

文章编号: 1001-1595(2010)01-0001-06

# 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战

杨元喜

中国卫星导航定位与应用管理中心, 北京 100088

## Progress, Contribution and Challenges of Compass/Beidou Satellite Navigation System

YANG Yuanxi

China National Administration of GNSS and Applications, Beijing 100088, China

Abstract: Satellite navigation has stepped into the era of a hundred flowers in bloom. The progress, application, contribution and challenges of Compass/Beidou satellite system is reviewed and analyzed. Firstly, the construction principles and development steps are introduced. Secondly, the general realizations of signal frequency and the coordinate system as well as the time system of Beidou satellite navigation system in the frame of compatibility and interoperability are described. Thirdly, in the concept of redundancy, the main contributions of Beidou system are analyzed. At last, the applications and the main challenges of Beidou system are reviewed.

Key words: Compass/Beidou; development; challenges

摘 要: 卫星导航发展已进入百花齐放、群星争艳的时代。主要评述我国北斗卫星导航系统的发展、应用、贡献及面临的挑战。介绍北斗卫星导航系统的建设原则和建设步骤;介绍我国北斗卫星导航系统在兼容与互操作框架下在频率、坐标系统、时间系统方面的兼容与互操作实现概况;描述北斗导航系统在冗余度概念下的主要贡献;简要说明北斗导航验证系统的重要应用和面临的主要挑战。

关键词: 北斗卫星导航系统; 进展; 挑战

中图分类号: P228 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(40474001; 40841021); 国家 863 计划(2007AA12Z331)

## 1 引 言

全球卫星导航系统 GPS、GLONASS 已经建成并投入使用, 不仅促进了导航定位理论与应用的变革, 也促进了相关产业的长足发展。为提高卫星导航定位的自主性、安全性、完好性, 中国和欧盟先后启动了 Compass/北斗和 Galileo 卫星导航系统的建设。之后, 日本启动了伪天顶卫星系统 QZSS (quasi-zenith satellite system)<sup>[1]</sup>, 印度也启动了 IRNSS 导航系统<sup>[2]</sup>。

中国正在运行和正在建设的 Compass 系统是全球导航卫星系统 (GNSS) 的重要组成部分。我国自 19 世纪 80 年代决定建设独立自主的卫星导航系统 (Compass/北斗), 2003 年, 北斗卫星导航验证系统建成, 并在多个领域得到了广泛的应用。

面对众多卫星导航信息资源时, 一方面可以利用丰富的导航信息, 极大地提高卫星导航用户的可用性、精确性、完好性和可靠性, 但是也不得

不面对随即出现的频率资源的竞争、卫星导航市场的竞争、时间频率主导权的竞争以及兼容与互操作的争论, 也包括针对我国北斗卫星导航系统贡献与干扰的争论。

为此, 本文在简单介绍我国北斗 (Compass) 导航卫星系统基本概况的基础上, 重点评述我国北斗导航系统的应用与贡献; 此外基于作者个人认识, 也简单分析我国北斗导航系统面临的问题。

## 2 系统建设原则与进展步骤

北斗卫星导航定位原理在多篇文献中已有介绍<sup>[3-4]</sup>。北斗导航系统建设的基本原则是: 开放性、自主性、兼容性、渐进性<sup>[5]</sup>。

开放性: 北斗卫星导航系统将为用户免费提供高质量的开放服务, 并且欢迎全球用户使用北斗系统。中国将与其他国家就卫星导航有关问题进行广泛深入的交流与合作, 以推动 GNSS 及其相关技术和产业的发展。

**自主性:** 中国将独立自主地发展和运行 Compass 系统。北斗系统能独立为全球用户提供服务,尤其是为亚太地区提供高质量的服务。

**兼容性:** 北斗卫星导航系统使用卫星无线电导航业务频段,与其他卫星导航系统间存在频谱重叠。我国愿意在国际电联有关规则、建议的指导下通过频率协调,实现与其他系统的兼容和互操作。

**渐进性:** 北斗系统将依据中国的技术和经济发展实际,遵循循序渐进的模式建设。通过改进系统性能,确保系统建设平稳过渡,为用户提供长期连续的服务。北斗系统的发展分为三步:验证系统、扩展的区域导航系统和全球导航系统<sup>[5]</sup>。

1. 第一步:验证系统。2000年以来,中国已成功发射3颗 GEO 卫星,初步建成北斗卫星导航试验系统。该系统能够提供基本的定位、授时和短报文通信服务。

北斗卫星导航试验验证系统的服务区域为东经  $70^{\circ} \sim 140^{\circ}$ , 北纬  $5^{\circ} \sim 55^{\circ}$ , 定位精度优于  $20 \text{ m}$ <sup>[6]</sup>。北斗试验验证系统具有如下特点:一是首次定位速度快。北斗验证系统的用户定位、电文通信和位置报告可在几秒内完成,而 GPS 首次定位一般需要  $1 \sim 3 \text{ min}$ 。二是集定位、授时和报文通信为一体。GPS 和 GLONASS 系统只解决了用户在何时、在何地的授时和定位问题,北斗验证系统是世界上首个集定位、授时和报文通信为一体的卫星导航系统,解决了“何人、何时、何处”的相关问题,实现了位置报告、态势共享。三是授时精度高。GPS 的精密定位服务(PPS)授时精度为  $200 \text{ ns}$ ,北斗验证系统的单向授时精度达  $100 \text{ ns}$ ,双向定时精度达到  $20 \text{ ns}$ ,远远高于 GPS 的授时精度。四是可实现分类保障。即可划分使用等级范围,授权用户与公开用户分开,公开用户也可随时进行定位保障等级的调整、优先权调配和能力集成<sup>[5]</sup>。

2. 第二步:扩展的区域导航系统。在验证系统的基础上,北斗卫星导航系统将进行区域导航能力拓展。即由12颗卫星组成扩展区域卫星导航系统,采取有源与无源相结合体制,兼容北斗验证系统的全部功能。2011年左右覆盖亚太地区,即服务扩展到南北纬  $55^{\circ}$ , 东经  $55^{\circ}$  至  $180^{\circ}$ <sup>[5]</sup>。

3. 第三步:北斗全球卫星导航系统。在扩展区域导航系统12颗卫星基础上,北斗导航系统的服务将由区域扩展到全球,设计性能优于俄罗斯

的 GLONASS,与第三代 GPS 性能相当。将在2020年左右为全球用户提供服务。

2007年4月13日,北斗卫星导航系统的首颗 MEO(Compass-M1)卫星成功发射,轨道高度约为  $21\,550 \text{ km}$ <sup>[7]</sup>。2009年4月15日,北斗卫星导航系统的首颗 GEO 卫星(Compass-G2)也成功发射。最近几年,将发射10余颗卫星。

### 3 与其他卫星导航系统的兼容与互操作

#### 3.1 兼容与互操作的一般描述

兼容与互操作是多导航卫星系统资源利用与共享的重要内容。2007年印度班加罗尔(Bangalore)举行的第一次卫星导航供应商论坛会议初步提出了兼容与互操作原理及定义,2008年在美国加州举行的第三次供应商论坛会议对兼容与互操作定义进行了更新。

##### 3.1.1 兼容性描述

兼容性是指分别或综合使用多个全球卫星导航系统及区域增强系统,不会引起不可接受的干扰,也不会伤害其他单一卫星导航系统及其服务。其主要内容包括:

1. 国际电信联盟(ITU)提供无线电频率兼容讨论框架,频率兼容应涉及全部细节因素,包括接收机噪声水平的影响,以及干扰与信号之间的互相关问题;

2. 兼容性应关注每个卫星系统的授权与公共服务信号的频谱分离,尽管某些信号重叠是不可避免,但卫星导航供应商之间应进行讨论,以便构建双方可接受的方案;

3. 鼓励任何其他改进兼容性的决策。

实际上,兼容性不仅包括无线电频率的兼容还应包括坐标系统兼容,时间系统兼容,发射功率兼容等。

##### 3.1.2 互操作性描述

互操作是指综合利用多个全球导航卫星系统、区域卫星导航系统、增强卫星导航系统及相应服务,能够在用户层面比单独使用一种服务获得更好的能力。主要包括:

1. 同时处理不同卫星导航系统信号并不显著增加接收机的成本和复杂性;

2. 多卫星星座播发公用互操作信号将改善观测几何结构,改善所有地点用户的定位精度,减少卫星信号受遮挡的范围,提高卫星的可视性;

3. 坐标框架的实现及时间系统应极大限度

地固联于国际现已存在的统一标准;

#### 4. 鼓励任何其他改善互操作的决策。

显然,互操作的实现必须基于卫星导航系统的兼容性。

基于互操作概念,用户在 PNT(定位、导航、定时)方面所获得的效益应大于付出的代价;用户可望获得更可靠、更丰富的 PNT 服务;而且这些互操作不应显著增加接收机的研发负担;多卫星系统所发射信号的最大接收功率应该相近;系统供应商应该相互播发包括坐标系统和系统时间偏差在内的互操作信息;频率多样性是可行的,而且有益于提高抗干扰能力。

### 3.2 北斗卫星导航系统与其他导航系统的兼容与互操作

#### 3.2.1 北斗导航系统的频率兼容与互操作

卫星导航系统的频率资源十分紧缺,不同卫星导航系统间的频谱重叠不可避免。关于频谱重叠和频谱分离是目前兼容与互操作讨论的热点,我们认为不同系统服务信号间共享频谱是可行的。对许多应用来说,开放信号的频谱重叠对实现互操作是有益的。

我国已向国际电信联盟(ITU)申报,北斗导航系统将发射 4 个频率的信号:1 561 MHz、1 589 MHz、1 268 MHz 及 1 207 MHz (E5b)<sup>[7]</sup>,已经发射的 3 频信号为:1 561.098 MHz 和 1 589.742 MHz,码速率均为 2.046 cps、带宽为 4.092 MHz 的 B1(I) 和 B1-2(I) 公开服务信号;以及中心频点为 1 207.14 MHz,码速率为 2.046 cps,带宽为 24 MHz 的 B2(I) 信号,还有授权用户信号:1 268.52。此外还将发射中心频点分别为 1 575.42 MHz 和 1 191.795 MHz,码速率分别为 1.023 cps、10.23 cps 两种公开服务信号<sup>[8]</sup>。

#### 3.2.2 北斗时间系统的兼容性与互操作

北斗时(BDT)溯源到协调世界时 UTC(NTSC),与 UTC 的时间偏差小于 100 ns。BDT 的起算历元时间是 2006 年 1 月 1 日零时零分零秒(UTC)<sup>[5]</sup>。在设计北斗时间系统时,已经考虑到 BDT 与 GPS 时(GPST)、Galileo 时(GST)和 GLONASS 的互操作问题,并将监测和发播 BDT 与 GPST、GST、GLONASS 及 GST 的时差。北斗导航系统的时间系统与其他导航系统的时间系统关系见图 1。

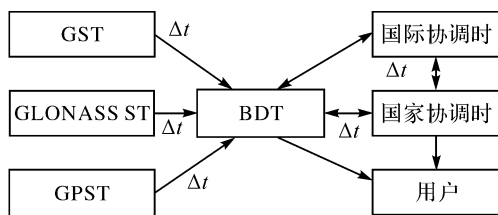


图 1 北斗导航时间系统与其他时间系统之间的关系

Fig.1 Timing relations of Beidou and other satellite navigation systems

### 3.2.3 北斗坐标系统的兼容性与互操作

北斗卫星导航系统相应的坐标系统为中国 2000 大地坐标系统 (CGCS 2000)。CGCS 2000 的定义与国际地球参考系统 (ITRS) 一致。CGCS 2000 的实现称为 CTRF 2000<sup>[9-12]</sup>。CTRF 2000 参考于 ITRF 97, 历元为 2000.0。CTRF 2000 由三个层次框架点组成。第一层次:连续运行参考站(28 个点),形成 CGCS 2000 基本骨架,精度约为 3 mm;第二层次:“2000 国家 GPS 大地控制网”(2 500 多点),精度约为 3 cm 级;第三层次:全国天文大地网(约 50 000 个点),大地经纬度精度约为 0.3 m,大地高精度优于 0.5 m。

显然,CTRF2000 的第一、第二层次参考框架与国际地球参考框架 ITRF 的一致性约为几个厘米,对于大多数卫星导航用户来说,可以不考虑 CTRF2000 与 ITRF 的坐标转换。

理论上,一个完整的坐标系统,应包含坐标框架的变化速率,但在目前情况下,暂不能提供高精度的 CTRF 的点位速度信息,也暂不能提供点位坐标更新信息。

## 4 北斗导航系统对互操作的贡献(PNT)

在群星璀璨的星空,未来将有 100 余颗用于导航的卫星(包括 GPS、GLONASS、Galileo、Compass 等);有星罗棋布的观测网(包括全球 GNSS 服务系统及 IGS 观测网、各国的 CORS 网,以及国内的地壳运动跟踪网和各省、各地区的 CORS 系统等)。现代化的 GPS、恢复元气的 GLONASS、正在发展的 Compass 和正在建设的 Galileo 卫星导航系统,将极大改善冗余度,改善定位精度,提高导航定位的灵活度,改善导航质量<sup>[13]</sup>。

下面仅从冗余度方面分析北斗导航系统的贡献,如图 2。

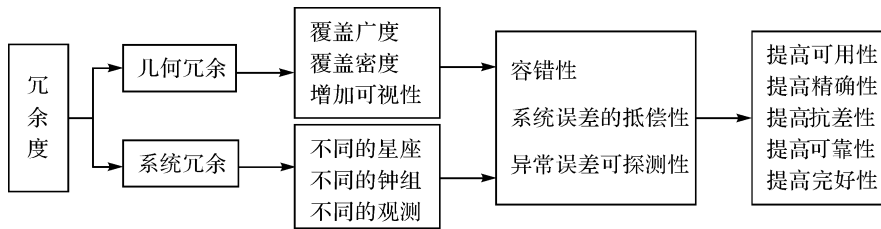


图2 导航冗余信息的贡献

Fig. 2 Contribution of Beidou system based on redundancy

分析图2可以看出,北斗卫星导航系统及其相应的地面跟踪站建设,对全球导航用户的贡献应该是显著的,可归纳如下:

1. 由于卫星星座的不同,有利于改善DOP值;
2. 由于信号频谱的不同,有利于削弱多路径效应的影响,并有利于抵制信号干扰带来的影响;
3. 由于北斗自身的多频体制,有利于削弱电离层和对流层误差,从而有利于弱化基准站距离的限制,有利于固定载波相位模糊度,有利于缩短首次定位时间;
4. 由于冗余观测的大量增加,有利于减弱局部环境因素带来的影响,显然有利于削弱偶然误差影响;
5. 由于观测几何结构改善,有利于异常误差诊断,提高导航及授时结果的抗差性(或稳健性);
6. 由于北斗导航卫星系统实现了与其他卫星系统的兼容,于是有利于减弱信号有色噪声和系统误差影响;
7. 由于星座体系不同,可视卫星的增加,有利于提高可用性;
8. 由于各卫星导航系统的守时钟组不同,有利于发现单一系统的时间系统误差,有利于改善UTC的精度;
9. 由于卫星体系不同,有利于卫星轨道精度的校核,发现轨道系统误差,进而改善卫星轨道精度;
10. 由于各卫星导航系统地面跟踪站的分布及观测不同,有利于改善全球坐标系统的精度。

## 5 重要应用及面临的问题

### 5.1 北斗导航系统的重要应用

北斗卫星导航验证系统已在多个领域得到成功应用,并发挥了重要作用,包括:通信、水利、减灾、海事、海洋渔业、交通、勘探、森林防火等等。

其应用的显著特点是集定位、授时、短报文通信及用户监测于一体。

例如在森林防火系统中,北斗导航系统与温湿探测设备及地理信息系统进行有效集成,使森林防火系统具备火情报警、火场定位、火情分析、救火指挥、救火最佳路径设计、分队与指挥部的通信、分队之间的通信、救火分队自身救援申请、火灾损害评估等功能。解决森林中通信难、定位难、指挥难、救援难等问题。该系统已经在我国森林防火救灾中发挥了重要作用。在海洋渔业应用系统中,北斗导航系统不仅为渔民提供定位、导航和通信功能,而且也为渔民提供海洋天气、规避风险等信息服务。

自从北斗验证系统开通以来,北斗系统的应用范围迅速拓展,用户机生产规模不断扩大,北斗注册用户快速增长。

### 5.2 北斗导航系统面临的问题与挑战

北斗卫星导航系统由于起步较晚,国际国内卫星导航市场已基本被GPS和GLONASS占领,许多与卫星导航有关的先进设备进口相对困难,所以北斗卫星导航系统的发展也面临严峻的挑战。

#### 5.2.1 国际竞争

首先,北斗面临无线电频率资源的竞争,要实现北斗导航系统与其他卫星导航系统间的兼容与互操,首先面临频率资源短缺问题;其次,北斗坐标系统的最佳实现应该全球均匀建站,但是目前情况下很难实现;第三,卫星导航定位市场竞争也十分激烈GPS导航定位用户在国际市场上占有绝对垄断地位,在国内测绘、导航领域也占据主导地位,GPS时间系统也已在国内电力、通信、交通、金融、空间技术等领域广泛应用,要从现有GPS市场份额中占有一席之地十分困难。

#### 5.2.2 政策问题

北斗导航系统尚无健全的国家政策和标准。

为了掌握卫星导航的主导权,北斗卫星导航系统一方面需要构建独立自主的导航定位与时间系统,又要实现与其他卫星导航系统兼容与互操作,所以需要尽快制定较完备的卫星导航发展政策。

北斗导航系统的发展除要满足国防建设急需外,还应该促进国民经济建设的发展。但是若要实现北斗导航系统的良性发展,又必须鼓励国际竞争,反对垄断。没有竞争,北斗的整体技术就很难进步。任何的市场垄断都可能影响北斗导航系统的技术进步,都有可能葬送北斗导航事业。

与北斗导航系统建设与应用相关的管理政策也急需明确,多层次管理或不顺畅的管理都会影响北斗用户的拓展。

### 5.2.3 服务观念问题

中国的导航体制要求有主动服务观念。任何的被动服务或消极服务都会影响北斗应用范围的拓展,目前北斗市场占有率并不高,特别需要北斗导航服务管理部门增强主动服务观念,加大对北斗导航系统的宣传,加快北斗导航系统的建设步伐,提高北斗导航用户接收机的性能,减小体积,降低价格,从而迅速扩大北斗导航系统的用户群体。

### 5.2.4 技术问题

北斗卫星导航也面临激烈的技术竞争。卫星系统性能与稳定性需要提高;原子钟技术、接收机技术、信号调制与捕获技术等都有很大的发展空间;与北斗导航系统相关的坐标系统和时间系统还有改进的余地;北斗地面跟踪站相对偏少,几何结构不够合理;数据服务中心(类似于 IGS)几乎处于空白,相应的服务产品不够丰富。

## 6 结 论

北斗卫星导航定位系统是国家重要的基础设施,也是国际导航系统的重要组成部分,发展独立自主的卫星导航系统是国家的重大国策。北斗卫星导航系统集导航定位、授时、用户监测、短报文通信于一体,技术体制上有创新。北斗导航验证系统建成以来,已得到各类不同用户的广泛使用,性能稳定、使用方便,适于不同用户尤其是集团用户的应用,在我国国防建设、森林防火、抗震救灾、海洋渔业、交通、水利等行业已发挥了重要作用。

北斗扩展区域导航系统和全球导航系统预计分别在 2011 年和 2020 年左右建成,北斗全球卫星导航系统面临十分严峻的挑战,包括频率资源、

有效载荷、用户系统、市场占有率等。此外,北斗卫星导航系统政策法规和技术标准有待进一步完善,管理与服务观念有待进一步加强。但是可以预期,经过我国广大卫星导航科技工作者和用户的共同努力,北斗导航体系和应用技术都有望取得新的突破。

北斗全球导航系统建设将注重与其他卫星导航系统的兼容与互操作,无论是频率、坐标系统和时间系统都将尽量与国际现有技术标准一致,于是北斗导航系统一定是未来国际卫星导航领域的重要贡献者!

## 参考文献:

- [1] FENG Y, LI B. A Benefit of Multiple Carrier GNSS Signals: Regional Scale Network-based RTK with Doubled Inter-station Distances [J]. Spatial Science, 2008, 53(2): 135-147.
- [2] FENG Y, RIZOS C, HIGGINS M, et al. Developing Regional Precise Positioning Services Using the Current and Future GNSS Receivers [C] // Proceedings of Spatial Sciences Institute Biennial International Conference, Adelaide: [s. n.], 2009.
- [3] TAN Shusen. Engineering for Satellite Navigation Position [M]. Beijing: The National Defense Industry Press, 2007. (谭述森. 卫星导航定位工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.)
- [4] DANG Yamin, BI Jinzhong, CHENG Yingyan. Principles and Applications of Global Navigation Satellite System [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2007. (党亚民, 秘金钟, 成英燕. 全球导航卫星系统原理与应用 [M]. 北京: 测绘出版社, 2007.)
- [5] China Satellite Navigation Project Center. Compass/Beidou Navigation Satellite System Development [R]. Beijing: CNSNPC, 2009.
- [6] TAN Shusen. Theory and Application of Comprehensive RDSS Position and Report [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 38(1): 1-5. (谭述森. 广义卫星无线电定位报告原理及应用 [J]. 测绘学报, 2009, 38(1): 1-5.)
- [7] GRELLIER T, DANTEPAL J, DELATOUR A, et al. Initial Observations and Analysis of Compass MEO Satellite Signals [J]. Inside GNSS, 2007(5/7): 39-43.
- [8] FENG Y. GNSS Three Carrier Ambiguity Resolution Using Ionosphere-reduced Virtual Signals [J]. Journal of Geodesy, 2008, 82(12): 847-862.
- [9] CHEN Junyong. Necessity and Feasibility for A Geocentric 3D Coordinate System Employed in China [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2003, 32(4): 283-288. (陈俊勇. 关于中国采用地心 3 维坐标系统的探讨 [J]. 测绘学报, 2003, 32(4): 283-288.)
- [10] WEI Ziqing. National Geodetic Coordinate System: To

Next Generation[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(2): 138-143. (魏子卿. 我国大地坐标系的换代问题[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(2): 138-143.)

- [11] YANG Y. Chinese Geodetic Coordinate System 2000[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54: 2714-2721.
- [12] YANG Y, TANG Y, CHEN C, et al. Integrated Adjustment of Chinese 2000' GPS Control Network[J]. Survey Review, 2009, 41(313): 226-237.
- [13] LIM S, RIZOS C. A Conceptual Framework for Survey-Based GNSS Operations[J]. Journal of Global Positioning Systems, 2008, 7(2): 35-42.

(责任编辑: 张燕燕)

收稿日期: 2009-12-25

修回日期: 2009-12-29

第一作者简介: 杨元喜(1956—), 男, 中国科学院院士, 教授, 主要从事大地测量数据处理研究。

First author: YANG Yuanxi (1956—), male, academician of Chinese Academy of Sciences, professor, majors in geodetic data processing, integrated navigation, geodetic coordinate system and crustal deformation analysis.

## 中国科技期刊影响因子年报发布

中国知网中国学术期刊(光盘版)电子杂志社和中国科学文献计量评价研究中心于2009年底发布了《中国科技期刊影响因子年报》。该年报即为自2002年以来出版的《中国学术期刊综合引证报告》, 因为影响因子是动态、整体反映期刊科技创新影响力的核心指标, 中国科学文献计量评价研究中心决定将“综合引证报告”改名为《中国科技期刊影响因子年报》。其数据来源为“中国知网”所收录的超大样本引文统计源期刊。

以下为该年报中测绘学学科期刊影响因子统计数据。

### 测绘学学科期刊影响因子表(2009版)

学科分类号: P2

适用影响因子(IF)

刊名	影响因子	他引影响因子	总被引频次	08年学位论文引用频次	基金论文比
测绘学报	1.096	0.955	1277	1029	0.86
测绘科学	0.872	0.432	1183	832	0.52
大地测量与地球动力学	0.830	0.502	823	229	0.87
武汉大学学报(信息科学版)	0.679	0.587	1774	1010	0.96
地球信息科学	0.657	0.434	476	611	0.77
测绘通报	0.540	0.462	1390	1148	0.34
测绘科学技术学报	0.469	0.388	432	494	0.50
测绘信息与工程	0.452	0.289	437	461	0.40
测绘工程	0.436	0.395	386	367	0.39
测绘与空间地理信息	0.343	0.299	374	479	0.21
地理空间信息	0.330	0.251	264	305	0.35
全球定位系统	0.328	0.269	169	154	0.13
海洋测绘	0.298	0.257	270	250	0.25

研制单位: 中国知网(CNKI)中国学术期刊(光盘版)电子杂志社 中国科学文献计量评价研究中心

日期: 2009年12月21日