

# 半定量综合指数法在某油墨生产企业防毒措施 整改效果评价中的应用

## Application of semi-quantitative synthesis index method on evaluating rectification effect for poisoning prevention measures in a ink manufacturing enterprise

梁志明<sup>1</sup>, 林海辉<sup>2</sup>, 邓永愈<sup>1</sup>, 余建文<sup>1</sup>, 陈玉华<sup>1</sup>, 曾庆民<sup>1</sup>, 李丽泉<sup>1</sup>, 苏世标<sup>2</sup>

(1. 佛山市顺德区疾病预防控制中心, 广东 佛山 528300; 2. 广东省职业病防治院/广东省职业病防治重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 采用半定量综合指数法对某油墨生产企业作业岗位防毒措施整改前后的职业健康风险进行评估。通过防毒措施整改后, 该油墨生产企业分散和包装岗位的甲苯浓度明显降低, 所有岗位的化学有害因素风险等级均降至2级。半定量综合指数法可用于化学有害因素防护设施整改效果评价, 也可为企业设计防护措施整改方案提供依据。

**关键词:** 半定量综合指数法; 职业健康风险评估; 防毒措施; 整改效果

**中图分类号:** R136.3 **文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-221X(2019)05-0407-03

**DOI:** 10.13631/j.cnki.zggyyx.2019.05.025

职业健康风险评估是对工作场所职业危害进行全面、系统的识别与分析, 通过识别和分析工作场所职业危害因素及防护措施, 预测职业健康风险, 量化职业健康风险水平, 从而采取相应控制措施的过程<sup>[1]</sup>。2017年我国出台了首部化学有害因素职业健康风险评估技术导则<sup>[2]</sup>, 引入了定性、半定量和定量三大类评估方法。半定量综合指数法是半定量评估方法之一, 该方法通过综合考虑化学有害因素的物理特性、危害控制措施、使用量、接触时间及接触水平对化学有害因素的风险进行综合评估。目前, 有学者针对半定量综合指数法的适用范围进行了相关的研究<sup>[3-6]</sup>, 但尚未见半定量综合指数法在防毒措施整改效果评价中的应用。本研究选择某油墨生产企业作为研究对象, 运用半定量综合指数法分析该企业作业岗位防毒措施整改前后的职业健康风险水平, 以探讨半定量综合指数法在防毒措施整改效果评价中的指导意义。

### 1 对象与方法

#### 1.1 对象

选择佛山市顺德区某油墨生产企业作为研究对象, 该企业年生产油墨约2 000 t, 拥有员工约50人。生产工艺: 投料→分散→研磨→检验→包装。该企业经过防毒措施整改的作业岗位是分散、研磨和包装岗位。其中分散岗位定员12人,

日接触时间2 h; 研磨岗位定员6人, 日接触时间为2 h; 包装岗位定员6人, 日接触时间为4 h。

#### 1.2 方法

**1.2.1 现场职业卫生调查** 内容包括企业基本情况、生产工艺、劳动定员、生产制度、化学品种类与使用量和整改前后危害控制措施等。

**1.2.2 现场化学有害因素浓度检测** 根据《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ 159—2004)的要求, 对作业岗位空气中化学有害因素的短时间接触浓度( $C_{STEL}$ )和8 h时间加权浓度( $C_{TWA}$ )进行检测, 将 $C_{STEL}$ 和 $C_{TWA}$ 分别与相应的职业接触限值(occupational exposure limits, OELs)进行比较<sup>[7, 8]</sup>。

**1.2.3 半定量综合指数法** 按照《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》(GBZ/T 298—2017)的要求<sup>[2]</sup>, 根据各种化学有害因素的毒性确定危害分级(hazard risk, HR), 再根据各种化学有害因素的蒸汽压力、接触水平(exposure concentration, E)与OELs的比值、职业病危害控制措施、使用量和接触时间等要素确定接触指数(exposure index, EI)。根据GBZ/T 298—2017, 计算接触等级(exposure risk, ER), 风险指数(risk, R)。 $ER = [EI_1 \times EI_2 \times \dots \times EI_n]^{\frac{1}{n}}$ 式中 $n$ 为接触指数的个数;  $R = \sqrt{HR \times ER}$ ,  $R$ 为非整数时, 采取四舍五入。 $R=1$ , 为可忽略风险;  $R=2$ , 为低风险;  $R=3$ , 为中等风险;  $R=4$ , 为高风险;  $R=5$ , 为极高风险。

### 2 结果

#### 2.1 基本情况及整改措施

该油墨生产企业生产工人接触的化学有害因素主要有苯系物、酯类、酮类和醇类, 相关化学有害因素的毒性资料见表1。

表1 化学有害因素毒性资料

| 化学有害因素 | 沸点(℃)  | 饱和蒸汽压(kPa) | LD <sub>50</sub> (大鼠, 经口) | 毒性           |
|--------|--------|------------|---------------------------|--------------|
| 甲苯     | 110.60 | 3.80       | 5 000 mg/kg;              | ACGIH A4级致癌物 |
| 二甲苯    | 144.00 | 0.70       | 5 000 mg/kg               | ACGIH A4级致癌物 |
| 乙酸乙酯   | 77.00  | 10.00      | 5 620 mg/kg               |              |
| 乙酸丁酯   | 124.00 | 1.20       | 10 768 mg/kg              | 强烈刺激性        |
| 丁酮     | 80.00  | 10.50      | 3 400 mg/kg               |              |
| 异丙醇    | 82.40  | 4.40       | 5 800 mg/kg               | ACGIH A4级致癌物 |

注: ACGIH 为美国政府工业卫生学家委员会

收稿日期: 2019-01-29; 修回日期: 2019-03-13

基金项目: 国家标准体系建设项目(131031109000160010); 广东省职业病防治重点实验室(2017B030314152); 广东省科技计划项目(2011B031900005, 2011B050700001, 2013B021800176)

作者简介: 梁志明(1984—), 男, 主管医师, 医学硕士, 主要从事职业病危害因素检测与评价工作。

通信作者: 苏世标, 主任医师, 硕士生导师, E-mail: 18927588172@163.com。

分散和研磨岗位以巡检为主,包装为固定岗位。整改前分散和包装岗位的甲苯  $C_{STEL}$  超过 OELs,分散岗位的甲苯  $C_{TWA}$  超过 1/2 OELs,其余均低于 1/2 OELs。整改后,所有岗位的化学有害因素检测浓度均低于 1/2 OELs。整改前分散、研磨、

包装岗位均未设置有效局部通风设施;工人均配备符合要求的防毒口罩,但均未按要求佩戴;职业卫生管理不完善。各作业岗位防毒整改前后化学有害因素检测结果见表 2。

表 2 整改前后岗位防毒措施情况及化学有害因素检测结果

| 岗位 | 接触人数 | 日接触时间(h) | 整改措施                                                      | 化学有害因素 | 整改前                                |                                   |        | 整改后                                |                                   |        |
|----|------|----------|-----------------------------------------------------------|--------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|
|    |      |          |                                                           |        | $C_{STEL}$<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | $C_{TWA}$<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | E/OELs | $C_{STEL}$<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | $C_{TWA}$<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | E/OELs |
| 分散 | 12   | 2        | 分散机增加局部抽风管并与桶盖连接,减少化学有害因素向作业场所逸散;督促工人合理佩戴防毒口罩;完善职业卫生管理制度等 | 甲苯     | 121.01                             | 30.25                             | 1.21   | 14.54                              | 4.43                              | 0.14   |
|    |      |          |                                                           | 二甲苯    | 15.30                              | 3.83                              | 0.15   | <3.07                              | 0.26                              | 0.02   |
|    |      |          |                                                           | 乙酸乙酯   | 15.85                              | 3.96                              | 0.05   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 乙酸丁酯   | 2.42                               | 0.61                              | 0.01   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 丁酮     | 4.80                               | 1.20                              | 0.01   | <3.75                              | <0.97                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 异丙醇    | <0.29                              | <0.02                             | 0      | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
| 研磨 | 6    | 2        | 研磨机上方增加局部排气罩;督促工人合理佩戴防毒口罩;完善职业卫生管理制度等                     | 甲苯     | 43.50                              | 10.88                             | 0.44   | 43.32                              | 8.70                              | 0.43   |
|    |      |          |                                                           | 二甲苯    | 9.57                               | 2.39                              | 0.1    | 4.23                               | 0.76                              | 0.04   |
|    |      |          |                                                           | 乙酸乙酯   | 17.26                              | 4.32                              | 0.06   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 乙酸丁酯   | 4.09                               | 1.02                              | 0.01   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 丁酮     | 4.06                               | 1.02                              | 0.01   | <3.75                              | <0.97                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 异丙醇    | 2.08                               | 0.52                              | 0      | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
| 包装 | 6    | 4        | 包装岗位增加侧吸罩;督促工人合理佩戴防毒口罩;完善职业卫生管理制度等                        | 甲苯     | 232.85                             | 5.51                              | 2.33   | 2.30                               | <0.06                             | 0.02   |
|    |      |          |                                                           | 二甲苯    | 47.79                              | 0.58                              | 0.48   | <3.07                              | <0.06                             | 0.02   |
|    |      |          |                                                           | 乙酸乙酯   | 43.13                              | 3.50                              | 0.14   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 乙酸丁酯   | 3.91                               | 0.29                              | 0.01   | <0.25                              | <0.07                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 丁酮     | 7.53                               | 0.24                              | 0.01   | <3.75                              | <0.97                             | 0      |
|    |      |          |                                                           | 异丙醇    | <0.29                              | <0.02                             | 0      | <0.25                              | <0.07                             | 0      |

注:甲苯 PC-STEL 为 100 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 50 mg/m<sup>3</sup>;二甲苯 PC-STEL 为 100 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 50 mg/m<sup>3</sup>;乙酸乙酯 PC-STEL 为 300 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 200 mg/m<sup>3</sup>;乙酸丁酯 PC-STEL 为 300 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 200 mg/m<sup>3</sup>;丁酮 PC-STEL 为 600 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 300 mg/m<sup>3</sup>;异丙醇 PC-STEL 为 700 mg/m<sup>3</sup>, PC-TWA 为 350 mg/m<sup>3</sup>;E/OELs 取  $C_{STEL}$  和  $C_{TWA}$  与相应 OELs 比值中较大值

2.2 风险评估结果

经过整改后,分散和包装岗位的甲苯、二甲苯 E/OELs 值对应的 EI 由 2~5 级降低至 1~2 级,各岗位卫生工程防护对应的 EI 由 5 级降低至 1 级,职业病防护用品对应的 EI 由 4 级降低至 1 级,职业卫生管理对应的 EI 由 3 级降低至 1 级,其余 EI 不变。整改前,分散和研磨岗位的甲苯、二甲苯和乙酸乙酯的风险等级 R 均为 3 级(中等风险),包装岗位甲苯的风险等级 R 为 4 级(高风险),包装岗位的二甲苯、乙酸乙酯、丁酮和异丙醇的风险等级 R 均为 3 级(中等风险),其余化学有害因素的风险等级 R 均为 2 级(低风险);整改后,所有岗位的化学有害因素的风险等级均为 2 级(低风险)。见表 3。

3 讨论

目前国内外已建立了多种职业健康风险评估模型,且不同风险评估模型各有优缺点<sup>[9-11]</sup>。半定量综合指数法是根据新加坡半定量风险评估模型发展而成的<sup>[12,13]</sup>,其优点是不需要太多的流行病学和毒理学资料,评估资料易于获得<sup>[14]</sup>。半定量综合指数法不仅考虑了化学有害因素的毒性、物理特性、使用量和接触时间等,还考虑了防护措施和接触浓度,各种因素均占有权重比例,能较全面的评估化学有害因素的职业健康风险<sup>[4,15]</sup>。

油墨生产企业的生产工艺比较简单,主要是将不同化学

物质按比例进行混匀,生产过程中不涉及化学改变,因此该类企业的职业病危害因素很容易识别,加上油墨生产企业化学原料使用量大,且主要为有机化学物,大多数容易挥发,因此,在防护设施防护效果欠佳的前提下,作业岗位的化学有害因素浓度很容易超标。

根据半定量综合指数法原理,化学有害因素的 HR 取值最低为 2 级,若 EI 取值有两个 2 级以上或一个 3 级以上时,经计算 R 均为 2 级以上,而实际情况中很少岗位所有 EI 值均能降到 1 级,因此半定量综合指数法对大部分岗位化学有害因素健康风险评估结果都在 2 级及以上。本研究结果发现,在防护设施欠缺的情况下,所有岗位的甲苯、二甲苯和乙酸乙酯的风险等级均为 3 级或 3 级以上,这与化学有害因素自身毒性危害分级、岗位化学有害因素浓度、日使用量有关;而包装岗位的丁酮和异丙醇的风险等级高于其他岗位,这与日接触时间有关。可见,半定量综合指数法中所有评估要素均可对评估结果造成影响。在增加防护设施和加强防护管理后,分散和包装岗位的甲苯、二甲苯浓度明显降低,在日使用量和日接触时间不变的情况下,所有岗位的化学有害因素风险等级均为 2 级。一般情况下,作业岗位良好的控制措施能有效降低化学有害因素的浓度,因此化学有害因素的检测浓度

表 3 整改前后不同岗位化学有害因素半定量综合指数法评估结果

| 岗位 | 化学有害因素 | HR | 整改前 |                    |        |         |        |      |          |      |   |     | 整改后                |        |         |        |      |          |      |   |  |  |
|----|--------|----|-----|--------------------|--------|---------|--------|------|----------|------|---|-----|--------------------|--------|---------|--------|------|----------|------|---|--|--|
|    |        |    | 蒸汽压 | E/OEL <sub>s</sub> | 卫生工程防护 | 职业病防护用品 | 职业卫生管理 | 日使用量 | 日接触时间(h) | ER   | R | 蒸汽压 | E/OEL <sub>s</sub> | 卫生工程防护 | 职业病防护用品 | 职业卫生管理 | 日使用量 | 日接触时间(h) | ER   | R |  |  |
|    |        |    |     |                    |        |         |        |      |          |      |   |     |                    |        |         |        |      |          |      |   |  |  |
| 分散 | 甲苯     | 3  | 4   | 4                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.93 | 3 | 4   | 2                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.98 | 2 |  |  |
|    | 二甲苯    | 3  | 3   | 2                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.41 | 3 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.72 | 2 |  |  |
|    | 乙酸乙酯   | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.22 | 3 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.79 | 2 |  |  |
|    | 乙酸丁酯   | 2  | 3   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 3        | 2.99 | 2 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 3        | 1.67 | 2 |  |  |
|    | 丁酮     | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 3    | 3        | 2.99 | 2 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 3    | 3        | 1.67 | 2 |  |  |
|    | 异丙醇    | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 3        | 3.12 | 2 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 3        | 1.74 | 2 |  |  |
| 研磨 | 甲苯     | 3  | 4   | 2                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.56 | 3 | 4   | 2                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.98 | 2 |  |  |
|    | 二甲苯    | 3  | 3   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.09 | 3 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.72 | 2 |  |  |
|    | 乙酸乙酯   | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 3        | 3.22 | 3 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 3        | 1.79 | 2 |  |  |
|    | 乙酸丁酯   | 2  | 3   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 3        | 2.99 | 2 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 3        | 1.67 | 2 |  |  |
|    | 丁酮     | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 3        | 3.12 | 2 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 3        | 1.74 | 2 |  |  |
|    | 异丙醇    | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 3        | 3.12 | 2 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 3        | 1.74 | 2 |  |  |
| 包装 | 甲苯     | 3  | 4   | 5                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 4        | 4.22 | 4 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 4        | 1.87 | 2 |  |  |
|    | 二甲苯    | 3  | 3   | 2                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 4        | 3.56 | 3 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 4        | 1.79 | 2 |  |  |
|    | 乙酸乙酯   | 2  | 4   | 2                  | 5      | 4       | 3      | 5    | 4        | 3.71 | 3 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 5    | 4        | 1.87 | 2 |  |  |
|    | 乙酸丁酯   | 2  | 3   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 4        | 3.12 | 2 | 3   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 4        | 1.74 | 2 |  |  |
|    | 丁酮     | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 4        | 3.25 | 3 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 4        | 1.81 | 2 |  |  |
|    | 异丙醇    | 2  | 4   | 1                  | 5      | 4       | 3      | 4    | 4        | 3.25 | 3 | 4   | 1                  | 1      | 1       | 1      | 4    | 4        | 1.81 | 2 |  |  |

高低能间接反映控制效果的好坏。在对防护设施整改效果评价中，大多数学者认为整改后作业岗位有毒有害因素的检测浓度达到 OELs 以下则认为整改效果良好<sup>[16, 17]</sup>。而半定量综合指数法除了考虑检测浓度外，还关注了化学有害因素的毒性、防护和日接触情况等，认为即使化学有害因素检测浓度低于 OELs 甚至低于 1/2 OELs，若其毒性较高、防护情况较差或日接触量较大时，职业健康风险水平仍较高，说明半定量综合指数法在防毒措施整改效果评价中比传统评价方法更全面。半定量综合指数法通过降低评估要素的 *EI* 值来降低风险等级，企业在设计防护措施整改方案时，可以通过半定量综合指数法预测整改效果，有针对性地对防护措施进行有效整改，同时指导企业如何选择简单有效的整改措施，以达到降低职业健康风险的目的。

综上，在通过详尽的现场职业卫生调查前提下，半定量综合指数法在化学有害因素防护设施整改效果评价中能更全面考虑防护效果的各方面影响因素，可用于化学有害因素防护设施整改效果评价，也可为企业设计防护措施整改方案提供依据。

参考文献:

[1] 王忠旭, 李涛. 职业健康风险评估与实践 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2016; 289-290.

[2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 298—2017, 工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

[3] 田亚锋, 刘开钊, 吴礼康, 等. 比较三种职业健康风险评估模型在蓄电池生产企业的应用 [J]. 预防医学, 2018, 30 (12): 1248-1251.

[4] 李旭东, 丁俊, 刘明, 等. 三种职业健康风险评估方法评估涂料生产企业有机溶剂风险的应用比较 [J]. 预防医学, 2018, 30 (8): 794-798.

[5] 杨雪, 战景明, 薛向明, 等. 综合指数法在核工业某燃料元件生产线职业病危害评价中的应用 [J]. 中国工业医学杂志, 2018,

31 (3): 215-217.

[6] 陈林, 钱秀荣, 赵都, 等. 三种职业健康风险评估方法在某铅酸蓄电池企业中应用比较 [J]. 中国公共卫生, 2018, 34 (6): 849-853.

[7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 2. 1—2007, 工作场所所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 224—2010, 职业卫生名词术语 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[9] 谭强, 刘移民, 陈松根. 职业健康风险评估方法研究进展 [J]. 职业与健康, 2013, 29 (5): 628-630.

[10] 刘文慧, 苏世标, 徐海娟, 等. 职业健康风险评估方法应用研究进展 [J]. 中国职业医学, 2016, 43 (4): 487-490.

[11] Zhou LF, tian F, Zou H, *et al.* Research progress in occupational health risk assessment methods in China [J]. Biomed Environ Sci, 2017, 30 (8): 616-622.

[12] Ministry of Manpower. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [R]. Singapore: Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division, 2005.

[13] 张美辨, 唐仕川. 职业健康风险评估方法学实践应用 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2016; 17-22.

[14] 边国林, 王爱红, 李晓海, 等. 三种职业健康风险评估方法在小型家具制造企业的应用研究 [J]. 预防医学, 2017, 29 (10): 1003-1008.

[15] 梁志明, 符英雄, 黎丽春, 等. 多种风险评估方法在铅尘作业岗位职业健康风险评估中的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6): 766-769.

[16] 张丹英, 徐国勇, 林瀚生, 等. 某铅蓄电池制造企业铅污染防治设施整改效果分析 [J]. 中国工业医学杂志, 2014, 27 (3): 218-220.

[17] 梁志明, 曾庆民, 王秀兰, 等. 某金属包装企业涂布房通风排毒措施整改效果评价 [J]. 中国卫生产业, 2016, 13 (17): 73-75.