

安置元素测图对 POS 外方位元素的精度需求

张雪萍

ZHANG Xue-ping

武汉大学 遥感信息工程学院,武汉 430079

School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

E-mail: liuyun1234@163.com

ZHANG Xue-ping. Accuracy requirements of exterior orientation elements obtained by POS in aerophotogrammetric mapping using image orientation parameters. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(2): 141-144.

Abstract: On the basis of direct georeferencing in POS-supported aerial photogrammetry, the relationship model between accuracy of object points and exterior orientation elements is established according to the error propagation law. The accuracy requirements of exterior orientation elements in topographic mapping are analyzed in theoretically. Four sets of actual aerial photos are used to test; which are at different scale and in different terrain. The empirical results verify that image elements of exterior orientation obtained by a POS can satisfy the accuracy requirements of topographic mapping, no matter which scale and terrain the empirical block is classified to. However, to satisfy the accuracy requirements of object point in elevation, the accuracy requirements of exterior orientation elements are at least one time higher than that in planimetric mapping.

Key words: Position and Orientation System (POS); exterior orientation elements; direct georeferencing; aerophotogrammetric mapping using image orientation parameters; accuracy

摘要: 基于 POS 辅助航空摄影测量直接对地目标定位理论, 根据误差传播定律建立了物方坐标精度与影像外方位元素精度的关系模型, 并从理论上分析了各种基本比例尺地形测图对影像外方位元素的精度需求。通过对摄自不同地区、多种摄影比例尺航摄影像的实验表明, 由 POS 系统获取的影像外方位元素进行安置元素测图完全可以满足各种比例尺、不同地形图测绘的精度要求, 但为了满足地物点的高程精度, 对影像外方位元素的精度需求较用于平面测图时的至少要高出一倍以上。

关键词: POS 系统; 影像外方位元素; 直接对地目标定位; 安置元素航测成图; 精度

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.02.043 **文章编号:** 1002-8331(2010)02-0141-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

集动态 GPS 定位技术和惯性导航技术(INS)于一体的定位定向系统(POS)自 20 世纪 90 年代问世以来, 一直备受摄影测量工作者的关注^[1-2]。由 POS 系统获取的 GPS 天线相位中心坐标和传感器姿态角等数据进行联合后处理, 可以得到影像的 6 个外方位元素。利用其实施摄影过程的几何反转, 能够实现航摄影像的定向及安置元素航测地形测图, 大大简化航空摄影测量的作业工序^[3]。随着航空数码相机(DMC)、合成孔径雷达(SAR)、机载激光扫描测距系统(Lidar)等新型传感器的使用, POS 系统的应用领域越来越广泛^[4], 航空遥感直接对地目标定位成为研究热点。研究表明, 只要影像外方位元素的精度足够高, 直接对地目标定可以获得很高的精度, 但有时并不适合立体测图^[5]。这是因为, 直接对地目标定位是视影像内、外方位元素为已知值, 由像点坐标按照立体像对的同名光线对对相交原理直接解求目标点的三维空间坐标。对各种误差非常敏感^[6]。

拟以 POS 辅助航空摄影测量直接对地目标定位的理论为基础, 根据误差传播定律建立一个直接对地目标定位精度与影像外方位元素精度的关系模型, 试图从理论上分析地形测图精度对影像外方位元素的精度需求。通过对摄自不同地区、多种

摄影比例尺的影像进行实验, 以探讨不同比例尺、不同地形条件下, 基本比例尺地形测图对影像外方位元素的精度需求规律, 为航测安置元素地形测图的实际生产提供理论参考。

1 POS 辅助航空摄影测量地形测图的主要误差源

直接对地目标定位(Direct Georeferencing, DG)又称为直接传感器定向, 是指利用获取的高精度影像外方位元素直接交会出像点所对应目标点的物方空间坐标的一种几何定位方法。一般说来, 直接对地目标定位中的误差主要来自于三个方面:

(1) 航摄仪内方位元素误差

航摄仪的内方位元素主要是在实验室采用物理方法检定的, 没有充分顾及航空摄影的动态条件。实际航空摄影时, 由于飞行环境与实验室环境不完全相同, 航摄仪的主距会发生变化。研究表明, 主距的变化取决于飞行高度、镜头类型及航摄仪在同一温度条件下所处的时间^[7]。OEEPE 报告指出, 航摄仪主距变化引起的直接对地目标定位的高程误差是不可忽视的。由于主距误差与 GPS 的 Z 方向偏移量高度相关, 只有存在两个不同的飞行高度时才能区分。如果检校场布设在航摄区域内且摄

作者简介: 张雪萍(1984-), 女, 在读博士, 主要从事航空航天遥感高精度对地目标定位理论与方法的研究工作。

收稿日期: 2009-09-07 **修回日期:** 2009-11-20

影比例尺与测图航片一致,则无需区分两者。POS 系统误差检校时,对 GPS 偏移量的检校将会补偿主距的误差^[8]。像主点的位置误差与主距误差的影响相类似,但其与温度无关^[7]。

(2)影像外方位元素误差

POS 获取的影像外方位元素是通过 GPS 和 IMU 观测数据的联合卡尔曼滤波处理后得到的。GPS 的定位误差、GPS 与航摄仪的时间同步误差和偏心分量测量误差、GPS 摄站坐标的内插误差以及坐标系之间的转换误差等直接引起外方位线元素的误差;IMU 固有的姿态测量误差和 IMU 视准轴检校误差等亦会引起外方位角元素的误差^[9]。研究表明,影像外方位角元素误差比线元素误差引起的定位误差要大得多,是引起直接对地目标定位误差的最主要因素^[10]。

(3)像点坐标量测误差

在航空影像获取过程中,由于受航摄底片的伸缩变形、镜头畸变差、大气折光差、地形起伏以及地球曲率等因素影响,像点会产生位移,以至破坏物像之间的中心投影关系。这些因素对每张像片的影响规律是相同的,具有系统性,可用系统误差模型^[11]予以补偿。但是,像点坐标量测时,由于自动影像相关等算法的局限性,会产生子像素级的随机误差,可影响直接对地目标定位的精度。

总之,航摄仪的内方位元素误差、影像的外方位元素误差以及像点坐标量测误差均会影响到直接对地目标定位的精度。在研究安置元素航测地形测图的理论精度时,需要综合考虑以上各种因素,这是一个相当复杂的问题。为了讨论问题的简便,下面仅讨论影像外方位元素误差对目标定位精度的影响。

2 航空摄影测量立体测图的精度需求模型

点投影系数法空间前方交会是航空摄影测量立体测图时最常用的直接对地目标定位算法。任一目标点的物方空间坐标可以表示为^[12]:

$$\begin{cases} X=X_s+N_1 X_1 \\ Y=Y_s+N_1 Y_1 \\ Z=Z_s+N_1 Z_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, X, Y, Z 为目标点的地面摄影测量坐标(物方坐标); $N_1 = \frac{B_x Z_2 - B_z X_2}{X_1 Z_2 - Z_1 X_2}$, $N_2 = \frac{B_x X_1 - B_z X_1}{X_1 Z_2 - Z_1 X_2}$ 为左右像点的点投影系数; $X_s, Y_s, Z_s, X_{s_1}, Y_{s_1}, Z_{s_1}$ 为左右影像的外方位线元素, $B_x = X_{s_1} - X_s, B_y = Y_{s_1} - Y_s, B_z = Z_{s_1} - Z_s$ 为摄影基线在像空间辅助坐标系中的 3 个

基线分量; $\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \mathbf{R}_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \mathbf{R}_2 \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{bmatrix}$ 为左右像点的像空间辅助坐标。这里 $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$ 分别为由左右影像外方位角元素构成的正交变换矩阵, x_1, y_1, x_2, y_2 为左右像点以像主点为原点的像平面坐标, f 为航摄仪主距。

由第 1 章的分析可知,影响直接对地目标定位精度的主要因素是影像的外方位元素。此处视影像的外方位元素为未知数,对式(1)全微分并表示成矩阵形式为:

$$dC = \mathbf{K} \cdot dO \quad (2)$$

式中, $dC = [dX \ dY \ dZ]^T$ 为目标点物方坐标改正数向量;
 $dO = [\Delta\varphi_1 \ \Delta\omega_1 \ \Delta\kappa_1 \ \Delta X_{s1} \ \Delta Y_{s1} \ \Delta Z_{s1} \ \Delta\varphi_2 \ \Delta\omega_2 \ \Delta\kappa_2 \ \Delta X_{s2} \ \Delta Y_{s2} \ \Delta Z_{s2}]^T$ 为未知数改正数向量;

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial X}{\partial \omega_1} & \frac{\partial X}{\partial \kappa_1} & \frac{\partial X}{\partial X_{s1}} & \frac{\partial X}{\partial Y_{s1}} & \frac{\partial X}{\partial Z_{s1}} & \frac{\partial X}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial X}{\partial \omega_2} & \frac{\partial X}{\partial \kappa_2} & \frac{\partial X}{\partial X_{s2}} & \frac{\partial X}{\partial Y_{s2}} & \frac{\partial X}{\partial Z_{s2}} \\ \frac{\partial Y}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial Y}{\partial \omega_1} & \frac{\partial Y}{\partial \kappa_1} & \frac{\partial Y}{\partial X_{s1}} & \frac{\partial Y}{\partial Y_{s1}} & \frac{\partial Y}{\partial Z_{s1}} & \frac{\partial Y}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial Y}{\partial \omega_2} & \frac{\partial Y}{\partial \kappa_2} & \frac{\partial Y}{\partial X_{s2}} & \frac{\partial Y}{\partial Y_{s2}} & \frac{\partial Y}{\partial Z_{s2}} \\ \frac{\partial Z}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial Z}{\partial \omega_1} & \frac{\partial Z}{\partial \kappa_1} & \frac{\partial Z}{\partial X_{s1}} & \frac{\partial Z}{\partial Y_{s1}} & \frac{\partial Z}{\partial Z_{s1}} & \frac{\partial Z}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial Z}{\partial \omega_2} & \frac{\partial Z}{\partial \kappa_2} & \frac{\partial Z}{\partial X_{s2}} & \frac{\partial Z}{\partial Y_{s2}} & \frac{\partial Z}{\partial Z_{s2}} \end{bmatrix}$$

为目标点物方坐标对 $\varphi_1, \omega_1, \kappa_1, X_{s_1}, Y_{s_1}, Z_{s_1}, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2, X_{s_2}, Y_{s_2}, Z_{s_2}$ 所取的偏导数^[12]。矩阵中各元素的数值由 POS 系统获取的外方位元素和像点坐标以及航测仪主距代入计算得到。

根据协方差传播定律^[13],利用影像外方位元素的协方差阵 D_{OO} 表示的直接对地目标定位物方坐标未知数的协方差矩阵 D_{CC} 为:

$$D_{CC} = \mathbf{K} D_{OO} \mathbf{K}^T \quad (3)$$

如果不考虑各未知数间的相关性,即视未知数向量 O_j ($j = \varphi_1, \omega_1, \dots, Z_{s_2}$) 之元素相互独立时,影像外方位元素的协方差矩阵为关于 O 中各未知数精度的对角线矩阵,则 D_{CC} 可以表示为:

$$D_{CC} = \mathbf{K} \cdot \begin{bmatrix} m_{\varphi_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & m_{Z_{s_2}}^2 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{K}^T = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{12} k_{1,j}^2 \cdot m_{O_j}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{j=1}^{12} k_{2,j}^2 \cdot m_{O_j}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{j=1}^{12} k_{3,j}^2 \cdot m_{O_j}^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $k_{i,j}$ 为系数矩阵 \mathbf{K} 中第 i 行第 j 列的元素; m_{O_j} 为未知数 O_j 的精度。

直接对地目标定位中,立体像对中单个待定点的平面和高程理论精度为:

$$\begin{cases} m_{XY} = \sqrt{D_{XX} + D_{YY}} \\ m_Z = \sqrt{D_{ZZ}} \end{cases} \quad (5)$$

式中, D_{XX}, D_{YY}, D_{ZZ} 分别为待定点的 X, Y, Z 坐标未知数协方差矩阵 D_{CC} 中的相应对角线元素。

在航空摄影测量地形测图中,按照成图比例尺和地形类别规定了地物点的物方坐标应达到的精度。在不考虑影像外方位元素间的相关性时,由式(4)和式(5)就可以反求达到规定定位精度的每一个外方位元素的精度。具体计算公式为:

$$m_{O_j} = \frac{m_i}{\sqrt{k_{i,j}^2}}, \quad (i=X, Y, Z; j=\varphi_1, \omega_1, \dots, Z_{s_2}) \quad (6)$$

式中, m_i 为目标点物方坐标第 i 个方向的精度,即设定的 X, Y, Z 坐标的精度; m_{O_j} 为第 j 个影像外方位元素所需求的精度; $k_{i,j}$ 为式(2)中系数矩阵 \mathbf{K} 中第 i 行第 j 列的元素。

3 实验及其结果分析

3.1 实验设计

对摄于 2004 年 11 月、2005 年 1 月、9 月和 10 月的 4 个不同地区、不同摄影比例尺的航摄影像进行了实验。航空摄影系统为带有加拿大 Applanix 公司 POS AV 510 系统的 Leica RC-30 航摄仪,表 1 给出了所获取影像的主要技术参数。

航摄负片经扫描成 21 μm 的数字影像后,在自行研制的 POS 辅助光束法区域网平差软件 WuCAPS^[14] 系统上进行了自

表 1 实验航摄影像技术参数

项目	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4
航摄影像片	Kodak 2442	Kodak 2442	Kodak 2402	Kodak 2402
航摄影主距/mm	153.84	303.64	154.06	153.53
像幅/cm ²	23×23	23×23	23×23	23×23
摄影比例尺	1:2 500	1:3 000	1:32 000	1:60 000
航向重叠	61%	63%	64%	64%
旁向重叠	32%	33%	33%	30%
航线数	9	10	8	4
像片数	255	377	160	48
地面控制点数	73	160	34	29
最大地形起伏/m	38.60	181.81	729.28	107.50

动转点和影像量测,并人工立体量测了全部地面控制点,经带模型连接条件的连续法相对定向并剔除粗差后,统计出的像点坐标总体量测精度均优于±6.0 μm。

利用 POS 系统自带的影像外方位元素解算软件 POSpac 对 DGPS 和 IMU 数据进行联合处理,并利用经检校场检校所获得的 POS 系统误差改正参数对 POSpac 计算出的影像外方位元素进行改正,得到每张影像的 6 个外方位元素,以用于该文的全部实验。

3.2 安置元素航测成图对单个影像外方位元素的精度需求

由表 1 数据可知,实验 1、实验 2 影像可用于 1:500~1:2 000 比例尺地形测图,实验 3 影像可用于 1:5 000~1:10 000 比例尺地形测图,实验 4 影像可用于 1:50 000 比例尺地形测图。根据我国现行航空摄影测量内业规范,若按地形起伏划分,实验区 1、实验区 4、实验区 2 和实验区 3 分别属于平地、丘陵地、山地和高山地;并且规定地形图上地物点对最近野外控制点的点位中误差不得大于表 2 限差^[15-17]。

表 2 地形图上地物点对最近野外控制点的点位中误差 m

测图比例尺	1:500		1:5 000		1:50 000	
	平面	高程	平面	高程	平面	高程
平地	0.3	0.2	-	-	-	-
山地	0.4	0.5	-	-	-	-
高山地	-	-	3.75	3.0	-	-
丘陵地	-	-	-	-	25.0	4.0

依据表 2 要求,假设平面 X, Y 坐标的定位精度相同,利用 POS 提供的影像外方位元素和 WuCAPS 量测的像点坐标进行直接对地目标定位,由式(6)反求的可满足各种基本比例尺地形测图精度要求的单个影像外方位元素的精度如表 3 所示。

表 3 基本比例尺地形测图对单个影像外方位元素的精度需求

影像	坐标	精度需求					
		$\varphi/(^{\circ})$	$\omega/(^{\circ})$	$\kappa/(^{\circ})$	X_s/m	Y_s/m	Z_s/m
实验 1	X	0.031	7.619	0.371	0.213	-	17.418
	Y	0.065	0.029	0.133	0.472	0.212	17.716
	H	0.010	0.145	0.065	0.082	-	0.201
实验 2	X	0.019	10.845	0.725	0.286	-	22.988
	Y	0.037	0.018	0.551	0.559	0.283	25.636
	H	0.007	0.318	0.120	0.104	-	0.506
实验 3	X	0.032	3.510	0.258	2.714	-	41.353
	Y	0.086	0.029	0.118	7.636	2.652	113.192
	H	0.011	0.238	0.080	1.038	-	2.714
实验 4	X	0.111	8.061	1.361	18.016	-	292.239
	Y	0.250	0.101	0.251	43.007	17.678	414.363
	H	0.008	0.152	0.055	1.528	-	4.077

从表 3 结果可以看出:

(1)利用 POS 系统提供的影像外方位元素进行安置元素测图时,为了满足地物点 X 坐标和 H 的精度,要求 φ 和 X_s 较为精确;而为了满足地物点 Y 坐标的精度, ω 和 Y_s 的值要求尽可能地准确。相对而言,对其他外方位元素的精度要求都较低。这也就是说,地物点的 X 坐标和 H 的误差主要来源于 φ 和 X_s 误差的影响,地物点 Y 坐标的误差主要来源于 ω 和 Y_s 误差的影响;而其他外方位元素的误差对地物点坐标精度产生的影响较小。因此,实际测图生产中,可根据地物点不同坐标方向上的误差分布寻找引起测图误差的主要外方位元素误差源。

(2)4 个实验区地形测图对影像外方位元素的最高精度需求分别为: $m_{\varphi}=0.007^{\circ}$, $m_{\omega}=0.018^{\circ}$, $m_{\kappa}=0.055^{\circ}$, $m_{X_s}=0.082$ m, $m_{Y_s}=0.212$ m, $m_{Z_s}=0.201$ m。而 POS AV 510 系统标称的外方位元素精度为: $m_{\varphi}=m_{\omega}=0.005^{\circ}$, $m_{\kappa}=0.008^{\circ}$, $m_{X_s}=m_{Y_s}=m_{Z_s}=0.1$ m。理论上讲,POS 系统获取的影像外方位元素完全可以满足各种地形基本比例尺的地形测绘精度要求。

3.3 安置元素航测成图对影像外方位元素的综合精度要求

根据 POS AV 510 系统标称外方位元素精度的比例关系 $m_{\varphi}=m_{\omega}=m_{\kappa}$, $m_{\kappa}=1.6m_{\omega}$, $m_{X_s}=m_{Y_s}=m_{Z_s}=m_{\kappa}$,按照式(6)可以得到安置元素航测成图对外方位角元素和线元素的综合精度要求如表 4 所示。

表 4 基本比例尺地形测图对外方位元素的综合精度要求

影像	坐标	需求精度		影像	坐标	需求精度	
		$m_{\mu}/(^{\circ})$	m_{μ}/m			$m_{\mu}/(^{\circ})$	m_{μ}/m
实验 1	X	1.575	0.213	实验 3	X	1.618	2.664
	Y	1.034	0.150		Y	1.049	1.835
	H	0.530	0.076		H	0.524	0.912
实验 2	X	1.081	0.286	实验 4	X	5.547	17.877
	Y	0.777	0.211		Y	3.512	11.990
	H	0.381	0.102		H	0.424	1.426

由表 4 结果可以看出:利用 POS 系统提供的影像外方位元素进行安置元素航测成图时,就 4 个实验区而言,为满足地物点的高程精度,要求影像外方位角和线元素的最高精度分别达到±0.381'和±0.076 m;而为了满足地物点平面位置的精度,对影像外方位角和线元素最严格的精度要求仅为±0.777'和±0.102 m。这也就是说,航测成图对高程比对平面的精度要求高出近一倍。而在常规的摄影测量加密中,影像的外方位元素是一次计算出来的,不会针对平面和高程的不同要求而分开求解两套影像外方位元素,致使执行航空摄影测量规范时,现行摄影测量加密点的高程较平面难以满足精度要求。这就从理论上解释了当前的一个共识:POS 系统提供的影像外方位元素完全可以用于正射影像的生产,但在安置元素的航测地形测图中,影像外方位元素的精度还需要进一步提高。

4 结语

综合以上对不同地形、多种摄影比例尺的实际航摄影像安置元素航测成图对影像外方位元素精度需求的理论分析,可以得出如下结论与建议:

(1)利用 POS 系统获取的影像外方位元素进行安置元素航测成图时,如果外方位元素达到其标称精度,理论上是完全可以满足我国各种地形基本比例尺地形测绘的精度需求的。

(2)按照我国现行航空摄影测量规范,航测地形测图对地物点的高程比对其平面的要求要严格得多。各种地形航测成图时,为了满足地物点的高程精度,对影像外方位元素的精度需求较用于平面测图时的至少要高出一倍以上。

总之,实验分析是纯理论的,并且仅仅考虑了 POS 提供的影像外方位元素误差对地物点坐标精度的影响。由于航测安置元素测图的误差传播规律是非常复杂的,该文的实验结果也许只能从一个侧面反映实际航测生产对影像外方位元素精度的需求规律。希望该研究能对 POS 系统在地形测图尤其是作业困难地区的测图中的使用起到一定的指导作用。

参考文献:

- [1] Bäumker M, Heimes F J. New calibration and computing method for direct georeferencing of image and scanner data using the position and angular data of a hybrid inertial navigation system[C]//Integrated Sensor Orientation Test Report and Workshop, Hanover, 2002: 197-212.
 - [2] Legat K. Approximate direct georeferencing in national coordinates[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2006, 60(44): 239-255.
 - [3] 李学友. IMU/DGPS 辅助航空摄影测量原理、方法及实践[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005.
 - [4] Mostafa M, Hutton J. Airborne remote sensing without ground control[C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, 2001: 2961-2963.
 - [5] Cramer M, Stallmann D, Haala N. Direct georeferencing using GPS/inertial exterior orientations for photogrammetric applications[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B3): 198-205.
 - [6] 袁修孝. 航空摄影测量影像定向的若干探讨[J]. 地球科学进展, 2007, 22(8): 828-834.
 - [7] 郭大海, 吴立新, 王建超, 等. 机载 POS 系统对地定位方法初探[J]. 国土资源遥感, 2004, 60(2): 26-31.
 - [8] Jacobsen K, Helge W. Dependencies and problems of direct sensor orientation[C]//Integrated Sensor Orientation Test Report and Workshop, Hanover, 2002: 73-84.
 - [9] Cramer M, Stallman D. System calibration for direct georeferencing[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 34(A3): 79-84.
 - [10] 袁枫, 张继贤, 杨明辉, 等. 利用物理方法确定外方位元素的卫星立体摄影测量的精度分析[J]. 测绘科学, 2006, 31(5): 30-31.
 - [11] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
 - [12] Yuan Xiu-xiao, Zhang Xue-ping. Theoretical accuracy of direct georeferencing with positioning and orientation system in aerial photogrammetry[J]. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, 37(B1): 617-622.
 - [13] 武汉测绘科技大学测量平差教研室. 测量平差基础[M]. 北京: 测绘出版社, 2001.
 - [14] Yuan Xiu-xiao. A novel method of systematic error compensation for a position and orientation system[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(8): 953-963.
 - [15] GB 7930-87. 1:500, 1:1 000, 1:2 000 地形图航空摄影测量内业规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
 - [16] GB/T 13990-92. 1:5 000, 1:10 000 地形图航空摄影测量内业规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
 - [17] GB 12340-90. 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影测量内业规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- (上接 124 页)
- [2] Ambhore P B, Meshram B B, Wachmare V B. An implementation of object-oriented database security[C]//5th ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management & Applications, 2007, SERA 2007, 2007: 359-365.
 - [3] Fernandez E B, Gudes E, Song H A. Model for evaluation and administration of security in object-oriented database systems[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1994, 6(2): 275-292.
 - [4] Bertion E, Bettini C, Ferrari E, et al. A temporal access control mechanism for database systems[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1996, 8(1): 67-80.
 - [5] Demurjian S A, Hu M Y, Ting T C, et al. Towards an authorization mechanism for user-role based security in an object-oriented design model[C]//12th Annual International Phoenix Conference on Computer and Communications 1993, 1993: 195-202.
 - [6] Thomas R K, Sandhu R S. A trusted subject architecture for multi-level secure object-oriented database[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1996: 16-31.
 - [7] Bertion E, Jajodia S, Samarati P. Supporting multiple access policies in database systems[C]//Proceedings 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy, May 1996: 94-107.
 - [8] 徐洁磐. 面向对象数据库系统及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 78-95.
 - [9] 冯玲, 冯玉才. 面向对象数据库系统安全机制的研究[J]. 软件, 1994(10).
 - [10] 陈强. 面向对象数据库的安全保护问题[J]. 计算机工程, 1994, 24(6): 41-43.
 - [11] 王意洁. 面向对象的数据技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 253-267.
 - [12] 张敏, 徐震, 冯登国, 著. 数据库安全[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 140-146.
 - [13] 周德宇, 骆斌, 陈世福. 面向对象数据库的安全模型及其应用[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(27): 210-212.
 - [14] Milen J K, Lunt T F. Security for object-oriented database systems[C]//Proceedings 1992 IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy, May 1992: 260-272.
 - [15] Zhang C N, Zhong Hong-lan. An integrated approach for database security and fault tolerance[C]//Proceedings International Conference on Information Technology, Coding and Computing, ITCC 2004, 2004, 1: 762-766.
 - [16] Ni Xin-jun. A logic specification and implementation approach for object-oriented database security[C]//International Workshop Knowledge Discovery and Data Mining, WKDD 2008, 2008: 461-464.