

L波段气象探测系统建设 技术评估报告

李伟 李峰 赵志强 刘凤琴 李柏 李黄 编著

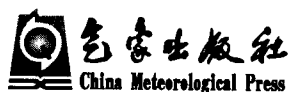


气象出版社

China Meteorological Press

L 波段气象探测系统建设 技术评估报告

李伟 李峰 赵志强 刘凤琴 李柏 李黄 编著



内 容 提 要

本书主要介绍了项目建设的背景及项目计划的目标,说明了项目的完成情况、实施进度和项目实施的组织情况,分析了 L 波段高空气象探测系统与国内、外探空系统间的差异,对 L 波段高空气象探测系统项目的社会效益、工作效益、适用性、可靠性、环保效益和可持续性进行了评估。

本书可供给从事天气、气候、气象探测等工作的人员参考,同时希望能对今后类似项目的建设提供一些借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

L 波段气象探测系统建设技术评估报告/李伟等编著.

北京:气象出版社,2009.3

ISBN 978-7-5029-4695-1

I. L… II. 李… III. L 波段—高空气象学—气象观测—
技术评估—研究报告 IV. P412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024971 号

L Boduan Qixiang Tance Xitong Jianshe Jishu Pinggu Baogao

L 波段气象探测系统建设技术评估报告

李伟 李峰 赵志强 刘凤琴 李柏 李黄 编著

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:俞卫平 黄润恒

封面设计:王 伟

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:166 千字

版 次:2009 年 3 月第 1 版

印 数:1~2000 册

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:6.5

印 次:2009 年 3 月第 1 次印刷

定 价:20.00 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

前 言

中国气象局从 2002 年开始常规高空探测设备的升级换代,由新型的 L 波段高空气象探测系统替代老的 59—701 高空气象探测系统,由于天气预报与科学研究都需要连续、均一、准确的高空观测资料,因此以下从不同方法,利用不同时期、站点的记录,对 L 波段探空系统资料的连续性与准确性进行评估。

本书主要介绍了项目建设的背景及项目计划的目标,说明了项目的完成情况、实施进度和项目实施的组织情况,分析了 L 波段高空气象探测系统与国内、外探空系统间的差异,对 L 波段高空气象探测系统项目的社会效益、工作效益、适用性、可靠性、环保效益和可持续性进行了评估。

本书第 1 章由李黄编写;第 2 章由李峰、李柏编写;第 3 章由刘风琴、李伟编写;第 4 章由李伟、赵志强编写;第 5 章由李伟编写。

本书可供给从事天气、气候、气象探测等工作的人员参考,同时希望能对今后类似项目的建设提供一些借鉴。

在本书的编写过程中,中国气象局领导与专家、各省高空业务管理与技术人员,以及相关的生产厂家均提出了非常好的意见与建议,在此一并表示感谢。由于缺乏借鉴和经验,书中肯定还存在很多问题和不足,希望读者多提宝贵意见,使技术评估更加完整。

目 录

第 1 章 项目介绍	1
第 2 章 项目实施	3
2.1 完成情况概述	3
2.2 设备出厂验收	5
2.3 软件开发	6
2.4 站址勘查	7
2.5 人员培训	7
2.6 安装调试	9
2.7 业务验收	9
第 3 章 研制过程及技术指标	11
3.1 研制过程	11
3.1.1 雷达关键技术攻关情况	12
3.1.2 GZZ9 型（现称 GTS1 型）数字探空仪关键技术攻关情况	13
3.1.3 评价	14
3.2 L 波段高空气象探测系统技术指标	14
3.2.1 探空仪技术指标	14
3.2.2 雷达技术指标	15
3.2.3 软件技术指标	16
第 4 章 项目技术评估	18
4.1 总体评价	18
4.2 项目技术评估	18
4.3 探测资料质量评估	20
4.3.1 与欧洲中心初估场的对比	22
4.3.2 与我国初估场对比评估	27
4.3.3 与北美探空资料的对比	32
4.3.4 与 59-701 高空气象探测系统资料综合对比	40
4.3.5 与芬兰 RS92GPS 探空仪资料的对比	53
4.3.6 测量结果扩展不确定度分析	58
4.3.7 L 波段高空探测系统高空风计算方法评估与探讨	63
4.4 工作效益评估	68

4.4.1 L 波段高空气象探测系统和 59-701 高空气象探测系统操作人员需求比较	68
4.4.2 L 波段高空气象探测系统和 59-701 高空气象探测系统探测资料量比较	68
4.4.3 L 波段高空气象探测系统和 59-701 高空气象探测系统技术保障要求比较	69
4.4.4 L 波段高空气象探测系统和 59-701 高空气象探测系统场地建设比较	69
4.4.5 L 波段高空气象探测系统和 59-701 高空气象探测系统数据服务比较	69
4.4.6 59 型探空仪和 GTS 型探空仪的比较	70
4.4.7 701 雷达与 GFE (L) 型雷达的比较	71
4.4.8 59-701 微机数据处理软件与 L 波段高空气象探测系统软件的比较 ...	72
4.5 适用性评估	75
4.5.1 L 波段高空气象探测系统与现台站环境条件的适用性	75
4.5.2 L 波段高空气象探测系统与现台站操作人员技术水平的适用性	75
4.6 可靠性评价	76
4.6.1 L 波段高空气象探测系统设计阶段的可靠性评估	76
4.6.2 L 波段高空气象探测系统研制阶段的可靠性评价	76
4.6.3 L 波段高空气象探测系统可靠性试验评价	77
4.6.4 L 波段高空气象探测系统考核阶段的可靠性评价	77
4.6.5 L 波段高空气象探测系统生产阶段的可靠性评价	77
4.6.6 L 波段高空气象探测系统业务使用阶段的可靠性评价	77
4.7 环保和安全性评估	78
4.8 可持续性评估	78
4.9 项目国际国内影响评估	79
第 5 章 结论和建议	80
5.1 适用性评估	80
5.2 探测资料质量综合评估	80
5.3 项目影响评估	81
5.4 经济效益评估	81
5.5 技术差距评估	81
附录 1: L 波段二次测风雷达—电子探空仪系统功能规格书	82
附录 2: L 波段二次测风雷达—电子探空仪系统设备技术要求	91

第1章 项目介绍

20世纪90年代,随着我国社会经济的快速发展,对高空气象探测信息的发展需求与现有高空气象探测能力不足的矛盾日益突出,为了迅速提高我国高空气象探测的水平和质量,中国气象局除了继续按“七五”期间论证确定的高空气象探测技术体系的要求,加快P波段电子探空仪—C波段一次测风雷达系统业务化建设和转换的进程,在全国不同的代表区域(东北长春、华北呼和浩特、华东济南、华中郑州和西北榆中)开始C波段一次测风雷达系统小批量业务化试点建设,同时组织各方面专家技术人员,开展对我国新的高空气象探测体制的大规模深入研讨。1993年至1996年,先后多次召开中国高空气象探测体制、高空气象探测系统发展规划研讨会,对我国现行的P波段59-701高空气象探测系统、已完成研制的P波段电子探空仪—C波段一次测风雷达系统和新的L波段电子探空仪—二次测风雷达系统、无线电经纬仪系统以及 Ω (欧米伽)、罗兰-C地面导航系统和GPS测风高空气象探测系统进行了反复的研究比较,全面调查了解世界各国高空气象探测技术的现状和发展趋势,分析我国高空气象探测技术和业务的差距,探索适合我国国情的新的高空气象探测体制和实现途径。

1994年4月,中国气象局将我国新的探空技术体制和规划的研究任务正式下达给总体规划与设计研究室。1996年5月,在我国高空气象探测体制研讨会上,针对国内外高空气象探测体制的现状和发展趋势,我国高空气象探测业务和科技开发研究的现状,世界先进高空气象探测技术的发展等进行了充分的交流和分析,对我国未来高空气象探测体制的发展目标、系统建设、科学技术研究以及有关高空气象探测系统中的具体技术和探测方法等问题进行了非常热烈的讨论,深入的探索,在许多问题上取得了比较一致的意见。特别是明确了坚持自力更生、加强内外技术合作的发展策略;认识到我国未来高空气象探测体制将是某种体制为主、少部分其他体制为辅的多元化混合体制;在体制过渡阶段,应集中力量发展L波段高空气象探测系统体制,维持和改善现有的59-701高空气象探测系统;要加强探空仪的相对独立超前发展,尽早实现探空仪的通用性,努力适应各种地面探测设备体制,尽快改变我国高空气象探测精度不高的不利局面。

1996年7月12日,中国气象局党组会审定并通过了《气象综合探测系统高空气象探测系统和地面观测系统发展规划(1991—2020年)》。该规划指出我国高空气象探测技术和业务的状况已远远不能满足气象综合观测系统建设的迫切需求,应发展我国新一代高空气象探测系统,迎头赶上世界先进水平。规划同时指出GPS探测系统将是未来我国常规高空气象探测的主导技术体制,在GPS高空气象探测系统建成之前,L波段测风雷达—电子探空仪系统是过渡时期里我国常规高空气象探测的主导体制。1996年9

月,中国气象局党组听取了总体室关于《我国未来高空气象探测体制的建议报告》,经充分认真地讨论后决定,在近阶段我国新的高空气象探测体制以发展 L 波段二次测风雷达—电子探空仪系统为主要过渡系统,这一决策为我国跨世纪高空气象探测体制的新发展指明了方向,开始了我国新一代高空气象探测系统的研制和业务建设征程,并正式确定 L 波段高空气象探测系统建设为大气监测自动化一期工程的重要建设项目。

L 波段高空气象探测系统经过了三个阶段考核和准业务化试验,历时四年,通过测试、对比、对存在的问题从技术上做了进一步的改进,不断完善了系统的整体性能。L 波段高空气象探测系统考核对比试验不仅对探测设备性能提出了科学的结论,同时对对中国气象局大气监测自动化项目前期建设提供了很多值得借鉴的经验。

(1) 促进了大气探测试验基地的建设。中国气象局大气探测试验基地是为气象观测、探测、遥测仪器设备考核试验建立的,1997 年 7 月 1 日正式成立后,L 波段高空气象探测系统考核试验是入场大气探测试验基地试验考核的第一个大型设备,试验方案编写、组织协调、现场指挥、人员调配、业务与试验工作安排、资料分析等一切工作都是从无到有,从头做起,无疑基地建设过程就是宝贵的经验。如基地技术委员的成立,使试验工作开始就在科学的指导下,使大气探测试验基地持续发展得到有力支持。

(2) 锻炼培养了一支科研技术队伍。试验组织、设备测试、资料分析等关键工作是由一些参加过国际探空系统比对试验的专家担任,使试验考核工作有序地进行。其他参比业务技术人员在专家的指导下积极参加各项试验比对考核工作,技术素质不断得到提高,其中的佼佼者成为 L 波段高空气象探测系统建设的骨干。

(3) 科学总结,力争可持续发展。试验比对考核是为了在高空气象探测业务中推广精度高、质量好的新技术、新设备。中国气象局关注试验的科学总结,指导技术骨干人员不断进行技术总结,在试验后期积累了丰富的技术资料和操作经验,为技术培训教材和业务流程的编制做好前期准备,为 L 波段高空气象探测系统建设夯实了基础。

经过三次比对考核和业务化试验期间及后期的不断改进,南京大桥机器厂生产的 L 波段雷达样机和上海无线电 23 厂研制的 L 波段电子探空仪系统,主要技术性能指标达到了业务功能规格书规定的要求,通过了考核验收。2001 年 10 月这一系统在南京通过了设计定型,中国气象局正式命名为 GFE(L)1 型二次测风雷达—GTS1 型数字式电子探空仪系统。定型的 L 波段高空气象探测系统在北京观象台进行了为期一个月的业务化考核,2001 年 12 月通过业务验收,2002 年 1 月 1 日,我国第一部 L 波段高空气象探测系统在北京观象台正式投入业务,标志着我国高空气象探测体制跨过了一个新的里程碑。

第2章 项目实施

中国气象局党组确定 L 波段高空气象探测系统为我国常规高空气象探测技术体制后,中国气象局制定了严格的 L 波段高空气象探测系统设备列装方案、台站建设指南、业务规范和操作手册、业务运行流程、业务技术培训计划、探测资料精度质量保证体系等一系列文件和规定,并在建设中严格执行,特别是 L 波段高空气象探测设备要进入业务必须通过“三个验收”的制度,即设备出厂验收、台站现场安装验收和业务验收三个关口,从而确保了 L 波段高空气象探测设备质量和业务质量,为整个系统在业务中稳定可靠运行,奠定了扎实的基础。

2.1 完成情况概述

L 波段高空气象探测系统从 1996 年开始启动,经过了前期技术调研论证、初步设计、功能需求书编制、技术方案审定、样机生产、产品生产环节督查、测试对比考核、台站设施建设、人员培训、系统试运行、设备定型、小批量生产和业务技术交流等主要工作环节,到展开全面建设,截至 2007 年底,全国共建成 81 套 L 波段高空气象探测系统,并投入业务运行,初步建成了我国新一代高空气象探测系统,超额实现了项目设计目标。

L 波段高空气象探测系统软件与系统硬件(雷达、探空仪)同时招标生产。在投入业务使用前与整个 L 波段高空气象探测系统统一进行了编制、测试、考核和定型等流程。2002 年 1 月 1 日第一部 L 波段高空气象探测系统在北京观象台正式投入业务运行后,软件开发人员对软件运行情况进行全程动态跟踪,对探测过程中出现的问题,及时进行核对、分析、验证并修改优化程序;对软件操作上的问题提出改进措施。

为保证 L 波段高空气象探测系统软件提供的探测资料的准确性和探测精度,对软件中使用的气象学公式和相关常数请权威专家逐一进行审定。对软件是否实现常规高空气象探测规范的技术规定,全国高空气象检查员对软件多次进行评审。为保证系统操作手册既有可操作性,对软件的各种功能有明确的说明,同时符合高空气象探测规范的技术规定,系统操作手册经过全国高空气象管理人员、技术专家、检查员进行了逐条修改和审定后,定稿颁布执行。

为适应预报和服务新的要求,系统软件在 V1.00 版本的基础上,增加了探空仪空间坐标扩充编码、探测秒数据上传、5 hPa 资料处理、系统监控信息上传等功能。逐步完善了软件本身的信息处理和系统安全问题。根据台站业务需求,编制了高度误差曲线、净举力计算等辅助工具。



图 2.1 L 波段探空站换型建设站点分布图

2002 年以来,在中国气象局指导下,软件技术人员对 L 波段高空气象探测系统软件进行了三次较大的增加功能改动和四次优化升级,升级时间分别为:2003 年 3 月、2004 年 7 月、2005 年 12 月、2007 年 7 月。目前台站使用的业务软件版本已达到了 V2.03 版。为适应高空气象探测业务发展需要,L 波段高空气象探测系统程序已形成标准化软件,能够兼容 GPS、无线电经纬仪等高空气象探测系统硬件设施。

L 波段高空气象探测系统质量控制体系仍然沿用了常规高空气象探测三级质量控制体系,即观测人员在探测过程中进行初级质量控制;探测资料出站前由预审人员进行审核;资料传输到省级探测资料审核单位,专职审核人员进行审核和质量监控。L 波段高空气象探测系统软件业务应用后,探测资料质量更有保证,主要体现为:

(1) 资料探测信息采集、数据计算统计等流程中实现了自动化,减少了大部分人为因素误差。

(2) 软件快速的运算功能,使在手工操作或半手工操作无法实现的运算统计流程得以实现,大大提高了运算结果精度。

(3) 软件提供的设备、流程和数据的监控信息,使输出的数据在逻辑上有了较好的保证。

探测业务软件的应用,使系统的功能更加强大和客观,不仅确保上传到中国气象局的观测资料精度质量可靠,而且为实现对 L 波段高空气象探测系统进行国家级实时监控和高分辨率秒级探测数据的研发应用提供了条件。

2.2 设备出厂验收

设备出厂验收是 L 波段高空气象探测系统建设的重要环节,是新业务系统进入业务的第一道关口,目的是检查设备质量是否达到设计要求。

L 波段高空气象探测系统设备出厂验收工作由中国气象局上海物资管理处(简称:上海物管处)负责。上海物管处组织专家、相关省局和工厂技术人员,根据技术服务合同条款和 L 波段高空气象探测系统设备测试大纲和产品技术要求,对设备各项性能进行测试验收和评估。为保障设备质量,上海物管处根据中国气象局要求,制定了《L 波段高空气象探测系统出厂质量验收办法》,对雷达设备和探空仪、基测箱等设备的生产实行驻厂督查制度,与工厂质检部门一起对生产的各个环节进行质量跟踪检查,发现问题及时督促厂家解决,并及时向中国气象局职能管理部门报告,使设备质量问题消灭在成品之前。上海物管处认真地执行了出厂质量验收制度,不仅保障了设备质量,对每台出厂雷达设备做到心中有数,同时也锻炼提高了一支技术队伍,为项目后期实施建站工作与售后服务打下了良好的技术基础。

2001 年至 2006 年,上海物管处对南京大桥机器厂生产的 8 批共 81 部 L 波段雷达生产进行驻厂督查、出厂测试,并编写督查和验收报告。为规范雷达出厂测试和出厂验收工作,监测网络司制订了《L 波段二次测风雷达验收和测试规范》。规定出厂测试工作分为 4 个部分:

(1) 上海物管处和生产厂家质检科及聘请的有关雷达专家根据“L 波段二次测风雷达验收和测试规范”的有关标准和测试方法,对雷达各项技术状况进行静态测试。

(2) 上海物管处和厂家总装车间负责动态试验,每部雷达获取不少于两份有效探空和测风记录。

(3) 上海物管处参加对抽样雷达进行的高低温试验。

(4) 对雷达发射机进行不少于 8 小时的通电老化试验,连续通电工作不小于 4 小时。测试完成并形成测试报告。

上海物管处完成设备出厂测试验收后,由监测网络司组织出厂验收工作,审查 L 波段二次测风雷达的测试报告,观摩探空仪施放、审核探测记录,听取工厂生产情况介绍,完成雷达出厂验收各项程序。

上海物管处根据合同也负责上海长望气象科技有限公司仪器设备的测试验收工作。到 2005 年底完成了 80 套基测箱和规定数量电子探空仪的出厂测试验收。验收依据参照工厂企业标准进行。因基测箱是保证探测精度的关键设备,所以采取逐台验收的方式,以确保基测箱质量。为保证高空探测质量,中国气象局委托中国气象局气象探测中心根据计量规定,编制了《GEZ10 型探空仪检测箱的校准方法》,颁布实施。

电子探空仪作为消耗器材,长期以来,上海物管处对探空仪出厂验收建立了规范的程序,积累了丰富的经验。探空仪验收程序按照《GTS1 型数字电子探空仪行业标准》规定的要求进行交收试验和例行试验,其中 L 波段电子探空仪发射机验收采用国家标准;测量板和温度、气压、湿度传感器按国家计量标准抽样,将测试数据按标准函数计

算确定仪器合格与否。出厂验收是保证和提高探空仪质量的关键环节，在验收过程中技术人员对发射管质量、湿度传感器配备及台站使用中发现问题反馈给工厂，使仪器质量和测量精度不断提高。

2.3 软件开发

根据项目功能需求书的技术要求，L 波段高空气象探测系统软件于 1997 年初开始研制，1998 年 12 月，经初审达到进场试验条件，参加第一阶段 L 波段高空气象探测系统考核。

该软件采用面向对象编程技术的 32 位开发工具，在 Windows 平台上开发，界面灵活，符合业务技术人员的操作流程。软件开发得到了中国气象局、中国气象科学研究院、北京观象台专家的多方指导，是气象专家和高级编程人员相结合的产物。从 1998 年 12 月至 2000 年 12 月，该软件参加了为期三年的动态考核试验，软件编制人员根据在考核中所暴露的问题以及台站业务人员的建议，对软件进行了全方位的修改优化，增加了多种实用功能，形成了自动化程度高，既符合高空气象探测流程，又符合业务人员操作习惯，成为操作性很强的业务应用软件。该软件主要特点有：

(1) L 波段高空气象探测系统软件是我国首个具备对二次雷达测风、探空仪气压、温度和湿度综合探测数据进行采集、处理、统计和具备对数据、设备有效监控功能的软件，符合中国气象局颁发的《常规高空气象探测业务规范》的各项规定，成为我国 L 波段高空气象探测业务标准软件，具有业务规范的作用。

(2) 软件采用成熟的软件开发技术，采用面向对象编程技术和 32 位 Windows 中文平台，充分利用了 Windows 图形界面的优点，软件达到了界面友好美观、操作使用方便、显示内容丰富、形象直观的效果。面向对象技术的采用，极大地提高了软件的开发效率和代码重用率，既加快了信息中间计算速度，又降低了出错概率。

(3) 软件增加了高空观测各规定层的经纬度和时间定位信息报告，此项探测信息报告在国际上未见开发报道，属国际首创。指导此报告开发的《国内探空报、测风报编码项目》的科研开发项目，获得中国气象局研究开发二等奖。该报告的应用正在评估开发中。

(4) 软件集雷达操作、控制、故障检测及数据处理为一体，实现了设备遥控和单一同步控制，减少硬件，简化操作，提高探测质量，降低劳动强度。

(5) 软件使用有较高评优级和与数据样本质量域相适应的最小二乘法对数据进行滤波，提高了数据的可靠性。软件具有多种数据质量控制手段，对超差数据自动判别剔除。软件强大的数据恢复与备份功能可随时恢复再现数据文件或原始数据，对数据进行反复计算处理。

(6) 软件有较强的容错和逻辑判断功能，在雷达和探空仪发生故障时，软件能正常工作并输出相应正确结果。软件兼容综合探测、无线电经纬仪和单测风三种工作方式且可自由切换，符合高空气象探测规范的要求。软件的 GPS 数据处理功能，适应了我国高空气象探测的发展方向。

(7) 软件智能化程度高,能够处理各种复杂天气或异常情况下的特殊数据,容许人工介入各种数据处理过程并有人工干预记录。在接收探测数据的同时,可随时进行数据处理、显示、输出报表、报文、图形等操作,确保了高空探测资料的准确性、可比性、代表性。软件性能稳定,已在全国各种气象条件下的高空气象台站稳定运行。

(8) 软件提供了丰富的气象产品。在提供常规气象业务产品的基础上,还增加了空间加密观测资料、特殊风层资料、任意等间隔高度气象要素值、任意高度上的风玫瑰图、爱玛图、探空仪飞行轨迹图、升速曲线、月值班日志、监控文件等产品,提高了L波段高空气象探测系统设备预报服务水平。

2.4 站址勘查

站址勘查是建设L波段高空气象探测系统的基础,是确保L波段高空气象探测精度和探测质量的基本保证。为了规范L波段高空气象探测系统的建设,中国气象局监测网络司编发了《L波段高空气象探测系统建站指南》,规定L波段高空气象探测系统对台站遮挡角、电磁环境、空域、安全和值班室环境等要求。

自2003年起,各省(区、市)气象局根据L波段高空气象探测系统建设要求,组织对本省探空站环境勘查,形成技术报告上报中国气象局。监测网络司组织全国高空气象探测业务检查员,在各省自查基础上,分组分批对全国120个探空站探测环境进行全面勘查,勘查内容主要包括探测环境、空域、电磁、航空航线情况、当地气候变化情况、基础设施情况等,形成了上百万字的勘查报告和几十个G的现场全方位环境照片和多媒体材料,制作了各探空站的PPT等多媒体材料。在勘查中,高空检查员与台站技术人员共同研发的统计分析台站雷达环境挡角,与高空探测仪器设备历史沿革最低探测仰角数据镶嵌的双曲线软件工具,在项目建设前对台站探测系统源数据进行分析评估,使选址工作不仅有定性的选择,而且有了定量的评估,使建站勘查工作更具科学性,开中国气象局高空气象探测系统建站源数据勘查之先河。

监测网络司根据勘查情况,组织站址审定会议,对检查员实地勘查技术报告逐一进行分析研究,对照L波段高空气象探测系统环境要求,严格审查,首先对候建站分为“很好,完全满足条件”、“基本可以,需要改造”和“不能建设”三类环境,从中选定建设站点。经过严格的遴选,所有站点没有出现环境不符合要求问题,为L波段高空气象探测系统稳定可靠运行打下良好基础。

2.5 人员培训

L波段高空气象探测系统自动化程度和探测精度高,性能稳定。

项目实施后,对台站探测、机务、审核、管理、维护维修人员的业务技术素质提出更高要求,为发挥系统优势,人员培训是关键一环。在人员培训方面主要做了如下工作。

(1) 编写培训教材。教材编写是与中国气象局组织制定的L波段高空气象探测系

统业务规范和技术文件编写配合进行的。前期组织制订了电子探空仪高空压温湿探测的《常规高空气象观测业务规范》，以其作为业务技术文件和培训教材编写的依据。随后陆续编写了《L 波段高空气象探测业务手册》、《L 波段高空气象探测建设指南》、《L 波段高空气象探测系统常见技术问题综合解答》及《L 波段高空气象探测设备维护维修手册》和《L 波段高空气象探测设备验收方法》等技术手册和文件，这些都是培训教材的核心内容。

为全方位开展 L 波段高空探测系统培训，2006 年中国气象局组织气象探测中心、浙江省气象局、杭州市气象局编制了《高空气象探测业务培训》多媒体课件，课件涵盖了高空气象探测流程的各个环节，生动形象地刻画了高空气象探测业务中正确操作方法和步骤，立体地规范了我国高空气象探测业务，课件配发各站，普及了业务技术培训。

(2) 前期技术骨干培养，后期技术骨干提高。前文已提到了试验考核期间大气探测试验基地技术骨干的破土而出，在试验期间中国气象局调集一些有 C 波段测风 701C 探测经验第一线的台站业务骨干进入探测基地参与考核，加强试验力量，同时这些技术骨干得到培养提高，成为 L 波段高空探测系统台站建设时的技术中坚。全国高空业务检查员在系统试验考核和建站期间参与大部分工作，在《常规高空气象观测业务规范》编写后期，又参与修改审查，使这些骨干在实践中得到培养提高。全国各级高空气象探测业务技术管理人员培训是在系统建设前期进行的，通过培训的业务管理人员形成了分散在全国各地的 L 波段高空探测系统建设骨干网。L 波段高空探测系统随机维护培训，系统建设台站 2 名、省局 1 名机务人员参加，解决系统有人维护的问题。在系统建设中后期，中国气象局已开始系统维护骨干的技术提高工作，在工厂请系统设计、生产、检测人员深层次地讲解系统技术原理核心、故障排除思路、设备维护要点等实用内容，系统再在边建设边运行的环境中基本稳定运行，技术骨干人员发挥了重要作用。

(3) 系统地开展技术培训。2002 年至 2008 年期间，中国气象局气象探测中心在北京南郊观象台和长沙探空站先后共举办了 10 期 L 波段高空气象探测系统业务培训班，对每个 L 波段探空系统台站技术人员和省局业务管理进行全面培训，人员共 248 人次。与此同时，为了提高机务维修能力，探测中心、上海物管处和厂家还举办了 9 期雷达维修维护机务员技术培训班，培训 L 波段高空气象探测系统维护维修人员共 250 人次。经过多方位培训，每个基层台站至少有 4 人直接参加了中国气象局组织的业务、机务培训。通过培训，使管理、业务、维护人员掌握探测设备、仪器和配套设备的性能、相应软件、操作维护方法、特殊情况和故障的判断和处置方法，熟知探测方法、技术规定和规范。各省（区、市）气象局也分别举办相应的业务人员培训，确保所有探测人员经过考试，获得合格证书后上岗。

(4) 加强交流，总结经验。2006 年 1 月，在 L 波段高空探测系统建设的关键时刻，中国气象局组织召开了《L 波段高空气象探测系统项目建设交流会》，对前期 L 波段高空气象探测系统的建设进行了认真总结，全国高空气象探测业务管理人员、探测人员、资料应用人员交流文章百余篇，内容包括 L 波段高空气象探测系统建站经验、资料分析及系统软、硬件使用心得等。通过 L 波段高空气象探测系统项目的建设，培养了一批素质较高的业务和科研人才，高空气象探测人员的操作水平和业务技能也得到很大提

升,各种技术文章在各级学术刊物上发表。

中国气象局气象探测中心在认真分析 L 波段高空气象探测系统的业务需求的基础上,建立了中国气象局首个单一业务的技术支持网站,为各 L 波段高空气象探测系统站在台站建设和业务运行方面提供技术支持,同时提供了一个全国 L 波段高空探测站的交流平台,据不完全统计,该网站自建成以来,解决全国各地 L 波段高空气象探测系统业务人员提出的问题约 400 余条,内容涵盖了 L 波段高空气象探测系统从气球施放、记录采集、记录整理、仪器设备维护维修、记录审核等方面的内容,对台站业务质量的提高起到了良好的促进作用。

2.6 安装调试

L 波段高空探测系统设备通过出厂验收后,由上海物管处组织南京大桥机器厂技术人员和省(区、市)气象局相关部门业务人员到各站进行安装调试。系统安装调试一般在 3~5 天内完成,在建站期间,主要进行以下工作:A、开箱检查;B、对天线及室内部分进行了安装架设;C、雷达通电检查;D、雷达标定(包括备板),标定内容包括:(1)天线水平调整;(2)角度的粗精搭配检查;(3)仰角、方位及距离零点标定;(4)光轴、几何轴、电轴的三轴一致性标校。(5)放球试验:至少施放探空仪 4 次,与 701 雷达及光学经纬仪对比,要求系统各项功能正常,能稳定跟踪到球炸,对比情况良好,满足精度要求。E、工厂技术人员仪器设备原理、安装、维护、标定、维修现场培训,台站业务人员全部参加。组织现场安装调试验收后交付台站使用。雷达现场安装验收组织如下:

(1) 雷达安装验收由中国气象局实施部门(上海物资管理处)与省(区)业务、装备和建设单位等组成验收组;

(2) 上海物资管理处和省(区)装备中心、台站机务等相关人员组成验收测试组;

(3) 由雷达建设单位提供雷达建设情况报告,系统测试组提供 L 波段雷达安装调试报告,由验收组出具 L 波段雷达系统验收意见报告,最终形成 L 波段雷达安装验收意见。

安装验收的重点是考核设备稳定性、标定雷达和人员培训。

2.7 业务验收

台站 L 波段高空气象探测系统通过安装验收后,按照中国气象局规定进行一个月 L 波段高空气象探测系统与 59-701 高空气象探测系统对比观测,要求取得完整的对比记录。对比观测的主要目的有:

(1) 在业务运行环境中考核系统性能,培训业务人员。

(2) 检验系统探测精度和质量。L 波段高空气象探测系统精度,在定型前的考核中已有了结论,但只有在业务运行中达到精度设计要求,才能充分发挥新系统的效益。

(3) 汇集 L 波段高空气象探测系统与 59-701 高空气象探测系统对比资料,通过大

量定型前考核和系统安装后的对比（几千份）资料分析，一方面力争定性定量地得出新旧系统探测资料的相关性，更好地为天气预报服务。另一方面力争减小仪器设备换型对气候统计的影响，即使不能排除也要给出一个数学支点，以使影响降到最低。在后面的系统评估中在这方面虽然给出了一些结论，但还有大量的工作要做，多侧面地得出科学结论。

L 波段高空气象探测系统业务试运行 3 个月后，由中国气象局组织进行业务验收，主要对 L 波段高空气象探测系统的建设、运行情况以及资料分析、经费使用情况等进行审查，通过业务验收，保证 L 波段高空气象探测系统满足业务规范和技术规定的要求，正式投入业务运行。

第3章 研制过程及技术指标

3.1 研制过程

L波段二次测风雷达—电子探空仪系统招标合同签订生效后,南京大桥机器厂随即下达了“L波段二次测风雷达”新产品研制任务书;任命了产品负责人和电讯、结构、工艺主持设计师以及可靠性、标准化主管师,组成了L波段二次测风雷达产品研制组,具体负责L波段二次测风雷达的研制,并成立了以厂长为组长、产品负责人和厂内各职能部门领导为组员的L波段二次测风雷达研制领导小组,负责研制过程的指挥与协调。

1997年底,研制组拟制了L波段二次测风雷达实施方案,并就天线结构造型等问题进行了厂内评审。1998年初,工厂邀请厂内、外专家对L波段二次测风雷达总体及分系统方案进行了会议评审,评审意见认为:“(1)方案采用了L波段比相假单脉冲全自动二次测风雷达的技术体制,提高了测角精度,在一定程度上弥补了无线电经纬仪低仰角、远距离探测误差大的缺陷。采用模块化、智能化设计,使雷达的操作、数据处理及状态检测做到自动化;数据处理软件的编制以中国气象局有关规范为依据,采用菜单式管理,配以中文提示,界面新颖友好,操作简便;与国内最新型的高密度数据率数字式电子探空仪配套工作,可提高探测精度及实时性;雷达也可在不开发射机的情况下与探空仪配合完成探测任务。(2)雷达备有在线式UPS,可在断电情况下工作约20 min,使系统可在突然断电情况下仍然完成探测任务。”评审委员会议认为“该雷达方案总体技术先进、设计合理,在可靠性、维修性、环境适应性方面有周到的考虑,能够满足高空气象探测的需要,一致同意该方案通过评审。”

雷达方案经过评审后,产品负责人拟定了雷达设计统一性规定和可靠性保证大纲,各分系统随即展开电路搭试与试验,结构设计师完成结构件设计出图,在雷达样机零部件制造、分系统装配及调试和整机联调过程中,暴露了一些问题,经过多项关键技术攻关,解决了存在的问题。与此同时,完成了终端软件的编制与调试。雷达研制样机于1998年9月完成。大桥厂编制了雷达鉴定试验大纲,并据此进行了雷达技术性能摸底测试。1998年10月,根据中国气象局监测网络司提出的“雷达样机静态性能测试方案(暂定)”和“系统考核试验预案”,由厂内、外专家在大桥厂内对雷达研制样机进行了静态性能指标核查和测试,在静态指标测试合格的前提下,雷达样机准予出厂,参加后一轮试验。根据中国气象局监测网络司1998年11月提出的“系统动态性能测试技术方案”和领导机关的安排,同年12月在中国气象局大气探测试验基地进行了第一期系统