

造船厂矽尘总尘与呼尘浓度的关系探讨

毛革诗¹, 梁娇君¹, 杨磊²

(1. 武汉市职业病防治院 湖北 武汉 430015 2. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院 湖北 武汉 430030)

摘要: 为比较中国、美国和德国粉尘采样方法测定的总尘与呼尘浓度比例关系, 分析国产与美国、德国产粉尘采样器测定结果的可比性。在某造船厂的铸造车间于呼吸带高度平行采样 8 d 测定总尘、呼尘浓度; 分别计算总尘与呼尘浓度的比值, 分析其影响因素; 以方差分析、相关及回归分析对结果进行统计。结果: (1) 采用国产与美国、德国产采样器测得的总尘与呼尘浓度比值进行比较, 差异无统计学意义 (ANOVA-SNK 检验, $P > 0.05$)。 (2) 国产与美国产粉尘采样器测定的总尘与呼尘比值随着测尘距离增大而增大, 但德国产仪器测定结果则反之。 (3) 总尘与呼尘浓度呈线性相关, 只是国产仪器总尘与呼尘相关程度低于德国和美国。提示, 国产仪器粉尘采样总尘、呼尘浓度比值与美国及德国的仪器具有可比性。

关键词: 总尘; 呼尘; 采样方法; 测定结果; 比值; 可比性

中图分类号: R134 4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-221X(2011)02-0113-03

Study on the relationship between total dust and respirable dust concentrations with different sampling methods

MAO Ge-shi¹, LIANG Jiao-jun¹, YANG Lei²

(*: Wuhan Municipal Hospital for Prevention and Treatment of Occupational Diseases, Wuhan 430015 China)

Abstract: Objective To study the relationship between total dust and respirable dust concentrations by different sampling techniques using the instruments of China, USA and Germany respectively. Methods The air concentrations of the total dust and respirable dust in a foundry workshop of Wuchang Shipyard were determined for consecutive days using the three different samplers. All the samplers were located in the workplace at the height of respiratory zone and to take parallel sampling at the same time. The analysis of variance (ANOVA), and regression analysis were used to deal with the data especially its influence factors such as work types and distances from dust source to sampling sites. Results It was showed that (1) there was no significant difference in ratios of total dust to respirable dust using different sampling instruments from China, USA and Germany respectively ($P > 0.05$). (2) Compared to the results from Germany samplers, the ratios both from Chinese or US instruments were all increased with the distance between source and sampling sites ($P < 0.05$). (3) there was a positive linear relationship between total dust and respirable dust concentrations, despite the correlation coefficient by Chinese instrument was the lowest compared to that by German and US instruments. Conclusion The results suggested that the ratio of total dust to respirable dust by Chinese instrument was comparable with that by Germany and US instruments.

Key words: total dust; respirable dust; sampling method; determination result; comparability

德国和欧洲劳动卫生标准 (DIN EN481) 已将粉尘或气溶胶分为 3 个组分, 即可吸入组分、胸部组分和呼吸性组分^[1]。实际工作测定的主要是可吸入组分和呼吸性组分的粉尘。德国在 1996 年前采用总尘和细尘, 尽管这与可吸入和呼吸性粉尘有一定差别, 认为执行标准 DIN EN481 尚不必改动其原有的粉尘采样仪器。欧洲呼吸性粉尘采样遵循 BMRC 分离曲线^[1]。我国劳动卫生标准 2002 年做了重大修改, 要求测定呼吸性粉尘 (以下简称呼尘) 且为时间加权平均浓度 (time-weighted averages)^[2], 并采用 BMRC 曲线。众所周知, 我国在过去约半个世纪积累了大量总粉尘测定数据 (以下简称总尘) 及尘肺流行病学调查资料。如果考虑继续使用这些粉尘数据, 将过去的流行病学调查与国外或我们将来的资料相比较, 就

需要研究总尘与呼尘的换算系数。因此, 本文通过现场测定结果, 对总尘与呼尘比例关系作探索性研究。

1 对象与方法

1.1 对象

测尘地点为某造船厂铸造车间造型作业和清铲作业岗位。

1.2 仪器与材料

中国总尘采样器: FC-2 型 (武汉分析仪器厂); 中国呼尘采样器: AKFC-92 型个体粉尘采样器 (常熟矿山机电器材厂)。美国采样器: 总尘、呼尘采样头 (10 mm 尼龙旋风式预分离器, ACGH 曲线), 1~5 L/min 采样泵 (MSA, NIOSH 赠)。德国采样器: 总尘、呼尘采样头 (BMRC 曲线), 1~5 L/min 采样泵 (Gilian)。万分之一和十万分之一分析天平, 总尘、呼尘滤膜均为过氯乙烯测尘滤膜。

1.3 方法

1.3.1 现场采样 (1) 在车间内同一测尘地点设置美国、

收稿日期: 2010-05-05 修回日期: 2010-11-22

作者简介: 毛革诗 (1968-) 男, 副主任医师, 硕士, 研究方向: 职业病危害因素检测与评价。

德国和国产的总尘和呼尘采样器，并且将所有采样器放置在一起，于呼吸带高度平行采样。每天测定 4 个粉尘点，采样工作持续 8 d。清铲车间采样 6 d，造型车间采样 2 d。（2）美国仪器测定的呼尘也为 TWA 浓度。上述采样器均每天连续采样 6 h 测定 TWA 浓度。（3）美国总尘采样流量为 2 L/min，呼尘为 1.7 L/min；德国总尘采样流量为 3.5 L/min，呼尘为 2 L/min；国产呼尘采样流量为 2 L/min。总尘为瞬时浓度（即在测尘地点，于整个工作班多次地进行总尘瞬时采样，采样流量 15 L/min，每次采样时间 30 min）。各采样器流量在采样前均校正。

1.3.2 滤膜处理 采样滤膜在称量前和采样后均置于干燥器内干燥 2 h。除中国总尘滤膜的称量用万分之一分析天平，其余的滤膜均用十万分之一分析天平进行分析。

1.3.3 样本和浓度计算 （1）美国和德国采样器采集测定的总尘和呼尘均为 TWA 浓度，中国呼尘亦为 TWA 浓度，直接以样品增重值与测定时间的比值为样品浓度。（2）中国总尘浓度计算：每个采样点总尘浓度 = $(c_1t_1 + c_2t_2 + \dots + c_nt_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)$ ， $c_1, c_2, \dots, c_n$ 分别表示单个样品浓度， $t_1, t_2, \dots, t_n$ 单个样品采样时间。（3）求出每一测尘地点的中国、美国和德国总尘样本浓度对应的呼尘浓度比值，并按照工种和测尘距离分别计算总尘与呼尘的比例。为表述方便，采用缩写，中国总尘 CT，呼尘 CR；美国总尘 AT，呼尘 AR；德国总尘 GT，呼尘 GR。

1.4 统计分析

采用 SPSS13.5 软件进行统计分析，不同采样总尘与呼尘比例系数显著性检验用 one-way ANOVA 分析，各组间两两比较采用 SNK 检验，并且进行了不同采样总尘与对应呼尘浓度的回归方程分析。

2 结果

2.1 中国、美国和德国采样器采集样本的总尘（Total dust T）与呼尘（respirable R）浓度的 T/R 比值

由表 1 可见，中国仪器采样总尘与呼尘浓度的比值和德国的更接近，比值的变动范围大，但 ANOVA 分析显示，该比值在各国仪器采样结果间的差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

表 1 不同采样仪器总尘、呼尘浓度比值

类别	样本数	T/R 比值范围	均值
中国采样器	32	1.05 ~ 46.30	8.78
美国采样器	29	1.08 ~ 19.56	3.84
德国采样器	31	1.93 ~ 61.78	8.47

注：T/R 比值在不同采样类别间比较，ANOVA $F = 2.414$ $P = 0.095$ 。

2.2 中国、美国和德国采样总尘与呼尘浓度比值与工种的关系

由表 2 可见，在同一工种（工序）国产仪器采样总尘与呼尘浓度比值最高；在不同工种，采样离尘源点的距离影响着比值的变化。

2.3 中国、美国和德国仪器采样总尘与呼尘浓度相关性分析

由表 3 可见，美国和德国仪器采样总尘与呼尘浓度的相关性高于中国。

表 2 不同采样总尘与呼尘浓度及其比值与工种的关系 mg/m^3

工种	中国			美国			德国		
	CT	CR	CT/CR	AT	AR	AT/AR	GT	GR	GT/GR
造型	1.64 (8)	0.20 (8)	8.37	0.93 (6)	0.28 (8)	3.26	1.10 (8)	0.35 (8)	3.11
清铲	4.42 (24)	0.90 (24)	5.17	1.63 (23)	0.58 (24)	2.78	2.61 (24)	0.60 (23)	4.36
合计	3.72 (32)	0.69 (32)	5.41	1.48 (29)	0.51 (32)	2.91	2.24 (32)	0.54 (31)	4.17

注：（ ）为样本数，采样距离清铲 $> 3 m$ ，造型 $< 3 m$ 。

表 3 不同仪器采样总尘与呼尘浓度相关性分析

仪器产地	总尘与呼尘		
	n	值	P 值
中国	32	0.476	0.006
美国	29	0.528	0.003
德国	30	0.672	< 0.0001

2.4 不同采样总尘与呼尘浓度回归方程

在散点图分析的基础上（图 1），以中国、美国、德国仪器采样总尘浓度为自变量，对应呼尘为因变量，用直线回归方法对以上总尘-呼尘浓度关系曲线拟合方程得：

中国总尘-呼尘浓度关系： $Y = 0.0781X + 0.4450$ $r^2 = 0.396$

美国总尘-呼尘浓度关系： $Y = 0.1686X + 0.2753$ $r^2 = 0.572$

德国总尘-呼尘浓度关系： $Y = 0.2091X + 0.0819$ $r^2 = 0.712$

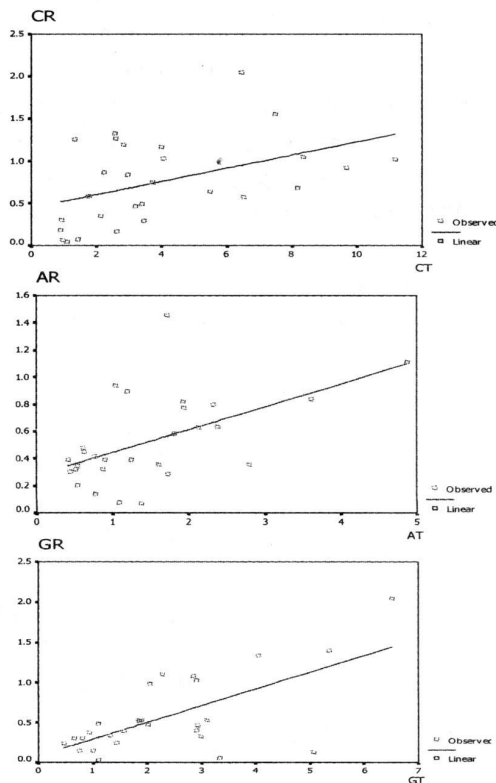


图 1 3 种仪器测得总尘与呼尘浓度的关系

3 讨论

3.1 铸造粉尘在性质上同属于矽尘,从结果看出,造型和清铲工种的中国、美国及德国仪器采样测定总尘与呼尘比值,以国产采样测定浓度比值最大。由于中国呼尘采样与德国一样采用 BMRC分离曲线,与德国可比性较强。只是在本研究,中国总尘采样仍采用传统的方法,测定的是瞬时浓度,因此总尘与呼尘浓度比值最高。从总体看,中国采样总尘与呼尘浓度比值与德国的相近(表1),均在8:1。美国采样总尘与呼尘比值低得多,为3.8:1。对那些没有专门规定的,非溶和难溶解的“惰性”粉尘,美国 ACGIH将其总尘定为 $10\text{ mg}/\text{m}^3$,呼尘为 $3\text{ mg}/\text{m}^3$,其比值为3:1^[6],本现场研究结果支持这个取值。

3.2 在严格控制采样条件下,欧洲几个国家在煤矿对粉尘浓度开展大量的比较测定,比较的因素包括煤矿类型、机械(掘进机械、切煤机械)类型、采样器与尘源的距离^[4]。粗略看来,总粉尘与呼吸性粉尘之间似乎并没有确切的联系,但仔细分析比较发现,采样点与尘源的距离是一个非常重要的影响因素,采样器距离尘源越近,总尘与呼吸性尘的比值会越高,距离越远则越低。这可能是因为大颗粒在空气中易于沉降,而呼吸性粉尘则相反,颗粒小,难沉降,在较远距离仍漂浮于空气中。就本次现场采样测定结果而言,清铲车间采样距离尘源均大于 3 m ,造型车间采样距离尘源均小于 3 m ,造型车间采样距离较近,因此,中国和美国的总尘与呼尘比值大于清铲车间,与上述研究结果一致。但是,德国总尘与呼尘的比值却相反,出现这种情况,分析其原因,尘源的距离远近影响比值的大小虽然是一个重要因素,但是它可能还受到粉尘产生方式、环境因素的影响,只有在严格控制这些因素的情况下,才能明确总尘与呼尘的比例关系。根据工种、距离对总尘与呼尘比例的影响,可以启发我们,在工种相同的情况下(即产生粉尘的方式比较一致时),采样器离尘源点距离的远近,与采集测定总尘、呼尘浓度存在着依存变量关系。生产和环境因素对总尘与呼尘浓度比值的影响仍值得探讨,或许可增加样本量来抵消干扰因素的影响。

3.3 过去,我国劳动卫生学调查主要测定总尘,且为瞬时浓度,历史上积累了许多总尘资料。通过总尘与呼尘转换系数对这些资料进行处理,便于继续使用。这也是世界范围内遇到的问题。美国在历史上曾采样测定粉尘的计数浓度,后来改为质量浓度。他们在上世纪60年代进行大量现场比较研究,求得转换系数,来解决此间的衔接问题。如何开展这项

工作是一个很复杂的问题。有研究显示,总尘与呼尘的关系不存在通用的公式,在某个厂矿研究得到的结果只在该局部有效^[5],这是由于在工作场所中,受生产和环境多种因素的影响,工作场所粉尘的浓度变化很大。本次现场测定结果粗略看来也并无明显规律,但细分析结果显示,虽然中国总尘与呼尘相关性比美国及德国的稍低,但是总尘与呼尘的比例在中国、美国及德国之间的比较并无明显差异($P>0.05$)。这也提示了中国与美国及德国总尘、呼尘浓度比例之间具有可比性。本次测定结果中,中国、美国和德国的总尘与呼尘浓度的相关系数 r 分别为0.476、0.528和0.672。统计学认为,相关系数 <0.3 属于相关程度差,0.3~0.5即属于相关程度中等, >0.5 属于相关程度较好^[7]。显然,美国和德国采样总尘与呼尘的相关程度已经属于较好,中国总尘与呼尘的相关程度尽管比德国、美国低,但也属于中度相关。可以认为,工作场所总尘和呼尘浓度存在一定的关系。在散点图分析基础上,作回归拟合直线,可求得各国总尘与呼尘浓度的回归方程。然而,此类转换系数公式的代表性及其影响因素仍值得在更多的厂矿进一步研究。

参考文献:

- [1] DRG MAK-und BAT-Werte-Liste 2001, Mitteilung 37, Weinheim WILEY-VCH 2001, 9-16
- [2] 刘占元,刘茁,韩明禄.对《工作场所粉尘容许浓度》(GBZ2-2002)中几个问题的商榷[J].工业卫生与职业病,2003,29(1):1-4
- [3] Dahmann D, Plitzko S, Yang L, et al. Comparison of sampling instruments using DIN EN 13205 [J]. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 2004, 64: 345-352
- [4] Ambauer L, Bauer H D, Hesse F. Untersuchungen zum Umrechnungsverhältnis zwischen gemessenen Gesamt und Feinstaubkonzentration bei silikogenen Grubenstauben in Steinkohlenbergbau [J]. Kompag, 1993, 103: 287-292
- [5] Dahmann D, 杨磊,王正伦.粉尘测定的采样方法及其结果的可比性[J].中华劳动卫生职业病杂志,2003,21(4):297-298
- [6] ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents. Biological exposure indices [J]. Cincinnati 2010, 74-77
- [7] Goutchase V, Kuijer P, Wind H, et al. Criterion-related validity of functional capacity evaluation lifting tests on future work disability risk and return to work in the construction industry [J]. Occup Environ Med 2009, 66: 657-663

(上接第103页)

接触0.5 h左右而出现中毒症状。8例均有明确短时间内吸入较大量乙腈的接触史,同岗位工人多人发病,症状相同,主要为头昏、头痛、胸闷、气短、乏力、咽喉不适等症状,检查均有咽喉炎及尿硫氰酸盐增高,多数病例出现心电图异常等,符合急性乙腈中毒的临床表现。

3.3 同一工厂发生两次同样的事故应引起领导重视,生产过程中应加强管理,设备应经常检修,对有安全隐患的部门应

对职工进行健康教育,使其了解乙腈中毒的防护知识及临床表现,以防范和有效遏制此类中毒事件的发生。

参考文献:

- [1] 何凤生.中华职业医学[M].北京:人民卫生出版社,1999,711-713
- [2] 王莹,顾祖维,张胜年等.现代职业医学[M].北京:人民卫生出版社,1996,290-292
- [3] 王招兄.急性乙腈中毒一例报告[J].职业卫生与应急救援,2003,21(2):104