文章编号：2095-9982(2017)10-0909-05 **中图分类号：**R134 **文献标志码：**A

【论著｜调查研究】

两种风险评估法在某黑色金属铸造企业职业健康风险评估中的应用

王爱红[1]，冷朋波[1]，李晓海[1]，王群利[1]，谷少华[1]，张美辨[2]

摘要：

［目的］ 综合评估宁波市某黑色金属铸造企业接触矽尘岗位的职业健康风险，探讨职业危害风险指数法和国际采矿与金属委员会（ICMM）职业健康风险评估方法在该企业主要岗位职业健康风险评估中的适用性。

［方法］ 应用职业危害风险指数法和ICMM职业健康风险评估法（分为风险评级表法和赋值定量法）对该企业开展职业卫生调查，并对产生矽尘的关键岗位开展风险评估。

［结果］ 该企业为一家中型企业，职业病防护设施效果不良，制芯岗位和成型岗位矽尘呼吸性粉尘8 h时间加权平均浓度分别为0.92 mg/m^{3}和0.79 mg/m^3，超过职业接触限值。职业危害风险指数法评估结果显示制芯岗位和成型岗位接触矽尘致职业健康危害的等级为中度危害，需要采取减少接触时间、加强防护等控制措施，其余岗位为轻度危害。ICMM风险评级表法评估发现制芯岗位和成型岗位接触矽尘引起最常见危害和最严重危害的风险等级为高风险，其余岗位为中风险；ICMM赋值定量法对5个关键岗位的评估结果均为“不可接受的风险”，需要采取“立即关停”的措施。

［结论］ ICMM风险评级表法评估的健康危害明确，评估结果和实际情况较为符合，在该企业接触矽尘岗位的职业健康风险评估中有较好的适用性。

关键词：风险评估；职业健康；职业健康风险评估法；职业危害风险指数法；黑色金属铸造；矽尘

引用：王爱红，冷朋波，李晓海，等.两种风险评估法在某黑色金属铸造企业职业健康风险评估中的应用［J］.环境与职业医学，2017，34（10）：909-913. **DOI**: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17209

Application of two risk assessment methods to occupational health risk assessment in a ferrous metal foundry

WANG Ai-hong[1], *LENG Peng-bo*[1], *LI Xiao-hai*[1], *WANG Qun-li*[1], *GU Shao-hua*[1], *ZHANG Mei-bian*[2] (1.*Zhejiang Provincial Key Laboratory of Health Risk Appraisal for Trace Toxic Chemicals, Department of Environmental and Occupational Health, Ningbo Municipal Center for Disease Control and Prevention, Ningbo, Zhejiang* 315010, *China*; 2.*Department of Environmental and Occupational Health, Zhejiang Municipal Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang* 310051, *China*). *Address correspondence to ZHANG Mei-bian, E-mail*: *mbzhang@cdc.zj.cn* · *The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.*

Abstract:

［Objective］ To assess the occupational health risk in silica dust-exposed worksites of a ferrous metal foundry in Ningbo City, and to explore the applicability of the occupational health risk assessment method recommended by the International Council on Mining and Metals (ICMM) and occupational hazard risk index method.

［Methods］ A field investigation with risk assessment for silica dust-exposed worksites was conducted using the occupational hazard risk index method and the ICMM occupational health risk assessment method using (risk rating table or risk assessment matrix), respectively.

［Results］ The medium-sized enterprise was equipped with less effective occupational protection devices. The 8 h time-weighted average concentrations of silica dust in the air of coremaking and moulding worksites were 0.92 mg/m^3 and 0.79 mg/m^3, respectively,

·**作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。**

[基金项目] 浙江省医药科技项目（编号：2013KYA042）

[作者单位] 王爱红（1977—），女，硕士，副主任医师；研究方向：职业健康风险评估；E-mail：77828079@qq.com

[通信作者] 张美辨，E-mail：mbzhang@cdc.zj.cn

[作者单位] 1.宁波市疾病预防控制中心环境与职业卫生所，浙江省微量有毒化学物健康风险评估技术研究重点实验室，浙江 宁波 315010；2.浙江省疾病预防控制中心环境与职业卫生所，浙江 杭州 310051

exceeding the national occupational exposure limit (OEL). The risk levels of coremaking and moulding worksites were moderate according to the occupational hazard risk index method, indicating a requirement for control measures such as less exposure time and strengthened protection, and the risk levels of the other worksites were mild. The risk levels of coremaking and moulding worksites were high using the ICMM risk rating table, the levels of the other worksites were medium. All five worksites had" intolerable risk "based on the ICMM risk assessment matrix, which required immediate shutdown.

[Conclusion] The ICMM risk rating table is appropriate to assess the occupational health risk of key worksites in the ferrous metal foundry because it shows clear health risks and the assessment results are consistent with actual observed situation.

Keywords: risk assessment; occupational health; occupational health risk assessment method; occupational hazard risk index method; ferrous metal foundry; silica dust

Citation: WANG Ai-hong, LENG Peng-bo, LI Xiao-hai, et al. Application of two risk assessment methods to occupational health risk assessment in a ferrous metal foundry[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(10): 909-913. **DOI**: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17209

目前，生产性粉尘污染仍是我国突出的职业卫生问题，职业性尘肺病的发病率居高不下，根据国家卫生和计划生育委员会发布的《关于2014年职业病防治工作情况的通报》显示[1]：2014 年共报告职业病29 972例，其中职业性尘肺病26 873例。因此，针对职业病高发行业的职业健康风险评估已经刻不容缓，而国家安全生产监督管理总局制定的相应技术标准尚未正式出台[2]，我国目前仍缺乏成熟的职业健康风险评估技术指南。近年来国内有学者应用国际上较为成熟的风险评估模型开展我国重点行业的职业健康风险评估，以探索模型适用性[3-5]。黑色金属铸造企业是粉尘危害严重的行业之一，宁波市近年来出现的尘肺病新发病例集中于该行业。本次研究应用职业危害风险指数法和国际采矿与金属委员会（International Council on Mining and Metals，ICMM）职业健康风险评估方法对宁波市某中型黑色金属铸造企业的接触矽尘岗位开展职业健康风险评估，旨在通过实践发现综合评估职业危害风险的适宜方法，科学指导企业开展职业健康管理。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本次研究选择宁波市1家中型黑色金属铸造企业为对象，于2015年9月开展现场调查和评估。

1.2 研究方法

根据职业危害风险指数法和ICMM职业健康风险评估方法的要素开展职业卫生现场调查，调查内容包括：工艺流程、职业病危害因素、关键岗位职业病危害因素接触情况（暴露人数、暴露浓度、暴露频率）、已采取的工程防护设施、个人防护以及职业卫生管理等。根据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》，在现场劳动卫生学调查和工作日写实基础上开展定点采样，在各车间主要工作岗位1个工作日不同时段采样3次，每次15 min，并计算8 h时间加权平均浓度（time-weighted average concentration，C-TWA）。总粉尘、呼吸性粉尘和游离二氧化硅的检验方法分别参考GBZ/T 192.1—2007《工作场所空气中粉尘测定 第1部分：总粉尘浓度》、GBZ/T 192.2—2007《工作场所空气中粉尘测定 第2部分：呼吸性粉尘浓度》和GBZ/T 192.4—2007《工作场所空气中粉尘测定 第4部分：游离二氧化硅含量》，作业分级参考GBZ/T 229.1—2010《工作场所职业病危害作业分级 第1部分：生产性粉尘》。

1.3 评估方法

1.3.1 职业危害风险指数法 该方法是林嗣豪等[6]参考英国职业健康安全管理体系标准以及中国台湾学者Chiu-sen Wang建立的，综合考虑工作场所中存在的危害因素对健康影响的严重性、危害的可能性以及工作场所的作业环境条件，通过危害因素识别、作业单元划分、危害因素浓（强）度检测、作业环境调查、风险指数计算、风险等级确定和控制措施建议等步骤开展评估。其计算公式为：

$$风险指数=2^{健康效应等级}\times 2^{暴露比值}\times 作业条件等级,$$

式中：健康效应等级参考GBZ/T 229.1—2010中游离二氧化硅的含量分级，结合国内相关学者的划分标准[7]，本次评估将健康效应分为0~3级（0级：<10%；1级：10%~50%；2级：>50%~<80%；3级：≥80%）；暴露比值=粉尘浓度平均实测值/职业接触限值；作业条件等级=（暴露人数等级×暴露时间等级×工程防护措施等级×个体防护措施等级）$^{1/4}$，具体划分标准见表1。

职业危害等级划分：根据风险指数划分为5个等

级，具体见表2。

表1 职业危害风险指数法中作业条件各项等级划分标准

等级	暴露人数	暴露时间（h/班）	工程防护措施	个体防护措施使用率（%）*
5	51~	>12	无	≤20
4	26~50	>8~12	整体控制（整体换气、消噪或防尘）	>20~50
3	16~25	>5~8	局部控制，有运转但效果不确定	>50~80
2	6~15	>2~5	局部控制，效果明确	>80~90
1	≤5	≤2	密闭设施	>90

［注］*：个体防护措施使用率=（现场使用个体防护用品的人数/现场应使用个体防护用品的总人数）×100%

表2 职业危害风险指数法中职业危害等级划分和控制措施

风险指数	危害等级	控制措施
≤6	无危害	可接受作业
7~11	轻度危害	进一步评估
12~23	中度危害	风险控制（如减少暴露、加强防护等）
24~80	重度危害	采取减少职业危害的综合措施
80~	极重危害	停止作业（整改：使用替代品、工艺改革、加强工程控制措施等）

1.3.2 ICMM职业健康风险评估方法 此风险评估来源于ICMM为其作业工人制定的职业健康风险评估指南，旨在系统并主动地识别工作场所的健康危害因素，评估其潜在的健康危害，制定合适的控制措施来保护工人的健康，方法中健康危害可分为最严重危害和最常见危害[8]。计算健康风险可用赋值定量法或者风险评级表法。赋值定量法计算公式为：$RR=C\times PrE\times PeE\times U$。式中：*RR*为风险等级，其赋值见表3；*C*为健康危害后果，其赋值为该暴露水平不太可能对健康造成影响=1；不危及生命的可逆健康影响=15；永久性不良健康影响，但不会显著影响生命质量和寿命，可能是导致职业和生活方式变化的轻度功能受限或残疾=50；不良健康的影响一般是永久性的，并可能导致生活质量和（或）寿命的显著下降，持续暴露通常可能导致永久性的生理或精神障碍，或长期功能障碍性疾病=100；*PrE*为暴露概率，根据检测结果判断超过职业接触限值（occupational exposure limit，OEL）的可能性赋值，低（<50%OEL）、中（50%OEL~）、高（≥100%OEL）分别为3、6、9；*PeE*为暴露时间，其赋值为每年1次=0.5，1年几次=1，每月几次=2，每班次连续暴露2~4 h=6，每班次连续暴露8 h=10；*U*为不确定性，根据危害风险和暴露评估的不确定性赋值，确定=1，不确定=2，非常不确定=3。

表3 ICMM职业健康风险评估方法风险等级赋值表

风险值	风险分类	行动
400~	不可接受的风险	要求立即停止或关闭
200~399	非常高的风险	要求立即采取措施并制定永久解决方案
70~199	高风险	要求尽快采取措施
20~69	潜在的风险	要求采取措施或进行监测
<20	可接受的风险	要求进行监测

风险评级表法是根据每一种可识别的健康危害因素在可能的暴露水平下的潜在健康后果和暴露水平来确定风险等级。见表4。

表4 ICMM职业健康风险评估方法中健康风险等级

健康风险等级	描述	基于OEL的现有暴露控制措施下不同暴露水平的风险等级		
		低（<50%OEL）	中（50%OEL~）	高（≥100%OEL）
1	该暴露水平不太可能对健康造成影响	无或非常低风险	低风险	中风险
2	不危及生命的可逆健康影响	无或非常低风险	低风险	中风险
3	永久性不良健康影响，但不会显著影响生命质量和寿命，可能导致职业和生活方式变化的轻度功能受限或残疾	低风险	中风险	高风险
4	不良健康的影响一般是永久性的，并可能导致生活质量和（或）寿命的显著下降，持续暴露通常可能导致永久性的生理或精神障碍，或长期功能障碍性疾病	低风险	中风险	高风险

2 结果

2.1 职业卫生调查和检测

该黑色金属铸造企业是一家中型私营企业，主要生产各种类型的钢铸件，年产量19万t，共有员工600余名，其中接触职业病危害因素的一线工人251人。主要工艺为混砂、成型制芯、浇注、落砂清砂、打磨修正、入库；其中，在混砂、制芯、成型、落砂、清砂这些关键岗位，工人操作过程中会接触到粉尘。调查的各关键岗位接触的粉尘均为矽尘，游离二氧化硅含量在19.0%~27.6%之间，制芯岗位和成型岗位的呼吸性粉尘浓度超过职业接触限值。见表5。

2.2 职业危害风险指数法评估结果

根据上述5个关键岗位的暴露情况和作业条件，结合粉尘中游离二氧化硅的含量，得到各岗位的风险指数，其中成型和制芯岗位接触矽尘的健康危害风险为中度危害，其余岗位均为轻度危害。具体结

果见表6。

表5　各车间关键岗位矽尘暴露及防护情况

车间	岗位	暴露人数	暴露时间（h/班）	呼吸性粉尘C·TWA*（mg/m³）	游离二氧化硅含量（%）	工程防护	个人防护措施使用率（%）
造型车间	混砂	11	8	0.42	20.6	全面通风＋局部通风	84
	制芯	16	8	0.92	27.6		76
	成型	21	8	0.79	27.6		82
清理车间	落砂	12	8	0.46	19.0	全面通风＋有效隔离	90
	清砂	9	8	0.45	19.0		90

［注］*：呼吸性粉尘的职业接触限值为0.7 mg/m³。C·TWA为8 h时间加权平均浓度。

表6　职业危害风险指数法评估各车间关键岗位健康危害等级

岗位	健康效应等级	暴露比值	暴露时间等级	暴露人数等级	工程防护措施等级	个人防护措施等级	风险指数	危害等级
混砂	1	0.59	3	2	3	2	7	轻度危害
制芯	1	1.31	3	3	3	3	15	中度危害
成型	1	1.13	3	3	3	2	12	中度危害
落砂	1	0.65	3	2	2	2	7	轻度危害
清砂	1	0.65	3	2	2	2	7	轻度危害

2.3　ICMM职业健康风险评估方法的结果

各岗位接触粉尘最常见的健康危害是Ⅰ期矽肺，最严重危害是Ⅲ期矽肺。赋值定量法对最常见危害和最严重危害评估结果均为不可接受风险，见表7。

表7　ICMM职业健康风险评估赋值定量法评估各岗位接触粉尘健康风险结果

岗位	健康危害后果（*C*）		暴露概率（*PrE*）	暴露时间（*PeE*）	不确定性（*U*）		风险等级（*RR*）		风险水平	
	Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺			Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺	Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺	Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺
混砂	50	100	6	10	1	1	3 000	6 000	不可接受的风险	不可接受的风险
制芯	50	100	9	10	1	1	4 500	9 000	不可接受的风险	不可接受的风险
成型	50	100	9	10	1	1	4 500	9 000	不可接受的风险	不可接受的风险
落砂	50	100	6	10	1	1	3 000	6 000	不可接受的风险	不可接受的风险
清砂	50	100	6	10	1	1	3 000	6 000	不可接受的风险	不可接受的风险

风险评级表法评估结果显示，存在粉尘浓度超标的制芯和成型两个岗位引起最常见后果和最严重后果的风险均为高风险，其余岗位为中风险。见表8。

表8　ICMM职业健康风险评估风险评级表法评估各岗位接触粉尘健康风险结果

岗位	健康风险等级		暴露水平	风险等级	
	Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺		Ⅰ期矽肺	Ⅲ期矽肺
混砂	3	4	中	中	中
制芯	3	4	高	高	高
成型	3	4	高	高	高
落砂	3	4	中	中	中
清砂	3	4	中	中	中

2.4　评估结果验证

查阅该企业2014—2016年度职业健康监护档案，发现2014年该企业未开展职业健康检查，2015—2016年上述5个关键岗位69名工人在年内均进行了在岗体检，共检出疑似职业病9人，其中2015年4人，2016年5人；9名工人分布在4个岗位，其中成型岗位4人，制芯岗位3人，落砂和混砂岗位各1人，2016年成型岗位1名工人被诊断为“矽肺Ⅰ期”。进一步查阅中国疾病预防控制中心“职业病与职业卫生信息监测系统”资料发现，该企业2006—2015年诊断的新发尘肺病例14例，其中成型岗位5例，占诊断病例的35.7%（5/14），其次为清砂岗位3例，占诊断病例的21.4%（3/14）。

3　讨论

本研究以宁波市一家中型黑色金属铸造企业关键岗位为对象，应用国际上较为成熟的ICMM职业健康风险评估方法以及国内常用的职业危害风险指数法对各岗位接触矽尘的职业健康危害开展风险评估，结果发现两种模型评估结果不完全一致，但总体而言，接触矽尘的各岗位均存在一定健康损害的风险。

根据国家卫生和计划生育委员会的通报，我国近年来约九成的职业病为尘肺病[1]。宁波市2006—2015年职业病诊断情况中，尘肺病占职业病确诊总数的70.5%，其中矽肺占所有尘肺病例的59.8%，确诊的尘肺病病例主要分布在黑色金属冶炼和压延加工业、建筑业和非金属矿采选业，可见黑色金属铸造企业是该市职业病危害严重的行业之一。本次调查评估的黑色金属铸造企业是宁波一家中型企业，有基本的工程防护措施，尤其是2014年7月将清砂和落砂岗位由纯手工操作改为落砂机作业，实现机械化，有效隔离粉尘，降低了粉尘浓度，改变既往清砂岗位高污染的状态[9-10]，虽然历年诊断的职业病中清砂岗位也为矽肺高发岗位，但本次评估结果显示清砂和落砂岗位引起尘肺病的风险水平为中等，预期今后该岗位职业病高发状态将有所改善。但是，仍有2个岗位存在呼吸性粉尘超过职业接触限值的情况。

职业危害风险指数法[11]综合考虑职业危害的可

能性、严重性以及接触人数和防护措施，重点体现职业病危害因素本身的毒性以及场所中危害因素的浓度对健康的影响，如果降低职业病危害因素的浓度或者以低毒、无毒代替，则健康风险呈2的指数下降。该评估法同时考虑了接触危害因素的浓度以及采取的防护措施，比单纯应用工作场所毒物浓度是否超标来评价职业健康危害更为全面，在防护措施相同的情况下，健康风险大小取决于暴露比值和毒物的健康效应大小，由此可快速确定优先采取控制措施的岗位。但是，对于作业条件的评估偏向于定性，如个人防护仅考虑是否佩戴而未考虑佩戴效果，容易出现低估危害等级。本次评估发现，制芯和成型岗位的职业健康危害的危害等级为中度，需要采取减少每班作业时间，加强工程防护或者个体防护的措施；其余岗位接触矽尘浓度符合现行职业卫生接触限值要求，作业分级为“安全作业”，但是在职业危害风险指数法中的评估结果为“轻度危害”作业，需要进一步评估。从该企业历年职业健康监护和职业病发病确诊情况来看，成型、制芯和清砂岗位是职业病高发的岗位。职业危害风险指数法评估为“轻度危害”的混砂、清砂岗位均出现疑似职业病和确诊职业病病例，评估结果可能偏于保守而低估危害等级。

ICMM职业健康风险评估方法常采用风险评级表法和赋值定量法开展评估[11]，主要考虑健康危害和工作场所现有浓度超过接触限值的可能性，其健康危害的最常见后果和最严重后果通常比较明确，评估模型中以健康损害后果的严重性进行赋值，来衡量健康危害等级的大小有别于职业危害风险评估指数法用毒物本身的毒性效应衡量健康危害效应大小。本次评估发现用风险评级表法评估的制芯和成型岗位致最常见危害和最严重危害的风险均为“高风险”。赋值定量法健康危害等级取值从1到100不等，间隔较大，当健康危害后果较严重时极易出现*RR*大于400而出现“不可接受的风险”，因而偏向于高估健康风险[12-13]。本次评估用ICMM职业健康风险评估赋值定量法进行评估，5个被评估岗位风险水平均为不可接受，而需要采取“立即关停”的措施，与实际情况不符。

本次评估仅选择了1家企业作为调查对象，评估结果的外推可能存在一定的局限性，且仅获得该企业近2年完整的职业健康检查资料，可能无法完整评估疑似职业病情况。综合上述评估结果，可认为ICMM职业健康风险评级表法的方法简单、参数易得，评估结果和实际情况较为接近，在该企业关键岗位有较好的适用性。

参考文献

[1] 国家卫生和计划生育委员会. 关于2014年职业病防治工作情况的通报[EB/OL]. (2015-12-03)[2017-03-10]. http://www.nhfpc.gov.cn/jkj/s5899t/201512/c5a99f823c5d4dd48324c6be69b7b2f9.shtml.

[2] 国家安全生产监督管理总局. 关于征求化学毒物职业病危害风险评价技术指南（征求意见稿）等七项标准修改意见的函[EB/OL]. (2015-11-16)[2017-05-31]. http://www.chinasafety.gov.cn/newpage/Contents/Channel_5916/2015/1116/260408/content_260408.htm.

[3] 吴智君，徐波，江海，等. 三种风险评估模型在二甲基甲酰胺职业健康风险评估中的应用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志，2016，34(8)：576-580.

[4] 冷朋波，边国林，王爱红，等. 美国EPA吸入风险模型在木质家具制造企业职业健康风险评估中的应用[J]. 环境与职业医学，2014，31(11)：858-862.

[5] 王志平，郑文慧，肖国兵. 某企业职业病危害的半定量风险评估[J]. 环境与职业医学，2013，30(9)：686-689.

[6] 林嗣豪，王治明，唐文娟，等. 职业危害风险指数评估方法的初步研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志，2016，24(12)：769-771.

[7] 吴宾，汉锋，张思雨，等. 职业危害风险指数法在煤矿煤尘职业健康风险评估中的应用[J]. 中国工业医学杂志，2016，29(4)：311-312.

[8] 丁刚强，张美辨. 国外职业健康风险评估指南[M]. 上海：复旦大学出版社，2014：226-227.

[9] 王志平，马黎辉，郑文慧. 宁波市鄞州区铸造加工业粉尘职业病危害分析[J]. 海峡预防医学杂志，2006，12(2)：55-56.

[10] 边国林，郭延波，王群利. 宁波市2001—2010年新发尘肺病发病特点分析[J]. 中国职业医学，2013，40(3)：280-281.

[11] International Council on Mining & Metals. Good practice guidance on occupational health risk assessment[R]. London：International Council on Mining & Metals，2009：1-55.

[12] 王爱红，冷朋波，边国林，等. 两种风险评估模型在木质家具制造企业职业健康风险评估中的应用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志，2016，34(10)：756-761.

[13] 厉小燕，陈坤，张美辨，等. 国际采矿与金属委员会职业健康风险评估模型在火力发电厂的应用研究[J]. 浙江预防医学，2013，25(11)：16-20，27.

（**收稿日期**：2017-03-13；**录用日期**：2017-06-06）

（英文编辑：汪源；编辑：王晓宇；校对：陈姣）