

焊接车间电焊烟尘净化技术研究^{*}

苏建华

摘 要 本文首先介绍了电焊烟尘的产生及污染特性、焊接车间现场焊接烟尘的污染检测数据, 以及焊接烟尘的卫生控制标准; 然后介绍了焊接烟尘的三级过滤净化技术和国内同类技术的研究成果; 提出了应不断完善现有焊接烟尘净化技术的想法, 以此希望我国的焊接烟尘净化工作能够广泛实施。

关键词 焊接烟尘 净化 技术

1 概述

焊接工艺在机械、建筑、铁路、汽车、造船、航空等生产中占有极其重要的地位, 目前世界上焊接构件的重量几乎占钢材总产量的一半。电弧焊是目前应用最普通的一种焊接方法。在施焊时, 焊条、焊件和药皮在电弧高温下, 发生蒸发、凝结和气化, 产生大量的烟尘和气体, 污染车间的作业环境, 危及人们的身体健康。如手工电焊工人易患神经衰弱、头痛、头晕、疲倦无力、失眠、关节痛等疾病, 咽喉痛的发病率也相当高, 少数电焊工人还患有肝脏肿大和尘肺病。在国际上, 各国的劳动安全卫生部门 and 环境保护部门都把焊接烟尘的污染问题, 作为焊接作业的劳动安全和环境保护的重要内容考虑, 并且制定了严格的规定。还制造出多种规格的焊接烟尘净化设备, 从净化机理来看, 有过滤式、静电式和吸附式等, 其净化总效率达到 99.97~99.999%。我国对于焊接烟尘的治理, 以前大都采用全面换气的方

2 焊接烟尘特性

2.1 焊接烟尘产生

焊接烟尘的产生过程, 是在高温电弧情况下, 焊条端部及其母材相应被熔化, 熔液表面剧烈喷射由药皮及焊芯产生的高温高压蒸汽 (蒸汽压达 0.5 - 100mmHg) 并向四周扩散, 当蒸汽进入周围的空气中时, 被冷却并氧化, 部分凝聚成固体微粒, 这种由气体和固体微粒组成的混合物, 就是所谓的焊件烟尘。药皮和焊芯的尘化比例相等, 约为 0.2 - 3%, 母材的尘化率在 1% 以下。

* 作者简介: 苏建华, 男, 中机国际工程咨询设计总院高级工程师。

2.2 焊接烟尘颗粒的形状和粒度分布

焊接烟尘由 $0.1\mu\text{m}$ 左右的球状颗粒集聚而成，而且这些球状颗粒物在空气中浮游，常会集聚成互相连锁的树枝状微粒，一般非低氢型焊条较多，氢型焊条好些， CO_2 气体保持焊有比非氢型焊条更加明显的锁链状、钛铁矿型焊条的烟尘粒度很细，一般小于 $1\mu\text{m}$ 的尘粒占 50% 以上（重量百分比）。表 1、表 2 列出的钛铁矿型焊条和低氢型焊条产生的粉尘粒度分布情况。

表 1 钛铁矿型焊条的焊接烟尘粒度分布

序号	粒度范围 μm	粒度中央值 μm	累计重量百分比 %	重量百分比 %	浓度分布 mg/m^3
1	<11	9.0	100	0.7	1.95
2	7.0~11	5.85	99.16	1.38	3.85
3	4.7~7.0	4.0	91.52	2.42	6.75
4	3.5~4.7	2.7	94.60	4.38	12.22
5	2.1~3.3	1.6	89.56	11.87	33.12
6	1.1~2.1	0.88	76.66	23.97	66.88
7	0.65~1.1	0.54	53.78	33.45	93.33
8	0.43~0.65		21.95	18.58	51.84
9	<0.43		3.38	3.38	9.43

表 2 低氢型焊条的焊接烟尘粒度分布

序号	粒度范围 μm	粒度中央值 μm	累计重量百分比 %	重量百分比 %	浓度分布 mg/m^3
1	<11	9.0	100	0.96	2.81
2	7.0~11	5.85	99.03	0.72	2.11
3	4.7~7.0	4.0	98.30	1.65	4.83
4	3.3~4.7	2.7	96.67	3.58	10.48
5	2.1~3.3	1.6	93.05	9.17	26.84
6	1.1~2.1	0.88	83.96	27.02	79.09
7	0.65~1.1	0.54	56.89	33.33	97.56
8	0.43~0.65		23.55	18.22	53.33
9	<0.43		5.38	5.38	15.75

2.3 焊接烟尘的物理化学成分

焊接烟尘是一种十分复杂的物质，已在烟尘中发现的元素多达 20 种以上，曾对几种焊条烟尘进行化学分析，其结果见表 3 所示，焊接烟尘不仅化学元素种类繁多，就含量而言，氧化铁一般占烟尘总量的 35~56%，其次是氧化硅，其含量占 10~20%，氧化锰占 5~20%

左右；对几种焊条烟尘的化学成分进行分析的结果见表4所示。

表3 国产几种焊条烟尘化学元素分析表

焊条牌号 No	大量	中等量	少量	微量
J507	Fe	Na, Ca	Mn, K, Si	Mg, Al, Zn, Sb, Ti, Ag, Cr
J402	Fe	Na, Ca, Si	Mn, K, Al, Mg	Zn, Ti, Sn, Sb, Ba, Cu, Ag
J707	Fe	Mg, Na, Ca	Si, Mn	Pb, Al, Ti, Zn, Ag, Bi, Sn
J507	Fe	Mg, Ca	Si, Mn, Cr	Pb, Ni, Ti, Zn

表4 几种焊接烟尘的化学成分 (%)

成分	J507			J422		J502
	X单位	Y单位	Z单位	X单位	Y单位	Z单位
Al ₂ O ₃	1.32	2.47	2.14	1.19	2.75	3.28
MnO	5.76	5.45	7.27	6.99	8.10	7.4
TiO ₂	1.19	1.99	0.8	5.22	5.67	7.5
MgO	0.38	—	0.38	1.68	0.38	0.64
CaO	16.07	26.7	14.35	0.90	2.15	5.7
SiO ₂	9.63	12.3	7.44	21.36	20.75	8.6
Fe ₂ O ₃	36.02	32.9	33.60	50.83	45.60	56.6
Cu	0.13			0.2		
Pb, Sn	0.07			0.18		
∑F	18.2	7.57				
挥发物			3.99		3.95	

3 焊接作业环境卫生标准及环境现状

3.1 焊接烟尘容许浓度

世界各国对控制焊接烟尘都十分重视，规定了焊接工作区烟尘的容许浓度及其检测方法，如日本的《JISZ3930》，就是日本焊接协会焊条分会制订的《电弧焊焊条的总粉尘测试方法》，很多国家采用的烟尘允许浓度标准是TLV或MAK公布的数值，(TLV是美国ACGIH发布的，MAK是德国发布的)。早在1974年国际焊接学会第八分会就按焊条的种类提出了焊接烟尘的允许浓度，表5所示为几个组织公布的焊接烟尘允许浓度。

表 5 几个国际组织公布的焊件烟尘允许浓度值

组 织 名 称	烟 尘 种 类	允 许 浓 度 mg/m^3
日本焊接协会 (WES)	焊接微细灰尘、粉尘	5
美国劳动卫生协会 (ACGIH)	氧化铁焊接微细粉尘	5
国际焊接学会 (IIW)	非合金钢、非低氢型焊条粉尘	10
	非合金低氢型焊条粉尘	5
	合金钢低氢型、非铁合金	2.5

我国的 [车间空气中电焊烟尘卫生标准] (GB16194-1996) 中规定: 车间空气中电焊烟尘最高容许浓度为 $6\text{mg}/\text{m}^3$; 另外在 [工业企业设计卫生标准] (TJ36-79) 中规定: 氧化锰为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$, 一般粉尘为 $10\text{mg}/\text{m}^3$, 氟化物为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

3.2 焊接作业环境现状

我国以前不少企业的焊接工艺, 机械化程度不高, 仍是手工电弧焊和半自动焊, 工位移动工件不动, 使得烟尘产生点不断变化, 给车间设置排烟净化装置造成一定困难, 加上过去重视程度不够, 所以许多焊接工艺操作没有排烟净化装置, 产生的烟尘全部散在室内, 造成车间烟雾弥漫, 能见度低, 有些工厂的吊车工人都无法操作。从某些工厂测定的资料来看, 其电焊作业环境中有害物质远远超过了国家的卫生标准, 少者几倍, 多者几十倍、几百倍。表 6 所示为几组车间现场焊件烟尘测定的最高浓度。

表 6 几组车间现场焊件烟尘的最高浓度值

名 称	现场焊件烟尘的最高浓度 (mg/m^3)			国家规定的 允许浓度 (mg/m^3)
	$\times \times 1$ 厂	$\times \times 2$ 厂	$\times \times 3$ 厂	
氧化锰	82	126	773	0.2
氟化物	36	91	170	1
烟 尘	2761	/	8100	10
氮氧化物	113	30	95	5
臭 氧	1.1	/	11.8	0.2

由此可知, 我国焊接作业区的有害气体污染是比较严重的, 焊接工人的健康受到很大的威胁, 必须引起高度的重视, 采取有力措施, 使焊件烟尘得以净化, 同时满足劳动保护和环境保护的要求。

但是, 近年来, 随着焊接工艺和设备的改善, 尤其是一些自动化程度很高的焊接机器人的采用, 与此相配套的焊接烟尘的净化设备也得到了长足的发展。

4 焊接烟尘的净化技术与开发

4.1 焊接烟尘的收集

为了达到改善焊接作业环境和防止大气污染, 就要把施焊过程中产生的烟尘收集起来,

不使其扩散到车间室内。目前收集焊接烟尘的方式有以下两种:

(1) 局部抽风: 在固定焊接作业点的侧面或顶部设排烟罩, 利用风机的力量, 就地把烟尘抽走, 达到改善室内环境的目的, 这种办法风量省, 效果好, 节约能量。

(2) 全面换气: 大多数的情况是工位移动, 工件不动, 烟尘产生点不断变化, 无法用局部排烟罩收集烟气, 这时为了使车间室内保持一定的清洁度, 就需采用全面换气的办法, 车间换气次数按有关规定进行。一般在车间一定的高度上, 被认为是烟气最密聚的区域内, 设置全面换气罩; 也有的采用一边吹一边吸的方式, 使车间上部一定高度上形成一道气幕, 把上升的烟气锁住, 并推赶至排烟罩, 达到排除烟气的目的, 全面换气与局部排风法相比, 风量大, 排烟效果差, 能耗大, 特别是在冬季采暖的地区, 为了补充排风热损失, 需要消耗大量的能量, 因此全面换气应该按具体情况进行分析后合理采用。

4.2 焊接烟尘净化技术的开发

4.2.1 焊接烟尘净化技术原理

焊接烟尘的粒度很细, 烟尘的粒径为 $0.01 - 5\mu\text{m}$; 因此, 用一般除尘方法来处理焊接烟尘效果很差。

4.2.2 焊接烟尘净化设备情况介绍

近年来, 由于国家对环境保护和劳动保护的重视, 通过消化引进国外技术, 促进了我国焊接烟尘治理技术的开发和发展, 并取得了较好的成效。现就有关情况介绍如下:

(1) 某单位研制了三级过滤式焊接烟尘净化机组, 滤材采用美国戈尔公司的绝对过滤材料, 对焊件烟尘的净化效果可以达到 98% 以上。

(2) 某研究所曾对北汽引进的美国 Berhala 公司生产的真空式焊件烟尘净化机组进行了测绘, 该机组由抽气、过滤、手把三部分组成, 真空泵进口 $840\text{mmH}_2\text{O}$ 。

(3) 机械部设计总院同北京工程机械厂, 引进瑞典、丹麦技术, 研制出 TWFF—210, SWFF—1000 型两种焊件烟尘净化机组。

TWFF—210 机组技术性能: 风量为 $210\text{m}^3/\text{h}$, 风压为 $500\text{mmH}_2\text{O}$; 风机最大真空度: 大于 $1650\text{mmH}_2\text{O}$ 。软管: $\phi 50\text{mm}$ 的 4m, $\phi 25\text{mm}$ 的 2m。粉尘净化效率: 96.7%。一级过滤器: 铜丝网; 二级过滤器: 中效滤料, 面积为 0.8m^2 , $H = 9.7\text{mmH}_2\text{O}$; 三级过滤器: 高中效滤料, 面积为 0.8m^2 , $H = 9.7\text{mmH}_2\text{O}$; 四级气化净化器: 活性吸附剂。噪声: 小于 67dB (A 声级)。电机: 12000rpm, 0.9kW, 220V、外形尺寸: $440 \times 440 \times 870\text{mm}$, 重量: 46kg (包括过滤器)。

SWFF—1000 型机组技术性能: 风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$, 风压: $143\text{mmH}_2\text{O}$, 自衡管: $d = 150\text{mm}$, 最大回转半径 3000mm, 净化效率: 98.7%。一级过滤器: 铜丝网; 二级过滤器: 中效滤料, 面积为 2.5m^2 , $H = 2.0\text{mmH}_2\text{O}$; 三级过滤器: 高中效滤料, 面积为 2.5m^2 , $H = 9.3\text{mmH}_2\text{O}$ 。噪声: 小于 65dB (A 声级)。电机: 2300rpm, 1.1kW, 380V, 外形尺寸: $630 \times 630 \times 1500\text{mm}$, 重量 170kg (包括过滤器)。

(4) 船舶工业总公司第九设计院研制了一种狭小舱室用焊接烟尘净化器, 由 36V 离心风机, 208 涤纶绒布滤袋, D40mm 烟气软管和带永久磁铁的排气罩等组成, 其主要技术规格如下: 风量为 $340\text{m}^3/\text{h}$, 风压为 $120\text{mmH}_2\text{O}$, 净化效率: 90~97%。滤袋过滤面积为 0.8m^2 , 电机功率为 170W, 电机转速为 7000rpm, 噪声小于 83dB (A 声级), 外形尺寸: $240 \times 230 \times 240\text{mm}$, 重量: 4.7kg (包括过滤器)。

(5) 机械部四院等研制了一种 LH—600 型焊接烟尘净化机组。其主要技术性能如下：风量：300~900m³/h，风压：100~60mmH₂O，净化效率：99.9%。电机功率：0.8kW。噪声小于 80dB (A 声级)。外形尺寸：LH1—600 型为 550×450×880mm；LH2—600 型为 550×450×1180mm。重量：LH1—600 型 85kg，LH2—600 型 81kg。

(6) 机械部四院还消化德国某公司的技术，研制了一种 ELF 型静电净化机组，可以除油雾、烟雾，对粒径为 0.01~100μm 的微粒的净化效率可达 96%。其主要技术性能如下：处理风量：400~1200m³/h。机组耗电量：0.55kW，其中电除尘 120W。除尘器阻力：8~12mmH₂O。电离电压：13kV。集尘电压：6.5kV。外型尺寸：750×500×510mm。重量：78kg。

(7) 国外焊件烟尘净化设备情况简介：

①用于狭窄的焊接场地，象船舶、化工机械、建筑机械等，能有效地排除填角焊缝产生的粉尘，自动走行吸尘装置。分面壁四周走行型和壁面悬架走行型两种。国外有的装置把罩子和走行装置连接在一起，并固定在走行台上，在走行台上装有光电管，光电管接收到焊弧的光时，产生电流和微小电压，再有增压器升压，该电压输给走行台车电机和吸风扇电机，一边抽吸粉尘一边自动移动台车。

②另外一种小型焊接烟尘净化装置的结构是：可伸缩、旋转起倒的罩子、捕集粉尘的袋子，连接罩子和集尘袋的软管，过滤粉尘、飞溅火花的过滤器等。罩子的吸口是月牙形，可充分地吸入粉尘，又可很好地观察焊缝。罩子轻而小，在吸气口的中央，装有隔板，气流得到均匀分布。

③半自动焊接用吸尘器，它是和半自动电弧焊接机组组合使用的小型吸尘器。在焊枪上装有一个吸尘咀，靠焊枪前端吸引粉尘，由高性能的过滤器过滤。吸尘效率达 85%，除尘效率达 95% 以上；过滤器是盒式的，容易维修，吸尘咀小而轻，操作时不感疲劳。吸尘的动力是自冷式电机，可连续运转，最大真空度 1700mmH₂O，功率 1kW。

④适用于半自动、自动焊机的吸尘器，在焊枪的前端有吸入咀，整体小型移量，便于移动，有一次、二次过滤分离结构，能捕集 0.1~10μm 的粉尘，功率 3.7kW。

⑤捕集焊接油尘专用集尘装置，如果焊接母材上沾有冲压油，防锈油等，焊接时产生粉尘以外，还产生油雾，其发生量根据焊条的粗细和母材上沾有油量的多少而不同，平均是 100mg/m³。用一般的除尘器会产生网眼堵塞、吸尘风量降低，难于清洗，并易造成火灾。该装置是把油尘和粉尘分开捕集，第一级用长纤维过滤捕油器，第二级用袋式除尘器捕集粉尘，真空度 350mmH₂O，风量 12m³/min，功率 2.2kW。

(8) 关于焊接烟尘中有害气体的净化

目前对焊接烟尘中有害气体的净化主要采用物理和化学吸附的方法，所用吸附材料有：活性炭、活性炭纤维、以及其他固体吸附剂，也有用液体吸收剂的，但量，吸附材料和过滤材料在焊接烟尘净化机组中的组合方式，需按具体情况进行工程设计和净化设备设计，使其处于最佳的结合状态。

5 结 语

近年来，国内外都重视改善焊接作业环境，尤其重视焊接烟尘的问题，焊接烟尘成分复杂，除了以上所述之外，有些还需进一步研究。今后需进一步就焊接烟尘净化设备的具体参

数进行试验,同时结合目前焊接技术的发展,新工艺、新材料、如传感器、机械手、气动、控制元件的采用,使所开发的焊接烟尘净化装置能够较好的用在生产实际当中。由于焊接技术本身的发展,如惰性气体保护焊的普遍推广,含有各种合金元素的高强度焊件材料和被焊材料的使用,在焊接过程中产生的烟尘成分更加复杂,有害元素、有害气体的产生机会更多,这对焊件烟尘的净化技术提出了更高的要求。

参 考 文 献

- [1] 唐合龙.机械工业环境保护科技成果汇编,1982年.
 [2] 大气污染物综合排放标准 GB16297-1996.
 [3] 车间空气中电焊烟尘卫生标准 GB16194-1996.
 [4] 工业企业设计卫生标准 TJ36-79.
 [5] 苏建华.环境科学 Vol114No3,1992年.

生 命 建 筑

生命建筑,顾名思义,它是有生命的,以生物界的方式感知建筑内部的状态和外部的环境及时做出判断和反应,一旦发生灾害,它还能进行自我保护。

生命建筑概念是1994年底来自15个国家的340位不同领域的科学家在美国讨论时提出的,而在此之前,已有科学家在研究试验,结果是令人振奋的。如美国的彼得·弗尔教授把光纤直接埋在建筑材料中作为建筑物的“神经”,光纤是光纤传感器的一部分,通过感知光信号的相对变化特征,从而反映出建筑物变形和振动的情况。美国南加州大学的罗杰斯研究小组,则在建筑物的合成梁中埋植记忆合金(SMA)纤维,由于电热控制SMA纤维能像人们的肌肉纤维一样产生形状和张力变化,从而根据建筑物受到的振动改变梁的刚性和自动振动频率,减少振幅,使框架结构的寿命大大延长。此外,生命建筑还应具有大脑,能自动调节和控制,让建筑物内的无数光纤传感器,驱动执行器有条不紊地工作而不致于乱成一团。于是,科学家们为它们设置了一种计算机程序,这个程序模仿一个真实的神经细胞,称为人工神经细胞,它能在突发的建筑事故中,具有判断能力,或是由神经网络处理,或是送往远端的中央处理器处理。同时,生命建筑还安置了自动适应系统,以便在必要时自动接换各自的传感器等等。由于地震和风暴会造成建筑物大幅度震动,从而崩塌摧毁,因此生命建筑应在灾害发生时能自我保护。于是,日本发展了智能化的主动质量阻尼技术,当地震发生时,生命建筑中的驱动器和控制系统会迅速改变建筑物内的阻尼物(如流体箱)的质量,从而改变阻尼物的振动频率,以此来抵消建筑物的震动。美国则研究地震发生时如何让生命建筑之间能自动伸出自己的驱动阻尼器,并连在一起,就像人在摇晃的船甲板上手拉手一样不易跌倒。至于生命建筑自我康复,美国科学家已找到了好办法,它的执行元件是充有异丁稀酸中酯粘结剂和硝酸钙抗蚀剂的水管。当生命建筑有裂缝时水管断裂,管内物质流出,形成自愈的混凝土结构。