

文章编号: 1671-1742(2013)05-0498-07

云垂直结构的可行性检验的信息数字化方法分析

陆雅君^{1,2}, 闵文彬³, 陈刚毅¹

(1. 成都信息工程学院, 四川 成都 610225; 2. 安徽省气象台, 安徽 合肥 230031; 3. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610073)

摘要:利用气象探空资料,采用信息数字化的溃变结构图(V-3θ)法分析多个个例的云垂直结构,发现此方法能判定晴空和云区及其云层的位置,清晰分辨出云顶、云底及多层云、云夹层等结构。并将得到的分析结果与相对湿度阈值法判定的进行对比分析,结合实况发现一致性较好,验证了 V-3θ 结构图法判断云的垂直结构具有可行性,具有实际应用价值。

关键词:大气物理学;探空观测;数字化;结构分析;检验

中图分类号:TP391

文献标志码:A

0 引言

云对气候、天气等的变化,具有调节和指示作用。云的分布、形态、数量及其变化体现了大气运动的变化趋势和状况,是未来天气(特别是短期临近天气)的重要征兆。不同垂直高度上的云的时空变化对研究天气和全球气候变化等有着重要的意义,因此,云的特征(特别是垂直结构特征),对大气科学各个领域的研究都非常重要^[1]。目前对云垂直结构的观测主要靠地面人工观测,以及少量的雷达、卫星等,但这些观测手段或受主观因素或受观测站点少或受技术限制等影响,使得云垂直结构(包括云底高、云顶高、云厚及多层云的垂直分布)的观测效果不太理想^[2-3]。而现行气象业务观测中的另一重要观测手段——高空探测,能够获得由地面至 30km 高空各层压、温、湿、风随高度变化的真实可靠信息,可完整分析整层云结构,并有业务布网。

在目前利用探空资料对云体垂直结构的分析研究中,相对湿度阈值法最能反映出云垂直结构特征的实况,周毓荃等^[4]取用 L 波段探空资料,通过对比后选用相对湿度阈值法对云垂直结构进行分析,利用云廓线雷达(Cloud Profiling Radar, CPR)对分析结果进行对比检验,发现分析结果与 CPR 观测到的结果基本一致。

信息数字化分析方法是欧阳首承教授针对天气演化转折性过程中灾害天气预测设计的,V-3θ 图作为此方法的分析工具之一,是利用真实的高空探测信息反映各个高度层结构信息,运用了大气层结不稳定条件^[1]判别大气稳定状况,用垂直方向上反映出的结构非规则性揭示转折性变化^[5]。文中直接使用中国气象局每天 08、20 时发布的 L 波段高空气象探空资料,采用 V-3θ 结构图法对云体垂直结构进行分析,再将分析结果与相对湿度阈值法^[4]得到的云垂直结构特征进行对比检验。不探究云粒子的微物理过程,只从宏观上对云的垂直结构进行分析。

1 信息数字化分析方法

地气系统中的热量分布不均和变化是引起地球上大气非均匀运动和变化的本质原因。作为信息数字化分析方法之一的 V-3θ 结构图法^[6-7]是运用可以体现大气热量垂直分布的位温 θ 来揭示和体现实际大气的运动规律,

其中 $\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^\kappa$, 式中 θ 为位温,表示热量,其中 $\kappa = \frac{R_d}{C_p}$, P_0 为标准压强(通常取 1000hPa), P 为气团所处位置的气压值, T 为绝对气温($T = 273.16 + \text{气温}$, 单位:K), R_d 为气体常数, C_p 为定压比热。

V-3θ 结构图主要是通过结构特征揭示非规则信息的变化^[6,8-9],尽可能的利用包含有特性层的探空资料反映各个高度层的结构信息(包含超低温信息^[9]),再配合滚流^[9]方向的改变揭示灾害天气的类型和特征^[8-9],同时还能对重大灾害的程度进行预估^[9],如现阶段,V-3θ 结构图已在暴雨预报中取得了突出的效果,改善了暴雨等难

收稿日期:2013-06-10

资助项目:中国气象局西南区域气象中心重大科研业务资助项目(西南区域气 201103);2013 年安徽省气象局预报员专项资助项目(KY201312)

预报的现状^[10,11]。V-3 θ 中 V 表示探空资料中的风要素(风向风速),并标注在 θ^* 线上(图 1),3 θ 分别是 θ 、 θ_{sed} 、 θ^* 在 P-T(以绝对温度 K 表示)坐标系下随高度变化的 3 条曲线。图形中, θ 线表示干空气热量结构特征, θ_{sed} 、 θ^* 线体现了大气中水汽的分布状况,其中 θ_{sed} 是出于预测的事先性考虑,以各层露点温度计算出的假相当位温, θ^* 是假定为饱和状态时按假相当位温公式计算,主要用于比较大气中的水汽状态。在 V-3 θ 结构图中,若某一层 θ_{sed} 偏向右侧而趋于 θ^* ,说明水汽充足或偏湿。

2 信息数字化方法分析云垂直结构的可行性检验

2.1 云垂直结构判定方法

基本上当空中水汽达到饱和或过饱和时就会凝结形成云。相对湿度阈值法作为云垂直结构分析的方法,能够连续判断云层的垂直结构,其判断云层结构是通过不同高度对应的温度合理计算相对湿度,以不小于 84% 的阈值作为云区,分辨云顶、云底及云夹层等云垂直结构^[4]。V-3 θ 结构图法判断云层结构是通过不同高度上的物理参量分别计算得到 θ 、 θ_{sed} 、 θ^* 值,通过判断 θ_{sed} 、 θ^* 的间隔是否小于 5-8K(低层小于 8K,中高层小于 5K,200hPa 以上不考虑)判定是否有云及云层的位置,根据数次的统计实例对比分析,判定:小于 5~8K,有云形成,小于 3K,云层趋于浓密^[5]。此判定结果是否有效,这里利用相对湿度阈值法对 V-3 θ 结构图法分析云结构的结果进行对比检验。

这里给出从时间、空间变化上的两个个例进行对比验证。分别对某站点或多个站点的数据做时间序列、空间剖面分析,得到云体垂直结构的时间演变特征和空间变化特征。

2.2 云垂直结构的时间演变

选取北京站 2009 年 9 月 3 日 08 时~9 月 6 日 20 时 L 波段探空秒数据进行时间序列分析,将得到的云结构演变的结果进行对比。

图 1、图 2^[4] 分别是利用 V-3 θ 结构图法和相对湿度阈值法对北京站上空云顶和云底高度演变的时间序列图,图中实线、密虚线分别表示云底、云顶所处位置,其中图 2 的横座标为各时刻的相对湿度座标,虚竖线为湿度 84% 阈值线(以下后图相同,不再叙述),下方给出相应时刻地面人工观测到的天气现象、云要素等。通过图 1、图 2 可清晰看到,过程多数时段云系为多层云的结构。第一层云顶高(CT1)在 5 日 20 时前处于 500hPa(6km)以下,云底高度(CB1)一般在不下雨时为 1km 左右,轻雾或者下雨时云底接地,此时采用人工观测云底高度;高云(500hPa 以上,6~14km)不连续,呈此消彼长的趋势:在 3 日 20 时高云发展深厚,随后观测到有小雨,云层也开始变薄,直致消失,随后 5 日高云出现并维持,并于 6 日早晨消失,午后又出现高云,并开始小雨,整个天气过程也与地面人工观测一致。注意到图 1 中 3 日 20 时在 527~525hPa(5.405~5.435km)处有一湿层,在图 2 中也有很好的表现。

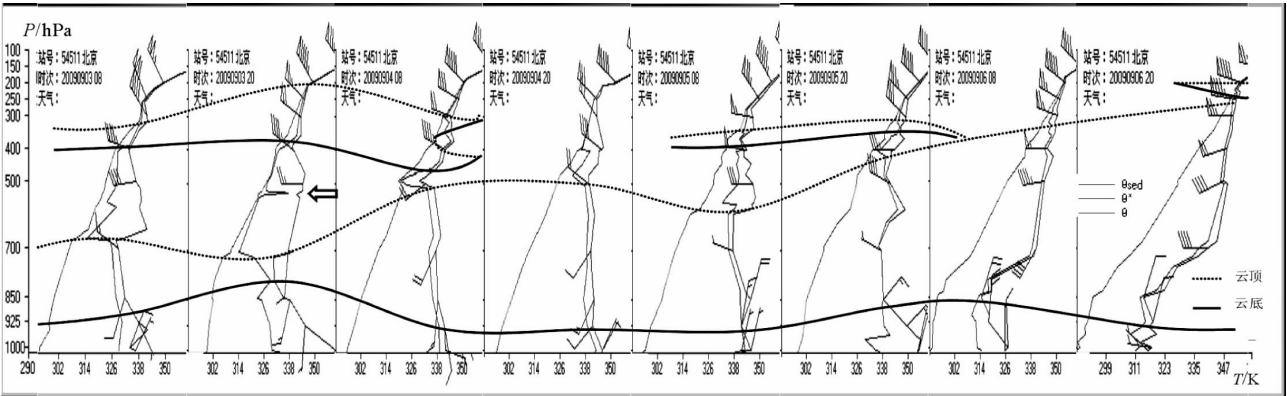


图 1 北京站 2009 年 9 月 3 日 08 时~6 日 20 时云顶和云底演变时间序列 V-3 θ 结构图(实线:云底,密虚线:云顶)

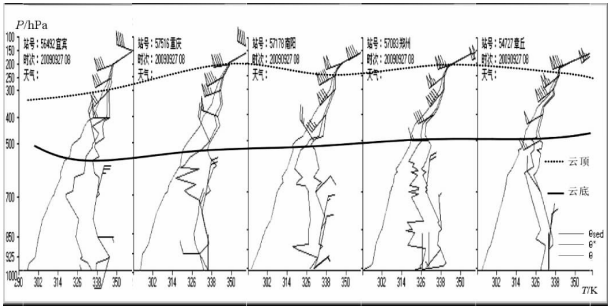


图 4 宜宾、重庆、南阳、郑州、章丘 2009 年 9 月 27 日 08 时
云顶和云底空间结构 V-30 图(实线:云底,密虚线:云顶)

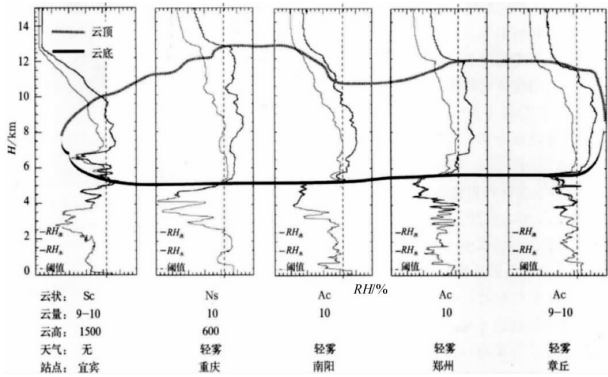


图 5 宜宾、重庆、南阳、郑州、章丘站 2009 年 9 月 27 日 08 时
相对湿度阈值法分析的云顶和云底高度演变空间序列图
(实线:云底,密虚线:云顶,虚线:选定的阈值)

对于平行于锋面的站点,图 4、图 5^[4] 分别是利用 V-30 结构图法和相对湿度阈值法对平行锋面站点上空云顶和云底的空间演变结构图,图中实线、密虚线分别表示云底、云顶所处位置,其中图 5 下方给出相应时刻地面人工观测的天气现象、云要素等,对比两图可看出:主体云系为冷锋云系后缘部位的中高云,整体云垂直结构较均匀,云底高度较一致,一般为 550hPa 即约为 5km 左右,主体云系云底以下水汽变化明显(图 4 表现为 θ_{sd} 、 θ^* 曲线呈疏密相间频繁的折拐,图 5 表现为湿度变化强烈,有跳变),低云不明显,近地层有明显的湿层,伴随有轻雾。

对于垂直于锋面的站点,图 6、图 7^[4] 分别是利用 V-30 结构图法和相对湿度阈值法对垂直锋面站点上空云底和云底演变的空间结构图,通过对比可清晰看出:锋上为单层云结构,以中高云为主,云底位于 527hPa(5.4km)处,云顶高度为 10km(250hPa)左右,锋面前部云体分离,呈双层云,上层云维持云顶高度并向前发展,云底变高,云层变薄,薄高云出现;下层云继续下压,云底变低(达到 1km 以下),云顶下降,云层厚度稍有增大,仍为较薄的低云。在垂直面上表现为部分云体不连续(有明显夹层,而展示为非均质性)。对于图 5 章丘站 2.6~2.7km 和图 7 衢州站 2.2~2.7km 高度的云层在图 4 和图 6 上未能显现,很大程度上与发布的探空资料层次较少、信息不完全有关。

表 2 是通过相对湿度阈值法与 V-30 结构图法分别判断出的各层云的云顶、云底高度的对比表,与上表一样,将 V-30 结构图中各云底、云顶的高度值附于对应的压强值后。通过对比,除去资料限制的原因,发现此两种方法得到的各层云顶云底高度的一致性依旧较好。

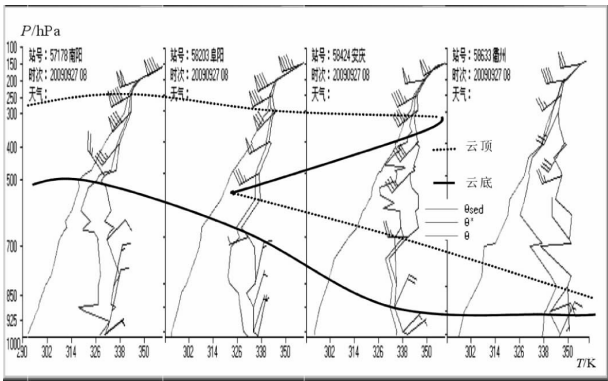


图 6 南阳、阜阳、安庆、衢州站 2009 年 9 月 27 日 08 时
云顶和云底空间结构 V-30 图(实线:云底,密虚线:云顶)

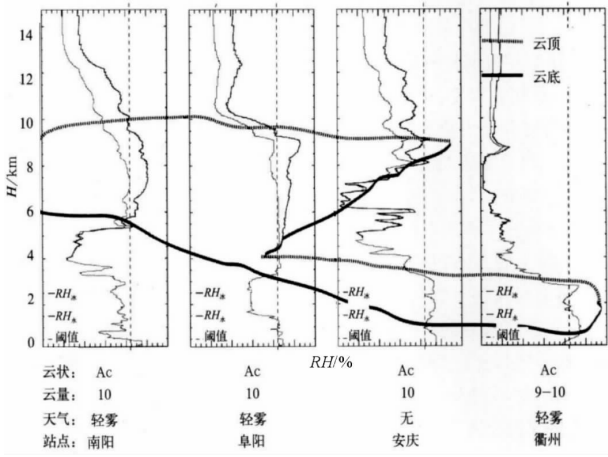


图 7 南阳、阜阳、安庆、衢州站 2009 年 9 月 27 日 08 时
相对湿度阈值法分析的云顶和云底高度演变空间序列图
(实线:云底,密虚线:云顶,虚线:选定的阈值)

表 2 不同方法判断宜宾、重庆、南阳、郑州、章丘、阜阳、安庆、衢州站 2009 年 9 月 27 日 08 时云顶和云底高度对比表

时	方 间	相对湿度阈值法		信息数字化方法	
		云底(CB)/km	云顶(CT)/km	云底(CB)/hPa(km)	云顶(CT)/hPa(km)
宜宾	第一层	5	6.2	565(4.96)	485(6.16)
	第二层	6.8	9.7	434(6.89)	300(9.69)
重庆	第一层	1.5	2.7	820(1.75)	720(2.8)
	第二层	5.3	12.5	530(5.35)	200(12.4)
南阳	第一层	5.4	10.1	527(5.41)	250(10.86)
郑州	第一层	4.1—	4.1+	614+(4.194—)	614—(4.194+)
	第二层	6	12	482(6.081)	200(12.26)
章丘	第一层	2.6	2.7	/	/
	第二层	4.1—	4.1+	605+(4.14—)	605—(4.14+)
	第三层	5—	5+	540+(5.09—)	540—(5.09+)
	第四层	5.8	11.4	496(5.86)	230(11.4)
阜阳	第一层	3.3	4.5	673(3.43)	580(4.65)
	第二层	4.7	9.5	540(4.88)	300(9.62)
安庆	第一层	0.8	3.2	925(0.787)	700(3.13)
	第二层	8	8.1	367+(8.065—)	367—(8.065+)
	第三层	8.9	9.1	321+(9.03—)	321—(9.03+)
衢州	第一层	0.5	1.5	925(0.791)	850(1.518)
	第二层	2.2	2.7	/	/

2.4 信息数字化方法分析云垂直结构的可行性

通过以上对比分析,V-30 结构图能表现出云体的层次性,其判别结果与相对湿度阈值法的判别结果基本一致;V-30 结构图反映出的各层云的云底、云顶高度与相对湿度阈值法判别的结果也较一致,说明信息数字化方法对云层垂直结构的判别有效,展示了实用性。

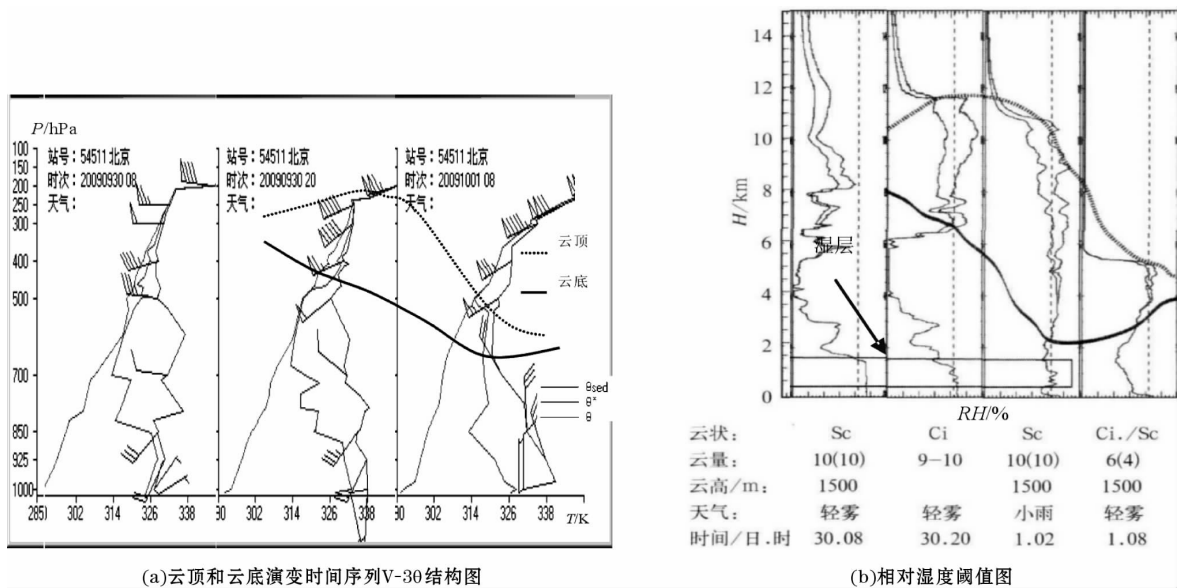


图 8 北京站 2009 年 9 月 30 日 08 时~10 月 1 日 08 时云顶和云底演变时间序列 V-30 结构图(a)及相对湿度阈值图(b)
(实线:云底,密虚线:云顶,虚线:相对湿度阈值法选定的阈值)

同时,V-30 结构图对云的判别远不止于此,如图 1,根据 V-30 结构图法对云垂直结构的分析,北京站在 2009 年 9 月 4 日 08 时,507~505hPa(5.693~5.723km)间存在几十米的冷层云(此类云的具体结构及判断依据将在后续文章中给出);如图 5,宜宾站上空第一层云显示出在垂直面上不连续的状态,即中部存在夹层,此结构反应

在图4上为 θ_{sed} 、 θ^* 曲线不平行但趋势一致形成多次折拐,通过后续分析,我们知此为积雨云。

另外,在同为低层湿度很大的情况下,V-3 θ 结构图法能根据云雾反映出的不同特征判断出低层存在的是云还是雾,即根据垂直结构特征对雾出现时云底的高度有较好的判别,但准确性仍需要验证;而相对湿度阈值法得借助人工观测进行识别(图8b^[4]湿层处)。如图8图(a),9月30日08时,低层 θ 曲线右倾(45°),即气层结构稳定(这里需说明,热量分布稳定性在图形中显示的结构^[5]为:正常天气条件下,3 θ 曲线与温度轴的夹角成45°;若夹角大于45°,大气不稳定,近似垂直则为超不稳定;若夹角小于45°,大气稳定,小于30°大气超稳定)。近地面层850hPa以下 θ_{sed} 、 θ^* 准平行; θ_{sed} 偏向 θ^* 一侧,水汽较充沛;其东、南的低层出现东北风,与高层的偏西风构成整层逆滚流^[5]等,其中逆滚流为雾形成的基本条件之一^[12],由此判断低层湿层很大可能是雾。因850hPa处对应的高度为1500m,所以此时地面观测中的云高1500m可能存在一定程度的误判,由此知,V-3 θ 结构图法还能与人工观测相互验证。

此外,对另一些低层天气现象(如雨、雪等)出现时的云底高度,能根据V-3 θ 结构图法,运用风向变化配合饱和程度加以大致区分,但仍需要进一步的分析研究。

3 结论

使用信息数字化的V-3 θ 结构图法,利用中国L波段高空气象探空资料,分析多个例的云垂直结构,并同相对湿度阈值法判断出的云垂直结构进行对比检验分析,验证了探空信息数字化方法判断云垂直结构方法的可行性,得到一些有意义的结果。

(1)探空观测数据可分析云体的垂直结构。利用探空资料计算的位温值,依据 θ 、 θ_{sed} 、 θ^* 曲线变化特征即根据三者之间的间隔,尤其是 θ_{sed} 、 θ^* 的间隔是否小于5~8K(低层小于8K,中高层小于5K,200hPa以上不考虑)来判定晴空和云区及其云层的位置,能清晰分辨出云顶、云底及其多层云、云夹层等云结构。

(2)可以利用探空数据资料,对关注或者重要的天气系统做垂直面的结构分析,通过分析不同时刻、位置的云系垂直结构,对深入了解不同天气系统的垂直结构特征和辅助分析天气和云降水等具有重要的意义。

另外,通过分析发现,相对湿度阈值法只能判别有无云及云高云厚等信息,而对云的类别和云的演变趋势无法判断。但信息数字化的V-3 θ 结构图法除了能体现这些信息外,还能对云的类别、相态,发展趋势等分析之,对于云层变化趋势的判断:由图形特征中3条位温曲线的垂直结构特征可知大气层结稳定度状况,判断大气中是否有对流,对流是否旺盛;由本站及周围测站各个层次的风向风速,可知水汽通道是否打开;由超低温信息结合高低空风场配置形成的滚流结构,可判断未来云的发展或消亡趋势。针对此,后续研究工作中将着重讨论并陆续给出详细介绍。

参考文献:

- [1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [2] 陆雅君,陈刚毅,龚克坚,等. 测云方法研究进展[J]. 气象科技, 2012,40(5):689—697.
- [3] 陈刚毅,丁旭羲,赵丽妍. 用模糊神经网络自动识别云的技术研究[J]. 大气科学, 2005,29(5):837—844.
- [4] 周毓荃,欧建军. 利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究[J]. 气象, 2010,36(11):50—58.
- [5] OuYang Shoucheng, Yi Lin. Structural Analysis of Evolutional Irregular 'Time-Series' Information [J]. Scientific Inquiry, 2009,10(1):35—44.
- [6] 欧阳首承,陈刚毅,林益(美). 信息数字化与预测[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [7] Yi Lin, Shoucheng OuYang. Irregularities and prediction of Major Disasters[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010.
- [8] 欧阳首承, D McNeil, 林益. 走进非规则[M]. 北京:气象出版社, 2002:219—231.
- [9] 欧阳首承. 天气演化与结构预测[M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [10] Chen Huizhi, Xie Na, and Wang Qin. Application of the Blown-Ups Principle to Thunderstorm Forecast[J]. Journal of Chinese Geophysical Society Applied Geophysics, 2005,(3):188—193.

- [11] 陆雅君,陈刚毅,张静,等. 城市暴雨的细化预测实例分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2011,26(5):517—521.
- [12] 陈会芝,郝丽萍,谢娜,等. 信息数字化与雾的细化预测[J]. 自然灾害学报,2009,18(5):151—156.

A Feasibility Analysis for Information Digitization Method of Cloud Vertical Structure

LU Ya-jun¹, MIN Wen-bin³, CHEN Gang-yi²

(1. Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610073, China)

Abstract: This paper analyzed many clouds' vertical structure of meteorological sounding data by using the method of V-3 θ structure diagram of information digitization, and found that this method can distinguish clear sky, the clouds location, cloud-base height, cloud-top height, cloud thickness and multilayer cloud, etc. Compared the results with the that of by using relative humidity threshold method, to find they are well consistent, which proves that it is feasible to distinguish clouds' vertical structure by using the method of V-3 θ structure diagram and has practical value.

Key words: atmosphere physics; rawinsonde observation; digitization; structured analysis; validation and verification