

“96.8”特大暴雨的中尺度对流云团特征

杜青文 张迎新

(河北省气象台, 石家庄 050021)

提 要

1996年8月3—5日河北省西南部地区出现了特大暴雨过程。此次特大暴雨,主要是9608号台风登陆后减弱为低气压西北上,副热带高压加强西进,低层从东北部有弱冷空气扩散南下,在暴雨区域形成湿斜压锋区,触发不稳定能量释放,致使台风低压北方形形成3个中尺度对流云团所致。

关键词: 中尺度对流云团 台风低压 湿斜压锋区

1 概况

8月1日上午9608号台风在福建省福清县登陆后,迅速减弱为低压,它穿越江西、湖南到湖北进入河南西部。与此同时,副高加强西进,在我国东部经向发展,在9608号台风低压东北方有中尺度对流云团发展北上,致使8月3—5日河北省西南部地区连续两天降大暴雨到特大暴雨,暴雨中心在石家庄市的西部山区,48小时降雨量 $\geq 100\text{mm}$ 的34个市(县), $\geq 200\text{mm}$ 的20个市(县),其中石家庄市区、井陘、平山、元氏4县(市)降雨量均在400mm以上,井陘县达513mm,该县的胡家滩达525mm,吴家窑最大达670mm(图1)。

这次是“63.8”暴雨以来30多年最大的暴雨过程,主要特点是降雨持续时间长,如井陘县达30多个小时。强降雨时数主要集中在4日02—20时。暴雨中心的井陘县4日18—19时1小时降雨量达80mm。由于前期降雨偏多,加上这次特大暴雨过程的出现,导致河北省西南部山洪爆发,河水猛涨,滏阳河、漳河等河流穿越京广铁路的洪峰流量达3万多 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,是1963年以来的最大洪水,滹沱河

上游的洪峰流量超过了1963年,相当于50年一遇,使河北省的工农业生产和人民的生命财产遭受了巨大损失,据不完全统计,造成直接经济损失达456.3亿元。

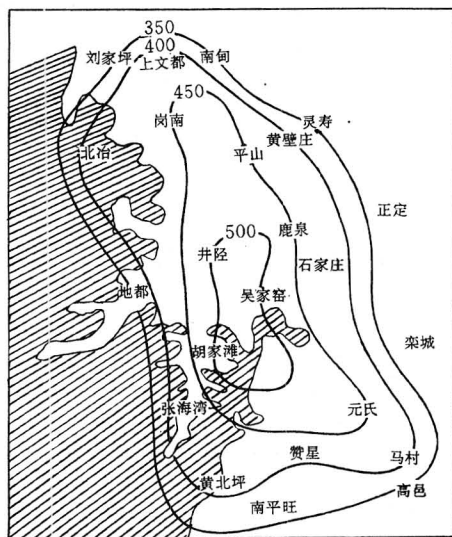


图1 1996年8月3日08时—5日08时降雨量分布与地形(取自石家庄市气象台)

2 中尺度对流云团发生、发展的特征分析

这次特大暴雨过程是在稳定的大尺度环流背景下,由中尺度对流云团直接造成。由于资料所限,仅就河北的降雨做如下分析。

分析逐时红外卫星云图发现,在1996年8月3—5日特大暴雨过程中先后有3个中尺度对流云团活动,且都是在台风低压东北部切变线上发生、发展的。而我省西南部地区的特大暴雨主要由2个中尺度对流云团造成,第3个云团由于副高减弱东退,仅影响我省东南部地区。因此本文仅分析1、2号云团的演变特征。当台风在福建省福清登陆后北上,3日08时到达汉口西侧,从低压中心到济南附近出现一条东北—西南向的切变线。3日16时在台风低压云系外围的郑州西北侧切变线上形成一个范围不足 100km^2 的小对流云团,这就是第一个中尺度对流云团(下称1号云团)。20时该云团范围扩大,其北部边缘进入我省,在磁县、涉县产生微量降雨。此时从涡度场分析,1号云团生成的区域从 500hPa 以下各层均为正涡度,最大正涡度出现在 850hPa ,正涡度值达 $30 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$,而在 400hPa 以上各层均为负涡度,最强负涡度出现在 200hPa ,中心负涡度值达 $-70 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$,低层辐合、高层辐散出现了明显的上升运动。与之对应的垂直速度的分布证明了这一点。此时整层都是上升运动,但在 $850-500\text{hPa}$ 这几层中上升速度较大,最强上升速度出现在 700hPa ,中心数值为 $-6 \times 10^{-3}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图略)。这种物理量场的分布结果预示着1号云团将要发展、加强。因此23—24时当云顶温度为 -48C 的对流云区进入我省时,在磁县出现了 $\geq 10\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的雨团(后面提到的雨团均为 $\geq 10\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。该云团北上缓慢,对应的地面雨团也始终徘徊在邢台南部和邯郸一带。直到4日04时,1号云团北部边缘到达石家庄附近,但 -48C 较强对流云区还滞留在邯郸附近,此时在石家庄南部、邢台西部、邯郸西部出现了3个雨团,其中在 -48C 对流云区内的雨团最强,中心位于峰峰矿区,1小时雨量为 42.2mm 。06时1

号云团北上, -48C 对流云区也北上到了石家庄附近,这时石家庄市雨强加大,强降雨团中心在元氏县,1小时降雨量达 45.5mm 。此后云团的范围及强度都在减弱, -48C 对流云区也已消失。但 -39C 的白亮云区依然在石家庄市上空维持,所以石家庄市区的降雨强度虽不大,但一直稳定持续。4日14时在减弱的1号云团的南部边缘的郑州附近又新生一个小云团,这个云团比1号云团生成时范围大,强度也强,中心云顶温度达到了 -54C ,同时在峰峰附近出现了中心强度为 $19.3\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的雨团。这是第二个中尺度对流云团(简称2号云团)。从4日08时诊断分析结果表明,此时上升运动很强。从涡度场分布看,与台风低压相对应的正涡度中心明显北上,在2号云团形成区域内, 400hPa 以下各层均为较强的正涡度,最强正涡度出现在 850hPa ,我省中南部位于正涡度最大梯度处,而2号云团生成区域的正涡度数值达 $50 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$,比1号云团形成时有显著加强,正涡度层次也有抬高,而 300hPa 以上各层则为负涡度,最强负涡度出现在 200hPa 。所以上升运动比3日20时明显加强, 700hPa 的上升速度也由3日20时的 $-6 \times 10^{-3}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 加强到 $-8 \times 10^{-3}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。所以2号云团生成后向北传播速度较快,强度也显著加强。18—19时2号云团北上到达石家庄,强度再度加强,云团范围扩大,中心 -54C 对流云区的面积也在扩大,此时造成井陘县1小时出现 80mm 的强降雨,此后2号云团的强中心 -54C 对流云区逐渐减弱,到21时2号云团明显减弱,中心 -54C 对流云区已全部消失(图2),暴雨中心区域内 700hPa 的垂直速度也减小到 $-2 \times 10^{-3}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,我省西南部地区的降雨都已减小到 10mm 以下,暴雨过程趋于结束。

3 中尺度对流云团发生、发展的环流背景

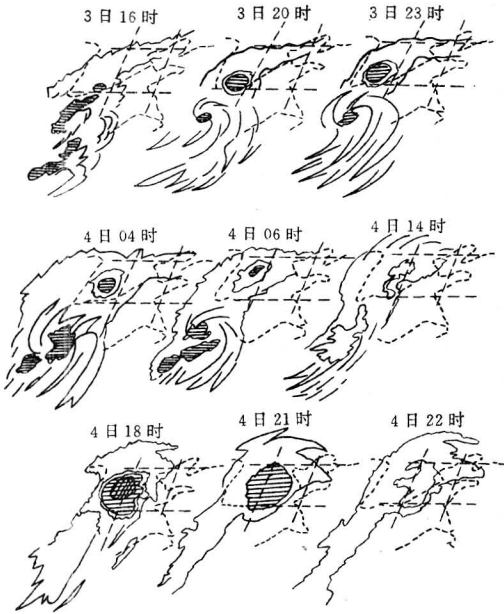


图2 1996年8月3日16时—4日22时卫星云图演变示意图

中尺度对流云团发生、发展前的3日08时,500hPa图上,亚洲中高纬度维持两槽一脊的形势。两槽分别位于西伯利亚到新疆西部和从黑龙江到内蒙古东部。而高压脊则位于东西伯利亚到内蒙古西部,且在内蒙古西部有闭合高压存在。副热带高压稳定维持在日本到黄海一带,5960gpm的中心位于黄海附近。9608号台风于8月1日上午登陆后,迅速减弱为低气压,而后向北移动,此时位于汉口的西部。3日20时黑龙江到内蒙古东部的低压槽东移,内蒙古西部的大陆小高压与副高合并,形成西北—东南向的高压脊。4日08时,大陆高压脊向西南伸展,而副热带高压脊则呈东北—西南向发展,河北省中南部地区被半环状高压带所围(图3),形成了阻止台风低压东北上的阻挡形势。中尺度对流云团正是在这种稳定的阻挡形势下,在台风低压的东北部外围发生、发展起来的。

4 低层弱冷空气对中尺度对流云团发生、发

展的作用

中低纬系统相互作用的研究表明:产生强的暴雨时,西风带中的冷空气往往是比较弱的,弱冷空气活动对中尺度对流云团的发生、发展,特别是对其持续猛烈的发展,形成较强的暴雨起重要作用^[1]。那么,对于低层弱冷空气来说,流场比温度场反映的更明显,在本次特大暴雨过程分析中又进一步证实了这一点。

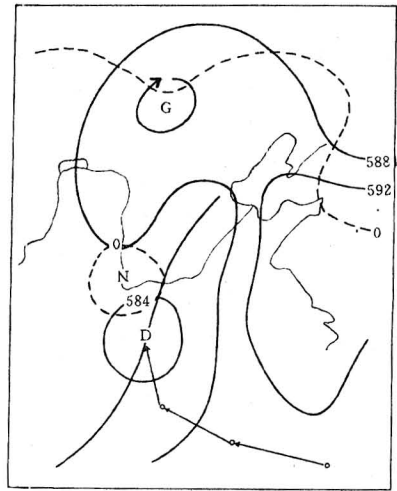


图3 1996年8月4日08时500hPa形势图

图4是3日20时850hPa流场与 θ_{se} 的叠加图,由图可见,在蒙古国东部是一个辐散中心,从中心的前部不断有偏北气流携带干冷空气逐渐向南扩散,当到达东北平原西部时折向西南,从河北省东北部及渤海北部向中南部地区扩散。这在3日14时地面图上已有反映:乐亭和天津均为偏东风,风速分别为 $6m \cdot s^{-1}$ 和 $4m \cdot s^{-1}$ 。这股气流到达河北省中部时转为东北风,风速有所减小,但继续向南伸展,到达中南部地区。与这支气流相对应的是 θ_{se} 的低能舌,它自东北平原一直伸展到华北平原。同时在汉口及江西北部是一个由台风低压造成的辐合中心,在其前部有一股

较强的偏南暖湿气流北上,与这支气流相对应的是 θ_{se} 的高能舌,它从长江上游经河南一直伸展到山西,当这支气流到达河北中南部地区时与东北南下的弱冷空气相遇,暖湿气流在弱冷空气形成的低层冷垫上滑升时,引起上升运动。同时,在强大的偏南暖湿气流胁迫下,弱冷空气被挟卷到台风低压外围的辐合流场中,产生较强的上升运动。700hPa 出现了 $-6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升速度。此时,低能舌由东北向西南扩展。而高能舌则由南北上,在暴雨区上空相遇, θ_{se} 梯度不断加强,形成了湿斜压锋区,产生 θ_{se} 湿斜压不稳定,此时暴雨区上空 ($\theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}}$) 正好处在 -16K 的不稳定区域内。然后由于弱冷空气被挟卷,触发了暴雨区域不稳定能量的释放,形成了中尺度对流云团。4日08时在蒙古国东部的辐散中心向东南移动到内蒙古东部,其前部的偏北干冷空气继续扩散南下。汉口西北部的辐合中心由于暖湿气流比较强盛,北上到达河南与山西交界处, θ_{se} 的湿斜压锋区明显北抬,此时第二个中尺度对流云团形

成并迅速北上加强,降雨随之加大。4日20时内蒙古东部的辐散中心东移速度加快,河北省东北部已处在这个辐散中心后部的偏南气流里。山西与河南交界处的辐合中心北上缓慢,并趋于减弱消失,与之对应的 θ_{se} 湿斜压锋区也明显减弱,并向东北移动。此时第3个中尺度对流云团形成,并向东北上,影响河北省的东南部地区。而造成河北省西南部地区大暴雨的中尺度对流云团随之减弱消失。

5 低空急流和地形对中尺度对流云团发生发展的贡献

台风自1日上午登陆后,在其东北侧一直维持着东南风急流。由于副高稳定,减弱的台风低压沿副高后部东南气流北上,东南风急流也随之北上。由3日08时850hPa图上可知,减弱的台风低压北上到达汉口西侧时,从中心到济南附近形成一条切变线,在低压和切变线的东部,东南风急流伸展到郑州附近且明显加强。急流中心位于安徽阜阳,中心风速达 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此后,正好是第一个中尺度对流云团生成阶段。4日08时台风低压西北上到达湖北省老河口的西侧时,由于副高稳定维持在日本到黄海一带,使得台风低压与副高之间水平气压梯度加大。低空偏南风急流加强北上,急流头到安阳附近时,急流中心北上到郑州,东南风速仍维持 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,切变线也北抬到华山、安阳到渤海湾,此后恰好是第二个中尺度对流云团形成、发展阶段。

许多分析研究指出,低空急流输送能量和水汽,在风暴形成前建立潜在不稳定。本次特大暴雨过程中,低空急流对潜在不稳定的建立起了重要作用。低空急流北上,强东南风将大量水汽输送到下风地区的上空,3日08时—4日08时,850hPa最大水汽通量轴与偏南风急流轴相平行,而3日20时850hPa水汽通量散度的辐合轴从长江上游一直伸展到中尺度对流云团的发生区域, $-20 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 的最大水汽辐合中心恰好位于暴雨区上空。由于低空急流将大量

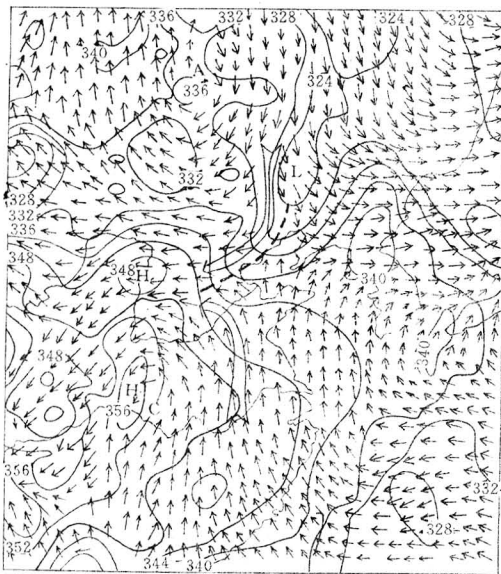


图4 1996年8月3日20时850hPa流场与 θ_{se} 分布图

暖湿空气向北输送,使低空急流前部的切变线附近呈对流不稳定。从4日08时850hPa θ_{se} 分布(图略)可以表明低空急流前部的石家庄、邢台、邯郸均在 θ_{se} 湿斜压锋区处,此处的 θ_{se} 值均大于340K。由此说明,低空急流不仅向中尺度对流云区输送水汽,同时也输送大量不稳定能量。

值得指出的是,本次特大暴雨过程,由于低空东南风急流北上遇太行山阻挡时,水汽和能量在这里大量堆积,因此在河北省的西南部中尺度对流云团发生区域,水汽通量散度梯度最大, θ_{se} 的梯度也最大。近地层从东北扩散南下的弱冷空气形成的偏东风,南下到达我省中南部时与太行山地形形成交角,造成辐合抬升。此外,井陘县的胡家滩、吴家窑正好处在太行山东侧喇叭口地形处,因而加强了这里的辐合上升运动,4日08时700hPa出现了本次过程中最大的上升速度中心,中心数值达 $-8 \times 10^{-3} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,同时也是正涡度的最大梯度处,进一步分析结果表明,当低空急流左侧正涡度加强时,触发

不稳定能量释放,导致中尺度对流云团的形成和发展。

6 小结

(1)这次特大暴雨过程是纬向环流向经向环流调整之后,西风带、副热带和热带系统共同作用的结果。减弱的台风低压与副高之间形成的低空急流提供了充沛的水汽条件。

(2)近地层从东北平原西部扩散南下的弱冷空气,与台风低压外围东北部暖湿气流相遇。在暴雨区形成湿斜压锋区,产生湿斜压不稳定。近地层弱冷空气的挟卷,触发不稳定能量释放,在暴雨区域形成中尺度对流云团。

(3)在我省西南部这次特大暴雨过程中,1、2号中尺度对流云团是在正涡度、 θ_{se} 和水汽通量散度梯度最大处发生、发展的,而不是在中心附近。

参考文献

- 1 华北暴雨编写组. 华北暴雨. 北京:气象出版社,1992年4月.
- 2 蒋尚城. 中纬度系统的相互作用和大范围暴雨. 北方天气文集(4). 北京大学出版社,1983.

Mesoscale Convective Cloud Cluster Analysis of the Torrential Rain in August 1996

Du Qingwen Zhang Yingxin

(Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021)

Abstract

The torrential rain had happened in the southwest of Hebei province on August 3—5 in 1996. This torrential rain was resulted from the interaction of the landed typhoon 9608 low, subtropical high and weak cold air from northeast. Because of cold air diffused toward the typhoon low, the wet baroclinic front was generated. Then, three mesoscale convective cloud cluster were generated, developed at the north of typhoon low.

Key Words: mesoscale convective cloud cluster typhoon low wet baroclinic front