

粉尘容许浓度的 现场调查研究方法

田 风 调 主 编

人 民 卫 生 出 版 社

粉尘容许浓度的现场 调查研究方法

主编 田 凤 调

作者名单（按姓氏笔划先后排列）

田凤调 刘占元 伦汉清

陈宁蒙 金水高 周燕荣

胡丕烈 郭 乃 秦叔铨

人 民 卫 生 出 版 社

内 容 提 要

本书提供了一整套研制粉尘容许浓度的现场调查研究方法。全书共分两章，系统介绍了调查设计、基础资料、研究指标与研究方法，特别是结合我国特点而建立起来的六种方法及其应用实例。此外，在附录中还汇列了有关材料，供读者查阅。本书可供劳动卫生与职业病防治人员、从事预防医学的科研教学人员、技安人员及基层医务人员参考。

粉尘容许浓度的现场调查研究方法

田 凤 调 主编

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里10号)

北京顺义寺上印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 4印张 86千字

1985年3月第1版 1985年3月第1版第1次印刷

印数：00,001—4,400

统一书号：14048·4882 定价：0.83元

[科技新书目 85—64]

序 言

现场调查研究对于制订、验证和修改作业场所中有害物质容许浓度有着重要的意义。

五十年代，我国曾对粉尘浓度、尘肺患病率与平均发病工龄之间的消长变化关系进行过研究，初步摸索到一些规律，以后在较长的一段时间里一直利用这个消长变化关系的曲线来阐明三者的依存关系，评价尘肺防治工作。六十年代，又有人试图用寿命表的方法确定按工龄分组的尘肺患病率。七十年代初，在中南、东北等地区通过各种协作，为寻求尘肺发病与环境因素之间的关系和有效的客观指标与研究方法开展了多方面的工作。例如在接尘人群中如何选择调查对象；如何整理分析粉尘浓度材料；如何根据卫生学的要求和尘肺防治的具体情况筛选研究指标与研究方法等等。在实践中产生了新的学术观点和新的方法，还积累了大量的研究数据。这些数据对修订我国粉尘卫生标准起到了积极的作用。1981年国家卫生标准委员会劳动卫生分委会上审议通过的《车间空气中游离二氧化硅粉尘最高容许浓度修订建议申报资料》中引用的12篇资料其中有9篇是采用本书所介绍的方法，这些方法从不同角度阐述尘肺发病的剂量反应关系，书中还提供了许多重要的参考数据。

1980年12月在桂林召开了全国粉尘卫生标准座谈会，会议纪要中指出：“要对现有各种统计处理方法进行验证。于1981年下半年选择三个游离二氧化硅含量不同的厂矿作为试做现场，将几种方法同时进行运算，通过实践择优推荐一、二

种方法做为国家制订粉尘卫生标准现场调查研究的统一方法。”

根据桂林会议精神，1981年我们先后到江苏无锡和辽宁本溪两地，对高含矽量的无锡江南石粉厂和中等含矽量的本钢耐火材料厂粘土车间进行了调查研究并对大量资料进行了现场试做，有七个单位共13人参加，他们是：

湖北省卫生防疫站 秦叔锟

江苏省无锡市卫生防疫站 杜雪奇

重庆医学院 周燕荣

华北辐射防护研究所 伦汉清 朱新梅

辽宁省劳动卫生研究所 刘占元 张维昌 肖杏元 韩明录

本溪钢铁公司劳动卫生研究所 胡丕烈 郭伍德

中国医学科学院卫生研究所 田凤调 金水高

现场试做的最后阶段，在辽宁省劳动卫生研究所与本溪钢铁公司劳动卫生研究所的倡议和支持下，举行了一次专题座谈会，听取了到会同志的意见，总结了现场工作。

在现场调研试做过程中，对已经建立的方法做了进一步的验证，明确了各个方法的具体应用条件，使原来的方法更加完善。我们体会到“现场试做”是经验交流会、成果鉴定会、科学讨论会的一种特殊形式，其收效是很明显的。

参加现场试做的同志们一致认为，有必要将有关方法汇编成书，以适应当前和今后工作的需要。因此我们编写了《粉尘容许浓度的现场调查研究方法》一书。全书共分两章，第一章介绍几种现场调查研究方法的基本概念，包括调查设计、基础资料、研究指标与研究方法、试做结果；第二章系统介绍各个方法，包括方法步骤和应用举例。此外，在附录中汇集了与粉尘容许浓度没有直接关系，但对现场调查研究有重要

参考价值的几个问题。必要的统计方法和常用工具表也附于书后，供读者查阅。本书的目的是使有关科研人员能正确应用现场调查研究的各种方法。

要说明的是：全书编写过程中，各章节内容尽量做到相互协调，减少重复，但由于各个方法均有其独立性，又兼由几位作者分头执笔，因而对一些公式符号的使用，处理数据的习惯等不便强求统一；另外，由于取用资料的时期有先有后，各法的要求不一，因而同一试做单位同样的基本素材，各法的试做结果也只能是大体相似，而不会完全一样。

本书所列举的各种研究方法均属回顾性流行病学调查，至于前瞻性研究可否应用，尚需在今后的实践中求得答案。我们欢迎大家试用这些方法，并希望广大读者提出宝贵意见。

田 凤 调

1982 年 8 月

目 录

序言	[1]
第一章 总论	1
第一节 概述	1
第二节 基础资料	6
第三节 研究指标与研究方法	20
第四节 试做结果与讨论	26
第二章 几种现场调查研究方法	30
第一节 接尘量回归法	30
第二节 寿命表法	41
第三节 呼吸粉尘值推算法	46
第四节 肺内石英粉尘负荷量估算法	53
第五节 肺内粉尘存留量反推法	75
第六节 粉尘浓度阈限值法	80
附录 I	84
一、粉尘危害指数	84
二、现场尘肺可疑者的早期预报	90
三、接尘工人预期尚存健康人数与预期发病工龄的 分析	97
四、关于粉尘浓度统计方法的补充	104
附录 II	108
一、百分率与概率单位对照表	108
二、相关系数界值表	115
三、t 值表	116
四、肖维涅 (V. Chauvenet) W_n 界值表	117
五、用最小平方法求直线回归方程中的 a 与 b	113

第一章 总 论

第一节 概 述

虽然早在希波克拉底时代人们就注意了劳动者在生产活动中健康受到损害的问题，但采用个人防护和通风换气等办法来防止有害物质对工人的危害，那还是16世纪以后的事情。从理论上讲，把有害物质从作业环境中完全清除出去是可行的，但实际上却是难以做到的。把空气中有害物质降低到什么程度，才能达到保护劳动者健康的目的，这就是提出容许浓度问题的客观必然性。容许浓度的要求是明确而具体的，但它涉及的内容是广泛而复杂的，需要有医学、卫生学、工程技术、化学等多学科的合作才能提出确切的科学根据。

一些工业发达的国家在二十年代（如苏联）、三十年代（如美国、德国）先后提出了毒物的容许浓度。至于致纤维化作用粉尘的容许浓度，则是在以后才提出来的。

第二次世界大战后，对容许浓度的研究引起了世界各国的注意。1956年我国公布了《工业企业设计暂行卫生标准》，规定了毒物和粉尘的容许浓度，以后又相继进行了几次修改。由于各国对容许浓度的概念、定义有不同的观点，反映在制定容许浓度的原则、方法上也有所不同，因而各国公布的粉尘容许浓度之间有很大差异，所使用的名词及其含义也各不相同。我国和苏联用最高容许浓度（предельно допустимая концентрация, ПДК; maximum allowable concentration, MAC）。美国称为阈限值（threshold lim-

it value, TLV)。日本第二次世界大战前叫 θ 限度，后来改为容许浓度。

对粉尘容许浓度的研究，目前还没有一个通用的、一致的方法。西方国家如美国等基本上是研究人员自己选择方法进行研究。1969年美国有过制定研究程序的提议，但没有公布详情。苏联则根据国家容许浓度委员会制定的统一程序进行研究。我国于1979年召开了全国工业企业设计卫生标准科研协作会议，会上讨论通过了车间空气中毒物及粉尘最高容许浓度的科研协作方案，作为研究制订最高容许浓度统一的技术文件。文件对制订容许浓度的研究内容、方法作了一些原则的规定，但某些关键性的方法学问题，尚须在实践中探讨。

目前对粉尘容许浓度的研究方法，大致可归纳为三个方面。

(一) 病理组织学研究

病理组织学研究对制订粉尘容许浓度有重要意义。日本的尘肺研究工作者在这方面作了大量工作。佐野等首先根据对几百例各种尘肺病理组织学的研究结果，把尘肺病理变化分为三型：淋巴型、肺泡型、混合型。其次对尘肺临床病理学、粉尘在肺泡内滞留程度、粉尘灶纤维化强弱、坏死程度及与尘肺恶性程度有关的病理学因子等有关因素，进行了综合分析，将致尘肺性粉尘的危害程度分为高度、中度、轻度三类。最后参考对肺内粉尘量和病变量的研究结果，对三类粉尘提出了不同的容许浓度⁽¹⁾。

欧美的尘肺研究人员多是研究肺内粉尘量和病理、X线的关系。1956年 King 将煤工尘肺病理分为三级，其含尘量：

网织化	8例	15.5g
网织化加混合结节	9例	38.0g
融合纤维化	10例	54.2g

1960年 Rivers 报告煤矿 45 名尘肺患者生前X线片与右肺含尘量：0级：4.3g；1级：10.5g；2级：14.5g；3级：26.7g^[2]。可见尘肺的病理或X线表现和肺内粉尘量的关系是十分密切的。1966年 Negel-Schmidt 在对金属矿山的研究报告：尘肺患者肺内含尘量1级：5g；2级：6g；3级：7g。他认为肺内粉尘含量<4g时，不会引起尘肺^[3]。当然这种估计没有把许多有关因素考虑进去。

(二) 动物实验

动物实验是制订粉尘容许浓度的重要依据之一。研究粉尘的致纤维化能力和生物学作用，都可以从动物实验中得到结果。无论是研究单一粉尘的致尘肺作用，还是探讨多种粉尘的联合作用，其结果对制订粉尘容许浓度都有很大的意义。但定量研究上有些问题尚需探讨。

(三) 现场调查研究

粉尘作业现场的劳动卫生学研究和接尘工人长期健康观察的流行病学研究，是进行粉尘容许浓度研究的基础，所得结果是制订、验证、修改粉尘容许浓度的重要根据。

对粉尘作业环境中粉尘浓度和工人尘肺发病率进行长期的动态观察，根据动态观察资料，分析和研究粉尘接触剂量和尘肺发病之间的关系，这一工作早已引起国内外的注意。1955年 Hatch 曾用 1920~1950 年南非金矿的粉尘浓度和每年 2.5~3 万名工人健康检查资料，以粉尘浓度(mg/m³)与接尘工龄(年)的乘积作为指标，分析它与矽肺患病率的关系，得出结论：接尘 30 年，患病率不超过 1% 时，则粉尘

容许浓度不能超过 $0.27\text{mg}/\text{m}^3$ ^[4]。类似的工作,在西德、英国、日本以及我国都有过报告。各国根据本国的具体情况提出了各自的粉尘接触量指标,在方法学上也进行了一些探讨,归纳起来可分为以下几类:

1. 以粉尘接触量为指标

(1) 粉尘浓度 (mg/m^3) 与工龄 (年) 的乘积 (Hatch 1955)^[4],

(2) 粉尘指数 dust index (Toit 1969)^[5],

(3) 粉尘接触累积值 dust exposures (Reisner 1969)^[6],

(4) 粉尘水平 dust level (Bedlle, Haris 1969)^[7],

(5) 粉尘年 (Theriault 1974)^[8],

(6) 毫克·年 (田凤调等 1980)^[9],

2. 以肺内粉尘沉积估计量为指标

(1) 粉尘沉积量 (御厨洁人 1959)^[10],

(2) 肺内粉尘沉积量 (张琪凤 1965)^[11],

(3) 肺内石英粉尘负荷量 (伦汉清 1978);

(4) 肺粉尘存留量 (胡丕烈 1980);

3. 以吸入粉尘量即呼吸粉尘值为指标 (辽宁省劳动卫生研究所 1977)^[12]

一般说来,上述这些指标是为了研究粉尘与尘肺关系而提出来的,但在研究方法上各有不同。有的是在研究粉尘不同接触水平与尘肺患(发)病率的基础上,通过回归分析和寿命表等方法,探讨某种粉尘容许浓度的数值。有的是探求尘肺发病的肺内粉尘沉积量,从而估算出一定年数内不致引起尘肺的粉尘浓度。还有的是依据尘肺发病工龄和年平均吸入粉尘量的关系,利用早期尘肺吸入粉尘量的下限值,推算

出一生最长工龄（30 或 35 年）的年平均粉尘浓度，以此作为该种粉尘容许浓度的建议值。这些研究虽已取得初步结果，但有些问题尚待深入探讨。

著名的英国医学统计学家 A. B. Hill 指出：“环境中粉尘浓度越高，我们预期的发病率也应越高。困难常在于制订一些使人满意的环境定量指标，以便使我们能够探索这种剂量反应关系。我们应当始终不渝地寻找它。”〔13〕

（刘占元）

参 考 文 献

1. 佐野辰雄：劳动科学 44(2):73, 1968
2. D. Rivers et al, Br. J. Med, 17:87, 1960
3. G. Negelschmidt, Br. J. Med, 17:247, 1960
4. T. Hatch, Am Indust Hyg Assoc, (1):30, 1955
5. Du Toit RSJ, Pneumoconiosis of the International Conference 1969, Edited by Shapiro HA 286, 1970
6. Reisner MIR, p439, ibid, 1970
7. Bedlle, Haris, p473, ibid, 1970
8. G. P. Theriault et al (吴顺模摘译)：国外医学参考资料卫生学分册 (6):350, 1976
9. 田凤调等：卫生研究 9(2):108, 1980
10. 御野洁人：东京医学杂志 69:941, 1959
11. 张琪凤：浙医学报 (2):1, 1965
12. 刘占元等：中华预防医学杂志 15(1):17, 1981
13. A. B. Hill, A short textbook of medical statistics, 292, 1977

第二节 基础资料

收集统计资料是统计工作的第一步，也是调查研究工作的基础。如果收集的原始资料不准确或不完整，则无论怎样整理和分析都将无济于事，甚至会使资料完全失去应用价值。因此，首先要根据研究的目的，对收集来的全部原始资料，必须反复核实无误才能利用。

现场研究粉尘容许浓度所必须的原始资料，包括粉尘资料、本单位接尘人员的健康检查资料及其中矽肺患者的矽肺检查资料。现将这几种资料的收集整理和有关数据的处理方法分别介绍如下：

(一) 粉尘资料

1. 粉尘浓度呈对数正态分布

(1) 粉尘浓度资料的收集与核查

粉尘浓度的资料来自该单位的经常性测尘记录。将收集来的这些粉尘浓度数据，逐个进行核查，检查原始记录填写是否完全、正确，有无遗漏，必要时予以订正。

(2) 分组和编制频数表

按年份或主要工种（工序）在同质的基础上进行数量分组。现以本钢耐火材料厂粘土车间 1973 年和 1974 年的粉尘浓度材料为例，其整理前分组和编制的频数表，列于表 1·2·1，为了比较将整理后的粉尘浓度资料亦列入表中。

从表 1·2·1 可以看出：粉尘浓度的频数分布，不论整理前后多集中在前两组，很不对称。

(3) 粉尘浓度的均数和动差的计算

根据表 1·2·1 列出的粉尘浓度频数分布表可以计算出粉尘浓度的算术均数 ($\bar{X}$)、几何均数 (G)、调和均数 (H)、

表 1·2·1 本钢耐火材料厂粘土车间 1973 年、
1974 年粉尘浓度 (mg/m^3) 资料整理前后的
频数分布

1973年整理前		1974年整理前		1973年整理后		1974年整理后	
分组	频数	分组	频数	分组	频数	分组	频数
0~	12	0~	33	1~	168	1~	99
1~	168	1~	99	2~	38	2~	53
2~	38	2~	53	3~	6	3~	19
3~	6	3~	19	4~	4	4~	15
4~	4	4~	15	5~	0	5~	4
5~	0	5~	4	6~	1	6~	5
6~	1	6~	5	7~	1	7~	5
7~	1	7~	5	8~	2	8~	6
8~	2	8~	6	9~	2	9~10	2
9~	2	9~	2	10~11	1	12.3	8
10~	3	10~	8				
20~30	3	20~30	3				

第 2 动差 (M_2)、第 3 动差 (M_3) 和偏度 (SK)。为了比较, 将资料整理前后的计算结果均列于表 1·2·2 中。

从表 1·2·2 可看出: 就均数来说, 无论整理前后的计算结果均显示 $\bar{x} > G > H$, 偏度 (SK) 都在 2 以上, 即都呈明显正偏态, 也即对数正态分布。这和我们以往调查的四个矿山的偏度值波动在 1.09~2.61 之间的情况基本相似⁽¹⁾。因此, 可以认为粉尘浓度资料基本是呈对数正态分布的。过去把粉尘浓度视为正态分布, 因而采用计算算术均数的做法是不正确的。

2. 粉尘取样和称量中合格样品的确定

表 1·2·2 本钢耐火材料厂粘土车间 1973 年、
1974 年粉尘浓度资料整理前后统计量的计算

项目	1973 年整理前	1974 年整理前	1973 年整理后	1974 年整理后
X	2.34	3.13	2.00	3.13
G	1.78	2.10	1.80	2.51
H	1.55	1.52	1.71	2.17
M ₂	10.1270	14.0240	1.8374	6.5576
M ₃	176.1153	182.0506	10.4411	36.5168
SK	5.4648	3.4664	4.1921	2.1746

在进行粉尘浓度数据处理以前，应先了解所用测尘方法的原理，尤应注意所用流量计的误差。根据原始测尘记录，逐一核查取样时的采气量和取样后的粉尘增重量，然后根据取样和称量的操作误差是否大于 20%^[2]，来衡量某样品的取样和称量是否合格。具体做法是将操作误差 (E₀) 分为粉尘增重误差 (E_D) 和采气量误差 (E_Q) 进行计算，然后把 E_D 与 E_Q 的平方加总再开方即得到操作误差 (E₀)。公式如下：

$$E_D(\%) = \frac{S_A}{W_D} \times 100\% \quad (1\cdot2\cdot1)$$

$$E_Q(\%) = E_F \times \frac{1000}{Q} \quad (1\cdot2\cdot2)$$

$$E_0 = (E_D^2 + E_Q^2)^{\frac{1}{2}}, (E_0 \geq 20\%) \quad (1\cdot2\cdot3)$$

式中：

S_A——所用天平的灵敏度 (分析天平为 0.1mg, 1/10 万天平为 0.01mg)

W_D ——取样后的粉尘增重量 (mg)

E_F ——所用流量计的误差 (%), 经过鉴定的市售流量计其误差均有注明, 一般转子流量计、孔口流量计和用湿式流量计标定的流量计, 其误差为 $\pm 5\%$; P_{C_5} 型转子流量计和叶轮式流量计的误差为 $\pm 2.5\%$

Q ——采气量 (L)

根据测尘原始记录中的采气量 Q 、粉尘增重量 W_D 、天平灵敏度 S_A 和流量计误差 E_F , 利用式 (1.2.1~3) 可以确定操作误差 E_O 是否大于 20%。实际工作中, 在上述条件已知时, 为了简化计算手续, 我们总结出了一个快速便查表, 见表 1.2.3。

从表 1.2.3 可以看出: 在天平灵敏度和流量计误差已知后, 只要粉尘增重量和采气量均大于相应栏中的数值, 即可迅速判定该次粉尘取样和称量是合格的。如果由于某种原因导致部分原始测尘记录已不复存在, 只保存着统计报表后所附的粉尘浓度, 则可用采气量作为判断在某一浓度时, 粉尘取样和称量合格与否的根据。在这次试做中, 经过计算, 两厂均以 $1.33\text{mg}/\text{m}^3$ 为判据, 也就是说当粉尘浓度大于 $1.33\text{mg}/\text{m}^3$ 时即认为粉尘取样和称量的样品是合格的。仍以表 1.2.1 中的资料为例, 1973 年 240 个取样中, 有 12 个不合格, 占 5%; 1974 年 252 个取样中, 有 33 个不合格, 占 13.1%。就粘土车间全部测尘记录来看, 在 3392 个取样中, 有 243 个取样和称量不合格, 占 10.16%。因此, 必须注意提高粉尘取样和称量操作的质量, 特别是在粉尘浓度越来越低的情况下, 更应引起重视。

3. 异常值的剔除

在一系列等精度独立观测中, 有时会出现与均数离差很

表 1·2·3 确定粉尘取样和称量合格与否便查表

天平灵敏度 (mg)	流量计误差 (%)	粉尘增重量 (mg) 及其误差 (%)	采气量 (L) 及其误差 (%)	粉尘浓度 (mg/m ³)
0.1	2.5	0.51 (19.61)	1000 (2.50)	0.51
		0.51 (19.61)	650 (3.85)	0.78
		0.6 (16.67)	226 (11.05)	2.65
		0.7 (14.28)	180 (14.00)	3.89
		0.8 (12.50)	160 (15.61)	5.00
		0.9 (11.11)	150 (16.63)	6.00
		1.0 (10.00)	144 (17.32)	6.94
0.1	5.0	0.52 (19.23)	1000 (5.00)	0.52
		0.52 (19.23)	950 (5.26)	0.55
		0.6 (16.67)	450 (11.11)	1.33
		0.7 (14.28)	360 (14.00)	1.94
		0.8 (12.50)	320 (15.61)	2.50
		0.9 (11.11)	300 (16.63)	3.00
		1.0 (10.00)	290 (17.32)	3.45
0.01	2.5	0.06 (16.67)	1000 (2.50)	0.06
		0.06 (16.67)	226 (11.06)	0.26
		0.07 (14.28)	180 (14.00)	0.39
		0.08 (12.50)	160 (15.61)	0.50
		0.09 (11.11)	150 (16.63)	0.60
		0.10 (10.00)	144 (17.32)	0.69

大的观测值，以致使人怀疑它是否来自另一个总体，通常称这样的观测值为可疑观测值。当用一定的判断标准判明它确实不属于正常范围时，则称它为异常值，异常值是不可取的，因为它明显地歪曲了观测结果。

在测尘过程中由于工作的疏忽（如读错、记错、算错），仪器有毛病（如天平和流量计不准）或操作不当（如采气量