

# 一种城市路灯合理排布的优化设计方法

韩 蕴<sup>1,†</sup> 张 兵<sup>2</sup>

(1 北京大学药学院 北京 100083)

(2 中国地质大学工程技术学院 北京 100083)

**摘 要** 文章借助于物理模型和数学计算分析,给出了一种优化的城市路灯排列的设计方法.利用该方法优化出的路灯排列方式(如三角型排列)与现在普遍采用的对称排列方式相比,可以在满足人们交通安全和正常工作生活的条件下,达到节省电力能源的效果,或者是在能源耗费相同的条件下,能提供更高、更均匀的照明度.

**关键词** 路灯排布,优化问题,最小值最大值法则,节电节能

## An optimized design method for city-street-lamps collocations

HAN Yun<sup>1,†</sup> ZHANG Bing<sup>2</sup>

(1 Peking University, School of Pharmaceutical Science, Beijing 100083, China)

(2 School of Engineering & Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

**Abstract** A practical method to design the location of city street - lamps is presented based on both a physical model and mathematical simulation. Adopting these optimized location designs, for example a triangular layout, we can effectively cut down electric power consumption while ensuring traffic safety and lighting requirements, or for the same energy consumption supply higher luminance with good uniformity than with traditional symmetric street - lamp arrangements.

**Keywords** city-street-lamp collocations, optimization, minimum and maximum criterion, economizing the electric power and energy

## 1 引言

我国人口众多,人均能源储备量相对很低,目前能源问题日显重要,成为影响中国未来发展的关键问题.预期50年后石油资源将面临枯竭,因此一方面开发新型能源以及利用可再生能源迫在眉睫,另一方面研究如何能高效和节约利用现有的各种能源也刻不容缓.

电力资源是目前我国主要利用的能源之一.近些年来,我国电力资源供应一直呈现紧张状态,每逢夏天,首都北京也因为超负荷的电力问题而不得不上调公共场所的空调温度,并在空调数量上加以限制.一方面电力资源紧缺,一方面电力资源在很多方

面的高效利用还有待进一步加强开发,这是一个非常有科技含量和能迅速指导实际应用的重要课题.

## 2 问题的提出和研究背景

随着国民经济的不断发展,国内各大中小城市都把整治“有路无灯、有灯不亮”作为一项重要任务来抓,并已经取得了良好的社会效益和经济效益.许多城市对道路的照明提出了更高的要求,目前城市照明正朝着功能化、艺术化的方向发展.大多数城市路灯设计部门和工作者,更注重灯具的选用、灯杆的设计、照明方式和照明控制来达到城市路灯功能化、

2006-02-15 收到初稿 2006-12-16 收到修改稿

† 通讯联系人 E-mail: zhye@cugb.edu.cn

艺术化、人性化的要求. 路灯的美化功能受到充分重视, 并在不断发展.

但在路灯设置方面, 还缺乏必要的和定量的照度计算来进行科学和合理的路灯排布设计. 目前大部分城镇里马路上和高速公路上的路灯大都是左右两边对称排列的, 几乎没有人反对这样的“对称美”, 也未曾意识到这样的路灯排布无形中隐含着很大的电力资源的浪费. 这样的设计, 常导致路面照度过高、或过低、或不均匀. 当路面照度过高时, 一方面形成严重的光污染(如影响天文观测)和能源的浪费; 当路面照度过低时, 会影响司机驾驶行车安全和行人安全. 通过该项研究, 可以弥补这方面的不足. 即借助于物理模型和数学计算分析, 我们有可能找到其他更好的路灯排列方式, 在满足人们正常工作和生活需要的条件下, 达到节省电力能源的效果, 或者是在能源耗费相同的条件下能提供更高、更均匀的照明度.

以北京市海淀区成府路为例: 成府路是北京市海淀区近几年新拓展的一条东西走向的市内交通要道, 东边与学院路相交, 西边与中关村大街相连并直达北京大学东校门. 成府路具有北京市主要交通要道的一般特点, 在现有路灯的对称方式排布方面, 也具有很好的代表性. 成府路上的路灯现在的对称排布形式(排布方式一)如图 1 所示.

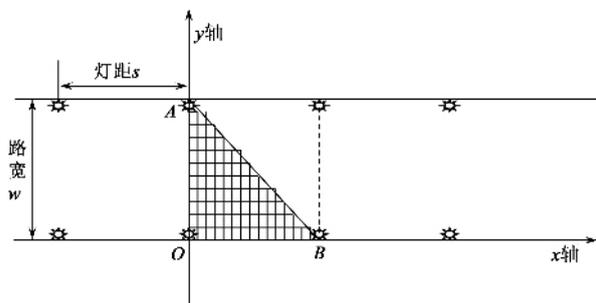


图 1 成府路上的现有路灯排布示意图(排布方式一)

我们根据物理模型和定量计算可以重新设计和优化成府路上一种新的路灯排布方式(例如: 选择三角形排布方式)如图 2 所示. 我们随后将定量计算和证明: 排布方式二在照明效果和节能方面将优于排布方式一.

### 3 模型的建立条件和数学表示

#### 3.1 模型的建立条件和假设

我们在模型的建立和计算分析中采用了下列合理的条件和假设:

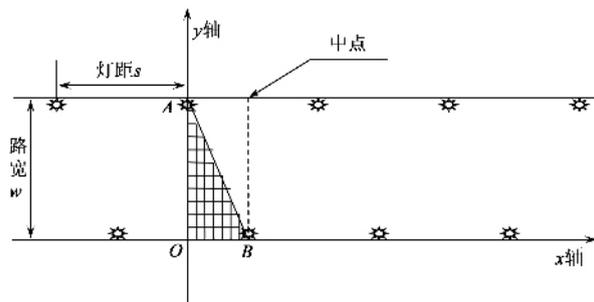


图 2 根据物理模型和定量计算优化设计的成府路一种新的三角形路灯排布示意图(排布方式二)

- (1) 两种路灯排布的路宽  $w$  相同, 并均沿左右两个方向直线排列, 不考虑弯路的影响;
- (2) 两种路灯排布的间距相同, 不考虑因障碍物等原因而使个别路灯的间距不同的情况;
- (3) 两种路灯排布的路灯是一样的, 包括形状、大小、功率、安装高度等均相同;
- (4) 两种路灯排布的路灯均是完好的, 都可以正常使用;
- (5) 路灯发出的光在距其距离相等点的光强是一样的, 即路灯射向各个方向的光强是均匀的(我们假设路灯是均匀地射向下半球面, 不考虑光源形状的影响);

#### 3.2 根据模型进行计算和分析

我们根据文献 [1] 中的光强随距离传播衰减模型进行计算. 设第  $i$  个光源点的初始能量为  $C$ , 它发出的光均匀地射向以该光源点为中心的距离光源点为  $r_i$  的球面上, 则距离该光源点为  $r_i$  处(球面上)的光强为

$$I_i = \frac{C}{4\pi r_i^2}$$

我们可以看到光强  $I_i$  与距离  $r_i$  的平方成反比.

路面某点光强的计算模式: 路面某点的总光强就等于可以照到该点的所有路灯在该点的光强之和, 即:

$$I = \sum I_i$$

由假设可知, 该路上的所有路灯都可以照得到该点, 又由于光强是与距离的平方成反比, 随着距离的增加, 其光强强度衰减特别快. 由此我们可以设定一个最低(minimune)光强阈值  $I_m$ , 即当一个路灯的光强在该点小于  $I_m$  时, 认为其不对该点的总光强产生影响, 可以忽略不计, 从而达到有限求和及收敛性的要求.

设路灯发出的光在距其单位距离为  $r$  的点的  
光强是  $I_0$ , 由  $I = \frac{I_0}{r^2}$ , 可以求出  $r_m = \sqrt{\frac{I_0}{I_m}}$  此即一个路  
灯的有效照距, 可以定义为  $L = r_m$ . 故可以认为以路  
面上被照明的某一点为圆心、以  $L$  为半径的圆以内  
的路灯都对该点的照度有贡献, 而半径  $L$  以外的路  
灯均可以忽略不计, 从而得到优化的模型为

$$I = \sum I_i,$$

式中  $I_i$  为距离小于  $L$  的第  $i$  个路灯在该被照明点的  
光强.

比较两种路灯排布方式优劣的计算方法: 我们  
以路面最暗点(即光强最小点)的大小来确定哪一  
个排布更优(最小值最大法则), 并假设在传统对称  
式路灯排布方式一中, 路面最暗点处的总光强为  $I_1$ ,  
而新的(如三角形排布)路灯排布方式二中路面最  
暗点处的总光强为  $I_2$ , 则:

若  $I_{1(\min)} > I_{2(\min)}$ , 排布方式一较合理;

若  $I_{1(\min)} = I_{2(\min)}$ , 两种排布方式一样;

若  $I_{1(\min)} < I_{2(\min)}$ , 排布方式二更合理.

## 4 模型求解

以图 1 中成府路为例, 假设当马路上任意灯对  
马路上固定点的光强为  $I_d$ ,  $I_d < \frac{I_0}{10000}$  时可忽略不  
计, 即该路上的路灯照距为  $L = 100\text{m}$ . 对于路灯排布  
方式一, 建立如图 1 所示的坐标系. 由对称性可知,  
在三角形 OAB 区域中的光强最小点, 也就是该排布  
模式下整条马路的光强最小点.

算法分析:

(1) 对三角形 OAB 进行步长  $\text{Step} = 1\text{m}$  的网格  
划分;

(2) 计算每个节点处的光强;

(3) 找出这些节点的光强最小值及其位置. 具  
体计算可由 Visual Basic 程序完成.

对于路灯排布方式二, 建立如图 2 所示的坐标  
系, 求解过程与排布方式一相同, 具体可由 Visual  
Basic 程序完成.

对于成府路, 其路宽  $w = 7\text{m}$ , 灯距  $s = 18\text{m}$ , 照距  
 $L = 100\text{m}$ , 灯高  $H = 8\text{m}$ , 节点步长  $\text{Step} = 1\text{m}$ , 代入  
Visual Basic 程序, 求解出如下结果:

对排布方式一:

光强最小点的位置为(10 0), 光强为 327(约化

光强度单位,下同);

光强最大点的位置为(0 3)(0 4), 光强为  
417.

对排布方式二:

光强最小点的位置为(0 0), 光强为 343

光强最大点的位置为(0 5), 光强为 386

## 5 结果分析与讨论

由我们最先定义的比较模型可知, 因  $343 >$   
 $327$ , 故排布方式二更合理.

再看光强最强点与最弱点的光强之差:

排布方式一为  $417 - 327 = 90$ ;

排布方式二为  $386 - 343 = 43$ .

这说明排布方式二的路面上的光强更均匀、亮度一  
致性更好, 是较佳的路灯的排布方式. 即从物理上和  
照明综合效果上看, 排布方式二比排布方式一更加  
合理.

排布二在同样的电能消耗的情况下, 不仅提高了  
路面的最低照度, 而且也使路面的照度更加均匀.  
从另一方面来说, 就是在排布方式二的路面的最小  
光强和排布方式一的路面的最小光强一样时, 排布  
方式二更省电, 可以估算出节省电能百分比为近  
5%. 换句话说, 采用排布方式二(三角形排布), 仅  
需利用原来排布方式一(对称排布)的路灯总数的  
95% 即可达到同样的照明效果.

例如, 假设北京市平均地讲有 500W 路灯 500  
万个, 每夜照明 8 小时, 则一年可节约的电能  $W =$   
 $0.5\text{kW} \times 8\text{h} \times 5 \times 10^6 \times 365 \times 5\% = 365 \times 10^6 \text{kWh}$ .  
即采用该方法, 在不降低现有照度的情况下, 北京市  
一年可节约 3.65 亿度电能.

该原理和方法可以推广到全国各大、中、小城市  
的街道和高速公路、机场、体育运动场馆等公共场所  
的路灯排列(包括三排、四排和五排以上路灯的排  
列或环形、波浪形等艺术效果路灯排列以及剧院等  
大型建筑的顶灯排列)方式的优化和定量设计, 即  
在保证同等照明强度的情况下, 采用本文提出的城  
市路灯合理排布的优化设计方法, 至少可以找到一  
种以上新的(如:三角形)路灯排列方式, 将比现有  
两边对称式路灯排列模式节约非常可观的电能, 或  
者进一步提高照明度及照度均匀性. 因此这种方法  
非常值得采用和推广. 例如, 图 3 是在有三排绿化隔  
离带和三排路灯情况下采用本方法优化设计出的一  
种三角形路灯排布示意图.

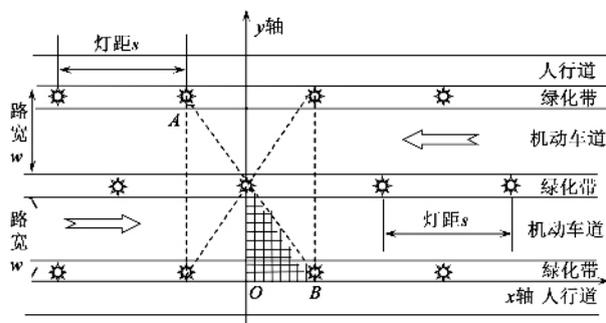


图3 有三排绿化带和三排路灯的三角形优化排布的示意图

## 7 结论

通过物理模型和数学计算分析,至少可以找到一种三角形路灯优化排列方式,比目前成府路两端的两边对称路灯排列方式要好.在同样的电能消耗下,可以提高路面的最低照度和改善路面的照度均匀性.另外在保证路面的最小光强条件下,后者三角

形排列方式可比前者两边对称排列方式节能近5%.如果在全国城镇马路上推广采用这种三角形排列方式或其他优化排列模式,则每年的路灯节能效益将会十分显著.在本文的实际应用中,主要解决了来自各点光源光强的有限求和及收敛性的问题.本文的目的是如何利用已掌握的普通物理知识来发现和解决身边常见的影响到人们日常工作和生活的重要社会需求问题.

**致谢** 在本论文的设计和完成过程中,与北京101中学何为民老师和张燕菱老师进行了有益的讨论,在此表示衷心的感谢!

## 参 考 文 献

- [1] Kepler J. Dioptrics. Prague, 1611[这是著名物理学家约翰内斯·开普勒撰写的一部较早的光学专著《折光学》,1611年在布拉格出版.另外本文中所用的光传播原理和公式,也可以在大学《普通物理》或《光学》教科书中查阅到]

· 书评和书讯 ·

## 科学出版社物理类新书推荐

书 名	作(译)者	定价	出版日期	发行号
薄膜材料-应力、缺陷的形成和表面演化	卢磊	¥86.00	2007年1月	O-2612
混沌振子系统(L-Y)与检测	李月 杨宝俊	¥43.00	2007年2月	O-2599
亚稳金属材料	胡壮麒	¥160.00	2006年12月	TG-0027
高等原子分子物理学(第二版)	徐克尊	¥54.00	2006年9月	O-2488
半导体异质结物理(第二版)	虞丽生	¥52.00	2006年5月	O-2443
辐射和光场的量子统计理论	曹昌祺	¥60.00	2006年3月	O-2463
实验物理中的概率和统计(第二版)	朱永生	¥72.00	2006年3月	O-2464
物理学中的群论(第二版)	马中骥	¥68.00	2006年2月	O-2421
量子力学系统控制导论	丛爽	¥46.00	2006年1月	O-2369
微分几何入门与广义相对论(上册,第二版)	梁灿彬,周彬	¥59.00	2005年12月	O-2363
液晶光学与液晶显示	王新久	¥59.00	2005年12月	O-2424
量子信息物理原理	张永德	¥59.00	2005年12月	O-2347
相互作用的规范理论(第二版)	戴元本	¥68.00	2005年6月	O-2148
计算物理学	马文淦	¥37.00	2005年5月	O-2147
窄禁带半导体物理学	褚君浩	¥120.00	2005年5月	O-2093
物理学家用微分几何(第二版)	侯伯元,侯伯宇	¥98.00	2005年3月	O-1976
数学物理方程及其近似方法	程建春	¥58.00	2005年2月	O-1952
半导体量子器件物理	傅英,陆卫	¥50.00	2005年1月	O-2004
凝聚态磁性物理	姜寿亭,李卫	¥48.00	2003年10月	O-1727
电介质物理学(第二版)	殷之文	¥58.00	2003年5月	O-1655
半导体光谱和光学性质(第二版)	沈学础	¥88.00	2002年7月	O-0507

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书.如果您有出版意向,请和我们联系.凡购书者均免邮费,请按以下方式和我们联系:

电 话:010-64017957 64033515 电子邮件:mlhukai@yahoo.com.cn 或 dpyan@cspg.net

通讯地址:北京东黄城根北街16号 科学出版社 邮政编码:100717 联系人:胡凯 鄢德平

欢迎访问科学出版社网址 <http://www.sciencep.com>