

9H级燃机水汽系统化学控制和监测设计与优化

李鹏[✉], 肖建群

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 国内燃气蒸汽联合循环机组电厂建设已呈现井喷状态, 其中9H级机组的建设近年来更是日益增加, 有必要对这些机组水汽系统化学控制和监测设计与优化进行研究。[方法] 以某9H级联合循环电厂为例, 根据机组水汽质量控制标准和化学监督技术导则的要求, 对水汽系统化学控制和监测设计与优化进行研究。[结果] 通过选择高严密性的凝汽器、可靠的凝结水精处理和锅炉补给水处理工艺, 采用氧化性全挥发给水处理AVT(O)和炉水磷酸盐处理, 水汽取样系统配置完善的在线监测仪表, 可保证机组安全、可靠和经济运行。[结论] 旨在为将来9H级燃气蒸汽联合循环机组水汽系统化学控制和监测设计提供可借鉴的优化方案。

关键词: 9H级燃气蒸汽联合循环机组; 化学控制和监测; 设计与优化; 水汽质量控制标准; 化学监督技术导则

中图分类号: TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0082-06

开放科学(资源服务)二维码:



Design and Optimization of Chemical Control and Monitoring System for Class 9H Unit

LI Peng[✉], XIAO Jianqun

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] The construction of combined cycle unit power plants has been in a blowout state, among which the construction of class 9H unit has been increasing in recent years. It is necessary to study the design and optimization of chemical control and monitoring system. [Method] Taking a class 9H combined cycle power plant as an example, the design and optimization of chemical control and monitoring system were studied according to water and steam quality criterion and guideline of chemical supervision. [Result] Through the selection of high tightness condenser, reliable condensate polishing and boiler make-up water treatment process, feed water adopts oxidizing total volatilization treatment AVT(O), boiler water adopts phosphate treatment, the sampling system sets up with perfect on-line monitoring instruments, can ensure the safety, reliability and economic operation of the unit. [Conclusion] This paper aims to provide an optimization scheme for the design of chemical control and monitoring system of class 9H combined cycle unit in the futur.

Key words: class 9H combined cycle unit; chemical control and monitoring system; design and optimization; water and steam quality criterion; guideline of chemical supervision

燃气蒸汽联合循环机组采用天然气作为燃料, 对环境污染少, 近十年全国各地陆续建设了很多台联合循环机组燃机电厂, 已呈现井喷状态。由于天然气价格相对较高, 因此提高机组发电效率、降低能耗显得十分必要。国内联合循环机组燃机技术一直在升级换代, 按照容量大小依次为6B、9E、9F、

9F改进型和9H等级别机组^[1-2]。

由于9H级联合循环机组相对于9F级改进型机组, 具有发电效率更高、单位千瓦造价更低等优点^[2], 近年来9H级联合循环机组的建设规模日益增加。9H级机组通常配套余热锅炉, 锅炉采用无铜给水系统。

本文以某9H级联合循环机组燃机电厂为例, 根据机组余热锅炉水汽质量控制标准和化学监督技术导则的要求, 对水汽系统化学控制和监测的设计

收稿日期: 2020-05-27 修回日期: 2020-07-21

基金项目: 中国能建广东院科技项目“H级重型燃机联合循环技术研究”(EV04351W)

和优化进行研究。旨在为将来更多9H级机组水汽系统化学控制和监测的设计提供可借鉴的优化方案。

1 工程概况

该电厂为2×9H级燃气蒸汽联合循环机组, 余热锅炉为三压再热式自然循环汽包锅炉, 凝汽器换热管采用不锈钢管, 为无铜给水系统。

机组高压蒸汽压力为16.75 MPa (a)、高压蒸汽温度为602 ℃, 中压蒸汽压力为3.56 MPa (a)、中压蒸汽温度为365 ℃, 低压蒸汽压力为0.38 MPa (a)、低压蒸汽温度为275 ℃, 属于亚临界汽包炉机组, 设置凝结水精处理除盐系统。

电厂采用二次循环供水冷却方式, 循环冷却水补充水水源采用市政污水处理厂的再生水, 该再生水含盐量约为400 mg/L, 总硬度约为1.5 mmol/L, 氯离子含量约为200 mg/L, 循环冷却水浓缩倍率取4。

锅炉补给水处理系统水源采用市政自来水, 该自来水含盐量低于100 mg/L, 总硬度约为0.5 mmol/L, 活性硅含量约为9 mg/L。

2 水汽质量控制标准

2018年发布了最新版的中华人民共和国电力行业标准《燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水汽质量控制标准》(DL/T 1924—2018)^[3], 该标准相对于《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》(GB/T 12145—2016)^[4]标准, 更适用于燃气蒸汽联合循环机组余热锅炉的水汽质量控制, 而且还增加规定了联合循环机组主要水汽监督项目和检测周期。

因此, 该9H级燃机电厂按《燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水汽质量控制标准》(DL/T 1924—2018)要求执行, 正常运行时各项水汽质量具体控制指标应符合表1~表8的规定, 主要水汽监督项目和检测周期应按表9执行。^[3]

表1 凝结水泵出口水质质量

Tab. 1 Water quality of condensate pump outlet

精处理方式	氢电导率(25 ℃)/(μS·cm ⁻¹)	钠/(μg·L ⁻¹)	溶解氧/(μg·L ⁻¹)	硬度/(μmol·L ⁻¹)
精处理除盐	≤0.30	≤10	≤50	≈0

表2 经过凝结水精处理后凝结水的水质质量

Tab. 2 Water quality after condensate polishing treatment

精处理方式	氢电导率(25 ℃)/(μS·cm ⁻¹)	钠/(μg·L ⁻¹)	铁/(μg·L ⁻¹)	铜/(μg·L ⁻¹)	二氧化硅/(μg·L ⁻¹)
精处理除盐	≤0.15	≤2	≤5	≤3	≤10

表3 余热锅炉高、中、低压给水水质质量

Tab. 3 High, medium and low pressure feed water quality of heat recovery boiler

给水系统	机组给水 处理方式	氢电导率(25 ℃)/	pH值	溶解氧/	电导率(25 ℃)/	钠/	铁/	二氧化硅/	总有机碳(TOC)/
		(μS·cm ⁻¹)		(μg·kg ⁻¹)	(μS·cm ⁻¹)	(μg·kg ⁻¹)	(μg·kg ⁻¹)	(μg·kg ⁻¹)	(μg·kg ⁻¹)
无铜给水系统	AVT(O)	≤0.20	9.2~9.8	≤20	4.3~17.1	≤5	≤20	≤20	≤500
	OT	≤0.15	9.0~9.6	10~150	2.7~10.8	≤2	≤2	≤20	≤200

表4 炉水全挥发处理时炉水水质质量

Tab. 4 Boiler water quality during all volatile treatment

汽包压力/MPa	pH值(25 ℃)	氢电导率(25 ℃)/(μS·cm ⁻¹)	氯离子/(mg·L ⁻¹)	钠离子/(mg·L ⁻¹)	二氧化硅/(mg·L ⁻¹)
15.8~18.3	9.2~9.8	<1.0	≤0.03	0.05~0.35	≤0.10

表5 炉水固体碱化剂处理时炉水水质质量

Tab. 5 Boiler water quality during solid alkalization agent treatment

汽包压力/MPa	pH值(25 ℃)	磷酸根/	氢氧化钠/	二氧化硅/	氯离子/	电导率(25 ℃)/	氢电导率(25 ℃)/
		(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(μS·cm ⁻¹)	(μS·cm ⁻¹)
15.8~18.3	9.2~9.7	≤1.0	0.2~0.6	≤0.10	≤0.3	≤15	≤5

表6 蒸汽质量

Tab. 6 Quality of steam

机组给水处理方式	氢电导率(25℃)/(μS·cm ⁻¹)	钠/(μg·kg ⁻¹)	二氧化硅/(μg·kg ⁻¹)	氯离子/(μg·kg ⁻¹)	铁/(μg·kg ⁻¹)	铜/(μg·kg ⁻¹)
AVT(R)和AVT(O)	≤0.20	≤2	≤10	≤2	≤15	≤3
OT	≤0.15	≤2	≤10	≤2	≤3	—

表7 锅炉补给水水质质量

Tab. 7 Boiler make-up water quality

除盐水箱进口			除盐水箱出口	
电导率(25℃)/(μS·cm ⁻¹)	二氧化硅/(μg·L ⁻¹)	钠/(μg·kg ⁻¹)	电导率(25℃)/(μS·cm ⁻¹)	TOC/(μg·L ⁻¹)
≤0.10	≤10	≤3	≤0.40	≤200

表8 闭式循环冷却水水质质量

Tab. 8 Water quality of closed recirculating cooling water system

材质	氢电导率(25℃)/(μS·cm ⁻¹)	pH(25℃)
全铁系统	≤30	≥9.5

表9 主要水汽监督项目和检测周期

Tab. 9 Main water steam supervision items and testing cycles

取样点	pH值	氢电导率	电导率	溶解氧	二氧化硅	磷酸根	全铁	铜	钠离子	硬度	氯离子	TOC
凝结水泵出口	—	C	—	C	—	—	—	—	T	T	T	—
精处理设备出口	—	C	C	—	C	—	W	—	T	—	T	—
凝结水加氨点后	—	—	C	—	—	—	W	—	—	—	—	—
中压给水	C	C	C	C	T	—	W	—	T	T	T	T
高压给水	C	C	C	C	T	—	W	—	T	T	T	T
低压汽包炉水	C	C	C	C	T	—	W	—	T	T	T	—
中压汽包炉水	C	C	C	—	C	C	W	—	T	T	T	—
高压汽包炉水	C	C	C	—	C	C	W	—	T	T	T	—
低压饱和蒸汽	—	C	—	—	T	—	W	—	T	—	—	—
中压饱和蒸汽	—	C	—	—	T	—	W	—	T	—	—	—
高压饱和蒸汽	—	C	—	—	T	—	W	—	T	—	—	—
低压过热蒸汽	—	C	—	—	T	—	W	—	T	—	—	—
中压过热蒸汽	—	C	—	—	C	—	W	—	C	—	T	—
高压过热蒸汽	—	C	—	—	C	—	W	—	C	—	T	—
再热蒸汽	—	C	—	—	T	—	W	—	T	—	—	—
发电机内冷水	C	—	C	—	—	—	—	W	—	—	—	—
闭式循环冷却水	C	—	C	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：C—连续监测；W—每周一次；T—根据实际需要定时取样监测。

3 化学监督技术导则

2017年发布了最新版的中华人民共和国电力行业标准《燃气-蒸汽联合循环发电厂化学监督技术导则》(DL/T 1717—2017)^[5]，该导则适用于燃气蒸汽联合循环机组发电厂化学监督，规定了化学监督的相关内容和技术要求。

该导则对燃气蒸汽联合循环机组余热锅炉加药

系统的设计作了相关规定：

1) 加药系统可按每台机组设一套加药系统或两台机组公用一套加药系统设计。

2) 无铜给水系统余热锅炉给水应采用氧化性全挥发处理AVT(O)，机组正常运行时氨的加入点应以凝结水泵出口为主，高、中压给水泵入口宜为备用的加氨点。

3) 余热锅炉高、中压汽包炉水采用磷酸盐或氢氧化钠处理。

4 机组凝结水及补给水水质控制

为更好地保证9H级机组的安全、可靠和经济运行,除对余热锅炉给水加药及水汽取样监测外,应同时考虑凝结水及补给水水质控制,主要体现在凝汽器、凝结水精处理系统和锅炉补给水处理工艺的选择上。

4.1 选择高严密性的凝汽器

国内外不乏有因凝汽器泄漏使凝结水精处理设备运行出水不良而导致机组腐蚀结垢的事例,因此选择严密性可靠的凝汽器是保证机组凝结水水质的前提条件。要保证凝汽器严密性,首先应选择耐腐蚀性能优良的凝汽器管材。^[6]

该9H级燃机电厂凝汽器管材采用317不锈钢管,可确保凝汽器的严密性。

4.2 选择可靠的凝结水精处理系统

凝结水精处理系统可以有效地、连续地去除热力系统的金属腐蚀产物或因凝汽器微量泄漏而进入系统的盐份,从而提高机组的效率,延长酸洗周期。在机组启动时精处理系统还可以大大缩短机组的启动时间,减少启动时的大量排水损失。^[7]

《发电厂化学设计规范》(DL 5068—2014)的规定:(1)对由亚临界汽包锅炉供汽的汽轮机组,全部凝结水应进行精处理。冷却水水源为再生水,凝结水精处理系统应设置除盐装置,且应设置备用设备;(2)凝结水精处理宜采用中压系统;(3)凝结水精处理系统应选用高速离子交换器,树脂应采用体外再生方式进行再生;(4)凝结水精处理系统中的体外再生装置,可2台机组合用1套。^[8]

按上述规定,该9H级燃机电厂设置全流量中压凝结水精处理除盐系统。每台机组设置2×100%的高速混床,1用1备。2台机组共用1套精处理体外再生系统。精处理系统设备出口在线设置氢电导率表、电导率表和硅表。

4.3 选择恰当的锅炉补给水处理工艺

锅炉补给水带入的杂质是水汽系统杂质重要来源之一,锅炉补给水处理系统补水质量的好坏将直接影响到机组水汽质量品质和凝结水精处理设备运行效果。

《燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水汽质量控制标准》(DL/T 1924—2018)中对锅炉补给水水质质量控制趋向严格,其控制要求:除盐水箱进口电导率(25℃)≤0.10 μS/cm,二氧化硅≤10 μg/L,钠≤3 μg/kg,同时要求TOC(总有机碳)≤200 μg/L。

因此,要做好机组水汽质量控制应重视选择锅炉补给水处理工艺,保证锅炉补给水处理系统出水质量达到要求。该9H级燃机电厂锅炉补给水水源采用市政自来水,根据水源水质情况和机组对除盐水的水质要求,锅炉补给水处理系统采用“超滤+两级反渗透+EDI”的处理方案,在保证高效率地脱除盐份的基础上,保持对TOC的高脱除效率,使其出水水质完全达到机组要求的水质。^[9]

5 加药系统设计及优化

根据《燃气-蒸汽联合循环发电厂化学监督技术导则》(DL/T 1717—2017)中加药系统的设计规定,该9H级燃机电厂余热锅炉给水采用氧化性全挥发处理AVT(O),仅设置凝结水、给水加氨处理和炉水加磷酸盐处理系统,按两台机组公用一套加药系统设计。

5.1 加氨处理系统

加氨控制标准:正常运行时,控制给水pH=9.2~9.8(无铜给水系统)。

2台机组设置1套加氨装置,包括2台机械搅拌溶液箱、3台凝结水加氨计量泵、3台中压给水加氨计量泵和3台高压给水加氨计量泵。凝结水加氨点设在凝结水精处理系统出水母管(混合三通后),给水加氨点设在中压给水泵进口和高压给水泵进口。凝结水、给水加氨采用自动加氨方式,凝结水加氨根据凝结水流量和加氨后凝结水比电导率控制加药量,给水加氨根据给水流量和给水比电导率控制加药量。

5.2 加磷酸盐处理系统

为了防止锅炉受热面管壁产生钙镁垢,延长锅炉的化学清洗周期,对炉水进行加磷酸盐处理。2台机组设1套磷酸盐加药装置,包括2台机械搅拌溶液箱、3台中压炉水加磷酸盐计量泵和3台高压炉水加磷酸盐计量泵。磷酸盐直接加入锅炉中、高压汽包内,采用自动加药方式。

为了防止闭式循环冷却水中产生腐蚀或结垢,

利用中压炉水加磷酸盐备用泵作为闭冷水母管的临时加药泵。

5.3 停炉保护加药处理系统

为了满足机组停用时的加药要求, 2台机组设置1套停炉保护加药装置, 包括1台机械搅拌溶液箱, 2台加药计量泵, 采用手动调节加药量。^[10]

6 取样系统设计及优化

为了监督热力系统的水汽质量, 保证机组安全和可靠运行, 每台机组设置一套集中式水汽取样分析装置。水汽取样分析装置包括取样架和仪表盘, 样水采用闭式循环冷却水冷却。

水汽集中取样分析系统具有以下功能: 能采集具有代表性的样水; 将样水减温、减压和恒定流量, 达到在线仪表的进样要求; 具有压力、温度超限等安全保护; 连续和准确地监测各样点的化学指标; 4~20 mA 监测信号送出功能, 所有仪表信号输送到集控室DCS进行监视。^[9]

水汽取样点的设置及在线监测仪表的配置应符合表9的规定, 具体见表10。

表10 水汽取样点的设置及仪表的配置

Tab. 10 Water steam sampling point and instrument setup

取样点	分析仪表	功能
凝结水泵出口	氢电导率表	监测凝结水水质综合指标
	溶氧表	监测凝结水溶解氧含量
精处理设备出口	氢电导率表	监测精处理设备出水水质综合指标
	电导率表	监测精处理设备出水水质综合指标
	硅表	监测精处理设备出水二氧化硅含量
凝结水加氨点后	电导率表	作为凝结水加氨控制信号
中压给水	氢电导率表	监测中压给水水质综合指标
	电导率表	作为中压给水加氨控制信号
	pH表	监测中压给水pH值
	溶氧表	监测中压给水溶解氧含量
高压给水	氢电导率表	监测高压给水水质综合指标
	电导率表	作为高压给水加氨控制信号
	pH表	监测高压给水pH值
	溶氧表	监测高压给水溶解氧含量
低压汽包炉水	氢电导率表	监测低压炉水综合指标
	电导率表	监测低压炉水水质指标
	pH表	监测低压炉水水质pH值
	溶氧表	监测低压炉水溶解氧含量
中压汽包炉水	氢电导率表	监测中压炉水水质综合指标
	电导率表	监测中压炉水水质指标
	pH表	监测中压炉水水质pH值
	硅表	监测中压炉水二氧化硅含量
	磷酸根表	监测中压炉水磷酸根含量

表10(续) 水汽取样点的设置及仪表的配置

Tab. 10(Cont.) Water steam sampling point and instrument setup

取样点	分析仪表	功能
高压汽包炉水	氢电导率表	监测高压炉水水质综合指标
	电导率表	监测高压炉水水质指标
	pH表	监测高压炉水水质pH值
	硅表	监测高压炉水二氧化硅含量
	磷酸根表	监测高压炉水磷酸根含量
低压饱和蒸汽	氢电导率表	监测低压饱和蒸汽综合指标
中压饱和蒸汽	氢电导率表	监测中压饱和蒸汽综合指标
高压饱和蒸汽	氢电导率表	监测高压饱和蒸汽综合指标
低压过热蒸汽	氢电导率表	监测低压过热蒸汽综合指标
中压过热蒸汽	氢电导率表	监测中压过热蒸汽综合指标
	硅表	监测中压过热蒸汽二氧化硅含量
	钠表	监测中压过热蒸汽钠离子含量
高压过热蒸汽	氢电导率表	监测高压过热蒸汽综合指标
	硅表	监测高压过热蒸汽二氧化硅含量
	钠表	监测高压过热蒸汽钠离子含量
再热蒸汽出口	氢电导率表	监测再热蒸汽综合指标
发电机内冷水	电导率表	监测发电机内冷水的综合指标
	pH表	监测发电机内冷水水质pH值
闭式循环冷却水	电导率表	监测闭式循环冷却水的综合指标
	pH表	监测闭式循环冷却水水质pH值

7 结论

随着国内燃气蒸汽联合循环机组电厂尤其是9H级机组建设规模的日益增加, 近年来相继发布了《燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水汽质量控制标准》(DL/T 1924—2018)和《燃气-蒸汽联合循环发电厂化学监督技术导则》(DL/T 1717—2017)。9H级机组水汽质量各项指标的控制、水汽取样在线监测仪表的配置和余热锅炉加药系统的设计, 严格按这两份标准的要求执行。

根据9H级机组水化学工况特性和水质控制要求, 通过选择高严密性的凝汽器、可靠的凝结水精处理和锅炉补给水处理工艺, 采用氧化性全挥发给水处理AVT(O)和炉水磷酸盐处理, 设置集中式水汽取样分析装置并配置完善的在线监测仪表, 可保证9H级燃气蒸汽联合循环机组安全、可靠和经济运行。

参考文献:

[1] 钟史明. 燃气-蒸汽联合循环发电[M]. 北京:水利电力出版社, 1995.

ZHONG S M. Gas-steam combined cycle power generation

- [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1995.
- [2] 陈杭君, 屠进. 燃气-蒸汽联合循环电厂主机选型的比较 [J]. 电力建设, 2005, 26(5): 30-32.
CHEN H J, TU J. Type selection comparison of main equipment in gas-steam combined cycle power plant [J]. Electric Power Construction, 2005, 26(5): 30-32.
- [3] 国家能源局. 燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水汽质量控制标准: DL/T 1924—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
Energy National. Quality criterion of water and steam for combined cycle heat recovery steam generators: DL/T 1924—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量: GB/T 12145—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
Standardization Administration of China. Quality criterion of water and steam for power plant and steam-generating equipment: GB/T 12145—2016 [S]. Standards Press of China, 2016.
- [5] 国家能源局. 燃气-蒸汽联合循环发电厂化学监督技术导则: DL/T 1717—2017 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
Energy National. Guideline of chemical supervision for combined-cycle power plants: DL/T 1717—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.
- [6] 张家新. 凝汽器严密性对于机组运行的影响及原因分析 [J]. 山西电力, 2006, (5): 16-18.
ZHANG J X. Tight of condenser analysis and causes and the effects of operational units [J]. Shanxi Electric Power, 2006, 134(5): 16-18.
- [7] 钱达中. 发电厂水处理工程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
QIAN D Z. Power plant water treatment project [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [8] 国家能源局. 发电厂化学设计规范: DL 5068—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
Energy National. Code for design of chemistry of power plant: DL 5068—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [9] 李长海, 张雅潇, 党小建. 全膜法水处理技术在电厂中的应用 [J]. 工业水处理, 2013, 33(9): 80-83+86.
LI C H, ZHANG Y X, DANG X J. Application of integrated membrane water treatment technology to a power plant [J]. Industrial Water Treatment, 2013, 33(9): 80-83+86.
- [10] 孙鸿斌. 停炉保护在燃机联合循环机组应用实例 [J]. 科学中国人, 2015(17): 129.
SUN H B. Application of stop-furnace protection in gas turbine combined cycle unit [J]. Scientific Chinese, 2015(17): 129.

作者简介:



李鹏

李鹏 (通信作者)

1979-, 男, 宁夏银川人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司院高级工程师, 武汉大学应用化学学士, 主要从事发电厂水化学控制、工业给水和污水处理、垃圾渗滤液处理、海水淡化处理技术研究及设计 (e-mail) li-peng2@gedi.com.cn。

肖建群

1977-, 女, 江西永新人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师, 武汉水利电力大学环境工程学士, 主要从事发电厂水化学控制、工业给水和污水处理、垃圾渗滤液处理、海水淡化处理技术研究及设计 (e-mail) xiaojianqun@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

