

锅炉管道爆管-原因分析

锅炉爆管的根本原因是什么

水冷壁、过热器、再热器、省煤器的管子，在承受压力条件下的破损，均称为爆管。发生爆管的根本原因，归纳起来有以下各点：

- 1、升火、停炉操作程序不当，使管子的加热或冷却不均匀，产生较大的热应力。
- 2、运行过程中，汽压、汽温超限，或热偏差过大，使管子蠕胀速度加快。
- 3、运行调节不发，如使火焰偏斜、局部结渣、尾部再燃烧等，都会导致局部管子过热。
- 4、负荷变动率过大，引起汽压突变，使水循环不正常（变慢、停滞），使管子过热或出现交变应力而疲劳破坏。
- 5、飞灰磨损是导致省煤器爆管的主要原因。燃烧器出口气流偏斜，出现“飞边”、“贴壁”现象，使水冷管磨损，是引起水冷壁爆管的原因之一。
- 6、管壁腐蚀或管内积盐。当给水含氧量较高，或水速过低，常引起省煤器内壁点状腐蚀而爆管；锅水品质不合格、饱和蒸汽带水，造成过热器管内积盐，导致管壁过热而爆管；高温腐蚀是引起过热器和水冷壁爆管的原因之一。
- 7、制造、安装、检修质量不良。如管材质量不良或管子钢号用错；管子焊口质量不合格；弯头处壁厚减薄严重；管内有异物使通道面积减小或堵塞；检修时对已蠕胀超限的管子漏检，已经磨薄的管子没有发现等。

0 前言

随着我国电力工业建设的迅猛发展，各种类型的大容量火力发电机组不断涌现，锅炉结构及运行更加趋于复杂，不可避免地导致并联各管内的流量与吸热量发生差异。当工作在恶劣条件下的承压受热部件的工作条件与设计工况偏离时，就容易造成锅炉爆管。

事实上，当爆管发生时常采用所谓快速维修的方法，如喷涂或衬垫焊接来修复，一段时间后又再爆管。爆管在同一根管子、同一种材料或锅炉的同一区域的相同断面上反复发生，这一现象说明锅炉爆管的根本问题还未被解决。因此，了解过热器爆管事故的直接原因和根本原因，搞清管子失效的机理，并提出预防措施，减少过热器爆管的发生是当前的首要问题。 1 过热器爆管的直接原因

造成过热器、再热器爆管的直接原因有很多，主要可以从以下几个方面来进行分析。

1.1 设计因素

1. 热力计算结果与实际不符

热力计算不准的焦点在于炉膛的传热计算，即如何从理论计算上较合理的确定炉膛出口烟温和屏式过热器的传热系数缺乏经验，致使过热器受热面的面积布置不够恰当，造成一、二次汽温偏离设计值或受热面超温。

2. 设计时选用系数不合理如华能上安电厂由 B&W 公司设计、制造的“W”型锅炉，选用了不合理的受热面系数，使炉膛出口烟温实测值比设计值高 80~100℃；又如富拉尔基发电总厂 2 号炉(HG-670/140-6 型)选用的锅炉高宽比不合理，使炉膛出口实测烟温高于设计值 160℃。

3. 炉膛选型不当

我国大容量锅炉的早期产品，除计算方法上存在问题外，缺乏根据燃料特性选择炉膛尺寸的可靠依据，使设计出的炉膛不能适应煤种多变的运行条件。

炉膛结构不合理，导致过热器超温爆管。炉膛高度偏高，引起汽温偏低。相反，炉膛高度偏低则引起超温。

4. 过热器系统结构设计及受热面布置不合理

调研结果表明，对于大容量电站锅炉，过热器结构设计及受热面布置不合理，是导致一、二次汽温偏离设计值或受热面超温爆管的主要原因之一。

过热器系统结构设计及受热面布置的不合理性体现在以下几个方面：

(1) 过热器管组的进出口集箱的引入、引出方式布置不当，使蒸汽在集箱中流动时静压变化过大而造成较大的流量偏差。

(2) 对于蒸汽由径向引入进口集箱的并联管组，因进口集箱与引入管的三通处形成局部涡流，使得该涡流区附近管组的流量较小，从而引起较大的流量偏差。引进美国 CE 公司技术设计的配 300MW 和 600MW 机组的控制循环锅炉屏再与末再之间不设中间混合集箱，屏再的各种偏差被带到末级去，导致末级再热器产生过大的热偏差。如宝钢自备电厂、华能福州和大连电厂配 350MW 机组锅炉，石横电厂配 300MW 机组锅炉以及平坪电厂配 600MW 机组锅炉再热器超温均与此有关。

(3) 因同屏(片)并联各管的结构(如管长、内径、弯头数)差异，引起各管的阻力系数相差较大，造成较大的同屏(片)流量偏差、结构偏差和热偏差，如陡河电厂日立 850t/h 锅炉高温过热器超温就是如此。

(4) 过热器或再热器的前后级之间没有布置中间混合联箱而直接连接，或者未进行左右交叉，这样使得前后级的热偏差相互叠加。

在实际运行过程中，上述结构设计和布置的不合理性往往是几种方式同时存在，这样加剧了受热面超温爆管的发生。

5. 壁温计算方法不完善，导致材质选用不当

从原理上讲，在对过热器和再热器受热面作壁温校核时，应保证偏差管在最危险点的壁温也不超过所用材质的许用温度。而在实际设计中，由于对各种偏差的综合影响往往未能充分计及，导致校核点计算壁温比实际运行低，或者校核点的选择不合理，这样选用的材质就可能难以满足实际运行的要求，或高等级钢材未能充分利用。

6. 计算中没有充分考虑热偏差

如淮北电厂5号炉过热器在后屏设计中没有将前屏造成的偏差考虑进去，影响了管材的正确使用，引起过热器爆管。

1.2 制造工艺、安装及检修质量从实际运行状况来看，由于制造厂工艺问题、现场安装及电厂检修质量等原因而造成的过热器和再热器受热面超温爆管与泄漏事故也颇为常见，其主要问题包括以下几个方面。

1. 焊接质量差

如大同电厂6号炉，在进行锅炉过热器爆管后的换管补焊时，管子对口处发生错位，使管子焊接后存在较大的残余应力，管壁强度降低，长期运行后又发生泄漏。

2. 联箱中间隔板焊接问题

联箱中间隔板在装隔板时没有按设计要求加以满焊，引起联箱中蒸汽短路，导致部分管子冷却不良而爆管。

3. 联箱管座角焊缝问题

据调查，由于角焊缝未焊透等质量问题引起的泄漏或爆管事故也相当普遍。如神头电厂5号炉(捷克650t/h亚临界直流锅炉)包墙过热器出口联箱至混合联箱之间导汽管曾在水压试验突然断裂飞脱，主要原因是导汽管与联箱连接的管角焊缝存在焊接冷裂纹。

4. 异种钢管的焊接问题

在过热器和再热器受热面中，常采用奥氏体钢材的零件作为管卡和夹板，也有用奥氏体管作为受热面以提高安全裕度。奥氏体钢与珠光体钢焊接时，由于膨胀系数相差悬殊，已发生过数次受热面管子撕裂事故。

此外，一种钢管焊接时往往有接头两边壁厚不等的问題，不同壁厚主蒸汽管的焊接接头损坏事故也多次发生。一些厂家认为，在这种情况下应考虑采用短节，以保证焊接接头两侧及其热影响区范围内壁厚不变。

5. 普通焊口质量问题

锅炉的受热面绝大多数是受压元件，尤其是过热器和再热器系统，其管内工质的温度和压力均很高，工作状况较差，此时对于焊口质量的要求就尤为严格。但在实际运行中，由

于制造厂焊口、安装焊口和电厂检修焊口质量不合格(如焊口毛刺、砂眼等)而引起的爆管、泄漏事故相当普遍,其后果也相当严重。

6. 管子弯头椭圆度和管壁减薄问题

GB9222-88 水管锅炉受压无件强度计算标准规定了弯头的椭圆度,同时考虑了弯管减薄所需的附加厚度。该标准规定,对弯管半径 $R>4D$ 的弯头,弯管椭圆度不大于 8%。但实测数据往往大于此值,最大达 21%,有相当一部分弯头的椭圆度在 9%~12%之间。

另外,实测数据表明,有不少管子弯头的减薄量达 23%~28%,小于直管的最小需要壁厚。因此,希望对弯管工艺加以适当的改进,以降低椭圆度和弯管减薄量,或者增加弯头的壁厚。

7. 异物堵塞管路

锅炉在长期运行中,锈蚀量较大,但因管径小,无法彻底清除,管内锈蚀物沉积在管子底部水平段或弯头处,造成过热而爆管。在过热器的爆管事故中,由于管内存在制造、安装或检修遗留物引起的事故也占相当的比例。如长春热电二厂 1 号炉因管路堵塞造成短时超温爆管。

8. 管材质量问题

钢材质量差。管子本身存在分层、夹渣等缺陷,运行时受温度和应力影响缺陷扩大而爆管。由于管材本身的质量不合格造成的爆破事故不像前述几个问题那么普遍,但在运行中也确实存在。

9. 错用钢材

如靖远电厂 4 号炉的制造、维修过程中,应该用合金钢的高温过热器出口联箱管座错用碳钢,使碳钢管座长期过热爆破。为此,在制造厂制造加工和电厂检修时应注意严格检查管材的质量,加以避免。

10. 安装质量问题

如扬州发电厂 DG-670/140-8 型固态排渣煤粉炉的包墙过热器未按照图纸要求施工,使管子排列、固定和膨胀间隙出现问题,从而导致爆管。这类问题在机组试运行期间更为多见。

1.3 调温装置设计不合理或不能正常工作

为确保锅炉的安全、经济运行,除设计计算应力求准确外,汽温调节也是很重要的一环。大容量电站锅炉的汽温调节方式较多,在实际运行中,由于调温装置原因带来的问题也较多,据有关部门调查,配 200MW 机组的锅炉 80%以上的再热蒸汽调温装置不能正常使用。

1. 减温水系统设计不合理

某些锅炉在喷水减温系统设计中，往往用一只喷水调节阀来调节一级喷水的总量，然后将喷水分别左右两个回路。这时，当左右侧的燃烧工况或汽温有较大偏差时，就无法用调整左右侧喷水量来平衡两侧的汽温。

2. 喷水减温器容量不合适

喷水式减温器一般设计喷水量约为锅炉额定蒸发量的 3%~5%，但配 200MW 机组的锅炉由于其汽温偏离设计值问题比较突出，许多电厂均发现喷水减温器容量不够。如：邢台电厂、沙角 A 电厂和通辽电厂等都将原减水管口放大，以满足调温需要；对再热蒸汽，由于大量喷水对机组运行的经济性影响较大，故设计时再热蒸汽的微量喷水一般都很小，或不用喷水。然而，在实际运行中，因再热器超温，有些电厂不得不用加大喷水量来解决。

3. 喷水减温器调节阀调节性能问题

喷水减温器的喷水调节阀的调节性能也是影响减温系统调温效果的因素之一。调研结果表明，许多国产阀门的调节性能比较差，且漏流严重，这在一定程度上影响了机组的可靠性和经济性。

4. 减温器发生故障

如巴陵石化公司动力厂 5 号炉，将减温器 I 级调节阀固定，用 II 级调节阀调节。因起主导作用的 I 级减温器减温水投入少，冷却屏式过热器、高温过热器的效果差，增加过热器超温的可能。

5. 再热器调节受热面

所谓再热器调节受热面是指用改变通过的蒸汽量来改变再热蒸汽的吸热量，从而达到调节再热汽温的一种附加受热面。苏制 Ef1670 / 140 型锅炉的再热汽温的调节就是利用这一装置实现的。但是由于运行时蒸汽的重量流速低于设计值，而锅炉负荷则高于设计值，因而马头电厂 5、6 号炉都曾发生再热器调节受热面管子过热超温事故，后经减少调节受热面面积和流通截面积，才解决了过热问题。

6. 挡板调温装置

采用烟气挡板调温装置的锅炉再热蒸汽温度问题要好于采用汽—汽热交换器的锅炉。挡板调温可改变烟气量的分配，较适合纯对流传热的再热蒸汽调温，但在烟气挡板的实际应用中也存在一些问题：

(1) 挡板开启不太灵活，有的电厂出现锈死现象；

(2) 再热器侧和过热器侧挡板开度较难匹配，挡板的最佳工作点也不易控制，运行人员操作不便，往往只要主蒸汽温度满足就不再调节。有些电厂还反映用调节挡板时，汽温变化滞后较为严重。