

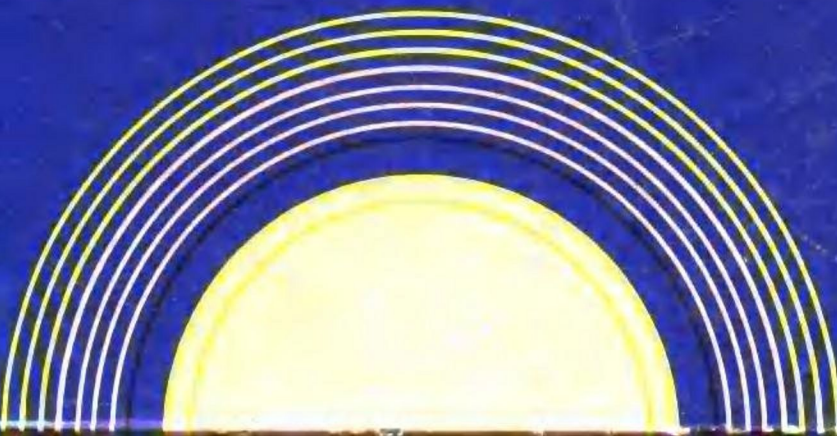


卫星测控手册

主 编 陈芳允

副主编 贾乃华

科学出版社



HK12/22

卫星测控手册

主 编 陈芳允

副主编 贾乃华

科 学 出 版 社

1 9 9 2

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是为满足卫星测控系统的总体设计和技术协调工作的迫切需要而编写的一本手册。它系统而全面地给出了各种常用单位、常数、计算公式、设计方法等。

全书共十二章。第一章至第三章主要给出了常用的单位和数据；第四、第五章主要描述了轨道及其和观测站的关系；第六章讲述了电波传播并给出了与之有关的重要参数；第七章至第九章分别给出了卫星的无线电测量系统、光学测量系统、姿态及轨道控制的设计原理、重要公式及有关参数；第十章给出了各种频率标准和时间标准；第十一章简单介绍了用于卫星数据处理的计算机系统；第十二章给出了系统可靠性的估算等。

本书可供从事卫星和测控技术的工程技术人员参考，也可作为其他从事无线电、电子系统工程的技术人员的参考书。

卫 星 测 控 手 册

主 编 陈芳允

副主编 贾乃华

责任编辑 张建荣 杨建华

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100707

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年6月第 一 版

开本：787×1092 1/32

1992年6月第一次印刷

印张：17 7/8 插页：2

印数：1—2 130

字数：390 000

ISBN 7-03-002999-2/TN·124

定价：20.00 元

前 言

本手册是在 1976 年内部印刷的《卫星测量手册》的基础上补充修改后写成的。由于补充了卫星测量控制必不可少的“卫星轨道和姿态的控制”一章，故改名为《卫星测控手册》。

测量控制 (Tracking, Telemetry and Command, 简称 TTC) 技术是航天器发射、运行和应用全过程中不可缺少的技术。它包括对航天器的跟踪、观测, 获得其相对于地面的运动信息, 借以了解和预报其轨迹和运行情况; 获取其内部测得的工程参数, 借以了解航天器中各部件的工作状态; 以及对航天器进行必要的指令控制, 借以按照任务需要改变其轨迹、姿态及进行机动飞行。

测控系统 (TTC 系统) 也是整个航天系统的组成部分, 它的地面部分一般包括一系列测控台站、数据处理系统和指挥控制中心。对人造地球卫星来说, 由于其运行轨道一般是环球性的, 为了实现高百分率的跟踪和高的预报精度, 常需从全球范围考虑测控系统的布局。从我国 1965 年开始准备发射人造卫星起, 我们就认识到建立自己的测控体系的重要性, 而且由于我国在政治和地理条件上的特殊性, 我们必须立足于本国的国土或可利用的公海, 解决上述问题。设备和处理软件的研制, 以及全系统的建设都考虑到这一问题。整个测控系统的建设和运行都要完全依靠自己的技术进行。

人造卫星的发展方兴未艾, 它的应用范围正在不断地扩展, 测控系统亦将进一步发展(例如, 从地面系统发展到天基

系统)。本书的编著者们深知，对于设计、建立和运用庞大而复杂的测控系统，技术基础的掌握和理论的灵活运用是十分重要的。同时，由于测控系统各部分和整个卫星及其应用系统的密切而多重的联系，从整体效益出发的相互协调也是十分必要的。

本手册是为了满足卫星测控系统的总体设计和技术协调工作的迫切需要而编写的。内容包括各种常用的单位、常数、参数，空间环境、卫星轨道及其和观测站的关系，光学测量系统，无线电波传播及在各种调制体制下的信道计算，轨道和姿态的控制，频率和时间标准，数据处理用的计算机系统，以及系统的可靠性估算等。各章虽各有不同的学科内容，但其共同目的都是为了可靠而准确地跟踪、测量卫星轨道及卫星内部工程参数，并对之进行必要的轨道和姿态控制，而这也正是编著者所力求做到的各章内在联系的主线。

本手册可供从事卫星和测控技术的工程技术人员参考，也可作为其他从事无线电、电子系统工程的技术人员的参考书。

由于我们的水平有限，本手册不足和错误之处在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

陈芳允 贾乃华

1991年2月25日

目 录

前言

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 第一章 常用单位和常数 陈芳允 贾乃华 | 1 |
| 1-1 计量单位 | 1 |
| 1-1-1 我国的法定计量单位..... | 1 |
| 1-1-2 物理量的计量单位与符号..... | 5 |
| 1-2 单位换算 | 20 |
| 1-2-1 长度单位换算系数表..... | 20 |
| 1-2-2 面积单位换算系数表..... | 21 |
| 1-2-3 平面角单位换算系数表..... | 22 |
| 1-2-4 角速度、旋转速度单位换算系数表..... | 23 |
| 1-2-5 速度单位换算系数表..... | 24 |
| 1-2-6 质量单位换算系数表..... | 25 |
| 1-2-7 力、重力单位换算系数表..... | 26 |
| 1-2-8 压强、应力单位换算系数表..... | 27 |
| 1-2-9 能量、功、热单位换算系数表..... | 28 |
| 1-2-10 功率单位换算系数表 | 32 |
| 1-2-11 电功率衰减单位换算 | 33 |
| 1-2-12 信息、信号及信号传输单位换算..... | 33 |
| 1-2-13 磁场强度单位换算系数表 | 33 |
| 1-2-14 磁通量密度、磁感应强度单位换算系数表..... | 34 |
| 1-2-15 核反应和电离辐射..... | 35 |
| 1-3 基本常数 | 36 |
| 1-3-1 基本数学常数..... | 36 |
| 1-3-2 基本物理常数..... | 37 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 第二章 地球及天文参数陈芳允 贾乃华 | 45 |
| 2-1 地球参数 | 45 |
| 2-2 月球参数 | 51 |
| 2-3 太阳参数 | 53 |
| 2-4 行星参数 | 54 |
| 2-4-1 行星轨道..... | 54 |
| 2-4-2 行星的几何和力学特性..... | 54 |
| 2-4-3 行星的物理特性..... | 54 |
| 2-5 天文常数 | 58 |
| 2-6 其他 | 60 |
| 2-6-1 离太阳最近的恒星..... | 60 |
| 2-6-2 射电点源..... | 61 |
| 2-6-3 适用导航的一些最亮的恒星..... | 61 |
| 第三章 空间环境陈芳允 贾乃华 | 63 |
| 3-1 大气基本特征 | 63 |
| 3-1-1 高空大气结构参数..... | 63 |
| 3-1-2 高空大气密度的变化情况及主要影响因素..... | 72 |
| 3-1-3 常用的大气模式..... | 72 |
| 3-1-4 大气温度..... | 73 |
| 3-1-5 大气压力..... | 77 |
| 3-1-6 风..... | 77 |
| 3-2 大气层 | 80 |
| 3-2-1 对流层..... | 80 |
| 3-2-2 平流层..... | 81 |
| 3-2-3 中间层..... | 81 |
| 3-2-4 高温层 | 81 |
| 3-2-5 外层 | 81 |
| 3-3 电离层 | 82 |

| | | |
|------------|----------------------------------|------------|
| 3-4 | 粒子辐射 | 83 |
| 3-4-1 | 地球辐射带 | 83 |
| 3-4-2 | 太阳宇宙线-质子事件..... | 85 |
| 3-4-3 | 粒子辐射对空间飞行的影响 | 86 |
| 3-5 | 太阳风 | 87 |
| 第四章 | 卫星轨道 陆镇麟 陈芳允 | 89 |
| 4-1 | 椭圆 | 89 |
| 4-1-1 | 圆锥曲线 | 89 |
| 4-1-2 | 椭圆中各参数的基本关系 | 90 |
| 4-2 | 卫星轨道的基本参数 | 90 |
| 4-3 | 卫星运动的基本定律及常用的计算公式 | 93 |
| 4-3-1 | 基本定律 | 93 |
| 4-3-2 | 常用的计算公式 | 94 |
| 4-4 | 卫星运动的主要摄动 | 97 |
| 4-4-1 | 摄动的一般情况 | 97 |
| 4-4-2 | 近地卫星运动的主要摄动 | 101 |
| 4-4-3 | 地球静止轨道 | 103 |
| 4-4-4 | 太阳同步轨道 | 106 |
| 4-5 | 有关卫星发射的几个问题 | 107 |
| 4-5-1 | 初始偏差对轨道的影响 | 107 |
| 4-5-2 | 发射点、入射点和轨道倾角及升交点赤经之间的 关系..... | 108 |
| 4-6 | 圆或近圆轨道的卫星星下点轨道计算 | 110 |
| 4-7 | 轨道转换 | 115 |
| 4-7-1 | 轨道形状的转换 | 115 |
| 4-7-2 | 轨道面的转换 | 116 |
| 4-8 | 卫星轨道的寿命 | 118 |
| 第五章 | 测站-轨道关系..... 陈芳允 陆镇麟 | 124 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5-1 | 常用坐标系 | 124 |
| 5-1-1 | 地平坐标系 | 124 |
| 5-1-2 | 测站赤道坐标系 | 125 |
| 5-1-3 | 地心赤道坐标系 (I)——惯性坐标系 | 126 |
| 5-1-4 | 地心赤道坐标系 (II)——轨道混合坐标系 | 126 |
| 5-1-5 | 地心赤道坐标系 (III)——固定地球坐标系 | 127 |
| 5-2 | 坐标系之间的转换 | 127 |
| 5-2-1 | 由测站赤道坐标系转换到地平坐标系 | 128 |
| 5-2-2 | 由地平坐标系转换到固定地球坐标系 | 128 |
| 5-2-3 | 由地平坐标系转换到混合坐标系 | 129 |
| 5-2-4 | 由固定地球坐标系转换到惯性坐标系 | 129 |
| 5-3 | 最大斜距、观测弧段及作用范围 | 131 |
| 5-4 | 工程中常用的几种参数计算 | 136 |
| 5-4-1 | 卫星非过顶情况下观测弧段长度的计算 | 136 |
| 5-4-2 | 在莫卡托投影地图上绘制观测站作用圈法 | 136 |
| 5-4-3 | 已知卫星星下点轨迹上两点的经纬度, 求卫星轨道上相应于这两点之间的弧段长度 | 137 |
| 5-4-4 | 求观测站观测卫星的方位角和仰角的方法 | 138 |
| 5-4-5 | 关于静止同步卫星观测的一些计算 | 140 |
| 5-5 | 卫星观测预报 | 143 |
| 5-5-1 | 天线方向图对地面观测的限制 | 144 |
| 5-5-2 | 进出地平线的时间 | 147 |
| 5-5-3 | 进出站初始仰角不为零时计算公式 | 148 |
| 第六章 | 电波传播及电噪声陈芳允 孙震熙 贾乃华 | 150 |
| 6-1 | 电离层中的电波传播 | 151 |
| 6-1-1 | 短波 (10—30MHz)..... | 151 |
| 6-1-2 | 超短波 (30—1000MHz)..... | 156 |
| 6-2 | 对流层中的电波传播 | 165 |
| 6-2-1 | 对流层折射对测量的影响 | 165 |

| | | |
|----------------------------|---------------------------------|-----|
| 6-2-2 | 对流层吸收衰减 | 172 |
| 6-3 | 大气湍流影响 | 177 |
| 6-4 | 多路径传播 | 179 |
| 6-4-1 | 仰角误差 σ_{θ_m} | 179 |
| 6-4-2 | 测距误差 σ_{R_m} | 180 |
| 6-4-3 | 测速误差 $\sigma_{\dot{R}_m}$ | 181 |
| 6-5 | 电噪声 | 182 |
| 6-5-1 | 各类噪声的性质与估算 | 184 |
| 6-5-2 | 有关电噪声的一些基本定义及关系 | 195 |
| 6-6 | 再入大气层电波传播问题 | 199 |
| 6-6-1 | 再入电波传播 | 199 |
| 6-6-2 | 再入等离子鞘套对电波传播的影响 | 203 |
| 6-6-3 | 再入无线电波衰减估算 | 206 |
| 6-6-4 | 再入通信中断解决的途径 | 211 |
| 6-6-5 | 火箭发动机喷焰对电波传播影响 | 212 |
| 第七章 卫星无线电测量系统 | | |
| |陈芳允 解志超 臧其源 孙震熙 | 215 |
| 7-1 | 无线电波段 | 215 |
| 7-2 | 天线 | 218 |
| 7-2-1 | 一些基本的定义和关系 | 218 |
| 7-2-2 | 各种类型天线的特性 | 221 |
| 7-2-3 | 天线噪声温度的计算 | 221 |
| 7-3 | 跟踪天线的天线座 | 230 |
| 7-3-1 | 无线电跟踪天线的两种主要安装方法 | 230 |
| 7-3-2 | A-E 装置天线的跟踪角速度和角加速度 | 230 |
| 7-3-3 | X-Y 装置天线的跟踪角速度和角加速度 | 234 |
| 7-4 | 一些有形金属物体对雷达波反射的等效面积 | 236 |
| 7-5 | 锁相接收技术 | 237 |

| | | |
|--------|---------------------------|-----|
| 7-5-1 | 锁相环路 | 237 |
| 7-5-2 | 二阶环路线性化模型中的一些重要关系式 | 239 |
| 7-5-3 | 环路输出的相位抖动和跟踪误差 | 244 |
| 7-5-4 | 锁定、同步和捕获 | 245 |
| 7-5-5 | 锁相环路的非线性分析 | 248 |
| 7-6 | 信号调制和解调 | 248 |
| 7-6-1 | 各种信号或信息的基带带宽及信噪比要求 | 249 |
| 7-6-2 | 各种模拟信号调制体制的带宽和信噪比关系 | 253 |
| 7-6-3 | 一些脉冲调制体制的带宽和信噪比关系 | 258 |
| 7-6-4 | 各种脉冲编码调制体制的带宽和信噪比关系 | 262 |
| 7-7 | 卫星无线电通道功率关系和作用距离计算 | 272 |
| 7-7-1 | 超短波及微波波段星地功率关系计算 | 272 |
| 7-7-2 | 反射式雷达作用距离计算 | 275 |
| 7-7-3 | 连续波多信号调相系统的功率分配 | 276 |
| 7-7-4 | 短波通信的功率计算举例 | 279 |
| 7-8 | 无线电测角系统 | 282 |
| 7-8-1 | 测角系统体制与工作原理 | 282 |
| 7-8-2 | 单脉冲测角系统的技术指标 | 284 |
| 7-8-3 | 测角伺服系统的基本特性 | 287 |
| 7-8-4 | 测角天馈分系统的基本特性 | 294 |
| 7-8-5 | 无线电测角系统的角精度 | 297 |
| 7-8-6 | 角度引导与捕获 | 316 |
| 7-9 | 无线电测速系统 | 320 |
| 7-9-1 | 单向和双向测速系统 | 320 |
| 7-9-2 | 测速系统中的误差估算 | 323 |
| 7-10 | 无线电测距系统 | 329 |
| 7-10-1 | 连续波雷达测距原理 | 330 |
| 7-10-2 | 测距信号的选取 | 330 |
| 7-10-3 | 测距信号所需功率的计算 | 334 |
| 7-10-4 | 振荡器的噪声模型和频率稳定度 | 338 |

| | | |
|--------------------------------------|-----|-----|
| 第八章 卫星光学测量系统 | 乔永昌 | 341 |
| 8-1 卫星光学观测的条件 | | 341 |
| 8-1-1 高度的约束条件 | | 341 |
| 8-1-2 天光的约束条件 | | 342 |
| 8-1-3 日照的约束条件 | | 343 |
| 8-2 卫星的光学可见期预报 | | 344 |
| 8-2-1 高度的约束方程 | | 344 |
| 8-2-2 日照的约束方程 | | 346 |
| 8-2-3 天光的约束方程 | | 348 |
| 8-3 卫星的视亮度 | | 350 |
| 8-3-1 星等和星体亮度的关系 | | 350 |
| 8-3-2 人造卫星的视星等 | | 351 |
| 8-3-3 光度测量换算因子 | | 353 |
| 8-4 人造卫星的光学观测方法 | | 353 |
| 8-4-1 目视观测 | | 353 |
| 8-4-2 照相观测 | | 356 |
| 8-5 照相望远镜 | | 358 |
| 8-5-1 常用反射式望远镜 | | 358 |
| 8-5-2 照相望远镜的跟踪系统 | | 359 |
| 8-5-3 照相望远镜的主要特征参数 | | 361 |
| 8-5-4 照相底片 | | 363 |
| 8-5-5 照相底片的处理 | | 368 |
| 8-6 人眼和视觉 | | 376 |
| 8-6-1 人眼的结构 | | 376 |
| 8-6-2 眼的暗适应 | | 377 |
| 8-6-3 眼的绝对视觉阈和绝对敏感度 | | 378 |
| 8-6-4 眼的分辨能力和极限分辨角 | | 379 |
| 8-7 激光测距 | | 380 |
| 8-7-1 卫星激光测距系统的组成及其性能指标 | | 381 |

| | | |
|------------|--------------------------|------------|
| 8-7-2 | 激光角反射器 | 391 |
| 8-7-3 | 激光测距的距离方程式与误差修正 | 394 |
| 8-7-4 | 激光在大气中的传输效应 | 395 |
| 第九章 | 卫星姿态和轨道控制.....李铁寿 | 398 |
| 9-1 | 姿态和轨道控制的含义 | 398 |
| 9-1-1 | 轨道控制 | 398 |
| 9-1-2 | 姿态控制 | 398 |
| 9-1-3 | 姿态和轨道控制的实现 | 399 |
| 9-2 | 姿态动力学 | 400 |
| 9-2-1 | 常用参考坐标系 | 400 |
| 9-2-2 | 姿态参数 | 401 |
| 9-2-3 | 运动学方程 | 404 |
| 9-2-4 | 刚体动力学方程 | 405 |
| 9-2-5 | 自旋卫星的章动运动 | 406 |
| 9-2-6 | 单自旋卫星的稳定准则 | 407 |
| 9-2-7 | 双自旋卫星的稳定准则 | 408 |
| 9-3 | 姿态确定 | 408 |
| 9-3-1 | 常用姿态敏感器 | 408 |
| 9-3-2 | 自旋轴姿态的确定 | 411 |
| 9-3-3 | 三轴姿态的确定 | 412 |
| 9-3-4 | 姿态确定精度 | 414 |
| 9-3-5 | 自旋卫星章动的测定 | 415 |
| 9-4 | 姿态控制 | 416 |
| 9-4-1 | 自旋卫星的姿态控制 | 416 |
| 9-4-2 | 自旋卫星的章动控制 | 417 |
| 9-4-3 | 三轴姿态控制 | 418 |
| 9-5 | 轨道控制 | 420 |
| 9-5-1 | 发动机控制参数计算 | 420 |
| 9-5-2 | 速度增量及控制时刻计算 | 421 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 9-5-3 | 控制计划及目标轨道计算 | 426 |
| 9-5-4 | 同步定点卫星位置保持 | 426 |
| 第十章 | 频率标准和时间标准童宝间 臧其源 | 434 |
| 10-1 | 频率标准..... | 434 |
| 10-1-1 | 频率标准主要技术指标及其测量方法 | 434 |
| 10-1-2 | 频率标准的种类 | 437 |
| 10-2 | 时间尺度..... | 440 |
| 10-2-1 | 世界时 UT(Universal Time)..... | 440 |
| 10-2-2 | 历书时 ET (Ephemeris Time) | 442 |
| 10-2-3 | 原子时 AT(Atomic Time)..... | 442 |
| 10-2-4 | 协调世界时 UTC (Coordinated Universal Time) | 443 |
| 10-2-5 | 日的表示法 | 443 |
| 10-3 | 我国现行标准时间标准频率信号的发播..... | 446 |
| 10-3-1 | 短波 | 446 |
| 10-3-2 | 长波 | 450 |
| 10-3-3 | 广播电视插入标准时间频率信号 | 451 |
| 10-4 | 国外主要短波授时台和罗兰-C 导航链 | 453 |
| 10-5 | 时间统一系统..... | 453 |
| 第十一章 | 数字电子计算机夏南银 | 465 |
| 11-1 | 数字电子计算机系统的组成..... | 465 |
| 11-2 | 计算机中的数和编码系统..... | 467 |
| 11-2-1 | 计数制及制间转换 | 467 |
| 11-2-2 | 带符号数的表示法 | 472 |
| 11-2-3 | 十进制数的二进制编码 | 474 |
| 11-2-4 | 字母与字符的二进制编码 | 476 |
| 11-3 | 总线和计算机硬件系统的结构组织..... | 479 |
| 11-3-1 | 总线及其分类 | 480 |
| 11-3-2 | 结构和通路 | 481 |
| 11-3-3 | 几种标准总线 | 484 |

| | | |
|-------------|---------------------------|-----|
| 11-4 | 主机各部件的基本结构及主要技术指标 | 494 |
| 11-4-1 | 主机三大硬件的基本结构 | 494 |
| 11-4-2 | 现代主存贮的主要类型及其原理 | 504 |
| 11-4-3 | 主机的主要技术指标 | 504 |
| 11-5 | 外部设备 | 513 |
| 11-5-1 | 外存贮器 | 513 |
| 11-5-2 | 输入/输出设备 | 518 |
| 11-6 | 计算机语言 | 520 |
| 11-7 | 航天测控工程应用软件 | 530 |
| 11-7-1 | 航天测控软件系统的内容 | 530 |
| 11-7-2 | 航天测控软件类别 | 531 |
| 11-7-3 | 航天测控软件系统的研制步骤 | 532 |
| 11-7-4 | 航天测控软件系统的质量评定 | 534 |
| 第十二章 | 系统可靠性 ·····陈芳允 贾乃华 | 537 |
| 12-1 | 基本定义和关系 | 537 |
| 12-1-1 | 可靠性 | 537 |
| 12-1-2 | 故障率 | 538 |
| 12-2 | 可靠性图解法 | 539 |
| 12-3 | 备份和维修 | 540 |
| 12-3-1 | 备份或冗余系统(无维修) | 540 |
| 12-3-2 | 有维修的备份系统 | 541 |
| 12-3-3 | 平均故障时间 | 542 |
| 12-4 | 多部件和多设备系统的可靠性 | 543 |
| 12-4-1 | 可靠性逻辑图 | 543 |
| 12-4-2 | 系统可靠性估算 | 544 |
| 12-4-3 | 设备重要性和任务成功概率 | 547 |
| 12-4-4 | 可靠性分配 | 548 |
| 12-5 | 设备可靠性检验方法 | 548 |
| | 参考文献 | 554 |

第一章 常用单位和常数

1-1 计量单位

1-1-1 我国的法定计量单位

1984年2月27日中华人民共和国国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，并同时颁布了《中华人民共和国法定计量单位》，进一步统一了我国的计量单位。

我国的法定计量单位包括：

- (1) 国际单位制 (SI)* 的基本单位, 见表 1-1;
- (2) 国际单位制的辅助单位, 见表 1-2;
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位, 见表 1-3;
- (4) 国家选定的非国际单位制单位, 见表 1-4;
- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位;
- (6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位, 词头部分见表 1-5.

表 1-1 国际单位制 (SI) 的基本单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|-------|--------|------|
| 长度 | 米 | m |
| 质量 | 千克(公斤) | kg |
| 时间 | 秒 | s |
| 电流 | 安[培] | A |
| 热力学温度 | 开[尔文] | K |
| 物质的量 | 摩[尔] | mol |
| 发光强度 | 坎[德拉] | cd |

* 国际单位制是在米制基础上发展起来的单位制, 第 11 届国际计量大会 (1960 年) 按照其决议 12 把这种单位制的名称定名为国际单位制, 国际代号为 SI. 它是法文 *Le Système International d'Unités* (国际制) 的缩写.

表 1-2 国际单位制的辅助单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|------|------|------|
| 平面角 | 弧度 | rad |
| 立体角 | 球面度 | sr |

表 1-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 其它表示式例 |
|-------------|--------|-------------|------------------|
| 频率 | 赫[兹] | Hz | s^{-1} |
| 力,重力 | 牛[顿] | N | $kg \cdot m/s^2$ |
| 压力,压强,应力 | 帕[斯卡] | Pa | N/m^2 |
| 能量,功,热量 | 焦[耳] | J | $N \cdot m$ |
| 功率,辐射通量 | 瓦[特] | W | J/s |
| 电荷量 | 库[仑] | C | $A \cdot s$ |
| 电位,电压,电动势 | 伏[特] | V | W/A |
| 电容 | 法[拉] | F | C/V |
| 电阻 | 欧[姆] | Ω | V/A |
| 电导 | 西[门子] | S | A/V |
| 磁通量 | 韦[伯] | Wb | $V \cdot s$ |
| 磁通量密度,磁感应强度 | 特[斯拉] | T | Wb/m^2 |
| 电感 | 亨[利] | H | Wb/A |
| 摄氏温度 | 摄氏度 | $^{\circ}C$ | |
| 光通量 | 流[明] | lm | $cd \cdot sr$ |
| 光照度 | 勒[克斯] | lx | lm/m^2 |
| 放射性活度 | 贝可[勒尔] | Bq | s^{-1} |
| 吸收剂量 | 戈[瑞] | Gy | J/kg |
| 剂量当量 | 希[沃特] | Sv | \bar{J}/kg |