

呼吸性矽尘容许限值的研究

——有色金属矿山工人粉尘暴露与尘肺的剂量-反应关系

李 克¹ 杨吉增¹ 郑继烈² 杨国强³ 邹建群³

提 要 对8个大型钨矿呼吸性粉尘中 SiO_2 浓度与尘肺发病关系进行了回顾性研究, 使用Logistic多元回归模型分析表明, 如果工作30年, 尘肺发病概率 ≤ 0.01 时, 平均工作的呼吸性矽尘的接触限值为 $245\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。按照作者的观点, 在保证工人一生工作30年, 不发生任何明显的尘肺期别时, 接触限值则为 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

关键词 呼吸性矽尘 尘肺 接触限值

目前, 人们普遍认为, 定点测定的空气中总粉尘浓度不能很好地表示工人的暴露水平, 要估计引起尘肺的粉尘暴露量, 最好以空气中可能达到肺泡的那部分尘粒, 即以呼吸性粉尘组份来计算。自60年代以来, 欧美大部分国家相继制定和颁布了呼吸性粉尘卫生标准, 近来, 我国普遍开展了这方面的研究。本文以回顾性队列的方法, 采用 Logistic 多元回归模型, 对 8 个大型钨矿呼吸性矽尘与矽肺的剂量-反应关系进行了探讨, 旨在为我国呼吸性粉尘卫生标准的研制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象 研究选择在江西赣南地区8个大型钨矿进行, 均为世界上 SiO_2 含量特别高的矿山, 并有丰富的历史资料, 建立了完整的接尘工人健康档案体系。几次大型调查表明, 其粉尘浓度数据及尘肺诊断情况均是可信的^{〔1〕}。

各钨矿自1958年以来采用井下综合防尘, 至1960年, 作业场所粉尘浓度基本达到国家卫生标准, 以后一直较稳定, 作业方式没有发生大的变化。因此, 目标人群选自1960年1月1日至1980年12月31日开始接尘、且接尘工作一年以上纯系接触本矿粉尘的在册职工, 其生命状态、疾病诊断情况、职业史等追访至1991年12月31日。

1.2 调查内容 按本次拟定的卡片进行, 主要内容包括调查对象一般情况, 如工作单位、性别、出生年月等, 以及详细的职业暴露史和尘肺诊断史。

调查由有经验的各矿工业医师执行, 研究者对整个过程进行质量控制, 包括卡片填写前培训调查员、核对检查填好的卡片、对填写错误及缺项的卡片进行修正补齐等, 随机抽样检查卡片与原始资料的符合率为95%以上, 在卡片输入微机阶段, 则采取逻辑检错方法, 尽量控制输入错误, 保证数据的完整性和准确性。

1.3 尘肺诊断 由有5名成员以上的尘肺诊断组依据1986年国家尘肺诊断标准集体进行阅片, 以明确0⁺和I期或以上期别尘肺。病例均来自1960~1991年入矿队列人群。

1.4 历史和近期的粉尘测定资料 研究厂矿均有完好的历年定点测定的总粉尘浓度资料。按矿按工种收集了1960~1991年间测定的近130万个历史数据, 部分工种、年代有缺乏粉尘资料的情况, 则组织工业卫生专家、公卫医师、安全工程师、测尘员等共同商定, 提出估计值。

调查期间, 使用山西太原中国辐射防护研究院研制的 CXF-2F 型个体采样器, 对其中

1. 江西省劳动卫生职业病研究所 (330006)

2. 江西省赣州市有色冶金研究所

3. 江西省劳动厅矿山安全卫生处

六个钨矿的各主要工种按规定程序进行呼吸性粉尘和总粉尘的测定,得到各工种两种粉尘的比例关系,以利于将历史的总粉尘浓度转化成呼吸性粉尘浓度。因生产不正常,未能对另两个钨矿大吉山和画眉坳进行测定。

本次研究采用红外分光光度法分析呼吸性粉尘游离 SiO_2 含量,但由于样本量太少,因而被放弃,作为补救,引用了近期内由中国同济医科大学和美国国家职业安全卫生研究所(NIOSH)用X线衍射法对我省各钨矿分析的数据。

1.5 暴露指数的计算

1.5.1 累积总粉尘量($E_{\text{累-总-尘}}$): 调查卡片中的职业种类与历史粉尘数据的工种有70余类,个体暴露粉尘的水平,是通过不同工种、工种工作时间和与之相应的粉尘浓度来计算的,应用下列公式:

$$E_{\text{累-总-尘}} = \sum_{j=1}^n C_j \times T_j$$

在此, n = 研究对象工作史中的工种数(工种为 j);

C_j = 该工种和工作期间的总粉尘浓度中位数;

T_j = 研究对象该工种的工作时间。

1.5.2 累积二氧化硅量($E_{\text{累-总-硅}}$): 计算公式:

$$E_{\text{累-总-硅}} = \sum_{j=1}^n C_j \times T_j \times S_j$$

在此, S_j 表示该工种和工作期间的总粉尘 SiO_2 百分含量中位数。

1.5.3 累积呼吸性粉尘量($E_{\text{累-吸-尘}}$): 计算公式:

$$E_{\text{累-吸-尘}} = \sum_{j=1}^n C_j \times T_j \times R_j$$

在此, R_j 表示 j 工种的总粉尘的呼吸性百分数。应说明,计算该指数时,70余个工种已归为9个工种。

1.5.4 累积呼吸性矽尘量($E_{\text{累-吸-硅}}$): 公式:

$$E_{\text{累-吸-硅}} = \sum_{j=1}^n C_j \times T_j \times S_j \times R_j \times K$$

K 表示一常数,即将总粉尘矽尘转化为呼吸性矽尘系数,取值0.4688。

1.6 统计分析方法 总粉尘与呼吸性粉尘关系研究采用中位数分析,呼吸性矽尘与矽肺间暴露-反应关系采用 Logistic 多元回归分析,以上统计处理均使用美国 SAS 分析软件在微机内进行和完成。

2 结果

2.1 呼吸性粉尘与总粉尘浓度关系

将钨矿井下采矿和井上选矿的工作种类分别归为9个工种,测定其呼吸性粉尘和总粉尘浓度,结果见表1。

表1 钨矿9类工种呼吸性粉尘浓度(R)与总粉尘浓度(T)间的相关分析

工种	样本数	呼尘占总尘的百分比(中位值)	相关系数
井下风钻工	144	47.96	0.96**
井下爆破工	45	40.73	0.94**
井下支柱工	30	34.50	0.89**
井下运矿工	89	45.08	0.83**
井下手锤工	42	40.46	0.90**
井下测尘工	123	47.65	0.95**
井下其它工	26	69.03	0.89**
选矿干式破碎工	41	47.30	0.90**
选矿工	37	48.40	0.87**

** 表示R与T两者的相关呈高度显著

可见,各工种呼吸性粉尘占总粉尘的比例较为恒定,其中位数范围在34.50~69.03之间,由表中的百分比值,可计算出各个体的呼吸性粉尘浓度。

2.2 呼吸性粉尘游离二氧化硅的估计

由于既往呼吸性粉尘 SiO_2 含量资料缺乏,本文利用各矿历史和现在的积尘 SiO_2 分析资料,与近期分析的呼吸性粉尘 SiO_2 资料求得一常数,见表2。

表2 呼吸性粉尘和积尘SiO₂的比值

单 位	积尘中SiO ₂ %			呼吸性粉尘 SiO ₂ % (4)	呼吸性粉尘SiO ₂ /积尘SiO ₂		
	同济 (1)	NIOSH (2)	历史综合 (3)		(4)/(1)	(4)/(2)	(4)/(3)
盘古山	72.7	66.0	66.0	17.0	0.2338	0.2576	0.2576
铁山垄	33.0	29.0	28.0	40.4	1.2240	1.3931	1.4429
西华山	40.3	48.0	50.5	27.1	0.6724	0.5645	0.5366
荡坪	55.9	52.0	48.0	45.0	0.8050	0.8654	0.9375
漂塘	48.9	37.9	46.0	13.6	0.2781	0.3588	0.2957
下垄	50.0	43.7	45.0	21.1	0.4220	0.4828	0.4688
大吉山	39.1	26.7	54.0	19.1	0.4883	0.7154	0.3537
画眉坳	24.9	33.3	23.0	38.9	1.5622	1.0157	1.6913

注：历史综合指在有限的历史数据中所取的中位值

从众多的呼吸性粉尘 SiO₂ 含量与积尘 SiO₂ 含量比值中取其中位数 0.4688 为常数，再将历史各工种积尘 SiO₂ 含量，通过这一常数转换为呼吸性 SiO₂ 含量。

2.3 研究人群一般特征描述

本次研究人群的分布情况见表 3。

表3 人群按疾病特征的矿山分布

矿山名称	总调查人数	可疑矽肺人数	I 期或以上期别	死亡人数
盘古山	1751	15	21	12
铁山垄	844	10	0	7
西华山	1320	32	7	44
荡坪	1149	19	1	22
漂塘	761	6	0	28
下垄	816	0	0	21
大吉山	1689	21	1	58
画眉坳	1358	40	6	66
合 计	9688	143	36	258

按有无矽肺分组，描述人群粉尘暴露情况见表 4。

表4 矽肺各组人群观察期间的粉尘暴露估计

矽肺期别	人数	开始接尘年龄均数(岁)	累积呼吸性粉尘均数(mg)	累积呼吸性矽尘(μg)
无矽肺(0期)	9509	22.67	9.28	2753.1
可疑矽肺(0 ⁺)	143	24.82	11.56	3594.8
I 期或以上期别	36	25.39	12.16	3846.7

表 4 显示，开始接尘年龄、累积呼吸性粉

尘、累积呼吸性矽尘数值均随尘肺期别升高而增大。

2.4 呼吸性矽尘与矽肺暴露-反应关系的 Logistic 回归分析

模型中考虑的因变量有 2 个，矽肺和可疑矽肺，矽肺指 I 期或以上矽肺患者，可疑矽肺指 0⁺ 期，以 0, 1 为变量赋值。自变量开始考虑了 3 个，开始接尘年龄 (X₁)，累积呼吸性粉尘 (X₂) 及累积呼吸性矽尘 (X₃)，在模型筛选中，因 X₂ 与 X₃ 呈高度相关而将 X₂ 剔除，最后建立以 X₁ 和 X₃ 为自变量的 Logistic 多元回归终模型，最大似然法估计的自变量参数均为正值，说明 X₁ 和 X₃ 对矽肺发病概率有正效应并具有高度显著性，详见表 5、6。

表5 以可疑矽肺为因变量的 Logistic 回归分析

变量名	参数估计	χ ²	P
截距	-7.2084	255.91	<0.01
开始接尘年龄	0.0923	33.24	<0.01
累积呼吸性矽尘	0.000257	42.94	<0.01

回归模型 $P_0 = 1 / (1 + e^{-[-7.2084 + 0.0923X_1(\text{岁}) + 0.000257X_3(\mu\text{g})]})$

表6 以矽肺为因变量的 Logistic 回归分析

变量名	参数估计	χ ²	P
截距	-9.3369	120.86	<0.01
开始接尘年龄	0.1164	15.76	<0.01
累积呼吸性矽尘	0.000287	22.00	<0.01

回归模型 $P_1 = 1 / (1 + e^{-[-9.3369 + 0.1164X_1(\text{岁}) + 0.000287X_3(\mu\text{g})]})$

按表中回归模型推算,假定开始接尘年龄 X_1 为20~24岁,实际接尘工龄30年时,控制I期或以上期别尘肺发病概率在0.01水平时,呼吸性矽尘的平均暴露量为 $247\mu\text{g}/\text{m}^3$,对于最轻的矽肺期别 0^+ ,则为 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

总粉尘、呼吸性粉尘、呼吸性矽尘三者间存在着一种函数关系,即呼吸性粉尘浓度(mg/m^3) = 呼吸性矽尘的平均暴露量(mg/m^3)/呼吸性粉尘 SiO_2 含量(%).在此,呼吸性矽尘的平均暴露量为 $0.24\text{mg}/\text{m}^3$,对已知 SiO_2 含量的矿山,尘肺发病概率控制为0.01时,呼吸性粉尘容许浓度推荐值见表7。若目标旨在不发生尘肺,容许的呼吸性矽尘平均暴露量为 $0.07\text{mg}/\text{m}^3$,其推荐值见表8。

表7 不同石英含量矿山呼吸性粉尘容许浓度推荐值(工作30年I期或以上期别尘肺发生概率<0.01)

呼吸性粉尘 SiO_2 含量(%)	呼吸性粉尘浓度(mg/m^3)	呼吸性粉尘 SiO_2 含量(%)	呼吸性粉尘浓度(mg/m^3)
10	2.4	60	0.4
20	1.2	70	0.34
30	0.8	80	0.3
40	0.6	90	0.27
50	0.48		

表8 不同石英含量矿山呼吸性粉尘容许浓度推荐值(终身工作不会发生任何明确的尘肺)

呼吸性粉尘 SiO_2 含量(%)	呼吸性粉尘浓度(mg/m^3)	呼吸性粉尘 SiO_2 含量(%)	呼吸性粉尘浓度(mg/m^3)
10	0.7	60	0.12
20	0.35	70	0.1
30	0.23	80	0.09
40	0.18	90	0.08
50	0.14		

3 讨论

研究期间(1960~1991年),钨矿的生产条件相对恒定,主要是采取以风、水为主的综合防尘下的机械化采矿方式。因此,目前的呼吸性粉尘和总粉尘的比例研究结果可以代表整个研究期间的情况,并且,可根据总粉尘的浓

度估算呼吸性粉尘的组份。研究发现,在这种采矿条件下,呼吸性粉尘占总粉尘的比例较大,且工种间的差异较小,按工作种类不同,呼吸性粉尘占总粉尘比例中位数在34.5~50.0%之间,呼吸性粉尘中 SiO_2 含量是总粉尘中 SiO_2 含量的46.88%。这些结果与以往的报道非常一致^[3~5]。用两个比值关系计算的呼吸性粉尘 SiO_2 累积暴露量与矽肺发病概率间存在很强的联系。

我国现行粉尘卫生标准,一般仍按总粉尘浓度($2\text{mg}/\text{m}^3$)执行,矿山的防尘措施大多是旨在达到该水平而制定的,然而,由于种种众所周知的原因,这一标准不够合理,推行呼吸性矽尘容许浓度标准势在必行。在美国,职业安全卫生管理委员会(OSHA)目前允许的呼吸性石英暴露限值为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$,世界卫生组织工作组提出的暴露限值则为 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ 。

本文根据历史性总粉尘资料合理地估计工人的职业暴露水平,结合近期的呼吸性组份的测定,建立了呼吸性粉尘成份与矽肺间的剂量-反应关系。在分析中,不仅考虑把I期或以上矽肺作为反应变量进行分析,而且也建立了以可疑矽肺(0^+)为因变量的Logistic回归模型,使我们能够估计呼吸性矽尘的最轻作用水平。假定开始接尘年龄在20~24岁,工作年限30年(每周工作6天,每工作班8小时,一周工作48小时),控制I期或以上矽肺发病概率在0.01时,推荐的结晶性游离石英的暴露限值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$;若要保证工人终身工作期间,不发生任何明确的尘肺期别,推荐的暴露限值为 $0.07\text{mg}/\text{m}^3$,这低于OSHA的法定暴露限值,但高于NIOSH和WHO专家工作组的推荐值。

鉴于钨矿的粉尘暴露情况有其代表性,所提出的呼吸性矽尘暴露限值对非煤金属性矿山具有普遍意义。

4 参考文献

- 1 江西省赣州有色金属研究所. 江西主要钨矿防尘效果评价. 1985.

(下转第93页)

内, 间隙中作业, 有一定限制, 必须在短时间内完成定额任务。

2.4.3 各工种单项活动能量代谢率较高 (见表2)。

表2 各工种单项活动时间和能量代谢率

工种名称	单项活动所需时间 (分)		单项活动能量代谢率 (千卡/分·平方米)	
	主 活*	辅助活**	主 活	辅助活
车辆钳工				
钩缓作业	322.9	82	3.5183	2.5138
货修台车	337.8	86	3.8440	3.2400
车体木工	295.56	147	3.2202	2.3423
车盘作业	321.6	96	4.2325	2.0650
内燃钳工				
车下作业	248.98	91	3.2294	2.0742
轴箱作业	245	91	3.1244	2.0743
柴油机作业	276	112.8	4.5472	2.7138
制栓钳工	289	116	3.8869	2.2179
制动钳工	286.9	104	3.4882	2.6362
电机钳工	239.2	140	3.7906	2.0350
验瓦工	316.7	134	3.7267	2.7579
检车工	283	83	4.3816	2.3436
线路测量工	416	16	3.2525	1.3652
养路工				
改道作业	275	66	4.3610	3.0275
清筛作业	186	81	4.9972	3.9125
捣固作业	288	78	4.7025	2.2266
装卸工				
司索作业	271	122.6	3.5420	2.7964
叉车作业	304	44.9	3.9147	1.2252

*主活包括该岗位的主要活动工作, 如检修作业包括拆卸、组装。

**辅助活包括准备工具、搬运等。

在岗位劳动过程中, 有主要劳动和辅助劳动。各岗位主要单项劳动和辅助单项活动是不同的。从调查特有工种中可以看出, 主要单项活动占净劳动时间的70%以上, 有的工种岗位占90%, 而岗位工人的主要单项活动的能量代谢率也相应的高, 这类岗位耗能值都超过2000千卡/日·人, 说明铁路特有工种岗位, 体力劳动强度大, 主要的劳动占主导地位, 辅助劳动次

之, 属于重体力劳动强度, 影响工人身体健康, 必须控制劳动时间, 调整劳动定额。

2.4.4 内燃钳工两个岗位属于中等劳动强度, 如车下作业和轴箱作业, 然而该岗位工作特点是在车下作业促使工人强迫体位, 工人的疲劳感非常强烈, 在体力劳动强度分级上不能表现出来。

2.4.5 特有工种另一个特点是, 不是连续作业。比如在一个月内分段作业, 一个任务3~4天, 完成任务后, 可能休息2~3日再作, 也可能连续7~8天工作再休息, 有时是不规律的, 有时有超定额超劳等现象, 在体强分级上也表现不出, 因此我们认为铁路特有工种岗位, 除体力劳动强度大以外, 还有工作时间不规律性, 强迫体位的特点, 不能在分级上表现出来, 有待今后探讨。建议按照铁路运输的特点和规律, 合理的调整工人的劳动时间和劳动定额, 逐步实现机械化作业。

3 经验

在调查和测定过程中, 我们认为该注意以下几方面才能正确反应出体力劳动强度。

3.1 详细的工时记录和正确的单项活动分类, 是测定能量代谢率的重要基础, 尤其是单项活动分类是更重要的, 分类不清会使强劳动划分为轻劳动, 或相反。

3.2 对被测者进行宣传解释, 良好配合, 避免人为的加大呼吸, 在正常作业的过程中进行能量代谢测定, 测定者不要离开工作地点, 免出异差, 以防返工。

3.3 能量代谢的单项活动测量不能在一个工人身上测量, 同样活动可在同岗位的其他工人测量, 这样会避免工人疲劳和烦恼, 避免影响生产任务的完成。

3.4 铁路工作的时间, 工种岗位不同时间不同, 有5h、6h、8h、12h、24h等工作日, 国家标准为8小时工作日计算, 不同的时间换算成8小时, 有的岗位能耗值加大了、有的岗位能耗值减少了。建议国家标准制定者应考虑不同劳动时间问题。

3.5 劳动时间不规律、强迫体位等因素, 国家标准制定者也应考虑。

(承蒙于永中教授指导, 在此表示感谢。)

(上接第71页)

- 2 陈镜琼, 主编. 接尘工人矽肺和肺癌研究. 武汉: 同济医科大学出版, 1991; 192
- 3 Bone CM, et al. Comparison of foundry dust evaluation by various methods. Am Ind Hyg Assoc J 1975; 37(9):537

- 4 TKACEV, VV. Study of mine dust by a two-step gravimetric method. Gigiena Truda I Professional nye Zabolevaniya. 1979; 5: 32(in Russian)
- 5 符绍昌, 等. 车间空气中呼吸性粉尘卫生标准草案 1992; 5

Abstracts of Original Articles

Investigation on the Reproductive Effects in Female Workers Exposed to Manganese

Yu Huizhu, et al

The study showed that the incidence of distending pain of the breast, somnolence, insomnia, fatigue at premenorrhea phase were significantly higher in female workers exposed to manganese than those in non-exposed workers. When exposed level was $<0.4 \text{ mg/m}^3$, the incidences of menostaxis or infrequent menstruation became significantly higher in the exposed group than those in the control group, when incidences of irregular menstruation, infrequent menstruation, menostaxis and dysmenorrhea were significantly higher in the exposed group than those in the control group, and definite exposure-response relationship was revealed. There were no differences between the exposed group and the control group in birth defects, death, asphyxia and lowbirth weight in new-borns, and also no differences in intelligence, growth and development in children, but the incidence of birth defects of the offsprings from exposed females was higher than that of national average birth defects (13%), RR was 2.6.

Key words: menstruation, reproductive outcome, exposure-response relationship

Study of Allowable Limit of Occupational Exposure to Quartz in Respirable Dust

Li Ke, et al

we have selected eight large tungsten mines and used the methods of restrospective cohort study. By means of logistic regression, the results showed that the exposure limit of quartz in respirable dust is $245 \mu\text{g/m}^3$ if the

probability of pneumoconiosis for the 30 years length of exposure. In the author's opinion, the exposure limit is $70 \mu\text{g/m}^3$ if no pneumoconiosis will occur in a period of 30 years of exposure.

Key words: respirable silica, pneumoconiosis, exposure limit

A Pathological Study on Pneumoconiosis Caused by Raw Cement Dusts

Zhang Xuqin, et al

Five autopsized cases which only exposed to raw cement material dusts were reported in this paper. Their characteristics of pathologic changes concerned with dusts in the lungs are as follows: (1) numerous dust fibrosis foci and focal emphysema are formed in parenchyma of the lungs, (2) there are "cement bodies" in dust fibrosis focal, (3) mixed dust nodules are formed in the lungs of part cases, (4) there are chronic bronchitis and slight pulmonary fibrosis. By means of EDXA, SEM, EDXA-SEM and X-ray diffraction, the elements of the dust foci, the nodules were detected. The nodules in lung tissue were observed, the results showed that the elements of intrapulmonary dusts are similar to the environmental raw cement dusts. Therefore, we considered that the pathologic changes in the lungs are caused by the raw cement material dusts.

Key words: cement, raw material, cement body, macule

Analysis of The Reading Deviation between High kV Chest films Taken by 200mA X-ray Generator Reformed and Old ones

Ha Kuanting, et al

Reading deviations between high kV chest films of 226 coal workers taken by