

# 湖北省大地坐标库与 GPS 库坐标转换精度分析

姜伟<sup>1</sup>, 吴北平<sup>1</sup>, 何保国<sup>2</sup>, 王建军<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)信息工程学院, 湖北武汉 430074;

2. 湖北省测绘局, 湖北武汉 430071)



摘要: 利用几种典型的坐标转换模型对湖北省大地坐标库与 GPS 坐标库的坐标转换问题进行了分析。结果表明: 若将湖北省作为一个整体进行坐标转换, 其精度可以满足中、小比例尺测图和一般工程测量的需求; 但是, 若要满足更高的精度要求, 则应根据湖北省地形进行分区转换。

关键词: 坐标转换; 坐标系; 精度; GPS

中图分类号: P226.3

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 03-0129-04

湖北省大地库和 GPS 库为湖北省控制点信息的数据库, 都为 ACCESS 数据库。大地库中存储信息为国家一、二、三和四等三角点的 1954 年北京坐标和 1980 年西安坐标信息, 共存储控制点信息 4 600 多条。GPS 库中存储信息为 6 个 A 级点、111 个 B 级点和 779 个 C 级点以及湖北省似大地水准面精化成果, GPS 坐标属于 WGS-84 坐标系。

西安 80 坐标系属于参心坐标系, 选用 75 年国际椭球参数; WGS-84 坐标系属于地心坐标系, 选用 79 年国际椭球参数。两者椭球参数、椭球中心位置及椭球短轴指向都不相同。由此, 产生了两坐标系间的转换问题。

鉴于控制点坐标、坐标转换参数等信息都属国家保密信息不宜公开, 所以本文将隐去这些涉密信息, 仅对两库坐标转换过程中的方法和精度进行分析。

## 1 坐标转换方法

由于西安 80 坐标系是采用常规大地测量方法建立的, 因此湖北省大地库中控制点的高程均为该点沿垂线到似大地水准面的距离——正常高  $H_r$ , 不是沿法线到所选 75 年国际椭球面的距离——大地高  $H_g$ , 而 GPS 库中控制点的高程均为沿法线到所选 79 年国际椭球面的距离——大地高  $H_g$ 。

由文献 [1] 知, 大地高  $H_g = H_r + \zeta$ , 式中,  $\zeta$  为椭球面与似大地水准面间的距离, 称为高程异常。采用一般的测量方法很难精确获得基于西安 80 坐标系椭球面的高程异常值。

西安 80 坐标系和 WGS-84 坐标系间的转换可采用不同的空间大地直角坐标系之间的转换方法, 也可采用不同的大地坐标系之间的转换方法, 本文采用前者进行坐标转换。

将大地坐标转换为相应的空间大地直角坐标, 其模型为

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (N + H_g) \cos B \cos L \\ (N + H_g) \cos B \sin L \\ [N(1 - e^2) + H_g] \sin B \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (N + H_r + \zeta) \cos B \cos L \\ (N + H_r + \zeta) \cos B \sin L \\ [N(1 - e^2) + H_r + \zeta] \sin B \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

由大地高和正常高的关系可知, 根据式 (1) 将大地坐标转换为相应的空间直角坐标时, GPS 坐标系与空间直角坐标的转换属于精密转换, 西安 80 坐标系与空间直角坐标的转换属于近似转换。因此, 在进行西安 80 坐标系与 WGS-84 坐标系间的转换时, 当采用上述转换模型进行坐标转换时, 根据  $\zeta$  处理方式的不同, 可分为近似法和精密法 2 种。

近似转换法 [2] 是在式 (1) 中用正常高  $H_r$  代替大地高  $H_g$ , 即令  $\zeta = 0$ 。

精密转换法是将高程异常  $\zeta$  作为未知参数处理。

1960 年以来, 国内外大地测量学者对参心空间直角坐标系与地心空间直角坐标系之间的换算进行了大量的研究, 建立了多种数学模型, 其中比较有代表性的如布尔沙-沃尔夫模型、莫洛金斯基模型、武测模型等 [3]。

布尔沙-沃尔夫 (Bursa - Wolf) 模型 (简称布尔沙模型) 为

$$\begin{bmatrix} X_i^B \\ Y_i^B \\ Z_i^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^A \\ Y_i^A \\ Z_i^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i^A & Y_i^A & X_i^A \\ 0 & 1 & 0 & Z_i^A & 0 & -X_i^A & Y_i^A \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i^A & X_i^A & 0 & Z_i^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ k \end{bmatrix} \quad (2)$$

收稿日期: 2011-03-28

莫洛斯基 (Molodensky) 模型为

$$\begin{bmatrix} X_i^B \\ Y_i^B \\ Z_i^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^A \\ Y_i^A \\ Z_i^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -(Z_i^A - Z_k^A) \\ 0 & 1 & 0 & Z_i^A - Z_k^A & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -(Y_i^A - Y_k^A) & X_i^A - X_k^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ k \end{bmatrix} \quad (3)$$

武测模型为

$$\begin{bmatrix} X_i^B \\ Y_i^B \\ Z_i^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^A \\ Y_i^A \\ Z_i^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i^A \\ 0 & 1 & 0 & Z_i^A & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i^A & X_i^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ k \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据七参数布尔沙-沃尔夫模型,将 GPS 坐标系转换到西安 80 坐标系的误差方程为:

$$\begin{bmatrix} V_{\Delta X_i} \\ V_{\Delta Y_i} \\ V_{\Delta Z_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Y_i & Z_i & 0 & -X_i \\ 0 & 0 & 1 & Z_i & -Y_i & X_i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ k \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{80i} - X_i \\ Y_{80i} - Y_i \\ Z_{80i} - Z_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

当采用其他模型时,只需对误差方程系数阵进行改动即可,其他的不变。

以下将采用上述模型选取公共点进行坐标转换,通过分析转换结果,择优选择转换模型和方法,并且在所选的转换模型和方法的基础上,结合湖北省大地库和 GPS 库中数据的基本情况,选择不同的实验方案进行坐标转换,并采用残差分析法分析转换结果。残差的计算公式为:残差=控制点的已知坐标-控制点的转换坐标。

## 2 坐标转换精度分析

从湖北省大地库和 GPS 库 (WGS-84 坐标和 1980

西安坐标) 中匹配出公共点后,剔除坐标误差较大的公共点,依据 (5) 式列出误差方程,按间接平差法平差解算转换参数。

由于公共点分布的几何图形结构决定误差方程的状态,直接影响转换参数的解算精度,因此在转换时都选取均匀分布在湖北省的控制点。为了选择最适合湖北省地形的转换模型和转换方法,下面选取前文中提到的布尔沙-沃尔夫模型、莫洛斯基模型、武测模型进行对比分析。选取均匀分布在湖北省的 26 个公共点 (如图 1 所示),平差解算转换参数,并选取另外 15 个公共点作为外部检核点,具体的转换方法如表 1 所示。

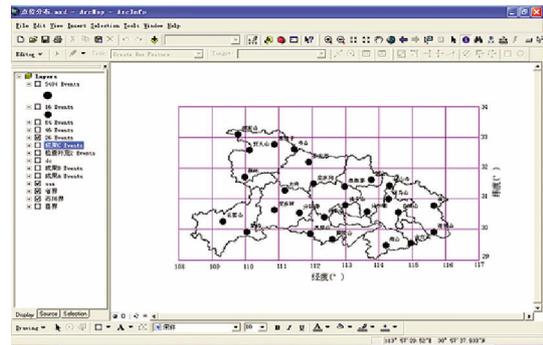


图 1 选取的 26 个公共点分布图

表 1 转换方法对比

转换模型	方法	平差模型	备注
方法一	布尔沙模型	近似转换法	间接平差
方法二	布尔沙模型	精密转换法	间接平差
方法三	莫洛斯基模型	近似转换法	间接平差
方法四	莫洛斯基模型	精密转换法	间接平差

计算表明,方法一和方法三的计算精度基本一致,方法二和方法四的计算精度也基本一致,除个别点外,都不超过 1 mm。通过实验发现高程异常的变化对平面位置的影响较小,而对大地高的影响较大<sup>[7]</sup>,而采用武测模型与采用莫洛斯基模型时情况类似,所以下仅分析方法一与方法二的坐标转换精度。

注:图 2 中的点号为将图 1 中的 26 个公共点按经度自西向东排序后的编号 (以下各图的点号编号方法与该图中的方法相同)

方法一的 15 个外部检核点的转换结果,误差总体分布趋势与图 2 相同。

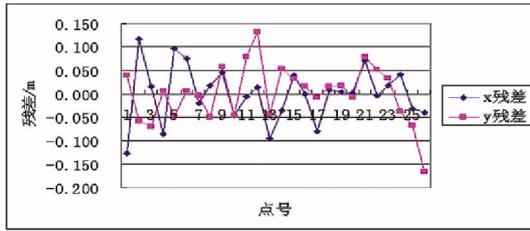


图2 方法一得到的26个公共点转换结果

方法二的外部检核点的转换结果与图3中的转换结果大致相同,即西部点和东部点的转换精度较好,而中部点相对较差。

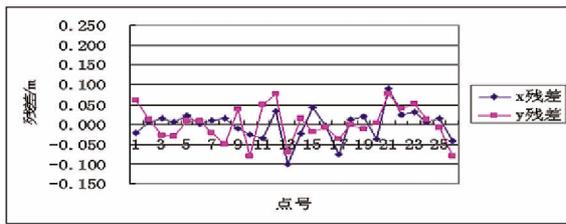


图3 方法二得到的26个公共点的转换结果

表2 坐标转换平面位置精度/m

		x 残差	y 残差	x 残差	y 残差	点位误差
		最大值	最大值	中误差	中误差	
方法一	内符合精度	0.127	0.166	0.058	0.061	0.082
	外符合精度	0.137	0.105	0.060	0.055	
方法二	内符合精度	0.100	0.081	0.038	0.044	0.060
	外符合精度	0.079	0.076	0.028	0.035	

表2中统计了方法一和方法二的坐标转换结果的内、外符合精度,比较发现:方法一的x残差中误差相差2mm,y残差中误差相差6mm,内、外符合精度相当。方法二的外符合精度较好,内、外符合精度相差约1cm。

总体来说,采用第二种方法结果优于第一种方法,转换精度提高约2cm左右,在一定程度上改善了转换精度,但是通过预备计算发现,当参与解算转换参数的公共点较多时,由于引入的未知数太多反而降低了模型的精度,另外,通过比较不同分组(含相同公共点)的参数解发现,公共点的高程异常变化较大(大于40m),结果不能接受。因此,在实际应用中,当采用的公共点个数较少时,可以采用将高程异常作为未知数平差计算转换参数的方法来提高平面转换精度,但是不能采用此方法来解算高程异常。

为了探讨公共点个数对坐标转换精度的影响,下面采取3种实验方案来进行WGS-84坐标系与1980西安坐标系之间的坐标转换,方案中选取的公共点个数逐渐增多,并且点位分布都比较均匀,仍然取15个公共点作为外部检核点。根据前文中的分析,当参与解算转换参数的公共点个数较多时,方法二的精度反而

降低,故3种实验方案均采用方法一进行坐标转换,求解转换参数。方案(1)选取均匀分布在湖北省的26个公共点,平差解算转换参数;方案(2)在方案(1)的基础上,全省范围内均匀加入另外20个公共点,即选取46个公共点,平差解算转换参数;方案(3)在方案(2)的基础上继续添加18个公共点,即共选取64个公共点(如图4所示),平差解算转换参数。

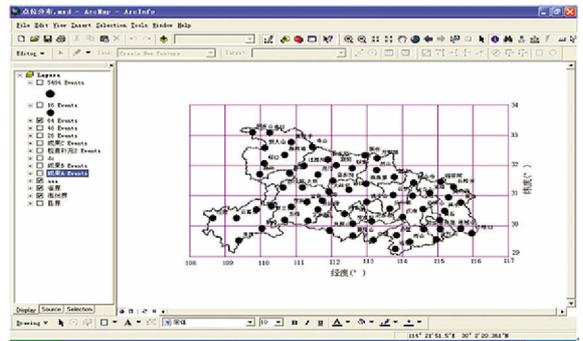


图4 方案(3)中选取的64个公共点分布

方案(1)与上文中的方法一相同,转换结果如图2所示;方案(2)的转换结果如图5所示;方案(3)的转换结果如图6所示。

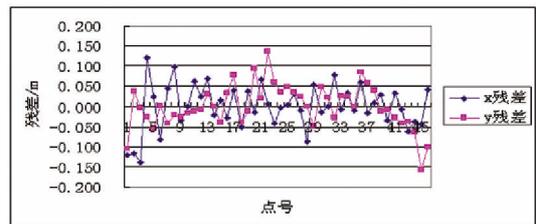


图5 方案(2)的转换结果

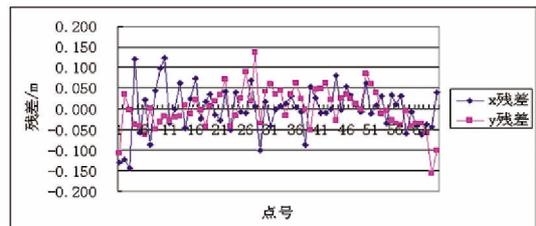


图6 方案(3)的转换结果

表3 坐标转换平面位置精度/m

		x 残差	y 残差	x 残差	y 残差	点位误差
		最大值	最大值	中误差	中误差	
方法一	内符合精度	0.127	0.166	0.058	0.061	0.082
	外符合精度	0.137	0.105	0.060	0.055	
方法二	内符合精度	0.139	0.156	0.0558	0.0537	0.078
	外符合精度	0.119	0.104	0.0556	0.0543	
方法三	内符合精度	0.144	0.156	0.0549	0.0492	0.076
	外符合精度	0.127	0.105	0.0573	0.0546	

比较3种方案的转换结果(见图2、图5和图6)发现:残差曲线的走势基本相同,说明这3种方案的

转换结果相近。方案(1)和方案(2)的外符合精度仅相差 1mm~2 mm, 可以认为 3 种方案的外符合精度基本一致, 而方案(3)的转换点位误差约为 7.6 cm, 转换结果优于前 2 种方案。

为了进一步探讨地形对湖北省大地坐标库与 GPS 库坐标转换精度的影响, 在方案(3)的基础上, 根据湖北省地形走势, 将湖北省按经度 112 ° 以西、经度 112 ° ~114.5 ° 之间、经度 114.5 ° 以东分为东部、中部、西部 3 个区域进行坐标转换, 记为方案(4)。其中, 西部主要为山区、高山区; 中部区域地势较为平坦; 东部地区主要为山区和丘陵地带。

按照本方案中的分区方法, 将方案(3)都进行分区, 并计算转换结果, 统计于表 4 中。从表中的数据来看, 分区转换后中部点的转换精度提高 4 mm 左右; 西部点平面坐标 x 转换精度提高约 4.5 cm, y 转换精度提高约 1 cm; 东部点平面坐标 x 转换精度提高约 1 cm, 而 y 转换精度提高约 3.8 cm。由此可以看出分区转换主要提高了西部点的 x 方向和东部点的 y 方向的转换精度。

表 4 方案(3)与方案(4)坐标转换平面位置精度/m

分区	x 残差 最大值	y 残差 最大值	x 残差 中误差	y 残差 中误差	中误差
方案(3) 西部	0.144	0.107	0.070	0.049	0.060
方案(4)	0.066	0.098	0.025	0.037	0.032
方案(3) 中部	0.100	0.136	0.042	0.043	0.042
方案(4)	0.095	0.077	0.039	0.037	0.038
方案(3) 东部	0.062	0.156	0.039	0.063	0.052
方案(4)	0.052	0.073	0.021	0.025	0.023

### 3 结 语

从湖北省地形来看, 中部地势较平坦的区域的公共点的坐标转换残差绝大部分都小于东部和西部山区

公共点的坐标转换残差, 中部地区转换精度相对较高。

虽然实验方案(3)与(2)、(1)的转换结果相近, 但方案(3)使用的公共点较多, 能更详细地反映湖北省的地形, 覆盖范围更广, 并且位于湖北省边缘点的坐标转换精度比方案(1)、方案(2)好。因此, 优先选用方案(3)进行坐标转换。

方案(4)在方案(3)的基础上分区进行坐标转换, 可以使西部和东部的坐标转换精度有明显的改善。方案(3)中的转换结果的精度可以满足全省范围内中小比例尺测图的需要, 但对于某些精度要求较高的测量工作, 需要分区进行坐标转换。

### 参考文献

- [1] 徐天河. VLBI\_SLR\_GPS 综合数据处理与坐标转换若干问题研究[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学测绘学院, 2001
- [2] 柳光魁, 赵永强, 王振禄, 等. 西安 1980 坐标系与 WGS-84 坐标系转换方法及精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2006 (12): 40-41
- [3] 孔祥元, 梅是义. 控制测量学(下册)[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996
- [4] 赖锡安, 游新兆, 荆灿飞, 等译. 卫星大地测量学(Gunter Seeber 著)[M]. 武汉: 地震出版社, 1998
- [5] 蔡昌盛, 高井祥, 张华海, 等. 大范围 GPS 三维坐标转换方法探讨[J]. 矿山测量, 2005 (12): 4-5
- [6] 刘根友, 朱耀仲, 朱才连. 一种 GPS 网与经典地面网坐标转换的新方法[J]. 工程勘察, 2003(1): 42-45
- [7] 张勤, 王利. GPS 坐标转换中高程异常误差影响规律研究[J]. 测绘通报, 2001(6): 12-14
- [8] 刘平, 罗伊, 范海生. 浅谈地球坐标系及 2000 国际大地坐标系[J]. 地理空间信息, 2010, 8(3): 106-108

第一作者简介: 姜伟, 硕士, 研究方向为大地测量学与测量工程。

(上第 128 页)对车辆的实时监控, 为控制中心对于车辆的操作提供了很大的方便。整个网站系统设计合理, 满足了用户的基本需要, 由于 Google Maps API 提供了很多的函数接口, 今后可以把整个网站系统设计得更人性化, 增加更多方便操作者的功能。

### 参考文献

- [1] 李研峰. 时变网路环境下车辆调度问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005
- [2] 李德仁, 郭丙轩, 王密, 等. 基于 GPS 与 GIS 集成的车辆导航系统设计与实现 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25 (3):

- 208-211
- [3] 吴斌. 车辆路径问题的粒子群算法研究与应用[D]. 浙江: 浙江工业大学, 2007
- [4] 陈火根, 丁红钢, 程耀东. 物流配送中心车辆调度模型与遗传算法设计[J]. 浙江大学学报, 2002, 37(5): 512-516
- [5] 陈育春. Google Maps API 开发大全[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010
- [6] 马跃, 何小卫, 欧阳铁磊. 基于 Google Maps API 的车辆监控管理系统设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2010(2): 191-196

第一作者简介: 冯春莉, 硕士, 研究方向为地理信息系统理论及相关应用。

develop very quickly, and which including agent the departure of international and domestic air cargo, logistics distribution, air express, motor transport, rail transport, storage, inter-city distribution. In addition, the logistics company is also own inter-regional networking, information, intelligence, which also has supply chain management capabilities. Logistics company carries so many services, vehicle which plays an important role as a major tool in logistics company. The site was based on the Google Maps API to achieve the real-time monitoring of vehicle, using JSP + MySQL on page design and could also be queried the general information. Real-time vehicle monitoring and dispatching queries can greatly improve the efficiency of vehicles, thereby improving the company's efficiency.

Key words Logistics company , Google Maps API real-time vehicle monitoring ( Page:126)

Precision Analysis of Coordinate Conversion Based on Geodetic Database and GPS Database of Hubei Province by JIANG Wei

Abstract By using several kinds of typical coordinate conversion models, this paper analyzed the problems of coordinate conversion based on geodetic coordinate database and GPS coordinate database of Hubei province. The result showed that if taking Hubei province as the whole to make coordinate conversion, its precision could meet the needs of the medium-small scale mapping and the general engineering surveying. But if the higher precision was required to be satisfied with, the divisional conversion should be made based on Hubei's topography.

Key words coordinate transformation ,coordinate system precision , GPS ( Page:129)

Spatial-temporal Changes Study of Landscape Pattern in Shenzhen City Based on RS and GIS by CUI Shuang

Abstract Based on the means of the techniques of RS, GIS and landscape ecology, achieved the maps of patch types of Shenzhen after processing the TM images of 1995, 1999 and 2008 through ERDAS and ArcMap to study the landscape spatial changes in Shenzhen during the past thirteen years. Then calculated the indices of landscape patterns in Shenzhen City using Fragstats 3.3. After analysis, conclude that the human activity was the main driving factor for landscape change .

Key words Landscape pattern , Landscape indices , RS , GIS , Shenzhen ( Page:133)

Changes of the Regions of "Water in Summer and Land in Winter" in Dongting Lake by LONG Fang

Abstract The regions of "water in summer and land in winter" of four periods in Dongting Lake were extracted by using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS). The images of RS for abundant-water period and low-water period in Dongting Lake were extracted and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) was computed and extracted. The region of "water in summer and land in winter" were determined by subtracting the MNDWI in the two images. The changes of the regions among 20 years were classified in ENVI 4.3 by using the supervised classification. During the 20 years from 1987 to 2008, the area have increased about  $9.52 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, and 40.65% of that is silt beach, 38.94% of that is lake marsh beach, 20.41% of that is reed beach. Previous studies have suggested that lake marsh beach and reed beach is the potential Snail habitats. The regions of "water in summer and land in winter" which was helpful for the distinguished and surveillance of snail habitat in marshland and for the prevention of schistosomiasis could be extracted from the satellite images.

Key words The regions of "water in summer and land in winter" , snail habitats , remote sensing image processing , GIS ( Page:136)

Study of Experiment of Interferogram Denosing Filtering

by YU Jingbo

Abstract Based on introducing the basic principles of filtering denoising and interferogram denoising quality evaluation index, the qualitative and quantitative analysis of the results was carried out by the overall denoising and the decompositive denoising filter denoising interferogram. It was shown that the overall denoising had smoothness of better phase and the decomposition method could suppress speckle noise denoising effect and took a good edge retention.

Key words overall denoising ; decomposition denoising ; qualitative evaluation quantitative evaluation interferogram ( Page:139)

Method for Creation DOM by Airborne LiDAR and Optical Images by HU Qi

Abstract A method for producing digital orthophoto was discussed in the paper using laser point cloud and optical image obtained from LiDAR system. Optical image was oriented by aerial triangulation according to exterior orientation elements provided by GPS and inertial navigation system and controled points collecting from laser point cloud data. DSM gained from LiDAR laser point cloud was filtered to get DEM. Orthophoto was produced through image rectification with the DEM, after image orientation.

Key words Lidar ,POS inertial navigation ,DOM ( Page:142)

Status and Future Development of the Standard Structure of Celestial Navigation System by ZHU Xiaohong

Abstract Celestial Navigation System (CNS) is a location technology by measuring celestial bodies. According to the analysis on the status and application of CNS, the overseas and domestic standards and specifications of CNS were all described and compared by using classification and induction methods. The status of these specifications and standards were analyzed in detail. At last, the standard structure of CNS was proposed; meanwhile, some suggestions and opinions were given for CNS standards and specifications.

Key words Celestial Navigation standard and specification standard structure ( Page:145)

Quality Inspection and Assessment of Specification GB/T 18316-2008 for Digital Surveying and Mapping by CHEN Yanli

Abstract The progresses for GB/T 18316-2008 in quality inspection methods and quality inspection contents and quality assessment had been discussed in the article. To strengthen discuss for 1:10 000 scale topographic maps key elements had been renewed. It indicated that the new specification had been improved in many aspects compared with old. At last the author put forward some individual suggestions to perfect the specification.

Key words digital line graph ,quality inspection ,quality assessment ( Page:148)

Procedure of Great-Wall Thematic Map Symbols Library

by ZHANG Jiangxia

Abstract The paper introduced the key technology of making thematic map symbols library that servered for Ming Great Wall resource investigation of Gansu. A new procedure of making thematic map symbols was proposed based on Illustrator®, which formed integrated and standard symbols library. Not only did perform the work of making map of Great Wall thematic image, but also facilitated the study, management and protection of Ming Great Wall resource of Gansu.

Key words map of Great Wall thematic image, map factors, map symbols ( Page:151)

Research of Disaster Information Mapping Templates of Earthquake and the Secondary Disasters by ZHAO Xiaoli