

# 雾探测器现场对比试验方法研究

王改利

(中国气象科学研究院大气探测研究所, 北京 100081)

**摘要** 简单介绍了 WT-1 型雾探测器的结构和现场试验情况,对试验期间(2001 年 12 月 1 日至 2002 年 5 月 31 日)所获取的数据进行了统计分析,计算了试验期间雾探测器数据的缺测率、与人工观测数据及芬兰同类产品的测量结果之间的相关系数,三者之间的相符率,以及数据随时间的变化趋势。以数据处理结果为依据,客观地阐述了雾探测器的优缺点,以及与目前世界上普遍认可的芬兰能见度仪之间的差距,同时也提出了雾探测器改进的一些建议。

**关键词** 雾探测器 现场试验 统计分析 对比

## 引言

由于公路、航空、航海、军事、生活等方面的需要,许多国家都进行大气能见度观测仪试验研究,并已取得相当大的进展。世界气象组织于 1989 年在英国的 Finningley 邀请了日本、德国、荷兰、法国、芬兰、英国和美国等国厂商,对 25 台 18 种类型能见度仪进行对比,以分析目前国际市场上的各种能见度仪的测量准确性<sup>[1]</sup>。1998 年中国空军司令部气象局组织了一次透射表能见度仪与前向散射式能见度仪的对比试验,以确定能否将散射式能见度仪应用于航空气象保障领域。

本文所叙述的 WT-1 型雾探测器是中国气象科学研究院大气探测所和南京气象学院电子信息工程系共同研制的。它实际上是一种前向散射式能见度传感器,其量程为 100 ~ 20000 m。为了考核其性能,2001 年中国气象局组织了一次该仪器与芬兰能见度仪 FDI 2P 及人工观测的对比试验。

## 1 WT-1 雾探测器工作原理

雾探测器的工作原理主要是依据对大气消光系数(或大气的光衰减系数)的精确测量<sup>[2]</sup>。根据 Koschmider 原理,气象光学视距 MOR( $d$ )与消光系数  $\sigma$  之间的关系为:

$$d = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{1}{0.05}, \text{只要精确测定 } \sigma, \text{就可计算得到}$$

MOR 值。

雾探测器主要由发射器、接收器、控制箱、微机、电源等组成。发射器采用峰值波长为 930 nm 的红外发光管作为光源,用双光路双通道方法监测并调节发射器的光强,确保光源的稳定性。接收器采用宽带低噪声高灵敏度同相放大检波电路,经相干积累后获得较大的动态测量范围。控制器包括数据采集、处理与控制。采用单片机和可编程逻辑器件、存储器、A/D 转换等。通信采用 RS-232 或 RS-485(双绞线)接口,输出前向散射功率、背景光强度,1 min 和 10 min 平均能见度值。

## 2 试验情况及仪器简介

2001 年 11 月,在中国气象局大气探测综合试验基地安装了 1 台 WT-1 雾探测器,南京小校场观测站安装了 2 台 WT-1 雾探测器,对其进行为期半年的现场对比试验,参考标准为芬兰产品 FDI 2P 和人工观测。通过现场考核试验以及资料分析评估等工作,分析了解该探测器性能技术指标是否达到课题合同书的要求或是否满足业务使用要求,以便确定对课题进行验收、技术成果鉴定或设计定型。试验起止日期为 2001 年 12 月至 2002 年 5 月。

## 3 数据获取

两个考核站中,北京中国气象局大气探测综合

试验基地每天只有 8 次人工目测能见度数据。试验样机与芬兰能见度仪虽然有很多的观测数据,但为对比方便,每天也只取 8 次样本值;南京小校场观测站是基准站,每天有 24 次人工目测能见度数据,因此试验样机与芬兰能见度仪每天也取 24 次样本值。各样本值获取时间均与人工观测时间基本同步。

#### 4 数据分析

##### 4.1 能见度参考值

参考历次全球能见度传感器对比试验过程,均没有指定某种能见度传感器为标准器,也没有以人工目测为标准值。而是根据参试传感器的情况,选取参考传感器和能见度参考值,通常以透射表为参考传感器(此传感器不是被测对象),以参考传感器的平均值为能见度参考值<sup>[3]</sup>。由于本次试验没有透射表,且主要目的是为了考核雾探测器的性能,因此,在数据处理与分析时,我们将芬兰能见度产品 FDI 2P 的测量值,以及人工观测值分别作为参考能见度值。世界气象组织《气象仪器及观测方法委员会(CIMO)指南》第九章“能见度的观测”中指出:“发现在白天,观测者对能见度的估计值比 MOR 的仪器测量值高大约 14%。在数小时的黑暗中,观测员对能见度的估计值大约比 MOR 的仪器测量值高出约 30%”。因此,将白天人工观测值乘以 0.86,将夜间人工观测值乘以 0.7,作为人工观测参考值<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 数据缺测率的统计

数据缺测率是试验期间数据缺测的次数与应测

次数的比值,缺测率的大小反映了仪器的连续工作情况,外界因素(如停电、雷击等)除外。试验期间 WT-1 雾探测器和芬兰 FDI 2P 的缺测情况见表 1。

表 1 试验期间数据缺测率 %

	2001 12月	2002 1月	2002 2月	2002 3月	2002 4月	2002 5月	平均值
WT-1(北京)	0.4	2.4	0.4	0	6.7	9.7	3.3
WT-1(南京 1)	11	14.5	2.1	1.5	6.4	15.2	8.5
WT-1(南京 2)	11	1.5	0.6	6.5	8.8	23.4	8.6
FDI 2P(北京)	62.5	60.9	60.3	52.8	100	10.1	57.8
FDI 2P(南京)	1.1	7.1	0.4	5.0	3.8	18.3	6.0

从表 1 可以看出,北京的 FDI 2P 缺测率较大,2002 年 4 月份还没有可比对的数据,估计此仪器出了故障,其余 4 台仪器在试验期间的缺测率情况相当,北京试验点的 WT-1 雾探测器的缺测率稍好一些,2002 年 3 月的数据没有缺测,2001 年 12 月的数据缺测率仅为 0.4%,说明雾探测器所获取的数据较为完整,不逊于国外产品芬兰能见度仪 FDI 2P。

##### 4.3 试验数据的趋势图

图 1 图 2 分别为 3 台样机试验期间的观测值与人工观测值及 FDI 2P 测量值的趋势图。从图 1 可以看出:在 2001 年 12 月,WT-1 雾探测器与 FDI 2P 测量值、人工观测值的数据趋势吻合,曲线基本重合,尤其当能见度较低时,样机与人工观测值、FDI 2P 测量值一致性很好,且离散性很小;能见度较高时,人工观测值在某些点上较高,明显高出 WT-1 和 FDI 2P 测量值,WT-1 雾探测器和 FDI 2P 测量值一致性较好。

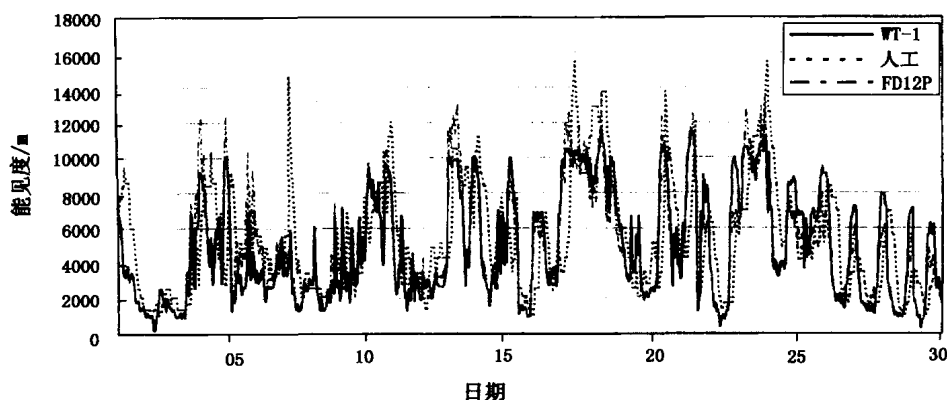


图 1 南京小校场观测站 2001 年 12 月试验样机数据趋势图

图 2 为 2001 年 12 月 8 日,北京南郊基地大雾天气 WT-1 雾探测器与人工观测值及 FDI 2P 测量

值之间的数据趋势图。从图中可以看出,11:00(北京时,下同)之前,能见度低于 1 km,WT-1 测量值与

人工观测值基本重合,02:00 人工观测的能见度为 70 m,WT-1 测量结果为 70 m;当午后能见度逐渐升高到 3 km 左右时,WT-1 测量值与人工观测的资料也相当吻合,曲线变化趋势也相同,离散性较小,14:00 人工观测的能见度为 2.85 km,WT-1 测量结果为 3.14 km;20:00 以后,能见度又逐渐降低,一致性也比较好,23:00 人工观测的能见度 2.25 km,WT-1 测量结果为 2.1 km(由于在北京试验点 FDI2P 数据太少而未作分析)。

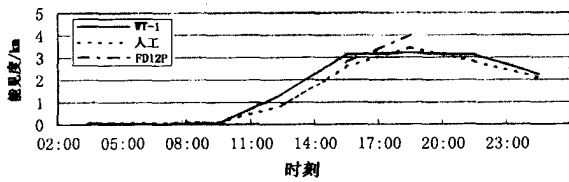


图 2 2001 年 12 月 8 日中国气象局大气探测基地试验样机大雾天气数据趋势图

#### 4.4 相关系数

两个观测值间的相关系数是一个重要的统计特征量。设  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  是某两个气象测量值  $(\xi, \eta)$  的  $n$  对观测值,则它们间的相关系数  $r$  为<sup>[5]</sup>:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

表 2 为试验期间两个试验点的雾探测器分别与人工观测值及芬兰能见度仪观测值之间的平均相关系数,同时列出了人工观测值与芬兰能见度仪观测值之间的平均相关系数,以便对比。

表 2 各测验点雾探测器与人工观测值及芬兰能见度仪观测值之间的平均相关系数

	人工观测	芬兰机
北京样机	0.56	0.65
南京一号	0.57	0.82
南京二号	0.58	0.82
芬兰(北京)	0.84	
芬兰(南京)	0.59	
南京 1 号—南京 2 号:	0.91	

在整个试验期内,WT-1 型雾探测器与人工观测的平均相关系数为 0.57;芬兰机与人工观测的平均相关系数为 0.72;这说明,芬兰机与人工观测的相关性优于 WT-1 型雾探测器。WT-1 型雾探测器

与芬兰机的平均相关系数为 0.76,说明两者有较高的相关性。在南京考核的两台 WT-1 型雾探测器的平均相关系数为 0.91,这说明两台样机之间是密切相关的,即两台样机的性能较为一致。

#### 4.5 相符率

在气象概率统计学中,相符率也是一个统计特征量,在地面自动气象站的现场试验过程中,用相符率来统计相对误差在允差范围内的百分率。

$$\text{相符率} = \frac{\text{相符次数}}{\text{有效总次数}} \times 100\%$$

在整个试验期内,以经过预处理的人工观测值为参考标准值,按允差(百分误差)求出相符率;同理以芬兰能见度仪样本值为参考标准值,计算在整个考核期内试验样机样本值与芬兰能见度仪样本值之间的相符率。表 3、表 4 列出了两个试验点 WT-1 雾探测器测量数据与人工观测值及芬兰 FDI2P 测量值之间的相符率。

表 3 北京试验点雾探测器测量值与人工观测值及芬兰 FDI2P 测量值之间的相符率 %

参考标准值 km	样机与人工 观测	样机与芬兰机	芬兰机与 人工观测
< 0.1	100	100	100
0.1 ~ 5	60.9	81.4	71.4
5 ~ 10	54.8	70.3	93.7
10 ~ 20	76.4	51.5	82.2

整个考核期内,在北京的 WT-1 型雾探测器无论是与人工观测比较,还是与芬兰仪器比较,在低能见度条件下,相符率较高,一致性较好,有较好的性能,这是符合设计此探测器的基本目标的,特别是在 0.1 km 以下的大雾天气,三者之间一致性非常好,相符率达到了 100%。但是,该传感器在较高能见度条件下,性能要差一些,这主要是雾探测器受到了太阳光的影响,干扰了正常的测量信号,这也是在今后的工作中需要改进的地方。

表 4 南京试验点雾探测器测量值与人工观测值及芬兰 FDI2P 测量值之间的相符率 %

	参考标准值/km			
	< 0.1	0.1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20
1 号机与人工观测	80.3	78.8	73.4	53.8
1 号机与芬兰机观测	88	79.7	69.2	57
3 号机与人工观测	78	73.9	50.7	85
3 号机与芬兰机观测	90	75.4	68.6	85.4
芬兰与人工观测	79.7	71.6	65.5	74.1

从表 4 可以看出,整个考核期内,在 5 km 的能见度范围内,两台样机与芬兰机相比较时,相符率都较高,这说明,在 5 km 以下的能见度范围内,WT-1 型雾探测器的性能与芬兰仪器是相近的。与在北京试验的情况相类似,在 5 km 以上的能见度时,两台 WT-1 型雾探测器与芬兰仪器相比,性能要差一些。

#### 4.6 稳定性

对于任何仪器来说,长期稳定性是一个至关重要的指标,稳定性差的仪器,是无法在市场上立足的。本文用相对误差平均值的逐月变化情况来描述稳定性问题。

图 3 为北京试验点 6 个月考核期内的相对误差平均值。从图 3 可以看出,在北京试验点,WT-1 雾探测器的相对误差平均值变化较平缓,只是在 2002 年 3 月份,有点偏大,芬兰 FDI 2P 能见度仪的表现与雾探测器差不多,在前 4 个月,曲线平缓,但 2002 年 4 月份没有可比对数据,因而在 3 月份与 5 月份之间,用虚线连接,5 月份也有所偏大。芬兰能见度仪 FDI 2P 在整个考核期内,相对误差平均值的变化比较平缓,说明了雾探测器在长期稳定性方面比芬兰能见度仪 FDI 2P 要差一些,还有待提高。

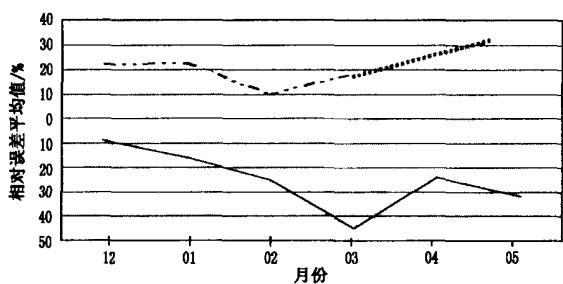


图 3 2001 年 12 月至 2002 年 5 月北京试验点相对误差平均值逐月变化图

(实线为北京样机与人工测值,虚线为 FDI 2P 与人工测值)

#### 5 试验结论及存在的问题

从试验的过程和结果来看,两个试验点,在整个考核期内 WT-1 雾探测器无大故障,缺测率比较小,取得了较完整的试验数据,可靠性与芬兰机大体相同,就相关系数分析、相符率的计算,都说明在低能见度范围内,WT-1 型雾探测器性能达到或接近芬兰能见度仪器性能水平;在较高能见度范围内,与芬兰能见度仪有一定差距;在时间稳定性方面,WT-1 型雾探测器要比芬兰仪器稍差一些。

本次试验期间由于安装在中国气象局南郊试验基地的芬兰能见度仪 FDI 2P 出了故障,影响了数据的完整性。人工观测数值与仪器观测数据存在较大差异,而仪器之间的一致性较好,说明人工观测存在一定的主观性,在今后的对比试验中,最好由几个观测员同时观测,以他们观测值的平均值作为参考标准,结果可能会更有说服力。WT-1 型雾探测器在高能见度范围内,误差偏大,需不断完善。同时应对光路、电路的参数进行适当修正,以进一步提高高能见度时的测量准确度;改进结构设计,完善工艺,进一步提高稳定性,逐步赶上国外同类产品,走向市场。

#### 参考文献

- 1 Griggs D J, Cummins K L, Maier M W, et al. The First WMO Inter Comparison of Visibility Measurement, Final Report ( United Kingdom, 1988 - 1989 ). WMO Instrument and Observing Methods Report 41 ( TD401 ). Geneva : WMO, 1989
- 2 张霏琛. 现代气象观测. 北京: 北京大学出版社, 2000
- 3 濮江平, 胡宗刚, 魏阳春, 等. 能见度自动观测系统性能对比及分析. 气象科学, 2002, 22(1) : 60 - 70
- 4 WMO. Guide of Meteorological Instruments and Methods of Observation. 6th ed. Geneva : WMO, 1996
- 5 屠其璞, 王俊得, 丁裕国, 等. 气象应用概率统计学. 北京: 气象出版社, 1984

## Field Comparison Test of WT-1 Fog Detectors

Wang Gaili

( Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081 )

**Abstract :** The field tests of WT-1 Fog Detectors are described and the acquired data during the tests are analyzed statistically. The absent rate of observation data from the WT-1 and FDI 2P, the correlation coefficients of WT-1 with visual observation and FDI 2P, the conformability of the three measurements and the variation trend of the difference with time are calculated. Based on the analysis results, the advantages and disadvantages of the

---

detector are discussed. In comparison with Vaisala's visibility sensor FD12P, the difference between WT-1 Detector and FD12P is described, and improvement suggestions are proposed.

**Key words :** fog detector, field test, statistical analysis, comparison