《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

靶场大地测量

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

靶场大地测量

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

靶场大地测量/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编.—北京:国防工业出版社,2004.1

国防科研试验工程技术系列教材·导弹航天测量控制系统

ISBN 7-118-03200-X

Ⅰ.靶… Ⅱ.中… Ⅲ.靶场－大地测量－教材 Ⅳ.P22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052400 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 10¼ 273 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

目　录

第 1 章　概论 …… 1

1.1　大地测量学的任务和作用 …… 1

1.1.1　任务 …… 1

1.1.2　作用 …… 1

1.2　大地测量学的基本体系和基本内容 …… 4

1.2.1　基本体系 …… 4

1.2.2　基本内容 …… 6

1.3　靶场大地测量的任务和作用 …… 6

1.3.1　任务 …… 6

1.3.2　作用 …… 7

1.3.3　基本内容 …… 8

1.4　靶场大地测量的主要特点及展望 …… 9

1.4.1　主要特点 …… 9

1.4.2　展望 …… 10

第 2 章　靶场大地测量基准 …… 11

2.1　大地水准面、高程系统与天文坐标 …… 11

2.1.1　水准面和大地水准面 …… 11

2.1.2　高程系统与高程基准 …… 12

2.1.3　点位的天文坐标 …… 14

2.2　地球椭球与大地坐标系 …… 14

2.2.1　地球椭球 …… 14

2.2.2　参考椭球、参心坐标系与地心坐标系 …… 15

2.2.3　大地坐标系与空间大地直角坐标系 …… 16

2.2.4　垂线偏差、天文坐标与大地坐标的关系 …… 18

2.3 我国当前采用的主要坐标系 …… 18
2.3.1 3种参心坐标系 …… 18
2.3.2 3种地心坐标系 …… 20
2.4 不同大地坐标系间的坐标转换 …… 21
2.4.1 不同空间大地直角坐标系的转换 …… 22
2.4.2 不同大地坐标系的换算 …… 22
2.4.3 坐标转换参数的确定 …… 23
2.5 天球坐标系及其转换 …… 24
2.5.1 天球的基本概念 …… 24
2.5.2 天球坐标系 …… 25
2.5.3 协议天球坐标系与协议地球坐标系的转换 …… 28
2.6 站心坐标系 …… 30
2.6.1 发射坐标系及其转换 …… 30
2.6.2 垂线测量坐标系及其转换 …… 31
2.6.3 法线测量坐标系及其转换 …… 31
2.7 高斯-克吕格投影平面直角坐标 …… 32
2.7.1 概念 …… 32
2.7.2 高斯-克吕格投影平面直角坐标系的计算公式 …… 32
2.7.3 高斯投影反算公式 …… 33
2.8 时间系统 …… 34
2.8.1 世界时(UT)系统 …… 35
2.8.2 历书时(ET)系统 …… 36
2.8.3 原子时(AT)系统 …… 36
2.8.4 协调世界时(UTC)系统 …… 36
2.8.5 GPS时间系统(GPST) …… 36
2.9 重力测量系统 …… 37
2.9.1 重力的基本概念 …… 37
2.9.2 我国的重力系统 …… 37
2.10 几种常用方位角及其关系 …… 38
2.10.1 几种常用方位角 …… 38
2.10.2 各种方位角的相互关系 …… 39

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 3 章　靶场大地测量基本方法 …… 40
3.1　概述 …… 40
3.2　角度测量 …… 40
3.2.1　测角仪器 …… 40
3.2.2　测角方法 …… 58
3.3　电磁波测距 …… 68
3.3.1　测距仪及其附件 …… 68
3.3.2　测距仪的检验 …… 71
3.3.3　电磁波测距误差分析 …… 74
3.3.4　电磁波测距观测结果的化算 …… 77
3.4　高程控制测量 …… 84
3.4.1　高程控制网的布设 …… 84
3.4.2　常用水准仪的技术指标及构造 …… 87
3.4.3　水准仪及附件的检验和校正 …… 89
3.4.4　水准测量的主要误差来源及其影响 …… 93
3.4.5　精密水准测量的实施 …… 98
3.4.6　三角高程测量 …… 103
3.5　导线测量 …… 108
3.5.1　导线测量法 …… 108
3.5.2　导线测量的优缺点 …… 108
3.5.3　导线测量的误差理论 …… 109
3.5.4　精密导线的布设方案 …… 113
3.5.5　导线测量 …… 114
3.5.6　导线测量成果的验算 …… 115
3.6　天文测量 …… 117
3.6.1　大地天文学的主要任务和内容 …… 117
3.6.2　天文测量的主要仪器设备 …… 121
3.6.3　天文测量的精度及成果归算 …… 122
3.7　重力测量 …… 127
3.7.1　重力测量的等级和精度 …… 127
3.7.2　远程导弹试验对地球重力场参数的精度要求 …… 128

3.7.3 发射点和设备点重力加速度值的联测 …… 129
3.7.4 推求发射阵地平均空间异常时重力点的布设要求 …… 130
3.7.5 设备点间高程异常差的测定 …… 130
3.7.6 重力测量系统及系统之间的换算 …… 130
第4章 GPS测量基本原理与应用 …… 132
4.1 概述 …… 132
4.1.1 GPS全球定位系统的建立 …… 132
4.1.2 GPS系统组成 …… 133
4.1.3 GPS坐标系统及特点 …… 134
4.1.4 GPS系统的应用前景 …… 136
4.1.5 我国的GPS定位技术应用和发展情况 …… 137
4.2 GPS卫星的导航电文和卫星信号 …… 139
4.2.1 GPS卫星的导航电文 …… 139
4.2.2 GPS卫星信号 …… 140
4.3 GPS卫星定位基本原理 …… 141
4.3.1 伪距测量 …… 143
4.3.2 载波相位测量 …… 144
4.3.3 GPS绝对定位与相对定位 …… 147
4.3.4 SA和AS政策 …… 149
4.3.5 差分GPS定位原理 …… 150
4.4 GPS测量的误差来源及其影响 …… 153
4.4.1 GPS测量主要误差分类 …… 153
4.4.2 与信号传播有关的误差 …… 154
4.4.3 与卫星有关的误差 …… 155
4.4.4 与接收机有关的误差 …… 156
4.5 GPS测量的设计与实施 …… 157
4.5.1 GPS测量的技术设计 …… 157
4.5.2 GPS测量的外业实施 …… 167
4.5.3 GPS测量的作业模式 …… 170
4.5.4 数据预处理及观测成果的质量检核 …… 175
4.6 GPS测量数据处理 …… 180
4.6.1 GPS基线向量的解算 …… 180

4.6.2 基线向量网平差 …… 181
第 5 章 靶场大地控制网的布设与设备点联测 …… 185
5.1 概述 …… 185
5.2 靶场大地控制网的布设原则 …… 185
5.2.1 布设原则 …… 185
5.2.2 布设方法 …… 186
5.3 靶场设备点联测 …… 187
5.3.1 设备点联测的特点及要求 …… 187
5.3.2 联测中应注意的几个问题 …… 187
5.3.3 设备的位置测定 …… 188
5.3.4 设备点联测及精度估算 …… 190
5.3.5 设备点联测的组织实施 …… 191
5.4 靶场方位标联测 …… 192
5.4.1 方位标的类型 …… 193
5.4.2 方位标照准标的的测定位置 …… 193
5.4.3 方位标测量 …… 194
5.5 靶场特殊测量 …… 200
5.5.1 大偏心测量 …… 200
5.5.2 短边角度测量 …… 203
5.5.3 长度测量 …… 212
5.5.4 用钢卷尺引渡高程 …… 213
第 6 章 靶场标校测量 …… 217
6.1 概述 …… 217
6.2 测量船测控设备坞内标校 …… 218
6.2.1 名词解释 …… 218
6.2.2 船坞控制网的布设 …… 219
6.2.3 标校设备和设施 …… 220
6.2.4 大地测量基准 …… 221
6.2.5 测量内容 …… 223
6.2.6 陆上干船坞标校 …… 223
6.2.7 水上浮船坞标校 …… 224

6.2.8 数据处理 …… 226
6.3 地理子午线的标定 …… 231
6.3.1 标定的准备工作 …… 231
6.3.2 标定的基本方法 …… 233
6.3.3 标定的几种常见形式 …… 233
6.4 射向标定 …… 236
6.4.1 大地四边形法瞄准方位基准测量 …… 236
6.4.2 导线法瞄准方位基准测量 …… 240
6.4.3 定点反算方位放样法 …… 241
6.4.4 射向变换时标定新瞄准点的方法 …… 244
6.4.5 井下射向基准方位测量 …… 245
第7章 靶场大地测量数据处理 …… 251
7.1 概述 …… 251
7.2 外业数据的预处理 …… 251
7.2.1 三角导线测量 …… 251
7.2.2 天文测量 …… 253
7.3 内业数据的精处理 …… 254
7.3.1 三差改正 …… 254
7.3.2 将天文方位角归化为大地方位角 …… 258
7.3.3 将地面测量的长度归算到椭球面 …… 258
7.3.4 平面子午线收敛角 …… 259
7.3.5 椭球面上观测结果归化到高斯平面 …… 260
7.4 成果的调制 …… 264
7.4.1 成果调制包含的内容 …… 264
7.4.2 成果表示例 …… 266
第8章 靶场大地测量信息系统 …… 270
8.1 概述 …… 270
8.1.1 信息时代的大地测量学 …… 270
8.1.2 大地测量信息与信息系统 …… 272
8.1.3 大地测量信息系统对学科建设的影响 …… 276
8.2 大地测量信息系统的功能与结构 …… 278

8.2.1 大地测量信息系统的基本功能 …… 278
8.2.2 大地测量信息系统的一般结构 …… 280
8.2.3 大地测量数据库的一般结构 …… 283
8.3 大地测量信息系统的开发介绍 …… 284
8.3.1 大地测量信息系统的开发 …… 284
8.3.2 大地测量信息系统的标准化 …… 287
8.4 GPS大地测量信息系统介绍 …… 287
8.4.1 GPS大地测量信息系统的局域网络 …… 287
8.4.2 GPS大地测量信息系统的数据库 …… 289
8.4.3 GPS大地测量信息系统的信息处理系统 …… 292
第9章 靶场数字成图系统 …… 294
9.1 概述 …… 294
9.2 数字化地籍成图系统 …… 295
9.2.1 计算机在数字地籍成图中的应用 …… 296
9.2.2 数字化仪及其使用 …… 296
9.2.3 数字成图基本配置 …… 299
9.3 地籍测量野外数据采集 …… 301
9.3.1 数据采集的外业模式 …… 301
9.3.2 编码的原则 …… 302
9.3.3 编码方法举例 …… 302
9.4 数字化地籍成图软件 …… 304
9.4.1 数据传输 …… 306
9.4.2 数字化仪的驱动和图形数字化 …… 307
9.4.3 数据处理 …… 308
9.4.4 图形输出 …… 310
9.4.5 CASS5.0简介 …… 312
附录A 常用测量术语注释 …… 316
附录B 测量符号与测量名称对照表 …… 318
附录C 靶场大地测量外业技术总结编写要求 …… 320
附录D 测量标志的管理与维护 …… 322
参考文献 …… 323

第1章 概 论

1.1 大地测量学的任务和作用

1.1.1 任务

大地测量学是一门地球信息学科，它的主要任务是：

(1) 在广大面积上建立由一系列地面点构成的大地控制网，以精密确定地面点的位置及其随时间的变化，为测制地图、工程设计和地球动力学等科研工作提供控制基础，也为人造卫星、导弹和各种航天器提供地面站的精确坐标；

(2) 研究和测定地球形状、大小及其随时间的变化，为大地控制网和地球科学提供计算基准面和基本数据；

(3) 研究和测定地球重力场及其变化情况，为大地控制网的归算、宇宙飞船和人造卫星的发射及定轨、远程武器的发射和地质探矿等提供必要的资料。

1.1.2 作用

1) 在空间技术和国防建设中的重要作用

空间科学技术发展水平是当今衡量一个国家综合科技水平和综合国力的重要指标，同时也是评估一个国家国防能力的重要标志。卫星、导弹、航天飞机以及其他宇宙空间探测器的发射、制导、跟踪与返回等都必须在大地测量保障下才能得以实现。这种保障主要体现在，要有一个精确的地球参考框架（指惯性坐标系及地心地固坐标系）及一个精密的全球重力场模型。前者用于描述空间飞行器在参考框架内的相对运动，后者用于对地球表面及

需要全本请访问 www.ertongbook.com

其外空间一切飞行体的分析及设计力学行为的先验重力场约束。地球参考框架主要是由一定量的已知精确坐标的基准点及由4个基本参数（长半轴 a，地球重力场二阶正常带谐系数 J_2，地球自转角速度 ω 及地球引力常数与其质量乘积 GM）决定的正常地球椭球，并实现它的定位和定向。地球重力场模型参数是卫星轨道动力学方程中的决定性参数。另外，发射近地卫星需要精密的地球重力场模型，发射站及跟踪站需要有准确的地心坐标，建立动态地理信息系统（GIS）也需要有足够的大地测量控制点作保证。

2）在国民经济建设中的作用

地形图是一切经济建设规划和发展必需的基础性资料。为测制地形图首先要布设全国范围内及局域性的大地测量控制网，为取得大地点的精确坐标，必须建立合理的大地测量坐标系以及确定地球的形状、大小及重力场参数。比如交通运输事业（铁路、公路、航海、航空等），资源开发事业（石油、天然气、钢铁、煤炭、矿藏等），水利水电工程事业（大坝、水库、电站、堤防等），工业企业建设事业（工厂、矿山等），农业生产规划和土地管理，城市建设发展及社会信息管理等，都需要地形图作为规划、设计和发展的依据。

3）在抗灾和环境保护中的特殊作用

我国以及日本、美国等国家都在地震带区域内建立了密集的大地测量形变监测系统，利用GPS和甚长基线干涉（VLBI），激光测卫（SLR）站等现代大地测量手段进行自动连续监测。大地测量还可在山体滑坡、泥石流及雪崩等灾害监测中发挥作用。世界每年都发生各种灾难事件，如空难、海难、陆上交通事故、恶劣环境的围困等，国际组织已建立了救援系统，其关键是利用GPS快速准确定位及卫星通信技术，将出事的地点及情况通告救援组织以便及时采取救援行动。

温室效应等是人类关注的全球环境问题，对此，科学界正利用GPS技术将全球验潮站联测到VLBI及SLR站上，以便根据长期

监测结果，分析气温对海水面的变化，进而分析带来的影响。

在军事上，从古代战争到现代战争以及未来战争，都需要相应的军事测绘作保障，这主要表现在超前储备保障和动态实时保障。比如常规火炮和远程导弹的发射，要命中几十千米、几百千米、甚至上万千米以外的目标，必须知道发射点至目标的距离和方位，以及标定火炮和导弹发射场至方位标的方位。在国防工程建设上，如军事基地、机场、军港、地下设施、边疆和海疆的标定等。试验洲际导弹的命中精度，要在导弹运行的沿线地面上设立许多跟踪站，以观测导弹运行轨道，并要知道发射场周围的重力场情况，以计算轨道的重力修正。这些跟踪站间距离达上千千米，站间位置的相对精度要高于 0.5×10^{-6}。又如战争区域的电子地图、数字地图或数字地形信息库，打击目标的精确三维坐标及区域场景的数字影像地图等，都为电子对抗仿真试验和实施精确打击创造了条件，都是现代战争必不可少的测绘保障。而这些测绘资料都是依赖于大地测量技术直接或间接参与而取得的。大地测量历来都与军事结有不解之缘，是现代战争赢得首战必胜的重要技术保障。

4）在当代地球科学研究中的重要作用

利用卫星测高和重力测量数据结合的地球物理资料，更精确地查清了许多海底板块边界分布情况，监测海平面变化和以更高的分辨率确定海面地形；利用卫星重力测量及陆、海的大规模的重力测量提供更准确的重力场模型；VLBI 及 SLR 能以 1mm/s 的速度分辨率精确测定板块相对运动，能以前所未有的空间分辨率和时间分辨率测定全球、区域或局部的地壳运动，为解释板块内的断裂作用、地震活动以及其他构造过程提供依据等。总之，大地测量能以其本身的独特的理论体系和测量手段，提供有关地球动力过程中时空度量上的定量和定性信息，与其他地学学科一起，共同揭示地球的奥秘。

大地测量学是测绘学科的各分支学科（其中包括工程测量、海洋测量、矿山测量、航空摄影测量与遥感、制图及地理信息等）的基

础科学，大地测量学的基础理论、手段和方法为靶场大地测量的发展奠定了坚实的基础。因此，凡从事测绘及相关工作的科技人员都应具备坚实的大地测量学基本知识。

1.2 大地测量学的基本体系和基本内容

1.2.1 基本体系

很久以来，人们把测量学划分为两个分支：测量学和大地测量学。测量学是研究范围不大的地球表面，以至于在这个范围内把地球表面认为是平面且不损害测量精度，计算时也认为在该范围内的铅垂线彼此是平行的。大地测量学是研究全球或相当大范围内的地球，在该范围内，铅垂线被认为彼此不平行，同时必须顾及地球的形状及重力场。

常规大地测量学经过不断发展和完善，已形成了完整的体系。主要包括：以研究建立国家大地测量控制网为中心内容的应用大地测量学；以研究坐标系建立及地球椭球性质以及投影数学变换为主要内容的椭球大地测量学；以研究测量天文经度、纬度及天文方位角为中心内容的大地天文测量学；以研究重力场及重力测量方法为中心内容的大地重力测量学，以及以研究大地测量控制网平差计算为主要内容的测量平差等。

大地测量学的发展还与一系列相关学科的发展有着密切的关系，特别是电子学和空间科学的发展，电子计算机、人造地球卫星以及声呐等先进科学技术的发展，使得大地测量学同其他学科相结合出现了许多新的研究方向和分支，极大地发展和丰富了常规大地测量的内容和体系。大地测量学与无线电电子学结合形成了电磁波测距大地测量学；与天体力学及天文学结合形成了宇宙大地测量学，其中包括月球及行星大地测量学；与海洋地质学及海洋导航学结合形成了海洋大地测量学；与地球物理、海洋地质学及地质学结合形成了地球动力学；与人造地球卫星学及天体力

学结合形成了卫星大地测量学；以惯性原理为基础，利用加速度计测量运动物体某方向加速度，通过计算机积分计算而得到运动物体空间位置的惯性大地测量学；与线性代数、矩阵、概率统计及优化设计、数值计算方法等结合形成现代大地测量数据处理学等。以上这些新的方向和分支充分地说明了大地测量学已从传统的大地测量学进入到现代大地测量学的新时期。

现代大地测量学可归纳为由以下3个基本分支为主构成的基本体系：几何大地测量学、物理大地测量学及空间大地测量学。

几何大地测量学亦即天文大地测量学，它的基本任务是确定地球的形状和大小及确定地面点的几何位置。主要内容是关于国家大地测量控制网(包括平面控制网和高程控制网)建立的基本原理和方法、精密角度测量、距离测量、水准测量，地球椭球数学性质、椭球面上测量计算、椭球数学投影变换以及地球椭球几何参数的数学模型等。

物理大地测量学也称为理论大地测量学，它的基本任务是用物理方法(重力测量)确定地球形状及其外部重力场。主要内容包括位理论、地球重力场、重力测量及其归算、推求地球形状及外部重力场的理论与方法等。

空间大地测量学主要研究以人造地球卫星及其他空间探测器为代表的空间大地测量的理论、技术与方法。

现代大地测量学同传统大地测量学之间没有严格界限，但现代大地测量学确实具有许多新的特征。第一，现代大地测量的测量范围大，它可在国家、国际、洲际、海洋及陆上、全球，乃至月球及太阳行星系等广大宇宙空间进行。第二，现代大地测量已从静态测量发展到动态测量，已从地球表面测绘发展到深入地球内部构造及动力过程的研究，即研究的对象和范围不断地深入、全面和精细。第三，现代大地测量观测的精度高，长距离相对定位精度达$10^{-8}\sim10^{-9}$，绝对精度达毫米级，有的达亚毫米级。角度测量精度是零点几秒，高程测量精度是亚毫米，重力测量精度是微伽级

等。高质量的观测资料必将对本学科的发展和其他相关学科的发展带来深刻的影响。最后,现代大地测量的测量周期短也是区别传统大地测量学的重要标志。

1.2.2 基本内容

现代大地测量学的基本科学技术内容归纳如下:

(1) 确定地球形状及外部重力场及其随时间的变化,建立统一的大地测量坐标系,研究地壳形变(包括地壳垂直升降及水平位移),测定极移以及海洋水面地形及其变化等;

(2) 研究月球及太阳系行星的形状及重力场;

(3) 建立和维持具有高科技水平的国家和全球的天文大地水平控制网和精密水准网以及海洋大地控制网,以满足国民经济和国防建设的需要;

(4) 研究为获得高精度测量成果的仪器和方法等;

(5) 研究地球表面向椭球面或平面的投影数学变换及有关的大地测量计算;

(6) 研究大规模、高精度和多类别的地面网、空间网及其联合网的数学处理的理论和方法、测量数据库建立及应用等。

以上概述了一般意义下的现代大地测量学的各个领域和方面。本书的内容是依据其地位和作用、基本体系和基本内容,系统地介绍现代大地测量在靶场大地测量中的广泛应用,为从事靶场测绘科技工作和靶场试验打下坚实的基础。

1.3 靶场大地测量的任务和作用

1.3.1 任务

靶场大地测量是随着靶场的建立而产生,随着靶场的需求而发展,随着大地测量学的进步而创新。它的主要任务是为不同类型的测控站、发射站、试验场以及测量船等所有武器装备参加试验提供不同内容和精度的测绘信息,主要为:

(1) 为靶场光学设备、无线电设备和干涉仪提供不同项目和精度的大地测量保障;

(2) 在试验靶场的技术阵地、发射阵地及其航区与落区之间布设高精度测量带和高精度大地基础控制网;

(3) 联测瞄准方位角和标定惯性仪表检定台的地理子午线;

(4) 测定和提供重力数据;

(5) 测定地面或船载设备标校的基准值;

(6) 建立和完善靶场数字地理信息系统。

1.3.2 作用

靶场大地测量是保证完成靶场各项试验任务的一项先行性、基础性工作,是为靶场测控、发射、指挥显示等系统提供标校基准和高精度的大地测量数据。导弹的发射和命中,卫星升空、定轨和回收,武器抽检和定型试验,还有基础地理信息系统等都与靶场大地测量有着紧密的联系。因此在靶场,无论卫星、导弹的测试发射,测控设备的标校跟踪,还是实时、事后的数据处理,都需要有准确的大地测量数据作为依据,测量成果精度差之毫厘,失之千里,随着靶场的不断完善,导弹射程的增加和精度的不断提高,航天技术领域的不断拓展,武器装备试验型号越来越多,靶场大地测量的地位必将更加重要。

靶场大地测量的作用主要是为各类武器装备试验建立精确的地面和空间基准,为靶场坐标系统的建立和联网提供准确坐标,具体为:

(1) 为导弹和航天器提供发射和瞄准诸元;

(2) 为导弹和航天器的跟踪测量系统提供准确的站址坐标、长度基准和定向基准;

(3) 测量导弹落点,为导弹射击精度评定提供依据;

(4) 为核武器试验测定各爆心投影点、控制站、测试站和效应物的点位,为地下核试验提供特殊的工程测量服务;

(5) 为各种火炮、火箭、航空炸弹、坦克、战车、电子装备等常

需要全本请访问 www.ertongbook.com