



注册测绘师资格考试 辅导教材

测绘综合能力

国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心 组织编写
注册测绘师资格考试教材编审委员会 审 定



测绘出版社

注册测绘师资格考试辅导教材

测绘综合能力

国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心 组织编写
注册测绘师资格考试教材编审委员会 审 定

测绘出版社

· 北京 ·

© 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心 2009—2012
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

图书在版编目(CIP)数据

测绘综合能力 / 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心
编. —2 版. —北京:测绘出版社, 2012. 4
注册测绘师资格考试辅导教材
ISBN 978-7-5030-2270-8

I. ①测… II. ①国… III. ①测绘—工程技术人员—资格
考试—自学参考资料 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 061397 号

责任编辑	田 力	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍
出版发行	测绘出版社	电 话	010—68335459(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045		010—68531160(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com		
成品规格	184mm×260mm	印 刷	三河市博文印刷厂		
印 张	25.5	字 数	630 千字		
版 次	2009 年 12 月第 1 版	印 次	2012 年 4 月第 5 次印刷		
	2012 年 4 月第 2 版				
印 数	20001—35000	定 价	75.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-2270-8/P • 573

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

2011 年,被誉为测绘行业“国考”的全国注册测绘师资格考试工作圆满完成。在认真分析全国考生考试情况的基础上,为进一步突出考查考生解决实际问题能力的考试特点,准确把握注册测绘师考试定位,国家测绘地理信息局组织开展了对《注册测绘师资格考试大纲(2009 版)》的修订工作。

为适应考试大纲的调整,国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心及时组织全国具有较高理论水平和丰富实践经验的专家、学者,在 2009 版考试辅导教材的基础上,重新编写了 2012 版考试辅导教材。

本套教材依据新修订的《注册测绘师资格考试大纲(2012 版)》,一是根据废止、更新和增加的国家法律法规和技术标准、行业法规及行业技术标准,对《测绘管理与法律法规》科目相关内容进行调整;二是将《测绘综合能力》和《测绘案例分析》科目的十个部分合并为四个部分,依次为“大地测量与海洋测绘”、“工程测量与权属测绘”、“摄影测量与遥感”、“地图制图与地理信息工程”,并依据新技术、新标准对其内容进行了补充;三是根据 2009 年颁布的《测绘资质管理规定》,在《测绘综合能力》和《测绘案例分析》科目“地图制图与地理信息工程”部分增加了“导航电子地图制作”和“互联网地理信息服务”两个新章节。

本套教材在充分吸取 2009 版考试教材编写成功经验和反馈建议的基础上,遵循突出工作实践、解决实际问题的原则,具有较强的系统性、针对性和实用性。

本套教材主要供参加注册测绘师资格考试考生复习备考,也可作为测绘项目管理类大专院校师生的教学参考,指导测绘单位生产和技术管理的日常工作。

本套辅导教材共三册,包括《测绘管理与法律法规》、《测绘综合能力》和《测绘案例分析》。对于疏漏之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

注册测绘师资格考试教材编审委员会

2012 年 4 月

目 录

第一篇 大地测量与海洋测绘

第 1 章 大地测量	3
§ 1.1 大地测量概论	3
§ 1.2 传统大地控制网	11
§ 1.3 GNSS 连续运行基准站网	18
§ 1.4 卫星大地控制网	24
§ 1.5 高程控制网	30
§ 1.6 重力控制网	35
§ 1.7 似大地水准面精化	40
§ 1.8 大地测量数据库	44
本章主要参考文献	52
第 2 章 海洋测绘	53
§ 2.1 海洋测绘基础	53
§ 2.2 海洋测量	56
§ 2.3 海图制图	77
§ 2.4 质量控制和成果归档	84
本章主要参考文献	90

第二篇 工程测量与权属测绘

第 3 章 工程测量	93
§ 3.1 工程测量概要	93
§ 3.2 工程控制网建立	94
§ 3.3 工程地形图测绘	101
§ 3.4 城乡规划与建筑工程测量	106
§ 3.5 线路与桥梁、水利、市政工程测量	113
§ 3.6 矿山与隧道工程测量	122
§ 3.7 地下管线测量	129
§ 3.8 工程竣工测量	133
§ 3.9 变形与形变监测	137
§ 3.10 精密工程测量	146

本章主要参考文献·····	150
第4章 房产测绘 ·····	151
§ 4.1 房产测绘概述·····	151
§ 4.2 房产平面控制测量·····	153
§ 4.3 房产要素测量与房产信息数据采集·····	155
§ 4.4 房屋数据处理·····	160
§ 4.5 房产图绘制·····	168
§ 4.6 房产变更测量·····	172
§ 4.7 房产测绘成果管理·····	174
本章主要参考文献·····	179
第5章 地籍测绘 ·····	180
§ 5.1 地籍测绘概要·····	180
§ 5.2 地籍平面控制测量·····	183
§ 5.3 权属调查·····	187
§ 5.4 地籍要素测量·····	193
§ 5.5 地籍图与宗地图测绘·····	194
§ 5.6 面积量算、地籍簿册建立·····	198
§ 5.7 变更地籍调查·····	201
§ 5.8 地籍测绘成果整理、归档与检验·····	206
本章主要参考文献·····	207
第6章 行政区域界线测绘 ·····	208
§ 6.1 行政区域界线测绘概述·····	208
§ 6.2 界线测绘的准备工作·····	209
§ 6.3 边界点测绘及边界线标绘·····	211
§ 6.4 边界协议书附图及边界位置说明·····	213
§ 6.5 行政区域界线测绘成果整理与验收·····	215
本章主要参考文献·····	216

第三篇 摄影测量与遥感

第7章 测绘航空摄影 ·····	219
§ 7.1 测绘航空摄影概要·····	219
§ 7.2 测绘航空摄影技术设计·····	224
§ 7.3 测绘航空摄影工作的实施·····	228
§ 7.4 航空摄影中的新技术应用·····	229
§ 7.5 航摄成果的检查验收·····	231

本章主要参考文献·····	232
第 8 章 摄影测量与遥感·····	233
§ 8.1 摄影测量与遥感概要·····	233
§ 8.2 摄影测量与遥感基础·····	235
§ 8.3 技术设计·····	239
§ 8.4 影像资料收集与预处理·····	243
§ 8.5 区域网划分与像片控制测量·····	248
§ 8.6 影像判读与野外像片调绘·····	251
§ 8.7 空中三角测量·····	257
§ 8.8 数字线划图制作·····	260
§ 8.9 数字高程模型制作·····	263
§ 8.10 数字正射影像图制作·····	265
§ 8.11 三维建筑模型建立·····	268
§ 8.12 遥感调查工作底图和专题遥感数据成果制作·····	271
本章主要参考文献·····	273

第四篇 地图制图与地理信息工程

第 9 章 地图制图·····	277
§ 9.1 地图概述·····	277
§ 9.2 地图设计·····	284
§ 9.3 地图编绘·····	299
§ 9.4 地图制印·····	312
§ 9.5 地图质量控制和成果归档·····	314
本章主要参考文献·····	316
第 10 章 地理信息工程·····	317
§ 10.1 地理信息工程概要·····	317
§ 10.2 地理信息工程技术设计·····	320
§ 10.3 地理信息数据·····	334
§ 10.4 地理信息数据库·····	340
§ 10.5 地理信息系统开发与集成·····	343
§ 10.6 GIS 运行管理及维护更新·····	348
§ 10.7 GIS 质量控制与成果检验·····	351
本章主要参考文献·····	358
第 11 章 导航电子地图制作·····	359
§ 11.1 导航与导航电子地图·····	359

§ 11.2 产品设计·····	365
§ 11.3 产品开发·····	373
§ 11.4 保密处理·····	377
§ 11.5 编译测试·····	379
§ 11.6 出版发行·····	381
本章主要参考文献·····	382
第 12 章 互联网地理信息服务 ·····	383
§ 12.1 概 述·····	383
§ 12.2 在线地理信息数据·····	388
§ 12.3 在线地理信息服务系统·····	393
§ 12.4 网络地理信息服务运行支持系统·····	395
§ 12.5 网络地理信息服务的运行维护·····	396
本章主要参考文献·····	397

第一篇

大地测量与海洋测绘

第 1 章 大地测量

第 2 章 海洋测绘



第1章 大地测量

§ 1.1 大地测量概论

1.1.1 大地测量的任务和特点

1.1.1.1 大地测量的任务

大地测量是为研究地球的形状及表面特性进行的实际测量工作。其主要任务是建立国家或大范围的精密控制测量网,内容有三角测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、惯性测量、卫星大地测量以及各种大地测量数据处理等。它为大规模地形图测制及各种工程测量提供高精度的平面控制和高程控制;为空间科学技术和军事用途等提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料;为研究地球形状和大小、地壳形变及地震预报等科学问题提供资料。

1.1.1.2 现代大地测量的特点

自20世纪80年代以来,由于空间技术、计算机技术和信息技术的飞跃发展,以电磁波测距、卫星测量、甚长基线干涉测量等代表的新的大地测量技术出现,给传统大地测量带来了革命性的变革,形成了现代大地测量。现代大地测量具有以下特点:

(1)长距离、大范围。量测的范围和间距,不再受天气及“视线”长度的制约,能提供协调一致的全球性大地测量数据。

(2)高精度。量测精度相对于传统大地测量而言,已提高了1~2个数量级。

(3)实时、快速。外业观测和内业数据处理几乎可以在同一时间段内完成,即实时或准实时地完成。

(4)“四维”。能提供在合理复测周期内有时间序列的(时间或历元)、高于 10^{-7} 相对精度的大地测量数据。

(5)地心。测得的位置、高程、影像等成果,是以维系卫星运动的地球质心为坐标原点的三维测量数据。

(6)学科融合。现代大地测量除对大气科学贡献外,由于它能获得精确、大量、在空间和时间方面有很高分辨率的对地观测数据,因此对地球科学、海洋学、地质学、地震学等地球科学的作用也越来越大。它与地球科学多个分支相互交叉,已成为推动地球科学的前沿科学之一。

1.1.2 大地测量的作用

大地测量是组织、管理、融合和分析地球海量时空信息的一个数理基础,也是描述、构建和认知地球,进而解决地球科学问题的一个时空平台。任何与地理位置有关的测绘都必须以法定的或协议的大地测量基准为基础。各种测绘只有在大地测量基准的基础上,才能获得统一、协调、法定的平面坐标和高程系统,才能获得正确的点位和海拔高以及点之间的空间关系和尺度。

在我国科学研究、国民经济建设、国防建设、国家权益维护、空间技术与航天工程、社会发

展中均离不开大地测量技术提供的服务。

1.1.3 大地测量系统与参考框架

大地测量系统规定了大地测量的起算基准、尺度标准及其实现方式(包括理论、模型和方法)。大地测量参考框架是通过大地测量手段,由固定在地面上的点所构成的大地网(点)或其他实体(静止或运动的物体)按相应于大地测量系统的规定模式构建的,是对大地测量系统的具体实现。大地测量系统是总体概念,大地测量参考框架是大地测量系统的具体应用形式。大地测量系统包括坐标系统、高程系统、深度基准和重力参考系统。与大地测量系统相对应,大地参考框架有坐标(参考)框架、高程(参考)框架和重力测量(参考)框架三种。

1.1.3.1 大地测量坐标系统和大地测量常数

大地测量坐标系统是一种固定在地球上,随地球一起转动的非惯性坐标系统。根据其原点位置不同,分为地心坐标系统和参心坐标系统。从表现形式上分,大地测量坐标系统又分为空间直角坐标系统、大地坐标系统两种形式。空间直角坐标一般用 (x, y, z) 表示;大地坐标用(经度 λ , 纬度 φ , 大地高 H)表示,其中大地高 H 是指空间点沿椭球面法线方向至椭球面的距离。

大地测量常数是指与地球一起旋转且和地球表面最佳吻合的旋转椭球(即地球椭球)几何参数和物理参数。它分为基本常数和导出常数。基本常数唯一定义了大地测量系统。导出常数由基本常数导出,便于大地测量应用。大地测量常数按属性分为几何常数和物理常数。

1.1.3.2 大地测量坐标框架

1. 参心坐标框架

传统的大地测量坐标框架是由天文大地网实现和维持的,一般定义在参心坐标系统中,是一种区域性、二维静态的地球坐标框架。20世纪,世界上绝大部分国家或地区都采用天文大地网来实现和维持各自的参心坐标框架。

我国在20世纪50~80年代完成的全国天文大地网,分别定义在1954北京坐标系和1980西安坐标系中。我国天文大地控制点(大地点)覆盖我国大陆和海南岛,采用整体平差方法构建了我国参心坐标框架。

2. 地心坐标框架

国际地面参考框架(ITRF)是国际地面参考系统(ITSR)的具体实现。它以甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)、激光测月(LLR)、GPS和卫星多普勒定轨定位(DORIS)等空间大地测量技术构成全球观测网点,经数据处理,得到ITRF点(地面观测点)站坐标和速度场等。目前,ITRF已成为国际公认的应用最广泛、精度最高的地心坐标框架。

2000国家大地控制网是定义在ITRS 2000地心坐标系统中的区域性地心坐标框架。区域性地心坐标框架一般由三级构成。第一级为连续运行站构成的动态地心坐标框架,它是区域性地心坐标框架的主控制;第二级是与连续运行站定期联测的大地控制点构成的准动态地心坐标框架;第三级是加密大地控制点。

1.1.3.3 高程系统和高程框架

1. 高程基准

高程基准定义了陆地上高程测量的起算点,区域性高程基准可以用验潮站的长期平均海面来确定,通常定义该平均海面的高程为零。在地面预先设置好一固定点(组),联测其至平均海水面的海拔高程。这个固定点就称为水准原点,其高程就是区域性水准测量起算高程。

1954年,我国确定用青岛验潮站验潮计算的黄海平均海水面作为高程基准面,并在青岛市观象山修建了国家水准原点。1956年,通过对青岛验潮站7年的验潮资料的计算,求出我国青岛水准原点高程为72.289 m。1976年,我国进行了国家二期一等水准网布测工作。同时建立了1985国家高程基准。1985国家高程基准是我国现采用的高程基准,青岛水准原点高程为72.260 4 m。

2. 高程系统

我国高程系统采用正常高系统,正常高的起算面是似大地水准面。由地面点沿垂线向下至似大地水准面之间的距离,就是该点的正常高,即该点的高程。

3. 高程框架

高程框架是高程系统的实现。我国水准高程框架由国家二期一等水准网,以及国家二期一等水准复测的高精度水准控制网实现,以青岛水准原点为起算基准,以正常高系统为水准高差传递方式。

高程框架分为四个等级,分别称为国家一、二、三、四等水准控制网。框架点的正常高采用逐级控制,其现势性通过一、二等水准控制网的定期复测来维持。

高程框架的另一种形式是通过(似)大地水准面精化来实现的。

1.1.3.4 重力系统和重力测量框架

重力是重力加速度的简称。重力测量就是测定空间一点的重力加速度。重力基准就是标定一个国家或地区的绝对重力值的标准。重力参考系统则是指采用的椭球常数及其相应的正常重力场。重力测量框架则是由分布在各地的若干绝对重力点和相对重力点构成的重力控制网,以及用作相对重力尺度标准的若干条长短基线。

在20世纪50~70年代,我国采用波茨坦重力基准,重力参考系统采用克拉索夫斯基椭球常数。80年代初,我国建立了“国家1985重力基本网”,简称为“85网”。它由6个基准点、46个基本点和5个基本点引点组成。重力参考系统则采用 IAG75 椭球常数及其相应正常重力场。

1999年至2002年,我国完成了2000国家重力基本网建设,简称“2000网”。它由259个点组成,其中基准点21个、基本点126个和基本点引点112个;长基线网1个,重力仪格值标定场8处,联测了1985国家重力基本网及中国地壳运动观测网络重力网点66个。该网使用了FG5绝对重力仪施测,并增加了绝对重力点的数量,覆盖面大,是我国新的重力测量基准。重力系统采用GRS 80椭球常数及其相应正常重力场。

1.1.3.5 深度基准

深度基准面的选择与海区潮汐情况有关,常采用当地的潮汐调和常数来计算。由于各地潮汐性质不同,计算方法不同,一些国家和地区的深度基准面也不相同。有的采用理论深度基准面,有的采用平均低潮面、最低低潮面、大潮平均低潮面等。

我国1956年以前主要采用了最低低潮面、大潮平均低潮面和实测最低潮面等为深度基准。从1957年起采用理论深度基准面为深度基准。该面是按苏联弗拉基米尔计算的当地理论最低低潮面。

1.1.3.6 时间系统与时间系统框架

在现代大地测量中,为了研究诸如地壳升降和地球板块运动等地球动力学现象,时间也和描述观测点的空间坐标一样,成为研究点位运动过程和规律的一个重要分量,从而形成空间与

时间参考系中的四维大地测量。

时间系统规定了时间测量的参考标准,包括时刻的参考标准和时间间隔的尺度标准。时间系统也称为时间基准或时间标准。频率基准规定了“秒长”的尺度,任何一种时间基准都必须建立在某个频率基准的基础上。因此,时间基准也称为时间频率基准。时间系统框架是在某一区域或全球范围内,通过守时、授时和时间频率测量技术,实现和维持统一的时间系统。

1. 常用的时间系统

大地测量中常用的时间系统有:

(1)世界时(universal time, UT):以地球自转周期为基准,在 1960 年以前一直作为国际时间基准。

(2)原子时(atomic time, AT):以位于海平面(大地水准面,等位面)的铯(^{133}Cs)原子内部两个超精细结构能级跃迁辐射的电磁波周期为基准,从 1958 年 1 月 1 日世界的零时开始启用。

(3)力学时(dynamic time, DT):在天文学中,天体的星历是根据天体动力学理论的运动方程而编算的,其中所采用的独立变量是时间参数 T ,这个数学变量 T ,便被定义为力学时。

(4)协调时(universal time coordinated, UTC):它并不是一种独立的时间,而是时间服务工作钟把原子时的秒长和世界时的时刻结合起来的一种时间。

(5)GPS 时(GPS time, GPST):由 GPS 星载原子钟和地面监控站原子钟组成的一种原子时基准,与国际原子时保持有 19 s 的常数差,并在 GPS 标准历元 1980 年 1 月 6 日零时与 UTC 保持一致。

2. 时间系统框架

时间系统框架是对时间系统的实现。描述一个时间系统框架通常需要涉及如下几个方面的内容:

(1)采用的时间频率基准。时间系统决定了时间系统框架采用的时间频率基准。不同的时间频率基准,其建立和维护方法不同。历书时是通过观测月球来维护;力学时是通过观测行星来维护;原子时是由分布不同地点的一组原子频标来建立,通过时间频率测量和比对的方法来维护。

(2)守时系统。守时系统用于建立和维持时间频率基准,确定时刻。为保证守时的连续性,不论是哪种类型的时间系统,都需要稳定的频标。

(3)授时系统。授时系统主要是向用户授时和时间服务。授时和时间服务可通过电话、网络、无线电、电视、专用(长波和短波)电台、卫星等设施 and 系统进行,它们具有不同的传递精度,可以满足不同用户的需要。

(4)覆盖范围。覆盖范围是指区域或是全球。20 世纪 90 年代自美国 GPS 广泛使用以来,通过与 GPS 信号的比对来校验本地时间频率标准或测量仪器的情况越来越普遍,原有的计量传递系统的作用相对减少。

1.1.3.7 常用坐标系及其转换

1. 常用坐标系

1)大地坐标系

大地坐标系以参考椭球面为基准面,用大地经度 L 、纬度 B 和大地高 H 表示地面点位置,见图 1-1-1。地面点 A 向参考椭球体作法线,则法线与参考椭球的交点位置 A' 就叫 A 点的大

地位置。参考椭球经过定位、定向后(确定大地原点),椭球体的短轴与地球的平自转轴平行,起始大地子午圈与“平格林尼治首子午圈”相平行。 pp' 为参考椭球的短轴, qqq' 是过参考椭球中心且垂直于短轴的平面,叫大地赤道面。含有短轴的平面与参考椭球相交的那些椭圆叫做大地子午圈。设 A 为地面任一点,自 A 点向参考椭球表面作法线 $AA'N$,这条法线叫 A 的大地法线。大地法线与赤道面之间的夹角叫做 A 点的大地纬度,用符号 B 表示,其值由 0° 至 $\pm 90^\circ$,北半球为正,南半球为负。

起始大地子午圈为大地经度起算子午圈。起始大地子午圈所在平面与 A' 点的大地子午面之间的夹角为 A 点的经度,用符号 L 表示,其值自起始大地子午圈起算,向东为正,向西为负。

大地坐标系是参心坐标系,其坐标系统的原点位于参考椭球中心。

2) 地心坐标系

地心坐标系也是以参考椭球为基准面,地心坐标与上述的大地坐标系不同之处是,地面点 A 的纬度是以 A' 的向径 $A'O$ 与大地赤道面的交角 B' 表示的。 B' 叫地心纬度,由图 1-1-1 可以看出,地心经度与大地经度是一致的。

地心坐标系应满足以下四个条件:

- (1) 原点位于整个地球(包括海洋和大气)的质心;
- (2) 尺度是广义相对论意义下某一局部地球框架内的尺度;
- (3) 定向为国际时间局测定的某一历元的协议地极和零子午线,称为地球定向参数(EOP);

- (4) 定向随时间的演变满足地壳无整体运动的约束条件。

3) 空间直角坐标系

以地心或参考椭球中心为直角坐标系的原点,椭球旋转轴为 Z 轴, X 轴位于起始子午面与赤道的交线上,赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴,指向符合右手规则,便构成了直角坐标系(见图 1-1-2)。

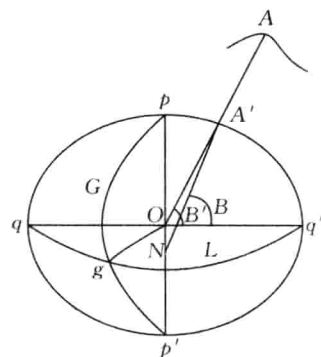


图 1-1-1 大地坐标系与地心坐标系

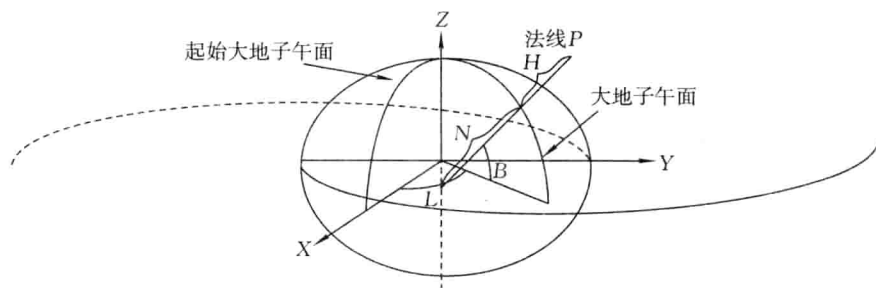


图 1-1-2 空间直角坐标系

在测量应用中,常将空间直角坐标系的原点选在地球参考椭球的中心, Z 轴与地球自转轴平行并指向参考椭球的北极, X 轴指向参考椭球的本初(起始)子午线, Y 轴与 X 轴和 Z 轴相互垂直。点在此坐标系下的点的位置由该点在各个坐标轴上的投影 x, y, z 坐标所定义。当原点位于地球质心时,这样定义的坐标系又称为地心系。否则,则称为参心系。

无论所采用的椭球是否将地球质心作为中心,空间直角坐标系中心的实现都非常重要。

对于全球参照系,通常将地球质心作为中心。另外,不同空间直角坐标系的 Z 轴指向也可以不同。

在空间直角坐标系中,数学公式的表达较为简单,不像大地坐标系公式复杂。但是,在空间直角坐标系中,地球表面上位置间的相互关系不直观,并且没有明确的高程概念。

4) 站心坐标系

在描述两点间关系时,为方便直观,一般采用站心坐标系。根据坐标表示方法,又可以将站心坐标系细分为站心直角坐标系和站心极坐标系,见图 1-1-3、图 1-1-4。

以 P_0 点为中心的站心直角坐标系定义如下:

- (1) 原点位于 P_0 ;
- (2) U 轴与过 P_0 点的参考椭球面的法线重合,指向天顶;
- (3) N 轴垂直于 U 轴,指向参考椭球的短半轴;
- (4) E 轴垂直于 U 轴和 N 轴,最终形成左手系;
- (5) 在站心直角坐标系下点的 N 、 E 、 U 坐标为该点在三个坐标轴上的投影长度。

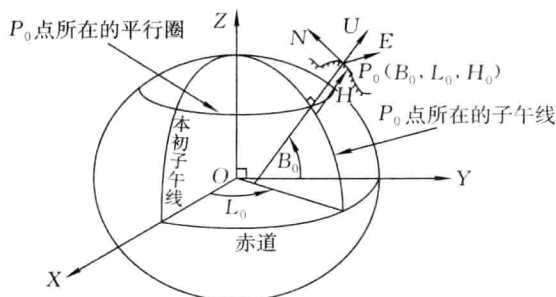


图 1-1-3 站心坐标系

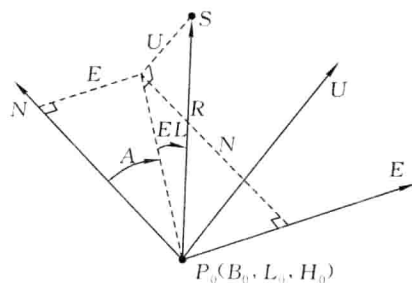


图 1-1-4 站心直角坐标与站心极坐标

以 P_0 点为中心的站心极坐标系定义如下:

- (1) NP_0E 平面为基准面;
- (2) 极点位于 P_0 ;
- (3) 极轴为 N 轴。

点在站心极坐标系下的坐标用极距(R 为由极点到该点的距离)、方位角(A 为在基准面上,以极点为顶点,由极轴顺时针方向量测到 P_0S 在基准面上投影的角度)、高度角(EL 为极点与该点连线与基准面间的夹角)表示。

站心直角坐标与站心极坐标间可以相互转换。

进行 GPS 观测时,常常采用 GPS 卫星相对于测站的高度角、方位角来描述其在空间中的方位。实际上,如果再加上测站到卫星的距离,就是一个完整的站心坐标。

5) 高斯直角坐标系

采用横切圆柱投影——高斯—克吕格投影的方法来建立平面直角坐标系,称为高斯—克吕格直角坐标系,简称为高斯直角坐标系。

高斯—克吕格投影就是设想用一个横椭圆柱面,套在旋转椭球体外面并与旋转椭球体面上某一条子午线相切,同时使椭圆柱的轴位于赤道面内并通过椭圆体的中心,相切的子午线称为中央子午线。然后将中央子午线附近的旋转椭球面上的点、线投影至横切圆柱面上去,再顺着过极点的母线,将椭圆柱面剪开,并展成平面,这个平面称为高斯—克吕格投影平面,简称高

斯投影平面。

高斯投影平面上的中央子午线投影为直线且长度不变,其余的子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度,离中央子午线愈远长度变形愈长,为了将长度变化限制在测图精度允许的范围内,通常采用 6°分带法,即从首子午线起每隔经度差 6°为一带,将旋转椭球体面由西向东等分为 60 带。

2. 坐标系转换

1) 空间直角坐标与大地坐标间的转换

将同一坐标参照系下的大地坐标 (B, L, H) 转换为空间直角坐标 (X, Y, Z) 的公式为

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

式中, N 为卯西圈的半径; a 为参考椭球的长半轴; b 为参考椭球的短半轴; e 为参考椭球的第一偏心率; f 为参考椭球的扁率 $f = \frac{a - b}{a}$ 。

空间直角坐标 (X, Y, Z) 转换为大地坐标 (B, L, H) 的公式为

$$\left. \begin{aligned} L &= \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \\ B &= \arctan\left[\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 \theta}\right] \\ H &= \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N \end{aligned} \right\} \quad (1-1-2)$$

式中, e' 为参考椭球的第二偏心率; $\theta = \arctan\left[\frac{Z \cdot a}{\sqrt{X^2 + Y^2} \cdot b}\right]$ 。

2) 空间直角坐标与站心直角坐标间的转换

在同一坐标参照系下,如果存在 i 和 j 两个点, i 点在空间直角坐标系和大地坐标系下的坐标分别为 (X_i, Y_i, Z_i) 和 (B_i, L_i, H_i) , j 点在空间直角坐标系和大地坐标系下的坐标分别为 (X_j, Y_j, Z_j) 和 (B_j, L_j, H_j) , 设 j 点在以 i 点为中心的站心直角坐标系下的坐标为 (N_{ij}, E_{ij}, U_{ij}) , 则由空间直角坐标转换为站心直角坐标的公式为

$$\begin{bmatrix} N_{ij} \\ E_{ij} \\ H_{ij} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_i \cdot \left(\begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \right) \quad (1-1-3)$$

式中, 旋转矩阵 $\mathbf{T}_i$ 由 B_i, L_i 计算。

而由站心直角坐标系转换为空间直角坐标系的公式为

$$\begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} = \mathbf{T}_i^{-1} \cdot \begin{bmatrix} N_{ij} \\ E_{ij} \\ U_{ij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (1-1-4)$$

式中, 旋转矩阵 $\mathbf{T}_i^{-1}$ 由 B_i, L_i 计算。

3) 不同大地坐标系三维转换

不论大地坐标系转换为地心坐标系, 还是地心坐标系转换为大地坐标系, 以及其他参考椭