

杭森（2024）咨字第 001 号

浙江华川实业集团有限公司
污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电
多联供技术开发项目

竣
工
验
收
报
告

杭州森寻环保科技有限公司

二〇二四年元月



目 录

1、 总论.....	3
1.1 项目由来.....	3
2、 建设项目工程概况.....	5
2.1 原有工程概述.....	5
2.2 本工程建设内容.....	5
2.3 地理位置及平面布置.....	6
3、 项目工程实施情况.....	9
3.1 锅炉系统.....	9
3.2 汽轮发电机组系统.....	12
3.3 冷却塔系统.....	15
3.4 溴化锂吸收式制冷系统.....	16
3.5 工业汽轮机拖动离心空压机系统.....	17
3.6 污泥干化机系统.....	18
3.7 项目环保检测.....	20
4、 工程竣工验收结论.....	20
5、 附件.....	21

1、总论

1.1 项目由来

华川热电厂拟在现有厂区预留空地内实施浙江华川实业集团有限公司污泥污水和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目，采用循环流化床焚烧炉处理污水沼气和污泥（造纸、印染和市政污泥等），以污水沼气和污泥（造纸、印染和市政污泥等）为主要燃料，掺烧适量煤，产品为电，使污水沼气和污泥（造纸、印染和市政污泥等）变废为宝，实现污泥的减量化、资源化和无害化。本次项目拟增加干化生产线 6 条，日处理城市污泥（造纸、印染和市政污泥等，含水率为 80%）600t，将污泥含水率从 80%降到 40%，全厂污泥干化能力为 1000t/d（造纸、印染和市政污泥等，含水率为 80%）。同时，项目拟将二期技改项目掺烧的 400t/d 污泥一并纳入本期新增的专用污泥焚烧炉焚烧进行焚烧处置，同时保留二期工程 3×130t/h 高温高压循环流化床锅炉（掺烧污泥）原设计的污泥掺烧能力，作为 5#炉停炉时掺烧污泥备用。干化后的干污泥经全密封输送机送至 1 台新增的专用 65t/h 循环流化床锅炉（掺烧煤及华川污水厂收集的沼气）焚烧处置，产生的蒸汽配置一台 15MW 抽凝式汽轮发电机组，同时新增两台工业汽轮机拖动的离心空压机（单机出力分别为 600m³/min、1000m³/min）、一台 350Nm³/min 备用电动离心空压机、2 台 450Nm³/min 干燥设备、2 台 300 万大卡溴化锂吸收式制冷机组，新建一座 18000m³/h 的冷却塔，将污水沼气和污泥（造纸、印染和市政污泥等）进行资源化利用，实现气冷电多联供，使得能源梯级充分利用。本项目处置的

污泥不含危废，不接受危险废物的处置。

本项目是一个符合国家技术经济政策、产业政策、能源政策，同时又具有一定的经济效益、较好的环境效益和社会效益的项目。项目的实施有效减少因污泥的不规范处置而可能带来的环境问题，控制二次污染，也大量减少了污水沼气排放对周边大气环境的污染，同时回收能源用于发电，符合国家的产业政策，是国家大力提倡和支持的，对于区域的环境保护具有积极的意义。

为此，受浙江华川实业集团有限公司委托，我公司协助其开展污水沼气和城市污泥资源化及气冷电多联供技术开发项目竣工验收工作。根据国家有关规定，在收集资料、现场调查的基础上，编制了项目竣工验收结论报告。

2、建设项目工程概况

2.1 原有工程概述

企业现有热电厂二期技改项目拆除现有厂区内原有的中温中压垃圾焚烧炉及相应的发电机组和二座烟囱，保留现有的 1 台 130t/h 高温高压燃煤循环流化床锅炉并对其进行超低排放改造，新建 3 台 130t/h 高温（540℃）高压(9.8MPa)燃煤循环流化床锅炉（掺烧污泥）；配套 2 台 12MW 的 CB12-8.83/3.5/1.27 型抽背式汽轮发电机组和 1 台 12MW 的 B12-8.83/0.6 型背压式汽轮发电机组，主蒸汽系统采用母管制；并新建一套总规模 400t/d（设计污泥含水率 80%）的造纸、印染等污泥干化生产线及 80 米高的脱白烟囱一座（达到去工业化目的）。已拥有高温高压 130 吨/时燃煤循环流化床锅炉 4 台（3 用 1 备）、高温高压背压式热电机组 3（2×CB12+1×B12），热电机组总装机容量为 36MW。

2.2 本工程建设内容

新增干化生产线 6 条，日处理工业(造纸、印染等)和市政污泥 1000t，将污泥含水率从 80%降到 40%，干化后的干污泥经全密封输送机送至 1 台新增的专用 65t/h 循环流化床锅炉(掺烧煤及华川污水厂收集的沼气)焚烧处置，产生的蒸汽配置一台 15MW 抽凝式汽轮发电机组，同时新增两台工业汽轮机拖动的离心空压机（单机出力分别为 600m³/min、1000m³/min）、一台 350Nm³/min 备用电动离心空压机、2 台 450Nm³/min 干燥设备、2 台 300 万大卡溴化锂吸收式制冷机组，

新建一座 18000m³/h 的冷却塔，将污水沼气和污泥（造纸、印染和市政污泥等）进行资源化利用，实现气冷电多联供，使得能源梯级充分利用。本项目处置的污泥不含危废，不接受危险废物的处置。

2.3 地理位置及平面布置

本项目在浙江华川实业集团有限公司厂内实施,项目按功能分区分为六部分：主厂房及炉后设施区、脱硫与脱硝设施区、储煤输煤系统区(原有系统延伸)、污泥集中处理区（原有位置扩建）、其他辅助设施区、冷却塔、溴化锂、空压机区域。主厂房及炉后设施区：汽机间、除氧间、煤仓间、锅炉房依次由东向西布置。炉后依次布置为除尘器、引风机、脱硫塔、湿电、换热器 MGGH 和烟囱等。浆液循环泵房布置于脱硫塔附近。脱硫与脱硝设施区：脱硫系统布置在脱硫塔北侧，新建厂前建筑区南侧。脱硝装置区布置在烟囱南侧烟道下方，节约用地。储煤输煤系统区：燃煤从全封闭煤库经地下通廊运至采光间，经采光间由东向西经 1#栈桥输送至破碎楼，再经 2#栈桥由南向北输送至煤仓间。污泥集中处理区：包括污泥车间及储存装置，布置在 1#栈桥北侧、2#栈桥东侧，全封闭煤库北侧。其他辅助设施区（利旧）。冷却塔、溴化锂、空压机区域：原厂区化水车间西侧及汽机间北侧，空压机在原动力站位置扩建，均靠近出入口，交通便利。厂区人流出入口和物流出入口均利用其原有出入口。

项目地理位置见图 2.3-1，厂区周围地理环境见图 2.3-2，厂区平面布置见图 2.3-3。

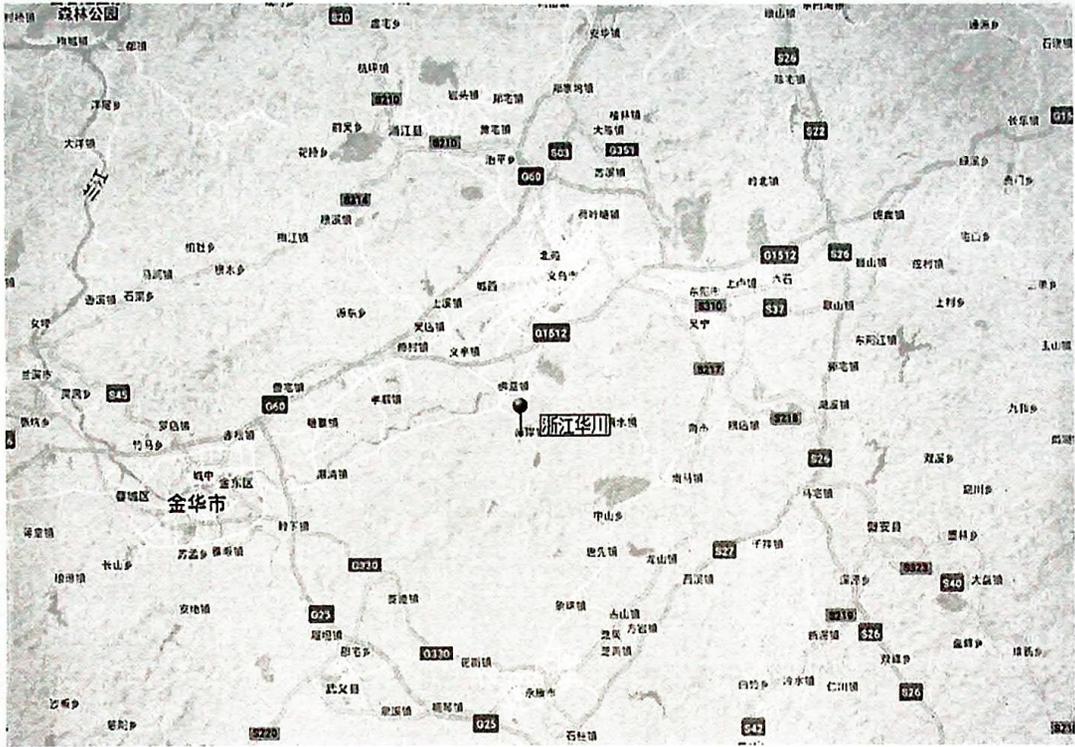


图 2.3-1 项目地理位置

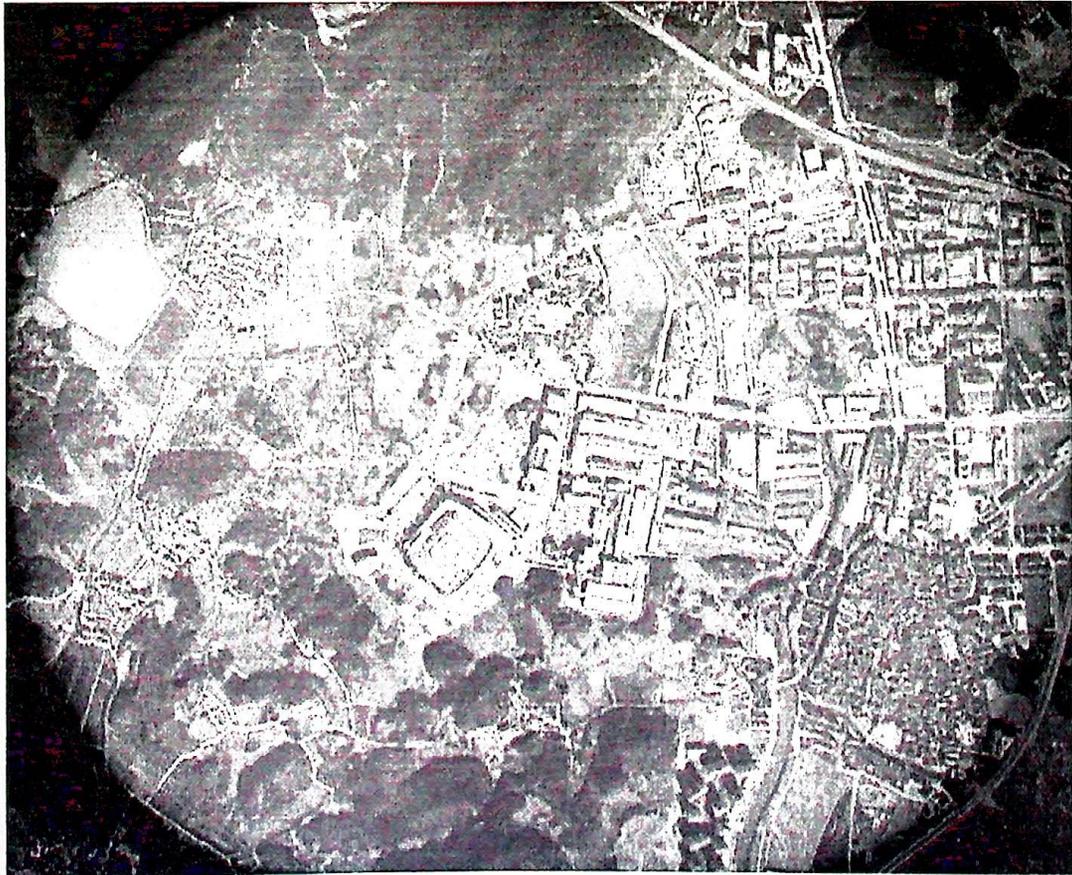


图 2.3-2 周围地理环境卫星图

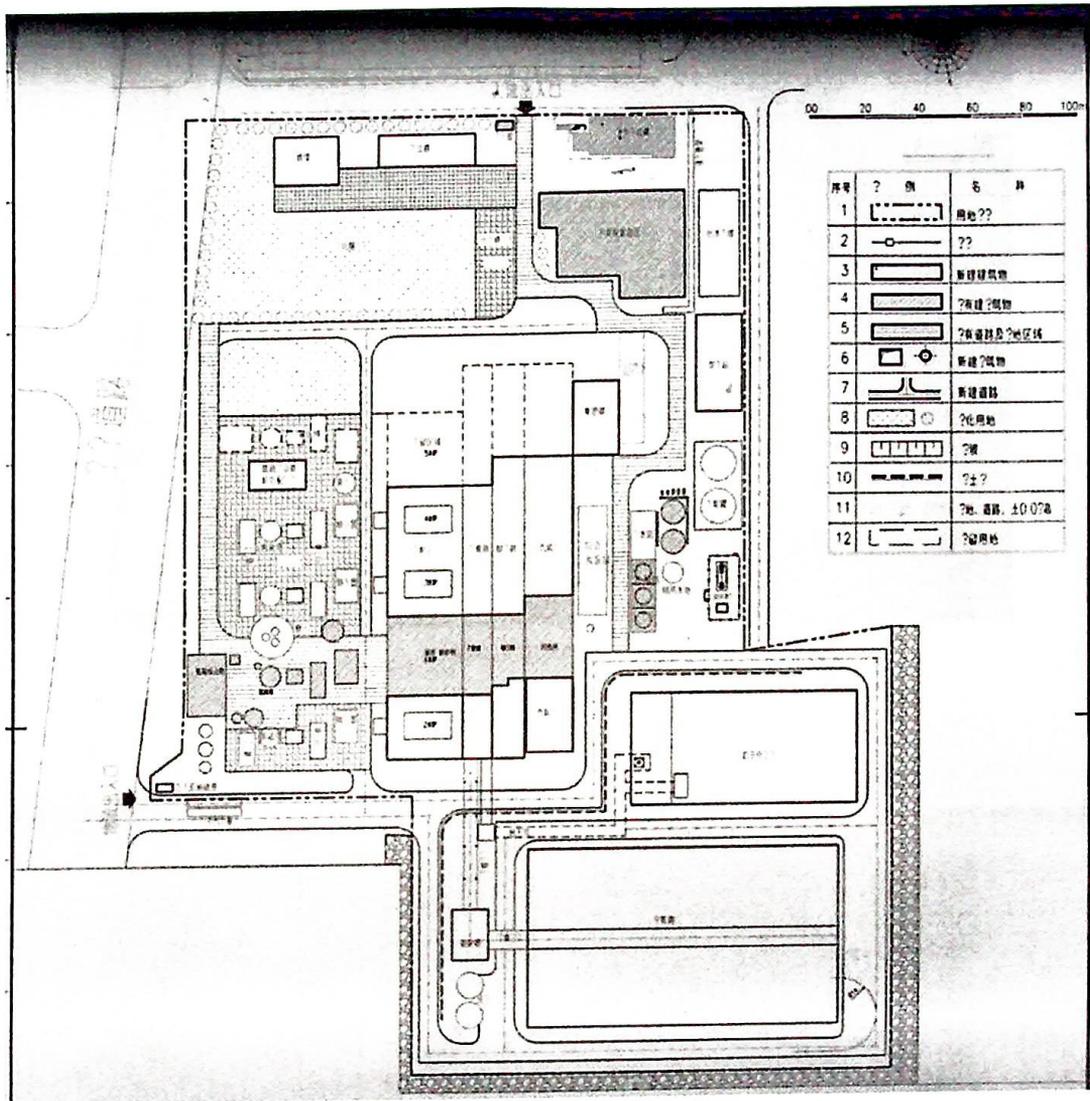


图 2.3-3 厂区平面布置图

3、项目工程实施情况

3.1 锅炉系统

3.1.1 简介

锅炉为高温高压，单锅筒横置式，单炉膛，自然循环，全悬吊结构，全钢架 π 型布置。锅炉室内布置，在运转层8m标高设置混凝土平台。炉膛采用膜式水冷壁，锅炉中部是蜗壳式汽冷旋风分离器，尾部竖井烟道布置两级四组对流过热器，过热器下方布置两组省煤器及一、二次风各三组空气预热器。

本锅炉采用无锡华光锅炉股份有限公司最新型的低氮燃烧、低能耗循环流化床锅炉技术，结合我公司多年来生产循环流化床锅炉的经验，是无锡华光锅炉股份有限公司开发的第三代循环流化床锅炉产品。在燃烧系统中，给煤机、污泥机分别将煤和污泥送入炉膛，锅炉燃烧所需空气分别由一、二次风机提供。一次风机送出的空气经一次风空气预热器预热后由左右两侧风道引入炉下水冷风室，通过水冷布风板上的风帽进入燃烧室；二次风机送出的风经二次风空气预热器预热后，通过分布在炉膛前后墙上的喷口喷入炉膛，补充空气，加强扰动与混合。燃料和空气在炉膛内流化状态下掺混燃烧，并与受热面进行热交换。炉膛内的烟气(携带大量未燃尽碳粒子)在炉膛上部进一步燃烧放热。离开炉膛并夹带大量物料的烟气经蜗壳式汽冷旋风分离器之后，绝大部分物料被分离出来，经返料器返回炉膛，实现循环燃烧。分离后的烟气经转向室、高温过热器、低温过热器、省煤器、一、二次风空气预热器由尾部烟道排出。由于采用了新型低氮燃烧循环流化床技

术，通过低床温、低氧量、薄料层、分级送风等运行手段，能显著抑制低烟气中 NO_x 的生成，显著降低鼓风机的厂用电率，因而它更能适合日益严格的国家环保和节能减排的要求。

3.1.2 设备规范

锅炉型号	UG-65/9.81-M
锅炉实际最大连续蒸发量	65t/h
额定蒸汽压力（表压）	9.81MPa
额定蒸汽温度	540°C
给水温度	158°C
锅炉排烟温度	142°C
排污率	≤1 %
空气预热器进风温度	30°C
锅炉设计热效率	90 %
锅炉保证热效率	89.5 %
燃料消耗量	20.317t/h(含污泥)
一次热风温度	171°C
二次热风温度	178°C
一、二次风量比	50: 50
循环倍率	25
脱硫效率（钙硫摩尔比为 2.2 时）	≥ 80 %
灰渣比	7:3
排灰量	3.485t/h
排渣量	1.022t/h

3.1.3 性能测试

浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目锅炉为无锡华光锅炉股份有限公司制

造的高温高压、单锅筒 横置式、单炉膛、自然循环、全悬吊结构 0、全钢架π型布置、水冷滚筒式冷渣器的低氮燃烧、低能耗循环流化床锅炉。锅炉投产正常运行后，机组已经过 168 小时连续运行，运行稳定，锅炉机组具备性能考核试验条件。为了考核其锅炉性能状况，浙江华川实业集团有限公司委托，苏州热工研究院有限公司承担了浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目锅炉性能考核试验的测试工作。锅炉性能考核测试的主要指标包括锅炉热效率、空预器漏风率、锅炉最大连续出力等。锅炉性能考核试验的现场测试工作于 2023 年 11 月 28 日日间进行。

（性能测试报告详见附件 1）

3.1.4 锅炉验收及使用证

浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目锅炉整体验收会，于 2023 年 11 月 20 日在浙江华川实业集团有限公司召开，由金华市市场监督管理局、义乌市市场监督管理局、金华特检院、浙江华川实业集团有限公司、山东省工业设备安装集团有限公司、苏州热工院等单位人员共同参加，与会人员一致同意该项目锅炉通过整体验收。

（验收会议纪要详见附件 2）

浙江华川实业集团有限公司根据验收会议精神，于 2023 年 12 月 17 日办理了锅炉使用登记证，锅炉使用登记证见图 3.1.4.1

1)主蒸汽系统：从锅炉出来的新蒸汽经蒸汽母管进入主汽阀，再通过调节阀进入汽轮机高压段通流部分做功，一部分蒸汽经抽汽口、抽汽速关阀抽汽至热网，其余部分则经过低压调节汽阀进入汽机低压部分继续膨胀做功。低压蒸汽膨胀做功后，乏汽排入凝汽器。

2)回热系统：本机组无回热系统。

3)汽封系统：本机组为抽汽凝汽式汽轮机，采用自密封的轴封系统。汽轮机开机时，汽封封气用蒸汽由辅助蒸汽提供，通过减温减压器后进入均压箱分别送至前后汽封。汽轮机正常运行时，后汽封封气用蒸汽由前汽封漏汽产生，当漏汽量增大时，均压箱至凝汽器的电动调阀会自动开启，维持汽封封气压力。

4)喷水减温系统:为使机组在启动、空负荷及低负荷工况下能安全稳定运行，本机组在排缸上下半分别设置有减温喷水接口，当排汽温度超限时，喷入减温水，降低排汽温度。喷水管道上设置电磁阀与排汽温度信号联锁，当排汽温度高于 60°C 时，减温水经喷淋管形成雾状水帘喷入排缸；当排汽温度低于 45°C 时，停止喷水。减温水可取自凝泵出口的凝结水或除盐水。

5)润滑及顶轴油系统：润滑油由主油箱供给，在正常情况下，压力油由汽轮机主轴上的主油泵供给，通过节流阀、冷油器及滤油器后形成润滑油，供各轴承润滑。正常运行时润滑油总管的油压力为 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ ，汽轮机各个轴承入口油压为 $0.08\sim 0.15\text{MPa}$ ，其他各轴承的油压为 0.5MPa 左右。在启、停机过程中由辅助油泵供给。事故状态下，事故油泵开启时，各个轴承进口油压为 $0.03\sim 0.05\text{MPa}$ 。顶轴油来自

油站润滑油出口总管，盘车投入前，必须先开启顶轴油泵，并确信顶轴油压符合要求。汽轮机冲转后，转速超过 200r/min，可停下顶轴油泵。停机时，转速低于 200r/min 开启顶轴油泵，直到盘车装置停后方可关闭顶轴油泵。

6)保安及调节油系统：，速关阀的保安油，由主油泵或辅助油泵提供，引入速关组合装置开关速关阀。调节汽阀的动力油由 EH 油系统提供，引入油动机作为开启调节汽阀的压力油。

3.2.2 设备规范

产品代号	HS61069
产品型号	C15-8.83/1.27
型式	抽汽凝汽式
额定功率	15000kw
额定转速	3000r/min
旋转方向	顺时针(顺汽流看)
额定进汽压力及变化范围	8.83MPa(a)
额定进汽温度及变化范围	535°C
额定抽汽压力	1.27MPa(a)
抽汽流量	40t/h
额定排汽压力	0.007MPa(a)
给水回热级数	无
临界转速	~1550r/min
额定转速时轴承座振动值(全振幅)	≤0.05mm
临界转速时轴承座振动值(全振幅)	≤0.15mm

3.2.3 调试过程

2023 年 10 月 11 日~2023 年 10 月 22 日由苏州热工研究院

有限公司对汽轮发电机组进行整套启动调试工作，经过空负荷、带负荷试运及 72+24 小时连续运行，各项调整、试验工作完成，汽轮机本体及辅助设备的运行稳定，机组运行各项参数基本达到设计要求。

（汽轮发电机组调试报告详见附件 3）

3.3 冷却塔系统

3.3.1 简介

节水消雾塔用 ClearSky 冷凝模块。冷凝模块放置于冷却塔的气室内。经冷却塔填料排出的饱和湿热空气，进入 ClearSky 冷凝模块，被冷凝后形成凝结水。凝结水将滴落回到循环水系统。节水消雾塔的设计能保证从冷凝模块出来的湿气和干气均匀混合，以确保节水消雾效果。节水消雾塔的水头与传统湿塔一致，没有附加水头。冷凝模块不需要定期清理，也不会严冬气候下结冰。冷凝模块的重量均匀分布于塔内，而不是集中于塔的两侧，有利于冷却塔的基础设计。所有节水消雾塔部件的设计都能满足在严冬气温下的日常开启和关闭。

3.3.2 设备规范

系列	ClearSky
型号	FC466A56D6.004AA
类型	玻璃钢结构逆流式机械通风消雾冷却塔
循环水量	18000 m ³ /h
进水温度	43 °C
出水温度	33 °C
湿球温度	28.1 °C
冷却塔扬程	7.4 m

漂滴损失， %循环水量	<0.0005%
蒸发损失（设计值）	273.5 m ³ /h
冷却塔现场 （地面、楼顶等）	屋面
冷却塔进风面	两面进风（周围无障碍）
消雾设计点	干球温度 3.6℃，相对湿度 70.3%

3.3.3 性能测试

浙江华川实业集团有限公司委托苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 22 日对 3 台冷却塔进行了性能试验。试验结果表明 3 台冷却塔的实际冷却能力达到设计性能要求，周界噪声满足性能保证值要求，飘水率满足性能保证值要求。

（冷却塔性能测试报告详见附件 4）

3.4 溴化锂吸收式制冷系统

3.4.1 简介

系统功能：利用工艺中低压蒸汽作为驱动热源，系统提取热量后夏天制取 12℃ /7℃ 的低温冷冻水，冬天提供 45/55℃ 空调热水，生活热水按 60℃ 供水。

系统组成：余热制冷系统、冷却水系统、低压水系统。主要由低压蒸汽型溴化 锂制冷机、冷冻水泵、热水泵、全自动定压补水装置、机房内的阀门、管道以及安装辅材等部分组成。

3.4.2 设备规范

项目	单位	规格	
机型	-	RFH083Y	
台数	-	2	
制冷量	kW	2913	
	*10 ⁴ kcal/h	250.5	
冷水	进出口温度	℃	12-7
	流量	m ³ /h	500
	水压损失	mH ₂ O	6.4
	接管尺寸	mm	250
	水室承压	MPaG	0.8
冷却水	进出口温度	℃	32-38
	流量	m ³ /h	970
	水压损失	mH ₂ O	8.9
	接管尺寸	mm	350
	水室承压	MPaG	0.8
低压蒸汽	压力	MPaG	0.04
	蒸汽消耗量	kg/h	6200
	蒸汽接管尺寸	mm	300
	凝水接管尺寸	mm	100
	单位冷吨蒸汽消耗量	kg/USRt/h	7.5

3.4.3 性能测试

为验证 2 台溴化锂设备是否达到了性能保证要求，受浙江华川实业集团有限公司委托，苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 22 日对溴化锂设备进行了性能试验。

（溴化锂性能测试报告详见附件 5）

3.5 工业汽轮机拖动离心空压机系统

3.5.1 简介

汽动离心式空压机驱动形式为背压式汽轮机驱动，冷却形式为水

冷；空压机负荷调节方式为汽轮机变转速调节。

3.5.2 设备规范

序号	项目	单位	内容
1	排气量(0℃,101.3KPa,0%RH)	Nm ³ /min	1000
2	空压机型号		3H7-6B
3	空压机形式		单轴多级离心式
4	压缩介质		空气
5	相对湿度	%	80
6	进口压力(空压机进口法兰处)	MPa(a)	0.098
7	排出压力	MPa(g)	0.9Mpa(g)
8	进口温度	℃	20
9	排气温度	℃	~134.4℃ (考虑排气温度提高)
10	流量调节范围		70%~110%
11	空压机额定转速 5℃/20℃/35℃	r/min	7275/7380/7515
12	对应轴功率 BHP (多点, 冬季夏季各三个)(Break House Power) (100%)	kW	5960/6105/6300
13	汽轮机的耗汽量	t/h	5℃ 68.5 20℃ 69.1 35℃ 71.5
14	空压机比功率 kw/(Nm ³ /min)		6.105
15	空压机机械损失 kw		70

3.6 污泥干化机系统

3.6.1 简介

新建总规模 600t/d (含水率 80%) 污泥压滤、干化生产线 6 条,

利用厂内的蒸汽，将含水 80%左右的污泥干化至含水 30%~40%，在确保安全可靠、科学合理、环保节能、投资节省、运行经济的条件下，实现干化焚烧的最终处置目标，处置后的污泥实现无害化、减量化、稳定化、资源化。

3.6.2 设备规范

编号	名称		单位	数值或描述
1	数量		台	6
2	型号			SDK370
3	热源参数			0.5~0.6MPa, 159~165℃
4	传热面积		m ²	420.0
5	尺寸		mm	10100×3000×3550
6	转速		r/min	0~9
7	倾角		°	0
8	额定进泥含水率			80%
9	额定出泥含水率			40%
10	单台额定蒸发能力		kg/h	2777.8
11	单台额定蒸汽消耗量		kg/h	3458.3
12	外筒	内壁材质/厚度	/mm	2205/304L 不锈钢（各三台）/18
		外壁材质/厚度	/mm	Q235-B/12
13	转轴材质/厚度		/mm	Q245R 外圆包裹 304L 不锈钢/36
14	转盘材质/厚度		/mm	2205/304L 不锈钢（各三台）/8
15	总重量		t	65.0
16	装机功率		kw	90.0

3.6.3 性能测试

为验证污泥干化机是否达到了性能保证要求，受浙江华川实业集团有限公司委托，苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 22 日对污泥干化机设备进行了性能试验。

（污泥干化机性能测试报告详见附件 6）

3.7 项目环保检测

浙江华川实业集团有限公司就污水沼气和城市污泥资源化及气冷电多联供技术开发项目，委托杭州统标检测科技有限公司于 2023 年 11 月 26 日至 12 月 5 日开展现场环保监测，烟气中烟尘、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物和林格曼黑度均符合《火电厂大气污染物排放标准》（GB13223-2011）的特别排放限值要求中的以气体为燃料的燃气轮机排放标准要求；废气排放口烟气中 HCl、铅及其化合物、镉及其化合物、二噁英类符合《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）中规定的限值要求。

（检测报告详见附件 7）

4、工程竣工验收结论

根据义乌发展和改革局（义发改投〔2022〕144号）文件对浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目核准批复内容，即：新增干化生产线 6 条，工业和市政污泥处理规模新增 600t/d(现有 400t/d)，新增一台 65t/h 的

高温高循环流化床锅炉，配置一台 15MW 抽凝式汽轮发电机组，同时新增两台工业汽轮机拖动的离心空压机(单机出力分别为 600m³/min、1000m³/min)、一台 350Nm³/min 备用电动离心空压机、2 台 450Nm³/min 干燥设备、2 台 300 万大卡溴化锂吸收式制冷机组，新建一座 18000m³/h 的冷却塔。目前该工程已完成全部批复建设内容的设计、采购、安装、调试、性能测试等相关工作，基本落实批复要求的措施和设施，已具备项目竣工验收条件。

5、附件

- 1、锅炉调试性能测试报告
- 2、锅炉整体验收会议纪要
- 3、汽轮发电机组调试报告
- 4、冷却塔性能测试报告
- 5、溴化锂性能测试报告
- 6、污泥干化机性能测试报告
- 7、环保检测报告

报告编号:

项目号:

合同号:

浙江华川实业集团有限公司
污水沼气和城市污泥资源化利用及气
冷电多联供技术开发项目
5号锅炉性能考核试验报告

苏州热工研究院有限公司

二〇二三年十一月



苏州热工研究院有限公司

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd.

技术报告

Technical Report

文件编码:

项目号:

正文页数+附件页数:

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电
多联供技术开发项目

5号锅炉性能考核试验报告

关键词(KeyWords):

	编写 Drafted by	校核 Checked by	审查 Reviewed by	批准 Approved by
姓名(Name)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
签字(Signature)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
日期(Date)				

项目负责人: 金纯钢

项目技术负责人: 邬平

项目参加人员: 张健 张涛 罗明爽

摘 要

浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目5号CFB 锅炉已经完成168 小时连续运行，运行稳定，锅炉机组具备性能考核试验条件。为了考核锅炉是否达到性能保证指标，苏州热工研究院有限公司对浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目5CFB 锅炉进行性能测试。锅炉性能考核测试的主要指标包括锅炉热效率、空预器漏风率、锅炉最大出力等。

锅炉性能考核试验的现场测试工作于2023年11月28 日进行。通过现场测试和分析，试验结论如下：

(1)实际最大连续负荷工况，5号锅炉空气预热器漏风率为4.03%，未达到空预器漏风率 $\leq 1\%$ 的保证值要求。

(2)实际最大连续负荷工况，5号锅炉两次平行工况修正后锅炉热效率平均值为90.15%，达到锅炉热效率 $\geq 89.50\%$ 的性能保证要求。能效等级达到TSG G0002《锅炉节能技术监督管理规程》中热效率指标的目标值要求。

(3)实际最大连续负荷工况，5号锅炉两次平行工况试验的平均蒸发量为65.1 t/h，大于《节能节水专用设备企业所得税优惠目录(2017 年版)》要求。

(4)锅炉最大出力平均为72.8 t/h，高于72t/h 的保证值，锅炉最大出力达到保证要求。

(5)锅炉大气污染物排放浓度符合GB13223—2011《火电厂大气污染物排放标准要求》。

目 录

1 前言.....	4
2 设备概况.....	4
3 试验依据.....	6
4 锅炉考核试验项目.....	6
5 试验内容.....	7
6 试验方法.....	7
7 试验条件.....	11
8 试验仪器仪表.....	11
9 试验工况.....	12
10 试验结果.....	12
10.1实际最大连续出力负荷工况锅炉热效率.....	12
10.2空气预热器漏风率及阻力.....	13
10.3锅炉最大出力(短时超发蒸发量)试验.....	14
11 试验结论.....	15

1 前言

浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目5号锅炉为无锡华光锅炉股份有限公司制造的高温高压、单锅筒横置式、单炉膛、自然循环、全悬吊结构、全钢架 π 型布置、水冷滚筒式冷渣器的低氮燃烧、低能耗循环流化床锅炉。锅炉投产正常运行后，机组已经过168小时连续运行，运行稳定，锅炉机组具备性能考核试验条件。

为了考核其锅炉性能状况，受浙江华川实业集团有限公司委托，苏州热工研究院有限公司承担了浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目5号锅炉性能考核试验的测试工作。

锅炉性能考核测试的主要指标包括锅炉热效率、空预器漏风率、锅炉最大连续出力等。5号锅炉性能考核试验的现场测试工作于2023年11月28日日间进行。本次试验得到了浙江华川实业集团有限公司各级领导及相关部门的大力支持和协助，在此表示感谢！

2 设备概况

2.1 锅炉设备

锅炉为高温高压，单锅筒横置式，单炉膛，自然循环，全悬吊结构，全钢架 π 型布置。锅炉室内布置，在运转层8m标高设置混凝土平台。炉膛采用膜式水冷壁，锅炉中部是蜗壳式汽冷旋风分离器，尾部竖井烟道布置两级四组对流过热器，过热器下方布置两组省煤器及一、二次风各三组空气预热器。

锅炉采用无锡华光锅炉股份有限公司最新型的低氮燃烧、低能耗循环流化床锅炉技术，是无锡华光锅炉股份有限公司开发的第三代循环流化床锅炉产品。在燃烧系统中，给煤机将煤送入落煤管进入炉膛，给污泥机将污泥送入落泥管进入炉膛，锅炉燃烧所需空气分别由一、二次风机提供。一次风机送出的空气经一次风空气预热器预热后由左右两侧风道引入炉下水冷风室，通过水冷布风板上的风帽进入燃烧室；二次风机送出的风经二次风空气预热器预热后，通过分布在炉膛前后墙上的喷口喷入炉膛，补充空气，加强扰动与混合。沼气通过沼气燃烧器喷入炉膛，燃料和空气在炉膛内流化状态下掺混燃烧，并与受热面进行热交换。炉膛内的烟气(携带大量未燃尽碳粒子)在炉膛上部进一步燃烧放热。离开炉膛并夹带大量物料的烟气经蜗壳式汽冷旋风分离器之后，绝大部分物料被分离出来，经返料器返回炉膛，实现循环燃烧。分离后的烟气经转向室、高温过热器、低温过

热器、省煤器、一、二次风空气预热器由尾部烟道排出。由于采用了新型低氮燃烧循环流化床技术，通过低床温、低氧量、薄料层、分级送风等运行手段，能显著抑制低烟气中NO_x的生成，显著降低鼓风机的厂用电率，因而更能适合日益严格的国家环保和节能减排的要求。

锅炉主要参数：

额定蒸发量	65t/h
最大出力蒸发量	72t/h
额定蒸汽温度	540 °C
额定蒸汽压力(表压)	9.81 MPa
给水温度	158 °C
锅炉排烟温度	~142 °C
排污率	≤1 %
空气预热器进风温度	30 °C
锅炉设计热效率	90%
锅炉保证热效率	89.5 %
燃煤消耗量	3.42t/h
40%含水率污泥消耗量	13.89t/h
沼气消耗量	2225Nm ³ /h
一次热风温度	171 °C
二次热风温度	178 °C
一、二次风量比	50:50
循环倍率	

2.2设计燃料

设计燃料资料：

表1 设计燃料

煤质成份分析

项目	符号	单位	设计燃料
收到基碳	Car	%	57.98
收到基氢	Har	%	3.28
收到基氧	Oar	%	8.44
收到基氮	Nar	%	0.72
收到基硫	Sar	%	0.67
收到基灰份	Aar	%	12.51
收到基全水份	Mar	%	16.4
低位发热量	Qnet.at	MJ/kg	21.777
		kcal/kg	5202

污泥成分分析

序号	名称	单位	数值
1	碳 Car	%	13.2
2	氢 Har	%	0.92
3	氧 Oar	%	13.45
4	氮 Nar	%	0.96
5	硫 Sar	%	0.78
6	灰分 Aar	%	30.69
7	水分 War	%	40
8	低位发热量Qnet.ar	kcal/kg	1066

沼气成分分析

序号	名称	单位	数值
1	碳 Car	%	44.04
2	氢 Har	%	9.95
3	氧 Oar	%	39.67
4	氮 Nar	%	2.85
5	硫 Sar	%	2.02
6	灰分 Aar	%	0
7	水分 War	%	1.47
8	低位发热量Qnet.ar	kcal/kg	6350

3 试验依据

- > 《电站锅炉性能试验规程》(GB/T 10184—2015);
- > 《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)
- > 《入炉煤样品的采取方法》(DL/T 567.2—2018);
- > 《飞灰和炉渣样品的采集》(DL/T 567.3—2016);

- > 技术协议及有关联络会议纪要。
- > 电厂编制的锅炉运行规程。

4 锅炉考核试验项目

4.1 性能保证值

4.1.1 在下述工况条件下，锅炉额定蒸发量为65t/h:

- (1) 燃用表1中所给定的燃料；
- (2) 额定给水温度；
- (3) 过热蒸汽温度和压力为额定值。
- (4) 蒸汽品质合格。
- (5) SNCR+SCR 投运。

4.1.2 在下述工况条件下，锅炉保证热效率不小于89.50%(按低位发热量)

- (1) 燃用表1设计燃料；
- (2) 锅炉负荷在额定出力工况下；
- (3) 省煤器出口过剩空气系数保持设计值；
- (4) 锅炉热效率计算按GB/T10184-2015进行计算及有关项目的修正；
- (5) 燃料在设计规定的范围内；
- (6) NOX 排放浓度达到保证值。

4.1.3 飞灰含碳量不大于6%，底渣含碳量不大于2%

- (1) 燃用表1设计燃料；
- (2) 额定工况；
- (3) 锅炉效率不低于保证热效率。

4.1.4 在下述工况条件下，空气预热器的漏风率(单台)在投产第一年内不高于1。

- (1) 燃用表1中所给定的燃料；
- (2) 锅炉负荷在额定出力时。

5 试验内容

- > 锅炉热效率；(进行2个平行工况)
- > 空预器漏风率；(进行2个平行工况)
- > 锅炉最大出力(短时超发蒸发量)试验。

6 试验方法

6.1 反平衡锅炉热效率

锅炉热效率试验采用反平衡法进行，计算公式如下：

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_{oth} - q_{ex})$$

式中：

q_2 ——排烟热损失， %；

q_3 ——气体未完全燃烧热损失， %；

q_4 ——固体未完全燃烧热损失， %；

q_5 ——锅炉散热损失， %；

q_6 ——灰、渣物理显热损失， %；

q_{oth} ——其他热损失， %；

q_{ex} ——外来热量与燃料低位发热量的百分比， %。

6.1.1 排烟温度测量

测量方法：排烟温度的测量按等截面网格法在空预器出口烟道布置热电偶，并接至布置在现场的分散式数据采集系统，如图1所示，由计算机实时存储，数据记录周期为每五秒钟一次。



图1 排烟温度采集示意图

6.1.2 烟气成分测量

测量方法：空气预热器出口烟气成分按照标准采用等截面网格法将各测孔烟气引至混合器，经干燥除尘后进入分析仪器，如图2所示，烟气成分分析的主要项目有： O_2 、 CO 等。

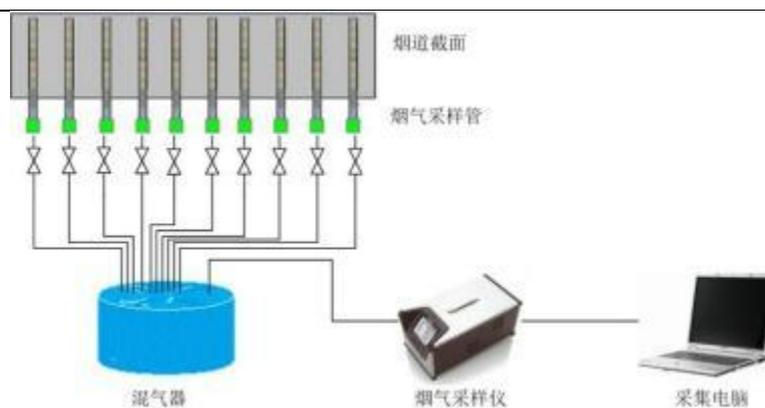


图2 排烟成份测量示意图

6.1.3 入炉燃料统计及取样

测量方法：试验前上足量商定的稳定煤种，确定皮带送煤到煤仓及由煤仓落煤到给煤机内再送入炉膛燃烧所需要的提前时间，试验前适当时间内在送煤皮带上持续采集试验入炉煤种，同时试验期间内在污泥干化车间采集掺烧的污泥样品。两种样品分别破碎、混合、各缩分为2份。一份备用，另一份由热工院送交煤炭研究院进行发热量分析、工业分析和元素分析。试验期间在污水厂采集掺烧的沼气样品，由热工院送交进行发热量分析、工业分析和元素分析。

6.1.4 飞灰取样

测量方法：飞灰采用空预器出口烟道布置飞灰采样器进行连续采样。试验结束后，样品混合均匀，缩分2份。一份备用，一份由热工院送交煤炭研究院进行可燃物含量分析。

6.1.5 炉渣取样及排渣温度测量

测量方法：试验期间在冷渣机排渣口每15分钟取样一次，每次约1kg，同时用Fluke温度计测量炉渣温度。试验工况结束后，全部样品混合均匀、缩分成2份。一份备用，一份由热工院送交煤炭研究院进行可燃物含量分析。

6.1.6 大气条件测量

测量方法：在送风机入口附近开放空间，用膜盒式大气压力计测量大气压力。用温湿度仪测量环境温度、湿度，每15分钟测量一次。

6.1.7 运行参数记录

DCS中所有主、辅机的运行参数均为记录项目，参与计算的参数采用DCS记录数据，至少每15分钟打印或存盘一次；工况记录半小时打印或存盘一次。

6.1.8 灰渣比确定

测量方法：现场2台炉的渣由皮带输送至渣斗，不具备统计单台炉渣量的条件，灰渣比采用设计值。

6.2 空气预热器漏风率

试验前，现场使用标准气体对氧量分析仪进行零点校准和满量程校准，并用3%和6%O₂标准气体进行验证，校准后不再移动分析仪，直至该试验工况结束。试验结束后再次用标准气体对仪器进行复校。试验中用Φ14mm仪表管对空预器进、出口测量截面各取样点逐个、同步、同侧进行取样，取样烟气经前置预处理器干燥过滤后，进入M&C PMA-10氧量分析仪进行氧浓度测试，进、出口测量截面处的氧浓度取各个取样点的算术平均值，并计算空预器漏风率。测试系统示意如图3所示：

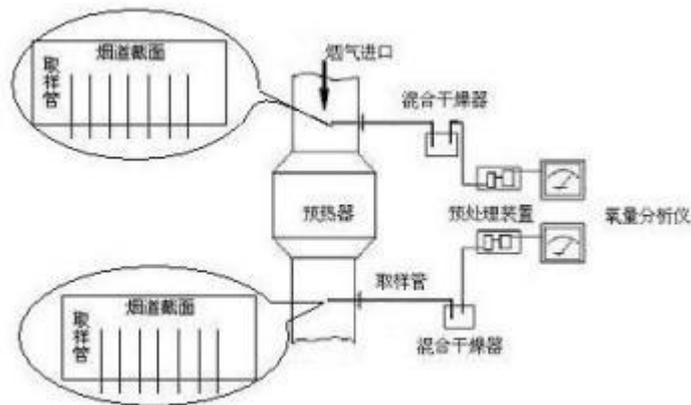


图3 空预器漏风率测试示意图

6.2.1 计算方法

1) 漏风率的定义

漏入空预器烟气侧的空气质量与进入空预器烟气侧的烟气质量之比率。

2) 漏风系数的定义

空预器出口烟气的过量空气系数与空预器进口烟气的过量空气系数之差，即为空预器的漏风系数。 $\Delta\alpha = \alpha'' - \alpha'$

3) 漏风率计算公式

$$A_L = (O_{22} - O_{21}) / (21 - O_{22}) \times 90\%$$

式中， O_{21} 、 O_{22} ——空预器烟气侧进、出口含氧量，%。

4) 漏风率与漏风系数的换算： $AL = (\alpha'' - \alpha') / \alpha' \times 90\%$

式中， α' 、 α'' ——空预器烟气侧进、出口的过量空气系数。

其中， $\alpha = 21/(21 - O_2)$

6.3 锅炉最大连续出力

测量方法：锅炉燃用设计燃料， 主辅机运行正常并有调节裕量， 汽轮机、发电机运行稳定。逐渐增加燃料量提高锅炉出力， 调整并保持过热蒸汽压力和温度达到或接近设计值， 锅炉达到其设计或者保证的最大连续出力后， 保持连续稳定运行2h。记录锅炉主要运行参数。

6.3.1 预备性试验

在正式试验前，按正式试验的要求，进行一次预备性试验，其目的是：(1) 确认所有测试仪器、仪表的可靠性与准确性，保证试验顺利进行；(2) 通过预试验演练，锻炼试验参与人员(包括试验指挥、运行操作、现场测试与采样)的协作沟通与操作技能；(3) 对正式试验所要求的机组运行工况及稳定性进行验证。如果预备性试验结束后，经试验双方共同确认，预备性试验的试验条件满足正式试验的要求，可将预备性试验作为正式试验处理。

6.3.2 正式试验

预备性试验后，开始进行机组试验负荷下的正式试验。每个工况反平衡测试时间为3小时。试验结束后，机组应在试验工况下继续稳定运行1小时，以便进行试验工况的复核。

7 试验条件

- a) 机组已稳定运行多日；
- b) 主要运行表计经过校验，投运正常，指示正确。如：过热器出口蒸汽温度、压力表，再热器进出口压力、温度表，给水流量、压力、温度表，过热器、再热器喷水流量等；
- c) 试验期间燃料应保持相对稳定；
- d) 试验前4小时完成锅炉全面吹灰，试验前关闭连排、定排、化学取样；
- e) 试验期间不进行任何干扰运行工况的操作，如：吹灰、打焦、定期排污等。

8 试验仪器仪表

试验用仪器仪表见下表2。

表2 试验用主要仪器仪表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量	备注
1	烟气分析仪	MRU	台	2	德国
2	热电偶	K 分度号	支	15	国产
3	顺磁氧表	M&C PMA-10	台	2	德国
4	标准气体	3%O ₂ , 6%O ₂	瓶	2	国产
5	IMP 采集板	3595 1C	套	2	英国
6	数据采集仪	EIC-02U	套	1	国产
7	电子微压计	HM9550S	台	2	美国
8	飞灰取样器		套	2	国产
9	温湿度仪	Testo610	套	1	德国
10	大气压力计	YM3	台	1	国产
11	数据采集电脑	DELL	台	1	国产

9 试验工况

表3 试验工况表

序号	日期	时间	工况	试验内容
1	11月28日	9:00~11:00	锅炉65t/h 蒸发量	预试验
2	11月29日	9:00~12:00	锅炉65t/h/蒸发量(PT-01)	锅炉热效率、空预器漏风率
3	11月29日	13:00~16:00	锅炉65t/h 蒸发量(PT-02)	锅炉热效率、空预器漏风率
4	11月29日	16:30~17:30	锅炉最大出力72t/h(PT-03)	锅炉运行参数

10 试验结果

10.1 实际最大连续出力负荷工况锅炉热效率

锅炉热效率在65t/h 蒸发量工况下进行，共进行2个平行工况，每个工况持续3小时。锅炉效率计算结果如表4所示。

表4 锅炉热效率计算结果

项目	单位	PT-01	PT-02
锅炉蒸发量	t/h	66.80	65.40

空预器进风温度	℃	31.78	33.89
O ₂ 含量	%	2.60	3.32
CO含量(6%O ₂)	mg/Nm ³	149.76	123.55
排烟温度	℃	143.50	145.79
修正后排烟温度	℃	143.12	144.32
入炉煤低位热值	kJ/kg	21777	21777
入炉煤灰分	%	24.64	24.64
入炉煤收到基碳量	%	42.63	42.63
入炉污泥低位热值	kJ/kg	4460	4460
入炉污泥灰分	%	30.69	30.69
入炉污泥收到基碳量	%	13.2	13.2
入炉沼气低位热值	kJ/kg	26580	26580
入炉沼气灰分	%	0	0
入炉沼气煤收到基碳量	%	44.1	44.1
飞灰含碳量	%	5.60	4.66
炉渣含碳量	%	3.31	2.99
实测排烟损失	%	5.45	5.78
实测固体未燃损失	%	3.70	3.27
散热损失	%	0.71	0.72
灰渣物理热损失	%	0.24	0.24
实测锅炉热效率	%	89.83	89.94
修正后排烟热损失	%	5.71	6.00
修正后固体未燃损失	%	3.43	2.11
修正锅炉热效率^[1]	%	90.10	90.20

注：[1] 按国标GB/T10184-2015，根据入炉燃料特性、进风温度、给水温度修正到设计值得到修正后锅炉热效率。

分析上表数据可知，PT-01 工况实测锅炉热效率为89.83%，其中排烟热损失影响约为5.45%；飞灰含碳量为5.60%，炉渣含碳量为3.31%，影响固体未完全燃烧热损失约为3.70%。修正后锅炉热效率为90.1%。

PT-02 工况实测锅炉热效率为89.94%，其中排烟热损失影响约为5.78%；飞灰含碳量为4.66%，炉渣含碳量为2.99%，影响固体未完全燃烧热损失约为3.27%。修正后锅炉热效率为90.2%。

10.2 空气预热器漏风率及阻力

空气预热器漏风率测试与锅炉效率试验同步进行，测试结果如表5所示。

表5 空气预热器漏风率及阻力

项目	单位	PT-01	PT-02
空气预热器进口O ₂ 含量	%	1.79	2.50
空气预热器出口O ₂ 含量	%	2.60	3.32
空气预热器进口静压	Pa	-3090	-2880
空气预热器出口静压	Pa	-3723	-3625
空气预热器烟气侧阻力	Pa	633	745
空气预热器漏风率	%	3.94	4.13

分析上表数据可知，PT-01 工况空气预热器漏风率为3.94%，烟气侧阻力为633Pa；PT-02 工况空气预热器漏风率为4.13%，烟气侧阻力为745Pa。

10.3 锅炉最大出力 (短时超发蒸发量) 试验

PT-3 工况锅炉最大出力(短时超发蒸发量) 试验数据如表6所示。

表8 最大出力试验数据

项目	单位	PT-03
过热蒸汽流量	t/h	72.8
过热蒸汽压力	MPa	9.27
过热蒸汽温度	℃	532.4
给水流量	t/h	76.6
给水压力	MPa	13.58
给水温度	℃	155.4
一级减温水流量	t/h	3.8
二级减温水流量	t/h	1.7
一次风量	Nm ³ /h	53287
一次风压	kPa	9.45
二次风量	Nm ³ /h	48136
二次风压	kPa	10.20

分析上表数据可知，PT-3 锅炉最大出力工况蒸发量为72.8 t/h，高于72t/h的保证值，锅炉短时超发蒸发量出力达到保证要求。

11 试验结论

通过试验，得出如下结论见表7。

表7 性能试验结论

项目	单位	性能保证 值	考核试验 结果	评价
实际最大连续蒸发量	t/h	≥ 65	65.1	达到
锅炉热效率(修正后)	%	> 89.50	90.15	达到
空气预热器漏风率	%	≤ 1.0	4.03	未达到
飞灰含碳量	%	≤ 6	5.13	达到
炉渣含碳量	%	≤ 2	3.15	未达到
锅炉出口CO含量 6%O ₂	mg/Nm ³	< 200	136.66	达到
锅炉最大出力(短时超发蒸发量)	t/h	≥ 72	72.8	达到

注：实际最大连续负荷工况下试验结果系PT-01和PT-02双平行工况测试结果的平均值。

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目

5#锅炉整体验收会议纪要

2023年11月20日，浙江华川集团5号炉整体验收项目在华川集团会议室召开，会议由金华市市场监督管理局、义乌市市场监督管理局、金华特检中心、浙江华川集团、山东省工业设备安装集团有限公司、苏州热工院等单位人员参加。

会议由建设单位华川集团公司副总金忠财主持，并对该工程的各项情况进行总结，在试运行中各项参数都能达到设计要求，环保测试的各项指标均达到国家标准。山东省工业设备安装集团有限公司、苏州热工院分别对该工程的安装过程、安装质量、调试工作进行了汇报。金华特检中心对整个监检过程及存在的问题作了详细介绍，对监检过程中发现的缺陷作了说明，现建设方已进行消缺，并提出需提供锅炉调试报告及72+24小时锅炉试运行报告，水处理安装竣工调试报告，同时因受疫情影响，导致安装调试消缺时间较长，需提供安全阀、压力表重新校验报告，并要求对日常运行中发现的缺陷如设备管道的跑、冒、滴、漏等现象及时解决。义乌市市场监督管理局对该工程的各项工作表示肯定，要求及时办理锅炉使用登记证，并建议对以后的运行管理进一步加强，各项规章制度需更加完善。金华市市场监督管理局对该工程验收及后续管理工作提出了各项要求。会议认为基本达到整体验收要求，各项运行参数均达到国家相关标准。经与会人员一致同意：

一、同意“浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目5#锅炉”通过整体验收。

二、进一步完善运行规程，完善各项规章制度、人员配备、运行记录及相关应急预案。

与会人员名单附后

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目 5#锅炉整体验收会签到表

2023年11月20日

序号	姓名	工作单位	职务/职称	电话
1	钟斌	金华和合水务局	副局长	13967488863
2	蒋以明	..	物理师	13566780625
3	程加	金华市市场监督管理局	主任	12235969998
4	卞元峰	义乌市市场监管局	工程师	13738408520
5	郭江	金华市特种设备检测所	主任-副部长	13566766171
6	何靖	金华市特种设备检测所	检验员	13566417917
7	吴鹏	山东安泰	项目经理	15963116519
8	刘义德	山东安泰	技术员	15588539186
9	王广松	山东安泰	资料员	18032230600
10	朱志刚	华川		13868976873
11	金忠财	华川	副总	13566796508
12	沈	金华市市场监管局	副局长	18857977013
13	杨	义乌市市场监管局	副局长	13600595677
14	蔡	..		13626695917
15	金德钢	苏州热工院		15862388983
16				
17				
18				

报告编号: SZRG-0205-CR-QJ-005

项目号: M-2023SZSO715F

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目

#5 汽轮发电机组分系统及整套启动调试工程

#5汽轮机整套启动调试报告



编写单位: 苏州热工研究院有限公司

2023 年 10 月

苏州热工研究院有限公司

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd.

技术报告

Commissioning
measures

报告编号: SZRG-0205-CR -QJ-005

项目号: M-2023SZSO715F

正文页数+附件页数: 13

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目

#5 汽轮机整套启动调试报告

关键词: 冲转、超速试验、空负荷、带负荷、满负荷

	编写 Drafted by	校核 Checked by	批准 Approved by
姓名 (Name)	朱成叶	金纯钢	刘强
签字 (Signature)			
日期 (Date)	2023.10.28	2023.10.28	2023.10.28

项目负责人: 金纯钢

项目技术负责人: 金纯钢

项目参加人员: 陈伟、朱成叶、虞传林、端木维庆

目 录

1. 工程及设备系统概述	1
2. 调试过程简介	2
3. 设备及系统调试结论	11
4. 遗留问题及处理建议	11
5. 附录:	11

1. 工程及设备系统概述

工程名称：浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目

工程地点：义乌市赤岸镇报国西路 20 号

工程规模：1×C15MW 汽轮发电机组

建设单位：浙江华川实业集团有限公司

1.1 系统简介：

汽轮机选用杭州中能汽轮动力有限公司生产的高温、高压、单轴、抽凝式汽轮机（型号：C15-8.83/1.27）。

本项目#5 汽轮发电机组由杭州中能汽轮机有限公司供货，该汽轮机组为高温、高压、单缸、抽凝式汽轮发电机。

1) 主蒸汽系统：从锅炉出来的新蒸汽经蒸汽母管进入主汽阀，再通过调节阀进入进入汽轮机高压段通流部分做功，一部分蒸汽经抽汽口、抽汽速关阀抽汽至热网，其余部分则经过低压调节汽阀进入汽机低压部分继续膨胀做功。低压蒸汽膨胀做功后，乏汽排入凝汽器。

2) 回热系统：本机组无回热系统。

3) 汽封系统：本机组为抽汽凝汽式汽轮机，采用自密封的轴封系统。汽轮机开机时，汽封封气用蒸汽由辅助蒸汽提供，通过减温减压器后进入均压箱分别送至前后汽封。汽轮机正常运行时，后汽封封气用蒸汽由前汽封漏汽产生，当漏汽量增大时，均压箱至凝汽器的电动调阀会自动开启，维持汽封封气压力。

4) 喷水减温系统：为使机组在启动、空负荷及低负荷工况下能安全稳定运行，本机组在排缸上下半分别设置有减温喷水接口，当排汽温度超限时，喷入减温水，降低排汽温度。喷水管道上设置电磁阀与排汽温度信号连锁，当排汽温度高于 60℃时，减温水经喷淋管形成雾状水帘喷入排缸；当排汽温度低于 45℃时，停止喷水。减温水可取自凝泵出口的凝结水或除盐水。

5) 润滑及顶轴油系统：润滑油由主油箱供给，在正常情况下，压力油由汽轮机主轴上的主油泵供给，通过节流阀、冷油器及滤油器后形成润滑油，供各轴承润滑。正常运行时润滑油总管的油压力为 0.2~0.3MPa，汽轮机各个轴承入口油压为 0.08~0.15MPa，其他各轴承的油压为 0.5MPa 左右。在启、停机过程中由辅助油泵供给。事故状态下，事故油泵开启时，各个轴承进口油压为 0.03~0.05MPa。顶轴油来自油站润滑油出口总管，盘车投入前，必须先开启顶轴油泵，并确信顶轴油压符合要求。汽轮机冲转后，转速超过 200r/min，

可停下顶轴油泵。停机时，转速低于 200r/min 开启顶轴油泵，直到盘车装置停后方可关闭顶轴油泵。

6) 保安及调节油系统：，速关阀的保安油，由主油泵或辅助油泵提供，引入速关组合装置开关速关阀。调节汽阀的动力油由 EH 油系统提供，引入油动机作为开启调节汽阀的压力油。

表 1-1 汽轮机主要技术规范

产品代号		HS61069
产品型号		C15-8.83/1.27
型式		抽汽凝汽式
额定功率	kW	15000
额定转速	r/min	3000
旋转方向		顺时针(顺汽流看)
额定进汽压力及变化范围	MPa(a)	8.83
额定进汽温度及变化范围	°C	535
额定抽汽压力	MPa(a)	1.27
抽汽流量	t/h	40
额定排汽压力	MPa(a)	0.007
给水回热级数		无
临界转速	r/min	~1550
额定转速时轴承座振动值(全振幅)	mm	≤0.05
临界转速时轴承座振动值(全振幅)	mm	≤0.15

2. 调试过程简介

2.1 调试开始及结束时间

2023 年 10 月 11 日~2023 年 10 月 22 日#5 汽轮机进行整套启动调试工作。

2.2 调试工作内容

2.2.1 汽轮机空负荷调试

首次启动（电动主汽门关闭，其旁路开启）。2023 年 10 月 11 日，9:26 汽轮机开始冲转，盘车脱扣正常，定速 500r/min 时操作台急停试验，摩擦检查正常。开启进汽电动门，关闭其旁路门，9:49 重新定速 500r/min 暖机。10:35 升速至 800r/min 暖机。1041 与汽轮机厂家商定转速升至 1000r/min 暖机检查，#3 轴承振动上升明显，最高达到 80.3um。12:18 升速至 2400r/min 暖机。13:36 首次定速 3000r/min。

表 2-1 汽轮机空负荷试验项目

序号	试验项目
1	主油泵切换
2	定速后的润滑油压力调整
3	电气动态试验
4	调门严密性试验
5	真空状态惰走检查
6	超速试验

13:36 **主油泵切换试验**: 停运高压启动油泵, 主油泵入口油压 0.055MPa、出口油压 1.1MPa, 润滑油压正常, 主油泵工作正常。交电气专业进行发电机短路试验。

完成**定速后的润滑油压力调整**, 调整后的润滑油参数: 润滑油母管压力 0.27MPa, #1 瓦进油压力 0.12MPa, #2、3 瓦进油压力 0.12MPa, #4 瓦进油压力 0.16MPa。

14:24 发电机短路试验完毕, 做**调门严密性试验**: 试验主蒸汽压力 9.26MPa、转速下降至 1000 r/min, 用时 11 分钟 14 秒。

调门严密性试验完成后进行**真空状态惰走检查**, 15:10:00 转速到零投运盘车, 真空状态下 3000 r/min 降至 0 r/min 用时 46 min。汽轮机的振动最高点出现在转速 1614r/min 时; 发电机的振动最高点出现在转速 1164r/min 时; 见附录: 图 5-1 和图 5-2。

17:17 发电机短路排拆除后机组挂闸冲转, 进行**热态启动**, 17:42 定速 800r/min 时#3 瓦轴振达到 134 μm, 18:25 机组定速 3000 r/min, 交电气专业完成发变组空载试验。

20:16 做机组**103%超速试验**: 最高转速 3090r/min。

20:20 做机组**DEH 超速试验**: DEH 停机首出停机, 最高转速 3240r/min。

20:33 做机组**TSI 超速试验**: “DEH 停机”保护退出, 转速高停机首出停机, 最高转速 3245r/min。

20:44 做机组**机械超速试验**: 转速最高升至 3360 r/min 而危急遮断器未动作, 停机调整飞锤偏心度。23:25 进行第二次机械超速试验, 最高转速 **3313 r/min**, 危机遮断器动作停机。

表 2-2 首次冲转前各参数如下表:

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽压力	MPa	2.7	润滑油母管压力	MPa	0.22
主汽温度	℃	300	冷油器出口油温	℃	43.1
轴向位移	mm	0.01/0.03	盘车电流	A	7.5
汽缸膨胀	mm	0.5/0.9	胀差	mm	-0.52/-0.50
凝汽器真空	kPa	88.5	速关油压	MPa	0.84

表 2-3 首次定速 500rpm 各参数如下表:

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽压力	MPa	9.2	主油泵入口油压	MPa	0.07
主汽温度	°C	351	主油泵出口油压	MPa	/
进汽量	t/h	/	润滑油母管压力	MPa	0.23
高压油动机行程	%	11.4	冷油器出口油温	°C	43.8
调节级压力	MPa	/	#1 瓦温度	°C	53.6
调节级温度	°C	51.9	#1 瓦回油温度	°C	45.9
抽汽口压力	MPa	/	#2 瓦温度	°C	54
抽汽温度	°C	/	#2 瓦回油温度	°C	44.5
低压油动机行程	%	95	#3 瓦温度	°C	51.4
抽汽量	t/h	N/A	#3 瓦回油温度	°C	47
排汽压力	kPa	-93.6	#4 瓦温度	°C	50.6
排汽温度	°C	39.7	#4 瓦回油温度	°C	45.9
均压箱压力	kPa	2.3	推力瓦温度 1	°C	48.2
均压箱温度	°C	128.6	推力瓦温度 2	°C	47.9
轴封平衡管压力	MPa	/	推力瓦温度 3	°C	46.9
上缸温度	°C	65	推力瓦温度 4	°C	47.3
下缸温度	°C	54	推力瓦回油温度	°C	47.2
左法兰内壁温	°C	48	轴向位移	mm	-0.12/-0.12
左法兰外壁温	°C	36	汽缸膨胀	mm	1.9/2.3
右法兰内壁温	°C	50	胀差	mm	-0.07/-0.05
右法兰外壁温	°C	37	汽轮机前轴承垂直振动	μm	11.2/12.3
高压油油压	MPa	0.83	汽轮机后轴承垂直振动	μm	49.8/28.7
速关油油压	MPa	0.82	发电机前轴承垂直振动	μm	27.5/50.4
EH 油压	MPa	14.2	发电机后轴承垂直振动	μm	14/17.4
EH 油温	°C	37.6	/	/	/

表 2-4 首次定速 800rpm 各参数如下表:

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽压力	MPa	9.2	主油泵入口油压	MPa	0.07
主汽温度	°C	402	主油泵出口油压	MPa	/
进汽量	t/h	/	润滑油母管压力	MPa	0.22
高压油动机行程	%	11.9	冷油器出口油温	°C	44.5
调节级压力	MPa	/	#1 瓦温度	°C	58.7
调节级温度	°C	72.9	#1 瓦回油温度	°C	46.8

参数	单位	数值	参数	单位	数值
抽汽口压力	MPa	/	#2 瓦温度	°C	59.1
抽汽温度	°C	46.3	#2 瓦回油温度	°C	45.9
低压油动机行程	%	95	#3 瓦温度	°C	56.8
抽汽量	t/h	N/A	#3 瓦回油温度	°C	47.4
排汽压力	kPa	-88.6	#4 瓦温度	°C	55.4
排汽温度	°C	58	#4 瓦回油温度	°C	47.4
均压箱压力	kPa	8.5	推力瓦温度 1	°C	49.5
均压箱温度	°C	135.8	推力瓦温度 2	°C	49
轴封平衡管压力	MPa	/	推力瓦温度 3	°C	48.5
上缸温度	°C	91.4	推力瓦温度 4	°C	49.1
下缸温度	°C	73.1	推力瓦回油温度	°C	49
左法兰内壁温	°C	62	轴向位移	mm	-0.14/-0.14
左法兰外壁温	°C	51.3	汽缸膨胀	mm	2.2/2.7
右法兰内壁温	°C	65.6	胀差	mm	-0.12/-0.09
右法兰外壁温	°C	53	汽轮机前轴承垂直振动	μm	11.9/12
高压油油压	MPa	0.83	汽轮机后轴承垂直振动	μm	48.9/27.6
速关油油压	MPa	0.82	发电机前轴承垂直振动	μm	28.2/62.8
EH 油压	MPa	14.2	发电机后轴承垂直振动	μm	19.4/17.2
EH 油温	°C	39.1	/	/	/

表 2-5 首次定速 2400rpm 各参数如下表:

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽压力	MPa	9.1	主油泵入口油压	MPa	0.05
主汽温度	°C	468	主油泵出口油压	MPa	/
进汽量	t/h	/	润滑油母管压力	MPa	0.23
高压油动机行程	%	13	冷油器出口油温	°C	46.2
调节级压力	MPa	/	#1 瓦温度	°C	71.9
调节级温度	°C	158.1	#1 瓦回油温度	°C	50.5
抽汽口压力	MPa	/	#2 瓦温度	°C	80.6
抽汽温度	°C	68.4	#2 瓦回油温度	°C	49
低压油动机行程	%	95	#3 瓦温度	°C	73.3
抽汽量	t/h	N/A	#3 瓦回油温度	°C	50.6
排汽压力	kPa	-93.8	#4 瓦温度	°C	65.5
排汽温度	°C	70.9	#4 瓦回油温度	°C	52.2
均压箱压力	kPa	6.6	推力瓦温度 1	°C	58.3

参数	单位	数值	参数	单位	数值
均压箱温度	°C	136	推力瓦温度 2	°C	55.5
轴封平衡管压力	MPa	/	推力瓦温度 3	°C	55.7
上缸温度	°C	188.4	推力瓦温度 4	°C	58.2
下缸温度	°C	151.4	推力瓦回油温度	°C	77.4
左法兰内壁温	°C	112.5	轴向位移	mm	-0.16/-0.17
左法兰外壁温	°C	86	汽缸膨胀	mm	2.8/3.6
右法兰内壁温	°C	124.4	胀差	mm	-0.02/0.01
右法兰外壁温	°C	95.3	汽轮机前轴承垂直振动	μm	34.2/32.2
高压油油压	MPa	0.83	汽轮机后轴承垂直振动	μm	84.3/65.5
速关油油压	MPa	0.82	发电机前轴承垂直振动	μm	64.5/80.8
EH 油压	MPa	14.2	发电机后轴承垂直振动	μm	14.8/26.5
EH 油温	°C	37.6	/	/	/

表 2-6 首次定速 3000rpm 各参数如下表:

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽压力	MPa	9.2	主油泵入口油压	MPa	0.055
主汽温度	°C	489	主油泵出口油压	MPa	1.1
进汽量	t/h	/	润滑油母管压力	MPa	0.22
高压油动机行程	%	13.1	冷油器出口油温	°C	39.5
调节级压力	MPa	/	#1 瓦温度	°C	67
调节级温度	°C	218.8	#1 瓦回油温度	°C	50.5
抽汽口压力	MPa	/	#2 瓦温度	°C	75.2
抽汽温度	°C	77.5	#2 瓦回油温度	°C	48.9
低压油动机行程	%	95	#3 瓦温度	°C	69.5
抽汽量	t/h	N/A	#3 瓦回油温度	°C	51.9
排汽压力	kPa	-93.7	#4 瓦温度	°C	60.5
排汽温度	°C	48.1	#4 瓦回油温度	°C	51.2
均压箱压力	kPa	7	推力瓦温度 1	°C	58.3
均压箱温度	°C	138.6	推力瓦温度 2	°C	56.4
轴封平衡管压力	MPa	/	推力瓦温度 3	°C	56
上缸温度	°C	245.7	推力瓦温度 4	°C	58.9
下缸温度	°C	216.8	推力瓦回油温度	°C	故障
左法兰内壁温	°C	160.4	轴向位移	mm	-0.16/-0.17
左法兰外壁温	°C	125.6	汽缸膨胀	mm	3.6/4.5
右法兰内壁温	°C	172.5	胀差	mm	0/0.04

参数	单位	数值	参数	单位	数值
右法兰外壁温	°C	137.4	汽轮机前轴承垂直振动	μm	10.6/13
高压油油压	MPa	1.03	汽轮机后轴承垂直振动	μm	81.2/64
速关油油压	MPa	1.14	发电机前轴承垂直振动	μm	43.4/48.4
EH 油压	MPa	14.12	发电机后轴承垂直振动	μm	35.7/37.4
EH 油温	°C	43	/	/	/

2.2.2 汽轮机带负荷调试及满负荷试运

表 2-7 汽轮机带负荷试验项目

序号	试验项目
1	首次并网
2	甩负荷试验
3	抽汽投用
4	真空严密性试验
5	72+24h 试运

2023 年 10 月 11 日，23:44 汽轮发电机**首次并网**成功，初始负荷 0.5MW。2023 年 11 月 12 日，0:12 电负荷 1MW 进行汽轮发电机组的**试甩负荷试验**：DCS 操作断开发电机并网开关，OPC 动作，汽轮机转速由 3000r/min 下降至 2880r/min，转速未上升。甩负荷时辅助油泵处于备用状态。

0:50 汽轮发电机组再次并网，逐渐带负荷至 1.5MW。1:16 负荷升至 5MW。

15:30 逐渐升负荷至 15MW，开启抽汽止回阀、快关阀，逐渐开大抽汽电动隔离阀至 30%，对抽汽管道进行稳压吹扫，吹扫时抽汽压力 2.27MPa，温度 223℃，18:00 吹扫结束，关闭抽汽电动隔离阀和抽汽止回阀、快关阀。

2023 年 10 月 13 日 10:00，#5 机组电负荷 15MW，真空-94.0kPa，进行真空严密性试验，停真空泵、关闭真空泵入口气动阀后开始计时，试验八分钟，取后五分钟真空下降值进行计算，平均每分钟下降真空值为 95Pa，小于 300Pa/min，真空严密性试验合格。

2023 年 10 月 13 日 16:00，#5 机组负荷 15MW，抽汽投入，全部自动、保护投入，开始 72+24h 满负荷试运行，2023 年 10 月 17 日 16:00，#5 机组满负荷试运结束，试运期间机组运行稳定，各运行各项参数达到设计要求，无故障及保护动作，满足机组满负荷考核要求。

表 2-10 有功功率 1.5 MW 时汽轮机运行参数

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽门前蒸汽压力	MPa	9.3	润滑油母管压力	MPa	0.25
主汽门前蒸汽温度	℃	504	冷油器进油温度	℃	54.1
主汽流量	t/h	11.3	冷油器出油温度	℃	44.2
高压油动机开度	%	17	汽机前轴承轴瓦温	℃	69.9/55
调节级后蒸汽压力	MPa	0.1	汽机前轴承回油温	℃	57.2
汽机调节级后温度	℃	293	汽机后轴承轴瓦温	℃	78.3/54.2
抽汽压力	MPa	0	汽机后轴承回油温	℃	53.3
抽汽温度	℃	104	发前轴承轴瓦温度	℃	58.1/70.6
抽汽流量	t/h	/	发前轴承回油温度	℃	58.1
低压油动机行程	%	95	发后轴承轴瓦温度	℃	64.7
排汽压力	kPa	-94	发后轴承回油温度	℃	55.3
排汽温度	℃	47	推力瓦块温度 1	℃	62.5
汽缸上温度	℃	299.8	推力瓦块温度 2	℃	61.4
汽缸下温度	℃	288.9	推力瓦块温度 3	℃	59
汽缸左法兰内壁温	℃	264	推力瓦块温度 4	℃	60.8
汽缸左法兰外壁温	℃	240	推力轴承回油温度	℃	57.6
汽缸右法兰内壁温	℃	267	汽机前轴振动	μm	24.4/22.4
汽缸右法兰外壁温	℃	243	汽机后轴振动	μm	74.4/54.5
均压箱压力	kPa	30	发电机前轴振动	μm	46.2/52.5
均压箱温度	℃	144	发电机后轴振动	μm	36.4/37.3
轴封平衡管压力	MPa	0.03	绝对膨胀	mm	6.5/7.6
轴加进汽压力	kPa	-0.5	胀差	mm	-0.6/-0.59
轴加进汽温度	℃	/	汽轮机转子轴位移	mm	-0.11/-0.11
凝结水泵出口压力	MPa	0.61	发冷风温度左/右	℃	28.9/28.1
凝结水温度	℃	31.9	发热风温度左/右	℃	39.1/38.8
轴加出水温度	℃	33.3	发定子线圈温度 1	℃	42.6
循环水左进水温度	℃	25	发定子线圈温度 2	℃	37.8
循环水右进水温度	℃	25	发定子线圈温度 3	℃	37.6
循环水左出水温度	℃	31.5	发定子线圈温度 4	℃	40.4
循环水右出水温度	℃	30.6	发定子线圈温度 5	℃	42.7
主油泵入口油压	MPa	0.05	发定子线圈温度 6	℃	40.8
主油泵出口油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 1	℃	42
高压油油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 2	℃	42
速关油油压	MPa	1.13	发定子铁芯温度 3	℃	41.9
EH 油压	MPa	14.1	发定子铁芯温度 4	℃	41.1
主油箱油位	mm	191.9	发定子铁芯温度 5	℃	38.3
EH 油箱油位	mm	350	发定子铁芯温度 6	℃	43

表 2-11 有功功率 6.5 MW 时汽轮机运行参数

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽门前蒸汽压力	MPa	9.1	润滑油母管压力	MPa	0.25
主汽门前蒸汽温度	℃	515	冷油器进油温度	℃	54.3
主汽流量	t/h	26.4	冷油器出油温度	℃	44.4
高压油动机开度	%	31	汽机前轴承轴瓦温	℃	69.1/55.5
调节级后蒸汽压力	MPa	0.91	汽机前轴承回油温	℃	57.3
汽机调节级后温度	℃	325	汽机后轴承轴瓦温	℃	77.9/54.7
抽汽压力	MPa	0.22	汽机后轴承回油温	℃	53.3
抽汽温度	℃	138	发前轴承轴瓦温度	℃	58.5/70.2
抽汽流量	t/h	/	发前轴承回油温度	℃	58.3
低压油动机行程	%	95	发后轴承轴瓦温度	℃	64.8
排汽压力	kPa	-93.7	发后轴承回油温度	℃	55.5
排汽温度	℃	38.3	推力瓦块温度 1	℃	65.6
汽缸上温度	℃	317.2	推力瓦块温度 2	℃	65.2
汽缸下温度	℃	325.2	推力瓦块温度 3	℃	58.5
汽缸左法兰内壁温	℃	294.5	推力瓦块温度 4	℃	59.8
汽缸左法兰外壁温	℃	249.8	推力轴承回油温度	℃	58.1
汽缸右法兰内壁温	℃	298.4	汽机前轴振动	μm	24.7/22
汽缸右法兰外壁温	℃	253.5	汽机后轴振动	μm	77.8/56.6
均压箱压力	kPa	24.9	发电机前轴振动	μm	49.1/53.1
均压箱温度	℃	137.8	发电机后轴振动	μm	33.3/36.3
轴封平衡管压力	MPa	0.21	绝对膨胀	mm	7.1/8.2
轴加进汽压力	kPa	-0.5	胀差	mm	-0.75/-0.74
轴加进汽温度	℃	/	汽轮机转子轴位移	mm	-0.02/-0.03
凝结水泵出口压力	MPa	0.6	发冷风温度左/右	℃	29.4/28.5
凝结水温度	℃	37.5	发热风温度左/右	℃	41/40.4
轴加出水温度	℃	38.3	发定子线圈温度 1	℃	45
循环水左进水温度	℃	25.1	发定子线圈温度 2	℃	40.1
循环水右进水温度	℃	25.2	发定子线圈温度 3	℃	39.7
循环水左出水温度	℃	34.8	发定子线圈温度 4	℃	42.8
循环水右出水温度	℃	34.3	发定子线圈温度 5	℃	45
主油泵入口油压	MPa	0.05	发定子线圈温度 6	℃	43
主油泵出口油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 1	℃	44
高压油油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 2	℃	44
速关油油压	MPa	1.13	发定子铁芯温度 3	℃	44
EH 油压	MPa	14.1	发定子铁芯温度 4	℃	43.2
主油箱油位	mm	191.9	发定子铁芯温度 5	℃	40
EH 油箱油位	mm	350	发定子铁芯温度 6	℃	45

表 2-12 有功功率 11 MW 时汽轮机运行参数

参数	单位	数值	参数	单位	数值
主汽门前蒸汽压力	MPa	9.3	润滑油母管压力	MPa	0.24
主汽门前蒸汽温度	℃	523	冷油器进油温度	℃	55
主汽流量	t/h	43.7	冷油器出油温度	℃	44.4
高压油动机开度	%	38.8	汽机前轴承轴瓦温	℃	74.1/56.4
调节级后蒸汽压力	MPa	1.1	汽机前轴承回油温	℃	58.4
汽机调节级后温度	℃	366.3	汽机后轴承轴瓦温	℃	77.8/54.7
抽汽压力	MPa	0.44	汽机后轴承回油温	℃	53.1
抽汽温度	℃	244.8	发前轴承轴瓦温度	℃	58.3/69.9
抽汽流量	t/h	/	发前轴承回油温度	℃	59.5
低压油动机行程	%	95	发后轴承轴瓦温度	℃	64.2
排汽压力	kPa	-92	发后轴承回油温度	℃	55.4
排汽温度	℃	40.6	推力瓦块温度 1	℃	67.6
汽缸上温度	℃	345.9	推力瓦块温度 2	℃	65.5
汽缸下温度	℃	358.5	推力瓦块温度 3	℃	57.8
汽缸左法兰内壁温	℃	355.4	推力瓦块温度 4	℃	59.4
汽缸左法兰外壁温	℃	330.8	推力轴承回油温度	℃	57.9
汽缸右法兰内壁温	℃	351	汽机前轴振动	μm	16.7/15.7
汽缸右法兰外壁温	℃	332.4	汽机后轴振动	μm	62.9/47.3
均压箱压力	kPa	22	发电机前轴振动	μm	54.8/61.2
均压箱温度	℃	106	发电机后轴振动	μm	39.7/38.7
轴封平衡管压力	MPa	0.25	绝对膨胀	mm	9.5/11.1
轴加进汽压力	kPa	-0.5	胀差	mm	-0.82/-0.82
轴加进汽温度	℃	/	汽轮机转子轴位移	mm	0.01/-0
凝结水泵出口压力	MPa	0.65	发冷风温度左/右	℃	32.2/31.3
凝结水温度	℃	40.9	发热风温度左/右	℃	45.9/44.9
轴加出水温度	℃	41.2	发定子线圈温度 1	℃	50.5
循环水左进水温度	℃	27.4	发定子线圈温度 2	℃	45.3
循环水右进水温度	℃	27.5	发定子线圈温度 3	℃	44.6
循环水左出水温度	℃	38.3	发定子线圈温度 4	℃	48.2
循环水右出水温度	℃	37.9	发定子线圈温度 5	℃	50.6
主油泵入口油压	MPa	0.05	发定子线圈温度 6	℃	48.9
主油泵出口油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 1	℃	49.7
高压油油压	MPa	1.02	发定子铁芯温度 2	℃	49.6
速关油油压	MPa	1.13	发定子铁芯温度 3	℃	49.5
EH 油压	MPa	14.1	发定子铁芯温度 4	℃	49
主油箱油位	mm	192.1	发定子铁芯温度 5	℃	45.9
EH 油箱油位	mm	340	发定子铁芯温度 6	℃	51.3

2.3 调试过程中发现的问题及处理情况

表 2-12 问题汇总表

序号	问题	处理方法	备注
1	汽轮机转速首次停机时盘车无法投入，检查接近开关信号异常。	手动投入盘车，停机机会检查或更换接近开关。	已处理
2	抽汽投用初期，抽汽量较小时抽汽止回阀启闭频繁，带动抽汽管道振动。	提前暖管，低抽汽量停留时间尽可能短	已处理
3	汽轮机启动时轴加疏水不畅。	优化轴加疏水水封。	已处理
4	汽轮机启动时均压箱温度无法提升至设计值。	变更均压箱辅汽汽源。	已处理

3. 设备及系统调试结论

浙江华川实业集团有限公司污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电多联供技术开发项目#5 汽轮机主辅设备和系统经过空负荷、带负荷试运及 72+24 小时连续运行，各项调整、试验工作完成，汽轮机本体及辅助设备的运行稳定，机组运行各项参数基本达到设计要求。可以移交生产投入商业运行。

4. 遗留问题及处理建议

无。

5. 附录：

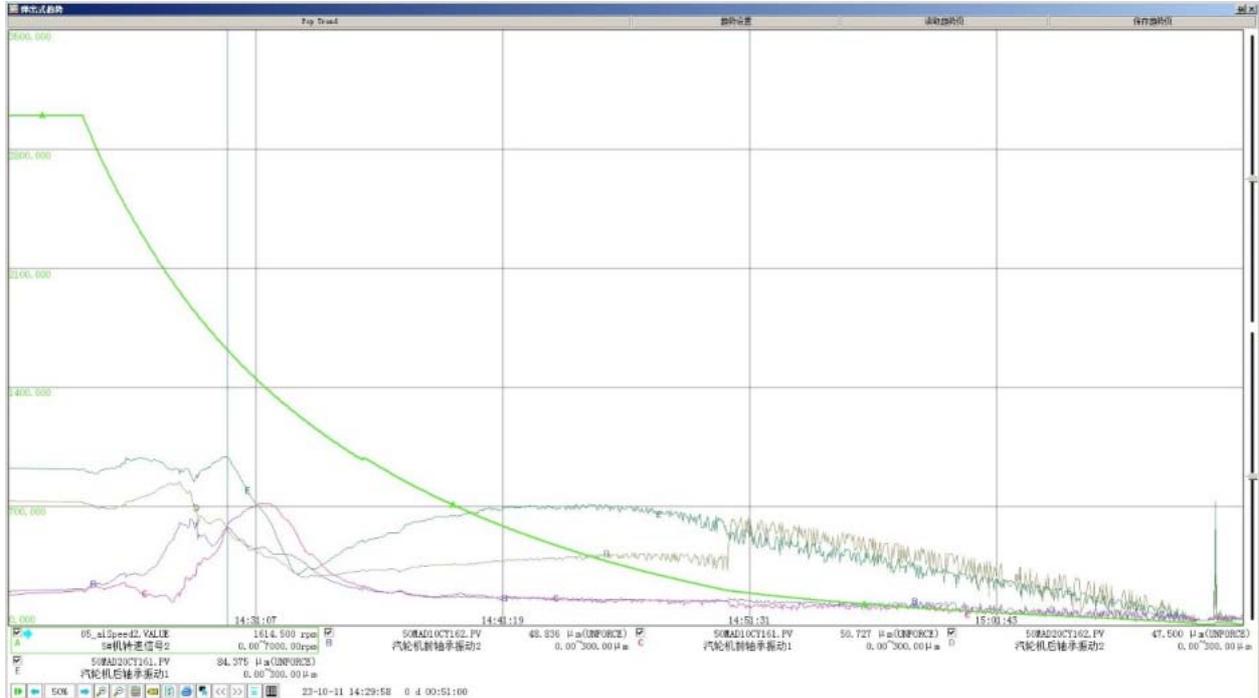


图 5-1 汽轮机惰走时临界振动曲线

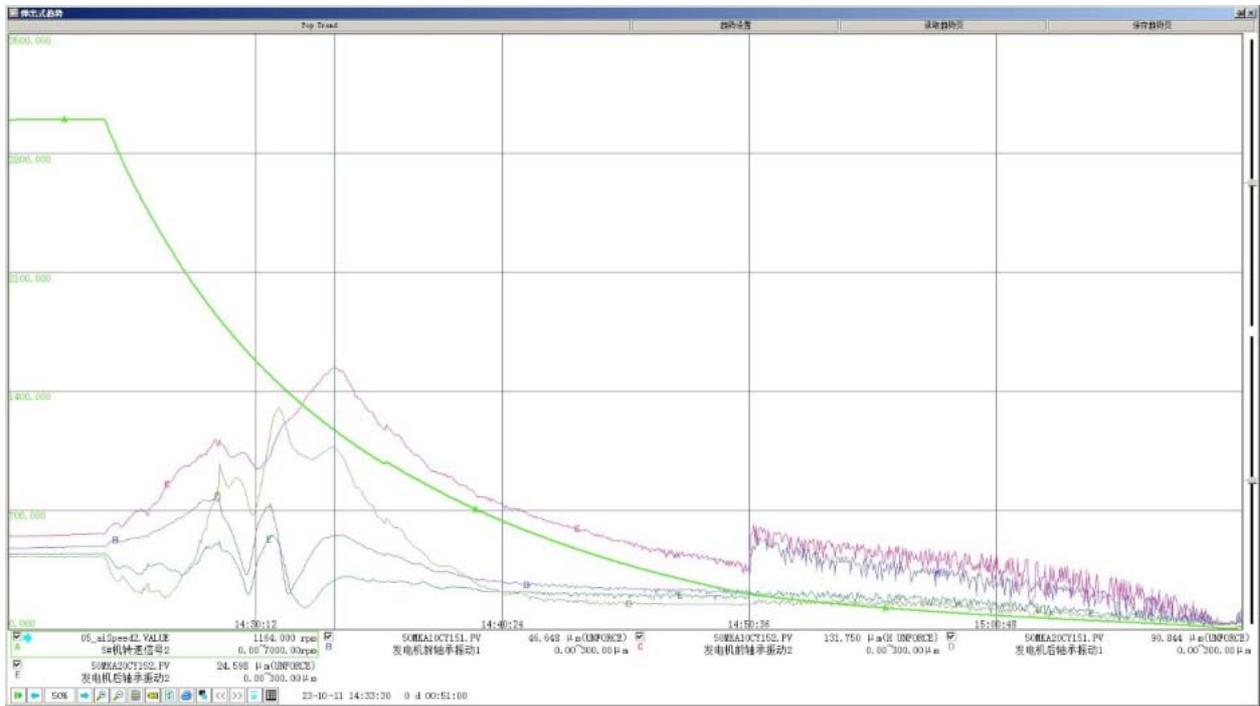


图 5-2 发电机惰走时临界振动曲线

报告编号：029-GB-R-2023-J15-M.SOC04-001

项目号：M-2023SZSO715F

浙江华川实业集团有限公司
污水沼气和城市污泥资源化利用及气
冷电多联供技术开发项目
冷却塔性能试验报告

苏州热工研究院有限公司



2023年12月

苏州热工研究院有限公司

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd.

技术报告

Technical Report

文件编码:

项目号:

正文页数+附件页数:

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电
多联供技术开发项目

冷却塔性能试验报告

关键词(KeyWords):

	编写 Drafted by	校核 Checked by	审查 Reviewed by	批准 Approved by
姓名(Name)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
签字(Signature)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
日期(Date)				

项目负责人: 金纯钢

项目技术负责人: 邬平

项目参加人员: 张健 张涛 罗明爽

摘 要

为验证浙江华川实业集团自备电厂 3 台冷却塔的冷却能力和噪声水平是否达到了性能保证要求，受业主方委托，苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 22 日对 3 台冷却塔进行了性能试验。

试验结果表明 3 台冷却塔的实际冷却能力达到设计性能要求，周界噪声满足性能保证值要求，飘水率满足性能保证值要求。

目 录

1	试验背景.....	3
2	设计规范.....	3
3	试验标准.....	3
4	测试内容.....	3
5	测量方法.....	4
6	试验条件.....	5
7	计算方法.....	7
8	试验结果.....	8
9	结论.....	10
	附件一 冷却塔设计性能曲线.....	11
	附件二 工况确认单.....	14

1 试验背景

为验证浙江华川实业集团自备电厂3台冷却塔的冷却能力和噪声水平是否达到了性能保证要求，受业主方委托，苏州热工研究院有限公司于2023年9月18日至22日对冷却塔进行了性能试验。

2 设计规范

机械通风冷却塔的主要设计参数如下：

表1 冷却塔及通风机组设计规范

名称（规格及要求）	参数
冷却塔设备型号	FC466A56D6.004AA
总循环水量（m ³ /h）	18000
设计湿球温度（℃）	28.1
进塔水温（℃）	43
出塔水温（℃）	33
冷却塔扬程（m）	7.4
蒸发损失（m ³ /h）	273.5
飘水率（%）	0.0005
噪声（dB(A)）	≤80
冷却塔塔型	玻璃钢结构逆流式机械通风冷喷雾冷却塔
冷却塔台数/布置	4台一排组合布置（1台未建）

3 试验标准

参考《工业冷却塔测试规程（DL/T 1027-2006）》标准执行。

4 测试内容

机组在100%额定负荷工况下，进行机械通风塔冷却能力试验和噪声测试。测试项目有：

- 环境气象参数，包括空气的干、湿球温度，大气压力，风速和风向；
- 进塔空气的干、湿球温度；
- 进塔水流量；
- 进、出塔水温；

- e) 进塔空气流量;
- f) 通风机输入电功率;
- g) 噪声。

5 测量方法

5.1 环境风速和风向测量

采用带风向标的旋杯式风速风向计，测点距离机械通风塔不小于 30m，风速风向计的测点高度在地面以上 1.5m~2m 处。

5.2 环境空气干、湿球温度测量

选用机械通风干湿表或精度不低于机械通风干湿表的其他测量仪表，温度表分辨率不大于 0.2℃，精度不应低于 0.5 级。测温仪表布置于位于通风塔上风向 30m~50m 通风良好处，避免阳光直射，仪表距离地面为 1.5m~2m。

5.3 大气压力测量

宜采用福廷式或空盒式大气压力表。

5.4 进塔空气的干、湿球温度测量

a) 单侧和双侧进风的矩形冷却塔:

- ◇ 当进风口高度不大于 4.0m，且宽度不大于 6.0m 时，在每侧进风口宽度的 12 处设测点处。测点距进风口百叶窗的距离在 2.0m 之内。仪表安装在集水池上缘 1.5m~2.0m 的高处。
- ◇ 当进风口高度大于 4.0m，宽度大于 6.0m 时，在进风口宽度和高度的 1/4 及 3/4 处各设测点一处，测点距进风口百叶窗的距离为 2m~3m。

b) 周围进风的多边形和圆形冷却塔，沿塔周围均匀布置 4 处测点，测点至进风口的距离为 2m~3m 当进风口高度不大于 4.0m 时，仪表安装在集水池上缘 1.5m~2.0m 高处;当风口高度大于 4.0m 时，在进风口高度的 1/4 和 3/4 处各设测点一处

c) 温度表分辨率不大于 0.2℃，精度不应低于 0.5 级。

5.5 进塔水流量测量

采用 FLEXIM F601 超声波流量进行测量。

5.6 进、出塔水温的测量

采用采用 Rosemount A 级 Pt100 热电阻进行测量，并进行校验值修正。

5.7 进塔空气流量测量

宜采用皮托管和微压计测量，测点宜布置在风机吸入侧的风筒断面上。当无条件在风机吸入侧风筒内测量时，也可在以下部位测量：

- 当冷却塔进风口不装进风百叶窗时，在冷却塔进风口测量；
- 在冷却塔风筒出口测量，采用旋桨式等风速仪表。

5.8 出塔空气的干、湿球温度

- a) 测量仪表宜采用遥测通风干湿表、热电阻温度计或水银温度计等测温仪表。温度计的分辨率不应大于 0.2°C ，仪表精度不应低于 0.5 级。
- b) 当测量空气干球温度有困难时，可仅测空气湿球温度，出塔空气视为接近饱和，其相对湿度可取 98%。
- c) 机械通风冷却塔测点可布置在风筒出口或风机进风侧的风筒内。
- d) 出塔空气温度取各测点温度的算术平均值。当测试断面风速和温度分布相差较大时，宜采用温度和风量的加权平均值。

5.9 风机轴功率的测量

在电气间读取通风机累计电度数，按时间平均，计算得到。

5.10 噪声的测量

在距离冷却塔周界外 1.0m、距地面 1.5m 处用声级计测量噪声。

6 试验条件

试验期间，热力设备、系统、运行及试验仪表应满足以下条件：

6.1 测试条件

- a) 测试工作宜在夏季接近设计的气象条件或气温较高季节的白天进行。
- b) 测试工作不应在雨中或雨后立即进行。雨后的测试开始时间宜在雨停 1h 以后。
- c) 机械通风冷却塔的环境平均风速不应大于 4.5m/s ，阵风每分钟平均风速不应大于 7.0m/s 。

- d) 试验期间应停止向冷却塔的集水池补水和从集水池向塔外排污，并关闭塔间联络沟闸门。
- e) 各项主要参数允许偏离设计值的范围见表 2。当进塔水温偏离设计值较大，水温差与设计值相差较大时，应计算进塔水温对冷却塔散热性能的影响。

表 2 主要参数允许偏离设计值范围

参数名称	允许偏离设计值范围
进塔干球温度 θ_1	$\pm 14^{\circ}\text{C}$
进塔湿球温度 τ_1	$\pm 8.5^{\circ}\text{C}$
进水塔流量 Q	$\pm 10\%$
进出塔水温差 Δt	$\pm 20\%$

- f) 各个工况测试过程中，各项主要参数的每次测值与该工况各次测值的算术平均值的允许变化范围应符合表 3：

表 3 主要参数允许波动范围

参数名称	允许波动范围
进塔干球温度 θ_1	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
进塔湿球温度 τ_1	$\pm 3.0^{\circ}\text{C}$
进塔水温 t_1	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
进水塔流量 Q	$\pm 5\%$

6.2 运行条件

- a) 冷却塔的配水系统应清洁、通畅、无杂物堆积、无漏水和溢水现象，喷嘴应完整无损、喷溅正常。
- b) 淋水填料外观应整齐、无缺损、无变形、填料表面不应有藻类、有无和其他杂物。
- c) 除水器表面应清洁，不应有阻碍空气正常流通的杂物、藻类和其他附着物。
- d) 机械通风冷却塔的风机、电动机和减速装置运转正常。
- e) 冷却塔集水池内水位应处于正常水位或测试要求水位。

6.3 仪表条件

- a) 所有试验仪表检验合格，工作正常。
- b) 测试系统安装及接线正确。
- c) 数据采集系统设置正确，数据采集正常，数据经验证准确、有效、可靠。
- d) 受现场条件限制，无法加装试验仪表的测点可借用 DCS 数据，但试验前需

验证其仪表精度满足试验要求，且测量数据可靠、有效。

7 计算方法

7.1 有效工况点选择

测试项目中有出塔空气的干、湿球温度时，可按下式进行热平衡计算，选取有效工况点。有效工况点的热平衡误差 $\Delta\varepsilon$ 的绝对值宜不大于 7%。

$$\Delta\varepsilon = \left[1 - \frac{G_a(h_2 - h_1)}{c_w Q_t (t_1 - t_2)} \right] \times 100\%$$

式中：

$\Delta\varepsilon$ ——热平衡误差，%；

G_a ——进塔干空气量，kg(DA)/h (DA 表示干空气，下同)；

h_1 ——进塔湿空气比焓，kJ/kg(DA)；

h_2 ——出塔湿空气比焓，kJ/kg(DA)；

c_w ——水的比热容，kJ/(kg·°C)；

Q_t ——实测进塔水流量，kg/h；

t_1 ——进塔水温，°C；

t_2 ——出塔水温，°C。

7.2 冷却特性数

$$\Omega = \int_2^1 \frac{c_w dt}{h'' - h} = \frac{c_w \Delta t}{6} \left(\frac{1}{h_2'' - h_1} + \frac{4}{h_m'' - h_m} + \frac{1}{h_1'' - h_2} \right)$$

$$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

式中：

Ω ——冷却特性数；

Δt ——冷却水温差，°C；

h_m ——进塔和出塔湿空气比焓的平均值，kJ/kg(DA)；

h_1'' ——温度相当于进塔水温 t_1 的饱和空气比焓，kJ/kg(DA)；

h_2'' ——温度相当于出塔水温 t_2 的饱和空气比焓，kJ/kg(DA)；

h_m'' ——与进出塔平均水温 t_m 相应的饱和空气比焓，kJ/kg(DA)。

7.3 进塔空气量

当机械通风冷却塔的进塔空气流量不能直接进行测量时，也可根据实测的风机轴功率，按下式计算进塔空气量。

7.3.1 进塔空气流量

$$G_t = G_d \left(\frac{v_d}{v_t} \right) \left(\frac{N_t}{N_d} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho_d}{\rho_t} \right)^{1/3}$$

式中：

G_t 、 G_d ——计算和设计进塔空气流量，kg(DA)/h；

N_t 、 N_d ——实测和设计风机轴功率，kW；

v_t 、 v_d ——实测和设计进塔空气比体积， $m^3/kg(DA)$ ；

ρ_t 、 ρ_d ——实测和设计进塔湿空气密度， kg/m^3 。

7.3.2 空气的比体积

$$v = \frac{461.5T}{P_A} (0.622 + X)$$

式中：

v ——空气比体积， $m^3/kg(DA)$ 。

7.4 冷却性能评价

依据冷却塔厂家提供的设计冷却性能函数，代入冷却塔的边界参数（如：大气压、进塔空气干/湿球温度、进塔空气量、进塔冷却水量、进塔水温等），计算出塔水温的应达值，将其与出塔水温的实测值进行比较，当实测值低于应达值时，则冷却塔实际冷却效果达到设计预期。

8 试验结果

8.1 冷却能力

测试期间，天气晴朗、风平浪静，测量数据和计算结果汇总于表 4，如下：

表 4 冷却能力测试结果汇总

序号	参数名称	单位	#1 塔	#2 塔	#3 塔
1	实测大气压	Pa	101500	101500	101500
2	实测进塔空气干球温度	°C	32.40	31.40	32.50
3	实测进塔空气相对湿度	%	61.30	61.30	61.30
4	实测进塔冷却水流量	kg/h	4432130	4452304	4429453
5	实测进塔干空气流量	kg/h	3109911	3116012	3119842
6	实测出塔空气干球温度	°C	38.50	38.60	38.60
7	实测进塔水温	°C	34.10	34.20	34.30
8	实测出塔水温	°C	28.11	28.01	28.07
9	冷却水实测温降	°C	5.99	6.19	6.23
10	实测气水比	/	0.702	0.672	0.676
11	出塔水温应达值 (按设计特性计算而来)	°C	28.84	28.45	29.16
12	出塔水温实测值	°C	28.11	28.01	28.07
13	冷却效果是否合格	/	合格	合格	合格

计算表明 3 台冷却塔实际出塔水温小于出塔水温应达值，冷却能力满足设计要求。

8.2 噪声

在冷却塔的冷却性能测试期间，按照顺时针方向在冷却塔前后布置测点并对冷却塔周界进行噪声测量。测量结果表明#1 冷却塔周界平均噪声 79.1dB (A)，#2 冷却塔周界噪声 78.1 dB (A)，#3 冷却塔周界噪声 79.0 dB (A)。

表 5 噪声测试数据

名称	单位	#1 塔	#2 塔	#3 塔
测点 1	dB (A)	83.9	81.2	78.8
测点 2	dB (A)	80.4	79.4	77.9
测点 3	dB (A)	79.3	78.5	78.5
测点 4	dB (A)	78.4	77.5	80.1
测点 5	dB (A)	75.4	79.3	82.3
测点 6	dB (A)	78.2	76.5	79.5
测点 7	dB (A)	79.4	76.6	78.1
测点 8	dB (A)	77.6	75.8	76.6
平均值	dB (A)	79.1	78.1	79.0

8.3 蒸发损失

统计 3 台冷却塔运行期间蓄水池补水量，即补水量等于蒸发量，试验统计期间补水量为 97.5m³/h。

8.4 飘水率

测试结果显示#1~#3 冷却塔飘水率均小于 0.0005%，满足设计要求。

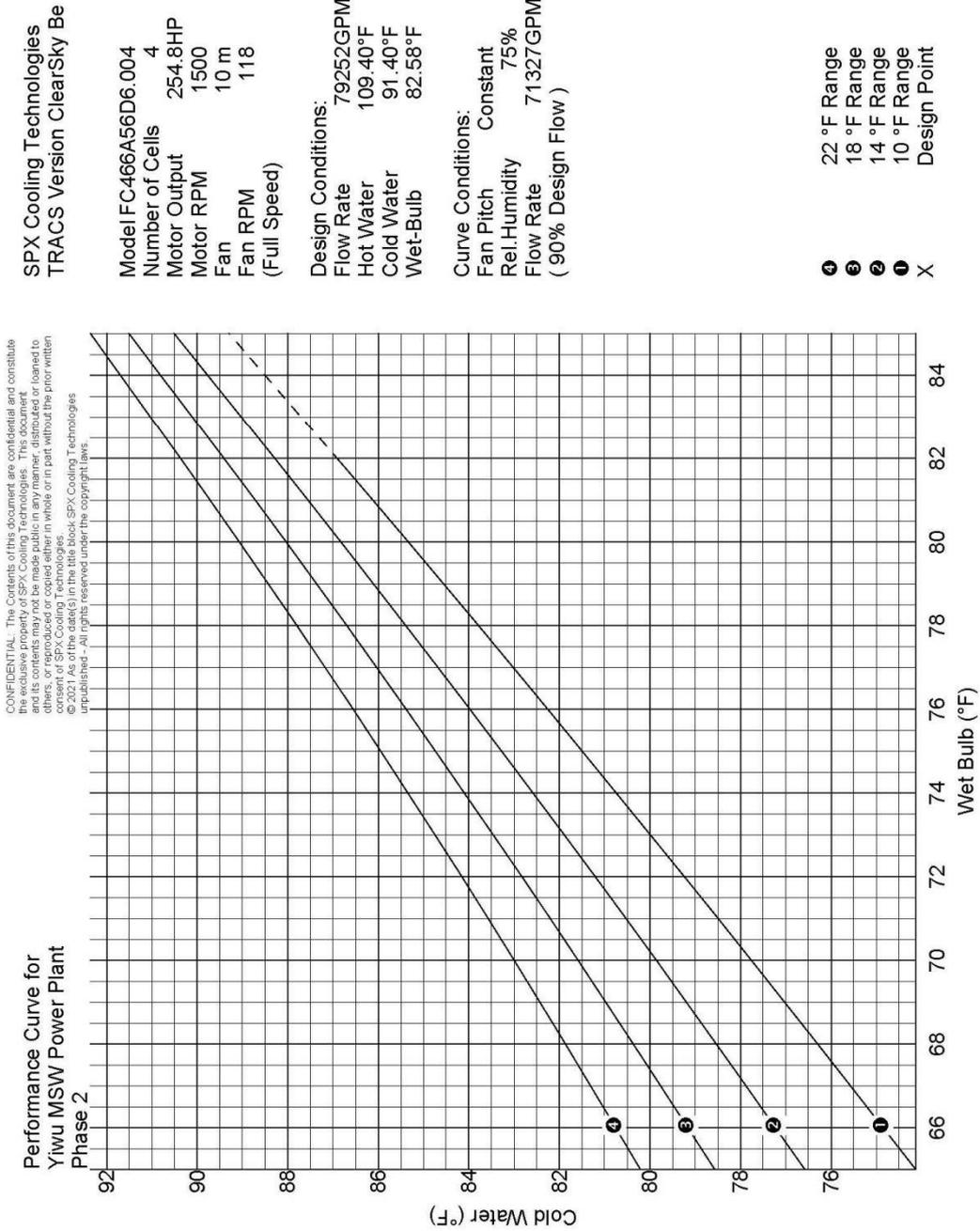
表 6 飘水率数据

名称	单位	#1 塔	#2 塔	#3 塔
飘滴损失水量	m ³ /h	0.02	0.019	0.016
循环水量	m ³ /h	4432	4452	4429
飘水率	%	0.00045	0.00043	0.00036

9 结论

试验结果表明，3 台冷却塔的实际冷却能力满足设计性能要求，冷却塔噪声满足设计保证值要求，冷却塔蒸发损失量满足设计值保证值要求，飘水率小于 0.0005%。

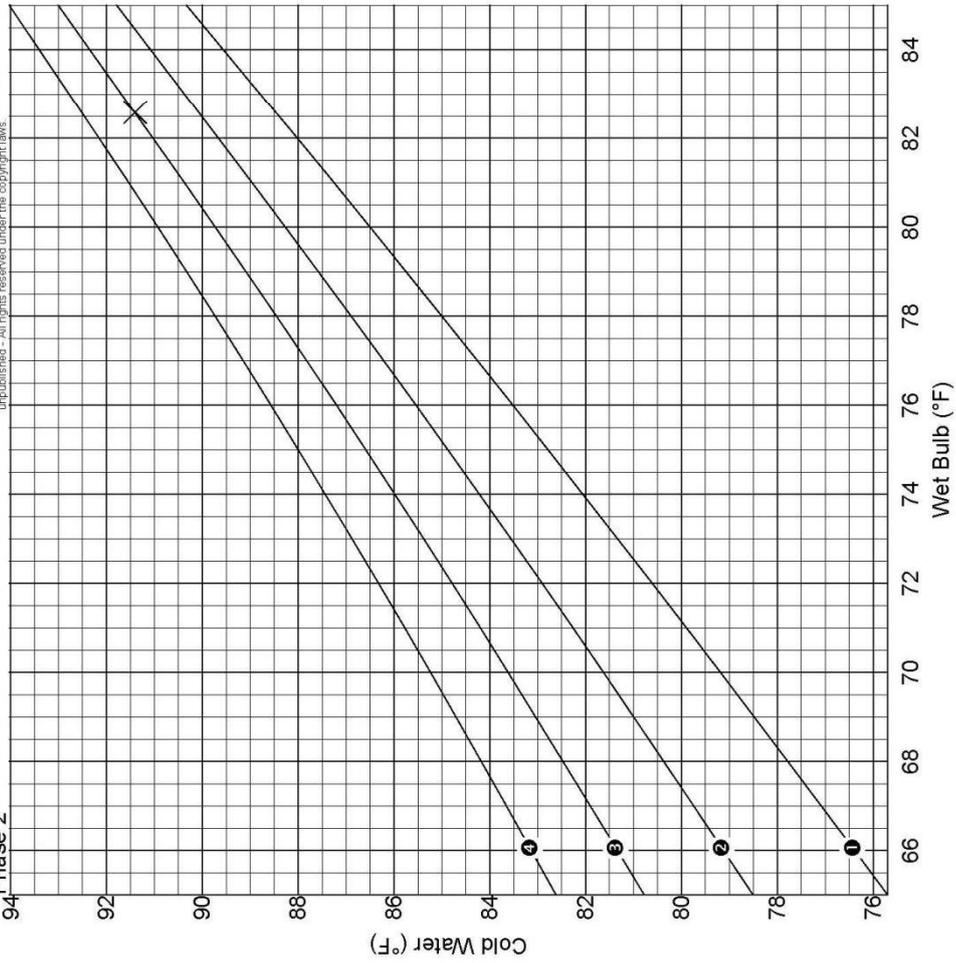
附件一 冷却塔设计性能曲线



Time: 16:00:13 Date: 02-03-2021 Drawn By: CJH

Performance Curve for
Yiwu MSW Power Plant
Phase 2

CONFIDENTIAL - The Contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of SPX Cooling Technologies. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of SPX Cooling Technologies. © 2021 SPX Cooling Technologies. All rights reserved under the copyright laws.



SPX Cooling Technologies
TRACS Version ClearSky Be

Model FC466A56D6.004
 Number of Cells 4
 Motor Output 254.8HP
 Motor RPM 1500
 Fan 10 m
 Fan RPM 118
 (Full Speed)

Design Conditions:
 Flow Rate 79252GPM
 Hot Water 109.40°F
 Cold Water 91.40°F
 Wet-Bulb 82.58°F

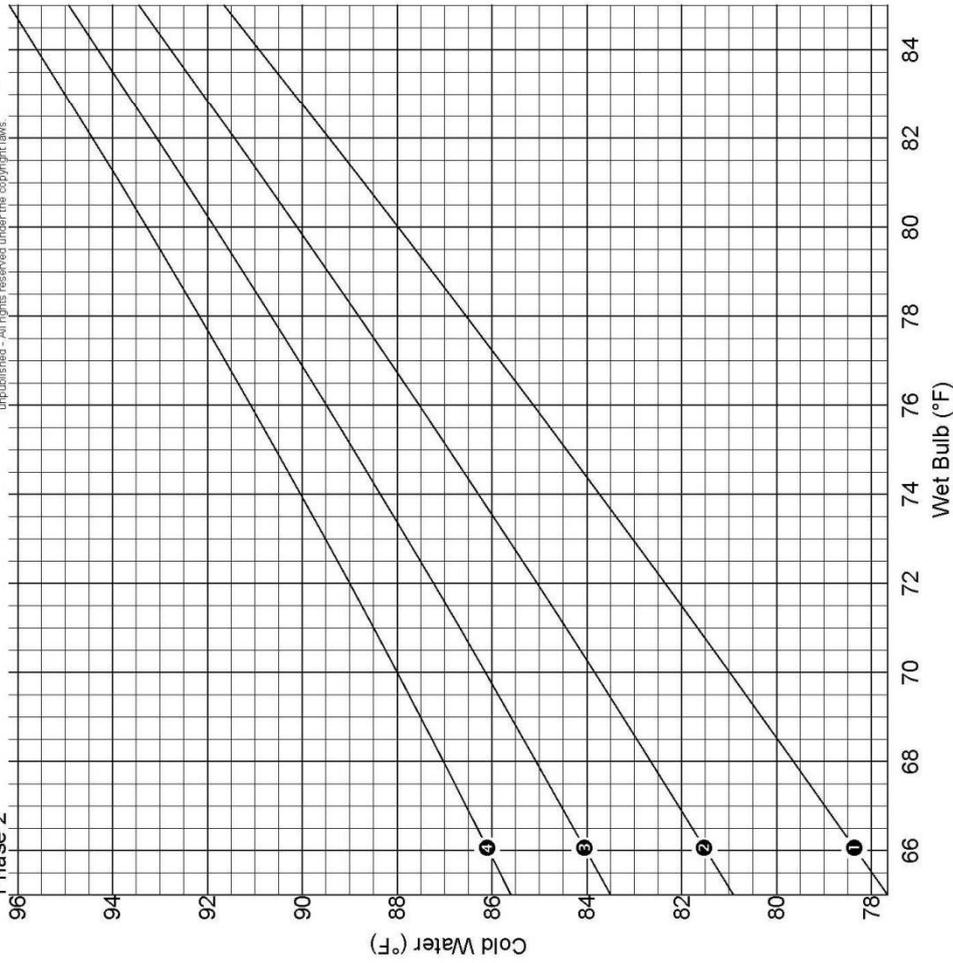
Curve Conditions:
 Fan Pitch Constant
 Rel.Humidity 75%
 Flow Rate 79252GPM
 (100% Design Flow)

4 22 °F Range
 3 18 °F Range
 2 14 °F Range
 1 10 °F Range
 X Design Point

Time: 16:02:12 Date: 02-03-2021 Drawn By: CJH

Performance Curve for
Yiyu MSW Power Plant
Phase 2

CONFIDENTIAL - The Contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of SPX Cooling Technologies. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of SPX Cooling Technologies. All rights reserved under the copyright laws.



SPX Cooling Technologies
TRACS Version ClearSky Be

Model FC466A56D6.004
Number of Cells 4
Motor Output 254.8HP
Motor RPM 1500
Fan 10 m
Fan RPM 118
(Full Speed)

Design Conditions:
Flow Rate 79252GPM
Hot Water 109.40°F
Cold Water 91.40°F
Wet-Bulb 82.58°F

Curve Conditions:
Fan Pitch Constant
Rel.Humidity 75%
Flow Rate 87177GPM
(110% Design Flow)

4 22 °F Range
3 18 °F Range
2 14 °F Range
1 10 °F Range
X Design Point

Time: 16:03:49 Date: 02-03-2021 Drawn By: CJH

报告编号:

项目号:

合同号:

浙江华川实业集团有限公司
污水沼气和城市污泥资源化利用及气
冷电多联供技术开发项目
溴化锂性能试验报告

苏州热工研究院有限公司

二〇二五年十月



苏州热工研究院有限公司

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd.

技术报告

Technical Report

文件编码:

项目号:

正文页数+附件页数:

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电
多联供技术开发项目

溴化锂性能试验报告

关键词(KeyWords):

	编写 Drafted by	校核 Checked by	审查 Reviewed by	批准 Approved by
姓名(Name)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
签字(Signature)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
日期(Date)				

项目负责人: 金纯钢

项目技术负责人: 邬平

项目参加人员: 张健 张涛 罗明爽

摘 要

为验证2台溴化锂设备是否达到了性能保证要求,受业主方委托,苏州热工研究院有限公司于2023年9月18日至2023年9月22日对溴化锂设备进行了性能试验。

试验结果表明,。

关键词：溴化锂

目 录

1	试验背景	3
2	设计规范	3
3	试验标准	4
4	测试内容	4
5	测量方法	错误!未定义书签。
6	试验条件	错误!未定义书签。
7	计算方法	错误!未定义书签。
8	试验结果	4
9	结论	4
	附件一 冷却塔设计性能曲线.....	错误!未定义书签。
	附件二 工况确认单.....	5

1 试验背景

为验证 2 台溴化锂设备是否达到了性能保证要求，受业主方委托，苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 22 日对溴化锂设备进行了性能试验。

2 设计规范

2.1 系统简述

系统功能：利用工艺中低压蒸汽作为驱动热源，系统提取热量后夏天制取 12℃/7℃的低温冷冻水，冬天提供 45/55℃空调热水，生活热水按 60℃供水。

系统组成：余热制冷系统、冷却水系统、低压水系统。主要由低压蒸汽型溴化锂制冷机、冷冻水泵、热水泵、全自动定压补水装置、机房内的阀门、管道以及安装辅材等部分组成。

表 1、水冷机组设备技术参数

项目	单位	规格
机型	-	RFH083Y
台数	-	2
制冷量	kW	2913
	*10 ⁴ kcal/h	250.5
冷水	进出口温度	℃
	流量	m ³ /h
	水压损失	mH ₂ O
	接管尺寸	mm
	水室承压	MPaG
冷却水	进出口温度	℃
	流量	m ³ /h
	水压损失	mH ₂ O
	接管尺寸	mm
	水室承压	MPaG
低压蒸汽	压力	MPaG
	蒸汽消耗量	kg/h
	蒸汽接管尺寸	mm
	凝水接管尺寸	mm
	单位冷吨蒸汽消耗量	kg/USRt/h

3 试验标准

- 1、《溴化锂吸收式冷水机组能效限定值及能效等级》（GB 29540-2015）
- 2、《蒸汽和热水型溴化锂吸收式冷水机组》（GB/T 18431 -2014）

4 测试内容

机组在 100%额定负荷工况下，进行机溴化锂设备参数测试。测试项目有：
蒸汽压力、蒸汽温度、蒸汽流量、冷水流量、冷水进出口温度、系统耗电量

5 试验结果

8.1 冷却能力

名称	单位	设计	#1	#2
冷水进口压力	Mpa	0.4	0.4	0.4
冷水进口温度	℃	12	11.3	10.5
冷水进口焓值	kJ/kg	50.7957405	47.86135	44.50695
冷水出口压力	Mpa	0.4	0.4	0.4
冷水出口温度	℃	7	7.5	6.7
冷水出口焓值	kJ/kg	29.819637	31.91913	28.55971
进出口温差	℃	5	3.8	3.8
冷水流量	m ³ /h	500	205.5	253.3
制冷量热量	kJ	10488051.8	3276128	4039435
制冷量	kW	2913.34772	910.0355	1122.065
蒸汽消耗量	kg/h	6200	1200	1000
噪音	dB (A)	85	82	81
耗电量	kWh			

6 结论

附件一 工况确认单

工况确认单

电 厂: 华川集团

设 备: #1#2溴化锂

试验工况:

试验日期: 2023.9.19

试验开始	<p>1、设备系统运行符合试验要求;</p> <p>2、测试仪表符合试验要求;</p> <p>3、运行工况调整至稳定状态, 满足试验要求;</p> <p>经参加试验各方同意, 本试验工况于2023年9月19日9时30分正式开始。</p> <p>试验代表 (签字): 李振江 黄子</p>
试验过程记事	
试验结束	<p>1、试验工况有效;</p> <p>2、所有测试数据有效;</p> <p>3、所取样品有效;</p> <p>4、经参加试验各方同意, 本试验工况于2023年9月19日14时30分结束。</p> <p>试验代表 (签字): 李振江 黄子</p>

报告编号:

项目号:

合同号:

浙江华川实业集团有限公司
污水沼气和城市污泥资源化利用及气
冷电多联供技术开发项目
污泥干化设备性能试验报告

苏州热工研究院有限公司

二〇二〇年六月



苏州热工研究院有限公司

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd.

技术报告

Technical Report

文件编码:

项目号:

正文页数+附件页数:

浙江华川实业集团有限公司

污水沼气和城市污泥资源化利用及气冷电
多联供技术开发项目

污泥干化设备性能试验报告

关键词(KeyWords):

	编写 Drafted by	校核 Checked by	审查 Reviewed by	批准 Approved by
姓名(Name)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
签字(Signature)	邬平	陈伟	邓德兵	王俊
日期(Date)				

项目负责人: 金纯钢

项目技术负责人: 邬平

项目参加人员: 张健 张涛 罗明爽

摘 要

为验证#7~#12 污泥干化系统设备性能是否达到了性能保证要求，受业主方委托，苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 22 日对污泥干化设备进行了性能试验。

试验结果表明#12 污泥干化系统吨污泥耗电量大于设计值，其余参数满足设计要求。

关键词：污泥、含湿量、处理量

目 录

1	试验背景	3
2	设计规范	3
3	试验标准	4
4	测试内容	4
5	测量方法	4
6	试验仪器	5
7	试验结果	5
8	结论	6
	附件一 工况确认单	7
	附件二 试验记录单	8

1 试验背景

为验证#7~#12 污泥干化系统设备性能是否达到了性能保证要求,受业主方委托,苏州热工研究院有限公司于 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 22 日对污泥干化设备进行了性能试验。。

2 设计规范

建设规模:

二期规模 600t/d, 设置 6 条独立的污泥处理线, 每条处理线的规模为 100t/d; 污泥含水率约 80%±10%。

建设目标:

将含水 80%左右的污泥干化至含水 30%~40%, 但最终考核按含水率 80%干化至 40%计。

本工程利用厂内的蒸汽, 对污泥进行干化, 在确保安全可靠、科学合理、节能环保、投资节省、运行经济的条件下, 实现干化焚烧的最终处置目标, 处置后的污泥实现无害化、减量化、稳定化、资源化。

设备年额定运行时间: ≥ 8000 小时。

本系统须配置包括但不限于污泥干燥机、尾气处理系统、蒸汽供应及其凝结水回收系统等系统。

系统流程图大致如下:

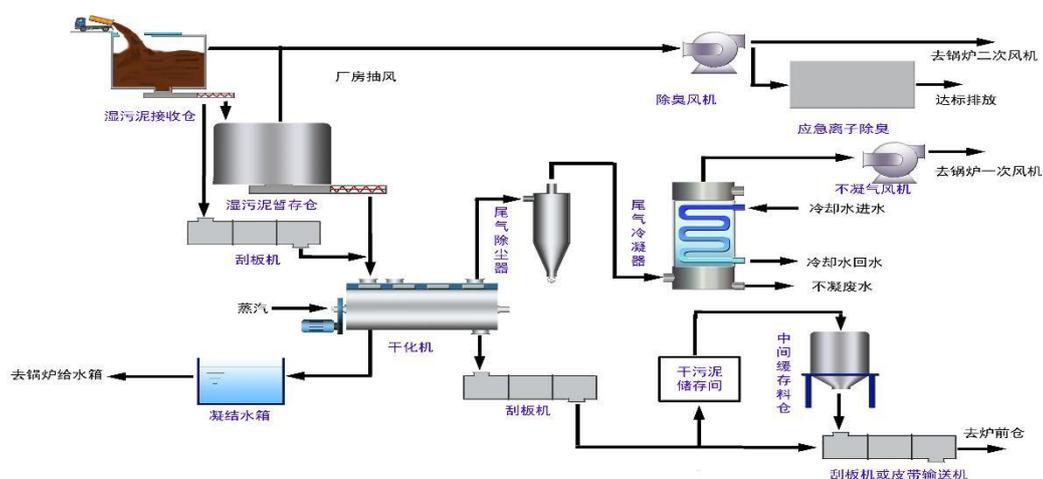


图 1-1 干化系统流程示意图

3 试验标准

《火力发电厂基本建设工程启动和竣工验收规程》；

《火电机组启动验收性能试验导则》电综合 2016；

《火电机组达标投产考核标准》2006 版；

相关技术协议

4 测试内容

4.1 考核指标：

表 1 考核指标

参 数	单 位	保证值	备 注
单台干燥机额定处理量	t/d	100	污泥含水率 80%干化至 40%
单台干燥机电耗	kwh/t	7.2	污泥含水率 80%干化至 40%
单台干燥机蒸汽耗量	t/h	3.46	污泥含水率 80%干化至 40%
噪声水平	dB	≤85	

4.2 试验内容

在额定出力下，测试#7~#12 污泥干化系统一下内容

- a) 污泥含水率；
- b) 污泥处理量；
- c) 消耗蒸汽量；
- d) 消耗电量；
- e) 噪音。

5 测量方法

5.1 干化机处理量

采用现场表计统计试验期间所有污泥车净重作为全厂湿污泥处理量，统计单条干化机试验期间料仓消耗量作为单条干化机处理量。

5.2 蒸汽消耗量

采用现场 DCS 蒸汽流量计，记录试验期间蒸汽消耗量。

5.3 耗电量

采用现场电量表统计试验期间系统耗电量后所得电量为污泥干化系统耗电量。

5.4 污泥含水率

采用自动烘干卤素水分测试仪测量污泥含水率。

湿污泥含水率：每 4h 取样一次，总计取样 6 次；

干污泥含水率：每条干化机出口 12h 取样一次，每台 2 次，总计 8 次。

5.5 噪声

1) 设备噪声测量时测点布置在该层地面（或水平支撑面）以上 1.2 米，距离设备外壳 1 米，测点间距 1 米。

2) 测试前、后用声级校准器校准，前后相差不大于 0.5dB(A)，否则测试无效。

3) 仪器动态特性为“慢”响应，采用 A 计权网络。

4) 如测点处噪声为稳态噪声，测 1 分钟的等效声级；如为周期性噪声时，测一个周期的等效声级；当为非周期性非稳态噪声时，测整个工作时间的等效声级，每隔 5 秒钟取一个样。

6 试验仪器

表 2 测试仪器

名称
含水率测试仪
便携式测温仪
Fluke 测温仪
大气温湿度计
声级计
电子微压计
靠背管

7 试验结果

试验连续统计 2 天数据求取平均值，试验结果入校

7.1 #12 污泥处理系统

根据表 3 结果可知，污泥处理量 113.2t/d；干污泥含水量 37.74%，蒸汽耗量 3.43t/h，吨污泥耗电量 13.96kwh/t，噪音 82.75dB（A）。

表 3、#12 污泥处理系统

时间	污泥 处理量	蒸汽耗量	湿污泥 含水率	干污泥 含水率	蒸汽 压力	蒸汽 温度	吨污泥 耗电量	设备 噪音
单位	t/d	t/h	%	%	MPa	℃	kWh/h	dB(A)
18日	122.8	3.58	80	37.10	0.58	238.8	17.84	82.3
19日	103.6	3.28	80	38.37	0.56	214.5	10.08	83.2
平均值	113.2	3.43	80	37.735	0.57	226.65	13.96	82.75

8 结论

试验结果表明#12 污泥干化系统吨污泥耗电量大于设计值，其余参数满足设计要求。

附件一 工况确认单

工况确认单

电 厂: 华川集团

设 备: #12污泥干化

试验工况:

试验日期: 2023.9.17

试验开始	<p>1、设备系统运行符合试验要求;</p> <p>2、测试仪表符合试验要求;</p> <p>3、运行工况调整至稳定状态, 满足试验要求;</p> <p>经参加试验各方同意, 本试验工况于 <u>2023</u> 年 <u>9</u> 月 <u>17</u> 日 <u>23</u> 时 <u>50</u> 分正式开始。</p> <p>试验代表 (签字): 卡振江 陈荣辉</p>
试验过程记录	
试验结束	<p>1、试验工况有效;</p> <p>2、所有测试数据有效;</p> <p>3、所取样品有效;</p> <p>4、经参加试验各方同意, 本试验工况于 <u>2023</u> 年 <u>9</u> 月 <u>19</u> 日 <u>23</u> 时 <u>50</u> 分结束。</p> <p>试验代表 (签字): 卡振江 陈荣辉</p>



检测报告

TEST REPORT

报告名称 废气检测
NAME OF REPORT

委托单位 浙江华川实业集团有限公司
CUSTOMER

受检单位 浙江华川实业集团有限公司
INSPECTED ENTITY

检测类别 委托检测
TEST CATEGORY

杭州统标检测科技有限公司

HangZhou TB-testing Technology Co., Ltd

杭州统标检测科技有限公司声明

1. 本报告由报告封面和报告内容组成, 无报告封面, 以及报告封面或报告结论处或骑缝位置无本单位检验检测专用章的, 报告无效。
2. 全文复制报告未重新加盖本单位检验检测专用章无效; 除全文复制报告外, 未经本单位批准不得部分复制报告; 电子版报告仅供参考, 最终结果以纸质版报告为准。
3. 报告无审核人、批准人签字无效; 报告被涂改及删增无效。
4. 本报告的检测结果仅对被测地点、对象和当时情况下检测的数据真实性、有效性负责。送样委托检测, 检测结果仅对所送样品检测的数据真实性、有效性负责。客户提供的信息不准确不真实或检测内容不符合规范的情况, 我司概不负责。除客户特别申明并支付样品管理费, 所有超过标准规定时效期的样品均不再做留样。
5. 未加盖 CMA 标识的报告, 报告中带 “*” 检测项目的数据和结果均仅供委托方内部使用, 不具有对司法、行政、仲裁、社会经济、广告宣传、公益活动及其他法律法规规定的应当取得资质认定活动的证明作用。
6. 对报告有异议的, 应于收到报告之日起十五日内向本单位提出。
7. 本公司联系方式和联系地址如下:

地址: 杭州市滨江区滨安路 688 号天和高科技园区 2C-502

Add.: Level 502 Building 2C, Tian He Hi-Tec Park, 688 Binan Rd, Binjiang District Hangzhou

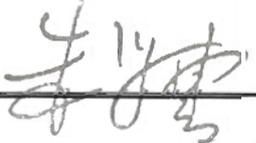
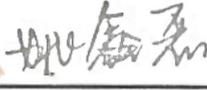
邮编: 310053

310053, P.R.China

电话: 86938770

Tel: 86938770

检测报告 Test Report

委托信息 Applicant Information	委托单位 Client	浙江华川实业集团有限公司			
	联系地址 Address	浙江省义乌市赤岸镇报国西路 9 号			
	委托编号 Number	TBWT20230686			
	受检单位 Inspected Entity	浙江华川实业集团有限公司			
样品信息 Sample Information	样品来源 Sample Source	<input checked="" type="checkbox"/> 采样 采样地址: 浙江省义乌市赤岸镇报国西路 9 号 <input type="checkbox"/> 送样 送样单位:			
	样品类别 Sample Category	<input type="checkbox"/> 土壤 <input checked="" type="checkbox"/> 废气 <input type="checkbox"/> 空气 <input type="checkbox"/> 水质 <input type="checkbox"/> 飞灰 <input type="checkbox"/> 底质 <input checked="" type="checkbox"/> 其他:			
	样品性状 Character	滤筒+吸附树脂+冷凝水、 吸收液、采样头	采样日期 Sampling Date	2023 年 11 月 26 日	
检测信息 Test Information	检测类别 Test Category	委托检测	检测日期 Test Date	2023 年 11 月 26 日 -12 月 5 日	
	检测项目 Test Item	详见表 6	检测地点 Test Position	<input checked="" type="checkbox"/> 现场 <input checked="" type="checkbox"/> 本公司实验室	
	检测仪器 Test instrument	高分辨气相色谱/高分辨质谱 DFS (仪器编号 A-01)、电感耦合等离子体质谱仪 (仪器编号 A-02)、可见分光光度计 (仪器编号 A-04)、冷原子吸收测汞仪 732-VJ (仪器编号 A-06)、3012H 自动烟尘气测试仪 (仪器编号 B-01)			
	检测依据 Test Criterion	详见表 6			
	检测结果 Test Result	详见表 1-9			
	评价标准 Evaluation Criterion	GB18485-2014、GB13223-2011			
	检测结论 Test Conclusion	依据客户要求, 对样品进行检测, 出具检测结果。 <div style="text-align: right;"> 批准日期: Date of Approval </div>			
备注 Remark	评价标准由客户指定。 <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div>				
批准: Authority		审核: Assessor		编制: Compiler	

检测报告 Test Report

1、结果汇总

表 1 污染物检测结果

样品编号		TB2023110476	TB2023110477	TB2023110478
样品标识		华川实业 20231127 重金属 5#-1	华川实业 20231127 重金属 5#-2	华川实业 20231127 重金属 5#-3
采样时间		2023 年 11 月 27 日		
采样点名称及位置		5#排气筒出口		
含氧量 (%)		5.1	5.3	5.4
镉、铊及其化合物 (mg/m ³)	检测浓度	6.54×10^{-5}	1.60×10^{-4}	1.13×10^{-4}
	11%含氧量换算后的浓度	4.11×10^{-5}	1.02×10^{-4}	7.23×10^{-5}
	测定均值	7.17×10^{-5}		
	GB18485-2014 表 4 标准限值	0.1		
锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物 (mg/m ³)	检测浓度	1.18×10^{-2}	5.70×10^{-2}	2.17×10^{-2}
	11%含氧量换算后的浓度	7.41×10^{-3}	3.63×10^{-2}	1.39×10^{-2}
	测定均值	1.92×10^{-2}		
	GB18485-2014 表 4 标准限值	1.0		

表 2 污染物检测结果

样品编号		TB2023110491	TB2023110492	TB2023110493
样品标识		华川实业 20231127 汞 5#-1	华川实业 20231127 汞 5#-2	华川实业 20231127 汞 5#-3
采样时间		2023 年 11 月 27 日		
采样点名称及位置		5#排气筒出口		
含氧量 (%)		5.1	5.3	5.4
汞及其化合物 (mg/m ³)	检测浓度	<0.0060	<0.0060	<0.0060
	6%含氧量换算后的浓度	<0.0028	<0.0029	<0.0029
	测定均值	<0.0028		
	GB13223-2011 表 2 标准限值	0.03		

备注：检出限为 0.0060 mg/m³，当检测浓度低于检出限时，以 1/2 检出限参与含氧量换算的计算。

表 3 污染物检测结果

样品编号	TB2023110497	TB2023110498	TB2023110499
样品标识	华川实业 20231127 氯化氢 5#-1	华川实业 20231127 氯化氢 5#-2	华川实业 20231127 氯化氢 5#-3
采样时间	2023 年 11 月 27 日		
采样点名称及位置	5# 排气筒出口		
含氧量 (%)	5.1	5.3	5.4
氯化氢 (mg/m ³)	检测浓度	8.6	9.7
	11% 含氧量换算后的浓度	5.4	6.2
	平均值 (小时均值)	4.7	
	GB18485-2014 表 4 标准限值	60	

表 4 污染物检测结果

样品编号	TB2023110513	TB2023110514	TB2023110515
样品标识	华川实业 20231127 废气二噁英 5#-1	华川实业 20231127 废气二噁英 5#-2	华川实业 20231127 废气二噁英 5#-3
采样时间	2023 年 11 月 27 日		
采样点名称及位置	C5# 排气筒出口		
二噁英类 (ngTEQ/m ³)	检测浓度	0.0019	0.0012
	平均含氧量 (%)	5.2	5.4
	11% 含氧量换算后浓度	0.0012	0.00074
	测定均值	0.00086	
	GB18485-2014 表 4 标准限值	0.1	

备注: 二噁英类异构体测定数据和计算结果见表 7-9。

表 5 污染物检测结果

监测点位	5# 炉排气口	监测日期	2023 年 11 月 27 日	
平均含氧量 (%)	6.2	5.9	6.1	
一氧化碳 (mg/m ³)	检测浓度	27	22	
	11% 含氧量换算后的浓度	18	15	
	平均值 (小时均值)	16		
	GB18485-2014 表 4 标准限值	100		
监测点位	5# 炉排气口	监测日期	2023 年 11 月 26 日	
平均含氧量 (%)	5.9	6.3	6.0	
氮氧化物 (mg/m ³)	检测浓度	35	34	
	6% 含氧量换算后的浓度	35	35	
	测定均值	30		
	GB13223-2011 表 2 标准限值	100		
二氧化硫 (mg/m ³)	检测浓度	<3	<3	
	6% 含氧量换算后的浓度	<1	<2	
	测定均值	<1		
	GB13223-2011 表 2 标准限值	50		

备注: 检出限为 3 mg/m³, 当检测浓度低于检出限时, 以 1/2 检出限参与含氧量换算的计算。

2、方法识别

表 6 检测项目及检测方法

检测项目	检测方法
镉、铊、锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍	空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法 HJ 657-2013
氯化氢	固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法 HJ/T 27-1999
汞及其化合物	固定污染源废气 汞的测定冷原子吸收分光光度法 (暂行) HJ 543-2009
二噁英类	环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法 HJ 77.2-2008
一氧化碳	固定污染源废气 一氧化碳的测定定电位电解法 HJ 973-2018
二氧化硫	固定污染源废气 二氧化硫的测定 定电位电解法 HJ 57-2017
氮氧化物	固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法 HJ 693-2014

检测报告 Test Report

2、续表

表 7 二噁英类异构体检测数据和计算结果 (续)					
样品编号	TB2023080513	样品量 (m ³)	2.9229		
样品标识	华川实业 20230827 废气二噁英 5#-1	含氧量 O _c (%)	5.2		
二噁英类		实测浓度(ρ _s)	检出限(LOQ)	毒性当量浓度(TEQ)	
		ng/m ³	ng/m ³	TEF	ng/m ³
多氯代二苯并二噁英	2,3,7,8-TCDD	0.0007	0.0004	1	0.0007
	1,2,3,7,8-PeCDD	0.0012	0.0004	0.5	0.00060
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.0008	0.0004	0.1	0.00008
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.0006	0.0005	0.1	0.00006
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	N.D.	0.0004	0.1	0.00002
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	N.D.	0.0007	0.01	0.000004
	OCDD	0.0021	0.0007	0.001	0.0000021
多氯代二苯并呋喃	2,3,7,8-TCDF	0.0005	0.0003	0.1	0.00005
	1,2,3,7,8-PeCDF	N.D.	0.0002	0.05	0.000005
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.0005	0.0002	0.5	0.0002
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.0005	0.0004	0.1	0.00005
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.0005	0.0003	0.1	0.00005
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	N.D.	0.0004	0.1	0.00002
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.0004	0.0004	0.1	0.00004
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.0013	0.0005	0.01	0.000013
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.0010	0.0006	0.01	0.000010
	OCDF	0.0009	0.0008	0.001	0.0000009
二噁英类总量 (ng TEQ / m ³)				0.0019	
11 %基准含氧量折算浓度ρ (ng TEQ / m ³)				0.0012	
备注:			折算公式:		
1. 实测浓度 (ρ _s): 二噁英类质量浓度测定值;			$\rho = \frac{(21 - O_s)}{(21 - O_c)} \times \rho_s$		
2. TEF: 采用国际毒性当量因子 I-TEF (1989) 定义;			ρ: 折算浓度		
3. 毒性当量浓度 (TEQ): 折算为相当于 2,3,7,8-TCDD 毒性当量浓度;			ρ _s : 实测浓度		
4. 实测浓度低于检出限时, 浓度以 N.D. 表示, 计算毒性当量 (TEQ) 浓度时以 1/2 检出限计算。			O _s : 基准氧含量		
			O _c : 实测氧含量		

表 8 二噁英类异构体检测数据和计算结果 (续)

样品编号		TB2023080514		样品量 (m ³)		3.3348		
样品标识		华川实业 20230827 废气二噁英 5#-2		含氧量 O _c (%)		5.4		
二噁英类		实测浓度 (ρ _s)		检出限 (LOQ)		毒性当量浓度 (TEQ)		
		ng/m ³		ng/m ³		TEF	ng/m ³	
多氯代二苯并二噁英	2,3,7,8-TCDD		N.D.		0.0003		1	0.0002
	1,2,3,7,8-PeCDD		0.0011		0.0002		0.5	0.00055
	1,2,3,4,7,8-HxCDD		N.D.		0.0003		0.1	0.00002
	1,2,3,6,7,8-HxCDD		N.D.		0.0003		0.1	0.00002
	1,2,3,7,8,9-HxCDD		0.0007		0.0003		0.1	0.00007
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		0.0008		0.0005		0.01	0.000008
	OCDD		0.0007		0.0006		0.001	0.0000007
多氯代二苯并呋喃	2,3,7,8-TCDF		0.0007		0.0002		0.1	0.00007
	1,2,3,7,8-PeCDF		0.0004		0.0002		0.05	0.00002
	2,3,4,7,8-PeCDF		N.D.		0.0002		0.5	0.00005
	1,2,3,4,7,8-HxCDF		0.0008		0.0002		0.1	0.00008
	1,2,3,6,7,8-HxCDF		0.0003		0.0002		0.1	0.00003
	1,2,3,7,8,9-HxCDF		N.D.		0.0003		0.1	0.00002
	2,3,4,6,7,8-HxCDF		N.D.		0.0002		0.1	0.00001
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF		0.0009		0.0002		0.01	0.000009
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		N.D.		0.0003		0.01	0.000002
	OCDF		N.D.		0.0006		0.001	0.0000003
二噁英类总量 (ng TEQ /m ³)						0.0012		
11 %基准含氧量折算浓度 ρ (ng TEQ /m ³)						0.00074		
备注:						折算公式:		
1. 实测浓度 (ρ _s): 二噁英类质量浓度测定值;						$\rho = \frac{(21 - O_s)}{(21 - O_c)} \times \rho_s$		
2. TEF: 采用国际毒性当量因子 I-TEF (1989) 定义;						ρ: 折算浓度		
3. 毒性当量浓度 (TEQ): 折算为相当于 2,3,7,8-TCDD 毒性当量浓度;						ρ _s : 实测浓度		
4. 实测浓度低于检出限时, 浓度以 N.D. 表示, 计算毒性当量 (TEQ) 浓度时以 1/2 检出限计算。						O _s : 基准氧含量		
						O _c : 实测氧含量		

表 9 二噁英类异构体检测数据和计算结果 (续)

样品编号		TB2023080515		样品量 (m ³)		3.2200	
样品标识		华川实业 20230827 废气二噁英 5#-3		含氧量 O _c (%)		5.1	
二噁英类		实测浓度 (ρ _s)		检出限 (LOQ)		毒性当量浓度 (TEQ)	
		ng/m ³		ng/m ³		TEF	ng/m ³
多氯代二苯并二噁英	2,3,7,8-TCDD		N.D.	0.0003	1	0.0002	
	1,2,3,7,8-PeCDD		N.D.	0.0003	0.5	0.00008	
	1,2,3,4,7,8-HxCDD		0.0004	0.0002	0.1	0.00004	
	1,2,3,6,7,8-HxCDD		N.D.	0.0002	0.1	0.00001	
	1,2,3,7,8,9-HxCDD		N.D.	0.0002	0.1	0.00001	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		0.0006	0.0004	0.01	0.000006	
	OCDD		0.0017	0.0005	0.001	0.0000017	
多氯代二苯并呋喃	2,3,7,8-TCDF		0.0005	0.0002	0.1	0.00005	
	1,2,3,7,8-PeCDF		0.0007	0.0002	0.05	0.00004	
	2,3,4,7,8-PeCDF		0.0007	0.0002	0.5	0.0004	
	1,2,3,4,7,8-HxCDF		0.0005	0.0002	0.1	0.00005	
	1,2,3,6,7,8-HxCDF		0.0005	0.0002	0.1	0.00005	
	1,2,3,7,8,9-HxCDF		N.D.	0.0003	0.1	0.00002	
	2,3,4,6,7,8-HxCDF		N.D.	0.0002	0.1	0.00001	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF		0.0010	0.0003	0.01	0.000010	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		N.D.	0.0003	0.01	0.000002	
OCDF		N.D.	0.0006	0.001	0.0000003		
二噁英类总量 (ng TEQ / m ³)						0.00098	
11 %基准含氧量折算浓度 ρ (ng TEQ / m ³)						0.00062	
备注:						折算公式:	
1. 实测浓度 (ρ _s): 二噁英类质量浓度测定值;						$\rho = \frac{(21 - O_s)}{(21 - O_c)} \times \rho_s$	
2. TEF: 采用国际毒性当量因子 I-TEF (1989) 定义;						ρ: 折算浓度	
3. 毒性当量浓度 (TEQ): 折算为相当于 2,3,7,8-TCDD 毒性当量浓度;						ρ _s : 实测浓度	
4. 实测浓度低于检出限时, 浓度以 N.D. 表示, 计算毒性当量 (TEQ) 浓度时以 1/2 检出限计算。						O _s : 基准氧含量	
						O _c : 实测氧含量	

报告结束