

浅析涂装车间消防安全设计

谢 风, 代民富, 刘君臣, 曾动熙, 张睿洁
(重庆长安汽车股份有限公司, 重庆 401133)

摘要: 以整车涂装车间消防安全规划设计为研究对象, 基于某涂装厂房建设项目实例, 系统分析了厂房的火灾危险性分类、耐火等级划分标准、车间平面布局原则以及消防设施配置方案。研究过程中, 重点结合涂装工艺的火灾风险特性, 深入探讨了消防安全设计标准的选取依据, 并通过计算验证设计参数的合理性。研究内容涵盖涂装车间的火灾危险性评估、建筑结构防火设计、厂区总平面布局优化、人员疏散通道设置、安全出口配置等关键环节, 特别针对重点工序的消防设施选型和辅助消防系统配置提出了具体解决方案。本研究为整车涂装车间的消防安全设计提供了系统的理论依据和实践参考, 对同类工业建筑的消防设计具有重要的借鉴价值。

关键词: 耐火等级; 平面布局; 消防设施

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)07-0056-05

Analysis of the Fire Protection Design in Painting Workshop

XIE Feng, DAI Min-fu, LIU Jun-chen, ZENG Dong-xi, ZHANG Rui-jie
(Chongqing Changan Automobile Co., Ltd., Chongqing 401133, China)

Abstract: This paper focuses on the fire safety planning and design of vehicle painting workshops. Based on a practical case of a painting shop construction project, it systematically analyzes the fire hazard classification of industrial buildings, the standards for fire resistance rating division, the principles of layout, and the configuration of fire protection facilities. During the research process, particular emphasis is placed on the fire risk characteristics of painting processes, thoroughly examining the selection criteria for fire safety design standards and validating the rationality of design parameters through calculations. The study covers critical aspects such as fire risk assessment of painting shops, fire-resistant structural design, optimization of overall plant layout, evacuation route planning, and safety exit configuration. Special attention is given to proposing specific solutions for fire protection facility selection and auxiliary firefighting system arrangements in key processes. This research provides a systematic theoretical foundation and practical reference for the fire safety design of vehicle painting workshops, offering significant guidance for fire protection design in similar industrial buildings.

Key words: fire resistance rating; layout; firefighting device

0 引言

涂装是汽车整车生产中不可缺少的一环, 而涂装车间相对于其他车间涉及到较为特殊的物质及工序——油漆及喷涂, 使得涂装车间成为整车工厂中火

灾危险性最大的地方, 一旦出现火灾, 将造成巨大的损失。如何正确理解涂装车间的火灾危险性, 在生产线建设过程中根据建设目标, 遵循客观规律, 运用技术及方法, 依据技术标准、规范, 针对建筑性质和特点, 从消防安全角度进行综合、系统设计是至关重要的。本文从涂装车间的火灾危险性、厂房的分类与耐火等级、平面布局图、安全疏散的布局、厂房建筑电气的防火、建筑及设备的消防设施以及灭火救援设备等方面对涂装车间

收稿日期: 2024-08-17

作者简介: 谢风(1984—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车生产及运营管理工作。E-mail: xief@changan.com.cn。

消防安全设计进行浅析。

1 涂装厂房的分类及耐火等级

从涂装工艺流程可知,火灾危险性最大的区域在于涉及到涂料的调漆间、储漆间及喷涂区域。整车涂装行业目前所使用涂料分为两类:水性涂料(闪点为 90~96℃)和溶剂型涂料(闪点为 40~45℃),依据国家标准 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》中的规定:闪点不小于 28℃,但小于 60℃的液体属于乙类火灾。同一个建筑内或建筑的任意一个防火分区存在不同的火灾危险性,一般按照危险性较大的确定。但某涂装生产线消防安全设计将厂房定义为戊类厂房,这是否存在矛盾呢?在《建筑设计防火规范》中明确以下两种情况,可按照危险性较小确定:1)厂房建筑内危险性相对较大部分占厂房总建筑面积比例小于 5%,或者丁、戊类厂房建筑的油漆工段面积小于 10%,而且火灾发生时不足以蔓延到厂房其他部位,或者对危险性相对较大的部位采取了有效的防火措施。2)丁、戊类涂装厂房建筑内的油漆工段,采用封闭的喷漆工艺,喷漆区域保持负压,且配置可燃气体的探测报警系统或者自动抑爆系统,同时油漆工段的建筑面积相对于总的厂房建筑面积小于 20%。

本案例的生产线总建筑面积为 6 万 m²,而调漆间、储漆间及喷漆室的面积分别为 600 m²、300 m²及 2 800 m²,其总的油漆工段建筑面积占总建筑面积小于 10%。工艺流程:白车身检查→大流量冲洗(热水洗)→预脱脂(喷)→脱脂(浸+喷)→第一水洗(喷)→第二水洗(浸+喷)→表调(浸+喷)→磷化(浸+喷)→第三水洗(喷)→第四水洗(浸+喷)→第一纯水洗(喷)→第二纯水洗(浸+高压喷淋)→新鲜纯水洗(喷)→润湿喷淋→阴极电泳(UFO 喷)→UF1 水洗(喷)→UF2 水洗(浸+喷)→新鲜 UF 水洗(喷)→第三纯水洗(喷)→第四纯水洗(浸+喷)→新鲜纯水洗(喷)→倒水(空槽)→转挂→吹水→电泳烘干→强冷→电泳储存→滑橇解锁→电泳检查及钣金修正→涂焊缝密封胶、消音隔热垫→转挂→底部密封胶及 PVC→转挂→裙边抗石击涂料喷涂→密封胶烘干→密封胶储存→电泳打磨→密封胶检查及修补→擦净→静电除尘→喷涂水性中涂→中涂闪干→喷涂水性色漆→色漆闪干→喷涂清漆→流平→面漆烘干→强冷→面漆储存→检查→抛光、在线修补→装饰→注蜡→喷黑→送总装。

按照上述规范规则,在采取有效防火措施情况下,可将涂装车间定义为戊类厂房。最新涂装厂房消防设计中,因考虑到厂房内局部点使用天然气,也将涂装厂房定义为丁类厂房,本文暂不对此展开探讨。

虽然涂装生产线的火灾危险性可定义为戊类,但

厂房的高度也对厂房建筑材料的选择至关重要,当厂房高度超过 24 m,即定义为高层厂房。而厂房高度的计算方式有如下规则:1)当厂房屋面为坡屋面时,建筑高度则为室外设计地面至厂房檐口与屋脊的平均高度。2)当厂房屋面的设计为平屋面(包含有女儿墙)时,建筑高度则为室外设计地面到屋面的高度。3)当有多种形式的屋面时,建筑高度则为上述方法分别计算后取其最大值。4)当屋面局部有高于屋顶的冷却塔、电梯的机房或排风和排烟机房等厂房的辅助用房,其面积≤1/4 总建筑面积,建筑高度可不计算辅助用房的高度。

结合上述计算方式,某涂装厂房设计为坡屋面,屋脊与檐口的高度分别为 24.5 m、22 m,则该厂房高度为(24.5+22)/2=23.25 m,低于 24 m,即该涂装车间属于多层戊类厂房,如图 1 所示。

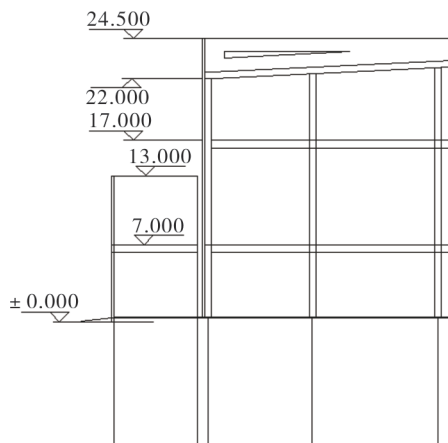


图 1 某涂装车间剖面局部示意

根据涂装车间使用性质、规模大小、层数高低以及火灾危险性的确定,选择合理的耐火等级,既满足消防安全要求,又利于节约基本建设投资。在消防设计中,涂装车间的耐火性能是保证整体结构在发生火灾时不发生较大破坏的根本,由涂装车间的墙、柱、楼板、屋顶、吊顶、灯具等主要构件的燃烧性能及耐火极限确定,共分为四级。某涂装厂房采用钢结构形式,其耐火等级为二级。究其原因为:在《建筑设计防火规范》中明确,单、多层的丙类厂房建筑和多层丁、戊类厂房建筑的耐火等级不应低于三级,而使用或者生产过程中产生丙类液态的厂房建筑,其耐火等级不应该低于二级。

2 涂装车间的平面布局

涂装车间的平面布局设计中,消防安全的要求是必不可少的。需要考虑的因素很多,本文重点从涂装车间与附近建筑物之间的防火间距,涂装车间内部生产区、储存区、生产辅助设施区以及办公区功能划分的合理性进行浅析。

建筑之间的防火间距,既要综合考虑防止火灾向相邻建筑物蔓延扩大和灭火救援的需要,又要考虑节约用地的因素。某整车工厂各工艺车间平面布局如图2所示,其中涂装厂房为多层戊类,总装厂房为单层戊类,焊接厂房和公用站房均为单层丁类,各建筑物耐火等级均为二级。按照《建筑防火设计规范》中的规定:一、二级耐火等级的单层或多层丙丁戊类厂房之间的最低防护间距为10 m,即涂装厂房与周边建筑物之间的防护间距最低为10 m,实际可根据工艺需求适当扩大。

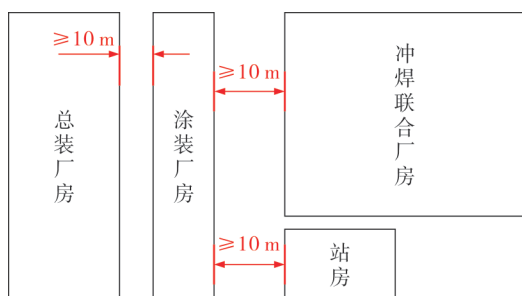


图2 某整车工厂平面布局示意

根据涂装车间生产、工艺、供能以及安全等因素的需要,除生产区域外,需额外布局相应的辅助性用房,如图3所示的办公室、调漆间及储漆间、锅炉房、消防控制室、变压器室及发电机房等辅助用房在厂房平面布局中,《建筑设计防火规范》中具有明确的布局规则及要求。

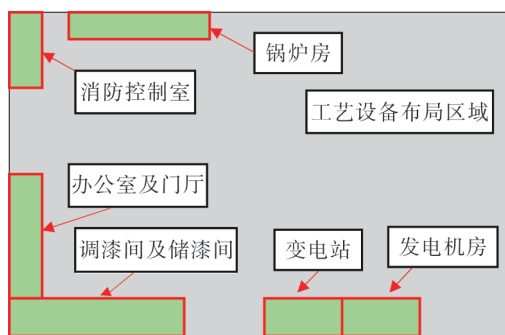


图3 某涂装厂房平面布局示意

1) 甲乙类厂房内严禁布置办公室等员工休息区域,确实需要贴邻厂房时,休息区域建筑的耐火等级最低要求为二级,同时必须采用耐火极限不得低于3.0 h的防爆墙隔开,且休息区域必须设置独立的安全出口。

2) 在厂房内布置中间仓库,其用量不应超过一昼夜需求量,应该靠外墙,且应该采用防火墙及耐火极限不得低于1.5 h的不燃性楼板与其他部分隔离开。

3) 消防控制室是工厂内灭火和防火系统的显示和控制中心,是扑救火灾的指挥中心,是保障厂房安全的

要害部位之一。如果附设在任何厂房内的消防控制室,布局在厂房内首层或者地下一层,且宜靠外墙部位,同时需采用耐火极限 ≥ 2.0 h的防护隔墙及耐火极限不得低于1.5 h的楼板与其他部位隔离开,疏散门也应直通室外或者直通安全出口。

4) 燃气锅炉房、变压器室和发电机房,不得与人员密集场所(包括上一层和下一层)贴邻;应该布置在厂房首层或者地下一层靠外墙部位;疏散门也应直通室外或者直通安全出口;与厂房其他部位之间应该采用耐火极限不得低于2.0 h的防火隔墙和耐火极限不得低于1.5 h的楼板隔离开,且在隔墙和楼板上均不得开设洞口,确实需要设计门、窗时,需要设计成甲级防火门或防火窗。燃气锅炉房内需设置爆炸泄压设施和火灾报警装置,且必须设计独立的通风设施。

平面布局中另一个重要的关注点就是安全疏散,包含安全出口、安全疏散人数、安全疏散距离及楼梯间等基本参数。根据国家工程相关技术标准,以百人宽度指标进行衡量,计算确定安全出口的宽度和数量。

安全出口是为保障人员安全疏散使用的楼梯间及出入口等。安全出口的数量原则上通过计算确定,同时为确保发生火灾时能有2个及以上不同方向疏散路线可供选择,且按照均匀分布的原则,合理分散布置于厂房平面的不同部位。具体计算方法如下:

1) 确定疏散人数,因厂房不同于公共建筑,人员基本固定,因此在《建筑设计防火规范》中没有对厂房的人员密度做具体规定。一般设计疏散人员为作业人员数和管理人员数总和。

2) 疏散的总净宽度计算方法为:疏散总净宽度=(一个楼层(防火分区)疏散人员/100) \times 百人疏散宽度指标。

百人疏散宽度指标是指一定疏散时间内,每100人以单股人流进行疏散所需要的疏散宽度。厂房内疏散楼梯、疏散走道及疏散门的宽度指标与厂房的层数存在关系,一、二层厂房,百人疏散宽度指标为0.6,三层厂房,百人疏散宽度指标为0.8。

涂装厂房耐火等级为二级,其疏散时间需控制在2.0 min内,且再根据厂房内各区域疏散人员数量计算得到安全疏散宽度。同时需要遵循如下标准:疏散走道的最小净宽度 ≥ 1.4 m。疏散楼梯的最小净宽度 ≥ 1.1 m。厂房第一层外面总净宽度根据厂房疏散人数最多一层的人数计算而定,且其最小净宽度 ≥ 1.2 m。

3) 安全出口的计算方法为:安全出口数量=安全出口总净宽度/疏散门净宽。

涂装厂房属于多层戊类厂房,且其耐火等级为二级,按照《建筑防火设计规范》中的规定,其安全疏散距

离(指人员从房间内任意位置到最近的安全出口直线距离)不限。同时多层戊类厂房防火分区(指厂房内部使用防火墙或楼板等防火分隔设施隔离而成,能在一定时间内,阻止火灾向同一厂房建筑内其他部分快速蔓延的局部位置,是防止火灾蔓延基本的防火单元,其最大允许面积因建筑耐火等级、建筑高度、火灾危险性等不同有所差别)面积不限。

火灾危险性较低的丁、戊类多层厂房,可采用敞开楼梯间,大多数涂装厂房的疏散楼梯间均采用封闭楼梯间,在不具备自然通风条件或自然通风条件不满足要求的情况下,设置机械加压系统。

3 涂装车间的消防设施设计

在涂装车间合理的平面布局基础上,同时需设计合理的消防设施,其包含防火、灭火、疏散及救援等多个方面。应当按照消防相关的法律法规和国家相关消防技术标准设计并安装建筑消防设施,其基本的布置要求如下:

1)根据消防法律法规的规定,必须进行消防的专项设计,并依法由住房和城乡建设主管部门进行消防设计审查及消防相关验收。

2)消防系统施工单位必须具备国家规定相应等级的专业施工资质,并严格按照图纸施工,且确保工程质量满足图纸及相应技术标准、规范的要求。

3)采购的消防器材须符合国家消防标准及行业标准,且应符合市场准入制度,如3C认证和检测等。禁止使用不合格或明令淘汰的消防设施器材。

4)建设单位、监理单位、设计单位、施工单位、设计审核单位以及竣工验收单位,均须根据相应标准、规范对消防系统的设计和施工质量负责。

涂装厂房消防设施总体分为火灾的自动报警系统、消火栓系统、自动喷水系统、气体灭火系统及移动灭火设施等组成。

3.1 火灾的自动报警系统

涂装车间火灾的自动报警系统通常设计为集中式报警系统,设置在涂装车间内消防控制室。主要监控范围:调漆间、喷漆区域、洁净室、设备消防给水系统阀门。系统由火灾的探测器、火灾报警手动按钮、火灾的声光报警器、火灾的应急广播、火灾的专用电话、火灾的控制室图形显示装置、火灾的报警控制器、火灾的联动控制器、气体的灭火系统、可燃气体的报警系统等组成。其中火灾的报警控制器、火灾的联动控制器和控制室图形显示装置、应急广播系统、火灾的专用电话、可燃气体的灭火控制器等装置是起集中控制作用的消防设备。消防报警总线、DC24 V电源线、消防广播线、消防联动控制线及消防电话线均引自涂装车间消防控制室。

可燃气体的探测器设置及控制要求:储漆间、喷漆间、喷漆室、流平室、供蜡间及注蜡线等设置气体浓度探测器,该部分区域的探测器检测气体为二甲苯;天然气入口处和天然气管道阀门的上方部位,需设计气体浓度探测器,该部分区域的探测器检测气体为甲烷;供蜡间及注蜡线设置气体浓度探测器,该部分区域的探测器检测气体为石蜡。当任意探测器探测到二甲苯、石蜡气体泄漏浓度达到爆炸下限20%时,消防控制室显示报警位置;当任意探测器探测到二甲苯、石蜡气体泄漏浓度达到爆炸下限40%时,联动对应区域的声光报警器进行报警。当任意探测器探测到甲烷气体泄漏浓度达到爆炸下限20%时,消防控制室显示报警位置;当任意探测器探测到甲烷气体泄漏浓度达到爆炸下限40%时,联动关闭天然气入户管道上的紧急切断电磁阀。可燃气报警系统示意如图4所示。

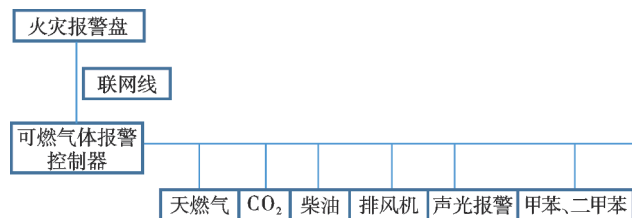


图4 可燃气报警系统示意

当火灾探测器检测到火警信号时,通过总线发送至火灾报警控制器,并由火灾的报警控制器发出灭火动作指令及各系统的联动指令,切断发生火灾的设备电源、关闭该区域内的所有相关设备。消防广播系统/声光讯响器:火灾确认后,报警控制器应能启动和停止所有声光讯响器,声光讯响器单次发出火灾警报的时间为8~20 s,间隔2~3 s后播放应急广播10~30 s,且声光讯响器与消防广播系统应能交替循环播放,报警器声压级不应小于60 dB,且高于背景噪声15 dB;车间消防控制室,通过多线制联动控制盘,可手动直接启动车间消防排烟风机、消防阀组、厂区泵站内的消火栓泵及喷淋泵等消防设施。

3.2 消火栓系统

消火栓系统可分为室外的消火栓系统和室内的消火栓系统,室外的消火栓厂区内设置在室外的消防给水系统,其应满足GB 4452—2011《室外消火栓》等标准要求。室内消火栓是厂房室内消防水管网向起火部位供水的设施,且带有相应专用接口的阀门,进水端与消防管网连接,出水端与水带连接。除供水管网外,室内消火栓设备包括消防水带、消防水枪、消防软管卷盘等。涂装厂房一般采用临时高压消防给水的消火栓系统;当发生火灾时,灭火人员可将消火栓箱中消防水

带与消火栓的栓口连接,然后打开消火栓阀门,即可实现灭火功能。当消火栓箱内的按钮被按下时,即可向消防控制中心发送报警信息,高位消防水箱出水主管的流量开关和消防水泵的出水主管的压力开关或者报警阀的压力开关等也能直接启动厂区的消防水泵。且丁戊类厂房的消火栓系统持续喷水时间须 ≥ 2.0 h。

3.3 自动喷水系统

涂装厂房的自动喷水系统主要采用湿式自动喷水灭火系统、干式自动喷水灭火系统、雨淋系统及水幕系统。

3.3.1 湿式自动喷水灭火系统

发生火灾时,喷头爆裂,管路压力降低,湿式报警阀的压力开关将动作,信号通过消防的输入模块传输到消防控制室,再通过手动或自动联动停止相关区域工艺生产线设备,并立即关闭送排风的风机及防火阀等;同时压力开关的信号传输到厂区的消防水泵房内,直接启动喷淋系统的加压泵,即可实现喷水灭火功能。设置在消防控制室内的手动启停按钮,按下后也可直接控制喷淋加压泵。该系统保护对象为擦净段、喷漆室静压室、过渡段、流平段、洁净区、文丘里及文丘里排气风道、小修室、注蜡装饰段、循环风回风管、地下烟道等。

3.3.2 干式自动喷水灭火系统

当厂房保护区内发生火灾时,喷头将爆裂,管路的压力会降低,管路补气空压机补气不及,报警阀的压力开关将动作,信号通过消防输入模块传输到消防控制室,联动开启相应区域管路末端的电磁阀排空管中气体,当消防控制室人员确认发生火灾后,通过手动或者自动停止相关区域工艺生产线设备,同时将关闭送排风的风机和防火阀等,压力开关的信号传送到厂区的消防水泵房,直接启动喷淋加压泵,即可实现灭火功能。同上,按下消防控制室内的手动启停按钮可直接控制喷淋加压泵。该系统保护对象为色漆热闪干、中涂热闪干工段。

3.3.3 雨淋系统

当保护区内发生火灾时,报警控制器如果接收到该系统保护区内的两个或两种探测器的报警后,即可启动喷漆室防爆声光报警器;经确认后自动切断喷漆工艺设备远控柜的电源;关闭送排风的风机和防火阀,生产停止,开启对应区域的雨淋电磁阀,压力开关压力骤降,信号传输到厂区消防水泵房,立即联动喷淋加压泵,实现灭火功能。该系统保护对象为喷漆室。

3.3.4 水幕系统

该系统主要的保护对象是烘炉入口。

以上各系统设计中涉及非常重要的一个指标是喷

水强度,需要根据 GB 50084—2017《自动喷水灭火系统设计规范》标准和规范为依据,并根据各保护区和保护对象的特点来确定火灾危险等级,如表 1 所列。

表 2 涂装厂房重点区域自喷系统的选择及喷水强度设计标准

保护区	危险等级	喷水系统	最大净空高度/m	喷水强度/ ($L \cdot (\min \cdot m^2)^{-1}$)
擦净段、 喷漆室静压室等	中危险 Ⅱ级	湿式自喷	≤ 8	8
色漆热闪干、 中涂热闪干工段	中危险 Ⅱ级	干式自喷	≤ 8	8
喷漆室	严重危险 Ⅱ级	雨淋系统	≤ 8	16
烘炉入口	轻危险级	水幕系统	≤ 8	4

3.4 气体灭火系统

涂装厂房常使用的气体灭火系统为 CO_2 系统和七氟丙烷系统。储漆间、调漆间设置 CO_2 自动灭火系统,供蜡间设置柜式七氟丙烷灭火系统。当保护区内其中一路感温探测器发出报警时,则为火灾预警信号,控制器将启动保护区内的声光报警器;当保护区内的两路感温探测器同时发出报警时,则为火警信号,控制器将启动保护区内的声光报警器,且火警后系统经约 30 s 延时启动气体灭火装置,同时点亮门口的气体喷洒指示灯,门口设置紧急启停按钮和手动自动转换开关,可供操作人员在房间外部进行手动气体灭火控制。同时,联动启动相关区域广播,停止油漆主控柜、机器人控制柜、喷漆室输送、供蜡设备控制柜。

3.5 移动灭火设备

移动式灭火设备是可以人为移动的各类可用于灭火的器材,比如消防斧、安全锤、灭火毯及灭火器等;除此之外,也包含辅助逃生或灭火的器材,如消防绳、消防沙、防毒面具、消防手电等。

4 结语

涂装厂房消防系统的设计及施工是依据国家相关的消防法律法规(如《中华人民共和国消防法》)和工程建设消防技术标准(如《建筑设计防火规范》)等。消防安全包括防火、发生火灾时的灭火、人员疏散及救援等方面,消防设备也需要与之相匹配的功能。本文仅对部分消防设计进行浅析,涂装车间的消防安全设计还包括电气防火防爆、防排烟、消防供配电、灭火器的配置、消防通信设施、消防的应急照明和消防疏散指示及灭火救援设施等设计。消防安全的保障,除了消防设施的设计及施工之外,还需要对消防系统设备开展定期检查、不定期检测以及标准性维护管理,确保其性能完备有效,是火灾发生时消防设施切实发挥功效的重要保障。◆