

“十二五”时期国家重点图书出版规划图书
现代气象业务丛书

丛书主编：郑国光



综合气象观测 下

王 强 主编

 气象出版社
China Meteorological Press


“十二五”时期国家重点图书出版规划图书
现代气象业务丛书

综合气象观测

(下)

主 编 王 强



 **气象出版社**
China Meteorological Press

目
录总序
前言

上 册

- 第 1 章 综合气象观测总论/1**
- 1.1 气象观测与现代气象业务/1
- 1.2 气象观测业务发展/3
- 1.2.1 气象观测的发展概况/3
- 1.2.2 我国气象观测的发展概况/5
- 1.3 综合气象观测系统/14
- 1.3.1 气象观测的分类/14
- 1.3.2 地基气象观测系统/15
- 1.3.3 空基气象观测系统/18
- 1.3.4 天基气象观测系统/19
- 1.3.5 现代综合气象观测系统/22
- 1.4 气象观测的基本要求/26
- 1.4.1 预报预测业务和气象服务对气象观测的要求/26
- 1.4.2 气象观测的代表性/28
- 1.4.3 气象观测的准确性/30
- 1.4.4 气象观测的比较性/31
- 1.4.5 对气象观测站的总体要求/33
- 1.4.6 对气象观测仪器的总体要求/34
- 1.4.7 对气象观测资料的总体要求/36
- 1.4.8 对观测业务人员的要求/38
- 1.5 气象观测的内容和技术要求/39
- 1.5.1 地面气象观测/40
- 1.5.2 高空气象观测/49
- 1.5.3 天基气象观测/52
- 1.5.4 气候系统观测/55
- 参考文献/64
- 第 2 章 地面气象观测/65**
- 2.1 地面气象观测业务概述/65
- 2.1.1 地面气象观测的分类/66
- 2.1.2 地面气象观测的组织实施/66
- 2.1.3 地面气象观测环境及场地/68

- 2.1.4 地面气象观测场内观测仪器的安装布设/68
- 2.1.5 地面气象观测时制和日界/70
- 2.1.6 编发气象报告和传送观测数据文件/71
- 2.1.7 编制气象报表/73
- 2.2 空气温度观测/73
 - 2.2.1 概述/73
 - 2.2.2 人工器测空气温度/75
 - 2.2.3 自动观测空气温度/80
- 2.3 气压观测/85
 - 2.3.1 概述/85
 - 2.3.2 人工器测气压/90
 - 2.3.3 自动观测气压/96
 - 2.3.4 气压测量使用的静压装置/102
- 2.4 空气湿度观测/105
 - 2.4.1 概述/105
 - 2.4.2 人工器测空气湿度/106
 - 2.4.3 自动观测空气湿度/111
- 2.5 地面风观测/118
 - 2.5.1 概述/118
 - 2.5.2 人工观测地面风参量/128
 - 2.5.3 自动观测地面风/132
 - 2.5.4 自动观测地面风的实际采样和算法/137
- 2.6 降水观测/138
 - 2.6.1 概述/138
 - 2.6.2 雨量器/138
 - 2.6.3 虹吸式雨量计/140
 - 2.6.4 双翻斗雨量传感器/141
 - 2.6.5 单翻斗雨量传感器/144
 - 2.6.6 称重式降水传感器 /144
- 2.7 蒸发量观测/147
 - 2.7.1 概述/147
 - 2.7.2 蒸发器/147
 - 2.7.3 自动观测蒸发的采样和算法/151
 - 2.7.4 自动观测蒸发量的计算方法/151
 - 2.7.5 蒸发观测主要误差来源/151
 - 2.7.6 蒸散率观测/152
 - 2.7.7 自然表面蒸发量的估计/153
- 2.8 辐射观测/154
 - 2.8.1 概述/154
 - 2.8.2 辐射基准/157
 - 2.8.3 总辐射的观测/158
 - 2.8.4 净全辐射的观测/162
 - 2.8.5 太阳直接辐射的观测/164
 - 2.8.6 散射辐射与反射辐射的观测/168

- 2.8.7 长波辐射的观测/170
- 2.8.8 紫外辐射的观测/172
- 2.8.9 辐射自动观测仪/174
- 2.8.10 光合有效辐射观测/175
- 2.8.11 太阳能观测/178
- 2.9 日照时数观测/182
 - 2.9.1 概述/182
 - 2.9.2 人工测量日照/183
 - 2.9.3 自动测量日照/184
- 2.10 气象能见度观测/185
 - 2.10.1 概述/185
 - 2.10.2 测量方法/187
 - 2.10.3 自动测量 MOR 的方法/189
 - 2.10.4 能见度测量的误差分析/192
 - 2.10.5 能见度仪在地面气象观测中的实际使用/194
- 2.11 云观测/198
 - 2.11.1 概述/198
 - 2.11.2 云的分类及特征/198
 - 2.11.3 观测内容和观测方法/204
 - 2.11.4 误差分析和业务要求/209
 - 2.11.5 云的自动观测方法介绍/210
- 2.12 天气现象观测/214
 - 2.12.1 概述/214
 - 2.12.2 天气现象的特征和符号/214
 - 2.12.3 观测方法和观测记录/219
 - 2.12.4 业务要求/221
 - 2.12.5 自动测量方法介绍/222
- 2.13 土壤温度(地温)观测/230
 - 2.13.1 概述/230
 - 2.13.2 地表温度的观测/230
 - 2.13.3 地中温度的观测/232
 - 2.13.4 地温自动观测/234
 - 2.13.5 实现地表温度自动观测的红外测温仪/236
- 2.14 土壤湿度(水分)观测/238
 - 2.14.1 概述/238
 - 2.14.2 观测方法/239
 - 2.14.3 土壤采样烘干称重法测土壤湿度/239
 - 2.14.4 中子仪测土壤湿度/239
 - 2.14.5 时域反射仪(TDR)测土壤湿度/241
 - 2.14.6 频域反射仪(FDR)测土壤湿度/242
 - 2.14.7 几种土壤水分测量方法的比较和使用/244
- 2.15 雪深和雪压观测/245
 - 2.15.1 概述/245
 - 2.15.2 观测方法/245

- 2.15.3 自动雪深观测仪/247
- 2.15.4 业务要求/249
- 2.16 冻土观测/250
 - 2.16.1 概述/250
 - 2.16.2 人工观测/250
 - 2.16.3 自动观测/252
- 2.17 电线积冰观测/252
 - 2.17.1 概述/252
 - 2.17.2 观测方法/253
 - 2.17.3 影响积冰重量的因子/257
 - 2.17.4 自动测量方法介绍/257
- 2.18 地面状态观测/257
 - 2.18.1 概述/257
 - 2.18.2 地面状态观测方法/258
- 2.19 自动气象站/259
 - 2.19.1 概述/259
 - 2.19.2 传感器/261
 - 2.19.3 采集器(中央处理系统)/262
 - 2.19.4 外部设备/263
 - 2.19.5 微机业务应用终端/264
 - 2.19.6 自动气象站采集软件/264
 - 2.19.7 自动气象站业务应用软件结构和功能/267
 - 2.19.8 自动气象站的数据质量控制/267
 - 2.19.9 自动气象站的运行状态监控/270
 - 2.19.10 气象业务用新一代自动气象站简介/270
 - 2.19.11 《美国自动地面观测系统》(ASOS)简介/273
- 参考文献/276

第3章

空基气象观测/277

- 3.1 空基气象观测业务概述/277
 - 3.1.1 空基气象观测业务现状/278
 - 3.1.2 空基气象观测业务发展/279
 - 3.1.3 高空气象观测业务的组织与要求/281
- 3.2 气球和氢气/284
 - 3.2.1 气球及其规格型号/284
 - 3.2.2 气球上升速度及其误差/285
 - 3.2.3 氢气及安全防护/290
- 3.3 高空风观测/295
 - 3.3.1 概述/295
 - 3.3.2 高空风观测设备/296
 - 3.3.3 高空风观测数据处理/307
 - 3.3.4 高空风的平均、平滑和内插处理/318
 - 3.3.5 高空风观测数据的误差/322
- 3.4 高空温压湿观测/323
 - 3.4.1 概述/323

- 3.4.2 无线电探空仪/324
- 3.4.3 高空温压湿观测的误差/335
- 3.4.4 探空仪的比对试验/336
- 3.5 L波段雷达高空气象观测系统业务流程和要求/340
 - 3.5.1 观测设备准备/340
 - 3.5.2 探空仪准备/340
 - 3.5.3 探空气球准备/341
 - 3.5.4 地面瞬时值的观测/341
 - 3.5.5 施放探空仪/341
 - 3.5.6 高空气象观测数据处理/342
- 3.6 高空气象观测业务软件/350
 - 3.6.1 放球软件/350
 - 3.6.2 数据处理软件/351
 - 3.6.3 数据软件操作的一般步骤/351
 - 3.6.4 探空和测风数据处理/352
 - 3.6.5 探空软件的其他功能/353
- 3.7 高空气象观测业务评估/353
 - 3.7.1 评估流程/354
 - 3.7.2 评估方法/355
 - 3.7.3 评估结论/357
 - 3.7.4 评估示例/357
- 3.8 飞机气象观测/359
 - 3.8.1 概述/359
 - 3.8.2 无人驾驶飞机气象观测/360
 - 3.8.3 有人驾驶飞机气象观测/364
 - 3.8.4 商用飞机气象观测(AMDAR)/365
- 3.9 其他观测手段/376
 - 3.9.1 概述/376
 - 3.9.2 高层气象观测火箭/376
 - 3.9.3 下投探空系统/379
 - 3.9.4 系留气艇/380
 - 3.9.5 浮空器/381
 - 3.9.6 平飘气球/382
- 参考文献/382

第 4 章 地基气象遥感探测/384

- 4.1 气象遥感探测概述/384
 - 4.1.1 概述/384
 - 4.1.2 大气遥感的物理基础/385
 - 4.1.3 电磁波在大气中的传播/391
 - 4.1.4 可见光和近红外大气遥感/401
 - 4.1.5 红外和微波大气遥感/403
 - 4.1.6 大气声遥感/408
 - 4.1.7 气象遥感探测业务发展/410
- 4.2 天气雷达/414

- 4.2.1 概述/414
- 4.2.2 基本概念和探测原理/415
- 4.2.3 天气雷达的结构和组成/424
- 4.2.4 天气雷达技术发展/427
- 4.2.5 新一代天气雷达/428
- 4.2.6 天气雷达探测产品 and 应用/436
- 4.2.7 多部雷达组网探测/440
- 4.2.8 移动雷达/444
- 4.2.9 双线偏振雷达/446
- 4.2.10 相控阵天气雷达/454
- 4.3 风廓线雷达/460
 - 4.3.1 概述/460
 - 4.3.2 探测原理/462
 - 4.3.3 基本结构及主要技术指标/465
 - 4.3.4 基本产品及应用/472
 - 4.3.5 业务应用个例/474
- 4.4 雷电探测/477
 - 4.4.1 概述/477
 - 4.4.2 云闪和云地闪探测/480
 - 4.4.3 大气电场探测/484
 - 4.4.4 国家雷电监测网业务运行和管理/485
 - 4.4.5 雷电监测系统业务产品 and 应用/489
 - 4.4.6 业务规划/497
- 4.5 地基导航卫星气象遥感探测/497
 - 4.5.1 概述/497
 - 4.5.2 地基导航卫星气象探测的原理方法/501
 - 4.5.3 导航卫星遥感水汽系统观测业务 /507
 - 4.5.4 产品应用/512
 - 4.5.5 业务规划/522
- 4.6 微波辐射计/523
 - 4.6.1 概述/523
 - 4.6.2 探测原理/524
 - 4.6.3 基本结构/526
 - 4.6.4 技术指标/528
 - 4.6.5 基本产品及探测能力分析/531
 - 4.6.6 业务应用/533
- 4.7 激光雷达/535
 - 4.7.1 概述/535
 - 4.7.2 探测原理/542
 - 4.7.3 基本结构/546
 - 4.7.4 技术指标/547
 - 4.7.5 基本产品及探测能力分析/551
 - 4.7.6 业务应用/556
- 4.8 声雷达/558

- 4.8.1 概述/558
- 4.8.2 探测原理/559
- 4.8.3 大气温度层结的测量/560
- 4.8.4 风向风速测量/561
- 4.8.5 声雷达基本结构和技术指标/562
- 4.8.6 声雷达探测产品/563
- 4.8.7 业务应用分析/564
- 参考文献/564

下 册

第 5 章 天基气象观测/567

- 5.1 天基气象观测业务概述/567
 - 5.1.1 天基气象观测的特点和需求/567
 - 5.1.2 我国气象卫星分类与基本情况/569
 - 5.1.3 我国气象卫星的发展历史与现状/569
 - 5.1.4 我国气象卫星系统布局与观测业务/571
 - 5.1.5 国外气象卫星遥感探测器简介/571
 - 5.1.6 天基气象观测未来发展趋势/574
- 5.2 气象卫星主要探测仪器和探测能力/575
 - 5.2.1 卫星遥感探测基本原理及分类/575
 - 5.2.2 风云卫星主要遥感仪器综述/577
 - 5.2.3 风云一号系列卫星的主要遥感仪器/578
 - 5.2.4 风云二号系列卫星的主要遥感仪器/578
 - 5.2.5 风云三号 A 星的主要遥感仪器/579
 - 5.2.6 其他业务气象卫星的星载遥感仪器/588
- 5.3 气象卫星地面应用系统和用户利用站/590
 - 5.3.1 概述/590
 - 5.3.2 气象卫星资料地面应用系统/590
 - 5.3.3 气象卫星资料用户利用站/598
- 5.4 气象卫星遥感产品和应用/599
 - 5.4.1 卫星遥感产品综述/599
 - 5.4.2 卫星遥感产品的主要数据格式/601
 - 5.4.3 极轨卫星主要产品/602
 - 5.4.4 静止卫星主要产品/604
- 5.5 卫星遥感探测器定标和产品真实性检验/605
 - 5.5.1 遥感器定标/605
 - 5.5.2 产品真实性检验/607
- 参考文献/608

第 6 章 专业气象观测系统/610

- 6.1 大气边界层观测系统/610
 - 6.1.1 概述/610
 - 6.1.2 大气边界层观测主要技术方法/618
 - 6.1.3 大气边界层观测业务组织实施/631
 - 6.1.4 大气边界层观测资料处理和分析应用/635

- 6.1.5 城市气象观测/646
- 6.2 农业和生态气象观测系统/658
 - 6.2.1 概述/658
 - 6.2.2 农业气象观测/661
 - 6.2.3 生态气象观测/675
- 6.3 海洋气象观测系统/681
 - 6.3.1 概述/681
 - 6.3.2 海洋气象观测国内外发展现状/681
 - 6.3.3 海洋气象观测业务的特点/684
 - 6.3.4 海洋气象观测的内容/684
 - 6.3.5 船舶自动气象观测/686
 - 6.3.6 海岸带/海岛自动气象观测/688
 - 6.3.7 锚碇浮标观测/690
 - 6.3.8 塔平台观测/692
 - 6.3.9 ARGO 浮标观测/693
 - 6.3.10 飞机观测/696
 - 6.3.11 卫星观测/697
 - 6.3.12 海洋气象观测服务/697
 - 6.3.13 海洋气象综合观测试验/697
- 6.4 冰雪和冻土观测系统/698
 - 6.4.1 概述/698
 - 6.4.2 全球冰雪综合观测系统/699
 - 6.4.3 冰川积雪冻土观测技术/700
 - 6.4.4 冰雪圈的业务化监测工作/702
- 6.5 大气成分观测系统/703
 - 6.5.1 概述/703
 - 6.5.2 气溶胶观测/712
 - 6.5.3 温室气体观测/715
 - 6.5.4 臭氧柱总量观测/718
 - 6.5.5 反应性气体观测/719
 - 6.5.6 酸雨观测/722
 - 6.5.7 大气成分观测业务体系/724
 - 6.5.8 大气成分观测产品的应用/729
- 6.6 中高层大气观测系统/733
 - 6.6.1 概述/733
 - 6.6.2 中高层大气背景参数观测/734
 - 6.6.3 带电粒子观测/737
 - 6.6.4 中高层大气卫星观测/742
- 6.7 风能资源观测系统/742
 - 6.7.1 概述/742
 - 6.7.2 观测项目和技术方法/743
 - 6.7.3 观测系统构成/745
 - 6.7.4 观测业务组织/747
 - 6.7.5 观测产品及应用/749

	6.8 公路交通气象观测系统/751
	6.8.1 概述/751
	6.8.2 公路交通气象灾害概述/753
	6.8.3 观测项目设置/754
	6.8.4 观测站技术要求/757
	6.8.5 观测站点布设与安装/762
	6.8.6 观测站网运行与监控/766
	6.8.7 观测产品及应用/768
	参考文献/770
第 7 章	气象观测资料处理和质量管理/775
	7.1 概述/775
	7.1.1 观测资料的处理/776
	7.1.2 观测资料的质量管理/777
	7.2 气象观测数据的采集与预处理/778
	7.2.1 数据的采集/778
	7.2.2 数据预处理/780
	7.3 气象观测资料的传输和存储/781
	7.3.1 气象观测资料传输格式/781
	7.3.2 气象观测资料传输/784
	7.3.3 气象观测资料存储/785
	7.3.4 气象数据传输格式/786
	7.4 气象观测资料的分析处理和服务/786
	7.4.1 数据获取/786
	7.4.2 元数据整编/788
	7.4.3 质量控制/789
	7.4.4 综合数据产品制作/789
	7.4.5 历史资料数字化/790
	7.4.6 气象数据服务产品/791
	7.4.7 气象观测资料共享/795
	7.4.8 气象观测数据共享服务/797
	7.5 气象观测质量管理/798
	7.5.1 气象观测质量管理/798
	7.5.2 气象观测资料质量管理/803
	参考文献/810
第 8 章	气象计量/811
	8.1 气象计量概述/811
	8.1.1 概述/811
	8.1.2 量值传递系统/813
	8.1.3 误差定义及表示方法/814
	8.1.4 消除误差的方法/817
	8.1.5 误差及其分布/822
	8.1.6 测量误差的数据处理/823
	8.1.7 测量不确定度/824
	8.1.8 气象仪器、设备和测量结果的不确定度评定/826

- 8.1.9 对气象仪器检定的基本要求/828
- 8.1.10 气象计量发展历程、体系建设和运行管理/837
- 8.2 气压仪器计量/838
 - 8.2.1 概述/838
 - 8.2.2 计量标准/839
 - 8.2.3 气压测量仪器(传感器)的计量检定(吕文华,2004)/840
- 8.3 空气温度仪器计量/857
 - 8.3.1 概述/857
 - 8.3.2 计量标准/857
 - 8.3.3 温度仪器的计量检定/858
- 8.4 空气湿度仪器计量/868
 - 8.4.1 概述/868
 - 8.4.2 计量标准/869
 - 8.4.3 湿度测量仪器(传感器)的计量检定/869
- 8.5 风向风速仪器计量/880
 - 8.5.1 概述/880
 - 8.5.2 计量标准/881
 - 8.5.3 风速测量仪器(传感器)计量检定/882
- 8.6 降水仪器计量/889
 - 8.6.1 概述/889
 - 8.6.2 计量标准/890
 - 8.6.3 降水仪器的计量检定/890
- 8.7 辐射仪器计量/898
 - 8.7.1 概述/898
 - 8.7.2 计量标准/899
 - 8.7.3 辐射仪器(传感器)的计量检定/899
- 参考文献/913

第9章 综合气象观测保障体系/914

- 9.1 概述/914
 - 9.1.1 综合气象观测保障业务概况/914
 - 9.1.2 综合气象观测保障体系建设目标/915
 - 9.1.3 综合气象观测保障体系发展趋势/916
- 9.2 综合气象观测保障体系结构/917
 - 9.2.1 结构框架/917
 - 9.2.2 业务过程/918
 - 9.2.3 组织结构/918
- 9.3 运行监控业务/919
 - 9.3.1 运行监控/919
 - 9.3.2 运行监控业务范围/919
- 9.4 装备质量保障/921
 - 9.4.1 规划阶段/922
 - 9.4.2 建设阶段/922
 - 9.4.3 运行阶段/923
 - 9.4.4 升级改造阶段/923

	9.4.5 设备退役阶段/924
	9.5 计量检定/924
	9.6 维护维修/924
	9.6.1 常规维护/925
	9.6.2 现场维修/925
	9.6.3 脱机维修/926
	9.6.4 气象观测设备应急保障/926
	9.7 装备供应/926
	9.7.1 常规供应保障/926
	9.7.2 应急储备保障/929
	9.8 综合气象观测保障业务信息化系统/929
	9.8.1 信息化系统建设历程/929
	9.8.2 ASOM 系统总体逻辑结构/930
	9.8.3 ASOM 系统总体建设框架/931
	9.8.4 ASOM 系统组成结构/933
	9.8.5 ASOM 系统功能/934
	9.8.6 ASOM 系统关键技术/935
	9.8.7 运行监控子系统/942
	9.8.8 维护维修信息管理子系统/948
	9.8.9 装备供应保障业务信息管理子系统/956
	9.8.10 站网信息管理子系统/961
	9.8.11 综合分析评估/963
	9.8.12 基础平台/963
	9.8.13 系统产品及应用/963
	9.8.14 ASOM 系统技术特点/967
	参考文献/973
第 10 章	气象观测业务的组织管理/974
	10.1 概述/974
	10.1.1 气象观测业务组织管理的沿革/974
	10.1.2 气象观测业务组织管理的主要特点/976
	10.1.3 气象观测业务组织管理的主要目标/976
	10.1.4 观测业务组织管理的主要内容/976
	10.1.5 国际气象观测业务的组织管理/977
	10.1.6 现代科学管理理念与气象观测业务/977
	10.2 气象观测业务的组织/978
	10.2.1 气象观测站分类/978
	10.2.2 国内气象资料交换/980
	10.2.3 国际气象资料交换/981
	10.3 气象观测业务管理/982
	10.3.1 气象观测业务管理分工/982
	10.3.2 气象观测业务管理的法律、法规依据/983
	10.3.3 气象观测环境保护/985
	10.3.4 气象观测站址管理/987
	10.3.5 气象观测设备列装管理/989

- 10.3.6 气象观测标准化管理/991
- 10.3.7 气象观测业务规范/994
- 10.3.8 气象观测业务考核/995
- 10.3.9 气象观测资料管理/996
- 10.3.10 业务建设项目管理/997
- 10.3.11 人员管理和培训/998
- 10.4 气象应急观测的组织管理/1000
 - 10.4.1 气象应急观测目的/1000
 - 10.4.2 气象应急观测业务的组织/1001
 - 10.4.3 气象加密观测业务的组织/1001
 - 10.4.4 重大活动气象观测业务的组织/1005
 - 10.4.5 气象应急观测预案/1005
- 10.5 气象观测业务信息化管理/1006
 - 10.5.1 信息化管理的目的意义/1006
 - 10.5.2 信息化管理系统的框架结构/1007
 - 10.5.3 信息化管理系统的运行/1007
 - 10.5.4 信息化管理的展望/1008

第5章

天基气象观测

天基气象观测是以气象卫星为平台的遥感探测业务,与地基大气遥感相对应,是从大气层以外的空间对地球表面和大气进行遥感探测。气象卫星遥感探测的对象已经由大气扩展到整个地球系统,由为天气预报业务提供观测资料发展到为气候和气候变化、农业气象、海洋气象、环境气象、资源气象,以及为人类健康和社会经济等各方面提供多种多样的气象观测资料。由于大部分的地球表面被海洋覆盖,常规气象观测网和地基遥感探测网都难以实现全球均匀分布的观测,气象卫星观测能够全天候地对全球进行观测,其高时间分辨率、高空间分辨率、高覆盖率的观测资料,已经是天气和气候业务所依赖的主要资料来源,天基气象观测系统逐步成为了气象综合观测系统的主体。天基观测涉及的理论与技术问题相当复杂,对气象卫星的详细介绍请见《现代气象业务丛书——气象卫星及其应用》,本章仅从气象观测业务的角度作概括的介绍,重点在我国气象卫星观测业务与技术的发展和现状,突出卫星地面资料接收和应用系统,特别是与其他地基观测业务相关的卫星定标和产品真实性检验,以体现天基气象观测在现代综合气象观测系统中的定位和相互联系。

5.1 天基气象观测业务概述

截至2012年,我国成功发射了6颗极轨气象卫星和6颗静止轨道气象卫星,气象卫星完成了从应用试验型向业务服务型的转变,形成了风云极轨和静止两大系列气象卫星观测体系。目前风云一号D星,风云三号A、B星以及风云二号C/D/E/F星在轨运行。

随着气象卫星的发展,卫星地面应用系统逐步完善,目前已经具备同时接收、处理、分发国内外十余颗气象和环境卫星的能力,气象卫星观测数据和产品通过9210、CMACast等渠道广播与分发,在中国气象局天气预报、气候预测和气候变化等核心业务中发挥着重要作用。风云气象卫星显著提升了我国天基气象观测能力,为国家应急管理、减灾防灾、应对气候变化提供了强有力的支撑。

风云气象卫星已被世界气象组织纳入全球业务卫星序列,成为全球气象卫星观测网的重要组成部分。风云气象卫星数据被美国、欧洲等国家和地区使用,显著提升了我国在全球气象观测中的国际地位,扩大了中国气象的国际影响(许健民等,2006)。

5.1.1 天基气象观测的特点和需求

天基气象观测泛指利用空间技术,通过装在飞行器上的遥感仪器,在地球中层大气之外开展的针对地球大气的观测。天基遥感仪器可以分为以探测大气垂直结构为目的和以目标成像为目的两大类。大气探测类遥感仪器是在特定气体的吸收带选择一组通道,通过气体在不同通道对大气辐射吸收强弱的差异反演大气温度廓线、湿度廓线以及其他气体成分;而目标成像类遥感仪器则是要

在透明的大气窗区,针对目标物理特征敏感的波长选择通道,以最大程度地减小大气对目标观测的影响,实现连云、气溶胶、和地表特征的观测。

天基气象观测主要通过低轨和高轨卫星实现。其中低轨道卫星以极轨气象卫星为主,轨道高度通常在 800~900 km,卫星绕地球的飞行轨道平面与太阳的夹角始终保持不变(太阳同步),即卫星飞跃赤道上空的地方时不变;高轨气象卫星主要指静止轨道气象卫星,即卫星在赤道上空以与地球相同的角速度绕地球飞行(地球同步),轨道高度 35800 km,卫星与地球表面的相对位置保持不变。

极轨气象卫星和静止气象卫星在地球大气观测中发挥着不同的作用,在应用上相辅相成。极轨气象卫星飞越南极和北极上空,一天完成两次覆盖全球的观测。由于卫星轨道高度相对较低,同样瞬时视场的遥感成像仪器,在极轨气象卫星上可以得到较高空间分辨率的遥感图像,高光谱和微波观测也比较容易实现,可有效填补海洋、沙漠、高山、冰川等区域常规气象观测资料的不足,为数值天气预报模式提供覆盖全球的初始场资料,进而提高天气预报的准确度和延长预报时效。静止气象卫星具有大视场、高频次观测的特点,非常适于监测快速变化的中小尺度天气系统。一颗静止气象卫星可以半小时完成对 1/3 地球的观测,形成各类云图和产品,有效监测各类天气系统和灾害性天气。

极轨和静止气象卫星都具有大范围、长时间利用同一探测器进行多圈层、多要素、高一致性综合观测的能力;极地轨道气象卫星对两极地区的观测频次较高,静止轨道气象卫星对热带地区具有较其他地区更高的成像质量。目前,高光谱、微波和主动遥感技术的发展使得气象卫星具有获取大气成分以及云雨大气三维结构的能力,随着卫星遥感技术的发展,气象卫星将在大气综合探测业务中发挥越来越重要的作用。

现代气象业务对卫星遥感有着广泛的需求,天气预报、气候预测、生态与农业气象、大气成分、人工影响天气等业务的开展都离不开对地球环境物理和化学特性的观测。作为天基观测系统的核心组成部分,气象卫星可以为现代气象业务提供及时、准确、全面的地球系统信息。现代气象业务对于天基气象观测的需求表现在以下几个方面。

(1) 提高数值预报准确率的需求

数值天气预报是现代天气预报最为主要的技术手段。随着天气和气候数值预报模式的发展,人们对海气、陆气耦合过程的认识不断深入,数值模式对地球系统的初值和边值的种类、精度和时、空分辨率的要求也不断提高。在数值预报业务中,准确获取的大气运动初始场成为确保数值预报时效、提高预报准确率的关键。卫星遥感观测资料不仅包含了温、压、风、湿等大气基本状态的信息,还包含了云、降水、臭氧、气溶胶以及地表、洋面等观测信息,我国全球/区域数值预报模式已经同化了部分卫星遥感参数,气象卫星在提高初始场分析水平方面发挥了很好的作用。

(2) 提高灾害性天气监测预报能力的需求

做好台风、暴雨、沙尘暴、浓雾、雷电等灾害性天气预报是天气预报的重点和难点,需要全球范围、大尺度、长时间的气象观测和高时空分辨率的局地中小尺度气象观测。气象卫星具有在很高的时间和空间分辨率下进行成像和探测,获取地表特征、大气温度和湿度的三维结构、云滴大小及相态等微物理参数的能力。将卫星遥感资料与其他地基观测资料相结合,取长补短,可以极大地提高灾害性天气的监测和预报、预警能力。

(3) 提高气候预测和气候变化研究水平的需求

气候变化是直接影响经济社会持续发展的重要因素,对气候和气候变化的监测、预测和评估已成为现代气象业务的重点。卫星可以对地球系统进行稳定连续的观测,形成包括大气湿温廓线、云和降水估计、大气臭氧总量、大气气溶胶、射出长波辐射等大气参数,洋面温度、风速、海冰范围等海洋参数以及植被指数、表面反射率、土地覆盖与利用率、陆表温度、积雪覆盖度与雪水当量、冰架与冰川范围等陆面参数的长时间序列气候数据集,弥补地基观测系统的不足,为气候及气候变化预测提供基本观测依据。

(4) 提高大气环境监测能力的需求

目前伴随工业生产扩大、汽车保有量增加等因素而产生的有害气体排放造成大气污染和大气成分的变化,不仅危害人体健康,破坏生态系统,而且导致地球气候系统的变化。大气成分主要包括二氧化

碳、甲烷、臭氧、二氧化硫、气溶胶等大气组分,利用卫星在紫外、可见和红外波段的高光谱观测能力,采用星下点及临边探测方式,可以获取对流层及平流层多种大气成分的气柱总量及廓线分布。通过卫星与地基观测资料的同化,可以显著改进大气化学及气候模式的预报精度。

(5) 发展现代农业气象业务的需求

现代农业气象业务对高时空分辨率的卫星遥感资料提出了迫切的需求。作物长势监测和产量预测需要通过卫星遥感资料获取叶面积指数、陆地覆盖、土壤湿度、霜和日照等信息;农业灾害监测需要气象卫星提供干旱、洪涝、积雪等遥感产品;农作物的分类和种植面积估算需要高时空分辨率的多光谱的遥感资料。全球估产、主要作物面积提取和逐日干旱监测等将成为现代农业气象遥感业务的核心内容。

(6) 空间天气业务的需求

剧烈的太阳活动对空间飞行器、无线电通信、地面技术系统及国家安全带来很大的威胁。利用卫星上搭载的空间环境监视仪(高能粒子、太阳 X 射线流量仪、空间磁场、太阳极紫外和软 X 射线成像仪,太阳 X 射线成像仪)可以监视日地空间天气的状况。发展专门的空间天气遥感仪器监视日地空间的空间天气状况,对日地空间天气进行预警,为我国航天活动、工业生产等国民经济活动以及国防建设提供有力的服务保障已经成为现代气象业务的新需求。

总之,气象卫星对于现代气象业务具有不可替代的作用。气象卫星观测资料与产品不仅可以为传统的气象业务提供基础数据,还可以应用到航空和交通气象、地质地震灾害、海洋及海岸带经济、生物灾害、水资源管理等方面。全球地球观测综合系统(GEOSS)也需要利用各种气象与环境卫星,从全球、三维、全天候、多光谱的角度进行地—气系统综合探测,以获取更高空间分辨率、更高时效、更多层次、更高一致性和代表性的地球观测数据,为天气预报、气候和气候变化、自然和人为灾害、农业和荒漠化、人类福利和健康、能源、水资源、陆地海岸带和海洋生态系统以及生物多样性等九大受益领域服务。

5.1.2 我国气象卫星分类与基本情况

我国气象卫星以“风云”命名,分为极轨气象卫星和静止气象卫星两个系列。极轨气象卫星以奇数排序,静止气象卫星以偶数排序。每个序列卫星根据试验到业务的不同发展阶段分为不同批次,每个批次又含有多颗卫星。每颗卫星在研制过程中以阿拉伯数字标记,成功发射、顺利入轨和稳定运行后按照发射时间排序,以大写英文字母标记。

风云一号气象卫星是我国自行研制的第一代近极地太阳同步轨道气象卫星系列(简称 FY-1),包括 01 批和 02 批两个批次共 4 颗卫星,1988 年开始发射。风云一号 01 批的 2 颗星 FY-1A/1B 为试验卫星,风云一号 02 批的 2 颗星 FY-1C/1D 为业务卫星。其中风云一号 C 星是我国第一颗业务型极地轨道气象卫星,它的设计寿命 2 年,实际在轨运行 6 年。FY-1D 星是风云一号系列气象卫星的最后一颗卫星,目前在轨运行已超过设计寿命,运行状态稳定、性能良好。

风云二号气象卫星(简称 FY-2)是我国自行研制的第一代静止轨道业务气象卫星,共分为 3 个批次进行研制和发射。风云二号 01 批包括 2 颗卫星,在轨后命名为 FY-2A 和 FY-2B 星。02 批共 3 颗卫星,成功发射后命名为 FY-2C、FY-2D 和 FY-2E 星。风云二号 C 星是风云二号 02 批气象卫星的首发星,它是我国的第一颗业务型静止气象卫星,目前风云二号形成了 D/E 形成了双星业务运行、C 星在轨备份的业务状态。2012 年 1 月 13 日,风云二号 F 星发射成功,并入轨工作。

风云三号(简称 FY-3)是我国第二代极轨气象卫星,风云三号 01 批由 2 颗试验卫星组成,风云三号 01/02 星成功发射后,分别命名为 FY-3A 和 FY-3B 卫星。风云三号 02 批为业务系列星,计划由 4 颗卫星组成,卫星将工作到 2020 年。根据技术发展和应用需求,拟将风云三号 02 批卫星发射计划调整为既有上午星和也有下午星。其中 FY-3C、FY-3E 为上午星,FY-3D、FY-3F 为下午星。

5.1.3 我国气象卫星的发展历史与现状

1988 年 9 月 7 日和 1990 年 9 月 3 日,我国先后发射了第一代极轨气象卫星的风云一号 A 星和风云一号 B 星。风云一号 A、B 星属同一批次,技术水平与仪器性能基本相同。随后,1999 年 5 月 10 日