

天气雷达水平仪检测数据误差订正与数学处理方法初探

张维全¹ 李洋¹ 李闻生¹ 李帅彬¹ 白静²

(1. 辽宁省人工影响天气办公室, 沈阳 110016; 2. 沈阳国家气候观象台, 沈阳 110168)

摘要:天气雷达天线座水平度的检测主要使用2种气泡式水平仪来获取数据。由于水平仪在天线座上的实际检测工作环境与水平仪原来的标准检定环境差别较大,所以直接获取的检测数据含有明显的误差成分,这在很大程度上影响到了对天线座水平度的准确检测。针对在水平仪检测数据订正与数学处理方法方面出现的问题,分别提出了对这2种气泡水平仪系统读数误差的确定方法和检测数据的数学处理方法。结果表明:对读数误差的确切分离与对检测数据进行恰当的数学处理,能够明显提高天气雷达天线座水平度检测数据的准确度和可信度。

关键词:天气雷达;水平仪;检测数据;读数误差;误差订正;数学处理

1 引言

水平仪是一种测量小角度倾斜程度的测量仪器。天气雷达站中的雷达天线座要保持较高的水平度,以确保天气雷达系统对气象目标定位的高精度,所以天气雷达站必须按相关规定,定期用水平仪来检测雷达天线座的水平度^[1]。因而水平仪是天气雷达站必须配备的常用检测工具仪器之一。

我国已经布设的新一代天气雷达站所配备水平仪主要有2种:一种是在水准器上直接读取气泡端点位置刻度的“直读式条式水平仪”,另一种是配备有专门的读数装置供间接读数的气泡式水平仪,称为“合像水平仪”。

虽然水平仪本身是比较精密而昂贵的测量仪器,但如果使用不当,就不能充分保证它检测数据结果的准确。由于仪器配套的《使用说明书》使用方法部分不够细化,甚至在系统误差订正、读数方法及数据处理方面有很多疏略之处,因而对水平仪还比较生疏的使用者来说,这类说明书的用处非常有限。如果“教条”地按照这样的说明来检测天气雷达天线座的水平度,很难保证检测精度,而这很可能导致天气雷达对气象目标的定位出现较大的误差^[2-3]。因此,本文就天气雷达水平仪检测数据的订正与数学处理方法进行了探讨。

2 条式水平仪和合像水平仪的结构特点

2.1 条式水平仪

条式水平仪结构比较简单。图1为条式水平仪

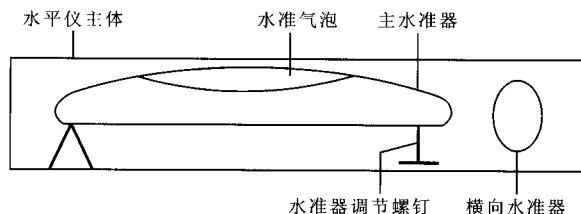


图1 条式水平仪结构示意图

结构示意图。该类型仪器一般由水平仪主体、横向水准器、主水准器、盖板和零位调整装置等零部件组成。其特点是仪器本身没有附加特殊的读数装置,检测数据结果可直接从其标记有刻度的水准器上读出,使用较方便,但其测量倾斜角度的范围比较小,并且其测量精度与合像水平仪相比要低一些。

条式水平仪的主水准器是其核心器件。主水准器内的气泡任意一端都可作为其水平度读数的确定标志。该气泡某个端点相对于作为零刻度线的“长刻度线”的偏离刻度数,直接反映主水准器的倾斜角度的大小(与倾斜角度成正比)。

主水准器的气泡和读数刻度如图2所示,其中 L_2 为气泡长度, L_1 为2条“零刻度线”之间的距离,在标准检测温度环境下, $L_1 = L_2$ 。图2所示的主水准器的右端读数约为-3.45,其左端读数则约为3.55。这表明 L_1 小于 L_2 ,主水准器的实际温度稍低于其标准检测温度。

2.2 合像水平仪

合像水平仪的结构与条式水平仪相比,相对复

杂一些。图3为这种仪器主要组成部分的结构图。

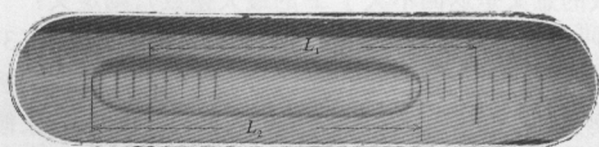


图2 条式水平仪水准气泡与读数刻度

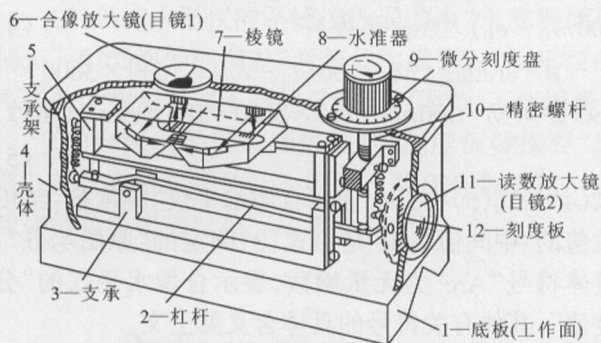


图3 合像水平仪的结构

由图3可见,一个合像水平仪是由底板(其底面称为“工作面”)、杠杆、支承、壳体、支承架、合像放大镜、棱镜、水准器、微分刻度盘、精密螺杆、读数放大镜和刻度板构成。

合像水平仪的主要特点:水准器仅作为水平指示器,不作为读数工具。读数是通过杠杆、微分刻度盘、精密螺杆和棱镜等构成的专门的“调节与放大装置”来进行,因而读数精确,测量范围较大。合像水平仪的操作步骤比较多,数据处理比较复杂,若稍有疏忽大意,容易发生差错。

3 条式水平仪和合像水平仪测量数据的误差分析

条式水平仪的《使用说明书》仅仅提到需要进行“零位误差检查”,但该项检查所涉及的零位误差实际上却只是水准器与工作面不平行造成的那一部分分量,其中并没有包括在不同的检测温度条件下引起水准气泡长度变化引起的实际零位刻度变化这一部分分量。而这项分量引起的误差与温度有关,变化区间更大并且不能借助调节部件加以消除。若完全按照说明书执行,等于忽略了此项绝对不该忽略的误差因素,显然可能导致天线座水平度很大的误差被掩盖的情况发生,后果比较严重。

合像水平仪的使用说明书中的使用方法部分,不仅没有提及可能出现的系统读数偏差如何检查的内容,而且对最关键的如何准确获得检测结果方面的内容叙述也不够明确,尤其是倾斜角小于零的情况下如何读数的问题,更是让使用者很难明确把握,因而检测结果中极容易因误操作和误处理而人为地引入偏差。

4 2种气泡水平仪检测数据的订正与数学处理

4.1 条式水平仪

4.1.1 系统误差的确定

条式水平仪可能出现的读数系统误差由2部分构成。为叙述简单起见,本文将第1种误差分量称为“水准器倾斜偏差”,将第2种误差分量称为“气泡伸缩偏差”。这2种系统偏差来源与形成机制不同,不能作为整体系统误差来对待,需要分别加以确定。

(1)“水准器倾斜偏差”分量的确定

条式水平仪说明书中已经给出了水准器倾斜偏差分量 δ_0 的分离方法(说明书中提法是“零位误差”)。需要补充的是,“水准器倾斜偏差” δ_0 与选择的读数端有关, δ_0 在两端的数值恰好互为相反数。

(2)“气泡伸缩偏差”分量的确定

条式水平仪具有“气泡指示直接读数”的特点。水准器内气泡体积伸展范围随环境温度变化而变化。经过我们在不同温度环境下数次对比观测发现,检测环境温度高时,气泡伸展的范围小,反之其伸展的范围大。在高低不同的温度环境下气泡的长度变化量可达2个刻度单位或以上。这种气泡长度上的伸缩显然是一个显著的误差来源。

由于在不同的温度环境中检测水准器气泡长度不一定恰好与作为零刻度线的2条“长刻度线”所界定范围长度相等,所以必须根据气泡实际长度来规定实际零刻度线的位置。显然,若气泡长度与“长刻度线”所界定范围长度之差“ $L_2 - L_1$ ”的代数值定义为 $2\delta_1$,则 δ_1 即为“气泡伸缩偏差”。

因为气泡长度变化产生的实际“零刻度线”可能是在水准器某条刻度线附近而非正好在某刻度线上,如果对照该不可见的“无形零刻度线”来频繁读数,显然不便。所以可以依然采用原来的“长刻度线”作为零刻度基准来读数,而因“气泡伸缩偏差”引入的读数误差可在最后结果中进行一次性扣除。

上面已经提及系统误差 δ_0 (起因于水准器相对工作面发生轻微倾斜)与条式水平仪的2个不同读数端有关,2个端子的系统误差互为相反数。但是从“气泡伸缩偏差”的来源与形成机制来分析看,“气泡伸缩偏差”在两端的数值则完全相同。

条式水平仪给定读数端的总系统读数偏差,等于水平仪该读数端“水准器倾斜偏差”分量 δ_0 与水准器“气泡伸缩偏差” δ_1 的代数和。

4.1.2 测量结果的数学处理

由于直接读数,条式水平仪使用过程中的读数过程比较简单。但该读数并非雷达天线座水平度检

查中需要的倾斜角数值,还需要经过误差订正后进行转换。说明书中没有给出对其原始读数结果进行加工处理的数学方法。

本文补充给出经过简单推导得到的计算倾斜角 β 的公式(1)和公式(2),用以处理检测过程中得到的原始检测数据^[4]:

$$\beta = \arctan[(M - \delta_1 - \delta_0) \times \text{Acr}] \approx (M - \delta_1 - \delta_0) \times \text{Acr}(\text{弧度}) \quad (1)$$

$$\beta = \arctan[(M - \delta_1 - \delta_0) \times \text{Acr}] \times 3600 \times 180/\pi \approx (M - \delta_1 - \delta_0) \times 3600 \times 180 \times \text{Acr}/\pi(\text{角秒}) \quad (2)$$

式(1)一式(2)中出现的符号 M 表示条式水平仪的原始读数,单位是“格”;整体符号“Arc”为无量纲数,表示条式水平仪的“精度”(又称为“分度值”);其他符号的具体含义见上文。

4.2 合像水平仪

4.2.1 系统误差的确定

选倾斜度在仪器量程范围内的平面,在该面上放置合像水平仪。利用水平仪测定相反方向的倾斜度,结果若互为相反数,说明仪器无系统的读数误差。一般情况下,用上述步骤测量的2数据代数值算术平均值 δ_0 非零,其数值即为读数的系统误差。如果该误差明显不容忽略,则需要在结果中加以扣除;如果该误差明显过大、可能明显对测量范围产生影响时,则需要通过仪器的调零部件进行调整。

4.2.2 测量结果的数学处理

通过读数放大镜在刻度板上读取游标指示数值的近似值 x_1 ,结果保留1位小数或者忽略小数部分;在微分刻度盘上读出“基准刻线”对准的数据近似值 x_2 ,结果保留1位小数,其小数部分不允许忽略。用

M 表示“原始示数”,引用“取整函数” $\text{INT}(x)$ (该函数的意义是返回不大于 x 的最大整数),则定义:

$$M = 100 \times \text{INT}(x_1) + x_2 \quad (3)$$

通过对合像水平仪结构原理和刻度盘、刻度板读数产生过程的深入分析,我们得到了被测对象倾斜角度 β 的具体解析计算公式(4)和(5)^[4]:

$$\beta = \arctan[(M - 100m_0 - \delta_0) \times \text{Acr}] \approx (M - 100m_0 - \delta_0) \times \text{Acr}(\text{弧度}) \quad (4)$$

$$\beta = \arctan[(M - 100m_0 - \delta_0) \times \text{Acr}] \times 3600 \times 180/\pi \approx (M - 100m_0 - \delta_0) \times 3600 \times 180 \times \text{Acr}/\pi(\text{角秒}) \quad (5)$$

式(4)一式(5)中, m_0 表示合像水平仪“刻度板”刻度数值的“中间值”; M 是由式(3)确定的“原始示数”;整体符号“Arc”为无量纲数,表示合像水平仪的“分度值”;其他有关符号的具体含义见上文。

5 数据处理结果实例对比分析

为定量进行对比,以下给出2个具体计算实例。

5.1 合像水平仪检测数据处理结果对比

设合像水平仪通过读数放大镜在刻度板上读取游标指示数值的整数部分 $x_1 = 4$,在微分刻度盘上读出“基准刻线”对准的数据 $x_2 = 99.5$, $m_0 = 5$, $\delta_0 = 1.5$, $\text{Acr} = 0.01/1000$ 。代入解析公式(5),可得到正确的处理结果:

$$\beta = \arctan[(M - 100m_0 - \delta_0) \times \text{Acr}] \times 3600 \times 180/\pi = \arctan[(499.5 - 500 - 1.5) \times 0.01/1000] \times 3600 \times 180/\pi = -4.1253''$$

如果按照说明书中不够明确的说明去做,由于使用者可有不同理解,所以计算结果可能出现4种,见表1。

表1 合像水平仪倾斜度4个处理结果

表示单位	I	II	III	IV
mm/m	(4-5)+0.995	(4-5)-0.995	(5-5)+0.995	(5-5)-0.995
s	-1.0313''	-411.4977''	205.2334''	-205.2334''

其中只有-1.0313''这个数据比较接近正确数值(没有考虑读数系统误差),其他几个数据中都出现了非常大的偏差,严重失真。

5.2 条式水平仪检测数据处理结果对比

设条式水平仪读数端的系统误差 δ_0 为-0.5格,气泡伸缩偏差 δ_1 为-1格, Acr 为0.08/1000,水准器上直接读数 M 为2.5格,则正确的处理结果为:

$$\beta = \arctan[(M - \delta_1 - \delta_0) \times \text{Acr}] \times 3600 \times 180/\pi = \arctan[(2.5 + 1 + 0.5) \times 0.08/1000] \times 3600 \times 180/\pi = 66.0048''$$

如果按照说明书中的说明去做,由于没有考虑“气泡伸缩偏差”,则计算结果变成了:

$$\beta = \arctan[(2.5 + 0.5) \times 0.08/1000] \times 3600 \times 180/\pi = 49.5036''$$

根据相关规定对天线座水平度的要求^[1],当倾斜角大于60''后应该对天线座水平度进行调整。而以49.5036''的错误结果作为依据必定使工作人员作出错误的判断,导致漏掉一次对天线座水平度进行必要调整工作这种错情的发生,日后必定给天气雷达探测系统留下一个严重的隐患。

6 结论与讨论

(1)雷达站在使用水平仪检测天线水平度之前,一定要对检测仪器进行读数系统误差的检查,并且确定其具体数值,不能主观地默认该数值一定为零。否则可能引入很大的误差影响天气雷达对气象目标的定位精度。

(2)条式水平仪的系统读数误差由“水准器倾斜偏差”和“气泡伸缩偏差”两部分构成,条式水平仪的不同的读数端有着不同的系统读数误差,不能混淆。

(3)合像水平仪的读数规则:刻度板数据要“取整”,刻度盘数据须估计小数位。两部分数据按一定规律结合后再进行相应的数学处理。

(4)检测的数据需要进行相应的数学处理。处理过程中不仅要考虑原始读数,还要考虑系统读数误差因素。

参考文献

- [1] 中国气象局. 新一代天气雷达观测规定(试行)[S]. 北京:中国气象局,2002:2-4.
- [2] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学(2版)[M]. 北京:气象出版社,2002:122-140.
- [3] 张维全,李闻生,李洋. 新一代天气雷达 VIL 产品修正方法初探[J]. 气象与环境学报,2006,22(2):11-17.
- [4] 四川矿业学院数学教研组. 数学手册[M]. 北京:科学出版社,1978:34-58.

Preliminary study on error correction and mathematical treatment methods of detection data for weather radar level

ZHANG Weiquan¹ LI Yang¹ LI Wensheng¹ LI Shuaibin¹ BAI Jing²

(1. Liaoning Weather Modification Office, Shenyang 110016; 2. Shenyang State Climatic Observatory, Shenyang 110013)

Abstract: The detection data to the horizontality of weather radar antenna pedestal were mainly obtained by two kinds of alveoli levels. The direct detection data existed obvious errors because the practical and standard detection conditions of levels on antenna pedestal were different, which could influence the accurate detection of antenna pedestal horizontality to some extent. Thus, the methods of error correction and mathematical treatment for two alveoli levels detection data were presented. The results indicated that the exact separation to reading error and the right mathematical treatment to detection data could improve the accuracy and reliability of weather radar antenna pedestal horizontality.

Key words: Weather radar; Level; Detection data; Reading error; Error correction; Mathematical treatment