

螺旋度在分析一次三峡大暴雨中的应用*

吴宝俊 许晨海 刘延英 周 丽

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

于永安 魏东升 陈良华

(葛洲坝水力发电厂气象台, 宜昌 443002)

提 要

用螺旋度分析了1982年7月16日三峡区间出现的近27年来最大一次暴雨. 结果表明:
①在垂直剖面图上, 在雨区上空300 hPa附近, 螺旋度有一个负的极小值中心; 在600 hPa附近, 有一个正的极大值中心. ②300 hPa螺旋度分布图上的极小值中心位置, 与主要雨区中心位置非常靠近, 相距约60 km.

关键词: 螺旋度; 三峡; 暴雨.

引 言

螺旋度(Helicity)是近年引入天气分析预报中的一个非常重要的物理量. 其定义为风速(\vec{V})与涡度($\nabla \wedge \vec{V}$)点积的体积分^[1,2]:

$$H = \iiint_V \vec{V} \cdot (\nabla \wedge \vec{V}) d\tau \quad (1)$$

由式(1)看出, 螺旋度大小反映了旋转与沿旋转轴方向运动的强弱程度. 许多研究表明^[2~5], 它对雷暴、龙卷、大范围暴雨的分析预报有一定的实用价值. 本文旨在将这一物理量用于三峡区间近27年来最大的一次暴雨之诊断分析, 以便进一步深化对它的认识, 并展示它在暴雨研究中的应用价值.

1 选例介绍

1982年7月16日三峡区间出现过一次特大暴雨(图1)¹⁾. 统计表明, 它是近27年来三峡区间最大的一次暴雨过程. 所谓三峡区间, 是指重庆至宜昌间长江干流的5.6×

* 八五国家攻关项目85-906-08课题与葛洲坝水力发电厂共同资助.

1994-09-19收到, 1994-11-25收到修改稿.

1) 成都高原气象研究所. 长江上游30例大暴雨过程图集, 1988.

10⁴km 的区域. 由图 1 可见, 这次暴雨有两个中心: 一个在万县附近, 一个在万县与宜昌之间. 前者最大降水量为 232.5mm, 后者为 147.7mm. 从最大降水量数值和雨区笼罩面积大小看, 前者是这次暴雨的主要部分, 后者是次要部分. 本文将着重讨论主要部分.

众所周知, 通过“75.8”等特大暴雨的诊断分析, 开拓、更新了人们对暴雨的认识. 因此, 在解决三峡区间的暴雨分析预报问题时, 我们也从上述这次特大暴雨入手.

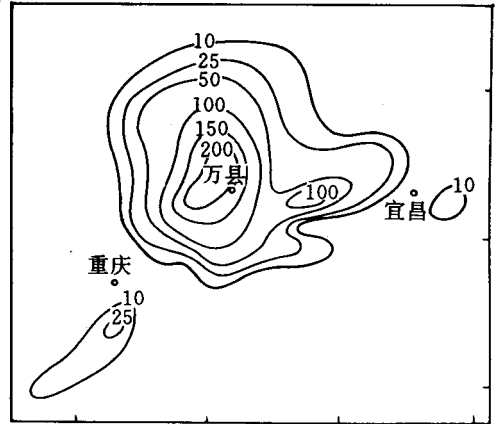


图 1 1982 年 7 月 16 日 08:00~17 日 08:00 (LT, 下同) 三峡区间降水量(单位: mm, 下同)

2 k -螺旋度

根据 Woodall^[2]的观点, 我们可以定义 p -坐标中的局地螺旋度 h 为:

$$h = \vec{V} \cdot (\nabla \wedge \vec{V}) \\ = (\partial\omega/\partial y - \partial v/\partial p)u + (\partial u/\partial p - \partial\omega/\partial x)v + (\partial v/\partial x - \partial u/\partial y)\omega \quad (2)$$

根据向量分析中的定义^[6], 涡度 $(\nabla \wedge \vec{V})$ 属于假向量, 其与速度 (\vec{V}) 的点积属于假标量. 式(2)右端三项各具有不同的意义, 它们分别与 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 方向的风速和涡度分量联系在一起, 我们称之为 i -螺旋度, j -螺旋度, k -螺旋度. 关于 i -螺旋度与 j -螺旋度, 我们拟另文讨论, 本文只讨论 k -螺旋度, 并简称为螺旋度.

为了与已有的习惯一致, 即使符合右(左)手定则的螺旋度取正(负)号¹⁾, 必须将式(2)右端第 3 项, 即 k -螺旋度改写为:

$$h = (\partial v/\partial x - \partial u/\partial y) \times (-\omega/\rho g) = w\zeta \quad (3)$$

其中 $(-\omega/\rho g)$ 是 w 的近似式, 余为惯用符号.

3 螺旋度铅直分布及其与暴雨的关系

3.1 螺旋度的铅直分布特征

由经过雨区的 S-N 向垂直剖面图上螺旋度分布(图 2)看出, 它有以下明显特征: ①在雨区上空螺旋度呈上负下正型. 中层 600hPa 有一个正值中心, 高层 300hPa 有一个负值中心. ②正、负中心螺旋度的数值都较大. 正值中心数值为 $690.29 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 负值中心数值为 $-886.64 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

由经过雨区的 W-E 向垂直剖面图上螺旋度分布(图略)也可以看出上述特征.

1991 年 6 月 30 日~7 月 12 日的梅雨锋(简称“91.7”梅雨锋)暴雨给长江中下游地区带来了严重洪涝灾害, 文献[5]给出了暴雨区上空螺旋度的铅直分布特征(见原文图 4),

1) 伍荣生. 螺旋性在大气科学中的应用. 气象科技动态, 1991 年 3 月.

它与图 2 非常相似. 图 2 代表了大暴雨(至少是其中一部分)区上空螺旋度的铅直分布特征.

3.2 铅直分布特征形成的原因

由大暴雨区上空涡度与垂直速度铅直廓线(图 3)看出:在雨区上空,虽然整层都是上升运动($w > 0$),但涡度 ζ 却是上负下正,故两者乘积 $h = w\zeta$ 上负下正.

由图 3 可见,下层 ζ 极值可达 $6.80 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,上层极值可达 $-6.33 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,而 w 极值达 $18.4 \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$.如此之大的 ζ 与 w 数值,当然导致 $h = w\zeta$ 的数值很大.而诊断分析经验表明,上述那样大的 ζ 与 w 数值,除在大暴雨区外,一般天气情况下很难遇到.

3.3 铅直分布与大暴雨的关系

ζ 与 w 的排列组合表(表略)表明,共有 4 种 ζ 与 w 的配置,能构成螺旋度上负下正的分佈.但经验表明,欲达到图 2 那样大的数值,只有当 ζ 与 w 铅直分布如图 3 所示才是可能的.

由连续方程可以推知,当深厚上升运动的速度廓线如图 3 所示弓形时,必然有低层强辐合、高层强辐散与其对应.

在水汽充沛的季节和地区(本文讨论的个例即符合此条件),对形成暴雨而言,强劲的上升速度是至关重要的.大暴雨往往发生在低空强辐合、高空强辐散的深厚、强劲上升气流区里.如上所述,图 2 所示螺旋度分布正隐含着这次暴雨成因.

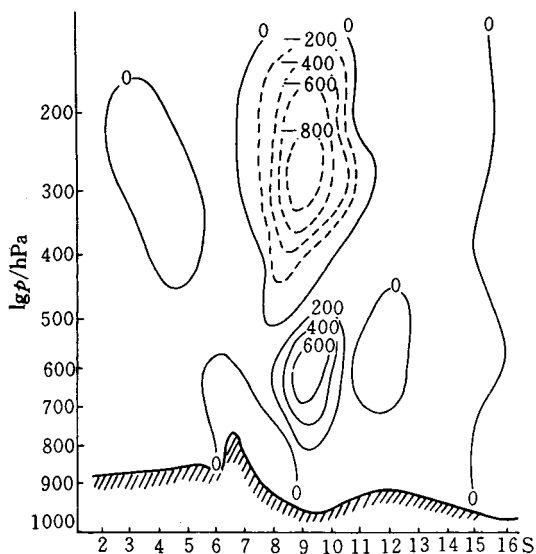


图 2 1982 年 7 月 16 日 08:00 穿过雨区的 S-N 螺旋度垂直剖面图(单位: $10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,下同)(横坐标为客观分析用的 S-N 网格点序号)

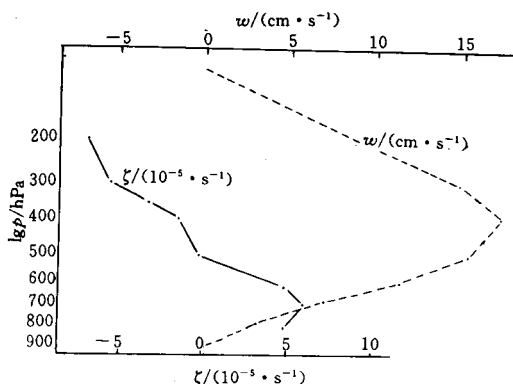


图 3 1982 年 7 月 16 日 08:00 涡度(实线)与垂直速度铅直廓线

4 螺旋度水平分布及其与暴雨落区的关系

4.1 螺旋度水平分布特征

由 300hPa 螺旋度分布图(图 4)看出,它有以下特点:①在重庆与宜昌之间有一个螺旋度数值很大的中心,其数值与单位为 $-1145.9 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;②在重庆与宜昌之间,等值线非常密集,有很多条闭合等值线。在一般天气情况下,很难出现这种分布特征。

4.2 与暴雨落区的关系

本文所说暴雨落区,仅指暴雨中心位置与 50mm 等雨量线包围的面积。

由图 4 可见:①主要暴雨中心与螺旋度中心位置虽不重合,但相距不远,大约 60km;②万县与宜昌之间的次暴雨中心,

在螺旋度 h 分布图上没有中心与其对应;③除次暴雨中心外,大于 50mm 的等雨量线包围的面积,位于 $h = -200 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的等值线包围的面积内。

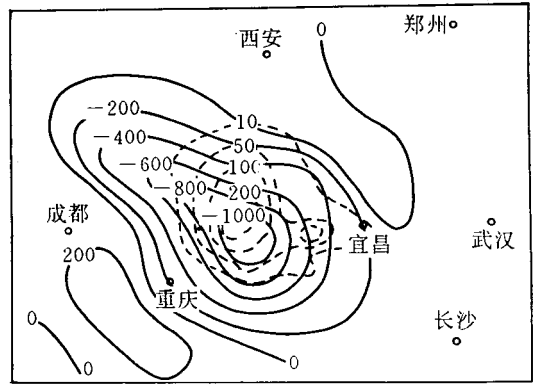


图 4 1982 年 7 月 16 日 08:00 300 hPa 螺旋度(实线)与其后 24 h 降水量(虚线)

5 小 结

①图 2 所示螺旋度 $h = w\zeta$ 铅直分布型,代表了大暴雨(至少是其中一部分)区上空螺旋度的铅直分布特征。

②某些等压面图上(本例为 300hPa)螺旋度的中心位置与大暴雨的主要中心位置之间可能存在着一一定的关系。文献[5]也得出过类似结论。

参 考 文 献

- 伍荣生. 大气动力学. 北京:气象出版社,1990. 96~101.
- Woodall G R. Qualitative forecasting of tornadic activity using storm-relative environmental helicity. Preprint, 16th conference on severe local storm, Oct. 22~26, 1990. 311~315.
- Lazarus S M and Droegemeier K K. The influence of helicity on the stability and morphology of numerically simulated storms. Preprint, 16th conference on severe local storm, Oct. 22~26, 1990. 269~275.
- Davies-Jones R and Donald Burgess. Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprint, 16th conference on severe local storm, Oct. 22~26, 1990. 588~593.
- 杨越奎, 吴宝俊, 沈云海等. "91.7"梅雨锋暴雨的螺旋度分析. 气象学报, 1994, 52: 379~384.
- 柯青 H E. 向量计算及张量计算初步. 北京:商务印书馆, 1954. 54~56.

APPLYING HELICITY TO ANALYSIS OF TORRENTIAL RAIN OVER THE CHANGJIANG GORGES

Wu Baojun Xu Chenhai Liu Yanying Zhou li
(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)
Yu Yongan Wei Dongsheng Chen Lianghua
(*Hydroelectric power plant of Gezhou Dam, Yichang 443002*)

Abstract

The helicity was applied to analyse a torrential rain event, which was the heaviest one during 1964~1990, occurred on July 16, 1982 over the Changjiang Gorges. The results show that: (1) on the vertical section chart, there was a negative minimum centre of the helicity near 300 hPa; and a positive maximum centre of the helicity near 600 hPa over the heavy rain area. (2) on the 300 hPa chart, the centre of the negative minimum of the helicity was most close to the centre of the main heavy rain area, the distance between them was about 60 km.

Key words: Helicity; Changjing Gorges; Torrential rain.

征购《中国近五百年旱涝分布图集》

“中国近五百年旱涝分布图集”是由中国气象科学研究院主持、全国三十多个单位共同完成的。本图集包括自1470年至1979年全国120个站点510年的旱涝等级序列表和510幅旱涝分布图，本书自80年代初出版以来受到国内外同行、学者的好评，是一本研究我国气候变迁的珍贵资料。本图集尚有一部分余书、有需要者请速来函，书价仍是80年代初的定价27.80元，如需邮寄请加足邮费。

联系地址：北京中国气象局气科院科技处

邮编：100081

联系人：刘兰芝

电话：(010)2172277 转 2656