

石景山发电总厂 高压锅炉承压部件 事故及其预防措施

(1981年5月“锅炉、压力容器技术报告会”资料)

国家劳动总局锅炉压力容器安全监察局

一九八一年五月

前 言

石景山发电总厂高井发电厂设有高压锅炉8台，其中100表压540℃220吨/时4台，410吨/时3台，430吨/时1台。京西发电厂设有140表压540℃/540℃670吨/时超高压锅炉一台。

从78年3月到81年3月三年中，在这9台高压炉的承压部件上，共发生了下列事故：如表1

表1 石景山发电总厂高压锅炉承压

部件事故统计表

78年3月~81年3月

年	月 日	事 故	材料规格	主要原因
79	3/29	3 B第6号导汽管250 弯头裂纹漏泄	12CrMoV Ø133×10mm	弯头裂纹 已运行 119,000小时
79	11/20	5 B高温过热器热爆 管	12CrMoV Ø42×5mm	过热，已运行 88,753小时
79	7/4	京西1 B燃油器配风 箱右上角水冷壁鳍片 管漏	St 45, 8 Ø60×6-80	膨胀不畅，应 力集中断裂
80	9/29	1 B4号导汽管 裂纹漏泄	12CrMoV Ø133×10	管内壁有划 痕应力集中 裂纹

80	11/21	京研1 B 2号旋风筒 水冷壁管爆破	20 号钢 Ø50,8 ×5 mm	局部热负荷高 NaOH 腐蚀
81	3/26	7 B 高温过热器冷 炸管	钢研102 Ø42× 3, 5 mm	管子内壁纵向裂 纹已运行 63, 000 小时
		检修中发现的设备 损坏		
78	8 月	水冷壁高温区发现 4 6 根管子垢下腐 蚀	20 号钢 Ø60×5 mm	垢下腐蚀
78	8 月	减温器联箱封头裂 纹	12Cr1MoV Ø425× 50 mm	温差应力

表2 石景山发电总厂高压锅炉

承压部件障碍统计表 78年3月~81年3月

年	月日	障 碍	材料规格	主要原因
78	4/3	8 B省煤器联箱管座 焊口漏	20号钢 $\varnothing 32 \times 4 \text{ mm}$	管座焊口质量差
78	8/1	7 B高温省煤器联箱 管座厂家焊口漏	20号钢 $\varnothing 32 \times 4 \text{ mm}$	管座焊口质量差
80	11/6	6 B低温省煤器, 后 排右侧管子磨漏	20号钢 $\varnothing 32 \times 4 \text{ mm}$	飞灰磨损
80	7/2	京西1 B1号旋风筒 水冷壁焊口漏	20号钢 $\varnothing 50, 8 \times 5 \text{ mm}$	二次风筒钢板直接焊 在水冷壁管上, 运行 中因膨胀不畅而被拉 裂

根据以上发生的6次事故, 4次障碍, 还有多次临时检修, 大修中, 运行中发现的问题, 结合这些高压炉的历史情况, 扼要论述, 总结了下列八种事故:

- 一、BK₃-220/100 型锅炉前端水冷壁振动的消除
- 二、5号炉水冷壁垢下腐蚀
- 三、京西锅炉2号旋风筒水冷壁爆破事故分析
- 四、12Cr1MoV 高温过热器爆管
- 五、钢研102 过热器管内部裂纹
- 六、喷水减温器封头裂纹
- 七、顶棚过热器管下塌
- 八、12Cr1MoV 主蒸汽管道弯头裂纹的检查

以上事故，牵涉面广，问题复杂，本文从锅炉监察角度，论述事故原因及理论分析结论，把重点放在现场检查，处理及预防的具体措施上。

总厂的事故分析，是在总厂领导的主持下，由高井、京西发电厂，检修处，金属室，化验室，在华北电力试验研究所，西安热工研究所等单位的协助下，集体进行的。整理之中，难免有不当或错误之处，希望有关同志指正。

目 录	

* 一、BK ₃ -220/100型锅炉前墙水冷壁振动的消除.....	5*
* 二、5号炉(HG-410/100)水冷壁垢下腐蚀.....	6*
* 三、京西锅炉2号旋风筒水冷壁爆破事故分析.....	10*
* 四、120 _{TIM} OV高温过热器爆管.....	18*
* 五、钢研102过热器管内部裂纹.....	25*
* 六、喷水减温器管内部裂纹.....	27*
* 七、顶棚过热器管下塌.....	29*
* 八、120 _{TIM} OV主蒸汽管道弯头裂纹的检查.....	34*

石景山发电总厂 苏久唐工程师编著	

(此资料仅供参考)	

BK 3-220/100 型锅炉前墙水冷壁振动的消除

1978年春季安全大检查中，高井运行人员反映：1，2，3号炉前墙水冷壁振动，振幅达7~8 mm，最大振动发生在中间两屏水冷壁13.5 m以上部位，振幅约10 mm。运行中咔咔作响，运行人员巡回检查到那里就感到不安。

前墙水冷壁全高22.71 m，总宽10.48 m，由四屏水冷壁组成，每屏宽2353 mm，每2.6~2.8 m设一道加固梁，用12号工字钢加固，水冷壁管 $\varnothing 60 \times 5$ $S=64$ 。1，2号炉振动大，3号炉略轻。

1、2号炉分别于61年4月及12月投产，运行至78年春已17年，约13万小时。运行初期，水冷壁并无振动。

经检查13.5 m以上各档防振卡，特别是15.43 m，18.05 m及20.65 m各档滑槽下部严重磨损。滑槽也磨成平面，如图1，这样间隙过大，对水冷壁因燃烧等因素产生的振动，失去限制，因而产生了剧烈的振动。

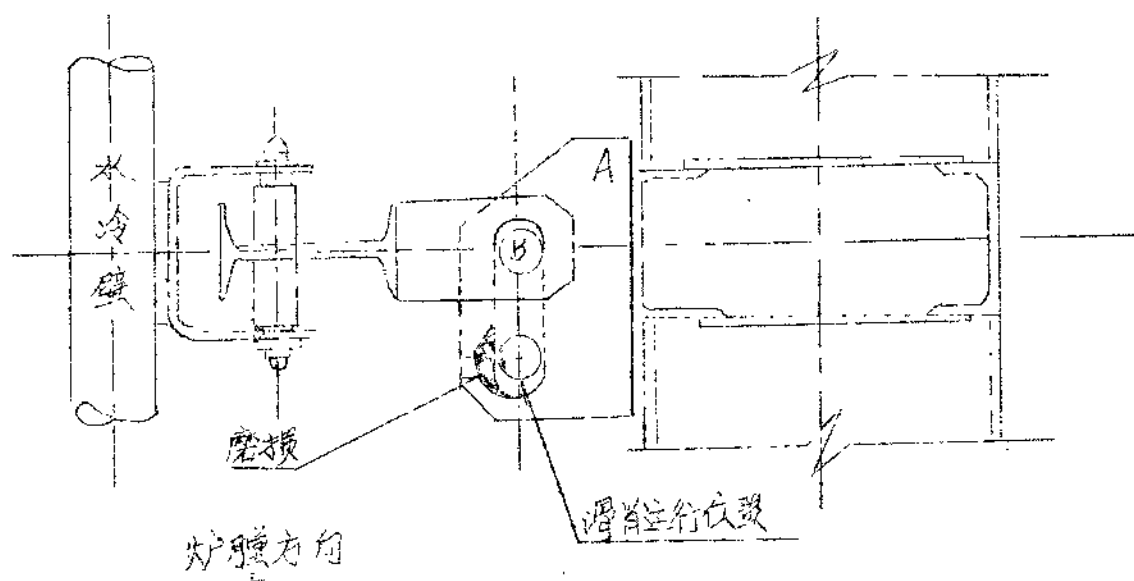


图1 水冷壁膨胀滑槽磨损示意图

将以上各档的热膨胀滑槽板A，及滑销B，更换了新的部件，水冷壁振动，基本消除。

二、5号炉(HG-410/100)水冷壁垢下腐蚀

由于3号机凝汽器铜管泄漏严重，一部份循环水带着铜盐等盐类进入复水，不合格的复水进入锅炉后，在炉膛热负荷高处(燃烧器部位)的弯管或焊口附近，积结水垢。给水中的少量铜也带入炉内，沉积在水垢中，管壁结垢后，温度上升，在水垢下产生了溃疡性的垢下腐蚀。

用超声波测厚仪检查，在前墙水冷壁共发现有腐蚀减薄坑的管子 44 根，后墙 2 根，左墙 16 根，右墙 14 根，共计 76 根。割下的 76 根管中，有 72 根管子存在有 81 处不同程度的腐蚀坑，点或片。腐蚀点的分布如下：（采用日本东京计器 U-T-M-20-B 型测厚仪，误差 $\pm 0.1\text{mm}$ ，测厚 $1\sim 200\text{mm}$ ）

腐蚀点的部位	腐蚀点的数目	占总腐蚀点的%
直 管	共 14 处，其中 3 处阴水， 一处裂纹	17.3%
弯 头	共 13 处，其中 2 处阴水	16.0%
碰焊口	共 54 处，其中 4 处阴水	66.7%

腐蚀部位发生在标高 9.5~15m 处，一般腐蚀坑深达 2~3mm，坑上有块状铁垢（ Fe_3O_4 ），高达 5~7mm，外面有一薄层水垢，厚约 1mm，水冷壁管 $\varnothing 60\times 5\text{mm}$ ，溃疡性垢下腐蚀的形状以右墙第 24 根标高 12.5m 为例，如图 2。

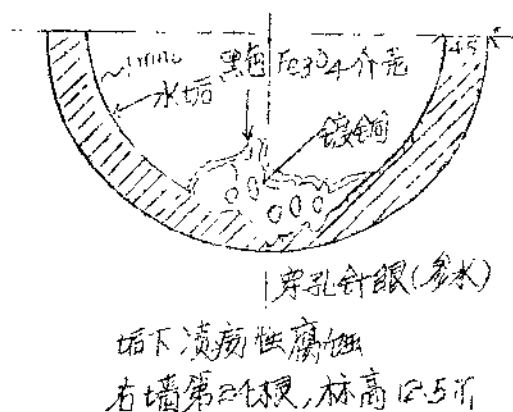


图 2 水冷壁管垢下腐蚀图

对水冷壁管的垢量和成分，进行了分析：

表1 水冷壁管垢量

水冷壁管位置		垢 量	浮垢量 g/m ²	硬垢量 g/m ²	总垢量 g/m ²
右 墙 第 24 根	标 高 12 米	向火侧 90° 弧形面	264	544	808
		背火侧 270° 弧形面	286	223	509
后 墙 第 203 根	标 高 10 米	向火侧 90° 弧形面	226	385	611
		背火侧 270° 弧形面	185.5	120.6	306.1

表2 水垢成分分析

右墙水冷壁管第24根, 标高12 m

分析项目	单位	向火侧 90° 弧形面	背火侧 270° 弧形面
水分	%	0.28	0.08
灼烧增量	%	0.75	3.35
盐酸不溶物	%	2.4	0.1
三氧化二物 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	%	61.5	37.5
氧化钙	%	20.5	21.0
氧化镁	%	9.06	12.68
氧化铜	%	3.0	20.0
五氧化二磷	%	9.79	17.34
硫酸酐	%	微	微

通过研究, 对5号炉垢下腐蚀的形成, 作了下列分析:

1. 3号机凝汽器漏泄, 影响给水硬度不合格, 使较多的水垢钙镁盐类, 进入锅炉。
2. 根据浓缩机理, 水垢较多地沉积在水冷壁热负荷较高区域, 标高9.5~15 m 向火侧, 这里的管壁温度约为 $317+60 \approx 377^\circ\text{C}$, 如结水垢1 mm, 则管壁温度可能达到 400°C 左右。
3. 在这个水冷壁热负荷高的部位, 存在着:
 - a. 大量的碰焊口, 碰焊口在管内壁形成了一个高1.5~2 mm 的环形台, 环形台在焊完道球时形成飞边, 容易

沉积水垢。

D. 由于前墙锅壳燃烧器的部位有大量的弯管，弯管不但使管壁减薄，也容易存积水垢。

4. 水垢形成后，管壁温度进一步升高，抗碱性腐蚀及铜铁电池腐蚀机理，形成溃疡性垢下腐蚀，直至穿孔。

修复及预防措施

修复：

1. 用超声波测厚仪测出了有腐蚀坑的管子，将这些管子更换了新管段（最长3000mm，最短200mm）。
2. 由于大修时间紧，对整个水冷壁采用静泡酸洗，为了增加酸液搅动，利用水冷壁下联箱加热装置，通入蒸汽，增加搅动能力，以促进腐蚀产物介壳的剥离。酸液温度维持60℃。酸洗共消除垢量约1545公斤（包括下联箱沉积物）
3. 3 G凝汽器更换了新铜管。

预防：

1. 建议锅炉制造厂，在水冷壁高温区，尽量不要布置焊口。
2. 高压炉焊口应全部采用氩弧焊封底，氩弧焊封底的焊口内壁较光滑。
3. 根据永定河水质，凝汽器应采用701铜管。

三、京西锅炉2号旋风筒水冷壁管爆破

事故分析及预防措施

（670吨/时，汽压14.0表压，汽温540/540℃）

事故过程

80年11月21日2时51分，主控制室值班人员听到锅炉房一声爆破响声，同时锅炉运行仪表指示异常：炉膛负压表指示到头，水位急剧下降，给水流量增到800吨/时，水位仍维持不住，值班人员到炉前检查，发现炉内向外喷蒸汽，2时53分，水位降到负300mm，司炉紧急停炉，2时54分汽机打闸紧急停机。

事故后检查

事故发生后，检查发现2号旋风筒右侧二次风口第一根水冷壁管靠弯管下的直管部份向火侧爆破，爆口位置距旋风筒顶部油咀1.5米处。

为了分析爆管原因，将爆破管和紧靠炸破管的第二根，第三根炉管，以及2号旋风筒左侧二次风口第一根炉管，3号旋风筒后侧二次风第一根爆管均进行了割管检查，检查结果：

1. 爆破管裸露在向火侧 120° 范围内的5排抓钉已经烧熔，抓钉长度普遍由18~20mm熔化变短为10mm，不少抓钉焊接咬边，个别部位由于咬边造成坑深达2.5mm。

2. 爆口长260mm，宽约120mm，爆口管壁减薄， $\phi 50.8 \times 5$ 个管子最小厚度为1.8mm，爆口附近管段无明显胀粗。

3. 爆破管内普遍呈黑色，基本上无附着物（附着物可能爆管时冲刷掉）紧挨爆破口以下的向火侧内壁之纵向有长约800mm，宽15mm的一条腐蚀带（沟槽）其表面有一层结构紧密的黑色磁性氧化铁，清除后发现这条腐蚀带是由密集的小坑连成片而形成的，坑深约0.5~4.5mm不等，直径为3~5mm，腐蚀坑表面有肉眼能观察到的横向、纵向裂纹，裂纹长度几mm到十几mm，并有铜沉

淀。如图3。

4。爆口附近向火侧的金属组织有珠光体轻度球化现象。距爆口0.5m处的金相组织为正常组织。

5。检查其它割下的水冷壁管，管内普遍附着一层灰色软垢，其垢量经测量如表3：

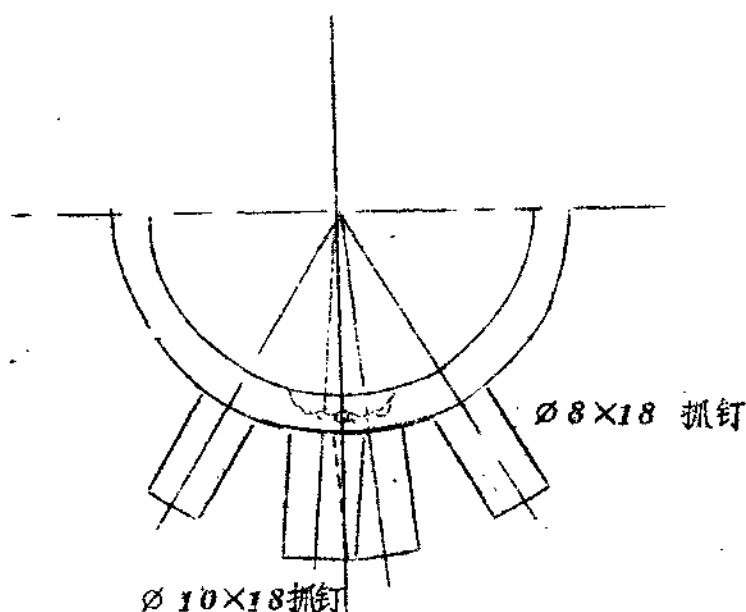


图3 腐蚀槽断面图

6。将水垢清除后，2号旋风筒第二根水冷壁管有大小不等的腐蚀坑，腐蚀坑表面也有肉眼能看到的裂纹，仅腐蚀坑未连成片，程度轻微而已。第三根水冷壁管腐蚀程度更轻，仅抓钉处有个别腐蚀坑及小裂纹。2号旋风筒右侧二次风处及3号旋风筒二次风处相同部位，则无腐蚀痕迹。

表3

割管检查部位	向火侧	背火侧
2号旋风筒第二根管与爆管相同部位	337 g/m ²	263 g/m ²
2号旋风筒第二根管与爆管相同部位下一米	280 g/m ²	186 g/m ²
2号旋风筒第三根与爆管相同部位	247 g/m ²	113 g/m ²
2号旋风筒第三根与爆管相同部位下一米	254 g/m ²	111 g/m ²
2号旋风筒左侧二次风口第一根管	260 g/m ²	162 g/m ²
3号旋风筒与2号旋风筒爆管相同部位	260 g/m ²	162 g/m ²

7. 腐蚀坑最深的部位，其外壁恰好是 $\phi 10$ mm大抓钉，而裂纹均发生在抓钉焊接点的边沿。

8. 炉管内水垢分析结果：

成份 部位	酸不溶物	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cu	P ₂ O ₅
	%	%	%	%	%	%
水冷壁内侧	1.34	28.96	14.25	14.61	9.87	23.10

Na	燃烧减量	
%	450°C	900°C
1.34	-0.02	-1.22

爆管原因的试验研究

超高压炉运行腐蚀包括化学及物理两种因素，而且互相影响是一个复杂的过程。

化学方面：

1. 统计分析了79~80年锅炉给水硬度, 78年底大修后, 连续7个月给水硬度保持在0, 合格率为98.1%, 79年8月到这次炸管, 凝汽器漏泄频繁, 给水硬度增大, 月平均合格率为73.1%, 80年11月仅为19%。

2. 79年8月以来, 由于凝汽器泄漏, 炉水经常出现游离NaOH, 如79年10月和80年11月, 炉水中出现游离碱的百分率达95.5~98.4%。

3. 由于凝汽器泄漏, 生水染污了给水, 进入锅炉后, 与磷酸三钠作用形成了钙镁磷酸盐软垢, 使炉管内沉积物沉积速度增高, 从78年10月至爆管, 仅两年多时间, 管内沉积物平均达到 $250\text{g}/\text{m}^2$, 年沉积速度约为 $125\text{g}/\text{m}^2$ 。

4. 进行了不同条件下的蒸汽含氢量试验:

蒸汽含氢量总平均值为3.14 微克/升, 低于允许值4 微克/升。

蒸汽含氢量随负荷增加而增大, 当负荷为15.2万瓩时, 含氢量为

3.16 微克/升, 当负荷增至18.7万瓩时, 含氢量为3.4 微克/升。

蒸汽含氢量随炉水游离碱浓度的提高而有所增加, 因而腐蚀加剧,

当游离碱为0.1 毫克当量/升时, 含氢量为3.21

腐蚀加剧; 当游离碱为0.38 毫克当量/升时, 含氢量为3.46。

停止联氨处理后, 蒸汽含氢量降低约0.17 微克/升。

物理方面;

1. 进行了炉膛温度测定, 在20万瓩时, 2号旋风筒温度达 1660°C , 而且温度梯度较大。

2. 进行了热负荷测定, 在20万瓩时, 旋风筒平均热负荷

为 $200 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}$ 。

3 • 进行了管壁温度测量，20万瓩时的测量结果如表4。

表 4

测 试 项 目	水冷壁号	#1	#2	#3	#4
水冷壁	水冷壁	水冷壁	水冷壁	水冷壁	水冷壁
实测管壁温度	°C	390	383	373	384
实测平均热负荷	Kcal/m ² h	200×10 ³	200×10 ³	200×10 ³	200×10 ³
按实测平均热负荷 计算壁温	°C	372.2	372.2	372.2	386
按实测壁温计算当 量热负荷	Kcal/m ² h	314×10 ³	269×10 ³	205×10 ³	191×10 ³
计算壁温与实测壁 温差	°C	17.8	10.8	0.8	2
采实测壁温计算当 量热负荷与平均热 负荷比		157%	134.5%	102.5%	95.5%

注: # 1, 2, 3, 水冷壁为割去抓钉管后, 新换之光管。