

利用一种自动识别算法移除天气雷达 反射率因子中的亮带*

陈明轩 高峰

(中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089)

摘 要

该文介绍了一种自动识别和移除雷达反射率因子资料中亮带的算法,并对该算法进行了初步测试。该算法利用的是插值到直角坐标系中的雷达反射率因子资料,其配置和运行也相对简单,但却对移除亮带比较有效。首先,设定一套雷达反射率因子垂直廓线的理想模板,这些理想的模板能够在最大程度上反映不同亮带存在区域的雷达实际反射率因子的垂直廓线特征。然后,在水平方向每个点上,进行理想模板和实际反射率因子垂直廓线在垂直和水平两个方向上的拟合和差异计算,来自动识别雷达反射率因子中存在的连续亮带区域。最后,利用亮带之上和亮带之下的反射率因子值对亮带中的反射率因子值进行插值纠正,就可以移除亮带。利用位于天津塘沽的我国新一代天气雷达(CINRAD/SA)的反射率因子资料,通过个个分析和准业务运行试验,均表明这个简单算法可以识别和移除绝大多数影响雷达定量降水估计的反射率因子亮带区域,但是实际雷暴区域的反射率因子特征受到该算法的影响比较小。计算分析还表明,在京津地区的初夏,上述亮带区域一般容易出现在2.5 km左右的高度处。

关键词: 雷达反射率因子; 亮带; 识别; 移除

引 言

在降水过程中,下落的冰雪粒子会逐渐融化,在0℃层附近产生大量外层包含着液态水的冰粒子。这些正好穿过凝结层而位于融化层中(0℃层附近)的冰水混合粒子反射的雷达回波很强,其强度比融化层之上凝结层中的冰雪粒子和融化层之下的液态雨滴都大得多。因此,在雷达强度回波图上会产生特殊的高值区域,通常人们把这个区域叫做“亮带”(bright band)^[1-2]。

亮带使得雷达在气象和水文中应用变得复杂化,特别是在较大范围的降水估计中,亮带有时严重影响雷达的定量降水估计。当雷达探测较远距离的降水时,这个问题变得更加严重。因为在距离比较远时,最低仰角的雷达波束所能探测到的区域均位于亮带层中或者在亮带层之上,雷达不能探测到亮带层之下的降水区。因此,就这种形势下如何改进

雷达定量降水估计,人们已经做了大量的工作^[3-6]。

另一方面,虽然当亮带出现时表明对流已经处于消散阶段,亮带的存在对分析对流特征具有一定的指示意义。但是,用体扫雷达资料详细研究雷暴和对流天气特征的工作有时难免也会受到亮带的影响,即使可以获得亮带层之下比较有效的雷达资料,这种影响有时也不能完全消除掉。

另外,利用雷达回波追踪、识别和外推算法对雷暴进行临近预报的工作,也会受到亮带的干扰,有时对预报结果影响较大。

以往人们在业务和研究当中使用雷达资料时,总是设法避免亮带的干扰,或者用手工编辑雷达资料的方法去移除亮带区域。但是,手工编辑雷达资料移除亮带是非常费时的,并且在实时业务预报状态下也是不现实的。因此,需要开发能够自动识别并且移除体扫雷达资料中亮带的算法。Sanchez-Diezma等^[7]开发了一个这样的算法,可以自动识别和移除原始极坐标格式雷达资料中的亮带,但该算

* “十五”国家科技攻关计划课题“奥运气象保障技术研究”(2002BA904B05)、2002年北京市重大科技项目“奥运会气象保障科学技术试验与研究”(H020620190091)和“十五”国家科技攻关计划课题奥运科技专项“北京奥运会国际天气预报示范计划关键技术研究”(2003BA904B08)共同资助。

2005-05-24收到,2005-10-17收到再改稿。

法设置和计算起来比较复杂。美国也正在开发和测试应用于 WSR-88D 雷达的亮带自动检测算法,用来识别雷达反射率因子中亮带的高度和厚度,并对算法进行了应用试验,取得了较大进展^[8]。

目前,随着我国新一代多普勒天气雷达网的建设 and 逐步完善^[9],雷达资料的加工处理、质量控制和各种应用算法的研究已经成为我国气象科研工作者的紧迫任务。为此,中国气象局制定了《中国气象局新一代天气雷达应用开发指南》^①,0℃层亮带的自动识别及订正算法是其主要研究内容之一。

本文将介绍一种设置相对简单的亮带自动识别和移除算法,使用天津塘沽的我国新一代天气雷达 CINRAD/SA 所探测的体扫形式的反射率因子资料,经过插值并转换到了规则的三维直角坐标系中,其水平和垂直分辨率最高为1 km,垂直方向从0.5 km到19.5 km共20层。这里需要指出的是,下文图中反射率因子小于-15 dBz 的值是由于资料插值造成的,一般不具有特别的意义。

1 亮带信号的识别和移除

从雷达反射率因子来看,一个亮带区域一般都存在两个明显的特征:①反射率因子垂直廓线在某一高度附近存在一明显凸起的特征,也就是在亮带层中,雷达反射率因子值明显增大;②在某一垂直高度处(亮带层中),一些连续水平(或者接近水平)区域中的雷达反射率因子值基本保持均匀不变,且厚度较小。图1展示了一个统计得出的亮带区域中典型的反射率因子垂直廓线特征,在亮带出现的高度附近,雷达反射率因子的值明显升高,达到40 dBz左右。彩图2是2004年6月22日15:10(世界时,下同)天津雷达0.5,1.5,2.5,3.5 km和4.5 km高度上的反射率因子值。由彩图2可以看出,在图的左上方,2.5 km高度处是明显的水平均匀的高亮反射率因子值,达到40 dBz左右(彩图2c),而在其他高度处(彩图2a,b,d和e),反射率因子值则明显较低,表明在2.5 km高度处左上方的反射率因子是亮带区域。而在彩图2的右下方,从0.5 km到4.5 km的各个高度上,反射率因子值均保持比较高的值,且逐渐增大,存在几个大的反射率因子中心,反射率因子的高值延

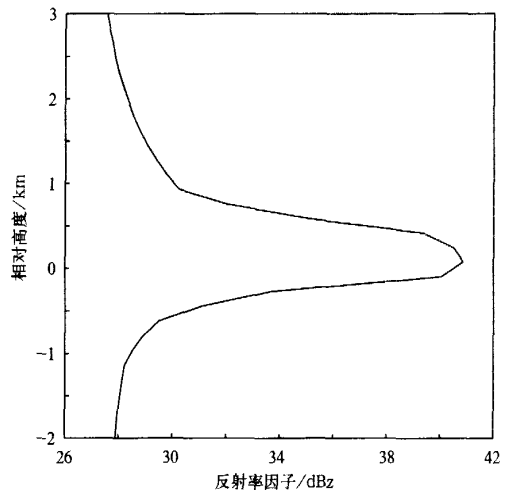


图1 亮带存在区域的雷达反射率因子垂直廓线
(纵坐标是相对于反射率因子峰值所在高度的相对高度)

伸到较高的高度,表明这是真实的雷暴区域,反映的是雷暴单体的真实特征。另外,从后面的分析也可看出,亮带较易出现在2.5 km左右的高度处。

1.1 反射率因子垂直廓线的识别

该算法首先识别具有亮带特征的反射率因子垂直廓线。

第一步,定义能够反映雷达反射率因子垂直廓线特征的理想模板。因为该算法独立地考虑雷达扫描区域内水平方向上的每一个点,并且是通过类型识别的方法来寻找亮带存在的证据。为此,首先需要设置一套算法所使用的“模板”,这些模板定义了理想化的雷达反射率因子垂直廓线特征,并且尽可能地与雷达探测到的实际反射率因子垂直廓线相接近。图3给出了一些模板的例子。这里需要指出的是,要定义能较好地反映实际雷达反射率因子垂直廓线的模板,需要对该雷达的实际反射率因子进行一些垂直特征统计分析,但是,从下面的分析可以看出,一定范围内的模板误差不会对亮带的识别和移除产生很大影响。

第二步,在水平方向的每个格点位置上,算法都将模板和雷达探测的实际反射率因子垂直廓线进行拟合。拟合是通过计算模板和实际反射率因子垂直廓线间的倾斜偏差以及二者之间的最小二乘回归相关而得到。因为已经定义了不同情况下的多个模板(如图3),所以亮带的强度也可以变化,算法将选择

①<http://dot.cma.gov.cn/news/2004/143.htm>.

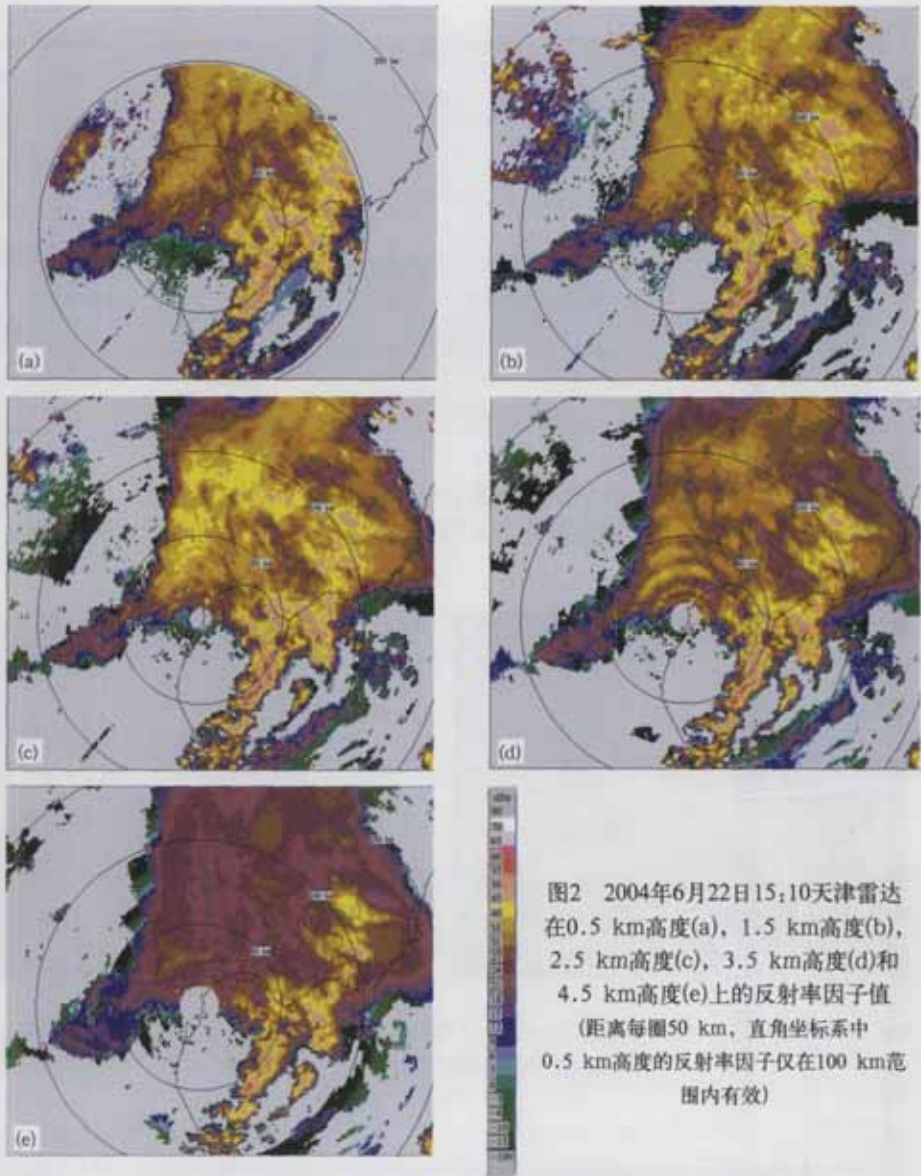


图2 2004年6月22日15:10天津雷达在0.5 km高度(a), 1.5 km高度(b), 2.5 km高度(c), 3.5 km高度(d)和 4.5 km高度(e)上的反射率因子值 (距离每圈50 km, 直角坐标系中 0.5 km高度的反射率因子仅在100 km范围内有效)

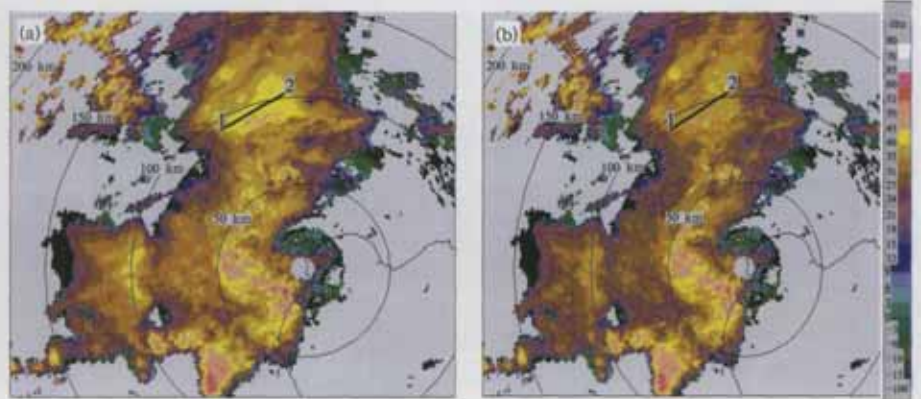


图4 2003年6月27日14:48天津雷达2.5 km高度的反射率因子(a)和移除亮带后的反射率因子(b) (从1到2是图5垂直剖面的位置)

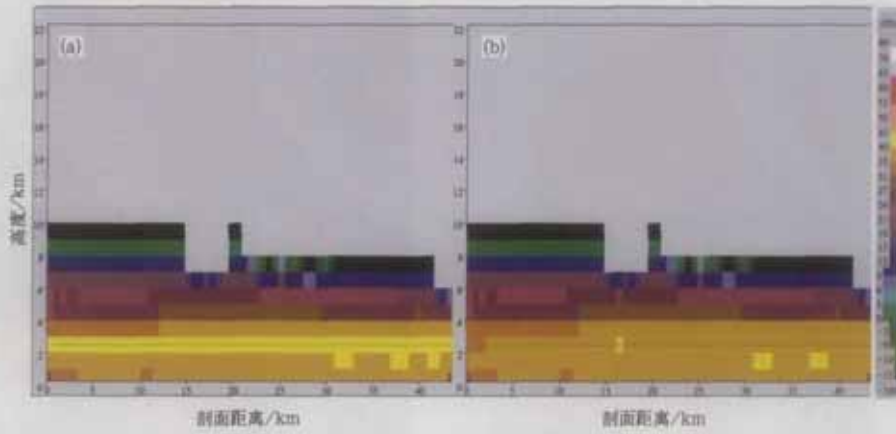


图5 雷达反射率因子剖面(沿图4的1到2)

(a) 沿图4a反射率因子所做的剖面, (b) 沿图4b移除亮带后的反射率因子所做的剖面

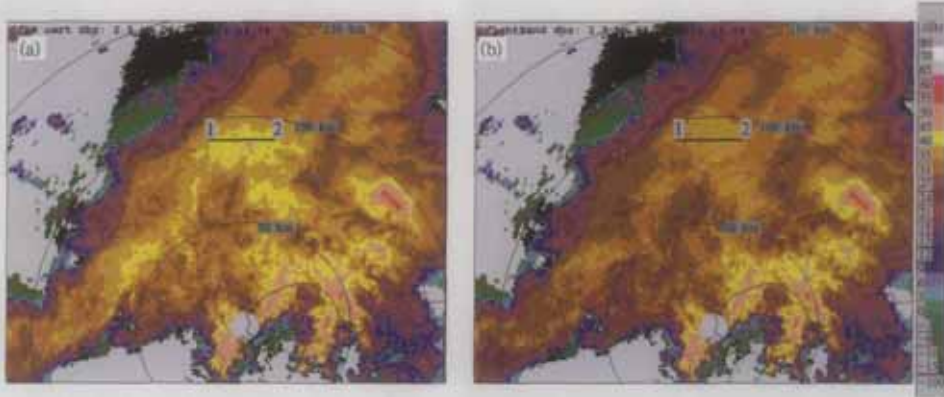


图6 2004年6月22日14:34天津雷达2.5 km高度的反射率因子(a)和移除亮带后的反射率因子(b)
(从1到2是图7垂直剖面的位置, 其他说明同图4)

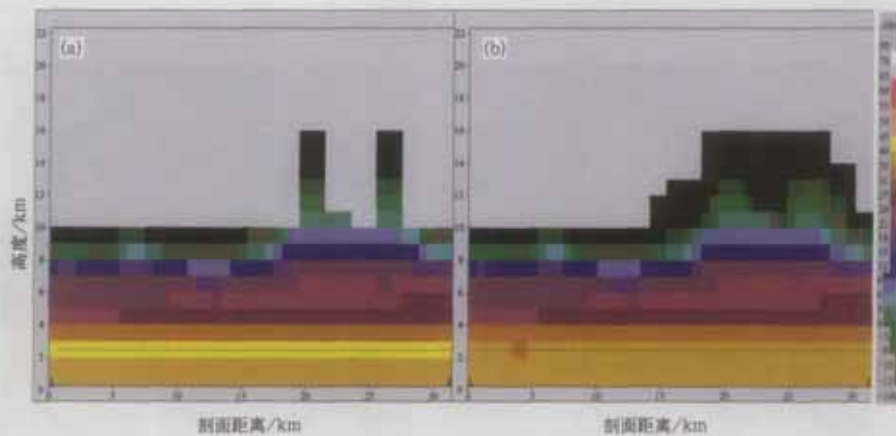


图7 雷达反射率因子剖面(沿图6的1到2)

(a) 沿图6a反射率因子所做的剖面, (b) 沿图6b移除亮带后的反射率因子所做的剖面

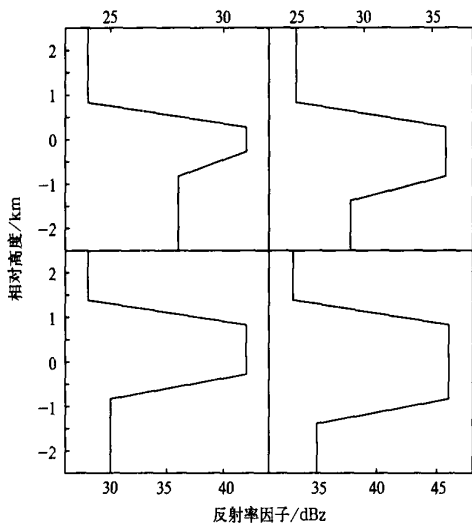


图3 反映雷达反射率因子垂直廓线的模板示例
(纵坐标是相对于反射率因子峰值所在高度的相对高度)

并记忆拟合最佳的模板。另外,在算法的设计中,允许模板可以在垂直方向上进行上下浮动以获得最佳的拟合,因此,在计算中不需要预先假定亮带的高度。总之,如果某个模板的形状能够很好地反映实际反射率因子垂直廓线基本特征,通过最小二乘回归相关计算,该模板也将会拟合得很好。在每个水平格点上,模板的所有最佳拟合信息包括最佳拟合发生的高度以及使用的模板号都会被算法记录下来,以供在亮带信号的进一步识别和移除中使用。

1.2 寻找连续的亮带区域

在对流层中,凝结层的倾斜是趋向于比较平缓的。因此,存在亮带的区域可以通过雷达信号的水平均匀性来进一步识别。该算法是利用吻合度和上面计算得到的最佳拟合高度场的特征来获取亮带存在的更多线索。首先,我们定义,将 5×5 个格点作为一个“核”来考虑,在每个“核”中,计算相邻格点吻合度之间的差异或者相邻格点最佳拟合高度之间的差异,如果这种差异超过一个被给定阈值的话,就把这些差异的次数记录下来。然后,如果一个“核”中的差异次数小于一个特定值的话,这将预示着反射率因子的均匀性,于是把这些“核”记录下来,并赋给“核”中这些差异小的点一个特别的阈值作为标记。这样,最终就可以在整个雷达反射率因子区域中创建一个特征阈值场,利用这些赋给差异小的点的特殊阈值就可以识别亮带的区域和面积。利用这种方法,即使相当小的亮带区域也可以被识别出来。当然,太小而没有物理意义的区域将被算法忽略掉。

1.3 亮带信号的移除

在被识别的亮带中的每一个水平点上,算法已经知道了被使用的模板号和最佳拟合高度等细节。在每个点上,模板的形状都把垂直廓线分为亮带上、亮带中和亮带下3个不同区域。将亮带之上区域的雷达反射率因子廓线值和亮带之下区域的雷达反射率因子廓线值进行线性或非线性插值计算,用来纠正亮带之中的反射率因子值。这样,通过对被识别亮带中的每一个水平点上的计算,就可以移除整个亮带区域。

2 个例检验和分析

目前,亮带自动识别和移除算法已经被列入正在研发的对流天气自动临近预报系统中,作为该系统雷达资料质量控制的一部分。2003年,2004年和2005年夏季,利用天津塘沽的我国新一代天气雷达(CINRAD/SA),已经将该算法和其他几个雷达资料质量控制以及雷暴特征检测识别和临近预报的算法进行整合,在北京市气象台做业务试验运行了一段时间,总的来说,结果比较理想。

鉴于影响雷达定量降水估计和雷暴特征检测的亮带主要出现在对流层中低层,为了减少运算量,在此将亮带识别和移除的高度界定在1.5和5.5 km之间。同时,将亮带的最小区域设定为 50 km^2 ,即认为,小于 50 km^2 的区域对于雷暴特征分析和雷达定量降水估计不具有意义,将不被处理。

在主频3.0 G的微机工作站上和Linux平台下,该算法对于每个雷达体扫资料的处理时间约为1~2 s,因此,该算法非常适合于做实时业务运行。

下面描述两个亮带自动识别和移除的例子(2003年6月27日14:48和2004年6月22日14:34)。

彩图4a是2003年6月27日14:48高度2.5 km的雷达反射率因子资料,可以看出,在雷达的北部存在一片明显的亮带区域,其他地方也存在零星的亮带区域,亮带区域反射率因子值分布均匀,达到40 dBz以上。当利用了该亮带识别和移除算法后,亮带区域被移除(彩图4b),但是,雷达西南部真实雷暴区域的高反射率因子值几乎没有受到影响。为看得更加清楚,沿图中的粗黑线从1到2做剖面,从剖面图上可以看出,在原始资料中存在一个大于40 dBz的强反射率因子层(彩图5a),当利用了亮带移除算法之后,这个高亮的反射率因子层被移除(彩图5b)。

彩图6和彩图7是2004年6月22日14:34亮带检测和移除的例子。可以看出,在雷达北部2.5 km高度附近,有多处高亮的反射率因子区域,区域内反射率因子值均匀不变,达到40 dBz以上(彩图6a)。当使用了亮带自动移除算法后,这些亮带区域中的绝大部分被移除了,但是雷达东北部及其附近的实际的强雷暴反射率因子值的分布特征几乎没有变化(彩图6b)。可见,该算法可以识别和移除雷达反射率因子中存在的多处亮带区域。同样,从剖面图的对比也可以看出,该算法移除了大于40 dBz的反射率因子亮带层(对比彩图7a和b)。

选出2003年、2004年和2005年天津雷达探测的所有出现亮带的十多个对流个例,利用该算法对这些个例进行了亮带移除试验。计算和统计分析表明,该算法对亮带的移除效果较好,不但可以识别和移除雷达反射率因子中的绝大多数亮带区域,而且真实雷暴区域的反射率因子的变化特征受到该算法的影响较小。

另外,从彩图5和彩图7以及其他的亮带个例分析均可以看出,在京津地区的初夏,影响雷达定量降水估计的亮带通常会出现在2.5 km左右的高度处。亮带出现高度的统计信息对雷达资料分析以及雷暴预报具有一定的指示意义。

3 存在的问题及讨论

通过多个个例分析和准业务运行试验后,我们也发现,亮带自动识别和移除算法在实际应用时还存在一定局限性。

第一,在雷达附近(如靠近静锥区时),该算法可能会存在一些问题。因为在雷达站附近,低仰角雷达波束所探测的最大高度太低。如果亮带出现在被探测资料的顶部,就可能没有一个模板能够进行很好的拟合,而且算法也不能够很好地识别到亮带的存在。因此,该算法几乎很少能够移除接近雷达的亮带环或者亮带回波区域(图略)。因此,关于该算法如何自动识别和移除靠近雷达的亮带区域,还需要进一步去研究。当然,如果两部雷达距离较近,那么,一部雷达静锥区附近的亮带可以通过另一个雷达提供的反射率因子的参考信息来识别和移除。

第二,从图彩4到彩图7可以看出,该算法虽然对实际雷暴的高反射率因子特征影响很小,但是,对于其他地方较低阈值的真实雷达反射率因子却存在

一定影响,该算法在移除亮带的同时,对部分较低阈值的实际反射率因子也有所削弱或改变。通过对比彩图4和彩图6中移除亮带前后反射率因子的差异可见,该算法在移除亮带的同时,对亮带附近小于35 dBz的真实反射率因子值也有一定程度的削弱,例如在彩图6中,该算法在雷达西北部(约60 km距离处)的回波移除就不太合理,该处的真实雷达回波被明显减弱。另外,在彩图7a和7b中,10 km高度以上小阈值反射率因子(6 dBz以下)的部分差异也正是由于使用了该算法后产生的误差。究其原因,这主要是由于算法的模板与实际的反射率因子垂直廓线之间存在较大差异造成的。因此,如果能够从测量的平均反射率因子垂直廓线得到更加合适和精确的模板,并对模板进行实时自动添加和更换的话,将会得到更好的亮带识别和移除效果。这方面还需要去深入研究并对算法做进一步改进。

另外,上述识别和移除亮带的两个个例都是对流性强降水。我们知道,在以层状云为主的降水中,特别是在强的层状云降水后期,有时也会出现亮带。但是,在2004年和2005年夏季,利用天津的新一代天气雷达对该算法进行外场准业务试验中,还没有发现任何层状云强降水中出现亮带的现象。而且,从目前我们所拥有的北京和天津的雷达资料中,也还未找到任何以层状云降水为主的情况下出现亮带的现象。因此,利用该算法移除层状云强降水中亮带的效果检验,还有待于今后利用其他地区的雷达资料进行,或者当京津地区在以层状云强降水为主的情况下出现亮带时,再利用该算法做进一步验证。不过,从该算法的原理可以确定,当层状云为主的强降水中出现亮带时,该算法亦可识别和移除绝大部分的亮带区域。

4 小结

本文介绍并测试了一种自动识别和移除雷达反射率因子资料中亮带的算法。个例分析和准业务运行试验均表明,使用插值到三维直角坐标系中的雷达反射率因子资料,这个简单的算法可以识别和移除绝大多数影响雷达定量降水估计和雷暴特征分析的回波亮带区域,但是对雷达探测到的实际雷暴的反射率因子却影响不大。

该算法的配置和运行也相对简单,因此,适合于实时或者在业务状态下使用。

通过分析还表明,在京津地区的初夏,雷达回波的亮带区域一般出现在 2.5 km 左右的高度处。

当然,该算法在实际应用时还存在一定局限性,特别是对于雷达附近区域的亮带识别和移除,包括对小阈值实际雷达反射率因子的影响等,都还有待于对算法做进一步改进后解决。

另外,对该算法也仅仅是利用了近 3 年天津雷达探测的所有出现亮带的十多个对流个例进行了初步检验,更多个例(包括层状云为主的强降水个例)以及其他地区雷达资料的定量统计检验还需要后续去开展大量的工作。

致谢:美国国家大气科学研究中心(NCAR)的 Michael Dixon 博士和 Susan Dettling 博士在算法研究和配置方面曾给予大力帮助,James W. Wilson 教授在亮带特征的识别等诸多方面给予了悉心指导,谨此致谢。

参 考 文 献

[1] Fabry F, Zawadzki I. Long-term radar observations of the melting layer of precipitation and their interpretation. *J Atmos Sci*, 1995, 52: 838-851.

[2] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 新一代天气雷达原理和应用讲义(修订本). 北京:中国气象局培训中心,2004.

[3] Smith C J. The reduction of errors caused by bright bands in quantitative rainfall measurements made using radar. *J Atmos Oceanic Technol*, 1986, 3: 129-141.

[4] Kitchen M, Brown R, Davies A G. Real-time correction of weather radar data for the effects of bright band, range and orographic growth in wide-spread precipitation. *Q J R Meteor Soc*, 1994, 120: 1231-1254.

[5] Hardaker P J, Holt A R, Collier C G. A melting layer model and its use in correcting for the bright band in single polarisation radar echoes. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1995, 121: 495-525.

[6] Kitchen M. Towards improved radar estimation of surface precipitation at long range. *Q J R Meteor Soc*, 1997, 123: 145-163.

[7] Sanchez Diezma R, Zawadzki I, Semper Torres D. Identification of the bright band through the analysis of volumetric radar data. *J Geophys Res*, 2000, 105(D2): 2225-2236.

[8] Gourley J, Calvert C. Automated detection of the bright band using WSR-88D data. *Wea Forecasting*, 2003, 18: 585-599.

[9] 李柏. 中国新一代天气雷达计划. 中国气象局北京城市气象研究所/中国气象学会城市气象学委员会/美国国家大气研究中心(NCAR)编. 中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集. 北京:气象出版社,2004:68-82.

An Automatic Identification Algorithm for the Removal of Bright Band from Reflectivity of CINRAD/SA

Chen Mingxuan Gao Feng

(Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

Abstract

An automatic identification algorithm for the removal of bright band from radar reflectivity data is introduced and tested by case analysis and pre-operational run. The algorithm has good results of removal of bright band based on the radar reflectivity data which have been transformed into a regular 3-dimensional Cartesian grid while configuration and running setup are relative simple. Firstly, the algorithm performs the recognition of vertical bright band profile. The algorithm considers each point independently, and attempts to find the evidence of a bright band by using a pattern recognition approach. Based on the typical reflectivity of the vertical profile attributes in the bright band deducted from statistics, a set of ideal templates of radar reflectivity vertical profiles is established, which can resemble the actual radar reflectivity characteristics in different bright band areas at the utmost. For each horizontal grid the algorithm attempts to couple the templates to the measured vertical profile of radar reflectivity. The couple function is obtained by computing the slope and the correlation of the least squares regression between the template and the measured profile. Secondly, the algorithm finds continuous regions of bright band. Regions of bright band may be further recognized by the horizontal uniformity of the signature. The algorithm attempts to use the goodness-of-fit and height-of-best-fit field computed above to gain fur-

ther clues of a bright band. A grid kernel based approach is used, in which a kernel is composed of 5×5 grids in the field. For the grids in the kernel, the algorithm counts the number of difference between contiguous goodness-of-fit values exceeding a given threshold or the difference in the height-of-best-fit values for contiguous points exceeding a given threshold. A high interested value is assigned to points with low numbers, since this indicates uniformity. So bright band areas are identified as those fields with high interested values. Finally, the algorithm removes the bright band signature. It removes the continuous regions of bright band by correcting the reflectivity within the bright band, which employs linear or non-linear interpolation methodology based on the measured reflectivity values in the profile above the band and the measured values below the band. Some thunderstorm cases analysis and pre-operational running tests suggest that the algorithm is able to successfully identify and remove most bright band regions, which influences quantitative precipitation estimation, based on CINRAD/SA radar reflectivity located at Tanggu of Tianjin. However, the algorithm has less effect on actual storms reflectivity data. Results of the analysis also demonstrate that the bright band regions usually appear at 2.5 km over Beijing and Tianjin in early summer. Because the algorithm is relatively easy to configure and run, it is appropriate to use in real-time or operational mode. Of course the algorithm has limitations and needs to be continuously improved for actual operational applications.

Key words: radar reflectivity; brightband; identification; removal