

兰州新一代天气雷达数据误差来源分析

刘维成, 尚大成, 张宇飞, 姚正楠

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 新一代天气雷达目前已经成为对兰州市及周边地区短时强烈天气进行监测的主要手段之一。为了方便资料的处理和分析, 提高观测资料准确度, 为预报员和科研人员分析资料提供方便, 通过对雷达数据前端生成和后端处理传输 2 个过程的分析, 找出兰州新一代多普勒天气雷达数据误差的来源, 并进行分析, 发现地物回波、雷达天线增益、测量距离等因素和数据插值、坐标转换、远距离多终端传输等因素分别是前端数据产生过程中和后端数据处理传输过程中数据误差的主要来源。

关键词: 天气雷达; 数据误差; 分析

中图分类号: TN957. 51

文献标识码: A

引言

CINRAD/CC 型 C 波段全相参脉冲多普勒天气雷达 (以下简称 CINRAD/CC 雷达), 主要用于对台风、暴雨、冰雹和龙卷风等灾害性天气实施有效的监测和预警, 具有良好的定量测量降水回波强度的性能, 可以定量估测大范围降水, 还具有准实时的对多种灾害性天气的自动识别和追踪功能。

兰州新一代天气雷达系统于 2002 年 9 月建成投入使用。该雷达的探测范围覆盖了乌鞘岭以东、华家岭以西地区, 包括兰州市及 3 郊县、白银市、武威市天祝县、定西市安定区、通渭县、陇西县、渭源县、临洮县及临夏全境。自建成以来, 增强了对兰州及其周边地区中小尺度天气系统的探测能力和对暴雨、冰雹及其次生水文地质灾害的监测、预报和服务水平。

因数据产生和处理过程中的多种不准确性因素造成雷达数据的误差, 会对后期产品生成以及预报人员对天气系统的分析和预报带来干扰。因此, 研究新一代天气雷达数据误差产生的过程, 确定数据误差的规律就显的尤为重要。

1 雷达数据误差来源分析

通过对雷达全系统的研究, 可以看出整个雷达系统可以分为 2 部分: 基本数据前端产生和基本数

据后端处理。基本数据前端产生部分是雷达以各种探测方式获取数据, 即由雷达系统通过电磁波发射、散射、接收、转换、信号处理等过程产生基本反射率、基本速度和谱宽等基本数据, 它是多普勒天气雷达系统的基础。在基本数据后端处理部分, 雷达将探测获取的基本数据经过一定的计算和处理, 转化成用户可以直接应用的气象产品。当然, 雷达数据误差来源也应当从这 2 部分进行分析。

1.1 基本数据前端所产生的误差

1.1.1 地物杂波

当返回信号是静止的或接近静止, 非气象目标被当成基本数据处理, 就发生了地物杂波污染。地物杂波污染对基本数据的准确性影响很大。由于全部产品和算法是建立在基本数据上的, 所以地物杂波污染既影响基本数据, 也影响导出产品。

兰州四面环山, 雷达站建在市区南面的制高点皋兰山上, 海拔高度 2 189. 5 m。但其东南至西南面 20 ~ 30 km 远有比测站更高的山脉, 主要为兰州阿干镇、西果园附近的马家山、何家山、银山以及兰州西面的关山等山脉, 海拔均在 2 500 m 以上, 从等射束高度图 (图 1) 可以看出, 方位大约分布在 135 ~ 275 的范围内, 造成雷达在 0. 5 仰角扫描时有较强的地物回波, 未滤波强度最大处达到 68. 5 dBz, 滤波后强度最大处达到 52. 5 dBz, 在此范围内雷达仅能观测到较近距离或发展旺盛降水回波的中上部, 距

离较远或发展初期(云顶高度较低)的降水回波则观测不到。

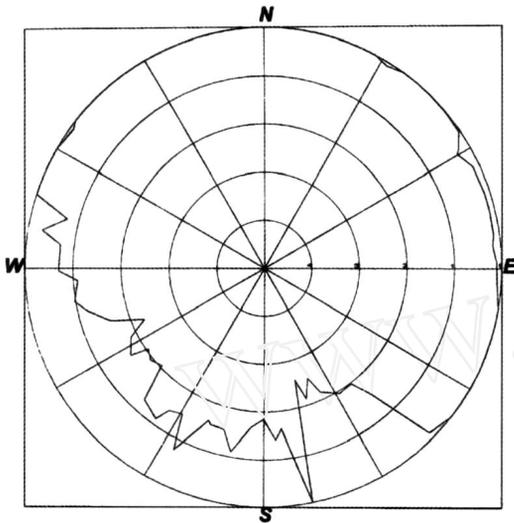


图 1 等射束高度图

Fig 1 Equal beam height of radar

雷达站的西北方向也有较强的地物回波,表现为兰州至西北方向天祝县一条狭长的带状地物回波,回波最强处为乌鞘岭主峰毛毛山(海拔 4 070 m)及其余脉,滤波后强度达到 20~38.5 dBz。西北偏西方向为大坂山余脉,回波强度最大处也达到 25 dBz左右。图 2 为兰州新一代天气雷达在 0.5 仰角做 PP 扫描时的地物回波基本反射率强度在未滤波和滤波后的变化情况和回波基本速度。

1. 1. 2 天线增益误差

雷达天线是电磁波在自由空间传播和传输线传播之间的换能器,将发射机送来的高频电流变换为无线电波并传送到自由空间,又将空间传来的无线电波转变为接收机能够传送的高频电流。雷达天线的功率增益是指天线在某方向上的辐射强度与天线从其信号源所得净功率的比值的 4 倍,它表征天线固有的性质和天线进行能量转换的能力。

根据雷达常数方程:

$$C = 10 \lg \frac{2 \cdot 69^2}{P_t} - 2G + 160 + L \quad (1)$$

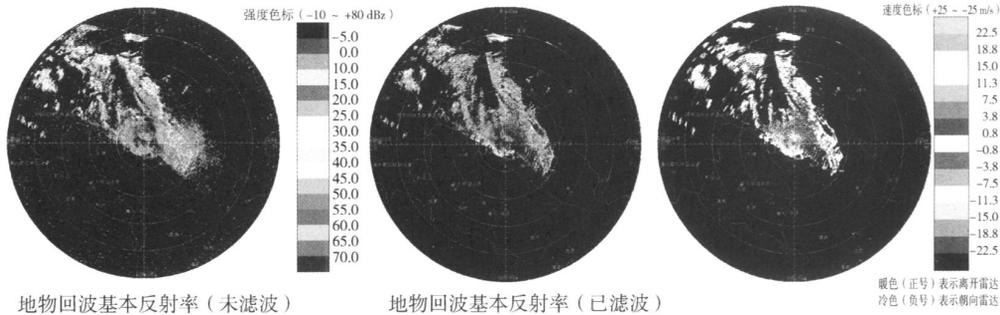


图 2 兰州新一代天气雷达地物回波强度和基本速度

Fig 2 Ground clutter intensity and basic velocity of Lanzhou New Generation Weather Radar (LNGWR)

(其中为 波长, G 为天线增益, P_t 为发射脉冲功率, 为脉宽, 为水平波束宽度, 为垂直波束宽度, L 为损耗)可以看出,天线增益 G 直接影响着雷达回波信号功率。

但在测量天线增益时,由于天线测试场及设备工作状态等不可能达到理想状态,产生喇叭壁损耗计算、源天线对被测天线照射的校正、馈线损耗测量、被测天线瞄准、衰减器读数校正、信号失稳、衰减器读数等方面的误差,使得天线增益数值不确定^[1]。表 1 列出了几次测量雷达天线过程中天线增益的变化情况。

将表 1 的天线增益数据带入公式 (1) 中,可以

看出,2007 年的雷达回波强度比 2002 年的雷达回波强度下降 3 dBz。

表 1 兰州新一代天气雷达 (CNRAD/CC) 天线增益变化情况

Tab 1 Antenna gain variation of Lanzhou New Generation Weather Radar

	2002 年	2005 年	2007 年
天线增益	45.5	44	44

1. 1. 3 距离引起的数据误差

由于降水回波功率随着距离的增加而减小,并且雷达只能显示回波功率大于某一定值(最小可测功率或灵敏度)的回波功率,所以同一降水系统处

于距测站不同的距离,在显示器上的回波强度、尺度等也将发生改变。当系统移近测站时,回波强度增加、尺度变大,好象是发展增强了;当系统离开测站时,回波强度减弱、尺度减小,好象是减弱消散了。因此对于不同距离的回波要加距离订正来进行比较。

1. 1. 4 其他因素引起的误差

在雷达前端数据产生过程中,除了地物杂波污染和雷达天线增益引起的误差外,电磁波在传播过程中的衰减、天线罩衰减、雷达波束下的蒸发、电磁波在大气中的折射、电磁波的反射以及天气气候条件等因素也能引起数据误差^[2]。当然,雷达波长、发射频率、雷达型号、雷达生产批次等因素也能引起数据误差,但针对单一部雷达而言这些误差是无法消除的,因此这里并没有考虑。

1. 2 后端数据处理所产生的误差

1. 2. 1 数据插值处理产生的误差

CNRAD/CC 雷达基数据 (PPI RHI VPPI 数据)排列格式如下:

第 0 个径向的数据:

Z(字) 500 个

V(字) 500 个

W(字) 500 个

第 1 个径向的数据:

Z(字) 500 个

V(字) 500 个

W(字) 500 个

.....

.....

.....

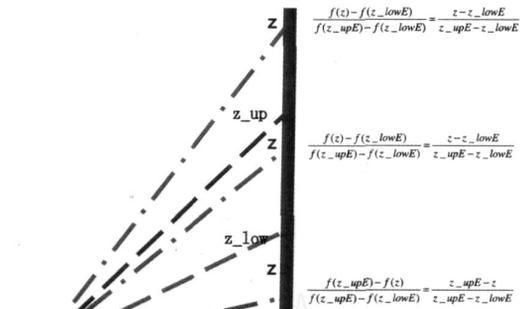
第 512 个径向的数据:

Z(字) 500 个

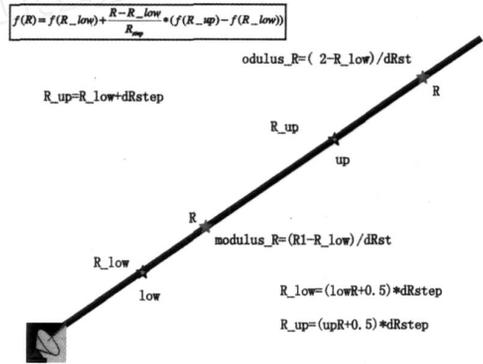
V(字) 500 个

W(字) 500 个

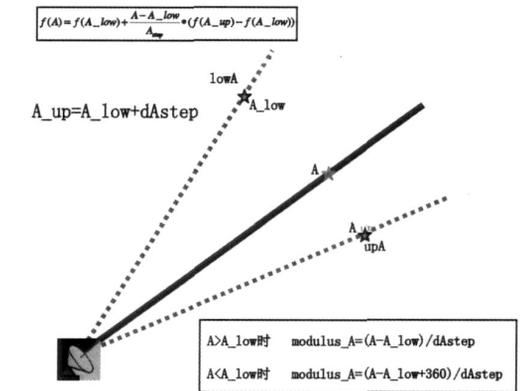
即一个圆周扫描 (PPI VPPI) 或垂直扫描 (RHI) 中包括 512 个数据径向,造成不在一个扫描径向上、垂直高度上、仰角上就没有数据,在显示时会出现很多盲区。这样就必须用插值来还原盲区的数据,由于插值技术的不同选择,会产生不确定的误差。图 3 分别为雷达数据在高度、径向、方位上的插值原理示意图。



(a) 高度插值



(b) 径向插值



(c) 方位插值

图 3 雷达数据插值原理示意

Fig 3 The theory of radar data interpolation

图 4 是雷达 PP 数据产品未插值和数据插值后的回波强度显示对比,浅色方框和深色方框是产生误差部位的对比,从其中就可以清楚地看出在数据插值之后回波强度和回波面积都增加了,这就给预报人员和后期产品的处理产生了一定的影响。

1. 2. 2 坐标转换处理产生的误差

CNRAD/CC 雷达的数据按照极坐标的形式存

* 甘肃省气象局. 兰州新一代天气雷达应用技术手册 [M]. 2003. 9 - 10.

储,坐标以仰角、方位角、径向数据表示;而要显示雷达数据信息,就必须将雷达数据转换为直角坐标。将一个三维数组转换为二维数组,须减少一个变量,

这里将仰角作为定量,将方位角和径向数据用直角坐标 X 、 Y 表示出来,即在不同仰角下,将极坐标形式数据转换为直角坐标数据,即把仰角作为定量,提

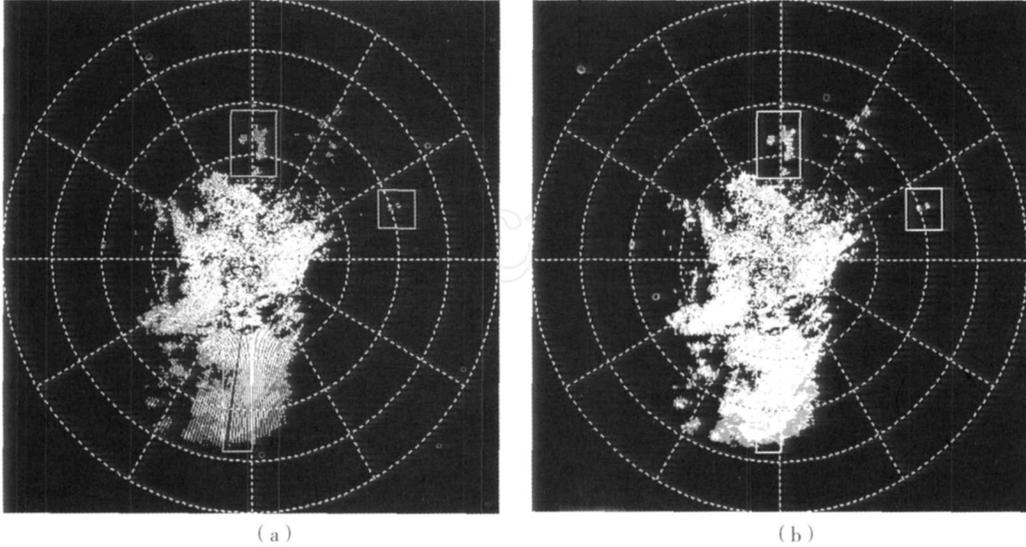


图 4 兰州新一代天气雷达数据未插值 (a)和数据插值后 (b)的回波强度显示对比
Fig 4 Comparison of echo intensity between LNGWR data with and without interpolating

取出一个二维数组,表示为方位角 α 径向数据。若将此二维数组直接显示,相当于直接将方位角作为横坐标,径向数据作为纵坐标进行显示;实际上,我们显示雷达数据时必须根据极坐标与直角坐标之间的转换关系,在雷达数据里找到与直角坐标相对应的反射率值。

在具体实现时,通过数学运算表示

$$\begin{cases} X = r \sin \alpha \\ Y = r \cos \alpha \end{cases} \quad (3)$$

图 5 为笛卡尔直角坐标系和雷达扫描坐标系之间的坐标转换示意图。由于在原始探测数据中本身就有噪声,并且数据在转换时的数学处理也存在着误差,因此转换成直角坐标后就会产生新的数据误差。

1.2.3 多终端系统数据传输过程中产生的误差

兰州新一代天气雷达站建在距兰州中心气象台直线距离 4 km 之外的皋兰山上,为了方便预报员调用雷达资料,同时在雷达站、兰州中心气象台分别安装了 1 套雷达终端监控软件。

由于雷达资料是通过微波天线,从雷达站以微波的形式传输到山下(兰州中心气象台)的终端监控软件。在传输过程中,由于数据压缩解压以及传

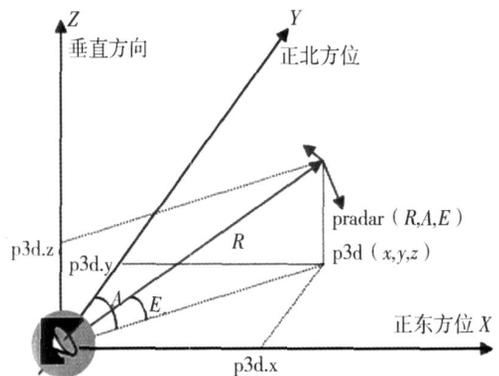


图 5 笛卡尔直角坐标系和雷达扫描坐标系之间的坐标转换
Fig 5 The conversion between rectangular Cartesian coordinate system and radar scan coordinate system

输衰减等因素,导致山下终端数据量有明显的减少。图 6 是山上(雷达站)与山下(兰州中心气象台) 2 套终端的回波强度显示对比情况,可以看出,山下终端显示的回波面积要比山上终端显示的小一些,这样就直接导致预报人员在分析对流性很强的天气过程时,很难掌握天气系统的具体形势,为正确做出预报结论带来不便。

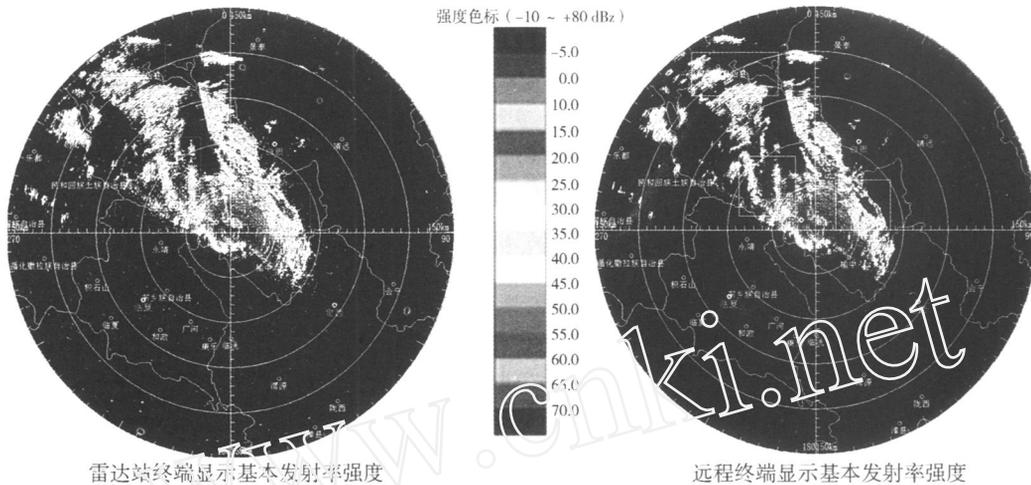


图 6 兰州新一代天气雷达站与远程终端的回波强度显示对比

Fig 6 Comparison of echo intensity between LNGWR station and remote terminal

1.2.4 其他因素引起的误差

在雷达后端数据处理过程中,除了数据插值、坐标转换以及多远程终端传输引起的误差外,显示的分辨率转换、数据压缩解压、数据的精确度等因素也能引起数据的一些不确定误差。同时,天线转速与雷达数据采样水平也能引起数据误差。雷达天线转速越快,采样数据越少,后端数据处理时插值数据就越多,反之亦然。但由于兰州新一代天气雷达工作基本上是 PM1(降水 1)模式下,天线转速是固定的,因此雷达数据采样水平也是一致的,这样由于天线

转速引起的误差就没有可比性,可以不必再讨论。

2 结 论

通过以上分析,可以得出结论:兰州新一代天气雷达数据与兰州及周边地区的天气实况数据存在着一定的误差,误差的来源除了雷达本身的因素外,还与雷达的探空环境、硬件设施、软件开发等因素有关。表 2 给出了兰州新一代天气雷达数据误差各来源对数据的影响情况。

表 2 兰州新一代天气雷达数据误差各来源对数据的影响

Tab 2 Impacts of data error sources on LNGWR data quality

		数据影响	回波面积变化	回波强度变化
数据前端产生引起的误差	地物杂波污染	增加新数据	变大	增大
	天线增益误差	雷达常数减小	不变	减小
	距离变化误差	距离越远回波功率越小	变小	减小
	其他误差	衰减	变小	减小
数据后端处理引起的误差	数据插值误差	插入新数据	变大	不确定
	坐标转换误差	数据位置改变	不确定	不确定
	多终端传输误差	数据减少	减少	不变
	其他误差	影响数据处理	不确定	不确定

参考文献:

[1] 南玉盛. 雷达参数测量的数据处理与误差分析 [J]. 山西气象, 1995(3): 28 - 32

[2] 何建新. 现代天气雷达 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2004. 206 - 207.

Error Sources Analysis of Lanzhou New Generation Weather Radar Data

LIU Weicheng, SHANG Dacheng, ZHANG Yufei, YAO Zhengnan

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: New Generation Weather Radar has become a chief means of monitoring the severe convective weather events occurred in Lanzhou and its surrounding areas. This paper analyzed data error sources in radar front-end and back-end processing. It was found that clutter, radar antenna gain, monitoring distance and data interpolation, coordinate conversion, remote transmission to several terminals are mainly error sources in radar front-end and back-end processing, respectively.

Key words: weather radar; error source; analysis

《干旱气象》2006年影响因子大幅提高

根据清华大学图书馆、中国学术期刊电子杂志社、中国科学文献计量评价研究中心编辑出版的《中国学术期刊综合引证报告(2007版)》,《干旱气象》2006年影响因子为1.023,较2005年的0.418有了大幅提高,遥遥领先其他省级气象刊物,超过《气象》、《气象科技》的影响因子,接近《干旱区研究》(1.086)。《干旱气象》自2003年改刊以来,影响因子由2004年的0.044快速提高到2006年的1.023,学术质量、编校质量、印刷质量全面提升,得到了专家学者、作者、读者的充分肯定和广泛好评。现将《干旱气象》与部分刊物的主要评价指标对比如下:

刊 名	影响因子	总被引频次	他引总引比
《干旱气象》	1.023	249	0.59
《气象科技》	0.759	522	0.62
《气象科学》	0.753	527	0.60
《气象》	1.017	1751	0.70
《气象与减灾研究》	0.439	175	0.29
《气象与环境学报》	0.177	145	0.46
《干旱区资源与环境》	0.807	1036	0.92
《干旱区研究》	1.086	1004	0.77

欢迎广大气象科技工作者积极投稿《干旱气象》,关注《干旱气象》的发展。

(《干旱气象》编辑部)