

CINRAD/SA 新一代天气雷达 RHI/ PPI 扫描模式设计

孟昭林 王 坪 陆雅萍 王红艳

(北京敏视达公司,北京 100085)

摘要 中国新一代天气雷达 CINRAD/SA,是以美国下一代天气雷达 NEXRAD WSR-88D 技术为基础进行研发的。由于 NEXRAD 雷达只支持体积扫描工作方式,需要对 CINRAD/SA 雷达系统进行改造,以实现 RHI/ PPI 扫描工作方式。对 CINRAD/SA 雷达 RHI/ PPI 扫描模式的系统设计和实现方法进行了讨论。

关键词 CINRAD/SA 雷达 RHI PPI

引言

北京敏视达雷达公司引进美国下一代天气雷达 NEXRAD WSR-88D 的软硬件技术,在继承吸收 NEXRAD 雷达优点的基础上,利用当代最新电子和计算机技术,研发生产了中国新一代天气雷达 CINRAD/SA。CINRAD/SA 雷达软件系统主要由 3 个程序组成,即雷达数据采集状态控制程序 RDASC、雷达产品生成程序 RPG 和雷达产品显示程序 PUP。

美国 NEXRAD 雷达的设计目标之一,是在无人值守情况下,雷达可以不间断连续工作^[1],因此,体积扫描应是最佳扫描方式,雷达根据预先精心设定的 4 个体扫覆盖模式 VCP11、VCP21、VCP31 和 VCP32 工作,分别对应仰角范围为 $0.5^{\circ} \sim 19.5^{\circ}$ 的降水模式(VCP11、VCP21)和仰角范围为 $0.5^{\circ} \sim 4.5^{\circ}$ 的晴空模式(VCP31、VCP32)。

根据中国气象局《新一代天气雷达系统功能规格需求书》^[2]的要求,CINRAD 天气雷达除提供体扫模式外,还应提供距离高度扫描(RHI)和平面位置扫描(PPI)两种扫描模式,而且还应支持负仰角扫描。CINRAD/SA 雷达的国外用户也提出类似需求。本文将介绍在 CINRAD/SA 系列雷达上实现 RHI/ PPI 扫描模式的系统设计及其实现方法,同时包括负仰角扫描的实现。

1 RHI/ PPI 扫描模式系统设计

中国气象局《新一代天气雷达系统功能规格需求书》规定雷达的监测的空间范围方位角扫描范围为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,仰角扫描范围为 $-2^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 。RHI/ PPI 天线扫描范围和速度如下:PPI 扫描模式,方位扫描范围为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 连续扫描,速度 $0^{\circ} \sim 36^{\circ}/s$ 可调;RHI 扫描模式,仰角扫描范围为 $-2^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 往返扫描,速度 $0^{\circ} \sim 12^{\circ}/s$ 可调。

特定方位角的垂直扫描(RHI)和特定仰角的锥形扫描(PPI)以及负仰角扫描能力,主要由雷达数据采集系统中天线伺服系统的机电限位范围和控制天线运动方式的软件决定。美国 NEXRAD 88D 雷达系统中天线伺服系统的机械仰角限位范围为 $-3^{\circ} \sim 90^{\circ}$,CINRAD/SA 雷达系统经过适当增大机电仰角限位范围,能够满足负仰角扫描能力的需求,在此基础上,只要通过软件适当控制天线在特定方位角做垂直扫描和特定仰角做锥形扫描,即可实现 RHI 和 PPI 扫描工作模式。PPI 扫描模式只是体扫模式在特定仰角的一个特例,比较容易实现,而 NEXRAD 88D 雷达软件系统不支持 RHI 扫描模式,需要全面扩充 CINRAD/SA 雷达系统软件功能,才有可能实现 RHI 扫描方式。

1.1 RHI/ PPI 扫描功能

增加 RHI/ PPI 功能需要考虑和解决如下问题。

1.1.1 天线扫描策略

(1) 天线扫描类型。要实现 RHI/PPI 扫描功能, 首先应继承并扩充天线扫描类型的概念, 将原来 NEXRAD 的体扫和体积覆盖模式(VCP), 由原来的由几个仰角切面组成的体扫扩展成三类“体扫”, 在形式上, 把 RHI/PPI 扫描当成体扫对待, 模式代号由原来的 VCP11、VCP21、VCP31、VCP32 扩充增加 VCP41(PPI) 和 VCP61(RHI)。

(2) RHI 等速率或变速率扫描。等速率扫描简单易行, 信号处理流程简单, 空间分辨率相同。缺点是当扫描到上、下两个端点反向时, 若设定速度较大时, 过冲较大, 伺服运行不平稳。此外在显示画面上, 低仰角处距离库占用画面较大, 显得粗糙。变速扫描方法是低仰角低速, 高仰角高速。优点是防止了低仰角反向时的过冲, 最终输出产品画面上距离库较均匀, 缺点是空间分辨率不相同, 信号处理较困难。

综合以上分析, 决定采用等速率方式, 速率为 $1^{\circ} \sim 12^{\circ}/s$ 。RHI 仰角最大扫描范围为 $-2^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。上、下扫描极点位置 $E_{1\min}$ 、 $E_{1\max}$ 可设置。考虑天线扫描过冲因素, 天线转向区域为 $E_{1\max} + 2^{\circ}$ 、 $E_{1\min} - 2^{\circ}$ 。

(3) 天线转速与脉冲重复频率取值。一个采样空间内的脉冲数(N), 由采样空间分辨率(R)、天线转速 r 和脉冲重复频率(F) 决定, 其关系为 $N = R/r \cdot F$ 。为了保证估值精度, N 必须足够大, CINRAD 雷达体扫模式的 N 取值范围见表 1。

表 1 体扫模式脉冲数

	N (降水模式)	N (晴空模式)
CS	16 ~ 28	64
CD	52 ~ 88	220

注: CS 为连续监视模式, CD 为连续多普勒模式

对于 RHI 模式, 为了兼顾采样分辨率及取样时间, 设定 R 为 0.1° 、 0.2° 和 0.3° 三种分辨率, 速率 r 为 $1^{\circ} \sim 12^{\circ}/s$, 在特定脉冲重复频率 F 条件下, 分别计算脉冲数 N 。结果表明: 对于连续监视模式(CS), 只有当 r 很小时($< 3.45^{\circ}/s$), 才能满足 $N \geq 28$ 的要求; 对于连续多普勒模式(CD), 当 $r \leq 3.46^{\circ}/s$ 时, 才能满足 $N \geq 88$ 的要求。此外, 对实际的 CINRAD 天线系统做 RHI 试验显示: r 最大只能 $3^{\circ}/s$, 否则过冲很大。综合考虑, 最终设定 R 为 0.2° , 转速为 $2^{\circ}/s$, 采用表 2 参数作为标准模式。

表 2 RHI 天线扫描参数

	CS	CD
F/Hz	321.89	1013.51
$r/(^{\circ} \cdot s^{-1})$	2.0	2.0
$R(^{\circ})$	0.2	0.2
N	32	89

对于 PPI 模式, 因为 PPI 扫描与体扫模式类似, 可以选用常用的降水模式 VCP21 相对应仰角的 r 和 F , 以及相对应仰角的波形模式。

1.1.2 信号处理模式

CINRAD 雷达在体扫时, 根据仰角值, 采取连续监视波形 CS、连续距离模糊多普勒波形 CDa、连续距离不模糊多普勒波形 CDu 和批处理等不同的信号处理模式。在 RHI 工作方式时, 若采用同样的信号处理模式将需要复杂的控制序列, 低仰角区需要扫描 2 次, 所以是不现实的, 为此采取如下工作方式: 天线从高仰角向低仰角扫描时, 采用 CS 方式, 得到反射率基数据, 天线从低仰角向高仰角扫描时, 采用 CD 方式, 得到速度和谱宽基数据。这种信号处理与天线扫描策略的好处是, 控制与处理均简单易行, 缺点是天线需要上、下扫描一个往复才能得到完整的 RHI 产品。在 PPI 工作方式时, 依据仰角值采用原体扫中对应的信号处理方式。

1.1.3 控制命令及其时效

(1) 控制命令。CINRAD 雷达系统的控制命令通常由 RDASC 和 RPG 程序发送, 在本地控制时, 由 RDASC 程序控制; 在远程控制时, 由 RPG 程序控制。为使用户根据当时观测内容方便快捷地转换雷达天线扫描模式, 生成 RHI/PPI 产品, CINRAD 雷达系统的 PUP 程序增加天线扫描模式控制能力, 即 CINRAD 雷达系统中可在 3 处发布 RHI/PPI/Volume 扫描命令。只有在 RDASC 处于远程控制状态时, PUP 程序方有能力控制雷达天线扫描模式。考虑到 RHI/PPI 产品时效性强的特点, RHI/PPI 扫描模式与原体扫模式的转换命令应立即生效。原体扫命令继续保持, 等待一个体扫完成后才开始有效。

(2) 定期标定。增加 RHI 和 PPI 后, CINRAD 雷达系统的天线扫描工作方式有 3 种, 针对 3 种扫描方式, 机内应定期标定。原体扫时, 每个体扫完成后当天线由 19.5° 向 0.5° 过渡时做: F1—线性通道反射率标定, F3—速度和谱宽检查, F5—直流偏置

和噪声功率标定, F6—AGC 衰减器及 I、Q 相位和幅度平衡标定, F7—RF 功率表校零, F8—系统噪声温度检查, 每 8 h 做 1 次 F2—反射率标定检查和 F4—地物抑制检查。RHI/ PPI 扫描时, 每完成预定数量的 RHI/ PPI 扫描后, 做 F1、F3、F5、F6、F7、F8 标定, 每 8 h 做一次 F2 和 F4 标定。

1.2 负仰角扫描功能

(1) 负角度表示方法。按照相关文档规定, 角度值表示范围, 只能表示正仰角, 无符号和负仰角。正常工作时系统的正仰角只工作在 $0^\circ \sim 95^\circ$, 当出现负仰角时, 以实际负仰角值加 360° 表示。如: -2° 表示为 358° 。

(2) 天线限位开关的调整。天线最低仰角由 0.5° 改为 -2.0° 时, 需要将限位开关位置下调 2.5° , 此外为了增加天线过冲容量, 再下调 0.5° , 即总共下调 3.0° : 电初限位从当前的 -1.2° 改为 -4.2° , 电终限位从当前的 -2° 改为 -5.0° , 机械限位从当前的 -3° 改为 -6.0° 。

2 产品设计

PPI 产品共有 8 个, 分辨率范围和探测范围基本与原产品基本相同。RHI 产品有 7 个, 探测高度为 21 km, 探测距离范围为 60 ~ 230 km, 因为超过 230 km 探测距离, 空间精度比较差, 故 RHI 产品最大距离定为 230 km。RHI/ PPI 产品说明见表 3。

表 3 CINRAD/SA 雷达 RHI/ PPI 产品表

产品号	产品 ID	PPI 产品	分辨率 $\text{km} \times (\text{°})$	覆盖范围 km	数据级数
116	PPR	PPI 反射率	1.0×1	230	16
117	PPR	PPI 反射率	2.0×1	460	16
118	PPV	PPI 速度	0.25×1	60	16
119	PPV	PPI 速度	0.5×1	115	16
120	PPV	PPI 速度	1.0×1	230	16
121	PPS	PPI 谱宽	0.25×1	60	8
122	PPS	PPI 谱宽	0.5×1	115	8
123	PPS	PPI 谱宽	1.0×1	230	8
产品号	产品 ID	PPI 产品	分辨率 $\text{km} \times \text{km}$	覆盖范围 km	数据级数
124	RHR	RHI 反射率	1.0×0.2	230×21	16
125	RHV	RHI 速度	0.25×0.2	60×21	16
126	RHV	RHI 速度	0.5×0.2	115×21	16
127	RHV	RHI 速度	1.0×0.2	230×21	16
128	RHS	RHI 谱宽	0.25×0.2	60×21	8
129	RHS	RHI 谱宽	0.5×0.2	115×21	8
130	RHS	RHI 谱宽	1.0×0.2	230×21	8

3 RHI/ PPI 功能实现

调查及测试表明, 目前 CINRAD/SA 雷达天线伺服系统的机电限位范围能够满足 -2° 仰角 RHI/ PPI 扫描的需求, 只是雷达软件系统还不能提供天线做 RHI/ PPI 扫描运动方式。因为 NEXRAD 88D 雷达软件系统不支持 RHI/ PPI 扫描模式, 需要全方位扩充 CINRAD/SA 雷达系统软件功能, 才有可能实现 RHI/ PPI 扫描方式。需要修改扩充的程序如下。

(1) 天线控制程序增加功能。天线控制程序用于实质雷达天线控制运动方式, 当天控程序接收到做 RHI/ PPI 扫描运动命令后, 根据命令参数中相应角度范围, 控制天线按预定速率在特定方位角做上下垂直 RHI 扫描或在特定仰角做圆锥形 PPI 扫描。在做 RHI 扫描时, 把天线过冲控制在有效范围内。在做负仰角扫描时, 由于天线伺服系统不支持负仰角, 要把负仰角转换为正仰角, 同时解决 0° 附近仰角的转换带来的位置数值误差问题, 再命令伺服系统工作。

(2) 信号处理程序增加功能。信号处理程序增加接收来自 RDASC 的仰角和 RHI/ PPI 扫描模式等信息, 选择相应的波形模式控制雷达系统采集 RHI/ PPI 基数据; 控制天线在 RHI 的仰角极点位置进行扫描方向转换; 完成 RHI/ PPI 状态数据采集, 并传送给 RDASC 程序; 完成 RHI/ PPI 基数据采集, 并传送给 RDASC 程序。

(3) RDASC 程序增加功能。RDASC 程序发送或转发来自 RPG 的 RHI/ PPI 模式转换控制命令; 为 RHI/ PPI 模式提供正确扫描参数, 完成扫描模式转换; 完成 RHI/ PPI 工作模式的实时控制和标定; 接收来自信号处理程序的 RHI/ PPI 基数据; 实时显示 RHI/ PPI 数据; 提供存档及回放处理 RHI/ PPI 基数据功能。

(4) RPG 程序增加功能。在远控时, 发送或转发来自 PUP 的 RHI/ PPI 模式转换控制命令; 接收来自 RDASC 的包含 RHI/ PPI 信息的状态数据; 接收并存档来自 RDASC 的 RHI/ PPI 基数据; 接收来自 PUP 的生成 RHI/ PPI 产品请求信息; 根据 RHI/ PPI 基数据和 PUP 产品请求信息, 生成相应 RHI/ PPI 产品; 发送 RHI/ PPI 产品到 PUP; 支持来自 PUP 的生成 RHI/ PPI 产品的一次性请求; 存档及

回放处理 RHI/ PPI 基数据。

(5) PUP 程序增加功能。在远控时,发送 RHI/ PPI 模式转换控制命令;接收来自 RPG 的包含 RHI/ PPI 信息的状态数据;发送生成 RHI/ PPI 产品的日常产品请求信息到 RPG;发送生成 RHI/ PPI 产品的一次性产品请求信息到 RPG;接收并存储管理 RPG 生成的 RHI/ PPI 产品;多种方式显示 RHI/ PPI 产品。

(6) RHI/ PPI 产品实例。图 1 ~ 3(见图版 3)是 2002 年 9 月和 10 月在天津塘沽 CINRAD/ SA 雷达上,进行 RHI/ PPI 扫描模式测试时生成的 RHI/ PPI 产品图像。本次 PHI 扫描包含负仰角扫描。

4 小结

经过敏视达公司工程部软件开发人员对 CIN-

RAD/ SA 雷达软件系统,从天控程序、信号处理程序、RDASC 程序、RPG 程序和 PUP 程序的全方位改造,成功地在 CINRAD/ SA 雷达上实现了 RHI/ PPI 扫描模式和负仰角扫描功能。CINRAD/ SA 雷达的 RHI/ PPI 扫描模式已经运行于出口到罗马尼亚的 5 部 S 波段雷达上。RHI/ PPI 扫描模式还被应用到出口韩国的 C 波段雷达上。

参考文献

- 1 Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research. Doppler radar meteorological observations. Federal Meteorological Handbook No. 11, 1992
- 2 中国气象局业务发展与天气司.新一代天气雷达系统功能规格需求书.北京:中国气象局,1997

Design of RHI/ PPI Scan Mode of CINRAD/ SA Radar

Meng Zhaolin Wang Ping Lu Yaping Wang Hongyan
(Beijing METSTAR Radar Company Ltd., Beijing 100085)

Abstract: CINRAD/ SA, China Next Generation Weather Radar, was produced by the Beijing METSATAR Radar Co., Ltd, based on the NEXRAD WSR-88D technology. Its software system was modified to provide the new RHI/ PPI scan mode because NEXRAD WSR-88D provides only the volume scan mode. The design and realization of the RHI/ PPI scan mode on the CINRAD/ SA are described.

Key words: CINRAD/ SA, Radar, RHI/ PPI

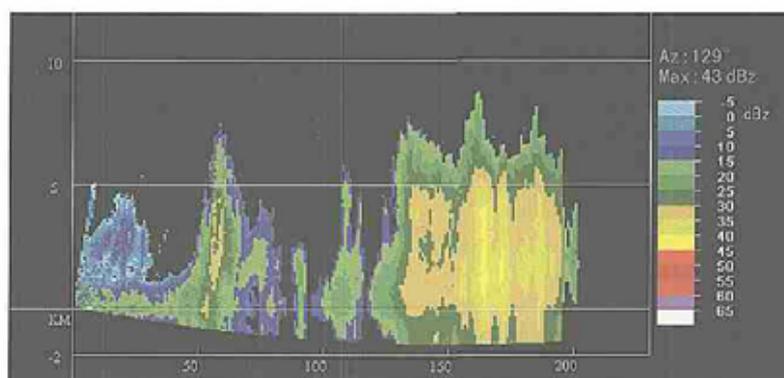


图1 CINRAD/SA 雷达 RHI 反射率产品
(2002年9月11日12:45, 天津, 方位角129°)

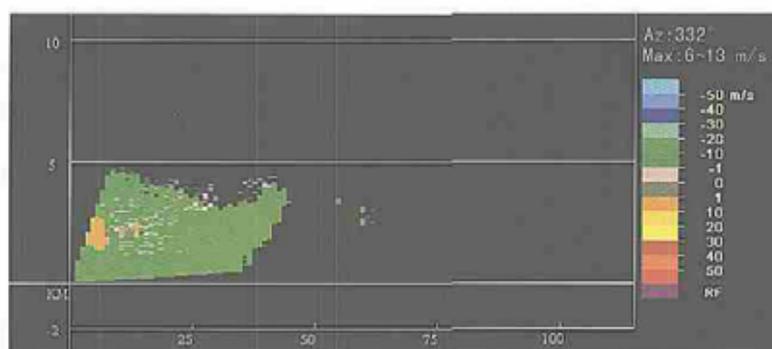


图2 CINRAD/SA 雷达 RHI 速度产品
(2002年10月25日14:57, 天津, 方位角332°)

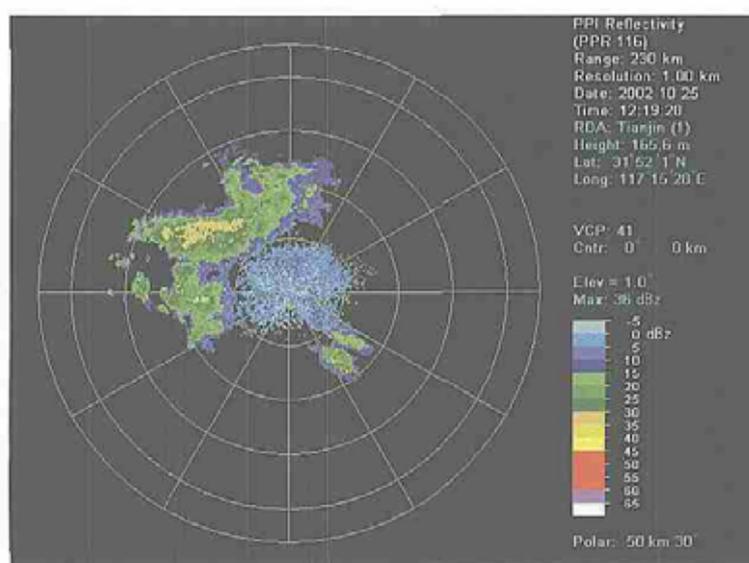


图3 CINRAD/SA 雷达 PPI 反射率产品
(2002年10月25日12:19, 天津, 仰角为1.0°)