

## 夜间气象能见度的测量研究

胡江华<sup>1)</sup> 李汉斌<sup>1)</sup> 周建勋<sup>2)</sup> 张保民<sup>2)</sup>

(1)工程兵工程学院,南京 210007,2)南京理工大学,南京 210094)

**摘要** 运用能见度理论和双目偏光能见度测定仪原理,讨论了夜间气象能见度的测量原理和一种新的测量方法,并完成了初步的野外对比试验,得出了比较结论。

**关键词** 气象能见度,测量原理,测量方法,对比试验

**分类号** P412.17

所谓夜间气象能见度是指,如果保持大气的透明状态不变,在白天能看到的天空背景上黑色目标的最大距离。夜间气象能见度可用下式表示<sup>(1)</sup>

$$L = 1.7/a \quad (1)$$

$$a = -\lg\tau \quad (2)$$

其中, $L$ 为夜间的气象能见度; $a$ 为夜间大气消光指数; $\tau$ 为大气透过率。从(1)和(2)式可知,夜间气象能见度只与夜间大气透过率(或消光指数 $a$ )有关。因此,测量夜间气象能见度实质上就是测量夜间大气的透过率(或消光指数 $a$ )。

气象能见度的测量从原理上看,一般分为透射型、散射型和衰减型。所谓透射型就是通过测量发射端光能量及大气透射后接收端光能量,得到大气透过率,从而得到气象能见度,如机场跑道视程测量系统;所谓散射型就是通过测量发射端光能量及大气散射后接收端光能量,得到大气透过率,从而得到气象能见度,如气象激光雷达系统。这两种系统由于都存在发射和接收的问题,因此系统一般都比较复杂,体积也较大,价格也比较贵,而且工作电源不可缺少。所谓衰减型就是通过使用某种技术措施,人为地衰减目标与背景之间的亮度对比,使人眼的视亮度对比达到阈值,记下此时的有关参数,通过计算得到气象能见度,如双目偏光能见度测定仪。这种能见度测量仪器体积小、重量轻,本身不需要工作电源,测量方法简便,测量结果可靠,尤其适合于野外测量使用,它可以用来测量白昼目标能见度,但是否可以用来测量夜间气象能见度,还有待于分析和试验。本文讨论的就是用它来测量夜间气象能见度的问题。

### 1 夜间气象能见度的测量原理和方法

测量夜间气象能见度的方法有许多,可以用目测的方法,也可以用仪器测量。

(1)夜间灯火能见度和夜间气象能见度 所谓夜间灯火能见度(能见距离),就是观察者在逐渐远离灯光的过程中,观察它刚好消失时离灯光的那段距离。夜间灯火能见度决定于大气透明度、灯光强度和人眼的照度阈值。设灯光的强度为 $I$ ;距观察者的距离为 $l$ ;大气透过率 $\tau=10^{-a}$ ,则灯光在观测者处产生的照度为<sup>(4)</sup>

$$E_l = \frac{I}{l^2} 10^{-al} \quad (3)$$

当  $l$  增加时,  $E_l$  减小。当  $E_l$  减小到人眼的照度阈  $E_0$  时, 此时的  $l$  值即为灯火能见度。即有

$$E_0 = \frac{I}{S^2} 10^{-aS} = \frac{I}{S^2} \tau^S \quad (4)$$

$$\text{由(4)式可得} \quad a = \frac{1}{S} \lg \left( \frac{I}{E_0 S^2} \right) \quad (5)$$

将(5)式代入(1)式得到夜间气象能见度为

$$L = 1.7 \frac{S}{\lg I - \lg E_0 - \lg S^2} \quad (6)$$

其中,  $S$  为夜间灯火能见度;  $I$  为恒定光源光强;  $E_0$  为人眼的照度阈值。人眼照度阈  $E_0$  在实验条件下(背景完全黑暗, 人眼完全适应), 对白色点光源, 其值为  $2 \times 10^{-9}$  勒克斯(lx), 野外条件下(背景不可能完全黑暗, 人眼不可能完全适应), 其值可增大到  $2 \times 10^{-7}$  lx。

(2)用双目偏光能见度测定仪测量夜间气象能见度 双目偏光能见度测定仪是利用偏光镜和棱镜双折射原理测量能见度的仪器<sup>(3)</sup>。它由左右两套偏光镜、拉斯顿双折棱镜、保护玻璃组成。两个偏光镜之间由机械联杆连接, 以保证两个偏光镜同步旋转。左目镜框上按置了游标读数的角度度盘, 用来测量偏振光的振动面和分光棱镜主截面之间的夹角。它采用偏振光分光原理, 在目镜视场中形成目标和背景的左右两个象。当偏光镜旋转时, 经仪器观察到的目标与背景的视亮度对比  $K'$  发生变化, 当左象的视亮度对比  $K'$  小至人眼的亮度对比阈  $\epsilon$  时, 目标与背景便融合一致而不可区分, 此时  $K'/\epsilon$  与目镜偏光镜的转角示值  $\alpha$  有如下关系

$$V = \frac{K'}{\epsilon} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (7)$$

$V$  为偏光能见度仪测量目标时的清晰度值;  $\alpha$  为偏光能见度仪测量目标时的角度示值。

当在距离  $l$  处测量目标灯时, 有测量式<sup>(2)</sup>

$$E_0 = \frac{It \cos^2 \alpha_l}{l^2} 10^{-al} \quad (8)$$

其中,  $t$  为偏光能见度仪的总体透过率, 取为 0.24;  $\alpha_l$  为偏光能见度仪在距离  $l$  处测量目标时的角度示值。由上式可得

$$a = -\lg \tau = \frac{1}{l} \lg \left( \frac{It}{l^2 V_l E_0} \right) \quad (9)$$

将上式代入(1)式得到夜间大气的气象能见度为

$$L = (1.7l) / \left[ \lg \left( \frac{It}{l^2 V_l E_0} \right) \right] \quad (10)$$

这就是用双目偏光能见度仪测量夜间气象能见度的原理。

## 2 夜间气象能见度测量的野外对比试验

资料表明, 国内外未见报导有用类似原理和方法来测量夜间气象能见度的。为了验证这种方法的正确性, 我们把由目测灯火能见度计算得到的夜间气象能见度值(由(6)式计算)作为比较标准, 将同条件下由偏光能见度仪测量结果计算得到的夜间气象能见度值(由(10)式计算)与它进行比较, 得出结论。

(1)野外试验的实施概况 在南京大校机场主跑道, 我们完成了同条件下的夜间灯火能见

度目测试验和偏光能见度仪测量试验。

1) 灯火能见度目测试验 从目标灯处开始, 3 名测手逐渐远离灯光, 人眼看到的灯光逐渐变暗, 到将要看不到的时候, 动作要慢, 直到看不见为止。然后慢慢地往回走, 直到灯光微弱出现为止。记下此时各人离目标灯的距离。每人重复 5 次, 去掉最大值和最小值, 取中间 3 个值。

2) 夜间偏光能见度仪测量试验 在距离目标灯 400m 处, 3 名测手使用偏光能见度仪测量目标灯, 每人测 5 次, 去掉最大值和最小值, 取中间 3 个值。观测结果见表 1、表 2。

表 1 目标灯的目视能见距离(m)

Table 1 Distance (m) from the target light covered by naked eyes

观测人员编号	3 次观测结果			平均值	总均值
	1	2	3		
A	1158.34	1160.65	1162.50	1160.43	
B	1163.50	1166.36	1168.77	1166.21	1165.58
C	1167.25	1170.50	1170.55	1170.10	

表 2 400m 处偏光能见度仪测量目标灯的转角值(°)

Table 2 Revolving angles (°) of used meter measuring a target light 400 m away

测量人员编号	3 次观测结果			平均值	总均值
	1	2	3		
A	50.00	50.17	50.33	50.17	
B	49.83	50.33	50.33	50.17	50.22
C	50.17	50.33	50.50	50.33	

试验要求如下: 1) 目标灯由带有直流稳流电源的白炽灯构成, 对目标灯光强稳定性进行测试, 可知其光强基本恒定, 为 0.357 坎德拉(cd), 可以满足测试要求。2) 试验时仪器视场中没有其他的光干扰观测者。3) 测手视力均在 1.0 以上, 视觉、色觉正常(无夜盲症等疾病)。试验前对测手进行偏光能见度仪的测量训练, 并在夜间进行了适应性的测量训练, 使测手能够掌握仪器的使用方法、灯光及偏光能见度仪所成灯光图象的消失标准等, 保证试验数据的稳定性和可靠性。4) 严格试验纪律, 保证试验结果的可靠性。5) 测手由光亮环境进入黑暗环境, 待眼睛适应至少 20min 以后再开始做试验, 使观测时眼睛完全适应黑暗环境。

(2) 试验数据的处理和分析 先根据目测灯火能见度的值和目标灯光强, 由(6)式计算夜间气象能见度的值, 然后根据偏光能见度仪在一个距离处的测量值和目标灯光强, 由(10)式计算夜间气象能见度的值, 比较所得结果, 分析误差及产生原因。

将  $S=1165.58\text{m}$ ,  $E_0=2.0 \times 10^{-7}\text{lx}$ ,  $I=0.357\text{cd}$  代入(6)式, 计算得  $L=16.667\text{km}$ 。

将  $I=0.357\text{cd}$ ,  $E_0=2.0 \times 10^{-7}\text{lx}$ ,  $t=0.24$ ,  $l=400\text{m}$  时,  $\alpha=50.22^\circ$  代入(10)式, 计算得  $L=17.051\text{km}$ 。

两者绝对误差为  $\Delta(L)=|17.051-16.667|=0.384\text{km}$ ; 相对误差  $\delta(L)=0.384/17.051 \times 100\%=2.25\%$ 。

这说明由偏光能见度仪在一个距离处的测量值和目标灯的光强计算所得的气象能见度值与由夜间灯火能见度的总体均值和目标灯的光强计算所得的夜间气象能见度值的相对误差小

于 5%。

产生误差的可能原因有:试验数据处理中,我们把目标灯的光强和人眼的照度阈值取为定值,而实际上,两者都有微小的变化;夜间目测灯火能见度和偏光能见度仪测量时,对于目标灯和所形成的图象消失界限标准掌握不会完全一致,对测量结果有一定的影响;仪器角度测量只能精确到 10',对最终结果有一定的影响。

### 3 结 语

从夜间目标灯目视观察能见度试验和偏光能见度仪测量试验结果的分析比较中可以看出,两种方法得到的夜间大气的气象能见度是接近的,这说明用偏光能见度仪测量夜间大气的气象能见度基本可行,而且这种测量方法简单、方便、实用。实测中,只要光源恒定,测手满足基本适应条件,掌握测量标准,就能取得较为可靠的数据。这种测量夜间大气气象能见度的方法不仅可以用于中小型民航机场和气象部门的气象台站而且在夜间灯火伪装实践中了也能获得推广应用。为了保证夜间测量结果的准确性,白昼应配有距离测量设备,如激光测距仪,夜间应配有特制的恒定光源。本课题的研究虽然取得了一些试验数据,但由于夜间大气的情况复杂,而我们的试验是在某种较高夜间气象能见度的条件下完成的,因此所建立的测量夜间大气气象能见度方法的正确性、可靠性要通过反复多次的试验来验证,尤其是夜间低能见度条件下(雾、雨、雪)的可比性测量试验要做多次。

### 参 考 文 献

- 1 王明康,蒋龙海,蒋顺余. 物理气象学(下册). 南京:南京大学出版社,1991. 248~251
- 2 胡江华. 双目偏光能见度测定仪测量应用的开拓研究:[学位论文]. 南京:工程兵工程学院教务部,1993
- 3 李汉斌. 双目偏光能见度测定仪研制综合报告. 工程兵工程学院学报,1984,(4):10~15
- 4 韦课常. 电气照明技术基础与设计. 北京:水利电力出版社,1980. 140~145

## ON NOCTURNAL METEOROLOGICAL VISIBILITY MEASUREMENT

Hu Jianghua Li Hanbin

(Engineering Institute of the Engineering Crops, Nanjing 210007)

Zhou Jianxun Zhang Baomin

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

**Abstract** Using visibility theory and the principle of the binocular polarized-light visibility meter, the measuring principle is discussed with a new method developed for nocturnal visibility measurement. A tentative field contrast test was performed with the results presented in this paper.

**Keywords** meteorological visibility, measuring principle, measuring method, contrast test