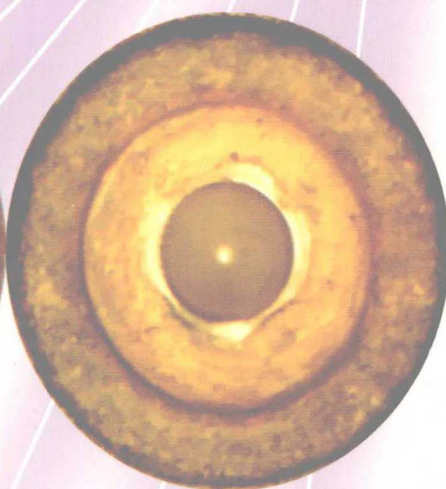


测绘科技专著出版基金资助

地理空间定位 基准及其应用



DILI KONGJIAN DINGWEI JIZHUN JIQI YINGYONG



董鸿闻 李国智 陈士银
张 骥 刘焱雄 丘其宪

编著

测绘出版社

地理空间定位基准及其应用

Dili Kongjian Dingwei Jizhun Jiqi Yingyong

董鸿闻 李国智 陈士银
张 骥 刘焱雄 丘其宪 编著

测绘出版社

• 北京 •

内容简介

本书详细叙述我国现行地理空间定位各种基准,包括大地基准、高程基准、深度基准、重力基准的基本概念、历史沿革、建立背景、方法和结果及其应用。全面介绍了目前广泛采用的国际地球参考框架(ITRF)和 WGS 84 大地坐标系。资料数据翔实、丰富。可供从事测绘专业工程技术人员、科学研究人员、大专院校师生以及相关学科专业人员阅读参考。

©董鸿闻 李国智 陈士银 张骥 刘焱雄 丘其宪 2004

图书在版编目(CIP)数据

地理空间定位基准及其应用/董鸿闻等编著. —北京:
测绘出版社, 2004. 10
ISBN 7-5030-1240-4

I. 地… II. 董… III. 大地测量基准 IV. P22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 083058 号

地理空间定位基准及其应用

董鸿闻 李国智 陈士银
张 骥 刘焱雄 丘其宪 编著

测绘出版社出版发行

地址:北京市西城区复外三里河路 50 号 邮编:100045
电话:(010)68512386 68531558 网址:www.sinomaps.com

北京通州次渠印刷厂印刷

新华书店经销

开本:890 mm×1240 mm 1/16 印张:10 字数:322 千字

2004 年 12 月第 1 版

2004 年 12 月第 1 次印刷

印数:0001—3000 册

ISBN 7-5030-1240-4/P·396

定价:25.50 元

审图号:GS(2004)228 号

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

序 言

《中华人民共和国测绘法》第四条明确规定“测绘应当使用国家规定的测绘基准和测绘标准”。在第二章测绘基准和测绘系统中，又对国家设立和采用全国统一的大地基准、高程基准、深度基准、重力基准等方面进行具体规定。设立和采用科学的实用的国家统一测绘基准、测绘系统和技术标准，不仅有利于全国测绘成果的整体性和相容性，而且有利于测绘成果和各种信息的地理位置的统一和协调，从而能保障国家各项建设顺利进行。

《中华人民共和国测绘法》规定使用国家统一的测绘基准，这主要由测绘工作的性质所决定的。测绘工作是国民经济和社会发展的一项前期性、基础性工作，测绘业是国家重要的基础地理信息产业。它为国家建设和管理提供了与地理位置有关的各种专题性和综合性的基础信息。其成果是进行资源调查，环境监测，农业建设，能源、交通、水利等大型工程建设，城乡规划建设，土地开发利用，重大灾害监测预报和科学研究以及国防建设等必不可少的基础资料。同时，测绘是准确反映我国疆域境界、行政区域界线和土地权属界线的手段，也是国家行政管理的基础工作之一。

测绘工作服务对象是国家经济建设、国防建设、科学研究、文化教育、行政管理、人民生活、国际交往等各个领域。测绘是社会主义现代化建设事业必不可少的一种保障手段。测绘成果要客观真实地反映地理位置及有关的各种信息，这就要求测绘数据必须具有唯一性和可靠性。要达到上述目的，所有的测绘成果必须有统一的起算数据，也就是我们所讲的统一的测绘基准，统一的测绘系统，统一的技术标准。

因此，测绘基准、测绘系统和技术标准，是进行测绘工作的基础和基本的技术依据。它们的设立、使用是否科学、完善，直接关系到国家测绘成果的精确度和应用。如果测绘成果不是在统一的测绘基准、测绘系统和技术标准下获得的，那么这些成果在使用中必然会出现混乱，从而给国民经济建设和国防建设造成无法弥补的损失。

解放前，在半殖民地、半封建社会的旧中国，测绘是相当落后的。尽管为了种种需要开展了一些测绘工作，但都是局部的。全国没有总体布设的大地网、高程网，大地基准在不同地区各不相同，高程基准也十分混乱，更谈不上重力基准和深度基准。中华人民共和国成立以后，党和政府对测绘工作极为重视，从总参谋部测绘局和地质部测绘局抽调了大批干部和技术人员成立了国家测绘总局，负责全国性的测绘管理、总体规划和生产组织实施。为了满足经济建设的需要，在全国开始大规模地布设天文大地网、高程控制网和重力网，以建立我国的测绘基准，这是我国测绘事业发展的重要里程碑。

大地测量在全国展开以后，由于当时缺乏椭球定位的必要资料，故初步确定了一个大地坐标系，定名为1954年北京坐标系(简称54坐标系)。它是由我国东北呼玛、吉拉林、东宁三处一等三角锁与前苏联大地网相联，从而将前苏联1942年坐标系延伸到我国，高程异常是以前苏联1955年的结果为依据，按我国天文重力水准路线传递而得。因此，我国1954年北京坐标系，实际上是属于前苏联1942年大地坐标系。该54坐标系采用的参考椭球是克拉索夫斯基椭球。

为了建立我国自己的坐标系，经过我国两代大地测量工作者努力，在完成国家一、二等大地网布测后，20世纪70年代初我国测绘工作者就开始进行有关全国天文大地网平差的准备工作。1978年国家测绘总局和总参谋部测绘局联合召开了全国天文大地网整体平差工作会议，决定采用新的参考椭球参数，以全国境内的高程异常的平方和等于最小为条件进行大地定位，进行了全国天文大地网近五万点的整体平差，从而建立了“1980国家大地坐标系”(简称80坐标系)。该坐标系确立了我国二维坐标系统，是我国的平面基准，代表了80年代初期经典大地测量技术的世界先进水平，为我国测绘行业采用科学合理的坐标系统奠定了基础。

随着空间技术的发展,空间大地测量得到飞速的发展,我国测绘工作者从20世纪70年代末至今,先后建立了国家卫星多普勒网,近70个GPS永久性跟踪站,完成了国家级GPS定位网的布网和计算,目前正在对我国基于GPS技术的地心三维大地控制网(近2300个点)进行统一平差计算,为我国今后的三维地心大地坐标框架打下基础。

我国高程基准,解放前十分混乱,为了统一国家高程基准,我国测绘工作者开展了在全国大规模布设一等水准路线的工作,并对沿海十几个验潮站的资料进行分析。1954年初步确定黄海平均海水面作为高程基准面推算高程,在青岛市观象山修建了国家水准原点。

1956年,应国家建设急需,初步确定了“1956年黄海高程基准”,以此为基准对我国50年代至70年代的国家精密水准网进行了平差,从而使我国大陆水准点的高程基准实现了统一。

随着经济和科技的发展,国家于1987年启用1985国家高程基准及国家一等水准网成果,该网总长为93600余千米,组成100个水准环。

我个人认为我国85黄海高程基准的确定从今天来看还是比较科学的、实用的,因此改善我国高程基准主要任务是解决我国现有高程控制网的现势性差的问题,也就是尽快组织国家三期高程控制网的设计和施测。另外,随着改革开放的深入和经济全球化的发展,我国黄海高程基准和全球高程基准(全球性大地水准面)的差别测定工作也应及时提到工作日程上来。

我国第一个国家重力控制网是20世纪50年代由我国在前苏联测绘专家的帮助下建立的,通常我们称为“57网”。其相应的重力基准是由德国波茨坦重力原点远距离联测传算而得。80年代,我国施测了“国家1985年重力基本网”(简称85重力网,该网由6个基准点,46个基本点和5个基本点引点组成。它不仅在相对精度上比57网提高了一个量级,而且重力基准也是用绝对重力仪在该网的基准点进行测定的。

我国目前正在进行国家2000重力基本网的施测和计算。该网由21个基准点和126个基本点组成,还包括若干重力基线和重力引点,并改造了国内现有的9条重力基线。预计平差后该网的中误差应不大于 $\pm 10 \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。绝对重力点的观测精度应优于 $\pm 5 \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

回顾我国测绘基准建立的过程,深深地感到测绘基准的建立,是我国测绘工作者两代人近50年来艰辛工作的结果,凝结着我国测绘工作者们的智慧和汗水,是测绘事业发展的重要里程碑。

展望21世纪科技、社会和经济的发展和需求,为了使我国大地测量更好地服务于经济建设和国防建设,对我国现有的大地测量基准进行更新,并考虑建立高精度、三维、地心、动态,同时顾及我国广阔海域的大地测量基准是历史的趋向,时代的要求,是不可避免的。

本书不仅全面、系统地叙述了我国各个历史时期建立测绘基准的过程,以及所采用的技术参数,而且记录了我国大地测量发展的过程,其中资料值得一读。本书不仅对我国测绘基准作了详尽阐述,而且对我国使用的一些国际上常用的测绘基准作了介绍。阅读此书不仅对于了解我国测绘基准、测绘系统发展的历史和现状大有裨益,而且为今后改善更新我国大地测量基准提供了非常有价值的资料。



2004年3月22日

前 言

建立和维持地理空间定位基准是大地测量的重要任务之一。随着国家建设的迅速发展和地球科学研究不断深入以及数字地球与数字区域战略的实施,迫切需要一本介绍国家各种定位参考基准的读物。本着这一目的,在中国全球定位系统技术应用协会办公室主任王丽和国家计委宏观经济研究所曾澜研究员的组织策划下,聘请我国测绘基准领域工作多年的专家、学者编写了本书。

本书取材于半个世纪以来我国大地测量的实践与理论研究成果。编写时尽量对我国 50 年来建成的各种地理空间定位基准作全面而较详尽的阐述,同时特别注意各有关部门的实践应用。如果它能在传播有关技术与知识方面有所贡献,并对相关的专业同行有所帮助,也就实现了组织策化和编著者的愿望。

全书共分 4 篇 30 章,主要由国家测绘局大地测量数据处理中心董鸿闻、李国智、陈士银、张骥、武汉大学刘焱雄和中国测绘科学研究院丘其宪编著。其中,董鸿闻编写第八、第十、第十一、第十五、第十六、第二十章;李国智编写第九、第十二至第十四章;陈士银编写第六、第七、第二十七至第三十章;张骥编写第一至第五章;刘焱雄编写第二十一至第二十五章;丘其宪编写第十七、第十八章;第十九章由丘其宪、董鸿闻合写;第二十六章由陈士银、刘焱雄合写。全文由董鸿闻统稿修改。

国家测绘局陈俊勇院士为本书写了序言,国家测绘局大地测量数据处理中心为本书提供资料和数据,同时得到株式会社拓普康北京事物所的大力支持,在此一并表示感谢。

编著难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

中国全球定位系统技术应用协会

2004 年 7 月 20 日

目 录

第一篇 大地基准与天文大地网

第一章 大地坐标系的基本概念	(3)
§ 1.1 大地水准面与地球椭球	(3)
§ 1.2 天文坐标与垂线偏差	(4)
§ 1.3 大地坐标的定义	(4)
§ 1.4 参考椭球定位	(5)
第二章 全国天文大地网的布设	(5)
§ 2.1 天文大地网布设总况	(5)
§ 2.2 1958 年前大地网采用的技术标准	(8)
§ 2.3 1958 年后大地网采用的技术标准	(8)
§ 2.4 天文重力水准与天文水准网的布设	(9)
§ 2.5 天文大地网的实测精度	(9)
第三章 1954 年北京坐标系	(10)
§ 3.1 坐标系建立背景	(10)
§ 3.2 坐标系的实现	(10)
§ 3.3 使用与存在的问题	(12)
第四章 全国天文大地网整体平差	(13)
§ 4.1 工程项目的提出	(13)
§ 4.2 平差基本技术原则	(13)
§ 4.3 观测数据选择	(14)
§ 4.4 垂线偏差与高程异常计算	(15)
§ 4.5 平差技术方案	(16)
§ 4.6 平差结果检核与精度	(17)
第五章 1980 西安坐标系	(19)
§ 5.1 椭球参数选定	(19)
§ 5.2 基本参考面确定	(20)
§ 5.3 参考椭球定位与大地原点	(21)
§ 5.4 坐标系的特点	(22)
§ 5.5 三、四等大地点坐标的改算	(22)
第六章 坐标系变更时地形图的处理	(24)
§ 6.1 地形图处理的必要性	(24)
§ 6.2 处理的原理与特点	(24)
§ 6.3 处理的方法	(26)

第七章 建立地方独立坐标系的方法 (27)

§ 7.1 建立地方独立坐标系的目的 (27)

§ 7.2 长度的归化与高斯投影改化 (27)

§ 7.3 建立地方独立坐标系的几种方法 (28)

§ 7.4 抵偿坐标系问题 (30)

§ 7.5 地方独立坐标系椭球参数与坐标计算 (30)

第二篇 高程基准与高程控制网

第八章 有关高程基准的基本概念 (35)

§ 8.1 高程基准面 (35)

§ 8.2 正高 (35)

§ 8.3 正常高 (36)

§ 8.4 力高 (37)

第九章 建立高程基准的一般方法 (38)

§ 9.1 建立国家高程基准的基本任务 (38)

§ 9.2 海洋潮汐的基本规律 (38)

§ 9.3 验潮 (39)

§ 9.4 验潮站的设立与标定 (40)

§ 9.5 平均海面的计算与标定 (40)

§ 9.6 国家水准原点 (41)

第十章 1956 年黄海高程基准 (42)

§ 10.1 基准建立的必要性 (42)

§ 10.2 基本验潮站的选定 (42)

§ 10.3 青岛验潮站 (43)

§ 10.4 国家水准原点与原点网 (43)

§ 10.5 1956 年黄海高程基准的建立 (44)

§ 10.6 统一高程基准的实现 (45)

第十一章 旧高程基准及其转换关系 (46)

§ 11.1 利用旧高程基准的有关说明 (46)

§ 11.2 大连高程基准 (46)

§ 11.3 大沽高程基准 (47)

§ 11.4 废黄河高程基准 (48)

§ 11.5 吴淞高程基准 (49)

§ 11.6 坎门高程基准 (50)

§ 11.7 珠江高程基准 (51)

§ 11.8 罗星塔高程基准 (52)

§ 11.9 秀英高程基准 (52)

§ 11.10 榆林高程基准 (52)

第十二章 1985 国家高程基准 (53)

§ 12.1 重新确定国家高程基准的必要性与可行性 (53)

§ 12.2 重新确定高程基准的主要依据 (53)

§ 12.3 1985 国家高程基准面的确定 (54)

§ 12.4 1985 国家高程基准面与我国沿海海面的关系 (57)

§ 12.5 国家水准原点高程的重新确定 (58)

§ 12.6 海南岛高程基准的统一 (59)

第十三章 国家高程控制网的建立 (61)

§ 13.1 布设的基本原则 (61)

§ 13.2 我国第一期一、二等水准网的布设 (62)

§ 13.3 国家一、二等水准网的布设 (65)

§ 13.4 国家一等水准网的复测 (68)

§ 13.5 布测综述 (71)

第十四章 各期水准网点的高程变化分析 (73)

§ 14.1 第一期与第二期水准点的高程变化 (73)

§ 14.2 第二期与复测水准点的高程变化 (75)

§ 14.3 增强国家高程控制网的现势性 (77)

第十五章 现代高程基准研究 (78)

§ 15.1 现代大地测量对高程基准提出的要求 (78)

§ 15.2 区域高程基准的改进 (78)

§ 15.3 统一全球高程基准的必要与可能 (79)

§ 15.4 波罗的海沿岸各国统一高程基准实践 (79)

§ 15.5 统一全球高程基准的基本思路 (80)

第十六章 深度基准 (82)

§ 16.1 深度基准概念 (82)

§ 16.2 我国深度基准 (82)

§ 16.3 理论深度基准面计算公式 (83)

§ 16.4 使用深度基准的一些说明 (84)

§ 16.5 世界一些国家(地区)采用的深度基准面 (84)

第三篇 重力基准与大地水准面

第十七章 重力和重力测量 (89)

§ 17.1 重力的基本概念 (89)

§ 17.2 重力测量的作用 (90)

§ 17.3 重力测量的方法 (91)

第十八章 世界重力基准的回顾 (93)

§ 18.1 重力基准与重力系统的一般说明 (93)

§ 18.2 维也纳重力基准 (93)

§ 18.3 波茨坦重力基准 (93)

§ 18.4	国际重力基准网 1971(IGSN-71)	(94)
§ 18.5	国际绝对重力基准网(IAGBN)	(94)
第十九章	我国的重力基准	(95)
§ 19.1	1957 国家重力控制网及其重力基准	(95)
§ 19.2	1985 国家重力基本网及其重力基准	(96)
§ 19.3	“57 网”—“85 网”重力系统重力值的转换	(97)
§ 19.4	2000 国家重力基本网及其重力基准	(97)
§ 19.5	国家级重力仪检定基线及格值标定场	(99)
第二十章	2000 中国似大地水准面(CQG2000)	(100)
§ 20.1	实施概况	(100)
§ 20.2	似大地水准面计算	(100)
§ 20.3	精度评估	(101)

第四篇 国际地心参考系与国家空间大地网

第二十一章	WGS 84 的建立	(105)
§ 21.1	WGS 72 的建立	(105)
§ 21.2	WGS 84 的实现	(105)
§ 21.3	若干跟踪站坐标及其优化	(106)
第二十二章	WGS 84 的定义	(107)
§ 22.1	坐标框架	(107)
§ 22.2	椭球参数	(107)
§ 22.3	地球重力场	(109)
§ 22.4	大地水准面	(110)
第二十三章	WGS 84 的应用	(111)
§ 23.1	联结各国参心坐标系	(111)
§ 23.2	全球统一的导航基准	(111)
§ 23.3	地球动力学研究及应用	(112)
第二十四章	国际地球参考框架(ITRF)的定义	(113)
§ 24.1	概述	(113)
§ 24.2	ITRF 的定义	(113)
第二十五章	ITRF 的建立与维持	(115)
§ 25.1	建立和维持遵循的原则	(115)
§ 25.2	ITRF 88—ITRF 93	(115)
§ 25.3	ITRF 94	(116)
§ 25.4	ITRF 96	(117)
§ 25.5	ITRF 97	(118)
第二十六章	坐标系间的坐标转换	(120)
§ 26.1	不同大地坐标系转换的必要性和意义	(120)
§ 26.2	不同大地坐标系三维转换的模型	(120)

§ 26.3 不同大地坐标系的二维转换方法 (122)

§ 26.4 高斯平面坐标系的二维转换方法 (124)

第二十七章 国家 GPS A 级网 (126)

§ 27.1 A 级网的布设 (126)

§ 27.2 A 级网的数据处理及其精度 (126)

§ 27.3 A 级网的复测概况 (128)

§ 27.4 复测 A 级网的数据处理及其精度 (128)

第二十八章 国家 GPS B 级网 (130)

§ 28.1 B 级网布设目的与结构 (130)

§ 28.2 B 级网的施测 (130)

§ 28.3 同步基线的精处理 (132)

§ 28.4 B 级网的整体平差 (134)

§ 28.5 整体平差结果的精度 (136)

第二十九章 国家 GPS A、B 级网对全国天文大地网的检核 (138)

§ 29.1 概述 (138)

§ 29.2 A 级网与全国天文大地网的比较 (138)

§ 29.3 B 级网与全国天文大地网的比较 (140)

§ 29.4 对我国天文大地网的应变分析 (141)

第三十章 2000 国家 GPS 大地控制网 (142)

§ 30.1 网的构成 (142)

§ 30.2 平差数据准备与预处理 (144)

§ 30.3 平差模型与基本步骤 (145)

§ 30.4 2000 国家 GPS 大地控制网与全国天文大地网联合平差 (146)

参考文献 (147)

第一篇 大地基准与 天文大地网

第一章 大地坐标系的基本概念

§ 1.1 大地水准面与地球椭球

大地测量学是研究确定地球及其他天体的形状、大小、重力场、表面位置、本体运动和空间运动等问题的学科。可以说从大地测量学诞生起，就努力开展对地球形状的研究。17 世纪人们已认识到地球是一个椭球，18 世纪物理大地测量的兴起，开辟了用物理方法研究地球的新途径。

地球的自然表面是很不规则的，其中海洋占 70% 左右。大地测量学在研究它的时候，常引进重力位水准面的概念，通称水准面。在同一水准面上各点的重力位能都相等。它是一个封闭的曲面，地球重力场中有无穷多个这样的面。

对于相邻两水准面而言，位差 dw 是一个常量，若它们的高差为 dh ，则

$$dw = gdh \quad (1-1)$$

已知同一水准面上各点的重力值 g 是不相等的，所以两相邻水准面上点的高差 dh 也是不等的，可见水准面之间是不平行的。

大地水准面是水准面中的一个。由于海洋表面比较规则，如果进行一定的假设，海洋表面就是地球重力位水准面，高斯在 1828 年已经提到了这个面。1873 年里斯廷创用了大地水准面一词。经典大地测量学中它的定义是，假定海洋的水体处在完全静止和平衡状态，没有潮汐风浪等影响，海洋表面，以及由它延伸到陆地的下面，并到处保持着与垂线方向相交成直角这一特征的整个闭合形状的面，就是大地水准面^[1]。100 多年来大地测量学中总是这样描述大地水准面。但是随着现代大地测量技术的发展，测量精度的提高和多方面的需要，再把它说成与平均海面重合就不能认为是严密的。根据研究，若以 10 cm 的绝对精度来考虑大地水准面，经典的定义就不适宜了。近些年来一些学者企图给出新的定义。这时要求应以整个地球作为对象，应当与统一系统的水准测量、物理大地测量和海洋学中相应的问题协调；要求反映平均海面观测数据与地球重力场之间的关系；还要考虑适用的有效期与时刻特征。目前包括我国在内，一些国家大地测量术语的解释中，关于大地水准面都给出几个定义。例如，我国《大地测量术语(GB/T17159)》中大地水准面定义为①最符合一定海域的平均海面的地球重力等位面；②通过给定最接近平均海面上点的地球重力等位面，且此面仅受地球自转和地球引力场的影响。

经典大地测量认为平均海面与大地水准面是一致的。大地水准面所包围的形体是一个水准椭球，称为大地体。总体上讲大地体非常接近旋转椭球，而后的表面是一个规则的数学曲面。所以在大地测量学中选择—个旋转椭球作为地球理想的模型，称为地球椭球。同时要求这个椭球必须满足 4 个条件，即

- (1) 椭球表面是个等位面；
- (2) 椭球的位和大地水准面的位相等；
- (3) 椭球质量与惯性矩之差和真实地球相同；
- (4) 椭球自转角速度与真实地球相同。

这样就把旋转椭球与水准椭球一致起来。

这 4 个条件不是唯一的，也可以用其他条件取代。例如，利用人造卫星观测资料时，可以很高精度确定引力的二阶带球谐函数，通常以它来代替惯性矩之差。人造卫星发射成功以后，把地球形状的

研究推入了一个新的高度。它的优越之处非常明显，例如能较好地反映地球重力场的情况，可以把有关研究推进到海洋地区，克服只能求得局部密合的椭球，从整体上研究地球形状。过去经典大地测量研究地球形状基本上采用的是几何方法，提供的是几何参数。现在几何和物理方法结合起来，提供的是既有几何参数又有物理参数。还由于空间技术的发展，使得确定的地球形状参数的精度相当高。目前不仅研究地球椭球模型，还研究地球重力场模型。

§ 1.2 天文坐标与垂线偏差

在经典的大地测量中地面点的位置标定常使用地理坐标的概念。以后发现了大地水准面和地球椭球面之间的差异，对地理坐标的理解出现了二义性。目前，把地理坐标理解为两类坐标，即天文坐标和大地坐标。前者是以对大地水准面垂线为依据的，后者是以对椭球的法线为依据。一点的天文坐标可以这样说明和定义。如图 1-1， O 为地球质量中心(地心)， OZ_0 是地球平自转轴， Z_0OX_0 是天文首子午面，以格林尼治平均天文台定义。 OY_0 轴与 OX_0 、 OZ_0 轴组成右手坐标系， X_0OY_0 为地球平均赤道面。地面垂线方向是不规则的，它们不一定指向地心，也不一定同地轴相交。包括测站垂线并与地球平自转轴平行的平面叫天文子午面。

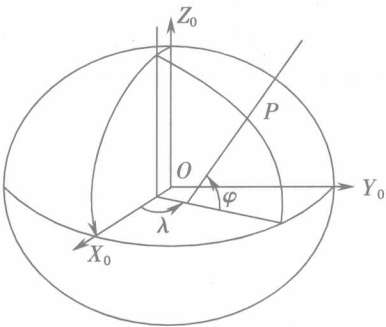


图 1-1 天文坐标

天文纬度为测站垂线方向与地球平均赤道面的交角，常以 φ 表示，赤道面以北为正，以南为负。天文经度为首天文子午面与测站天文子午面的夹角，常以 λ 表示，首子午面以东为正，以西为负。需要说明，由于地表面并不是大地水准面，所以在大地测量学中也将高程列入天文坐标中。

天文经度为首天文子午面与测站天文子午面的夹角，常以 λ 表示，首子午面以东为正，以西为负。需要说明，由于地表面并不是大地水准面，所以在大地测量学中也将高程列入天文坐标中。

在一般的情况下，一点至大地水准面的垂线方向与至椭球法线方向不一致，它们的夹角称为垂线偏差，常以 μ 表示。垂线偏差在子午面上的投影，称垂线偏差子午分量，常以 ξ 表示；在卯酉面上的投影，称垂线偏差卯酉分量，常以 η 表示。

§ 1.3 大地坐标的定义

所谓大地坐标系是依托地球椭球用定义原点和轴系以及相应基本参考面标示较大地域地理空间位置的参照系。在研究基本概念时，对各轴与基本参考面，不作严格定义。一点在大地坐标系中的位置以大地纬度与大地经度表示，如图 1-2 所示。

图 1-2 中， WAE 为椭球赤道面， NAS 为大地首子午面， P_d 为地面任意点， P 为 P_d 在椭球上的投影，则地面点 P_d 对椭球的法线 P_dPK 与赤道面的交角为大地纬度，常以 B 表示。从赤道面起算，向北为正，向南为负。大地首子午面与 P 点的大地子午面间的二面角为大地经度，常以 L 表示。以大地首子午面起算，向东为正，向西为负。 P_d 点至椭球面 P 点间的距离为大地高，也称椭球高，常以 H 表示。从椭球面量起，向外为正，向内为负。

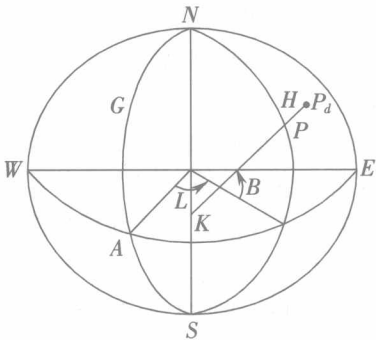


图 1-2 大地坐标

大地高 H 又可分解为正高 H^s 与大地水准面高 N 之和，写为

$$H = H^s + N \tag{1-2}$$

如果以似大地水准面代替大地水准面，则

$$H = H' + \zeta \tag{1-3}$$

式中： H' 为正常高；

ζ 为高程异常，为似大地水准面至椭球面的距离。

有关正高、正常高与似大地水准面的概念将在第二篇第八章中详述。

与大地坐标系坐标相应，可表示成以椭球中心为原点的空间大地直角坐标系，如图 1-3 所示。

图 1-3 中， O 为空间大地直角坐标系原点， OZ 轴与椭球旋转轴一致， OX 轴与大地首子午面和赤道面的交线一致， OY 轴为赤道面上与 OX 轴正交的轴。任意点 P 的空间大地直角坐标为该点在三个轴上的正射投影，分别以其在三个轴上的分量 X, Y, Z 表示。

X 分量为从椭球中心 O 至 P_1 点的距离， Y 分量为 O 点至 P_2 点的距离， Z 分量为 O 点到 P_3 点的距离。

空间一点大地直角坐标与大地坐标的关系为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\zeta + H') \cos B \cos L \\ (\zeta + H') \cos B \sin L \\ (\zeta(1 - e^2) + H') \sin B \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

$$\begin{bmatrix} B \\ L \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan \frac{Z + \zeta e^2 \sin B}{(X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}}} \\ \arctan \frac{Y}{X} \\ \frac{(X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}}}{\cos B} - \zeta \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

式中： a 为椭球长半轴；

b 为椭球短半轴；

e 为子午椭圆第一偏心率。

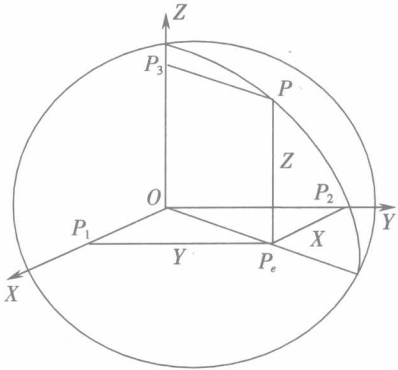


图 1-3 空间大地直角坐标

§ 1.4 参考椭球定位

在实际建立大地坐标系的时候，必须将地球椭球与大地体联系起来，大地测量学中称为椭球定位^[2]（包括定向，下同）。

所谓定位就是依据一定的条件，将具有给定参数的椭球与大地体的相关位置确定下来。这里所指的一定条件，可以理解为两方面，一是依照什么要求使大地水准面与椭球面符合，一是对轴向的规定，参考椭球的短轴与地球旋转轴平行是参考椭球定位的最基本要求^[3]。

定位有一点和多点的方式。

一点定位常是在大地测量之初，没有充分的资料确定垂线偏差和大地水准面差距的数值的条件下进行。简单地选取一点为原点，测定它的天文纬度、经度，令垂线偏差与大地水准面差距值为零也就是在原点处使地球椭球的法线与垂线相重合，椭球面与大地水准面相切，该点天文坐标等于大地坐标，正高等于大地高。一点定位的缺点具有偶然性，可能使某些地区相对垂线偏差过大。

多点定位是根据许多点，按一定的条件，求出原点的垂线偏差和大地水准面差距，这些值一般不等于零，也就是各点天文坐标不等于大地坐标，正高一般不等于大地高。

强调局部地区大地水准面与椭球面符合较好的定位，通常称参考定位；全球大地水准面与椭球面符合较好的定位，通常称绝对定位。

参考椭球定位的结果，求得了大地原点的一组数据，这组数据称为大地基准数据。

大地坐标的起始数据需要以下各值：

大地纬度 B_0 ；

大地经度 L_0 ；

大地高 H_0 。

采用多点进行椭球定位需要以下数据：

垂线偏差子午分量 ξ_0 ；

垂线偏差卯酉分量 η_0 ；

高程异常 ζ_0 。

又因为

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \varphi_0 - \xi_0 \\ L_0 &= (\lambda_0 - \eta_0) \sec \varphi_0 \\ H_0 &= H_0^r + \zeta_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

所以，大地基准数据为 φ_0 ， λ_0 ， H_0^r ， ξ_0 ， η_0 ， ζ_0 。前 3 个数据是实际测定的，后 3 个数据是依据观测资料推得的。