

流水线作业照明调查分析及最适照度范围研究

杨馨宁¹, 徐 岩¹, 杜巍巍¹, 曹 磊¹, 王 生¹, 董雪梅², 卢厚汉², 陈松根², 曹晓鸥³, 张龙连⁴, 何丽华^{1△}

(1. 北京大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 北京 100191; 2. 广东省佛山市职业病防治所, 广东 528000; 3. 广东省佛山市南海区疾病预防控制中心, 广东 528200; 4. 北京市丰台区疾病预防控制中心, 北京 100171)

[摘要] **目的:** 调查分析我国流水线作业的照明现状, 提出流水线作业照度标准推荐值。 **方法:** 选取北京市、广东省的纺织、制鞋、电子 3 个行业 7 家工厂和 752 名流水线作业工人进行现场问卷调查以及对照度值进行实地测量, 采用 SPSS 13.0 统计软件对调查资料进行相应的分析。 **结果:** 照明均匀度、工作面清晰度、整体满意度、视疲劳程度之间显著相关; 5 类不同视觉特性流水线作业照明最适范围推荐值分别为 500 ~ 1 000 ~ 1 500 lx、300 ~ 500 ~ 1 000 lx、200 ~ 300 ~ 750 lx、100 ~ 300 ~ 500 lx、50 ~ 100 ~ 200 lx。 **结论:** 流水线作业照明状况不理想, 照度均匀度偏低, 以及没有针对工人的整体满意度以及视疲劳程度提出相应的照度值等是重要影响因素, 提示需进一步完善相关工作, 改善流水线作业照明环境。

[关键词] 视疲劳; 采光; 职业卫生

[中图分类号] R135.92 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2011)03-0370-05

doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2011.03.012

An assembly line lighting survey analysis and its optimal illumination range research

YANG Xin-ning¹, XU Yan¹, DU Wei-wei¹, CAO Lei¹, WANG Sheng¹, DONG Xue-mei², LU Hou-han², CHEN Song-gen², CAO Xiao-ou³, ZHANG Long-lian⁴, HE Li-hua^{1△}

(1. Department of Occupational and Environmental Health Sciences, Peking University School of Public Health, Beijing 100191, China; 2. Occupational Diseases Prevention & Treatment in Foshan City, Guangdong 528000, China; 3. Center for Disease Control and Prevention of Nanhai District in Foshan City, Guangdong 528200, China; 4. Center for Disease Control and Prevention of Fengtai District, Beijing 100171, China)

ABSTRACT Objective: To investigate and analyze present conditions of the assembling line illumination in our country, and to set the recommended values of illuminance standard. **Methods:** Questionnaires and field surveys were used in this investigation. A total of 752 workers from seven factories in textile, shoes and electronics industries were selected for the questionnaire survey and site measurement, and corresponding analyses made with SPSS 13.0 statistic software. **Results:** Uniformity of illumination, definition in working face, general satisfactory degrees, asthenopia were significantly correlated with each other. Assembly line illuminances for five different visual characteristics were recommended in this paper. The illuminances were 500 - 1 000 - 1 500 lx, 300 - 500 - 1 000 lx, 200 - 300 - 750 lx, 100 - 300 - 500 lx, 50 - 100 - 200 lx, respectively. **Conclusion:** Present conditions of the assembling line illumination are less than satisfactory, uniformity of illumination is on the low side, and there is no assembling line illuminance standard for general satisfactory degrees and asthenopia of workers. The related work should be further improved.

KEY WORDS Asthenopia; Lighting; Occupational health

近年来,随着我国进出口贸易的飞速增长,一种高效率的生产形式——流水线作业也越来越受到各种生产行业的青睐。优化流水线作业直接关系到产品的质量 and 生产的效率^[1],因此成为企业不得不关注的话题。流水线生产的特点是其专业化程度高、作业分工很细、生产效率高^[2]。流水线生产能够连续顺利地进行受多种因素的影响,适宜的照明条件是其中之一^[3]。良好的照明环境不仅能保证流水

线生产的安全连续进行,提高生产效率,更能满足流水线作业人员生理和心理的需要,适合其长时间的视觉作业的特点^[4]。各生产性企业在生产流水线作业建设的同时已经建立了完整的照明系统,然而照明系统的照度指标是否适宜,对此多数生产性企业并没有进行科学的分析,大多凭借经验进行设计。

在我国,流水线作业人员的工作时间长、强度

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAK04A11,2006BAI06B08)资助 Supported by the Mega-projects of Science Research for the 11th Five-Year Plan (2006BAK04A11, 2006BAI06B08)

△ Corresponding author's e-mail, alihe2009@126.com

网络出版时间:2011-5-30 13:36:39 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20110530.1336.001.html>

大、用眼程度高,照明环境的好坏对作业人员的视健康会产生很大的影响,照明环境差极易造成视疲劳,降低工作效率,甚至引发安全事故^[5],故而,从卫生学角度考虑,制定一个保障工人视力健康,满足作业人员生理及心理需求的流水线照明作业卫生标准具有重要的现实意义。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以北京市和广东省的纺织、制鞋、电子3个行业,总共7家工厂中工龄在半年以上的所有流水线上的作业工人作为调查对象,总共选取752名作业工人。

1.2 调查内容

本次调查包括对不同行业流水线作业中照度值进行实地测量,以及使用语义差别量表^[6]对调查对象进行问卷调查,对调查问卷的填写情况进行评分,得出调查对象对照明情况的主观评价价值。

1.3 研究方法

2010年3月至2010年11月采用现场自填式问卷调查的方法,问卷调查表中主要包含两部分内容,一部分内容是评价流水线作业人员对照明现状的满意度,另一部分是作业人员的视疲劳程度,二者皆使用语义差别量表作为评价方式。其中评价视疲劳的方法是采用视疲劳定量分析问卷(visual quality scale, VQS)进行问卷调查,并根据语意差别法将答案划分为5个等级,每个等级分值不同,最后按照VQS记分标准对调查结果进行评分,得到不同调查对象相应的视疲劳主观评价分值,其中分值越大视疲劳情况越轻。

实际发放问卷752份,回收有效问卷694份,有效回收率为92.29%。使用TES-1330A型照度仪对流水线作业工作面或工作场所进行照度值的测量。在每个被测工作台表面一般选取3~5个测点,然后求其算术平均值,对于没有确定工作台或者操作平面的流水线工作场所,通常选0.8 m高的水平面测量照度^[7]。

1.4 统计学分析

用Epidata 3.1建立数据库进行资料录入,采用SPSS 14.0统计软件对5类不同精细度流水线作业的照度实测值进行统计描述,并对各类作业照明现状的各项主观评价价值进行相关性分析,之后结合将照明实测值与照明现状主观评价价值数据结合计

算两者相关系数,并用 t 检验验证该相关系数是否具有统计学意义。根据费西诺定律(Fechner's law),将5类作业视疲劳主观评价价值与照明实测值进行回归分析,找到二者之间的定量关系,建立二者的回归方程,从而得到各类流水线作业的照度推荐值。

2 结果

2.1 一般情况

7家工厂分别为纺织行业3家、电子行业3家、制鞋行业1家,其中纺织行业问卷调查有效人数为256人,电子行业问卷调查有效人数为272人,制鞋行业问卷调查有效人数为166人。流水线作业的精细程度分类按照《工业企业照明设计标准》规定,根据识别对象的最小尺寸进行划分,其中属于超精细作业的人数为23人,一般精细作业的人数为191人,普通作业的人数为256人,较粗糙作业的人数为149人,粗糙作业的人数为75人。

2.2 问卷调查结果

按视觉作业的精细程度对流水线作业的分类调研结果见表1。调查结果根据统计学原理对问卷及数值进行了适当的取舍,去掉了相对整体均值离散过大的问卷与数值。使用的拉依达(PaiTa)检验法对数据进行取舍,以3倍标准偏差作为判别标准,当 $|x_i - \bar{x}| > 3s$ 则该数据应该舍去,本次照明主观评价数据的均值为8.80,数据标准差为2.46,则分值 < 1.42 或者 > 16.18 应舍去,因为8个项目总分为16,故舍值标准为照明现状主观评价总分 < 1 。

根据问卷结果统计,超精细作业组主观评价总分为173分,均值为7.059;一般精细作业组主观评价总分为1575分,均值为8.244;普通作业组主观评价总分为2322分,均值为9.069;较粗糙作业组主观评价总分为1373分,均值为9.216;粗糙作业组主观评价总分为747分,均值为9.964。

将照明现状的主观评价指标(如清晰度、安全感等) $x_1 \sim x_7$ 每项分别对应不同的精细作业程度计算平均分;将视疲劳的主观评价指标(如眼干涩、异物感等) $y_1 \sim y_8$ 得分加和计算平均分,指标为 y ,反映调查对象视疲劳程度。

利用SPSS 14.0统计软件,算出表1中各分项之间的Pearson相关系数(表2)。由主观评价各分项的相关系数可以看出,照度均匀度(x_5)与工作面的清晰程度(x_1)、识别人面部的难易程度(x_3)、整

体满意度(x_7)显著相关;整体满意度(x_7)与工作面的清晰程度(x_1)、识别人面部的难易程度(x_3)、照度均匀度(x_5)显著相关;视疲劳程度(y)与工作面的清晰程度(x_1)、识别人面部的难易程度(x_3)、照度均匀度(x_5)、整体满意度(x_7)显著相关。

2.3 照明现场照度测量数据统计

对7家工厂的5类不同精细程度的流水线作业的照明状况进行了现场实测,得到各类流水线照度的测量数据,经过统计计算得到汇总结果。从表3中可看出,随着流水线作业精细程度的不同,最小照

度值、最大照度值以及平均照度值均随精细程度的减小而减小;照度均匀度值随精细程度的减小而增大;照度值与照度均匀度有线性关系,随着照度值降低,照度均匀度逐渐增高。

2.4 对照度测量数据和主观评价数据进行统计分析
利用SPSS 14.0统计软件,算出表4中照度实测值与主观评价值的相关系数 $r=0.918$,在0.05水平(双侧)上显著相关。对 r 进行假设检验,采用 t 检验法, $P<0.001$,故可以认为实测值与主观评价值之间存在正相关。

表1 5类流水线作业照明环境问卷调查各分项平均得分

Table 1 The average scores of the lighting environment questionnaire of five different assembling lines

Evaluation index	Ultra sophisticate job	Generally sophisticate job	Common job	Relatively rough job	Rough job
x_1 (clarity)	0.942	1.012	1.200	1.444	1.453
x_2 (security)	1.384	1.342	1.102	1.199	1.237
x_3 (identification)	0.984	1.082	1.191	1.272	1.364
x_4 (reality)	1.333	1.235	1.423	1.152	1.032
x_5 (uniformity)	0.452	0.645	0.847	1.053	1.103
x_6 (glare)	0.923	0.851	1.021	0.621	1.197
x_7 (satisfaction)	0.839	1.135	1.253	1.274	1.333
y (asthenopia)	0.652	0.942	1.032	1.201	1.245

表2 流水线作业照明环境问卷调查各分项的相关矩阵

Table 2 Correlation matrix of the lighting environment questionnaire of five different assembling lines

Correlation coefficient	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y
x_1	1	0.632	0.968 [#]	0.670	0.985 [#]	0.046	0.850	0.938 [*]
x_2	0.632	1	0.647	0.113	0.685	0.097	0.756	0.656
x_3	0.968 [#]	0.647	1	0.677	0.988 [#]	0.240	0.918 [*]	0.967 [#]
x_4	0.670	0.113	0.677	1	0.644	0.093	0.488	0.653
x_5	0.985 [#]	0.685	0.988 [#]	0.644	1	0.096	0.928 [*]	0.981 [#]
x_6	0.046	0.097	0.240	0.093	0.096	1	0.143	0.068
x_7	0.910 [*]	0.756	0.918 [*]	0.488	0.928 [*]	0.143	1	0.969 [#]
y	0.938 [*]	0.656	0.967 [#]	0.653	0.981 [#]	0.068	0.969 [#]	1

* The correlation is significant at level $P<0.05$, # The correlation is significant at level $P<0.10$.

表3 流水线作业照明实测值

Table 3 Measured values of lighting condition of the assembling lines

Measured value	Ultra sophisticate job	Generally sophisticate job	Common job	Relatively rough job	Rough job
Minimum illumination (E_{min})	368 lx	310 lx	270 lx	162 lx	87 lx
Maximum illumination (E_{max})	1 449 lx	1 025 lx	850 lx	687 lx	768 lx
Average illumination (E_{av})	826 lx	645 lx	534 lx	310 lx	139 lx
Uniformity ratio of illuminance (E)	0.446	0.481	0.506	0.522	0.625

表4 各行业不同流水线作业类别照度实测值和视疲劳主观评价价值

Table 4 Measured values and subjective assessment values of the assembling lines with different industries

Value	Ultra sophisticate job	Generally sophisticate job	Common job	Relatively rough job	Rough job
Shoe-making					
Average illumination (E_{av})	726 lx	502 lx	474 lx	239 lx	114 lx
Subjective assessment value (y)	0.530	0.857	0.981	0.990	1.029
Electronic					
Average illumination (E_{av})	982 lx	749 lx	691 lx	419 lx	152 lx
Subjective assessment value (y)	0.791	1.036	1.193	1.243	1.472
Sewing					
Average illumination (E_{av})	856 lx	610 lx	572 lx	306 lx	132 lx
Subjective assessment value (y)	0.685	0.938	1.047	1.045	1.238

2.5 流水线作业照度的建议值

19 世纪德国心理学家兼物理学家 Fechner 研究发现,当刺激量越大时,产生一个刺激量的一个最小变化的觉察量所需要的变化量越大,这一规律称为费西诺定律 (Fechner's law)^[8]。对于光线强度人眼的感受会有“压缩反应”(response compression),也就是两倍的照度强度,却是不到两倍亮的知觉,光线对眼睛的刺激量与人视觉感受、视疲劳程度呈现一个对数函数曲线模型。将本次调查中照度实测值进行对数转换后,得到实测值关于主观评价价值的曲线回归方程,并根据方程做出 5 类作业的曲线模型图(图 1)。

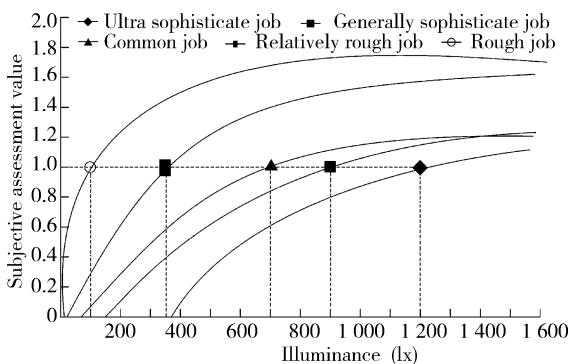


图1 5类作业实测照度值随视疲劳主观评价价值的变化曲线

Figure 1 The curves of the illuminance on subjective assessment value of five different assembling lines

该对数曲线模型横轴 X 为照度实测值的对数值,纵轴 Y 为主观评价价值。由于本次视疲劳调查问卷是按照莱可特(Likert)的 5 点等级法设计的语义差别量表,这种量表是由一对反义词和一个奇数的量表组成,量表就像一把尺子一样,让被调查者选出最适合自己主观感受的那个刻度,比如在本项调查中关于视疲劳导致的眼睛视物模糊的调查,用语意差别量表就

可以表述为:模糊←-2、-1、0、1、2→模糊。

本次视疲劳的主观调查项目共分 9 项,每项取值范围为 -2 ~ 2 分,考虑到视疲劳的不同反映现象的内在联系,故而将 9 项得分相加和后取平均分作为每份样本的主观评价得分。当得分趋近 -2 时表示的意义为出现非常严重的视疲劳感受,趋近 0 时表示的意义为出现可耐受的视疲劳感受,趋近 1 时代表几乎没有视疲劳感受,趋近 2 时表示完全没有视疲劳感受。因工作环境、经济因素等原因限制,故而通过 0 ~ 1 分值范围推出适宜的流水线各类照度范围。

2.5.1 超精细作业 对两类数据进行相关性分析,超精细作业平均照度值和视疲劳主观评价价值的相关系数为 0.952,说明平均照度值越高,流水线作业人员视疲劳程度越低。设 lgE_{av} 为超精细作业平均照度值的对数值, y 为超精细作业的视疲劳主观评价价值,对 y 和 lgE_{av} 进行回归分析,得到 y 和 lgE_{av} 在数量上的关系式: $y = -5.175 + 1.996lgE_{av}$ (对数函数模型 1.1)。当 y 取 0 和 1 时,它们分别代表的意义是出现可耐受视疲劳和几乎没有视疲劳,算出 E_{av} ,分别为 389.05 lx 和 1 230.27 lx,即当平均照度值分别为 389.05 lx 和 1 230.27 lx 时,人们感觉到视疲劳和人们几乎感觉不到视疲劳。参照国际照明委员会(Commission International d' Eclairage, CIE)以及美、英、法等国的相关标准,建议超精细作业平均照度值为 500 ~ 1 000 ~ 1 500 lx(维持照度),设计时可根据工厂实际情况选取不同的值,条件较好者可取较高限值。

2.5.2 一般精细作业 一般精细作业平均照度值和视疲劳主观评价价值的相关系数为 0.882。一般精细作业中 y 和 lgE_{av} 在数量上的关系式: $y = -1.929 + 1.031lgE_{av}$ (对数函数模型 2.1)。当 y 取 0 和 1 时,

E_{av} 为 145.13 lx 和 691.83 lx, 建议一般精细作业平均照度值为 300 ~ 500 ~ 1 000 lx (维持照度)。

2.5.3 普通作业 普通作业平均照度值和视疲劳主观评价的相关系数为 0.902。普通作业中 y 和 $\lg E_{av}$ 在数量上的关系式: $y = -2.499 + 1.296 \lg E_{av}$ (对数函数模型 3.1)。当 y 取 0 和 1 时, E_{av} 为 83.18 lx 和 489.83 lx, 建议普通作业平均照度值为 200 ~ 300 ~ 750 lx (维持照度)。

2.5.4 较粗糙作业 较粗糙作业平均照度值和视疲劳主观评价的相关系数为 0.962。较粗糙作业中 y 和 $\lg E_{av}$ 在数量上的关系式: $y = -2.126 + 1.232 \lg E_{av}$ (对数函数模型 4.1)。当 y 取 0 和 1 时, E_{av} 为 53.70 lx 和 338.84 lx, 建议较粗糙作业平均照度值为 100 ~ 300 ~ 500 lx (维持照度)。

2.5.5 粗糙作业 粗糙作业平均照度值和视疲劳主观评价的相关系数为 0.898。粗糙作业中 y 和 $\lg E_{av}$ 在数量上的关系式: $y = -1.098 + 1.060 \lg E_{av}$ (对数函数模型 5.1)。当 y 取 0 和 1 时, E_{av} 为 10.87 lx 和 95.50 lx, 建议粗糙作业平均照度值为 50 ~ 100 ~ 200 lx (维持照度)。

3 讨论

我国工业企业数量以及作业工人人数均居世界首位, 虽然目前并没有资料统计工厂中现有流水线作业工人的确切人数, 但根据我们实地调研观察可知, 每个工厂都有多达 1/3 的员工在流水线上工作, 据此可知流水线作业人员的数量是非常庞大的, 因此, 制定适宜的流水线照明标准以保护流水线作业人员的健康意义重大。

本研究从卫生学角度对我国典型生产性流水线作业照明进行实测与问卷相结合研究, 得到了流水线作业照明情况的第一手数据, 并以费西诺定律为理论基础, 提出流水线作业照明卫生标准推荐值, 这在职业卫生领域内尚属首次。

在本次调查中, 我们发现各工厂流水线普遍存在对照明环境设计不够重视, 照明质量参差不齐的情况, 虽然计算出的平均照度值基本符合现行标准的规定, 但各类作业的最低照度值普遍低于 GBZ1-2010《工业企业设计卫生标准》中规定的限值, 这将导致整个照明环境中明暗不均的情况, 不仅会加大工人的视疲劳程度, 也会降低工人的工作效率, 提示需要提高最低照度值, 从而增加照明环境的照度均匀度。

本次调查的工厂并未根据视觉作业特性对其流水线作业进行划分, 并给予不同强度的照明措施。在实地调研中, 工厂一般是按照工人的要求提供照

明措施, 并不是根据具体的操作对象加以区分, 这种方式带有很大程度的主观性。部分普通作业仍然提供较高照度, 长期处于高强度的光照下, 工人眼睛容易较早出现视疲劳, 这不仅对健康有害, 还对国家能源造成了浪费, 这也提示工厂应按《工业企业照明设计标准》规定划分流水线作业的精细度, 并按照不同等级提供不同的照明环境。

国外资料显示, 视疲劳是流水线作业工人普遍存在的问题^[9-10], 也是本研究关注的重点。在收回的 694 份有效问卷中只有 83 份完全没有视疲劳的指征, 占全部问卷的 11.96%, 将近 90% 的人在工作中出现不同程度的视疲劳现象, 根据本次研究结果, 视疲劳的出现与工作面的清晰程度、识别人面部的难易程度、光线的均匀度、整体满意度等照明指标的主观评价价值显著相关, 说明改善视疲劳的情况, 要从改善以上 4 个指标着手。另外, 从表 4 中可以看出, 随着流水线作业精细程度的增加, 作业工人视疲劳的程度呈上升趋势, 说明精细作业也不是照度值越大越好, 为了工人的视力健康, 需要找到一个合适的照度值, 提示应对每个行业的流水线作业划分相应视觉特性等级, 同时给不同视觉特性等级规定相应的照度值范围。每个工厂可以根据实际情况区分出需要高或低照度值的流水线, 对于保护工人视力健康和节约能源都大有裨益。

参考文献

- [1] Sabatini H, Sharanya V, Sakthivel Anand G, et al. Productivity enhancement in the assembly line of a horn manufacturing company [J]. *Int J Manag Pract*, 2010, 4(2): 200-215.
- [2] Montano A, Villalobos JR, Gutierrez MA, et al. Performance of serial assembly line designs under unequal operator speeds and learning [J]. *Int J Prod Res*, 2007, 45(22): 5355-5381.
- [3] 高飞. 照明有多重要! [J]. *照明工程学报*, 2005, 16(2): 65-66.
- [4] Ding JP, Huang ZT. Independent reflecting element interaction characterization for indoor visible light communication based on new generation lighting [J]. *Chin Optics Letters*, 2010, 8(12): 1182-1186.
- [5] 侯锦秀, 张进春. 流水线生产的照度安全分析 [J]. *工业安全与环保*, 2006, 32(11): 44-45.
- [6] Kang J, Zhang M. Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces [J]. *Bldg Environ*, 2010, 45(1): 150-157.
- [7] 许艳. 照度计的特性及测量误差的定量评价 [J]. *现代计量测试*, 2002, 10(3): 34-35.
- [8] Augustin T. Stevens' power law and the problem of meaningfulness [J]. *Acta Psychol (Amst)*, 2008, 128(1): 3176-3185.
- [9] Taino G, Ferrari M, Mestad JJ, et al. Asthenopia and work at video display terminals: study of 191 workers exposed to the risk by administration of a standardized questionnaire and ophthalmologic evaluation [J]. *G Ital Med Lav Ergon*, 2006, 28(4): 487-497.
- [10] Tiwari RR, Saha A, Parikh JR. Asthenopia (eyestrain) in working children of gem polishing industries [J]. *Toxicol Ind Health*, 2011, 27(3): 243-247.

(2011-03-01 收稿)

(本 文 编 辑 : 任 英 慧)