

第三十二章 铝合金焊接烟尘的治理

焊接烟尘的治理是一项国际性技术难题，其困难主要表现在以下几个方面：焊接烟尘粒径小，滤除困难；焊接工位多变性，捕捉困难；焊接烟尘热气流滞留特性，普通通风技术除尘困难。

国际上治理焊接烟尘的方法一般有以下三种方法：劳动保护方法、局部除尘治理方法和整体除尘治理方法。

以上三种治理方法的选取，要根据现场工艺工况和现场条件，以及工艺要求的特点进行综合考虑。

第一节 劳动保护方法

劳动保护方法是通过配备吸尘面罩的形式来保护劳动者健康，如图 32-1 和 32-2 所示。该方法保护对象局限于焊接工人，整个车间环境无法改善。

铝合金 MIG 焊接中产生的铝尘颗粒直径较小，呈絮状机构，容易在空气中长时间悬浮，即使在非焊接时间，车间空气中铝烟尘仍然维持较高的浓度，过滤式防毒面具效果很差。



图 32-1 防毒面具呼吸面罩



图 32-2 劳保方法应用实例

第二节 局部除尘治理方法

局部除尘方案是直接针对焊接烟尘高浓度排放区域进行治理局部除尘设备由 2 部分组成：烟尘捕捉部分与烟尘过滤部分。局部除尘方法可以有效阻止无组织气流在空间内带动污染物扩散，并且消耗的空气量较少。

对于焊接车间，有固定工作台的手工焊接，局部排风罩能将焊接烟尘基本上抽走，采用局部通风方式能够取得较好的治理效果，投资少，效果显著。但受现场布局、操作者习惯和

设备运动空间限制。

一、烟尘捕捉技术

一种好的治理方案首先必须是一种好的烟尘捕捉方式。

局部除尘方式是直接针对焊接烟尘高浓度排放区域进行治理，效果显著，投资省。缺点：受现场布局、操作者习惯和设备空间限制大，局部除尘治理方式捕捉形式见图 32-3。



图 32-3 常用的烟尘捕捉方式

从以上图例和案例分析来看，合理的选取局部除尘方法的捕捉形式是至关重要的，粉尘的收捕是除尘过程中的重要环节，其目的是要求用最好的方法，达到最好的除尘效果，以保证工作区的浓度不超过国家卫生标准的规定。

二、烟尘过滤技术

焊接烟尘的粒径在 $0.01-5\mu\text{m}$ 之间，需要采用聚四氟乙烯（PTFE）覆膜滤筒进行过滤。聚酯滤材是一种高科技产品，它的微孔结构可在特殊条件下经机械拉伸得到，而丝毫未改变其原有特性。微孔过滤覆膜孔径可控制在 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ ，过滤方法属于膜表面过滤。膜表面光滑又具备极佳的化学稳定性，能抗腐蚀，耐酸碱，不老化又憎水性。在过滤时膜表面截留的粉尘很容易剥落，其通气量能长时期保持在同一水平上。由于覆膜滤材是用其光滑不粘的表面截留粉尘，利用这一特性不仅可以节约脉冲清灰系统的压缩空气量，又可避免烟尘对薄膜基布的磨损，延长了滤筒的使用寿命，同时为设备提供最低而平稳的压降差。

覆膜式滤筒面积大，体积小，能降低能量损耗，加大气流量，延长免保养时间，所以高效覆膜聚酯滤筒是焊接烟尘过滤系统的最佳选择。

三、焊接烟尘治理设备

1. 移动式焊烟净化器

适用于单工位、双工位除尘作业，采用德国进口元件组装，风量大、噪声低，吸烟效果好，过滤效率达 99.99%，可室内排放。PLC 微电脑，自动控制清灰。使用维护方便，可任意移动，处理风量 $1200\sim 2400\text{m}^3/\text{h}$ ，如图 32-4 所示。



图 32-4 移动式焊烟净化器

2. 集中式焊烟净化器

适用于焊接工位多且相对固定，系统由集中式焊烟净化器，烟尘输送管道，伸缩式吸气臂等组成，图 32-5、图 32-6 为多焊接工位的集中式净化器应用实例。



图 32-5 集中式焊烟净化器应用实例



图 32-6 应用于焊接培训中心的集中式净化器实例

净化设备采用聚酯基料表面覆（PTFE）膜滤筒过滤器，净化效率达 99.99%，满足室内排放标准，微电脑控制脉冲自动清灰，主机处理风量在 3000~50000m³/h。

第三节 焊接烟尘的整体厂房治理

20 多年前在欧洲成功地解决了铝合金焊接烟尘的整体厂房治理，国内在 5 年前引入该项技术，并在唐山机车车辆厂、株洲电力机车厂等 30 多家企业得到应用，不仅很好的解决了焊接烟尘及有害气体的治理，还同时解决了铝合金焊接所需要的湿度要求，因此是彻底解决焊接烟尘治理最有效的方法。

一、整体厂房治理的原理

整体厂房采用分层送风原理是利用空气密度差而在室内形成由下而上的通风气流。新鲜空气以极低的流速从空气分布器流出，通常温度低于室温 2~4℃，送风的密度大于室内空气的密度。在重力作用下送风下沉到地面并蔓延到全室，地面上形成一层薄薄的冷空气层称其为空气湖。空气湖中的新鲜空气受热源上升气流的卷吸作用，后续新风的推动作用及排风口的抽吸作用而缓慢上升，形成类似活塞流的向上单向流动，因此室内热浊的空气被后续的新鲜空气抬升到车间顶部并被设置在上部的排风口所排出，如图 32-7 所示。

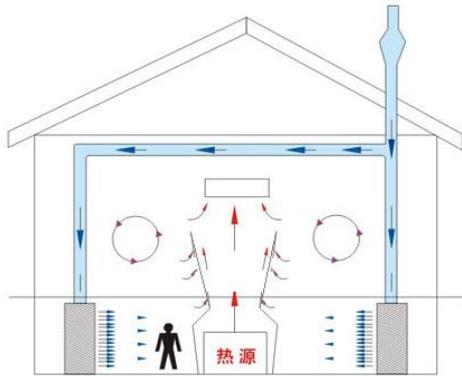


图 32-7 分层送风原理图

分层送风是一种垂直置换流动的特殊形式，车间内的热源（人员，电源，焊接，切割）在置换流的上方形成向上的热烟羽，由于热烟羽所引起的垂直流运动要强于置换流，因此，部分空气会形成回流。但由于该气流已被加热，因此不能下降到空气湖处。由此，分层送风形成了热力分层现象，靠近地面处为置换流区，上方为混合流区。空气温度场和污染物浓度场在这两个区域有非常明显的不同特征，下部单向流动区存在一明显垂直温度梯度和污染物浓度梯度，室内温度和污染物浓度会随着高度的增加而增加。上部紊流混合区，温度场和浓度场则比较均匀，接近排风的温度和污染物浓度。由于焊接热污染源形成的烟羽因密度低于周围空气而上升，烟羽不断卷吸周围空气并流向顶部。在稳定状态时，室内空气在流态上分成两个区域，即上部紊流混合区和下部单向流动清洁区。

二、整体厂房治理的系统组成

如图 32-8、32-9 所示，通过分层送风气流，组织含有烟尘的空气经回风管道进入烟尘

净化设备，经过滤、有毒有害气体的治理及温湿度调节后，再送入车间内，同时，为满足车间内新风量要求要补充一定量的新风。

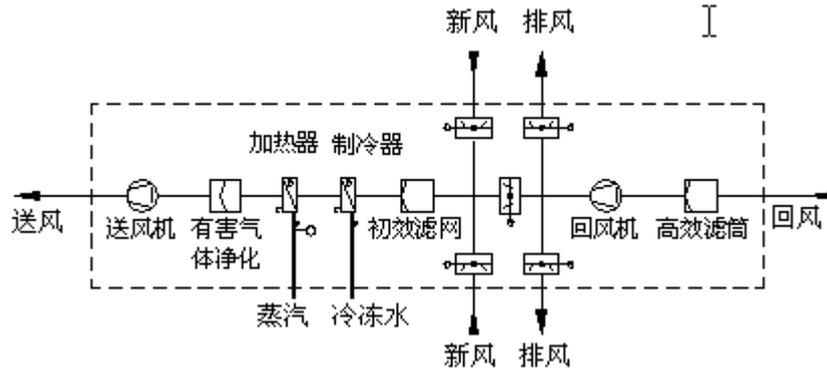


图 32-8 整体厂房焊接烟尘治理设备



图 32-9 整体厂房治理应用实例

三、有害气体的治理

铝合金厂房内空气污染净化方法有物理吸附、过滤、化学等方法。

物理吸附法原理为气体与固体吸附剂依靠范德华力的吸引作用而被吸附住。主要用于去除空气中的氨气、二氧化碳、硫化氢和挥发性有机化合物等。但这些材料对去除二氧化碳、一氧化碳的效果不大，除臭也比较困难，并且吸附容易达到饱和，已经吸附的有害气体，在一定条件下又会重新释放出来，再者由于吸附剂在使用一段时期以后便失去活性，必须要定期清洗或更换。

化学处理法可分为三种：中和法、氧化法和催化法。原理基本上是利用相对应的化学反应，优缺点很明显，如中和法。优点是吸附牢固、反应不可逆，缺点是消耗试剂较多，使用寿命较短。氧化法优点是效率高，反应不可逆。缺点是消耗试剂较多，过剩的氧化剂容易造

成二次污染。催化法缺点是空气中不允许有使催化剂本身发生反应的物质，并且催化剂的价格也比较贵。

光催化法是在光的催化下将吸收的光能直接转变为化学能，使许多通常情况下难以实现的反应在常温、常压的条件下能够顺利进行。利用紫外光源，将 TiO_2 光催化剂对室内的有害气体及异味气体等通过光催化反应彻底分解为无臭、无害的产物，同时可杀灭空气中的细菌、病毒，与其他净化技术结合，光催化是一种具有应用前途的室内空气净化技术。

低温等离子体处理方法被认为是治理气态污染物和水污染物的关键技术。该技术是一个集物理学、化学、生物学和环境科学于一体的交叉综合性技术，其显著特点是对室内污染物兼具物理作用、化学作用和生物作用，具有费用低、净化效率高等明显优点。

四、湿度及送风速度控制

空气相对湿度在 70% 以下时焊接，焊接试板 X 射线拍片可达 II 级以上的要求。但超过 70% 时，焊缝明显出现密集气孔，X 射线拍片检查为不合格焊缝，图 32-10 为某研究机构所做的测试，分别采用 500mm/min 和 600mm/min 探伤速度检测。出现气孔的原因是吸附在铝板和焊丝表面上的水分与气体（大部分为氢）在焊接过程中排不出引起的。

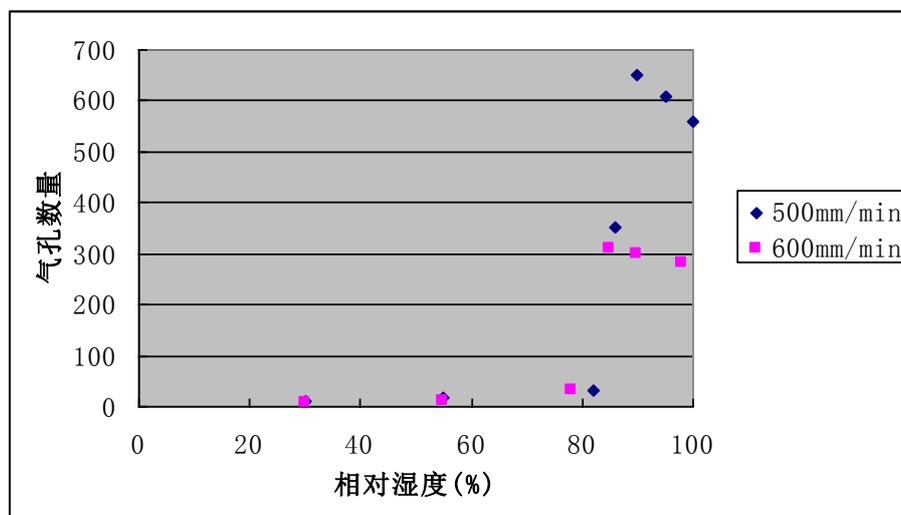


图 32-10 相对湿度对焊接产生的气孔数的影响

在整体焊接烟尘治理的过程中，结合空调制冷系统，采用冷冻除湿方法以降低空气的相对湿度，从而保证焊接质量。

用制冷机作冷源，以直接蒸发式冷却器作冷却设备，把空气冷却到露点温度以下，析出大于饱和含湿量的水汽，降低空气的绝对含湿量，再利用加热器加热冷却后的空气，从而降低空气的相对湿度，达到除湿目的。

在焊接技术规范中，要求当采用气体保护焊时，焊接区域的风速应加以限制。风速在 1m/s 以上时，应设置挡风装置，对焊接现场进行防护，否则会吹散保护气体，影响焊接质量，在整体治理方法中，采用低风速大风量的送风筒装置送风，其送风速度在 0.3-0.5m/s，满足焊接现场对风速的要求。

五、分层送风整体治理焊接烟尘的优势

因为烟尘的捕着不是直接针对产烟部位，所以除尘系统不受焊接工件大小的影响、不受焊接工位变化的影响；

采用高效过滤器，过滤精度完全达到室内排放标准，有效改善工作区域环境；

彻底解决烟尘净化问题，不会对大气造成二次污染；

所需风量只是传统混合送风形式的一半，运行能耗大幅度降低；

因烟尘进行过滤后能达到室内排放标准，室内空气可以循环，避免直排造成室内冷量/热量能源的浪费；

除尘系统不受操作者使用习惯的影响，操作者在工作的过程中，没有受到除尘系统的任何干扰，能极大地提高生产效率；总之，随着铝合金焊接应用的领域越来越广，铝合金焊接产生的各种危害也越来越被多地被认识，铝合金焊接烟尘的治理对改善人文环境，改善焊接工艺都是必要的。

第四节 工程实例——CRH3 高速列车焊接厂房除尘、除湿系统

中国北车集团唐山轨道客车有限公司与德国西门子公司合作，生产时速 300-350kmCRH3 高速列车，焊接方法主要为 MIG 焊，有少量 TIG 焊。除此之外，还进行铝合金的机加工作业和焊接坡口的打磨作业。铝合金焊接对作业环境的湿度要求较高，同时将产生大量的铝合金焊接烟尘。烟尘主要成分为粒径在 0.1-0.3 μm 的铝粉尘及氧化铝、氧化镁、氧化锰等金属氧化物有害微粒及有害气体，对人体健康危害极大。另外，机械加工和打磨所产生的铝合金粉尘悬浮在空气中，因此，对厂房环境湿度的控制及焊接烟尘的净化主要来自焊接工艺及劳动保护和环境保护要求。

一、工程概况：

铝合金焊接厂房，长 280m，宽 90 m（3 跨，每跨 30m），高 13.0m，建筑面积 24975 m²。轻钢结构，每跨安装多台行车。唐山地区 7-9 月相对湿度较大，本工程属已建厂房新增除尘、

除湿空调工程，因而和建筑、结构、工艺、动力等专业的结合比较密切，设计和施工难度较大。

根据厂房建筑分隔及工艺布置，采用整体除湿、除尘处理，除湿、除尘及温度调节按由十二个单元组成的整体系统设计，即通过十二套相同的除尘、除湿空调机组对厂房的空气进行除尘、除湿处理及温度调节。该系统的重点是使厂房内的环境湿度达到铝合金焊接工艺的要求，并使烟尘的处理达到劳保要求及排放标准。车间内的温度应在满足上述要求的基础上能达到工人正常工作环境。

当除尘、除湿系统正常工作时，厂房内 4m 以下开放工作区空气质量应达到如下要求：

相对湿度： $\leq 60\%$

温度： $15-30^{\circ}\text{C}$ （冬季 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ ，夏季 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ）

含尘量： $< 4\text{mg}/\text{m}^3$

臭氧量： $< 0.2 \text{mg}/\text{m}^3$

送风速度： $\leq 0.5\text{m}/\text{s}$

工作区大部分区域风速： $< 0.2 \text{m}/\text{s}$

新风量：冬夏季节 $\leq 20\%$ 过渡季节 $> 20\%$

二、除湿方案选择

工业中常用的除湿方法有冷冻除湿、转轮除湿。因工作原理不同，根据室内不同温湿度要求及运行经济性有其最佳适用范围。冷冻除湿是将空气温度降低，使其水分凝结的除湿方法。当室内露点温度在 18°C 以上时冷冻除湿更为经济。本工程夏季/雨季除湿的大多数过程处于露点温度高于 18°C 区域，故适合采用冷冻除湿方法。

三、除尘方案选择

焊接过程总是产生气态和颗粒状有害物质，以混合物的形式出现，是一种气溶胶，颗粒非常小，是“可呼吸”的，烟尘密度小于空气。一般的过滤材质无法过滤焊接烟尘，应采用聚四氟乙烯覆膜滤筒式过滤器，采用集中式整体烟尘处理设备，脉冲喷吹清灰，确保过滤精度。

四、气流组织选择

焊接切割过程会产生大量的热量，CRH3 制造过程中，既产生热量，又产生污染物，且污染物的密度小于空气，加之气体保护焊要求送风速度 $< 0.5 \text{m}/\text{s}$ 。根据上述特点，本工

程在气流组织上采用置换通风（分层送风）方式，选用低风速、大风量的电动送风筒，布置在厂房每跨两侧，该送风装置具备冬夏送风方向角度变换的功能。回风口布置在厂房顶部，充分利用冷热空气密度的不同，新鲜空气首先落向地面进入人员工作区，热源产生的热气流带动烟尘上升，并不断卷吸周围空气，由于热气流上升时的卷吸作用，后续新风的推动作用和顶部回风口的抽吸作用，地面上方的新鲜空气缓缓向上移动，形成类似向上的均匀流动，于是，工作区的污浊空气为后续的新风所取代。烟尘气体经高效滤筒过滤后，返回厂房，在夏季除湿制冷和冬季供暖季节，达到节能的目的，本工程共安装 $\Phi 450$ 电动送风筒 222 个，见图 32-11。



图 32-11 送风、回风管道安装实例

五、冷热源及空气处理设备选择

（1）热源

原有锅炉房可提供 0.3Mpa 蒸汽，在组合式空调机组中，设置不锈钢加热器，满足冬季补充新风加热量的要求，蒸汽电动调节阀根据需要无级调节蒸汽用量。

冷源：因无专用机房，且施工周期短，选用屋顶式风冷空调机组，安装在厂外两侧绿化带，共 12 台，每台机组技术参数如下：

制冷量：420kw

蒸汽盘管加热量：220kw

送风机送风量：67950 m³/h

回风机回风量：65140m³/h

组合式除尘空调机组是在组合式空调机组中增加 PTFE 高效滤筒过滤除尘功能段，回风经高效滤筒过滤后，有效率达 99%，在与新风混合后，经冷却（加热）处理送入室内。过渡季节全新风运行，以达到节能目的，机组室外安装见图 32-12 所示意。



图 32-12 除尘除湿空调机组室外安装实例