

预报微下击暴流潜能的一个新指数*

胡欣

(河北省气象台, 石家庄 050021)

赵秀英 吴宝骏

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 文章给出了预报微下击暴流潜能的一个新指数, 并介绍该指数的表达式、计算方法, 提出用于日常预报业务的思路。

关键词 微下击暴流 指数 预报业务

引言

McCann(1994)为预报微下击暴流潜能引入了一个新指数^[1]——大风指数或风指数, 记为WINDEX或WI。WI属经验性指数, 其依据是观测研究和数值模拟结果, 以下就我们对有关文献的理解说明WI指数的来源、表达式、计算方法, 希望对我国微下击暴流分析、预报有益。

1 WI指数的来源

根据气块理论, 由垂直动量方程和连续方程提出了一个微下击暴流强度公式:

$$\frac{dw}{dt} = g \frac{T'_v}{T_{v0}} - g(L + \delta) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} p' \quad (1)$$

其中 T_{v0} 是环境虚温, T'_v 是气块与环境的虚温差; p' 是扰动气压; ρ_0 是环境密度; $(L + \delta)$ 是液态水和冰的质量混合比, 其他均为常用气象符号。

在定常等假定下, 方程(1)的左端可以近似写成:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} w^2 \right) \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)并对高度积分, 再利用中值定理得:

$$\frac{w_{sfc}^2}{2} = \left[g \frac{T'_v}{T_v} - \overline{g(L + \delta)} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} p' \right] (z_i - z_{sfc}) \quad (3)$$

式中 z_i 代表下沉起始高度, 该处下沉速度为零; z_{sfc} 代表地面高度; w_{sfc} 代表达到地面的下沉速度, 它同下沉气流深度 $(z_i - z_{sfc})^{1/2}$ 有关。

2 WI指数的表达式

WI指数的表达式^[1]为:

$$WI = 5 [H_M R_Q (\Gamma^2 - 30 + Q_L - 2Q_M)]^{1/2} \quad (4)$$

其中 H_M 为0℃层距地面高度(单位: km)。Wakimoto和Bringi(1998)^[2]的观测研究和Srivastava(1987)^[3]、Proctor(1989)^[4]等人关于微下击暴流的数值模拟研究表明, 由于冻结物降落穿过0℃层时融化降温, 气块受到负浮力作用, 使下沉气流加速, 故下沉起始高度取为0℃层高度。

Γ 为环境直减率(单位: °C/km)。Srivastava(1985)^[5]等研究下沉气流受的力

* “河北省冰雹天气指导预报系统”与“冰雹落区预报逐级指导技术研究”两课题共同资助

表明,下沉气流所受的力与环境直减率的平方成正比(Γ^2)。他还指出,如果 $\Gamma < 5.5^\circ\text{C}/\text{km}$,则出现微下击暴流的概率为零, $\Gamma = 5.5$ 称为“微下击暴流的临界直减率”。同时,WI表达式中含一项 (-30) ,这表明WI右端为虚数时,McCann^[1]规定式(4)中的WI取作零。

Q_L 为低层比湿项 Q_M 为 0°C 层比湿项,(单位: g/km)。在式(3)计算气块的浮力时,应用了气块与环境的虚温差,即WI对环境的直减率非常敏感。因此,低层大气的混合比增大了有效直减率,WI中取 $(+Q_L)$ 项;而在 0°C 层处的混合比 Q_M 越小,越有利于增大有效直减率、通过该层的混合物蒸发以及下沉加速度。

R_Q 为经验订正系数,是对于较干环境中WI偏高的估计值的订正。 $R_Q = Q_L/12$ 称为干、湿微下击暴流的临界值。这个临界值是由Wakimoto^[6](1985)和Atkin和Wakimoto^[7](1991)分别在干、湿微下击暴流环境中找到的。干、湿微下击暴流的低层混合比分别约为 $4\sim 10\text{ g}/\text{kg}$ 和 $14\sim 18\text{ g}/\text{kg}$ 。

3 WI指数的计算方法

利用高空资料容易内插求出 H_M 、 Q_M 、 Q_L 和 Γ ,代入式(4)计算出WI指数。表1给出了一些计算实例^[1],由表可见,计算的值与观测的阵风值相当接近。利用探空资料可以计算、绘制出WI的平面分布图。

表1 对于已知微下击暴流环境(干或湿微下击暴流)计算的WI

微下击暴流地点	日期 (年.月.日)	H_M (m)	Q_M ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Q_L ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Γ ($^\circ\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$)	WI (kn)	阵风风速 (kn)	文献	湿/干
达拉斯,德克萨斯州	1985.08.02	4850	1.8	13.8	7.79	70	70	4	湿
佛罗里达南部	1975.07.01	4575	4.9	15.9	6.99	53	60	9	湿
阿拉巴马北部	1986.07.02	4700	3.8	15.8	7.17	59	60	2	湿
阿拉巴马北部	1986.07.13	4700	3.4	17.2	6.81	56	56	2	湿
丹佛附近,科罗拉多州	1982.06.30	3330	4.3	9.7	8.47	54	56	4	湿
丹佛附近,科罗拉多州	1982.07.14	3310	3.6	5.0	9.34	44	55	4	干
丹佛附近,科罗拉多州	1982.07.08	2890	3.9	5.0	9.67	43	36	8	干
丹佛附近,科罗拉多州	1982.08.05	3410	5.6	9.6	8.92	57	32	4	干
丹佛附近,科罗拉多州	1982.05.19	3350	5.2	6.9	8.96	47	48	6	干
丹佛附近,科罗拉多州	1982.07.18	3300	4.2	4.4	9.85	44	57	6	干

4 WI指数的应用

在实际预报业务中,如果假定地面观测的湿度代表大气底层(1 km)的湿度,那么可以根据地面观测资料计算出WI,得到微下击暴流潜势的逐时分布。这种逐时计算的WI能较好地反映大气的变化,优于12 h间隔探空作出的结果。

Fujita^[8](1985)根据水平尺度将下击暴流分成两类,即水平尺度小于(大于)4 km的称为微(宏)下击暴流。一些研究成果表明^[2,9],微下击暴流经常是在若干秒内从上升气流阶段演变为破坏性微下击暴流。Rydell

和Ladd^[10](1992)的一个重要发现是,德克萨斯南部微下击暴流都是二次发展,而不是初始对流引发的。

在实际预报微下击暴流中,WI象其他稳定度指数一样(如抬升指数LI等),可以绘制WI的平面分布图,并分析出WI的高值区。但是,若没有出流边界的启动,不会引发具有破坏性的微下击暴流。为了验证Rydell和Ladd的发现,McCann^[1]选择207个破坏性微下击暴流个例,计算了微下击暴流发生前30~120 s的地面WI,结果发现:在微下击暴流发生的雷暴中出流边界起着非常重要的作用。如果出流边界直接移入WI最大值处,预

报员应做出反应,即新对流有可能将在出流边界处发展,微下击暴流将会发展;若出流边界背离WI最大值移动,通常不会产生强的微下击暴流。可见,WI只代表发生微下击暴流的潜势。

对于追踪低层出流边界,卫星云图是一种很好的工具,先进的雷达也可用来较准确地追踪小范围地区的出流边界。目前,国内外中尺度数值天气预报为预报员提供了许多指导预报产品,人们普遍认为数值预报的准确率正在提高。目前的中小尺度天气系统预报,实际是制作其环境条件的预报。基于上述认识,我们在实际预报业务中可用模式输出探空资料——有关大气运动学和热力学结构的高时空分辨率的变化信息,绘制出动态的WI水平分布,再利用卫星、雷达资料明确表示出流边界位置、移动情况,这将有助于准确定位可能出现的微下击暴流。

参考文献

- McCann D W. W INDEX-A new index forecasting microburst potential. *Wea. Forecasting*, 1994, 9: 532-541
- Wakimoto R M and Bringi V N. Dual-polarization observations of microbursts associated with intense convection: The 20 July Storm during the MIST Project. *Mon. Wea. Rev.*, 1988, 116: 1521- 1539
- Srivastava R C. A model of intense downdrafts driven by the melting and evaporation of precipitation. *J. Atmos. Sci.*, 1987, 44: 1752- 1773
- Proctor F H. Numerical simulation of an isolated microburst. Part II: sensitivity experiments. *J. Atmos. Sci.*, 1989, 46: 2143- 2165
- Srivastava R C. A simple model of evaporatively driven downdraft: application to microburst downdraft. *J. Atmos. Sci.*, 1985, 42: 1004- 1023
- Wakimoto R M. Forecasting dry microburst activity over the high plains. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, 113: 1131- 1143
- Atkin N T and Wakimoto R M. Wet microburst activity over the southeastern United States: implications for forecasting. *Wea. Forecasting*, 1991, 6: 407- 482
- Fujita T T. The Downburst Microburst and Macroburst. SMRP Research Paper 210, University of Chicago, 1985. 122
- Caracena F and Maier M W. Analysis of a microburst in the FACE meteorological mesonet network in southern Florida. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, 115: 969- 985
- Rydell N N and Ladd J W. Toward a Climatology of South Texas Downbursts. NOAA Tech. Memo. NWS CR-102. Scientific Services Division. NWS Central Region, Kansas City, MO., 1992. 220- 224