

纪凡华, 徐娟, 韩风军, 等. 鲁西北西部一次大暴雨过程成因诊断分析 [J]. 陕西气象, 2014 (4): 24-28.

文章编号: 1006-4354 (2014) 04-0024-05

# 鲁西北西部一次大暴雨过程成因诊断分析

纪凡华, 徐娟, 韩风军, 李亚萍

(聊城市气象局, 山东聊城 252000)

**摘 要:** 利用常规资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和卫星云图资料对 2013-07-26 鲁西北西部一次大暴雨天气过程进行分析, 结果表明: 副高边缘的暖式切变线是产生此次大暴雨的主要影响系统; 偏南气流输送了充足的水汽和不稳定能量, 建立了不稳定层结, 冷空气触发对流, 引发不稳定能量释放, 导致强降水产生; 大暴雨发生在水汽通量高值区右侧的密集带偏西位置及暖湿空气沿着冷空气爬升的能量锋上; 强降水发生在中尺度对流系统发展强盛到成熟阶段, 降水落区位于强冷云顶的后侧, 短时强降水发生在云顶亮温梯度最大处。

**关键词:** 大暴雨; 暖式切变线; 短时强降水; 卫星云图

**中图分类号:** P458.121

**文献标识码:** A

暴雨是华北地区夏季常见的一种灾害性天气, 特别是持续性、大范围暴雨有时会诱发泥石流、山体滑坡等次生灾害, 从而给相关地区人民的生命和财产安全带来巨大损失。充沛的水汽供应是暴雨产生的基本条件<sup>[1-4]</sup>, 特别是持续时间长和强度大的暴雨<sup>[5]</sup>。华北地区地处东亚季风带, 夏季暴雨产生时的水汽来源一般有孟加拉湾、西太平洋、南海等<sup>[2]</sup>。特大暴雨一般是中尺度对流云团所导致<sup>[6]</sup>, 江吉喜等<sup>[7]</sup>分析了 1996 年 8 月 3—5 日河北省的特大暴雨过程, 认为该过程主要受两个中尺度云团的直接影响, 该云团

的形成和发展, 是偏南风低空急流与华北北部南下的近地面层弱冷空气相互作用的结果。杨晓霞等<sup>[8]</sup>对山东省三次暖切变线极强降水进行对比分析, 认为低层暖湿气流螺旋式辐合上升与中高层入侵的干冷空气相遇, 水汽凝结率增大, 降水强度增强; 中高层干冷空气侵入的时段与极强降水的时段相对应。

利用常规资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和卫星云图资料, 对 2013-07-26 发生在鲁西北西部的一次大暴雨过程进行分析, 试图揭示该过程中降水系统的结构和形成原因, 为山东省西部地

**收稿日期:** 2014-03-05

**作者简介:** 纪凡华 (1984—), 男, 汉族, 山东莒县人, 学士, 助理工程师, 主要从事天气预报。

[8] 王远飞, 沈愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度 [J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1998 (3): 60-66.

[9] 李秋, 仲桂清. 环渤海地区旅游气候资源评价 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19 (2): 149-153.

[10] 刘清春, 王铮, 许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析 [J]. 资源科学, 2007, 29 (1): 133-141.

[11] De Freitas C. Human climates of Northern China [J]. Atmospheric Environment, 1979, 13 (1): 71-77.

[12] 徐新良, 刘纪远, 庄大方. GIS 环境下 1999~2000 年中国东北参考作物蒸散量时空变化特征分析 [J]. 农业工程学报, 2004, 20 (2): 10-14.

[13] 马丽君, 孙根年, 李馥丽, 等. 陕西省旅游气候舒适度评价 [J]. 资源科学, 2007, 29 (6): 40-44.

区强降水天气的短时临近预警提供客观依据。

## 1 暴雨过程概况

7月26日00—10时(北京时,下同),鲁西北西部出现一次大暴雨天气过程(图1),2站降雨量超过200 mm,17站超过100 mm。从图1a可以看到降雨落区比较集中,聊城中北部普降大暴雨,此次降水中心在聊城市区和茌平,聊城站总降水量178.3 mm,茌平站总降水量166.2 mm。两站逐小时雨量变化(图1b)显示,茌平站26日04—05时降水强度最强,为67.8 mm/h,聊城站26日07—08时降水强度最强,为75.0 mm/h,这说明此次暴雨属于对流性强降水,有短历时强降水的特征。

穿过山东的南部,鲁西北处于副高边缘的暖湿气流中。700 hPa上沿着副高边缘有一东北—西南向的切变线,其东北端位于渤海以西,西南端到达四川盆地。北部湾上空有一热带低压,低压外围大风与副高边缘的偏南气流重合,产生从南海到华北平原的偏南风气流带,河套地区北侧附近有弱冷锋进入南亚低压向北延伸的倒槽(图略),使倒槽东北部气旋性增强,气压降低南风加大。850 hPa上贝加尔湖上空有弱低涡,东亚大陆盛行偏南气流,河北南部—山东西部有暖式切变线发展,济南市章丘站为4 m/s的东南风。26日08时700 hPa(图略)上邢台站风速增大到10 m/s,有利于水汽的输送,山东省处于切变线南侧,偏南气流的左前方。850 hPa形势场上(图

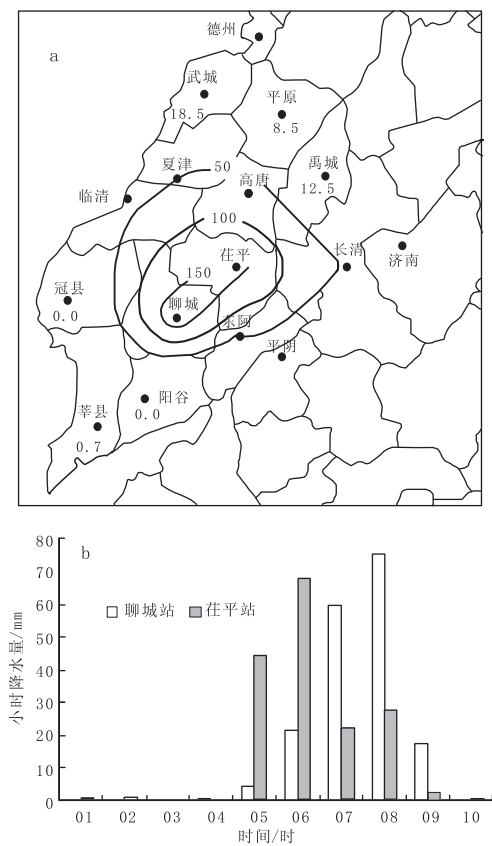


图1 2013-07-26T00—10鲁西北西部降雨量分布(a)和聊城站、茌平站逐小时降雨量(b)(单位: mm)

## 2 环流形势与主要天气系统

7月25日20时高空形势场上(图2a),500 hPa中纬度河套上游有弱低槽发展,西太平洋副热带高压(以下简称副高)北抬,其脊线到达30°N,588 dagpm线西伸到112°E附近,其北端

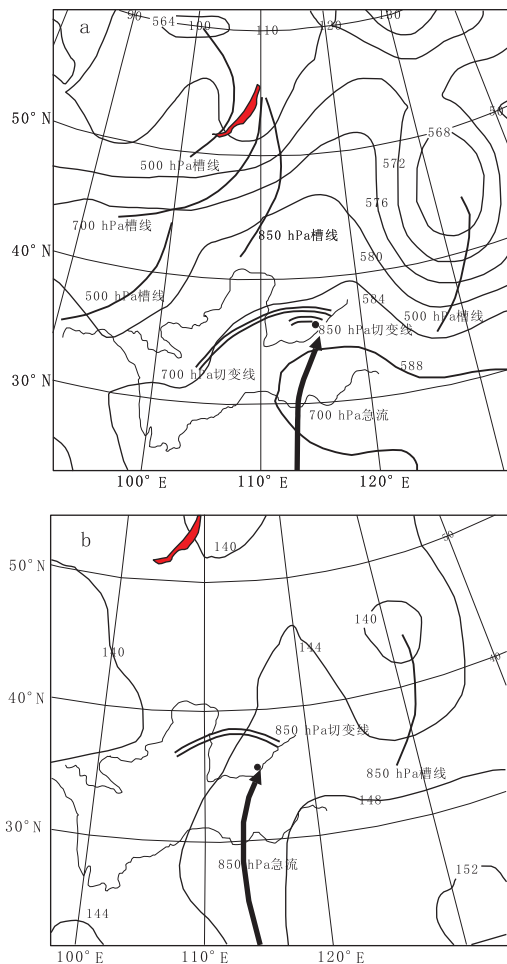


图2 2013-07-25T20高空系统配置(a)和2013-07-26T08 850 hPa(b)形势场(等值线为位势高度,单位为 dagpm;黑圆点为暴雨区,下同)

2b) 贝加尔湖低涡稳定少动, 华北的暖式切变线移动缓慢, 章丘站出现 16 m/s 的强西南风, 鲁西北地区辐合增强。综上可见在没有明显的冷空气入侵情况下, 副高边缘的偏南气流加强, 鲁西北暖式切变线稳定在聊城地区, 造成此次以短时强降水为特征的大暴雨过程, 可见副高边缘的暖切变线为此次大暴雨的主要影响系统。

### 3 暴雨发生发展的环境条件

#### 3.1 水汽条件分析

此次过程中副高边缘的偏南气流, 将来自南海的丰富水汽向华北平原输送。从 7 月 25 日 20 时 850 hPa 水汽通量和风场 (图 3a) 可看出, 在中国东部一个水汽通量大于  $8 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  的

水汽输送通道已经建立, 最大水汽通量为  $12 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ , 水汽通道右侧没有等值线密集带, 说明降水过程中没有明显的冷空气侵入。山东半岛有一水汽通量低于  $4 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  的小值区, 受高空低涡影响, 空气总体偏冷, 山东中、西部是冷暖空气交汇区, 鲁西北在水汽通量  $10 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  大值区的东北方, 正处于暖空气沿着冷空气爬升的锋区, 具有较好的冷却凝结形成降水的条件。从比湿场随时间的演变图 (图 3b) 可以看出, 聊城站近地面比湿 24 日 08 时大于  $14 \text{ g}/\text{kg}$ , 20 时大于  $16 \text{ g}/\text{kg}$ , 25 日 20 时大于  $18 \text{ g}/\text{kg}$ , 并且水汽向高空扩散,  $2 \text{ g}/\text{kg}$  等值线到达 400 hPa 以上, 近地面水汽达到过饱和状态。26 日 00 时, 降水开始之后近地面比湿稍有降低, 但一直大于  $18 \text{ g}/\text{kg}$ , 是维持聊城站 3 小时短时强降水的有利条件, 验证了比湿大于  $14 \text{ g}/\text{kg}$  是山东产生暴雨的一个有利条件。

#### 3.2 假相当位温分析

假相当位温  $\theta_{se}$  表征着大气温湿能量特征, 有利的大气温湿条件是产生暴雨的首要前提<sup>[9]</sup>。从聊城站 24 日 20 时—26 日 20 时假相当位温随时间的演变图 (图 4a) 可以看出, 降水开始之前, 高空整层大气的的不稳定能量不断积聚。25 日 08 时近地面  $\theta_{se}$  为 360 K, 345 K 等值线伸到 500 hPa 高度附近, 中低层大气高温高湿。25 日 14 时  $\theta_{se}$  明显升高, 925 hPa 以下  $\theta_{se}$  大于 360 K, 表明近地面暖湿空气增温增湿变化明显; 700 hPa 附近出现  $\theta_{se}$  为 340~345 K 的低值, 表明开始有冷空气入侵。25 日 20 时 750~850 hPa 之间出现等值线密集区, 冷空气不断加强, 开始引发中低层空气的上升运动, 产生对流。26 日 02 时, 850 hPa 以下附近开始出现  $\theta_{se}$  梯度, 表示有冷空气继续入侵, 与偏南气流相遇, 辐合增强, 上升运动增强, 从而触发不稳定能量释放产生降水。26 日 08 时高能舌向高层发展, 到达 700 hPa 高度, 并且 700~850 hPa 出现  $\theta_{se}$  大梯度区, 表明空气对流发展强烈, 暖湿空气与冷空气相遇, 有利于大量水汽在此过程中冷却凝结形成强降水, 实况是 08 时聊城站出现 75 mm/h 的雨强。26 日 14 时冷空气侵入低层, 对流结构崩

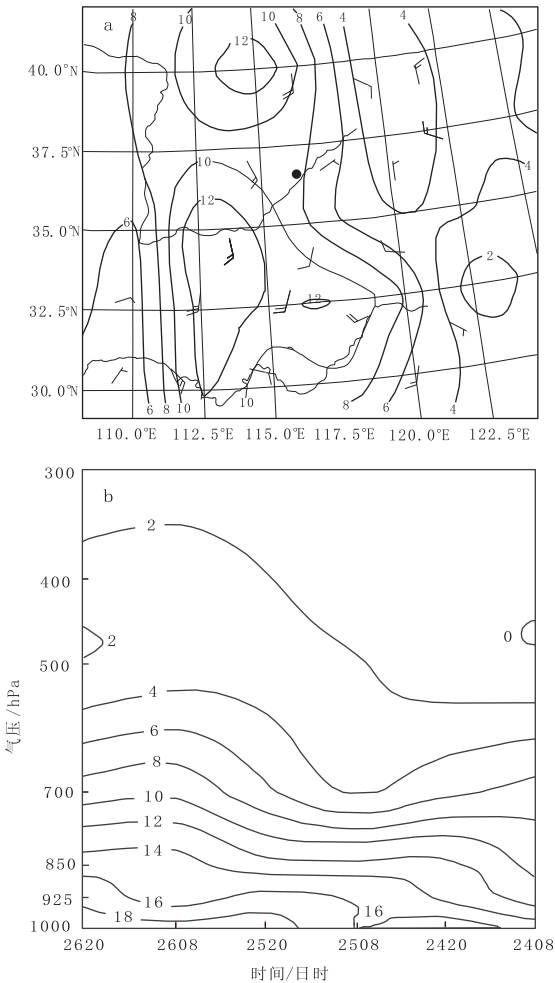


图 3 2013-07-25T20 850 hPa 水汽通量

(a, 单位为  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ) 和 风场及聊城 24—26 日比湿场垂直剖面随时间演变图 (b, 单位为  $\text{g}/\text{kg}$ )

溃,降水结束。高能舌往高层发展到崩溃的时间与降水持续时间一致。从图 4b 可以看出,西南—东北向的高能舌从四川至华北平原延伸,山东存在一个假相当位温为 335 K 的低能区向西延伸出一低能舌,高低能舌与低能舌之间的梯度区与降水落区一致,大暴雨发生在暖湿空气沿着冷空气爬升的能量锋上,也就是鲁西北地区。

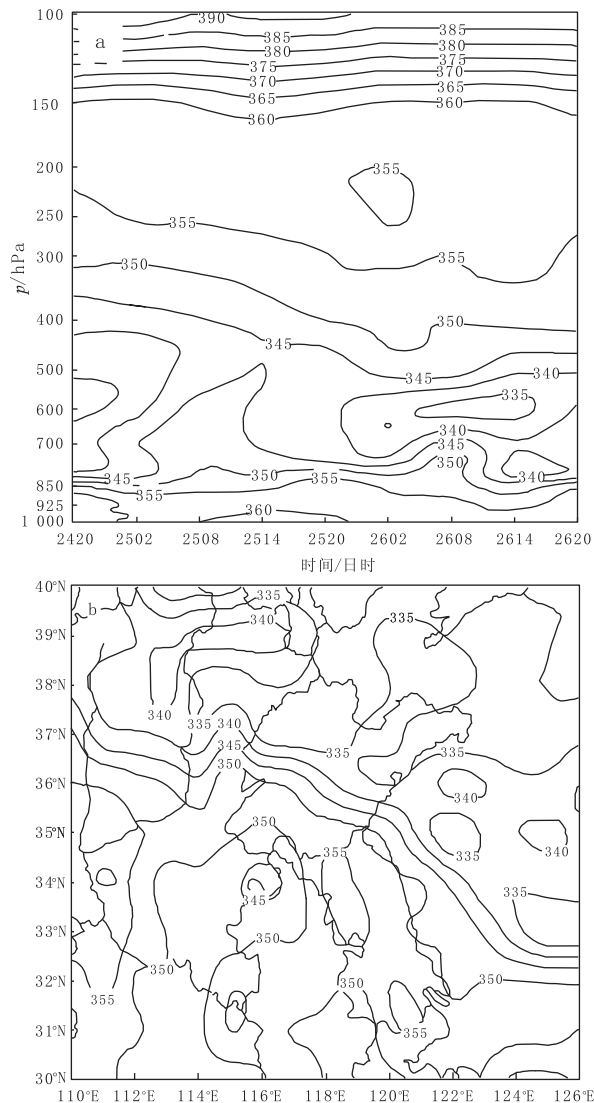


图 4 聊城  $\theta_{se}$  垂直剖面随时间演变图 (a) 及 2013-07-25T20 850 hPa  $\theta_{se}$  分布图 (b) (单位为 K)

#### 4 强对流云团与特大暴雨的关系

本次降水发生在副高边缘, FY-2E 卫星云图显示, 暴雨在副高北侧外围的多个强对流云团相互作用下产生 (图 5)。

26 日 01 时在鲁西北西部有一团状对流云团 A 强烈发展, 云顶亮温 (TBB) 不断降低, 范围迅速扩大; 02 时 A 云团 TBB 低于 220 K, 发展为一近似细胞形的  $\alpha$  中尺度对流系统, 与此同时河北省中南部有一对流云团 B 发展; 03 时 A 云团 TBB 继续降低, B 云团移动较快, 逐渐与 A 云团在鲁西北相接; 04 时 A 云团出现低于 200 K 的冷云顶, 范围继续扩大; 05 时对流系统发展到最盛, A 云团的后侧 TBB 梯度也迅速增大, 云图上表现为成熟的  $M\alpha CS$ , 对流云团覆盖鲁西北西部、鲁西南北部, 聊城市茌平县城出现短时强降水, 在此过程中 B 云团位置稳定少动; 06 时 A 云团冷云顶向南扩展, TBB 最低, 范围最广, 在鲁西北西部出现大范围的强降水, 茌平站 04—05 时、05—06 时分别出现 44.0 mm、67.8 mm 的强降雨, 之后对流云团 A 向西南方向缓慢移动, 其西北侧有多个中- $\beta$  尺度的对流云团与 A 云团合并; 07 时云团 TBB 梯度较大, 聊城城区出现短时强降水; 08 时 A、B 云团位置、云顶亮温变化不大, 聊城市区 06—08 时出现 2 h 的短时强降水; 09 时开始 A 云团云顶亮温升高, 对流减弱, 降水减弱。

从图 5 可以看出, 对流云团发展迅速, 02 时已经出现中- $\alpha$  尺度对流系统, 并在 04—05 时对流发展到最强, TBB 小于 200 K 冷云顶面积迅速增大, 云团后侧的 TBB 梯度也迅速增大, 此时在平处于云团后侧 TBB 梯度最大处, 出现短时强降水。06 时, TBB 小于 200 K 范围达到最大, 位置少动, 使在平强降水继续, 之后云团 A 减弱, 由于后方不断有中- $\beta$  尺度的对流云团合并, A 云团减弱较慢, 并向西南移动, 聊城市区随即开始出现强降水。

以上分析可知, 强降雨发生在中尺度对流系统发展强盛到成熟阶段, 短时降水发生在 TBB 梯度最大处, TBB 小于 200 K 的冷云顶覆盖面积最大时, 雨强达到最大, 这说明该过程对流发展较为旺盛; 降水落区位于强冷云顶的后侧。

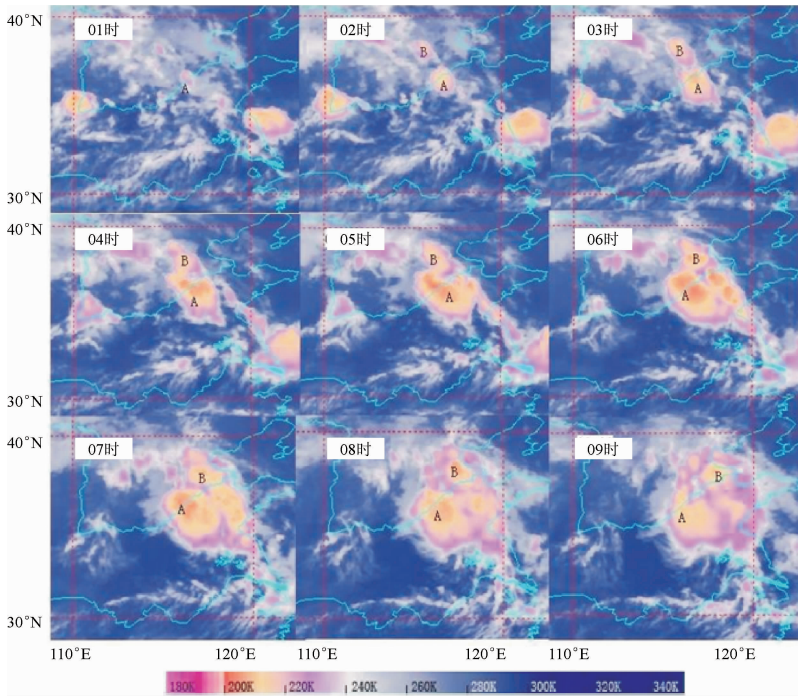


图 5 2013-07-26T01—09FY-2E TBB 逐小时演变 (单位为 K)

## 5 结论

(1) 副高与热带低压之间的偏南暖湿气流、西风槽携带的弱冷空气和稳定少动的暖式切变线是造成此次大暴雨的主要影响系统。偏南气流为大暴雨发生发展提供充足的水汽和不稳定能量；中高层冷空气入侵，触发不稳定能量的释放，从而产生了鲁西北西部大暴雨过程。

(2) 大暴雨发生在水汽通量高值区右侧的密集带偏西位置，高空整层丰富的水汽是维持 3 小时短时强降水的有利条件。

(3) 强降水发生在中尺度对流系统发展强盛到成熟阶段，短时强降水发生在 TBB 梯度最大处，TBB 小于 200 K 的冷云顶覆盖面积最大时，雨强达到最大，降水落区位于强冷云顶的后侧。

(4) 高能舌向高层发展到崩溃的时间与降水持续时间一致，高低能舌与低能舌之间的梯度区与降水落区一致，大暴雨发生在暖湿空气沿着冷空气爬升的能量锋上。

### 参考文献：

[1] 王婧羽, 崔春光, 王晓芳, 等. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨过程的水汽输送特征 [J]. 气象, 2014, 40 (2): 133-145.

[2] 辜旭赞, 于晓晶, 唐永兰, 等. 一次华南—江南

持续暴雨的大尺度水汽场和中尺度特大暴雨模拟诊断分析 [J]. 气象, 2014, 40 (1): 18-27.

[3] 杨学斌, 湛芸, 代玉田. 山东一次区域性暴雨中尺度特征分析 [J]. 气象科技, 2012, 40 (4): 627-634.

[4] 廖晓农, 倪允琪, 何娜, 等. 导致“7.21”特大暴雨过程中水汽异常充沛的天气尺度动力过程分析研究 [J]. 气象学报, 2013, 71 (6): 997-1011.

[5] 冯晋勤, 童以长, 张治洋, 等. 一次突发性强降水过程成因分析 [J]. 气象科技, 2007, 35 (5): 670-675.

[6] 陈永林, 杨引明, 曹晓岗, 等. 上海“0185”特大暴雨的中尺度强对流系统活动特征及其环流背景的分析研究 [J], 应用气象学报, 2007, 18 (1): 29-35.

[7] 江吉喜, 项续康. “96.8”河北特大暴雨成因的中尺度分析 [J]. 应用气象学报, 1998, 9 (3): 304-313.

[8] 杨晓霞, 吴炜, 姜鹏, 等. 山东省三次暖切变线极强降水的对比分析 [J]. 气象, 2013, 39 (12): 1550-1560.

[9] 孙云, 李国翠, 常山英, 等. 石家庄 2012 年夏季一次暴雨成因及可预报性分析 [J]. 干旱气象, 2013, 31 (2): 378-382.