

无标准行业企业清洁生产审核技术方法研究*

温 勇^{1,2}, 陈 禧^{1,2}, 王 炜^{1,2}, 彭香琴^{1,2}, 刘宇波^{1,2}

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655;

2. 广州华科环保工程有限公司, 广东 广州 510655)

摘 要: 该研究针对无清洁生产标准行业企业如何开展清洁生产审核工作、挖掘其清洁生产潜力的问题, 构建了一套定性定量相结合的因子分析方法, 并以一家光学玻璃制造企业为例, 重点介绍因子分析法在实例中的应用, 并从审核成本、审核时间及审核成效与传统审核方法进行对比, 探讨因子分析法在无标准行业清洁生产审核工作中的可行性。实例分析表明, 因子分析法的审核时间可比传统审核方法缩短 40%, 审核工作成本比传统审核方法降低 32%, 审核效益可达到传统审核方法的 97.90%。该研究提出的因子分析方法, 为无标准行业企业的清洁生产审核工作提供了一种新的方法和思路。

关键词: 清洁生产; 审核; 技术方法; 无标准; 因子分析方法

中图分类号: X38 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2013) 06-0093-06

Cleaner Production Audit Methods for No-cleaner Production Standard Industry

WENG Yong^{1,2}, CHEN Xi^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, PENG Xiangqin^{1,2}, LIU Yubo^{1,2}

(1. South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China;

2. Guangzhou Huake Environmental Protection Engineering Co. Ltd, Guangzhou 510655, China)

Abstract: In order to conduct cleaner production audit for enterprises belonging to no-cleaner production standard industry, a factor analysis framework combined with qualitative and quantitative method was proposed in this study. As a demonstration, an optical glass lens manufacturer was audited for cleaner production using the factor analysis method and the traditional cleaner production audit (CPA) method respectively. The result showed that, comparing with the traditional CPA method, using the factor analysis method could reduce CPA time by 40% and CPA cost by 32%, but obtain 97.90% audit benefits. This work provided a new approach and idea for cleaner production audit in no-standard industry.

Key words: cleaner production; audit; methods; no-cleaner production standard; factor analysis method

企业清洁生产审核是对企业的工业生产实行预防污染的分析 and 评估, 制定并实施减少能源、水和原材料使用, 消除或减少产品和生产过程中有毒物质的使用, 减少各种废弃物排放及其毒性的方案的过程^[1-2], 是从源头削减污染, 提高资源利用效率的重要手段。

近 10 年来, 在国家立法和有关政策的推动下, 各行各业的清洁生产审核工作飞速发展^[3-4]。目前, 清洁生产审核的方法一般是按照《企业清洁生产审核手册》, 对企业工艺、设备、管理、产排污等情况进行全面的考察, 再根据相关的清洁生产技术标准进行对标评价, 找出企业生产和排污的薄

* 收稿日期: 2013-06-05

基金项目: 国家环境技术管理资助项目 (2013-ZC-004)

作者简介: 温勇 (1967 年生), 男; 研究方向: 工业污染减排、生态工业、循环经济与清洁生产等领域; 通讯作者: 陈禧; E-mail: chenxi@scies.org

弱环节 (即清洁生产水平低的环节), 从而挖掘企业的清洁生产潜力, 提出并实施清洁生产方案, 实现企业清洁生产^[5]。因此, 行业清洁生产标准对审核工作至关重要。

截至 2013 年 1 月, 已发布的行业清洁生产评价指标体系仅 30 项, 行业清洁生产标准仅 88 项, 远不能满足各行各业清洁生产审核的需求^①。

在实际的审核工作中, 经常会遇到没有相关技术标准可依的企业 (以下简称“无标准行业企业”)。如何开展无标准行业企业的清洁生产审核工作是一个亟待解决的问题。目前, 关于清洁生产审核的研究大多数都集中在特定的行业企业。Hilsson 等^[6]研究如何以环境管理手段在采矿业促进清洁生产工作, Gerbens-Leenes 等^[7]提出一套评价粮食加工行业企业清洁生产水平的指标体系, Ren 及 Aysar 等^[8-9]分别研究了造纸行业的清洁生产潜力及清洁生产审核要点。此外, 金属表面处理、牛奶制品加工、海鱼冷冻加工等行业的清洁生产审核工作也有相关的研究报告^[10-12]。在实际工作中, 对无标准行业企业往往是采用传统审核方法对企业生产的原辅材料 (包括能源)、生产工艺、生产设备、过程控制、管理制度、员工、产品、废弃物等方面进行全方位审核, 再提出相关清洁生产方案。针对无标准行业企业更为高效、通用的清洁生产审核方法, 目前还没有相关方法的文献报道。

本研究针对无标准行业企业, 构建了一套定性与定量相结合的因子分析方法体系, 以一家光学玻璃制造企业为例, 进行实例分析, 重点介绍因子分析法在实例中的应用, 并从审核成本、审核时间及审核成效与传统审核方法进行对比, 探讨因子分析法在无标准行业清洁生产审核工作中的可行性。

1 因子分析方法体系

本研究构建的因子分析方法体系 (以下简称因子分析法) 以物质守恒和能源守恒理论为基础, 从企业生产过程中产生的关键物质、能源出发, 以一种物质或一种能源为一个因子, 分析因子的转移、转化流程的合理性, 从而识别判断企业生产的问题环节, 提出清洁生产方案。具体的审核分析框架如图 1 所示。

因子分析法审核分析框架的第一步是关键因子识别与分析因子筛选, 根据企业的生产和排污情况, 运用清单法、矩阵法或其他方法, 列出消耗大 (如水、能源、主要原材料等)、有毒有害、转化转移过程不明确的物质或能源, 进行定性和半定量

分析, 甄别出可能存在问题的关键因子, 以备下一步的分析。关键因子识别与分析因子筛选是有别于传统审核分析方法的一步。传统方法的预审核一般是对企业主要原辅料、主要产品、能源及用水情况, 逐一列出总耗并计算单耗, 从生产过程, 企业设备水平及维护状况, 环保管理状况等方面对企业清洁生产水平进行全面的分析。对于有技术规范可依的企业, 分析指标都有相应的水平阈值可以进行参考和对比, 从而判别其水平落后的环节, 因此, 传统的分析方法显得全面而实用。但是对于无标准行业的企业, 这些分析数据没有可进行比较的对象, 对其进行全面的分析也很难找到薄弱环节, 反而加大了工作量。

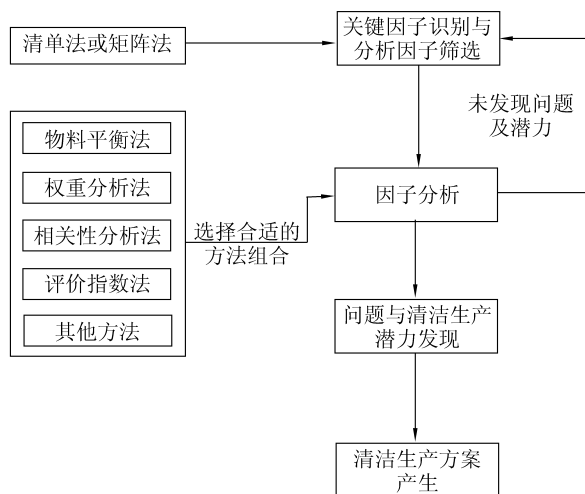


图 1 因子分析法审核分析框架

Fig. 1 Analytical framework of factor analytic method

根据物质守恒和能量守恒定律, 企业生产和排污过程中的每一种物质或能源, 必定是从一个环节转化或转移到另一个环节, 不会凭空消失。因此, 针对无标准行业企业, 因子分析法在第一步从企业生产的物质投入、产出和排放过程, 对关键因子进行甄别和筛选, 再对关键因子进行详细的流程分析, 有助于减少审核工作量, 提高审核工作效率。

因子分析法的第二步是根据关键因子的实际情况, 选择合适的分析方法组合 (如物料平衡、权重分析、相关性分析、指数分析等) 对因子进行详细全流程分析。若发现问题, 则进入第三步和第

① 中华任命共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 清洁生产评价指标体系编制通则.

四步，对问题进行深入分析并挖掘清洁生产潜力，提出清洁生产方案；若未能发现问题，则返回第一步，对其他因子进行甄别，选出其他的分析因子进行详细分析。

2 实例分析与比照

20 世纪 90 年代以来，光学玻璃在光传输、光储存和光电显示三大领域的应用突飞猛进，需求量巨大。光学玻璃加工生产企业不断增加，其产生的环境污染也随之增加。目前，关于光学玻璃加工生产企业的清洁生产审核工作，仍未有相关的技术规范发布。本研究选择一家位于东莞的中日合资的著名光学玻璃加工生产企业（以下简称企业）作为审核对象，成立了两个经验丰富的审核小组，并各指派一名国家高级清洁生产审核师作为主要技术负责人，分别以因子分析法和传统方法同时对企业开展清洁生产审核。其中，采用因子分析法的小组命名为 Y 组，采用传统审核方法的小组命名为 C 组。

2.1 因子分析审核方法在实例中的应用

2.1.1 关键因子识别 Y 组考察企业生产和污染物排放过程，发现企业涉及的主要物质和能量包括电、水、光学玻璃、粗磨液、精磨液、研磨粉、切屑油、清洁液、镀膜药品、粉尘、一般固体废弃物等 11 种主要物质（能源）。将这 11 种主要物质（能源）作为企业清洁生产因子，用清单法进行定性和半定量分析，识别和筛选关键因子（过程略）。其中，电和水是企业消耗较大的因子，并且研磨液、精磨液等因子最终也排放到废水中；玻璃是企业最主要的原材料和产品，消耗量较大，但其从原材料到产品的转化率较高，可达到 99.98%。因此，Y 组将企业用电、用水作为清洁生产审核的关键因子，主要原料玻璃作为备选关键因子。

2.1.2 用电关键因子分析 Y 组对企业各车间进行年用电量进行统计分析，得到表 1。

表 1 各车间用电量分配

Table 1 Electricity consumption proportion of each workshop

车间	年用电量/(kW·h)	比例/%
一楼第一车间	4 025 706	36
一楼第二车间	1 554 122	14
二楼车间	1 344 727	12
三楼车间	963 748	9
五楼车间	2 497 491	22
办公用电	619 412	6
生活用电	157 291	1

由表 1 可知，企业所有生产车间中，一楼第一车间和五楼车间是用电最大的两个车间，分别占整个企业用电量的 36% 和 22%。Y 组对企业的用电设备情况进行深入分析得知，各车间用电情况基本符合各车间设备情况，一楼第一车间主要是光学镀膜部和光学加工部 C 工序用电量最大；五楼车间，主要有空压机、空调等耗电设备。因此，Y 组又进一步分析、测试企业的空压机、空调用电情况。

1) 空压机用能分析。

企业共 4 台压缩空气机，其中 37 kW 机 2 台，22 kW 机 2 台，配备为三用一备，主要用于供应镀膜机、气缸、电磁阀、生产工位吹气等生产设备的使用。4 台空压机其中有一台属于备机，平时开启一台 37 kW 和两台 22 kW 机组，压缩空气系统每天 24 h 运行，0.75 MPa 压力下，37 kW 机组供气量为 5.1 m³/min，22 kW 机组供气量为 3.2 m³/min，3 台机组总供气量为 5.1 + 3.2 + 3.2 = 11.5 m³/min，而实际供气量需求为 10.2 m³/min，供气量过剩，存在气量的浪费。并且空压机机型为全加载型，造成设备运行浪费，同时增加了设备的运行故障率。因此拟对空压机进行变频改造，增加一台变频空压机，并将全加载型空压机的设备运行通过两台机组的联动来降低运行浪费。另外，为了最大程度地利用空压机的能量，拟将空压机余热进行回收，用于水的加热，并将热水供给员工洗澡用水。

2) 空调用能分析。

空调用电也是企业五楼车间用电的主要消耗环节，经实际测算，约比其他楼层用电量 37%。调查发现，企业厂房房顶采用普通水泥混凝土建成，吸热大于反射光，同时，南方天气大部分气温较高，造成室内外气温温差大，平时楼面温度达到 42~46℃。环保隔热涂料技术目前已经比较成熟，通过环保隔热涂料，可以加强露面阳光反射，将楼面温度降低到 30~31℃，大大降低室内外的温差，节约企业空调用电。因此，Y 组拟在企业工厂房顶涂加环保隔热涂料，以减少空调能耗。

2.1.3 用水关键因子分析 Y 组针对企业用水情况，对企业的生产流程进行调查，绘制企业生产过程产排污情况图，得到图 2。

由图 2 可知，废水是企业生产过程中最主要的污染物，包括球面切削、研磨、抛光等加工环节，都会产生和排放废水。进一步对企业每日用水情况进行监测，绘制企业的每日水平衡情况，得到图 3。根据图 3，计算企业工业水重复利用率：

新鲜水耗量 = 99.6 (m³);
 重复用水量 = 6.2 + 7.4 + 1.4 + 5.7 + 7.9 + 5.5 + 1 + 10 = 45.9 (m³);

$$\text{工业水重复利用率} = \frac{\text{重复用水量}}{\text{新鲜水耗量} + \text{重复用水量}} \times 100\% = \frac{45.9}{99.6 + 45.9} \times 100\% = 32\%$$

企业工业用水重复利用率不高。另外,企业的4个洗镜房用水量较大,洗镜工序日用水量达到总用水量的23.69%。

Y组对洗镜房进行实地调查,确定洗镜房的运行情况和清洁生产潜力。洗镜房是企业一个重要的工艺,企业一共有4个洗镜房,4个洗镜房的用水

量较大,仅一个工序用水量就达到23.6 m³/d(图3),占企业总用水量的23.69%。

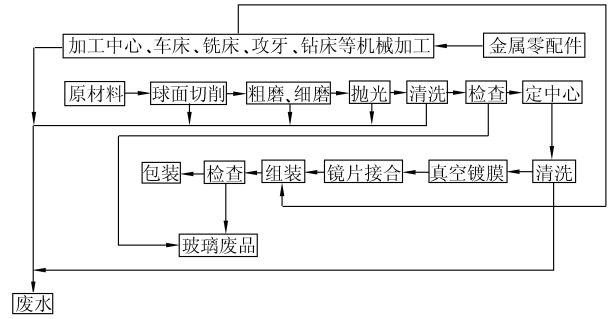


图 2 企业产排污情况

Fig. 2 Pollutant discharge during the production process

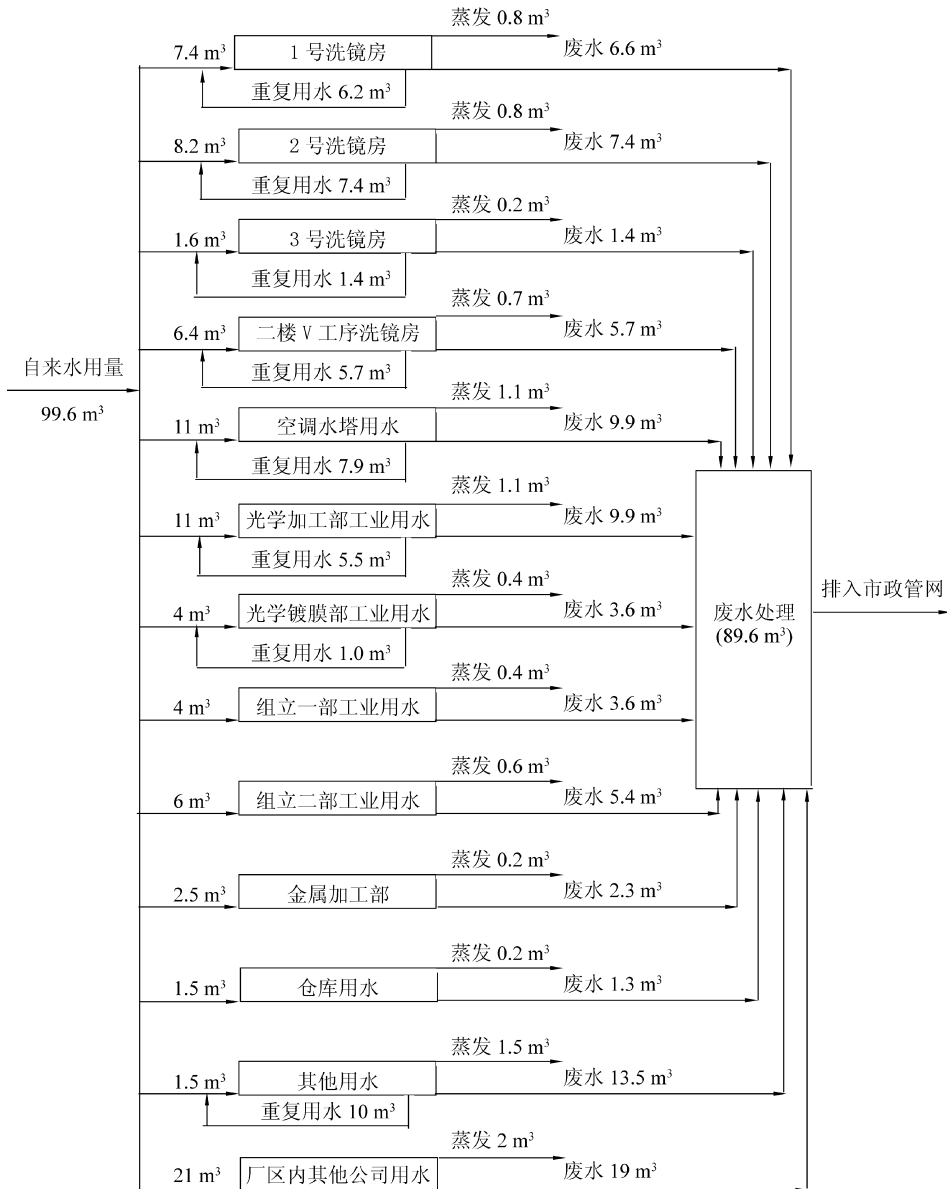


图 3 企业日平均用水水平衡图

Fig. 3 Daily water-consumption of the demonstration corporation

Y 组对洗镜房洗镜工艺进行考察，绘制其具体工艺流程及产排污情况图，得到图 4。由图 4 可知，在洗净工艺的用水，大部分是人工操作，要求操作人员根据清洗镜片的数量控制用水量。理论上，按照洗镜工艺情况，洗镜车间用水量应该和产品清洗量呈正相关关系。Y 组选取两个洗镜房的日用水量进行实测，并与当日镜片产量进行对比，得到图 5。

由图 4 可知，两个洗镜房的耗水量都与产量间没有很好的正相关关系，个别日期用水量与其产量不匹配。进一步实地考察与讨论分析，企业目前洗净房的清洗均已采用了逆流清洗等措施来减少用水，耗水量都与产量间的关系不匹配与设备无关，而主要是洗镜房管理不到位的结果。考察发现，洗镜房人工操作的开关管理不到位，该“常关闭”、“半开启”的开关经常处于全开启状态，造成了大

量新鲜水的浪费。因此，在进一步的清洁生产工作中，Y 组对企业提出进一步加强员工生产用水管理的建议。

2.1.4 因子分析法审核成效 Y 组采用因子分析法对企业开展清洁生产审核。审核工作从正式开始到提出全部方案共持续 72 个工作日；实际测试及其他审核工作成本共计 15 736 元；提出了空压机变频与余热回收、工厂房顶加装环保隔热涂料层改造、照明设施改造等 3 项中高费方案（投资 5 万元以上清洁生产方案），洗镜房用水管理等 15 项无低费方案（其余方案大多在关键因子筛选阶段提出）。Y 组提出的清洁生产方案共需投入资金 116.72 万元，产生的经济效益约为 134.41 万元/年，节约用电 129.01 万 kW·h/年，占年综合能耗 13.2%；节约新鲜水用量约 1 536 t/年，占新鲜用水量约 5.1%。

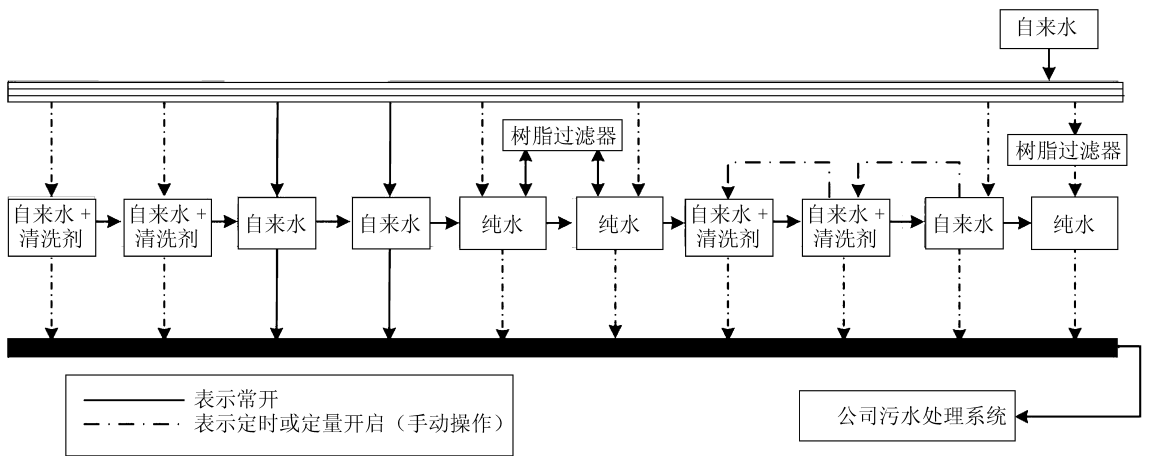


图 4 洗镜房工艺流程及其产排污情况

Fig. 4 Pollutant discharge during glass lens cleaning process

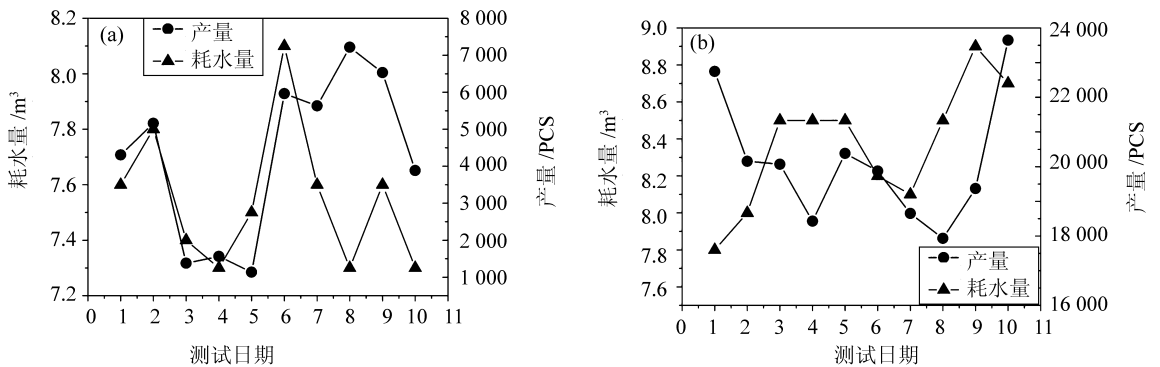


图 5 洗镜房用水量与产量间关系：(a) 1 号洗镜房，(b) 2 号洗镜房

Fig. 5 Relationship between daily water-consumption and product quantity during glass lens cleaning process :

(a) workshop No. 1, (b) workshop No. 2

2.2 传统审核方法对实例的审核结果

C 组采用传统审核方法从原辅材料消耗、生产工艺流程、设备、产品、用水、用电等生产情况, 废水、废气、固废排放与处理等产排污状况及环保管理措施等方面对企业开展全方位清洁生产审核工作(审核过程略)。审核工作从正式开始到提出全部方案共持续 121 个工作日; 实际测试及其他审核工作成本共计 23 243 元; 提出 3 项中高费方案、18 项无低费方案, 共计 21 项清洁生产审核方案, 其中 3 项中高费方案和 14 项无低费方案与 Y 组提出方案基本相同。C 组提出的清洁生产方案共需投入资金 118.93 万元, 产生的经济效益约为 137.29 万元/年, 节约用电 130.32 万 kW·h/年, 占年综合能耗 13.3%; 节约新鲜水用量约 1 673 t/年, 占新鲜用水量约 5.6%。

2.3 结果分析

将因子分析法在实例中的应用情况与传统审核方法进行对比, 得到表 2。

表 2 因子分析法与传统审核方法应用情况对比

Table 2 Comparison of application between factor analysis method and traditional cp approach

对比项目	因子分析法	传统方法
审核时间/d	72	121
审核成本/元	15736	23 243
提出中高费方案	3	3
提出无低费方案	15	18
审核每年效益/万元	134.41	137.29

由表 2 计算可得, 在实例应用中, 因子分析法的审核时间比传统审核方法缩短了 40%, 审核工作成本比传统审核方法降低了 32%, 审核效益可达到传统审核方法的 97.90%。

3 分析与讨论

实例应用表明, 对于无标准行业企业, 因子分析法比传统全方位清洁生产审核方法更高效、成本更低。因为因子分析法在关键因子甄别与筛选阶段就排除其他清洁生产潜力小的因子, 大大减少了审核工作量, 从而缩短了审核工作时间、减少了审核成本。

因子分析法也存在一定的局限性。采用因子分析法进行审核, 必须对企业涉及的每一种物质和能源进行甄别。对于工艺复杂、产品较多的企业, 涉

及的因子可能成百上千, 甄别分析的工作量较大。因此, 因子分析法更适合产品较少的简单企业。因子分析法的提出, 为无标准行业企业的清洁生产审核工作提供了一种新的方法和思路。但其进一步应用和推广, 还需更深入的研究。

参考文献:

- [1] LI Zhidong, ZHANG Yun, ZHANG Shushen. Status of and trends in development for cleaner production and the cleaner production audit in China[J]. *Environmental Forensics*, 2011, 12(4): 301-304.
- [2] 石磊, 钱易. 国际推行清洁生产的发展趋势[J]. *中国人口, 资源与环境*, 2002(1): 64-67.
- [3] 汪琴. 北京市清洁生产的历史回顾、现状及前景展望[J]. *北京化工大学学报: 社会科学版*, 2008, 63(3): 53-57.
- [4] 齐水冰, 罗爱武, 陈泽宏. 广东省清洁生产发展现状及对策思考[J]. *广东化工*, 2009, 36(6): 86-87.
- [5] 国家环境保护总局. 企业清洁生产审核手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [6] HILSON Gavin, NAUEE Vishal. Environmental management system implementation in the mining industry: a key to achieving cleaner production[J]. *Int J Miner Process*, 2002(4): 19-41.
- [7] GERBENS-LEENES P W, MOLL H C, SCHOOT UITERKAMP A J M, et al. Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems[J]. *Ecological Economics*, 2003, 46: 231-248.
- [8] XIN Ren. Cleaner production in China's pulp and paper industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 1998, 6: 349-355.
- [9] AVSAR E, DEMIRER G N. Cleaner production opportunity assessment study in SEKA Balikesir pulp and paper mill[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16: 422-431.
- [10] TELUKDARIE Armesh, BUCKLEY Chris, KOEFOED Michael. The importance of assessment tools in promoting cleaner production in the metal finishing industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14: 1612-1621.
- [11] ZBAYA A O, DEMIRER G N. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility[J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 84: 484-493.
- [12] ALBERTO Bezama, HUGO Valeria, MARCO Correa, et al. Evaluation of the environmental impacts of a cleaner production agreement by frozen fish facilities in the Biobío Region, Chile[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 26: 95-100.