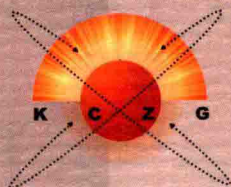




上海出版基金项目
Shanghai Publishing Funds

“科创之光”书系 (第一辑)



北斗导航 定位精准时空

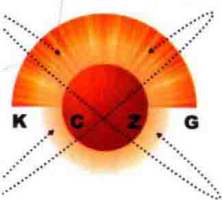
上海科学院 上海产业技术研究院 组编
曹 冲 荆 帅 主编

上海科学普及出版社



上海出版基金项目
Shanghai Publishing Funds

“科创之光”书系 (第一辑)



北斗导航 定位精准时空

上海科学院 上海产业技术研究院 组编
曹 冲 荆 帅 主编

上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

北斗导航:定位精准时空/曹冲,荆帅主编.—上海:
上海科学普及出版社,2018.1
(科创之光书系.第一辑/上海科学院,上海产业技术研究院组编)
ISBN 978-7-5427-7119-3

I. ①北… II. ①曹… ②荆… III. ①卫星导
航—全球定位系统—中国 IV. ①P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第318225号

书系策划 张建德
责任编辑 林晓峰
美术编辑 赵斌
技术编辑 葛乃文
插图 苗驰

“科创之光”书系(第一辑)

北斗导航
——定位精准时空

上海科学院 上海产业技术研究院 组编
曹冲 荆帅 主编
上海科学普及出版社出版发行
(上海中山北路832号 邮政编码200070)

<http://www.pspsh.com>

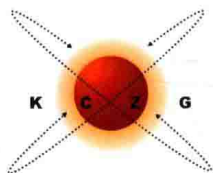
各地新华书店经销 苏州越洋印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 160 000

2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5427-7119-3 定价:48.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题
请向出版社联系调换



序

“苟日新，日日新，又日新。”这一简洁隽永的古语，展现了中华民族创新思想的源泉和精髓，揭示了中华民族不断追求创新的精神内涵，历久弥新。

站在 21 世纪新起点上的上海，肩负着深化改革、攻坚克难、不断推进社会主义现代化国际大都市建设的历史重任，承担着“加快向具有全球影响力的科技创新中心进军”的艰巨任务，比任何时候都需要创新尤其是科技创新的支撑。上海“十三五”规划纲要提出，到 2020 年，基本形成符合创新规律的制度环境，基本形成科技创新中心的支撑体系，基本形成“大众创业、万众创新”的发展格局。从而让“海纳百川、追求卓越、开明睿智、大气谦和”的城市精神得到全面弘扬；让尊重知识、崇尚科学、勇于创新的社会风尚进一步发扬光大。

2016 年 5 月 30 日，习近平总书记在“科技三会”上的讲话指出：“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。没有全民科学素质普遍提高，就难以建立起宏大的高素质创新大军，难以实现科技成果快速转化。”习近平总书记的重要讲话精神对于推动我国科学普及

事业的发展，意义十分重大。培养大众的创新意识，让科技创新的理念根植人心，普遍提高公众的科学素养，特别是培养和提高青少年科学素养，尤为重要。当前，科学技术发展日新月异，业已渗透到经济社会发展的各个领域，成为引领经济社会发展的强大引擎。同时，它又与人们的生活息息相关，极大地影响和改变着我们的生活和工作方式，体现出强烈的时代性特征。传播普及科学思想和最新科技成果是我们每一个科技人义不容辞的责任。《“科创之光”书系》的创意由此而萌发。

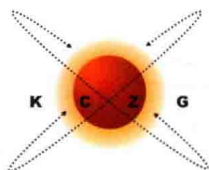
《“科创之光”书系》由上海科学院、上海产业技术研究院组织相关领域的专家学者组成作者队伍编写而成。本书系选取具有中国乃至国际最新和热点的科技项目与最新研究成果，以国际科技发展的视野，阐述相关技术、学科或项目的历史起源、发展现状和未来展望。书系注重科技前瞻性，文字内容突出科普性，以图文并茂的形式将深奥的最新科技创新成果浅显易懂地介绍给广大读者特别是青少年，引导和培养他们爱科学和探索科技新知识的兴趣，彰显科技创新给人类带来的福祉，为所有愿意探究、立志创新的读者提供有益的帮助。

愿“科创之光”照亮每一个热爱科学的人，砥砺他们奋勇攀登科学的高峰！

上海科学院院长、上海产业技术研究院院长

钮晓鸣





前言

北斗卫星导航系统（简称北斗系统，英文缩写为 BDS）作为我国自主设计和建设的重要空间信息基础设施，是国家经济安全、国防安全、国土安全和公共安全的重大技术支撑系统和战略威慑基础资源，也是建设和谐社会、服务人民大众、提高人们生活质量的重要工具。由于其广泛的产业关联度和与通信产业的融合度，能有效地渗透到国民经济诸多领域和人们的日常生活中，成为高技术、高成长产业的助推器，成为继移动通信和互联网之后的全球第三个发展得最快的电子信息产业的经济新增长点。

北斗卫星导航系统和其他全球卫星导航系统（GNSS 系统）的发展趋势显示，GNSS 行业当前正经历前所未有的转变：

（1）从以卫星导航为应用主体转变为 PNT（定位、导航、授时）与移动通信和互联网等信息载体融合的新时期，将开创信息融合化和产业一体化，以及智能化应用的新阶段。

（2）从提供终端应用产品为主逐步转变为以运营服务为主的新局面，开创应用大众化和服务产业化，以及智能信息服务的新阶段。

（3）从以传统的单纯依赖 GNSS 的室外导航定位为主，转变

为以高精度定位、导航、授时为基础的新时空服务体系，这将开启以卫星导航为基石的多手段融合、天地一体化、服务泛在化智能化的位置信息智能服务新阶段。

本书首先介绍了导航术的发展历史和卫星导航的基本原理，其次对北斗卫星导航系统的发展状况进行了说明，然后围绕应用领域分别从 LBS（基于位置的服务）及消费娱乐应用、目标跟踪与人员监控、环境监控与公共安全、测绘应用、农业应用、军事应用、地面交通应用、民用航空应用八个方面介绍了 GNSS 的应用和前景，最后系统总结了北斗卫星导航系统的建设和发展对我国经济社会发展所具有的战略意义及价值，并为后续推广北斗应用给出一些建议。

由于 GPS 发展在先，许多导航和定位相关应用具有“先入为主”的优势，所以本书在介绍和阐述一些概念、原理和应用案例时没有详细区分 GPS 和北斗，而是以 GNSS 代指。请读者留意！

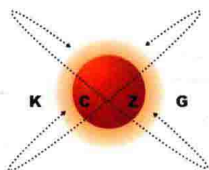
本书在编著过程中获得了若干北斗产业应用相关人士的支持和帮助，他们的观点成为本书核心思想的依托。在此向他们表示感谢，同时更加感谢他们为我国北斗卫星导航系统的建设、正常运行和壮大完善所作出的卓越贡献。

作为一个新兴的、蓬勃向上的产业方向，北斗的应用与技术演进日新月异，新概念、新体系、新框架、新设计、新产品、新路线、新策略、新态势不断涌现，这给我们全面把握北斗产业发展趋势和侧重点带来一定的困难，所以编写过程中难免会出现一些纰漏，还望读者不吝赐教，悉心指正。对此我们先行表示感谢！

编 者

2017 年 6 月





目 录

卫星导航概述 / 1

导航到底是什么 / 2

人类导航历史 / 4

卫星导航的作用 / 11

卫星导航基本原理 / 13

全球都有哪些卫星导航系统 / 17

北斗导航系统 / 23

我国的卫星导航之路 / 24

北斗导航系统的工作原理 / 26

北斗导航系统的与众不同 / 27

LBS 及消费娱乐应用 / 33

LBS 概况 / 34

LBS 系统及其组成 / 35

LBS 的特点 / 36

LBS 与我们的生活 / 37

LBS 与营销推广 / 39

LBS 的发展前景 / 41

卫星导航在消费娱乐应用中的好处 / 43



目标追踪与人员监控 / 49

GNSS 车辆跟踪管理系统 / 50

GNSS 人员监控管理系统 / 54

环境监控与公共安全 / 59

GNSS 在环保领域的新角色 / 60

GNSS 在公共安全领域的应用 / 63

测绘应用 / 73

精密单点定位 (PPP) / 74

实时动态差分 (RTK) / 78

网络 RTK / 81

地理信息系统 (GIS) / 88

农业应用 / 95

北斗实现农机的管理和调度 / 96

“自动驾驶导航”在农机上变成现实 / 100

利用北斗卫星导航系统提高农药喷洒效率 / 105

北斗助力“精准农业” / 108

军事应用 / 113

GNSS 的军事用途 / 114

GNSS 在军用领域的局限性 / 119

北斗系统的军事用途猜想 / 119

地面交通应用 / 123

国内市场总体情况 / 124

特种车辆应用 / 125

公共交通运营应用 / 127

物流运输应用 / 130
铁路运输应用 / 132
智能驾驶 / 134
物联网 / 136
智能交通系统 (ITS) / 138

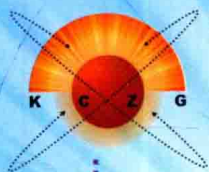
民用航空应用 / 143

导航系统在民用航空中的作用 / 144
国内外市场情况 / 148
北斗系统与航空运输 / 149
民航 GNSS 完好性问题 / 152

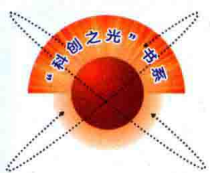
北斗对我国经济和国防的重要意义 / 161

GPS 现代化进程给我们以启迪 / 162
我国为什么要自建北斗系统 / 163
我国北斗系统的“三步走”战略 / 165
北斗对我国经济安全的意义 / 167
北斗时空服务 / 168
北斗成为我国“一带一路”的一张名片 / 171

参考文献 / 176



● 卫星导航概述



“风浪永远站在最出色的领航员一边。”

——爱德华·吉本（英国历史学家）

一句话就道出了导航的重要性，那么导航究竟在人类社会生活中扮演什么样的角色呢？导航又是如何助推人类文明进程，并在此过程中实现自身的技术变革的呢？

导航到底是什么

导航术最早是指找到安全穿过整个大洋的方法的技术。早期的船只很少离开海岸线，所以当时的导航术非常简单，因而人类可以去的地方受到了极大的限制，也使船舶容易被直接吹向海岸，或者因为强风而撞到暗礁。对于一个帆船（无蒸汽机）的船长来说，没有什么比直接被强风吹向附近的海岸更可怕了。



“导航（Navigation）”一词最早来源于航海领域

在卫星、无线电和雷达出现之前，海上的船只可以通过在航海图上标注作业跟踪其位置来进行导航，这也被称作“航位推算法（Dead Reaoning, DR）”——通过船只的移动速度和其移动方向推算出船只的位置。但是，在海上，经过几个星期的积累，在速度和方向上的最微小的误差都可以累积为重大偏差。如果一个人在太平洋中间，缺乏淡水，并且1 000 km范围之内只有一个小岛能够提供淡水，那么一个航位推算的错误很容易导致一个非常不幸的结局。

船长也可以通过天空来帮助导航。如果是晴天，船长根据目测加上拥有的仪器测量可确定太阳到达天顶的精确时刻。如果他同时也有一个精确时钟并且设置了正确的时间，那么他就可以利用这些信息来确定他所处的精确经度（从通过英国格林尼治的本初子午线向东或向西到他所在位置的距离）。当然，这需要良好的天气、准确的时钟以及在令人心惊肉跳的摇摆的船上准确地确定正午时间的能力。在晴朗的夜晚，船长经常可以利用特定星星的起落来获取相似的信息。

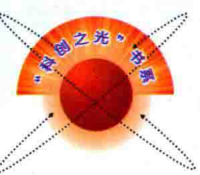
后来，无线电、雷达和卫星的发明，使整个过程变得更容易、更安全。当然，即使今天，船长们仍旧要注意不让自己的轮船搁浅或撞上桥墩。想象一下，古代人需要怎样高超的技巧才能使船只航行在正确的航线上。

如果以严格定义来说明，导航是引导某一载体，从指定路线的一点运动到另一点的方法。通常载体是指船舶、飞机、车辆、空间飞行体，或者行人等。根据导航设备所用的传感器类型，导航可分为两类：

（1）自主式导航：该类型利用内置的独立传感器，就能确定导航载体自身所处的相对位置和行驶方向，其典型的传感器类型有地磁测向、雷达探测和惯性导航系统等。

（2）它助式导航：该类型是利用接收外来信号，来确定方向、距离和位置，其典型的传感器类型有地面无线电导航系统、卫星导航系统等。





人类导航历史

人类最初的导航

一提到导航，很多人一定会联想到跟高科技有关的追踪定位。在很多谍战电影里，GPS 导航也经常用来对人员、车辆等进行实时追踪和定位。实际上，导航离我们每个人的日常生活都非常近。

话说在距今约 70 万年前的北京周口店，一天北京人石头和他的弟弟小牛两人打猎，走出很远，才见到一只兔子，紧追慢赶，越过树林，奔向草地，但兔子却在草丛中消失了。然而天无绝人之路，偏巧在这时候石头和弟弟小牛发现了一只离群独行的山羊，兄弟俩前堵后追齐心协力地把山羊给逮住了，兄弟俩终于美美地享用了一顿丰盛的羊肉大餐。等填饱了肚子，太阳也就快要落山了，兄弟俩这才扛着吃剩下的羊肉准备回家。此时，兄弟两需要解决三个问题，一是他们现在是在什么地方，二是他们的家在什么地方，三是从他们现在的位置回到家的路怎么走。这实际上就是一个关于定位和导航的问题，定位即是确定他们现在所处的位置 and 家所在的位置，导航即是他们走哪条道路从现在的位置回到家。他们记得在来的路上经过了一片树林，于是他们径直朝远处的树林走去，在树林中又循着在树上用石斧砍出的新痕寻觅归路，沿途又将来时留在树林小径上的几块石片捡起来，以作后用。穿过树林后便见到了龙骨山，直奔山头方向，一路行来，最终回到了山顶洞。回到家时天已快黑，这时妈妈已经站在洞口眺望，盼着石头和小牛兄弟俩的归来。

这个故事虽然简单，但包含了完整的导航基本概念，即要确定出发点和目的地，及用于指路的沿途的地物地标（参考点），用科学语言表达则是：



原始人的导航方式简单而落后

定位 + 制导（指路）= 导航，这是一个简明表达式。

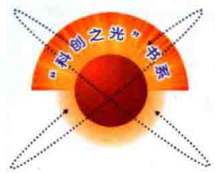
定位的现代概念是确定目标的位置（经度、纬度和高度），制导是寻求从出发点位置至目的地位置的最佳途径。两者加起来，便成为导航。

小贴士

人类自带的导航功能

就像我们手机和汽车里的GPS一样，我们的大脑也会通过整合多种与位置和时间流逝有关的信号来估算我们现在在哪里、又将要去哪里。大脑通常用最小的努力来完成这些计算，所以我们几乎意识不到计算的存在。只有当我们迷路了，或者当我们的导航技能因为受伤或是神经退行性疾病而有了损伤，我们才会察觉到。这种绘制地图然后导航的系统对于我们的生存来说非常重要。分辨出我们在哪里以及我们需要去哪儿的能力对于生存来说是至关重要的。没有这种能力的话，我们——与





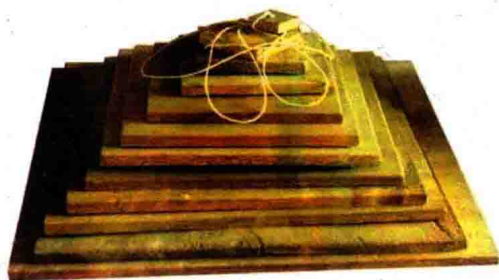
所有其他的动物一样——将无法找到食物，也无法繁衍后代。个体，以及整个种族，都将灭绝。上面讲到的北京人石头和小牛兄弟回家的例子实际上就是人类自带导航功能发生作用的例子。人类经过几十万年的繁衍生息，这种与生俱来的导航功能变得更加复杂和先进。我们在日常生活中每天都在使用着我们自身具有的导航功能。可以说，人类自带的导航功能是最原始的也是最先进的导航！

天体导航时代

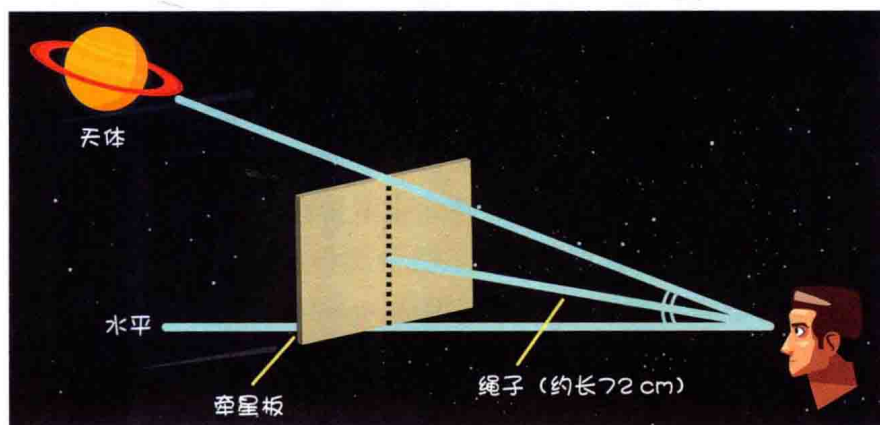
随着人类活动范围的逐渐扩大，尤其是人类活动范围延伸到海上，仅仅凭人类自身的导航功能已经不能满足人们的需要。比如行驶在茫茫大海中的船只，四周都是无边无际的海面，没有可以用做参考的地物地标，分不清东南西北，人们往往迷失方向。人们需要寻找一种更加可靠的导航方式，于是便有了天体导航。中国古籍中有许多关于将天体导航应用于航海活动的记载。《淮南子·齐俗训》中有记载：“夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极则寤矣。”是讲在大海中航行不知道东南西北，那么可以观看北极星就可以啦。晋代葛洪在《抱朴子》中言：“夫群迷乎云梦者，必须指南以知道；并乎沧海者，必仰辰极以得反。”是讲在云梦（古地名，在今湖北孝感一带）中迷失了方向，必须依靠指南车来指路；而在大海中迷失了方向，则必须观看北极星来辨明航向。西晋高僧法显从印度搭船回国的时候，当时在海上见大海无边无际，不知东西，只有观看太阳、月亮和星辰而进。可见，古人早已开始利用太阳、月亮和北极星等星辰的方位来进行导航了。实际上，一直到北宋以前，航海中一直还是以“夜间看星星，白天看太阳”来进行导航。只是到了北宋才又加上一条“在阴天看指南针”。大约到了元明时期，我国天文航海技术有了很大的发展，已经能通过观测星星的高度来确定地理纬度，这便是历史上著名的“牵星术”。

小贴士

牵星术的工具叫牵星板，用优质的乌木制成。一共 12 块正方形木板，最大的一块每边长约 24 cm，以下每块递减 2 cm，最小的一块每边长约 2 cm。另有用象牙制成一小方块，四角缺刻，缺刻四边的长度分别是上面所举最小一块边长的 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 和 $\frac{1}{8}$ 。比如用牵星板观测北极星，左手拿木板一端的中心，手臂伸直，眼看天空，木板的上边缘是北极星，下边缘是水平线，这样就可以测出所在地的北极星距水平的高度。高度高低不同可以用 12 块木板和象牙块四缺刻替换调整使用。求得北极星高度后，就可以计算出所在地的地理纬度。我国历史上有名的郑和七下西洋，创造了世界航海史上的奇迹，完成了极其艰难复杂而又史无前例的航行，郑和的船队导航便使用了“过洋牵星”（即牵星术）的航海技术，代表了 15 世纪初天文导航的世界水平。



“牵星术”所用的“牵星板”外观



“牵星术”原理示意图