



# 节流孔圈在电厂超超临界直流锅炉中的运用

鲁海龙

天津电力建设有限公司检修公司，天津 300380

**[摘要]** 节流孔圈具有减少受热面管道热偏差、提高汽水动力稳定性等优点，因而在吕四港电厂超超临界直流锅炉中被大量使用，但在运行中出现被杂物堵塞、部分孔径跟设计值不一致、设计值跟实际运行热负荷不匹配等问题，影响节流孔圈作用的发挥。文章分析节流孔圈的作用机理和影响其性能发挥的因素，并试图找到解决的方法。

**[关键词]** 节流孔圈；热偏差；超超临界直流锅炉

## 前言

大唐吕四港电厂 4×660MW 锅炉为哈尔滨锅炉厂设定的超超临界参数变压直流炉、一次再热、均匀通风、露天部署、单炉膛、低 NOxPM 主燃烧器和 MACT 型分级送风燃烧系统、反向双切园燃烧方式、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型锅炉。炉膛使用内螺旋管垂直上升膜式水冷壁、循环泵启动体系。过热器蒸汽出口温度为 600℃，再热器蒸汽出口温度为 600℃。

超超临界锅炉在启动中经历了湿态运营、干态运营、亚临界、临界、超临界运营的进程，工质变化相当繁琐。竖直管屏中，如果有的管子或管屏产生了工质的停止或回流，就会使管子冷却不良，引发传热恶化造成超温爆管等事故。在低负荷下运营时，炉膛中火焰温度升高的不均匀，不同管的受热强度不均匀也随之加大，极易引发水动力的不稳定性。当运营时的压力值超过临界值时，虽然水冷壁里的工质只是一种流体，可是工质吸入大量的热量且位于高热区时，工质的温度无变化，比容却变化巨大，使其快速膨胀，导致水流通不畅。直流锅炉的受热面是由不同根并联的管子构成，不同管子间的受热强度与流量根本不可能完成均匀，所以它们管壁温度也不一样，只要其中一根管子被损坏，则导致整个锅炉都无法正常工作。居于此，设计者在锅炉水冷壁、各级过热器入口安装了节流孔圈。具体如下：

由于下联箱外部的水冷壁入口管段的口径较小，需要在其上装上口径巨大的节流孔圈来控制流量，之后将三叉管过渡段与小口径的水冷壁管（φ28.6）相连在一起，通过控制不同回路的工质流量来减少其吸热与温度误差。在全屏（二级过热器）、后屏（三级过热器）、末级过热器的所有管段入口端上装焊不同口径的节流孔圈。（见下图）。

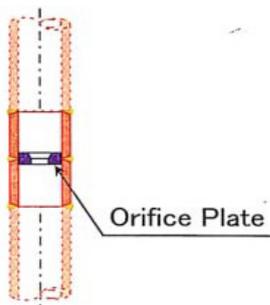


图 1 管内式节流孔圈

## 1 节流圈在提高静态水动力稳定性中的作用

超临界压力直流锅炉在低负荷作用下运营时，水冷壁管里有液体与汽体两种状态。如果汽体量变多，汽水混合速度加快，使动压力与流通阻力加大；如果汽水混合物的密度变小，流通阻力就变小，其与流通量与压力差之间关系可用三次方曲线来表示，即产生静态水流通不畅的情况。直流锅炉静态水流通不畅的关键要素是：一个压力差会产生至少两个的流量。在水冷壁入口处安装节流圈可使热水段的阻力变大，装上节流圈的管子总压降为：

$$\Delta P = \Delta P_{jl} + \Delta P_{lz}$$

式中： $\Delta P_{jl}$ ——节流阻力； $\Delta P_{lz}$ ——流动阻力

当流量变大时节流圈的阻力变大，使热水段的流通更顺畅。节流圈对水动力稳定性的影响如图所示：

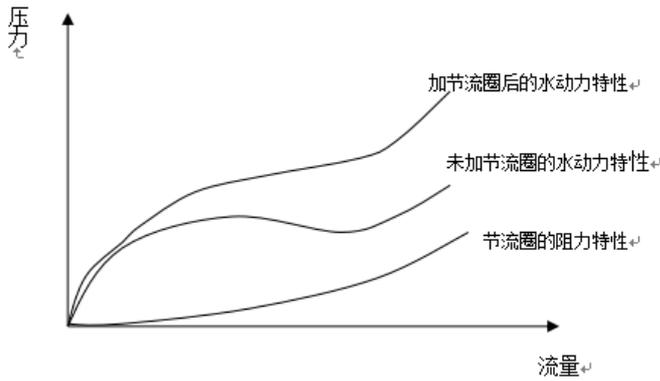


图 2: 节流圈对水动力稳定性的作用

## 2 节流圈在防止水动力动态不稳定性中的作用

直流锅炉水冷壁工作时，经常出现水流量或大或小的情况，即就是脉动性流动情况。其体现为：水流量与蒸汽流量进出蒸发管时都会产生周期性的浮动，这种长期性的脉动性流动可使金属管子出现损坏。阻止脉动的最高效办法是在管子入口处加装节流圈。节流圈的作用是使蒸发点局部的压力上升，由于其压力低于进口压力就使流量浮动较小，同时，在装上节流圈后，导致热水段的阻力不断变大，进而使热水段的压力差变大，保障了进口水流通的顺畅性<sup>[1]</sup>。

## 3 节流圈在消除热偏差中的作用

热偏差：并列管组中任何一根管的工质焓增不一样。运营时因为热偏差作用造成一些管子的壁温超出允许温度而形成破坏。

产生蒸汽温度不均匀是由于受热面中不同管子的热偏差较大。并联管路中的热偏差是指并联管组中偏差管的工质焓增 $\Delta h_p$ 与并联管组工质平均焓增 $\Delta h_o$ 之比，用 $\varphi$ 表示。

$$\varphi = \frac{\Delta h_p}{\Delta h_o} \quad \Delta h_p = \frac{q_p A_p}{G_p} \quad \Delta h_o = \frac{q_o A_o}{G_o}$$

式中， $q_p$ 、 $A_p$ 、 $G_p$ 分别为偏差管中的热负荷、受热面积和工质质量流量。

$q_o$ 、 $A_o$ 、 $G_o$ 分别为平均工况管中的热负荷、受热面积和工质质量流量。

因此热偏差 $\varphi$ 可以表示为：

$$\varphi = \frac{q_p A_p}{G_p} : \frac{q_o A_o}{G_o}$$

当 $\varphi$ 高于准许热偏差（管壁金属温度达到该金属材料的最高允许值时的热偏差）将诱发超温爆管。上式说明热偏差偏大的关键原因是构造偏差（ $A_p / A_o$ ）、流量偏差（ $G_o / G_p$ ）与热负荷偏差（ $q_p / q_o$ ）。对于并列工作的管子，它们间的受热面差值几乎接近，构造的偏差类似于1，所以出现偏差的关键原因是流量与热负荷有差错，对于受热面防爆来讲，最危险的是热负荷大而蒸汽流量小，但是汽温又特别高的管子。

锅炉热负荷偏差关键取决于燃烧的是否充足与炉内的温度场如何分布，不同管子间的受热强度不完全均匀。消除热偏差主要方法是改变管段间的流量，使流量偏差与热负荷偏差相匹配。在管子入口处装置口径不同的节流圈，可以使管内蒸汽的流动阻力变大，将不同管的蒸汽流量控制好，才能相配套好热负荷。即使 $q_p / G_p = q_o / G_o$ 成立，使 $\varphi$ 趋近于1。

## 4 节流圈在运行中出现的问题

在吕四#2锅炉试运过程中，锅炉过热器、水冷壁管段陆续发现个别超温现象。三级过热器有6根管子，末级过热器有5根管子超温，最高管壁温度达到了670多度，水冷壁也有10多根管子超温。是什么原因导致节流圈不能正常发挥作用？

工作人员将严重超温的管子割管检查，发现入口节流孔圈有杂物，除此之外无其他异常。于是工作人员扩大检查面，增加了过热器、水冷壁的壁温测点个数，仔细检查炉内是否有粗胀超温变色的管子，对所有管内的节流孔圈拍片检查<sup>[2]</sup>。

拍片结果显示：

- (1) 有5根管子的节流圈发现杂物；
- (2) 有6根管子的节流圈实际口径与设计口径大小不一致；
- (3) 有16根管子的节流圈无异常，但管子有超温现象。

针对第1条和第2条，通过清理或更换节流圈，并检查管子的金属变化情况，变化严重的给予更换。针对第3条，通过重新计算节流孔径大小或在运行时调整烟温来实现。经过上述工作后，#2锅炉再次运行，各处壁温测点显示温度正常。

## 5 结论

经分析，我们认为节流孔圈在提高水动力稳定性和减少热偏差上能发挥作用，但对节流孔圈要加强监督检查。加

强防范措施如下：严格按锅炉化学清洗程序进行锅炉汽水管道清洗，保证给水品质，以防垢污、管子内壁金属腐蚀剥落造成节流圈堵塞；机组投产前，节流孔全面拍片检查，检查是否有残留杂物以及节流孔径是否与设计值一致；增加壁温测点个数，运行中对这部分管子认真监控，停炉期间仔细检查受热面是否有其他超温的异常情况；保持吹灰系统的正常运行，以免造受热面堵灰引起烟气热负荷发生改变；及时恢复错乱的管排，保持管排的整齐，防止出现“烟气走廊”，从而保持热负荷偏差的稳定；根据锅炉热负荷的实际情况，动态的调整节流孔口径大小，或者适当的调整燃烧，使节流孔的大小、热负荷两者相匹配。

**[参考文献]**

---

[1] 哈尔滨锅炉厂有限责任公司、三菱重工业株式会社合编大唐吕四港电厂 660MW 锅炉设计说明书 . 2008

[2] 高子瑜 . 1000MW 超超临界压力 II 型锅炉 [J]. 上海电力, 2005 (4) : 333 ~ 336.

作者简介：姓名：鲁海龙；性别：男；年龄：41 岁；工作单位：天津电建天津蓝巢电力检修有限公司；职务：副总工程师