

# 照明工程中定性与定量之间的转换研究\*

陈仲林, 翁季, 胡英奎, 宗德新

(重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400045)

**摘要:**为了建立照明工程中主观感觉量与客观物理量之间的关系,利用广义的韦伯—费昔勒定律把照明工程中的定性问题与定量问题联系起来,并对于照明工程实际应用问题,推导出了由客观物理量得到相应主观感觉量的近似计算式。对广告照明的实例验证表明,该近似计算式的计算精度较高,与实际情况更为吻合。利用该近似计算式,采用解方程的方法可以求得在给定满意度水平条件下对应的照明水平,即由指定的主观感觉量求出相应的客观物理量,从而可以更合理地指导照明工程设计。

**关键词:**回归分析;建筑光学;定性;定量;照明工程;照明水平

**中图分类号:**TU113.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)04-0001-03

## Study of Transform between Qualitative Analysis and Quantitative Analysis in Lighting Engineering

CHEN Zhong-lin, WENG Ji, HU Ying-kui, ZONG De-xin

(College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing, 400045, P. R. China)

**Abstract:** In order to establish the relationship between subjective sense and physical measurement in lighting engineering, the qualitative and quantitative analyses are connected through generalized Weber-Fechner Law. For practical application problems of lighting engineering, a proximate function of subjective sense deduced from physical measurement is brought forward. The experiment in advertising lighting shows that the result of this function is more exact and more closely to the practice than others. Using this proximate function, the illumination level, corresponding to given satisfaction level, can be found. In other words, the physical measurement corresponding to given subjective sense can be evaluated by using this proximate function, accordingly the design of lighting project can be directed reasonably.

**Keywords:** regression analysis; architecture lighting; qualitative analysis; quantitative analysis; lighting engineering; illumination level

在照明工程中常常需要确定视觉效果好时所对应的照明水平标准值,实际上这就是确定主观感觉量与客观物理量之间的内在关系。为此,往往采用心理物理学研究成果,即在一定条件下,对于一些简单的问题,采用问卷、量表、量值评估法,根据古典的韦伯—费昔勒定律并利用统计软件,将物理刺激量与主观感觉量联系起来,即确定定性与定量之间的关系。

### 1 韦伯—费昔勒定律与人的视觉行为

古典的韦伯定律<sup>[1]</sup>:

$$dA = a \frac{dY}{Y} \quad (1)$$

式中:  $A$  为对应于物理刺激量  $Y$  的感觉量;  $a$  为比例系

数。

其积分形式称为费昔勒定律:

$$A - A_0 = a \ln(Y/Y_0) \quad (2)$$

整理后得:

$$A = a \ln Y + (A_0 - a \ln Y_0)$$

令  $b = A_0 - a \ln Y_0$ , 得:

$$A = a \ln Y + b \quad (3)$$

通常把(3)式称为古典的韦伯—费昔勒定律<sup>[1]</sup>。它成功地确定了一些物理刺激量与感觉量之间的关系,例如在照明工程中所用的照度等级就是以此定律为基础确定的。但是有些定性与定量之间的问题却不能利用该定律得到合理的解决。例如在道路照明工程中,为了保证行车安全、舒适、迅速,必须有足够的反应时间,这里不能仅仅考虑光感觉问题,还要考虑视觉

\* 收稿日期:2006-02-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50378093)

作者简介:陈仲林(1944-),男,上海人,教授,博士生导师,主要从事建筑光学研究。

问题。光感觉是人对外界光刺激作用的直接反映,而视知觉是光感觉的综合结果,并受经验和知识的影响。同时,视知觉还受知觉者本身的身体状况(如年龄、药物、酒精、责任心和疲劳程度等)以及复杂的生理和心理状况(如适应水平和适应过程等)的影响;还要考虑发光强度和光谱分布、光源位置及周围环境等影响,以及当地气候、汽车运行状况等的影响。

此外,人的视觉系统有很大的自调节能力,可把清晰度调到最佳程度。总之,所有这些因素均要对人的行为产生影响。由于道路照明均是考虑晚上情况,所以在进行道路照明研究时可不考虑定时和预测影响;同时在研究道路照明标准时可以仅对标准人眼和标准情况(例如笔直、干燥路面)进行研究。

总之,人的视觉的行为反应已不是在物理刺激量与感觉量的范围内能研究的问题,而是要受到人的经验、知识等与光感觉的综合影响,所以在研究人的主观反应时,应对古典的韦伯—费昔勒定律加以进一步完善,使之也能适应于照明工程的实际情况。

## 2 视知觉与物理刺激量关系研究

广义的韦伯—费昔勒定律已经被证明能够用于光环境研究<sup>[2]</sup>,其表达形式为:

$$dA = af(A) \frac{dY}{Y^m} \quad (4)$$

式中: $f(A)$ 为感觉量 $A$ 的函数; $m$ 为指数,其值取决于研究对象的性质。

在一般情况下,对于照明工程中的视知觉与物理刺激量之间的关系,可取 $f(A) = A^n$ ;此外,还可以取 $m = 1$ 进行研究<sup>[2]</sup>。

当取 $f(A) = A^n$ ,以及 $n \neq 1, m = 1$ 时,对(4)式积分后可得:

$$B = \sqrt[n-1]{a(1-n)\ln(Y/Y_0) + B_0^{1-n}} \quad (5)$$

式中: $B$ 为对应于光刺激量 $Y$ 的视知觉量; $B_0$ 为对应于特定的光刺激量 $Y_0$ 的视知觉量。

可以将(5)式变形为:

$$B = B_0 \left[ \ln\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^b + 1 \right]^{\frac{1}{g}} \quad (6)$$

式中: $b$ 为指数,且有 $b = a(1-n)/B_0^{1-n}$ ;  $g$ 为指数,且有 $g = 1-n$ 。

也可以将(5)式变形为:

$$B = \sqrt[g]{b_1 \lg Y + d} \quad (7)$$

式中: $b_1$ 为系数,且有 $b_1 = a(1-n)/\lg e$ ;  $d$ 为常数,且有 $d = B_0^{1-n} - a(1-n)\lg Y_0/\lg e$ 。

但是,(7)式与(3)式一样,当其系数一定时都是单调函数,而不能表达非单调变化关系的问题,所以必须加以改正。

设 $x = b \ln(Y/Y_0)$ ,又当 $g > 0, |x| \leq 1$ 时,视知觉量 $B$ 与光刺激量 $Y$ 之间的函数关系式(6)式可展开成:

$$B = B_0 \left\{ 1 + \frac{1}{g}x + \frac{1-g}{g \cdot 2g}x^2 + \dots + \frac{(1-g)(1-2g)\dots[1-(n-1)g]}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n \cdot g^n}x^n + \dots \right\}$$

式中: $x = b \ln(Y/Y_0)$ 中的 $Y_0$ 取被研究的光刺激量 $Y$ 的最大值。

在一定条件下,对于所研究的照明工程问题,为了便于确定视知觉量与光刺激量之间的关系,可用下式来估计视知觉量大小:

$$B = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + \dots \quad (8)$$

现采用参考文献[2]中光照清晰度(劳动生产率)的计算式(11),以及上述(7)式和(8)式对前苏联学者柯多娃实测的数据<sup>[3]</sup>进行计算,结果列于表1。

利用试验数据对文献[2]中(11)式进行拟合,结果其指数 $C = 2.4346$ ,判定系数 $R^2 = 0.9988$ ,相对误差均在 $-0.7\% \sim +0.5\%$ 之间,表达式为:

$$A' = 1 - \frac{1 - A'_0}{\left(\frac{V}{V_0}\right)^{2.4346}}$$

式中: $A'$ 为光照清晰度; $V$ 为视度。

利用试验数据对上述(7)式进行拟合,其系数 $g = 5.3127, b_1 = 2.0575, d = -3.3540, R^2 = 0.9982$ ,相对误差均在 $-0.4\% \sim +0.8\%$ 范围内,表达式为:

$$B = \sqrt[5.3127]{2.0575 \lg V - 3.4540}$$

上式与试验数据比较吻合,表明对本例来说,可以把知

表1 光照清晰度试验值与计算值比较

视度	48.5	54.0	65.0	76.0	84.0	94.0	103.5
光照清晰度试验值	0.667	0.740	0.834	0.886	0.914	0.934	0.954
文献[2]中(11)式计算值	0.667	0.744	0.837	0.888	0.913	0.934	0.947
(11)式结算结果相对误差/%	0.0	+0.5	+0.4	+0.2	-0.1	0.0	-0.7
(7)式计算值	0.665	0.746	0.832	0.883	0.910	0.937	0.957
(7)式结算结果相对误差/%	-0.3	+0.8	-0.2	-0.3	-0.4	+0.3	+0.3
(8)式计算值	0.667	0.740	0.834	0.887	0.912	0.936	0.953
(8)式结算结果相对误差/%	0.0	0.0	0.0	+0.1	-0.2	+0.2	-0.1

注:表中相对误差是以试验值为准算得的。

度量与物理刺激量之间的关系  $f(A)$  写成  $A^n$  形式。

(8)式取到3次方项,利用试验数据进行拟合计算,其系数  $b = 0.5719, a_0 = 0.9534, a_1 = 0.3138, a_2 = -0.05292, a_3 = 1.7255, R^2 = 0.9999$ , 相对误差均在  $-0.2\% \sim +0.2\%$  之间。(8)式的计算值精度较高,计算结果满意。因此,利用(8)式来确定光照清晰度(劳动生产率)与视度之间的关系是可行的,而且还能获得较好的结果。

### 3 用定性与定量之间的关系确定照明水平

社会调查的基本类型有普遍调查、典型调查、抽样调查和个案调查等;调查方法有问卷法、访谈法、观察法和查阅文献法等<sup>[4,5,6]</sup>。采用由反义词和奇数的量表构成的语义差别量表<sup>[7]</sup>,并选择不同年龄、不同生活经历、不同文化程度的被调查者对重庆市区的灯箱广告和投光灯广告进行问卷调查,发放问卷表400份,有效问卷376份;同时用BM-5A亮度计对户外广告画面采用九点法测亮度值,并算出亮度平均值,如表2所示。现分别利用(8)式进行曲线拟合,计算结果如下:

对(8)式拟合的灯箱广告满意度表达式的系数  $a_0 = 0.8653, a_1 = 0.9130, a_2 = -0.8730, a_3 = 0.7606, b = 0.7363, R^2 = 0.9940$ ; 计算值的相对误差均在  $-2.4\% \sim +3.8\%$  范围内,拟合效果较好;计算结果如表2所示。

表2 重庆市灯箱广告满意度问卷值与计算值比较

广告名称	亮度/ cd/m <sup>2</sup>	满意度 问卷值	(8)式 计算值	相对误 差/%
赛博主入口上部TCL广告	204.0	0.88	0.865	-1.7
嘉多利广场一层兴业银行	195.0	0.82	0.836	+2.0
解放碑LG广告	102.3	0.54	0.527	-2.4
大都会广场比华利广告	161.7	0.72	0.731	+1.5
移动通信沙坪坝营业厅	141.2	0.68	0.667	-1.9
中国联通三峡广告营业厅	126.3	0.62	0.618	-0.3
金鹰女人广场鞋城	144.4	0.68	0.677	-0.4
解放碑新世纪诗仙太白广告	72.30	0.34	0.338	-0.6
国泰影院毕润涂料广告	100.6	0.50	0.519	+3.8
解放碑锦阳数码通讯城	133.1	0.64	0.641	+0.2

注:表中相对误差以满意度问卷值为推算得的。

利用(8)式拟合的投光灯广告满意度表达式的系数  $a_0 = 0.8239, a_1 = 0.1353, a_2 = -0.9903, a_3 = -0.5010, b = 0.4350, R^2 = 0.9943$ ; 如以投光灯广告满意度问卷值为准,则满意度计算值的相对误差均在  $-5.0\% \sim +2.3\%$  范围内,拟合效果较好,如表3所示。

由上述分析知,将调查实测数据处理后,利用(8)式即可获得拟合效果较好的有关系数。值得注意的是本文中的满意度与语义差别量表是按表4设计的。

表3 重庆市投光灯广告满意度问卷值与计算值比较

广告名称	亮度/ cd/m <sup>2</sup>	满意度 问卷值	(8)式 计算值	相对误 差/%
重师招待所西门子广告	13.46	0.14	0.140	0.0
重师招待所鲜橙多广告	171.8	0.82	0.824	+0.5
融信大厦BONI服装广告	69.55	0.66	0.648	-1.8
重百旁美特斯邦威广告	99.50	0.74	0.743	+0.4
重百旁佐丹奴广告	119.0	0.82	0.779	-5.0
解放碑华美整形美容广告	104.2	0.74	0.753	+1.8
解放碑上海中华企业广告	102.7	0.74	0.750	+1.4
三峡广场重庆数字电视广告	111.1	0.76	0.766	+0.8
大川水岸房地产广告	33.00	0.40	0.402	+0.5
沙区中国建设银行广告	106.1	0.74	0.757	+2.3

注:表中相对误差以满意度问卷值为推算得的。

表4 语义差别量表和满意度调查表

语义	很好	较好	一般	较差	很差
满意度/%	90	70	50	30	10

从表4中看出,表中所示的满意度大小直接与主观评价价值联系起来,这种处理方法非常直观、明了。

根据实测数据拟合出相应表达式后,就可以借助MATLAB等数学软件解出对应于不同满意度时重庆市灯箱广告画面亮度值,如表5所示。

表5 重庆市不同满意度时灯箱广告画面亮度值

满意度/%	85	80	75	70	65	60	50	40
亮度/cd·m <sup>-2</sup>	199	184	168	152	136	121	97	80

从表5中可以看出,重庆市区的灯箱广告画面亮度宜取为180~200 cd/m<sup>2</sup>,这样会使观察者的满意度达到80%~85%,评价可达到“好”的程度。

同样还可以解出不同满意度时对应的重庆市投光灯广告画面亮度值,如表6所示。

表6 重庆市不同满意度时投光灯广告画面亮度值

满意度/%	80	75	70	65	60	50	40	30
亮度/cd·m <sup>-2</sup>	136	103	84	70	60	44	33	24

从表6中可以看出,重庆市区的投光灯广告画面亮度宜取为140 cd/m<sup>2</sup>左右,这样会使观察者的满意度达到80%左右,评价可达到“好”的程度。

### 4 小结

在照明工程中,为了规范照明设计,实现照明节能的目的,满足照明对电力需求量的未来的发展<sup>[8]</sup>,我国的城市照明标准正在逐步制订过程中,而文中建议的定性和定量之间的关系表达式(8)式是一个较为适宜的表达式,计算结果可达到较为满意的程度。与采用模糊优选综合评价<sup>[9]</sup>等方法获得满意度问卷值相比,计算结果更能反映客观的实际情况。

总之,只要调查问卷和实测值具有广泛代表性,利  
(下转第7页)

“凹”型回廊的布置满足南北西三个方向观瞻的视线要求<sup>[5]</sup>。

第三种以摩崖大佛为叩拜对象的道场建筑空间。合川涪滩二佛寺下寺(图10)围绕通高12.5 m的释迦牟尼坐像及其三面天然岩石上的窟(龕)造像形成一个规模庞大禅宗道场,外覆五间三重檐歇山楼阁式建筑,内设二层“凹”型回廊布置满足南北西三个方向观瞻的视线要求。通过下寺垂直交通体系往上攀登到山崖顶面台地,与中轴线纵深布局的三进院落的上寺组成整体的寺院空间。



图10 涪滩二佛寺

(上接第3页)

用(8)式就可以确定相应的照明标准值。

#### 参考文献:

- [1] (日)照明学会编.李农,杨燕译.照明手册[M].北京:科学出版社,2005.
- [2] 陈启高,马贯中,丁小中,等.广义的韦伯-费昔勒定律[J].重庆建筑工程学院学报.1991,13(4):17-22.
- [3] Э. Л. Котова. К вопросу об оптимальных уровнях освещенности для тонких зрительных работ [J]. Светотехника. 1961, (1): 19-24.
- [4] 徐经泽. 社会调查理论与方法[M]. 北京:高等教育出版

#### 4 结语

通过对巴蜀摩崖大佛建筑形制实例分析,表明在天然崖面上凿造巨大造像已成为巴蜀摩崖石刻的重要特色,造像主题突出,建筑外部呈重檐楼阁式歇山顶与山川、寺院交融,与环境共生,建筑内部空间尺度和谐,更体现了中华民族建筑文化纷呈多彩的地域性文化特性,必将丰富地域建筑文化内涵并对现代建筑创作起着借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] 林从华,张兴国.巴蜀摩崖石刻中心柱窟探源[J].重庆建筑大学学报,2006,28(3):1-3.
- [2] 梁旭仲主编.四川文物揽胜[M].成都:四川美术出版社,1999.
- [3] 刘长久著.安岳石窟艺术[M].成都:四川人民出版社,1997.
- [4] 雷玉华,王剑平.巴中石窟[M].成都:巴蜀书社,2003.
- [5] 张兴国,冯棣.巴蜀摩崖石刻的建筑环境观[J].新建筑,2005,101(4):86-89.

社,1993.

- [5] 朱小雷.指数评价法的应用——深圳市建设银行营业厅内环境综合评价[J].重庆建筑大学学报,2005,27(4):28-32.
- [6] 朱小雷.建成环境主观评价方法研究[D].广州:华南理工大学,2003.
- [7] 杨公侠.视觉与视觉环境[M].上海:同济大学出版社,2002.
- [8] 沈天行,刘虹.我国照明需求量未来发展趋势分析[J].照明工程学报,2005,16(1):3-5.
- [9] 雍静,吴锐.室内照明系统的模糊优选综合评价方法[J].照明工程学报,2005,16(1):23-27.