

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

核电工程测量

主 编 焦明连
副主编 蒋廷臣 刘光明



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

江苏高校优势学科建设工程暨江苏高校品牌专业建设工程资助项目成果

高等学校测绘工程系列教材

核电工程测量

主 编 焦明连

副主编 蒋廷臣 刘光明



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

核电工程测量/焦明连主编. —武汉:武汉大学出版社,2016.1
高等学校测绘工程系列教材
ISBN 978-7-307-17368-2

I. 核… II. 焦… III. 核电厂—工程测量—高等学校—教材
IV. TM623

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 295064 号

责任编辑:王金龙 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:376千字

版次:2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-17368-2 定价:30.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

人类 100 多万年进化发展的过程，就是一段不断向自然索取更多能源的历史，在现代社会中能源的人均消耗已经成为衡量一个国家生产水平和生活水平的重要标志之一。按现在的开采水平估计，世界上的煤、石油、天然气资源将在几十年内逐渐枯竭。同时，由于大量燃烧煤炭和石油所引起的环境污染和生态平衡的破坏，将给生物和人类带来灾难。因此，我们的时代需要新型的能源。科学家们经过多年研究，认为除了煤、石油气等燃料以外，还有很多可以利用的能源，如风能、太阳能、地热能、潮汐能、生物质能、海水温差产生的能量，等等。但是，以上这些能源很难在短期内实现大规模的工业生产和应用。只有核能，才是一种可以大规模使用的安全的和经济的工业能源。从 20 世纪 50 年代以来，美国、法国、比利时、德国、英国、日本、加拿大等发达国家都建造了大量核电站，核电站产生的电量已占世界总发电量的 16%，其中法国核电站的发电量已占该国总发电量的 78%，在这些国家，核电的发电成本已经低于煤电。国际经验表明，核电是一种经济、安全、可靠、清洁的新能源。

核电站的建设和运行需要复杂的高新技术。在我国已建的核电站中，因为采用的是多个国家的技术和堆型，在技术引进和转让方面受到诸多因素的制约。包括在核电站测量这个技术分支，也因为各国标准和规范的不一致等多方面的原因，使得核电站测量还没有形成一个完整的技术体系，关于核电厂测量方面的教材在我国还是一个空白。编者长期从事测绘技术研究和高校教学工作，并全程参与了田湾核电站工程勘察测量、土建施工测量、工程测量、设备安装调试与运行测量、测量管理与监理等各个环节。在总结核电测绘技术和实践经验的基础上编撰了第一本《核电工程测量》教材，旨在提高核电站精密工程测量在方案设计、施测和管理方面的系统性和通用性，建立一个适用于我国核电站精密工程测量的技术体系，以便为后续核电工程的建设提高工作效率，加快工程建设进度，保证工程建设质量和安全性能，创造更大的经济效益。

本教材具有以下特色：一是校企合作，企业人员深度参与教材编写，教材内容具有很强的实用性和适用性。二是项目引领，强化理论联系实际的教学原则，教材力求知识教学与生产实际紧密结合，注重培养学生的综合素质和职业能力。三是与时俱进，反映了测绘技术最新成果，教材面向 21 世纪发展的需要，确立新的教学思想，关注工程教育的新发展，努力适应教学改革的新要求，将“3S”技术融入教材内容，具有一定的前瞻性。

全书共 10 章，内容包括核电及测绘技术基础知识，测绘现代技术，小区域控制测量与地形图测绘，核电厂施工控制测量，核电厂土建施工测量，核电厂安装施工测量，核电厂变形监测，核电工程测量管理等。为满足教学的需要，每章后附有思考题与习题。全书由焦明连、蒋廷臣、刘光明等人撰写，蒋廷臣副教授负责本书各章思考题与习题的编写及

全书的校对工作，焦明连教授负责全书的统稿工作。

在本书出版之际，感谢江苏高校优势学科“海洋科学与技术”和江苏高校品牌专业“海洋技术”项目基金的资助，感谢中核建设集团专家单意志正教授级高工、田湾核电公司吴建扬正教授级高工、姚俊峰高工、广东核电公司高健高工等同志、解放军信息工程大学翟翊教授以及网络资料原作者为本书提供资料和建议。由于该书是核电工程测绘领域的首编教材，实无经验，加上作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请专家、读者批评指正。

编者

2015年9月于连云港

目 录

第1章 绪论	1
1.1 核心术语和符号释义	1
1.1.1 核心术语	1
1.1.2 符号	5
1.2 核电基本知识	7
1.2.1 核能的发展	7
1.2.2 核反应	7
1.2.3 核电站	8
1.2.4 核能应用	9
1.2.5 核能安全性	10
1.2.6 中国核电的发展	11
1.3 核电测绘的程序和内容	12
1.3.1 控制网测设	12
1.3.2 施工测量	13
1.3.3 变形观测	13
思考题	14
第2章 测绘技术基础知识	15
2.1 概述	15
2.2 控制测量	15
2.2.1 平面控制测量	16
2.2.2 高程控制测量	17
2.3 碎部测量	18
2.3.1 概述	18
2.3.2 地面数字测图	18
2.3.3 测定碎部点的基本方法	19
2.3.4 野外数据采集	19
2.4 误差理论	20
2.4.1 观测误差	20
2.4.2 评定精度的指标	21
2.4.3 误差传播定律	22
2.5 测设技术	24
2.5.1 测设的基本技术与方法	24

2.5.2	点的平面位置的测设	27
2.5.3	中线测量	30
2.5.4	土方计算与边坡放样	31
	思考题	32
第3章	现代测绘技术	33
3.1	遥感技术	33
3.1.1	航空遥感	33
3.1.2	航天遥感	37
3.1.3	航天遥感影像空间分辨率与成图比例尺的关系	44
3.2	全球导航定位系统 (GNSS)	44
3.2.1	GPS 导航定位系统	44
3.2.2	GLONASS 系统	50
3.2.3	Galileo 系统	52
3.2.4	中国北斗全球卫星导航系统	54
3.3	地理信息系统	57
3.3.1	地理信息系统概述	57
3.3.2	地理信息系统的主要功能	58
3.3.3	空间数据组织与管理	59
3.3.4	地理信息系统技术的发展及应用	59
3.4	“3S”技术的集成及其应用	64
3.4.1	“3S”集成技术的定义及其基本原理	64
3.4.2	“3S”集成技术的发展与应用	65
	思考题	67
第4章	小区域控制测量	68
4.1	概述	68
4.1.1	平面控制测量的基本原则	68
4.1.2	高程控制测量的基本原则	69
4.2	平面控制测量	69
4.2.1	卫星定位测量	69
4.2.2	导线测量	77
4.2.3	三角形网测量	86
4.3	高程控制测量	88
4.3.1	水准测量	88
4.3.2	三角高程测量	98
4.3.3	GPS 高程测量	101
	思考题	106

第5章 核电厂地形图测绘	108
5.1 数字测图概述	108
5.1.1 数字测图的概念与分类	108
5.1.2 数字测图的过程与特点	109
5.1.3 数字测图技术的发展趋势	111
5.2 碎部点的测定方法	111
5.2.1 极坐标法	111
5.2.2 其他方法	112
5.3 图式符号及信息编码	117
5.3.1 地形图符号的基本特征与分类	117
5.3.2 地形图符号的定位和定向	119
5.3.3 野外采样与信息编码	121
5.4 地形点的测定	124
5.4.1 地物点的测定	124
5.4.2 地貌点的测定	127
5.5 野外采样信息的数据结构与采集模式	133
5.5.1 野外采样信息的数据结构	133
5.5.2 常用野外数据采集模式	139
5.6 水下地形测量	141
5.7 海洋测绘	143
思考题.....	146
第6章 核电厂施工控制测量	147
6.1 概述	147
6.2 施工控制测量方案	147
6.2.1 初级网测量	147
6.2.2 次级网测量	148
6.2.3 厂房微网测量	151
6.2.4 厂房微网传递测量	152
6.3 数据处理及成果提交	153
6.4 田湾核电站控制测量案例分析	154
6.4.1 田湾核电站测量控制网	154
6.4.2 田湾核电站控制测量精度分析	160
6.4.3 核电精密工程控制系统的探讨	161
6.4.4 田湾核电站测量控制点标志的编号	162
思考题.....	164
第7章 核电厂土建施工测量	165
7.1 概述	165
7.2 海水隧洞贯通测量	170

7.2.1	海水隧洞贯通测量控制点的测设	170
7.2.2	贯通精度的评定	171
7.3	反应堆厂房施工测量	172
7.3.1	双层安全壳施工测量	172
7.3.2	反应堆钢衬穹顶制作和吊装测量	174
7.3.3	穹顶吊装的测量控制	176
7.4	排风塔施工测量	177
7.4.1	概述	177
7.4.2	塔基施工测量控制	177
7.4.3	塔架施工测量控制	178
7.5	特殊预埋件测量	178
7.5.1	核岛内部结构预埋件测量定位特点	178
7.5.2	核岛内部结构测量定位	178
7.5.3	安装问题及防控措施	180
	思考题	182
第8章	核电厂安装施工测量	183
8.1	反应堆厂房内的安装测量精密控制微网的建立	183
8.2	核岛安装主回路测量	185
8.2.1	概述	185
8.2.2	核岛安装主回路测量控制网的建立	186
8.2.3	主回路设备安装测量方法	188
8.3	压力容器的精密检测	191
8.4	环吊安装测量	193
8.4.1	环吊梁或环形轨道梁的安装测量	193
8.4.2	主梁安装测量	193
8.4.3	吊车试验测量	193
	思考题	194
第9章	核电厂变形监测	195
9.1	概述	195
9.2	水平位移监测方法及原理	196
9.3	垂直位移监测方法与原理	201
9.4	变形监测数据处理与变形分析	203
9.4.1	变形监测资料的预处理	203
9.4.2	监测网的参考系和稳定性分析	204
9.4.3	变形分析与建模的基本理论与方法	209
9.5	田湾核电厂变形监测	212
9.5.1	反应堆厂房监测	212
9.5.2	高边坡变形监测	214

9.5.3 汽轮机厂房垂直位移监测	215
9.5.4 护岸和挡浪堤的变形监测	215
思考题	217
第 10 章 核电工程测量管理	218
10.1 概述	218
10.2 测量管理	218
10.2.1 核电建设测绘资格的动态管理	218
10.2.2 测量中的安全管理	219
10.2.3 测量中的质量控制	220
10.2.4 测量中的进度控制	221
10.3 核电工程测量监理	221
10.3.1 测量监理概述	221
10.3.2 测量监理的内容和方法	221
10.3.3 田湾核电站工程测量监测实施	222
10.4 核电工程现场测量管理	224
10.4.1 组织机构设置与岗位	224
10.4.2 人员配置和工作职责	224
10.4.3 部门工作职责和管理规定	226
思考题	230
参考文献	231

第 1 章 绪 论

1.1 核心术语和符号释义

1.1.1 核心术语

(1) 核电厂 (nuclear power station)

利用原子核裂变反应放出的核能来发电的发电厂，通常由一回路系统和二回路系统两大部分组成。

(2) 核反应堆 (nuclear reactor)

能维持和控制核裂变反应的装置，实现核能—热能的转换。

(3) 核岛 (nuclear island)

指核反应堆厂房及其紧邻的核辅助厂房。

(4) 常规岛 (conventional island)

指汽轮发电机厂房及其紧邻的与核安全无关的辅助厂房。

(5) 厂区 (restricted area)

具有确定的边界，并在核电厂管理人员有效控制下的核电厂所在领域。

(6) 测区平面起算点 (coordinate original data of surveying area)

指将国家平面控制引测至测区，作为主厂区及其附属设施区域平面控制起算数据的控制点。在国家等级控制点距离测区较远或使用不便时建立。

(7) 测区高程起算点 (elevation original data of surveying area)

指将国家高程控制引测至测区，作为主厂区及其附属设施区域高程控制起算数据的控制点。

(8) 初级网 (primary control network)

在测区平面、高程起算点 (或国家等级控制点) 的基础上，为满足核电厂前期土建施工、附属工程的定位和放线、次级网的建立等，在整个核电厂区内所布设的一组有特定精度要求的控制网，包括平面控制网和高程控制网。

(9) 次级网 (secondary control network)

在初级网基础上布设的，为满足平整后主厂区内建构物的施工定位和放线、设备安装、微网测设、变形监测及局部控制加密等，由覆盖于核岛等主要厂房周围的、多个观测墩表示的一组平面和高程控制点所组成的独立网。

(10) 厂房微网 (micro-grid control network of factory building)

由定位在核岛、常规岛等主体厂房内混凝土基础平台上的多个测量标志组成的，为满足各厂房内部的建筑施工定位和放线、设备安装和检查、变形监测及局部控制加密等，由

次级网确定的微型精密工程测量控制网。

(11) RBN-DGPS (Radio Beacon-Differential global position system)

RBN-DGPS 即无线电指向标/差分全球定位系统, 是一种利用航海无线电指向标播发台播发 DGPS 修正信息, 向用户提供高精度服务的助航系统, 属单站伪距差分。主要由基准台、播发台、完善性监控台和监控中心组成。

(12) 天线相位中心 (antenna phase center)

天线相位中心 (平均天线相位中心, average of antenna phase center) 是指微波天线的电气中心。其理论设计应与天线几何中心一致。天线相位中心与几何中心之差称为天线相位中心偏差。天线视在相位中心与天线相位中心之差称为天线相位中心的变化。

(13) 测绘学 (surveying and mapping)

研究地理信息的获取、处理、描述和应用的学科。其内容包括研究测定、描述地球的形状、大小、重力场、地表形态以及它们的各种变化, 确定自然和人造物体、人工设施的空间位置及属性, 制成各种地图和建立有关信息系统。现代测绘学的技术已部分应用于其他行星和月球上。

(14) 大地测量学 (geodesy)

研究地球形状、大小和重力场及其变化, 通过建立区域和全球三维控制网、重力网及利用卫星测量、甚长基线干涉测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。

(15) 摄影测量与遥感学 (photogrammetry and remote sensing)

研究利用电磁波传感器获取目标物的几何和物理信息, 用以测定目标物的形状、大小、空间位置, 判释其性质及相互关系, 并用图形、图像和数字形式表达的理论和技术的学科。

(16) 地图制图学 (cartography)

研究地图的信息传输、空间认知、投影原理、制图综合和地图的设计、编制、复制以及建立地图数据库等的理论和技术的学科。

(17) 工程测量学 (engineering surveying)

研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。

(18) 海洋测绘学 (marine surveying and charting)

研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布, 及编制各种海图的理论和技术的学科。

(19) 地籍测绘 (cadastral surveying and mapping)

调查和测定地籍要素、编制地籍图、建立和管理地籍信息系统的技术。

(20) 测绘仪器 (instrument of surveying and mapping)

为测绘工作设计制造的数据采集、处理、输出等仪器和装置。

(21) 测绘标准 (standards of surveying and mapping)

为满足测绘学科发展、合理组织生产以及统一产品规格和质量管理等需要, 由主管机构颁发的关于测绘技术方法、产品质量、品种规格等的技术文件。

(22) 测量规范 (specifications of surveys)

对测量产品的质量、规格以及测量作业中的技术事项所作的统一规定, 是测绘标准之一。

(23) 制图规范 (specifications of cartography)

对地图制图过程中的地图设计、编制、复制等技术事项所作的统一规定，是测绘标准之一。

(24) 地图图式 (cartographic symbols)

对地图上地物、地貌符号的样式、规格、颜色、使用以及地图注记和图廓整饰等所作的统一规定，是测绘标准之一。

(25) 地球椭球 (earth ellipsoid)

代表整个地球大小、形状的数学体，其近似为旋转椭球。

(26) 参考椭球 (reference ellipsoid)

一个国家或地区为处理测量成果而采用的一种与地球大小、形状最接近并具有一定参数的地球椭球。

(27) 大地基准 (geodetic datum)

大地坐标系的基本参照依据，包括参考椭球参数和定位参数以及大地坐标的起算数据。

(28) 大地原点 (geodetic origin)

国家水平控制网的起算点。

(29) 高程基准 (vertical datum)

由特定验潮站平均海水面确定的测量高程的起算面以及依据该面所决定的水准原点高程。

(30) 深度基准 (sounding datum)

海图及各种水深资料的深度起算面。

(31) 重力基准 (gravimetric datum)

布设在全球或区域范围内，经严密的测量和计算得到的一系列具有绝对重力值的地面固定点，据此可推算出其他点的重力值。

(32) 水准原点 (leveling origin)

国家高程控制网的起算点。

(33) 1985 国家高程基准 (National Vertical Datum 1985)

1987 年颁布命名的，以青岛验潮站 1952—1979 年验潮资料计算确定的平均海水面作为基准面的高程基准。

(34) 大地水准面 (geoid)

一个假想的与处于流体静平衡状态的海洋面（无波浪、潮汐、海流和大气压变化引起的扰动）重合并延伸向大陆且包围整个地球的重力等位面。

(35) 1956 年黄海高程系统 (Huanghai Vertical Datum 1956)

以青岛验潮站根据 1950—1956 年的验潮资料计算确定的平均海水面作为基准面，用以计算地面点高程的系统。

(36) 大地坐标系 (geodetic coordinate system)

以参考椭球面为基准面，用以表示地面点位置的参考系。

(37) 地心坐标系 (geocentric coordinate system)

以地球质心为原点建立的空间直角坐标系，或以球心与地球质心重合的地球椭球面为基准面所建立的大地坐标系。

(38) 高斯平面坐标系 (Gauss Plane Coordinate System)

根据高斯-克吕格投影所建立的平面直角坐标系, 各投影带的原点是该带中央子午线与赤道的交点, X 轴正方向为该带中央子午线北方向, Y 轴正方向为赤道东方向。

(39) 1954 年北京坐标系 (Beijing Geodetic Coordinate System 1954)

1954 年我国决定采用的国家大地坐标系, 实质上是由苏联普尔科沃为原点的 1942 年坐标系的延伸。

(40) 地方坐标系 (local coordinate system)

局部地区建立平面控制网时, 根据需要投影到任意选定面上和 (或) 采用地方子午线为中央子午线的一种直角坐标系。

(41) 独立坐标系 (independent coordinate system)

任意选定原点和坐标轴的直角坐标系。

(42) 坐标格网 (coordinate grid)

按一定纵横坐标间距, 在地图上划分的格网。

(43) 地理坐标网 (geographic graticule)

按经、纬度划分的坐标格网。

(44) 直角坐标网 (rectangular grid)

按平面直角坐标划分的坐标格网。

(45) 地图投影 (map projection)

按一定的数学法则, 把参考椭球面上的点、线投影到平面上的方法。

(46) 投影带 (projection zone)

在地图分带投影中, 将参考椭球面沿子午线或沿纬线划分成一定经差或纬差的投影区域。

(47) 高斯-克吕格投影 (Gauss-Krueger Projection)

一种等角横切圆柱投影。其投影带中央子午线投影成直线且长度不变, 赤道投影也为直线, 并与中央子午线正交。

(48) 通用横轴墨卡托投影 (Universal Transverse Mercator Projection, UTM)

一种等角横割圆柱投影。投影时, 距中央子午线东西各 180km 的两条平行线与实地等长。

(49) 大地子午面 (geodetic meridian plane)

参考椭球面某点的法线与椭球短轴所构成的平面。

(50) 大地子午线 (geodetic meridian)

大地子午面与参考椭球面的交线。

(51) 中央子午线 (central meridian)

地图投影中投影带中央的子午线。

(52) 分带子午线 (zone dividing meridian)

分带投影中划分投影带的子午线。

(53) 磁子午线 (magnetic meridian)

通过地球南北磁极所作的平面与地球表面的交线。

(54) 测量标志 (survey mark)

标定地面控制点位置的标石、觐标以及其他标记的通称。

- (55) 测量觇标 (observation target)
观测照准目标及安置仪器用的测量标架。
- (56) 地名 (place names; geographic names)
具有固定地理位置的特性, 用以识别各个地理物体的名称。
- (57) 地貌 (relief)
地球表面起伏形态的统称。
- (58) 地物 (ground feature)
地球表面上的各种固定性物体, 可分自然地物和人工地物。
- (59) 地形 (land form)
地貌和地物的总称。
- (60) 地图比例尺 (map scale)
地图上某一线段的长度与地面上相应线段水平距离之比。
- (61) 等高线 (contour; contour line)
地图上地面高程相等的各相邻点所连接的曲线。
- (62) 等高距 (contour interval)
地图上相邻等高线的高差。
- (63) 地图要素 (map elements)
构成地图的基本内容, 分为数学要素、地理要素、整饰要素。
- (64) 地图分幅 (sheet line system)
按一定规格将广大地区的地图划分成一定尺寸的若干单幅地图。
- (65) 图幅编号 (sheet designation; sheet number)
每幅地图的代号。
- (66) 图名 (map title)
赋予每幅地图的名称。
- (67) 图廓 (map edge; map border)
分幅地图的实际和整饰范围线。
- (68) 图例 (legend)
图上适当位置印出图内所使用的图式符号及其说明。

1.1.2 符号

- A —— GPS 接收机标称的固定误差;
- a —— 电磁波测距仪器标称的固定误差;
- B —— GPS 接收机标称的比例误差系数;
- b —— 电磁波测距仪器标称的比例误差系数;
- C —— 照准差;
- D —— 电磁波测距边长度;
- D_p —— 水平距离;
- d —— GPS 网相邻点间的距离、控制网平均边长、较差;
- f —— 航摄仪主距;
- f_c —— 挠度;

f_h ——三角高程测量附和或环形闭合差；
 f_β ——导线环的角度闭合差或附和导线的方位角闭合差；
 H ——水深、建构筑物的高度；
 H_d ——地形图基本等高距；
 H_m ——测距边两端点平均高程；
 H_p ——测区平均高程；
 h ——高差；
 i ——水准仪视准轴与水准管轴的夹角、指标差、三角形编号、度盘最小间隔分化值、主体倾斜率；
 K ——大气折光系数、像片放大成图倍数、坐标系统长度比；
 L ——路线长度、垂直角盘左读数、视准线长度；
 M ——测图比例尺分母、像片比例尺分母；
 M_h ——加密点的高程中误差；
 M_p ——点位中误差；
 M_s ——加密点的平面中误差、水平位移中误差；
 M_w ——高差全中误差；
 M_Δ ——高差偶然中误差；
 m ——测量中误差；
 m_D ——测距中误差；
 m_g ——固定角的角度中误差；
 m_α ——起始方位角中误差；
 m_β ——测角中误差；
 N ——异步环、附和线路、导线或闭合环的个数；
 n ——测站数、测段数、边数、点数、三角形个数、像片基线数；
 P ——测量的权；
 R ——地球平均曲率半径，盘右读数；
 r ——地球曲率及折光差的改正数；
 S ——边长、斜距；
 W ——闭（符）合差；
 W_f, W_g, W_j, W_b ——分别为方位角条件、固定角条件、角-极条件、边（基线）条件自由项的限差；
 W_x, W_y, W_z ——坐标分量闭合差；
 α ——垂直角、地面倾角、长度比例系数；
 β ——求距角；
 δ_h ——对向观测的高差较差；
 $\delta_{1,2}$ ——测站点 1 向照准点 2 观测方向的方向变化值；
 Δd ——长度较差；
 $\Delta\alpha$ ——补偿式自动安平水准仪的补偿误差；
 Δ ——较差、不符值；
 μ ——单位权中误差；

σ ——基线长度中误差；

DJ ——经纬仪型号代码，包括全站仪、电子经纬仪和光学经纬仪，主要有 DJ05、DJ1、DJ2、DJ6 等型号；

DS ——水准仪型号代码，包括电子水准仪、光学水准仪（含自动安平水准仪），主要有 DS05、DS1、DS3、DS10 等型号；

GPS ——全球定位系统（Global Positioning System）；

PDOP ——GPS 的空间位置精度因子（position dilution of precision）。

1.2 核电基本知识

核能，即原子能，是指核反应时释放的能量。人们利用核能的目的有两个，一个是将核能作为一种中子能，利用核裂变产生的大量中子以生产军用或民用的同位素，进行各项研究；另一个是将核能作为一种热源，利用核反应所释放的热量来供热、发电。进入 21 世纪，面对常规能源的日益减少，寻找、开发新能源已成为当务之急。在寻找新能源的大浪中，核能以其清洁、高效等优势脱颖而出并已广泛地进入大家视野。

1.2.1 核能的发展

随着科学技术的发展，核能的利用技术越来越成熟，核能的普及已经提上日程。实际上，核能作为一种新能源，其发展历程并不是一帆风顺的，核能的发展大体经历过发现、大规模研究、投入使用、遭到质疑、正确认识等阶段。在现阶段，核能研究依旧在快速发展，其发展前途不可限量。

核能的发展离不开相关技术的发展与支持，包括加速器技术、同位素制备技术、核辐射探测技术、核成像技术、辐射防护技术的发展。众所周知，核能在发展利用过程中有两大方向，一个是和平利用核能，另一个就是核武器。在和平利用核能的过程中，人类利用其聪明才智发明核电站（包括轻水核电站、重水核电站和快堆核电站）以及核动力破冰船等。曾经就有谈核色变的说法，这与后者是密不可分的，原子弹、氢弹、中子弹等武器在二战中的威力有目共睹，而新型的核潜艇和核动力航空母舰是现代国防中的重量级装备，并对其他国家有着巨大的威慑力。

1.2.2 核反应

传统的化学能是通过原子的结合与分离从而产生能量，而新型的核能会在原子核聚合或裂变时释放出惊人的能量，由此可见它通过原子核的结合与分离从而实现能量的获得。核能的来源是将核子（中子和质子）保持在原子核中的作用力即核力。因此，可以得出获取核能的两种手段，即核裂变和核聚变。

核裂变，又称核分裂，是一个原子核分裂成几个原子核的变化。裂变只有一些质量非常大的原子核像铀、钍和钷等才能发生核裂变。这些原子的原子核在吸收一个中子以后会分裂成两个或更多个质量较小的原子核，同时放出两个到三个中子和很大的能量，又能使别的原子核接着发生核裂变……使过程持续下去，这种过程称作链式反应。原子核在发生核裂变时，释放出巨大的能量称为原子核能，俗称原子能。1kg 铀-235 的全部核的裂变将产生 20 000MW·h 的能量（足以让 20MW 的发电站运转 1 000h），与燃烧 2 500t 煤释放的