

2007年3月山东、辽宁罕见强降水成因分析

信 欣 李 宁 毛奇浩

(北京华风气象影视信息集团有限责任公司, 100081)

提 要: 2007年3月2—5日, 我国北方地区出现大范围雨雪天气, 其中山东、辽宁等地出现了冬末初春突破历史纪录的强降水。通过对环流形势场和物理量场的初步分析表明: 强盛的低空急流和地面温带气旋的强烈发展, 带来了类似夏季暴雨的充沛水汽; 同时整个对流层都出现了上升运动, 而且对流层中层的最大上升速度和夏季出现暴雨的条件相当。因此良好的水汽条件和强劲的上升运动, 是造成山东、辽宁强降水的主要原因。

关键词: 强降水 低空急流 温带气旋强烈发展 强劲上升运动

引 言

2007年3月2—5日, 受强冷空气和温带气旋的共同影响, 我国北方地区出现2006年冬季至2007年初春范围最大、强度最强的一次雨雪天气过程, 其中辽宁、山东等地出现了自1951年有气象记录以来历史同期(11—3月)最强雨雪天气。产生这次极端天气事件的大背景是暖冬。2006—2007年冬季, 我国平均气温较常年同期偏高 1.9°C , 仅次于1998—1999年的冬季, 为历史同期第二高值年。而且东北、华北等北方地区的气温更是明显偏高, 当来自海洋上强盛的暖湿气流与贝加尔湖地区南下的强冷空气相遇, 就触发了这一极端天气事件的发生。不过根据1951年以来的历史情况看, 11—3月强冷空气活动给辽宁、山东等地带来的降水都明显少于2007年3月的降水过程。而且历史上整个冬半年(10月至次年3

月)也很少出现类似的强降水。在以往文献中, 对我国北方11—3月的强降水的分析不多。因此本文希望通过对其环流特征、水汽条件、动力条件和能量条件的分析, 来探讨产生这次罕见强降水的成因。

1 天气实况

3月2日08时至6日08时, 河南大部、河北大部、北京、天津、山东、辽宁、吉林东部、黑龙江东部等地的过程降水量为25~49mm, 其中辽宁东部、山东半岛等地出现了50~99mm的降水(图1)。这次强降水过程中, 辽宁丹东、大连, 山东烟台都出现了暴雨, 丹东最大, 降雨量为99mm。而辽宁西部和中北部、吉林和黑龙江两省的东部出现了罕见的暴雪。辽宁鞍山的降雪量最大, 达到了78mm, 辽宁省会沈阳也下了49mm的暴雪, 成为有气象记录以来最大的一场降雪。异常的强降水, 使得不少城市的

单日降水量超过常年 3 月的平均降水总量,并创造了 1951 年以来 11—3 月单日降水量的新极值(表 1)。

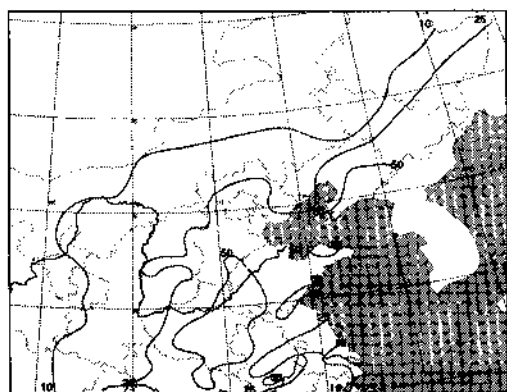


图 1 2007 年 3 月 2 日 08 时至 6 日 08 时过程降水总量(单位: mm)

表 1 部分创 11—3 月历史纪录的城市及单日降水量(单位: mm)

城市	最大单日降水量	过程降水总量	3 月平均降水量
丹东	99 (0402—0502)*	99	18.1
鞍山	78 (0402—0502)	78	14.9
大连	56 (0320—0420)	57	12.1
烟台	50 (0320—0420)	51	16.5
沈阳	49 (0402—0502)	49	17.9

*: 降水开始日、时间与结束日、时间

从表 1 可以看出,这次强降水过程中,辽宁和山东等地的降水量超过常年 3 月降水量的 2~4 倍,怎样的气象条件导致了这次强降水的发生?以下分别从环流形势、物理量场进行讨论和初步分析。

2 环流形势特征——强盛的低空急流与强烈发展的温带气旋

3 月 1—6 日全国出现了一次寒潮天气过程,从对流层中层 500hPa 环流来看,并不是典型的寒潮爆发形势,只是 3 月 2—3 日,500hPa 上在青藏高原和贝加尔湖附近

各有一低槽东移发展(图略)。4 日 08 时,在 110~115°E 这两个槽同位向叠加,到 5 日在 120~130°E 合并为东亚大槽。

而在低层,有利于降水的特征十分明显,850hPa 的特征是强盛的南风急流不断加强,并向北伸展到山东和辽宁等地。2 日 08 时,广西到湖南开始形成一支西南急流,最大风速 $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。到了 2 日 20 时,急流北抬,从广西经湖南向北延伸到河南南部,最大风速在 $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。3 日 08 时,急流进一步加强,在湖南西部的风速加大到 $22\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,江西、安徽的风速也普遍加大到 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 日 20 时,广西、广东、湖南、江西、安徽为一致的西南风,风速在 $10\sim 18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而且急流的范围向东、向北扩展,江苏和山东的上空的风速明显加大,山东的最大风速有 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。4 日 08 时,由于 500 hPa 两个高空槽的同位向叠加,促使 850 hPa 偏南风急流继续向北推进,而且山东半岛出现了一个 $36\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流中心(图 2a),大连和丹东的风速也加大到 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时,随着强冷空气的东移南下,急流西侧的偏北气流也不断加强,分别在内蒙古东部和安徽出现了 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的北风。山东半岛和辽宁的强降水几乎都开始于这个时间的前后。4 日 20 时,西南急流主要在朝鲜半岛,辽宁和山东均转为北风,锦州的北风风速达到了 $36\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (见表 2)。而山东半岛和辽宁的降水也大都 4 日 20 时以后迅速减弱。

地面场的特征是有一个温带气旋的急剧发展。3 日在低空急流西侧的涡度平流和暖平流的作用下,诱导地面场在江淮地区有一个弱气旋波生成,3 日 20 时中心气压 1006 hPa。在 500 hPa 槽前西南气流的引导下,江淮气旋边向东北方向移动,强度加强。到 4 日 08 时,气旋中心正好位于山东半岛,中心气压下降到 1002hPa(图 2b)。进入黄

表 2 850hPa 南风急流演变

时间	急流范围	急流中心最大风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) / 地点
2 日 08 时	广西、湖南	18/湖南
2 日 20 时	广西、湖南、湖北、 河南南部	18/湖南
3 日 08 时	广西、湖南、江西、 湖北、河南、安徽	22/湖南
3 日 20 时	广西、湖南、江西、 湖北东部、安徽、 江苏、山东	24/山东
4 日 08 时	广东、福建、江西、 浙江、安徽、江苏、 山东半岛、辽东半 岛	36/山东
4 日 20 时	朝鲜半岛	32/朝鲜

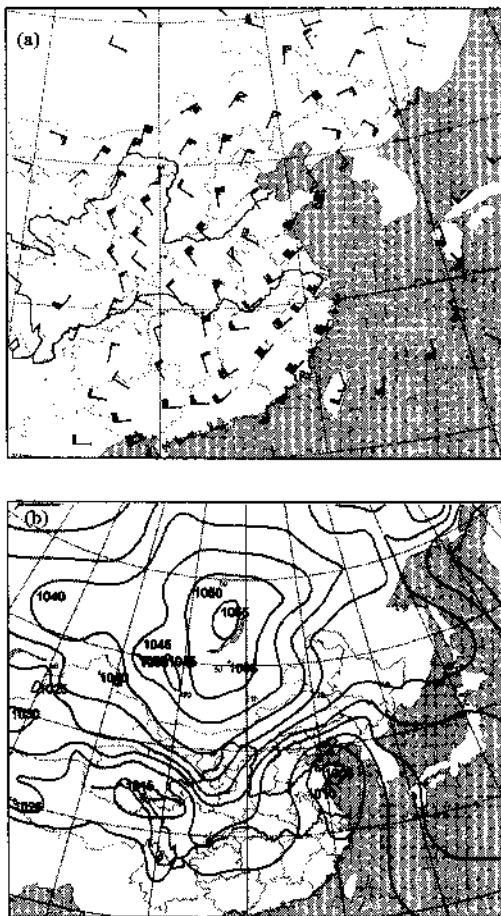


图 2 2007 年 3 月 4 日 08 时 850hPa 风场 (a) 和地面形势场 (b)

海之后, 气旋迅速发展加强, 并继续向辽宁东部和朝鲜半岛移动。5 日 08 时, 气旋的强度已经加深到 989hPa, 这一强度已相当于热带风暴。气旋的急剧发展, 导致地面辐合的强烈发展, 有利于强降水的发生。而且在气旋急剧发展的同时, 气旋西侧强北风也加速了贝加尔湖地区的冷高压的快速东移南下。因此, 4 日前后, 强冷空气和强劲的暖湿气流在华北、东北一带正面交汇, 形成了大范围的降水。

3 物理量场诊断分析

仅从形势场分析, 还不足以看出这次降水为什么能突破同期历史纪录, 出现类似于夏季的降水量级。一般出现强降水, 需要十分充沛的水汽和强烈的上升运动, 以及良好的能量条件。4 日有地面气旋入海发展, 而且辽宁、山东的强降水集中在 4 日。因此, 以下对 4 日的水汽条件、动力条件和能量条件逐一进行分析。

3.1 水汽条件——类似夏季的充沛水汽

从上面的形势场分析可以看出, 低空急流以及地面温带气旋的急剧发展把暖湿气流源源不断地输送到山东、辽宁一带。在水汽通量场上 (图 3a), 3 月 4 日 02—08 时, 沿 122°E , 对应山东半岛到辽东半岛存在一个大值区, 中心值 $>19\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$, 3 月 4 日 08 时最大值达到 $27.5\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ (图略)。不仅水汽的通量大, 而且 850hPa 风场显示, 渤海上空出现了一个气旋式环流 (图 2a), 辽宁和山东半岛一带出现了风速和风向的辐合, 大量的水汽在这一带汇集。在 850hPa 的水汽通量散度场上 (图 3b), 4 日 08 时在山东半岛和辽东半岛就有明显的水汽辐合, 最大辐合中心 $<-12.5 \times 10^{-8}\text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 。烟台气

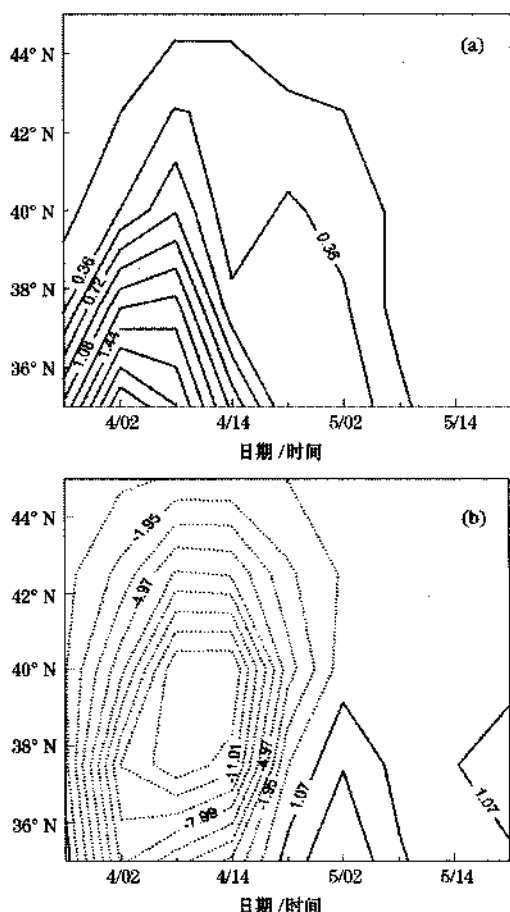


图3 2007年3月3日20时至5日20时850hPa水汽通量(a)及水汽通量散度(b)沿122°E时间-纬度剖面图

单位分别是 $10^1 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 和 $10^{-8} \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$

象台对暴雨的统计表明^[1], 如果850hPa水汽通量的轴线呈南北向, 其中心值 $>16 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$, 同时山东半岛水汽通量散度 $<-12 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$, 一般会发生暴雨。这次烟台的暴雨和上述条件完全符合。不过, 这样的水汽条件维持的时间不长, 不会超过12个小时。从降水的时间分布来看, 辽宁、山东最强的降雨和降雪均出现在水汽通量辐合达到最大的前后12小时, 即4日02—14时。例如, 烟台4

日02—08时, 降雨量为35mm, 占整个过程降雨量的68.6%; 4日08—14时, 为沈阳降雪最集中的时段, 降雪量27mm, 占整个过程降雪量的55.1%。到了4日20时, 水汽通量散度的负值中心已经向东北方向移动到了辽宁东部到朝鲜半岛一带, 辽宁西部、中部和山东半岛的水汽通量散度已经转为正值, 即处于水汽的辐散区。正好对应4日20时以后, 沈阳、烟台的降水明显减弱。就这次过程的水汽通量及其散度的数值看, 与夏季南方出现暴雨的情况非常相似^[2]。可见类似夏季的低层充沛的水汽是形成这次罕见强降水的原因之一。

3.2 动力条件——类似夏季暴雨的强劲上升运动

如果没有动力机制把低层的水汽带到中高层, 也很难出现强烈的降水, 因此良好的动力条件也是出现强降水的一个关键因素。3月4日08时, 河北、北京、山东、辽宁850hPa到200hPa上空都是正涡度(图略), 而且在辽东半岛南部为正涡度平流的最大值(图略), 有利于低层气旋的发展加强, 有利于低层的辐合。正好对应4日08时850hPa散度场上(图略), 在渤海海峡上, 存在明显的辐合, 与此同时200hPa有明显的辐散, 而且低层的辐合中心和高层的辐散中心基本重合, 有利于4日上升运动的维持和加强。实际观测证明, 山东半岛、辽宁的上升运动在4日达到最强, 而且对流层整层都处于上升运动中。

以沈阳单站为例, 4日02时到4日20时, 从地面到150hPa的垂直速度都是负值, 整个对流层大气都处在上升运动中, 而且4日08—20时, 500hPa附近上升运动最明显(图4), 上升速度 $<-13 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 相当于 $0.197 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 正好和沈阳最大12小时降水时段相吻合。沈阳在3月份

出现如此强烈的上升运动, 非常罕见。1997 年的夏季, 8 月 20—21 日 Winnie 台风减弱的热带风暴在辽宁登陆时出现过类似的强烈上升运动, 当时沈阳上空 500hPa 的最大上升速度为 $0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [3], 24 小时最大降雨量达到了 102.6mm, 过程雨量高达 140mm。

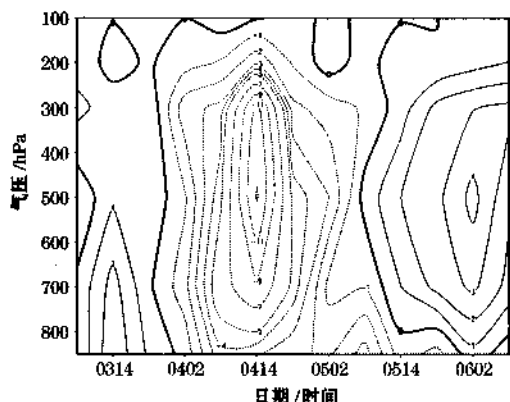


图 4 2007 年 3 月 3—6 日沈阳垂直速度时间高度剖面图

通常上升速度的最大值出现在无辐散层, 沈阳的最大上升速度出现在 500hPa 附近, 和以往的统计情况相符 [4]。再通过 500hPa 的垂直速度场 (图 5) 可以看出, 3 月 4 日 08—14 时在山东半岛到辽东半岛都为垂直速度负值的大值区, 对应大连和烟台在 4 日 02—14 时, 出现了明显的降水, 12 小时降水量分别达到 53mm 和 40mm。而且 122°E 最大上升速度负中心 $< -83 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5)。上升速度已经达到 $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的量级, 和安徽、江西夏季出现暴雨一大暴雨的条件相当 [5,6]。

4 日 14 时, 500hPa 的上升运动中心向东北移动到丹东地区上空 (图略), 上升速度约为 $-30 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 正好对应丹东 4 日 08—14 时, 出现了 63mm 的强降雨。因此, 类似于夏季的强烈上升运动也是辽宁、山东半岛出现强降水的又一个原因。

而且由于上升运动强烈, 把低层大量的水汽带到了高空。在这次强降水过程中, 不仅低层的湿度条件好, 而且中高层的湿度条件也得到改善, 3 日 20 时到 4 日 02 时, 500hPa 和 300hPa 高度上, 河北、山东到辽宁一带的相对湿度普遍超过了 70%, 中心甚至达到 90% (图略), 湿层深厚, 从地面一直向上延伸到 300hPa。

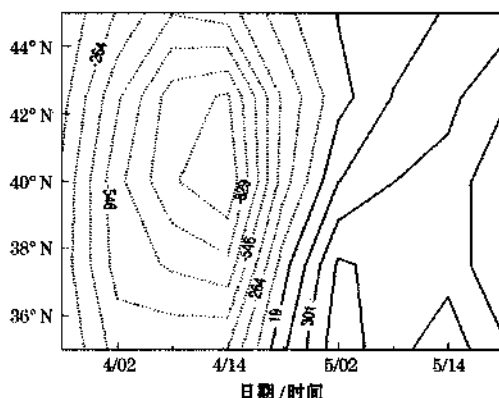


图 5 2007 年 3 月 4—5 日沿 122°E 500hPa 垂直速度时间-纬度剖面图
(单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

从图 3b 和图 5 也可以看出, 500hPa 的上升运动中心和水汽通量散度的辐合中心基本重合, 因此在辽宁和山东半岛出现了强烈的降水。而且上升运动和水汽的配合情况也符合文献 [4] 中夏季出现暴雨的条件。不过, 在水汽条件和动力条件匹配得很理想的情况下, 降水量还是比南方夏季稍逊一些。可能的原因是有利于降水的条件持续时间不长。强烈的上升运动配合明显的水汽辐合不超过 12 个小时, 因此强降水比较短暂。

3.3 能量条件——明显低于夏季暴雨水平

产生强降水, 除了需要水汽和动力的因素以外, 还应该考虑能量条件。而根据以往的统计 [7], 发生暴雨时, 假相当位温一般在 340K 以上。3 月 4 日 08 时的 850hPa 假相

当位温, 辽宁一带普遍在 $290\sim 305\text{K}$, 山东半岛在 $310\sim 315\text{K}$ (图略)。从 K 指数的情况看, 也同样不利于强降水的发生。在降水最强的4日08时, 辽宁地区的 K 指数只有 $0\sim 20^\circ\text{C}$, 山东半岛在 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 左右 (图略)。通常夏季出现暴雨的时候, K 指数大多在 35°C 以上。可以看出这次北方强降水的能量条件较差。这也可能是降水没有达到大暴雨量级的原因。

4 结 论

通过以上分析可以看出, 850hPa 强盛的南风急流和地面温带气旋的急剧发展, 使得山东半岛、辽宁具备了与南方夏季暴雨一大暴雨相似的水汽条件, 同时低层明显的辐合和高层强烈的辐散, 使得上升运动得以维持和加强, 达到了夏季出现暴雨的量级。因此良好的水汽条件配合强劲的上升运动, 是造成这次山东、辽宁等地罕见强降水的主要原因。但由于水汽条件和动力条件匹配的时间短, 不超过12小时, 而且能量条件比较差, 因此降水量稍逊于南方夏季的水平。

因此2007年3月4日发生在辽宁、山东的罕见强降水主要是以下三个原因:

(1) 850hPa 强盛的南风急流和地面温带气旋的急剧发展, 带来充沛的水汽, 并有利于冷暖空气的交汇。

(2) 水汽充沛, 水汽通量达到 $10^1\text{g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 量级, 水汽通量散度达到 $10^{-7}\text{g}\cdot(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 量级。不仅中低

层有明显的水汽辐合, 而且湿层深厚, 从地面延伸到 300hPa , 出现了大范围相对湿度大于70%的区域, 出现了类似夏季出现暴雨的水汽条件。

(3) 上升运动强烈, 整个对流层都是上升区。 500hPa 最大上升速度达到 $10^{-2}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的量级, 与夏季出现暴雨一大暴雨的条件类似, 并且上升运动的大值区和水汽辐合的大值区基本重合。

致谢: 晁淑懿正研级高级工程师对本文工作给予了大力指导和帮助, 特此致谢。

参考文献

- [1] 闫丽凤, 蔡则鹏, 王建国, 等. 场相似在汛期暴雨预报中的应用 [J]. 气象, 1999, 25 (2): 33.
- [2] 曹晓岗, 王田民, 戴黑敏, 等. 江西暴雨预报的客观天气学模型和物理诊断模型研究. 暴雨业务预报方法和技术研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1996: 27.
- [3] 马福全, 沈桐立, 张子峰, 等. 一次热带风暴造成辽宁暴雨的数值模拟研究 [J]. 气象, 2005, 31 (9): 8-12.
- [4] 章 淹, 等. 暴雨预报 [M]. 北京: 气象出版社, 1990: 47.
- [5] 周后福, 翟武全, 邱明燕. 2004年安徽梅汛期强降水的成因分析 [J]. 安徽气象, 2004, (5): 2-5.
- [6] 朱金元, 吴宝俊, 等. 一次冷锋暴雨过程的初步分析. 长江流域暴雨文集 [G]. 北京: 气象出版社, 1982: 149-150.
- [7] 董晓敏, 金秀兰, 温杏琴. 长江流域梅雨期内一次特大暴雨过程的诊断分析. 长江流域暴雨文集 [G]. 北京: 气象出版社, 1982: 105.