

Hygienic Evaluation and Design of Ventilation System for Working Sites in Ship Industry

Xiaoqun Wang

Shanghai Institute of Technology, Shanghai, China

Email: wxq@sit.edu.cn

Abstract: Taking the powdery dust as the typical hazardous factor in the working sites of some a shipbuilding company, first, the density of powdery dust in the air was measured and the quality of working environment was classified according to the national standards, then its danger for health was evaluated. Based on the evaluation results, the design concepts of ventilation systems were put forward. The partial ventilation assisted with general aeration for the painting sites as spraying sands to get rid of rust and special painting was introduced, as well as the removable partial ventilation for narrow and airtight spaces in welding sites. And their working principles, setting structures, application effect were also discussed.

Keywords: ship industry; hygienic evaluation; design of ventilation system; removable ventilation equipment

船舶业作业场所的卫生学评价与通风系统设计

王小群

上海应用技术学院, 上海, 中国, 200235

Email: wxq@sit.edu.cn

摘要: 文章以某造船公司作业场所中粉尘危害因素为典型, 通过测定作业场所中的空气粉尘浓度, 依据国家有关标准对作业场所进行粉尘作业环境质量分级, 对船舶业的粉尘危害进行了卫生学评价, 根据评价结果, 提出通风系统设计方案。介绍了涂装作业中喷砂除锈与特种涂装的局部排风辅以全面通风, 以及焊接作业中狭小密闭空间的移动式局部排风。对各自通风系统的工作原理、装置结构、使用效果进行了论述。

关键词: 船舶业; 卫生学评价; 通风系统设计; 移动式排风设备

1. 引言

随着我国进入世贸组织, 世界经济发展面临新的格局, 现代物流、综合运输和国际贸易占领市场, 船舶工业发展势头强劲。现如今我国已成为世界船舶制造业基地。船舶工业将为我国经济, 特别为港口经济的发展带来新的动力。在发展的同时不容忽视伴随船舶建造而来的职业危害性。

造船工艺综合了重工业所有工种, 特种作业和危险性较大的作业占有相当大的比例, 产业技术涉及机械、化工、电子等领域, 工人作业流动性大, 作业强度高, 大多靠手工劳动完成, 诸多因素都显示了造船行业的作业危险性。高处坠落、物体打击、机械伤害、爆炸、触电等事故危险性不断提升。另一方面, 造船

上海市教育委员会重点学科建设资助项目, 项目编号: J51502。

行业存在着影响作业人员身体健康的危害因素。船舶建造过程以焊接、涂装、合拢、舾装等工艺为主, 由此类工艺过程所产生的劳动职业卫生危害最多, 常见的职业病有, 硅肺、电焊尘肺、铁尘肺、铅苯锰中毒、噪声性耳聋、高温中毒等^[1]。为使作业场所处于良好的环境, 保证工人作业安全, 文章对某造船公司作业场所进行卫生学评价和通风对策研究。

2. 船舶业作业场所的卫生学评价

据统计 2004 年, 全国各类职业病发病 4423 例, 其中尘肺 3166 例, 占职业病总数的 71.58%。虽然我国职业病发病数有了较大的降低, 但尘肺病占职业病发病总数比例却有增无减^[2]。造船厂中存在的职业病也以尘肺为主, 其中以硅肺、电焊尘肺、铸工尘肺危害最严重。

某造船公司是我国大型造船、修船基地之一，是国家骨干企业和国家重点军工企业。生产区域占地广、跨度大，生产设备完善，船舶成品种类齐全，承接工程量大，船舶建造周期短、效率高，能设计、建造、修理 8 万吨级以下、具有当代国际先进水平的各类船舶和舰艇。该公司造船采用双岛式船舶建造法，即完成平台装配后将船体分段在船台上分两端（首尾）向船身合拢成船体。作业过程包括钢板切割（焊接工艺）、钢材除锈（涂装工艺）、船体（小、中、大）合拢（焊接工艺）、船体表面打磨喷漆（涂装工艺）。该公司作业场所影响职工健康的职业危害因素有：有毒有害气体、噪声振动、放射性、烟尘毒害等，其中涂装、焊接工艺所产生的有毒有害气体、尘毒危害尤为严重。

2.1 评价内容及方法

卫生学评价过程主要是分析生产性粉尘的理化性数据及对人体健康的危害，辨识接触生产性粉尘的作业场所，确定接触人数及接触时间；依据《作业场所空气中粉尘测定方法》，选择厂区中不同作业现场的不同区域作为采样点，测量其工作时段及非工作时段空气粉尘浓度 MC ，并计算出实测浓度平均值；查阅《工业企业设计卫生标准》和《工业场所有害因素职业接触限值》，找出生产性粉尘的最高容许浓度 MS ；根据公式(1)计算粉尘浓度超标倍数 B 值：

$$B = \frac{\overline{M_c}}{M_s} - 1 \quad (1)$$

式中： B ：粉尘浓度超标倍数； $\overline{M_c}$ ：粉尘实测浓度平均值， mg/m^3 ； M_s ：最高容许浓度， mg/m^3 。

根据《生产性粉尘作业危害程度分级》查表确定不同作业场所的粉尘危害程度的级别，最后列出粉尘作业分级表，并以此提出适应于不同作业场所的通风对策措施。

2.2 粉尘接触情况

该公司现有正式职工 8411 人，外包工 5161 人。约 5385 人从事生产工作，其中焊工 1590 人，行政科室人员 3026 人，专职安全、监造管理人员（接触粉尘危害）约占行政科室人员的七分之一，约 412 人。外包工 5161 人中，涂装工 527 人，焊工 3572 人。公司职员中，接触粉尘最为频繁、受其危害影响最大的是作业现场操作工人：焊工、涂装工等；其次是参与现场管理的安检、监造人员。统计一天内某工种工人连

续接触粉尘危害的平均接触时间。如表 1 所示。

表 1. 接触粉尘情况

工种	工作场所	粉尘危害程度	平均接触时间（小时）	观察人数
焊工	平台、车间	较轻	7	7
	密闭船舱	严重	4	3
涂装工	冲砂棚	严重	4	5
	喷漆间	严重	5	7
安检管理	船上	较轻	7	3
监造管理	船上	较轻	7	5

2.3 作业现场粉尘测定

在现场调查的基础上，根据国标 GB5748-85《作业场所空气中粉尘测定方法》，在涉及粉尘危害的不同工艺作业场所选择合适采样点进行粉尘采样。

(1) 仪器：GS-3 交直流两用大气采样计、聚氯乙稀滤膜、分析天平。

(2) 采样过程及处理：

根据《作业场所空气中粉尘测定方法》选择各作业场所中接尘人员工作区域，以及粉尘分布均匀的呼吸带作为测尘点。

采样计流量选择为 20L/min，采样时间为 15min，采样前后用分析天平进行称重，滤膜质量差值便为采样的粉尘，根据公式（2）计算出实测粉尘浓度 MC ，并计算实测浓度平均值。

$$M_c = \frac{m_2 - m_1}{Qt} \times 1000 \quad (2)$$

式中： MC ——粉尘浓度， mg/m^3 ； m_1 ——采样前滤膜质量， mg ； m_2 ——采样后滤膜质量， mg ； t ——采样时间， min ； Q ——采样流量， L/min 。

(3) 粉尘测量数据及处理：

根据作业场所测得采样前后滤膜质量差，利用公式（2）计算 $\overline{M_c}$ 。表 2 为作业场所粉尘采样数据结果以及相关环境因素。

依据国家标准 GB5817-1986《生产性粉尘作业危害程度分级》，接触生产性粉尘作业危害程度共分为五级：0 级、I 级危害、II 级危害、III 级危害、IV 级危害。根据测得的数据以及公式（1），得出不同作业场所粉尘浓度超标倍数 B 值，如表 3 所示。

根据《生产性粉尘作业危害程度分级》、粉尘浓度超标倍数 B 、生产性粉尘中游离二氧化硅含量以及

表 2. 作业场所粉尘采样数据结果以及相关环境因素

采样点 编号	工艺过程	涉及 工艺	粉尘类型	作业空间位置	粉尘浓度平 均值(mg/ m ³)
1	钢材预处理切割			车间敞开式作业	9.421
2	平台分段、装配	焊接	电焊粉尘	露天作业	3.864
3	舱内修复			狭小密闭空间作业	75.519
4	钢材冲砂、除锈		铜矿砂粉尘	车间密闭作业	44.293
5	分段喷漆	涂装	混合型粉尘		37.946
6	舱内喷漆			狭小密闭空间作业	86.472

表 3. 作业场所粉尘浓度超标倍数

作业场所分类	粉尘组分	最高容许浓 度(mg/ m ³)	粉尘浓度平均 值(mg/ m ³)	粉尘浓度 超标倍数
焊接	平台 焊尘、大气粉尘、灰尘		3.864	0
焊接	船体车间 焊尘、灰尘	4	9.421	1.4
焊接	船舱焊接 焊尘		75.519	17.9
涂装	冲砂棚 铜矿砂 (含 SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 等)	8	44.293	4.5
涂装	喷漆室 甲苯、铅尘、乙醚、丙酮	10	37.946	2.8
涂装	船舱涂装 等		86.472	7.6

工人接尘时间肺总通气量 (L/日·人)，通过查阅《生产性粉尘作业危害程度分级表》，对接触生产性粉尘作业环境进行危害程度分级。

在粉尘环境质量评价过程中，粉尘中游离二氧化硅含量受不同类型的工艺材料以及空间大小影响；工人接尘时间肺总通气量由各个工种的粉尘接触时间决定。表 4 是作业场所粉尘环境质量分级相关数据及评价结果。

表 4. 作业场所粉尘环境质量分级相关数据及评价结果

作业场所	粉尘中游离二氧化 硅含量%	工人接尘时间肺总通 气量 (L/日·人)	粉尘作业危害程度
平台	<10	>6000	0
船体车间	<40		I
船舱焊接	<70		III
冲砂棚	<40	<6000	II
喷漆室	<40	>6000	II
船舱涂装	<70	<6000	II

通过卫生学评价，可以看出该造船公司作业场所粉尘危害程度比较严重，涂装和焊接工艺过程粉尘产生量较大，最高浓度为 86.472mg/m³，最低浓度为 3.864 mg/m³，只有平台操作区的粉尘浓度没有超过最高容许浓度值。粉尘危害最严重的区域是密闭船舱焊接作业区，粉尘浓度达到 75.519mg/m³，超过了最高容许浓度值近 20 倍，粉尘危害程度已达 III 级危害。因此通风系统的设计以焊接和涂装工艺为主要对象。

3. 通风系统设计

生产过程中，用于控制粉尘及有害物的通风方法按照通风过程中使空气流动的动力不同，可分为自然通风与机械通风；按照通风范围的大小，可分为全面通风和局部通风^[3]。在造船工艺过程中，由于船舶结构特点及工艺要求，还有一部分作业过程在特殊的环境下进行，属特种作业。对于该类作业场所通风系统的选择，无法直接选用一般的通风方法（全面通风、局部通风），而是根据作业过程的实际工艺要求并参考国家有关规定，采取特殊的通风措施，以保证作业过程在要求的环境因素条件下进行。

3.1 涂装工艺通风系统设计

船舶涂装就是对船体钢材表面除锈及涂漆两项生产工艺。其工艺程序为：原材料喷丸流水线预处理→涂装车间底漆→钢材落料、加工、装配→分段预舾装→分段二次除锈→分段涂装→船台合拢、舾装→船台二次除锈→二次涂装→船舶下水→码头二次除锈、涂装→交船前坞内涂装。船舶涂装过程中产生的尘毒物质分布在各个工艺流程中：预处理、除锈工艺中，由于使用喷砂作业，产生大量的粉尘；喷漆工艺使用各类船舶涂料（船舶防锈漆、车间底漆、船底防污漆、水线漆、船壳漆、甲板漆、液舱漆等），此类涂料中含有的有毒物质较多（苯、防腐油、汽油、甲醇、四氯乙烯等），对人体危害相当严重。同时，大多数的涂装原料都含有机物，除了对人体的危害外，大量有机物在空气中散逸达到一定浓度时，易发生火灾爆炸事故^[4]。

喷砂除锈是涂装作业中产生粉尘最严重的作业过程。除锈的目的是清除船体钢结构表面的氧化皮、黄锈、旧漆皮等各种杂质。在磨料高速冲击与动力工具的高速磨削作用下，这些杂质在被去除的同时，产生大量锈尘与有机物的粉尘，此外部分磨料在除锈过程中被破碎，也产生粉尘。这些粉尘在高速气流的作用下四处飞逸，对人体和环境产生严重的危害。按照《涂装作业安全规程·涂漆前处理工艺安全及其通风净化》中规定，作业人员呼吸区域空气中含尘量应小于 10mg/m³，然而实际空气含尘量却远远超过这个标准值，作业工人的健康时刻受到威胁。合理设计通风除尘系统，防止尘毒危害是涂装除锈作业安全工作的重要方面。

船体分段室内车间涂漆工艺过程属特种涂装作业，特种涂装作业的通风系统设计要比其它涂装工

艺严格得多。因此通风系统设计为：在作业场所设置局部排风装置，选择固定式局部排风系统，附加全面通风作为辅助设施。车间内空气中的粉尘组分多样，粉尘粒径有较大的差异，设置二级或三级除尘系统^[4]。一级除尘选用旋风除尘器，旋风除尘器主要是捕获车间内的悬浮粉尘。选用袋式除尘器作为车间的二级除尘设备。此外，为防止从室外引入的空气中含有的污染物质影响作业过程，增设高效过滤器。另在车间顶部设置天窗、高窗，利用自然风排除粉尘，适当在四周外墙下部设置进风百叶窗，辅助局部排风。特殊涂装车间对作业操作过程的湿度温度进行计算，在原通风系统中增设了一套能对室内温度湿度进行定点、定时测量的补偿校正设施，并设置报警装置，作业场所环境的温度、湿度未达到指定条件，系统能发出报警信号。

3.2 焊接工艺通风系统设计

该造船公司焊接作业场所包括：空旷的露天平台、较大的车间、船台分段的狭小空间以及船舶几乎密闭的舱室。根据卫生学评价结果，在各类焊接作业场所中，粉尘危害较为严重的是狭小密闭空间内的焊接作业，未采取通风措施时作业中的粉尘浓度达到 75.519mg/m^3 。因此，选择狭小密闭空间作为焊接工艺通风系统设计的对象。

焊接过程中一般采用通风措施为局部机械排气，是将生产现场产生的有害物质，用机械的动力强行由室内排出，或经过滤器净化处理后送到室内^[5]。移动式局部排风设备在造船过程中被广泛使用。除了在密闭空间焊接作业时使用外，船只整体结构处于非稳定期时（非固定车间工作区域）的施工作业，例如船只分段大合拢期间，也可使用移动式局部排风设备，移动式排风设备设计类型有以下几种：

(1)在空间体积相对较小的密闭舱室，低电压风机排气装置是最有效的局部排气措施。在舱室内进行焊接时，移动式低压风机排气装置排气口的一端固定在入孔的外边缘处，同时根据舱室的环境实行两级净化排气，即将密闭舱室内的有害物质排到密闭舱室外；然后通过局部排气系统，将排到密闭舱室外的污染气体再排到船体外。

(2)在空间体积相对较大的舱室内，采用小型移动式排气装置将有害物质排出。这种装置可随焊接点位置的改变而随时移动，使用方便。同时配备净化过滤器，使得排出的空气中有害物浓度达到标准要求。使

用效果见表 5。

表 5. 设备使用前后部分有害物的理论测量值

焊材	厚度 (mm)	电流 (A)	臭氧 (mg/m^3)		氮氧化物 (mg/m^3)	
			未使用	使用	未使用	使用
铝锰	5	100	3.23	0.08	2.3	0
铝镁	18	380	1.80	0.21	2.3	0.8

(3)为适应手工电弧焊的操作特点而设计的活动式排烟罩由遮蔽体、排气管和滚轮等组成。根据该公司现场测定结果，使用前的粉尘浓度为 108.96mg/m^3 ，氮氧化物为 2.67mg/m^3 ，氧化锰为 6.13mg/m^3 ，使用后分别降低为 3.96mg/m^3 ， 0.94mg/m^3 和 0.12mg/m^3 。

4 结束语

(1)除通风外，减少船厂尘毒的有效方法还在于对焊接和涂装工艺和材料的改进。如使焊接操作机械化、自动化、用自动埋弧焊代替手工电弧焊，采用单面焊双面成型新工艺。在漆雾和有机溶剂严重污染的作业区设置实体隔墙或大型喷漆室等。又如采用无毒或低毒焊条，以粉体涂料取代水溶性、高固分涂料等。由于技术上或工艺上的原因，不能做到完全控制工业有害物时，必须配备防尘口罩、防尘服装、防尘眼镜等个人防护措施。

(2)我国的通风现状同国外相比仍有较大差距，差距表现在量和质两方面。90年代中期调查的数据表明：船厂中，实施自然通风、简易机械排风的虽由80年代的76%下降至27.2%，涂装工艺对漆雾、有机溶剂净化用机械排风的也由6%升至18.2%，使用喷漆室的则由45%提升到100%。但与生产量相比，这个变化显然太小，其次，通风技术也远远落后，因此一方面要加入资金投入，普及通风率，另一方面要加强科研，对现有通风系统进行改进与有效管理。诸如通过对罩口流场和控制效果的试验研究提出新的通风罩罩型、技术参数和计算方法；加强对尘源测试手段的充实和完善；进一步研究用计算机控制通风系统的运行等。

(3)即使粉尘作业场所已采取了通风除尘等防尘措施，但总还有一些未被捕集而危害性又大的微细粉尘漂浮在车间空气中，因此，必须加强作业工人个体防护，还需增强管理力度，树立主观安全意识。主要包括：完善作业安全责任制；健全安全操作规程；建立和实施 OHSAS18001 等。

Reference (参考文献)

- [1] Zhang Xingrong .Professional harm and countermeasures research in shipbuilding industry[J]. Industrial Safety and Dust Control. 2001, 27(2) , P 36-38.
张兴容. 我国造船业的职业危害与对策研究[J]. 工业安全与防尘. 2001, 27(2) , P 36-38.
- [2] Fan Jingguang, Yang Li. The Development in Prevention and Treatment of Occupational Harm from Powder and Dust in China [J]. China Occupational Safety and Health Management System Certification. 2004, 5, P 20-22.
樊晶光, 杨力. 我国粉尘职业危害防治进展[J]. 中国职业安全卫生管理体系认证. 2004, 5, P 20-22.
- [3] Wang Hanqing. Ventilation Engineering [M]. China machine press, Beijing, 2005, 3-12.
王汉青. 通风工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005, 3-12.
- [4] Cao Jingyi, Painting Surface Pretreatment Technology and Application [M], Chemical industry press, Beijing, 2004, 10-13.
曹京宜等. 涂装表面预处理技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 10-13.
- [5] Guo Jicheng, Wang Yanlin, Welding Safety Technology [M], Chemical industry press, Beijing, 2004, 4-8.
郭继承、王彦灵. 焊接安全技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 4-8.