

对我国二代卫星导航系统覆盖范围 向北扩展星座方案的探讨*

刘根友¹⁾ 郝晓光¹⁾ 陈晓峰²⁾ 孙保琪¹⁾
彭碧波¹⁾ 周旭华¹⁾ 柳林涛¹⁾ 胡小刚¹⁾
(1)中国科学院测量与地球物理研究所,武汉 430077
(2)二炮装备研究院,北京 100085

摘要 继不久前提出我国二代卫星导航系统设计覆盖范围的“北扩问题”之后,对其星座方案进行了初步探讨,即在原方案的基础上,增加 4 颗 IGSO 星,将二代卫星导航系统的覆盖范围从北纬 55° 延伸至北纬 75°。

关键词 二代卫星导航系统 覆盖范围 向北扩展 星座方案 IGSO

中图分类号: P225.9; V249.3 **文献标识码**: A

ON CONSTELLATION SCHEME OF 2ND GENERATION OF CHINA SATELLITE NAVIGATION SYSTEM FOR NORTHWARD EXTENDING COVERAGE RANGE

Liu Genyou¹⁾, Hao Xiaoguang¹⁾, Chen Xiaofeng²⁾, Sun Baoqi¹⁾
Peng Bibo¹⁾, Zhou Xuhua¹⁾, Liu Lintao¹⁾ and Hu Xiaogang¹⁾

(1) Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan 430077
(2) Institute of Armament, Second Artillery of PLA, Beijing 100085

Abstract After putting forward the aim of northward extension of coverage range of 2nd generation of China satellite navigation system, the constellation scheme which is increasing 4 IGSO satellites, and making the coverage range from 55° N to 75° N is discussed.

Key words: 2nd Generation of China Satellite Navigation System, coverage range, northward extension, constellation scheme, IGSO

1 北扩问题的提出

2006 年 10 月,中国测绘学会大地测量专业委员会学术年会在西安召开,有关专家在会上作了题为

为“我国二代卫星导航系统个别问题探讨”的学术报告,介绍了我国二代卫星导航系统——北斗二代的有关情况。同时,中国科学院测量与地球物理研究所的科研人员在会上作了题为“《北半球版世

* 收稿日期: 2007-03-15

基金项目: 中国科学院百人计划项目

作者简介: 刘根友, 1967 年 1 月生, 博士, 副研究员, 主要从事空间定位技术的理论与应用研究。E-mail: liugy@asch.whigg.ac.cn
许其凤. 我国二代卫星导航系统个别问题探讨 [R]. 中国测绘学会大地测量专业委员会综合年会 (西安), 2006

界地图》的军事意义”的学术报告,提出了北斗二代设计覆盖范围的“北扩问题”。

“北扩问题”的基本含义是:二代卫星导航系统目前的设计覆盖范围往东越过国界向“太平洋方向”延伸达5000千米,但往北只到达我国最北端国界而没有向“北极方向”延伸,而“北极方向”对于我军战略武器具有重要意义^[1]。

北斗二代是局部卫星导航系统,覆盖“中国及周边地区”。实际上,即使将来要发展成为全球卫星导航系统,“中国及周边地区”也是非常重要的特殊地区,是我国卫星导航系统需要重点运行和维护的地区。

我国国土范围(含南沙)大约是东经 $75^{\circ}\sim 135^{\circ}$;北纬 $0^{\circ}\sim 55^{\circ}$;经度跨 60° ;纬度跨 55° ;经纬跨度比为 $60/55 \approx 1.1:1$ 。然而,北斗二代目前的设计覆盖范围经度方向跨度达 125° ;而纬度方向跨度仅为 55° ;经纬跨度比为 $125/55 \approx 2.3:1$;对“中国及周边地区”这个概念来说,北斗二代在“太平洋方向”考虑充分、在“北极方向”却显得不足。

从海洋方面考虑,“太平洋方向”是必要的,但是从陆地方面考虑,“北极方向”不容忽视。实际上,不仅是在陆地方面,北冰洋历来是美、俄核潜艇的必争之地,不久前俄罗斯的“库尔斯克号”核潜艇就沉没在北冰洋。我国建设北斗二代是为了战时当美国GPS系统对我国失效时用于我军战略武器的导航。所以,应将“北极方向”作为重要决策因素,将北斗二代的覆盖范围向北极方向扩展,以保证国防建设的基本需求。

2006年12月,关于“北扩问题”的专家研讨会在北京召开,与会专家认同研讨“北扩问题”的重要性和紧迫性,建议有关部门组织协同攻关,深入研究将二代卫星导航系统的覆盖范围向北方补充的必要性与可行性,为二代卫星导航系统的实施和发展做贡献。

2 导航卫星简介

卫星运动的基本力源为地球引力,卫星运动方程来源于万有引力定律,卫星无摄运动遵守开普勒定律,星座的设计主要考虑的是无摄力情况下的理想运动。开普勒第一定律表明卫星运行的轨道为一椭圆,椭圆的一个焦点与地球质心重合。考虑到地球自转运动的周期为24小时,导航卫星的轨道类型基本可以分为以下4种:

1)地球静止轨道卫星(GEO星):卫星轨道面与赤道面重合,运行周期为24小时,卫星在赤道上空静止,在地心惯性坐标系中轨道为圆轨道。GEO卫

星在区域导航服务方面具有明显优势,卫星利用率高,通讯卫星大多采用GEO卫星,因此地球静止卫星也广泛应用于全球导航系统的区域增强系统。但是由于地球静止轨道卫星都处于赤道面内,受导航定位所需几何构形的限制。布设地球静止轨道卫星的数量则取决于导航服务区域大小,但单用地球静止轨道卫星是不够的,还必须有相对于地球移动的高纬度卫星参与导航星座。

2)大椭圆轨道卫星:这是一种大偏心率轨道,其远地点在北半球本国高纬度上空,星下点轨迹移动缓慢,5日内可保持近10小时有效运行。一个轨道面内均匀分布3颗卫星,即可保持一个高纬度星位的连续存在。其近地点在南半球,停留时间很短,卫星高度很低,用户可见区域范围小,对用户的导航贡献小。另有一个远地点在地球背面,经度上远离服务区,本区域系统不能加以利用。另外,这种轨道的卫星高度变化剧烈,对信道设计很不利。

3)中高度圆轨道卫星(MEO星):周期为12小时,是经过GPS和GLONASS系统成功运行证明性能优良的全球星座轨道。分析计算证明,24颗倾角为 55° 的MEO卫星分布在3个轨道面内,可满足全球导航精度。这种单一由MEO卫星组成的星座必须布满全部24颗卫星才能有效地投入运行,如要满足民航可用性要求和精密近进,则必须增加地球静止轨道卫星(GEO)进行区域加强。

4)倾斜地球同步轨道卫星(IGSO星):24小时地球同步轨道,即所谓的大“8”字形轨道,中心位于赤道某设定的经度上,高度与地球静止轨道卫星相同,卫星星下点24小时轨迹在本服务区内南北来回运动,也是一种利用效率较高的区域星座,介于GEO和MEO之间。

3 增星方案探讨

我国二代卫星导航系统同时采用了地球静止轨道卫星(GEO星)和倾斜地球同步轨道卫星(IGSO星),采用IGSO能充分利用GEO的优点,同时克服了其高纬度区始终是低仰角的问题。IGSO具有与GEO相同的轨道高度,因此具有与地球自转周期相同的轨道周期,但由于轨道倾角大于 0° ;其星下点轨迹在地面就不是一个点,而是以赤道为对称轴的“8”字形,轨道倾角越大,“8”字形的区域也越大。确定一个星座的导航范围,最主要的参考因素是定位精度因子(PDOP)和卫星定轨的可实施性。PDOP

郝晓光. 北半球版世界地图的军事意义[R]. 中国测绘学会大地测量专业委员会综合年会(西安), 2006

值越小,卫星导航系统的定位精度越高。关于我国区域导航的星座设计,已有一些学者进行了探讨^[2-5],本文的主要出发点是基于现有二代星座设计改变不大,又同时满足向北延伸的需要,其途径是通过增加 IGSO 卫星的数量和轨道倾角来实现。尽管 IGSO 的备用卫星数量将有所增加^[6],但相对于我国将来发展的全球卫星导航系统而言,考虑更大覆盖范围的区域导航系统是一种折中的办法。

采用 STK 仿真软件进行模拟,得到图 1、图 2 和图 3。我国二代卫星导航系统设计方案的主体是 5GEO + 3 IGSO,图 1 是该星座 24 小时内的 PDOP 分布图,由图 1 可见,卫星轨道最北到达 55°N, PDOP < 3 的区域(图中蓝色区域)仅到达 26°N 处(我国福州一线)。

如果增加两颗 IGSO 卫星,并将卫星轨道延伸至 75°N,由图 2 可见,PDOP < 3 的区域能到达 46°N

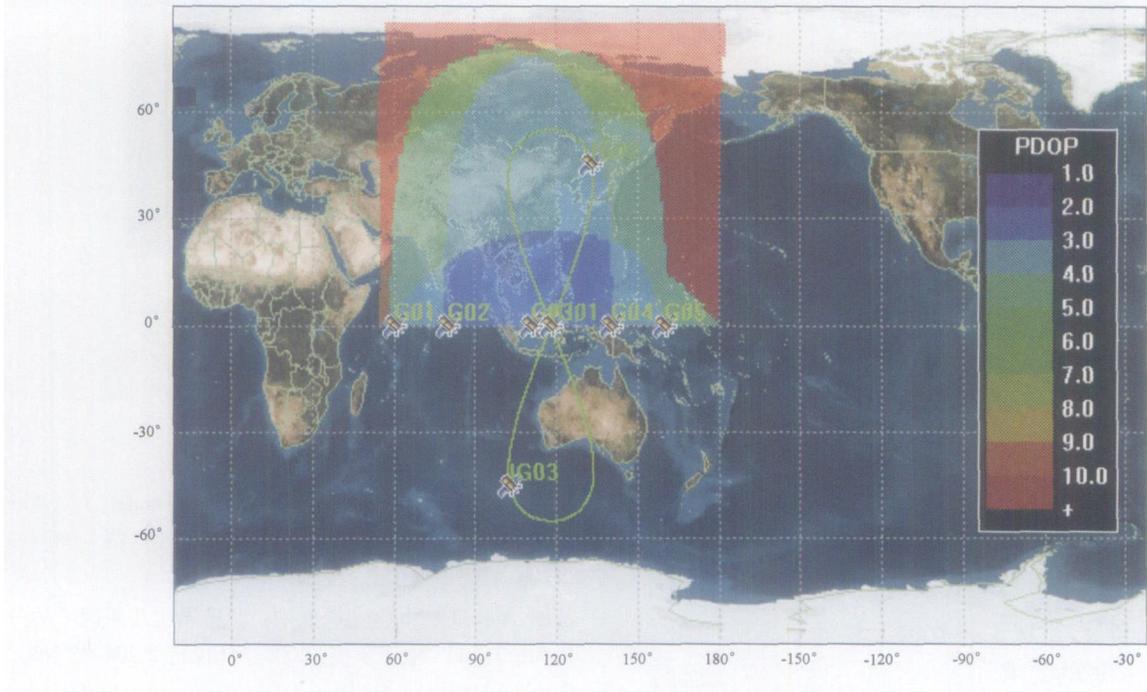


图 1 5GEO + 3 IGSO (原方案)
Fig 1 5GEO + 3 IGSO (original scheme)

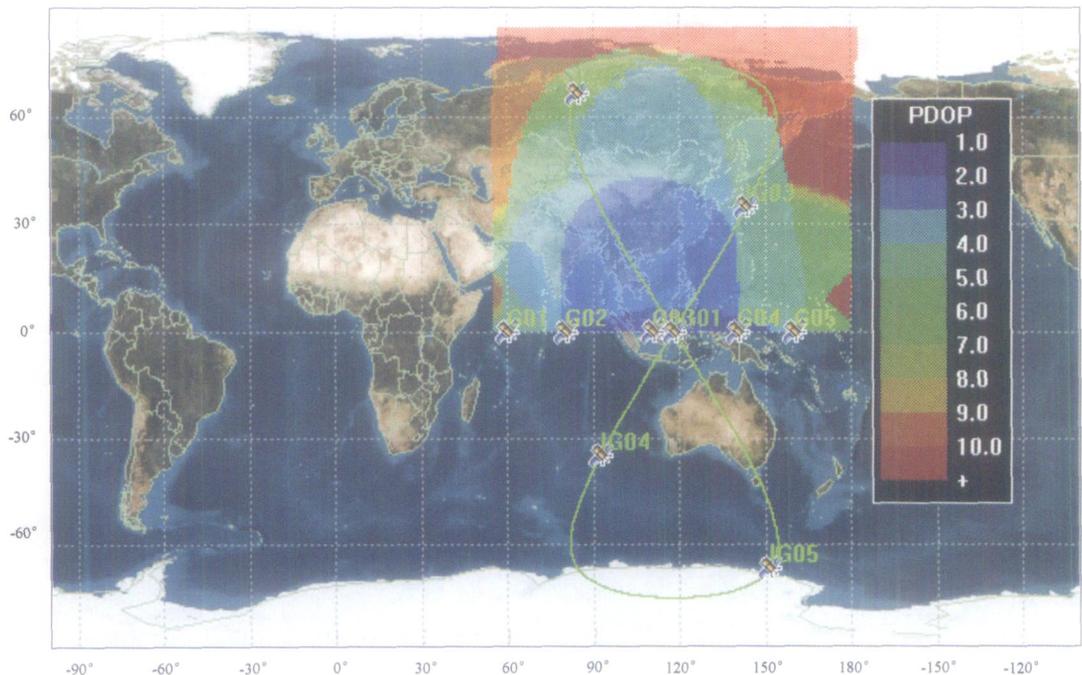


图 2 5GEO + 5 IGSO (比较方案)
Fig 2 5GEO + 5 IGSO (compared scheme)

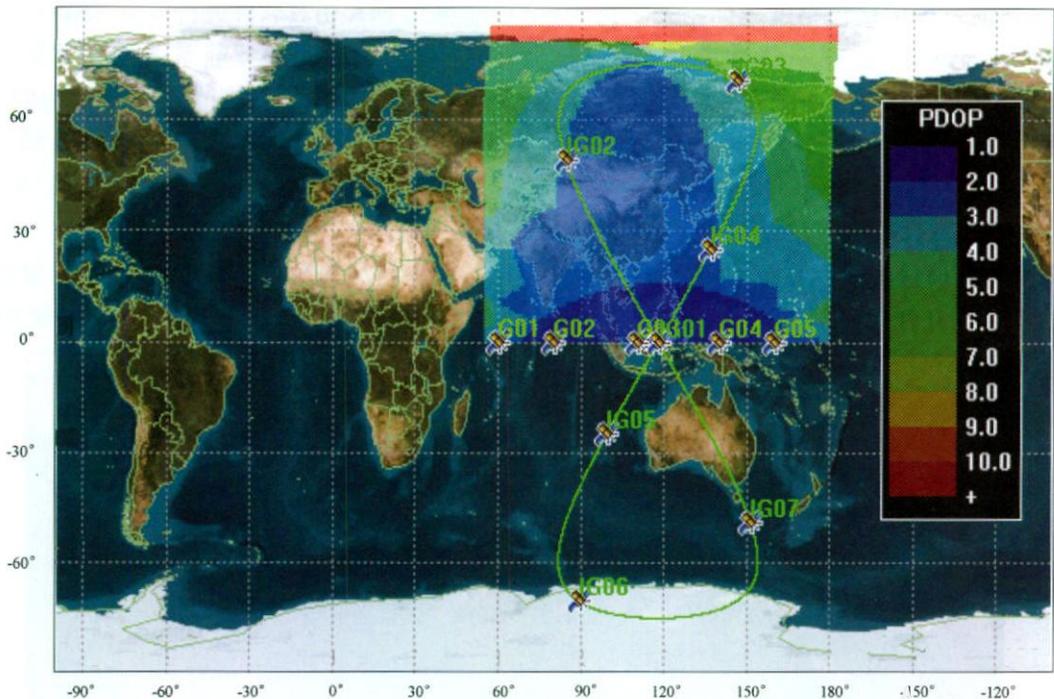


图 3 5GEO + 7 IGSO (北扩方案)

Fig 3 5GEO + 7 IGSO (scheme for northward extension)

处(我国沈阳一线)。如果增加 4 颗 IGSO 卫星,使得 IGSO 卫星数为 7 颗,轨道最北到达 75°N,由图 3 可见,PDOP < 3 的区域可到达 75°N 处,与卫星轨道所到达的区域吻合,实现了将我国卫星导航系统的覆盖范围向北扩展的要求。

4 结语

本文的模拟研究表明,如果将我国二代卫星导航系统的覆盖范围向北扩展,又综合考虑定轨方案和现有设计改动不大的情况下,采用 5GEO + 7 IGSO 星座是较为恰当的。在原方案的基础上增加 4 颗 IGSO 星,并将卫星轨道从 55°N 延伸至 75°N,使得覆盖范围 PDOP < 3 的地区由 26°N 一线延伸至 75°N 一线,以保证我国国防建设的基本需求。需要说明的是,本文只是在星座设计方面给出了初步设想,更为详细的方案还需要进一步加以论证。

References

- 1 郝晓光,等. 中国二代卫星导航系统设计覆盖范围的探讨 [J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(1): 119 ~ 122
- 1 Hao Xiaoguang, et al On designed coverage range of 2nd generation of China satellite navigation system [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27(1): 119 - 122 (in Chinese)
- 2 陆文庆, 潘成胜. 区域性覆盖的卫星轨道和星座设计 [J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(1): 73 ~ 78
- 2 Lu Wenqing and Pan Chengsheng Design of satellite orbits

& constellations for continuous partial coverage [J]. Fire Control and Command Control, 2007, 32(1): 73 - 78 (in Chinese)

- 3 丛丽, Ahmed I Abidat, 谈展中. 卫星导航几何因子的分析和仿真 [J]. 电子学报, 2006, 34(12): 2 204 - 2 208
- 3 Cong Li, Ahmed I Abidat and Tan Zhanzhong Analysis and simulation of the GDOP of satellite navigation [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12): 2 204 - 2 208 (in Chinese)
- 4 杜宇玲, 张学军, 张军. 一种新的中国区域导航系统星座方案的探讨 [J]. 计算机仿真, 2007, 24(2): 49 - 52
- 4 Du Yuling, Zhang Xuejun and Zhang Jun Research on a new constellation of regional satellite navigation system covering China [J]. Computer Simulation, 2007, 24(2): 49 - 52 (in Chinese)
- 5 邓长明, 等. 一种区域卫星定位系统的星座方案 [J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(5): 725 ~ 728
- 5 Deng Changming, et al Constellation of a regional satellite navigation system [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(5): 725 - 728 (in Chinese)
- 6 刘广军, 沈怀荣. 星座设计中的卫星备份策略与置信度研究 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(1): 67 ~ 70
- 6 Liu Guangjun and Shen Huairong Research on spare satellites strategy and confidence for the constellation design [J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2005, 16(1): 67 - 70. (in Chinese)