

一种基于全站仪的机体受载形变实时测量方法

惠广裕, 武瑞娟, 白仲斐
(中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089)



摘要: 飞机强度试飞中, 机体形变测量结果是判别其是否为危及飞行安全、有碍操纵等有害永久形变的依据。根据全站仪测量定位原理, 采用同名点多视站数据拼接方法, 基于徕卡全站仪 GeoCOM 接口技术, 提出了一种基于全站仪进行机体受载形变实时测量方法。实践证明, 此方法不但保证了数据精度, 还能实时给出形变分析结果, 大大提高了工作效率, 对今后全站仪在机体测量中的研究具有重要的指导意义。

关键词: 形变测量; 全站仪; 机体坐标系; 全站仪坐标系; 实时

中图分类号: P208

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 05-0035-04

机体受载形变主要是指机身结构在经历严重受载后发生的状态变化。在进行强度试飞前和当飞行达到严重受载后, 需要精确标定飞机主要部件如: 外翼、垂尾、平尾以及起落架等的变形情况, 检查各测量点之间的相对变化量是否与设计指标相符, 这是综合评价飞机结构强度的一项重要工作, 同时各测量点的准确性及可靠性将直接反应出飞机的结构强度是否

满足设计定型要求。徕卡 TPS1200 全站仪作为目前世界上精度最高的全站仪 (有棱镜测距精度: $1\text{ mm}+1.5\times 10^{-6}\text{ D}$, 测角精度为 $1''$), 具有智能化、自动化等功能, 其在变形监测、精密工程测量以及机械引导控制等领域得到了广泛应用^[1]。该全站仪的诞生, 标志着地面测量设备开始迈入测量机器人时代, 并逐步向“开放的测量世界”的新理念方向发展。特别是徕卡公司针对 TPS 系列全站仪公开了 GeoCOM 接口技术, 近年来对测量机器人进行二次开发成为一个热点, 自行开发的程序更便于实际的工程应用, 大大减少工作量、节省人力、提高劳动效率。这对于航空工程测量人员来讲, 有着非常重要的意义。本文介绍利用 GeoCOM 接口技术进行二次开发, 实现机体受载形变测量的方法。

1 GeoCOM 接口技术简介

GeoCOM 接口技术是瑞士徕卡公司为用户对 TPS 系列全站仪进行二次开发所提供的一种应用开发接口。它是在美国 SUN、微软公司的远程过程调用 (RPC) 协议基础上建立的点对点通信协议。它有 2 种接口方式, 其中 1 种为在 C++ 或 VB 中直接使用的函数调用^[1]。这种方式只需简单地调用函数, 所有的请求、应答和解码都封装在 GeoCOM 的函数中, 其函数分类主要有:

AUT: 该模块用来提供自动识别目标、倒镜和方

向定位等功能。

BAP: 该模块主要提供获取测量数据。

BMM: 该模块控制基本的输入、输出功能。

COMF: 即通信功能模块, 主要提供处理基本通信参数等功能。

COM: 该模块与通信功能模块类似, 主要是与通信紧密相关的函数, 它们既与仪器 (Server) 一方的操作有关, 又与 PC 机一端操作有关。

CSV: 主要用于设置或获取仪器内部信息。

CTL: 用来完成系统的控制任务。

EDM: 即电子测距仪, 用来完成测距功能。

MOT: 即电动机驱动模块, 负责控制仪器的动作和移动的速度。

SUP: 负责获取或设置仪器最低温度之类的监测参数。

TMC: 该模块是获取测量数据的关键模块。

WIR: 即 WI 登记模块, 主要用来设置 GSI 的记录格式。

上述函数模块之间的关系如图 1 所示。

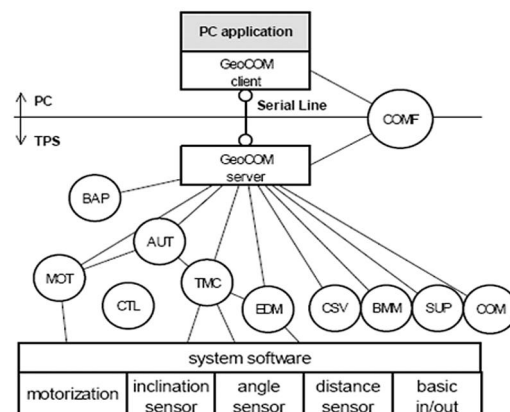


图 1 客户端/服务器应用程序函数模块关系

收稿日期: 2011-03-30

项目来源: 国家 863 计划重点资助项目 (2008AA121600)。

2 GeoCOM 在机体形变测量中的开发应用

2.1 机体形变测量原理及方法

1) 测量原理。利用全站仪能够测量得到方位角、俯仰角和距离信息,通过坐标转换后计算得到被测点的空间坐标。由极坐标到直角坐标的计算公式为:

$$\begin{cases} x=R \times \cos A \times \sin E \\ y=R \times \cos A \times \sin E \\ z=R \times \sin E \end{cases} \quad (1)$$

式中, x 、 y 、 z 分别代表 X 轴、 Y 轴、 Z 轴 3 个方向的坐标值; R 、 A 、 E 分别代表测量的斜距、方位角、仰角。

由于各测站测量得到的数据都是基于测站本身坐标系的,而形变测量的计算要求所测数据基于统一的机体坐标系,因此必须建立多个控制点 ($C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 、 $C4$...),采用七参数空间坐标转换模型^[6],通过对控制点的多余观测进行最小二乘平差解算,最终实现控制点的坐标强制符合和坐标系的统一^[7]。

2) 作业方法。在实际测量作业时,往往要在机体周围布置 3 个以上的控制点 (如图 2 所示, $C1$, $C2$, $C3$, $C4$),利用全站仪在机体周围架设若干站 ($S1$, $S2$, $S3$... $S7$),对所有标志点 ($J1$, $J2$, $J3$... Jn) 进行测量,最后采用多测站数据拼接技术对数据进行处理^[8]。

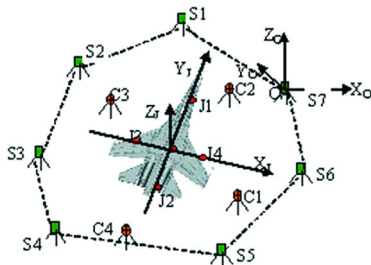


图2 多测站测量示意图

由于被测点位于机身各个部位,因此需要通过在机身周围架设多个测量站对标志点进行精确测量^[6]。

根据现场和机身标记点分布情况,合理选择测量站点,确保能够观测到全部的被测点。注意观察飞机机轴线上的点 $J1$ 和 $J2$ 的分布,使架设的测站能够以较好的角度测量,获得较高的数据精度。当架设测站进行单站测量时,要保证至少测得 3 个以上的通透控制点,以保证测站间的连接关系。测量控制点时,要对其进行精确的测量,测量角度要接近正视。依次架设测站,直至完成所有标志点的测量。

2.2 形变测量软件开发

2.2.1 硬件组成

根据机体形变测量的实际需要,需要配置的硬件有:徕卡全站仪 1 台,徕卡标准串口数据线 1 条,便携式笔记本 1 台。测量现场配置情况如图 3 所示。在

测量作业时,为方便寻找飞机上的标记点,提高工作效率,在全站仪上加载 1 台摄像机,实时监测所测飞机面上对应的标志点。

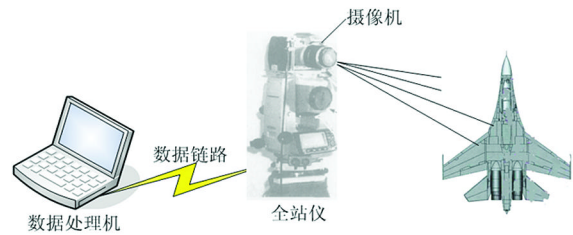


图3 机体形变测量作业流程简图

2.2.2 数据处理流程

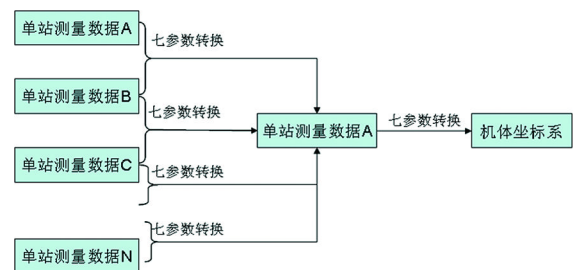


图4 测量数据处理流程

1) 如图 4 所示, A 站测量数据与 B 站测量数据通过控制点 ($C1$, $C2$, $C3$...) 利用七参数坐标转换数学模型计算七参数 (Φ 、 Ω 、 K 、 ΔX_j 、 ΔY_j 、 ΔZ_j 、 λ), Φ 、 Ω 、 K 分别为绕 X 、 Y 、 Z 轴的旋转角; ΔX_j 、 ΔY_j 、 ΔZ_j 为 2 个坐标系之间的平移量; λ 为缩放系数。然后利用七参数带入 (2) 式计算 B 站所有测点在 A 站的坐标。

七参数坐标转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X_{ACi} \\ Y_{ACi} \\ Z_{ACi} \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a1 & a2 & a3 \\ b1 & b2 & b3 \\ c1 & c2 & c3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{BCi} \\ Y_{BCi} \\ Z_{BCi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_j \\ \Delta Y_j \\ \Delta Z_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} a1 & a2 & a3 \\ b1 & b2 & b3 \\ c1 & c2 & c3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & 0 & -\sin \Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Phi & 0 & \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega & -\sin \Omega \\ 0 & \sin \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos K & -\sin K & 0 \\ \sin K & \cos K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中, λ 为缩放系数; a_i 、 b_i 、 c_i ($i=1,2,3$) 为绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转角 Φ 、 Ω 、 K 的三角函数组成的代数式; ΔX_j 、 ΔY_j 、 ΔZ_j 为 B 、 A 坐标系之间的坐标平移量。(X_{ACi} , Y_{ACi} , Z_{ACi}) 为 A 站的 Ci 点空间坐标; (X_{BCi} , Y_{BCi} , Z_{BCi}) 为 B 站 Ci 点空间坐标, $i=1,2,3$ 。

2) 其他测站 (B , C , D ... N) 同 B 站计算方法相同,统一到 A 站坐标系。

3) A 站利用机轴点 ($J1$, $J2$), 采用同样的方法把所有测站的坐标统一到机体坐标下。

2.2.3 形变测量软件开发

软件开发思想是首先将计算机的串口通讯参数设置成与全站仪相一致,保证计算机与全站仪能够顺利交换信息,然后对全站仪进行一些初始化设置,实时测量与记录数据,并提供分析结果^[3]。软件在 Visual C++6.0 开发环境下,采用 GeoCOM 接口技术和 Microsoft Access 数据库技术进行开发,下面对软件设计中一些关键的环节进行说明。

1) 连接仪器。利用函数 COM_OpenConnection (Port, BaudRate, StopBit) 打开计算机串口,请求连接全站仪。连接前,设置好端口 Port,波特率 BaudRate,停止位 StopBit。

```
Result = COM_OpenConnection (eComPort,
eBaudRate, 1);
```

```
if (Result==GRC_OK)
{ // 检查是否设置好参数
if (eTmpBaudRate != eBaudRate)
{}
```

```
//如果没有成功,就报告错误
```

```
if (Result != GRC_OK)
{}
```

2) 采集坐标数据。利用函数 TMC_DoMeasure () 根据当前距离测量模式,执行距离测量。为了获得测点的三维坐标调用函数 TMC_GetCoordinate ()。

```
Result=TMC_DoMeasure (TMC_DEF_DIST, TMC_
AUTO_INC);
```

```
if (Result==GRC_OK)
{ Result=TMC_GetCoordinate (3500, Co-
ordinate, TMC_AUTO_INC);}
```

获得的三维坐标值存在结构体 TMC_COORDINATE 的 dN (北), dE (东), dZ (天) 中。每次测量时,为便于实时给出形变测量结果,需要先测出控制点,计算出相应的转换参数后,方可实现坐标系间的一系列转换。

3) 实时数据处理。当所测坐标值传送给计算机后,就按照图 5 判断和计算。

4) 断开与仪器的连结。调用 COM_CloseConnection () ,COM_End() 断开打开的端口,并取消当前 GeoCOM 所有的任务。

```
Result = COM_CloseConnection ();
if (Result != GRC_OK)
{ COM_ViewError (Result, "COM_CloseConnec-
tion"); return;}
else
{Result = COM_End ();
```

```
if (Result != GRC_OK)
{COM_ViewError (Result, "COM_End");}
}
```

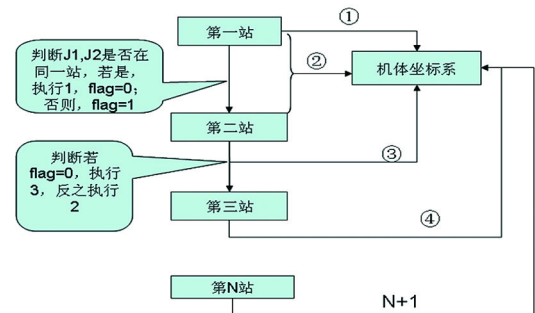


图5 数据处理程序逻辑计算

图5中, 表示第1站通过 J1, J2 两点, 七参数转换到机体坐标系; 表示第2站通过七参数转换到第1站后,再转换到机体坐标系;N+1 表示直接七参数转换到机体坐标系。

上述简要步骤中还应该包括测站设置、补偿器以及测量模式设置等环节,本文未在上述步骤中作详细说明,软件界面如图6所示。

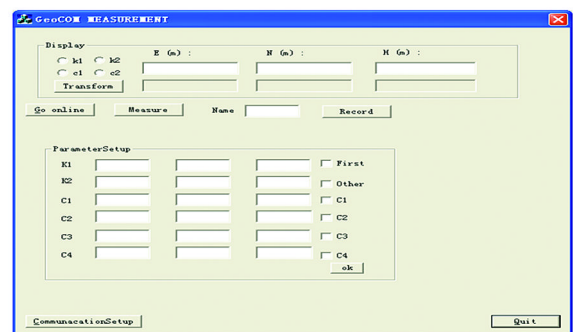


图6 GeoCOM Measurement 程序界面

3 实例分析

下面简要介绍利用 GeoCOM 开发的形变测量程序对某一型号任务的完成情况。本次任务是要对飞机机身 50 多个机身标志点进行测量,分析飞机机翼,垂危的变形情况。

第1站飞机轴线点(J1, J2), 控制点(C1, C2, C3)测完后,点击 OK 按钮,First 复选框,开始计算第1站向机体坐标系转换参数为 $\Delta X_1=0.820480$, $\Delta Y_1=5.500225$, $\Delta Z_1=-2.235432$, $\Phi=-0.2782789550$, $\Omega=0$, $K=0$, $\lambda=1.000002878899$ 。

第2站测量完控制点后,点击 OK 按钮,First 复选框,开始计算向第一测站坐标系转换参数,计算结果为 $\Delta X_2=-12.442263$, $\Delta Y_2=-1.150921$, $\Delta Z_2=0.25$, $\Phi=2.0116282321$, $\Omega=0$, $K=0$, $\lambda=0.999900917098$ 。然后,利用第1站计算出的七参数,转换为机体坐标系。在

软件中实时显示计算结果,并给出变形分析,如图 7 所示。

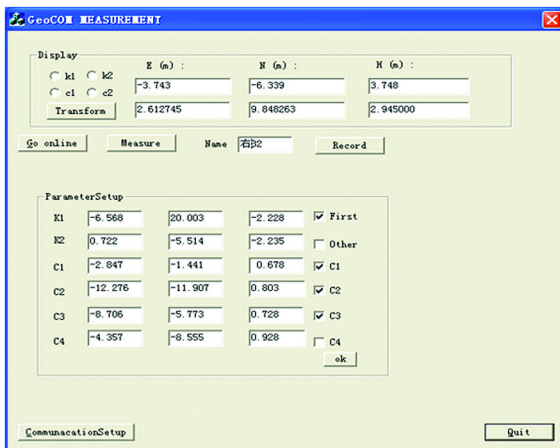


图 7 测量数据实时处理与显示界面

其他测站与第 2 站相同,在测量机身碎布点的同时,能够实时给出测点在机体坐标系中的坐标值,便于形变分析。

4 结 语

实践证明利用 GeoCOM 接口技术开发的机体形变测量程序不仅大大提高了工作效率,节省了人力物力,还大大保证了数据实测的准确性。该程序克服了传统测量方法的不足,减少了人为原因带来的数据质量问题。它充分利用了徕卡全站仪自身软硬件的优势,扩

展了全站仪的功能,对全站仪在机体形变测量有着广阔的应用前景;GeoCOM 接口技术一对一的通信问题,在有些功能方面受到限制,这些问题有待以后的进一步研究^[2]。

参考文献

- [1] Leica Geosystems. Leica TPS1200+ GeoCOM Reference Manual Version 1.50[J]. Leica Geosystems, 2009(1):5-172
- [2] 顾凤鸣. SET2C 全站仪操作中的几个问题[J]. 北京测绘, 1998(1):33-34
- [3] 夏治国. 全站仪与计算机数据通讯[J]. 解放军测绘院学报, 1996(04):15-16
- [4] 费业泰, 卢荣胜. 动态测量误差修正原理与技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2001
- [5] [前苏] B.A. 格拉若夫斯基. 动态测量[M]. 北京: 中国计量出版社
- [6] 徐绍铨, 吴祖仰. 大地测量学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1988
- [7] 刘念, 闫春斌, 马春涛, 等. 不同激光扫描数据组拼接的一种新方法[J]. 测绘科学, 2008, 33(4):61-62
- [8] 黄维彬. 近代平差理论及其应用[M]. 北京: 解放军出版社, 1992
- [9] Huber P.J. Robust Statistics[M]. New York: John Wiley Press, 1988
- [10] Peter Rousseeuw, Katrien Van Driessen. A Fast Algorithm for the Minimum Covariance Determinant Estimator[J]. Technometrics, 1999, (41):212-223
- [11] Napolitano M.R. Online Learning Neural Architectures and Cross-Correlation Analysis for Actuator Failure Detection and Identification[J]. International Journal of Control, 1996, 63(3): 433-455

第一作者简介: 惠广裕, 工程师, 硕士, 主要从事工程测绘, 光电测量技术方面的研究。

(上接第 34 页)的特征,提出了灾害应急空间对象具有的结构化信息要素在灾害应急专题图表达方式中的应用,研究了结构化空间信息要素的图形化机理,重点阐述了结构化空间信息要素与地图符号的映射关系,提出了灾害应急空间信息在灾害应急专题图中的表达方式,以及动态过程的图形化表达方式。

本文最后在灾害应急远程协同会商平台的基础上,设计并实现了协同标绘子系统,可以实现受灾区域、救助力量及物资分布、救援行动计划以及防灾设计方案图等专题信息的协同标绘,但是该应用实例对灾害应急预案文字信息快速制图仅做了初步研究,一些业务模型和符号属性接口设计还需完善。随着研究的深入,灾害应急空间现象文字描述信息的动态图形化转换将会进一步智能,并将得到更好的应用。

参考文献

- [1] 高庆华. 中国自然灾害与全球变化[M]. 北京: 气象出版社, 2003
- [2] 杨桂山. 全球变化与中国自然灾害趋势研究[J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(1): 83-83
- [3] 周然, 邹显东, 张京战, 等. 基于图形的突发事件应急指挥辅助决策系统的设计策略[J]. 海峡科学, 2008(003): 17-18
- [4] 王慧玲, 刘辉. 基于互联网的安庆市防汛抗旱异地会商系统[J]. 江淮水利科技, 2009(2): 28-30
- [5] 陈辉, 曾青石, 张鸣之, 等. 地质灾害远程会商及应急指挥系统建设初探[J]. 国土资源信息化, 2005(4): 21-23
- [6] 高嵩, 阎童, 聂义勇. 协同工作支撑技术研究[J]. Mini-micro Systems, 2000, 21(4): 413-415
- [7] 倪强, 朱光喜. 计算机支持下的协同工作的研究现状综述[J]. Computer Engineering and Applications, 2000, 36(4): 5-7
- [8] 张欣, 钟耳顺. 基于 GIS 的应急预案过程动态推演模拟技术研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(3): 281-284
- [9] 张世福. 自然灾害救助条例[J]. 中国民政, 2010(012): 49-50

第一作者简介: 赵宏, 硕士, 工程师, 研究方向为地图学与地理信息系统。

Spatial Characteristics Detecting Model Based on TIN

by LI Jingzhong

Abstract The detection of spatial characteristics of GIS data is one of the key points in GIS theory research and engineering applications.

This paper present a delaunay triangulated irregular network based model, which adopt to all three geometry types (point, polyline and polygon) and could detect many types of spatial characteristics, such as distribution extent, density and skeleton for point cluster; bend structure for line object; bottleneck area and subgroup for polygon and poly-polygon. All these methods were tested and verified by related experiments; the results were promising and satisfy the basic principle of spatial cognition.

Key words GIS, spatial data mining, spatial cognition, delaunay triangulation (Page:26)

Discussion of Urban Road Network Evaluation System

by XU Huichen

Abstract There is not a systematic set of urban road network evaluation system in our country at present. Different planning need choose the proper evaluation method and set up the evaluation index system. Then took Xuzhou for example, set up the evaluation index system with the method of urban road network technology evaluation and made use of fuzzy logic model. The conclusion is: the urban road network of Xuzhou is good, however, at the aspect of road networks scale, it needs some improvements.

Key words road networks scale, evaluation system, evaluation index, fuzzy logic (Page:29)

Study of Information Dynamic Graphical on Disaster Response

by ZHAO Hong

Abstract To develop disaster contingency plans is most in text description, because of the single expression and the complexity of contents cause application difficulties and prone to understand the ambiguity. To solve this problem, this paper analyzed five spatial objects in disaster response were used to describe space phenomena features, and proposed spatial seven structured information elements owned by objects in disaster emergency were used in six kind expression of thematic map in disaster contingency, and researched the graphical mechanism of structured information elements, and emphasis the correspondence relationship between structured information elements and five variables of map symbol and the animation control during the process of dynamic graphics, and states design principles of symbol rendering. As a application example of forest fires and rescue team action, geographic data of which were tried to convert into dynamic graphical mapping data, which were symbolised by the drawing program of map symbol.

Key words disaster response, spatial information, map symbol, plotting (Page:32)

Real-time Method for Deformation Measurement on the Plane Based on TPS

by HUI Guangyu

Abstract During the intensity test of flight-testing, the results of deformation measurement is the base to evaluating whether it is risky for aviation and impedimental for control or not. This pater present a real-time method of deformation measurement based on the interface technology of GeoCOM, according to the theory of total station position and the method of data combination by excessive stations. Practice had proved that the method not only ensured data accuracy, provided deformation results and improved the work efficiently, but also had important guiding significance for the study of the measurement of plane based

ed on TPS(Total Position Station) in the future.

Key words deformation measurement, TPS, ordinate system of plane, coordinate system of TPS, real-time (Page:35)

Method for ADS40 Data Processing

by ZHOU Junyuan

Abstract This article introduced the characteristics of ADS40 data and its distinction with combine production practice. It studied ADS40 data handling methods and techniques in production process.

Key words ADS40, aerial photogrammetry, data handles (Page:39)

Design and Implementation of Thematic Cartography of Oil-Gas Geochemical Prospecting Based on GIS Data Warehouse

by SUN Qiufen

Abstract This paper present the design and implementation of thematic cartography for BTEX Data Warehouse of Oil-Gas Geochemical Prospecting based on GIS. It included the analysis of Data Streams in Automatic Aided Mapping System, the design of system scheme and the constructing of geologic symbol library in common use, saving and extracting spatial and attribute data in Data Warehouse, automatic theme filled and also the function for geologic thematic map's design and export. The result of the system test indicated that the system had commendably carried out the primary design, for it can effectively exhibit the result of BTEX Data Warehouse of Oil-Gas Geochemical Prospecting and has a good interaction capability between users and computer.

Key words GIS, BTEX, Data Warehouse, thematic map, symbol library (Page:41)

Methods for GPS RTK Positioning Accuracy and Quality Control

by ZHANG Zhenjun

Abstract Based on the experiments of GPS RTK observations and the analysis with error margin, pointed out its accuracy fixed position, aimed at the characteristics that the RTK measures, as to it's the credibility carried on analysis, and aimed at sexual of put forward the homologous quality control project.

Key words GPS, RTK, error margin, accuracy positions, quality controls (Page:44)

Method for Improving the City Large Scale Topographic Maps Coordinate Transformation Accuracy between the City Coordinate System and CGCS 2000

by MA Wensheng

Abstract For the purpose of translating the urban coordinate system to the CGCS2000 for large-scale topographic maps, the integral transformation productions using an uniform transformation model and parameters don't satisfy the accuracy. A method was put forward to solve the accuracy problem in the article. First, compatible analysis was made for all control points and gross error points were get rid of. Then remaining control points were build TIN and calculated partitioned transformation parameters. As a result, we could improve the partitioned transform accuracy. Last, a real example was used to testing. The result shows that method put forward in the thesis is feasible and can enhance the transform accuracy.

Key words large-scale topographic maps, China Geodetic Coordinate System 2000, transformation model, Triangulated Irregular Network (Page:47)

Establishment of Urban Water Resources Surveying GPS Network

by LU Jianwei

Abstract Combining CORS VRS technology, this paper introduced the related establishment and data processing method of an urban GPS network for water resources. Network accuracy was analyzed.