

附件 4

团体标准封面格式

ICS 编号
CCS 编号

团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

替代 T/CHES XXX—XXXX

雨量雷达监测系统技术导则

Technical guidelines for rainfall radar monitoring system

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 录

1 前言	5
1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义、符号、代号、缩略语	5
3.1 术语和定义	5
3.1.1 雨量雷达 Rainfall Radar	5
3.1.2 激光雨滴谱仪 Laser Optical Disdrometer	6
3.1.3 面雨量 Area Rainfall	6
3.1.4 遥测终端机 Remote Terminal Unit	6
3.1.5 通信终端 Data Terminal Unit	6
3.2 符号、代号和缩略语	6
4 系统设计	6
4.1 系统组成	6
4.2 系统功能及技术指标	7
4.2.1 系统功能	7
4.2.2 系统技术指标	7
4.3 雨量雷达站设计	8
4.3.1 雨量雷达站组成	8
4.3.2 功能	8
4.3.2 技术指标	9
4.3.3 结构要求	12
4.3.5 可靠性	12
4.3.6 维护性	12
4.3.7 环境适应性	12
4.4 雨滴谱监测站设计	12
4.4.1 雨滴谱监测站组成	12
4.4.1 功能	12
4.4.2 技术指标	13
4.4.3 结构要求	14
4.5 中心站设计	14
4.5.1 中心站组成	14
4.5.2 功能要求	14
4.5.3 应用系统运行环境	14
4.5.4 应用软件	15
4.6 通信设计	15
4.6.1 通信组网	15
4.6.2 编码格式	15
4.7 防雷接地设计	15
4.8 供电设计	15
6 系统建设	15
6.1 雨量雷达站选址	15
6.1.1 单站选址	15
6.1.2 组网选址	16
6.2 雨量雷达设备出厂检测	16

6.2.1 主要技术指标测试	16
6.2.2 测试规则	16
6.3 雨量雷达站基础设施	16
6.4 雨量雷达站安装调试	17
6.4.1 环境确认	17
6.4.2 设备安装	17
6.4.3 设备调试	17
6.5 雨滴谱监测站选址	17
6.6 雨滴谱监测站安装调试	18
7 系统验收	18
7.1 验收内容	18
7.2 雨量数据合理性评估	18
8 系统运行维护	18
8.1 雨量雷达站运行维护	18
8.2 雨滴谱监测站运行维护	18
8.3 中心站运行维护	19
附录 A：雨量雷达数据格式	20
附录 A.0 雨量雷达数据文件说明	20
附录 A.1 水平探测数据文件	21
附录 A.2 垂直探测数据文件	21
附录 A.3 垂直强度廓线探测数据文件	22
附录 A.4 雨强探测数据文件	22
附录 A.5 雨强产品数据文件	22
附录 B：雨滴谱监测数据格式	23
附录 B.1 雨滴谱数据通信规约	23
附录 B.2 雨滴谱数据文件	24
附录 C：数据库表结构	25
附录 C.1 区域雨量产品数据库表	25
附录 C.2 雨滴谱数据库表	25
附录 C.3 雨量雷达站信息表	28
附录 C.4 雨滴谱仪站信息表	28
附录 C.5 雨量雷达站与雨滴谱仪关系表	29
附录 D：站码编码规则	29
附录 D.1 雨量雷达站码	29
附录 D.2 雨滴谱监测站码	29
附录 E：雨量雷达检测方法	29
附录 E.1：雷达体制检测方法	29
附录 E.2：工作频率检测方法	29
附录 E.3：输出参数检测方法	29
附录 E.4：探测距离检测方法	29
附录 E.5：分辨率检测方法	29
附录 E.6：测量精度（均方差）检测方法	30
附录 E.7：参数测量范围检测方法	30
附录 E.8：参数测量精度（均方差）检测方法	30
附录 E.9：36km 处可探测的最小反射率因子（参考值）检测方法	31
附录 E.10：地物杂波抑制检测方法	31

附录 E.11: 电源要求检测方法	31
附录 E.12: 整机功耗检测方法	31
附录 E.13: 重量检测方法	31
附录 E.14: 环境要求检测方法	31
附录 E.15: 平均无故障时间 (MTBF) 检测方法	32
附录 E.16: 平均故障修复时间 (MTTR) 检测方法	32
附录 E.17: 工作模式检测方法	32
附录 E.18: 开机时间检测方法	32
附录 E.19: 微波辐射安全性检测方法	32
附录 E.20: 互换性检测方法	33
附录 E.21: 环境噪声要求检测方法	33
附录 E.22: 近距离盲区检测方法	33
附录 E.23: 天线形式检测方法	33
附录 E.24: 极化方式检测方法	33
附录 E.25: 天线直径检测方法	33
附录 E.26: 天线罩检测方法	33
附录 E.27: 抗风能力 (阵风) 检测方法	33
附录 E.28: 波束宽度检测方法	34
附录 E.29: 天线增益检测方法	34
附录 E.30: 主瓣和副瓣检测方法	34
附录 E.31: 馈线损耗 (双程) 检测方法	34
附录 E.32: 驻波比检测方法	34
附录 E.33: 天线扫描方式检测方法	34
附录 E.34: 天线扫描范围检测方法	34
附录 E.35: 天线扫描速度检测方法	34
附录 E.36: 天线控制方式检测方法	35
附录 E.37: 天线定位精度检测方法	35
附录 E.38: 天线控制精度检测方法	35
附录 E.39: 天线标定装置和方法检测方法	35
附录 E.40: 安全与保护检测方法	35
附录 E.41: 发射机形式检测方法	35
附录 E.42: 脉冲峰值功率检测方法	35
附录 E.43: 谐波和杂散抑制检测方法	36
附录 E.44: 发射脉冲宽度检测方法	36
附录 E.45: 脉冲重复频率检测方法	36
附录 E.46: 发射输出改善因子检测方法	36
附录 E.47: 相位噪声恶化检测方法	36
附录 E.48: 总电源效率检测方法	36
附录 E.49: 最大工作比检测方法	37
附录 E.50: 故障检测和保护检测方法	37
附录 E.51: 通风散热检测方法	37
附录 E.52: 噪声系数检测方法	37
附录 E.53: 线性动态范围检测方法	37
附录 E.54: 最小可测功率检测方法	37
附录 E.55: 镜频抑制度检测方法	37
附录 E.56: 中频输出杂散检测方法	38
附录 E.57: 脉冲压缩后子码宽度检测方法	38
附录 E.58: 脉冲压缩主副瓣比检测方法	38
附录 E.59: 距离库长度检测方法	38

附录 E.60: 距离库数检测方法38

附录 E.61: 速度处理方式检测方法38

附录 E.62: 处理对数检测方法38

附录 E.63: 速度退模糊方法检测方法38

附录 E.64: 故障检测和保护检测方法38

附录 E.65: 数据采集检测方法39

附录 E.66: 数据显示检测方法39

附录 E.67: 状态显示检测方法39

附录 E.68: 控制功能检测方法39

附录 E.69: 数据存储检测方法39

附录 E.70: 雨量雷达整体性能测试记录表 39

附录 E.71: 雨量雷达可靠性测试记录表42

雨量雷达监测系统技术导则

0 前言

本导则主编单位：亿水泰科（北京）信息技术有限公司

本导则参编单位：四创电子股份有限公司

西安华腾微波有限责任公司

中船重工集团南京鹏力科技集团有限公司

江西省水文局

广西壮族自治区水文中心

本导则主要起草人：巩怀永、王凯、蒙航平、邵世卿、陆小虎、刘庆涛、杨静波、吴学侃、***、***、***、谢彪、刘铁林、黄晓明、张麓瑀、高唯清、关保多

1 范围

本技术导则适用于雨量雷达监测系统设计、建设和应用；

本技术导则规定了 X 波段多普勒雨量雷达、雨滴谱仪等设备技术指标；

本技术导则规定了雨量雷达监测系统监测降水量技术要求；

本技术导则适用于区域暴雨监测预警、面降水量监测等应用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本导则的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅所注日期的版本适用于本导则。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本（包括所有的修改单）适用于本导则。

GB/T 12649-2017 气象雷达参数测试方法

GB/T 14555-2015 船用导航雷达接口及安装要求

GB 31223-2014 气象探测环境保护规范 天气雷达站

GB/T 12648-1990 天气雷达通用技术条件

QX/T 100-2009 新一代天气雷达选址规定

QX/T 2-2016 新一代天气雷达站防雷技术规范

GB 50057-2010 《建筑物防雷设计规范》

GB 50343-2012 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》

SL21-2015 《降水量观测规范》

SL61-2015 《水文自动测报系统技术规范》

GJB74A-98 《军用地面雷达通用规范》

《降水现象仪观测规范(试行)》

3 术语和定义、符号、代号、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T34147、GB/T34149 和 T/CHES20 界定的以及下列术语和定义适用于本导则。为了便于使用, 以下重复列出了 GB/T34147、GB/T34149、T/CHES20 中的某些术语和定义。

3.1.1 雨量雷达 Rainfall Radar

一种实现面雨量监测的 X 波段多普勒雷达

3.1.2 激光雨滴谱仪 Laser Optical Disdrometer

一种以激光技术为基础的全类型降水测量仪器

3.1.3 面雨量 Area Rainfall

某个区域内的平均降雨量

3.1.4 遥测终端机 Remote Terminal Unit

一种集采集、存储、通信等功能于一体的自动测报设备

3.1.5 通信终端 Data Terminal Unit

一种数据通信终端设备

3.2 符号、代号和缩略语

GB/T 19677-2005、GB/T 50095-1998、SL26-2012 等标准界定的以及表 1 中符号、代号和缩略语适用于本导则。

表 1 符号、代号和缩略语

序号	符号、代号和缩略语	内容
1	RTU	一种集采集、存储、通信等功能于一体的自动测报设备
2	DTU	一种数据通信终端设备
3	MTBF	平均无故障时间
4	GPRS	General Packet Radio Service, 中文名称为通用无线分组业务, 是一种基于 GSM 系统的无线分组交换技术
5	CDMA	Code Division Multiple Access, 码分多址是指以不同的伪随机码来区别基站, 各基站使用同一频率并在同一时间进行信息传输的技术。
6	UPS	不间断电源

4 系统设计

雨量雷达监测系统是由雨量雷达、激光雨滴谱仪及计算机等设备组成的高分辨区域面雨量实时监测应用系统, 系统设计应遵循技术实用、高性价比、低维护成本的原则, 设计内容包括并不限于系统组成、系统功能及技术指标、雨量雷达站设计、雨滴谱监测站设计、中心站设计、通信设计、防雷接地设计、供电设计、设备选型、系统建设实施及系统运行维护。

4.1 系统组成

基本雨量雷达监测系统由信息采集、信息通信、信息处理、信息应用和系统管理五部分组成。

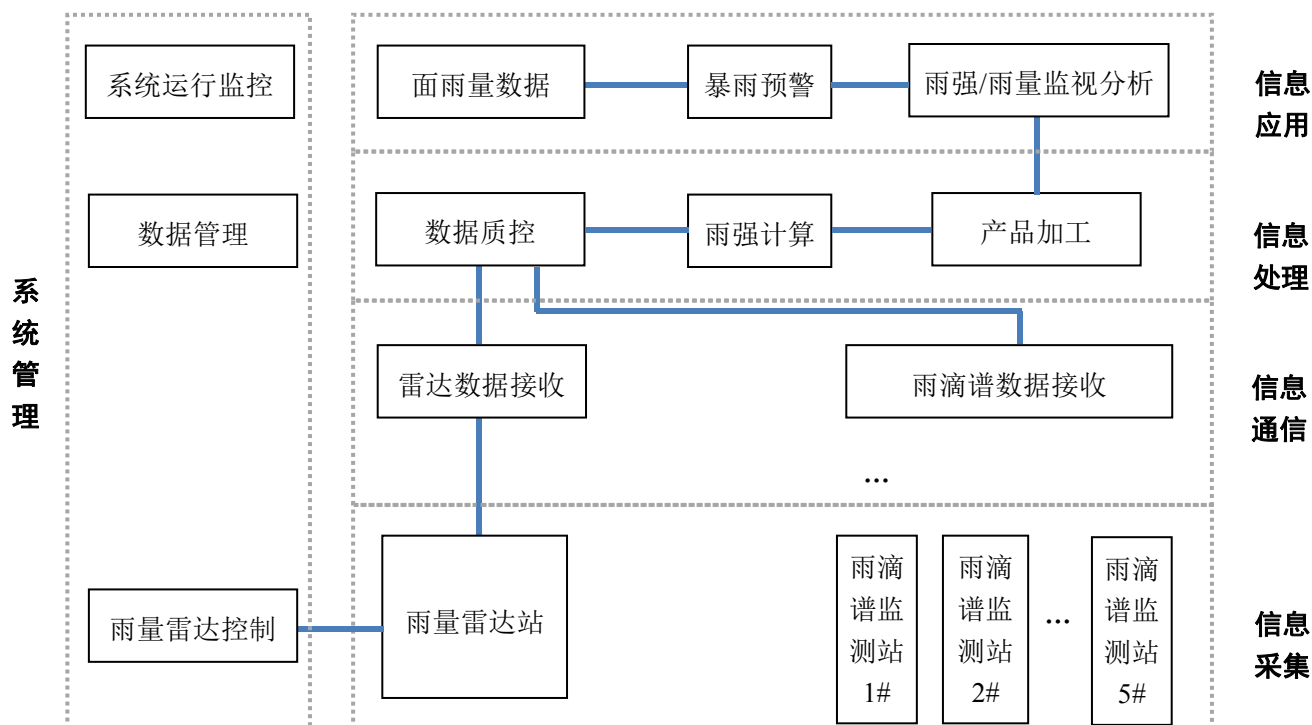
信息采集单元包括雨量雷达站和雨滴谱监测站;

信息通信单元包括雨量雷达站宽带网络、雨滴谱站移动通信网络、中心站局域网络、雷达数据接收和雨滴谱数据接收;

信息处理单元包括雨量雷达探测数据质控、雨强计算和产品加工;

信息应用单元包括雨强/雨量监视分析和暴雨预警;

系统管理单元包括雨量雷达控制、数据管理和系统运行监控。



一般由 1 部雨量雷达、5 个雨滴谱监测站、1 个数据处理模型及计算机系统、通信网络等辅助设备组成面雨量监测基本单元，多个面雨量监测基本单元可实现组网监测。

4.2 系统功能及技术指标

4.2.1 系统功能

雨量雷达监测系统应具有以下基本功能：

- (1) 实时监测一定区域内的格点面雨量；
- (2) 能利用雨滴谱数据对雷达探测数据进行雨量标校；
- (3) 可输出雨量雷达探测区域内任意时段、任意区域的累计面雨量；
- (4) 面雨量成果宜具有表格、面图、文件等输出形式；
- (5) 能实现多部雷达站组网监测，并具有雷达拼图功能；
- (6) 雨量雷达站、雨滴谱监测站和计算机系统等设备应具备时钟同步功能；
- (7) 系统应具有良好的状态监控及故障分析能力，发生故障时能自动告警；
- (8) 系统宜具有开放的数据共享接口。

4.2.2 系统技术指标

4.2.2.1 基本指标

- (1) 实时性：完成一次探测后，系统应在 4 分钟内完成数据的上传、处理和面雨量产品展示；
- (2) 畅通率：系统通信畅通率应不低于 95%；
- (3) 时钟误差：≤10s。

4.2.2.2 探测范围和精度

- (1) 探测范围：半径 36km；
- (2) 空间分辨率：60m×60m；
- (3) 时间分辨率：5 分钟；
- (4) 雨强分辨率：0.01mm/h。

4.3.2.3 可靠性

系统应具有良好的可靠性，系统平均无故障时间 MTBF≥1000h。

4.3.2.4 可维护性

系统应具有良好的可维护性和较低的维护成本。

4.3 雨量雷达站设计

4.3.1 雨量雷达站组成

雨量雷达站包括基础设施、雨量雷达、控制终端、稳压电源、UPS、避雷设备、宽带网络等组成。雨量雷达可架设于屋顶或铁塔等基础设施，采用铁塔架设雨量雷达的，应单独建设设备房。现场应具备 220V 交流供电和互联网条件。

4.3.2 功能设计

雨量雷达站应具备以下功能：

- (1) 综合建设要求、系统性能、系统造价及运维成本等因素，宜选用全固态雨量雷达；
- (2) 具有探测、待机和巡检三种工作模式，能够通过远程手动或自动控制三种工作模式的切换；
- (3) 探测工作模式下，雨量雷达每 5 分钟进行水平探测和垂直探测；
- (4) 待机模式下，雨量雷达处于休眠状态，但能随时接收中心控制指令，并按指令进入工作模式；
- (5) 巡检模式下，按设定间隔定时探测，根据探测到的最大回波强度来确定是进入待机模式，还是进入探测模式；
- (6) 探测产品应包括雨强、回波强度、速度、无抑制回波强度、谱宽、水平探测、垂直探测、垂直强度廓线探测和雨滴谱监测数据，探测产品数据格式见“附录 A 雨量雷达数据格式”；
- (7) 雨量雷达应具有动态地物抑制、地形匹配扫描功能，可根据设定的遮蔽角，自动控制雨量雷达天线在不同方位上以最低仰角进行扫描；
- (8) 应具有实时动态衰减订正、定性识别冰雹及云雨区分功能；
- (9) 应有实时降水谱分析、雨量雷达补盲等算法模型；
- (10) 应能实时输出雨量雷达运行状态、设备工作状态，故障时能自动告警；
- (11) 宜使用在线标定方法对雷达噪声功率进行有效估算；
- (12) 雨量雷达结构宜具备小型化、灵活性等特点，可快速完成架设和拆收；
- (13) 应有雷达参数自检和故障自动报警功能，应有故障检测接口，便于故障维修及日常维护；
- (14) 应能调整工作频点。

4.3.3 技术指标

4.3.3.1 探测指标

- (1) 探测半径：36km；
- (2) 探测库长：60m；
- (3) 探测间隔：5 分钟；
- (4) 单次探测时长：不小于 4 分钟。

4.3.3.2 雨量雷达技术指标

雨量雷达设备应满足以下技术指标：

序号	指标项	技术规格
1	总技术指标	
1.1	雷达体制	全固态、全相参多普勒、脉冲压缩
1.2	工作频率	X 波段，9.3~9.5GHz 范围内可选
1.3	输出参数	Z（反射率）、V（径向速度）、W（速度谱宽）
1.4	探测距离	≥36km
1.5	分辨率	距离：≤60m，角度：≤1.3°
1.6	测量精度（均方差）	距离：30m，角度：≤0.2°
1.7	参数测量范围	强度：-10~+80dBz，速度：±32m/s，谱宽：0~16m/s
1.8	参数测量精度（均方差）	强度：≤1dB，速度：≤1m/s，谱宽：≤1m/s
1.9	36km 处可探测的最小反射率因子（参考值）	≤3dBz
1.10	地物杂波抑制	≥40dB
1.11	电源要求	单相，AC220V±10%，50Hz±5%
1.12	整机功耗	≤3kW
1.13	重量（标准配置，参考值）	≤230kg（包括三脚架）分解后每部分≤30kg
1.14	环境要求	室外设备工作环境：-20~50℃，≤95%RH（+50℃） 室内设备工作环境：0~50℃，≤95%RH（+50℃） 工作高度：海拔高度≤5000m 其他：防水、防潮、防盐雾
1.15	平均无故障时间（MTBF）	≥1000h
1.16	平均故障修复时间（MTTR）	≤0.5h
1.17	工作模式	24 小时连续运行
1.18	开机时间	≤5min
1.19	微波辐射安全性	雷达微波漏能功率密度应符合 GJB7-84 的要求
1.20	互换性	雷达备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换，无需调整而正常工作
1.21	环境噪声要求	雷达架设现场和终端操作室均不大于 65dB
1.22	近距离盲区	≤60m
2	天线和馈线	
2.1	天线形式	圆形旋转抛物面反射体天线，喇叭中心馈电
2.2	极化方式	线性水平极化
2.3	天线直径	≥1.8m
2.4	天线罩	直径≥2.8m，双程损耗≤0.6dB 具有良好的防水、防潮、防腐蚀能力，具有良好的通风和照明

序号	指标项	技术规格
2.5	抗风能力（阵风）	10 级风正常工作，12 级风不损坏
2.6	波束宽度	$\leq 1.3^{\circ}$
2.7	天线增益	$\geq 40\text{dB}$
2.8	主瓣和副瓣	主瓣和副瓣要求对称，副瓣电平 $\leq -27\text{dB}$
2.9	馈线损耗（双程）	$\leq 3.0\text{dB}$
2.10	驻波比	≤ 1.3
3	伺服系统	
3.1	天线扫描方式	地形匹配扫描、定点探测
3.2	天线扫描范围	方位： $0\sim 360^{\circ}$ （连续扫描），俯仰： $-2\sim +90^{\circ}$ （定点探测）
3.3	天线扫描速度	方位： $0\sim 6\text{ rpm}$ ，误差不大于 5% 俯仰： $0\sim 3\text{ rpm}$ ，误差不大于 5%
3.4	天线控制方式	预设全自动、人工干预自动、手动控制
3.5	天线定位精度	方位： $\leq 0.2^{\circ}$ 俯仰： $\leq 0.2^{\circ}$
3.6	天线控制精度	方位： $\leq 0.1^{\circ}$ 俯仰： $\leq 0.1^{\circ}$
3.7	天线标定装置和方法	双 GPS 或北斗校准方法
3.8	安全与保护	天线方位、俯仰控制应有保护电路，在俯仰角最低和最高处应有机械限位安全开关，在方位和俯仰角上均应有机械锁定机构。
4	发射机	
4.1	发射机形式	全固态
4.2	脉冲峰值功率	$\geq 200\text{W}$
4.3	谐波和杂散抑制	$\geq 40\text{dB}$
4.4	发射脉冲宽度	$0.4\sim 40\mu\text{s}$
4.5	脉冲重复频率	$400\sim 2000\text{Hz}$
4.6	发射输出改善因子	$\geq 52\text{dB}$
4.7	相位噪声恶化	$\leq 1\text{dB}$
4.8	总电源效率	$\geq 15\%$
4.9	最大工作比	$\geq 10\%$
4.10	故障检测和保护	发生过占空比、过脉宽、过压/流、过温等情况时应报警并能实现自保；输出功率低时应输出报警信号。
4.11	通风散热	应有可靠的通风散热措施
5	接收机	
5.1	噪声系数	$\leq 3\text{dB}$
5.2	线性动态范围	$\geq 85\text{dB}$
5.3	最小可测功率	$\leq -105\text{dBm}$
5.4	镜频抑制度	$\geq 60\text{dB}$ ，对于可现场设置工作频率的系统 $\geq 40\text{dB}$
5.5	中频输出杂散	$\leq -60\text{dBc}$

序号	指标项	技术规格
6	信号处理	
6.1	发射脉冲宽度	0.4~200 μ s
6.2	脉冲压缩后子码宽度	$\leq 0.4 \mu$ s
6.3	脉冲压缩主副瓣比	≥ 40 dB （脉压比 ≥ 100 ）； ≥ 35 dB （脉压比 < 100 ）
6.4	距离库长度	≤ 60 m
6.5	距离库数	≥ 600
6.6	速度处理方式	FFT/PPP 处理
6.7	处理对数	16、32、64、128、256 可选
6.8	速度退模糊方法	双 PRF 或其它等效方法
6.9	故障检测和保护	IQ 数据、数据丢包、参数输出等故障
7	控制终端	
7.1	数据采集	应以极坐标形式实时采集信号处理分系统输出的原始数据，按统一数据格式保存
7.2	数据显示	强度、速度、谱宽
7.3	状态显示	全机工作状态、工作参数、标定结果
7.4	控制功能	应具备天线控制、发射机开关机控制功能 应具备按设定方位角和仰角进行自动扫描的功能
7.5	管理功能	应具备雷达标定、校准、故障报警、主要分系统参数设置及台站信息配置功能
7.6	数据存储	应能存储不少于 10 天的探测数据

4.3.3.3 配套设备技术指标

4.3.3.3.1 稳压电源

稳压电源应满足以下要求：

- （1）输入电压：AC160~260V；
- （2）输出电压：AC220V $\pm 3\%$ ；
- （3）输入频率：50Hz。

4.3.3.3.2 不间断电源 UPS

UPS 应满足以下要求：

- （1）在线式 UPS；
- （2）交流断电后雨量雷达站可正常工作 6 小时以上；
- （3）输出电压：AC220V $\pm 1\%$ ；
- （4）蓄电池：密闭式铅酸免维护蓄电池。

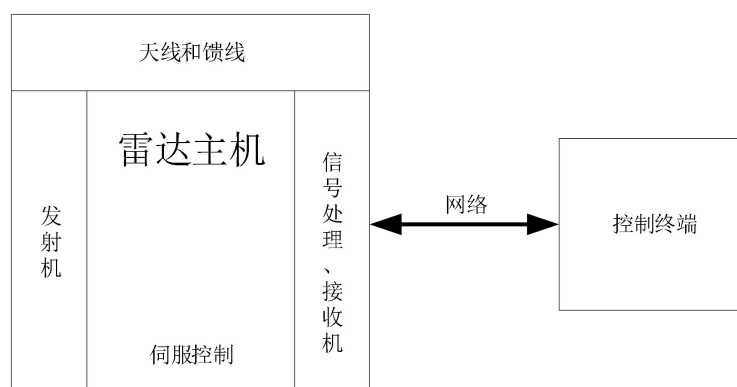
4.3.3.3.3 避雷设备

避雷设备应满足以下要求：

- （1）标称放电电流： ≥ 60 KA（8/20 μ s）；
- （2）额定电压 U_n ：230V
- （3）最大持续工作电压 U_c ：255V
- （4）响应时间： ≤ 100 ns

4.3.4 结构要求

雨量雷达包括雷达主机和控制终端两大部分，雷达主机宜采取一体化结构设计，发射机、接收机、功放、信号处理器、伺服系统及天馈分别以独立模块形式组装为一体，上述设备内置于天线罩内。控制终端与雷达主机用光纤连接，可安装于环控机柜、工作机房或方舱内。具体结构如下图所示：



4.3.5 可靠性

应满足无人值守、长期运行、户外工作的要求，应具有良好的稳定性和可靠性。雨量雷达站平均无故障时间 MTBF ≥ 1000 h，整机及零部件寿命不低于 3 年。

4.3.6 维护性

雨量雷达站设备应具有良好的可维护性和较低的日常维护成本，雷达系统的各模块、组件装配宜采用插拔式结构，设置必要的工作状态指示，便于快速现场维护和故障修复。通过配套应用软件能对雨量雷达站快速进行远程维护，平均故障修复时间 MTTR ≤ 0.5 h。

4.3.7 环境适应性

雨量雷达站应能适应户外高温高湿、严寒、高海拔等各种应用环境，具体要求如下：

- (1) 室外设备工作温度： $-20\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- (2) 室内设备工作温度： $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- (3) 相对湿度： $\leq 95\%$ ；
- (4) 工作海拔： $\leq 5000\text{m}$ 。

4.4 雨滴谱监测站设计

4.4.1 雨滴谱监测站组成

雨滴谱监测站由激光雨滴谱仪、RTU、DTU、太阳能供电设备、避雷设备等组成。

4.4.2 功能设计

雨滴谱监测站应具备以下功能：

- (1) 对各种降水的强度、速度谱和粒径谱进行连续监测，能按照约定的数据格式远程上报；输出数据帧包含激光器状态、镜头状态等设备信息；
- (2) 雨滴谱监测数据上报及存储格式应符合附录 B 的要求；
- (3) 雨滴谱监测站宜采用太阳能供电方式。采用交流供电方式时应配备交流稳压、避雷设备，并配备良好的接地系统；

- (4) 当通信失败时能自动保存数据，当通信恢复正常时，自动补发存储的所有数据；
- (5) 能够实现系统时钟同步，数据以中心站数据接收微机时钟为准；
- (6) 雨滴谱数据采集完成后应实时上传中心站；
- (7) 支持 GPRS、CDMA、4G、5G、短信、北斗卫星等通信方式；
- (8) 报送方式：有雨 5 分钟发送一次，无雨 1 小时发送一次；
- (9) 雨滴谱仪观测窗口应具备自动加热消雾功能，除雾完毕自动停止加热。

4.4.3 技术指标

4.4.3.1 雨滴谱监测站技术指标

雨滴谱监测站应符合以下技术指标：

- (1) 连续阴雨 15 天以上可正常工作；
- (2) 存储补发能力：应能存储补发最近 24 小时每 5 分钟的雨滴谱仪数据；
- (3) 时钟精度：与数据接收微机时间误差小于 10 秒；
- (4) 实时性：雨滴谱数据采集完成后应在 30 秒内上传至中心站；
- (5) 设备工作环境：温度-20~50℃，相对湿度 0~100%RH。

4.4.3.2 雨滴谱仪技术指标

激光雨滴谱仪应满足以下指标要求：

- (1) 光学传感器：激光二极管，峰值输出功率 0.2mW；
- (2) 测量区域： $\geq 54\text{cm}^2$ ；
- (3) 测量量程：液态降水粒子直径大小：0.2~8mm；固态降水粒子直径大小：0.2~25mm；粒子速度：0.2~20m/s；
- (4) 粒子分类：32 粒径等级、32 速度等级；
- (5) 测雨强度：0.001~1200mm/h；
- (6) 雨量精度： $\pm 5\%$ （液态降水）/ $\pm 20\%$ （固态降水）；
- (7) 雷达反射率 Z： $-9.999\sim 99.999\text{dBz}$ ；
- (8) 测量间隔：10 秒~60 分钟；
- (9) 电源供电：10~28VDC，电池保护，软件控制加热装置的开关；
- (10) 功耗： $< 1.5\text{W}$ ；
- (11) 接口：RS485、USB。

4.4.3.3 配套设备

4.4.3.3.1 遥测终端机 RTU

RTU 应满足以下功能指标要求：

- (1) 可定时自动采集雨滴谱数据，最小采集间隔 5min；
- (2) 可通过 4G、5G、短信、北斗等通信方式上传雨滴谱数据；
- (3) 数据上传符合 SL651-2014《水文监测数据通信规约》；
- (4) 具有存储补发功能；
- (5) 具有远程程序升级功能；
- (6) 静态值守电流 $\leq 2\text{mA}$ 。

4.4.3.3.2 通信终端 DTU

DTU 应满足以下功能指标要求：

- (1) 全网通模块；
- (2) 具有工作模式和调试模式，工作模式下可输出中心连接状态，调试模式下可输出 SIM 卡、信号质量及中心连接状态；
- (3) 具备一站多发功能。

4.4.3.3.3 供电设备

供电设备包括太阳能板、蓄电池和充电控制器。供电设备应满足以下要求：

- (1) 可满足雨滴谱监测站连续阴雨天 30 天正常工作、亏空电池连续 7 个晴天可充满的需要；
- (2) 具有蓄电池过充过放保护功能，过放保护电压、过放恢复电压可设定。

4.4.3.3.4 避雷设备

避雷设备包括信号避雷和电源避雷，应满足以下要求：

- (1) 电源避雷：标称工作电压 12V，最大工作电压 18V，标称放电电流 $\geq 5\text{kA}$ ，最大放电电流 $\geq 10\text{kA}$ ，电压保护水平 $\leq 50\text{V}$ ，响应时间 $\leq 25\text{ns}$ ；
- (2) 信号避雷：标称工作电压 12V，最大工作电压 15V，标称放电电流 $\geq 10\text{kA}$ ，最大放电电流 $\geq 20\text{kA}$ ，响应时间 $\leq 1\text{ns}$ 。

4.4.4 结构要求

雨滴谱监测站设备宜采用一体化杆式建设形式，其中 RTU、DTU、蓄电池、避雷器、充电控制器等设备集成在一个箱体内部，太阳能板与雨滴谱仪固定于立杆或箱体上方。

4.5 中心站设计

4.5.1 中心站组成

雨量雷达监测系统中心站数据接收服务器、应用服务器及相关应用软件组成，中心站应配置宽带网络。

4.5.2 功能要求

中心站应具备以下功能：

- (1) 应能接收雨滴谱监测站发送的雨滴谱数据，并进行接收解析，以文本文件、数据库方式保存历史数据；
- (2) 应能通过网络实现雨量雷达探测原始数据及产品数据的数据交换；
- (3) 应能实现不同时段的面雨量产品加工及展示；
- (4) 多部雷达组网时，中心站应具有雷达拼图功能；
- (5) 应具有系统运行状态监控告警功能；
- (6) 应具有标准化的数据接口和数据库结构；
- (7) 宜对雨量雷达站设备房进行动环监控，实现 UPS、空调的远程监视和维护。

4.5.3 应用系统运行环境

雨量雷达应用系统运行环境应满足以下要求：

- (1) 局域网：带宽应不低于 100Mbps；
- (2) 服务器：CPU ≥ 2 颗、每颗 ≥ 4 核、内存 $\geq 64\text{G}$ 内存、4T 硬盘、千兆以太网口；
- (3) 数据处理计算机：CPU ≥ 4 核（2.3GHz）、内存 $\geq 32\text{G}$ 、2T 硬盘、千兆以太网口；
- (4) 应有中文操作系统和数据库系统。

4.5.4 应用软件

4.5.4.1 软件组成

应用软件包括雨滴谱数据接收、数据交换、数据处理、数据展示应用、系统监控等。

4.5.4.2 数据库表结构

为便于数据应用及系统分析，雨强产品及雨滴谱数据宜存入数据库，库表结构应符合“附录 C：数据库表结构”。

4.6 通信设计

4.6.1 通信组网

- (1) 中心站应具有互联网通信能力，并具有公网固定 IP 地址；
- (2) 雨量雷达站应通过宽带互联网与中心站实现通信；
- (3) 雨滴谱监测站可通过 GPRS、CDMA、4G、5G、短信、北斗卫星等方式向中心站发送数据。

4.6.2 编码格式

- (1) 雨量雷达站与中心站宜通过文本文件实现数据交换，文本文件格式应符合“附录 A：雨量雷达数据格式”；
- (2) 雨滴谱监测站与中心站之间的通信规约应符合“附录 B.1 雨滴谱数据通信规约”。

4.7 防雷接地设计

- (1) 雨量雷达站防雷接地设计参照《新一代天气雷达站防雷技术规范》QX/T 2-2016 执行；
- (2) 雨滴谱监测站防雷接地设计参照《水文自动测报系统技术规范》SL61-2015 执行；
- (3) 中心站防雷接地设计参照《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012 执行。

4.8 供电设计

- (1) 雨量雷达站应采用交流供电方式，并配备 UPS 不间断电源。供电系统供电能力不低于 3KVA，交流断电后 UPS 应能保证雨量雷达站正常工作 6 小时以上；
- (2) 雨滴谱监测站宜采用太阳能直流供电方式，连续阴雨 15 天以上应能正常工作。

6 系统建设

6.1 雨量雷达站选址

6.1.1 单站选址

选址方法宜参照 QX/T 100-2009《新一代天气雷达选址规定》，雨量雷达站址应符合以下要求。

- a) 周围环境：雷达四周应平坦开阔、无高大障碍物，在观测的主要方向上 0.5° 仰角以上无主要障碍物，其它方向的遮蔽角一般应不大于 2.0° 度；
- b) 电磁环境：确保观测站的电磁环境，限制同频信号造成的干扰；
- c) 供电环境：具有稳定的交流供电；

d) 通信条件：应便于建设宽带网络通信；

e) 雷达站选址应实测安装地点周边遮挡情况，计算各方向遮蔽角，确认是否需要架高雨量雷达，确认供电、网络、道路、干扰、抗风、抗震、土质等方面的条件，在其它条件相近的情况下，优先考虑基础建设投资少、运行维护经费低的站点，并尽可能考虑基础设施的综合利用；

f) 拟选站址雷达指向避开办公区、居民区等作业及生活位置；

g) 拟选站址应考虑当地的城镇建设规划，避免城镇建设影响到探测环境。一旦初步选定站址，应商请有关规划部门同意和认可；

h) 雨量雷达站选址确定后，应进行站码编码，编码规则应符合“附录 D.1 雨量雷达站码”。

6.1.2 组网选址

组网选址一是要最大化覆盖监测区域，二是弥补雨量雷达探测遮挡区，三是符合单站选址要求。

6.2 雨量雷达设备出厂检测

6.2.1 主要技术指标测试

雨量雷达设备主要技术指标测试分为整体性能测试和可靠性测试两类。

(1) 整体性能测试为一次性测试。

(2) 可靠性测试是在规定的条件下，验证雷达整机连续工作情况下能否满足规定的技术指标。可靠性测试应采用不低于 24h 连续拷机测试，可靠性测试每隔 2 小时记录一次。

6.2.2 测试规则

(1) 雨量雷达设备出厂检测方法参照“附录 E 雨量雷达出厂检测”，并填写相关记录表；

(2) 所有测试项目均符合技术指标和功能要求时，判定为测试合格；

(3) 测试中存在个别项目不符合要求时，应及时整改，并重新组织测试；

可靠性测试期间出现 15 分钟以内能修复的故障，可连续累计计时。故障 15 分钟内不能修复的，待恢复后应重新计时进行 24h 拷机测试。

6.3 雨量雷达站基础设施

雨量雷达站基础设施包括供电、通信网络、安装平台、避雷接地系统等内容，具体要求如下：

(1) 供电：市电供电，AC220V $\pm$ 20%。电源接入必须满足 2 级防雷标准；

(2) 通信网络：应能实现远程数据传输，带宽不低于 10MB。雷达主机与控制终端应采用光纤连接；

(3) 阵地安装平台附近提供不小于 6 m²室内空间，用于放置控制终端、UPS 和配电设备。室内应安装空调，宜配备动环监控系统；

(4) 雨量雷达安装平台整体结构宜采用钢筋混凝土结构，不具备条件的可采用钢架结构。安装平台总承重应不小于 2000Kg，抗风能力应大于 12 级，大风情况下平台基础垂直倾斜角度应小于 1 度；

(5) 雨量雷达阵地应建设避雷接地系统，避雷针应避开雨量雷达的主要观测方向，其与天线罩的水平距离不得小于 3m，其高度应使天线处于 45° 保护角内，避雷针的接地电

阻不得大于 $4\ \Omega$ 。

6.4 雨量雷达站安装调试

6.4.1 环境确认

根据雷达阵地选址标准，确认安装环境应符合以下要求：

- (1) 雨量雷达观测对周边遮挡的要求；
- (2) 无同频电磁干扰；
- (3) 安装平台与控制终端房间的要求；
- (4) 交流供电符合雷达站工作要求；
- (5) 有线网络满足雷达站通信要求；
- (6) 避雷针、接地系统及电源避雷系统满足要求。

6.4.2 设备安装

- (1) 雷达设备安装到位后，应利用合相水平仪对设备进行调水平；
- (2) 雷达主设备安装完成后，安装天线罩，应进行防漏检测；
- (3) 雷达安装完成后对天线进行定北操作和指向校准，应采用双 GPS 或北斗校准方法，保证天线方位角和仰角的指向误差 $\leq 0.1^\circ$ ；
- (4) 应用走线槽等设施进行电源线、网线、地线进行走线及铺设；
- (5) 应对室外设备连接部件做好防锈处理。

6.4.3 设备调试

- (1) 检测电源输入、UPS 电源输出和防雷接地电阻应满足要求；
- (2) 雨量雷达完全通电后，测量雨量雷达接收、信号处理、伺服等正常工作；
- (3) 雨量雷达开启，检查发射机工作状态、频率跟踪状态及发射功率等正常；
- (4) 雨量雷达正常观测时，检查探测数据和运行工况数据文件在规定时间内生成；
- (5) 测试雨量雷达控制终端是否能正常连入中心数据处理服务器，并能远程访问；
- (6) 检查系统所有设备已实现时钟同步；
- (7) 确认雨量雷达地形匹配扫描方位角、仰角与遮蔽角度一致；
- (8) 确认雨量雷达阵地经纬度与数据文件头中的经纬度一致；
- (9) 系统运行状态监控功能测试，确保系统运行状态以文字、声音或短信等方式进行告警；
- (10) 调试雷达探测方式，确保系统满足 3 分钟水平扫描 3 圈、2 分钟垂直扫描的要求；
- (11) 测试雨量雷达具备无回波自动关机（默认 20 分钟内（可配置）无回波自动关机）、远程控制开机、巡检运行模式（雷达平时关机，定时自动开机运行，若有雨则保持开机，若无雨则进入关机状态）等功能；
- (12) 测试雨量雷达根据探测周边雨量站降水实现自动开机；
- (13) 雨量雷达架设完成后，需要连续考机运行 48 小时，应确保 48 小时内雨量雷达数据文件不能缺失，且无故障发生。

6.5 雨滴谱监测站选址

雨量雷达站选址确定后，根据《降水量观测规范》SL21-2015 的要求进行雨滴谱监测站选址。雨滴谱监测站选址同时还应满足以下要求：

(1) 5 个雨滴谱监测站宜分布在雨量雷达站周边四个不同象限区域，其中一个布设在雷达站 60m 范围内，其余 4 个雨滴谱监测站分别部署在距雨量雷达约 5km、8km、12km 和 15km 处，相邻雨滴谱监测站距离不小于 10km；

(2) 雨滴谱监测站安装点应避开雨量雷达探测遮挡区；

(3) 选择通信信号稳定的位置；

(4) 雨滴谱监测站选址应避开干扰光源；

(5) 雨滴谱监测站选址后，应进行站码编码，编码规则应符合“附录 D.2 雨滴谱监测站码”。

6.6 雨滴谱监测站安装调试

雨滴谱监测站设备安装调试至少应满足以下要求：

(1) 激光雨滴谱仪光学采样区距离底座基面 1.5~1.8 米；

(2) 应进行安装调平，确保激光雨滴谱仪采样区域处于同一高度；

(3) 安装完毕后，进行采集功能测试，确保雨滴谱数据采集正常；

(4) 创造条件使雨滴谱仪激光镜头起雾，测试雨滴谱仪自动启动加热功能；

(5) 进行通信功能测试，确保测站能正常将数据发送至中心站；

(6) 确保雨滴谱仪数据接收平台中的雨滴谱仪经纬度与实际位置一致。

7 系统验收

7.1 验收内容

系统验收至少应包含以下内容：

(1) 雨量雷达选址合理性评估

(2) 雨量雷达站基础建设及避雷接地验收

(3) 雨滴谱监测站选址合理性评估

(4) 雨量雷达数据及雨滴谱数据实时性、完整性验收

(5) 雨量数据合理性评估

7.2 雨量数据合理性评估

雨量雷达监测范围有封闭流域系统及把口流量监测站的，优先采用水量平衡法对雨量雷达监测系统进行降雨监测雨量数据合理性评估。

没有封闭流域验证条件的，可利用雨量雷达监测范围内已建雨量监测站网的降雨四要素（暴雨中心、降雨面积、降雨历时、降雨量级）进行合理性评估。

8 系统运行维护

8.1 雨量雷达站运行维护

雨量雷达站日常运行维护至少应包含以下内容：

(1) 定期进行雷达设备保养维护，一般每年 1 次。维修保养内容至少应包括：检查方位角、仰角、系统噪声电平、信号处理参数等；测量发射功率、信号频率、馈线损耗等指标；定北和水平度精度调校；天线控制精度调校；天线罩检查；供电系统检查；避雷接地系统检查；

(2) 根据中心状态提示，对雨量雷达进行必要的远程或现场检修。

8.2 雨滴谱监测站运行维护

雨滴谱监测站日常运行维护至少应包含以下内容：

- (1) 定期对激光雨滴谱仪进行镜头清洗，每年至少 1 次；
- (2) 根据中心状态提示，如有必要，则对激光雨滴谱仪进行镜头清洗或设备维修；
- (3) 定期检测雨滴谱仪速度谱和粒径谱的准确性；
- (4) 定期检查雨滴谱仪周边是否符合降水监测规范对场地的要求。

8.3 中心站运行维护

中心站日常运行维护至少应包含以下内容：

- (1) 雨量雷达工况监控；
- (2) 雨滴谱监测站工况监控；
- (3) 服务器、控制终端监控；
- (4) 网络通信监控；
- (5) 雨滴谱数据实时性及合理性监控；
- (6) 雨量产品实时性及合理性监控；
- (7) 数据处理流程监控。

附录 A 雨量雷达数据格式

附录 A.0 雨量雷达数据文件说明

雨量雷达数据文件包括雨量雷达探测数据文件（水平探测数据文件、垂直探测数据文件、垂直强度廓线探测数据文件、雨强探测数据文件）和雨强产品数据文件，这些文件的内容都是由文件头和相应探测数据两部分组成。文件头包含数据标识、版本号、雷达站址和探测参数等信息，文件头数据长度为 256 个字节，保留字节全部填充 0，按 1 个字节对齐方式存储数据。

(1) 数据标识和版本号信息

1-6 字节：类型：char；数据产品标识(数据文件名后缀)

7 字节：类型：char；数据版本号（除以 10 为真实版本号）

8 字节：类型：char；角码放大系数（范围:1~100）

例：50，角码按 50 倍放大存储

9-10 字节：保留

(2) 雨量雷达站址信息

11-40 字节：类型：char；国家名

41-50 字节：类型：char；行政编码

51-70 字节：类型：char；站名

71-80 字节：类型：char；区站号

81-92 字节：类型：char；雷达型号

93-96 字节：类型：long int；经度（单位：1/10000 度, 东经）

97-100 字节：类型：long int；纬度（单位：1/10000 度, 北纬）

101-104 字节：类型：long int；海拔高度（单位：1/100 米）

(3) 雨量雷达探测参数

105-106 字节：类型：unsigned short；观测开始时间的年

107 字节：类型：unsigned char；观测开始时间的月

108 字节：类型：unsigned char；观测开始时间的日

109 字节：类型：unsigned char；观测开始时间的时

110 字节：类型：unsigned char；观测开始时间的分

111 字节：类型：unsigned char；观测开始时间的秒

112-113 字节：类型：unsigned short；观测结束时间的年

114 字节：类型：unsigned char；观测结束时间的月

115 字节：类型：unsigned char；观测结束时间的日

116 字节：类型：unsigned char；观测结束时间的时

117 字节：类型：unsigned char；观测结束时间的分

118 字节：类型：unsigned char；观测结束时间的秒

119 字节：类型：unsigned char；授时来源

0=计算机时钟，1=GPS，2=其它

120-121 字节：类型：short；LOG（信噪比门限）阈值

（单位：0.01），范围：-2000~2000

122 字节：类型：char；SQI（信号质量指数）阈值（单位：0.01）

范围：0~100

123-124 字节：类型：unsigned short；脉冲积累数

125-126 字节：类型：unsigned short；基准库长（单位：米）

127-128 字节: 类型: unsigned short; 数据库长 (单位: 米)

129-130 字节: 类型: unsigned short; 输出库数

131-132 字节: 类型: unsigned short; 第一重复频率 (赫兹)

133-134 字节: 类型: unsigned short; 第二重复频率 (赫兹)

单重复频率时值为 0

135 字节: 类型: unsigned char; 脉冲宽度 (单位: 0.1 微秒)

136-137 字节: 类型: short; 最大不模糊速度 (单位 0.01 米/秒)

138-141 字节: 类型: float; 雷达常数

142-143 字节: 类型: unsigned short; 计算用到滴谱数量 (0, 1, 2, 3)

144-256 字节: 保留

附录 A.1 水平探测数据文件

(1) 文件名

其中: RRRRRR - 雷达站点号;

PRH - 文件后缀名，为水平探测数据标识。

1-2 字节: 类型: unsigned short;

3-4 字节: 类型: short;

5-N*4+4 字节：类型： unsigned char;

强度存储方式：强度真值*2+64，其中 0 表示无值。

速度存储方式：速度真值/ $V_{\max} * 127 + 128$ ， $V_{\max}$ 为最大不模糊速度，0 表示无值。

无抑制存储方式：与强度存储方式相同。

谱宽存储方式: 谱宽真值/ $V_{\max}$ * 256 得到真实谱宽值, 其中 0 表示无值。

附录 A.2 垂直探测数据文件

(1) 文件名

其中: RRRRRR、YYYYMMddhhmm - 见水平探测数据文件名(2.2节)说明;

PRV - 文件后缀名，为垂直探测数据标识。

(2) 数据存储格式

1-128*100*4 字节: 类型: float: dBz 真值

附录 A.3 垂直强度廓线探测数据文件

垂直强度廓线探测数据文件中包含文件头和垂直强度廓线探测两部分数据，采用二进制方式存储，按 1 个字节对齐。

(1) 文件名

数据文件名：RRRRRRYYYYMMddhhmm.PRZ

其中：RRRRRR、YYYYMMddhhmm - 见水平探测数据文件名（2.2 节）说明；

PRV - 文件后缀名，为垂直强度廓线探测数据标识。

(2) 数据存储格式

数据存储垂直向上共 100 个库的经过地物抑制的强度数据。

1-400 字节：类型：float；经过地物抑制的强度（dBz）

附录 A.4 雨强探测数据文件

雨强探测数据是雨量雷达探测后经计算产生的原始雨强数据，数据文件中包含文件头和原始雨强两部分数据，采用二进制方式存储，按 1 个字节对齐。

(1) 文件名

数据文件名：RRRRRRYYYYMMddhhmm.DLD

其中：RRRRRR、YYYYMMddhhmm - 见水平探测数据文件名（2.2 节）说明；

DLD - 文件后缀名，为雨强探测数据标识。

(2) 数据存储格式

数据按极坐标方式存储，共 360 个径向，从 0 度至 359 度排列（可以有小数位），每个径向数据格式如下（其中，N 为库数）：

1-2 字节：类型：unsigned short；

结束方位角（单位：度），按文件头第 8 个字节角码放大系数放大存储

3-4 字节：类型：short；

结束仰角（单位：度），按文件头第 8 个字节角码放大系数放大存储

5-4+N*2 字节：类型：unsigned short；

雨强值，从第 1 个库到第 N 个库顺序存储

雨强值存储方式：雨强真值*10，0 - 表示无值，65535 表示模糊区。

附录 A.5 雨强产品数据文件

雨强产品数据是雨量估算模型（DPU 单元）计算处理后产生的雨量监测产品数据，数据文件中包含文件头和雨强数据两部分数据，采用二进制方式存储，按 1 个字节对齐。

(1) 文件名

数据文件名：RRRRRRYYYYMMddhhmm.PRD

其中：RRRRRR、YYYYMMddhhmm - 见水平探测数据文件名（2.2 节）说明；

PRD - 文件后缀名，为雨强产品数据标识。

(2) 数据存储格式

数据按极坐标方式存储，共 360 个径向，从 0 度至 359 度排列（可以有小数位），每个径向数据格式如下（其中，N 为库数）：

1-2 字节：类型：unsigned short；

结束方位角（单位：度），按文件头第 8 个字节角码放大系数放大存储

3-4 字节：类型：short；保留（设为 0）

5-4+N*2 字节：类型：unsigned short；

雨强值，从第 1 个库到第 N 个库顺序存储

雨强值存储方式：雨强真值*10，0 - 表示无值，65535 - 表示模糊区。

附录 B 雨滴谱监测数据格式

附录 B.1 雨滴谱数据通信规约

雨滴谱数据通信规约约定了雨滴谱仪传感器 RTU 到中心接收站之间数据通信传输报文格式，报文中包括测站号、时间、雨强、雷达发射率、粒径谱、速度谱、设备运行状态等信息。报文传输格式如下表所示：

序号	字节数	说明
1	2 字节	帧头，HEX 编码，固定为 7E7E
2	1 字节	中心站号，HEX 编码，0 到 255
3	5 字节	测站号，BCD 编码
4	2 字节	密码，HEX 编码
5	1 字节	报文特征，HEX 编码，34 表示小时报，33 表示加报。
6	2 字节	上行报文标识及正文长度，HEX 码。高 4 位用作上下行标识（0000 表示上行，1000 表示下行），其余 12 位表示报文正文长度，表示报文起始符之后，报文结束符之前的报文字节数，允许长度为 0001~4095
7	1 字节	正文起始符，HEX 编码，固定为 02
8	2 字节	流水号，HEX 编码，范围 1~65535
9	6 字节	发报时间，BCD 编码，年月日时分秒
10	2 字节	测站地址标识符，HEX 编码，固定为 F1F1
11	5 字节	测站地址，BCD 编码
12	1 字节	测站类型码，BCD 编码
13	2 字节	观测时间标识符，HEX 编码，固定为 F0F0
14	5 字节	观测时间，BCD 编码，年月日时分
15	3 字节	传感器序列号标识符，HEX 编码，固定为 FF4118
16	3 字节	传感器序列号，BCD 编码
17	3 字节	雨强标识符，HEX 编码，固定为 FF4223
18	4 字节	雨强数据，BCD 编码，3 位小数，单位 mm/h
19	3 字节	雷达反射率标识符，HEX 编码，固定为 FF4323
20	4 字节	雷达反射率数据，BCD 编码，3 位小数，最高位字节表示符号，FF 表示负，00 表示正，若未采集到数据，则均为 FF FF FF FF，单位 dBz
21	3 字节	雨滴谱仪状态标识符，HEX 编码，固定为 FF4408
22	1 字节	雨滴谱仪状态数据，BCD 编码，00 表示正常；01 表示激光器表面脏，但仍然可以测量；02 表示激光器表面脏，已经不能测量；03 表示激光器坏；08 表示雨滴谱仪数据格式错误；09 表示雨滴谱仪无数据返回
23	3 字节	32 个下落速度等级对应的粒子数标识符 HEX 编码，固定为 FF4510

24	64 字节	32 个下落速度等级对应的粒子数，每两个字节一组，HEX 编码
25	3 字节	32 个粒径等级对应的粒子数标识符 HEX 编码，固定为 FF4610
26	64 字节	32 个粒径等级对应的粒子数，每两个字节一组，HEX 编码
27	2 字节	电压标识符，HEX 编码，固定为 3812
28	2 字节	电压数据，BCD 编码，2 位小数，单位 V。
29	1 字节	HEX 编码，后续数据标志位，03 表示无后续数据，17 表示后续有数据
30	2 字节	HEX 编码，CRC16 校验字节，高位在前，低位在后。校验字节之前的所有字节参与计算，生成多项式为： $X^{16}+X^{15}+X^2+1$

说明：如果 RTU 未正常采集到雨滴谱数据，则雨强、雷达发射率、粒径谱、速度谱等数据均按 FF 上报。

附录 B.2 雨滴谱数据文件

雨滴谱数据文件是为雨量估算模型（DPU 单元）提供数据服务的文件，数据来源于数据库雨滴谱数据表，由雨滴谱数据检索程序按雨量雷达对应的雨滴谱站和时间要求自动产生，雨滴谱数据文件采用文本方式存储。数据文件中包含数据说明和数据两部分，数据之间用逗号“，”分隔。

(1) 文件名

数据文件名：RRRRRRYYYYMMddhhmm.PSD

其中：RRRRRR - 雷达站点号；

YYYYMMddhhmm - 年月日时分，采用探测结束的时间；

PSD - 文件后缀名，为雨滴谱数据标识。

(2) 数据格式

文本数据包括数据标识、雨滴谱数据记录数、时间和数据，数据含义和格式如下：

第 1 行：数据产品标识（文件名后缀），雨滴谱（站）记录数

第 2 行：数据版本号

第 3 行：年，月，日，时，分，时间分辨率

第 4 行：站号，等级标识、经度，纬度，高度，雷达反射率，雨强，粒径等级 VDC，粒径等级个数 VD，速度等级 VVC，速度等级个数 VV

其中：

数据产品标识：PSD (文件名后缀)；

雨滴谱（站）记录数：雨量雷达对应的雨滴谱站数，即第 4 行数据记录数；

观测时间：年，月，日，时，分；

时间分辨率：数据采集时间间隔，单位：分；

站号：雨滴谱站号；

等级标识：粒径、速度等级数（两等级数必须相同）；

经度、纬度：保留四位小数，单位：度；

高度：保留一位小数，单位：米；

雷达反射率：保留三位小数，单位： mm^6m^{-3} ；

雨强：保留三位小数，单位：毫米/小时；

粒径等级 VDC：保留二位小数，单位：毫米，重复等级标识数；

粒径等级个数 VD：对应粒径等级的各级粒子数；

速度等级 VVC：保留两位小数，单位：米/秒，重复等级标识数；

速度等级个数 VV：对应速度等级的各级粒子数；

附录 C 数据库表结构

附录 C.1 区域雨量产品数据库表

区域雨量产品数据库表 RD_AREA

字段名	说明	类型	空值	主键	注释
ARID	区域 ID	VARCHAR(10)	是	否	
ARNAME	区域名称	VARCHAR(50)			
ARTYPE	区域类型	VARCHAR(10)	是	否	
PRTYPE	产品类型	VARCHAR(10)	是	否	
DT	时间	VARCHAR (12)	是	否	YYYYMMDDHHMM
ARVALUE	平均雨量	VARCHAR(20)			单位: 0.1mm
INSERTTIME	时间戳	DATETIME			年月日时分秒
NOTE	备注	VARCHAR(255)			

区域类型 ARTYPE 说明: 1 代表行政村, 2 代表遥测站, 3 代表水库, 4、5、6、7 代表多部雷达站。

产品类型 PRTYPE 说明: M05 代表 5 分钟格点类型, H01 代表 1 小时累计格点类型。

附录 C.2 雨滴谱数据库表

雨滴谱数据作为水文新增一类监测数据, 按水文监测数据管理、存储和应用规则同样保存在水情数据库中。中心站接收到雨滴谱报文后进行解码, 需要添加经纬坐标、粒径等级、下落速度等级等信息后入库。

雨滴谱数据表 RD_RAINDROP

字段名	说明	类型	主键	空值	备注
SYID	滴谱仪站号	VARCHAR (10)	是	否	
LGTD	经度	INT	是	否	0.0001 度
LTDD	纬度	INT	是	否	0.0001 度
DT	时间	VARCHAR (12)	是	否	YYYYMMDDHHMM
BELV	高程	INT			0.1 米
TYP	雨滴谱仪类型	tinyint			1: OTT, 2: TISS; 缺省为 1
CYJG	采样间隔	INT		否	分钟
Z	雷达反射率	FLOAT		否	$\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$
P	雨强	FLOAT		否	mm/hr
DJSIGN	等级标识符	SMALLINT		否	
D1	粒径 1	SMALLINT			0.01mm
DN1	粒径 1 粒子数	SMALLINT			个
D2	粒径 2	SMALLINT			0.01mm
DN2	粒径 2 粒子数	SMALLINT			个
D3	粒径 3	SMALLINT			0.01mm
DN3	粒径 3 粒子数	SMALLINT			个
D4		SMALLINT			0.01mm
DN4		SMALLINT			个
D5		SMALLINT			0.01mm
DN5		SMALLINT			个

D6		SMALLINT			0.01mm
DN6		SMALLINT			↑
D7		SMALLINT			0.01mm
DN7		SMALLINT			↑
D8		SMALLINT			0.01mm
DN8		SMALLINT			↑
D9		SMALLINT			0.01mm
DN9		SMALLINT			↑
D10		SMALLINT			0.01mm
DN10		SMALLINT			↑
D11		SMALLINT			0.01mm
DN11		SMALLINT			↑
D12		SMALLINT			0.01mm
DN12		SMALLINT			↑
D13		SMALLINT			0.01mm
DN13		SMALLINT			↑
D14		SMALLINT			0.01mm
DN14		SMALLINT			↑
D15		SMALLINT			0.01mm
DN15		SMALLINT			↑
D16		SMALLINT			0.01mm
DN16		SMALLINT			↑
D17		SMALLINT			0.01mm
DN17		SMALLINT			↑
D18		SMALLINT			0.01mm
DN18		SMALLINT			↑
D19		SMALLINT			0.01mm
DN19		SMALLINT			↑
D20		SMALLINT			0.01mm
DN20		SMALLINT			↑
D21		SMALLINT			0.01mm
DN21		SMALLINT			↑
D22		SMALLINT			0.01mm
DN22		SMALLINT			↑
D23		SMALLINT			0.01mm
DN23		SMALLINT			↑
D24		SMALLINT			0.01mm
DN24		SMALLINT			↑
D25		SMALLINT			0.01mm
DN25		SMALLINT			↑
D26		SMALLINT			0.01mm
DN26		SMALLINT			↑
D27		SMALLINT			0.01mm
DN27		SMALLINT			↑
D28		SMALLINT			0.01mm
DN28		SMALLINT			↑
D29		SMALLINT			0.01mm
DN29		SMALLINT			↑
D30		SMALLINT			0.01mm
DN30		SMALLINT			↑
D31		SMALLINT			0.01mm
DN31		SMALLINT			↑

D32		SMALLINT			0.01mm
DN32		SMALLINT			个
S1	下落速度 1	SMALLINT			0.01 米/秒
SN1	下落速度 1 粒子数	SMALLINT			个
S2	下落速度 2	SMALLINT			0.01 米/秒
SN2	下落速度 2 粒子数	SMALLINT			个
S3	下落速度 3	SMALLINT			0.01 米/秒
SN3	下落速度 3 粒子数	SMALLINT			个
S4		SMALLINT			
SN4		SMALLINT			
S5		SMALLINT			
SN5		SMALLINT			
S6		SMALLINT			
SN6		SMALLINT			
S7		SMALLINT			
SN7		SMALLINT			
S8		SMALLINT			
SN8		SMALLINT			
S9		SMALLINT			
SN9		SMALLINT			
S10		SMALLINT			
SN10		SMALLINT			
S11		SMALLINT			
SN11		SMALLINT			
S12		SMALLINT			
SN12		SMALLINT			
S13		SMALLINT			
SN13		SMALLINT			
S14		SMALLINT			
SN14		SMALLINT			
S15		SMALLINT			
SN15		SMALLINT			
S16		SMALLINT			
SN16		SMALLINT			
S17		SMALLINT			
SN17		SMALLINT			
S18		SMALLINT			
SN18		SMALLINT			
S19		SMALLINT			
SN19		SMALLINT			
S20		SMALLINT			
SN20		SMALLINT			
S21		SMALLINT			
SN21		SMALLINT			
S22		SMALLINT			
SN22		SMALLINT			
S23		SMALLINT			
SN23		SMALLINT			
S24		SMALLINT			
SN24		SMALLINT			
S25		SMALLINT			
SN25		SMALLINT			
S26		SMALLINT			
SN26		SMALLINT			

S27		SMALLINT			
SN27		SMALLINT			
S28		SMALLINT			
SN28		SMALLINT			
S29		SMALLINT			
SN29		SMALLINT			
S30		SMALLINT			
SN30		SMALLINT			
S31		SMALLINT			
SN31		SMALLINT			
S32		SMALLINT			
SN32		SMALLINT			

其中：粒径和下落速度的等级左开右闭，存放闭（右）端的值和对应等级的粒子数。

附录 C.3 雨量雷达站信息表

雨量雷达站信息表 QB_YLRDSTATION

字段名	定义	类型	说明
RDCD	雨量雷达站编码	Varchar (10)	主码（不允许为空） 6 位行政编码+1 位大写字母（从 A~Z）
RDNM	雨量雷达站名	Varchar (20)	
ADDVCD	行政编码	Varchar (6)	
LGTD	经度	INT	单位：0.0001 度
LTDD	纬度	INT	单位：0.0001 度
STLC	雨量雷达所在地	Varchar (50)	省、地市、县名称
BELV	高程	INT	单位：米
RDTYPE	雨量雷达型号	Varchar (20)	
STYMD	建站日期	Varchar (8)	YYYYMMDD
CHECKSIGN	审核标志	Smallint	默认值为 0，不允许为空， 审核同意后为 1

附录 C.4 雨滴谱仪站信息表

雨滴谱仪站信息表 QB_RDPSTATION

字段名	定义	类型	说明
RDPCD	雨滴谱仪编码	Varchar (10)	主码（不允许为空） 雨量雷达站编码+1 位数字
RDPNM	雨滴谱仪名称	Varchar (20)	
ADDVCD	行政编码	Varchar (6)	
LGTD	经度	INT	单位：0.0001 度
LTDD	纬度	INT	单位：0.0001 度
STLC	雨滴谱仪所在地	Varchar (50)	省、地市、县名称
BELV	高程	INT	单位：米
RDPTYPE	雨滴谱仪型号	Varchar (20)	
STYMD	建站日期	Varchar (8)	YYYYMMDD
CHECKSIGN	审核标志	Smallint	默认值为 0，不允许为空， 审核同意后为 1

附录 C.5 雨量雷达站与雨滴谱仪关系表

雨量雷达站与雨滴谱仪关系表 QB_RD_DROP

字段名	定义	类型	说明
RDCD	雨量雷达站编码	Varchar (10)	6 位行政编码+1 位大写字母 (从 A~Z)
RDPCD	雨滴谱仪编码	Varchar (10)	雨量雷达站编码+1 位数字

附录 D 站码编码规则

附录 D.1 雨量雷达站码

按雨量雷达架设所在地行政区划代码和该区域雨量雷达数量组成雨量雷达站码。规则：6 位行政区划码+1 位雨量雷达数量，组成 7 位雨量雷达站码，雨量雷达数量用大写 A~Z，表示该区域第 1 部到第 26 部。

附录 D.2 雨滴谱监测站码

雨滴谱仪站码按主要配备给的雨量雷达来编码，规则：雨量雷达站码+1 位雨滴谱仪序号，组成 8 位雨滴谱仪站码，序号用 0~9、a~z 表示。

注：当雨滴谱仪用与多部雨量雷达到校时，有雨量雷达与雨滴谱仪关系表说明。

附录 E 雨量雷达检测方法

附录 E.1 雷达体制检测方法

指标要求：全固态、全相参多普勒、脉冲压缩。

测试方法：设计保证，可查看相关图纸和设计方案。

评判标准：雷达技术体制符合全固态、全相参多普勒、脉冲压缩体制，则判定合格。

附录 E.2 工作频率检测方法

指标要求：9.3~9.5GHz 范围内可选

测试方法：将频谱仪通过测试电缆与发射耦合口连接。在雷达发射后，发射功率通过耦合一部分功率到频谱仪中，调节频谱仪的中心频率到发射包络的中心位置，此时的频率值即为雷达工作频率。设置相应工作频率点，重复测试均应满足要求。

评判标准：工作频率在 9.3~9.5GHz 范围内可选，则判定合格。

附录 E.3 输出参数检测方法

指标要求：输出 Z（反射率）、V（径向速度）、W（速度谱宽）参数。

测试方法：通过操作终端软件，实际控制雷达，查看终端画面或者查看雷达基础数据。

评判标准：输出 Z（反射率）、V（径向速度）、W（速度谱宽）参数，则判定合格。

附录 E.4 探测距离检测方法

指标要求： $\geq 36\text{km}$

测试方法：通过终端软件检查距离显示。

评判标准：终端软件检查距离显示范围 $\geq 36\text{km}$ 要求，则判定合格。

附录 E.5 分辨率检测方法

1) 距离分辨率

指标要求： $\leq 60\text{m}$

测试方法：本雷达是固态体制，采用的是脉冲压缩技术，利用短、中脉冲补盲，通过短脉冲脉冲宽度和中长脉冲信号带宽来验证距离分辨率。

测量发射信号带宽（2.5MHz）指标来验证雷达的距离分辨率。

评判标准：短脉冲脉冲宽度 $\leq 0.4\text{ }\mu\text{s}$ ，中长脉冲带宽实测值 $\geq 0.25\text{MHz}$ 范围内，表征距离分辨率满足 60m 要求，则判定合格。

2) 角度分辨率

指标要求： $\leq 1.3^\circ$

测试方法：设计保证。通过天线波束宽度来表征角度分辨率。查看天线波束宽度工厂测试报告指标来验证角度分辨率。

评判标准：天线波束宽度指标满足 $\leq 1.3^\circ$ 范围内，则判定合格。

附录 E.6 测量精度（均方差）检测方法

1) 距离测量精度

指标要求：30m

测试方法：设计保证，必要时在鉴定定型时按照订购方与承制方共同选定具备条件的靶场比对验证。

评判标准：距离测量精度为 30m，则判定合格。

2) 角度测量精度

指标要求： $\leq 0.2^\circ$

测试方法：设计保证，必要时在鉴定定型时按照订购方与承制方共同选定具备条件的靶场比对验证。

评判标准：角度测量精度 $\leq 0.2^\circ$ 则判定合格。

附录 E.7 参数测量范围检测方法

1) 强度测量范围

指标要求： $-10\sim+80\text{dBz}$

测试方法：设计保证，通过终端软件检查强度显示范围。鉴定/定型时利用信号源输入模拟回波信号，测试强度测量范围。

评判标准：强度测量范围满足 $-10\text{dBz}\sim+80\text{dBz}$ 要求，则判定合格。

2) 速度测量范围

指标要求： $\pm 32\text{m/s}$

测试方法：设计保证，通过终端软件检查可达到的最大速度显示范围，鉴定/定型时设置重复频率 2000Hz（3/2 双 PRF 模式），利用机内测试信号在重复频率 2000Hz（3/2 双 PRF 模式）下，测试速度测量范围。

评判标准：速度测量范围满足 $\pm 32\text{m/s}$ 要求，则判定合格。

3) 谱宽测量范围

指标要求： $0\sim 16\text{m/s}$

测试方法：设计保证，通过终端软件检查谱宽显示范围。

评判标准：终端软件检查谱宽显示范围满足 $0\text{m/s}\sim 16\text{m/s}$ 要求，则判定合格。

附录 E.8 参数测量精度（均方差）检测方法

1) 强度测量精度

指标要求： $\leq 1\text{dB}$

测试方法：设计保证，鉴定/定型时用信号源注入功率为 -90dBm 至 -40dBm 的信号，在

距离 36km 范围内，测量各点回波强度。记录回波强度测量值、注入信号对应的回波强度计算值及两者的差值。

评判标准：最大差值绝对值 $\leq 1\text{dB}$ ，则判定合格。

2) 速度测量精度

指标要求： $\leq 1\text{m/s}$

测试方法：设计保证，鉴定/定型时用机内测试信号注入接收机，改变其频率，由注入信号频率与雷达工作频率之差（即多普勒频移）计算出速度理论值，与雷达速度测量值进行比较。

评判标准：最大差值绝对值 $\leq 1\text{m/s}$ ，则判定合格。

3) 谱宽测量精度

指标要求： $\leq 1\text{m/s}$

测试方法：设计保证，查看精度分析计算。

评判标准：精度分析计算结果 $\leq 1\text{m/s}$ 要求，则判定合格。

附录 E.9 36km 处可探测的最小反射率因子（参考值）检测方法

指标要求： $\leq 3\text{dBz}$

测试方法：设计保证，看探测威力计算。鉴定/定型时利用信号源模拟或者实际回波数据进行验证。

评判标准：36km 处可探测的最小反射率因子 $\leq 3\text{dBz}$ ，则判定合格。

附录 E.10 地物杂波抑制检测方法

指标要求： $\geq 40\text{dB}$

测试方法：用信号源模拟回波或者实际地物探测回波进行地物抑制前后比对，终端采用 PPI 扫描，分别记录同一位置相应的反射率因子，滤波前与滤波后的差值为地物杂波抑制能力。

评判标准：地物杂波抑制 $\geq 40\text{dB}$ ，则判定合格。

附录 E.11 电源要求检测方法

指标要求：单相，AC220V $\pm 10\%$ ，50Hz $\pm 5\%$

测试方法：鉴定/定型时，采用市电或电源站供电，在指标要求内调整电压、频率范围，系统应能正常工作。测量记录对应的电压、频率，每种状态工作时间应不少于半小时。

评判标准：雷达能够正常工作，此时的雷达的电压和频率满足指标要求，则判定合格。

附录 E.12 整机功耗检测方法

指标要求： $\leq 3\text{kW}$

测试方法：雷达处于最大功耗时，测量电压 U、电流 I，公式 $P=UI$ 计算雷达功耗。

评判标准：计算功耗 $\leq 3\text{kW}$ ，则判定合格。

附录 E.13 重量检测方法

指标要求： $\leq 230\text{kg}$ （标准配置，包括三脚架），分解后每部分 $\leq 30\text{kg}$

测试方法：鉴定/定型时，使用磅秤测量每部分重量，进行相加，计算出总重量。

评判标准：重量 $\leq 230\text{kg}$ （包括三脚架），分解后每部分 $\leq 30\text{kg}$ ，则判定合格。

附录 E.14 环境要求检测方法

1) 工作环境

指标要求：室外设备工作环境：-20~50℃，≤95%RH（+50℃）

室内设备工作环境：0~50℃,≤95%RH（+50℃）

测试方法：鉴定定型时按照订购方与承制方共同商定的《雨量雷达环境试验大纲》中的方法进行。

评判标准：通过相应的高温、低温、湿热试验，则判定合格。

2) 工作高度

指标要求：海拔高度≤5000m

测试方法：设计保证。本条为使用条件要求，雷达使用中满足海拔高度不超过 5000 米的要求。

评判标准：海拔高度≤5000m 雷达正常工作，则判定合格。

3) 其他

指标要求：防水、防潮、防盐雾

测试方法：设计保证。雷达进行三防处理，通过高温、低温、湿热试验。同类型典型工艺样件通过盐雾试验。

评判标准：雷达具防水、防潮、防盐雾功能，则判定合格。

附录 E.15 平均无故障时间（MTBF）检测方法

指标要求：≥1000h

测试方法：设计保证，查看设计计算报告。鉴定定型时按照订购方与承制方共同商定的可靠性试验中的方法进行。

评判标准：试验测试结果满足指标要求，则判定合格。

附录 E.16 平均故障修复时间（MTTR）检测方法

指标要求：≤0.5h

测试方法：设计保证，查看设计计算报告。鉴定定型时按照订购方与承制方共同商定的试验方法进行。

评判标准：试验测试结果满足指标要求，则判定合格。

附录 E.17 工作模式检测方法

指标要求：24 小时连续运行

测试方法：用市电供电，使雷达正常工作，记录连续运行时间，期间定期检查雷达工作状态，每隔 4 小时进行主要参数的记录。

评判标准：雷达连续工作时间满足≥24h 的指标要求，则判定合格。

附录 E.18 开机时间检测方法

指标要求：≤5min

测试方法：从雷达通电开始计时，到雷达开启发射停止，记录所用的时间。

评判标准：雷达开机时间≤5min，则判定合格。

附录 E.19 微波辐射安全性检测方法

指标要求：雷达微波漏能功率密度应符合 GJB7-84 的要求

测试方法：设计保证。鉴定/定型时，在雷达下方（间隔 1 米）测量，使用微波辐射测量仪测量 3 次，最大值为测量结果。

评判标准：测试结果不得超过 25μW/cm²。

附录 E.20 互换性检测方法

指标要求：雷达备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换，无需调整而正常工作

测试方法：设计保证。雷达零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换。

评判标准：雷达备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换，无需调整而正常工作，则判定合格。

附录 E.21 环境噪声要求检测方法

指标要求：雷达架设现场和终端操作室均不大于 65dB

测试方法：设计保证。鉴定/定型时，使用噪声测试仪对雷达架设现场（雷达下方间隔 1 米）及终端操作室雷达室内设备（间隔 1 米）进行现场噪声测试，测试不少于 3 次，取最大值为测量结果。

评判标准：雷达架设现场和终端操作室噪声均不超过 65dB，则判定合格。

附录 E.22 近距离盲区检测方法

指标要求： $\leq 60\text{m}$

测试方法：设计保证，鉴定/定型时，查看历史数据，检查近距离盲区情况。

评判标准：近距离盲区 $\leq 60\text{m}$ ，则判定合格。

附录 E.23 天线形式检测方法

指标要求：圆形旋转抛物面反射体天线，喇叭中心馈电

测试方法：观测法。

评判标准：天线应为圆形旋转抛物面反射体天线，喇叭中心馈电，则判定合格。

附录 E.24 极化方式检测方法

指标要求：线性水平极化

测试方法：观测法。

评判标准：天线应为线性水平极化，则判定合格。

附录 E.25 天线直径检测方法

指标要求： $\geq 1.8\text{m}$

测试方法：用卷尺对天线直径进行测量。

评判标准：天线直径测量结果满足指标要求，则判定合格。

附录 E.26 天线罩检测方法

指标要求：直径 $\geq 2.8\text{m}$ ，双程损耗 $\leq 0.6\text{dB}$ 。具有良好的防水、防潮、防腐蚀能力，具有良好的通风和照明

测试方法：查看天线罩测试报告，通风和照明在阵地建设时进行测试。

评判标准：测试报告各项测试数据符合指标要求，则判定合格。

附录 E.27 抗风能力（阵风）检测方法

指标要求：10 级风正常工作，12 级风不损坏

测试方法：设计保证，查看天线罩仿真分析报告或同类型天线罩使用报告。

评判标准：测试报告测试数据符合指标要求，则判定合格。

附录 E.28 波束宽度检测方法

指标要求： $\leq 1.3^\circ$

测试方法：查看天线暗室测试报告。

评判标准：测试报告测试数据符合指标要求，则判定合格。

附录 E.29 天线增益检测方法

指标要求： $\geq 40\text{dB}$

测试方法：查看天线暗室测试报告。

评判标准：测试报告测试数据符合指标要求，则判定合格。

附录 E.30 主瓣和副瓣检测方法

指标要求：主瓣和副瓣要求对称，副瓣电平 $\leq -27\text{dB}$

测试方法：查看天线暗室测试报告。

评判标准：测试报告测试数据符合指标要求，则判定合格。

附录 E.31 馈线损耗（双程）检测方法

指标要求： $\leq 3.0\text{dB}$

测试方法：拆卸相关波导，同时接入波导同轴转换器，将矢量网络分析仪通过测试线缆连接至相应波导同轴转换器，分别读取发射和接收的馈线损耗，进行累加计算相应损耗。

评判标准：分别测试发射和接收的馈线损耗，进行累加，结果 $\leq 3.0\text{dB}$ ，则判定合格。

附录 E.32 驻波比检测方法

指标要求： ≤ 1.3

测试方法：利用矢量网络分析仪进行测试。

评判标准：馈线驻波比满足 ≤ 1.3 指标要求，则判定合格。

附录 E.33 天线扫描方式检测方法

指标要求：地形匹配扫描、定点探测

测试方法：实际设置天线进行地形匹配扫描、定点探测等，检查天线运转情况。

评判标准：天线能够正常运行地形匹配扫描、定点探测，则判定合格。

附录 E.34 天线扫描范围检测方法

指标要求：方位： $0\sim 360^\circ$ （连续扫描），俯仰： $-2\sim +90^\circ$ （定点探测）

测试方法：控制方位、俯仰进行扫描，检查天线运转情况。

评判标准：天线方位应能在 $0\sim 360^\circ$ 范围内运转，俯仰应能在 $-2\sim 90^\circ$ 范围内运转，则判定合格。

附录 E.35 天线扫描速度检测方法

1) 方位

指标要求： $0\sim 6\text{ rpm}$ ，误差不大于 5%

测试方法：在 PPI 方式下，设置不同转速，用秒表计时，测量对应转速下所需的时间。

评判标准：方位扫描速度在 $0\sim 6\text{ rpm}$ 范围内，对应转速下测试结果误差不大于 5%，则判定合格。

2) 俯仰

指标要求： $0\sim 3\text{ rpm}$ ，误差不大于 5%

测试方法：在 RHI 方式下，用秒表计时，测量对应转速下所需的时间。

评判标准：俯仰扫描速度在 0~3 rpm 范围内，对应转速下测试结果误差不大于 5%，则判定合格。

附录 E.36 天线控制方式检测方法

指标要求：预设全自动、人工干预自动、手动控制

测试方法：实际操作检查，应具备规定的控制功能。

评判标准：实际操作检查，控制方式具有预置全自动、人工干预自动、手动等功能，则判定合格。

附录 E.37 天线定位精度检测方法

指标要求：方位： $\leq 0.2^\circ$ 俯仰： $\leq 0.2^\circ$

测试方法：运行太阳标定软件，控制雷达进行方位、仰角定位精度检测，标定不超于 3 次，记录测试结果，并计算出平均值。利用双 GPS 或北斗校准方法对方位定位精度进行检测，测试不少于 3 次，记录测试结果，并计算出平均值。

评判标准：方位和仰角的平均误差满足 $\leq 0.2^\circ$ ，则判定合格。

附录 E.38 天线控制精度检测方法

指标要求：方位： $\leq 0.1^\circ$ 俯仰： $\leq 0.1^\circ$

测试方法：在方位上 0~360° 上选取 12 个角度，-2~90° 仰角上选取 12 个角度，人工控制天线停在指定的方位或仰角，分别计算其控制的均方根误差。

评判标准：方位和仰角的均方根误差满足 $\leq 0.1^\circ$ ，则判定合格。

附录 E.39 天线标定装置和方法检测方法

指标要求：双 GPS 或北斗校准方法

测试方法：观察法，观察是否有双 GPS 或北斗设备，并在终端控制软件上进行校准。

评判标准：具有双 GPS 或北斗天线标定装置，且在终端控制软件上有校准功能，则判定合格。

附录 E.40 安全与保护检测方法

指标要求：天线方位、俯仰控制应有保护电路，在俯仰角最低和最高处应有机械限位安全开关，在方位和俯仰角上均应有机械锁定机构

测试方法：观察法，检查天线方位、俯仰控制是否具有保护电路，在俯仰角最低和最高处是否具有机械限位安全开关，在方位和俯仰角上是否具有机械锁定机构。

评判标准：天线方位、俯仰控制有保护电路，在俯仰角最低和最高处有机械限位安全开关，在方位和俯仰角上均有机机械锁定机构，则判定合格。

附录 E.41 发射机形式检测方法

指标要求：全固态

测试方法：观察法，检查发射机实物、图纸或技术资料。

评判标准：发射机为全固态形式，则判定合格。

附录 E.42 脉冲峰值功率检测方法

指标要求： $\geq 200W$

测试方法：使用功率计接入定向耦合器输出口，实测不同脉宽下发射脉冲峰值功率。

评判标准：不同脉宽下发射脉冲峰值功率满足 $\geq 200\text{W}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.43 谐波和杂散抑制检测方法

指标要求： $\geq 40\text{dB}$

测试方法：将发射机输出功率经衰减后送至频谱仪，使发射机处于正常工作状态，测试谐波和杂散抑制。

评判标准：谐波和杂散抑制满足 $\geq 40\text{dB}$ 要求，则判定合格。

附录 E.44 发射脉冲宽度检测方法

指标要求： $0.4\sim 40\mu\text{s}$

测试方法：使用示波器、检波器等设备接入定向耦合器输出口，测试不同模式下的发射脉冲宽度。

评判标准：发射脉冲宽度测试结果满足 $0.4\sim 40\mu\text{s}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.45：脉冲重复频率检测方法

指标要求： $400\sim 2000\text{Hz}$

测试方法：使用示波器、检波器等设备接入定向耦合器输出口，测试不同模式下的脉冲重复频率。

评判标准：脉冲重复频率可在 $400\text{Hz}\sim 2000\text{Hz}$ 范围内可设置，实际测试值与设置值相同，频率误差不超过 $\pm 2\%$ ，则判定合格。

附录 E.46 发射输出改善因子检测方法

指标要求： $\geq 52\text{dB}$

测试方法：使用频谱仪设备接入定向耦合器输出口，设置频谱仪的分析带宽，测量不同重复频率下信噪比 S/N ，根据如下公式计算得到改善因子 I ：

$$I = \frac{S}{N} + 10 \lg R_{BW} - 10 \lg F_r$$

式中， R_{BW} ——频谱仪设置 BW 参数，一般为 10Hz ， F_r 为重复频率。

评判标准：发射输出改善因子测试结果符合 $\geq 52\text{dB}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.47 相位噪声恶化检测方法

指标要求： $\leq 1\text{dB}$

测试方法：按照 E.46 测试方法分别测试发射输入的改善因子和发射输出的改善因子，计算差值即为相位噪声恶化。

评判标准：相位噪声恶化 $\leq 1\text{dB}$ ，则判定合格。

附录 E.48 总电源效率检测方法

指标要求： $\geq 15\%$

测试方法：鉴定/定型时进行测试。使用功率计接入定向耦合器输出口，实测不同模式下发射脉冲平均功率 P_{av} ；用万用表、钳流表测量不同模式下发射机输入端电压 U 和电流 I ，根据公式 $\eta = P_{av}/(U \cdot I) \cdot 100\%$ 得到总电源的效率。

评判标准：总电源效率满足 $\geq 15\%$ ，则判定合格。

附录 E.49 最大工作比检测方法

指标要求： $\geq 10\%$

测试方法：设置最大脉宽、重复频率，开启发射，测量实际工作脉宽与重复频率，计算最大占空比。

评判标准：最大工作比应满足 $\geq 10\%$ ，则判定合格。

附录 E.50 故障检测和保护检测方法

指标要求：发生过占空比、过脉宽、过压/流、过温等情况时应报警并能实现自保；输出功率低时应输出报警信号。

测试方法：检查监控终端故障告警界面。

评判标准：监控终端故障告警界面有对应的报警等功能，则判定合格。

附录 E.51 通风散热检测方法

指标要求：应有可靠的通风散热措施

测试方法：观测法。

评判标准：具有可靠的通风散热措施，则判定合格。

附录 E.52 噪声系数检测方法

指标要求： $\leq 3\text{dB}$

测试方法：外接固态噪声源由接收机场放口输入，利用噪声测试仪测量不同工作频点下的噪声系数。

评判标准：各频点噪声系数测试结果满足 $\leq 3.0\text{dB}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.53 线性动态范围检测方法

指标要求： $\geq 85\text{dB}$

测试方法：外接信号源由接收机场放口输入，在数据终端读取信号输出信噪比数据。改变输入信号的功率，采用最小二乘法进行拟合，实测曲线与拟合直线高端、低端对应点的输出数据差值 $\leq 1\text{dB}$ 来确定接收系统的线性动态范围。

评判标准：线性动态范围测试结果符合 $\geq 85\text{dB}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.54 最小可测功率检测方法

指标要求： $\leq -105\text{dBm}$

测试方法：外接信号源由接收机场放口输入，设置输出对应的雷达工作频率，在信号源关闭时记录终端显示的噪声电平值（dB），然后打开信号源，逐渐增大其信号功率，当终端输出的噪声电平增加 3dB 时，定义此时注入通道的信号功率为接收机的灵敏度。

评判标准：最小可测功率满足 $\leq -105\text{dBm}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.55 镜频抑制度检测方法

指标要求： $\geq 60\text{dB}$ ，对于可现场设置工作频率的系统 $\geq 40\text{dB}$

测试方法：外接信号源由接收机场放口输入，中频输出端接入频谱仪，分别设置信号源为工作频率和镜像频率，并记录中频输出功率值，计算输入输出功率差值。

评判标准：镜频抑制度满足 $\geq 60\text{dB}$ ，对于可现场设置工作频率的系统 $\geq 40\text{dB}$ 的指标要求，则判定合格。

附录 E.56 中频输出杂散检测方法

指标要求： $\leq -60\text{dBc}$

测试方法：外接信号源由接收机场放口输入，中频输出接入频谱仪，从频谱仪读取中频输出杂散。

评判标准：测试值满足 $\leq -60\text{dBc}$ ，则判定合格。

附录 E.57 脉冲压缩后子码宽度检测方法

指标要求： $\leq 0.4\ \mu\text{s}$

测试方法：设计保证，查看仿真分析报告。

评判标准：仿真分析报告中指标 $\leq 0.4\ \mu\text{s}$ ，则判定合格。

附录 E.58 脉冲压缩主副瓣比检测方法

指标要求： $\geq 40\text{dB}$ （脉压比 ≥ 100 ）； $\geq 35\text{dB}$ （脉压比 < 100 ）

测试方法：在终端上通过显示界面测量不同模式下测试信号的主副瓣比

评判标准：脉冲压缩主副瓣比满足 $\geq 40\text{dB}$ （脉压比 ≥ 100 ）； $\geq 35\text{dB}$ （脉压比 < 100 ），则判定合格。

附录 E.59 距离库长度检测方法

指标要求： $\leq 60\text{m}$

测试方法：检查监控终端软件库长设置及利用测试信号进行验证。

评判标准：距离库长 $\leq 60\text{m}$ ，则判定合格。

附录 E.60 距离库数检测方法

指标要求： ≥ 600

测试方法：查看监控终端软件或回波记录文件的距离库数。

评判标准：距离库数满足 ≥ 600 要求，则判定合格。

附录 E.61 速度处理方式检测方法

指标要求：FFT/PPP 处理

测试方法：检查监控终端软件速度处理方式。

评判标准：速度处理方式满足 FFT/PPP 处理，则判定合格。

附录 E.62 处理对数检测方法

指标要求：16、32、64、128、256 可选

测试方法：检查监控终端软件不同的工作模式处理点数设置情况。

评判标准：处理点数满足 16、32、64、128、256 可选，则判定合格。

附录 E.63 速度退模糊方法检测方法

指标要求：双 PRF 或其它等效方法

测试方法：检查监控终端软件速度退模糊方法设置情况，是否为双 PRF 或其它等效方法。

评判标准：速度退模糊为双 PRF 或其它等效方法，则判定合格。

附录 E.64 故障检测和保护检测方法

指标要求：IQ 数据、数据丢包、参数输出等故障

测试方法：检查监控终端故障显示界面是否有 IQ 数据、数据丢包、参数输出等故障检测。

评判标准：故障检测和保护检测方法包括 IQ 数据、数据丢包、参数输出等故障，则判定合格。

附录 E.65 数据采集检测方法

指标要求：应以极坐标形式实时采集信号处理分系统输出的原始数据，按统一数据格式保存

测试方法：检查信号处理分系统输出的原始数据是否按统一数据格式保存。

评判标准：数据采集以极坐标形式实时采集信号处理分系统输出的原始数据，并按统一数据格式保存，则判定合格。

附录 E.66 数据显示检测方法

指标要求：强度、速度、谱宽

测试方法：检查监控终端界面是否有强度、速度、谱宽数据。

评判标准：监控终端有强度、速度、谱宽界面显示，则判定合格。

附录 E.67 状态显示检测方法

指标要求：全机工作状态、工作参数、标定结果

测试方法：，检查监控终端界面是否有工作状态、工作参数、标定结果状态显示。

评判标准：监控终端有全机工作状态、工作参数、标定结果显示，则判定合格。

附录 E.68 控制功能检测方法

指标要求：应具备按设定方位角和仰角进行自动扫描的功能

测试方法：检查监控终端界面是否设定方位角和仰角进行自动扫描的功能。

评判标准：监控终端界面具备设定方位角和仰角进行自动扫描的功能功能，则判定合格。

附录 E.69 数据存储检测方法

指标要求：应能存储不少于 10 天的探测数据

测试方法：统计一个小时雨量探测模式下生成的数据量大小（X），包括 PRH、PRZ、PRV、PRI 等类型的数据。

评判标准：数据存储空间 $\geq 10 \times 24 \times X$, 则判定合格。

附录 E.70 雨量雷达整体性能测试记录表

根据雷达产品指标的特性，本大纲将指标分为 A、B、C、D、-五种类型：

A 类指标——产品出厂验收测试时可测指标或功能；

B 类指标——仅在分系统验收测试时进行测量的指标，在产品出厂验收测试时不再重新测量，需要时可参见相关分系统验收报告；

C 类指标——抽样检验，如环境适应性检验等。原则上每个订货批进行一次，当批量不大于 5 部时，抽取 1 部；批量大于 5 部时，抽取 2 部。

D 类指标——在产品研制或生产阶段，承制方不具备测试条件或需要由用户、试验单位等人员经过长期使用或试验得出的统计指标，D 类指标在出厂验收测试时不考核。

-类指标——在一致性检验时不做测试。

雷达在鉴定/定型时所有指标全部进行测试，出厂验收测试时的项目和方法见表 1。

序号	指标项	技术规格	测试方法	指标类型
1	总技术指标		一致性检验	
1.1	雷达体制	全固态、全相参多普勒、脉冲压缩	附录 E.1	-
1.2	工作频率	X 波段, 9.3~9.5GHz 范围内可选	附录 E.2	A
1.3	输出参数	Z (反射率)、V (径向速度)、W (速度谱宽)	附录 E.3	A
1.4	探测距离	$\geq 36\text{km}$	附录 E.4	A
1.5	分辨率	距离: $\leq 60\text{m}$, 角度: $\leq 1.3^\circ$	附录 E.5	-
1.6	测量精度 (均方差)	距离: 30m , 角度: $\leq 0.2^\circ$	附录 E.6	-
1.7	参数测量范围	强度: $-10 \sim +80\text{dBz}$, 速度: $\pm 32\text{m/s}$, 谱宽: $0 \sim 16\text{m/s}$	附录 E.7	-
1.8	参数测量精度 (均方差)	强度: $\leq 1\text{dB}$, 速度: $\leq 1\text{m/s}$, 谱宽: $\leq 1\text{m/s}$	附录 E.8	-
1.9	36km 处可探测的最小反射率因子 (参考值)	$\leq 3\text{dBz}$	附录 E.9	-
1.10	地物杂波抑制	$\geq 40\text{dB}$	附录 E.10	A
1.11	电源要求	单相, $\text{AC}220\text{V} \pm 10\%$, $50\text{Hz} \pm 5\%$	附录 E.11	-
1.12	整机功耗	$\leq 3\text{kW}$	附录 E.12	-
1.13	重量 (标准配置, 参考值)	$\leq 230\text{kg}$ (包括三脚架) 分解后每部分 $\leq 30\text{kg}$	附录 E.13	-
1.14	环境要求	室外设备工作环境: $-20 \sim 50^\circ\text{C}$, $\leq 95\text{RH} (+50^\circ\text{C})$ 室内设备工作环境: $0 \sim 50^\circ\text{C}$, $\leq 95\text{RH} (+50^\circ\text{C})$ 工作高度: 海拔高度 $\leq 5000\text{m}$ 其他: 防水、防潮、防盐雾	附录 E.14	C
1.15	平均无故障时间 (MTBF)	$\geq 1000\text{h}$	附录 E.15	D
1.16	平均故障修复时间 (MTTR)	$\leq 0.5\text{h}$	附录 E.16	D
1.17	工作模式	24 小时连续运行	附录 E.17	A
1.18	开机时间	$\leq 5\text{min}$	附录 E.18	A
1.19	微波辐射安全性	雷达微波漏能功率密度应符合 GJB7-84 的要求	附录 E.19	-
1.20	互换性	雷达备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换, 无需调整而正常工作	附录 E.20	-
1.21	环境噪声要求	雷达架设现场和终端操作室均不大于 65dB	附录 E.21	-
1.22	近距离盲区	$\leq 60\text{m}$	附录 E.22	-
2	天线和馈线			
2.1	天线形式	圆形旋转抛物面反射体天线, 喇叭中心馈电	附录 E.23	-
2.2	极化方式	线性水平极化	附录 E.24	-
2.3	天线直径	$\geq 1.8\text{m}$	附录 E.25	-
2.4	天线罩	直径 $\geq 2.8\text{m}$, 双程损耗 $\leq 0.6\text{dB}$ 具有良好的防水、防潮、防腐蚀能	附录 E.26	-

序号	指标项	技术规格	测试方法	指标类型
		力，具有良好的通风和照明		
2.5	抗风能力（阵风）	10 级风正常工作，12 级风不损坏	附录 E. 27	—
2.6	波束宽度	$\leq 1.3^\circ$	附录 E. 28	B
2.7	天线增益	$\geq 40\text{dB}$	附录 E. 29	B
2.8	主瓣和副瓣	主瓣和副瓣要求对称，副瓣电平 $\leq -27\text{dB}$	附录 E. 30	B
2.9	馈线损耗（双程）	$\leq 3.0\text{dB}$	附录 E. 31	B
2.10	驻波比	≤ 1.3	附录 E. 32	B
3	伺服系统			
3.1	天线扫描方式	地形匹配扫描、定点探测	附录 E. 33	A
3.2	天线扫描范围	方位： $0\sim 360^\circ$ （连续扫描），俯仰： $-2\sim +90^\circ$ （定点探测）	附录 E. 34	A
3.3	天线扫描速度	方位： $0\sim 6\text{ rpm}$ ，误差不大于 5% 俯仰： $0\sim 3\text{ rpm}$ ，误差不大于 5%	附录 E. 35	A
3.4	天线控制方式	预设全自动、人工干预自动、手动控制	附录 E. 36	A
3.5	天线定位精度	方位： $\leq 0.2^\circ$ 俯仰： $\leq 0.2^\circ$	附录 E. 37	A
3.6	天线控制精度	方位： $\leq 0.1^\circ$ 俯仰： $\leq 0.1^\circ$	附录 E. 38	A
3.7	天线标定装置和方法	双 GPS 或北斗校准方法	附录 E. 39	A
3.8	安全与保护	天线方位、俯仰控制应有保护电路，在俯仰角最低和最高处应有机械限位安全开关，在方位和俯仰角上均应有机锁定位机构。	附录 E. 40	—
4	发射机			
4.1	发射机形式	全固态	附录 E. 41	—
4.2	脉冲峰值功率	$\geq 200\text{W}$	附录 E. 42	A
4.3	谐波和杂散抑制	$\geq 40\text{dB}$	附录 E. 43	B
4.4	发射脉冲宽度	$0.4\sim 40\mu\text{s}$	附录 E. 44	A
4.5	脉冲重复频率	$400\sim 2000\text{Hz}$	附录 E. 45	A
4.6	发射输出改善因子	$\geq 52\text{dB}$	附录 E. 46	A
4.7	相位噪声恶化	$\leq 1\text{dB}$	附录 E. 47	B
4.8	总电源效率	$\geq 15\%$	附录 E. 48	—
4.9	最大工作比	$\geq 10\%$	附录 E. 49	B
4.10	故障检测和保护	发生过占空比、过脉宽、过压/流、过温等情况时应报警并能实现自保；输出功率低时应输出报警信号。	附录 E. 50	—
4.11	通风散热	应有可靠的通风散热措施	附录 E. 51	—
5	接收机			

序号	指标项	技术规格	测试方法	指标类型
5.1	噪声系数	$\leq 3\text{dB}$	附录 E. 52	B
5.2	线性动态范围	$\geq 85\text{dB}$	附录 E. 53	A
5.3	最小可测功率	$\leq -105\text{dBm}$	附录 E. 54	A
5.4	镜频抑制度	$\geq 60\text{dB}$, 对于可现场设置工作频率的系统 $\geq 40\text{dB}$	附录 E. 55	B
5.5	中频输出杂散	$\leq -60\text{dBc}$	附录 E. 56	B
6	信号处理			
6.1	发射脉冲宽度	$0.4 \sim 200 \mu\text{s}$	建议删除	
6.2	脉冲压缩后子码宽度	$\leq 0.4 \mu\text{s}$	附录 E. 57	-
6.3	脉冲压缩主副瓣比	$\geq 40\text{dB}$ (脉压比 ≥ 100) ; $\geq 35\text{dB}$ (脉压比 < 100)	附录 E. 58	A
6.4	距离库长度	$\leq 60\text{m}$	附录 E. 59	-
6.5	距离库数	≥ 600	附录 E. 60	A
6.6	速度处理方式	FFT/PPP 处理	附录 E. 61	-
6.7	处理对数	16、32、64、128、256 可选	附录 E. 62	-
6.8	速度退模糊方法	双 PRF 或其它等效方法	附录 E. 63	-
6.9	故障检测和保护	IQ 数据、数据丢包、参数输出等故障	附录 E. 64	-
7	控制终端			
7.1	数据采集	应以极坐标形式实时采集信号处理分系统输出的原始数据, 按统一数据格式保存	附录 E. 65	-
7.2	数据显示	强度、速度、谱宽	附录 E. 66	A
7.3	状态显示	全机工作状态、工作参数、标定结果	附录 E. 67	A
7.4	控制功能	应具备天线控制、发射机开关机控制功能 应具备按设定方位角和仰角进行自动扫描的功能	附录 E. 68	A
7.5	管理功能	应具备雷达标定、校准、故障报警、主要分系统参数设置及台站信息配置功能	附录 E. 69	A
7.6	数据存储	应能存储不少于 10 天的探测数据	附录 E. 70	-

附录 E.71 雨量雷达可靠性测试记录表

工作模式: 值班人员:				
重复频率:				
时 间: 年 月 日 时				
序号	检测项目	检测结果	检测方法	备注
1	发射功率 (W)		T	

2	天线控制		I	
3	基本产品显示		I	
4	终端监控功能检验		I	
6	故障及异常情况记录：			

注：T：表示测试 I：表示检测