

文章编号: 1006-4354 (2007) 02-0029-04

陕西大范围雷暴 850 hPa 能流场特征分析

高菊霞¹, 庞亚峰², 梁生俊³

(1. 陕西省防雷中心, 西安 710014; 2. 西安市气象局, 西安 710016;
3. 陕西省气象台, 西安 710014)

摘要: 利用历史天气图和陕西全省逐日天气现象资料, 统计分析 850 hPa 能流场的特征与陕西大范围雷暴天气的关系。结果表明: 850 hPa 能流场对陕西雷暴天气有很大的贡献; 总结出陕西大范围雷暴天气发生时, θ_{se} 场中的暖湿舌、高能轴、 θ_{se} 锋区及附近流场耦合系统的特征及指标, 形成具有预报意义的陕西分区雷暴预报指标, 为雷暴的潜势预报提供基础研究指标依据。

关键词: 雷暴; 能流场; 预报指标

中图分类号: P458.121.1

文献标识码: A

1 资料分析

1967—1992 年 5—9 月随机抽取 15 个月, 利用逐日历史天气图和全省各站逐日降水和雷暴天气现象资料计算 30°N~40°N, 104°E~117°E 的 850 hPa 的 θ_{se} 场, 并标明 30°N~40°N, 105°E~110°E 各站层结 ($\theta_{se500-800}$) 及 850 hPa 实测风场。普查证实, 陕西雷暴天气与 850 hPa 的暖湿舌、 θ_{se} 锋区以及高能轴关系密切, 全省和各区 80% 以上雷暴都与 θ_{se} 场系统有关, 但各种系统对雷暴的贡献各区又有明显差异。暖湿舌的贡献陕北最大为

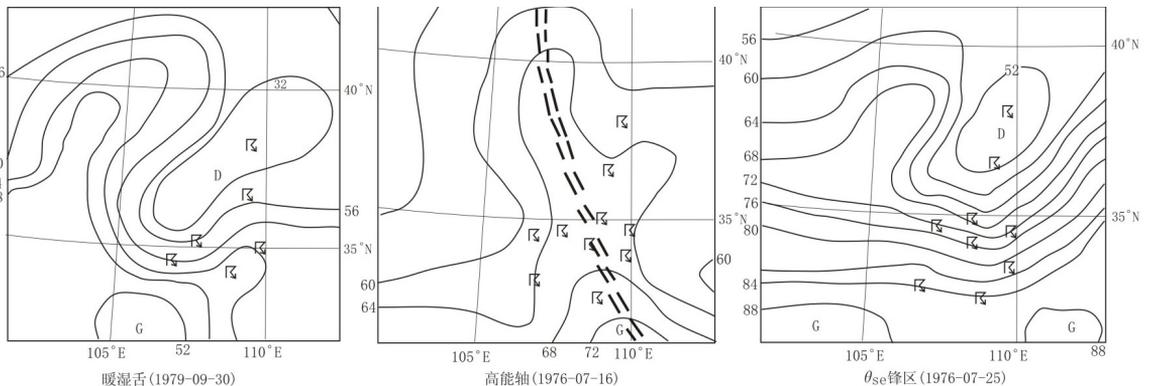
51%, 关中东部次之, 为 33.7%, 关中西部和陕南较少; 锋区的贡献则相反, 关中西部和陕南都接近 50%, 陕北和关中东部为 35%~37%。

2 雷暴天气 850 hPa 能量场特征

普查发现: 暖湿舌的“舌点”处及下游是雷暴多发区; θ_{se} 锋区上及锋区的高能一侧极易出现强雷暴天气; 狭长暖湿区的高能轴附近极易出现强雷暴天气 (图 1)。

2.1 暖湿舌特征及指标

根据暖湿舌常出现的地区可得出雷暴预报指



细实线为等 θ_{se} 线 (单位: °C); 双虚线为高能轴; 为雷暴

图 1 850 hPa 三种 θ_{se} 场与陕西雷暴天气

收稿日期: 2006-10-10

作者简介: 高菊霞 (1972-), 女, 陕西眉县人, 学士, 工程师, 从事天气预报及相关研究。

标,当日下午到晚上相应地区会出现雷暴天气。暖湿舌的指标:(1)若银川出现暖湿舌且银川层结不稳定,则陕北有雷暴。(2)若延安出现暖湿舌且延安层结不稳定,则陕北有雷暴。(3)若平凉出现暖湿舌且层结不稳定,则关中西部 and 东部均有雷暴。(4)若西安出现暖湿舌且层结不稳定,关中西部有雷暴。(5)若陕南(汉中或安康或达县)出现暖湿舌且层结不稳定,则陕南有雷暴。

2.2 θ_{sc} 锋区特征及指标

通过普查发现,强雷暴大多对应有 θ_{sc} 锋区,雷

暴发生在 θ_{sc} 锋区高能一侧的不稳定区。为便于客观化,对 θ_{sc} 锋区标准做了规定,850 hPa θ_{sc} 场上,等 θ_{sc} 线密集地区称 θ_{sc} 锋区, n 代表纬距,规定:

$$\Delta\theta_{sc}/\Delta n \geq 4^\circ\text{C}/\text{纬距}, \text{为}\theta_{sc}\text{锋区};$$

$$\Delta\theta_{sc}/\Delta n \geq 8^\circ\text{C}/\text{纬距}, \text{为强}\theta_{sc}\text{锋区};$$

$$\Delta\theta_{sc}/\Delta n \geq 12^\circ\text{C}/\text{纬距}, \text{为特强}\theta_{sc}\text{锋区}.$$

应用时以相邻2站 θ_{sc} 差判断,因为陕西省及附近探空站相邻2站距离2~3个纬距,所以,若相邻2站 $\Delta\theta_{sc} \geq 9^\circ\text{C}$,认为2站间存在 θ_{sc} 锋区。分两类建立雷暴指标(见表1)。

表1 陕西省 θ_{sc} 锋区雷暴指标

类别	指数标准 (θ_{sc} 差/ $^\circ\text{C}$)	指标条件	雷暴落区
南北向较长的锋区 (“三九”指标)	①北:延安—银川(银川—民勤) ≥ 9 ②中:西安—平凉(平凉—兰州) ≥ 9 ③南:汉中—武都(汉中—平凉或安康—汉中) ≥ 9 注:三者允许一个 θ_{sc} 差 < 9 ,但必须 ≥ 7	满足①②③条,且满足500 hPa经向度指数 > 0.4 或满足“三九”条件,且锋前高能轴与锋区近于平行距离 ≤ 2 个纬距	陕西全省(5个地区以上)
东西向的横锋	①陕北横锋:延安—东胜 ≥ 9 ②关中横锋:西安—延安 ≥ 9 ,汉中—平凉 ≥ 9 且西安—延安 ≥ 5 ③秦岭横锋:安康—西安(汉中—平凉) ≥ 8 ,且安康—西安 ≥ 4 ④巴山横锋:达县—汉中(或安康) ≥ 9	①槽前 θ_{sc} 锋区:700 hPa或500 hPa在 $100^\circ \sim 108^\circ\text{E}$ 有槽或竖切变槽前有东西向 θ_{sc} 锋区 ②切变南(北) θ_{sc} 锋区,500 hPa上有横切变,在切变南侧(或北侧)2.5个纬距内有横向 θ_{sc} 锋区	陕北横锋,陕北有雷暴; 秦岭横锋,关中和陕南有雷暴; 巴山横锋,陕南有雷暴; 在切变南侧的所有不稳定区都会出现雷暴。

2.3 高能轴特征及指标

普查表明:高能轴附近约1.5个纬距内是雷暴多发区。高能轴有两种,一是狭长暖湿区中间的高能轴。二是南北两高之间的连线。根据高能轴的源地及伸展方向有利于陕西(特别是关中)发生雷暴的高能轴:①横轴,轴在汉中—安康一线;②由东南伸向西北或至关中后向北转向;③由南伸向北或至渭北后向西转向;④西南伸向东北或至关中后向东转向。

3 雷暴天气 850 hPa 流场特征及机制分析

3.1 暖湿舌、高能轴附近流场特征

统计分析发现:暖湿舌的形成虽然与流场的偏南风、偏东风密不可分,但高能轴并不与偏南风或偏东风的急流轴重合,高能轴往往出现在偏南风或偏东风急流左侧,风速迅速递减,气旋性扰动明显加强或偏南(东)风与偏西(北)风切变的地方。急流左侧的辐合区有明显的负水汽通

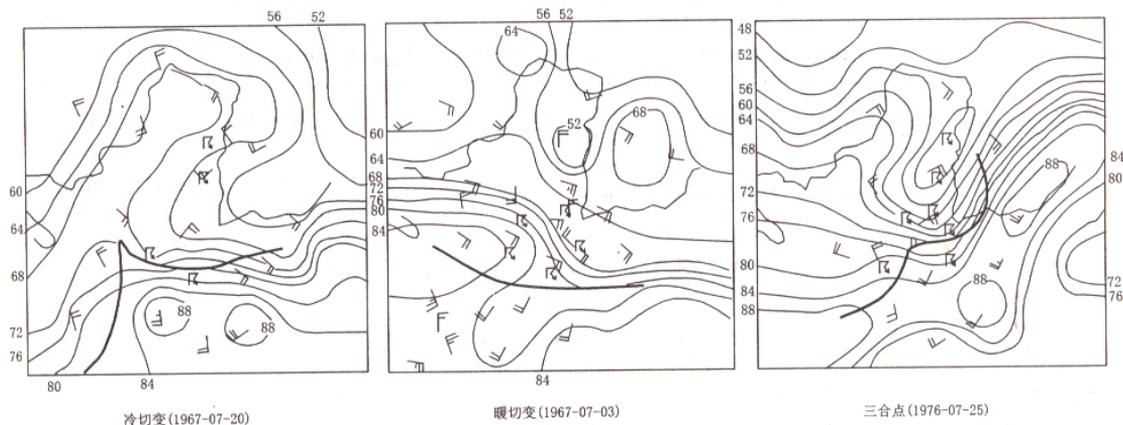
量散度,水汽明显增加形成暖湿舌或高能轴。流场具有上述特征的层结不稳定的暖湿舌和高能轴,对应有明显的雷暴天气。对应下述流场形式同样是层结不稳定的暖湿舌无雷暴天气:暖湿舌(区)对应反气旋性环流,暖湿舌的形成与其后部的南风有关,暖湿舌区因低层是辐散的,不利于雷暴天气;暖湿舌出现在一致的偏南风或偏东风里,无明显辐合系统,此时 θ_{sc} 场上梯度较小,不利于雷暴天气。

3.2 850 hPa 实测风场中耦合系统

具备不稳定能量时,雷暴发生需要低层产生辐合上升运动。通过普查,850 hPa风场分冷切变与暖切变两类(见图2)。暖切变是南北测站间南风与东风的切变,是暖湿空气内部的气旋性扰动,包括暖切变和倒槽。倒槽式暖切变是东西测站间东南风与东北风的切变,切变在陕南是四川低涡或台风倒槽或东风波的北伸部分。冷切变是偏西

风与偏南风的切变或偏北风与偏西风的切变, 包括冷切、低涡和三合点, 是冷暖空气交汇在风场

的反映。冷切变与暖切变的交汇点(西风、东风与南风)称为“三合点”。低涡有冷式低涡(斜压



细实线为等 θ_{se} 线 (单位: $^{\circ}\text{C}$); 粗实线为切变线; 为雷暴

图 2 850 hPa 能流场上的耦合系统

性低涡) 和暖式低涡。

4 能流场上的雷暴指标及实例分析

4.1 雷暴指标

不稳定包括层结不稳定和湿斜压不稳定, 引入物理量湿位涡

$$N_{MPV} = g \left[-1 / (f_k \zeta \theta_e) r_m / r_d |\nabla p \theta_e|^2 - \zeta_g \partial \theta_e / \partial p \right]$$

式中第一部分表示层结不稳定, 用 $\theta_{se500-800}$ 表示。第二部分表示湿斜压不稳定。湿位涡将二者不稳定结合在一起, 为计算简便, θ_e 用 θ_{se} 代替, 地转涡度用实测风涡度代替, 近似计算得:

$$N_{MPV} = 9.8 (-4.2093T^2 - 8.571Z) / 100 + 1.66$$

式中等号右边括号的第一项为湿斜压项, T 为能量梯度, 单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{纬距}$; 括号中的第二项为层结项, 其中 $Z = \theta_{se850-500}$ 。这样简化后的 N_{MPV} 已经不是完全意义上的湿位涡, 用“ N_{EPV} ”表示, 若 $N_{EPV} < 0$ 表示不稳定, 负值越大越不稳定, $N_{EPV} > 0$ 则相反。

预报区上空 500 hPa 盛行风为主导气流, 决定低层影响系统的移动方向。按照主导气流将雷暴天气分为偏西风和偏南风。引入“经向度指数” $J_i = v_i / u_i$, 计算每个区上空的经向度指数时选取具有代表性的几个站。 $J = \sum_i^n v_i / \sum_i^n u_i$ 。 J 负值

越小偏西的程度越大, J 正值越大偏南风的程度

越大。能流场上雷暴指标的基本形式: 高能 + 辐合 + $N_{EPV} < 0 =$ 雷暴天气, 分区雷暴预报指标见表 2。

4.2 实例分析

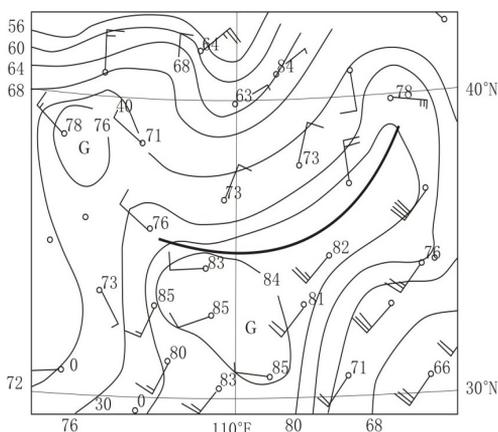
利用 850 hPa 能流场的雷暴指标对 2006 年 7 月 31 日的强雷电天气过程分析。陕北经向度指数 $J_1 = -0.38$, 小于 0.5, 陕北上空盛行西北气流; 关中 $J_2 = 0.004$, 陕南 $J_3 = 0.72$, 均大于 0, 关中和陕南上空以偏南风为主。500 hPa 西风槽位于榆林—平凉—武都一线, 槽后有明显的冷平流, 在高空西北急流引导下, 冷空气沿西北路南下影响陕西。对应槽前 850 hPa 有明显 θ_{se} 横锋, 根据“三九指标”, $\theta_{se延安} - \theta_{se东胜} = 10^{\circ}\text{C}$, $\theta_{se西安} - \theta_{se延安} = 12^{\circ}\text{C}$, $\theta_{se汉中} - \theta_{se平凉} = 9^{\circ}\text{C}$, 850 hPa θ_{se} 场存在东西向陕北横锋和关中横锋, 有利于陕西全省强雷暴的产生。整个河套地区层结很不稳定, 陕西所有的指标站 N_{EPV} 均远小于零, 汉中 N_{EPV} 最小, 达 $7.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}$ 。850 hPa 能流场特征(图 3), 关中和陕南处在暖湿区中, 河西有一高湿高温中心, 与陕南的高湿高温中心形成东南西北向的高能轴; 华北到陕西关中有一冷切变, 切变北部盛行较强的偏北风, 带来较强烈的冷空气, 切变南部以西南暖湿气流为主, 前部有较强的西南

急流,水汽输送明显,有利于陕南和关中强雷暴的发生。这次过程 850 hPa θ_{sc} 场和流场特征与指标比较吻合,31日13时开始,陕西全省出现强烈

的雷暴天气过程,这次雷暴天气过程伤亡8人,直接经济损失约18万元;闪电定位监测显示:24h发生闪电14941次,雷暴时数达19h。

表2 θ_{sc} 场与850 hPa流场结合形成的陕西分区雷暴预报指标

区域	500 hPa流场特征	500 hPa经向度指数	辐合系统	系统所在区域	能量场特征	雷暴落区
陕北	W风或NW风	$J \leq 0.5$	冷切变和低涡	老东庙以东,临河以南 37°N 以北, 108°E 以西	银川、临河或延安附近有高能舌,且 $N_{EPV} < 0$	榆林、延安
	偏S风	$J \geq 0.5$	暖切变、低涡或冷切变	延安与东胜之间 108°E 以东	延安有高能舌、高能丘且 $N_{EPV} < 0$	延安
关中	偏S风	$J > 0$	冷切变暖切变	平凉与西安之间低层暖湿气流内部	西安 $N_{EPV} < 0$ 宝鸡 $N_{EPV} < 0$	关中东部 关中西部
	NW风	$J < 0$	冷切变或低涡	榆林以南,兰州以东	西安 $N_{EPV} < 0$ 宝鸡 $N_{EPV} < 0$	关中东部、商洛 关中西部
陕南	偏S风	$J > 0$	倒槽、暖切变、低涡、三合点 冷切变	秦岭以南,武都以东,达县以北 平凉西安以南,武都以东,达县以北	汉中、安康、达县有一站为高能区,且 $N_{EPV} < 0$ θ_{sc} 锋区、汉中安康达县至少有一站为相对高能区且 $N_{EPV} < 0$	汉中、安康、商洛
	NW风	$J < 0$ 或 500 hPa槽在汉中—安康	锋区、冷切变	平凉西安以南,武都以东,达县以北	汉中—平凉、安康—西安、达县—汉中 ($\Delta\theta_{sc} \geq 12^\circ\text{C}$), 汉中、安康、达县有一站 $N_{EPV} < 0$	汉中、安康、商洛
			暖切变或倒槽	四川有一支南风北伸至汉中	汉中、安康、达县有一站 $N_{EPV} < 0$	



细实线为等 θ_{sc} 线(单位: $^\circ\text{C}$);粗实线为切变线;

图3 2006-07-31 850 hPa能流场

5 小结和讨论

5.1 雷暴属于强对流天气,常伴随短时暴雨、大

风、冰雹等天气现象同时出现,局地特点明显,形成机理比较复杂,预报难度较大。

5.2 雷暴发生与低层不稳定能量及流场关系密切。850 hPa暖湿舌、 θ_{sc} 锋区和高能轴与雷暴相关性较好;850 hPa流场冷暖切变有利于低层辐合上升,对雷暴的发生、发展贡献较大。

5.3 将雷暴单独作为预报对象来研究,从850 hPa能流场上找到一些具有预报意义的指标,并客观化后应用到预报工作中,是雷暴潜势预报研究的基础。

5.4 指标多为定性的,为进一步建立雷暴潜势预报客观业务系统奠定了较好的基础。

致谢:文章得到李佐、周全瑞老师的指导和支持,表示真挚的感谢!