下沉对流有效位能

赵秀英　彭治班　吴宝俊

（中国气象科学研究院，北京 · 100081）

刘玉玲　李耀东　刘健文

（空军第七研究所，北京　100085）

在近年出版的大气对流专著中[1,2]，引入了一个新参数——下沉对流有效位能 DCAPE。现根据有关文献及我们的理解，对其加以介绍。

1　对流风暴中主下沉气流的分支情况

20 世纪 80 年代中期，Knupp[3]在关于美国高原地区对流风暴低空下沉气流的综合分析中，提出了一个如图 1 所示表示主下沉气流分支情况的概念模式。他们将主下沉气流分为以下几类：发源于行星边界层（PBL）内的先上升后下沉气流（a）；发源于行星边界层以上的先上升后下沉气流（b）；发源于中层的下沉气流（c）。

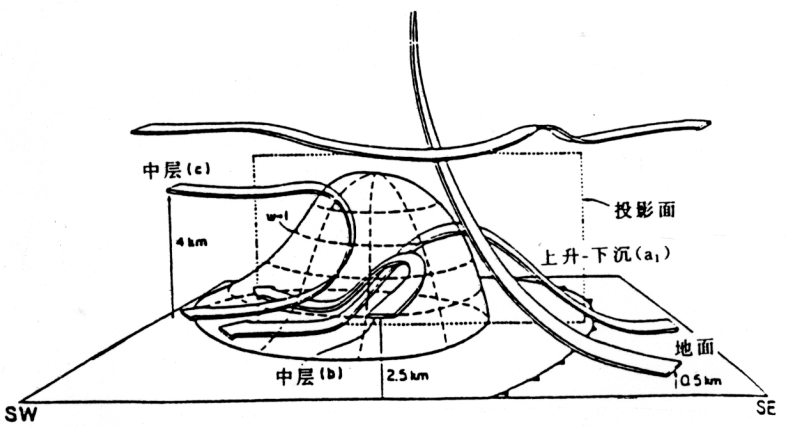


图 1　对流风暴中主下沉气流的分支情况[3]

在降水积云中，降水的形成、下落、融化、蒸发等过程对于降水积云的发展产生重要影响：降水物“荷载”直接产生负浮力，液态水蒸发产生负浮力，冻结水融化产生负浮力（详见文献[1]第 11 章降水积云动力学）。发源于入流区内的气流（a），最初受正浮力与向上气压梯度力作用上升，尔后受融化冷却、蒸发冷却以及降水物“荷载”作用而下沉。

在风暴的西南象限，中层下沉气流分支（b 和 c）起始于行星边界层以上 2～4km（AGL）气层内。这两支中层下沉气流，在风暴发展阶段最显著（而气流（a）则出现在风暴成熟阶段）。Knupp 发现[3]，中层下沉气流的下沉速率，依赖于它们起始高度处环境空气的静力稳定度，稳定度较大（小）时下沉速率较小（大）。

Emanuel 引入的下沉对流有效位能 DCAPE，主要是为了定量描述下沉气流的性质[1]。

（下转封三）

（上接封二）

2 下沉对流有效位能 DCAPE 表达式

如上所述，降水的一个重要作用，是当在未饱和空气中有降水物蒸发或(与)在融化层处有固体降水物融化时产生下沉气流。下沉气块具有的最大位能由以下两个步骤达到：第一步，气块由于落入其内的降水雨滴的蒸发作用等压冷却，直到气块达到湿球温度 T_w；第二步，气块沿假绝热线下沉，并且恰好产生足够的蒸发以维持气块的饱和状态(图 2)。下沉对流有效位能 DCAPE 与图 2 中斜线区的面积成正比，其表达式为：

$$\mathrm{DCAPE}=\int_{p_i}^{p_n}R_d(T_{\rho a}-T_{\rho p})d\ln p \qquad (1)$$

式中，T_ρ 表示密度温度[4]，下标 a 和 p 分别表示跟周围环境(ambient environment)和气块(parcel)有关的物理量，p_i 表示气块起始下沉处的气压，p_n 表示下沉气块达到平衡高度或地面处时的气压，余为惯用符号。

在计算 DCAPE 时，首先必须决定起始下沉高度并计算该高度处气块下沉时的温度。对于起始下沉高度的取法，不太一致，尚需进一步探讨：文献[1]把起始下沉高度取为 600hPa，如图 2 所示；文献[2]把起始下沉高度取在抬升凝结高度以下；文献[5,6]把起始下沉高度取在干冷空气侵入之处；文献[7]提出，应把起始高度取在湿球位温 θ_w 最小值高度处 。

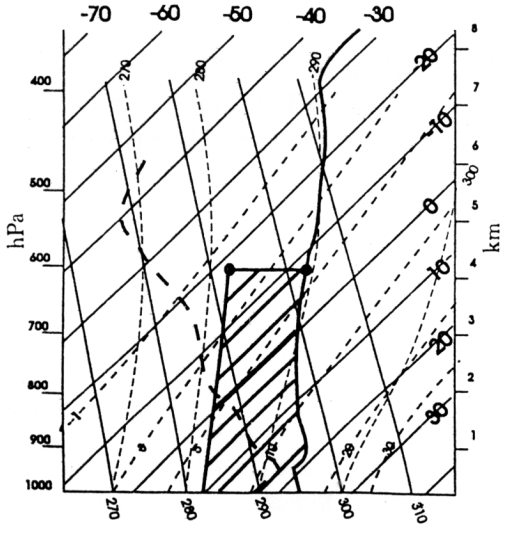


图 2 下沉对流有效位能 DCAPE 求法示意图。其中顶边为起始下沉层环境温度与湿球温度之差，右侧边为温度层结曲线，左侧边为假绝热线，底边为气块下沉到地面时环境温度与气块温度之差。取自文献[1]图 6.2。该图的底图，不同于我国常用的温度-对数压力图，而是温度-对数压力斜交图。

参考文献

1 Emanuel, K. A. Atmospheric Convection. 1994, Oxford Univ. Press, New York, 165～188.

2 Smith, R. K. (ed). The Physics and Parametrization of Moist Atmospheric Convection, 1997. Kuwer Academic Publishers, 29～58.

3 Knupp, K. R., and W. R. Cotton. Convective cloud downdraft structure: An interpretive study. Rev. Geophys. Space Phys., 1985; 23: 183～215.

4 彭治班，周小刚，赵秀英. 密度温度 T_ρ ——一个新的大气热力学变量. 气象，1999，25(10)：57，封三.

5 Gilmore, M. S., and L. J. Wicker, 1996: The influence of DCAPE on supercell dynamics. Preprints, 18th Conf. on Severe Local Storm, 723～727.

6 Gilmore, M. S., and L. J. Wicker, 1998: The influence of midtropospheric dryness on supercell morphology and evolution. Mon. Wea. Rev., 126: 943～958.

7 Rasmussen. E. N., VORTEX Operations Plan, 1994: 224 (引自[5]).