

无锡城市夜空光度测量研究*

沈 昊 陆寅枫 张译昕 周明远 陆佳颖

指导教师：沈新荣 肖 明

(江苏省天一中学, 江苏 无锡 214101)

摘要：无锡作为长三角地区的重要城市之一，城区的光污染程度较为严重，但公众对此缺乏认识。本文通过使用专门的测光仪，对无锡城区整体的污染程度，不同区域、地平高度、方位角和时刻的污染水平进行了实地测量与分析，并对加强夜天光亮度监测以及改进城市路灯设计等进行了初步的探讨。

关键词：无锡；夜天光；光污染；测量

一、夜天光概述

随着工业化与城市化的发展，城市亮化工程的大力推进，光污染越来越严重。与大气、水、噪声、固体废弃物等污染不同，光污染还没有在公众中引起足够的重视。

无锡作为长三角地区的重要城市之一，经济发达，城市光污染情况总体比较严重，但是不同区域的污染程度也存在明显差异。夜空光度是衡量城市光污染程度的重要指标，通过使用专门的测光仪器，可以对无锡城区进行定点的光度测量，从而了解无锡城区整体的污染程度，不同区域、地平高度、方位角和时刻的污染水平差异，这对于分析光污染产生的原因，并尝试提出防治的建议，都是大有裨益的。本文即是在对大量夜天光实测数据的统计和分析基础上，对此问题进行的一些总结和探讨。

二、测量仪器及方法

本课题组采用的仪器为Sky Quality Meter-L（以下简称SQM，图1），这是一款十分轻便（手机大小），但灵敏度和精度较高的便携式测光仪，以星等/平方角秒（记作mag/□"）为默认单位。



图1 Sky Quality Meter-L

课题组成员使用SQM对无锡城区的夜天光亮度进行了多次的实地测量。测光时间为非雨雪天气的天文昏影结束后或天文晨光开始前，具体时段因季节差异而有不同；测光地点为黑暗且视野较为广阔的地点（如楼顶、公园、球场等），并尽可能地避免人造光源的直接照射。

此外，课题组还运用“Loss of the night” APP程序（由德国联邦科技和教育部“可持续发展（FONA）项目（033L038A）”提供资助）对个别地点进行了测光，并通过该APP向“Globe at Night”项目组（隶属于美国国家光学天文台）提交了SQM搜集的部分数据，以便构建全球光污染监测网络。

三、数据分析及测量结果

1. 数据测量与分析步骤

仪器编号：为支持本课题组的研究工作，我们从加拿大购置了9台SQM测光仪，并予以编号（以分辨并尽可能的消除仪器本身存在的机械误差）。

路线设计：将无锡中心城区（解放环路内）分为不同的片区，并设计好测光的具体行进路线和测光任务。

实地测量：将课题组成员分成不同的小组，每组由3人组成，分别负责仪器操作、数据记录和坐标定位，每个坐标点测5个数据，以减小误差。

数据处理：将测光所得的数据（经度、纬度、时间、测光值）输入Excel表格，进行误差分析，取平均值，得到各坐标点夜天光亮度的最终值。

*本文系无锡市教育科学“十二五”规划2013年度立项课题《“项目研究”推动的“天文巡星工作室”建设研究》（项目主持人：肖明、沈新荣，课题批准号：C/D/2013/008）和中国教育学会地理教学专业委员会2014年普通高中地理研究性学习项目“无锡城市夜空光度测量”（项目号：GEORBL201410）的成果。

2. 夜天光亮度的地区分异

表1 无锡中心城区夜天光亮度分布表

	区域①		区域②		区域③	
	夜天光亮度最终值mag/□"	14.15	12.30	13.35	15.11	13.75
	14.29	13.54	15.08	15.46	14.27	13.63
	13.60		16.42	14.69	14.06	16.20
	14.01		16.23	14.18	13.87	
	14.82		15.19	14.26	14.05	
	13.91		14.06	15.47	14.15	
	14.31		15.24	15.37	15.64	
夜天光亮度平均值mag/□"	13.89		15.01		14.35	



图2 无锡中心城区夜天光亮度分布图

从表1及图2中的数据可以看到，区域①的夜天光亮度明显高于区域②，较区域③也高出一些。从城市内部空间结构的角度分析，区域①为无锡的中心商务区，多商场、写字楼、娱乐场所及一些社交平台，这些建筑物的大型户外广告牌、射灯、透窗而出的内部照明灯光及城市道路照明设施较为密集，上述光线逸散到天空导致了该区域较高的夜天光亮度。区域②主要为无锡中心城区的住宅区，道路和小街（如崇宁路、小娄巷、田基浜、东河头巷等）两侧有大量的老式居民区，当地的人造户外光源较少且较暗，使得该地的夜天光亮度较低。区域③的夜天光亮度介于①和②之间，其原因是该地区为商业与住宅兼有的混合地区，既有少量摩天大厦，又不乏老式居民区分布。受到科技大厦、汇能大厦等高楼的户外照明及密集的城市主干道上街灯的影响，该区域的夜天光亮度也较高。

3. 夜天光亮度的地区变化

表2 无锡中心城区夜天光亮度随地点的变化

距三洋广场的距离/km	0.35	0.39	0.54	0.61 ⁽¹⁾	0.62	0.67
夜天光亮度最终值/mag/□"	14.31	14.69	16.2	13.6	13.77	14.82
距三洋广场的距离/km	0.70 ⁽²⁾	0.75	0.84	0.93 ⁽³⁾	1.21	
夜天光亮度最终值mag/□"	13.63	15.11	14.26	13.70	13.96	

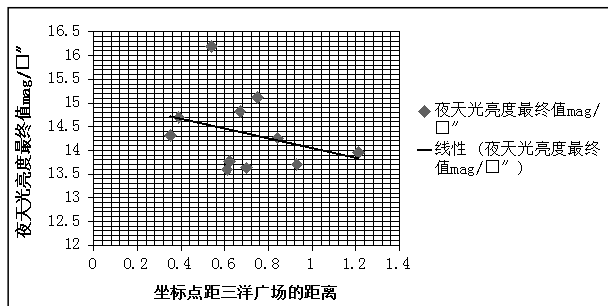


图3 无锡中心城区夜天光亮度随地点的变化

课题组在无锡市中心城区随机选取了十一个距三洋广场距离不等的坐标点，处理后列为表2和图3。从图表可以看出，夜天光亮度最终值与坐标点距三洋广场的距离的相关系数（运用Excel表格中计算相关系数的公式CORREL计算）约为-0.314，即夜天光亮度并未随坐标点距三洋广场的距离增加而呈现有规律的变化。其中，较高的夜天光亮度多出现在重要商场和市政设施附近，如图2中的坐标点(1)、(2)、(3)分别为八佰伴、银行高铺集中区和市政公用大厦附近。

表3 无锡城区夜天光亮度随地点的变化

距三洋广场的距离/km	0	0.96	2.06	3.16	4.79	6.29
夜天光亮度最终值均值/mag/□"	14.53	15.11	15.36	15.58	16.34	16.43

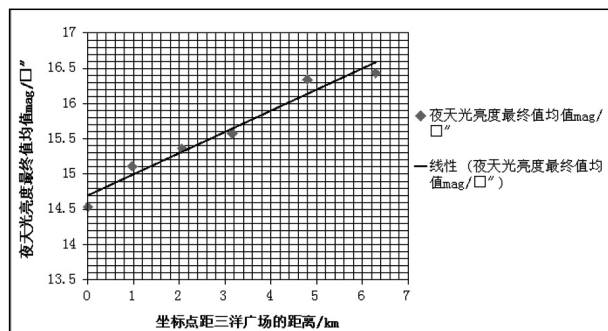


图4 无锡城区夜天光亮度随地点的变化

课题组在无锡市城区范围内随机选取了六个距三洋广场距离不等的坐标点，计算每个坐标点方圆500米

内夜天光亮度最终值的均值，处理后列为表3和图4。从图表可以看出，夜天光亮度最终值与坐标点距三阳广场的距离的相关系数为0.978，即夜天光亮度随坐标点距三阳广场的距离增加而呈现明显的降低。这表明无锡城区夜天光亮度与人为光源存在确切的正相关关系。

4. 夜天光亮度的地平高度及方位分异

课题组以所在学校——江苏省天一中学的科学楼天文教室楼顶平台（31° 35' 39" N，120° 21' 32" E）为坐标点，对不同地平高度和不同方位角的夜天光亮度进行了测量，具体数据见表4：

表4 天一中学坐标点的夜天光亮度 (mag/□")

地平高度/°	正北	东北	正东	东南	正南	西南	正西	西北	平均值
0	15.81	15.28	15.12	14.21	13.90	13.50	11.75	15.58	14.39
10	15.88	15.60	15.20	14.85	14.29	13.82	12.99	15.47	14.76
20	16.24	16.23	15.48	15.43	14.79	13.94	13.21	15.43	15.09
30	16.46	16.63	15.78	16.02	15.36	13.96	13.55	15.55	15.41
40	16.82	16.96	15.83	16.35	15.51	14.13	14.66	15.65	15.74
50	17.01	17.16	16.00	16.72	15.73	15.39	15.11	15.71	16.10
60	17.06	17.19	16.04	16.90	15.84	15.60	15.42	15.74	16.22
70	17.05	17.22	16.08	17.05	15.90	15.64	15.62	15.77	16.29
80	17.07	17.25	16.11	17.12	15.93	15.84	15.79	15.81	16.37
90	17.06	17.22	16.13	17.22	16.01	15.92	15.96	15.89	16.43
平均值	16.65	16.67	15.78	16.19	15.33	14.77	14.41	15.66	/

注：正西和西南方向在40°以下出现的夜天光亮度极低值与毗邻学校西侧的晶石国际大厦户外广告牌有直接关系。

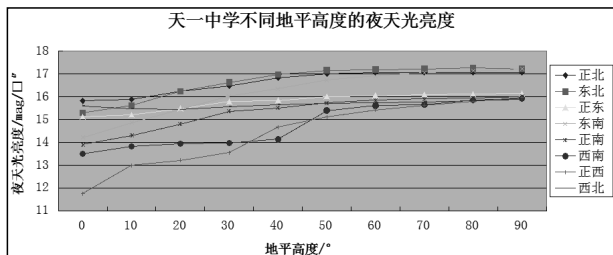


图5 天一中学不同地平高度的夜天光亮度

综上所述，各方位的夜天光亮度均随地平高度的升高而减弱，表明人造光源逸散对夜天光的影响十分显著；地平高度在40°以下的天区，各方位的夜天光亮度差异较大，50°以上差异明显减小，表明人造光源的逸散在较低的高度上对夜天光亮度有更为直接和显著的影响，具体可参考图6：

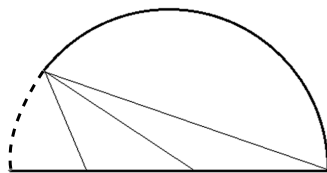


图6 距离与光污染程度关系演示图

图6中的半圆形弧线表示天穹，圆弧左下段虚线部分表示人造光源及受其逸散影响严重的天区。从中可以

看出，离光源越近的坐标点，光源逸散范围对观测者视角的覆盖越大，影响也越大；在光源离观测者坐标点普遍较远的情况下，其逸散的影响主要集中在地平高度较低的城市建筑物轮廓的边缘地带。

考虑到天一中学在无锡城区偏东的方位，以及尽可能减弱学校西侧晶石国际大厦强光的直接影响，我们取正东方向的数据（表4）进行分析，并绘制了散点图（图7），计算得出地平高度与夜天光亮度的相关系数R约为0.936， $R^2 \approx 0.877$ ，即高度对亮度的影响程度达87.7%。地平高度90°的天区与0°的天区在夜天光亮度的最终值上相差超过2个mag/□"，这表明夜天光亮度在不同地平高度上的分异十分明显，究其原因为人造光源为城市地区夜天光增亮的主要影响因素，而人造光源一般位于近地面，其逸散影响最严重的天区也在地平线附近。

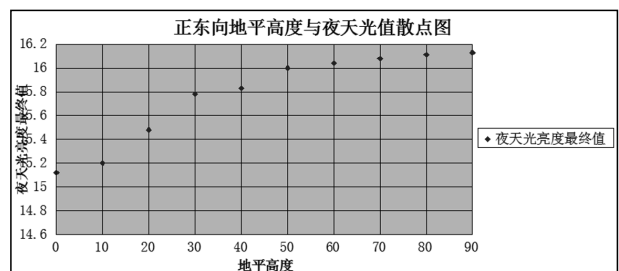


图7 正东向地平高度与夜天光值散点图

基于表4的数据,我们将各方位夜天光亮度的均值制作成图8,以此来分析不同方位的夜天光亮度。

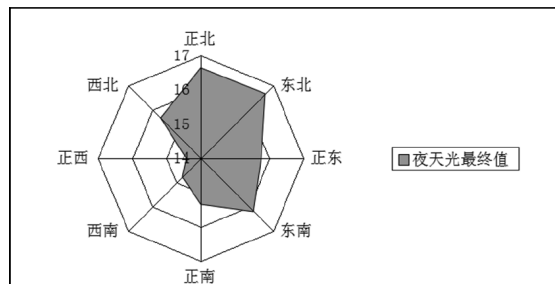


图8 天一中学不同方位的夜天光亮度

从图8可以看出,天一中学偏西和偏南方位的夜天光亮度值最低,即夜天光最亮,这是无锡中心城区的方向;偏北和偏东方位的夜天光亮度值较高,即夜天光较暗,这是无锡城东的乡镇方向;另外,正东方位较低的夜天光亮度值主要是天一中学校内灯光的影响。

5. 夜天光亮度的时间变化

课题组以某成员家庭所在地——无锡市崇安区金科东方王榭小区(31.594° N, 120.347° E)为坐标点,对夜天光亮度随时间的变化进行了测量,并制作成表5和图9:

表5 夜天光亮度随时间变化表 (mag/□")

时刻	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00
夜天光亮度最终值	15.75	16.03	16.11	16.24	16.40	16.58	16.76
时刻	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	1:00	1:30
夜天光亮度最终值	17.05	17.14	17.24	17.30	17.33	17.35	17.36
时刻	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	
夜天光亮度最终值	17.37	17.37	17.38	17.39	17.37	17.37	

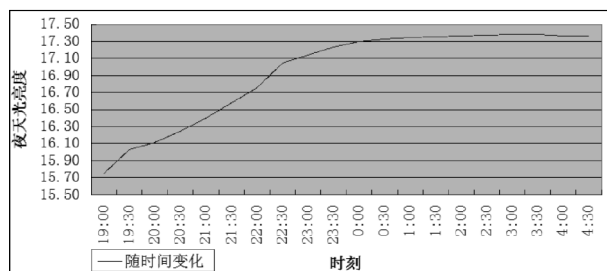


图9 夜天光亮度随时间变化图

注:日落时间约17:20,天文昏影终约18:50,天文晨光始约5:20,日出约6:50

从图9可以看出,无锡城市夜天光亮度值在前半夜有明显的随时间的递减变化,从晚上19:00到24:00,夜天光亮度由15.75mag/□" 迅速递减为17.30mag/□" ,变化幅度高达1.55mag/□" ;而后半夜从00:00到凌晨4:30期间,夜天光亮度总体平稳,变化幅度仅为0.9mag/□" 。这表明人造光源在前半夜有一个逐渐关闭的过程,这导致了夜天光亮度的线性减弱;后半夜的夜天光亮度除自然光外,主要受道路照明等长明灯的影响,故而变化不明显。

四、反思及讨论

根据本课题组掌握的资料,香港维多利亚湾两侧的港岛和九龙核心城区的夜天光亮度大概在

14.4mag/□" 左右,极值约13.9mag/□" 。根据本课题组的实地测量,无锡中心城区存在13.35mag/□" 的极值,可见无锡的光污染程度已堪比香港闹市区。

在香港大学、环保及自然保育基金等的共同努力下,香港已经建立了较为完备的夜空光度监测网络,并已开始讨论光污染立法与暗夜保护问题。但在无锡等大陆城市,光污染仍仅为少数人(主要是业余天文爱好者)知晓,如何加强光污染的危害与防治宣传是一个值得探讨的问题。

本课题组在实测过程中发现,无锡城区不少的路灯缺少“顶盖”,这使得路灯释放的光能可以直接向上照射,对天空增亮作用十分明显。如何改进城市街灯设计、如何完善城市街灯布局等将是课题组下一步要研究的方向。

参考文献:

- [1]谭满清,郝允祥.北京夜间天空亮度的研究[J].照明工程学报,1994,(06):51-55.
- [2]刘鸣,马剑,张宝刚,张明宇.夜天空亮度的测量及其评价研究[J].照明工程学报,2007,(09):6-11.

(责任编辑:覃丽灵)