

# 燃气锅炉水冷壁爆管事故的原因分析与预防措施

王鹏

安阳钢铁股份有限公司

DOI:10.12238/jpm.v4i10.6286

**[摘要]** 本文主要分析了煤气成分变化对燃气锅炉运行的影响，通过一起燃气锅炉水冷壁爆管事故，强调燃气锅炉煤气成分的变化不能随意改变，并对于燃气锅炉的安全运行，提出了必要的安全措施。

**[关键词]** 燃气锅炉；水冷壁；安全运行

## Cause analysis and preventive measures of gas boiler

Wang Peng

(Anyang Iron & Steel Co., Ltd., Anyang, Henan Province)

**[Abstract]** This paper mainly analyzes the influence of gas composition change on the operation of gas boiler, emphasizes that the change of gas composition of gas boiler cannot be changed arbitrarily through a gas boiler water wall burst accident, and puts forward necessary safety measures for the safe operation of gas boiler.

**[Key words]** Gas boiler, water wall, safe operation

## 前言

当前，我国主要钢铁厂燃气锅炉的燃料均为生产冶炼过程中产生的煤气，其特点是投资维修成本低，操作与维护相对简单。在实际生产过程中，面对煤气富余量波动又非常大的现实情况，燃气锅炉作为煤气消耗的主要用户，必然要求有相当负荷的燃气锅炉做缓冲用户。而对于锅炉操作而言，负荷频繁变化对燃气锅炉稳定运行影响极大，给锅炉的安全运行带来很大的安全隐患。

## 1. 案例分析

### 1.1 事故经过

2023年1月3日鼓风作业区锅炉运行班组甲班当班，锅炉主汽压力9.38Mpa，主汽流量232t/h，给水量221t/h。21时27分10#锅炉炉膛突然正压671pa，锅炉上水量上涨至325.5t/h，

锅炉负荷降至206t/h，主汽压力降至9.1mpa，火焰不稳定，排烟温度降低，汽包水位降低，运行参数明显异常。操作室内听到10#锅炉方向有异常响声，初步判断方向为汽水系统泄漏。安排人员立即检查锅炉系统。发现锅炉底部有大量蒸汽冒出，检查至锅炉8米平台时发现炉膛内啸叫声明显，通过炉膛观火孔向炉膛内部查看发现，蒸汽大量泄漏。按照锅炉事故应急处置程序，立即组织解列10#锅炉。停炉后，组织人员对锅炉全面排查，发现燃烧器高温区前墙水冷壁3根管道爆管。

### 1.2 原因分析

#### 1.2.1 技术原因分析

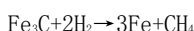
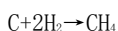
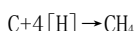
查看爆管水冷壁断口，发现周围内表层附着不同深度的氧化铁，氧化铁中包裹有Cu，内表层存在不同程度的沿晶裂纹。

为进一步消耗过剩的焦炉煤气，焦炉煤气经常由煤气管网

南三调节阀处串入转炉煤气系统中，特别在转煤气柜检修期间，转煤系统全部焦炉煤气，锅炉在使用转炉烧嘴时，煤气热值急剧升高，造成燃烧区水冷壁局部温度过高，加剧了管道内部结垢、腐蚀减薄、脆化爆管的发生。

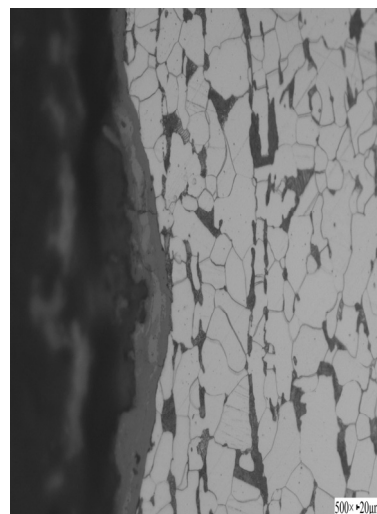
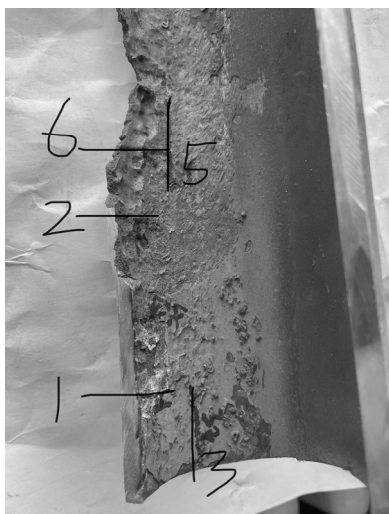
当水冷管壁温度升高至 400℃ 以上时，碳钢水冷壁管蒸汽侧会发生如下的反应： $3\text{Fe}+4\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{Fe}_3\text{O}_4+8[\text{H}]$

当生成的氢原子不能较快地被炉内气流带走时，氢原子就会进入管子基体，在高温环境下引起金相组织发生变化，使壁管表面发生脱碳并出现裂纹，造成氢腐蚀。氢与碳钢中的碳发生的反应如式下所示。



上述反应是单方向的向生成甲烷的方向进行，由于甲烷体积较大，不能溶于钢中或向外扩散，易在缝隙处积聚。当缝隙中的甲烷分子含量达到一定程度时，将会产生高达数千兆帕的局部高压，使缝隙处承受很大的应力。将水冷壁管切割后，在壁管的迎火面发现了大量由炉管内壁向外扩展的裂纹，这些裂纹几乎贯穿整个横截面并沿晶界扩展。这些裂纹降低了晶粒之间的结合力，造成了该处力学性能下降，水冷壁管发生爆管的直接原因就是发生了晶间腐蚀，造成壁管材料的有效壁厚减薄，在内外压的作用下，最终导致材料发生脆性开裂失效。

同时为了确保公司焦炉煤气不分散或少分散，10#锅炉焦炉煤气实际燃烧量超出了锅炉设计量（30%热负荷），造成锅炉内温度场发生变化，炉内部分区域局部过热，加剧了结垢腐蚀爆管的发生。



### 1.2.2 管理原因分析

爆管处为高温区域向火侧，该区域大量燃用焦炉煤气，提高了热负荷值，偏离了原设计，在长时间生产使用中造成管内壁局部过热，结垢腐蚀，对锅炉铁垢的形成及危害认识估计不足。同时在定期的锅炉内部检时，未能抽检到管壁材质有问题部位，没有在早期发现隐患。

在钢铁企业生产实际中，由于环保和节能的需要，燃气锅炉作为主要煤气消耗缓冲用户，为了平衡煤气系统官网压力，供给燃料高、焦、转煤气资源并不平衡，需要频繁调整高、焦、转三种煤气资源配比，由于三种煤气热值不同，锅炉负荷也需要频繁调整，进而使炉膛内热负荷变化大，造成水冷壁局部应力的形成，也是造成锅炉爆管的客观现实原因。

## 2.燃气锅炉水冷壁爆管的常见原因及预防措施

### 2.1 设计缺陷

锅炉水冷壁的设计缺陷是导致爆管现象的设计原因。例如，水冷壁的结构不合理、材质选用不当、厚度不足等都会影响其使用寿命。针对这些问题，可以采取以下预防措施：

①在设计阶段，对水冷壁的结构进行充分研究和论证，确保其布局合理、结构稳定；

②根据实际需求，选用合适的材质，选用耐腐蚀、耐高温的钢材；

③确保水冷壁的厚度满足设计要求，提高其承载能力。

### 2.2 制造缺陷

锅炉水冷壁的制造缺陷是导致爆管现象的制造原因。例

如，水冷壁加工工艺不当、安装质量差、材料质量不达标等都会影响水冷壁的使用寿命。针对这些问题，可以采取以下预防措施：

①在制造过程中，严格执行加工工艺要求，确保水冷壁的精度和稳定性；

②加强安装质量的监督和检验，确保水冷壁安装位置的准确性和稳固性；

③对材料进行严格的质量把关，从源头确保其符合设计要求和标准。

### 2.3 材料缺陷

材料问题是导致锅炉水冷壁爆管的质量管理原因。例如，材料选型不当、材料的加工工艺不合理、安装质量差等都会导致水冷壁出现裂纹、脱落等现象。针对这些问题可以采取以下预防措施：

①加强材料的加工工艺控制，根据实际需求合理选择材料；

②根据运行设计工况，选用具有良好抗氧化、耐腐蚀性的材料；

③加强安装质量控制，安装过程重视监督检验和确认到位。

### 2.4 高温腐蚀

高温腐蚀是导致锅炉水冷壁爆管的环境工况原因。高温腐蚀是指锅炉水冷壁在高温状态下与燃料中的硫、氮等元素发生化学反应，形成腐蚀物质，如硫酸盐、碳氮化物等，这些物质附着在水冷壁表面，加快了水冷壁的腐蚀速度。为预防高温腐蚀，可采取以下措施：

①采用低硫、低硝的燃料，减少腐蚀物质的产生；

②提高水冷壁材料的抗腐蚀性能，选用耐腐蚀的钢材；

③利用大修时机定期对水冷壁进行清洗，清除附着在壁管的腐蚀物质。

### 2.5 高温氧化

高温腐蚀是导致锅炉水冷壁爆管的另一重要环境工况原因。高温氧化是指锅炉水冷壁在高温状态下与氧气发生化学反应，生成氧化铁等物质，这些物质会附着在水冷壁表面，降低水冷壁的传热效率，同时也会造成水冷壁厚度减薄，易发生爆

管现象。为了预防高温氧化，可采取以下措施：

①提高水冷壁材料的抗氧化性能，选用耐氧化的钢材；

②降低水冷壁表面温度，避免长时间处于高温状态；

③对水冷壁进行热处理工艺，提高其抗高温氧化性能。

### 2.6 高温硫化

高温硫化是导致锅炉水冷壁爆管的重要环境工况原因。高温硫化是指锅炉水冷壁在高温状态下与燃料中的硫元素发生化学反应，生成硫化铁等物质，这些物质会附着在水冷壁表面，降低水冷壁的传热效率，同时也会造成水冷壁厚度减薄，易出现爆管现象。为预防高温硫化，可采取以下措施：

①对燃气燃料进行脱硫处理，去除其中的硫元素；

②对水冷壁进行防腐喷涂，减少硫化铁等物质的产生。

### 2.7 水质问题

水质问题也是影响锅炉水冷壁使用寿命的一个重要因素。水质处理不到位会导致炉管内结垢严重，从而使得水冷壁受热不均出现爆管现象。为了预防水质问题可以采取以下措施：

①选用合适的药剂进行炉水处理；

②定期进行炉水排放和检测化验确保炉水达到标准要求；

③对水质处理系统进行定期监测维护确保其正常运行。

### 2.8 运行不当

运行不当是导致锅炉水冷壁爆管的主要操作原因。例如，锅炉超温运行、缺水运行、受热不均等都会对水冷壁造成损伤。针对这些问题，可以采取以下预防措施：

①严格控制锅炉的运行温度，避免超温运行；

②加强锅炉水位监测，避免锅炉缺水运行；

③利用大修时间，定期对锅炉进行受热面清洗，确保受热均匀。

### [参考文献]

[1]李之光，梁耀东，张仲敏.锅炉工程强度[M].北京：中国标准出版社，2020，322-355.

[2]池作和编.锅炉安全技术[M].北京：中国质检出版社，2009，125-140.

[3]GB 6222-2005.工业企业煤气安全规程[S].北京：中国标准出版社，2006.