

天文导航标准体系建设现状与未来发展

朱筱虹, 徐 瑞, 张俊艳
(北京环球信息应用开发中心, 北京 100094)



摘要: 天文导航是利用对自然天体的测量来确定自身位置和航向的导航技术。通过分析天文导航技术的发展现状和应用领域, 梳理了国内外天文导航技术的相关标准, 给出了天文导航技术的一种标准体系, 并对天文导航制定的标准未来发展提出了建议。

关键词: 天文导航; 标准; 标准体系

中图分类号: P201

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 03-0145-03

天文导航是以太阳、月球、行星和恒星等自然天体作为导航信标, 以天体的地平坐标(方位或高度)作为观测量, 进而确定测量点地理位置(或空间位置)及方位基准的技术和方法^[1-2]。天文导航具有自主、抗干扰能力强、导航误差不随时间积累、可靠性高并且可同时提供位置和姿态信息等特点, 已经成为航海、航天导航的重要导航手段之一, 一直受到国外军方的重视^[3]。天文导航技术起源于航海, 是一门古老而又年轻的技术, 直到20世纪30年代无线电导航技术问世前的2000多年中, 天文导航一直是唯一可用的航海陆地导航手段^[4-5]。随着天文导航技术应用的逐步深入, 国内外在天文导航领域已经出台了一系列标准, 但由于天文导航的军事应用背景, 使得目前可查到的该领域的相关标准十分有限。与卫星导航类似, 标准的研究往往落后于系统的研究^[7], 至于标准体系的研究更是空白^[6]。本文将按照参考文献[6]提出的导航标准体系从局部到整体的建立方法, 对天文导航的标准体系进行初步探讨。首先从天文导航技术的发展现状入手, 将天文导航技术分成天文测星设备和天文导航系统, 在此基础上, 根据天文导航技术在航海、航空和航天三大领域的具体应用进一步描述天文导航系统应用的物理对象(载体); 其次, 分别从天文测星设备和天文导航系统2个方向梳理天文导航技术的相关标准; 最后, 根据天文导航技术发展现状和应用领域试图构建天文导航的标准体系框架。

1 天文导航技术

1.1 天文测星设备

现代天文导航定位一般通过天文测星设备观测天体来确定载体位置, 常用的方法有单星定位导航、双星定位及三星定位、解析高度差法等。目前的天文测

星设备主要有小视场星体跟踪器、大视场星体跟踪器、射电天文设备及多孔径星体敏感器4类。

1) 小视场星体跟踪器。小视场星体跟踪器由小视场(视场内只能敏感一颗星体)的星体敏感探测装置及星体目标跟踪控制机构组成。工作原理与古老的航海六分仪, 多次单星跟踪测量相似。由于采用随机控制机构, 体积重量较大, 在航海领域得到了广泛的应用。因为这种设备的视场较小, 入射的天空背景杂散光也较少, 对单颗星光的测量可得到较高的信噪比, 所以它不仅在高空可用, 在中低空等杂散光较复杂的环境也能具有较好的性能。由于上述优点, 小视场的天文设备非常适于航空机载应用。小视场星体跟踪器的典型代表有航海六分仪、航空六分仪和潜艇用潜望镜等。

2) 大视场星体跟踪器。随着计算机运算速度的不断提高和传感器技术的不断进步, 基于星图数据库匹配的导航方式成为天文导航的重要发展方向。和小视场星体跟踪器每次只测量一颗星不同, 大视场星敏感器对一定范围的天区瞬时成像, 由于视场范围的增大, 它可以使用多颗星甚至星座的星体信息, 实现单词观测导航。它采用多星同步测量、星图匹配和空间矢量法确定载体在惯性空间的姿态, 体积小重量轻, 但由于视场大, 中低空杂散光复杂, 所以测星信噪比差。目前的技术水平白天只能在60 km以上的高空得到应用, 国内外在高空飞行器如航天飞机、卫星和弹道导弹上大多采用大视场星体跟踪器。

3) 射电天文设备。射电天文设备是通过探测天体的宇宙背景辐射的射电波信号来实现测星功能的, 这种方式不受高度、气象条件的干扰, 属于全天候天文导航方式。但由于这种设备的体积较大, 目前国内外主要用于大型舰船和地面导航。

4) 多孔径星体敏感器。多孔径星敏感器采用3个

收稿日期: 2011-04-06

小视场捷联安装方式，没有随动机构，工作机理类似于大视场星体敏感器。多孔径星敏感器结合了小视场的测星能力强和大视场多星同步测量的优点，有效解决了机载领域的应用难题，是目前国外机载天文导航的主要发展方向，也是我国未来机载天文导航设备的研制目标和重点。

1.2 天文导航系统

1) 基于六分仪原理的天文导航系统^[3]。二战前，天文定位是主要的导航手段，许多战船都配备天文导航的各种仪表、天文钟和手持航海六分仪。二战后，出现了六分仪与潜望镜相结合水下天文导航组合技术。

2) 基于"高度差法"的天文导航系统^[3]。基于"高度差法"的天文导航系统最早用于水面舰船和潜水艇，后来陆续用于飞机和导弹。从工作原理看具有以下共同特点：导航过程要依赖于惯导平台提供的水平基准。它同惯导相互依存，既要通过惯导获得运载体的初始位置、姿态，以便实施对星体的搜索、捕获和跟踪，又利用自身解算出的运载体位置和航向信息，反过来校正惯导因长时间工作而导致的位置和航向累积误差；系统光学分辨率高，抑制背景噪声能力强，因而导航精度高。

3) 基于星图识别的多星矢量定位技术^[3]。基于多星矢量定位技术的天文导航系统的最大优点是可不借

助于任何先验信息而自主确定运载体相对于惯性空间的姿态。系统的工作过程主要由大视场成像、多星体目标同步提取、星图识别、导航解算等组成。该技术具有如下特点：大视场光学系统(一般为 10 × 10~50 × 50 范围)。视场内平均有 3 颗以上的星体被利用，因此，可提高系统捕获星体的概率和导航精度；不需任何外部信息，直接输出系统相对于惯性空间的姿态，因而能对惯导的陀螺误差进行直接校正；确定运载体惯性姿态的精度是现有测量设备中最高的；系统在大气层以内工作时，受天候影响较大，可靠性有待进一步提高。

2 天文导航相关标准

目前，可查到的天文导航相关标准只有天文测量设备类标准中的六分仪和潜望镜标准，如图 1 所示。其中，国内外六分仪标准共有 14 项：国外六分仪标准 13 项，分别是美国空军和美国海军制定的机载六分仪和航海六分仪的相关标准，美国空军制定的标准有 5 项；美国海军制定的标准有 8 项。国内的 1 项标准是行业标准-船舶 1 项。迄今为止，查不到国外潜望镜相关标准，国内对外公布的潜望镜标准只有 1 项，即行业标准-船舶 1 项。

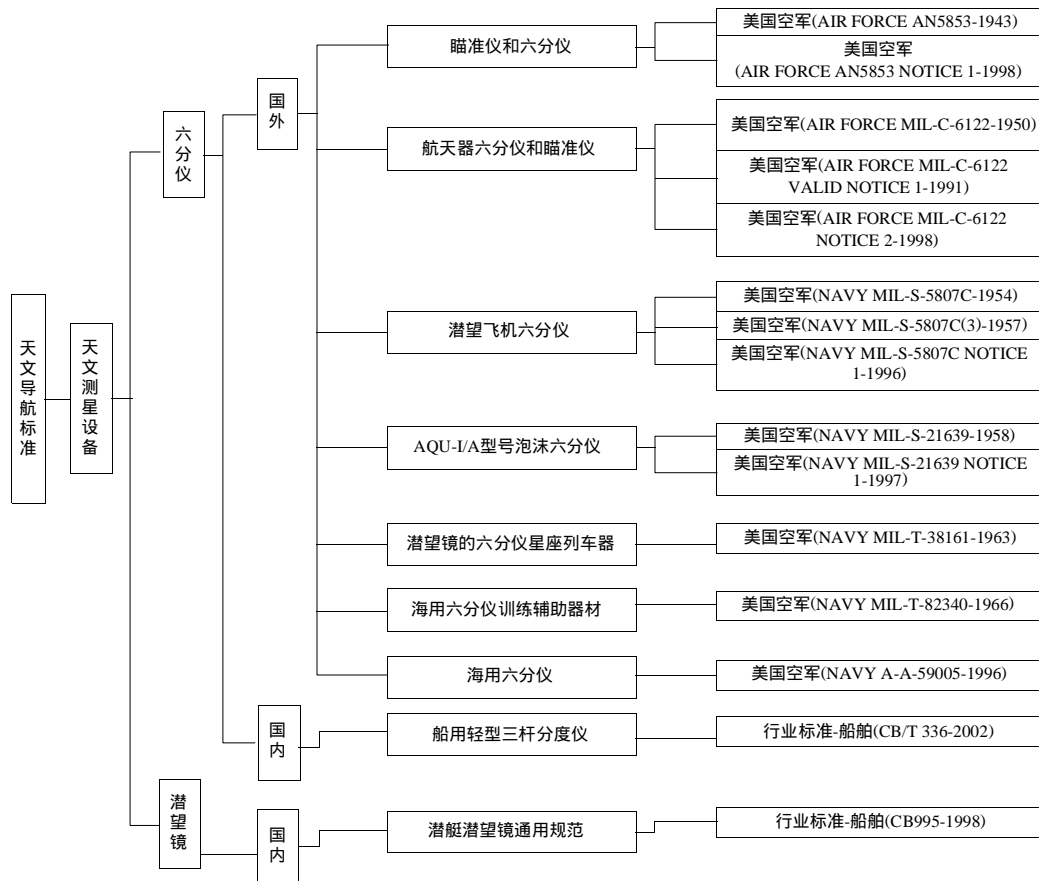


图 1 国内外天文导航相关标准

从目前对外公布的天文导航标准来看,总共有 15 项标准。天文导航出台的相关标准数量少的原因主要有以下 2 点: 天文导航主要应用在潜艇、战略轰炸机、导弹及航天器等军事装备上,出于各国对军事技术保密的目的,对外公布的天文导航相关标准有限; 从天文导航技术的发展现状与趋势来看,天文导航领域中还有很多新技术还在不断发展与研究中,并未形成成熟的产品,因而还不具备应用推广的条件,相关标准更是无从谈起。

从天文导航具体公布的标准来看,六分仪标准的数量最多,国外从 20 世纪 40 年代就陆续出台了舰载、机载和航天器用六分仪的技术要求;国内 2002 年对外公布了 1 项航海六分仪的标准。从这一点看,我国与国外六分仪技术的发展还有一定差距。对于潜望镜标准,由于查不到国外相关领域标准,所以无法比较。总之,仅从目前天文导航出台的相关标准来看,天文导航自身的标准还不成体系,很不完善。

3 天文导航标准体系

根据天文导航技术发展现状及应用趋势,我们认

为,天文导航标准应该具备如图 2 所示的体系结构。随着天文导航技术的发展和应用的日趋完善,相应标准体系结构也将逐渐丰富和完善。

如图 2 所示,根据天文导航技术发展现状,天文导航标准体系应包括天文测星设备类和天文导航系统类标准,其中,天文测星设备标准由小视场星体跟踪器、大视场星体跟踪器、射电天文设备和多孔径星体敏感器等产品设备的技术要求和规范等标准组成。目前,国内外仅对小视场星体跟踪器,即六分仪和潜望镜出台了一些标准。天文导航系统标准主要是天文导航系统应用方面的标准,即航海、航空和航天领域的天文导航系统应用服务方面的相关标准,具体来说,就是潜艇、舰船、军用飞机和航天器等不同载体所装备的天文导航系统设施的使用、技术和维修要求等。目前,我国在天文导航系统应用方面还没有制定相关国家标准。除此之外,天文导航标准体系还应包括通用基础类标准,主要指的是在天文导航技术领域内必须遵循的通用性标准,可被天文导航标准体系中的天文测星设备类和天文导航系统应用类直接应用,也可作为编制其他标准的基础。

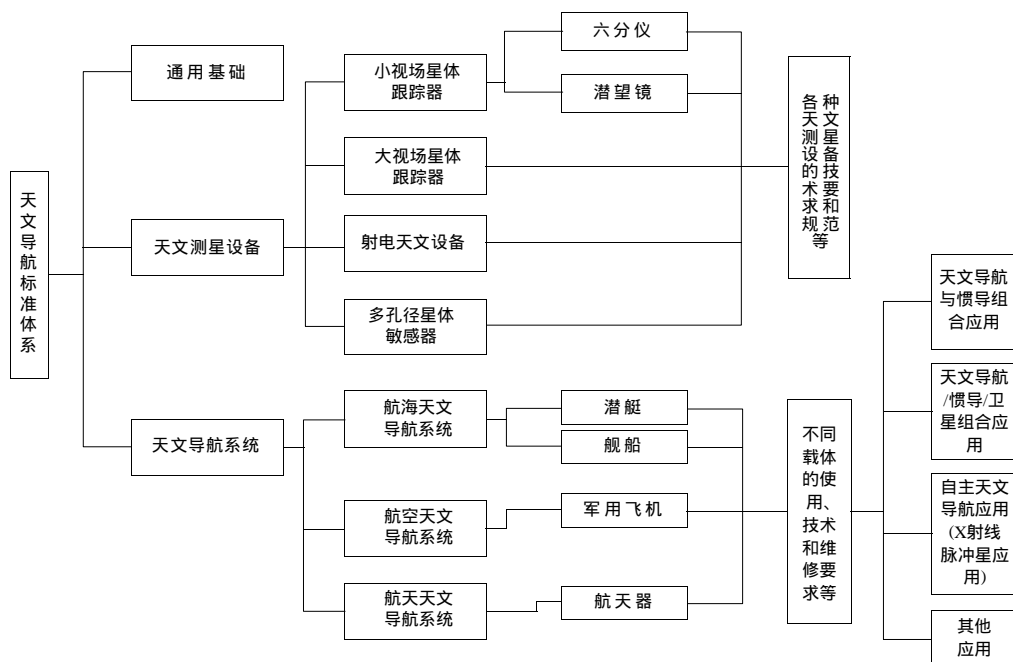


图 2 天文导航标准体系

值得关注的是,在天文导航系统应用标准方面,还应该重视天文导航和其他导航手段组合应用的相关技术标准。就目前天文组合导航技术发展现状而言,主要有天文/惯导组合、天文/惯导/卫星组合等典型组合导航方式。此外,在天文导航标准体系的逐步建立与完善过程中,还应不断跟踪有良好前景的前沿技术,如在航天天文导航应用领域的自主天文导航技术-X 射线

脉冲星导航技术,只有这样,天文导航标准体系才能不断发展和完善。

4 结 语

对我国的天文导航标准而言,一方面,要随着天文测星设备产品的不断发展和成熟,加紧制定相关天文测星设备产品标准;另一方面, (下转第 150 页)

的长度或面积等未予顾及，将会出现一种情况，如同一条国道，在不同 1 : 10 000 图幅错漏长度差异很大，有的长度达到图上 50 cm，有的长度在图上近 1 cm，如果仅采用定性的处理方式欠妥。为此需要对其进行量化，如 GB/T 24356-2009 根据不同情况进行了不同的处理。如上所述，为达到与 GB/T 24356-2009 衔接，且为更好地进行量化，需要增加一类次要要素，同时需要扩大极重要要素的内容。

3.3 要素总数 N 计算采用加权

根据标准全图要素总数 N 以数据中所有要素的数学个数进行统计，点、线、面、注记要素个数分别按数据中点、线、面、注记的数学个数统计。这就出现在计算要素总数时，一个高程注记点的作用与一级河流域面的分量一样重，欠妥。为此，在计算全图要素总数 N 时顾及不同要素的权重，点、线、面、注记分别给予不同的权重，最后 N 为加权和；同时点、线、面、注记内部也进行加权计算。调整了 N 的计算方法，在设计 r₀ 时 also 需进行相应的调整。为此，首先分别给定点、线、面、注记要素的内部权重比 p_i^p、p_i^l、p_i^s 及 p_i^a，再确定点、线、面、注记要素之间权重比 p_p、p_l、p_s 及 p_a。具体计算公式为：

$$N = p_p \sum p_i^p m_i^p + p_l \sum p_i^l m_i^l + p_s \sum p_i^s m_i^s + p_a \sum p_i^a m_i^a \quad (1)$$

采用加权的方式计算 N，看似计算方式复杂了、难度增加了，但是如上述本标准倡导以程序检查为首选方式，因此只需要在程序中进行适当的设置，开发相应的计算工具包，使用起来也会变得很方便。

3.4 同一检查项不同级要素错漏应合并计算

新标准摒弃了旧标准的扣分法，采用了更加科学的计算方法，只要各检查项的差错漏在容许范围之内即可，但是同一检查项内，重要要素、次要要素、一般要素分别计算分值，取最小分值作为该检查项的最后得分。但是同一检查项内的不同级要素的差错漏均为同一性质，应取差错漏的加权累加，因而相应的计

算公式修改为

$$s_i = -20 + 40 \times \frac{r'_0 - r'}{r'_0} + 40 \times \frac{r''_0 - r''}{r''_0} + 40 \times \frac{r'''_0 - r'''}{r'''_0} \quad (2)$$

式中，r₀'、r₀''、r₀''' 分别为重要要素、次要要素、一般要素的 r₀ 值；r'、r''、r''' 分别为重要要素、次要要素、一般要素的错误率。合格条件不但要求 r' < r₀'、r'' < r₀''、r''' < r₀'''，且要求计算得到的 s_i ≥ 60。

4 结 语

通过对比分析，与 GB/T 18316-2001 相比，GB/T 18316-2008 在检查方法与要求、检查内容、质量要求、质量评价等各方面有了很大的改进，同时特别注意与新颁布 GB/T 24356-2009 之间的相互衔接，并且将其应用于 1 : 10 000 地形图核心要素更新项目中。通过实践应用，证实了进步之处，但通过生产实践，新标准与 GB/T 24356-2009 衔接还不够，需要进一步完善，同时质量评定指标需要进一步加以量化、要素总数 N 应采用加权的计算方式、同一检查项不同级要素错漏应合并计算等个人意见，使得其更加完善。

参考文献

- [1] GB/T 18316-2008 数字测绘成果质量检查与验收[S].
- [2] GB/T 18316-2001 数字测绘产品检查验收规定和质量评定[S].
- [3] GB/T 24356-2009 测绘成果质量检查与验收[S].
- [4] GB/T 14268-2008 国家基本比例尺地形图更新规范[S].
- [5] CH/T9006-2010 1 : 5 000 1 : 10 000 基础地理信息数字产品更新规范[S].
- [6] 徐国宏. 2008 版 GB/T 17941 和 GB/T 18316 的变化分析--一数字线划图的检查验收为例[J]. 测绘通报, 2010(6) : 69-71
- [7] 赵力彬, 谢露蓉, 吕志勇, 等. 空间数据质量检查与评价系统的设计与实现[J]. 测绘通报, 2010(9) : 45-47
- [8] 曾衍伟, 龚健雅. 空间数据质量控制与评价方法及实现技术[J]. 武汉大学学报 : 信息科学版, 2004(9) : 686-690

第一作者简介：陈艳丽，工程师，主要从事基础地理信息数据生产及质量检查工作。

(上接第 147 页) 要将标准制定的重点放在天文导航系统应用方面。可以预见，随着天文导航技术的不断成熟和应用的不断推广，天文导航在航海、航天和航空的应用标准也会逐步颁布和实施。

参考文献

- [1] 郭禹, 丁勇. 航海学[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1999
- [2] 季必达, 冯惠兰. 跨向 21 世纪的天文导航应怎样发展[A]. 世纪之交的导航技术文选/[C] 西安: 中国电子学会导航分会, 1998
- [3] 何炬. 国外天文导航技术发展综述[J]. 舰船科学技术, 2005, 27(5): 91-96

- [4] 刘建业. 导航系统理论与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010
- [5] 房建成, 宁晓琳. 天文导航原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006
- [6] 徐瑞, 朱筱虹, 赵金贤. 导航标准体系建设若干思考[J]. 测绘通报, 2010(11): 11-14
- [7] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 1-6
- [8] 冯来平, 毛悦, 孙中苗. X 射线脉冲星导航定位技术研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(2): 19-21

第一作者简介：朱筱虹，工程师，主要从事测绘与导航专业情报研究工作。

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 9.52×10^4 hm², 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