

横轴墨卡托海图的船舶极区航行方法

王海波¹, 张汉武², 郝勇帅³

(1. 海军大连舰艇学院 航海系, 辽宁 大连 116018; 2. 92403 部队, 福州 350007;

3. 海军大连舰艇学院 研究生管理大队, 辽宁 大连 116018)

摘要: 针对极区地理位置特殊而导致的中低纬度航行方法在极区不适用的问题, 提出了基于横轴墨卡托海图的极区航行方法, 该方法是将构造的伪经线作为航向参考基准、伪经纬度替代传统经纬度坐标直接用于极区船舶的定位定向, 将基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图作为极区海图, 这样伪恒向线和方位线在图上是一条直线, 根据横向惯性导航系统输出的伪经纬度以及伪航向等信息, 航海人员可以像在中低纬度地区的海图作业那样, 迅速地在海图上进行船舶的航迹推算与定位。

关键词: 极区航海; 横轴墨卡托海图; 航行方法; 探索

【中图分类号】P285

【文献标志码】A

【文章编号】1009-2307(2018)05-0149-06

DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2018.05.026

Exploration to a sailing for ships in polar regions based on transverse Mercator chart

Abstract: To solve the problem of navigation method in low latitudes not applicable to polar regions due to the special geographical position of polar regions, a sailing in polar regions based on transverse Mercator chart was proposed. And the sailing used false longitude as heading reference and replaced conventional longitude and latitude by false longitude and latitude to directly locate ships in polar regions. False graticules chart of transverse Mercator chart was used as polar chart. So, both false rhumb line and bearing line were straight line. Then, having obtained false heading, false longitude and latitude from transversal inertial navigation system, seaman are able to quickly do chart work on the chart and the method of the chart work is similar to the way of mid-low latitudes.

Keywords: polar navigation; transverse Mercator chart; sailing; exploration

WANG Haibo¹, ZHANG Hanwu², HAO Yongshuai³ (1. Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaohing 116018, China; 2. Troop 92403, Fuzhou 350007, China; 3. Administrative Division for Postgraduates, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaohing 116018, China)

0 引言

随着全球气候变暖, 北极海冰逐年减少, 按照国内外专家的预测, 在 2020 年以后, 西北航道海面上的冰块将减少到商船基本可以安全航行的程度。到 2050 年以后, 冰块基本消除的西北航道,

商船可以畅通无阻的航行。北极航线一旦通航, 便可成为北美洲、北欧和东北亚地区之间最快捷的通道^[1-4]。

然而, 北极航线通航所面临的极区航海导航问题也随之而来, 目前使用最广泛的海图为墨卡托海图, 墨卡托海图在中低纬度的投影精度非常高, 完全能够满足船舶航海导航的精度要求, 但由于墨卡托海图的投影机理, 导致其在两极附近的失真较大, 特别是进入极圈后, 这种海图在形状和面积上的失真是非常大的, 因此墨卡托投影无法在极地地区使用。心射切面投影海图不是正形海图使距离和面积难以表示, 在相同纬度处的变形不同, 无法直接在图上量取距离, 并且也不是等角投影, 难以在图上量取方向或夹角, 因此这种海图无法在极区航海作业中使用。兰勃特正



作者简介: 王海波(1970—), 男, 高级工程师, 硕士, 江西鄱阳人, 主要研究方向为舰船导航技术。

E-mail: hldwhb@163.com

收稿日期: 2016-11-27

形投影虽然在航空图中使用较为普遍,但这种投影海图中,两条标准纬线之间的区域被压缩,而两条标准纬线区域之外的区域被放大,且兰伯特正形投影采用角度代替经度来表示位置,当采用这种海图进行航海作业时,存在较大缺陷,即当舰艇驶过 180° 子午线时,航向角输出仍将保持剧烈增加,无法对舰艇的“突然转向”产生的方向改变和角度下降进行判断。极球面投影海图,大圆为轻微弯曲的弧线,这给海图作业中的距离测量造成困难。横向墨卡托海图中的子午线投影是曲线,这导致了海图作业中角度测量的困难^[5]。因此常用的海图和航海作业方法无法在极区使用。文献 [6] 对北极海区航行的基本方法进行了研究,提出了大圆航线航法以及基于高斯海图的推算航行方法,船舶的定位使用的位置信息是经纬度,使用的航向信息是格网航向,推算航行时,无法准确获得船舶的经纬度信息,方法上较为复杂。

为使极区海图作业方法能像中低纬度地区海图作业方法一样简单,本文基于近年来研究较为热门的横向惯导,提出了基于横轴墨卡托海图的极区航行方法。具体做法为:构建伪经纬线网,将伪经纬度与经纬度进行无误差转换,通过 Matlab 生成基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图,根据横向惯导系统指示的伪航向以及提供的伪经纬度信息,进行航迹推算以及定位研究。结果表明,基于横轴墨卡托海图的极区航行方法可以使航海人员极区海图作业的方法像中低纬度地区的海图作业方法那么简单。

1 基于横轴墨卡托海图的极区航行方法

1.1 基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图

横轴墨卡托投影属于椭圆柱投影,是正形投影,它的椭圆柱面和某一子午圈相切,相切的子午圈叫作中央子午线。横轴墨卡托海图上经纬线的特点为:中央子午线、赤道以及与中央子午线垂直的子午圈,均为一条直线,且中央子午线和与中央子午线垂直的子午圈仍垂直;其余的经纬线均为曲线,且随着距离中央子午线越远,弯曲变形也就越厉害^[5],如图 1 所示(中央子午线为 0° 和 180° 经线)。虽然横轴墨卡托投影性质是正形的,但是图上经纬线的弯曲变形使得恒向线在图上不再是一条直线,这就给航海人员进行海图作业带来了不便。

为使航海人员在极区航行时,可以直接在海

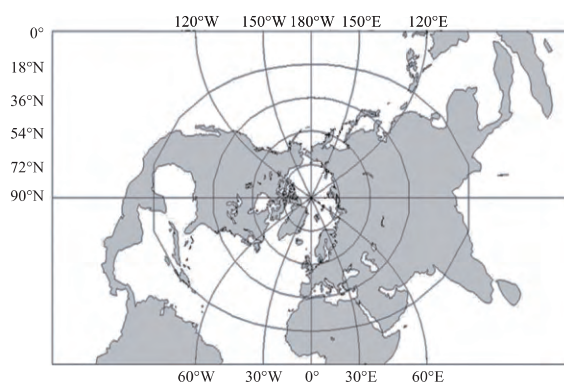


图 1 北半球横轴墨卡托海图

Fig 1 Transverse Mercator Chart of the North Hemisphere

图上用三角板画出恒向线航线与方位线,按照文献 [6] 中的方法,将 $[90^\circ\text{W}, 0^\circ]$ 、 $[90^\circ\text{E}, 0^\circ]$ 两点设置为新的南北极点(分别叫作伪南极点和伪北极点),构建如图 2 所示的伪经纬线网。图 2 中,坐标系 $O-x_e y_e z_e$ 表示地球坐标系,坐标系 $O-x_E y_E z_E$ 表示横向地球坐标系。定义伪地轴为通过伪南北极点的直线。在图 2 中,伪地轴与 z_E 轴重合。地球上通过伪南北极点的平面截地球椭球面所得的平面曲线称为“伪经线圈(伪子午圈)”;伪子午圈被伪南北极点分成的半圆称为“伪经线”,伪经线指示伪南北方向。与伪地轴垂直的平面截地球椭球面所得的椭圆称为“伪纬线圈(伪纬线)”,伪纬线指示伪东西方向。记船舶位置 P 为地球上任意一点,定义通过 P 点的伪子午面与伪本初子午面所成的二面角为伪经度,用 λ' 表示;定义地球伪子午圈上 P 点法线与地球伪赤道平面的夹角为伪纬度(伪地理纬度),用 L' 表示。定义地球表面 P 点和地心的连线与地球伪赤道平面的夹角为伪地心纬度,用 L'_c 表示。

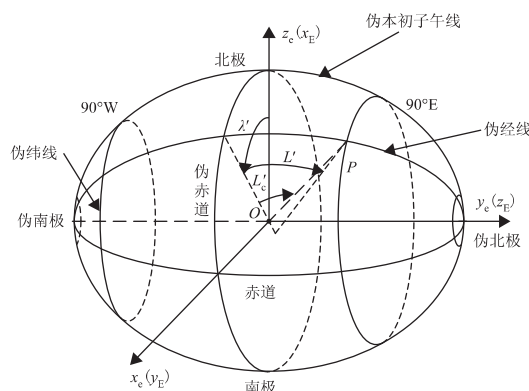


图 2 伪经纬线网

Fig 2 False Graticules

定义的伪经纬度与经纬度转换关系如式(1)和式(2)。

$$\left. \begin{aligned} \lambda' &= \arctan \frac{\cos \lambda}{(1-f)^2 \tan L} \\ L' &= \arctan \frac{\left\{ \frac{(1-f)^6 \tan^2 L}{\cos^2 \lambda + (1-f)^4 \tan^2 L} + \cos^2 \left[\arcsin \frac{(1-f)^2 \tan L}{\sqrt{\cos^2 \lambda + (1-f)^4 \tan^2 L}} \right] \right\} \sin \lambda}{\sqrt{\cos^2 \lambda + (1-f)^4 \tan^2 L}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \arctan \frac{\tan L'}{\left\{ (1-f)^2 \cos^2 \lambda' + \cos^2 [\arcsin(\cos \lambda')] \right\} \sin \lambda'} \\ L &= \arctan \frac{\left\{ (1-f)^2 \cos^2 \lambda' + \cos^2 [\arcsin(\cos \lambda')] \right\} \cos \lambda'}{(1-f)^2 \sqrt{\left\{ (1-f)^2 \cos^2 \lambda' + \cos^2 [\arcsin(\cos \lambda')] \right\} \sin \lambda' + \tan L'}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

通过式(2)使用 Matlab 地图工具箱得到北半球基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图(如图 3 所示), 图中 E'、W'、S'、N'分别称作伪东、伪西、伪南、伪北。

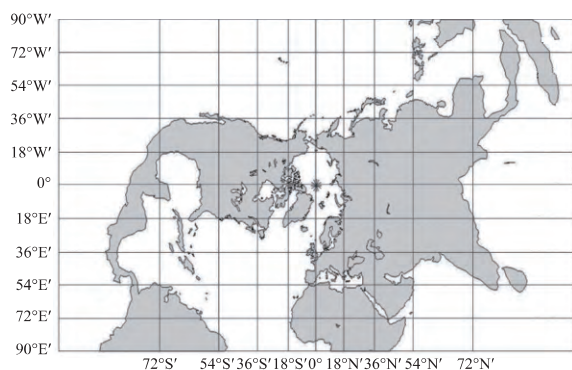


图 3 基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图

Fig 3 Transverse Mercator Chart Based on False Graticules

分析图 3, 可知基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图具有与墨卡托海图相似的特点, 为: ①伪经线与伪纬线都是各自平行的直线, 且伪经线与伪纬线相互垂直; ②伪恒向线在图上是一条直线; ③投影的性质是正形的; ④伪纬度渐长, 即在伪经纬线网图上同一伪纬度处的比例尺相等, 不同的伪纬度处比例尺不同。基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图的特点, 可以极大地方便航海人员根据伪经纬度以及伪航向信息进行海图作业。

构建的伪经纬线网在高纬度地区可视为矩形, 表 1 给出了比较多个伪经纬线网格后的误差, 这些伪经纬线网格是在几个不同纬度条件下分别改变伪纬度和伪经度 1°的情况下得到的^[7-9]。

航海上, 习惯将北极点到北纬 70°之间的区域称为北极地区^[5]。经计算, 北极地区在 [20W', 20S']、[20W', 20N']、[20E', 20N']、[20E', 20S'] 4 点的连线区域内。北极地区在图 3 上属于低伪纬度地区, 变形失真小^[9]。故基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图作为极区海图使用时, 将能保障船舶的航行安全。

表 1 伪经纬线网格的误差

Tah 1 Grid Error of False Graticules

| 序号 | 伪纬度/(°) | 伪经度间隔 1° 的距离/nmile | 误差百分比/(%) |
|----|---------|-----------------------|-----------|
| 1 | 0 | 60.043 | 0.02 |
| | 1 | 60.034 | |
| 2 | 4 | 59.897 | 0.14 |
| | 5 | 59.815 | |
| 3 | 9 | 59.304 | 0.29 |
| | 10 | 59.131 | |
| 4 | 14 | 58.260 | 0.45 |
| | 15 | 57.997 | |
| 5 | 19 | 56.772 | 0.62 |
| | 20 | 56.422 | |

1.2 横向惯性导航系统

横向惯性导航系统是可全天候、全时间工作的自主式导航系统, 在本质上仍是惯性导航系统, 是以牛顿经典力学定律为基础, 通过加速度计和陀螺的输出提供用于跟踪、定位载体相对于已知点的方向和速度^[8]。它与传统惯导的区别在于机械编排上。它所采用的导航坐标系为横向地理坐标系, 输出的导航信息为伪导航信息, 包括伪姿态、伪速度 v' 和伪位置 P' 等, 可以为极区航海人员提供可靠的导航参数。

横向惯性导航系统可以克服由于地理经线收敛于极点而导致的传统惯性导航机械编排方案在极区无法定位、定位的难题, 可以满足极区导航的要求^[10-15], 近年来国内的研究较热。

2 基于横轴墨卡托海图的极区航行方法

船舶在极区航行时, 航海人员应随时掌握船舶的位置, 并了解船舶周围的航行条件, 及时采取适当并且有效的航行方法和必要的航行措施, 才能保证船舶的航行安全。那么, 船舶

在极区确定船位的方法可以分为两类：航迹推算和定位。

2.1 基础知识

航海上，经常遇到两种方向，即船舶航行方向和物标方位。船舶极区航行时，航海人员除了要随时掌握船舶的位置，还应该了解船舶航行的方向（伪航向 C' ）和物标方向（伪方位 B' ）。将伪北定为基准方向（记作伪真北），那么依据基准伪北所确定的船舶的航行方向就叫作伪航向 C' （从伪真北顺时针度量到航向线的角度值），依据基准伪北所确定的物标水平方向就叫作伪方位 B' 。

船舶的位置在极区海图上用伪经纬度 λ', L' 表示。直接从横向惯性导航系统获取的伪经纬度是绝对位置。

极区海图上度量距离的长度单位仍为海里。表 1 给出了极区内的伪经纬度网格的误差，从该误差来看，高纬度地区的伪经纬度网格误差最大为 0.62%，误差较小；也就是说，在极区海图上度量距离的长度单位仍使用海里是合适的。

航速是单位时间内的航程，其单位为节。通过横向惯性导航系统获取的航速是由伪北向速度和伪东向速度合成所得，是绝对速度。

极区航海时，航海人员应像在中低纬度地区一样，事先在横轴墨卡托投影伪经纬度网图上拟定航线，这条事先拟定的航线称为计划航线，是船舶即将航行的计划航迹。与中低纬度航海不同的是，计划航线的前进方向叫作伪计划航向，由伪北线起按顺时针方向度量到计划航线，用 CA' 来表示。

未说明的航海术语以及单位与现有的相同。

2.2 极区航迹推算

航迹推算是根据船舶上最基本的航海仪器（这里指平台罗经和计程仪）所指示的伪航向 C' 和航程 s ，结合航行海域的风流要素，不借助外界的航标或者物标，从某一确定的船位起，推算出具有一定精度的航迹和某一时刻船位的方法。航迹推算包括航迹绘算和航迹计算两种方法。

极区海域虽然有较多的自然陆标，但是辨识和识别困难，故使用陆标定位在极区来确定船位是十分困难的；极区属于高纬度地区，晨光昏影时间长，大气折射异常，使用天文定位在极区来确定船位也是比较困难的；极区电离层活动剧烈，无线电定位经度受到影响。那么，当横向惯性导航系统提供的位置误差较大时，航迹推算将

成为极区航海确定船位最基本的方法。此外，航迹推算还可以校验横向惯性导航系统工作的可靠性。

舰艇在极区航行时，惯性导航系统和平台罗经切换至极区模式，假设使用基于伪经纬度网的横轴墨卡托海图。当舰艇伪航向 C' 恒定时，其航线在基于伪经纬度网的横轴墨卡托海图上是条直线。

为简单说明，以下是不计风流影响且航速恒定时的航迹绘算。如图 4 所示，在海图上，由推算起点标绘计划航线，在其上以航速推算出的从推算起点到某一时刻时间间隔内的航程来截取一点为推算终点，该点即为不计风流影响的推算船位。

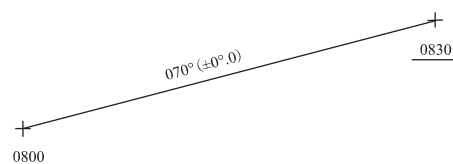


图 4 不计风流的航迹绘算

Fig 4 Track Plotting of Ignoring Wind Current

极区航迹计算是根据计算起点的伪经纬度、伪航向和航程，利用数学公式计算出到达点，推算舰位伪经纬度的方法。在中低纬度地区，墨卡托航法是精确的航迹计算法，它是利用墨卡托投影具有正形及恒向线为直线的特点而得出的经差计算法。基于伪经纬度网的横轴墨卡托海图具有和墨卡托海图类似的特点，那么相应的，基于伪经纬度网的横轴墨卡托海图也具有类似于墨卡托航法的航法，本文称之为横轴墨卡托航法。

横轴墨卡托航法可以用计算法解决，也可以在基于伪经纬度网的横轴墨卡托海图上用图解法解决，如图 5 所示，这里将 AB 与伪纬线 BC 、伪经线 AC 组成的平面直角三角形称为伪恒向线三角形。

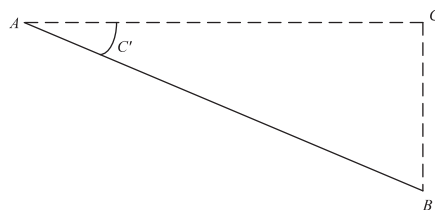


图 5 横轴墨卡托航法

Fig 5 Transverse Mercator Sailing

从图 5 可得式(3)~式(5)。

$$AC = AB \cdot \cos C' \quad (3)$$

$$BC = AB \cdot \sin C' \quad (4)$$

$$\tan C' = \frac{BC}{AC} \quad (5)$$

在基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图上的伪恒向线三角形中, AC 以海里(伪纬度 $1'$ 的长度)为单位时, 表示起点 A 与到达点 B 之间的伪纬差 $D\varphi'$, 而 AB 则表示航程 s , 单位也为 nmile。于是可得式(6)。

$$D\varphi' = s \cdot \cos C' \quad (6)$$

同理, 在基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图上的伪恒向线三角形中, AC 以图上伪经度 $1'$ 的长度(伪赤道上伪经度 $1'$ 的弧长)为单位时, 表示起点 A 与到达点 B 之间的伪纬度渐长率差 DMP' , 而 BC 则表示伪经差 $D\lambda'$, 单位也为图上伪经度 $1'$ 的长度, 可得式(7)。

$$\tan C' = \frac{D\lambda'}{DMP'} \quad (7)$$

$$D\lambda' = DMP' \cdot \tan C'$$

假设已知起始点 A 的伪经纬度 $[\lambda'_1 \ \varphi'_1]$ 以及伪恒向线航向 C' 、航程 s , 利用式(6)可以迅速地求出伪纬差 $D\varphi'$, 进而求出到达点 B 的伪纬度, 见式(8)。

$$\varphi'_2 = \varphi'_1 + D\varphi' \quad (8)$$

在求伪经差 $D\lambda'$ 时, 要用到起点 A 与到达点 B 之间的伪纬度渐长率差 DMP' , 见式(9)。

$$DMP' = MP'(\varphi'_2) - MP'(\varphi'_1) \quad (9)$$

式中: MP' 表示伪纬度渐长率的计算公式。

当将地球视为圆球体时, 可用类似于推导纬度渐长率公式的方法推导出伪纬度渐长率计算公式, 见式(10)。

$$MP'(\varphi') = 7\,915.704\,471 \lg \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) \right] \quad (10)$$

联立式(6)~式(10), 可以求出伪经差 $D\lambda'$, 根据式(11)可以求出到达点 B 的伪经度 λ'_2 。

$$\lambda'_2 = \lambda'_1 + D\lambda' \quad (11)$$

要说明的是, 虽然当伪航向为 90° 或 270° 时, 因 $\tan C'$ 变得不确定, 致使横轴墨卡托航法不再适用, 但是伪经差的计算比较简单。

2.3 极区船舶定位

在基于横向地球坐标的惯性导航系统提供的伪经纬度精度较高时, 与基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图结合使用的基于横向地球坐标的惯性导航系统, 可以直接以伪经纬度的形式输出船舶

的位置信息, 航海人员只需要根据获取的伪经纬度信息, 在基于伪经纬线网的横轴墨卡托海图上像在中低纬度地区一样, 用三角板等工具直接量出船舶的位置, 便可实现极区船舶定位。

3 结束语

针对极区地理位置特殊而导致的中低纬度航行方法在极区不适用的问题, 本文提出了基于横轴墨卡托海图的极区航行方法, 该方法将横轴墨卡托投影伪经纬线网图作为极区海图, 这样的恒向线在图上是一条直线, 便于航海人员操纵船舶和海图作业。航海人员从横向惯性导航系统获取的伪航向、伪速度和伪经纬度等伪导航信息可以直接在图上量取而不需要转换, 可以极大地方便航海人员进行极区海图作业。

参考文献

- [1] 张晓, 赵庆爱. 对我国商船首航北极东北航道的回顾与展望[J]. 中国航海, 2015, 38(1): 102-107. (ZHANG Xiao, ZHAO Qingai. Review of maiden voyage of Chinese commercial ship through arctic northeast route and prospect for utilization of this route[J]. Navigation of China, 2015, 38(1): 102-107.)
- [2] 吴刚, 张东江. 极地战略船舶先行[J]. 船舶, 2014(6): 1-8. (WU Gang, ZHANG Dongjiang. Polar strategy ship first[J]. Ship & Boat, 2014(6): 1-8.)
- [3] 白春江, 李志华, 杨佐昌. 北极航线探讨[J]. 航海技术, 2009(5): 7-9. (BAI Chunjiang, LI Zhihua, YANG Zuochang. Research of arctic sea routes[J]. Marine Technology, 2009(5): 7-9.)
- [4] 童翠龙, 庞博. 驶向北极[J]. 中国海事, 2014(9): 6-8. (TONG Cuilong, PANG Bo. Navigate to the Arctic[J]. China Maritime Safety, 2014(9): 6-8.)
- [5] 唐正平, 王条, 甘忠林. 舰船在北极海区有关航法及定位问题探究[J]. 航海技术, 2012(1): 7-10. (TANG Zhengping, WANG Tiao, GAN Zhonglin. Research on ship sailing and fixing in the arctic sea area[J]. Marine Technology, 2012(1): 7-10.)
- [6] 郭禹, 张吉平, 戴冉. 航海学[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2014. (GUO Yu, ZHANG Jiping, DAI Ran. Nautical navigation[M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2014.)
- [7] FOX W A W. Transverse navigation—an alternative to the grid system[J]. Journal of Navigation, 1949, 2(1): 25-35.
- [8] GREENAWAY K R, GATES M D. Polar air navigation—a record[M]. Canada: Art Bookbindery, 2009.

- [9] 王海波,张汉武,张萍萍,等.一种适用于高纬度船舶导航的横向地球坐标系[J].海洋测绘,2016,36(3):25-28.(WANG Haibo,ZHANG Hanwu,ZHANG Pingping,et al. A transverse earth coordinate system applied to ship navigation of high latitudes[J]. Hydrographic Surveying and Charting,2016,36(3):25-28.)
- [10] 张汉武,王海波,张萍萍.基于横向地球坐标系的极区惯导机械编排研究[J].舰船电子工程,2016,36(8):68-71,122.(ZHANG Hanwu,WANG Haibo,ZHANG Pingping. Polar INS mechanization based on transverse terrestrial coordinate system[J]. Ship Electronic Engineering,2016,36(8):68-71,122.)
- [11] WOODMAN O J. An introduction to inertial navigation[R]. Cambridge: the University of Cambridge, 2007.
- [12] 李倩,孙枫,奔粤阳,等.横坐标系捷联惯导系统极区导航及阻尼设计[J].系统工程与电子技术,2014,36(12):2496-2503.(LI Qian,SUN Feng,BEN Yueyang,et al. Transversal strap down INS and damping design in polar region[J]. Systems Engineering and Electronics,2014,36(12):2496-2503.)
- [13] 徐晓苏,豆嫚.基于横向地理坐标系的极区惯性导航方法研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2014,42(12):116-121.(XU Xiaosu,DOU Man. Inertial navigation algorithm in polar regions based on transverse geographic coordinate system[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition),2014,42(12):116-121.)
- [14] 刘文超,卞鸿巍,王荣颖,等.惯导系统横向坐标法导航性能研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2015,40(11):1520-1525.(LIU Wenchao, BIAN Hongwei, WANG Rongying, et al. Navigation performance of SINS transverse coordinate method[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(11):1520-1525.)
- [15] CORE D G,NASCRO V. A world-wide mechanization in inertial navigation systems[J]. Journal of Navigation,1986,39(3):441-445.

(责任编辑:邓国臣)

(上接第 132 页)

- [11] 李博峰,沈云中,冯延明.利用三频 GNSS 进行长距离实时精密导航[J].武汉大学学报(信息科学版),2009,34(7):782-786.(LI Bofeng,SHEN Yunzhong,FENG Yanming. Long-range and real-time precise navigation using GNSS triple-frequency observations[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2009,34(7):782-786.)
- [12] 王伟亮,高成发,潘树国.利用改进的相位平滑伪距公式求解网络 RTK 宽巷模糊度方法研究[J].测绘通报,2012(4):41-43.(WANG Weiliang,GAO Chengfa,PAN Shuguo. A method of network RTK wide-lane ambiguity resolution with modified formula for carrier phase smoothing pseudorange[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2012(4):41-43.)
- [13] 潘树国,高旺,高成发.一种 BDS 和 GPS 观测信息融合
- 的宽巷模糊度解算方法:CN201510290260.1[P].2015-12-16.(PAN Shuguo,GAO Wang,GAO Chengfa. A method of wide-lane ambiguity resolution using fusion information of BDS/GPS observations:CN201510290260.1[P].2015-12-16.)
- [14] 杨新文,王燕.北斗三频消电离层伪距差分定位及其精度分析[J].测绘通报,2016(7):70-72.(YANG Xinwen,WANG Yan. Differential positioning and precision analysis using IF of BDS triple-frequency pseudorange observations[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2016(7):70-72.)
- [15] FENG Y. GNSS three carrier ambiguity resolution using ionosphere-reduced virtual signals[J]. Journal of Geodesy,2008,82(12):847-862.

(责任编辑:邓国臣)