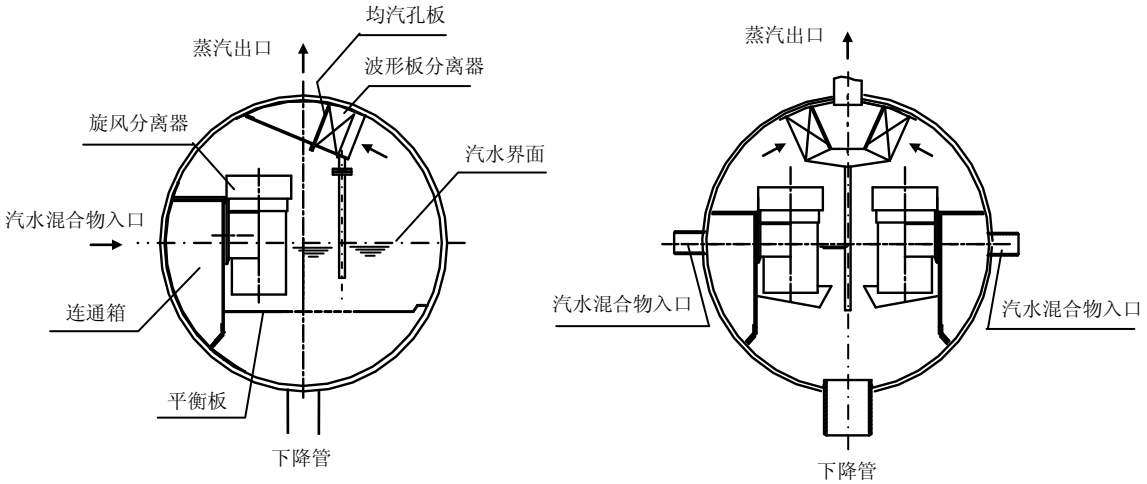

图 3　高压锅炉锅筒内部汽水分离装置

Fig. 3　Interior separation device in the high-pressure boiler drum

4 角管式蒸汽锅炉锅内汽水分离装置介绍

角管式蒸汽锅炉没有根据上述要求进行设计，在锅内装置中既没有水下孔板也没有旋风分离器，即使蒸汽参数在 3.82 MPa 及以上的蒸汽锅炉也是一样，其结构见图 4。

在角管式锅炉内只有贯穿整个锅筒的分隔板，将汽水混合物进口与汽水分离区一分为二。汽水混合物进入锅筒后，先与分隔板(汽水挡板)接触消除动能，然后，沿锅筒轴向流向锅筒两端，折向后进入分离区。汽水混合物在长距离行进中，依靠重力作用实施汽与水的粗分离。在锅筒顶部出口处，蒸汽经波形板分离器，从均汽孔板流出。

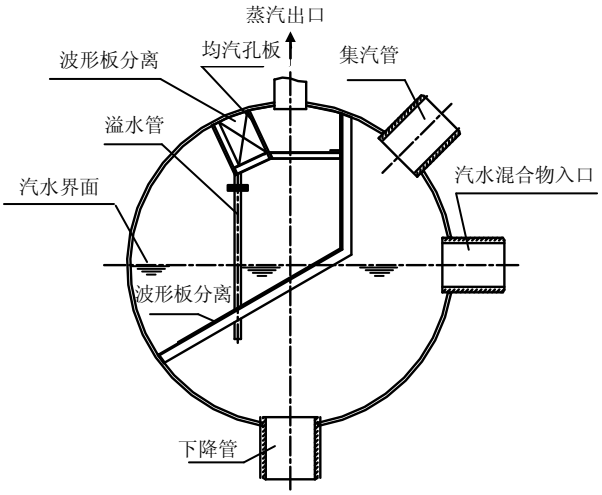

图 4 角管式蒸汽锅炉锅筒内部汽水分离装置

Fig. 4 Interior separation device in the corner-tube boiler drum

经分析，角管式锅炉设计了自循环系统[5]，汽水混合物在进入锅筒前已作了初步分离，进入锅筒的汽水混合物总量减少，动能也大幅降低。据丹麦专家介绍，采用自循环系统后，汽水混合物的动能在进入锅筒前已减小 60%以上，汽水分离总量降低 30%以上，再循环管内的水速高于下降管约 10%(特别是在中低压锅炉中，分离效果尤为明显)。因此进入锅筒的汽水混合物对锅筒的冲击大大降低，锅内水室较为平静，从而在这样简单的结构下，蒸汽湿度仍能维持在 3%以下。

5 角管式锅炉与其它锅炉汽水分离装置的比较

在低压 SHL 型和 SZS 型锅炉中，一般都布置了水下孔板和挡水板，当参数提高到中压时，还会在汽水混合物集中进口处布置一些旋风分离器，以强化汽水分离。除结构复杂外，耗钢量和制造工作量都有增加，表 2 中列出了 3 种型式锅炉锅内装置耗钢量的比较。由表可见，角管式锅炉锅内装置的结构最为简单，钢耗量也最少(锅炉参数高于 3.82 MPa 不在本文讨论范围内)。

表 2 各型式锅炉锅内汽水分离装置的耗钢量

Table 2 Steel consumption of drum separation devices for various types of steam-boiler t·t 蒸汽$^{-1}$

锅炉类型	1.25 MPa, 10 t·h^{-1}	2.45 MPa, 20 t·h^{-1}	3.82 MPa, 35 t·h^{-1}
角管式锅炉	0.334	0.660	1.621
SHL 型锅炉	0.525	0.700	–
SZS 型锅炉	0.694	0.896	1.967

6 结论

本文仅讨论了 3.82 MPa 以下的中低压蒸汽锅炉的锅内装置。由于角管式锅炉设计了再循环系统，汽水混合物在锅筒外已经得到初步分离，在进入锅筒时，汽水混合物总量和冲击水室的动能均大为降低，因此，在满足蒸汽湿度的情况下，锅内汽水分离设备变得十分简单，符合

锅内装置设计导则的基本原则。与其它炉型相比，角管式锅炉锅内设备的钢耗量低，制造工作量小以及由此带来的锅筒直径变小和锅筒壁厚减薄等，都表明了角管式锅炉在设计方面的特点和优势，其设计理念值得业内借鉴。

参考文献:

[1] GB/T9618-1999. **工业锅炉锅筒内部装置设计导则**[S].

[2] JB/T3191-1999. **锅筒内部装置技术条件**[S].

[3] 陈学俊, 陈听宽. **锅炉原理**[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

[4] 古尔维奇, 库茨涅佐夫. **锅炉机组热力计算标准方法**[M]. 北京: 机械工业出版社, 1976.

[5] 徐建华, 毛艳悦. 角管式锅炉特点和锅炉运行参数探讨[J]. **能源研究与信息**, 2010, **26**(2): 106−109.

Design features of the water-steam separator for corner-tube steam boilers

MAO Yan-yue, HUANG Ying, YUAN Wei-ming

(Shanghai Industrial Boiler Co., Ltd., Shanghai 200042, China)

Abstract: Due to the installation of a recirculating system for the corner-tube boiler, the flow of steam-water mixture into the boiler drum is reduced and the kinetic energy of the mixture is decreased. Thus, the steam-water separation system becomes very simple to achieve the same separation efficiency. The steel consumption and manufacturing workload for the drum internal fittings can be reduced, and the drum diameter and wall thickness are decreased. In this paper, the design features of the drum interior equipment for the corner-tube steam boiler were described and discussed.

KeyWords: corner-tube boiler; steam boiler; drum internal separation device

欧盟计划 2020 年实现减排 25%

2011 年 3 月 8 日，欧盟委员会出台低碳路线图，提出到 2050 年将欧盟温室气体排放量在 1990 年基础上减少 80%到 95%，到 2020 年实现减排 25%。

欧盟委员会负责气候事务的委员康妮·赫泽高表示，欧盟必须从现在起向低碳经济转型，耽误的时间越久，成本就越高。经过成本利益分析，欧委会认为，要实现到 2050 年减排 80%的目标，最经济的方式就是到 2020 年实现减排 25%，而不是目前确定的 20%。尽管欧盟委员会力主把 2020 年减排目标提高到 30%，但由于成员国分歧严重，始终没有达成一致。欧盟委员会这次提出 25%的减排目标显然较原先有所退缩。

欧盟委员会提出，为发展低碳经济，未来 40 年里，欧盟平均每年需增加 2 700 亿欧元投资，这相当于欧盟成员国国内生产总值的 1.5%。目前，欧盟用于发展低碳经济的投资每年约占成员国国内生产总值的 19%。欧盟将主要通过积极发展绿色能源，并通过联合国清洁发展机制等国际机制完成余下的减排任务。

但此间专家纷纷对欧委会这一低碳路线图的可行性提出质疑。　　（尹 航）