

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.01.036

药厂关键工作间压差控制设计与研究

王岑佳¹, 郭涛², 屈昊辉², 刘守超¹, 吴宝东¹

(1. 南京福加自动化科技有限公司, 江苏 南京 210046;

2. 中国电子系统工程第四建设有限公司, 河北 石家庄 050081)

摘要: 针对药厂灌装线关键工作间之间存在气压串流干扰, 导致其压差梯度波动难以控制的问题, 分析灌装线关键工作间设备的暖通系统组成以及风阀及通风系统设计架构, 对暖通系统与工艺设备进行综合考虑, 通过 PLC 控制系统使工作间压差可自适应工艺生产模式切换而实现智能控制并在实际项目应用中得到验证。

关键词: 灌装线; 关键工作间; 定风量; 变风量; 压差梯度; PLC

中图分类号: TH122 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2024)01-0175-05

Design and Research on Pressure Differential Control in Key Workshops of Pharmaceutical Plants

WANG Cenjia¹, GUO Tao², QU Haohui², LIU Shouchao¹, WU Baodong¹

(1. Nanjing Fuca Automation Technology Co., Ltd., Nanjing 210046, China;

2. The Fourth Construction Co., Ltd. of China Electronics System Engineering, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Regarding the difficulty in controlling the fluctuation of room differential pressure gradient due to air pressure serial flow interference between key rooms of the filling line of pharmaceutical factory, this paper analyzes the composition of the HVAC system of the equipment in the key rooms of the filling line and the design architecture of the air valve and ventilation system, and takes the HVAC system and process equipment into account comprehensively. With the PLC control system, the room differential pressure can be adaptive to the process production mode switch to achieve intelligent control, which has been verified in actual project application.

Keywords: filling line; key workshops; CAV; VAV; pressure gradient; PLC

0 引言

自疫情爆发以来, 国家开始全面推动生物制药的研发和生产建设, 并得到了社会的广泛关注。药厂灌装车间关键工作间的压差梯度设计与实现, 是灌装车间生产建设的难点和重点之一, 本文将结合项目设计及实施经验, 从灌装设备应用、室内暖通和自控设计等几个方面展开叙述。

1 药厂关键工作间压差控制设计原则和要求

药厂灌装车间包含了洗瓶机、隧道烘箱、封盖机器以及一体式全自动高速灌装设备生产线。整条灌装线自上瓶间、洗烘间、灌装间、轧盖间、缓冲间到中转站前后贯穿, 相邻房间的气流会由高压向低压输送变化, 另外, 洗烘间内的清洗机和隧道烘箱设备与暖通风管联动, 其中隧道烘箱设备有

停机模式、生产模式和夜间模式。模式切换引起的设备排风量变化会对工作间气流和压差产生影响, 所以灌装车间的压差梯度控制有一定难度。

灌装车间的压差控制设计依据《GB 50457—2019 医药工业洁净厂房设计标准》^[1], 必须保证房间压差梯度要求, 如表 1 所示。房间建筑平面图如图 1 所示。

表 1 灌装车间主要房间压差设计参数表

序号	房间名称	洁净等级	房间编号	房间压差/Pa
1	上瓶间	CNC	C01	5.0
2	洗烘间	D	C02	37.5
3	灌装间	B	C03	57.5
4	轧盖间	B	C04	47.5
5	缓冲间	B	C05	37.5
6	中转站	CNC	C06	10.0

第一作者简介: 王岑佳(1987—), 男, 江苏东台人, 工程师, 硕士, 研究方向为暖通自动化, wangcj@fuca-china.com。

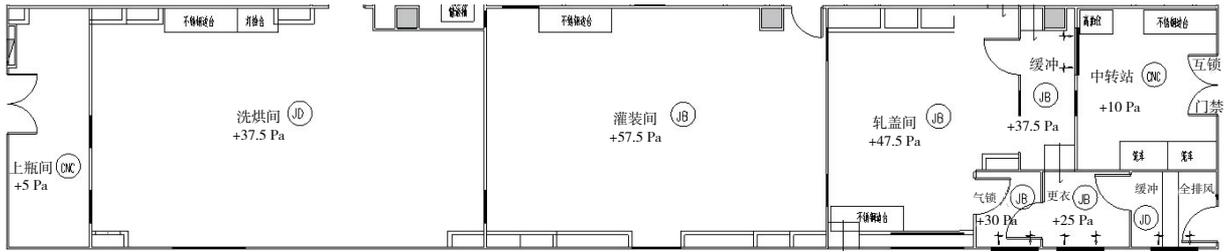


图 1 灌装车间主要房间建筑平面图

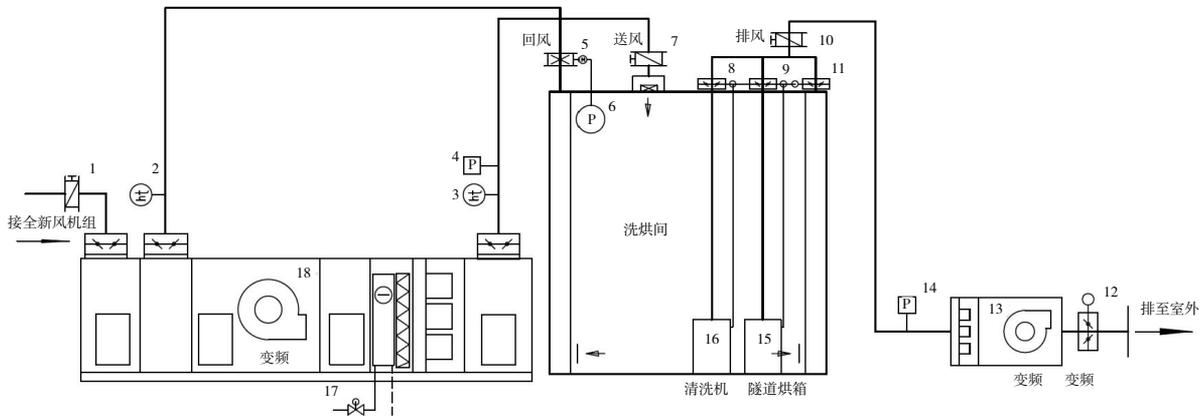
2 药厂关键工作间压差控制设计及验证

基于灌装车间主要房间的压差设计标准及要求,对上述洁净区房间进行设计及验证。

2.1 洗烘间设计方案

洗烘间选用新回风空调机组和排风机组。新

回风空调机组新风口连接前端全新风机组,机组回风口和送风口分别连接室内回风口和送风口。排风机组连接室内排风口。洗烘间内的清洗机和隧道烘箱设备排风与室内排风管相连,通过排风机组排至室外,如图 2 所示。



1—新风定风量阀;2—回风温湿度;3—送风温湿度;4—送风风压;5—室内回风变风量阀;6—室内压差;7—送风定风量阀;8—清洗机联动阀;9—隧道烘箱联动阀;10—排风定风量阀;11—室内排风联动阀;12—排风阀;13—排风机;14—排风风压;15—隧道烘箱;16—清洗机;17—表冷阀;18—送风机。

图 2 洗烘间暖通设计图

1) 房间压差设计

新回风空调机组通过新风定风量阀调节系统所需的新风量。新回风空调机组送风机 18 以送风风压 4 为目标进行恒风压调节,同时调节室内送风定风量阀 7 以满足室内送风需求。排风机组排风机 13 以排风风压 14 为目标进行恒风压调节,同时调节室内排风定风量阀 10 以满足室内排风要求。室内回风变风量阀 5 根据室内压差 6 对系统回风进行调节,做余风量控制,保证房间压差稳定可控^[2]。

2) 灌装设备联动设计

a) 清洗机 16 设备排风与清洗机联动阀 8 连锁,当清洗机工作时,联动阀打开。

b) 隧道烘箱 15 设备排风与隧道烘箱联动阀 9 连锁,当隧道烘箱工作时,联动阀打开。

c) 室内排风联动阀 11 正常开启,当清洗机联动阀和隧道烘箱联动阀同时开启时,室内排风联动阀互锁关闭。

d) 排风定风量阀 10 负责控制室内总排风量,汇入排风系统。

2.2 灌装间、轧盖间和缓冲间设计方案

灌装间、轧盖间和缓冲间机组设计方案同洗烘间。在室内暖通设计方案上,因室内没有工艺排风联动设备,所以在压差梯度控制设计上相对简单。在室内排风口和送风口设计定风量阀,室内回风口设计变风量阀根据室内压差进行余风量控制^[3],如图 3 所示。

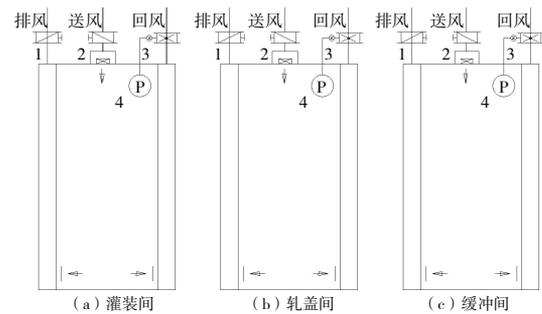
2.3 药厂关键工作间压差控制验证

基于上述设计方案,在项目自控系统调试期

间,对灌装车间房间压差梯度进行监控,记录运行期间各时间段的压差数据。如表 2 所示。

经过调试观察发现,在灌装设备模式不变的情况下,各房间室内回风变风量阀可以消除室内余风量,从而让房间绝对压差稳定,使相邻房间的压差梯度得到保证^[4]。

但是,在厂家配合测试洗烘间工艺设备,做停机模式、生产模式和夜间模式切换时,发现洗烘间内压差变化幅度较大,且稳定时间较长,同时对相邻的灌装间压差也产生了影响。灌装车间测试验证表如表 3 和表 4 所示。



1—排风定风量阀;2—送风定风量阀;
3—回风变风量阀;4—室内压差传感器。

图 3 灌装间、轧盖间、缓冲间暖通设计图

表 2 灌装车间测试验证表 1 (灌装设备停机模式,6:00~20:00)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	停机时间							
				6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
1	洗烘间	D	37.5	37.7	36.5	37.9	36.9	36.5	36.9	36.6	38.7
2	灌装间	B	57.5	59.1	56.1	57.5	58.6	58.9	56.6	58.0	59.1
3	轧盖间	B	47.5	46.5	47.6	46.3	47.3	46.5	47.1	46.2	48.5
4	缓冲间	B	37.5	36.8	36.8	36.4	37.8	37.2	36.8	37.6	37.8

表 3 灌装车间测试验证表 2 (灌装设备停机模式切换生产模式后,持续检测 0~120 s)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	检测时长							
				15 s	30 s	45 s	60 s	75 s	90 s	105 s	120 s
1	洗烘间	D	37.5	12.3	26.5	30.9	32.9	34.5	36.1	38.6	37.7
2	灌装间	B	57.5	46.9	48.1	50.5	53.6	56.9	57.6	59.0	58.1
3	轧盖间	B	47.5	43.3	44.6	45.3	46.7	47.5	48.1	47.2	47.5
4	缓冲间	B	37.5	35.6	36.4	37.2	38.8	38.2	37.8	37.6	37.3

表 4 灌装车间测试验证表 3 (灌装设备生产模式切换夜间模式后,持续检测 0~120 s)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	检测时长							
				15 s	30 s	45 s	60 s	75 s	90 s	105 s	120 s
1	洗烘间	D	37.5	52.6	49.5	46.9	43.8	40.5	38.9	36.1	37.7
2	灌装间	B	57.5	64.8	62.1	60.5	58.6	56.9	56.6	58.0	57.1
3	轧盖间	B	47.5	48.2	49.6	46.3	46.9	47.5	48.1	47.2	47.5
4	缓冲间	B	37.5	38.8	37.9	37.4	36.8	37.2	37.8	37.6	37.3

3 药厂关键工作间压差控制优化研究及验证

3.1 药厂关键工作间压差控制优化研究

1) 基于上述验证数据发现,尽管前期将洗烘间的灌装设备排风和室内排风做了互锁,但在设备工况切换过程中,房间压差的变化扰动依然很大。为此,经过与灌装设备厂家的深入交流,发现以下几点设计缺陷。

a) 灌装设备实际为 3 段排风,分别为清洗机抽湿风机(风量 1000 m³/h,温度 40℃~60℃,湿度 95%)、隧道烘箱预热段抽湿风机(风量 300 m³/h,温度 150℃~200℃)和冷却段平衡风机(生产模式:700~1500 m³/h,夜间模式:350~750 m³/h,温

度 80℃)。

b) 清洗机抽湿风机需要独立直排至室外,不接入空调排风系统。

2) 为解决工况切换过程中的压差扰动问题,对洗烘间暖通设计图进行优化研究:

a) 清洗机抽湿风机需要独立直排至室外,除生产模式之外,夜间模式和停机模式都处于关闭状态,所以将原接入到空调系统排风的管道改为设备直排,同时将原清洗机联动阀保留,避免清洗机关机后室外空气倒灌的风险;

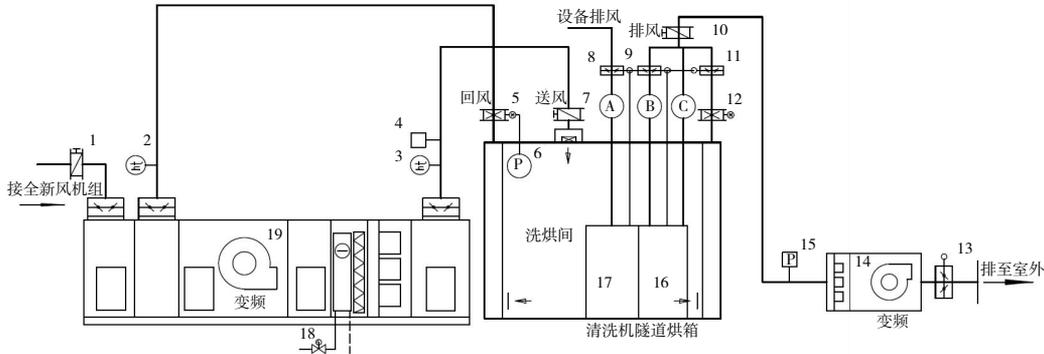
b) 隧道烘箱的预热段抽湿风机和冷却段平衡风机在生产模式和夜间模式时都会打开。考虑到冷却段平衡风机内部有压差调节阀,所以只在预热段

抽湿风机处设置一个联动密闭阀;

c) 室内排风定风量阀设计为 1800 m³/h, 考虑到冷却段平衡风机在生产模式和夜间模式下风量都是变化的, 所以在室内排风联动阀处再增加一个室内排风变风量阀(0~1800 m³/h), 与隧道

烘箱的变风量工况做动态互补控制, 将风量变化过程中对房间压差的影响降至最低^[5]。

基于洗烘间的暖通优化研究, 系统设计图如图 4 所示。



1—新风定风量阀;2—回风温湿度;3—送风温湿度;4—送风风压;5—室内回风变风量阀;6—室内压差;7—送风定风量阀;8—清洗机联动阀;9—隧道烘箱联动阀;10—排风定风量阀;11—室内排风联动阀;12—室内排风变风量阀;13—排风阀;14—排风机;15—排风风压;16—隧道烘箱;17—清洗机;18—表冷阀;19—送风机;A—清洗机抽湿风机;B—隧道烘箱预热段抽湿风机;C—隧道烘箱冷却段平衡风机。

图 4 洗烘间暖通优化设计图

3) 基于 PLC 的压差梯度变工况联动方案优化如下:

a) 生产模式

清洗机联动阀 8 打开, 清洗机抽湿风机 A 排风 1000 m³/h。

隧道烘箱联动阀 9 打开, 室内排风联动阀 11 关闭, 隧道烘箱预热段抽湿风机 B 排风 300 m³/h, 生产模式下冷却段平衡风机 C 在 700~1500 m³/h 变化调节。

室内回风变风量阀 5 联动快速调节维持室内压差 6。

b) 夜间模式

清洗机抽湿风机 A 和联动阀 8 关闭。

隧道烘箱联动阀 9 和室内排风联动阀 11 打

开, 隧道烘箱预热段抽湿风机 B 排风 300 m³/h, 夜间模式下冷却段平衡风机 C 350~750 m³/h 变化调节, 室内排风变风量阀 12 根据冷却段平衡风机 C 在 350~750 m³/h 与排风定风量阀 1800 m³/h 对比计算余风量, 对室内排风做动态快速互补控制。

室内回风变风量阀 5 联动快速调节维持室内压差 6。

c) 停机模式

清洗机抽湿风机 A 和联动阀 8 关闭。

隧道烘箱联动阀 9 关闭, 室内排风联动阀 11 打开, 室内排风变风量阀 12 打开。

室内回风变风量阀 5 联动快速调节维持室内压差 6。

PLC 程序画面如图 5 所示。

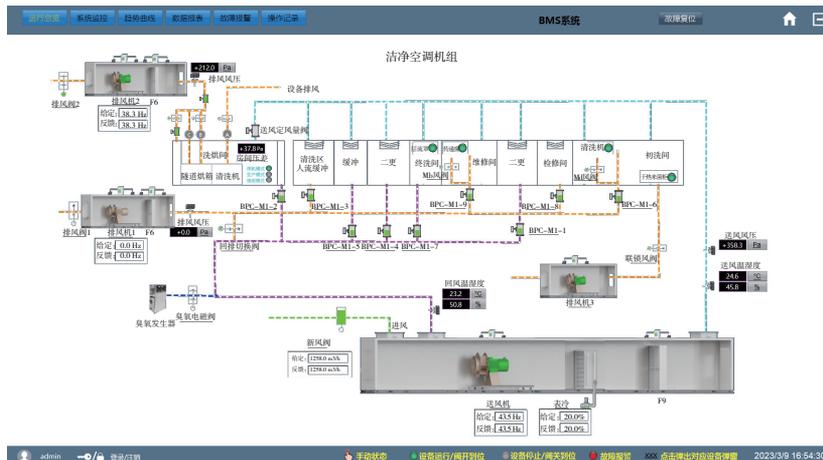


图 5 洗烘间暖通程序画面

3.2 药厂关键工作间压差控制优化后验证

基于上述优化研究方案,对灌装设备的变工况联动压差控制改造后,厂家再次配合对灌装车

间压差梯度进行监控,记录运行各时间段的压差数据,如表5—表7所示。

表5 灌装车间测试验证表4(灌装设备停机模式,6:00~20:00)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	停机时间							
				6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
1	洗烘间	D	37.5	37.3	37.5	36.9	37.3	37.5	37.9	37.6	37.2
2	灌装间	B	57.5	58.6	58.1	57.5	57.6	57.9	57.6	58.0	57.1
3	轧盖间	B	47.5	46.9	47.8	48.3	47.2	47.5	47.8	47.2	47.5
4	缓冲间	B	37.5	37.7	37.8	37.2	36.8	37.4	37.8	36.9	37.4

表6 灌装车间测试验证表5(灌装设备停机模式切换生产模式后,持续检测0~60s)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	检测时长							
				5s	10s	15s	20s	30s	40s	50s	60s
1	洗烘间	D	37.5	30.3	36.5	37.9	37.6	37.5	37.1	36.9	37.4
2	灌装间	B	57.5	55.9	56.1	57.0	57.4	57.6	57.9	57.7	57.4
3	轧盖间	B	47.5	46.6	46.9	47.3	47.7	47.5	48.1	47.6	47.3
4	缓冲间	B	37.5	37.1	37.4	37.8	37.4	37.2	37.7	37.6	37.3

表7 灌装车间测试验证表6(灌装设备生产模式切换夜间模式后,持续检测0~60s)

单位:Pa

序号	房间名称	洁净等级	压差目标	检测时长							
				5s	10s	15s	20s	30s	40s	50s	60s
1	洗烘间	D	37.5	40.5	38.7	37.6	37.4	37.5	37.9	37.7	37.4
2	灌装间	B	57.5	59.1	58.6	57.7	57.3	57.6	57.5	57.4	57.5
3	轧盖间	B	47.5	47.9	47.6	47.3	47.6	47.5	47.6	47.2	47.5
4	缓冲间	B	37.5	37.8	37.6	37.5	37.8	37.6	37.5	37.3	37.5

根据上述数据监控发现,经过优化研究改造后,灌装设备的停机模式、生产模式和夜间模式切换时,洗烘间内压差基本在15s以内达到稳定,且上下震荡大幅减小,这使得灌装车间压差梯度建立得到有效保障^[6]。

4 结语

在本次药厂灌装车间项目调试过程中,还发现了很多对房间压差影响的其他因素,最终都得到一一解决,问题如下:

- 1) 灌装线走瓶和无瓶状态下,挡板高度的手动调节问题;
- 2) 隧道烘箱风机的调频问题;
- 3) 散热风机和抽湿风机的实际风量变化问题;
- 4) 各房间高效过滤网堵塞问题;
- 5) 中转站对应区域风量变化问题等。

综上,对于药厂灌装车间的压差梯度设计,一

定要深入结合灌装设备的工艺特性,并充分结合暖通和自控系统设计,通过精细化调试,才可能最大限度地保障压差梯度。

参考文献:

- [1] GB 50457—2019 医药工业洁净厂房设计标准[S].
- [2] 汪庆胜. 净化空调系统的室内压差控制研究[J]. 广东科技, 2013, 22(12): 196-197.
- [3] 樊海涛. 净化空调系统的室内压差控制[J]. 医药工程设计, 2015(1): 28-31.
- [4] 朱伟峰, 江亿. 使用压力有关型变风量末端装置的分析[J]. 制冷与空调, 2002, 2(2): 19-22, 9.
- [5] 黄孟伟. 基于状态空间的多区域 VAV 空调系统建模及其优化控制研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014: 9-52.
- [6] 叶大法, 杨国荣. 变风量空调系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 136.

收稿日期: 2023-06-20