

刘一玮,孙建元,王颖,等. 2016. 卫星遥感云分类和 TBB 产品在天津地区云状识别的应用分析. 气象, 42(8):980-986.

卫星遥感云分类和 TBB 产品在天津地区 云状识别的应用分析^{*}

刘一玮 孙建元 王 颖 何群英

天津市气象台, 天津 300074

提 要: 利用 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日地面观测资料和卫星遥感云分类、相当黑体亮温 TBB 产品, 针对不同天气类型进行背景统计和个例分析, 讨论云分类、TBB 产品在云状自动识别中的应用。结果表明: 地面云观测取消后, 云观测业务可以依据卫星遥感产品展开, 即以云分类产品为基础, 结合 TBB 资料和天气现象进行订正。当无降水时, 云状以云分类产品为主, 如云分类产品为积雨云, 可将云状订正为非降水云; 当 $TBB < 240$ K 时, 同时变率由负值向正值转变至接近 0 时, 有雷暴活动发生, 无论是何种云分类产品, 云状可直接定为积雨云; TBB 在 240~260 K, 为稳定性降水时, 考虑为非对流性云(层积云或高积云、高层云或雨层云)。

关键词: 云分类产品, TBB, 云状识别

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.08.008

Analysis of Satellite Products in Recognition of the Cloud Classification and TBB in Tianjin Area

LIU Yiwei SUN Jianyuan WANG Ying HE Qunying

Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074

Abstract: Using the data of surface observation, cloud classification and blackbody temperature from 1 April 2012 to 31 July 2013 and according to different weather types, this paper states the background, analyzes the cases and discusses the relationship among cloud classification of satellite data, TBB products, weather phenomena and cloudy shapes. The results show that after cancelling surface cloudy observation, we can carry out the cloud observing operation based on cloud classification and correct the errors by combining TBB and weather phenomena. When $TBB < 240$ K and variability is close to zero in the course of changing from negative to positive value, thunderstorms are always prone to occur and the cloudy shape is cumulonimbus cloud. When TBB is between 240 K and 260 K, there will be stable precipitation and cloudy shape is stratocumulus or altocumulus.

Key words: cloud classification products, TBB, cloud identification

引 言

FY-2 是中国自行研究开发的第一代静止气象卫星(陈渭民, 2003), 随着大气遥感技术的提高, 从

卫星、雷达反演出来的大气信息越来越多, 目前运行的 FY-2D、FY-2E 卫星所提供的大量高时空分辨率的卫星云图及其反演产品, 已被广泛应用于天气预报、气候预测、环境和自然灾害监测、农业等多个国民经济领域(许健民等, 2010)。

^{*} 国家自然科学基金项目(41475050 和 41575049)及天津气象局 2015 年局课题(201515)共同资助
2014 年 12 月 18 日收稿; 2016 年 3 月 14 日收修定稿
第一作者: 刘一玮, 主要从事中尺度气象研究. Email: liuyiwei1983@aliyun.com

云对地球与大气间的能量平衡具有强烈的调节作用。不同的云类反映不同的大气状况。对云进行正确的分类有助于改善天气预报精度(刘健等, 2011)。云分类产品是指利用卫星遥感技术,采用多通道卫星探测数据进行聚类分析,归纳出各种云的类别,分别代表近地云、中低云、高层云、卷层云、密卷云、积雨云。静止气象卫星的云分类数据具有较高的探测频率优势,能在天气分析中发挥重要的作用。相当黑体亮度温度(Black Body Temperature, TBB)是云系的数字化处理产品之一,表示气象卫星红外探测通道获取的云区或者晴空区地球表面的向外辐射的等效黑体温度,它可以揭示出云的存在和云所处演变阶段中的一些显著特征。在无云或少云区, TBB 是地表黑体辐射温度,在云区, TBB 是云顶黑体辐射温度,并且 TBB 温度越低,表明云顶越高,对流越旺盛(常煜, 2016; 江吉喜等, 1998; 何金海等, 1996; 卓鸿等, 2012)。在以往的研究(傅慎明等, 2015; 吴晓, 2011; 林巧燕等, 2009; 杨金锡等, 1996; 支树林等, 2015; 喻谦花等, 2016)中大部分是对强对流天气中暴雨或者台风降水估计的分析。傅昺珊等(2006)分析 TBB 资料发现,强对流天气发展,云顶亮温一般在 -60°C , 且 87.3% 以上的暴雨发生在 $-80\sim-60^{\circ}\text{C}$ 云顶亮温区,强对流区面积和层次变化对暴雨也有很好的指示作用。TBB 特征与对流的发展、雨带的分布和降水多寡有密切关系,不同地区、随着云系的发生发展、成熟、消亡等不同阶段,不同的天气类型所对应的 TBB 有一定差异(陈永仁等, 2013; 慕建利等, 2012; 覃丹宇等, 2012)。随着气象业务的发展,取消人工观测云状,本文的研究目的就是期望通过分析卫星数字化资料,验证分析卫星产品和云状观测的对应情况,寻找可以替代人工观测的卫星产品,为适应新的地面观测要求及为天气预报服务提供参考。

1 资料与分析方法

1.1 资料介绍

卫星资料为 2012 年 4 月 1 日 00:00 至 2013 年 7 月 31 日 23:00FY-2E 静止卫星云图 1 h 间隔 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的云分类及相当黑体亮度温度 TBB 产品数据。

卫星遥感技术对云的探测主要表现在不同特征的云在不同通道上的差异性,在云分类过程中主要使用红外和水汽两个通道,以段为基本单位进行分析(段:风云二号卫星云分类处理的基本地域单位,指在标称图中 32×32 像素的区域)。段的划分是以标称图的图像中心,也就是星下点开始,向图像四边延伸,在标称图纵向和横向可分别排列 70 个段,这样全图共有 4900 个段。云分类产品可以较准确地完成卫星整个观测区域云的分类,在云检测完成的高云部分进行,由于中低云的能力的限制,很难做出准确分类。对于高云可以分出积雨云、密卷云、卷层云、高层云或雨层云等类别,为天气分析、数值预报提供了重要的参考数据。

地面观测资料为 2012 年 4 月 1 日 02:00 至 2013 年 7 月 31 日 23:00 MICAPS 提供的逐 3 h 地面观测数据。由于天津有三个国家观测站(西青站、宝坻站、塘沽站)有夜间观测,因此在统计人工观测云状特征时,使用上述三个站的观测数据。

1.2 人工云状观测历史数据的提取

利用 MICAPS 地面观测资料,提取西青站、宝坻站、塘沽站 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日逐 3 h 的总云量、低云状、低云量、低云高、中云状、高云状、现在天气现象,生成数据文件,为对照方便,在下文中用气象编码表示。其中“10”、“20”、“30”分别代表没有高云、没有中云和没有低云;“9999”表示天空不明;“11~19”、“21~29”、“31~39”则分别代表不同的高云状、中云状和低云状。

1.3 人工观测云状与卫星云分类产品的对照方法

将 27 种观测云状按云分类产品的种类,划分到 8 种卫星产品云分类中(表 1),统计两者之间的差异。其中统计标准为:以西青站为代表站,一次观测记为一次云状,剔除缺报的时次,将观测时刻(02、08、11、14、17、20、23 时)的观测云状分别与同时刻及观测前、后 1 h 的产品云状对比;当高、中、低云的分类有不一致时,以最大比例的云状为主。考虑卫星云分类产品是根据统计方法得到的,本身误差较大,因此在和人工观测云状对比时将云状分为积雨云、非对流性降水云和非降水云三类。其中密卷云和卷层云为非降水云,其余为非对流性降水云。

表 1 27 种人工观测云状与卫星云分类产品对照表

云分类卫星产品及编码	人工观测云状及编码
高层云或雨层云 12	透光高层云 21、蔽光高层云 22、层云或碎层云 36、雨层云或碎雨云 37
卷层云 13	辐辏状卷云和卷层云,或只有卷层云,云幕前缘的高度角小于 $45^{\circ}15'$ 、 辐辏状卷云和卷层云,或只有卷层云,云幕前缘的高度角大于 $45^{\circ}16'$ 、 卷层云布满天 17、 卷层云,非系统移入天空或量不增加,也未布满全天 18、 卷积云,可伴有卷云或卷层云,但以卷积云为主 19
密卷云 14	毛卷云 11、密卷云 12、伪卷云 13、钩卷云 14
积雨云 15	秃积雨云 33、鬃积雨云 39
层积云或高积云 21	透光高积云 23、 变化不定的透光高积云并出现在一个或几个高度上 24、 有系统地移入天空的透光高积云,且常常全部增厚,甚至有一部分变成蔽光高积云或双层高积云 25、 积云性高积云 26、 非系统性移入天空的双层高积云或蔽光高积云 27、 絮状和堡状高积云和层积云 28、 混乱天空的高积云,常在不同高度上 29、 淡积云和(或)碎积云 31、 浓积云,可伴有淡积云或层积云,云底在同一高度上 32、 积云性层积云 34、 透光、蔽光层积云 35、 积云和透光、蔽光层积云同时存在,此两种云的底部高度不同 38

2 云分类产品评估分析

2.1 人工观测云状数据统计分析

经过统计 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日西青站、宝坻站、塘沽站共计 34263 次云状人工观测,各种云状的观测数见图 1(编码说明见表 1)。其中人工观测没有观测到高云、中云、低云及天空不明各 9183 次、5122 次、4039 次、7627 次,在观测到的云状中有 5 种高云(伪卷云 13、钩卷云 14、辐辏状

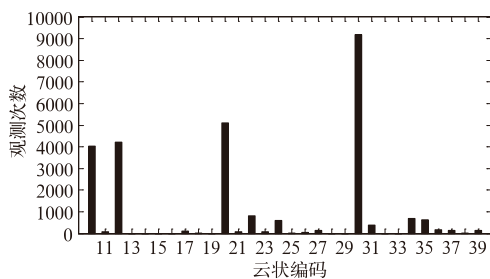


图 1 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日西青站、宝坻站、塘沽站各云状人工观测次数(云状编码见表 1)

Fig. 1 Cloud observation times at Xiqing, Baodi, Tanggu Stations from 1 April 2012 to 31 July 2013

卷云和卷层云,或只有卷层云,云幕前缘的高度角小于 $45^{\circ}15'$ 、辐辏状卷云和卷层云,或只有卷层云,云幕前缘的高度角大于 $45^{\circ}16'$),2 种中云(絮状和堡状高积云和层积云 28、混乱天空的高积云,常在不同高度上 29),2 种低云(浓积云,可伴有淡积云或层积云,云底在同一高度上 32、秃积雨云 33)在人工观测中从未出现,其余还有 1 种中云(系统发展的辐辏状高积云 25)和 1 种低云(不同高度的积云和层积云 38)只出现过 1 次。

2.2 不同天气现象下根据人工观测云状与卫星云分类产品的对照分析

与云状分类相对应,将对结果按天气现象分类(根据天气现象的气象编码,将天气分为对流性降水、非对流性降水、无降水),分析不同天气现象下的云状对比情况(表 2)。

经统计共有 3074 次观测结果。在 3074 次观测中,有 2034 次云分类产品与观测数据一致,占总数的 66.17%。不同天气现象观测数据与产品一致率不同。其中无降水情况下最高为 67.67%,其次非对流性降水,一致率为 46.82%。在雷阵雨等对流降水的时候,一致率较低,只在 10%左右。降水前、后 1 h 的云分类产品与观测资料的一致性对比也有类似的结果,即无降水和非对流性降的时候,一致性

较高,均能在 60%及 40%以上,而对流性降水观测前卫星和观测云状一致数最高,为 18.75%。考虑不一致性的主要原因为卫星与人工观测的方向不同,人工观测为自下向上观测,而卫星资料为自上向下探测;其次两者的探测范围不同,人工观测的云状表示一定范围内的云的情况,而此次对比所用的卫星产品为单一格点上的数据;并且人工观测带有一定的主观性,由于受周围环境的影响,尤其当有降水及有雾等低能见度情况发生时,观测员在判断云状时会参考以往的经验,可能会造成误差。

在实际业务应用中,预报员更关心的是降水天气的云状,表 3、表 4 分别为非对流性降水和对流性降水时的观测云状和云分类产品的对照情况。从表 3 可以看出,当测站出现雷暴天气时,观测员观测到

表 2 不同天气现象下的云状对照情况

Table 2 Comparison of clouds in different weather conditions

	天气类型	一致数	总数	百分比/%
观测时刻	无降水	1951	2883	67.67
	非对流性降水	81	173	46.82
	对流性降水	2	18	11.11
观测前 1 小时	无降水	1952	2887	67.61
	非对流性降水	77	180	42.78
	对流性降水	3	16	18.75
观测后 1 小时	无降水	1950	2902	67.20
	非对流性降水	81	187	43.43
	对流性降水	1	15	6.67

表 3 对流性降水观测云状与卫星云分类产品对照情况

Table 3 Comparison of cloud observations and cloud classification products in the process of convective precipitation

	名称	次数	一致数
天气现象	对流性降水	18	
观测云状	积雨云	18	
云分类产品	积雨云	2	2
	非对流性降水云	4	
	非降水云	12	

表 4 非对流性降水观测云状与云分类产品对照情况

Table 4 Comparison of cloud observations and cloud classification products in the process of non-convective precipitation

	名称	次数	一致数
天气现象	非对流性降水	173	
观测云状	非对流性降水云	172	
	积雨云	1	
云分类产品	积雨云	3	
	非对流性降水云	84	81
	非降水云	86	

的云状均为鬃积雨云,云分类产品有 2 次积雨云,与观测云状一致,而其他 18 次不一致的云状中出现最多的为密卷云。表 4 是非对流性降水的情况,经统计西青站有 173 次非对流性降水天气,人工观测云状以非对流性降水云为主,只有 1 次观测到积云,在同时刻的云分类产品给出的非对流性降水云为 81 次。

2.3 典型天气个例人工观测云状与卫星云分类产品的对照分析

考虑到在平时的工作中主要对降水天气中云状的变化有需求,因此下面将针对在平时预报工作中遇到不同类型的降水天气过程中的云状对比情况做详细的分析,为下一步的自动识别工作打下基础。

共选取 9 个个例进行分析,其中雷阵雨天气(对流性降水)过程 3 个,分别为 2012 年 6 月 9 日、8 月 20 日及 2013 年 6 月 24 日;暴雨过程(对流性降水、非对流性降水均存在)3 个,分别为 2012 年 7 月 21 日、25 日及 2013 年 7 月 1 日;雪的天气过程 3 个(非对流性降水),分别为 2012 年 12 月 13 日、2013 年 1 月 20 日及 2 月 3 日。

2.3.1 雷阵雨天气过程云状对比结果分析

在选取的 3 个雷雨个例中,当雷暴天气发生时,对应的人工观测云状均为鬃积雨云。云分类产品则与其完全不一致。

以 2012 年 6 月 9 日飏线过程为例,通过将卫星红外云图与卫星云分类产品及地面填图叠加查找原因(图略)。从看到在云图上主体云系上云分类产品为积雨云(编码 15),边界上为密卷云(编码 14)。在地面填图为 20 时观测到天津西南部及东部地区出现雷阵雨天气,观测云状为鬃积云。对比发现观测与云分类产品在主体云系正确,边缘并不一致。由于天津西青观测站处在云团的边缘,在雷雨发生时,观测云状和云分类产品不一致。这有可能是卫星探测到的是主体云系的云砧部分。雷阵雨发生时具有一定的局地性,由于探测方向及定位的问题,在主体云系的边缘会出现误差。

2.3.2 暴雨天气过程云状对比结果分析

暴雨天气过程既包含对流性又包含非对流性降水天气。表 5 给出了 3 次暴雨过程中 10 个时次的人工观测云状的情况。3 次暴雨过程中,当天气现象记为雷阵雨的时候,观测到的云状均为鬃积雨云,这与雷阵雨天气过程一致,而当无雷的时候,则为积云性层积云。

表 5 3 次暴雨天气过程人工观测云状表

Table 5 The cloud observations during the three torrential rain processes

日期/年月日时	低云状	中云状	高云状	天气现象	云分类产品
12072202	鬃积雨云	不明	不明	小-中雷暴伴有雨	积雨云
12072205	鬃积雨云	不明	不明	小-中雷暴伴有雨	积雨云
12072523	积云性层积云	不明	不明	小阵雨	密卷云
12072602	积云性层积云	不明	不明	阵雨	无产品
12072605	鬃积雨云	不明	不明	小-中雷暴伴有雨	密卷云
12072608	鬃积雨云	不明	不明	小-中雷暴伴有雨	无产品
12072611	鬃积雨云	不明	不明	小-中雷暴伴有雨	卷层云
13070117	积云性层积云	不明	不明	阵雨	密卷云
13070120	积云性层积云	不明	不明	阵雨	层积云或高积云
13070123	积云性层积云	不明	不明	小阵雨	密卷云

对照云分类产品(其中 2012 年 7 月 26 日 02 时和 7 月 26 日 08 时无云分类产品)的一致性高于雷阵雨天气,一致率为 37.5%,由于在暴雨天气过程中云图范围大,当天津全部位于云团中的时候并且有雷雨出现时两者一致。而不一致的主要为云分类产品在降水天气过程中识别出来的密卷云。从云状的特性来说密卷云属于高云,在强降水过程中出现,说明云分类产品也存在着一一定的误差。

2.3.3 降雪天气过程云状对比结果分析

降雪为非对流性降水,3 次降雪过程的人工观测云状类似,在降雪发生前及发生时人工观测到的云状全为中云蔽光高层云(以 2013 年 1 月 20 日降雪过程为例,见表 6),而云分类产品则不同,产品识别为层积云或高积云。从云状的特征来看两种云均可能产生降雪,后者的降雪量少。因此在日后的工作中可以参考云状与天气现象之间的关系来做自动识别。

表 6 2013 年 1 月 20 日降雪过程云状与云分类产品对照表

Table 6 Comparison of cloud observations and cloud classification products during the snowfall process on 20 January 2013

时次	低云状	中云状	高云状	天气现象	云分类产品
08 时	没有低云	蔽光高层云	不明	间歇性小雪	层积云或高积云
11 时	没有低云	蔽光高层云	不明	间歇性小雪	层积云或高积云
14 时	没有低云	蔽光高层云	不明	间歇性小雪	层积云或高积云

3 TBB 对云状自动识别的订正

由上文的研究可知,云分类产品面对具有复杂云状的降水天气过程时,与人工观测的差异较大,因此云状的自动识别还应考虑到使用其他卫星数字化产品。在众多的卫星产品中,TBB 产品是预报员使用最多的产品,其多被应用于降水天气过程分析,而 TBB 与云状之间有何联系?如果能统计出 TBB 和云状之间的对应关系,有助于在实际工作中为卫星云分类产品进行订正,推断天气系统的强度、移动以及可能伴随的天气现象,为更多的天气类型的预报提供参考。下面利用 TBB 资料与天津西青(54527)、塘沽(54623)、宝坻(54525)三站的地面观测资料,按照不同天气类型进行背景统计和个例分析,研究其在云状自动识别的订正作用。

3.1 不同天气类型的 TBB 统计特征

下面给出 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日无降水、对流性降水、非对流性降水天气现象中 TBB 的统计特征。表 7 表明无降水天气时,TBB 均值明显高于有降水天气,为 271 K;有降水发生时,TBB 均值低于 250 K,其中对流性降水中 TBB 均值又低于非对流性降水。对应表 7,图 2 表示统计三类天气过程中 TBB 在各区间出现的频次,发现以 TBB=260 K 为阈值可以明显地区分有无降水活动,而 TBB<240 K 则表示强对流活动的发生。

表 7 2012 年 4 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日 TBB 统计结果

Table 7 Statistical result of TBB from 1 April 2012 to 31 July 2013

天气现象	次数	TBB 均值/K	出现区间/K
无降水	11576	271	207~308
对流性降水	89	236	200~282
非对流性降水	811	249	204~292

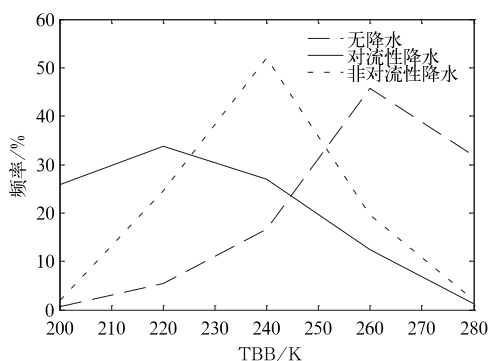


图 2 三类天气中 TBB 均值出现的频率分布
Fig. 2 The frequency distribution of TBB means in three kinds of weather

3.2 应用天气过程研究 TBB 在云状识别中的订正作用

3.1 节给出了 TBB 在降水和非降水天气中的平均状况,下面讨论对流性及非对流性降水过程中 TBB 的变化规律,研究其在云状识别的订正作用。个例选取与 2.3 节相同。定义 TBB 变率为 1 h 内 TBB 变化值与前一时刻 TBB 值之比。计算公式: $TBB \text{ 变率} = [(TBB2 - TBB1)] / TBB1 \times 100\%$ 。

图 3 表示 2012 年 6 月 9 日雷暴过程中西青站 TBB 数值及变率的逐小时演变。地面观测记录表明,9 日 20 时有雷暴发生,此时对流活动旺盛,TBB 数值为 219 K。从变率曲线上可以看出,雷暴记录时刻前期,云顶亮温呈波动性递减;雷暴发展阶段,云顶亮温的降温幅度最大,为明显的负变化;但是雷暴发生时刻往往不是 TBB 负变化最明显的时刻,而是由负变正的时刻,对应变率绝对值接近 0,说明此时站点上空的积云云体发展已接近成熟。

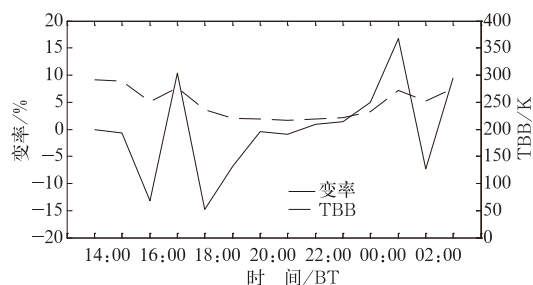


图 3 2012 年 6 月 9 日 14 时至 10 日 02 时塘沽站 TBB 数值和逐小时变率曲线
Fig. 3 The value and hourly variability of TBB at Tanggu Station from 14:00 BT 9 to 02:00 BT 10 June 2012

2012 年 8 月 20 日和 2013 年 6 月 24 日过程中雷暴发生前后的 TBB 数值及变率特征与 6 月 9 日类似(图略)。在第 2 节的分析中提到在雷暴天气发生过程中,云分类的产品与人工观测并不一致,但 TBB 的变化特征在一定程度上反映测站上空云的变化情况,可以对云分类产品进行订正,即当 TBB 小于 240 K,同时变率由负值向正值转变至接近 0 时,有雷暴活动发生,对应积雨云。

下面对同为非对流性降水的 1 次暴雨天气过程和 3 次降雪天气过程的 TBB 值及变率进行分析(表 8 和表 9),过程观测云状均为非对流云。过程中 TBB 均值及变率特征一致。即持续的降水(雨和雪)过程中,TBB 的数值基本维持在 240~260 K,而 TBB 变率波动并不明显,利用此特征可以对非对流性降水中的云状识别进行订正。

表 8 1 次暴雨过程 TBB 均值及变率
Table 8 The TBB mean and variability during the process of one torrential rain event

20130701 暴雨过程	宝坻	西青	塘沽	平均
降水集中时段 TBB/K	258	259	253	256
变率/%	0.4	0.4	0.6	0.5

表 9 3 次降雪过程 TBB 均值及变率
Table 9 The TBB mean and variability in three snowfall processes

20121213 降雪过程	宝坻	西青	塘沽	平均
降水集中时段 TBB/K	250	253	251	251
变率/%	0.7	1.0	0.9	0.9
20130120 降雪过程	宝坻	西青	塘沽	平均
降水集中时段 TBB/K	240	241	243	241
变率/%	0.3	0.4	0.6	0.5
20130203 降雪过程	宝坻	西青	塘沽	平均
降水集中时段 TBB/K	252	242	241	245
变率/%	0.2	0.0	-0.1	0.0

4 结 论

(1) 通过将观测云状与同时刻、观测前 1 h、观测后 1 h 的卫星云分类产品做对比,不同时间的云分类产品和人工观测云状的一致率无明显差异。不同天气现象观测数据与云分类产品一致率不同,而不同时刻的对比结果类似,均为在无降水天气时一致率最高,达到 67.20%~67.67%;而当出现雷阵雨等对流性降水时,一致率较低,均在 20% 以下,非对流性降水居中,在 42.78%~46.82%。

(2) 具体分析不同天气出现时的云状发现,人工

观测的云状具有一致性:当测站出现雷暴天气时,观测员观测到的云状均为鬃积雨云;在出现降雪的时候,多数为蔽光高层云。而云分类产品则无这样的规律,因此应使用其他卫星数字化产品进行订正。

(3)通过对不同天气类型的 TBB 资料的研究可知,TBB 数值的大小与天气现象和云状有密切的联系。经统计当有降水时 TBB 数值低于无降水;TBB 最低值出现在有雷暴天气中,数值为 235~238 K。从 TBB 的变化分析可知,雷暴活动前期,观测区域上空的 TBB 呈波动性递减;随着雷暴活动的临近,观测区域 TBB 的降幅最大,为明显的负变化;当云顶亮温骤减至 240 K 之下时,同时,TBB 变率有由极大的负值向正值转变接近 0 时,观测区域开始记录有雷暴活动。

(4)通过对云分类和 TBB 产品的初步分析工作,地面云观测取消后,云观测业务可以依据卫星遥感产品展开。即以云分类产品为基础,结合 TBB 资料和天气现象进行订正。当无降水时,云状以云分类产品为主,如云分类产品为降水云时,可自动订正为非降水云;当 $TBB < 240$ K 时,且 TBB 变率由极大负值向正值转变接近 0 时,有雷暴活动,无论是何种云分类产品,云状可直接定为积雨云;TBB 在 240~260 K,为稳定性降水时,考虑为非对流性云(层积云或高积云、高层云或雨层云)。对于云状自动识别的工作目前刚刚展开,本文只是在众多的卫星数字产品中选取了云分类产品和 TBB 产品做了初步工作,并且所有工作只是针对站点开展的,在研究工作中有很多不足之处(如:没有考虑到云的移动等),未来将这部分工作做更深入的研究。

参考文献

- 常煜. 2016. 内蒙古典型暴雨过程的中尺度雨团观测分析. 应用气象学报, 27(1): 56-66.
- 陈渭民. 2003. 卫星气象学. 北京: 气象出版社, 18.
- 陈永仁, 李跃清. 2013. “12. 7. 22”四川暴雨的 MCS 特征及对短时强降雨的影响. 气象, 39(7): 848-860.
- 傅昂珊, 岳艳霞, 李国翠. 2006. TBB 资料的处理及应用. 气象, 32(2): 40-45.
- 傅慎明, 孙建华, 张敬萍, 等. 2015. 一次引发强降水的东北冷涡的演变机理及能量特征研究. 气象, 41(5): 554-565.
- 何金海, 朱乾根, Murakami M. 1996. TBB 资料揭示的亚澳季风区季节转换及亚洲夏季风建立的特征. 热带气象学报, 12(1): 34-42.
- 江吉喜, 范梅珠, 吴晓. 1998. 我国南方持续性暴雨成因的 TBB 场分析. 气象, 24(11): 26-31.
- 林巧燕, 洪毅, 李玉柱, 等. 2009. FY2 红外分裂窗 TBB 资料在台风降水定量估计中的应用. 安徽农业科学, 37(15): 7120-7122.
- 刘健, 李云. 2011. 风云二号静止卫星的云相态识别算法. 红外与毫米波学报, 30(4): 322-327.
- 慕建利, 李泽春, 湛芸. 2012. 一次强暴雨过程地闪活动特征与中尺度对流系统和强降水的关系. 气象, 38(1): 56-65.
- 覃丹宇, 李博. 2012. FY-2 双星亮温归一化及其在台风个例中的应用. 气象, 38(12): 1449-1455.
- 许健明, 杨军, 张志清, 等. 2010. 我国气象卫星的发展与应用. 气象, 36(7): 94-100.
- 杨金锡, 冯志娴. 1996. 9403 强热带风暴致洪暴雨 TBB 特征分析. 气象科学, 16(4): 378-382.
- 吴晓. 2011. 用卫星 OLR 资料估算中国大陆月降水量. 气象, 37(1): 99-102.
- 支树林, 陈娟, 包慧濛. 2015. 一次副热带高压边缘上大暴雨的中尺度特征分析. 气象, 41(10): 1203-1214.
- 卓鸿, 赵平, 李春虎, 等. 2012. 夏季黄河下游地区中尺度对流系统的气候特征分布. 大气科学, 36(6): 1112-1122.