

# 一种典型的大型喷烘两用室

马 辉, 钱路燕, 潘国峰  
(中国联合工程有限公司, 杭州 310052)

**摘要:** 介绍了一种喷烘两用室, 以实际项目为例, 依据典型的涂装工艺和需求, 重点介绍其在喷漆、流平、烘干工况下的系统运行流程、工作原理以及设备组成, 对关键设备进行详细说明; 根据主要设计参数及涂料信息对不同工况下的废气处理进行计算, 形成结论; 通过整体规划设计, 为国内大型工业产品喷烘两用室的设计提供新思路。

**关键词:** 喷烘两用室; 喷漆; 烘干; 废气处理

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)12-0068-05

## A Typical Large Spray Drying Dual-Purpose Room

MA Hui, QIAN Lu-yan, PAN Guo-feng  
(China United Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

**Abstract:** A dual-purpose room for spray painting and drying was introduced, using actual projects as examples, based on typical painting processes and requirements, the system operation process of spray drying dual-use room under spray painting, leveling, and drying conditions were detailed in detail, also the working principle and equipment composition and the key equipment were detailed in detail too. Calculate the exhaust gas treatment under different operating conditions and form conclusions based on the main design parameters and coating information. By overall planning and designing, new ideas were provided for designing of spray drying dual-use rooms for large-scale industrial products in China.

**Key words:** spray drying dual-purpose room; painting; drying; waste gas treatment

### 0 引言

大型工件涂装一直是企业的痛点, 主要原因有: 一般此类工件尺寸大, 质量大, 物流转运不方便; 材料多为铸造或厚板件, 工件上有密封件或电气元器件, 不适合高温烘干; 涂层要求高(高耐候、耐高温、高耐蚀等), 不适合喷粉工艺; 产量小, 不适合做流水线, 单独做喷漆室+烘干室的利用率也较低; 喷漆、流平、烘干工艺时间以小时计, 在不同工序下, 风平衡方式不同, 废气处理方式也不同。

喷烘两用室是解决上述问题的最佳方案, 但常规的喷烘两用室没有经过科学设计, 采用的也是早期的结构形式, 操作环境差, 能耗高, 安环设备少, 不能同时

满足水性漆和油性漆的需要, 职业卫生及废气排放很难达标。因此必须根据被涂物的大小、生产方式、涂料类型等, 正确选用和精心设计制造, 才能获得最佳的经济技术效果<sup>[1]</sup>。

本文根据实际项目提出一种典型的大型喷烘两用室, 依据常规大型工件的涂装工艺需求, 合理设计系统组成及附属设备, 通过理论计算不同工序下的风量及VOC排放, 对类似产品的涂装设备设计给予指导。这无论是对生产企业、涂装工程公司、生产工人还是对国家生态环境都具有积极、重要的实践意义。

### 1 工艺需求及环保指标

以某航空企业的工业产品为例, 产品坯件尺寸为15 m×4.5 m×4.5 m, 质量20 t, 全年工作日300 d, 每天时基数为22.5 h, 每天产量1件, 采用油性漆喷涂, 单个产品共需要喷涂9次, 当地地方标准要求的TVOC最高允许排放浓度为60 mg/m<sup>3</sup>。产品涂装工艺参数如

收稿日期: 2024-05-06

作者简介: 马辉(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事涂装工艺规划与设备设计工作。E-mail: mah2@chinacuc.com。

表 1 所列。

表 1 涂装工序参数

序号	工序	时长/h				涂料 用量/L
		底漆 1	底漆 2	清漆	装饰漆	
1	喷漆 1	0.5				4.2
2	流平	4				
3	喷漆 2		0.5			
4	流平		1			
5	喷漆 3		0.5			10
6	流平		1			
7	喷漆 4		0.5			
8	流平		4			
9	喷漆 5			0.5		
10	流平			1		
11	喷漆 6			0.5		10
12	流平			1		
13	喷漆 7			0.5		
14	流平			2		
15	喷漆 8				0.5	
16	流平				1	4.5
17	喷漆 9				0.5	
18	烘干(60~80℃)				3	
19	喷漆小计	0.5	1.5	1.5	1	
20	流平小计	4	6	4	1	

上述工艺是大型工业产品的典型涂装工艺,一般都是由多道喷涂、流平、低温烘干组成。由于工件数量少,规格是定制型,产品外形细节有差异,所以喷漆不适合自动喷涂,基本都是人工喷涂,各工况需求如下所述。

**喷漆工况:**全新风送风,由于航空产品的特殊需要,送风要求恒温恒湿及高洁净度,废气主要是大流量相对低浓度的含 VOC 的有机废气。

**流平工况:**恒温恒湿,可以采用循环风,少量较高浓度的有机废气需要处理。

**烘干工况:**为了节能采用循环风模式,少量有温度、较高浓度的有机废气需要处理。

**调漆间:**恒温恒湿,少量较高浓度的有机废气需要处理。

## 2 喷烘两用室主要参数设计

喷烘两用室系统中包含室体、送风单元、烘干加热单元、沸石吸附单元、催化燃烧单元等几个主要单元,在不同的工况下,其运行方式不同。以本项目为例设计的喷烘两用室的基础参数如下所述。

1)根据工件尺寸设计喷烘室尺寸,其中宽度方向

考虑三维升降机运行及喷涂作业,室体侧壁距离工件边缘留出 2 m 左右,操作间高度考虑工装支架及顶部喷涂需要,上下总计比工件高 3.2 m,则喷烘室外形尺寸设计( $L \times B \times H$ )为 18 m $\times$ 8.7 m $\times$ 11.2 m,其中喷漆操作间内腔高度为 7.8 m。

2)根据喷漆送风截面风速要求,干式喷漆风速一般 0.3~0.5 m/s,设计按 0.4 m/s 计算得喷漆室送风量为 70 000 m<sup>3</sup>/h,油漆的温度要求为夏季(25 $\pm$ 3)℃、冬季(22 $\pm$ 3)℃,送风相对湿度为 50%~80%。

3)根据烘干工艺温度计算加热单元的加热量为 50 万 kcal/h,循环风机风量为 50 000 m<sup>3</sup>/h<sup>[2]</sup>。

4)根据调漆间尺寸及换气次数要求,按 60 次/h 设计送排风量为 2 000 m<sup>3</sup>/h,根据有机溶剂浓度控制要求,按照危害因子爆炸下限的 25%设计烘干、流平时的排废气量为 2 000 m<sup>3</sup>/h,根据转轮 1:18 的浓缩比设计吸附风量为 68 000 m<sup>3</sup>/h,脱附风量为 4 000 m<sup>3</sup>/h,催化燃烧最大风量为 6 000 m<sup>3</sup>/h。上述风量均为室温常压时的标准风量。

## 3 喷漆工况的系统运行流程设计

喷漆作业时,采用全新风模式,系统从厂房外取风,经空调机组控温控湿后,由两台风机共同作用(便于流平工况节能),送至喷烘室顶部动压室和调漆间的顶部,喷烘室在长度方向上分成 3 段(节约能耗),每段的顶部、底部均有独立的风管及风阀,操作人员在第 1 段工作时,按下第 1 段的工作按钮,此时,第 1 段顶部、底部的电动风阀打开,第 2 段、第 3 段顶部、底部的电动风阀关闭,在第 1 段形成相对稳定的、由上向下的均匀气流,其他段运行时原理相同。气流的截面风速选择,既不会影响喷枪的喷涂效果,又能将过喷的漆雾带到地坑内。喷漆及调漆间的废气经多道过滤后洁净的有机废气进入沸石转轮系统中。

喷漆废气属于大流量、低浓度、常温有机混合气体,这些有机废气大部分进入沸石转轮吸附装置进行吸附净化处理,转轮由疏水性沸石吸附介质与陶瓷纤维加工成波纹状膜片,再卷制形成蜂巢状的圆筒形框架结构,其中部安装有旋转轴承。转轮的机械结构上,装有耐 VOC 腐蚀、耐高温的材料制成的气体密封垫,将转轮隔离成 3 个区域:吸附处理区、再生脱附区、冷却区<sup>[3]</sup>。

有机溶剂在通过蜂窝状沸石的贯通孔时,被具有吸附能力的硅、铝等无机材料吸附截留,洁净的气体通过沸石由中压离心风机排至烟囱内,高空达标排放。转轮以设定的速度旋转(一般 1~6 r/h),吸附有机溶剂的沸石块转动到脱附区域,VOC 被 180~220℃的高温气体脱附出来,此时,脱附气体废气浓度已提高十几倍,直接进入催化燃烧装置,经换热升温、电加热补热,在

催化剂的作用下氧化分解,再经过换热后释放出热能,相对低温地排放。最后,转轮再转动至冷却再生区,由相对低温的气体对其进行降温冷却,以保证后续重新吸附的效果,进行下一个周期的循环。

#### 4 流平工况的系统运行流程设计

流平作业时,采用循环风模式,空调机组只开1台小风量风机。经过室体底部过滤、三级过滤后洁净的气体,大部分的循环风再回到空调机组的进风口,混合一部分新鲜风,经过控温控湿后,送入到喷烘室顶部动压室和调漆间顶部,此时喷烘室顶部及底部的三段风阀全部开启,在风循环过程中,室内有机溶剂浓度不断增加,为了将室内有机溶剂浓度控制在设定值以内(如爆炸下限的25%),在进风口再适当补充少量的新鲜风。少量的循环风进入到催化燃烧装置处理后高空排放。

#### 5 烘干工况的系统运行流程设计

烘干作业时,采用循环风模式,采用加热单元作为循环动力源。经过喷烘室体底部过滤、三级过滤后洁净的气体,大部分的循环风混合一部分新鲜风,经过加热单元加热后,送入到喷烘室顶部动压室,此时喷烘室顶部及底部的三段风阀全部开启,在风循环过程中,室内有机溶剂浓度不断增加,为了将室内有机溶剂浓度控制在设定值以内(如爆炸下限的25%),在加热单元处再适当补充少量的新鲜风。少量的循环风进入到催化燃烧装置处理后高空排放。

#### 6 喷烘两用室系统运行流程设计

综合上述几种工况,一种典型的喷烘两用室系统原理如图1所示。该系统可以满足喷漆、流平、烘干3种不同工艺条件,根据工艺路线及工艺参数进行生产模式切换及参数设定。

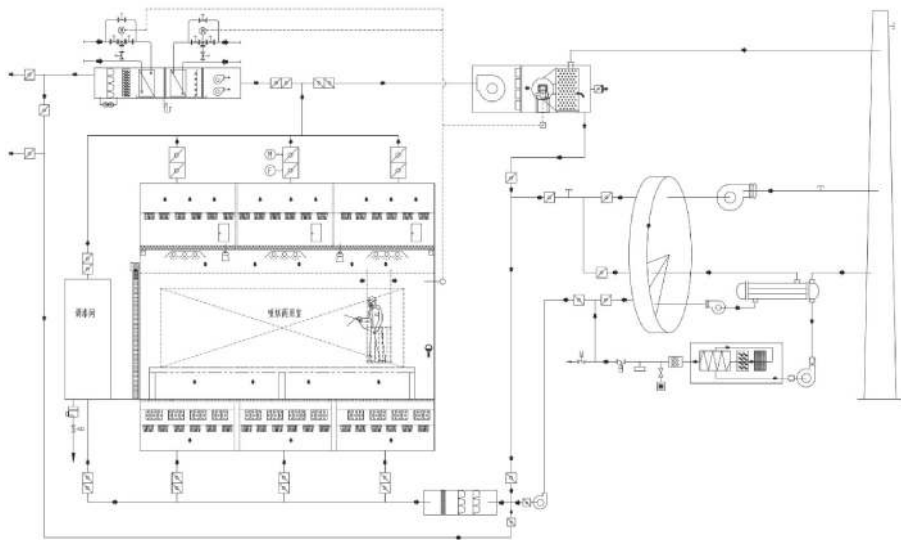


图1 喷烘两用室原理

#### 7 喷烘两用室组成及结构

根据上述需求,设计喷烘室系统,包含喷烘室体、喷漆送风机组及冷热水系统、烘干加热循环系统、废气处理系统、漆雾处理系统、输送系统、安环系统、控制系统等。喷烘室截面如图2所示。

室体由立柱、折板、观察窗、灯箱、顶部过滤装置、检修门、人员出入门、工件出入自动对开门等组成。室体骨架内侧面外包0.6 mm的不锈钢板,壁板采用100 mm的阻燃夹芯板,其中内壁板为1.0 mm不锈钢板,外壁板为0.6 mm压型彩板,中间为高容重的阻燃保温岩棉。室体侧壁在适当高度设置玻璃窗,在玻璃窗外设置照明灯箱,确保室内照度 $\geq 800$  lx,灯箱玻璃密封性好。室体上部设置动压室与静压室,动压室内选用袋式

过滤器,静压室底部设置热镀锌钢格网,上面铺高效过滤顶棉;动压室及静压室内进行合理设计,方便人员更换过滤棉。动、静压室设压差表及压差报警装置,提醒工人按时更换滤材,静压室内设维修防爆照明灯及生命线钢丝绳。地面设置热镀锌钢格栅,上拆式,可方便地进行拆卸,并可进行焚烧处理。

室体在合适位置设置两个外开型安全门,配闭门器,用于紧急撤离,并且具有泄压功能。室体一端为封闭式,另一端设置自动对开门,对开门门体有一定的强度,保证不变形,对开门与室体之间设置硅胶片密封条,耐温且密封良好。室内设置4个压缩空气快装接口,配三联件,满足空气喷涂之需,并设置喷枪专用悬挂机构,便于工具存放。室内两侧设置2台三维升降小

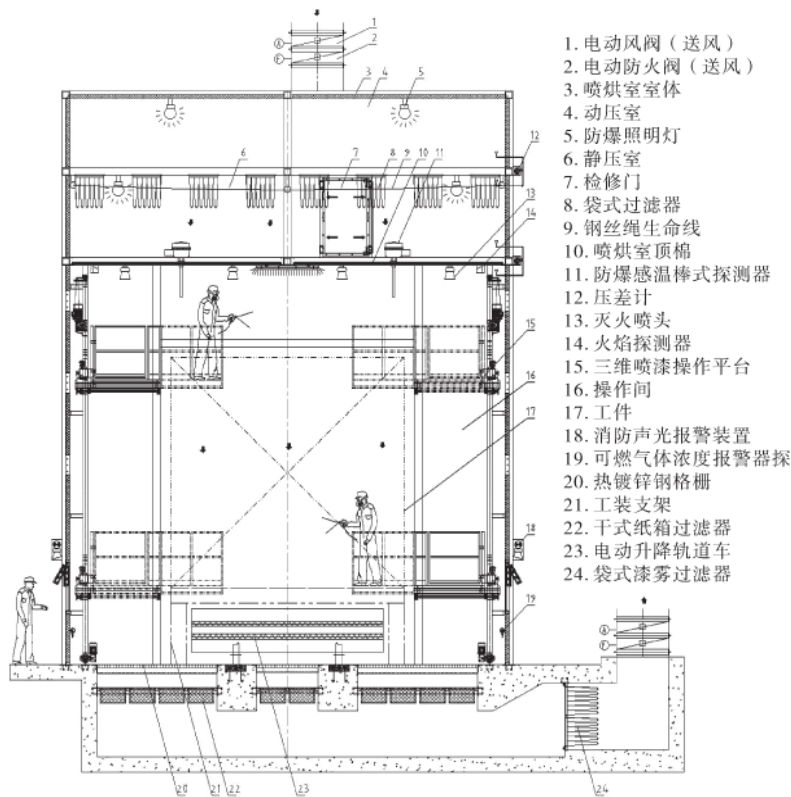


图2 喷烘两用室截面

车,可以在工件长度、宽度、高度方向扩展移动,结构牢固,配有安全扶手,符合人机工程学。

在喷漆区下方的地坑内侧设置干式漆雾捕集系统。采用纸盒过滤器+袋式过滤器对过喷的漆雾进行捕集,地坑的设计便于人员下去更换耗材。纸盒过滤器的特殊结构使大部分漆雾直接黏附在迷宫过滤纸上,通过袋式过滤器及后续过滤箱体的多级过滤后,将洁净的气体排至废气处理设备集中处理,或者排至烘干加热单元中循环。风阀、隔板、骨架、风管等均采用不锈钢或渗铝材质。

喷漆送风采用恒温恒湿空调机组送风,包括进风段、过滤段、表冷段、加热段、加湿段、风机段等。过滤材料选用阻燃材料,在主要操作功能段设有防爆照明灯。正压段设置内开检修门,负压段设置外开检修门。每道袋式过滤器两侧设置压差计,若过滤器两侧压差达到设定上限,人工更换滤料。加热段采用热泵提供热水换热来加热,可自动控制、自动调节温度,确保温度在稳定区间。表冷段采用亲水铝箔,疏水快,提高换热效率,挡水板采用塑料挡水板。表冷盘底部配置有不锈钢接水盘和球形水封,确保冷凝水排水的通畅。风机采用低噪声双吸式离心风机,风机底座设有减震器,考虑到喷漆、流平所需的风量不同,采用1大1小两个风机,喷漆室两个风机全开,流平室只开小风机,节约能耗。空

调机组进风口有2个,喷漆时从厂外取新鲜风送入空调机组;流平时从室体底部抽风经过滤后进入空调机组。喷漆或流平工作时,送风系统由电动风阀自动切换,满足两种不同的工作状态。

烘干加热单元采用三元体天然气间接加热系统,集过滤、加热、送风等功能于一体。配置高温过滤器,保证循环热风的清洁,也保证了被烘干工件的表面涂层质量。加热单元内板采用1.5 mm厚不锈钢板制作并满焊,外壁板采用0.6 mm压型彩板制作。循环风机(防爆,耐温250℃)为外置插入式,循环风机出口设置风压开关和感温元件双重保护系统。当出现异常时,电子信号传至PLC控制中心,触摸屏上作出反应,切断燃烧器和风机电源,发出报警蜂鸣声。燃烧器采用比例调节的低氮燃气燃烧机,配过滤器、减压阀、燃气压力开关、安全电磁阀、母火电磁阀、主火电磁阀、比例马达与蝶阀、燃气球阀等,结构精巧,检修维护方便,自动控制,安全可靠。设有自动点火和检测系统,具有管路泄漏检测功能,安全性能好,燃烧效率高,尾气排放符合环保要求。

排风系统由底部格栅、纸箱漆雾过滤器、袋式过滤器、三级过滤箱体、风阀及防火阀、沸石转轮吸附装置、排风风管、排风机等组成。干式纸箱漆雾过滤器由纸盒和内部过滤元件组成,利用旋风原理,以气流偏转为基

础,将漆雾分子截留。蜂窝结构使气流自然且充分通过,捕捉更多的漆雾颗粒。芯材及外框架均采用阻燃材质。经过漆雾过滤器、袋式过滤器过滤后的气体,经地下风道引到过滤箱过滤后进入沸石吸附后,净化气体通过风机、烟囱高空排放。

喷烘室内设置完善的安环设备,室体侧墙底部和顶部设置多个可燃气体浓度检测探头,火焰探测器、热电阻等,与防火阀、风机、灭火系统安全连锁。

输送系统包括电动升降轨道车及工装架,生产时,工件放置在工装架上,电动升降轨道车运动到工装架

底部,升起并托住工装架,运行到喷烘室内,下降并离开,留下工件及工装架进行喷涂,涂装作业完成后,电动升降轨道车再运动到工装架底部,升起并托住工装架及工件,运送至其他位置。该输送方式有如下优点:1)涂装作业时,平车不在室内,因此电机及元器件耐温、防爆比较容易实现;2)喷烘室底部结构简单,没有驱动电机及链条,故障少,维护方便,土建成本低。

## 8 废气处理计算

根据工艺参数及涂料的理化特性,计算涂料的初始挥发浓度如表2所列。

表2 涂料的初始挥发浓度计算

油漆种类	用量/L	VOC含量/(g·L <sup>-1</sup> )	密度/(kg·L <sup>-1</sup> )	质量/kg	风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	用时/h	总VOC/g	平均VOC(g·h <sup>-1</sup> )	浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )
底漆1原漆	4.2	420	1.1	4.62	70 000	0.5	1 764	3 528	50.40
底漆2原漆	10.0	420	1.1	11.00	70 000	1.5	4 200	2 800	40.00
清漆原漆	10.0	480	1.1	11.00	70 000	1.5	4 800	3 200	45.71
装饰原漆	4.5	460	1.1	4.95	70 000	1.0	2 070	2 070	29.57
稀释剂	10.09	949	0.95	9.58	70 000	2.0	9 575	4 788	68.40
固化剂	10.09	480	1.1	11.10	70 000	2.0	4 843	2 422	34.59
合计 <sup>①</sup>	48.88			52.24			27 253		153.39

注:①极限值;底漆:稀释剂:固化剂质量比为5:1:1;清漆(装饰漆):稀释剂:固化剂质量比2:1:1;VOC含量依据为客户提供的涂料MSDS资料。

涂料中的有机废气有70%~75%在喷漆工序中挥发出来,有15%~20%在流平工序中挥发出来,有5%~10%在烘干工序中挥发出来。据此计算不同工序下的入口浓度,再根据废气处理方式及处理效率,得到处理

后的废气出口浓度,详见表3所列。

目前上海、浙江、江苏、广东、天津等地的地方标准要求VOC最高允许排放浓度为50 mg/m<sup>3</sup>,可见,本项目设计方案满足环保要求并有一定的富余量。

表3 不同工序下进出口浓度计算

工序	风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	总用时/h	入口浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )	处理方式	处理效率/%	出口浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )
喷漆	70 000	4.5	115.04	沸石转轮吸附	92	9.20
流平	2 000	15.0	181.68	催化燃烧	90	18.17
烘干	2 000	3.0	227.11	催化燃烧	90	22.71
调漆间	2 000		150.00	沸石转轮吸附	90	12.00
小计		22.5				

## 9 结语

“十四五”是推动工业高质量发展、深化供给侧结构性改革的关键时期,作为国家重点工程建设和重大装备制造所需的关键一环,大型工业通用产品顺势蓬勃发展。当前,工业企业现有的喷烘两用室普遍设计落后、工况单一、能耗大、污染重、作业环境恶劣,大多需要升级改造。本文提出的典型的大型喷烘两用室,其中涉及的工艺原理、配套设备及废气处理计算,对提升喷烘两用室整体设计水平有重要的借鉴意义,这无论对改善国家生态环境,还是促进国民经济高质量发展,都

是具有深刻意义的。

## 参考文献:

- [1] 王锡春,李文钢.喷漆室节能减排环保的新思路[J].现代涂料与涂装,2010(6):41-47.
- [2] 陈治良.现代涂装手册[M].北京:化学工业出版社,2009:687-691.
- [3] 丁映春.沸石浓缩转轮系统在喷漆室废气治理中的应用[J].现代涂料与涂装,2015(8):70-72.