

某半导体产业园区冷冻站节能改造研究

杨志超¹, 沈 岑², 郁辉球², 麻剑锋²

(1. 联通(浙江)产业互联网有限公司, 浙江 杭州 310000;

2. 杭州哲达科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:针对某半导体产业园区 3 套冷冻站的全年运行工况, 表明过渡季及冬季系统运行能效偏低, 具备较大节能潜力, 且存在冷却水系统维护费用高和末端用户空调费用结算困难问题。通过采用匹配用户需求的节能改造方案, 其包括 3 套冷冻水系统连通、2 套冷却水系统连通、冷却水系统在线杀菌除垢、末端用户分区计量。依据改造后的运行数据结果可知, 在 3 套冷冻水系统冷冻水供水温度符合要求的基础上, 有效减少运行设备数量, 可为同类型项目提供改造参考。

关键词:半导体产业; 节能; 水系统联网; 冷却水除垢; 分区计量

中图分类号: TP23

文章编号: 1000-0682(2024)05-0113-05

文献标识码: B

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.05.021

Research on energy-saving transformation of refrigerating station in a semiconductor industrial park

YANG Zhichao¹, SHEN Cen², YU Huiqiu², MA Jianfeng²

(1. Unicom (Zhejiang) Industrial Internet Co., LTD., Zhejiang Hangzhou 310000, China;

2. Hangzhou ZETA Technology Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310000, China)

Abstract: Based on the annual operating conditions of three refrigeration stations in a semiconductor industrial park, it shows that the energy efficiency of the system during the transition season and winter is low, and there is a great energy-saving potential. And there are problems such as high maintenance costs for the cooling water system and difficult settlement of air conditioning costs for end-users. By adopting an energy-saving transformation scheme that matches the actual needs of users, it includes three sets of chilled water system are connected, two sets of cooling water system are connected, online sterilization and descaling of the cooling water system, and end user partition metering. According to the operational data after the transformation, it can be seen that the chilled water supply temperature of the three sets of chilled water systems meets the requirements, and the number of operating equipment is effectively reduced, which can provide a reference for the transformation of similar projects.

Keywords: semiconductor industrial park; energy-saving; water system connectivity; cooling water descaling; partition metering

0 引言

在半导体企业, 由于其原材料、生产设备、生产工艺的特点, 对室内温度、湿度及洁净度都有严苛的要求, 需空调系统全天 24 h 运行^[1-3], 全年不能中

断, 避免造成产品良率下降。因此, 空调系统通常设置集中冷热源用于提供低温冷冻水、中温冷冻水和热水, 结合组合式空气处理机组, 并配套对应的自控系统, 确保达到室内恒温恒湿的精度要求。目前, 该类空调系统优化设计趋势通常以温湿度独立处理, 热回收型冷水机组冬季冷凝热回收用于组合式空气处理机组再热^[4], 减少冷热抵消现象, 可有效提高冷热源设备及系统效率。而在运行调节阶段, 通常根据冷热源系统内各设备的运行规律, 制定相应的

收稿日期: 2024-04-24

第一作者: 杨志超(1989—), 男, 浙江金华人, 硕士, 工程师, 研究方向为能源系统智能化与信息化。

节能控制策略进行优化管控,以达到按需供给,提高系统能效的目的^[5-10]。

1 节能改造背景

1.1 项目概况

某半导体产业园区主要有 2 幢建筑内含洁净厂

房,其中 1#建筑设计采用低温冷冻水 5/13 ℃,中温冷冻水 14/19 ℃和热水 60/50 ℃,均由 1#建筑能源站供应;2#建筑设计同样采用低温冷冻水 5/13 ℃,和热水 60/50 ℃,均由 2#建筑能源站供应。其中制冷部分具体设备参数见表 1 至表 3。

表 1 1#建筑低温冷冻站主要设备参数表

序号	设备名称	额定性能参数	台数
1	螺杆冷水机组	制冷量 1204.6 kW,功率 231.1 kW,COP 5.21	1
2	离心冷水机组	制冷量 3804 kW,功率 709 kW,COP 5.365	1
3	冷冻泵	流量 400 m ³ /h,扬程 36 m,功率 55 kW	2
4	冷冻泵	流量参数不明,扬程 36 m,功率 22 kW	2
5	冷却泵	流量 500 m ³ /h,扬程 24 m,功率 45 kW	2
6	冷却泵	流量 153 m ³ /h,扬程 24 m,功率 18.5 kW	2
7	冷却塔	设计工况 40~32-28.5 ℃ 855 m ³ /h,单风机功率 15 kW	3

表 2 1#建筑中温冷冻站主要设备参数表

序号	设备名称	额定性能参数	台数
1	离心冷水机组	制冷量 2285 kW,功率 348 kW,COP 6.57	2
2	离心冷水机组	制冷量 2285 kW,功率 377 kW,COP 6.06	1
3	冷冻泵	流量 410 m ³ /h,扬程 36 m,功率 55 kW	4
4	冷却泵	流量 300 m ³ /h,扬程 24 m,功率 30 kW	4
5	冷却塔	设计工况 40~32-28.5 ℃ 990 m ³ /h,单风机功率=7.5 kW	6

表 3 2#建筑低温冷冻站主要设备参数表

序号	设备名称	额定性能参数	台数
1	离心冷水机组	制冷量 2461 kW,功率 405 kW,COP 6.076	3
2	冷冻泵	流量 422 m ³ /h,扬程 37 m,功率 75 kW	4
3	冷却泵	流量 500 m ³ /h,扬程 28 m,功率 55 kW	4
4	冷却塔	设计工况 37~32-28.5 ℃ 1500 m ³ /h,单风机功率=11 kW	6

已知 1#建筑低温水出水温度设定在 5~7 ℃,中温水出水温度设定在 11.5 ℃,2#建筑低温水出水温度设定在 7 ℃。全年设备运行情况如表 4 所示。其次,由于 3 套冷冻站设备全年运行,无停机时间,因此每年冷却塔需逐个系统清洗,清洗时间长,费用高;除此之外,园区两幢建筑的低温冷冻水不仅供应半导体生产厂家的洁净厂房使用,也供应仅办公类型的公司进行舒适性空调制冷,两者之间单位面积能耗差异大,导致按空调面积收费依据不足,结算困难。

表 4 主要设备全年运行信息统计

设备名称	过渡季/冬季	夏季
1#建筑低温冷冻站		
冷水机组	1 台螺杆机,电流百分比 30%~40%	1 台螺杆机,电流百分比 70%~80%
冷冻水泵		1 台,变频运行,控制压差:2 bar
冷却水泵		1 台,工频运行
冷却塔		根据冷却塔下塔温度,手动开启
冷冻水旁通阀	接近全开	/
1#建筑中温冷冻站		
冷水机组	1 台离心机,频繁启停	1 台离心机,电流百分比 70%~80%
冷冻水泵		1 台,变频运行,控制压差:2 bar

续表 4

设备名称	过渡季/冬季	夏季
冷却水泵	1 台,工频运行	
冷却塔	根据冷却塔下塔温度,手动开启	
2#建筑低温冷冻站		
冷水机组	1 台离心机,电流百分比 30%	1 台离心机,电流百分比 85%
冷冻水泵	1 台,变频运行,控制压差:2 bar	
冷却水泵	1 台,工频运行	
冷却塔	根据冷却塔下塔温度,手动开启	
冷冻水旁通阀	开度在 23.3%	/

1.2 改造方案

由上可知,3 套冷冻站用量少,尤其在过渡季及冬季运行电流低,中温冷水机组频繁启停,造成中温水供水温度在 11 ~ 13 ℃ 之间波动,2 套低温冷冻水旁通流量大,运行能耗明显偏高。且存在冷却水维护清洗费用高和分区收费困难的现象,因此,针对当前运行情况定制不停机改造方案。

1.2.1 1#建筑低温冷冻水系统与 2#建筑低温冷冻水系统连通

1#建筑低温分水器原预留 DN250 管道与 2#建筑低温供水总管相连;2#建筑低温回水总管与 1#建筑低温集水器预留 DN250 管道相连。连通供/回水管从 1#建筑二层至屋顶、连廊、2#建筑屋顶至 2#建筑一层冷冻站房。

现 1#建筑和 2#建筑低温冷冻水泵扬程配置 36 m,实际使用中,分、集水器间压差设置 2 bar,站内压差 8 m 左右,剩余扬程满足现有低温冷冻水连通管供回水阻力(往返总长约 800 m)。但为了保持 1#建筑用户现状,避免由于调试而引起的供冷变化,在连通供水管上增设变频增压水泵。增压水泵铭牌参数为流量 200 m³/h,扬程 12.5 m,电机功率 11 kW。

在过渡季及冬季时,实现联网运行,仅开启 1#建筑低温水系统,提高运行冷水机组运行负荷率,结合增压水泵的运行,可以停开 2#建筑低温水系统所有设备,并关闭其定压系统。

1.2.2 1#建筑低温冷冻水系统与 1#建筑中温冷冻水系统连通

1#建筑低温水系统和 中温水系统,2 组分、集水

器和冷冻水泵、冷却水泵均处于二楼同一空间,现有低温水分、集水器与中温水分、集水器已经连通,管道口径均为 DN250,但并未启用。主要由于中温冷冻水供水若直接采用低温冷冻水供水,虽然减少了中温冷机及其冷却水设备的使用,但是由于冷水晶位的提高,低温冷机新增的运行能耗更多。且由于站内剩余空间有限,无法安装一体式板式换热装置或混水装置。最后,通过在连通供/回水管之间新增混水旁通管,旁通管上安装电动调节阀。依然采用混水方式,低温分水器供应部分低温冷冻水供水(设计 78.3 m³/h),全经旁通管与中温集水器部分中温回水(设计 117.5 m³/h)进行混合,产生中温供水(设计 195.8 m³/h),经现有运行的中温冷冻水泵,流经已停机的中温冷水机组,返回中温分水器供应至用户端,用户端的中温回水其中一部分通过中温集水器直接返回至低温集水器,如图 1 所示。当前的混水方案根据中温水用量,自动调整混水比例,使系统能够匹配更大的冷负荷变化范围;同时,力求输配阻力极小化,降低系统能耗。

同时,为确保 2 个系统的定压问题,当混水方案启用后,中温集水器上膨胀管增设的阀门关闭,由低温集水器上的膨胀管进行整个系统的定压。

在过渡季及冬季时,实现连通运行,仅开启低温水系统 1 台离心冷水机组及其辅机和 1 台中温冷冻水泵。实现联网后混水后,1 份低温供水量(按低温冷水出水 7 ℃),可以获得 2.5 份中温供水量(按中温冷水出水 13 ℃),有效减少现有中温水系统开机设备。

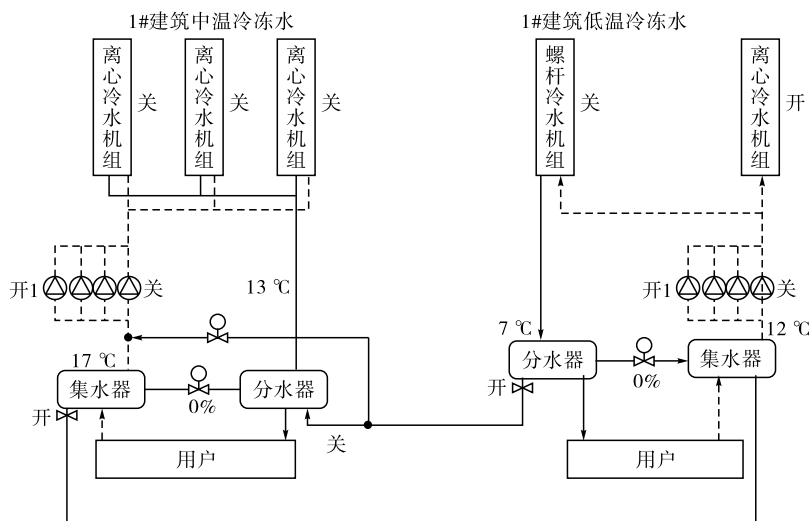


图1 1#建筑低温冷冻水与中温冷冻水混水示意图

1.2.3 1#建筑低温冷却水系统与1#建筑中温冷却水系统连通

新增连通道分别连接两套冷却水系统的供水管(DN400)和回水管(DN400),冷却水连通供/回水管道总长度约60 m,连通管上安装阀门,可恢复当前系统运行状态。当前低温水冷却水泵扬程24 m,工频运行,扬程满足改造后的使用工况。

低温冷却水系统和中温冷却水系统,其中冷却水泵均处于二楼同一空间,冷却塔均位于三楼楼顶同一空间。

过渡季及冬季时,中温冷冻水系统直接采用低温冷冻水混水获取的中温冷冻水,此时中温冷却水系统冷却水泵和冷却塔并不开启。当2套冷却水系统管网连通后,此时2套冷却塔并联运行,可充分利用换热面积,降低冷却水温度。其次,针对冷却塔维护清洗,原2套冷却水系统需分开清洗,若连通,可以缩减清洗时间。

1.2.4 3套冷冻站冷却水系统杀菌除垢

3套冷却水系统均配置冷却塔集垢器和紫外线杀菌灭藻灯,通过集垢器的在线低压高频活化水处理,结合管道紫外线杀菌水处理,达到冷却塔及管道除垢、杀菌、灭藻和防锈的目的。也可免去每年添加化学药剂清洗、换水排水,通炮清洗等繁重工作。

1.2.5 分区计量

根据现有末端分区,新增区域能量表25套,获得分区能量计量结果,然后通过无线网关上传至云平台,实现各个分区空调费用的结算。但由于末端车间全年使用,采用法兰式能量表每块需要安装0.5天左右,且低温冷冻水、中温冷冻水放水、加水均需要大量的时间。因此,本次选用带压打孔安装

插入式能量表,尽可能减少对园区各个公司生产的影响。

1.2.6 云平台智能管控

3套冷冻站所有运行数据均接入云平台,运维人员可在网页端查看每套冷冻站的运行情况和统计分析数据。其次,达到过渡季系统切换条件时,进行提醒,确保系统一直处于节能状态。

2 应用效果分析

2023年10月14日园区进行为期10 h的停电检修,对纯水、监控等多个系统进行集中维保,同时按计划进行冷冻站的季节性切换,进行第一次联网试运行。其中1#建筑低温水系统和中温水系统设备通过柴油发电机发电保供,2#建筑低温水系统设备停止运行。

由于1#建筑用户端洁净厂房室内温度控制精度为 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$,为了避免对用户的影响,3套冷冻水系统的连通需按操作流程进行。

1#建筑低温冷冻水系统与2#建筑低温冷冻水系统连通:①由于2#建筑处于停电状态,因此,首先打开2#建筑低温冷冻水供/回水连通管手动阀门,并关闭其定压系统。②全开1#建筑低温分水器上连通管阀门;而集水器侧连通管阀门缓慢打开,此时连通管内初始 19°C 水温的回水混入,观察对1#建筑低温冷冻水回水温度的影响,确保回水温度变化少,直至阀门处于全开状态。③开启增压水泵,变频运行。

1#建筑低温冷冻水系统与1#建筑中温冷冻水系统连通:①由于1#建筑2套冷冻水系统均处于运行状态,因此缓慢打开低温集水器和中温集水器连

通管上手动阀,压力平衡后,再缓慢打开低温分水器上的手动阀;②缓慢手动调节新增混水旁通管上的电动调节阀,目的是让低温冷冻水进入中温水系统,确保在低温水回水温度变化少的基础上,降低中温水系统冷负荷,直至中温冷水机组自动停机;③继续缓慢手动调节新增混水旁通管上的电动调节阀,确保中温冷冻水供水温度满足要求后,电动调节阀转为自动控制;④关闭中温冷却水系统内的冷却水泵和冷却塔,取消中温冷冻水系统的定压。

2.1 水温保证

当 10 h 停电检修结束后,冷冻站恢复正常运行,此时主要设备的运行状态如表 5 所示,1#建筑低温冷冻水供水温度 6.9℃,中温冷冻水供水温度 12.8℃,2#建筑低温冷冻水供水温度 7.3℃满足用户需求。

表 5 主要设备运行信息统计

设备名称	过渡季测试日
1#建筑低温冷冻站	
冷水机组	1 台离心机,电流百分比 60% 左右
冷冻水泵	1 台,变频运行,控制压差:2 bar
冷却水泵	1 台,工频运行
冷却塔	1 台
冷冻水旁通阀	全关
增压水泵	1 台,变频运行,运行频率 32.4 Hz
1#建筑中温冷冻站	
冷水机组	停机
冷冻水泵	1 台,变频运行,控制压差:2 bar
冷却水泵	停机
冷却塔	停机
2#建筑低温冷冻站	
冷水机组	停机
冷冻水泵	停机
冷却水泵	停机
冷却塔	停机
冷冻水旁通阀	全关

2.2 经济性分析

由于过渡季和冬季总时长约 5.5 个月,即 3960 h。3 套冷冻水系统联网后,设备的运行数量由表 4

转变成表 5,减少大量设备低负荷低效运行,按当前水系统用量,改造后,每年共可节省设备用电 97.46 万 kWh。

3 结语

半导体产业园区需全年稳定运行,温湿度控制精度高,导致过渡季及冬季时,各系统低能效运行,经改造后,夏季运行工况不变,其余时间运行 1#建筑低温水系统,大量减少开机设备,降低冷水机组的故障率。同时,通过对冷却水系统进行在线杀菌除垢,有效降低运行维护成本。而末端分区计量可有效区分生产区域和办公区域的空调能耗,降低空调费用结算难度。因此,对于同类型项目具有一定的节能改造及调试指导意义。

参考文献:

[1] 李华新,周瑞东.高精度半导体厂房暖通空调系统浅析[J].暖通空调,2022,52(S2):241-245.

[2] 罗远桂.大规模半导体器件厂房通风空调节能分析[J].暖通空调,2001(06):83-85.

[3] 江诗兵,袁佳.半导体工厂能耗分析及建造地点对能耗的影响[J].暖通空调,2022,52(S2):343-346.

[4] 余红英,金涛,张浩.杭州国家版本馆恒温恒湿空调系统设计[J].暖通空调,2024,54(03):28-34.

[5] 黄翔宇.浅谈高效制冷机房系统在节能改造中的应用[J].安装,2024(02):76-79.

[6] 宋洁,郑懿,张万毅.上海地铁某车站空调系统高效制冷机房改造实测分析[J].上海节能,2024(01):116-123.

[7] 刘俊,车轮飞,於泽,等.典型地铁站通风空调控制系统节能改造分析[J].暖通空调,2023,53(S2):250-253.

[8] 张曦,常建国,李杰.某大型商业综合体高效制冷机房实施技术路径研究[J].节能,2023,42(12):39-41.

[9] 任天宇.上海某大厦制冷机房系统节能诊断分析[J].上海节能,2023(11):1668-1676.

[10] 刘乃玲,管乐宝,卞姗姗,等.某酒店制冷机房运行策略优化[J].暖通空调,2024,54(04):36-41+86.