

卢卫星,叶子祥,庄千宝,等.低空东南风急流影响的两次暴雨过程对比分析[J].暴雨灾害,2011,30(3):227-233

低空东南风急流影响的两次暴雨过程对比分析

卢卫星¹,叶子祥¹,庄千宝¹,余贞寿²

(1.浙江省乐清市气象局,乐清 325600;2.浙江省温州市气象台,温州 325027)

摘要:利用 NCEP 再分析资料、气象卫星云图资料、自动气象站监测网资料,对浙江中南部沿海 2010 年 7 月 24—26 日大暴雨过程和同年 9 月 20 日暴雨过程进行对比分析。结果表明:两次暴雨过程均伴有低空东南风急流,但前者浙江中南沿海地区出现大暴雨、局部特大暴雨,低层具有明显超地转特征,由局地生成的 β 中尺度对流云团引发;后者同一地区仅出现大雨到暴雨,边界层无明显超地转风出现,其发生与登陆台风带来的弱降水云系有关。在边界层风速急增、超地转最强的时段内,容易发生大暴雨或特大暴雨;超地转风发生时,由于地形作用及边界层摩擦效应,低层风垂直切变和海陆风速切变明显加强;若边界层风速处于地转平衡状态,则不利于大暴雨发生。

关键词:暴雨;低空东南风急流;超地转;地转平衡

中图分类号:P458.1*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)03-0227-07

Comparative Analysis of Two Heavy Rain Cases Caused by Southeasterly Low-Level Jet

LU Weixing¹, YE Zixiang¹, ZHUANG. Qianbao¹, YU Zhenshou²

(1.Yueqing Meteorological office of Zhejiang Province, Yueqing 325600;
2.Wenzhou Meteorological Observatory, Wenzhou 325027)

Abstract: The comparative analysis on the extra heavy rain case during 24—26 July of 2010 and the heavy rain case on 22 September 2010 at the middle and southern coast area of Zhejiang were studied by using NCEP reanalysis data, satellite images and observations of automatic weather station. The conclusions are drawn that two heavy rain cases given above are all followed by southeasterly low-level jet. The extra heavy rain (excessive heavy rain in some areas) occurred in the middle and southern coast area of Zhejiang is triggered by meso- β -scale convective clusters which originated locally, and there are obvious supergeostrophic features in low-level in the case. The heavy rain occurred in the above coast area is related to the weak precipitation nephsystem brought by landed typhoon, and there is not obvious supergeostrophic wind in boundary layer in the case. Extra (or excessive) heavy rain is generated easily when the wind speed in boundary layer increases rapidly and the supergeostrophic wind becomes the strongest. When the supergeostrophic wind appeared, the joint function of topographic forcing effect and frictional effect in the boundary layer leads to the obvious reinforcement of vertical wind shear in low-level and sea-land breeze shear. It is unfavorable to the formation of extra heavy rain that the wind speed is in geostrophic balance in boundary layer.

Key words: heavy rain; southeasterly low-level jet; supergeostrophy; geostrophic balance

0 引言

近几年,受东南风低空急流影响,浙江沿海地区多次发生暴雨或大暴雨。如 2009 年 9 月 29—30 日以及 2010 年 7 月 24—26 日、8 月 5—6 日、9 月 19—20 日,在东南风低空急流而非台风影响下(指热带气旋离温州 5 个纬距以外),浙江中南沿海地区(台州、温州)发

生暴雨或大暴雨,各种数值预报模式均未提前对其作出预报。由于这类暴雨预报难度大,预报员对其物理机制尚不明确,往往漏报。

20 世纪 70 年代后期,王德瀚^[1]分析 1960 年 9 月 22—24 日及 1973 年 10 月 9—11 日东南风急流大暴雨过程表明,2 次大暴雨均与南海台风外围和副热带高压之间的低空东南风急流有关,大暴雨区位于 SE 风急

收稿日期:2011-05-03;定稿日期:2011-08-11

资助项目:浙江省乐清市气象灾害规划专项(010R003)

第一作者:卢卫星,男,1973 年生,学士,主要从事台风暴雨研究。E-mail: zjwzyzx@yahoo.cn

流轴左侧;急流垂直切变明显,同时具有非地转性质,浙江沿海迎风坡地形也有利大暴雨产生。90 年代,何建中^[2]利用边界层数值模式对边界层低空急流的超地转特征进行数值研究表明,超地转特征不仅与大气热力稳定度及自由大气波动的非线性平流有关,还与大气斜压性、辐射、地形等因素有关;黄文根等^[3]分析 1994 年 7 月 12 日河北到辽宁的暴雨过程(北京 48 h 过程雨量 ≥ 200 mm)指出,9406 号台风在武汉减弱为低压后,在朝鲜到东海的南北向副热带高压之间形成超地转东南风低空急流,大暴雨区位于超地转风速中心下风方。近些年,国内气象工作者所做的有关暴雨研究中,较多涉及低空东南风急流的作用^[4-7]。赵玉春等^[8]总结近 30 年华南前汛期暴雨研究成果指出,低空急流是形成暴雨的重要天气系统,大约 75%~80%的暴雨与低空急流有关,东南风急流也在暴雨中起重要作用。实际业务中,低空东南风急流暴雨仍是预报难点。为提炼此类暴雨的预报着眼点,本文以 2010 年 7 月 24 日下午到 27 日晨和 9 月 19 日 20 时至 20 日 20 时受东南风低空急流影响发生在浙江中南沿海地区的两次暴雨过程为例,使用 NCEP 再分析资料以及卫星遥感资料、自动气象站监测网资料,对这两次过程进行对比分析。

1 暴雨天气过程与天气形势分析

2010 年 7 月 24 日下午到 27 日晨,浙江中南沿海地区受东南风低空急流影响,出现大暴雨、局部特大暴雨(以下简称“7.24”浙江大暴雨),此过程由局地生成的 β 中尺度对流云团引发,低空具有明显的超地转特征,各种数值预报模式仅报出中到大雨。同年 9 月 19 日 20 时(北京时,下同)至 20 日 20 时,同一地区受 1011 号台风“凡亚比”外围东南风低空急流影响,但边界层无明显超地转风出现,仅降大雨到暴雨(以下简称

“9.20”浙江暴雨),降水强度明显弱于前一过程。

1.1 “7.24”浙江大暴雨过程

7 月 24 日下午温州南部始现暴雨,到 27 日晨暴雨过程持续 60 h,自南而北温州北部、台州、宁波南部沿海先后出现大暴雨或特大暴雨;温岭市温峤站过程雨量(36 h)达 516 mm,该站 26 日 20—21 时 1 h 雨量达 68 mm。从“7.24”浙江大暴雨过程降水量分布图上可见(图 1),暴雨区位于浙东南部沿海一带,特大暴雨主要发生在 26 日午后到 27 日凌晨。

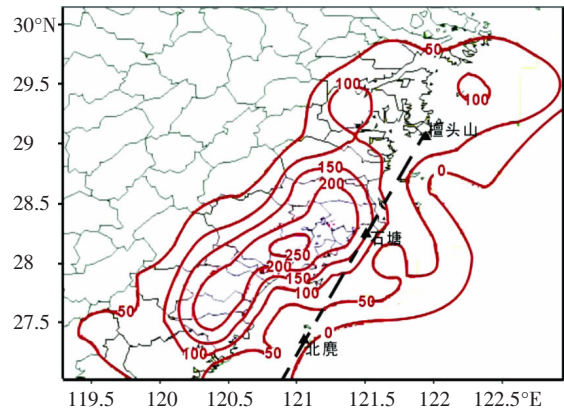


图 1 2010 年 7 月 24 日 14 时至 26 日 02 时浙江沿海累计雨量分布(单位: mm)

黑色虚线为计算地转风时所取站点的连线,下同

图 2 给出 7 月 24—26 日不同时次 FY-2C 卫星云图。从中可见,24 日 08 时(图 2a),我国台湾东部沿海有一 α 中尺度热带云团,该云团向 NE 方向移动并减弱后于 25 日在台湾东部沿海又新生一 α 中尺度云团;24 日 14 时(图 2b),浙南沿海新生成一 β 中尺度云团,温州南部开始出现暴雨;当日 20 时(图略),浙南沿海新生 β 云团减弱,其后在逐渐北移过程中强度时强时弱,日变化明显,午后到凌晨发展加强,上午减弱;25 日 14 时(图 2c)、25 日 22 时至 26 日 06 时、26 日 13—23 时(图 2d)上述 β

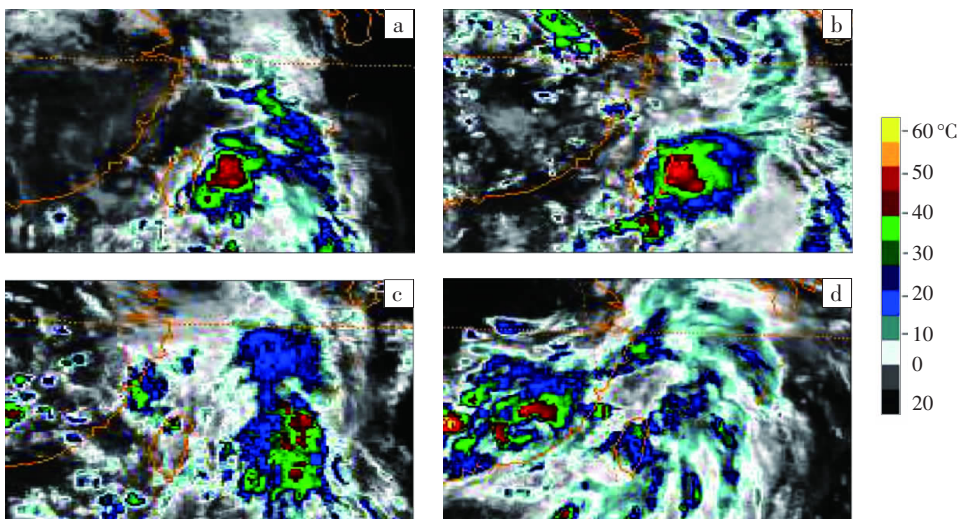


图 2 2010 年 7 月 24 日 08 时(a)、14 时(b)以及 25 日 14 时(c)、26 日 14 时(d) FY-2C 卫星云图

中尺度云团处于加强发展阶段,分别对应温州中北部、台州南部、宁波南部的大暴雨。进一步分析表明,“7.24”浙江大暴雨过程并非受东海热带云团西移影响,而与浙江中南沿海就地生成的中低层对流云团活动有关。

500 hPa 图上(图略),24日08时至26日08时,浙中浙南一直处于副热带高压(脊线在30°N)和华北大陆高压及朝鲜半岛低槽、台湾海峡南部东风波倒槽组成的鞍型场中;26日20时,南北槽合并成低压环流;27日20时,该低压北移到长江口。整个过程在浙中浙南沿海没有形成SE风急流。另外,分析“7.24”浙江大暴雨过程不同时次700、850 hPa天气形势图和流场图(图3)表明,7月24—27日,20°N以南无台风和热带风暴活

动。7月22日08时(图3a),菲律宾东部海面有东风波生成,并向NW方向移动;24日08时(图3b),在台湾海峡南部形成低压环流,其倒槽从台湾海峡南部伸向赣东北,河北到关岛为NW—SE向副热带高压带,高压中心在九州岛,浙中浙南沿海处于副热带高压带西南侧和倒槽东北侧,“7.24”浙江大暴雨发生在低空SE风急流左前方;25日20时(图3c),倒槽西移至南海东部到安徽一线;7月24日08时至26日20时,大陈岛和宫古岛1000—850 hPa持续12~18 m·s⁻¹的SE风,浙中浙南沿海SE风急流一直维持;26日08时(图3d),东风波倒槽在闽中南沿海发展为热低压;27日08时,该低压北移到浙北,浙中南转为SW风,大暴雨过程结束。

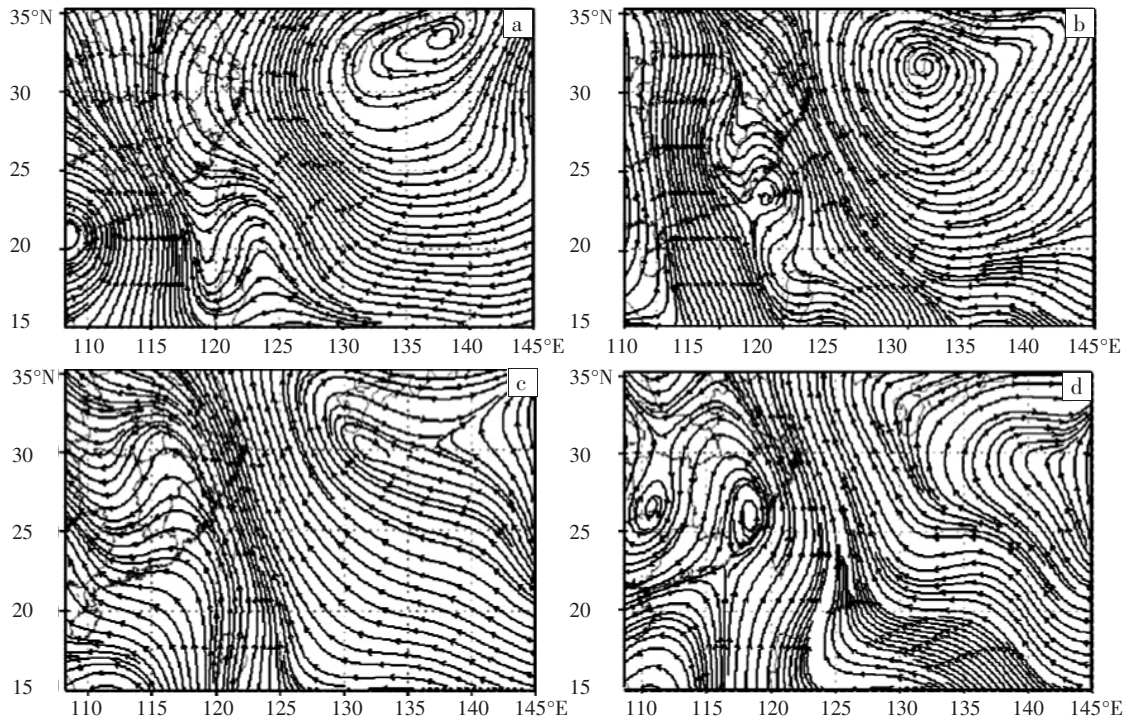


图 3 2010年7月22日08时(a)、24日08时(b)、25日20时(c)和26日08时(d)850 hPa流场图

1.2 “9.20”浙江暴雨过程

9月20日02时—21日02时,台州和温州地区受当年1011号台风“凡亚比”外围影响,降了大到暴雨(图4);上述时段内,温州、台州两市有42个自动气

象站12h降水量在30mm以上。12h雨量77mm、45mm的暴雨中心分别在温州市的钟山站(山区)、丽岙站(平原),大多数站点12h雨量为20~40mm;强降水主要发生在20日08—17时,即“凡亚比”登陆后。

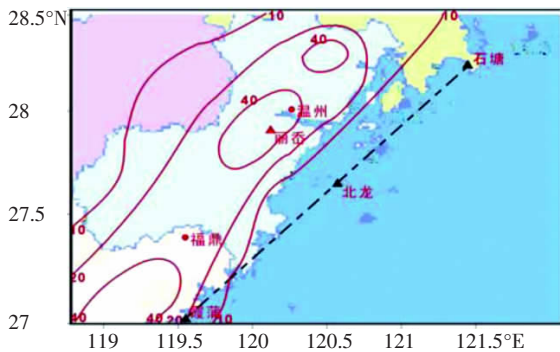


图 4 2010年9月20日02时—21日02时浙江省24h雨量分布图(单位: mm)

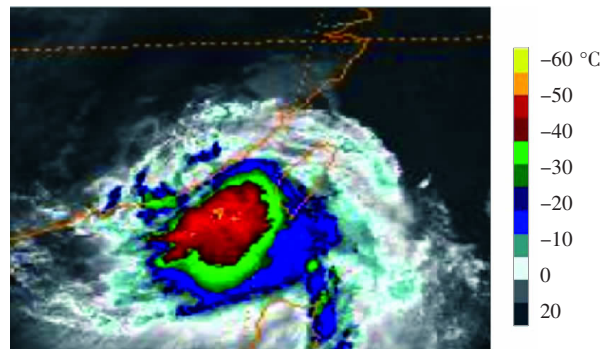


图 5 2010年9月20日08时FY-2C卫星云图

9月19日17时,1011号台风“凡亚比”到达我国台湾高雄附近(其中心气压为965 hPa);20日08时,“凡亚比”在福建漳浦附近登陆(距温州5.3个纬距),中心气压975 hPa。从20日08时(图5,见上页)和20时(“凡亚比”已减弱为热带风暴,图略)的卫星云图上可见,“凡亚比”登陆前后,台风螺旋云带在26°N以南,浙中南仅有弱的降水云系。

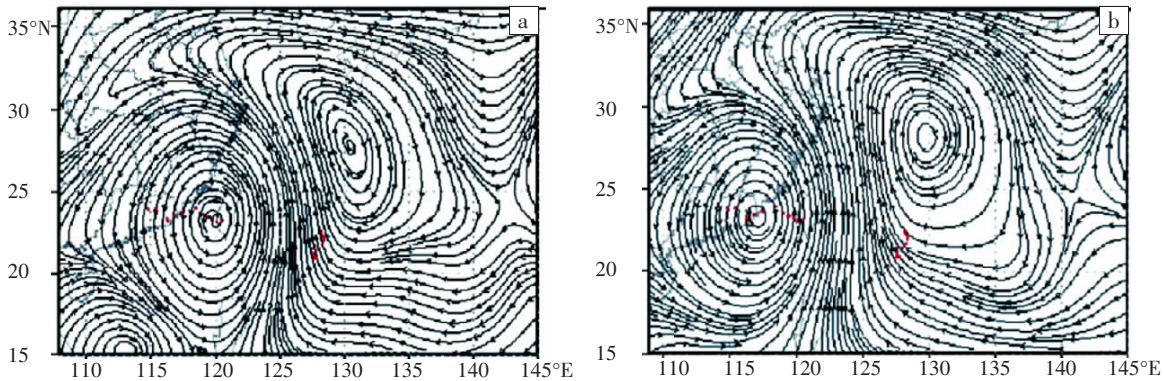


图6 2010年9月19日20时(a)、20日20时(b) 700 hPa流场图

综上所述可知,“7.24”浙江大暴雨和“9.20”浙江暴雨过程的共同特点是伴有低空东南风急流,但也有不同点:一是降水强度不同,前者浙江中南沿海地区出现大暴雨、局部特大暴雨,后者同一地区仅出现大雨到暴雨;二是前者低层具有明显超地转特征,后者边界层无明显超地转风出现;三是低空东南风急流产生的天气系统配置不同,前者由局地生成的 β 中尺度对流云团引发,后者与登陆台风带来的弱降水云系有关。

2 低空急流的超地转特征分析

上述两次暴雨过程的形势场分析表明,1000—700 hPa天气过程形势变化基本相似,但“7.24”浙江大暴雨过程的SE风急流是在东风波(26日08时发展为热低压)和副热带高压之间形成,持续时间较长,大暴雨主要与1000—850 hPa低层浙南沿海SE风急流中发生的 β 中尺度对流云团有关。而“9.20”浙江暴雨过程的SE风急流是在台风“凡亚比”(20日09时减弱为强热带风暴)和副热带高压之间形成,持续时间较短,急流风速虽明显大于前一过程,但未触发大暴雨。另外,“7.24”浙江大暴雨属非台风外围SE风急流过程;从地面到中低层形势图上可看到,浙中到闽中气压梯度较小,具有明显的超地转特征,有利于中尺度云团生成和发展。“9.20”浙江暴雨受台风“凡亚比”外围低空急流影响,由于浙中到闽中气压梯度较大,急流区域可能接近地转平衡。为探讨大暴雨发生和超地转风的关系,本文利用地面自动站网提供的逐时探测

925—700 hPa图上(图略),19日20时至20日20时,宫古岛和大陈站维持SE风 $14\sim 21\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,浙中浙南沿海受“凡亚比”外围低空SE风急流影响。从9月19—20日不同时次700 hPa流场图上可见(图6),在“凡亚比”到达台湾海峡南部和在闽南登陆前后,浙中浙南沿海处于“凡亚比”北到东北侧外围、副热带高压西南侧低空SE风急流轴左前方。

资料对两次暴雨过程进行对比分析。

2.1 超地转风分析方法

地面图上地转风(V_g)的计算公式为^[9]:

$$V_g = 8.9979 \times 10^{-4} \frac{1}{2\omega \sin\varphi} \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad (1)$$

式(1)中, ω 为地球自转角速度($\omega = 7.29 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$); φ 为计算点纬度; Δp 为计算点附近和等压线法向距离 Δn (单位:纬距)的气压差。可见, V_g 和气压梯度成正比。将有关参数代入,式(1)变成:

$$V_g = \frac{4.79}{\sin\varphi} \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad (2)$$

取 $\Delta V_g = V - V_g$ 为地转风偏差。 V 为计算点实际风速(自动站取该时次最大风速)。

在台站实际计算中,如果只考虑某一风向(如本文考虑SE风急流),就可用计算点两侧和该风向垂直方向的某两个站点的气压差来计算。为分析“7.24”浙江大暴雨和“9.20”浙江暴雨过程的地转风特征,本文分别选取两次过程暴雨中心温峤站、丽岙站雨量及其上游的石塘站(半岛SE侧的海岛)、北龙站(海岛)地面风自动站资料进行分析。对“7.24”浙江大暴雨过程,计算浙江石塘站(28.9°N、121.6°E)地转风(图1),具体取石塘NE侧的檀头山(29.2°N、122.3°E)和SW侧的北几岛(27.6°N、121.2°E)两站点气压差及距离差来计算地转风的代表值,考虑到两站点连线与SE急流近乎垂直,所以该地转风的代表值接近实际地转风。同样,对“9.20”浙江暴雨过程,计算北龙站(27.7°N、121.0°E)地转风(图4),具体用石塘站和福建霞浦站(26.9°N、120.9°E)

的资料计算。

2.2 两次暴雨过程地转风计算结果分析

利用上述地转风计算方法,由 7 月 24—27 日大暴雨中心温岭市温峤站逐时雨量和风记录以及对应大暴雨中心上游石塘站每天 8 个时次实际风速(V)、地

转风风速(V_g)、地转风偏差(ΔV_g)的计算结果可知,边界层急流中的超地转风和大暴雨发生之间明显相关。图 7 给出 7 月 24 日 08 时至 27 日 08 时石塘站每天 8 个时次实际风速、地转风偏差变化曲线与温峤站逐时雨量变化。

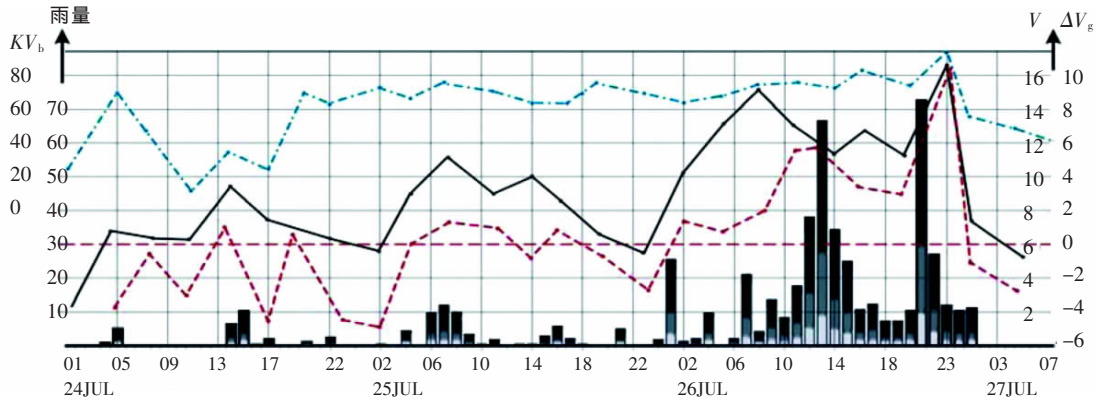


图 7 2010 年 7 月 24 日 05 时至 27 日 07 时石塘站风速 V (实线,单位: $m \cdot s^{-1}$)、地转风偏差 ΔV_g (虚线,单位: $m \cdot s^{-1}$)、海陆风速相对偏差 KV_b (点划线,单位:%)与温峤站逐时雨量(柱状,单位:mm)演变图

从图 7 中可见,25 日 05 时到 27 日 02 时,超地转风过程较明显,持续 45 h;25 日 05—08 时、26 日 02—14 时、26 日 20—24 时分别发生 3 次风速和地转风偏差同时急增时段,与大暴雨或特大暴雨时段对应较好;上述时段, $V \geq 8 m \cdot s^{-1}$, $\Delta V_g \geq 0 m \cdot s^{-1}$,特别是 26 日 02 时至 27 日 02 时(24 h 雨量 423 mm), $V \geq 10 m \cdot s^{-1}$, $\Delta V_g \geq 1.0 m \cdot s^{-1}$;在 26 日 13 时和 27 日 21 时,当出现 $V \geq 12 m \cdot s^{-1}$ 且 ΔV_g 分别达到 5.5、8.5 $m \cdot s^{-1}$ 的极大值时,对应降水强度达 62 $mm \cdot h^{-1}$ 、67.5 $mm \cdot h^{-1}$ 。这说明边界层急流中明显的超地转风不平衡触发中小尺度

云团急速发展,导致大暴雨。

图 8 给出 9 月 19 日 08 时—21 日 08 时北龙站每天 8 个时次的实际风速、地转风偏差变化曲线和丽岙站逐时雨量变化。从中可见,19 日 20 时到 20 日 11 时,北龙站维持 15 $m \cdot s^{-1}$ 以上 SE 风,但 19 日 20 时至 20 日 08 时 $\Delta V_g \leq -4 m \cdot s^{-1}$,处于地转风平衡状态,仅出现弱降水;20 日 09—13 时,出现 4 h 短时间超地转风($\Delta V_g > 0$),对应时段出现大到暴雨;当日 12—21 时, V 、 ΔV_g 同时减弱,强降水逐渐停止。

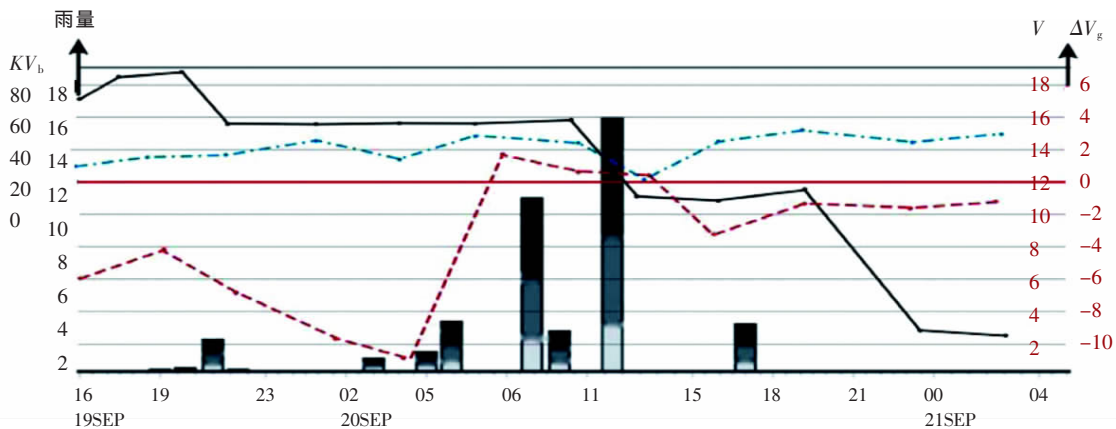


图 8 2010 年 9 月 19 日 20 时至 21 日 08 时北龙站风速 V (实线,单位: $m \cdot s^{-1}$)、地转风偏差 ΔV_g (虚线,单位: $m \cdot s^{-1}$)、海陆风速相对偏差 KV_b (点划线,单位:%)与丽岙站逐时雨量(柱状,单位:mm)演变图

通过对 19 日 20 时至 20 日 20 时 925—700 hPa 高度场分析可知,该时段由于“凡亚比”和副高之间有较大气压梯度,SE 风急流区基本处于地转风平衡状态,且“凡亚比”外围螺旋云带仅伸展到闽北,因而浙中浙南沿海未发生持续性强降水。

分析“7.24”浙江大暴雨和“9.20”浙江暴雨的 SE 风急流过程地面地转风计算结果表明,受低空 SE 风急流影响时,边界层超地转不平衡可激发中尺度雨团发展,地转风偏差与暴雨强度明显相关,在风速急增、超地转增强时段,急流轴左前方易发生强降水;但急流

区若处于地转平衡状态,则不利于暴雨发生。这与20世纪70年代末孙淑清^[10]的研究结论“急流轴上各站强降雨几乎全部发生在风速急增、超地转最强时段内,一旦急流又接近地转平衡时,降水就几乎停止”一致。

3 低层风切变和稳定度分析

丁一汇指出^[11],斜压大气中扰动能否发展与环境场的垂直风切变和层结稳定度有密切关系。文献[12]中将强对流系统发生发展的必要条件归纳为位势不稳定层结、不稳定的释放机制、低层水汽辐合、强的风垂直切变、低空急流。以下对“7.24”浙江大暴雨和“9.20”浙江暴雨过程风垂直切变和层结稳定度进行对比分析。

3.1 低层风垂直切变分析

利用大陈探空站(28.45°N、121.90°E)资料及其地面自动站资料,分别计算“7.24”浙江大暴雨和“9.20”浙江暴雨过程强降水集中时刻地面到850 hPa低层风垂直切变值(S)。计算结果表明,“7.24”浙江大暴雨,7月26日08、20时 S 值分别为6.9、4.8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$;

“9.20”浙江暴雨,9月20日08、20时 S 值分别为1.5、2.2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。这说明前一过程伴随较强风垂直切变,而后一过程风垂直切变不明显。这可能与低空急流中当超地转风发生时边界层摩擦效应表现为增强趋势有关。

3.2 低层稳定度分析

本文以500 hPa与850 hPa的 θ_{se} 之差($\theta_{se,500-850}$)表示大气对流稳定度。当 $\theta_{se,500-850}<0$ 时为不稳定层结, $\theta_{se,500-850}>0$ 时为稳定层结;假相当位温随高度增加减小得越快,气层对流不稳定性越强。分析7月24—26日 $\theta_{se,500-850}$ 场可知,“7.24”浙江大暴雨期间,浙闽沿海海面到琉球群岛一直维持稳定层结(图9a),浙、赣、皖、闽南处于 $\theta_{se,500-850}\leq-5$ °C的不稳定区,大暴雨带位于陆地不稳定区和沿海海面稳定区之间 $\theta_{se,500-850}$ 等值线密集区(沿海到浙江内陆100 km距离 $\theta_{se,500-850}$ 差值 ≥ 10 °C)附近。这与章淹等^[13]的研究结论“暴雨区并不处于最不稳定区域,而是出现在急流下风方、 $\theta_{se,500-850}$ 等值线密集区”一致。

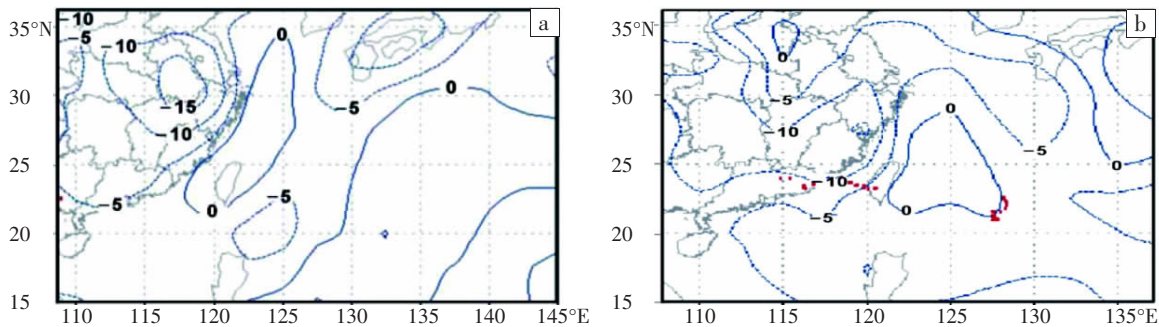


图9 2010年7月26日08时(a)、9月20日08时(b) $\theta_{se,500-850}$ 水平分布

同样,分析9月19日20时至20日20时 $\theta_{se,500-850}$ 场可知,“9.20”浙江暴雨期间,浙闽及其沿海均处于 $\theta_{se,500-850}\leq-5$ °C的不稳定区(图9b), $\theta_{se,500-850}$ 等值线密集带在东南南部洋面,浙江省境内(含各地自动站)均未发生大暴雨。

综上所述可知,受低层SE风急流影响,当超地转风发生时低层风垂直切变明显增强,“7.24”浙江大暴雨过程中,浙中浙南沿海海面低层稳定层结和较强风垂直切变的存在以及SE风急流轴上近海陆地稳定度等值线密集区的存在,均有利于激发中尺度对流云团发生发展;“9.20”浙江暴雨过程中,浙中浙南沿海海面低层为不稳定层结,且风垂直切变不明显,整个过程稳定度等值线密集区在东海洋面,不利于浙中南大暴雨发生。

4 地形影响及物理量场分析

4.1 地形影响及边界层风切变分析

浙中浙南沿海为丘陵地带,其走向与海岸线平行

(NNE-SSW向),且平均高度在400 m以上的括苍山系和雁荡山系紧靠沿海,与边界层SE风急流风向几乎垂直。观测资料表明,由于山脉阻挡和海陆摩擦效应的差异,海岛站风速明显大于沿海陆地站。为探讨浙中浙南沿海地形对边界层SE风急流的影响,分别对两次过程逐时海陆风速相对偏差(KV_b)进行分析。取 $KV_b=100(V-V_b)/V$ 。其中, V 为上述石塘、北龙2个上游海岛测站逐时最大风速,代表沿海海面上的风; V_b 为急流下风方沿海暴雨发生地温峤、丽岙站(相距约50~60 km)同时次最大风速。 KV_b 值越大,说明沿海地形对海面SE风的衰减作用越明显,沿海边界层产生风速切变也越强。

图7、图8中的点划线分别是计算得到的上述两次过程逐时 KV_b 值变化。从图7中可见,“7.24”浙江大暴雨过程,在7月24日18时—26日23时 KV_b 值基本上都在65%以上,过程 KV_b 平均值为67.8%;特别是在26日05时—27日02时发生特大暴雨期间, KV_b

值都在 75%以上(即 V 是 V_b 的 4 倍以上),同时,海面实时风速 $V \geq 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,有利于沿海产生强切变。另从图 8 中可见,“9.20”浙江暴雨过程,9 月 19 日 20 时—20 日 20 时 KV_b 值基本上都在 50%以下,过程 KV_b 平均值为 39.0%,风切变相对较弱。

上述 KV_b 值变化存在差异,究其原因,可能是由于 SE 风急流中在超地转状态时浙南沿海地形对风速的衰减作用较敏感,而在地转平衡状态由于较大气压梯度力的存在,地形作用引起的风力衰减相对较小。

4.2 物理量场分析

由于沿海海面 SE 风低空急流携带了充沛水汽,上述两次过程 1000—850 hPa 浙中浙南沿海水汽通量散度均在 $(-3.0 \sim -1.5) \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间(图略),水汽输送和聚集条件较好。因此,两次过程暴雨发生条件的差异主要取决于动力和热力条件。上述分析表明,受地形影响,两次 SE 风急流暴雨过

程浙中浙南沿海边界层风切变存在明显差异,“7.24”浙江大暴雨过程中上游海面的 SE 风风速是沿海陆地站的 3~5 倍,浙中浙南沿海边界层产生较强辐合,从而使中低层发生较强上升运动,有利强降水云团发展,这与“7.24”浙江大暴雨雨带紧靠海岸线分布的特征相一致;“9.20”浙江暴雨过程中,沿海陆地站风速较之上游海面仅衰减 40%左右,沿海边界层为弱辐合。

图 10 给出两次过程在发生大暴雨或暴雨时 1000 hPa 散度场和 700 hPa 垂直速度场。从中可见,7 月 26 日 20 时(图 10a),浙中浙南沿海存在强度为 $-1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 的辐合中心区,同时 700 hPa 为 $-20 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的上升运动中心区(图 10c);而 9 月 20 日 08 时(图 10b),浙中浙南沿海处于闽南台风环流外围北侧强度为 $(-1.0 \sim -0.5) \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 弱辐合带中,该地区上升运动也明显偏弱,垂直速度为 $-5 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 10d)。

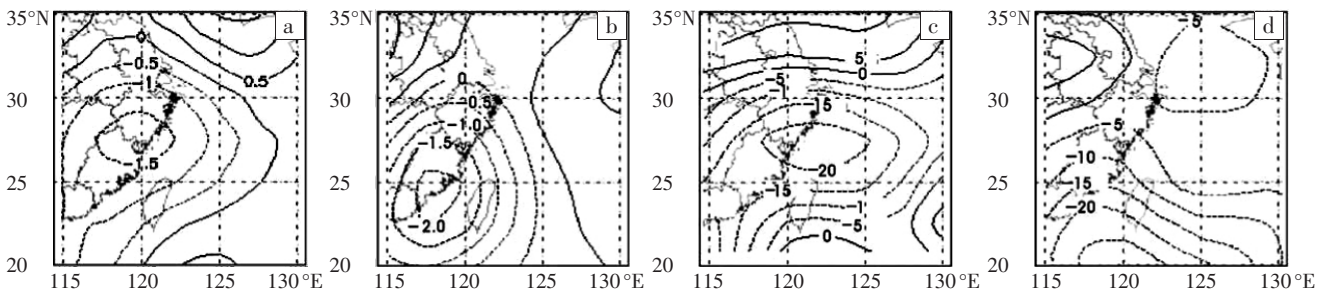


图 10 2010 年 7 月 26 日 1 000 hPa 散度(a)、700 hPa 垂直速度(c)以及 9 月 20 日 1 000 hPa 散度(b)、700 hPa 垂直速度(d)分布

5 结论

(1) “7.24”浙中南沿海大暴雨发生与边界层到低空的 SE 风急流及其超地转特性有关;浙中浙南沿海低空急流中,边界层持续超地转风有利低空风垂直切变加强,沿海地形也有利边界层产生海陆风强切变;急流左前方为稳定度等值线密集区,为大暴雨发生提供了有利的热力条件。受上述因素作用,浙中浙南沿海 β 中尺度对流云团不断发生发展,产生持续性强降水。

(2) 边界层到低空的超地转特征和大暴雨的发生密切相关;受低空急流影响时,在边界层风速急增、超地转最强时段内,容易发生大暴雨或特大暴雨。

(3) 浙中浙南沿海丘陵山地有利产生风速切变及强辐合上升运动,沿海边界层 SE 风急流中超地转风状态下发生的风速切变明显强于地转平衡状态。

(4) “9.20”浙江暴雨过程发生在闽南台风环流外围北侧的低空 SE 风急流中,整个过程基本处于地转平衡状态,热力和动力条件都不利于浙中浙南沿海中尺度扰动发生发展,不利于大暴雨产生。

参考文献:

- [1] 王德瀚.浙江沿海在低空东南风急流影响下产生暴雨的二例[J].气象,1978(11):3-6.
- [2] 何建中.边界层低空急流超地转特征的数值研究[J].南京气象学院学报,1992,15(3):323-330.
- [3] 黄文根,邓北胜,熊廷南.一次台风暴雨的初步分析[J].应用气象学报,1997,8(2):247-251.
- [4] 覃丹宇,方宗义,江吉喜.2002 年 7 月 20—25 日揭示的热带水汽羽和暴雨的关系.气象学报,2005,(4):111-121.
- [5] 张瑞禹,张兵,钟敏.对 2005 年 9 月初鄂东一次连续大暴雨的诊断分析.暴雨灾害,2007,26(1):52-55.
- [6] 肖递祥,顾清源,祁生秀,等.2007 年 7 月川东北连续三场大暴雨过程的诊断分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):231-236.
- [7] 顾清源,肖递祥,黄楚惠,等.低空急流在副高西北侧连续性暴雨中的触发作用.气象,2009,(4):59-67.
- [8] 赵玉春,王叶红.近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193-201.
- [9] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,1983:485-486.
- [10] 孙淑清.关于低空急流对暴雨的触发作用的一种机制[J].气象,1979(4):8-10.
- [11] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,2005:443-445.
- [12] 陆汉城.中尺度天气原理和预报[M].北京:气象出版社,2004:41-42.
- [13] 章淹,林宗鸿,陈渭民,等.暴雨预报[M].北京:气象出版社,1987:78-80.