

# 台风“温比亚”造成河南特大暴雨诊断分析

李周<sup>1,2</sup> 谷秀杰<sup>1,2</sup> 王友贺<sup>1,2</sup> 邵宇翔<sup>1,2</sup> 席乐<sup>1,2</sup> 栗晗<sup>1,2</sup>

(1 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003; 2 河南省气象台, 郑州 450003)

**摘要:** 2018年8月17—19日受第18号台风“温比亚”影响, 河南省东部地区出现了历史罕见的极端暴雨天气, 由于台风低压18日凌晨进入河南以后移速明显减慢, 在河南境内滞留长达40 h, 给河南带来了强的风雨天气, 其中有8个国家气象站日降水量突破建站以来历史极值。为了全面认识台风低压长时间滞留及豫东极端暴雨发生发展机制, 利用常规探空和地面观测数据以及NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 从环流背景、大气稳定性、动力、热力、水汽等方面对2018年8月17—19日台风暴雨过程进行了全面细致的诊断分析, 结果表明: 强降水中心位于距低压约250 km处的螺旋云带内, 强烈发展的斜升气流是产生强降水的根本原因; 过程发生前大气已具备强对流发生发展的能量及不稳定条件, 倾斜发展机制长时间维持并伴有充足的水汽供应及强烈辐合上升运动, 且不断有对流单体生成、合并发展为较强雷暴单体, 以及强回波长时间稳定少动等是产生强降水的直接原因。高层引导气流变弱、中低层高压带阻挡, 使得台风低压在河南境内长久徘徊。将商丘站的相关环境参数标准差倍数与历年出现暴雨时的平均值和最大值进行对比发现, 本次过程各环境参数标准差倍数明显高于历年平均值, 且部分达到历史最大值, 具有一定极端性。

**关键词:** 台风, 降水, 大尺度环流, 不稳定层结, 水汽

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.04.021

## Diagnosis and Analysis of the Extraordinary Rainstorm Caused by Typhoon “Rumbia” in Henan Province

Li Zhou<sup>1,2</sup>, Gu Xiujie<sup>1,2</sup>, Wang Youhe<sup>1,2</sup>, Shao Yuxiang<sup>1,2</sup>, Xi Le<sup>1,2</sup>, Li Han<sup>1,2</sup>

(1 CMA-Henan Provincial Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, Zhengzhou 450003; 2 Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

**Abstract:** Under the influence of No. 18 Typhoon “Rumbia”, a rarely-seen extreme rainstorm occurred in the eastern area of Henan Province during 17–19 August 2018. The movement speed of the typhoon low pressure slowed down significantly after entering Henan in the early morning of the 18th and stayed there for 40 hours, which resulted in strong wind and heavy rain in Henan. The daily precipitation of 8 national meteorological stations exceeded the historical extreme value since the establishment of the station. In order to fully understand the long-term retention of typhoon low pressure and the occurrence and development mechanism of extreme rainstorms in eastern Henan, the paper conducts a comprehensive and detailed diagnostic analysis of the typhoon and the rainstorm process during 17–19 August 2018 from the circulation background, atmospheric stability, dynamics, thermodynamics and water vapor by using conventional sounding and ground observation data and NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  reanalysis data. The results show that the center of the heavy precipitation is located in the spiral cloud belt about 250 km away from the low pressure and the strongly developed ramp-up airflow is the fundamental cause of the heavy precipitation. Prior to the extreme rainfall process, the atmosphere already has the energy and instability for the occurrence and development of strong convection. The inclined development mechanism has been maintained for a long time, accompanied by sufficient water vapor supply and strong convergence and upward movement, the continuous generation of convective cells, the merger and development of strong thunderstorm cells, and the stable and infrequent movement of strong echo wavelengths. These are the direct reasons for the occurrence of the heavy precipitation. The weakening of the high-level guided airflow and the blocking of the middle and low-level high pressure belts make the typhoon low pressure linger in Henan Province for a long time. Comparing the standard deviation multiples of relevant environmental parameters with the average and maximum values over the years when heavy rainfall events occurred at Shangqiu Station, it is found that the standard deviation multiples of each environmental parameter in

this process of extreme rainfall are significantly higher than the average value over the years and some of them have reached the historical maximum value, exhibiting certain level of extremity.

**Keywords:** typhoon, precipitation, large-scale circulation, unstable stratification, water vapor

收稿日期: 2022年4月6日; 修回日期: 2022年8月18日  
第一作者: 李周(1982—), Email: 77843749@qq.com  
通信作者: 谷秀杰(1977—), Email: 23436782@qq.com  
资助信息: 河南省气象局预报员专项(KY202108); 中国气象局决策气象服务专项(JCZX2023007)

## 0 引言

我国是世界上少数几个受台风影响最严重的国家之一,平均每年约有7个台风(包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风,下同)在我国登陆,常给人民生命、国家财产和工农业生产等造成重大损失<sup>[1]</sup>。台风灾害一般包括大风、暴雨以及风暴潮。大风和风暴潮一般发生在台风登陆前后,台风残涡在有利条件下还可以带来超过登陆时的特大暴雨,造成严重灾害。如7503号台风“Nina”其低压深入内陆维持不消,造成著名的“75·8”河南特大洪水,夺去数万人的生命<sup>[2]</sup>。因此对登陆热带气旋的研究一直是气象学者比较关注的一个热点问题。陈联寿等<sup>[3]</sup>、曾静<sup>[4]</sup>从能量转换、水汽输送、中纬度斜压锋区和环境风场的变化等方面研究了登陆后热带气旋的维持机制,结果表明,潜热释放和斜压位能释放是近海或登陆热带气旋加强或维持的两种主要能源。对台风暴雨的研究发现<sup>[5-6]</sup>,深入内陆后的台风,即使强度已经减弱,但其外围经常与北方冷空气相结合,并可能产生极强的降水。关于深入内地、长生命史的台风暴雨的研究,任丽等<sup>[7]</sup>对台风与中纬度系统相互作用所致暴雨进行了深入分析,当台风低压与西风带低涡逐渐接近过程中,台风东北侧的东南急流把海上的热量和水汽向低涡环流输送,在倒槽切变处辐合抬升,产生暴雨。大暴雨区位于倾斜锋区附近,对流稳定,中层存在湿对称不稳定,有利于加强降水强度。9608号台风自福建登陆后继续北上<sup>[8]</sup>,给河北、山西带来了几十年不遇的特大暴雨,其成因主要由于,台风低压与副高之间的强气压梯度形成的偏南风急流,将低纬度地区高温高湿的不稳定大气源源不断地输送到华北地区;以及华北北部近地面层弱冷空气扩散南下与南来不稳定大气的相互作用。何丽华等<sup>[9]</sup>对影响河北两次相似路径台风的湿位涡对比发现,对流层中低层湿位涡正压项(MPV1) $<0$ 、斜压项(MPV2) $>0$ 区域对应暴雨区,对此类暴雨预报具有较好的指示意义;对流层高层高值湿位涡下传,有利于位势不稳定能量的储存和释放,使降水增幅。吴蓁等<sup>[10]</sup>对台风外围偏东气流中的暴雨及其等熵位涡进行分析发现,大值位涡带与降水区有较好的对应关系,正位涡异常中心的出现对降水的发生发展具有指示意义。

由于台风是大气环流中不断移动的系统,不同的台风,其大气环流背景也各不相同,同一个台风的同一时刻,其周围系统也完全不同。同时,台风带来的风雨天气,也受多种因素的影响,如台风低压自身结构、环境场特征、下垫面湿热程度等。因此每一个登

陆台风都有其与众不同的特点,尤其长久维持并且产生强风雨的台风更值得深入研究其机理与成因。2018年第18号台风“温比亚”在河南境内滞留长达40 h,给河南省带来的风雨影响超过50 h,台风低压在河南境内长时间滞留并造成强降水实属罕见,非常有必要进行总结分析,探寻强降水发生发展的物理机制以及台风低压在河南境内长久滞留的可能原因。本文利用6 h间隔 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的NCEP全球再分析资料和高空、地面、逐小时降水等实时观测数据及台风路径等资料,通过相关物理量计算,对此次强降水天气成因进行诊断分析,提炼预报着眼点,以便提高对台风暴雨天气的预报、预警能力,其研究结果将为今后的实际预报工作提供一定技术支撑。

## 1 过程概述

2018年8月17日08时(北京时,下同)起受台风“温比亚”外围云系影响,豫东南出现阵雨、雷阵雨天气,20时以后,随着台风低压继续西行,河南降水范围由东南逐渐向西、向北扩展;18日凌晨当台风低压进入河南固始,豫东降水明显增强,并稳定维持,直到19日05时台风低压缓慢移出汝南并加速向东北方向移动,豫东强降水才明显减弱。当台风低压进入河南境内后,强降水落区位于台风低压东北象限距离低压中心约250 km处的螺旋云带里。2018年8月17日08时—8月19日20时累计降水量图显示(图1a),江苏西南部、安徽大部、河南东部和山东大部均出现100 mm以上的强降水,其中河南东部、安徽北部和山东南部超过250 mm。河南省内京广线沿线及以东地区为暴雨,东部、东北部为大暴雨,商丘地区特大暴雨;区域站雨量站超100 mm的有685站,其中超500 mm的有3站,分别为:柘城远襄集为553.1 mm、睢县长岗为543.2 mm、商丘睢阳区勒马为533.8 mm。1 h最大雨强出现在沙集站,为111.9 mm(18日14—15时);3 h最大雨强出现在金世纪广场,为198.5 mm(18日08—11时);6 h最大雨强出现在远襄集,为289.4 mm(18日11—17时)。强降水的同时部分地区伴有8级以上雷暴大风及气旋大风(图1b)。

本次台风暴雨过程仅次于“75·8”暴雨。据统计是河南省1980年以来首个单站日雨量超过300 mm的台风暴雨过程,国家站日雨量大于50 mm的有46站、大于100 mm的有25站,均位列1980年以来河南台风暴雨过程第三名。过程期间有8个国家气象站日雨量超历史极值,其中夏邑站超历史极值2倍多,商丘站日雨量最大为363.6 mm,其历史极值雨量为193.3 mm。

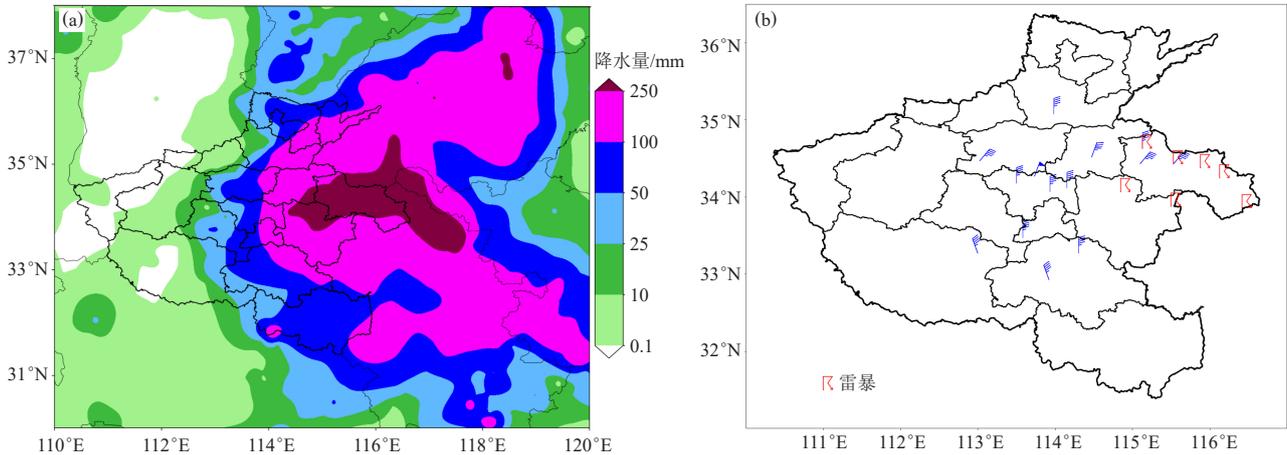


图1 2018年8月17日08时—19日20时累计降水量 (a) 和18日国家站大风及雷暴分布图 (b)

Fig. 1 Precipitation from 08:00 BT of 17 to 08:00 BT of 19 August 2018 (a); distribution of gale and thunderstorm at national stations of 18 August 2018 (b)

## 2 环流背景

由500 hPa副热带高压（以下简称副高）及台风低压演变（图2a）可知，17日20时，副高脊线位于37°N、西伸点达116°E附近，副高主体控制山东半岛到华北南部。随着台风低压逐渐西进，副高快速东退，至18日08时，副高主体已东退到126°E以东，此时台风低压进入河南东南部，副高对台风低压基本无引导作用，台风低压在自身内力作用下，缓慢向西北方向移动。至19日08时，尽管副高主体仍位于120°E以东地区，但31°N附近西脊点明显西扩，这一改变有利台风低压转向东北方。另外18日14时，200 hPa在103°N附近，33°N以北地区有浅槽逐渐发展，而后逐渐加强并缓慢东移。

中低层高压带环绕在台风低压外围除南侧外的其他3个方向，海平面气压场与中低层环流相似，18日14时，1010 hPa高压坝围绕在低压外围（图2b），对低压移动起到了一定的阻挡作用；18日20时，1010 hPa高压带（图2c）缩减成块状位于华北北部，随着台风低压北侧高压逐渐减弱以及高空风场的转向与加强<sup>[11]</sup>，台风低压由缓慢西北行转为东北行。

上述分析表明，台风登陆后副高快速东退，引导气流明显减弱，同时在地面场上低压北侧也受到高压坝的阻挡，因此台风低压缓慢西北行或停滞。直至19日02时，200 hPa低槽东移（图略），使槽前向东北方向辐散增强，引导台风低压转向并加速向东北方向移动。由于台风低压在河南境内长久滞留，台风外围东南急流将东海的水汽源源不断向内陆输送，河南东部位于台风倒槽附近强水汽辐合及垂直运动区内，因此产生了较大的累计降水量，且多站日雨量超历史极值。

## 3 强降水诊断分析

### 3.1 动力场特征

过暴雨中心（34.4°N）分别作涡度、散度、垂直速度剖面图。18日14时涡度垂直剖面（图3a）显示，正涡度柱位于115°E附近， $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 强中心发展到800 hPa；此时散度（图3c）的强辐合中心位于115°E附近900 hPa以下，中心强度达 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，700 hPa以上为辐散区，辐散层次较深厚，但强度稍弱，对应200 hPa辐散中心值为 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，说明低层台风低压处于稳定发展阶段，低层入流大于高层出流；垂直速度剖面（图3e）显示，大于 $-24 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升运动中心由115°E附近的800 hPa高度倾斜上升至116°E附近的500~600 hPa，从上述物理量中心强度及垂直分布可知，此时系统正处在强烈发展阶段，对应强降水持续期，同时也是最大小时雨强出现时段。

18日20时，涡度剖面（图3b）显示，强涡旋区依然位于115°E附近， $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 正涡度中心明显增强，并伸展至700 hPa；此时散度剖面（图3d）显示，高层辐散明显增强，中心最大值增加到 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 位于400 hPa附近，强度略小于低层辐合；垂直速度剖面（图3f）表明，由14时的倾斜发展为垂直，此时中心强度为 $-20 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ，位于700~600 hPa，中心强度及发展高度均有所减小。20时与14时动力场对比分析表明，14时大气正处于强烈发展阶段，至20时系统基本发展到顶峰，14—20时，随着系统的强烈发展同时对强降水的产生。20时以后系统逐渐衰减，强降水也随之减弱。

### 3.2 水汽条件分析

某地区的降水强度除了与垂直运动有关外，还

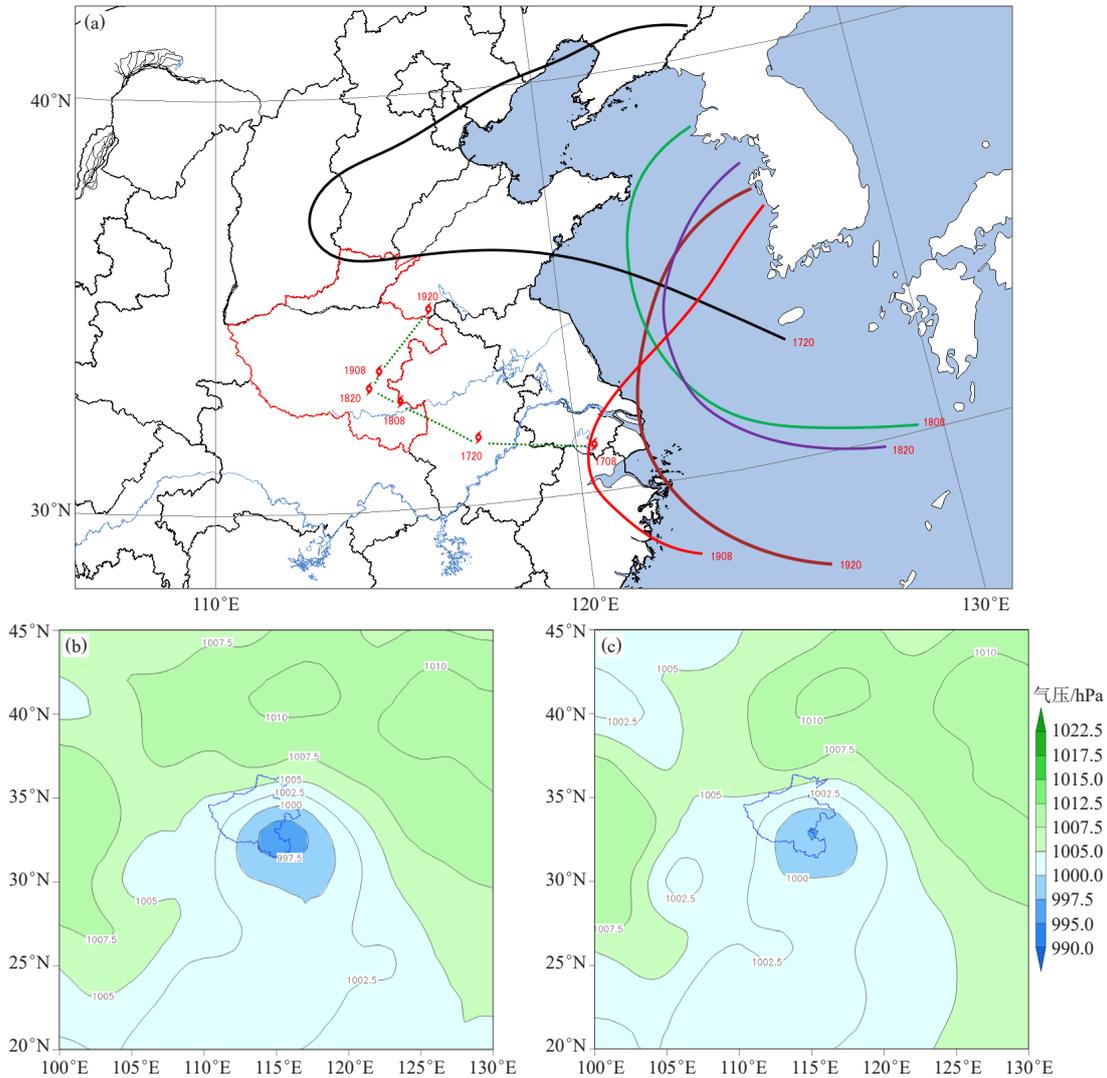


图2 2018年8月17日20时—8月19日20时588 dagpm线动态图 (a), 及8月18日14时 (b) 和20时 (c) 海平面气压场  
 Fig. 2 Variation of 588 dagpm line from 20:00 BT of 17 to 20:00 BT of 19 August 2018 (a), sea level pressure field at 14:00 BT (b) and 20:00 BT (c) of 18 August 2018

决定于水汽的输送与辐合，同时充足的水汽条件还是台风低压得以维持的“燃料”。豫东强降水的产生与充足的水汽供应是密不可分的。从18日14时强降水发生时的850 hPa水汽通量及水汽通量散度叠加图(图4a)可知，水汽在台风低压的右后方由东海源源不断向内陆输入，在台风低压周围除南侧外其他三面均有水汽辐合，辐合中心位于商丘、周口两地区西部，中心强度为 $3 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，至18日20时(图4b)，较强的水汽输送依然持续，随着低压缓慢东北移，强辐合中心集中在低压移动的右前方，即强降水集中的豫东地区，同时辐合中心增强到 $4 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，源源不断的水汽供应与辐合以及强烈的上升运动，为本次极端暴雨天气提供了

充足的水汽及动力条件。

### 3.3 稳定度分析

环境场的温、湿分布对台风降水强度及分布也有明显影响<sup>[2]</sup>，不稳定的大气层结是对流天气发生、发展的必要条件。从豫东强降水发生前的K指数及假相当位温演变情况可知，17日14时K指数(图5a)显示，从安徽到河南东部均为大于 $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温、高湿区，到18日02时(图5b)，河南东部K指数增大到 $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，能量进一步蓄积，夜间K指数不降反增只有两种可能，一是低层湿度增加，二是高空有冷空气入侵。随着台风低压逐渐进入河南东南部，东南急流带来的水汽使低层增湿明显，中高纬低槽继续东移，其后冷空气不断扩散南下与台风外围的暖湿空气结合，增强了大气的

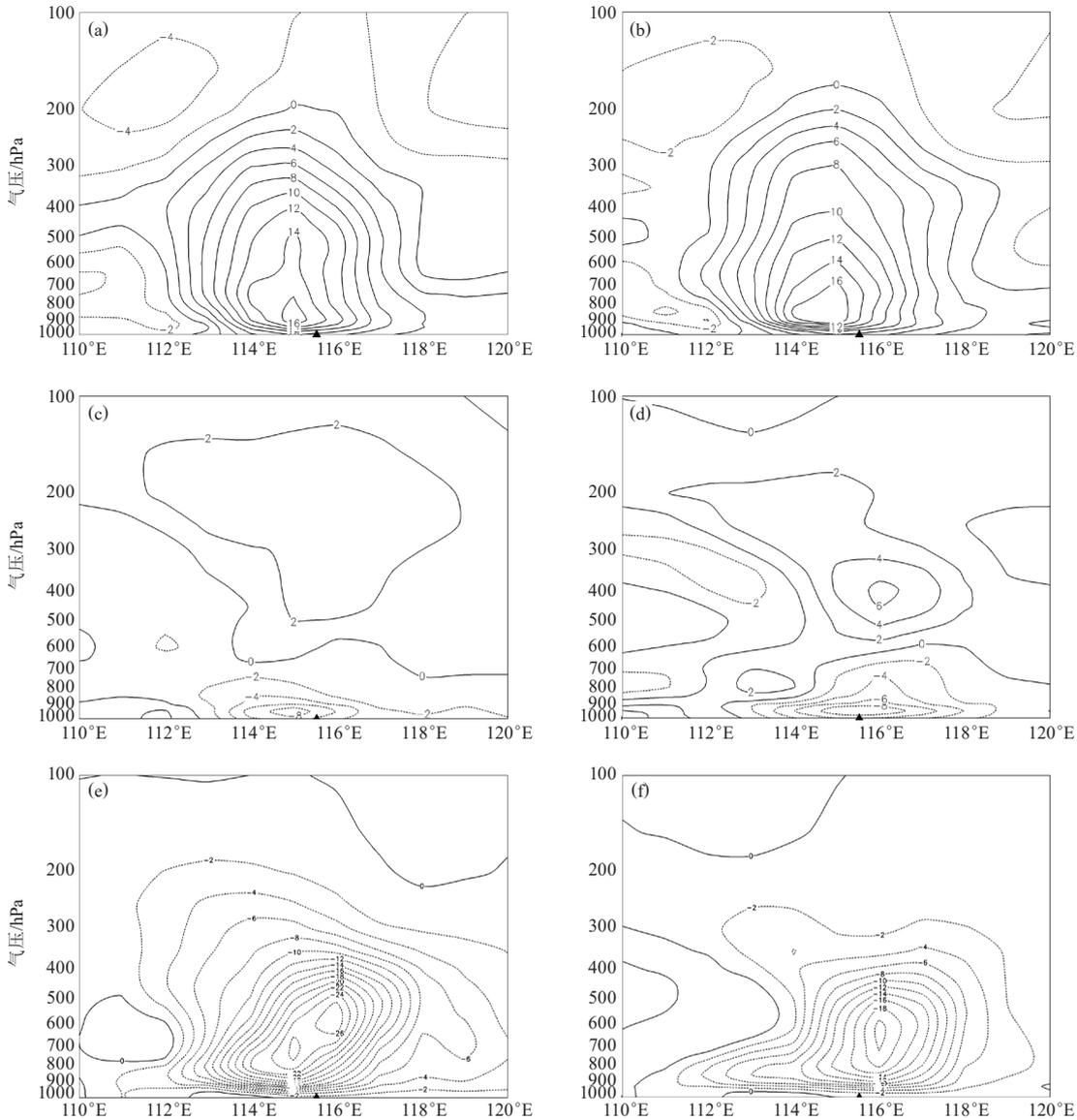


图3 2018年8月18日14时(a、c、e)和20时(b、d、f)沿34.4°N垂直剖面图

(a, b) 涡度 (单位:  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ); (c, d) 散度 (单位:  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ); (e, f) 垂直速度 (单位:  $\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (黑色三角表示暴雨中心)

Fig. 3 Vertical sections along 34.4°N at 14:00 BT (a, c, e) and 20:00 BT (b, d, f) of 18 August 2018 (a, b) Vorticity (unit:  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ); (c, d) Divergence (unit:  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ); (e, f) Vertical velocity (unit:  $\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Black triangles indicate the centers of the rainstorm.)

不稳定层结,同时也增加了降水强度。

从假相当位温演变可知,在 $116^{\circ}\text{E}-118^{\circ}\text{E}$ ,17日14时(图5c),800 hPa以下假相当位温随高度减小,为不稳定层结;至18日02时(图5d),低层高能舌向上延伸到600~500 hPa,在其东侧 $119^{\circ}\text{E}$ 附近有一相对干冷的345 K的低值中心,随着台风低压外围的偏东风,该干冷空气向西不断侵入到暖湿气柱内。综上,在台风低压影响河南之前,豫东地区已经具备对流发生发展的能量及不稳定条件,18日凌晨,低压进入河南境内以后,低层强烈的辐合抬升触发豫东地区不稳定能

量释放,从而产生持续的强降水天气。

### 3.4 中尺度特征

#### 3.4.1 卫星云图分析

从18日04—19时,强降水期间云图及云顶亮温(TBB)演变(图6)可知,04—07时豫东地区对流云团逐渐发展增强并向东北方向移出商丘地区,08—13时随着前一对流云团逐渐移出,强降水略有减弱,但后部仍不断有新的对流单体生成并影响豫东地区,14时以后逐渐发展为组织结构较完整的强对流单体,与前面的动力场诊断相一致,同样表明该时段系统处于强

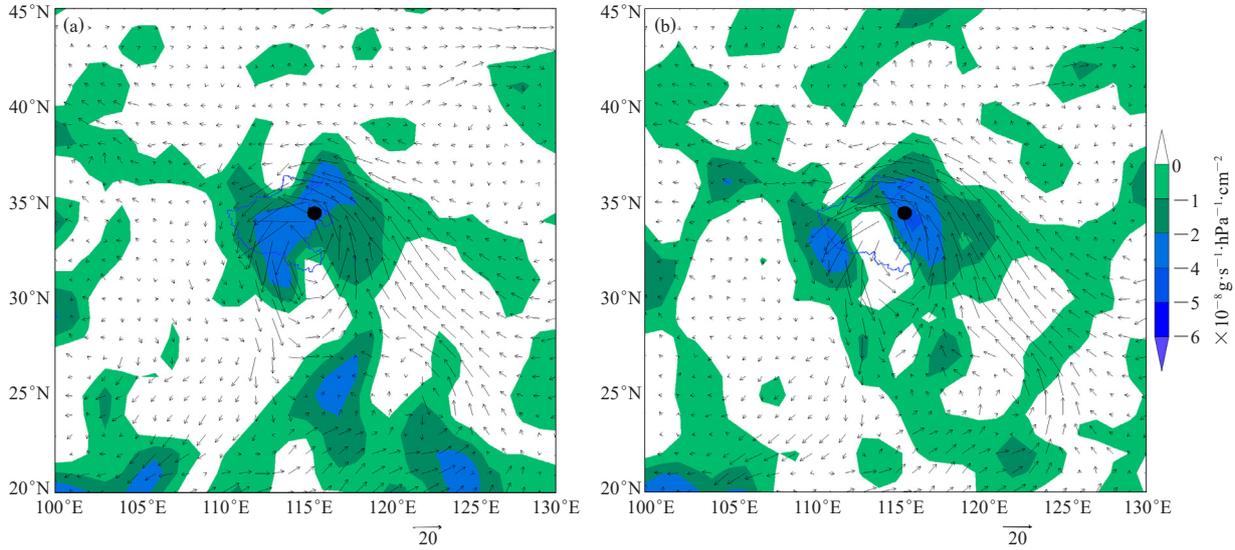


图4 2018年8月18日14时 (a) 和20时 (b) 850 hPa水汽通量 (矢量, 单位:  $\times 10^{-3} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) 和水汽通量散度 (色斑) 叠加图 (黑色圆表示暴雨中心)

Fig. 4 The 850 hPa water vapor flux (vectors, unit:  $\times 10^{-3} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) and divergence of water vapor flux (colored) at 14:00 BT (a) and 20:00 BT (b) of 18 August 2018 (Black circles indicate the centers of the rainstorm.)

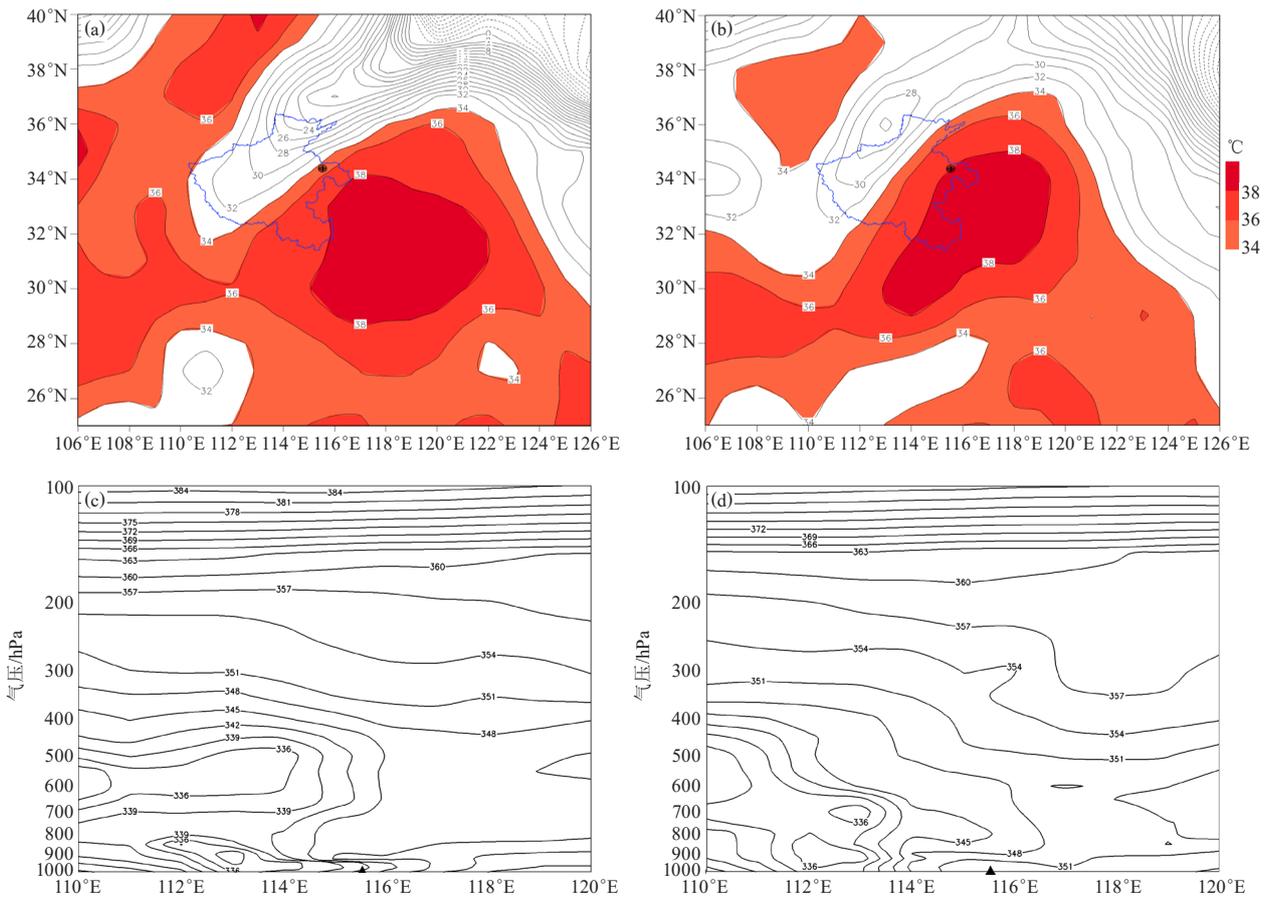


图5 2018年8月17日14时 (a, c) 和8月18日02时 (b, d) 的K指数 (a, b) 和沿34.4°N假相当位温剖面图 (c, d, 单位: K) (黑色圆或三角表示暴雨中心)

Fig. 5 K index (a, b) and vertical sections of pseudo-equivalent potential temperature along 34.4°N (c, d, unit: K) at 14:00 BT of 17 August 2018 (a, c) and 02:00 BT of 18 August 2018 (b, d) (Black circles or triangles indicate the centers of the rainstorm.)



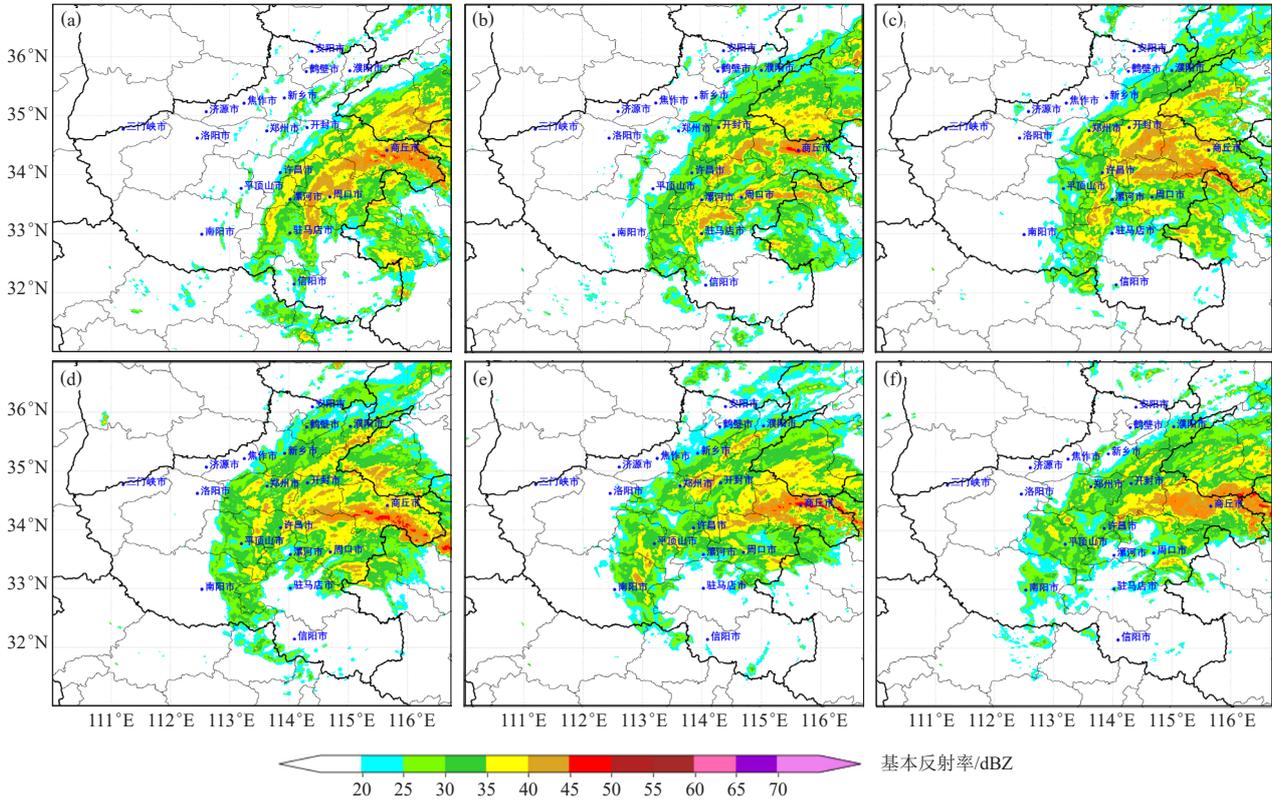


图7 2018年8月18日08时(a)、10时(b)、12时(c)、14时(d)、16时(e)和18时(f)雷达拼图  
Fig. 7 Radar composite image at 08:00 BT (a), 10:00 BT (b), 12:00 BT (c), 14:00 BT (d), 16:00 BT (e), and 18:00 BT (f) of 18 August 2018

带状强回波随低压中心向东北方向缓慢移动，强回波长时间稳定少动是产生强降水的直接原因。

### 3.5 物理量极端性分析

下面以商丘站为代表讨论本次过程极端性的可能原因。挑选1980年以来商丘站日降水量大于50 mm的日期，针对3 km风切变(shr3)、700 hPa偏南风分量(vwnd\_700)、700 hPa垂直速度(w\_700)、整层可降水量(wvc)、850 hPa比湿(shum\_850)、K指数(ki)、200 hPa散度(div\_200)、850 hPa涡度(vort\_850)等环境参数，计算所有日期的标准差倍数平均值和最大(小)值，并与本次过程进行对比(图8)。如图可知，

本次过程200 hPa散度和850 hPa涡度的标准差倍数均超过历史最大值，700 hPa垂直速度小于历史最小值，且远小于平均值。其他参数标准差倍数略低于最大值但明显高于平均值，说明本次过程具有一定极端性。另外由于台风低压的长久滞留以及较高的降水效率便产生了较大的累计降水量。

### 4 结论

1) 分析表明，台风低压进入河南以后强度维持、移速缓慢，主要由于大型流场对台风低压的引导变弱、中低层受高压带阻挡，使得台风低压在河南境内长久徘徊停滞不前。当200 hPa西南风速明显加大时，

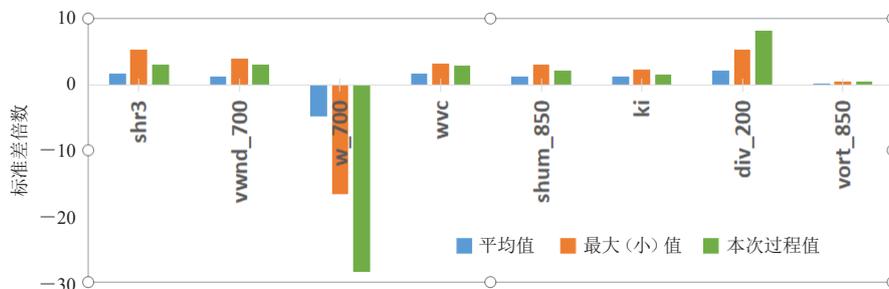


图8 1980年以来商丘站50 mm以上降水环境参数标准差倍数  
Fig. 8 Standard deviation multiple of environmental parameters with precipitation over 50 mm at Shangqiu Station since 1980

低压随之快速东北移动。

2) 在台风低压影响河南前, 豫东地区已具备强对流发生发展的能量及不稳定条件, K指数达 $36^{\circ}\text{C}$ 以上并且入夜以后增强到 $38^{\circ}\text{C}$ 以上, 说明前期大气中聚集了大量的不稳定能量, 当18日凌晨低压进入豫东南以后, 低层强烈的辐合抬升触发豫东地区不稳定能量的释放, 从而产生持续的强降水天气。

3) 动力及水汽场分析表明, 强降水区大气具有强烈的倾斜发展机制, 由于低压停滞不前, 强烈倾斜发展机制维持6 h以上, 并且伴有充足的水汽供应及强烈辐合, 使得强降水长时间维持, 累计雨量达到或超过历史极值。

4) 云图、雷达等分析表明, 在低压外围250 km附近的螺旋云带中不断有对流单体生成、合并, 逐渐发展成较强雷暴单体; 强降水区TBB始终低于230 K, 并且中心最低值达215 K, 低于一般强烈发展的对流单体220 K的最低温度, 说明对流的非常旺盛; 雷达回波演变可知, 大于45 dBZ的强回波成带状分布在低压中心的东北象限的强降水区, 强回波长时间稳定少动是产生强降水的直接原因。

5) 将商丘站的相关环境参数标准差倍数与历年出现暴雨时的平均值和最大值进行对比发现, 本次过程各环境参数标准差倍数明显高于历年平均值, 且部分达到历史最大值, 具有一定极端性。

#### 参考文献

- [1] 许映龙, 张玲, 高栓柱. 我国台风预报业务的现状及思考. 气象, 2010, 36(7): 43-46.
- [2] 程正权, 陈联寿, 李英. 登陆台风降水的大尺度环流诊断分析. 气象学报, 2009, 67(5): 840-850.
- [3] 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 登陆热带气旋研究的进展. 气象学报, 2004, 62(5): 541-548.
- [4] 曾静. 热带气旋登陆衰减的数值模拟//第十一届全国热带气旋科学讨论会摘要文集. 北京: 中国气象科学研究院, 1999.
- [5] 刘秋锋. 强台风罗莎登陆浙闽北方出现罕见连阴雨(雪). 气象, 2008, 34(1): 124-125.
- [6] 王龙, 周伟灿, 倪东鸿, 等. 2008年台风“凤凰”的移动过程及对江苏降水的影响. 气象与减灾研究, 2009, 32(4): 25-31.
- [7] 任丽, 赵玲, 孙磊, 等. 台风“狮子山”与中纬度系统相互作用所致暴雨成因分析. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 44-51.
- [8] 江吉喜, 项续康. “96·8”河北特大暴雨成因初探. 气象, 1997, 23(7): 19-23.
- [9] 何丽华, 孔凡超, 李江波, 等. 影响河北两次相似路径台风的湿位涡对比分析. 气象, 2007, 33(4): 65-70.
- [10] 吴蓁, 范学峰, 郑世林, 等. 台风外围偏东气流中的暴雨及其等湿位涡特征. 高原气象, 2008, 27(3): 584-595.
- [11] 谷秀杰, 张霞, 苏艳华, 等. 台风“温比亚”停滞少动及转向机理探究. 热带气象学报, 2019, 35(6): 780-788.

(上接129页)

空用户的气象产品使用消费量, 可以分为常规产品和定制产品两种类型分别估算。而对于公益性服务的使用, 在现有运行基础之上发展商业化航空气象服务很有必要。在行业管理上通过市场经济评估分析基础上理顺航空气象公共事业和商业化私人气象服务的关系, 明确二者之间的边界, 提供互补性指导原则或制度供给, 既能确保商业化气象服务实体能有稳定的基本气象数据源, 又使得航空气象公共事业能够得到合理的成本补偿。逐步建立和发展面向市场的商业化服务实体, 允许社会实体部门、行业组织和个人参与商业性航空气象服务, 在市场机制下鼓励其在竞争中优胜劣汰, 促进航空气象科技进步进而提高气象服务质量的可持续发展。

和欧美等发达国家相比, 我国的航空气象服务商业化市场尚待去深度开发, 针对不同的客户群体潜在服务内容很多, 需要加强航空气象服务产品和科技产品的应用研究, 使商业化服务向深度和专业的方向发展, 但需要尽量避免产品服务同质化泛滥导致恶性竞

争的不良情形发生, 通过市场行为增强航空气象服务的个性化、多元化和专业化。发展航空气象服务商业化需要大量掌握航空知识的经营管理人才、技术研发人才和市场营销人才, 加快商业化航空气象服务队伍建设是发展气象服务商业化的根本保证。对于航空气象管理而言, 通过各种途径尤其是在商业化方面加强对外交流与合作, 学习和借鉴国外的气象服务理念、先进技术和丰富的经营管理经验。

#### 参考文献

- [1] Anaman K A, Quaye R, Owusubrown B, et al. Benefits of aviation weather services: A review of international literature. Research in World Economy, 2017, 8(1): 45-58.
- [2] 韩佳芮, 吕丽莉, 张润嘉, 等. WMO气象服务效益评估工作的借鉴与启示. 气象科技进展, 2017, 7(1): 242-245.
- [3] 张强. 机场天气预报的经济效益评估分析. 民航学报, 2022, 6(4): 71-76.
- [4] 朱善利. 微观经济学(第二版). 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [5] 杨春瑰. 气象信息产品的经济学分析. 闽江学刊, 2009, 1(3): 81-85, 98.
- [6] 程乐. 俱乐部产品的经济学分析. 兰州: 兰州财经大学, 2015.
- [7] 孙丽梅. 俱乐部理论: 布坎南模型与蒂布特模型比较分析. 战略决策研究, 2005, 4(4): 78-81.