

多普勒天气雷达径向干扰回波的识别与消除

郭春辉¹, 王旭², 袁微¹

(1. 肇庆市气象局, 肇庆 526000; 2. 成都信息工程学院, 成都 610000)

摘要:多普勒天气雷达在探测气象目标物同时,除了目标物的回波外,一些非目标物的同频电磁波有时也会被散射进入雷达接收系统形成杂波,被称为径向干扰回波。径向干扰回波是污染雷达回波资料的重要因素之一,严重影响雷达资料的定量应用。文章介绍了如何对径向干扰回波进行识别,并给出3种订正方法,即插值法、中值滤波法和多功能插值法,并对这3种方法进行了对比,分析了各种订正方法的优点和局限。实例分析表明通过以上对基数据的处理方法能够对径向干扰回波进行有效的识别和订正,从而获取更准确的雷达基产品及后期导出的二次雷达产品。

关键词:多普勒天气雷达;径向干扰回波;识别;订正

中图分类号:P458 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-009X(2014)02-0024-06

Identification and removal of radial interference echo of Doppler weather radar

Guo Chunhui¹, Wang Xu², Yuan Wei¹

(1. Zhaoqing Meteorological Bureau, Zhaoqing 526000; 2. Chengdu Information Engineering College, Chengdu 610000)

Abstract: Meteorological targets can be detected by Doppler weather radar. Except sounding the echo of meteorological targets, some electromagnetic wave of non-meteorological goals which has the same frequency with the radar also can be scattered into the radar receive system and forms clutter, which is called the radial interference echo. It is one of the important factors that pollutes radar echo data and has a great effect on the quantitative application of radar data. This paper introduces how to identify the radial interference echo. And three amendment methods including interpolation, median filter and multi-function interpolation are described. Meanwhile, the three methods are compared with each other and their advantages and limitations are analyzed. The results demonstrate that the above methods for base data processing can identify and eliminate the radial interference echo efficiently, which help to improve the quality of base products and post-secondary radar exported products.

Key words: Doppler weather radar; radial interference echo; identification; amendment

0 引言

雷达四周地形、大气折射率变化和外来电磁波干扰等因素往往会导致雷达观测数据中杂波的

存在,影响雷达的使用效果。其中,外界电磁波干扰是引起天气雷达回波异常的一个重要原因^[1]。本文针对由远距离单频点电磁干扰造成的回波污染进行研究,干扰回波在径向上呈条辐状分布^[2],

它和降水回波在很多区域是重叠的,这种污染称为径向干扰回波。关于如何消除非气象回波,国内外雷达工作者已经做了许多研究^[3-5],但大部分是硬件方面的研究,本文主要从软件方面来分析干扰回波反射率因子的特征^[6],用回波强度差和有效反射率值的点数两个特征参数分别对其进行识别,在识别基础上可以使用插值法、中值滤波法和多功能插值法对干扰进行剔除。

1 径向干扰识别与订正的原理

1.1 径向干扰回波的识别原理

1.1.1 边缘识别法

选取能反映径向干扰回波特征的一个物理量,即同一距离库上相邻方位回波强度差 D_{dBz} 。存在径向干扰回波的区域,其边缘方位与相邻无干扰回波的方位的回波强度值差异较大;另一方面由于干扰回波一直延伸到雷达最大探测距离,故满足一定回波强度差 D_{dBz} 值的点数比较多^[7],可以用这两个条件来判断干扰回波的具体边缘方位。回波强度差的定义如下:

$$D_{\text{dBz}} = |Z_{i,j} - Z_{i+1,j}| \quad (1)$$

其中, $Z_{i,j}$ 为任意点的回波强度; i 为径向数; j 为距离库数; D_{dBz} 为同一距离库上相邻方位回波强度差。

设定回波强度差值阈值 Z_{max} (其值的选取根据不同地区回波资料有所区别);判断是否为干扰回波点阈值 $Z_{\text{max}1}$,取 20;判断是否为干扰回波的方位阈值 $Z_{\text{max}2}$,一般取 150 ~ 200 (本论文选 180)。统计每个径向回波所有距离库与相邻距离库上的 D_{dBz} 绝对值,若绝对值大于 $Z_{\text{max}1}$,则认为该方位为干扰回波点,在一个径向上这样的干扰回波点数大于阈值 $Z_{\text{max}2}$ 则认为该方位为存在干扰的目标方位。由以上步骤能确定其边缘方位,边缘方位之间的方位则全部都是干扰方位。

1.1.2 径向识别法

对雷达反射率强度值数据进行分析后统计。因为存在径向干扰的方位回波都普遍会延伸到最大探测距离处,且整个径向上比较连续,可以采取统计的方法进行识别。具体做法:选取 2007 年河南 SB 雷达体扫反射率数据,统计径向上有反射率值的距离库数 $j\text{ishu}1$ 和最后 160 个距离库上有反射率值的距离库数 $j\text{ishu}2$,当这两个数值都达到一定的范围内,干扰方位将逐一被识别出来。表 1 是对 2007 年河南雷达数据分析的结果(相同数据没有重复记录),通过分析得出: $j\text{ishu}1$ 应取

255, $j\text{ishu}2$ 应取 88。

表 1 2007 年河南雷达数据分析的结果

序号	干扰方位		序号	非干扰方位	
	$j\text{ishu}1$	$j\text{ishu}2$		$j\text{ishu}1$	$j\text{ishu}2$
1	457	165	19	429	152
2	457	160	20	436	125
3	360	132	21	410	125
4	273	88	22	255	96
5	456	160	23	262	68
6	456	160	24	266	72
7	297	94	25	271	81
8	455	160	26	257	65
9	457	160	27	273	63
10	458	159	28	312	62
11	420	152	29	313	65
12	458	160	30	322	70
13	457	160	31	295	62
14	262	89	32	291	64
15	288	89	33	270	68
16	331	112	34	341	61
17	352	125	35	333	61
18	446	154			

1.2 径向干扰回波的订正原理

1.2.1 插值法

在对径向干扰回波进行识别时,确定其具体方位后,先将这些方位的回波剔除,然后对同一距离库 $Z_{i,j}$ 上每个区域的第一个干扰方位向的上一个方位 $Z_{i-1,j}$ 和最后一个干扰方位的下一个方位 $Z_{i+n,j}$ (n 为干扰方位的个数,下同) 有无反射率进行判断,如果这 2 个位置上都有反射率,即 $Z_{i-1,j}$ 和 $Z_{i+n,j}$ 都有值,则 $Z_{i,j}$ 取 $Z_{i-1,j}$ 和 $Z_{i+n,j}$ 的平均值;如果这 2 个位置上都没有反射率,则 $Z_{i,j}$ 直接赋 -32 dBz;如果这 2 个位置只有其中一个有反射率值,则直接将这个值赋给 $Z_{i,j}$ 。

1.2.2 中值滤波法

在对径向干扰回波进行识别,确定其具体方位基础上,先将这些方位的回波剔除,然后对反射率 $Z_{i,j}$ 周围 8 个点中去掉干扰方位上 2 个点 $Z_{i,j-1}$, $Z_{i,j+1}$, 还剩 6 个点 $Z_{i-1,j-1}$, $Z_{i-1,j}$, $Z_{i-1,j+1}$, $Z_{i+n,j-1}$, $Z_{i+n,j}$, $Z_{i+n,j+1}$ 。对这 6 个点有无反射率值进行判断,如果有值的点数小于等于 3 个,则 $Z_{i,j}$ 直接赋 -32 dBZ;如果点数大于等于 4 点,则对这些有值的点进行从大到小排列,如果点数为偶数就取中间 2 个值的平均值赋给 $Z_{i,j}$,如果点数为奇数就取中间值的值直接赋给 $Z_{i,j}$,作为 $Z_{i,j}$ 的反射率值。

1.2.3 多功能插值法

在对径向干扰回波进行识别时,确定其具体方位后,先将这些方位的回波剔除,然后对每一个区域单独处理。先对每一区域的边界进行处理,

令每个干扰区域第一个干扰径向为 $fangw_1$, 最后一个干扰径向为 $fangw_2$, 对径向 ($fangw_1-4$) 从第 0 个距离库到最后一个距离库有无反射率值进行判断, 如果对某一距离库上径向 ($fangw_1+4$) 上有值, 则对同一距离库上径向为 ($fangw_1+3$)、($fangw_1+2$)、($fangw_1+1$) 的值不做任何处理; 如果对某一距离库上径向 ($fangw_1-4$) 没有值, 则对同一距离库上径向 ($fangw_1-3$)、($fangw_1-2$)、($fangw_1-1$) 上的值直接赋值 -32。对右边界 $fangw_2$ 同样进行这样的预处理。预处理后能有效的对干扰区域边缘的毛刺进行剔除, 同时又不影响对大范围降雨的削弱。在对体扫数据进行预处理后, 使用中值滤波法订正干扰回波。

2 径向干扰识别与订正的实例分析

2.1 径向干扰回波的识别实例

2.1.1 边缘识别法

(1) 实例 1

选取 2013-07-14 广东肇庆 SA 雷达体扫资料, 图 1 为其反射率回波图, 在 315° 区域存在径向干扰回波。

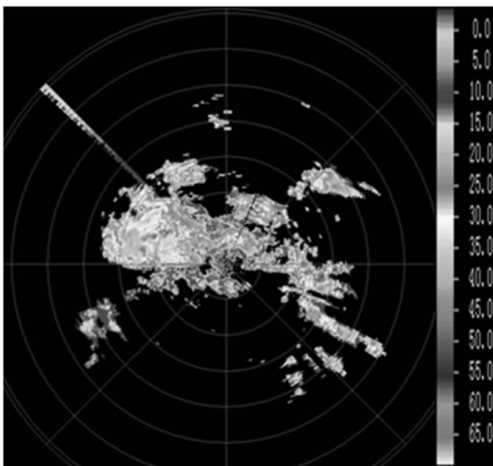


图 1 7月14日广东肇庆原始回波图

首先计算同一距离库上相邻方位回波强度差 D_{dBz} , 如前所述, 设定该个例回波强度差值阈值 Z_{max1} 为 20, 判断是否为干扰回波方位阈值 Z_{max2} 取 180。统计径向上所有距离库与下一个径向的同一距离库的差值, 若该值大于 20 dBz, 则认为存在干扰回波点, 这样的干扰回波点数大于阈值 180 则认为该方位为存在干扰的目标方位, 即边缘方位, 那么边缘方位之间的方位都是干扰方位。由以上步骤能确定存在径向干扰回波区域的边缘方位为 315° 和 316° , 因此最终的目标方位为 315° 和 316° 共个目标方位。

(2) 实例 2

选取 2007-07-02 河南驻马店 SB 雷达体扫资料, 图 2 为其反射率回波图, 在 63° 、 228° 左右 2 个区域存在径向干扰回波。

识别方法与上例一样, 最终可以看到, 方位 228° 、 229° 能够准确的识别出来但是方位 63° 由于点数太少以至于不能够识别, 原因是达不到之前预设的 2 个阈值 Z_{max1} 和 Z_{max2} 。

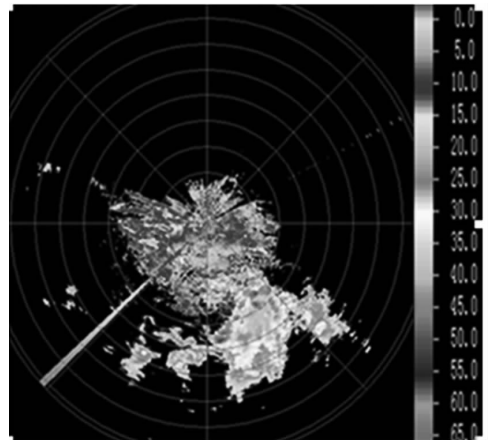


图 2 7月2日河南驻马店原始回波图

2.1.2 径向识别法

(1) 实例 1

选取 2013-07-02 广东湛江雷达关于台风“温碧特”的体扫资料, 图 3 为其雷达反射率回波图, 在 327° 左右一个区域存在径向干扰回波。

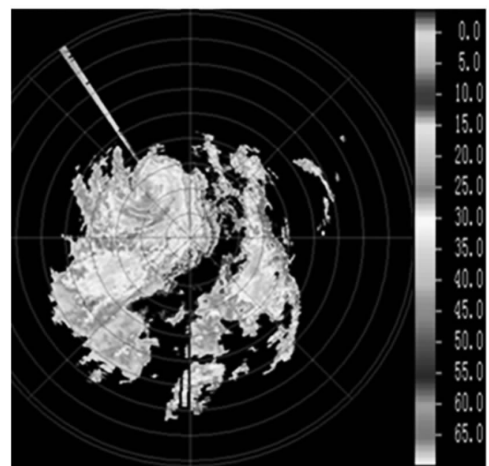


图 3 7月2日广东湛江原始回波图

首先计算径向上有反射率值的个数阈值为 $jishu1$, 设定为 255; 然后计算径向上最后 160 个距离库上有反射率值的个数阈值为 $jishu2$, 设定为 85。如果某个径向上的 $jishu1 > 255$ 且 $jishu2 > 85$ 则被认为是干扰径向。由以上步骤能确定存在径向干扰回波区域方位为 327° 和 328° , 共 2 个目标方位。

(2) 实例 2

选取 2007-07-02 河南驻马店 SB 雷达体扫资料,其雷达反射率回波图见图 2,在 63°、228°左右 2 个区域存在径向干扰回波。

识别方法同上,最终可以看到:径向 228°、229°能够准确的被识别出来;方位 63°方向则由于点数太少而不能够被识别出来。

2.2 径向干扰回波的订正实例

2.2.1 插值法

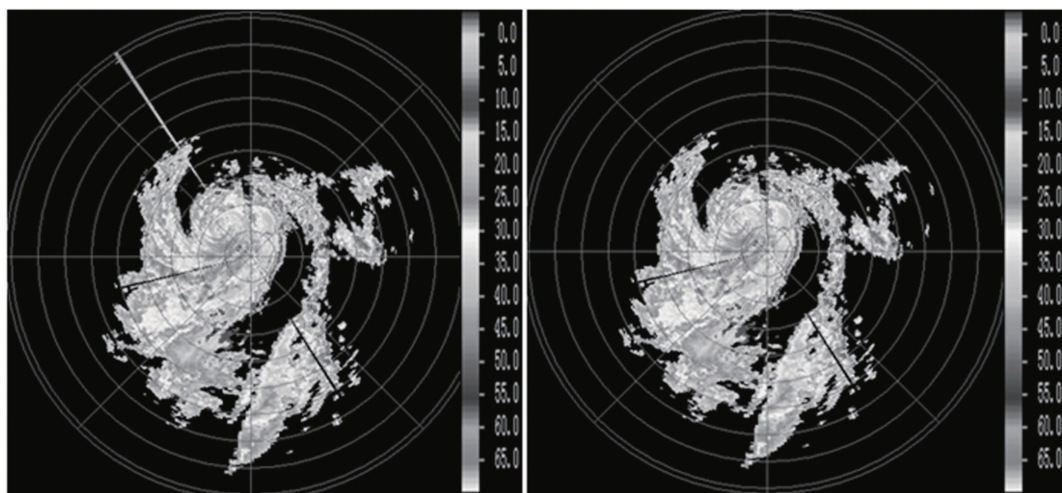
(1) 实例 1

选取 2013-07-02 广东湛江雷达关于台风“温碧特”的体扫资料,图 4(a)为其反射率回波图,雷达西北方向有一个区域存在径向干扰回波,他们

和降水区域混合在一起。首先通过径向识别方法识别出 328°这个方位存在径向干扰,再将这个方位的回波剔除,最后使用插值法对其进行回波填充。图 4(b)为填充后的效果图,填充效果较好。

(2) 实例 2

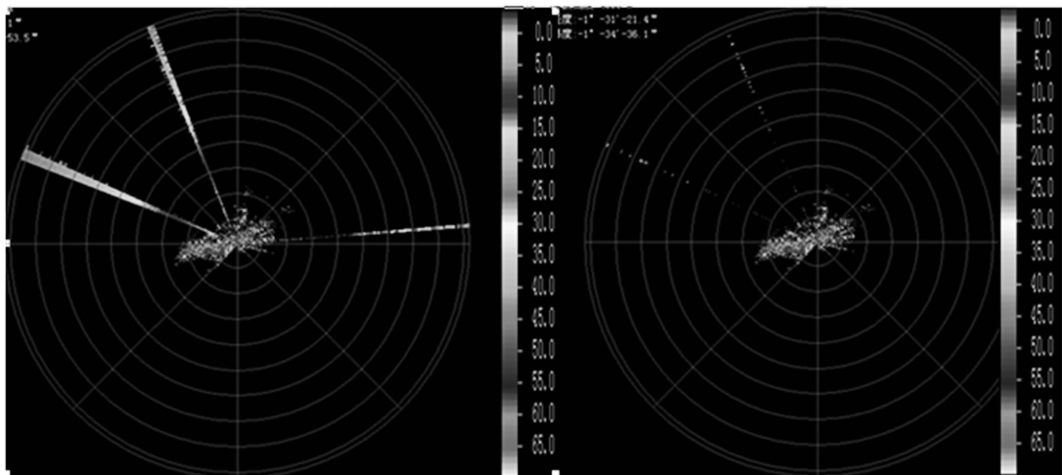
再选取 2007-07-10 河南三门峡的 SB 雷达体扫资料,如图 5(a)所示。首先通过径向识别方法识别出 86°、293°、294°、295°、339°和 340°共 6 个方位存在径向干扰回波,对其进行插值处理后发现原先存在干扰的 2 个区域边缘出现 2 条断断续续的长线,这是因为在 295°的下一个方位,339°的上一方位出现了一些毛刺导致订正效果不理想,如图 5(b)所示。



(a) 订正前

(b) 订正后

图 4 广东湛江雷达基数据产品订正前后对比



(a) 订正前

(b) 订正后

图 5 7 月 10 日河南三门峡雷达基数据产品订正前后对比

2.2.2 中值滤波法

(1) 实例 1

选取 2007-07-06 河南南阳 SB 雷达体扫资

料,图 6(a)边为其原始雷达回波图,在雷达东北面有一个区域被径向干扰回波污染,他们和东北部的降水区域混合在一起。在识别出 69°及 70°

共 2 个方位存在径向干扰回波基础上,使用中值滤波法对其进行去除。图 6(b)为滤波后的效果图,无降水混叠区域的干扰全部被很好的订正,但与降水混合在一起的也很好得到订正。

(2) 实例 2

再次选取 2007-07-03 三门峡 SB 雷达晴空体扫资料,图 7(a)为其原始雷达回波图,雷达西北、东边有 3 个区域存在径向干扰回波。首先通过识别方法识别出 85°、292°、293°、294°、295°、339°和 340°这 7 个方位存在干扰回波,同时在 338°和

341°这 2 个方向上存在少量的毛刺。先将这个方位的回波剔除,使用中值滤波法对其进行回波填充。图(b)为处理后的效果图,可以看到原先这个方位填充效果较好,但是 338°和 341°这 2 个方位由于存在少量的毛刺使整个处理效果没有达到预期的目的。

径向干扰回波区域边缘会存在有毛刺和无毛刺的两种不同情况,用中值滤波法得到结论:在晴空模式和降雨模式下,用中值滤波法效果较好,但是干扰方位边缘有毛刺,毛刺难以剔除。

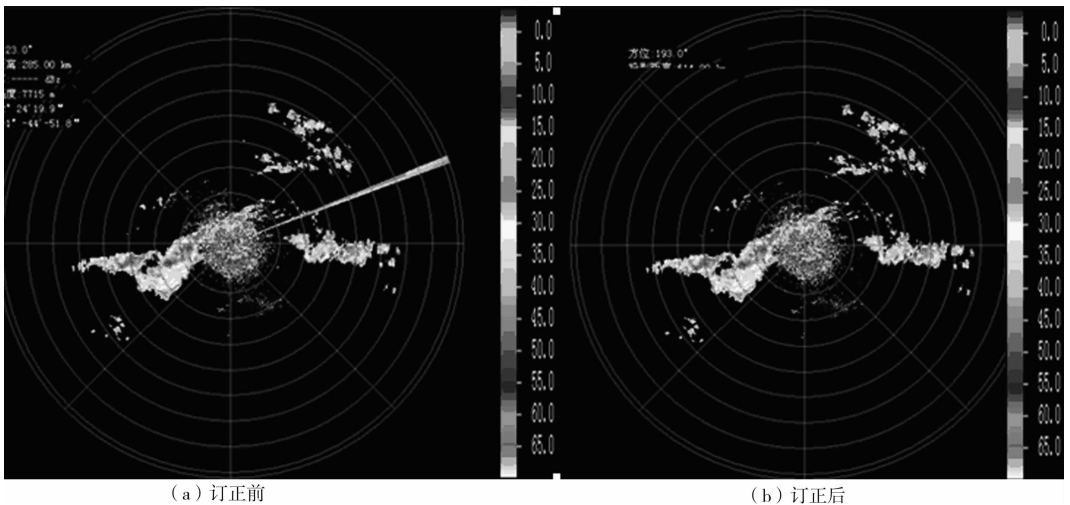


图 6 7 月 6 日河南南阳雷达基数据产品订正前后对比

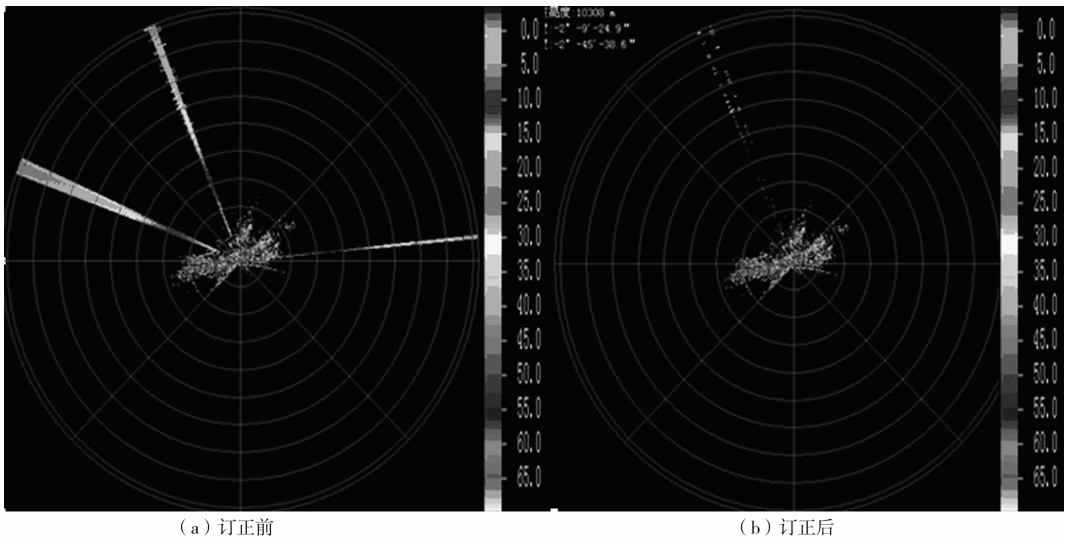


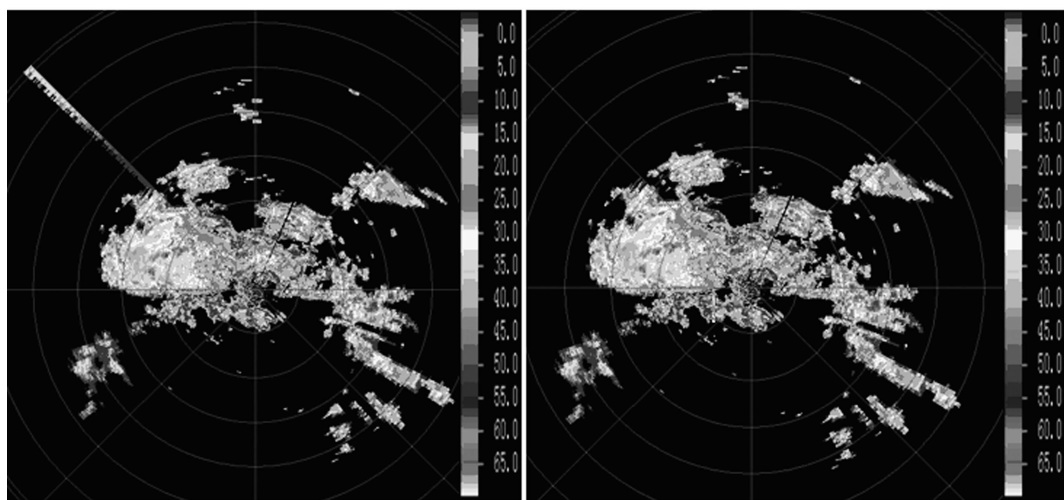
图 7 7 月 3 日三门峡雷达基数据产品订正前后对比

2.2.3 多功能插值法

(1) 实例 1

2013-07-14 广东肇庆 SA 雷达体扫资料,图 8(a)为其原始雷达反射率回波图。在雷达西北面有一个区域被径向干扰回波污染,并与离肇庆雷达站 150 km 的降水区域混合在一起。在识别出 315°及 316°共 2 个方位存在径向干扰回波基础

上,使用多功能插值法对其进行剔除。图 8(b)为滤波后的效果图,无降水混叠区域的干扰全部被很好的订正,降水混合在一起的也很好得到订正,但是雷达扫描边缘回波点比较稀疏的地方由于预处理过程使这部分降雨量有少量的削弱,使真实回波变小,降雨量随之减少。



(a) 订正前

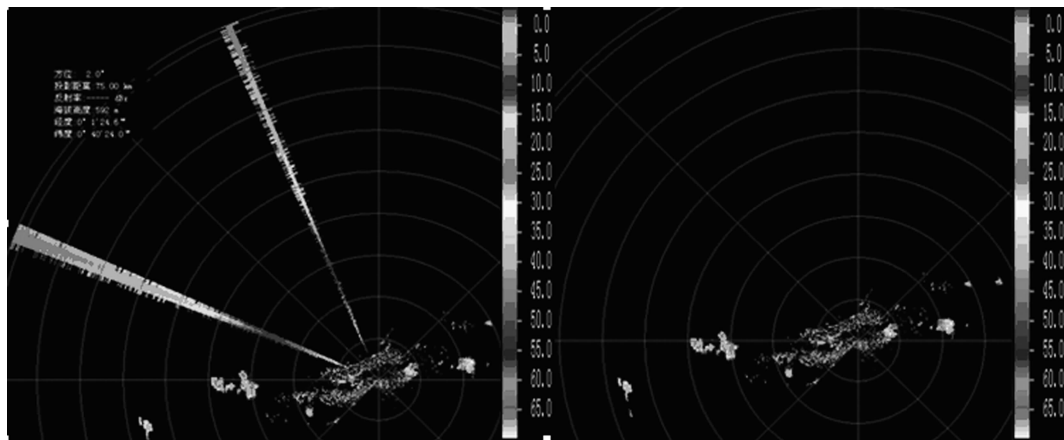
(b) 订正后

图 8 7月14日广东肇庆雷达基数据产品订正前后对比

(2) 实例 2

再选取 2007-07-08 河南三门峡 SB 雷达晴空模式体扫资料,如图 9(a)所示。可以看到这一天的干扰回波区域边缘毛刺较多,首先通过径向识别方法识别出 293°、294°、295°及 339°共 4 个方

位存在径向干扰回波,可以看到在方位 293°的左边临近方位 292°、338°和 340°这 3 个方位存在毛刺,使用多功能插值法后可以看到,不仅原来的干扰方位被订正了,同时毛刺也很好地得到的订正,订正图如图 9(b)所示。



(a) 订正前

(b) 订正后

图 9 7月8日河南三门峡雷达基数据产品订正前后对比

通过以上 2 个例子可以看到回波径向干扰可能出现在晴空模式图中,也可能出现在降雨模式图中,径向干扰方位边缘可能比较清晰,也可能带有不定量的毛刺。多功能插值法适用于对晴空和降雨不同模式时干扰的订正,对有降水特别是降水回波与径向干扰回波混叠的区域,其干扰订正也比较好,降雨得到了很好的保留,同时对干扰边缘有毛刺的情况下也有很好的订正效果。但是对雷达扫描边缘回波点比较稀疏的地方由于预处理过程会使这部分回波微量削弱,会使真实回波减弱一点。

3 结论

(1) 边缘识别法是利用相邻方向回波差值有明显的区别来准确识别出干扰回波的边缘方位,从而确定其具体方位。但是若干扰径向上存在的有效点数太少则无法识别出该干扰径向。

(2) 径向识别法是利用干扰方位上有反射率的点数,与临近最大距离库有反射率的点数,比没有干扰的方位的点数要大的多,以此来准确识别一个干扰方位,缺点就是点数太少的方位无法识别。

(3) 若干扰区域边缘比较清晰,较适合使用

(下转 32 页)

表 1 常见流量测验方法比较表

名称	原理	优点	缺点	适用范围	备注
浮标法	以浮标流速表征河流流速	实用性强 适应性强	精度较差	适用范围广泛	特别适用于高洪时期
ADCP	对水中悬沙连续发射超声波,利用多普勒效应接收悬沙的反射波	测验时间短、分辨率高、精度好、资料完整、信息量大等	站址要求严格;在水位变化急剧、含沙量大等情况下,可能带来较大的误差;存在盲区	适用范围较广泛	是实现江河测流自动化的、最有前途的方法之一
流速仪法	利用转子的转速与水的流速之间的相关关系,得到水的流速而推求流量	有非常成熟的实际操作经验,成果可靠,应用广泛	需要将流速仪固定在测量断面上,且测流时间较长,安全性较差	适用于河流流速较小的时候	常作为一种基础方法用于比其他测流方法

3 结束语

综上所述,目前在断面流量测验中存在的核心问题是流速测量的精度与安全性、可操作性以及经济性不相适应的问题。近年来,不断有新技术新方法引入,尤其是电子信息技术的飞速发展对流量测验方法变革影响深远。解决的方向是将高精度的测速技术特别是声测速技术和光测速技术应用到测流装置上,并引用数据控制、传输和计算系统,即时对测流装置进行远程控制,实现可回收多次使用,降低使用成本;对测得的数据进行实时的传输和计算,提高自动化程度和安全性。

目前,在断面流量测验方法及其改进和新测验方法方面的研究和尝试,虽然还不能完全解决高洪流量测验中存在的难题,但已经有了一些可喜的理论性成果。科学技术的发展与断面流量测验方法的实践,为断面流量测验的研究提供了更多新的思路和发展途径,但还需要进一步总结实际操作经验。将传统的测流方法原理与现代高新

技术相结合,研制精确、安全、经济、可靠的测流装置是水文测验今后的重点研究方向。

参考文献:

[1] 李学勤,史秀光,吕文婷. 几种特殊情况下流量测验方法探讨[J]. 农业与技术,2010,30(5):71-72.
 [2] 石玉和,石元旭. 用正交试验法优选测流方案[J]. 科技信息,2008(21):231-234.
 [3] 赵志贡,岳利军,赵彦增,等. 水文测验学[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.
 [4] 李效贤. 大型渠道超声波法与流速仪法测流比对试验[J]. 中国农村水利水电,2006(8):107-108.
 [5] 王和荣. 流量测验误差浅析[J]. 水文水资源,2012(5):24-26.
 [6] 冯建军. ADCP 原理及数据处理方法[J]. 港工技术,2007(3):53-55.
 [7] 刘双林,宋树东. ADCP 定点测流方法应用[J]. 人民长江,2009,10(20):79-81.
 [8] 韩友平,黄双喜,魏进春. ADCP 在长江内河流量比测验与精度研究[J]. 水利水文自动化,2005(3):1-12.

(上接 29 页)

插值法而边缘有毛刺的情况下就不太适合用这种方法,毛刺难以剔除。

(4) 中值滤波法对晴空模式和降雨模式的径向边缘无毛刺的径向干扰订正效果好,但是出现干扰方位边缘有毛刺的情况,毛刺难以剔除。

(5) 多功能插值法同时对径向边缘有毛刺和没有毛刺的不同情况都能很好的订正,但是对雷达扫描边缘回波点比较稀疏的地方,该方法会使这部分稀疏的边缘回波微量削弱,会对真实回波有微量减弱。

径向干扰回波识别与订正问题仍然比较复杂,多学科理论、多算法和多观测资料的综合应用是十分必要的。

参考文献:

[1] 江源. 新一代天气雷达气象回波与非气象回波识别方

法的研究[D]. 中国气象科学研究院硕士学位论文,2008.
 [2] 俞小鼎. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006.
 [3] BERENQUER M, SEMPERE T D, CORRAL C, et al. A fuzzy logic technique for identifying nonprecipitating echoes in radar scans[J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2006, 23(9):1157-1180.
 [4] BERENQUER M, SEMPERE T D, SNCHEZ D R, et al. Identification of clutter echoes using a fuzzy logic technique[C]//Preprints, 32d Conf. on Radar Meteorology, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, P4R, 2005, 1.
 [5] 周红根,柴秀梅,胡帆,等. 新一代天气雷达回波异常情况分析[J]. 气象,2008,34(6):112-115.
 [6] 谭浩强. C 语言程序设计[M]. 气象:清华大学出版社,2008.
 [7] 张培昌. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2008.