

洁净室系统自控调试经验总结

霍 凯

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

摘要：半导体芯片制造业作为电子工业的核心，在我国经济现代化中发挥着至关重要的支撑作用。芯片的性能优劣取决于工艺技术和设计的严谨性、合理性和先进性，而其可靠性和成品率则受制于生产环境的洁净程度和原料纯度。随着纳米加工技术的不断推进和广泛应用，超净环境和超纯材料已成为半导体工业持续进步和创新的重要保障。通过对半导体厂房的洁净室系统的自控调试进行分析和经验总结，能够为以后的洁净室系统设计提供宝贵经验。

关键词：洁净室（Clean Room）；空调新风机组（MAU）；干冷盘管（DCC）；风机过滤单元（FFU）；半导体；调试

1 系统描述

1.1 洁净室新建项目概述

对于半导体新建洁净室项目，要保证洁净室内生产、制造的顺利进行；设计一套运行稳定可靠的控制系统能实时、准确的对洁净室内温湿度、送风压差等参数

进行控制是关键。

1.2 洁净室系统简介

将室内环境因子控制在规定数值以下之空间称之为洁净室（Clean Room）。根据相关国际标准^[1]，洁净室划分等级如下，本项目设计洁净室设计标准为ISO 5、6级。

表1 洁净室及洁净区空气洁净度整数等级

空气洁净度等级 (N)	大于或等于要求粒径的最大浓度限值 (PC/m ³)					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5 μm
1	10	2	—	—	—	—
2	100	24	10	4	—	—
3	1000	237	102	35	8	—
4	10000	2370	1020	352	83	—
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7	—	—	—	352000	83200	2930
8	—	—	—	3520000	832000	29300
9	—	—	—	35200000	8320000	293000

1.3 洁净室系统功能分布

洁净室系统主要由空调新风机组（MAU）+风机过滤单元（FFU）+干冷盘管（DCC）组成。空调新风机组（MAU）：处理外界空气并给洁净室内送入新风。空气处理过程如下：室外空气→MAU入口风阀→初效过滤器→中效过滤器→防冻盘管→预热盘管→预冷盘管→水洗装置→再冷盘管→再热盘管→风机→化学过滤器→高效过滤器→MAU出口风阀→送风风管。风机过滤单元（FFU）：控制洁净室内空气内循环同时也是实现空气洁净度等级要求的主要装置。干冷盘管（DCC）：位于洁净室内回风处的换热盘管，主要控制回风后区域温度。

2 洁净室设计方案

2.1 CR洁净室系统网络架构

洁净室PLC控制系统设计采用ControlLogix系列模块。根据厂区需求，南北区厂房各一套网络，每套CPU盘柜内采用硬件冗余套件（机架、CPU、电源、网络均有冗余设置），通过EtherNet/IP网络配置设置成设备级环网拓扑结构^[2]。

环网节点是运行于网络中的任意节点。用于处理网络上传递的数据或将数据传送至网络的下二个节点。当DLR网络发生故障时环网节点会对自身进行重新配置并重新获取网络拓扑结构。此外环网节点还可向活动环网监控器报告故障位置^[3]。

2.2 CR洁净室系统控制逻辑

2.2.1 MAU风机主要控制回路

MAU风机控制分为启停控制和频率控制。启停和

频率都可由现场或远程PLC控制。当MAU风机处于远程状态且[进口风阀A&B开启故障(远程)][出口风阀A&B开启故障(远程)][风阀故障(就地)][MAU防冻报警][MAU低流量报警][水洗联动故障]以上条件任一发生将联动停止MAU风机。MAU风机通过PID自动控制风机频率，PID PV为洁净室多个压力的最终选择值。

2.2.2 MAU工作模式

MAU普通工作模式时，各盘管控制如下：预热阀受控于预热盘管后焓值，预冷阀受控于预冷盘管后温度，低温阀受控于出风绝对湿度，再热阀受控于出风温度，以上所有阀门与MAU风机联动，MAU风机停止则阀全关。以预热盘管控制为例，其基本控制逻辑如下图所示^[4]：

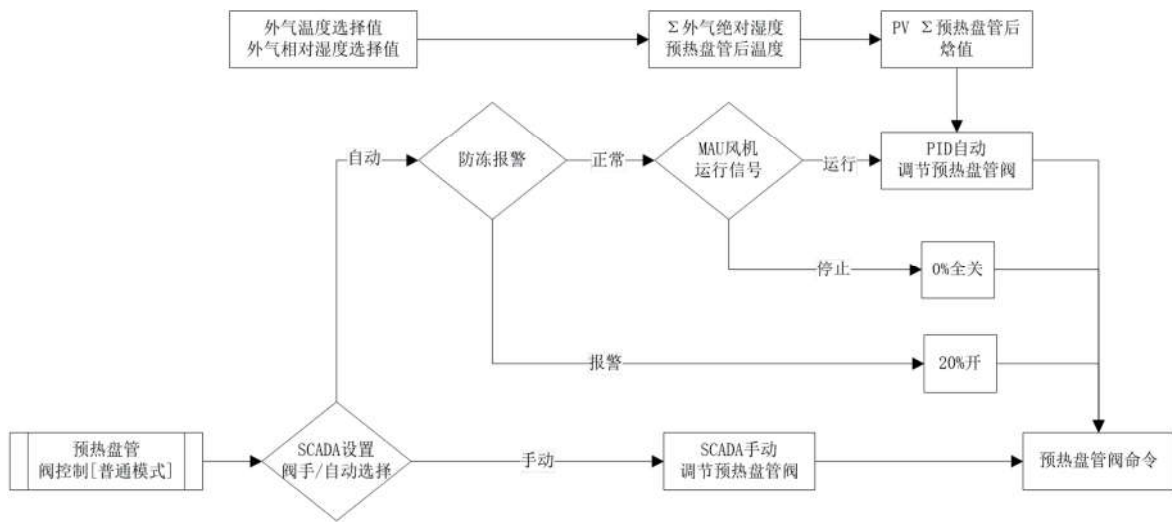


图1 Function功能图表2[MAU风机预热器控制]

2.2.3 DCC控制回路

DCC调节阀受控于对应区域的DCC温度，PV温度值

来源于对应区域温度的选择值。

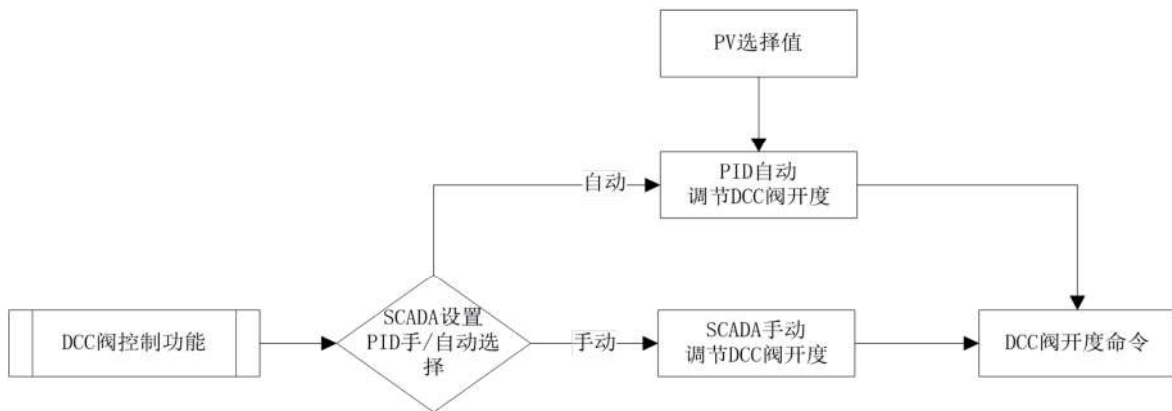


图2 Function功能图表3[DCC控制]

3 洁净室系统调试步骤

通过测试、调整和试运转，使MAU系统及设备各方面性能达到设计要求及符合规范。设计文件范围内仪表工程的取源部件，仪表设备和装置，仪表管道，仪表线路，仪表供电、供气、供液系统，均应按设计文件和规范的规定安装完毕，仪表面台设备应校准和试验合格^[5]。

3.1 调试准备工作

3.1.1 资料准备：

(1) 设计图纸和设计说明书，清楚设计意图和设计

参数；

(2) 主要设备产品安装使用说明书，了解各种设备的性能和使用方法；

(3) 清楚风系统、水系统和电气及自控系统以及相互间的关系。

3.1.2 现场工具准备：

(1) 工具：绝缘表、万用表、钳型电流表、温湿度表、风速仪、噪音表、压力表；

(2) 检查设备、系统结构是否符合设计要求及规范

规定;

(3) 检查系统和设备安装质量是否符合设计要求和施工验收规范要求;

(4) 检查电源、水源、冷热源情况是否具备调试条件。

(5) 检查及确保各管道、设备的保温完整无损。

3.1.3 调试说明:

(1) 试依据: 设计文件、产品说明以及设计、施工规范等;

(2) 调试项目和调试程序参照各种设备的程序及表格;

(3) 使用仪表及精度要经过计量部门校验, 取得合格证明;

(4) 调试时间和进度按进度表格;

(5) 预期提供调试报告汇报业主。

3.2 调试项目和程序

根据系统的性质和控制精度, 主要调试项目可按以下各项进行。

3.2.1 盘柜厂验

(1) 对PLC盘内所有模块卡件排布电缆和端子排进行目视检查, 与图纸进行比是否完全一致。以修正显性的损坏或不正确安装。

(2) 检查接线端子、线号、标签确认安装接线符合要求没有错误。

(3) 送电测试, 外部电源送电。用万用表测量检查接线端子电压确认无误。

(4) 盘柜内A/B路电源送电, 盘柜照明风扇送电测试。PLC机架电源送电测试, 盘柜DC24V电源送电测试, 盘柜电源A/B路冗余测试。

3.2.2 MAU检查

(1) 记录及核对新风机及马达铭牌资料;

(2) 检查新风机之风管及水管是否全部安装完成, 并符合要求;

(3) 检查风口, 风阀, 消声器, 水阀是否完好, 并符合设计要求的启/闭状态;

(4) 检查防火闸及检修口是否安装完成, 并符合要求;

(5) 检查新风机变频器盘是否安装完成, 并进行模拟动作试验;

(6) 检查滤尘网是否安装完成, 并符合要求;

(7) 检查盘管的翅片是否平直完好;

(8) 检查风机的减振设施是否正常;

(9) 检查风机的叶片, 皮带的转切是否正常;

(10) 检查各项电气设施是否安装妥当, 各自控原件控设安装就位;

(11) 检测正式电源、电压是否符合设计要求;

(12) 检测风机内是否有杂物并清理;

(13) 检查冷凝水管及水盘是否畅通;

(14) 检查接口是否有漏风;

(15) 检查检修门是否密封。

3.2.3 空调设备VFD检查测试

(1) 空调设备机械部份调试及VFD盘检查测试;

(2) 空调设备单机无负荷运转, 并同时测试各有关连锁控制的操作, 安全自保护的测试。

(3) 空调设备单机带负荷运转风系统、水系统和制冷系统带负荷的情况下, 进行测试与调整。

A. 检查风阀是否开启, 各区水阀是否开;

B. 通风面的风量、风压及电流、电压的测定

C. 新风和排风系统风口的风量测试与平衡

D. 出风温度、湿度、流量的测试与调整, 要求各项技术参数符合业主要求; MAU系统带冷、热源的正常联合试运转不少于8小时。

(4) MAU设备带负荷的综合效能测试

A. 室内空气参数的测定与调整

B. 设备室内外振动及噪声的测定

C. 自动调节系统的参数整定和联动调试

D. 与既有系统的综合调试

3.2.4 CR自控系统功能测试

测试MAU系统对洁净室送风温湿度控制和压差, DCC系统对洁净室内回风温度控制。结合焓湿图优化空气处理程序, 测试MAU的防冻盘管、预热阀组、预冷阀组, 等控制。和各设备厂商联动调试, 和业主讨论设置合理PID参数实现更加精准的控制。确保洁净室自控系统的正常运行。

结论

通过对半导体自控架构以及新风机组(MAU)和干冷盘管(DCC)的控制逻辑介绍, 结合现场洁净室调试经验总结, 为与半导体厂房洁净室相关的设计、施工、调试、运维提供借鉴意义。

参考文献

[1] 谢洪. 洁净室国际标准ISO14644[J]. 建筑热能通风空调, 2000, 19(1): 26-28

[2] 可编程序控制器系统工程设计规范HG/T20700-2014

[3] Allen-Bradley. EtherNet/IP网络配置, 2015

[4] 姜德亮. 基于PLC的半导体洁净室空调控制系统的设计与应用[D]. 辽宁: 大连理工大学, 2015.

[5] 自动化仪表工程施工及质量验收规范GB50093-2013