

反渗透阻垢剂阻垢性能评价方法的对比

杨 非

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川成都 610016)

摘 要:文章对静态阻垢法、电导率法、临界 pH 法和浊度法四种反渗透阻垢剂评价方法进行对比。实验结果证明,浊度法是实验室评价反渗透阻垢剂性能最适宜的方法,在使用浊度法的同时可考虑选用电导率法进行进一步验证。

关键词:反渗透;阻垢剂;浊度法;电导率法

中图分类号:TQ342

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)S2-130-02

水处理设备——反渗透装置自 20 世纪 80 年代中期起在我国火力发电厂中得到越来越广泛的应用^[1]。反渗透装置的结垢是一个比较难解决的问题,对这个问题的研究有助于该技术更好的推广和应用,目前评价反渗透阻垢剂的方法五花八门,很难区分并选择实施。笔者在查阅国内外大量文献资料 and 实际调研的基础上,采用静态阻垢法、电导率法、临界 PH 法和浊度法,通过对同类型的阻垢剂进行评定,来比较这四种评价方法的优劣,本次试验选用了五种 RO 阻垢剂(PWT Titan ASD 200/SC、美国汤纳公司 SJ-881、Flocon 260、King lee 和 WHRO,其编号分别为 RO-A、RO-B、RO-C、RO-D 和 RO-AE)进行阻垢试验研究。

1 阻垢性能试验

1.1 静态阻垢法

1) 试验方法:取一定体积的 NaHCO_3 水溶液做为试验用水,加入一定量的阻垢剂混匀,置于温度分别为 40℃、60℃、80℃ 的恒温水浴中保温一定时间后,用 EDTA 直接滴定法测定。反渗透装置的运行温度一般为 25~30℃,但是为了强化结垢的速度,本研究参考静态法标准改变了保温的温度和时间,阻垢剂的阻垢性能以 Ca^{2+} 稳定浓度 X(mg/L) 表示

2) 实验仪器:主要有双列六孔恒温水浴锅、50mL 滴定管、pHS-3CPH 计、电子天平,各种玻璃器具。

3) 实验结果及分析:根据表 1 中数据可知,随着温度升高,五种阻垢剂的阻垢效果是越来越差的,静态法在评价以上五种阻垢剂时存在一定的问题。特

别是在温度为 40℃ 时,滴定测得的钙离子浓度超过实验用水中钙离子浓度,在 60℃ 时,也有大部分钙离子浓度超过实验用水中钙离子浓度的情况。而且几次平行试验结果差距较大,没有可比性。因此可以看出使用实验室静态法存在准确性和重现性的问题^[2]。

表 1 静态阻垢法测试结果

温度	RO-A/X	RO-B/X	RO-C/X	RO-D/X	RO-E/X
40℃	242.5	286.4	308.5	313.7	306.1
60℃	231.5	273.5	284.3	238.8	238.8
80℃	142.6	133.6	140.7	109.9	121.3

1.2 电导率法

1) 试验方法:取一定体积的 CaCl_2 水溶液做为试验用水,加入一定量的阻垢剂混匀,置于恒温条件下搅拌,通过滴加促垢剂(Na_2CO_3 制备)来看各种阻垢剂在一定温度一定浓度下的阻垢效果。记录促垢剂的消耗体积,初始滴定时,溶液的电导率会逐渐上升,随着滴定的进行,则会出现短时间内电导率急剧下降、溶液浑浊的现象,如果记下此时消耗的体积继续滴定,溶液的电导率又会继续上升。体积越大,阻垢剂的阻垢性能越好^[3]。

2) 实验仪器:精密电导率表、恒温水浴、玻璃搅拌棒、1 000 mL 烧杯。

3) 实验结果及分析:根据图 1 可知,在初始阶段,随着 Na_2CO_3 溶液滴入,溶液的电导率呈线性增加,此时溶液中没有 CaCO_3 沉淀,随着 Na_2CO_3 溶液的继续滴加,溶液开始出现乳白色,电导率急剧下降,继续滴定,又出现了 Na_2CO_3 和电导率之间的线

性关系,且斜率较初始阶段大,溶液浑浊,有沉淀生成。通过电导率法得到三种阻垢剂的阻垢性能关系为:RO-C>RO-B>RO-D>RO-E>RO-A。

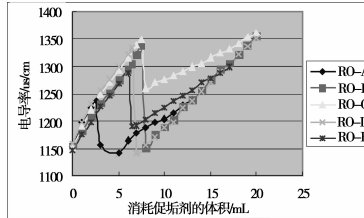


图1 电导率法测定阻垢剂的阻垢性能

1.3 临界PH法

1)实验方法:取一定体积 NaHCO₃ 的水溶液和一定体积 CaCl₂ 的水溶液作为试验用水,加入一定量的阻垢剂混匀,置于恒温条件下搅拌,通过滴加 NaOH 来看各种阻垢剂在一定温度一定浓度下的阻垢效果。记录促垢剂的消耗体积,初始滴定时,溶液的 pH 会逐渐上升,随着滴定的进行,则会出现短时间内 pH 急剧下降、溶液浑浊的现象,如果记下此时消耗的体积继续滴定,溶液的 pH 又会继续上升。体积越大,阻垢剂的阻垢性能越好^[4]。

2)实验仪器:电磁搅拌器、pH 计、F4 搅拌棒、250mL 烧杯、碱式滴定管。

3)试验结果和分析:根据图 2 可知,在一定温度及浓度情况下,RO-C 的阻垢效果是最好的,RO-A 的阻垢效果是最差的。在实验中,RO-B、RO-D、RO-E 的阻垢性能关系不明显,原因是这三种阻垢剂的阻垢效果接近,同时受阻垢剂本身 pH 影响,暴露在空气中,CO₂ 溶入,使测定值不易稳定。

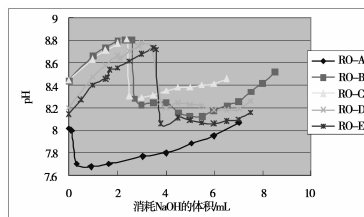


图2 临界 pH 法测阻垢剂的阻垢性能

1.4 浊度法

1)试验方法:取一定体积 NaHCO₃ 的水溶液作为试验用水,加入一定量的阻垢剂混匀,置于恒温条件下搅拌,通过滴加 (CaCl₂ 制备) 促垢剂来看各种阻垢剂的阻垢效果。记录促垢剂的消耗体积和对应的浊度,根据浊度变化绘制曲线^[5]。

2)试验仪器:浊度计、磁力搅拌器、各种玻璃器具。

3)试验结果和分析:根据图 3 可知,拐点对应着溶液开始出现沉淀的点,比较拐点对应的加药量和

出现沉淀后的浊度增加趋势,可评定各阻垢剂的阻垢效果。在一定温度和浓度下,RO-C 的阻垢效果是最好的,RO-A 的阻垢效果是最差的。而 RO-B、RO-D 和 RO-E 的阻垢性能关系很不明显,可能与取样量、搅拌时间和搅拌强度有关。

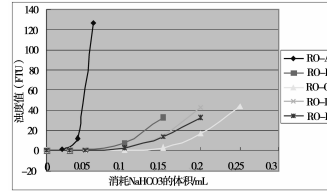


图3 浊度法测阻垢剂的阻垢性能

2 阻垢性能评价方法比较

根据上述分析和实验数据,以上四种评价反渗透阻垢剂的阻垢性能的方法中,静态法操作较为繁琐,滴定测 Ca²⁺ 的程序较多,容易受温度影响,误差较大,重现性较差,效果最差;浊度法操作最为简单,实验周期最短,影响评价结果的因素较多,导致偏差较小,重现性较好。临界 PH 法效果较好,但测定时间稍长,影响因素较多,测定值不易稳定,相对偏差较小。电导率法效果较好,但容易受空气中 CO₂ 影响,测定过程需密封,同时温度影响也很大,较难控制温度变化。

3 结论

由于反渗透装置的实际运行过程中 pH 通常不会很高,以及临界 pH 法测定过程的影响因素较多,所以如果想初步了解各反渗透阻垢剂的性能,从便捷的角度考虑,可先选用浊度法,就目前的几项实验结果分析,浊度法是实验室静态评价反渗透阻垢剂性能最适宜的方法,在使用电导率法的同时可考虑选用电导率法进行进一步验证。

参考文献:

[1] 冯逸仙,杨世纯. 反渗透水处理[D]. 北京:中国电力出版社,1997.

[2] 陈文瑾,李焱,曾祥钦. 静态阻垢法在阻垢剂研究中的改进[J]. 贵州工业大学学报, 1999,28(3):42-47

[2] Drelal Falewicz P, Kuczkowska S. A New Rapid Test for Evaluation of scale Inhibitors[J]. Wat. Res, 1998, 32(10):3 188-3191

[3] 张青,吴文辉. 临界 pH 在阻垢剂研究中的应用[J]. 工业水处理,1997,17(1):33-35.

[5] 周柏青,徐厚道,李芹,李志军,等. 反渗透专用阻垢剂的评价技术[J]. 华北电力技术,2005(4):43-45.

200 MW 等级及以下循环流化床锅炉煤仓防爆措施分析

张艺曼

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川成都 610016)

摘要:结合火力发电厂运行状况,分析了储煤仓的爆炸危险因素,并提出具体的预防及应对措施,对 200MW 等级及以下循环流化床锅炉煤仓防爆工作有较好的参考价值。

关键词:煤仓;自燃;爆炸;惰化系统

中图分类号:TK229

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)S2-132-02

对火力发电厂而言,煤仓是不可或缺的。但采用煤仓储煤存在一些问题,其中最严重的就是煤仓爆炸问题。

当煤仓储存自燃倾向性高的煤种时,发生自燃甚至爆炸的可能性更大。本文介绍了印度尼西亚苏门答腊 2×150 MW SUMSEL(苏姆赛尔)-5 坑口燃煤电站工程预防煤仓爆炸的一些措施。

1 煤仓爆炸危险因素分析

1.1 煤的种类

煤种的挥发分含量是区分煤的类别的主要指标。挥发分对煤粉系统爆炸又起着决定因素。当干燥无灰基挥发分 $V_{daf} > 19\%$ 时,就有可能引起煤粉系统的爆炸。因煤的导热系数较小,热量向四周扩散较慢,热量聚集在煤堆内部温度升高,而挥发分的析出与温度有关,温度越高挥发分越容易被析出,煤粉着火时间越短,越能引起煤粉混合物的爆炸。

1.2 易燃易爆气体

储煤在自然过程中不仅释放热量,而且会释放出含量不等的易燃易爆气体,如 CO 、 C_2H_2 等,当可燃气体浓度逐渐增大,当煤仓内温度、氧量达到一定值后,煤仓内的煤极易发生自燃甚至引发爆炸。

1.3 煤仓堵煤

若煤的水分较高,以及煤斗自身结构的原因,煤仓有可能出现挂煤,堵煤等现象,煤在仓内滞留时间过长,长期积聚升温,有可能导致煤炭自燃,产生点火源,容易导致爆炸。

1.4 爆炸性粉尘

若煤在储运过程中没有采取有效的降尘处理措施,致使煤仓中含有大量的煤尘,若悬浮煤尘的浓度达到爆炸极限浓度并且遇到火源,则极易发生爆炸。

印尼工程的设计煤种为褐煤,干燥无灰基挥发分

$V_{daf} = 54.23\%$,水分 $M_t = 44.48\%$,挥发分含量较高易自燃,水分较高容易引起煤仓的挂煤或堵煤,使煤在仓内长期滞留,也增大了煤自燃以及遇到火源爆炸的可能性。

2 煤仓爆炸危险的预防措施

一旦发生煤仓爆炸,极易造成人身伤亡和财产损失,延误生产。根据以上分析并结合印尼工程的实际情况,现提出如下措施以预防煤仓爆炸事故的发生,保证电厂的安全稳定运行。

2.1 解决煤仓堵煤

设计煤仓的结构时,通过下部内衬钢板,增加落煤口的数量及尺寸,增大煤仓壁与水平面的夹角,外壁加装仓壁振打器,以及适当增大煤粉粒度,煤场设置干燥棚,加强运行操作的管理等措施,来尽可能的减少煤仓内挂煤或堵煤。如果锅炉停运时间较长,在停炉前尽量把煤仓的煤烧空,或者放空以免煤仓内的长时间不流动而板结、搭桥,避免煤因为长时间堆积释放热量和易燃易爆气体。

2.2 煤仓间设置除尘器

在煤仓上部的给煤层平台设置除尘器,吸附运煤带式输送机上的犁煤器由落煤口向煤仓犁煤时扬起的粉尘,降低空气中粉尘的浓度,也可以排除煤仓上部聚集的可燃气体,从而进一步减少爆炸的可能性。

2.3 温度以及 CO 和 CO_2 的监测

在煤仓上设置煤粉温度测量装置,该工程由于煤仓结构的特殊性,每一个煤仓设置了 6 个温度测点,温度测点信号引至 DCS;另外因为本工程燃用的是挥发分高和自燃倾向高的褐煤,所以煤仓上还设置了煤仓 CO 分析仪。此分析仪采用原装进口,在线抽取式、双传感器、一对一检测的分析系统,检测方式采用电化学方法,分析系统同时检测 CO 和 CO_2 两种参数,分析系统模拟量信号进入 DCS 实现 CO 和 CO_2 的监

视,其报警接点(无源干接点)进入火灾报警系统报警,并由火灾报警系统去联动相关的设备。

2.4 防爆系统的设计

当 CO 和 CO₂ 浓度超过报警值后,煤和制粉系统一般有三种常规防爆设计方式:

1) 灭火系统:在煤仓的上部设置灭火介质引入管接口的固定接口这些灭火介质应向煤仓的上部、以平行于煤粉仓顶盖的分散气流方式引入,以避免煤粉飞扬。灭火介质可采用二氧化碳气体、氮气、烟气、水或压力不高于设备允许的微过热水蒸气,当灭火介质采用蒸汽时,接入管道应有疏水措施;灭火介质采用二氧化碳时,应有避免出现干冰的措施。但是二氧化碳灭火系统因为造价较高,一般用在 300 MW 及以上的机组。

灭火系统属于事故措施,当系统内出现火源时及时扑灭。

2) 惰化系统:在煤仓上部引入管固定接口通入惰性介质进行惰化时,惰性介质可采用二氧化碳气体、氮气或烟气。灭火介质可与惰性介质相同(除水蒸气外),也可采用不同的介质。如果采用的介质相同,惰化和灭火系统可以合并。

惰化系统属于预防及事故措施,在系统启停或者断煤、着火时进行惰化,避免发生爆炸。

3) 惰性氛围系统:对按惰性氛围设计的系统应设置灭火系统和惰化系统,可以理解为灭火系统和惰化系统为按惰性氛围系统设计的必要措施和条件。为保证惰性氛围因故障失效时系统可靠,此系统内必灭火系统与维持惰性氛围的系统应独立设置。此系统多用于煤粉炉系统中的高水分褐煤风扇磨系统

惰性气氛系统必须连续正常运行。按惰性氛围设计的系统、惰化系统、灭火系统的共同点在于在系统内均通入了惰性不燃烧气体,降低了可燃气体浓度,达到防火防爆。其区别可看作根据煤质情况和制粉系统类型是对系统的三个保护等级,最高级为按惰性氛围设计的系统,中间级为系统内设置惰化系统,而基础级为系统中设置的灭火系统。

4) 工程上的实际应用:针对印度尼西亚苏门答腊 2×150 MW SUMSEL(苏姆赛尔)-5 坑口燃煤电站工程设计时,由于该工程属于 200 MW 以下等级,且是燃用褐煤的循环硫化床锅炉,从电厂安全稳定运行,实用性,适用性以及经济性考虑,我们采用了惰化系统,惰化介质采用氮气,当煤仓内监测到的氧浓度超过一定值后,启动氮气注入煤仓,达到降低氧浓度,预防自燃或者爆炸事故的发生。

惰化系统组件设置:供氮装置、氧浓度探测器、控制组件(在达到氧浓度高、低报警值时,系统响应报警)及氮气管道。

该工程供氮装置是由两组氮气瓶组成供氮气源(氮气瓶组放置在给煤层,周围环境通风良好,避免了使用氮气的危险),通过管路输送至煤仓上部的固定接口,氮气瓶组上端集流管设有阀门,当出现报警信号时实现惰化系统的启停,系统的具体设计详见图 1。

惰化系统参数设计要求及管道布置的要求:

1) 供氮压力不应小于 0.3 MPa;

2) 采用管网系统时;管道应对称布置,穿墙或楼板应加设套管,穿楼板顶部应高出装饰地面 20 mm,套管与管道之间的缝隙应采用不燃烧材料填塞密实;

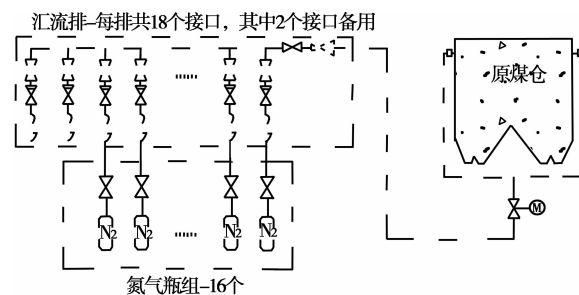


图 1 惰化系统的设计图

3) 接至每场固定接口终端管径不应小于 20 mm,注入数量不应少于 2 个;

惰化系统的调试应按下列规定进行:

4) 供氮装置启动后,应在 60 min 内达到氮气浓度指标;

5) 控制组件的氧浓度上限值应设定在 16.0%,氧浓度下限值应设在 14.0%(此值为人员暂时逗留且通风良好场所设置的数值);

惰化系统维护管理要求:

1) 每月检查一次惰化系统装置的完好状况;

2) 每年检查一次当达到氧浓度极限值火灾报警系统的联动情况;

3) 每年检查一次氧浓度探测器,更换探头机器易损部件。

3 结 论

本文从多个方面分析了煤仓爆炸的危险因素,并提出了具体的预防措施,尤其是对煤仓设置了惰化系统,不仅从危险的源头就做出了应对措施,一旦煤粉发生自燃或者煤仓内着火,还起到灭火系统的作用,所以采用惰化系统不失为一个有效的措施。

参考文献:

- [1] 张百练,宋存义. 储煤筒仓系统爆炸危险因素分析[J]. 工业安全与环保,2005,31(8):29-30.
- [2] 裴丽萍. 燃煤处理系统煤仓/煤斗的消防保护设计[J]. 消防科学与技术,2009,28(7):508-510.
- [3] 杨国光. 锅炉制粉系统爆燃事故处理及预防办法[J]. 宁夏工程技术,2012,28(1):45-46.

中国首台 65MW 超高压中间再热发电机组在钢厂的应用

徐永松

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川成都 610016)

摘要:结合唐山建龙钢厂煤气平衡,确定及论证了 65MW 超高压中间再热发电机组的可行性。研发制造国内首台 65MW 超高压中间再热汽轮机,设计完成整个工程的系统、布置、设备选型及煤气发电技术相关工作。机组成功发电,经济性指标和节能减排指标各项参数优越领先,对钢厂煤气发电产生深远影响,65MW 超高压中间再热发电机组在钢厂煤气发电中应用前景广阔。

关键词:国内首台;超高压中间再热;煤气发电;节能减排

中图分类号:U224

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)S2-134-06

1 项目背景

2011 年以来,钢铁产能过剩和市场之间的矛盾困扰着整个钢铁行业。寻找新的经济增长点,调整企业的产业结构,成为当务之急。同时为了更好地落实国家节能减排大政方针,将钢厂富裕的高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气尽可能的全部利用,建设燃烧煤气的发电机组,具有节约能源、改善环境、增加电力供应等综合效益。

2 机组参数及方案论证

2.1 装机方案论证

国内钢厂煤气综合利用燃气发电机组采用的主要参数有中温中压(温度 450°C,压力 3.82 MPa)和高温高压(温度 540°C,压力 9.81 MPa)两种。综合唐山建龙企业各车间煤气产生量及煤气利用情况,全厂煤气平衡后富裕量折合高炉煤气约 19.43 万 m³/h。初步确定装机规模约为 50 MW 级别,提出了进行研究采用超高压中间再热机组方案的可行性。

前期委托西安交通大学作了《50 MW 高炉煤气中间再热发电机组技术方案研究》专题论证,结果如下表。

表 1 机组技术经济分析

类别	高压 机组	超高压 机组	备注
高炉煤气小时耗量	19.43 万(Nm ³ /h)		按 770kcal/Nm ³
高炉煤气设计 单耗(Nm ³ /kwh)		3.5	3
出力(MW)	55	65	出力增加 10MW
发电效率%	31.91	37.22	
年发电量 (×10 ⁸ kwh)	4.4	5.2	多发电 0.8 ×10 ⁸ kwh
年供电量 (×10 ⁸ kwh)	4.1	4.85	多供电 0.75 ×10 ⁸ kwh
年供电收入 (0.55/kwh)万元	22550	26675	
总投资万元	16500	24000	
年发电成本万元	7500	7800	发电成本增 加 300 万元
投资利息(万元)	5000	6000	
年税后现金流 (0.55/kwh)万元	21000	24800	年供电收 入 ×0.93
年利润万元	13500	17000	税后利润增 收 0.35 亿元
回收期(含建 设期)	32 月	34 月	建设期均 约 13 月

收稿日期:2014-10-10

作者简介:徐永松(1980-),男,硕士,主要从事热力系统设计研究,(E-mail)xuyongsong624@126.com。

论证表明,该项目采用 65MW 超高压中间再热机组技术经济优势明显。

2.2 机组参数的确定

在确定机组等级的前提下,汽机厂根据富余煤气体量具体比较了 65MW 出力的各机型的相关参数情况,最终确定机组的进气参数及通流级数,给水回热级数及温度等参数值。

表 2 几种 65MW 机组热力性能数据比较

项目	单位	传统 65MW	传统 65MW	再热 65MW
机组型式		高温高压 单轴单缸 冲动凝汽 式	高温超高压 单轴单缸 冲动凝汽 式	高温超高压 一次再热 单轴单缸 冲动凝汽 式
主汽压力	MPa	8.83	13.2	13.2
主汽温度	℃	535	538	538
主汽流量	t/h	245.0	243.35	200.5
再热温度	℃	/	/	538
排汽压力	kPa	4.9	4.9	4.9
给水回热级数	H+D+L	2+1+3	2+1+3	2+1+3
给水温度	℃	240.2	237.5	248.5
电功率	MW	65	65	65
计算汽耗	kg/kWh	3.769	3.743	3.084
计算热耗	kJ/kWh	9180.2	9017.6	8409.0
循环效率	%	39.2	39.9	42.8
通流级数		I+20	I+21	高压: I+8 低压:14

由上表可见,在主要热力性能指标上,65MW 再热机组与传统高温高压参数 65MW 机组相比,汽耗减少 18.2%,热耗减少 8.4%,循环效率提高 9.2%在国家大力推进节能减排工作的大环境下,具有较高的市场竞争力。

该机组性能参数:主蒸汽压力为 13.2 MPa,温度 538℃,主蒸汽额定进气量为 200.5 t/h;再热蒸汽压力 2.7 MPa,温度 538℃,背压 4.9 kPa,计算热耗为 8409 kJ/kWh。

根据汽机参数则相应的锅炉相匹配数据如下锅炉技术表。

表 3 锅炉技术参数

项目	单位	BMCR (VWO)	BECR (THA)
锅炉蒸发量	t/h	220	200.5

续表 3

主蒸汽出口 蒸汽压力	MPa	13.7	13.7
主蒸汽出口 蒸汽温度	℃	545	545
再热蒸汽流量	t/h	174.3	161.1
再热器进口 蒸汽压力	MPa	2.742	2.532
再热器出口 蒸汽压力	MPa	2.467	2.279
再热器进口 蒸汽温度	℃	338.1	330.3
再热器出口 蒸汽温度	℃	545	545
省煤器进口 给水温度	℃	253.8	248.6

3 65MW 超高压中间再热机组汽轮机设计制造研究

3.1 主机方案设计

该项目进汽参数高、经济性高,额定工况保证热耗约为 8 450 kJ/kW·h。在已有的 50 MW 等级纯凝高温高压非再热单缸机组以及 135 MW 和 200 MW 等级再热机组基础上,缸体、汽封系统、通流等方面全新设计,在保证经济性高的同时,保证机组安全可靠性及结构通用性,力求结构简单可靠、降低生产制造成本及土建成本,使其具备较高的市场竞争能力。在此重点介绍单、双缸选择设计及机组汽封系统设计。

1) 单、双缸体选择设计

从机组热耗、工质损失方面考虑,单缸机组,调节级后漏汽全部经由过桥汽封进入中低压缸做功,无工质损失;双缸机组则会增加高压缸前汽封漏汽和中低压缸前汽封漏汽(图 1),造成工质损失,降低机组出力。先综合比较在相同进汽量前提下,比较机组出力大小。

	进汽量(t·h ⁻¹)	出力/kW	热耗(kJ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)
单缸	200.5	65 000	8 409
双缸	200.5	64 500	8 488

从上表可以看出,选择单缸机组,优势明显。

2) 汽封系统设计

通过模拟比较,迷宫式汽封图 2 齿间距、形状和凸台的位置直接影响汽封的泄漏量。蜂窝式汽封(图 3)较常规的高低齿汽封漏汽量,减少约 30%,此机组汽封将设计成蜂窝式的自密封系统。

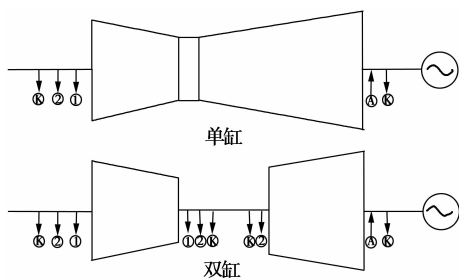


图 1 单双缸比较图

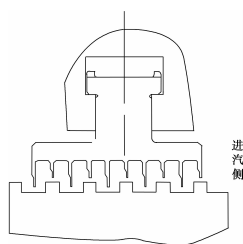


图 2 高低齿迷宫式

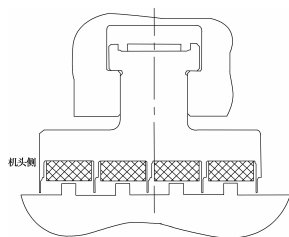


图 3 蜂窝式汽封

3.2 高参数小容积流量下,通流优化设计

在成熟机型 135MW 的设计制造基础上利用优化可控涡技术、优化焓降、光滑子午流道技术、分流叶栅技术、阻尼叶片振动分析及转子寿命预估技术、新开发的先进末级叶片等技术对汽轮机的通流全面优化设计,提高机组效率,节能降耗效果明显。高旁容量按 30% 的锅炉连续最大蒸发量考虑,作为启动旁路。

3.3 主机主体结构

该项目采用单缸结构。汽缸由前汽缸、中汽缸、后汽缸三部分通过垂直法兰连接。汽缸高压部分设计为双层缸结构,中低压部分采用单层缸+隔板套结构。前汽缸内、外缸材料均为合金铸钢。前部双层缸内外缸之间设置有合理的滑销系统和支承系统,以保证内外缸间顺畅膨胀并保持中心不变。汽缸高压主进汽和再热进汽口均设置在通流中部靠前,其中主汽进汽内外缸间设置了活塞环式进汽管结构,该结构紧凑,可靠性高,同时满足内外缸相对热胀。高压通流部分设计为反向流动,中低压通流为正向流动,高压

和中压进汽口紧邻,布置在前汽缸中部,考虑到该项目相对于常规高温高压 65MW 凝汽式机组热膨胀量较大,则本机适当放大动静轴向间隙,中低压隔板汽封达到 8 mm 左右。机组转子采用全整锻结构,分段热处理,满足转子同时具有高温性能和低温性能。

高压主汽调节联合阀独立布置在机组的前端,新蒸汽通过两个主汽阀经四个调节阀后,由 4 根主汽管导入汽缸前部做功。再热中联门由于管子较大,有害容积很大,故布置在靠近汽缸左右两侧。

依托项目,此机组是国内首台 65MW 等级超高压、一次再热、单缸(前部高压缸为双层缸)、凝汽式汽轮机,是独立自主、创新开发研制的并具有知识产权的产品。机组主要技术特点及视图 4、图 5 总结如下:型号,N65-13.2/538/538;型式,超高压、高温、单缸(前部高压缸为双层缸)、冲动、凝汽式汽轮机;额定功率,65MW;额定主蒸汽参数,13.2MPa/538℃。流量 200.5t/h;额定再热汽参数,2.27MPa/538℃;额定背压,4.9kPa;回热系统,六级;配汽方式,喷嘴配汽;额定转速,3 000r/min(顺时针);调节系统,高压电液数字控制系统;转子临界转速(单跨计算值),汽轮机一阶 1 679r/min、汽轮机二阶 4000r/mi;通流级数,高压为 1 调节级+8 压力级、再热后低压为 14 压力级,共 23 级;末级动叶片高度,736.6mm;额定工况保证热耗,8450kJ/kW.h;本体总重约 210T。

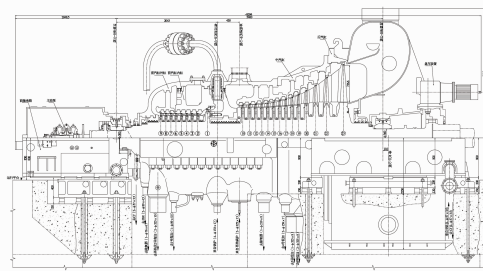


图 4 汽轮机纵剖面图

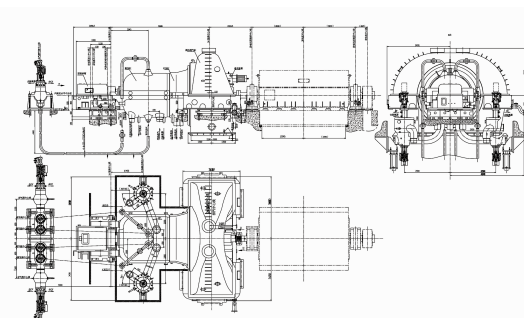


图 5 汽轮机外形及接口图

4 电厂主厂房布置优化及辅机选型设计

国内首台 65MW 超高压再热机组在布置上没有可以借鉴的工程实例,需要从汽机的外形尺寸及辅助设备,考虑允许通道和布置管道合理性,结合主厂房总体规划和大荷载等很多因素,综合确定汽机房长度及跨度,除氧间长度及跨度,以及机炉间距等许多布置重难点内容,主厂房布置尺寸为:

项 目	单 位	数 据
柱距	m	7.5
跨度(A~B)	m	22
长度	m	45
汽轮发电机中心线距 A 列柱距离	m	9.5
汽 中 间 层 标 高	m	4.5
机 运 转 层 标 高	m	8
房 行 车 轨 顶 标 高	m	17.7(暂定)
屋 顶 下 悬 标 高	m	21
行 车	/	50/10t 跨度 20.5m
汽 机 房 零 米 检 修 场	/	柱 6、7 之 间 7.5m 跨度
长 度	m	45
除 宽 度	m	9
氧 中 间 层 标 高	m	4.5
间 运 转 层 标 高	m	8
除 氧 层 标 高	m	13
炉 前 深 度 (C~K1)	m	5
锅 炉 柱 网 深 度 (K1~K4)	m	18.8
锅 炉 柱 网 宽 度	m	19.4
集 控 控 制 室 及 机 组 控 制 方 式	/	一 个 控 制 室
室 布 置 位 置	/	运 转 层 B、C 间

煤气负荷波动比较大是钢厂煤气发电的一大特点,因此在选择辅助设备时,在确定其基本出力和运行控制方式的基础上要考虑运行过程对负荷波动的调节和适应。

锅炉电动调速给水泵及送风机是辅机设备的重要设备,对机组运行调节起关键性作用,给水泵调节方式有液力耦合器调节和变频调节,变频调节对负荷波动适应性更好,汽包水位调节更灵敏。送风机同样采用变频调节,投资有所增大,从技术和运行效率上选择变频调节更加合理。凝结水泵是将凝结水送至除氧器,同时兼具调节除氧器水位功能,两台凝

结水泵,一运一备,从技术和经济上考虑,确定选一台变频凝结水泵,一台工频凝结水泵。锅炉送风机也是选择变频调节方式。

鉴于煤气发电的燃料,有毒,易燃,易爆的特点,根据《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》,在防爆范围内设备的电机,要考虑到防爆,在设备选型要求里应注明防爆要求及等级。

5 钢厂煤气发电技术研究

5.1 煤气系统设计

煤气中主要的可燃物是一氧化碳 CO、氢气 H₂ 和甲烷 CH₄,高炉煤气及转炉煤气热值较低,焦炉煤气热值相对较高,由于钢厂高炉、焦炉、转炉煤气产量波动较大,为了提高机组运行的经济性,将三种煤气按照一定比例进行掺烧。

与普通燃煤机组相比,燃气机组增加了燃气管道系统,因此,如何设计出一套安全可靠的燃气供应输配系统是本工程的关键之一,下面对整个煤气管网系统设计进行介绍。

为了满足关断和调节需要,厂区煤气主管道上依次设有电动蝶阀、电动插板阀、气动快关阀、气动调节阀。图 6 中,电动插板阀与电动蝶阀组合使用可视为可靠的隔断装置。

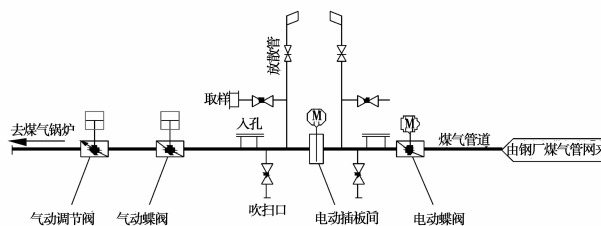


图 6 厂区煤气管道系统

当锅炉停运时,电动插板阀关闭,钢厂来煤气被切断,存积在煤气管道中的煤气需要放散和置换,因此在电动插板阀两边分别设置了放散管。根据规范要求,厂房内或距厂房 20 m 内的煤气管道上的放散管高度应高出房顶 4 m。厂房很高而放散管又不经常使用,其管口高度可适当减低,但应高出煤气管道、设备或平台 4 m 以上。距厂房 20 m 外的煤气管道上的放散管高度应高出操作平台 4 m。煤气放散管应分别设置,严禁将两个或多个放散管连通,集中放散处理除外。由于放散立管高出平台很多,需要用钢丝绳进行固定。

图 7 为锅炉房内煤气管道系统图,煤气锅炉采用四角切圆燃烧方式,燃烧器共分 4 层,共计 16 个

燃烧器。燃烧器接入处各层煤气支管上,分别设有气动调节阀、气动快关阀,其中,两气动快关阀间应设置放散管。煤气阀门不宜采用截止阀,大于或等于 DN500 煤气管道的阀门宜采用蝶阀,并采用金属硬密封及偏心结构。

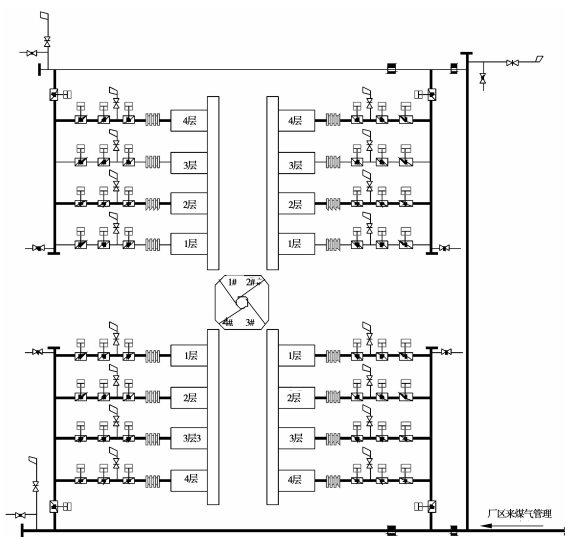


图 7 锅炉房内煤气管道系统

为了在锅炉停运时置换管道中的煤气,在四角下降立管底部设有氮气吹扫接头,管接头上设有手动球阀。为防止煤气窜入氮气管内,只有在吹扫时才能把氮气管与煤气管连通,停用时应断开。吹扫时煤气管道内压力不得超过管道设计压力,吹扫氮气流速不宜小于 20 m/s,见图 8。

由于钢厂来煤气管道中含有水分,输送过程中温度降低会凝析出冷凝水,冷凝水给煤气输送带来不利影响,为保证煤气管道畅通运行且减小腐蚀,厂区长距离煤气管道需要设置冷凝水排水器。冷凝水排水器有立式和卧式两种,卧式水封排水器不耐击穿,因此只用于靠近有调压、放散等稳压设施附近,在本工程应用中选用了排水口无煤气泄漏的安全型水封排水器,见图 9。

煤气压力 P 进入第一室水封后,在第一室水面以上空间形成 P_1 的压力,当 P_1 压力不足以突破第二室水封高度时,形成以下压力平衡:

第一室煤气压力: $P = H + P_1$; 第二室: $P_1 = (H - h) + P_0$ (P_0 为大气压力); 则当 $P < H + H - h = 2H - h$ 时,排水器安全正常运行。

水封排水器是煤气管道运行中最容易出现隐患的部位见图 10。因水封排水器本体腐蚀缺水,水封有效高度不够或煤气压力异常剧增等原因,导致水封击穿,造成煤气大量外溢的现象时有发生,因此水

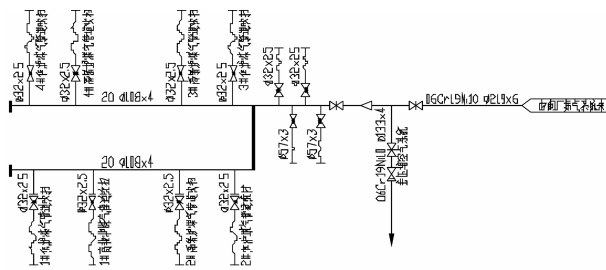


图 8 吹扫用氮气管道系统

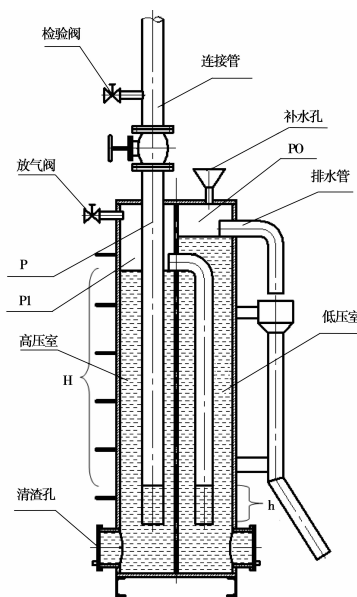


图 9 立式防泄漏型水封排水器

封排水器应定期检查、疏通。

采用无坡度敷设的煤气主干管道排水器的距离宜为 100~150 m,有坡度敷设的煤气管道低点应设排水器。不同的煤气管道或

同一条煤气管道隔断装置的两侧,其排水器应分别设置。严禁将两个或多个排水器上部的排水管连通。排水器可设在露天,但寒冷地区应采取防冻措施;设在室内的,应有良好的自然通风。高炉、转炉煤气水封排水可直排厂区雨水管;焦炉煤气由于含焦油、苯类、酚类,水封排水不能直排,要设置集水坑,定期集中处理。

5.2 设备选型注意事项

煤气锅炉发电设计初期,业主应提供电厂建成后可能的煤气配比,煤气掺烧比例不同,煤气耗量就不同,燃烧所需的风量及产生的烟气量也不同,如煤气配比提供不准确,会对设备选型影响很大。因此,在设备选型时,选型裕量宜比常规燃煤机组稍大。

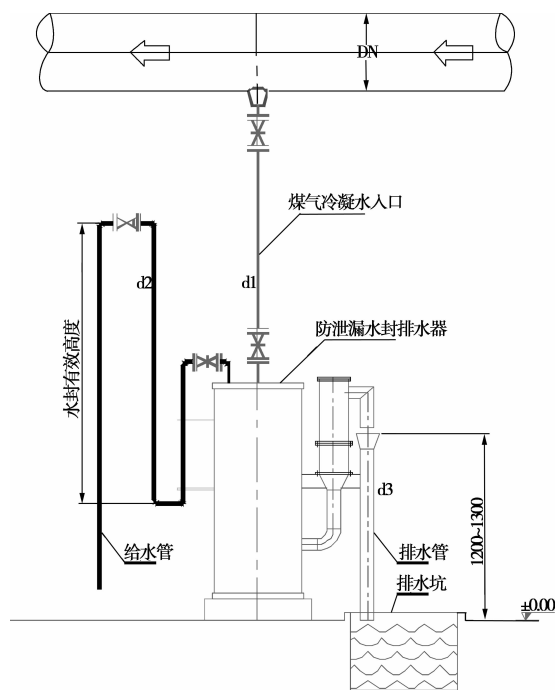


图 10 厂区煤气管道水封排水器布置

6 项目创新点及技术先进性

- 1) 国内首台 65MW 超高压中间再热凝汽式汽轮发电机组；
- 2) 额定工况保证热耗 8450kJ/kW·h(同类国产高温高压非再热机组热耗约 9180 kJ/kW·h)；
- 3) 高参数小容积流量下, 高压段通流设计；
- 4) 单缸(高压缸双层)主机结构设计；
- 5) 独立自主开发研制、具有独立知识产权的、目前国内首台机组, 技术属国内领先水平；
- 6) 钢厂煤气发电技术的应用；
- 7) 超高压再热汽轮机和燃气锅炉在钢厂中成功商业运行发电技术的应用。

7 节能减排及技术经济指标

2013 年 11 月, 该机组已经成功投产发电。与常规机组比, 同样的燃料消耗, 每年多发电 0.8 亿度, 税后利润增收 0.35 亿元。按平均供电煤耗 350 克计算, 一年节约标煤 2.8 万吨, 减少 CO₂ 排放量 10.3 万吨。

从项目回访知, 业主每个月利用富于煤气发电折算后 900~1 000 万, 年运行小时数约 8 500 小时, 年回收利润约 12 000 万, 整个机组投资回收约为 2 年多点。

8 钢厂煤气发电的应用前景

该项目从设计到安装调试运行历时约 13 个月, 在力求设计安全合理的同时, 缩短工期, 给业主创造价值, 是设计服务的宗旨。也给后续钢厂企业投资煤气发电的项目提供设计、总包、投资等各方以参考和借鉴。因其项目的特殊性符合国家的节能减排政策, 同时给企业带来丰厚利润, 截至 2013 年 10 月, 国内相继有唐山建龙、吉林建龙、唐山东海特钢、迁安九江线材等将近 11 个项目建设 65MW 等级的超高压中间再热机组发电项目。推动汽轮机技术革新, 给主机厂带来经济利润, 增强主机厂市场竞争力的同时, 项目市场应用前景广阔。带动一系列的设备制造、设计、安装调试运行、钢厂等企业的发展。节能减排, 合理利用资源, 保护环境, 促进经济增长。

9 结论

- 1) 国内首台 65MW 超高压中间再热凝汽式汽轮发电机组, 具有同等级机组的首创性及先进性。
- 2) 在保证安全前提下, 钢厂煤气发电技术得到进一步的实践应用, 对以后工程设计投资都有参考借鉴价值。
- 3) 该机组技术经济性指标较同等机组更加优越领先; 机组的成功发电给企业创造经济价值同时, 对环境保护, 节能减排起到很重要的作用。
- 4) 截至目前, 同类机型在国内要建、在建、已建的工程已多达 11 台。新型机组的开发应用, 给钢铁企业煤气发电提供新的思路, 此类工程应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 王长贵, 崔容强, 周篁. 新能源发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 杨义波等编. 热力发电厂[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [3] 黄树红主编. 汽轮机原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] 张磊等主编. 大型热电机组节能减排[M]. 北京: 水利水电出版社, 2011.
- [5] 本社. 火力发电厂技术经济指标计算方法[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2005.