维普资讯 http://www.cqvip.com

●天气和气候

2004－07－16河南省特大暴雨过程螺旋度分析

王　蕊，匡晓燕，席世平，苏爱芳

（河南省气象台，河南　郑州　450003）

摘　要：应用螺旋度理论对2004年7月16～17日河南省特大暴雨天气过程进行了诊断分析。结果表明：螺旋度分布与低层天气系统有很好的对应关系，暴雨过程中相对垂直螺旋度大值区长轴始终与低层南北向切变线走向一致；大暴雨区与低空水平螺旋度大值区长轴走向一致，且与水平螺旋度梯度≥130 m·s^{-2}的区域基本对应；暴雨首先产生在高湿中心与不稳定能量中心相重叠区域，并随相对垂直螺旋度正值增大而增强，且与水汽输送区相对应。

关键词：特大暴雨；螺旋度；相对垂直螺旋度；低空水平螺旋度

中图分类号：P458.1^{+}21.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1004－6372(2005)02－0009－03

引　言

2004年7月16～17日，受低涡切变线和冷空气共同影响，河南省产生了一次特大暴雨天气过程，雨区呈NE～SW向，强降雨发生在黄淮之间，特大暴雨区位于南阳、平顶山一带，方城站24 h(7月16日20时～17日20时)雨量为288 mm，超过该站历年日雨量极值。该次特大暴雨过程强降雨发生时段集中在16日夜里，仅16日20时～17日08时就有3站(方城、舞阳、舞钢)12 h雨量>200 mm，有10站雨量>100 mm。

暴雨的产生需要有充足的水汽、较强的不稳定层结及动力触发机制，这些特征在暴雨产生时的动力及热力场中均会有所反映，尤其是在暴雨区中，运动场结构与环境场有显著不同。近年来不少学者认为[1-2]，螺旋度是一个描述大气风场气流沿运动方向的旋转程度和运动强弱的物理参数，反映了大气动力场特征，能很好地描述大气运动的性质和特点，对大暴雨天气的产生具有一定的指示意义。本文用螺旋度物理量，结合湿度和稳定度条件，对这次特大暴雨过程进行诊断分析。

1　螺旋度理论

螺旋度定义为风速与涡度点积的体积分，它表示在空间各个方向上的涡管相互扭结的程度。数学表达式为

$$H=\iiint(\vec{V}\cdot\nabla\times\vec{V})\mathrm{d}\tau=H_h+H_v$$

式中，$\mathrm{d}\tau$为三维空间的体积元。螺旋度通常分解为垂直(H_v)和水平(H_h)两个分量来讨论。

1.1　相对垂直螺旋度

垂直螺旋度的数学表达式为

$$H_v=-\int_p^{p0}q_v\omega\cdot\mathrm{d}p=-\int_p^{p0}\left(\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}\right)\omega\cdot\mathrm{d}p$$

由于涡度场在无辐散层两侧反号，大气的垂直螺旋度在无辐散层两侧也是反号，所以以无辐散层为界，分别计算垂直螺旋度才有意义。为简化信息量，并考虑到无辐散层一般在500 hPa左右，因此采用500 hPa等压面作为无辐散层，将大气分成两层，取下层垂直螺旋度与上层螺旋度的差，定义为相对垂直螺旋度，即

$$H_R=H_{VL}-H_{VU}$$

计算垂直积分时设定约束条件为：

$H_{VL}=-\int_{550}^{1000}q_{VL}\omega_L\mathrm{d}p$（当$\omega_L<0$，且$q_{VL}>0$时）

$H_{VL}=0$（当$\omega_L\geq0$，或$q_{VL}\leq0$时）

$H_{VU}=-\int_{00}^{400}q_{VU}\omega_U\mathrm{d}p$（当$\omega_U<0$，且$q_{VU}<0$时）

$H_{VU}=0$（当$\omega_U\geq0$，或$q_{VU}\geq0$时）

1.2　低空水平螺旋度

为了描述沿气流方向的低空水平涡度大小和入流强度对风暴旋转的贡献，引入低空水平螺旋度

$$H_h=\int_p^{p0}(\vec{V}_h-\vec{C})\cdot\vec{q}_h\mathrm{d}p$$

式中，

$$\vec{q}_h=\left(\frac{\partial\omega}{\partial y}-\frac{\partial v}{\partial p}\right)\vec{i}+\left(\frac{\partial u}{\partial p}-\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)\vec{j}\approx-\frac{\partial v}{\partial p}\vec{i}+\frac{\partial u}{\partial p}\vec{j}=\vec{k}\times\frac{\partial\vec{V}_h}{\partial p}$$

表示涡度的水平分量；

$$\vec{C}=C_x\vec{i}+C_y\vec{j}$$

表示风暴速度矢量，它是以1000～700 hPa气层中的平均风为依据，取该风速的75%为风暴风速，该风向向右偏转40°为风暴来向。

2　大尺度环流背景

大暴雨前期500 hPa高度场上，副高呈ENE～WSW向，从太平洋伸至我国东南大陆，脊线位于25°N以北。50°N以北的高纬地区为两槽两脊，经向度较强，两脊分别位于乌拉尔山以西和贝湖地区，贝湖地区的高压脊阻止极地冷空气南侵，使其绕道东北、华北，最后从东路扩散南下(图略)。处于副高西北侧的河南省上空的西南气流与华北扩散南下的冷空气相遇，这是河南省比较典型和常见的夏季暴雨形势。

3　大暴雨过程螺旋度分析

3.1　H_R分布特征及与θ_{se}、K指数场的关系

垂直螺旋度表示受扰动的涡管在垂直空间的扭曲程度。分析发现，暴雨期间相对垂直螺旋度正值较大，且与暴雨区对应。在16日08时的相对垂直螺旋度水平分布图(图略)上，H_R在河南省许昌以南地区有26×10^{-6}Pa$^2\cdot$s^{-2}的正值中心，该中心的长轴呈近东西向，与850 hPa南北向切变线走向一致，位于切变线的东侧。16日20时(图1)，许昌以南H_R中

收稿日期：2004－12－03

维普资讯 http://www.cqvip.com

心值加强为 $33\times10^{-6}Pa^2\cdot s^{-2}$，后半夜，在 H_R 正中心西北侧出现了大暴雨和特大暴雨，并且位于 700 和 850 hPa 切变线与 H_R 长轴之间的区域。$H_R\geqslant20\times10^{-6}Pa^2\cdot s^{-2}$ 的区域与暴雨区基本一致，且强降水落区位于高值中心偏西位置。

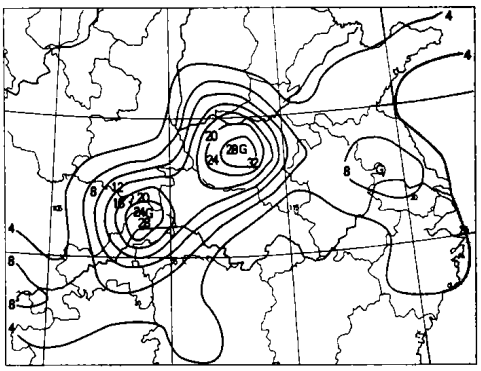

图 1　2004 年 7 月 16 日 20 时相对垂直螺旋度

量级和单位：$10^{-6}Pa^2\cdot s^{-2}$

分析中低空平均假相当位温场及 K 指数场发现：暴雨区与 $\theta_{se}\geqslant74$ ℃的中心对应，特大暴雨区与 $\theta_{se}\geqslant77$ ℃中心配合；K 指数场上，暴雨区与 $K\geqslant36$ ℃的区域相对应（见图 2～3）。这说明，大气近于饱和，并有不稳定能量积蓄，只需较弱的动力触发，就可使不稳定能量释放，产生暴雨。暴雨就产生在正螺旋度区与高湿区和不稳定能量区重叠处，并位于水汽通量大值轴附近及左侧。可见，在高湿和有不稳定能量储存条件下，16 日夜间暴雨区雨量增强与相对垂直螺旋度加大有着明显的关系。暴雨区位于较强的螺旋度中心附近，螺旋度作为动力条件，对暴雨的维持起了主要作用。

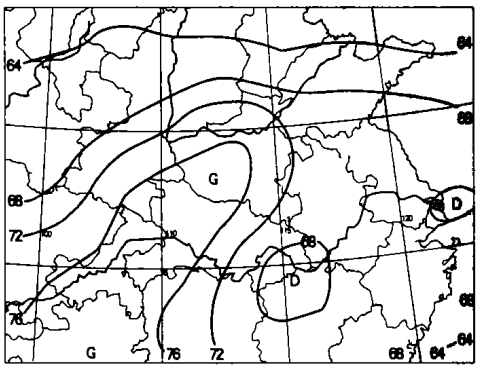

图 2　2004 年 7 月 16 日 20 时 θ_{se}

单位：℃

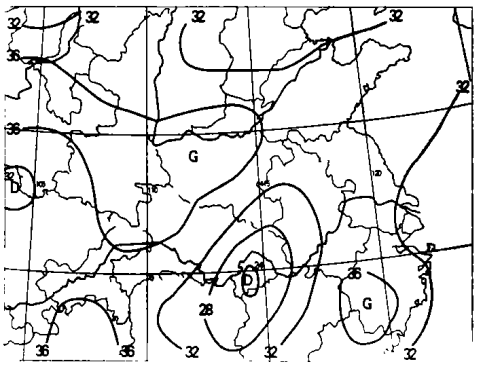

图 3　2004 年 7 月 16 日 20 时 K 指数

单位：℃

3.2　低空水平螺旋度分布特征

3.2.1　低空水平螺旋度的空间分布

Davies－Jones 等人提出，来自低空的水平涡度流入风暴，空气微团呈螺旋式旋转进入风暴内部，当其随上升气流上升时，其旋转轴由水平方向逐渐向垂直方向倾斜，于是水平涡度转化为垂直涡度，所以上升气流气旋式旋转和对流风暴单体形成，均源自环境风场沿气流方向的水平涡度。

16 日 08 时开始，暴雨区上空的 850～500 hPa v 分量垂直切变为负值（图略），即低空 v 风随高度增大，说明空气微团绕纬向呈逆时针旋转，且暴雨临近时刻的暴雨区上空的中低空平均涡度值（图略）从前一时刻的 $16\sim20\times10^{-5}s^{-1}$ 增大到 $36\sim44\times10^{-5}s^{-1}$。7 月 16 日 08 时，低空水平螺旋度中心在四川东部，20 时，大值中心迅速东北移至信阳东部到安徽北部一带，中心强度增至 $240\ m^2\cdot s^{-2}$，长轴仍为东北～西南向。锋区在河南省黄淮之间，螺旋度梯度值 $\geqslant130m^2\cdot s^{-2}$ 的区域（图 4）在螺旋度高值区左侧，也呈东北～西南向，与未来 12 h 的暴雨区基本一致。17 日 08 时，螺旋度高值中心位置稳定，强度减弱，但强度 $\geqslant130$ 的区域明显东北移出河南，同时，河南省雨势明显减弱，暴雨中心向东北方向移动。

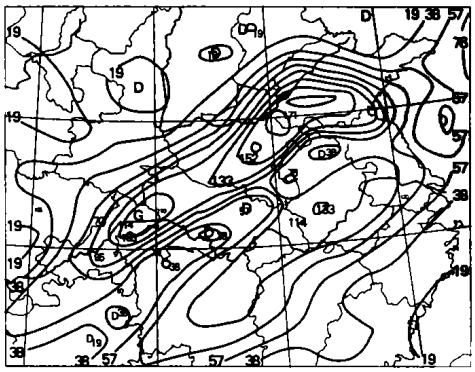

图 4　2004 年 7 月 16 日 20 时低层水平螺旋度梯度

3.2.2　低空水平螺旋度的时间分布

以降水出现极值的方城站为例，单站水平螺旋度的变化与该站未来 12 h 降水量的变化趋势一致，而且峰值完全对应（图 5）。16 日 08 时到 20 时，H_h 急剧增大，对应 16 日夜里，方城站的降水出现极值。16 日 20 时以后，H_h 逐渐减小，降水趋于减弱。通过计算方城、柘城等站 H_h 发现，12 h 的大暴雨与 $H_h\geqslant100\ m^2\cdot s^{-2}$ 的区域相吻合。

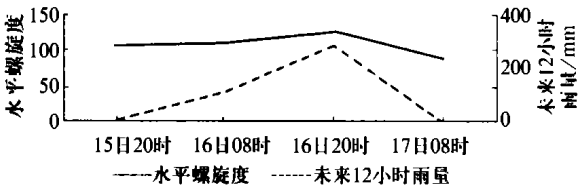

图 5　方城站水平螺旋度与未来 12 h 降水量时间分布

参考文献：

[1] 谭志华，杨晓霞．“99.8”山东特大暴雨的螺旋度分析[J]．气象，2000，26(9)：7－11．

[2] 杨越奎，吴宝俊，沈文海，等．“91.7”梅雨锋暴雨的螺旋度分析[J]．气象学报，1994，52(3)：379－384．

维普资讯 http://www.cqvip.com

中国气候变迁及其对地理环境的影响

孙艳敏[1]，王　生[2]，江旅冰[1]

（1.郑州师范高等专科学校，河南　郑州　450044；2.河南省气象培训中心，河南　郑州　450003）

摘　要：总结了五千年中国历史上的气候变化的特征，论述了气候的冷暖周期性变迁对中国历史地理环境的影响。

关键词：气候变迁；地理环境；演化

中图分类号：P467　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1004－6372(2005)02－0011－02

引　言

中国历史上气候的变化，对中国地理环境产生了多方面的深刻影响。人类历史与地理环境是一个统一体，两者之间相互影响、相互作用。一般来说，生产力水平越低，地理环境对人类的影响就越大；社会发展的历史时期越早，人类对地理环境的依赖性也越强[1]。而中国历史上气候冷暖干湿的周期性更替，影响着中国历史地理环境的演化。

1　中国历史上的气候变迁

中国是典型的季风气候区，气候特征一般表现为温暖与湿润同期、寒冷与干燥同期，在气候上的历史时期也是这样。近四五千年来，出现了4个湿润期和4个干燥期，而且湿润期经历的时间越来越短，间隔的时间越来越长[2]。干燥期经历的时间越长，我国气候干旱化程度就越重。如在明清小冰期间的公元1431～1820年间，干旱时间达320多年。

1.1　4个主要温暖湿润期

第一个温暖期约从公元前3000年到公元前1100年，即仰韶文化期到殷商时期，它与全球性的"大西洋气候期"相对应。黄河中下游地区为亚热带气候，年均温高出现在2～3 ℃。

收稿日期：2004－12－18

第二个温暖期从公元前700年到公元初年，即东周到秦汉温暖期。司马迁在《史记·货殖列传》中记载当时黄河流域广泛生长桔、竹、漆和桑等亚热带经济作物。

第三个温暖期从公元600年到公元1000年，即"隋唐暖期"，对应于欧洲的"中世纪暖期"。黄河流域气候温暖，当时的长安冬季无冰无雪，梅、桔等可在皇宫生长、开花、结果。

第四个温暖期从公元1200年到1300年，即南宋中叶至元代初年温暖期。1225年道士长春真人丘处机在北京作《春游》云："清明时节杏花开，万户千户日往来"，表明当时北京气候比现在温暖。在河南也有竹林生长，但这一温暖时期仅是一个短暂的回暖。

1.2　4个寒冷干燥期

第一个寒冷期约从公元前1000年到公元前850年，即西周冷期。河南淅川下王岗遗址的第一个文化层与该时期相当。考古研究发现，在西周早期遗址中，未见喜暖动物。《竹书纪年》中有周孝王七年（公元前903年）江汉结冰的记载。

第二个寒冷期从公元初到公元600年，即魏晋南北朝冷期，这个寒冷期在公元4世纪前半期达到极值。《齐民要术》中记载的物候，约比现在要推迟半月左右。《资治通鉴》载晋成帝初年，渤海湾从昌黎到营口连续三年全部结冰，冰上可来往车马，年均温比现在低2～4 ℃。

Helicity Analysis on the Torrential Rain in Henan in July 16, 2004

WANG Rui, KUANG Xiao－yan, XI Shi－ping, SU Ai－fang

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: By using of the helicity theory, the torrential rain in Henan province during July 16－17, 2004 was diagnosed. The analysis results show that the rainstorm is produced in higher temperature, higher humidity and unstable atmosphere. There is a higher relative vertical helicity (HR) in rainstorm area; The trend of the low－level vertical helicity is consistent with that of the precipitation. The variation of helicity indicates weather systems moving developing and falling area and intensity of torrential rain. Helicity also reflects the distribution of vertical moving and rotation status of atmosphere.

Key Words: Torrential rain; Helicity; Relative vertical helicity; Low－level horizontal helicity