

# 新一代天气雷达(CINRAD/SB)

## 技术特点和维护、维修方法

潘新民 主编



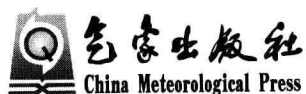
气象出版社

China Meteorological Press

中国气象局气象探测中心气象雷达室  
河南省驻马店市气象局 联合资助  
河南省安阳市气象局

# 新一代天气雷达(CINRAD/SB) 技术特点和维护、维修方法

主 编 潘新民  
副主编 柴秀梅 申安喜 张天华  
王世涛 王予郑



## 内 容 提 要

本书以 CINRAD/SB 型新一代天气雷达为主线,系统地论述了新一代天气雷达技术特点和维护、维修方法。全书共分 14 章。第 1 章是中国天气雷达技术和应用领域回顾与展望,第 2 章是新一代天气雷达的组成和故障排除基本方法,第 3 至第 6 章系统详细介绍了 CINRAD/SB 型新一代天气雷达各分机(系统)工作原理、技术特点、信号流程、关键测试点电气特征、故障诊断方法和技巧以及典型故障分析和排除个例、常见故障排除汇总、相关软件安装方法,第 7 至第 11 章介绍了新一代天气雷达退数据模糊方法、测速的定标精度检查方法、回波强度定标检查和调整方法、回波强度测量的误差因素分析及解决方法、参数测量和标校检查方法,第 12 章是新一代天气雷达(CINRAD/SB)维护项目和维护方法、第 13 章是雷达附属设施维护和保养,第 14 章对其他研究型天气雷达作简介,附录对新一代天气雷达数据格式、CINRSD/SB 报警信息列表和适配数据中英文对照等内容进行了介绍。

本书可供天气雷达技术保障人员及高校相关专业师生参考使用,也可供大气探测、大气物理的技术人员和研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维护、维修方法/潘新民

主编. —北京:气象出版社,2009. 10

ISBN 978-7-5029-4828-3

I. 新… II. 潘… III. 天气雷达-基本知识 IV. TN959.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 174263 号

Xinyidai Tianqi Leida (CINRAD/SB) Jishu Tedian he Wei hu, Weixiu Fangfa

新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维护、维修方法

潘新民 主编

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇 申乐琳 章澄昌

封面设计:翟劲松

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:922 千字

版 次:2009 年 10 月第 1 版

印 数:1~2000

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: [qxcbs@263.net](mailto:qxcbs@263.net)

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:36

印 次:2009 年 10 月第 1 次印刷

定 价:88.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

## 编 委 会

顾 问：赵国强 李 柏 高玉春 张建云

主 编：潘新民

副主编：柴秀梅 申安喜 张天华 王世涛 王予郑

编 委：李顺利 崔炳俭 郭文远 孔剑君 刘 伟

王全周 徐俊领 杨 奇 刘 燕 张玉峰

张朝辉 王 平 崔焕东 董 博 古 领

汤志亚 李 晔 范学峰 郭晓东 王 生

陈荣林

# 序

中共中央政治局委员、国务院副总理回良玉视察中国气象局时，高度评价了气象工作：气象工作从来没有像今天这样受到各级党政领导的高度重视，从来没有像今天这样受到社会各界的高度关切，从来没有像今天这样受到广大人民群众的高度关心，从来没有像今天这样受到国际社会的高度关注。气象工作之所以得到社会各界的关注和国务院领导高度评价，是与及时准确的气象预报和服务在防灾减灾、经济建设及人民生活中发挥的重要作用分不开的。而及时准确的气象预报，得益于气象业务现代化水平的提高，特别是全国新一代天气雷达监测体系的建设和投入使用。

我国新一代天气雷达建设始于 20 世纪 90 年代末，目前已建成 146 部。最近国家发展和改革委员会已立项，在将建成的 158 部新一代天气雷达的基础上，再增建 58 部，形成更为完善的新一代天气雷达网。河南省已建成的 6 部新一代天气雷达中，其中 CINRAD/SB 型 5 部。为了提高雷达技术人员的维修维护技能，充分发挥雷达在大气探测中的作用，中国气象局气象探测中心组织了以新一代天气雷达技术支持工作的一线技术骨干为主的编写组，在总结工作经验基础上，以河南境内使用比较多的 CINRAD/SB 型雷达为主线，结合其他型号新一代天气雷达工作原理和技术特点，编写了《新一代天气雷达（CINRAD/SB）技术特点和维护、维修方法》。

本书共计 14 章，内容涵盖天气雷达的发展与展望；新一代天气雷达组成和故障排除基本方法；CINRAD/SB 型新一代天气雷达的工作原理、调试方法、信号流程、关键点参数测试、故障排除方法和技巧；新一代天气雷达退数据模糊方法、测速的定标精度检查方法、回波强度定标检查和调整方法、回波强度测量误差因素分析及解决方法、参数测量和标校检查方法、CINRAD/SB 型新一代天气雷达维护项目和维护方法；雷达附属设施维护和保养方法；研究型天气雷达介绍等内容。本书重点以 CINRAD/SB 型新一代天气雷达各分机的信号流程为主线，通过对关键点波形参数、各分系统间接口电气特征等进行分析，详细介绍了各分机的故障排除方法和技巧。

我衷心希望本书的出版能成为广大天气雷达技术支持和保障人员的实用手册，也能成为广大气象工作者了解新一代天气雷达的技术特点及其今后的发展的新的参考资料。



2009 年 7 月

# 前 言

随着全球气候变暖，极端天气气候事件越来越多，特别是旱、涝和突发灾害性天气日益严重。河南是人口大省、农业大省、防汛大省、交通大省和旅游文化大省；河南地处中原，横跨华北和黄淮两大平原，是我国的粮仓，粮食总产占全国的十分之一，小麦产量占全国的四分之一，粮食的丰歉直接关系到我国粮食安全；同时河南也是全国自然灾害最多的省份之一。

我国第一部带有多普勒功能的 714CD 天气雷达于 1993 年在郑州首先投入业务运行，为河南十多年的气象防灾减灾服务工作发挥了不可替代的作用，但也到了它退出历史舞台的时候。为了进一步提高河南省的灾害性天气监测预警能力和服务水平，近几年来，中国气象局和河南省各级人民政府投入大量资金，在河南建起了多部新一代天气雷达和常规警戒雷达，其中在郑州建成了 CINRAD/SA 新一代天气雷达 1 部；在濮阳、三门峡、商丘、南阳、驻马店等省辖市分别建成了 CINRAD/SB 新一代天气雷达；在安阳、焦作、平顶山、漯河、信阳等地分别建成了局地警戒数字化天气雷达。以上天气雷达都已投入业务使用。另外，洛阳市 CINRAD/SA 型新一代天气雷达正在建设中，还要在信阳、平顶山增建 2 部新一代天气雷达，周口、济源的数字化天气雷达也在规划之中。随着这些天气雷达的业务化运行，特别是新一代天气雷达投入业务使用，提高了灾害性天气预测能力，在河南近几年的经济社会发展和气象防灾减灾服务工作中发挥了重要作用，同时也促使河南培养出一批雷达技术支持和保障方面的技术人才。

CINRAD 系列新一代天气雷达是我国在继承美国新一代多普勒天气雷达 NEXRAD (WSR-88D) 的基础上，充分吸收了近年来计算机技术和微电子技术的最新成果，并兼顾国内、国际市场的需要重新设计而成的，它不但采用了先进的雷达技术，而且还融合了集成电路、数字电子、计算机和现代通信以及软件等技术。这些先进技术和方法，对雷达的技术支持和保障工作都提出了更高的要求。为此，编写者以河南境内使用比较多的 CINRAD/SB 型新一代天气雷达为主线，结合其他型号新一代天气雷达的工作原理和技术特点，编写了此书。

本书编写时充分考虑到基层雷达站技术人员知识结构、技术水平，从雷达各分机功能模块原理介绍和调试方法开始，以信号流程、关键点参数测试为主线，最后介绍故障排除方法和技巧，并附有典型故障分析和常见故障总汇，同时还介绍了新一代天气雷达测速的定标精度检查方法、回波强度定标检查和调

整方法以及所采用的新技术（退数据模糊方法等）和今后天气雷达技术发展方向。

本书在编写过程中，除主要参考了参考文献中所列正式刊登的论文、论著外，还有一些资料摘自新一代天气雷达培训班的讲课、讲座、会议材料，以及新一代天气雷达维修手册、中国气象学会雷达气象专业委员会组织的学术会上交流的文章，有的还直接从中取材。由于取材广泛，编者很难将其全部列出，在此一并深表谢意！

在本书的部分章节编写中，得到了中国气象科学研究院张沛源研究员的指导，并提出了宝贵的修改意见和建议，同时还得到中国气象局气象探测中心、北京敏视达雷达有限公司、南京恩瑞特实业有限公司、国营第七八四厂、安徽四创电子股份有限公司的有关专家和技术人员的帮助，在此表示衷心的感谢！本书的编写得到了中国气象局气象探测中心气象雷达室、河南省驻马店市气象局、河南省安阳市气象局的大力资助和支持，在此表示诚挚的感谢！

由于编者水平所限，书中难免有错误和不当之处，我们真诚地欢迎并期待着读者和同行能对书中谬误之处批评指正。

本书编写组  
2009年8月郑州

# 目 录

## 序

## 前言

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 第 1 章 中国天气雷达技术和应用领域的回顾与展望            | (1)   |
| 1.1 引言                               | (1)   |
| 1.2 1980 年代前天气雷达技术和应用状况              | (2)   |
| 1.3 20 世纪 80 年代天气雷达技术和应用领域状况         | (4)   |
| 1.4 20 世纪 90 年代天气雷达技术和应用状况           | (8)   |
| 1.5 21 世纪初天气雷达技术和应用发展状况(2000—2008 年) | (12)  |
| 1.6 未来天气雷达技术和应用发展的新领域                | (23)  |
| 1.7 天气雷达技术和应用远景展望                    | (30)  |
| 第 2 章 新一代天气雷达的组成和故障排除基本方法            | (33)  |
| 2.1 新一代天气雷达总体结构                      | (33)  |
| 2.2 CINRAD/SB 与 WSR-88D 的比较          | (37)  |
| 2.3 新一代天气雷达故障排除基本方法                  | (40)  |
| 第 3 章 新一代天气雷达(CINRAD/SB)发射机          | (48)  |
| 3.1 基本原理                             | (48)  |
| 3.2 发射机 UD3 技术说明和工作原理                | (52)  |
| 3.3 信号流程                             | (94)  |
| 3.4 关键点波形、参数                         | (97)  |
| 3.5 分机调整方法                           | (110) |
| 3.6 发射机维护方法                          | (134) |
| 3.7 故障排除方法                           | (137) |
| 3.8 维护、维修报警代码及故障指示灯含义和处理方法           | (143) |
| 第 4 章 新一代天气雷达(CINRAD/SB)接收机          | (155) |
| 4.1 概述                               | (155) |
| 4.2 接收机的工作原理和结构布局                    | (157) |
| 4.3 信号流程                             | (171) |
| 4.4 关键点波形参数                          | (176) |
| 4.5 分机调试方法                           | (179) |
| 4.6 接收机故障排除方法                        | (180) |
| 4.7 维护\维修代码及处理方法                     | (185) |
| 4.8 数字中频接收机介绍                        | (189) |

|                                                           |       |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| <b>第5章 新一代天气雷达(CINRD/SB)天伺系统</b>                          | (200) |
| 5.1 概述                                                    | (200) |
| 5.2 基本原理                                                  | (202) |
| 5.3 信号流程                                                  | (203) |
| 5.4 关键点波形、参数                                              | (217) |
| 5.5 维护、维修报警代码含义及处理方法                                      | (222) |
| 5.6 天线控制故障定位测试方法、步骤                                       | (225) |
| 5.7 故障排除方法                                                | (227) |
| 5.8 常见故障检修分类举例                                            | (229) |
| <b>第6章 新一代天气雷达(CINRAD/SB)供电、天馈系统、DAU单元以及软件安装方法和信号处理系统</b> | (233) |
| 6.1 雷达供电系统                                                | (233) |
| 6.2 天馈系统                                                  | (235) |
| 6.3 DAU单元                                                 | (246) |
| 6.4 软件应急安装方法                                              | (253) |
| 6.5 信号处理系统                                                | (264) |
| <b>第7章 新一代天气雷达退数据模糊方法</b>                                 | (275) |
| 7.1 引言                                                    | (275) |
| 7.2 多普勒雷达测速原理                                             | (275) |
| 7.3 新一代天气雷达多普勒参数处理方法                                      | (278) |
| 7.4 解决距离折叠和测速模糊的方法                                        | (280) |
| 7.5 问题和建议                                                 | (291) |
| <b>第8章 新一代天气雷达测速的定标精度检查方法</b>                             | (293) |
| 8.1 多普勒雷达测速                                               | (293) |
| 8.2 退速度模糊技术                                               | (295) |
| 8.3 速度测量精度的检验方法                                           | (296) |
| 8.4 问题及解决办法                                               | (303) |
| <b>第9章 新一代天气雷达回波强度定标检查和调整方法</b>                           | (305) |
| 9.1 新一代天气雷达回波强度定标的基本原理                                    | (305) |
| 9.2 新一代天气雷达回波强度的定标方法                                      | (307) |
| 9.3 新一代天气雷达回波强度的定标检查方法                                    | (323) |
| 9.4 问题解决方法                                                | (326) |
| 9.5 完善措施                                                  | (328) |
| <b>第10章 回波强度测量的误差因素分析及解决方法</b>                            | (329) |
| 10.1 引言                                                   | (329) |
| 10.2 引起回波强度测量误差的几个因素                                      | (329) |
| 10.3 反射率因子误差分析                                            | (332) |
| 10.4 减少反射率因子误差的方法                                         | (333) |

|               |                                    |              |
|---------------|------------------------------------|--------------|
| 10.5          | 其他原因产生的回波强度误差                      | (335)        |
| <b>第 11 章</b> | <b>新一代天气雷达参数测量和标校检查方法</b>          | <b>(336)</b> |
| 11.1          | 天馈系统性能参数测试                         | (336)        |
| 11.2          | 伺服系统性能参数测试                         | (343)        |
| 11.3          | 发射系统性能参数测试                         | (345)        |
| 11.4          | 接收机系统性能参数测试                        | (353)        |
| <b>第 12 章</b> | <b>新一代天气雷达(CINRAD/SB)维护项目和维护方法</b> | <b>(381)</b> |
| 12.1          | 天线座、天线罩及铁塔的日常检查维护和清洁保养方法           | (381)        |
| 12.2          | 年维护项目和内容                           | (397)        |
| 附件 12A        | CINRAD/SB 雷达设备(整机)年维护记录表           | (401)        |
| 附件 12B        | CINRAD/SB 雷达设备(结构件)维护记录            | (403)        |
| 附件 12C        | CINRAD/SB 雷达主要技术指标年维护测试记录          | (407)        |
| 附件 12D        | CINRAD/SB 雷达系统状态记录                 | (416)        |
| <b>第 13 章</b> | <b>新一代天气雷达附属设施维护和保养</b>            | <b>(419)</b> |
| 13.1          | 柴油发电机的维护和保养                        | (419)        |
| 13.2          | UPS 电源的维护与保养                       | (424)        |
| 13.3          | 空气压缩机调整方法                          | (429)        |
| <b>第 14 章</b> | <b>其他研究型天气雷达介绍</b>                 | <b>(432)</b> |
| 14.1          | 双偏振天气雷达                            | (432)        |
| 14.2          | 双波长天气雷达                            | (436)        |
| 14.3          | 多参数天气雷达                            | (437)        |
| 14.4          | 双/多基地天气雷达                          | (437)        |
| 14.5          | 机载天气雷达                             | (438)        |
| 14.6          | 相控阵天气雷达                            | (438)        |
| 14.7          | 空载天气雷达                             | (439)        |
| 14.8          | 星载天气雷达                             | (440)        |
| 14.9          | 毫米波天气雷达                            | (440)        |
| 14.10         | 机场多普勒天气雷达                          | (440)        |
| 14.11         | 激光雷达                               | (441)        |
| <b>附录</b>     |                                    |              |
| 附录 1          | CINRAD/SA RDASC 报警信息英汉对照表          | (442)        |
| 附录 2          | CINRAD/SB 适配数据中英文对照图               | (454)        |
| 附录 3          | 新一代天气雷达系统功能规格需求书(S 波段)             | (484)        |
| 附录 4          | 新一代天气雷达出厂验收测试大纲                    | (498)        |
| 附录 5          | 新一代天气雷达系统维护记录表                     | (522)        |
| 附录 6          | 新一代天气雷达基本数据格式和显示要求 2.0 版本          | (529)        |
| 附件 7          | CINRAD/SA/SB/CB 型新一代天气雷达数据格式       | (555)        |
| 附件 8          | CINRAD/SC、CD 型新一代天气雷达原始数据结构        | (560)        |

# 第1章 中国天气雷达技术和应用领域的回顾与展望

## 1.1 引言

天气雷达是根据云雨降水目标物对电磁波的后向散射原理来探测降水目标物,并测定其空间位置、强弱分布,从而了解降水的生消演变和移向移速。天气雷达是监测、预警突发灾害性天气最有效手段。从二次世界大战后雷达技术引用到气象部门至今已有 60 多年历史,用于探测云雨降水、监测强对流天气的天气雷达已成为雷达技术中的一个分支,目前约有 1000 部以上的天气雷达布设在全世界各地,用于监测强对流天气、定量估测降水,是气象部门的重要探测手段之一。

从 20 世纪 40 年代末雷达应用于气象领域以来,按业务天气雷达探测信息的种类来划分,大致经历了三个阶段。第一阶段(20 世纪 50 年代至 60 年代)以信息的模拟显示为其特征,代表性天气雷达为 WSR-1、WSR-3 和我国 703、711 型天气雷达,第二阶段(20 世纪 70 年代至 80 年代),以信息的定量化为其特征,代表性天气雷达为 WSR-74 和我国的 713、714 型天气雷达;第三阶段(从 90 代开始)业务天气雷达以多普勒功能为其主要特征,典型代表为 WSR-88D 和我国 CINRAD 系列。WSR-88D 是一种 S 波段的多普勒天气雷达。

我国天气雷达经历了从早期 703、711 型电子管体制的天气雷达(20 世纪 60 年代至 70 年代),713、714 型半导体化天气雷达(20 世纪 80 年代至 90 年代),到第一代半相干多普勒天气雷达(20 世纪 90 年代)和现在大量使用集成电路、固态电路、可编程信号处理的具有全相参多普勒功能的现代化的新一代天气雷达(21 世纪)的发展过程。天气雷达信号处理发展大体上经历了从模拟天气雷达、数字天气雷达单要素信号处理,到多普勒天气雷达多要素信号处理三个发展阶段。天气雷达技术领域从最初的模拟信号接收和模拟显示的图像雷达,随着数字技术、微电子技术和计算机技术发展形成数字化天气雷达系统。经历了由初期军用的警戒雷达进行适当改装而成,发展到专为各种气象探测需求设计、生产的门类比较齐全的各种型号天气雷达。从人工选择观测模式采集单一气象回波强度信息能力,发展到具有高时空分辨率的多维数据的自动采集能力。

天气雷达应用和雷达气象学领域从最初的模拟化、定性分析技术,到数字化、量化以及分析技术综合化的发展。从单部天气雷达定时各自观测模式,发展到现在的全国所有天气雷达连续不间断地联网自动观测模式。雷达资料从只有本站雷达使用无法实现共享,发展到全国所有雷达资料(基数据和产品数据)实时网上共享。雷达产品从只有单一的气象回波强度产品,发展到涵盖基本产品和导出产品多达 70 多种产品。从人工分析雷达资料,判别灾害性天气,发展到通过一整套科学的数据处理,实现灾害性天气自动识别和自动产生灾害性天气警报的能力。

我国的天气雷达走过了一条从引进、消化吸收、军用雷达改制到自主研发具有中国特色天气雷达的曲折道路。到 2008 年,我国新一代天气雷达基本完成了全国 126 部新一代天气雷达

的布设工作,全相参脉冲多普勒天气雷达在全国范围投入了业务运行,多参数雷达、多基天气雷达、相控阵多普勒天气雷达、双极化多普勒天气雷达等新型天气雷达开始进入科学实验阶段,机载和星载天气雷达已开始进入预研,同时联立多波束快速扫描第四代天气雷达技术(相控阵)已进入技术可行性研究阶段,我国天气雷达随着国家经济不断壮大,进入了一个崭新快速发展时期。

## 1.2 1980年代前天气雷达技术和应用状况

### 1.2.1 天气雷达技术领域状况

#### 1.2.1.1 国外天气雷达技术领域状况

1950年代以前,用于气象部门的天气雷达主要是由军用的警戒雷达进行适当改装而成,如美国国家气象局用的WSR-1,WSR-3,英国生产的Decca41、Decca43等。CPS-9(X波段或3 cm波长)是第一部专门设计用于气象的雷达,于1954年由美国空军航空气象处开始使用。当时选用的波长主要采用X波段,少量S波段,同时也进行了相关军用警戒雷达改装用于天气雷达观测,性能与军用的警戒雷达无多大差异。

1950年代中期根据气象探测的需求,开始设计专门用于监测强天气和估测降水的雷达,命名为天气雷达。1953年美国空军设计研制了CPS-9X波段天气雷达,用于监测强天气和机场的飞行保障。1957年美国天气局设计生产了WSR-57S波段天气雷达,主要用于监测大范围降水和定量估测降水。WSR-57是被选定作为美国国家天气局(NWS)的第一个业务天气雷达系统。它以S波段或10 cm波长工作,选择它是为了尽量减少CPS-9 3 cm波长雷达经历的不必要的降水信号衰减影响。

60年代日本开发了C波段的天气雷达如JMA-109等,适用于X波段天气雷达和S波段天气雷达之间。这阶段为气象观测使用的天气雷达,主要是在波长上作了较多的考虑,适应气象探测要求。对回波信号强度测量和图像显示方面作了不同于军用的要求,天气雷达主要还是模拟信号接收和模拟显示的图像雷达,观测资料的存贮采用照相方法,黑白照片存储,对资料的处理仍是事后的人工整理和分析。

70年代加拿大首先把阿尔伯塔防雹基地的一部10 cm天气雷达改装成圆偏振天气雷达,进行了冰雹识别研究,取得了一定成绩,同时也发现不少问题,当时的测量参数主要为退偏振比。与此同时,美国、英国、法国科学家先后对双偏振雷达技术进行了大量研究和实验工作。

#### 1.2.1.2 国内天气雷达技术领域状况

我国模拟天气雷达建设始于20世纪60年代中期,1958年,上海市气象局从国外引进了第一部天气雷达(Decca41)用于监测天气,60年代,在消化国外技术的基础上,通过军用843测高雷达进行适当改制而成的703型测台天气雷达,是我国最早的天气雷达。1965年这部S波段、电子管体制测台雷达在汕头投入使用,成功预报了东南沿海的台风和暴雨天气,使沿海渔民和渔业生产得到安全保障,取得显著的社会、经济效益。此后先后改制了11部703测台风雷达,主要作为军用和民用气象观测,没有系统布点。

我国气象部门最早在70年代初开始布点由无锡无线电厂生产的X波段711型天气雷达,有固定和车载移动式两种,由于X波段711型天气雷达波长短、发射功率小(发射峰值功

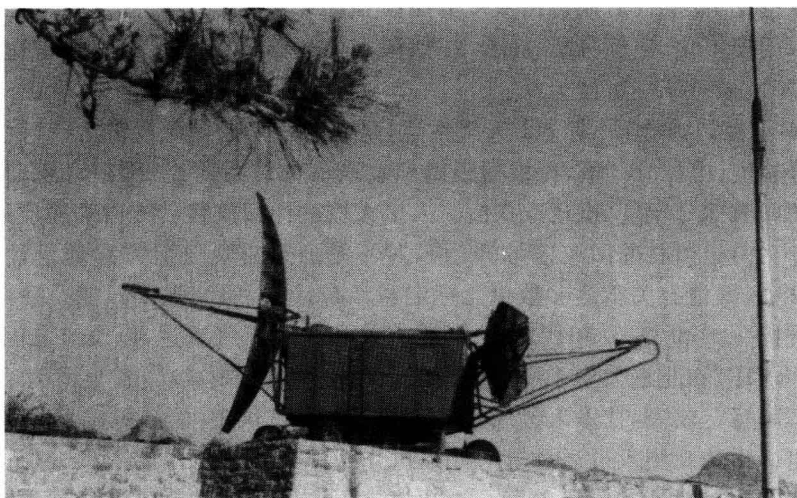


图 1.1 703 测台风雷达

率为 75 kW)、天线尺寸小、天线波束宽,导致雨区衰减大、探测距离短、天线增益低、分辨率低,无法满足灾害性天气探测的需求。1970 年代中期,中国气象局气象科学研究所(中国气象科学研究院前身)和桂林 722 厂协作,引进 60 年代日本开发的 C 波段 JMA-109 型天气雷达,通过技术引进和消化,研制成功 C 波段 713 型天气雷达,以及与之配套的模拟视频积分处理机(AVIP),之后试制出的两部样机,在广州进行了 713 型天气雷达性能测试、现场试验等工作,70 年代末开始大批量布点工作,这个时期的天气雷达在硬件上还是采用以电子管体制,磁控管作为射频功率放大器件。到 20 世纪 80 年代初,我国初步形成了由 51 部各种型号 X、C 波段天气雷达组成的天气观测网,在局地灾害性天气警戒、沿海台风联防和人工影响天气作业等方面发挥了积极作用。这个时期我国的天气雷达技术相比国外落后将近 20—30 年。

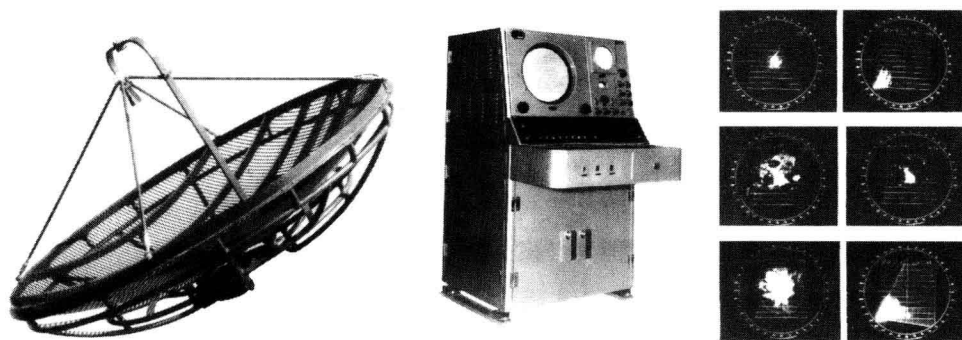


图 1.2 早期 711 天气雷达

### 1.2.2 天气雷达应用和雷达气象学领域状况

雷达气象学起源于第二次世界大战期间,它是随着雷达技术发展而开始发展起来的一门新兴的边缘科学。它主要包括:气象回波探测的理论、方法和技术。

由于早期的天气雷达主要还是模拟信号接收和模拟显示的图像,从最早的黑白灰度模拟

图像显示,到 20 世纪 70 年代后期黑白灰度分层模拟图像显示。天气雷达应用和雷达气象学领域早期主要采用模拟化、定性分析技术。一些国家先后开始建立了用气象雷达进行探测的站网;主要用于警戒强对流灾害性天气。

1960—1970 年代初,我国早期 711 天气雷达,是通过手工选择天气雷达(711 型)中频衰减量获得回波信号幅度(电压)dB 值,再根据距离和衰减值的关系曲线(距离订正曲线)图,查出经距离订正后的回波信号幅度(电压)dB 值。人工大概估计回波移动方向和速度后,进行灾害性天气预警服务。由于当时的回波信号 dB 值,并不是通过雷达气象方程理论计算出的接收的回波功率 dBz 值,其他有关雷达参数也无标定和参与计算,回波强度只能是参考值,回波分析也只能定性分析。20 世纪 70 年代后期,随着 C 波段 713 天气雷达,以及与之配套的模拟视频积分处理机(AVIP)和北京大华无线电仪器厂雷达信号源研制成功,各个雷达站基本配备了必要的雷达测试和标定仪表,技术人员通过雷达配套的测试仪表(信号源、功率计)已可进行雷达相关参数标定。雷达观测人员通过模拟视频积分处理机处理显示的灰度分层图像,获取回波强度 dB 值(已经过硬件距离订正处理),再通过人工判断回波移动方向和速度后,进行灾害性天气预警服务。

这个时期天气雷达主要通过模拟显示的雷达图像,获取回波信号幅度 dB 值进行气象服务,没有任何雷达导出产品可用,由于缺乏标定仪表和规范化的标定方法,雷达回波强度等有关参数基本上没有定标,雷达观测资料可靠性无法得到保证。观测资料的存贮采用照相方法,对资料的处理仍是事后的人工整理和分析。方法处理最原始和最简单的定性分析。这个时期,雷达资料使用,由于其技术原因(通信速率慢、雷达资料处理没有数字化等)无法实现共享。

1973 年和 1978 年中国气象科学研究院先后组织主持了两次较大规模的全国性雷达气象技术会议,对协调全国雷达气象科研工作,推广科研成果、普及天气雷达资料的使用等方面起到了重要作用。70 年代后期,中央气象局气象科学研究院雷达气象组,编写和翻译了大量有关天气雷达和雷达气象方面的技术读物和参考资料,主要有《北京地区测雨雷达回波图集》、《雷达气象译文集》、《天气多普勒雷达及其应用》、《下一代天气雷达》、《多普勒风速图分析指南》、《冰雹暴雨雷达回波图集》,组织编写了《713 天气雷达观测使用技术》、《测雨雷达观测手册》,规范了天气雷达观测方法,推动和普及了天气雷达和雷达气象的研究及应用。

从 20 世纪 70 年代至 80 年代初,美国就通过许多研究人员共同努力奠定了洪水预警系统科学研究的科学基础。其中,决策理论用于江河干流洪水预报响应系统的模型化和评价是这一时期最重要的标志。另一方面对瞬时洪水预警系统设计有广泛的需求,同时,提出了一系列改善国家水文服务的发展计划。

我国这个时期天气雷达在局地灾害性天气警戒、沿海台风联防和人工影响天气作业研究等方面发挥了积极作用。但总体应用能力与发达国家相差 20~30 年。

## 1.3 20 世纪 80 年代天气雷达技术和应用领域状况

### 1.3.1 天气雷达技术领域状况

#### 1.3.1.1 国外天气雷达技术领域状况

1970 年代中叶后,随着半导体技术、数字技术的发展和计算机开始广泛使用,为适应气象部门对天气雷达定量估测降水和对观测资料数据作进一步处理的需求,国外天气雷达开始采

用数字技术和计算机处理,天气雷达与计算机联接,形成数字化天气雷达系统,主要特征:是信息数字化、控制自动化、专门设置了信号处理器及终端处理设备。典型产品有美国 WSR-81S 天气雷达系统。同时也将数字技术与计算机处理用于对原有的常规天气雷达进行改造,使其具有数字化处理功能。数字化天气雷达系统不仅在技术上采用了数字技术,提供了数字化的观测数据,更重要的是应用计算机对探测数据进行再处理,形成多种可供观测员和用户直接使用的图像产品数据。开始利用军用雷达技术用于天气雷达研究,如双极化、双波长雷达、全相干脉冲多普勒天气雷达开始研制。

20 世纪 80 年代后,随着多普勒天气雷达技术的发展,大大丰富了双线偏振测量参数,尤其是差分传播相移参数( $K_{dp}$ ),为粒子的相态识别提供了重要依据。

### 1.3.1.2 国内天气雷达技术领域状况

“文化大革命”的 10 年动乱结束后,国家百废待兴,根据国民经济快速发展的需求,我国天气雷达的研制走上了快车道。这个时期我国天气雷达设备系统的发展,在经历了引进、改进和自行研制的历程后,逐步成长了一支专业的研究队伍。建立了比较完备的体制。1980 年代初,中国气象科学研究院开始 S 波段 714 型天气雷达的调研工作,1980 年中国气象局正式和成都 784 厂签订研制合同,1982 年研制出第一部样机,1983 年由中国气象科学研究院组织在汕头现场考核试验,并投入业务试用。1985 年底通过部级设计定型。它的研制成功填补了我国 S 波段天气雷达空白,为我国气象事业发展做出了重要贡献。714 天气雷达投入业务使用后将用于更换 843 型天气雷达,以提高对台风和暴雨的警戒能力,在灾害性天气和航空气象保障中具有重要意义。该系统研制成果获 1988 年国家科技进步二等奖。在 714 型天气雷达设计定型的基础上,1986、1987 年在 714 型天气雷达设计定型基础上又先后完成了 714-甲远程天气雷达、714-乙数字化天气雷达技术改造,714-乙数字化天气雷达采用数字视频积分技术和彩色智能终端。714 系列天气雷达定型后,共生产十余部,遍布沿海和多暴雨地区,为我国台风和暴雨监测、预警做出了重要贡献。

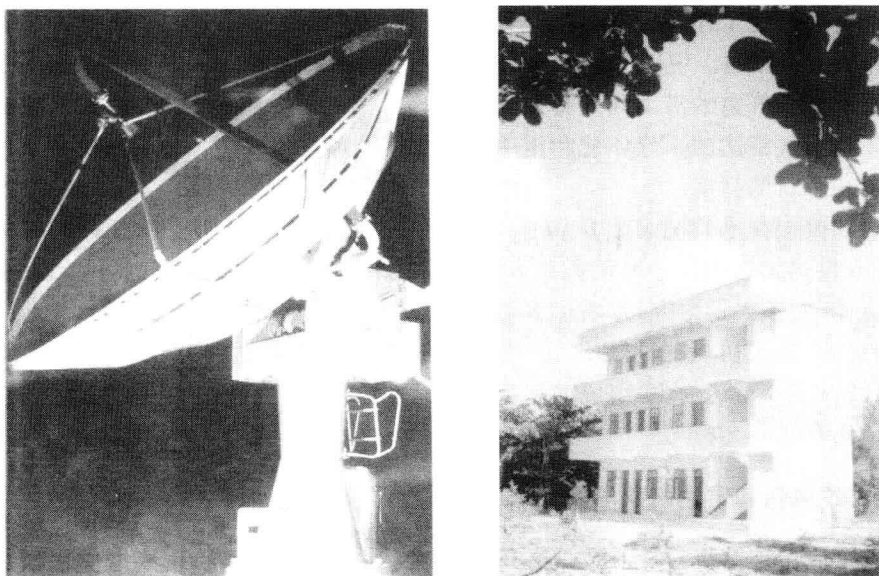


图 1.3 西沙 714 雷达站

到 20 世纪 80 年代末,在我国布点雷达中,初步形成了沿海及重要流域的台风和暴雨多发地区布设 714S 型天气雷,中部及相关对流天气多发地区布设以 713 天气雷达为主和少量 714C 型天气雷达,在冰雹多发区及人工影响天气试验区布设 711 型 X 波段天气雷达,形成了比较科学、合理的天气雷达布点方法。这个时期的天气雷达除部分 711 雷达为电子管体制外,713 和 714 系列已基本上半導體化。

随着雷达信号处理技术和计算机技术的发展,为了提高对天气雷达探测信息的处理能力,使天气雷达获取的降水回波信息能进入电子计算机处理,70 年代末到 80 年代初,大气探测所无线电组研制成 713 型天气雷达回波处理机。1982 年中国气象科学研究院又研究成功了适合装备 714 系列天气雷达的数字化视频积分处理机,1983 年该机通过鉴定并移交 784 厂生产。1983 年中国气象科学研究院和邮电部数据通信技术研究合作共同研制适合我国的天气雷达图像数字式传输和彩色显示系统。该系统对天气雷达的对数视频信号进行数字积分处理,完成雷达回波图的坐标转换,在彩色图形显示器上显示降水回波的 PPI(平面显示)和 RHI(高度显示)图像,并通过多种通信手段实现数字式的远距离图传,从而使用户能实时获得彩色的雷达回波图。该设备 1985 年夏完成性能样机,1986 年正式投入业务使用。

为了研究和进一步开发天气雷达信息资源,中国气象科学研究院于 1984 年提出以国产 713 型天气雷达为主机的高精度、高分辨数字化天气雷达的总体方案,由美国 LR 公司制作彩色显示数字化处理分析终端,该系统于 1986 年在中国气象科学研究院中尺度研究所安装完毕,1987 年投入业务研究运行。

1982 年中国气象科学研究院开始了引进多普勒天气雷达的调研、学习工作,1983 年利用世界银行贷款,编写引进多普勒天气雷达(半相干)及信号处理系统招标方案,1984 年正式向外招标,1985 年美国 EEC 公司中标。1986 年底通过在美国的出厂验收,1987 年到货,1988 年在美国专家指导下,在中国气象科学研究院中尺度研究所完成了我国第一部多普勒天气雷达安装,并投入业务研究运行工作。

1986 年中国气象科学研究院与成都 784 厂开始了我国第一部自主研发的多谱勒天气雷达(半相干)预备性研究工作,共同承担了国家科委“七五”攻关项目 75-09-02 脉冲多普勒天气雷达(714CD)的研究课题。中国气象科学研究院负责技术总体,784 厂负责工程设计。

为了挖掘常规天气雷的潜力和发挥常规天气雷达效益,80 年代后期,基本上完成了早期的 711 和 713 型天气雷达的半導體化和雷达信号数字处理技术改造。使我国常规天气雷达技术水平上到了一个新的高度。

我国最早双偏振技术研究是由中国科学院兰州高原大气物理研究所开展起来的。1980 年他们在 3 cm 雷达上进行线—圆偏振技术研究。后来又把一部 713 天气雷达(5 cm)改装成双线偏振雷达,开展了大量研究,发表了多篇研究论文。

到 20 世纪 90 年代初,我国形成了由 58 部 S 波段和 C 波段数字化天气雷达(沿海以 714 雷达为主、内陆以 713 雷达为主)组成的基本探测站网,此阶段在天气雷达研制生产水平与发达国家的差距仍有 10~20 年。

### 1.3.2 天气雷达应用和雷达气象学领域状况

国外已进行应用计算机对探测数据进行再处理,生成多种图像产品数据供预报员和用户直接使用。开展用天气雷达资料进行定量估测降水和研究。1986 年 Addin 对混合型降水中冰雹和雨的含量进行了大量分析,最后定义了冰雹信号 HDR 作为检测冰雹含量的参数,开始

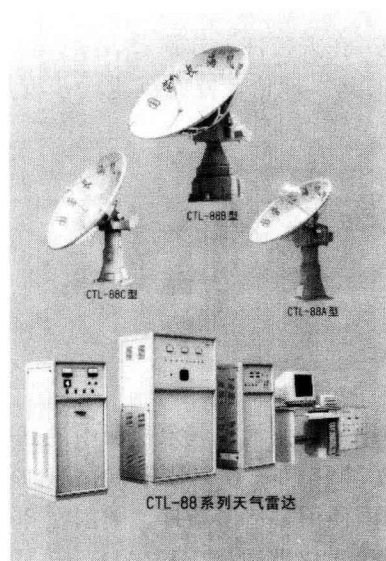


图 1.4 713 系列数字化天气雷达

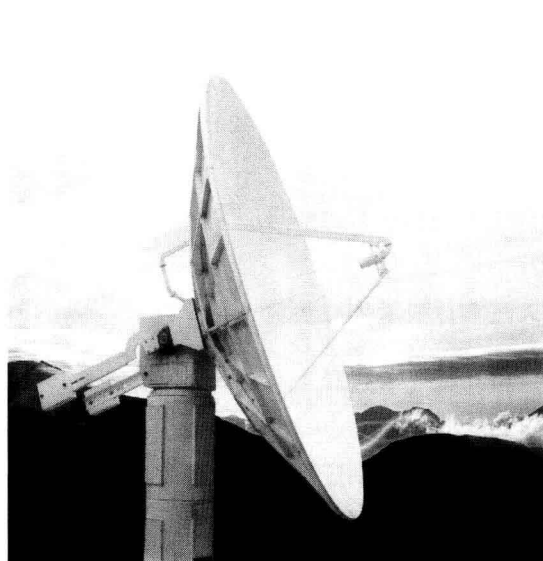


图 1.5 新型 C 波段数字化天气雷达(716A)

对双极化信息的研究。随着全相干脉冲多普勒天气雷达等开始研制,雷达气象学的基本理论研究已日趋完善。

1978 年全国雷达气象会议后,华北地区 10 个雷达站组成了华北地区天气雷达协作片,由中央气象局气象科学研究所牵头,开始进行强对流天气的雷达探测和应用的技术研究,1979—1983 年间,华北地区天气雷达协作片先后召开多次小型研讨会,交流各站雷达探测经验、重要天气过程技术档案资料和分析研究成果,提高了各站雷达探测资料分析和研究水平。在此期间,随着北京大华无线电仪器厂雷达信号源研制成功,各个雷达站基本配备了必要的雷达测试和标定仪表,为保证协作片雷达探测资料可靠性,提高雷达站队雷达的标校水平,每年集中技术骨干进行一次片区雷达巡回定标。

1980 年代初,随着 713 天气雷达大批量布设,雷达气象组就国内、外雷达回波拼图技术进行了大量的调研,提出了国内阶段使用雷达回波人工数字化拼图的设想。并于 1985 年初拟定了华北区域雷达回波人工数字拼图初步方案,随后设计出拼图网格系统、新电码形式和编报方法,由北京气象中心软件室设计出计算机拼图软件。1986 年汛前进行了用专用套图工具从雷达显示回波中提取强度分层轮廓图、判断移向移速、人工编报、校对、发报的全过程业务试验,并举办拼图培训班。1986 年 6 月 1 日起,雷达回波人工数字化拼图在华北地区正式投入业务使用。随后在全国进行了推广。初步形成了我国天气雷达资料共享和拼图应用。

1988 年,随着 CAMS 多普勒天气雷达在中尺度所投入业务使用,各种雷达产品和图像通过图传系统提供多用户使用(国家气象中心、北京市气象台、水利部水调中心、首都机场)。初步实现了雷达图像多路传输,并利用多种多普勒天气雷达资料开始制作临近预报业务。推动了我国临近预报方法和短时预报业务系统领域的研究。

1980 年代后期,虽然天气雷达实现了半导体化和完成了雷达信号数字处理,但只是实现了雷达图像彩色显示,没有真正实现雷达信号数字化存储和处理,观测资料的存贮采用照相方法,彩色照片存储,对资料的处理仍是事后的人工整理和分析,还没有达到应用计算机对探测