

浙江冰雹天气与边界层辐合的关系

俞樟孝 吴仁广 翟国庆 王泽厚

(杭州大学地理系)

提 要

通过七次冰雹天气过程的分析,发现浙江地区大范围降雹过程之前,对流层中下层并不一定有大规模辐合和上升运动,而是与边界层辐合却有着十分密切的关系。降雹前,边界层中都有辐合线存在,与此相应,有较强的质量和水汽通量辐合。无辐合线,则无大范围的冰雹天气发生。冰雹区的水汽通量散度垂直分布有明显特点,水汽辐合多集中于边界层内,辐合最大值在 950 百帕附近,850 百帕以上辐合很小,甚至是辐散。还发现边界层辐合的强度与冷锋位置有关。

一、引 言

强对流天气的发生发展,与大尺度环流背景有关。但近年来,人们越来越注意行星边界层的影响。文献[1]指出,边界层对于位势不稳定层结的建立、水汽的供应以及触发暴雨和强对流天气都有重要作用。

不少作者曾指出^[2,3,4],低层水汽辐合对于强对流天气的发生和移动有非常密切的关系。我国北方冰雹预报科研协作组对华北大范围雹暴进行了研究^[5],发现降雹区附近边界层内有切变线存在,认为强对流天气的激发不仅与天气尺度的系统性上升运动有关,同时又与边界层的辐合抬升作用有关,它是触发强对流天气的一种不可忽视的启动条件。文献[6]通过一次强飑线的中分析,发现低层辐合线上可以形成飑线。有的作者指出^[7],地面辐合线上辐合中心——涡旋的发生发展,导致不稳定能量的大规模释放,是一种重要的触发机制。文献[8]指出,对流云或雷暴是由低空中尺度辐合线触发生成。

但是对我国南方冰雹天气过程中边界层作用的研究尚较少。本文选取了近十年来浙江地区出现的七次大范围(十个县以上)冰雹天气过程(见表1),对其大尺度动力参数和

表1 本文选取的七次冰雹天气过程

日 期	降 雹 范 围
1975.5.30	嘉兴、杭州、绍兴三地区 11 个县
1976.4.22	嘉兴、丽水等地区 17 个县
1977.4.24	全省各地区 25 个县
1977.5.5	温州、台州、丽水三地区 12 个县
1980.6.26	全省各地区 26 个县
1981.5.2	全省各地区 26 个县
1981.5.10	嘉兴、宁波、丽水等七地区 13 个县

1983年10月28日收到,1984年3月26日收到再改稿。

边界层辐合进行定性、定量的分析,以揭示它们与浙江大范围冰雹天气之间的关系。

二、浙江冰雹天气与大尺度动力参数之间的关系

一些文献中曾指出^[9,10],中纬度强对流天气多产生在 500 百帕短波槽前,与 500 百帕上的正涡度平流、高空辐散、低层辐合等大尺度动力参数有较高的相关性。本文对这些参数与浙江地区大范围冰雹天气之间的关系作了计算和分析。

利用常规高空观测资料,分别采用格点法和三角形法计算。由于所选的七次过程中,冰雹都发生在 12 时以后,因此以当日 08 时代表发生前的时刻。

表 2 是冰雹发生前,几种大尺度动力参数的计算结果。

表 2 冰雹天气发生前的大尺度动力参数值

日 期	VA_{500}	MD_{850}	RD	ω_{850}	D_{1000}
1975.5.30.08 时	12.8	0.5	3.6	-1.1	-0
1976.4.22.08 时	6.0	0	-0.7	-0.4	-0.6
1977.4.24.08 时	-1.8	4.4	-1.1	0.6	-0.4
1977.5.5.08 时	-40.2	-4.5	0.1	1.8	0.7
1980.6.26.08 时	-9.0	0.8	0.4	-0.8	-0.2
1981.5.2.08 时	8.4	-2.1	2.0	-0.5	0.6
1981.5.10.08 时	7.3	-1.7	1.2	-1.0	1.2

说明: VA_{500} (10^{-10} 秒 $^{-1}$) 为 500 百帕涡度平流。

MD_{850} (10^{-3} 克/厘米 2 ·百帕·秒) 为 850 百帕水汽通量散度。

RD (10^{-3} 秒 $^{-1}$) 为 300 百帕散度减 850 百帕散度。

ω_{850} (10^{-3} 百帕·秒 $^{-1}$) 为 850 百帕垂直速度。

D_{1000} (10^{-3} 秒 $^{-1}$) 为 1000 百帕散度。

它表明以下几点事实:

1. 降雹发生前,500 百帕上浙江地区负涡度平流有三次,竟占 43%。例如 1977 年 5 月 5 日 08 时,负涡度平流很大,达 -40.2×10^{-10} 秒 $^{-1}$,并且从 4 日 20 时到 5 日 20 时一直都是负平流,在 5 日下午浙南发生了大范围降雹。

2. 浙江大范围降雹前,850 百帕上的质量和水汽通量散度七次中有三次是辐散,有的虽是辐合,但其值甚小。例如 1977 年 4 月 24—25 日和 1980 年 6 月 26—27 日,这二次都是受灾范围达 25 个县以上的冰雹天气过程,但 4 月 24 日和 6 月 26 日 850 百帕上的散度,不仅 08 时是辐散,20 时也是辐散。

3. 以 300 百帕和 850 百帕的散度之差作为相对辐散。降雹发生前有正的(5 次),也有负的(2 次)。但有时即使是正的而其值仅 0.5×10^{-3} 秒 $^{-1}$ 以下。

4. 格点法算得的 850 百帕垂直速度表明,冰雹天气发生前,850 百帕上可以是上升运动(5 次),也可以是下沉(2 次)。即使是上升运动,最大时也仅 -1.0×10^{-3} 百帕·秒 $^{-1}$ 左右。

用三角形算得的结果,发生前都是上升运动,但有二次的值为 -0.0 。

5. 冰雹天气发生前,地面不一定有大尺度的辐合,七次中有三次是辐散。

上述大尺度动力参数的计算结果表明,浙江地区大范围降雪前 6—12 小时,在对流层中、下部并不一定有辐合和上升运动,这和过去有些作者的结论不完全一致。大尺度流场对产生冰雹天气的具体作用,有待进一步研究。这一结果启示我们,为了深入了解冰雹天气的触发条件,还须进一步分析边界层内尺度较小的运动。

三、冰雹天气过程中的边界层辐合

(一) 边界层辐合线与冰雹天气之间的关系

通过七次过程的地面流场分析,发现在冰雹天气发生之前,浙江地区都已存在地面辐合线。有时是一条,有时两条或两条相交。它们的尺度大小不一,有的较长,可达 5—6 个纬距,有的仅 2—3 个纬距。

应用杭州、衢州二站的高空测风资料,制作测风时间剖面图,以杭州代表浙北,衢州代

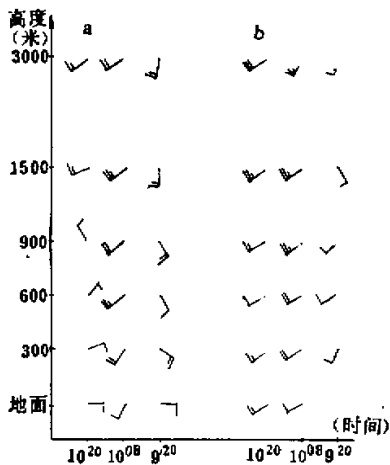


图 1 1981 年 5 月 9—10 日杭州 (a)、衢州 (b) 测风时间剖面图

表浙南。由图(图略)可见,在冰雹天气过程中,不仅地面有辐合线存在,而且在相当厚的气层内都有反映。所选的七次过程中,浙江北部出现六次冰雹,与这六次相应,杭州测风时间剖面图上都有辐合线存在。其中二次为深厚的辐合系统,而其余四次仅出现于 1000 米以下的边界层内,在 850 百帕以上并无反映。浙南情况与浙北相似,出现五次冰雹,与其对应的衢州测风剖面图上都有辐合线,其中三次仅在边界层内有明显反映。

值得指出的是:七次过程中,无论浙南或浙北,都未发现测风时间剖面图上边界层内无辐合线而有冰雹天气发生的。即使不稳定指数都已超过了临界值*亦如此。例如 1981 年 5 月 10 日,杭州和衢州的不稳定指数都超过了临界值,在杭州的测风剖面图上边

界层内有辐合线存在(见图 1a),浙北出现了冰雹天气;而衢州的测风剖面图上没有辐合线(见图 1b),浙南就无冰雹出现。由此可见,边界层辐合线对于冰雹天气有着非常重要的作用,可以认为是浙江地区发生大范围降雹的必要条件之一。

事实表明,在不少情况下,辐合线仅出现于 1000 米以下的边界层内,而在 850 百帕上已无反映。因此在分析冰雹天气的触发条件时,不仅要注意 850 百帕上辐合上升的情况,更重要的是必须仔细地分析边界层的辐合系统。

* 根据四年资料得出的浙江发生大范围冰雹天气的几种不稳定指数最低值。

(二) 边界层辐合线的类型

边界层辐合线可归纳为三类:

1. 冷锋前暖区中的暖锋式切变

在冷锋前的暖区中, 浙江和苏、皖南部地区的边界层内, 常出现暖锋式切变。例如 1980 年 6 月 26 日, 地面冷锋位于南京-长沙-桂林一线, 由衢州测风时间剖面图可见, 在 500 米高度上 08 时为东南风 3 米/秒, 20 时转为西南风 6 米/秒, 表明有一暖锋式切变线过境。与此相对应, 26 日 08 时的 500 米流线上(图 2), 衢州附近有一条暖锋式切变线。

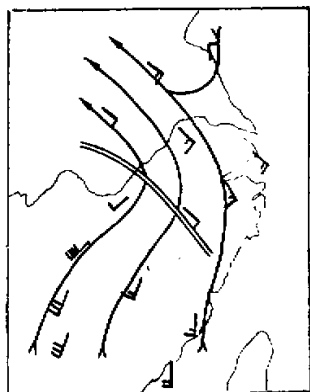


图 2 1980 年 6 月 26 日 08 时 500 米流线

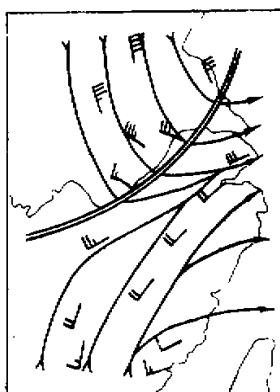


图 3 1980 年 5 月 2 日 08 时 500 米流线

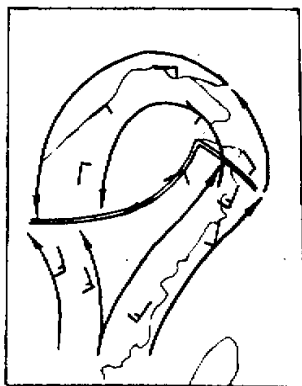


图 4 1980 年 6 月 26 日 02 时地面流线

暖锋式切变线的特点是出现频次比较高, 移动缓慢, 维持时间比较长。有时在冰雹天气发生前 1—2 天已经出现, 直到冷锋过境强天气过程结束才消失。

2. 冷锋式切变

冷锋式切变常是锋面成中、低空切变线在边界层的反映,它自北向南或自西向东移动,移速较快。例如1981年5月2日08时,在500米流线上(图3),自上海至南昌一线有一条切变线,显然它就是冷锋在流场上的反映。

3. 人字形切变线

这类切变线是由冷锋式切变线和暖锋式切变线相交而成。图4是1980年6月26日02时的地面流线图,在浙江有一人字形切变线。

(三) 计算结果

计算了浙江地区500米高度上的质量和水汽通量散度。由于所选的七次过程在杭州、衢州、大陈这一三角形区域内都出现了冰雹天气,因此以这三角形为代表,讨论边界层辐合与冰雹天气之间的关系。又由于冰雹天气多出现在12时至20时这一时段内,有的出现时刻离08时较远,有的离20时较远,因而采用三角形内08时和20时散度的平均值(以后称为日平均值)。

表3列有杭州、衢州、大陈三角形内降雹日的质量和在水汽通量散度日平均值。

由表可见,冰雹天气与边界层散度的相关性,比与850百帕散度的相关性密切得多。七次过程中,850百帕上的质量和水汽通量是辐散的有三次,而在边界层内,虽然1000百

表3 杭州、衢州、大陈三角形区域内降雹的质量和在水汽通量散度日平均值

日 期	地 面		500 米		850 百帕	
	D	MD	D	MD	D	MD
1975.5.30	1.5	1.5	-1.6	-2.6	2.0	2.2
1976.4.22	-4.5	-4.7	-4.2	-5.2	-2.0	-2.5
1977.4.24	-1.0	-1.3	-1.6	-3.5	3.0	4.7
1977.5.5	0	-1.8	-2.0	-3.6	-2.5	-3.4
1980.6.26	-4.5	-9.2	-2.2	-4.3	0	1.2
1981.5.2	-3.6	-3.6	-5.8	-6.2	-5.5	-2.3
1981.5.10	-0	-1.3	-3.1	-5.8	-1.0	-1.7
平 均	-1.7	-3.3	-3.1	-4.7	-0.9	-0.3

说明: $D(10^{-7}\text{秒}^{-1})$ 为质量散度

$MD(10^{-7}\text{克/厘米}^2 \cdot \text{百帕} \cdot \text{秒})$ 为水汽通量散度。

帕上有一次是辐散,但500米上都是辐合,并且其值也较大。因此就整个边界层来说,质量和水汽通量都是辐合的。特别是500米上,其辐合值都比同过程中850百帕上的大得多。水汽通量辐合尤为明显,500米上的七次平均值为 $-4.7 \cdot 10^{-7}$ 克/厘米²·百帕·秒,最大可达 $-6.2 \cdot 10^{-7}$ 克/厘米²·百帕·秒,而850百帕上四次水汽辐合的平均值为 -1.9 ,最大为 -3.4 。冰雹日的边界层辐合,一般也比非雹日出现的边界层辐合大得多。我们计

算了1981年4月10日至5月10日上述三角形区域内500米的水汽通量散度,除二次冰雹天气外,还有六天的散度日平均值是负的,但其平均值仅为 $-1.7 \cdot 10^{-7}$ 克/厘米²·百帕·秒,最大为 $-3.7 \cdot 10^{-7}$ 克/厘米²·百帕·秒。

图5是七次过程的平均水汽通量散度垂直廓线,由图可见,冰雹天气过程中,水汽通量辐合多集中于边界层内,辐合最大值出现在950百帕附近,边界以上辐合随高度迅速减小,850百帕以上几乎全为辐散。这样的水汽通量散度垂直分布,显然有利于大气不稳定能的形成和加强。

综上所述,边界层内的大量辐合,一方面能产生较强的抬升作用,另一方面又能提供大量水汽,并且还有利于不稳定能的形成和加强,因此是促使强对流天气发生的必要条件。

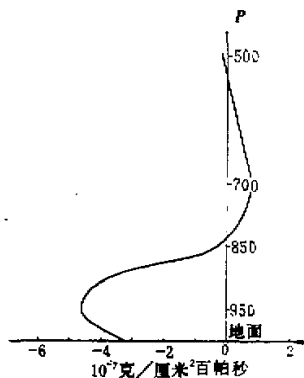


图5 七次冰雹天气的平均水汽通量散度垂直分布

四、大范围降雹与冷锋位置的关系

边界层辐合只是一个必要条件。当有辐合线时,是否出现冰雹天气,除了与大气中的不稳定能量有关外,还与冷锋的位置有关。锋面距辐合线相当远时,往往就没有冰雹天气出现。表4是七次冰雹天气过程发生前,地面锋线与辐合线的距离。由表可见,发生前二者的距离都在五个纬距之内,平均为2.5个纬距。

表4 浙江大范围冰雹天气发生前地面锋线与辐合线的距离

时 间	1975.5.30	1976.4.22	1977.4.24	1977.5.5	1980.6.26	1981.5.2	1981.5.10
距离(纬距)	2	4	2	2	2	2.5	2.5

当冷锋距辐合线过远时,即使浙江地区同时具备较大的不稳定能量和边界层辐合,也未必产生大范围冰雹天气。例如1976年4月21日,浙江地区已出现边界层辐合线,并且不稳定指数都超过了临界值,但冷锋离辐合线还很远——约9个纬距,该日没有冰雹天气出现。到22日08时,不稳定指数仍超过临界值,并且由于冷锋继续南下,与辐合线的距离缩短为3.5个纬距,该日就出现了大范围降雹。因此,边界层辐合线与冷锋之间的距离不大于5个纬距,可以认为是冷锋前浙江地区产生大范围降雹的必要条件之一。

为什么边界层辐合线与冷锋的距离须在一定的范围内才会有冰雹天气出现?这个问题有待今后进一步研究。

五、小 结

根据七次个例分析,对于浙江地区大范围冰雹天气的触发条件,可归纳为以下几点:

1. 浙江地区大范围降雪前 6—12 小时, 对流层中下部不一定有大尺度的辐合和上升运动。

2. 大范围强降雪发生前, 边界层内都有辐合线存在, 并且与此相对应都有较大的质量和水汽通量辐合。因此, 边界层辐合线可以认为是发生大范围降雪不可缺少的天气系统, 较强的边界层辐合是极重要的触发条件。

3. 边界层辐合线对冰雹天气的作用, 与冷锋的位置有关。当二者相距小于 5 个纬距时, 未来 12 小时内浙江地区才有大范围冰雹天气出现。这可能是和冷锋接近引起低层辐合和抬升作用加强有关。

4. 冰雹天气过程中的水汽通量散度垂直分布, 与暴雨区的相比有明显差别, 前者的水汽辐合几乎全部集中在边界层内。因此边界层辐合不仅是重要的触发条件, 而且是极重要的水汽来源, 并对不稳定能的形成和加强有很大贡献。

由于本文分析的例子较少, 所得结论有待进一步验证。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言、丁一汇、周晓平, 暴雨和强对流天气的研究, 大气科学, 第 3 卷第 3 期, 1979.
- [2] Hudson, H. R., On the relationship between horizontal moisture convergence and convective cloud formation. *J. Appl. Meteor.*, **10**, p. 755—762, 1971.
- [3] Weaver, J. F., Storm motion as related to boundary-layer convergence. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, p. 612—619, 1979.
- [4] Negri, A. J., et al., Moisture convergence using satellitederived wind fields: A Severe local Storm case study. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, p. 1170—1182, 1980.
- [5] 北方冰雹预报科研协作组, 华北大范围雹暴的天气学研究, 气象出版社, 1982.
- [6] 杨国祥等, 一次强辐线的中分析, 大气科学, 第 1 卷第 3 期, 1977.
- [7] 宋锦乾等, 一次强对流天气的中尺度分析, 气象, 第 8 期, 1979.
- [8] 丁一汇等, 中尺度对流系统的发生发展, 暴雨文集, p. 69—77, 吉林人民出版社, 1978.
- [9] Miller, R. C., Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central, Air Weather Service United States Air Force, May 1972.
- [10] Charba, J. P., Two to six hour severe local storm probabilities: An operational forecasting system, *Mon Wea. Rev.*, **107**, p. 268—282, 1979.
- [11] 丁一汇等, 暴雨和强对流天气发生条件的比较分析, 大气科学, 第 5 卷, 第 4 期, 1981.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BOUNDARY LAYER CONVERGENCE AND OCCURRENCE OF HAIL WEATHER IN ZHEJIANG

Yu Zhangxiao Wu Renguang

Zhai Guoqing Wang Zehou

(Department of Geography, Hangzhou University)

Abstract

Analysing seven large-area hail events in Zhejiang, we have found that prior to the occurrence of events, the large-scale convergence and ascending motion are not necessary to have in the middle and lower troposphere. However, hail events are closely related to the boundary layer convergence. For all the seven cases, the convergence lines with stronger mass/moisture convergence in boundary layer are in existence prior to hail shooting. Large-area hail shooting event is unlikely to occur without the boundary layer convergence line. The averaged vertical profile of moisture flux divergence in hail shooting area has the following remarkable features: The moisture convergence is concentrated in the boundary layer with the maximum convergence existing around 950 hPa and the convergence above 850 hPa is so small that sometimes it becomes divergence. It is also found that the intensity of boundary layer convergence is related to the location of cold front.