

某地铁涂装车间消防设计分析

周小辉 晏然 李渐

中机国际工程设计研究院有限责任公司

摘要：对地铁涂装车间的生产火灾危险类别进行判定；根据火灾危险类别，从总图、建筑、给排水、电气、暖通五个专业进行消防设计说明，重点阐述各专业需采取的安全措施；使各类消防措施满足安全生产、节能、环保各类法律、法规，同时控制工程造价、提高生产高效、降低运营成本、提升物流效率，并满足国家规范要求。主要采取的消防安全措施有：防火涂料、火灾报警、可燃气体探测、事故通风等。

关键词：涂装车间；生产火灾危险类别；消防设计；消防安全

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.107

一、前言

近几年，随着我国涂装行业迅速发展，国家产业政策鼓励涂装行业向高技术、高质量方向发展。涂装是保证产品质量的重要一环，也是构成产品价值的重要因素。随着全球经济飞速发展，工业制造的机械、电子、材料、冶金等各行各业均在高速发展，各项技术也有了革命性的提高与改变，但表面处理工程中的涂装作业工序作业较落后，机器人喷涂还未大规模推广使用，安全、环保、职业卫生问题一直是涂装作业的痛点。同时企业对三废的处理不够重视，导致现在整个涂装行业面临污染严重、能耗极高、作业落后、生产效率低的问题。

随着全民环保意识越来越高，安全、节能、环保的法律法规持续更新，对制造型企业的要求也随之越来越高。一方面要求企业降低生产成本、减少碳排放；另一方面鼓励企业实施智能制造转型，在生产中实现少人化、无人化生产。因此，表面处理及涂装行业也需不断革新，无论是从工艺技术水平、工艺设备及配套设备都必须进行智能化转型。可以预计，未来涂装行业的发展方向为减少污染、降低能耗、提高效率、保证质量的方向发展，同时涂装生产设备向更加智能、节能、环保、安全的方向发展。

在国家大力推行智能制造及工业4.0的大背景下，同时响应“双碳”战略倡导绿色、环保、低碳的国家战略，进一步降低碳排放的部分，结合表面处理及涂装行业发展趋势及企业自身特点，各企业制定了生态环保、智能制造等相关规划。各企业希望借助国家大力倡导环保和智能制造的契机，逐步实现关键制造环节智能化转型升级，推动企业绿色发展；同时，积极推广使用水性节能环保涂料，促进企业和行业良性发展。

本文对某地铁生产厂工艺流程、原辅料性质进行分析，根据原辅料用量、理化特性、生产作业方式等特

点，确定涂装车间火灾危险类别；并从总平面、建筑、给排水、电气、暖通五个专业进行消防设计说明，使各类消防措施满足安全生产、节能、环保各类法律、法规，同时控制工程造价、提高生产高效、降低运营成本、提升物流效率，并满足国家规范要求。

二、项目概况

在某地铁生产厂区内进行规划布局，通过新建涂装车间并新增自动化喷涂设备，布置相应配套的废气及污水处理系统，提升涂装质量与效率、降低人工劳动强度、提高环保清洁生产水平。

地铁车辆生产主要工艺流程为：外协件车体来料→抛丸或喷砂→喷第一道底漆及烘干→刮腻子及烘干→喷第二道漆及烘干→喷面漆及烘干→打磨→表面饰条喷涂及烘干→标识喷涂及烘干→人工检验→转下工序。

涂装车间设计年涂装铝合金车辆850节，设计能够加工最大件长30米、宽3.7米、高5.3米，加工最重工件为35吨。涂装车间采用抽屉式台位生产方式，工件在上一工序完成后通过假台车从台位内运出，经有轨移车台转运至另一台位进行下一道工序生产。涂装车间所需车体由该工厂内焊接车间制造，涂装完成后车体运往该工厂内总装车间。涂装车间外部采用无轨移车台进行转运，涂装车间内各区域的转运采用有轨移车台进行转运。

涂装车间东西长168米、南北宽216米，屋架下弦标高18.7米，面积36288平方米。由南至北共5跨，分别交替布置涂装台位及有轨移车台区域，最北面布置16米宽辅助用房。辅助用房主要布置变电房、制冷站、工具间等。车间外最南端布置37米宽露天无轨移车台区域，以供车体转运使用。

涂装车间南侧厂房（200×168（米））为钢结构，北侧辅助用房（16×168（米））为混凝土框架结构，两者用结构缝脱开。四周外排柱距为7米，局部根据门洞位置有调整，中间柱距为28米；共五跨，从南至北依次为39+45+34+45+37（米），中间设双柱脱缝。整体采用钢排架结构，主要钢柱为焊接矩形管，四周其他墙架柱为焊接矩形管；屋面采用钢网架结构。涂装车间主体以简单的矩形造型为主，外墙材质以大面积金属夹芯板为主，主色调采用晨灰色与象牙白色两种颜色，屋面防水等级为II级，抗震设防烈度为6度。

三、火灾危险类别

涂装车间主要承担地铁车体存放、前处理、喷漆、烘干、精饰打磨、周转等任务，辅助用房主要设置变电站、制冷站、工具间等。

厂房内使用的物质主要如下：

序号	名称	燃烧特性	备注
1	地铁车体	不可燃	
2	石英砂	不可燃	
3	喷涂改性腻子	闪点85℃	存储一昼夜用量
4	水性漆	闪点65~100℃	存储一昼夜用量

根据生产工艺特点,可划分为如下几个工段:

①车体存放工段:对加工的车体进行临时存放,车体为铝合金材质。根据《建筑设计防火规范》(GB50016-2014,2018年版)(以下简称:《建规》),此工段生产火灾危险类别为戊类。

②前处理工段:对车体表面进行喷砂处理,加工材料为石英砂、铝合金车体。根据《建规》,此工段生产火灾危险类别为戊类。

③油漆工段:将水性漆通过喷枪利用空气压力,分散成均匀而微细的雾滴,喷涂于车体表面;通过天然气加热升温,对车体表面水性漆进行烘干。项目使用水性漆、喷涂改性腻子为丙类液体雾滴。根据《建规》,此工段生产火灾危险类别为乙类。

⑤精饰打磨工段:对车体表面油漆进行打磨,加工物质为铝合金车体表面干油漆。根据《建规》,此工序生产火灾危险类别为丁类。

⑥周转工段:通过有轨移车台将车体在各工段间转运,此工段不涉及工件加工,转运物质为铝合金车体。根据《建规》,此工段生产火灾危险类别为戊类。

经统计分析以上各工段中,油漆工段为乙类,其余工段为丁、戊类。根据工艺特点油漆工段包含喷漆工序、烘干工序、调漆间,油漆工段面积为5338.93平方米。车间生产区总面积为 $216 \times 168 = 36288$ 平方米。油漆工段占车间总面积为 $5338.93 \div 36288 = 14.71\%$ 。设计中采用封闭喷漆室、采用风机强制排风保持室内负压、并设置可燃气体探测等安全措施。

根据《建规》3.2.1条2,设计涂装车间大部分区域为丁类或戊类,在车间内设置喷漆、烘干工段为乙类,设计中采用成品封闭式喷漆室、在密闭喷漆室内进行喷漆、烘干作业,喷漆室内设置强制送风、排风系统时刻保持负压,在喷漆室内设置可燃气体探测报警系统等相关措施,且危险性较高的喷漆、烘干工段占整个一层防火分区的14.71%,因此整个涂装车间的火灾危险类别可按照丁类设计(局部乙类)^[1]。

四、各专业采取的消防措施

(一)总图消防设计

涂装车间总体规划北侧为调试及车体厂房,南侧为工程试验厂房,东侧为库房。涂装车间火灾危险类别为丁类,与东侧库房最小间距为17.1米,与南侧工程试验厂房间距为65.94米,与北侧调试厂房间距为27米,与西侧铁路中心线最小间距为17.38米,均满足防火规范及相关要求。

涂装车间四周布置布置6~9米宽道路,并形成环路,道路转弯半径为12米,厂区道路均为重载路面,地

下管道,管沟等均满足消防通行要求。

(二)建筑消防设计

涂装车间属于单层钢结构厂房,整个建筑为一个防火分区,疏散距离不限,该防火分区设置4个疏散出口,每个疏散出口宽度为1.5米,出口数量及宽度均符合规范要求。

涂装车间内输调漆系统间火灾危险性类别为乙类,面积358.43平方米,占本层建筑面积的比例为0.99%。乙类区域与车间的其他区域采用耐火极限不小于3小时的防火墙分隔,连通处设置门斗等防护措施,门斗的隔墙耐火极限不低于2小时的防火隔墙,采用甲级防火门。

辅助用房的西端局部设置地下一层,主要功能为消防水池及消防水泵房。其中泵房的面积为77.40平方米,小于规范要求的200平方米,因此设置1部封闭楼梯间作为安全出口。

涂装车间承重钢构件涂防火涂料作为保护层,最低耐火极限为:钢柱2.0小时(含柱间支撑系统),钢梁1.5小时(含梁间支撑系统),屋顶承重构件1.0小时(含屋架支撑系统)。

涂装车间喷漆室墙体采用不燃烧材料制造,耐火极限不低于2小时。喷漆室均采用乙级防火门。

建筑物内装修燃烧性能均满足《建筑内部装修设计防火规范》(GB5022-2017)的要求。

(三)给排水消防设计

涂装车间室外消防用水量20升/秒,室内消火栓用水量10升/秒,火灾持续时间2小时,一次消防用水量为216立方米。为保证涂装车间的消防用水量、水压要求,辅助用房地下一层设有效容积为216立方米的钢筋混凝土消防水池及消防水泵房。消防水泵房内设室内外消火栓加压泵2台(一用一备): $Q=30$ 升/秒, $H=55$ 米, $N=75$ 千瓦。辅助房屋顶布置有效容积12立方米的不锈钢消防水箱,消防水箱的绝对高度高于最高点消火栓约10米,保证每个消火栓出口的压力都大于0.10兆帕,满足规范要求。

本次设计新建消防水池及泵房,保证消防系统所需用水量。从消防水池内引出二根DN150消防管道接入涂装车间的消防系统,管道沿厂房四周道路成环状敷设。涂装车间室外共设置8具地上式消火栓,其间距不大于120米,距道路边不大于2米,距建筑物外墙不小于5米,满足涂装车间室外消防用水量、水压要求。利用临时高压消防系统用于保证室外消火栓初期供水压力。涂装车间设室内消火栓给水系统,室内消火栓管网给水系统由消防水泵房水泵及管网加压,通过室外消防给水管网供给。为保证室内消火栓给水系统可靠性,设计管网采用围合形布置,同时确保有两路消防给水管与车间内消防给水系统连通。

根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB50974-2014),设计需保证在室内任何区域,能够

有两个消火栓的有效工作范围可以覆盖,同时消火栓给水系统的压力、充实水柱高度均满足规范要求。对于压力较大的消火栓管网,采用减压稳压式消火栓。平时系统压力由屋顶上有效容积 $V=12$ 立方米的高位消防水箱保证,保证最不利点室内消火栓准工作状态时静水压力大于 0.10 兆帕^[2]。

为保证消防水泵控制系统可靠性,需设置专用线路控制消防水泵,同时需保证消防水泵能够自动启动。通过监测消防给水管网的压力,控制消防水泵的工作与停止,并在线监测消防水泵的工作状态,随时做好启动备用消防水泵的控制程序。

依据《涂装作业安全规程 喷漆室安全技术规定》(GB14444-2006),车间内自动喷漆、烤漆等密闭设备棚内设自动气体灭火系统,设计采用气体灭火系统,输漆间气体灭火系统采用管网式七氟丙烷系统。

(四) 电气消防设计

涂装车间用电负荷等级均为三级,采用两路 10kV 电源供电,两路 10kV 电源由厂区 110kV 中心站引来,通过厂区内已有电缆沟进入车间东北侧高压配电房,再由高压配电房敷设电缆至低压配电站、配电间、变配电房。

根据涂装车间重要程度,设计需要设置火灾烟感监控系统,监测发生异常时,相应的消防设施能够投入使用。消防控制信号接入涂装车间辅助用房内消防控制室及监控室。按火灾自动报警及消防联动系统规范要求,可对消防联动设备实施全面的监测和控制。

在涂装车间顶部设置感烟探测器和火焰探测器,两种探测器设置相应控制系统防止错误报警。根据规范要求,在车间火灾危险性较大区域设置人工火灾报警系统。系统监测到火灾或人工报警后,消防系统启动相应的消防设施,并切断与消防无关的工作电路,开启应急照明系统,接通消防声光报警器,通知人员疏散。

应急照明系统设计中,当火灾烟感监控系统监测到发生火灾,应急照明系统立即启动,所有应急照明灯具全部点亮。同时按照火灾发生地点,从中心开始向外扩散逐步启动应急照明系统,系统全部投入应急状态的启动时间不应大于 5 秒。

涂装车间主要危险物质为油漆,在喷漆过程中,油漆中将挥发出VOC可燃气体,主要为苯、二甲苯,其气体密度比空气重(VOC可燃气体密度约为 $1\sim 10$ 千克/立方米)。设计中采用封闭式喷漆室,有效防止VOC气体向车间内扩散,密闭喷漆室设置排风系统与且喷漆设备连锁。根据《涂装作业安全规程 喷漆室安全技术规定》,在喷漆室有开口区域 1 米半径范围内电气设备采用二区防爆; 1 米半径范围外为非防爆区,可以采用非防爆电气。喷漆室、烘干室有开口区域主要为工件进出大门和人员疏散门,即在哪些大门、疏散门 1 米范围的电气需采用防爆电气。涂装车间内有苯、二甲苯泄漏风险区域电气设备均为隔爆型。防爆区内钢管配线的电气线路必须作好隔离密封。

涂装车间可能挥发出苯、二甲苯的场所,为保证车间安全,需在车间底部设置可燃气体监测探头,能够实时在线监测车间内苯、二甲苯的浓度,确保可燃气体的浓度在安全范围。当可燃气体的浓度超过安全值时,相应的启动报警系统,并启动事故风机强制排风。

(五) 暖通消防设计

涂装车间火灾危险性类别为丁类,建筑面积超过 5000 平方米,需考虑排烟措施。厂房空间净高为 18.7 米,车间按最大面积不超过 2000 平方米的原则划分防烟分区,共划分 20 个防烟分区。车间通过防烟分隔线划分防烟分区,均采用屋顶通风机自然排烟。防烟分区内自然排烟窗的面积、数量、位置均满足《建筑防烟排烟系统技术标准》(GB51251-2017)第4.6.3条规定的要求,设计中间隔一定距离需设置消防排烟窗^[3],设计优先采用自然排烟方式。

涂装车间自然排烟窗开启高度按照规范要求设置,设计设置开启高度为 1.35 米。涂装车间通过自然通风外窗或疏散外门自然补风;敞开楼梯间的开口部设置挡烟垂壁等设施。

涂装车间工作区域有油漆及余热散发,设机械排风系统,换气次数为 8 次/小时,采用防爆型屋顶风机、防爆型边墙风机和防爆型管道轴流风机排风;输调漆系统房间火灾类别为乙类,采用事故通风系统,换气次数不小于 12 次/小时,采用防爆型边墙排风机分别上、下排风。事故风机设置自动启动系统,当监测到苯、二甲苯气体浓度超过安全值,立即启动事故风机强制通风,保证将苯、二甲苯气体浓度将到安全值以下。有爆炸危险的事事故通风系统设置导除静电的接地装置。

喷漆、烤漆工段等设备空间设置气体灭火系统,设置事故后排风装置,排风管接至室外排放。

五、总结

本文对涂装车间火灾危险性做了详细说明,并对涂装车间的消防设计从五大专业进行具体设计阐述。涂装车间的消防设计经济、合理、安全、可靠,对从事涂装车间消防设计、安全管理及消防监督人员提供一定的技术指导。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50016-2014-2018年版 建筑设计防火规范[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50974-2014 消防给水及消火栓系统技术规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB51251-2017 建筑防烟排烟系统技术标准[S].北京:中国计划出版社,2017.

作者简介:周小辉(1984.4-),男,湖北省武汉市,硕士研究生,高级工程师,主要从事工业厂房项目总体方案设计、工艺布局设计、工艺流程设计工作。