

光电经纬仪外场星校方法的理论与实践*

车双良¹ 张耀明²

(1 浙江大学现代光学仪器国家重点实验室,杭州 310027)

(2 苏州大学,苏州 215006)

摘要 研究了光电经纬仪外场星校方法. 根据“X型号光电经纬仪”的探测能力建立了星库、星表. 讨论了利用拍星数据解算各项误差的方法,并给出了基于视窗的可视化工程应用软件系统.

关键词 光电经纬仪;星体;标校;方法

中图分类号 V556 **文献标识码** A

0 引言

星体标校是利用恒星在天球上的准确视位置来标定光电经纬仪的精度,是光电经纬仪在外场进行精度检测和单项误差调整常用的方法之一,广泛地应用于各种靶场的外场实时检测中^[1-5]. 利用该方法可以随时了解光电经纬仪的精度状况,极大地方便了用户.

1 X型号光电经纬仪星库星表

1.1 选星的原则

光电经纬仪的星校包括引星、拍星和数据处理三个步骤. 因此,针对“X型号光电经纬仪”,首先根据它的探测能力,建立星库星表^[6].

光电经纬仪选星的基本原则是根据其探测器(摄影、电视等)性能,决定所能探测的最低星等^[7-9]. 比最低星等稍亮且符合方位角(0~360°均匀分布)、俯仰角(20~65°均匀分布)限制条件的所有恒星都可选用. 因此,“X型号光电经纬仪”星库星表选择了从星等0.14(星号699)到星等2.15(星号1)共30颗恒星(见表1).

表1 A_{ij}^0 所在象限判断

$\left(\frac{\cos \delta_i \sin t_{ij}}{\cos \delta_i \sin \varphi \cos t_{ij} - \sin \delta_i \cos \varphi} \right)$ 的符号	$t_{ij} \geq 12h$ 或 $t_{ij} < 12h$	A_{ij}^0 所在象限
+	$t_{ij} \geq 12h$	I
+	$t_{ij} < 12h$	III
-	$t_{ij} \geq 12h$	II
-	$t_{ij} < 12h$	IV

1.2 星体理论值计算

根据天体理论,星体理论值由下列公式计算

$$A_{ij}^0 = \arctan \left(\frac{\cos \delta_i \sin t_{ij}}{\cos \delta_i \sin \varphi \cos t_{ij} - \sin \delta_i \cos \varphi} \right) \quad (1)$$

$$E_{ij}^0 = \arcsin (\sin \varphi \sin \delta_i + \cos \varphi \cos \delta_i \cos t_{ij}) \quad (2)$$

式中

$$t_{ij} = S_0 + (D_{ij} - 8^h)(1 + \mu) + \lambda - \alpha_i \quad (3)$$

符号定义: A_{ij}^0 为第*i*颗星第*j*时刻的方位角理论值(°,'"); E_{ij}^0 为第*i*颗星第*j*时刻的俯仰角理论值(°,'"); t_{ij} 为第*i*颗星第*j*时刻拍摄时的时角(h,m,s),在计算时要把 t_{ij} 的计量单位化成(°,'")后再计算. α_i 为第*i*颗星的视赤径(h,m,s); δ_i 为第*i*颗星的视赤纬(°,'"); D_{ij} 为第*i*颗星第*j*时刻拍摄时的北京标准时(h,m,s); S_0 世界时零点时的真恒星时(h,m,s); μ 为民用时化恒星时的系数, $\mu = 0.00273791$; λ 为测站的天文经度(h,m,s); φ 为测站的天文纬度(°,'") ;

星体方位角理论值 A_{ij}^0 所在象限按表1判断.

1.3 任一时刻恒星视位置的计算

星体理论值计算中的一些基本参数,如 S_0, α_i, δ_i 等均来自于中国科学院南京紫金山天文台每年编算的《中国天文年历》. 年历每隔10天给出恒星的准确视位置(α_i, δ_i). 在一年中,恒星的视位置变化不大(秒级量). 对于引导来说,我们只要适当地选择某一组数据就足够了(因为引导只要把恒星引导到光电经纬仪的视场内即可,而光电经纬仪的视场是分级量). 但是,仅有这些还不够,拍星的时间是随机的,我们不可能刚好选择年历表上已有的日期. 为了数据处理的需要,还必须计算出星体在任一时刻的视位置. 具备了上述有关参数后,我们才能精确地计算星体的理论值.

求任一时刻*t*的恒星视位置*f*,其方法是采用拉格朗日三点插值法. 设对应于连续三个表列时刻 t_{-1}, t_0, t_{+1} 的恒星视位置为 f_{-1}, f_0, f_{+1} ,表列时间间隔为 ω ,则当 $t_{-1} < t < t_0$ 时,内插因子 $n = \frac{t - t_0}{\omega}$,即

$t = t_0 + n\omega$,则由拉格朗日三点内插公式,有

$$f = L_{-1} \times f_{-1} + L_0 \times f_0 + L_{+1} \times f_{+1} = \sum_i L_i \times f_i \quad (i = -1, 0, +1) \quad (4)$$

式中 L_i 为拉格朗日三点内插公式系数,其值为

$$L_{-1} = \frac{n(n-1)}{2} \quad L_0 = (1-n)(1+n)$$

$$L_{+1} = \frac{n(n+1)}{2} \quad (5)$$

由于内插系数之间有关系式 $L_{-1} + L_0 + L_{+1} = 1$, 因而实际使用时可将连续三个表列值 f_i 的共同部分 f_{00} 抽出, 只对不同部分进行插值计算, 即令: $f_i = f_{00} + \Delta f_i, i = -1, 0, +1$, 则

$$f = f_{00} + \sum_i L_i \times \Delta f_i \quad (i = -1, 0, +1) \quad (6)$$

求 t 时刻 f 的具体步骤如下:

①求相应的世界时 M

若日期为 d , 北京时间为 t , 其相应的世界时为

$$M = d + \frac{t}{24h} - \frac{8h}{24h} \quad (7)$$

②求内插因子

在恒星视位置表中找出 d_i 在表列日期 d_0 与 d_{+1} 之间, 则表列日期到观测时刻的整日数:

$$D = d_i - d_0. \text{ 因而内插因子为: } n = \frac{D - M}{10}$$

③内插系数由式(5)给出.

④计算观测时的恒星视位置由式(6)给出.

举例说明如下: 求 2002 年 6 月 4 日 51 号场区 ($\lambda = 5h47m42.346s$) 北京时间 1h57m0s 恒星 699 的视位置.

①求相应的世界时 M : $M = 6 \text{ 月 } 4 \text{ 日 } + \frac{1h57m0s}{24h}$

$$- \frac{8h}{24h} = 6 \text{ 月 } 3.75$$

②求内插因子 n

由《中国天文年历》的《恒星视位置表》查得:

$$t_0 = 6 \text{ 月 } 2.00d. \text{ 则: } n = \frac{3.75 - 2.00}{10} = 0.175$$

③由式(4~22) 计算内插系数 L_i

$$L_{-1} = \frac{0.175(0.175 - 1)}{2} = -0.0722$$

$$L_0 = (1 - 0.175)(1 + 0.175) = 0.9694$$

$$L_{+1} = \frac{0.175(0.175 + 1)}{2} = 0.1028$$

④计算观测时的恒星视位置

$$\alpha = 18h36m45s + (-0.071s) \times (-0.0722) + 0.147s \times 0.9694 + 0.326s \times 0.1028 = 18h36m45.181s$$

$$\delta = 38^\circ 46' 31'' + 0.75'' \times (-0.0722) + 3.73'' \times 0.9694 + 6.84'' \times 0.1028 = 38^\circ 46' 35.26''$$

有了 α, δ 以后, 我们就可以由式(1)、(2)精确地计算星体的理论值 A_{ij}^0, E_{ij}^0 .

2 X 型号光电经纬仪星校软件系统设计

根据“X 型号光电经纬仪”的具体要求, 设计了星校软件系统^[6,10,11]. 系统有两大功能. 其一是引导数据的计算, 它为光电经纬仪的拍星提供数据, 引导光电经纬仪实现拍星. 其二是恒星准确视位置的计算. 它可以根据拍星的情况, 提供所要恒星的任意时刻的准确视位置值, 为解算光电经纬仪的各项误差提供数据依据.

参数说明: 在程序中, 时间量是以 h, m, s 为单位输入的; 恒星视赤经和测站天文经度是以时角单位 h, m, s 输入的; 恒星视赤纬和测站天文纬度是以 ($^\circ, ', ''$) 为单位输入的. 图 1 是软件系统用户界面, 图 2 是引导程序用户界面. 图 3 是校核程序用户界面. 星库星表的格式及结果见表 2、表 3.

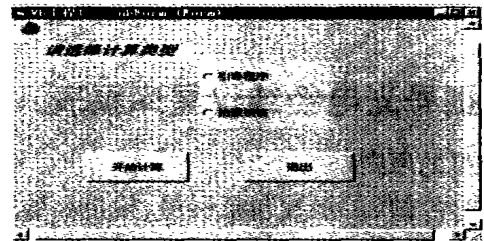


图 1 软件系统用户界面

Fig. 1 The user interface of software system



图 2 引导程序用户界面

Fig. 2 The user interface of guide program



图 3 校核程序用户界面

Fig. 3 The user interface of proofread program

表 2 X 型号光电经纬仪星库星表之一

Number	B-time	S-number	S-grade	Azimuth	Elevation
1	22:00:00	699	0.14	060°30'47.69"	026°36'34.61"
2	22:02:00	193	0.21	318°49'45.06"	015°17'51.06"
3	22:04:00	526	0.24	135°52'28.35"	061°52'47.99"
4	22:06:00	194	0.34	281°00'48.3"	-024°25'27.07"
5	22:08:00	291	0.48	267°10'0.99"	011°08'24.02"
6	22:10:00	745	0.89	075°01'03.18"	-003°26'55.07"
7	22:12:00	168	1.06	307°31'46.31"	-013°58'31.02"
8	22:14:00	295	1.21	286°00'35.49"	025°21'18.54"
9	22:16:00	498	1.21	174°11'45.3"	037°19'03.7"
10	22:18:00	867	1.29	076°33'34.79"	-061°08'57.6"
11	22:20:00	777	1.33	042°17'53.52"	015°21'37.87"
12	22:22:00	380	1.34	247°22'57.07"	040°20'01.54"
13	22:24:00	483	1.68	348°57'37.41"	075°00'51.58"
14	22:26:00	201	1.70	293°53'50.08"	-015°57'44.24"
15	22:28:00	210	1.75	286°36'52.76"	-019°43'10.17"
16	22:30:00	202	1.78	309°31'54.59"	000°05'40.73"
17	22:32:00	120	1.90	340°50'46.52"	005°02'44.55"
18	22:34:00	509	1.91	025°03'05.21"	081°03'29.71"
19	22:36:00	309	1.92	226°19'47.52"	-022°59'13.23"
20	22:38:00	251	1.93	290°34'08.65"	001°38'10.4"
21	22:40:00	417	1.95	325°28'16.27"	060°06'13.23"
22	22:42:00	689	1.95	126°31'14.16"	-011°01'47.13"
23	22:44:00	273	1.98	253°19'54.40"	-021°41'59.2"
24	22:46:00	243	1.99	267°55'59.32"	-025°25'32.72"
25	22:48:00	654	2.04	140°07'19.93"	-010°00'10.12"
26	22:50:00	227	2.07	318°44'47.61"	013°54'13.81"
27	22:52:00	907	2.12	359°48'45.02"	040°37'34.66"
28	22:54:00	656	2.14	102°28'00"	032°24'45.66"
29	22:56:00	706	2.14	117°57'43.61"	-008°15'28.83"
30	22:58:00	1	2.15	022°36'20.69"	-015°51'51.97"

表 3 X 型号光电经纬仪星库星表之二

Number	B-time	S-number	S-grade	Azimuth	Elevation
1	22:00:00	699	0.14	060°30'47.69"	026°36'34.61"
2	22:02:00	699	0.14	060°59'21.23"	027°15'58.03"
3	22:04:00	699	0.14	061°27'45.77"	027°55'32.35"
4	22:06:00	699	0.14	061°56'01.62"	028°35'17.40"
5	22:08:00	699	0.14	062°24'00.00"	029°15'12.82"
6	22:10:00	699	0.14	062°52'08.16"	029°55'18.57"
7	22:12:00	699	0.14	063°19'59.33"	030°35'34.26"
8	22:14:00	699	0.14	063°47'42.90"	031°15'59.86"
9	22:16:00	699	0.14	064°15'18.97"	031°56'35.02"
10	22:18:00	699	0.14	064°42'47.91"	032°37'19.61"
11	22:20:00	699	0.14	065°10'10.04"	033°18'13.48"
12	22:22:00	699	0.14	065°37'25.53"	033°59'16.33"
13	22:24:00	699	0.14	066°04'34.80"	034°40'28.10"
14	22:26:00	699	0.14	066°31'38.03"	035°21'48.46"
15	22:28:00	699	0.14	066°58'35.62"	036°03'17.36"
16	22:30:00	699	0.14	067°25'27.75"	036°44'54.49"
17	22:32:00	699	0.14	067°52'14.84"	037°26'39.74"
18	22:34:00	699	0.14	068°18'57.21"	038°08'33.00"
19	22:36:00	699	0.14	068°45'35.18"	038°50'33.93"
20	22:38:00	699	0.14	069°12'09.07"	039°32'42.54"
21	22:40:00	699	0.14	069°38'39.22"	040°14'58.51"
22	22:42:00	699	0.14	070°05'06.02"	040°57'21.80"
23	22:44:00	699	0.14	070°31'29.83"	041°39'52.12"
24	22:46:00	699	0.14	070°57'51.03"	042°22'29.35"
25	22:48:00	699	0.14	071°24'10.07"	043°05'13.44"
26	22:50:00	699	0.14	071°50'27.28"	043°48'04.05"
27	22:52:00	699	0.14	072°16'43.17"	044°31'01.19"
28	22:54:00	699	0.14	072°42'58.13"	045°14'04.56"
29	22:56:00	699	0.14	073°09'12.64"	045°57'14.07"
30	22:58:00	699	0.14	073°35'27.22"	046°40'29.66"

3 用最小二乘法求解光电经纬仪的各单项误差

3.1 求解光电经纬仪各单项误差的方程

求解光电经纬仪各单项误差的方程如下^[12]

$$\begin{cases} A_{ij}^0 = A_{ij} + \frac{C}{\cos E_{ij}} + i \tan A_v \sin E_{ij} + V \sin (A_v - E_{ij}) \cdot \\ \quad \tan E_{ij} + g + v_{A_{ij}} \\ E_{ij}^0 = E_{ij} + V \cos (A_v - A_{ij}) + L - 60.2'' \times \\ \quad \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{760} \times \cot E_{ij} + v_{E_{ij}} \end{cases} \quad (8)$$

式中符号定义

A_{ij}^0 为第*i*颗星第*j*时刻的方位角理论值; E_{ij}^0 为第*i*颗星第*j*时刻的俯仰角理论值; A_{ij} 为第*i*颗星第*j*时刻的方位角观测值; E_{ij} 为第*i*颗星第*j*时刻的俯仰角观测值; C 为光电经纬仪视轴照准差; i 为光电经纬仪水平轴倾斜误差; V 为光电经纬仪垂直轴倾斜误差; g 为光电经纬仪定向误差; L 为光电经纬仪零位误差; A_v 为垂直轴倾斜方向; $v_{A_{ij}}$ 为第*i*颗星第*j*时刻方位角观测值的残差; $v_{E_{ij}}$ 为第*i*颗星第*j*时刻俯仰角观测值的残差; P 为拍星时的气压(mmHg柱); t 为拍星时的气温(°C).

由于

$$\begin{aligned} V \sin (A_v - E_{ij}) &= V \sin A_v \cos E_{ij} - V \cos A_v \sin E_{ij} \\ V \cos (A_v - A_{ij}) &= V \cos A_v \cos A_{ij} + V \sin A_v \sin A_{ij} \end{aligned}$$

为了简化方程,设:

$$\begin{aligned} x &= V \sin A_v \\ y &= V \cos A_v \\ \tan A_v &= x/y \quad b_{1i} = \sin A_i \\ \Delta A_i &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (A_{ij}^0 - A_{ij}) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\Delta A_{ij}) \\ a_{1i} &= \cos A_i \tan E_i \quad b_{2i} = \cos A_i \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n a_{1i}^2 + \sum_{i=1}^n b_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n a_{1i} a_{2i} + \sum_{i=1}^n b_{1i} b_{2i} & \sum_{i=1}^n a_{1i} a_{3i} & \sum_{i=1}^n a_{1i} a_{4i} & \sum_{i=1}^n a_{1i} a_{5i} & \sum_{i=1}^n b_{1i} b_{6i} \\ \sum_{i=1}^n a_{2i} a_{1i} + \sum_{i=1}^n b_{2i} b_{1i} & \sum_{i=1}^n a_{2i}^2 + \sum_{i=1}^n b_{2i}^2 & \sum_{i=1}^n a_{2i} a_{3i} & \sum_{i=1}^n a_{2i} a_{4i} & \sum_{i=1}^n a_{2i} a_{5i} & \sum_{i=1}^n b_{2i} b_{6i} \\ \sum_{i=1}^n a_{3i} a_{1i} & \sum_{i=1}^n a_{3i} a_{2i} & \sum_{i=1}^n a_{3i}^2 & \sum_{i=1}^n a_{3i} a_{4i} & \sum_{i=1}^n a_{3i} a_{5i} & 0 \\ \sum_{i=1}^n a_{4i} a_{1i} & \sum_{i=1}^n a_{4i} a_{2i} & \sum_{i=1}^n a_{4i} a_{3i} & \sum_{i=1}^n a_{4i}^2 & \sum_{i=1}^n a_{4i} a_{5i} & 0 \\ \sum_{i=1}^n a_{5i} a_{1i} & \sum_{i=1}^n a_{5i} a_{2i} & \sum_{i=1}^n a_{5i} a_{3i} & \sum_{i=1}^n a_{5i} a_{4i} & \sum_{i=1}^n a_{5i}^2 & 0 \\ \sum_{i=1}^n b_{6i} b_{1i} & \sum_{i=1}^n b_{6i} b_{2i} & 0 & 0 & 0 & \sum_{i=1}^n b_{6i}^2 \end{bmatrix}$$

则方程(10)的解为

$$X = A^{-1} Q \quad (11)$$

由式(11)我们可以求出光电经纬仪垂直轴倾斜误

$$\begin{aligned} a_{2i} &= -\sin A_i \tan E_i \quad b_{3i} = b_{4i} = b_{5i} = 0 \\ \Delta E_i &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (E_{ij}^0 - E_{ij} + 60.2'' \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{760} \times \end{aligned}$$

$$\cot E_{ij}) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\Delta E_{ij})$$

$$a_{3i} = \tan E_i \quad b_{6i} = 1 \quad v_{A_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (v_{A_{ij}})$$

$$a_{4i} = \frac{1}{\cos E_i} \quad v_{E_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (v_{E_{ij}})$$

$$a_{5i} = 1$$

$$a_{6i} = 0$$

式中; m 为第*i*颗星的样本数.这样,可以将方程(4-26)简化为

$$\begin{cases} a_{1i}x + a_{2i}y + a_{3i}i + a_{4i}C + a_{5i}g + a_{6i}L - \Delta A_i = -v_{A_i} \\ b_{1i}x + b_{2i}y + b_{3i}i + b_{4i}C + b_{5i}g + b_{6i}L - \Delta E_i = -v_{E_i} \end{cases} \quad (9)$$

式中; x, y, i, C, g, L 均为未知数.

3.2 用最小二乘法求解光电经纬仪的各单项误差

有了方程(9),就可以用最小二乘法求解光电经纬仪的各单项误差.设测量了*n*颗星,就可以得到2*n*个方程,用矩阵表示为

$$AX = Q \quad (10)$$

式中; $X = [x \ y \ i \ C \ g \ L]^T$

$$Q = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n a_{1i} \Delta A_i + \sum_{i=1}^n b_{1i} \Delta E_i \\ \sum_{i=1}^n a_{2i} \Delta A_i + \sum_{i=1}^n b_{2i} \Delta E_i \\ \sum_{i=1}^n a_{3i} \Delta A_i \\ \sum_{i=1}^n a_{4i} \Delta A_i \\ \sum_{i=1}^n a_{5i} \Delta A_i \\ \sum_{i=1}^n b_{6i} \Delta E_i \end{bmatrix}$$

差 V

$$V = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (12)$$

垂直轴倾斜方向 A_v 为

$$A_V = \arctan \left(\frac{x}{y} \right) \quad (13)$$

垂直轴倾斜方向 A_V 所在的象限可以由表 4 判断.

表 4 A_V 所在象限判断

x 的符号	y 的符号	A_V 所在象限
+	+	I
+	-	II
-	-	III
-	+	IV

4 用最小二乘法求解光电经纬仪各单项误差的解算结果

在此给出了某次拍星的解算结果.

拍星时间:2002 年 6 月 4 日 89 号场区 ($\lambda = 5h47m42.346s$).

拍星时的气压: $P = 776\text{mmHg}$

拍星时的气温: $t = 29^\circ\text{C}$

光电经纬仪各单项误差的解算结果:

光电经纬仪视轴照准差: $C = 1.10''$

光电经纬仪水平轴倾斜误差: $i = 1.28''$

光电经纬仪垂直轴倾斜误差: $V = 0.69''$

光电经纬仪定向误差: $g = 0.32''$

光电经纬仪零位误差: $L = -3.27''$

垂直轴倾斜方向: $A_V = 308^\circ 15' 57.46''$

5 简单的结论

根据上述结果,可以得出:1)我们所设计的 X 型号光电经纬仪星校软件系统满足要求且具有良好的使用性与适应性;2)光电经纬仪星校方法特别适用于靶场的外场实时检测,尤其是可以随时了解光电经纬仪的精度状况,极大地方便了用户的使用.

参考文献

- 郭丽红. 利用测星实现经纬仪外场精度检测. 光学精密工程, 1997, 15(1): 119 ~ 123
Guo L H. *Optics and Precision Engineering*, 1997, 15(1): 119 ~ 123
- 金光. 光电经纬仪的自动化标校与白天测星技术的研

- 究. 光学机械, 1991, (2): 87 ~ 90
Jin G. *Optics Mechanism*, 1991, (2): 87 ~ 90
- 张光明. 经纬仪的自动星体标校. 光学精密工程, 1999, 7(4): 105 ~ 110
Zhang G M. *Optics and Precision Engineering*, 1999, 7(4): 105 ~ 110
- 金光. 星体弧长法标定光电经纬仪指向精度. 光学精密工程, 1997, 7(4): 91 ~ 95
Jin G. *Optics and Precision Engineering*, 1997, 7(4): 91 ~ 95
- 张同双. 星体标校技术在小型机动精密跟踪雷达中的应用. 通信与测控, 2000, 24(4): 1 ~ 8
Zhang T S. *Communication and Measurement-Control*, 2000, 24(4): 1 ~ 8
- 车双良. GJ-341 小型遥控光电经纬仪星库星表. 光子学报, 1994, 23(4): 361 ~ 365
Che S L. *Acta Photonica Sinica*, 1994, 23(4): 361 ~ 365
- 何成. 白天非自发光天体目标探测技术的研究. 飞行器测控技术, 1993, 12(2): 10 ~ 15
He C. *Flight-ware Measurement-Control Technique*, 1993, 12(2): 10 ~ 15
- 朱香祥. 白天用 CCD 摄象机对天体目标的探测及实验. 光电工程, 1995, 22(6): 6: 1 ~ 10
Zhu Q X. *Optical Engineering*, 1995, 22(6): 1 ~ 10
- 黄惠明, 刘文喜. 昼夜测星光学系统的参数选择. 飞行器测控技术, 1994, 13(1): 34 ~ 38
Huang H M, Liu W X. *Flight-ware Measurement-Control Technique*, 1994, 13(1): 34 ~ 38
- 钱培德. 中文 Visual Basic 6.0 傻瓜书. 北京: 清华大学出版社. 1999. 11 ~ 252
Qian P D. *Visual Basic 6.0 by Chinese*. Beijing: Qinghua University Press. 1999. 11 ~ 252
- 紫金山天文台. 2002 年中国天文年历. 北京: 科学出版社. 2001: 22 ~ 29, 120 ~ 254, 520 ~ 529
Zijinshano Bservatory. 2002; China Astronomy Cxalendar. Beijing: Science Press. 2001: 22 ~ 29, 120 ~ 254, 520 ~ 529
- 马振洲. 提高电影经纬仪外场使用精度的方法. 光电工程, 1990, 17(5): 14 ~ 25
Ma Z Z. *Optical Engineering*, 1990, 17(5): 14 ~ 25

Theory and Practice of Optical-electronic Theodolite Calibration Method with Star in Range

Che Shuangliang¹, Zhang Yaoming²

1 State Key Lab of Modern Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027

2 Suzhou University, Suzhou 215006

Received date: 2003-12-04

Abstract Calibration with star for adjust of optical-electronic theodolite in range in this paper is described. The star library and star table are set up by the detectability of "the X optical-electronic theodolite"; The method of resolving each individual error by the star data information is discussed, and the engineering application software system based on windows is given.

Keywords Optical-electronic Theodolite; Star; Calibration; Method



Che Shuangliang Was born in 1965, in Shaanxi, China. He is now doing post-doctoral research at Zhejiang University. He was majoring on the study of optical-electronic engineering technique.