

不同风险评估模型在硬质合金粉尘作业管理中的应用

吕向裴¹, 宋瀚波¹, 齐放¹, 余晨¹, 胡双球², 王焕强¹

(1. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050; 2. 株洲市劳动卫生职业病防治中心, 湖南 株洲 412000)

摘要: **目的** 比较不同风险评估模型评估某硬质合金生产企业粉尘暴露工种的职业健康风险水平, 为职业健康风险控制和管理提供参考依据。**方法** 以株洲市某硬质合金生产企业为研究对象, 于2015年进行职业卫生现场调查, 采集主要暴露岗位粉尘并检测总尘、呼尘和钨、钴的浓度, 利用新加坡半定量风险评估法、职业危害风险评估指数法, 对硬质合金粉尘职业健康风险进行评估, 并进行工作场所职业病危害作业分级。**结果** 新加坡半定量风险评估法和职业危害风险评估指数法对8个硬质合金粉尘接触岗位的职业健康风险评估结果基本一致。以硬质合金粉尘总尘或钨浓度评估, 各接尘岗位均为低风险或轻度风险。以钴浓度评估, 混料和过筛岗位的职业危害为高风险或极高危害风险, 球磨干燥和深加工岗位为中等风险, 压制、烧结、喷砂和成检包装岗位为低风险或轻度危害风险。按粉尘总尘浓度进行职业病危害作业分级, 硬金属粉尘接触岗位均为相对无害作业; 按钴浓度进行有毒化学物的职业病危害作业分级, 混料岗位为重度危害、过筛为中度危害、其他岗位为相对无害。**结论** 新加坡半定量风险评估法、职业危害风险评估指数模型和工作场所职业病危害作业分级用于硬质合金粉尘的职业健康风险评估时, 应使用钴浓度指标; 硬金属粉尘作业应加强对混料、过筛、球磨干燥和深加工等重点岗位的危害控制和管理。

关键词: 风险评估; 硬质合金; 粉尘

中图分类号: R135.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2017)05-0332-05 DOI: 10.13631/j.cnki.zgggxyx.2017.05.003

Comparison of two risk assessment models applied in operation management on carbide dusts

Lu Xiangpei^{*}, Song Hanbo, Qi Fang, Yu Chen, Hu Shuangqiu, Wang Huanqiang

(* . National Institute of Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

Abstract: **Objective** To evaluate occupational health risk levels of dust exposed workers in a certain carbide production enterprise with two risk assessment models, thereby provide a scientific basis for the control and management of occupational health risk. **Methods** A carbide production enterprise in Zhuzhou city was chosen as research object, the field survey about occupational health was conducted in 2015, the concentrations of total dust, respiratory dust and the contents of tungsten and cobalt in main exposure positions were tested. Singapore semi-quantitative risk assessment model and occupational hazards risk assessment index method were used to assess the occupational health risk of carbide dust, meanwhile, the classification of the occupational hazards levels at workplaces was made as well. **Results** The results showed that Singapore semi-quantitative risk assessment method and the occupational hazards risk assessment index method presented consistent assessment results on eight main carbide dust exposed positions. According to total carbide dusts concentrations and tungsten element contents the risks were all at low or mild level, according to cobalt element contents the mixing and sieving positions were at high or extremely high risk level, the ball mill drying and further processing, pressing, sintering, sandblasting and packaging positions were at low or mild risk level, while the other dust exposure positions were at relatively harmless level. **Conclusion** The results suggested that the "occupational hazards risk assessment index method", "Singapore semi-quantitative risk assessment model" and "classification of occupational hazards at workplaces" may use for the evaluation of occupational health risks of carbide dusts, but the indicator should be cobalt concentration in workplace air; and the hard metal dusts exposed operation should strengthen the occupational hazards management and control especially some key posts such as mixing, sieving, ball mill drying and further processing etc.

Key words: risk assessment; carbide; dust

株洲市拥有较多硬质合金生产企业, 包括国有大中型企业和私有小型企业约上百家, 总年产量约上万吨。

硬金属主要由碳化物(WC、TiC)和黏结剂(Co、Ni、Mo)烧结而成, 能引起相关肺疾病, 其中钴的作用最为明显^[1]。2013年我国修订颁布的《职业病分类与目录》已将硬金属肺病纳入职业性尘肺病和其他呼吸系统疾病类别, 但相应的职业病诊断标准尚未制定。

收稿日期: 2017-08-02; 修回日期: 2017-09-04

基金项目: 国家公益性行业科研专项(编号: 201402021)

作者简介: 吕向裴(1985—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事职业卫生防治研究工作。

通信作者: 王焕强, 研究员, E-mail: huan8885@126.com。

2012年最新修订的《中华人民共和国职业病防治法》提出，卫生行政部门应当以职业健康风险评估作为制定职业卫生标准和职业病防治政策的科学依据。我们选择新加坡半定量风险评估模型和职业危害风险评估指数法模型，对株洲市某硬质合金生产企业的硬质合金粉尘接触岗位进行职业健康风险评估，以期为此行业的职业健康风险管理提供一定的科学依据。

1 对象与方法

1.1 对象

通过对调查对象的预调查，确定选取湖南省株洲市某硬质合金生产企业混料、球磨干燥、过筛、压制、烧结、深加工、喷砂、成检包装8个主要接触硬质合金粉尘的岗位为研究对象。

1.2 方法

粉尘浓度检测依据《工作场所空气中粉尘测定》(GBZ/T192—2007)，共收集个体呼尘样本68个，定点总尘样本34个，定点呼尘样本33个。个体采样按照《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》进行布点、采样。

风险评估方法采用新加坡半定量风险评估法^[2-5]、职业危害风险评估指数法^[4-6]。新加坡半定量风险评估模型的风险指数(Risk)=[危害等级(HR)×

暴露等级(ER)]^{1/2}；职业危害风险评估指数等级= $2^{\text{健康效应等级}} \times 2^{\text{暴露比值}} \times \text{作业条件等级}$ 。

工作场所职业病危害作业分级根据《工作场所职业病危害作业分级第1部分：生产性粉尘》(GBZ/T 229.1—2010)和《工作场所职业病危害作业分级第2部分：化学物》(GBZ/T 229.2—2010)，分级指数(G)按公式计算。 $G_{\text{粉尘}} = W_M \times W_B \times W_L$ ； $G_{\text{化合物}} = W_D \times W_B \times W_L$ 。W_M指粉尘中游离二氧化硅含量权重数；W_D指化学物的危害程度级别权重数；W_B指工作场所空气中粉尘或化合物等危害因素的职业接触比值权重数；W_L指劳动者的体力劳动强度权重数。

2 结果

2.1 基本情况及工艺流程

工艺流程如图1。在烧结前接触的粉尘是碳化钨和钴两种粉尘，烧结后工人暴露的粉尘为钨钴合金粉尘。对于粉尘逸散量较大的工段车间采用抽风、湿式作业等手段来降低工人的粉尘暴露量。个人防护以防尘口罩为主，部分工段还用纱布口罩(见表1)。

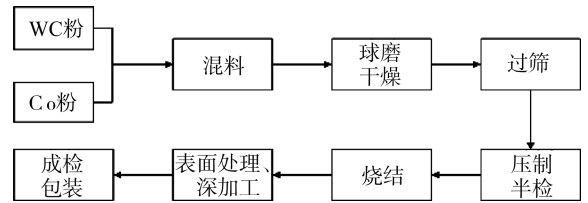


图1 硬质合金主要生产工艺流程

表1 接尘作业岗位防护措施

接尘岗位	接触粉尘	岗位防护	个人防护	人数
混料	碳化钨、钴	局部有通风或湿式作业、休息室设空调	滤盒半面罩防尘口罩、手套等	51
球磨干燥	碳化钨、钴	局部有通风或湿式作业、休息室设空调	滤盒半面罩防尘口罩、手套等	65
过筛	碳化钨、钴	局部有通风或湿式作业、休息室设空调	滤盒半面罩防尘口罩、手套等	26
压制	碳化钨、钴	车间、休息室设空调	纱布或防尘口罩、手套等	282
烧结	钨钴合金	车间、休息室设空调	纱布或防尘口罩、手套等	175
深加工	钨钴合金	密封或湿式作业、休息室设空调	防尘口罩、手套等	124
喷砂	钨钴合金	密封或湿式作业、休息室设空调	防尘口罩、手套等	31
成检包装	钨钴合金	车间、休息室设空调	纱布口罩、手套等	135

2.2 职业健康风险评估结果

2.2.1 硬质合金粉尘职业健康风险评估 总尘的风险评估采用定点总尘采样结果进行计算，允许接触限值(PEL)为8 mg/m³。新加坡半定量风险评估法和职业危害风险评估指数法对该厂评估后得出的结论基本一致，8个接尘岗位均为低风险或轻度风险。见表2。

2.2.2 硬质合金粉尘钴元素职业健康风险评估 采

用个体呼尘样品中钴元素测量结果进行计算，PEL为0.05 mg/m³。对钴元素的职业健康风险评估，两种风险评估方法对混料、过筛两个岗位的评估等级都非常高，达到了高风险或极高危害风险，球磨干燥和深加工岗位的评估结果为中等风险，压制、烧结、喷砂和成检包装岗位为低风险或轻度危害风险。与对硬质合金粉尘总尘的职业健康风险评估的结果不一致。见表3。

表2 两种方法对某企业硬质合金粉尘的职业健康风险评估结果对比

岗位	总尘 C_{TWA} (mg/m^3)	新加坡半定量风险评估法					职业危害风险评估指数法								
		每周 暴露 频率	每次暴 露时间 (h)	每周平均 工作时间 (h)	暴露 等级 (ER)	危害 等级 (HR)	危险等级 (风险指数)	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 等级	个体 防护 等级	作业 条件 等级	危险等级 (风险指数)
混料	3.80	5	8	40	2	3	低风险 (2)	1	0.48	3	5	3	2	3.08	轻度 (9)
球磨干燥	1.52	5	8	40	2	3	低风险 (2)	1	0.19	3	5	3	2	3.08	轻度 (7)
过筛	2.73	5	8	40	2	3	低风险 (2)	1	0.34	3	4	3	2	2.91	轻度 (7)
压制	0.16	5	8	40	1	3	低风险 (2)	1	0.02	3	5	4	3	3.66	轻度 (7)
烧结	0.09	5	8	40	1	3	低风险 (2)	1	0.01	3	5	4	3	3.66	轻度 (7)
深加工	0.78	5	8	40	1	3	低风险 (2)	1	0.10	3	5	3	2	3.08	轻度 (7)
喷砂	0.18	5	8	40	1	3	低风险 (2)	1	0.02	3	4	2	3	2.91	轻度 (6)
成检包装	0.27	5	8	40	1	3	低风险 (2)	1	0.03	3	5	4	3	3.66	轻度 (8)

表3 两种方法对某企业硬质合金粉尘钴元素的职业健康风险评估结果对比

岗位	钴浓度 C_{TWA} (mg/m^3)	新加坡半定量风险评估法			职业危害风险评估指数法			
		暴露等级 (ER)	危害等级 (HR)	危险等级 (风险指数)	健康效应 等级	暴露 比值	作业条件 等级	危险等级 (风险指数)
混料	0.4673	5	3	高风险 (4)	1	9.35	3.08	极度危害 (4020)
球磨干燥	0.0411	3	3	一般风险 (3)	1	0.82	3.08	轻度危害 (11)
过筛	0.2045	5	3	高风险 (4)	1	4.09	2.91	极度危害 (99)
压制	0.0105	2	3	低风险 (2)	1	0.21	3.66	轻度危害 (8)
烧结	0.0015	1	3	低风险 (2)	1	0.03	3.66	轻度危害 (7)
深加工	0.0314	3	3	一般风险 (3)	1	0.63	3.08	轻度危害 (10)
喷砂	0.0033	1	3	低风险 (2)	1	0.07	2.91	轻度危害 (6)
成检包装	0.0143	2	3	低风险 (2)	1	0.29	3.66	轻度危害 (9)

2.2.3 硬质合金粉尘钨元素职业健康风险评估 钨的评估采用个体呼尘样品中钨元素测量结果进行计算, PEL为 $5 mg/m^3$ 。风险评估结果显示两种方法的钨元素的风险评估等级均为低风险水平或轻度危害风险。见表4。

2.3 工作场所职业病危害作业分级

2.3.1 生产性粉尘分级 8个岗位接触生产性粉尘作业分级指数均为0, 作业级别为0级(相对无害作业)。见表5。

表4 两种方法对某企业硬质合金粉尘钨元素的职业健康风险评估结果对比

岗位	钴浓度 C_{TWA} (mg/m^3)	新加坡半定量风险评估法			职业危害风险评估指数法			
		暴露等级 (ER)	危害等级 (HR)	危险等级 (风险指数)	健康效应 等级	暴露 比值	作业条件 等级	危险等级 (风险指数)
混料	0.6307	2	3	低风险 (2)	1	0.13	3.08	轻度 (7)
球磨干燥	1.5846	2	3	低风险 (2)	1	0.32	3.08	轻度 (8)
过筛	1.0671	2	3	低风险 (2)	1	0.21	2.91	轻度 (7)
压制	0.0977	1	3	低风险 (2)	1	0.02	3.66	轻度 (7)
烧结	0.0314	1	3	低风险 (2)	1	0.01	3.66	轻度 (7)
深加工	0.1192	1	3	低风险 (2)	1	0.02	3.08	轻度 (6)
喷砂	0.0163	1	3	低风险 (2)	1	0.00	2.91	轻度 (6)
成检包装	0.0320	1	3	低风险 (2)	1	0.01	3.66	轻度 (7)

表5 生产性粉尘职业病危害作业分级

岗位	二氧化硅含量(权重)	职业接触比值(权重)	体力劳动强度(权重)	作业分级指数	作业级别
混料	<10% (1)	0.48 (0)	II (1.5)	0	0 (相对无害)
球磨干燥	<10% (1)	0.19 (0)	II (1.5)	0	0 (相对无害)
过筛	<10% (1)	0.34 (0)	II (1.5)	0	0 (相对无害)
压制	<10% (1)	0.02 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
烧结	<10% (1)	0.01 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
深加工	<10% (1)	0.10 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
喷砂	<10% (1)	0.02 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
成检包装	<10% (1)	0.03 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)

2.3.2 有毒化学物分级 不同分级指标所得的毒物危害程度分级结果有差异时,以最严重的高等级计算。根据国际致癌研究中心(IARC)致癌物分类(2011),共同暴露于Co和WC为“对人类可能致癌

物”(II_A组)。碳化钨作为硬质合金中的主要原料其致病能力较钴弱。我们可根据钴的分级进行分析,可见混料岗位为重度危害作业级别,过筛为中度危害,其他岗位为相对无害。见表6。

表6 钴的职业病危害作业分级

岗位	钴的危害程度级别(权重)	职业接触比值(权重)	体力劳动强度(权重)	作业分级指数	作业级别
混料	中度危害 (2)	9.35 (9.35)	II (1.5)	28.05	III (重度危害)
球磨干燥	中度危害 (2)	0.82 (0)	II (1.5)	0	0 (相对无害)
过筛	中度危害 (2)	4.09 (4.09)	II (1.5)	12.27	II (中度危害)
压制	中度危害 (2)	0.21 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
烧结	中度危害 (2)	0.03 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
深加工	中度危害 (2)	0.63 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
喷砂	中度危害 (2)	0.07 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)
成检包装	中度危害 (2)	0.29 (0)	I (1)	0	0 (相对无害)

3 讨论

风险评估是指量化测评某一事件或事物带来的影响或损失的可能程度,客观地认识事物(系统)存在的风险因素,通过辨识和分析这些因素,判断危害发生的可能性及其严重程度,从而采取合适的措施降低风险概率的过程^[7]。近年来,我国的硬质合金行业发展迅猛,虽然工作环境不断改善,生产工艺不断革新,企业的保护措施也在不断加强,但是随着生产规模的扩大,从业人员的增多,大量接尘人员的健康危害风险评估和管理需要加强。

我们的评估结果表明,新加坡半定量风险评估模型和职业危害风险评估指数模型的评估结果基本一致,这与以往研究^[4,5]结果也是相似的。但是,新加坡半定量风险评估模型未考虑到防护设备和个体防护用品的使用情况对风险水平的影响。相较而言,职业危害风险评估指数法综合考虑了健康效应、暴露情况和作业条件三大类因素,能够更加准确和全面的评估硬质合金接触岗位的职业健康风险^[4,6]。

两种风险评估模型结果表明,该硬质合金生产企

业8个粉尘接触岗位的职业健康风险等级为轻度或低风险,对应钨元素的风险等级也是轻度或低风险;而对钴元素的评估等级都较前者为高。这两种方法在评估时都需要结合职业接触限值进行计算。我国《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1—2007)中对硬质合金粉尘还没有明确的职业接触限值,只能参考“其他粉尘”(指游离二氧化硅低于10%不含有石棉和有毒物质,而尚未制定容许浓度的粉尘),总尘(PC-TWA)限值为8 mg/m³。碳化钨作为硬质合金中的主要原料其致病能力较钴弱,钨及其不溶性化合物的职业接触限值(TWA)为5 mg/m³,与“其他粉尘”的限值接近,所以其评估结果也较一致。而钴及其氧化物的职业接触限值(TWA)为0.05 mg/m³,与上述两个限值差距很大,所以钴元素的评估结果风险等级都很高。由于硬质合金粉尘中的钴是对工人健康造成损害的主要因素,如果用“其他粉尘”来作为评价工作场所硬质合金粉尘的危害程度就显得不够准确,会低估硬质合金粉尘中钴元素的危害程度,所以参考钴及其氧化物的职业接触限值对于评价硬质合金作业

环境更为恰当。混料、过筛岗位的钴元素浓度最高，因其暴露比值较高，因而风险等级最高。

根据工作场所职业病危害作业分级的管理原则，相对无害作业可继续维持目前的作业方式和保护措施。过筛岗位为中度危害作业级别，很可能引起劳动者的健康损害，应及时采取纠正和管理行动，限期完成整改。混料岗位为重度危害作业，极有可能引起劳动者的严重健康损害，应明确标示，立即采取整改措施。劳动者必须使用个人防护用品，并保证其实际接触水平达到职业卫生标准要求。由于该企业规模大，暴露人数较多，造成其作业条件等级较高，所以控制暴露强度、减少暴露时间人数、提高作业工人个人防护用品使用率、优化作业环境，可以有效降低职业健康风险等级。

综上所述，职业危害风险评估指数法能够更加准确、全面地评估接触硬质合金粉尘引发的职业健康风险，但应该以钴浓度进行评估更为恰当。硬金属粉尘作业中，应加强对混料、过筛、球磨干燥和深加工等重点岗位的危害控制和管理；尽快研发新工艺、新设备，加强职工管理，要求工人统一佩戴滤盒半面罩或

3M 防尘口罩，作业时必须穿工作服减少皮肤暴露，定期对作业工人进行健康监护；国家应尽快制定相应的规范和标准以保护劳动者健康。

参考文献：

[1] 宋瀚波, 王焕强, 李涛, 等. 硬金属肺病研究现状文献计量分析 [J]. 工业卫生与职业病, 2015, 43 (6): 738-742.

[2] Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division, Singapore. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [R]. [2015-12-12]. <http://www.wshc.sg/files/wshc/upload/cms/file/2014/A%20Semi-quantitative%20Method%20to%20Assess%20Occupational%20Exposure%20to%20Harmful%20Che.pdf>

[3] 厉小燕. 五种职业健康风险评估方法的应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

[4] 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.

[5] 董一文, 边洪英, 张思雨, 等. 煤焦油沥青行业职业健康风险评估 [J]. 中国公共卫生, 2016, 32 (6): 769-773.

[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, 2006, 24 (12): 769-771.

[7] GB/T23694—2009, 风险管理术语 [S].

(上接第 327 页)

[13] Xu X, Jackson P L, Tanner S, et al. A self-propagating matrix metalloproteinase-9 (MMP-9) dependent cycle of chronic neutrophilic inflammation [J]. PLoS One, 2011, 6 (1): e15781.

[14] Meng G, Zhao J, Wang H M, et al. Cell injuries of the blood-air barrier in acute lung injury caused by perfluoroisobutylene exposure [J]. J Occup Health, 2010, 52 (1): 48-57.

[15] Meng G, Zhao J, Wang H M, et al. Injury of cell tight junctions and changes of actin level in acute lung injury caused by the perfluoroisobutylene exposure and the role of Myosin light chain kinase [J]. J Occup Health, 2011, 53 (4): 250-257.

[16] Chakrabarti S, Patel K D. Matrix metalloproteinase-2 (MMP-2) and MMP-9 in pulmonary pathology [J]. Exp Lung Res, 2005, 31 (6): 599-621.

[17] Xue H, Sun K, Xie W, et al. Etanercept attenuates short-term cigarette-smoke-exposure-induced pulmonary arterial remodelling in rats by suppressing the activation of TNF- α /NF- κ B signal and the activities of MMP-2 and MMP-9 [J]. Pulm Pharmacol Ther, 2012, 25 (3): 208-215.

[18] 陈平圣, 陶冬英. 基质金属蛋白酶抑制剂与 ALL/ARDS 防治 [J]. 现代医药卫生, 2006, 22 (18): 2753-2754.

[19] Onyefuru L C, Upshall D G, Rice P. Effects of furosemide, torasemide and controlled fluid intake on perfluoroisobutene induced lung oedema and mortality [J]. Arzneimittelforschung, 1996, 46 (3): 283-287.

[20] 赵建, 丁日高, 阮金秀, 等. 盐酸四环素对全氟异丁烯吸入性肺损伤的防治效果研究 [J]. 中国职业医学, 2005, 32 (1):

14-17.

[21] 赵建, 丁日高, 阮金秀, 等. 四氢吡咯二硫代氨基甲酸酯联合应用盐酸四环素对抗全氟异丁烯吸入性急性肺损伤 [J]. 中国工业医学杂志, 2007, 20 (6): 370-372.

[22] 赵建, 丁日高, 阮金秀, 等. 化学修饰的四环素对全氟异丁烯吸入性急性肺损伤的防治效果 [J]. 中国职业医学, 2008, 35 (1): 7-9.

[23] Bittencourt-Mernak M I, Pinheiro N M, Santana F P, et al. Prophylactic and therapeutic treatment with the flavonone sakuranetin ameliorates LPS-induced acute lung injury [J]. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 2017, 312 (2): L217-L230.

[24] Yeh D Y, Tung S P, Fu Y H, et al. Intravenous superoxide dismutase administration reduces contralateral lung injury induced by unilateral lung ischemia and reperfusion in rats through suppression of activity and protein expression of matrix metalloproteinases [J]. Transplant Proc, 2015, 47 (4): 1083-1086.

[25] Amado-Rodriguez L, Del Busto C, Garcia-Prieto E, et al. Mechanical ventilation in acute respiring distress syndrome: The open lung revisited [J]. Med Intension, 2017, 41 (2): 71-74.

[26] Guo Y, Ma L, Zhang F, et al. Neutrophil elastase ameliorates matrix metalloproteinase-9 to promote lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice 1 [J]. Acta Cir Bras, 2016, 31 (6): 382-388.

[27] Roy S K, Kubiak B D, Albert S P, et al. Chemically modified tetracycline 3 prevents acute respiratory distress syndrome in a porcine model of sepsis + ischemia/reperfusion-induced lung injury [J]. Shock, 2012, 37 (4): 424-432.