

Sudden Weather Conditions and Meteorological Environment Monitoring in Chengde City, China

Siyu Chen¹ Yi Zhou² Jie Yang¹

1. Chengde Meteorological Bureau, Chengde, Hebei, 067000, China

2. Chengde City Ecology and Environment Bureau, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

By using conventional observation data, automatic weather station precipitation data, satellite cloud map data, radar data and NCEP reanalysis data, this paper analyzed the rainstorm process influenced by typhoon in Chengde from July 23 to 24, 2018. The results showed that the process of rainstorm weather was caused by the typhoon "Abe" northward, and the rainfall distribution in this process had a spiral feature. The rainstorm was mainly formed by the convective cloud in the inner layer of the typhoon spiral cloud belt. The water vapour mainly came from the southeast jet stream, the abundant water vapor transportation played a role in organizing and promoting the long-term maintenance of the typhoon low-pressure cyclonic circulation and the formation and development of rainstorm; The falling area of rainstorm was closely related to the typhoon moving path, the rainstorm area was concentrated in the large-scale area of the eastward airflow on the left front side of the typhoon moving path; During the precipitation process, the cold air main body carried by the westerly trough didn't affect the precipitation, but the small, weak cold air that was split by the westerly trough was caught by the typhoon and played a role in maintaining the intensity of precipitation.

Keywords

typhoon; rainstorm; rainfall distribution; cause analysis

中国承德市突发天气状况和气象环境监测

陈思雨¹ 周易² 杨杰¹

1. 承德市气象局, 中国·河北承德 067000

2. 承德市生态环境局, 中国·河北承德 067000

摘要

利用常规观测资料、自动气象站资料、卫星云图、雷达资料和NCEP再分析资料等对中国承德市2018年7月23—24日一次台风暴雨过程进行分析。结果表明：此次暴雨是由台风“安比”北上所造成，降雨分布具有螺旋特征。暴雨主要由台风螺旋云带内层对流云团产生，水汽主要来源于东南急流，充沛的水汽输送对台风低压环流长时间维持以及暴雨的形成和发展起到了组织和促进作用；降水过程中，西风槽携带的冷空气主体没有对此次降水产生影响，但其分裂出的小股弱冷空气被台风卷入并对降水强度起到了维持作用。

关键词

台风；暴雨；降水分布；成因分析

1 引言

台风是气象灾害中破坏力最大的天气系统之一，台风登陆后一般都会带来暴雨或大暴雨天气，台风暴雨虽然可以缓解内陆旱情，但更多时候却会造成洪涝、山体滑坡及引发泥石流等灾害，给人民生命财产造成重大损失，台风暴雨预报也一直是天气预报业务中的难点，因此深入开展台风降水研究，对提高台风暴雨预报水平、预防和减轻台风暴雨灾害具有重要现实意义。

为了提高台风暴雨预报能力，研究人员及业务人员对

台风暴雨进行了深入研究，得出了一些成果。华北地区由台风引起的暴雨平均约每年1次，且主要出现在夏季（尤以7、8月最多）。尽管每年影响北方的热带气旋次数不多，但热带气旋仍是造成中国北方暴雨的重要天气系统，往往会给北方带来强降水。历史上著名的华北特大暴雨过程“75.8”（7503）、“82.8”（8209）、“96.8”（9608）均是由登陆台风北上所造成。近年来，关于台风暴雨的研究越来越多，研究人员采取分析影响台风暴雨预报的关键系统和相似路径台风暴雨对比分析的方法，对台风暴雨进行了深入分析，得出了一些有指导意义的结论。郑婧等指出台风暴雨的预报，关键在于对副高、500 hPa冷槽、台风等外强迫系统强弱的预估，一方面需关注上下层系统作用对比的强弱，找

【作者简介】陈思雨（1993-），中国辽宁朝阳人，本科，助理工程师，从事气象服务与应用气象研究。

出占主导地位的天气系统,另一方面应注意低层扰动环境的改变。

何丽华等通过对比影响河北两次相似路径台风“温妮”和“麦莎”,指出台风变性过程有无气旋强烈发展过程,是导致降水差异较大的重要原因。余贞寿等通过对相似路径热带气旋“海棠”和“碧利斯”进行对比分析,指出“海棠”降水是由其环流本身及倒槽引起,沿海强东南风急流对沿海出现特大暴雨起重要作用;“碧利斯”南部长时间维持偏南风急流为其提供水汽和能量,深入内陆后又有槽后冷空气渗透,使得其降水强度大、持续时间长,且强降水区主要分布在路径南侧。陈云辉等分析了相似路径台风“杰拉华”和“海棠”降水差异成因,发现台风登陆前及登陆时相对副热带高压位置是否孤立等环流背景决定了台风维持时间及降水强度。林小红等对2013年相似路径台风“苏力”与“潭美”的大暴雨落区差异进行分析,指出台风“苏力”结构发生南倾是造成台风南侧大暴雨的主要原因;台风“潭美”位于南亚高压东环西南侧,受偏东气流的分流辐散影响,辐合中心随高度北倾和高层弱冷空气侵入台风环流北侧,是促进台风北侧暴雨增强的重要原因。陈红专等对比分析了2013年影响湖南的两次相似路径台风暴雨,发现“尤特”台风暴雨直接由台风环流引起,具有锋前暖区降水的特征;“天兔”台风暴雨由台风低压倒槽与西风带天气系统相互作用引起,其降水属于典型的锋面降水。这些成果虽然无法完全解决台风暴雨预报这一难题,也不足以让人们完全避免台风暴雨的灾害性影响,但能够进一步提高对台风暴雨发生发展的认识。

2018年7月23—24日中国承德出现了一次台风暴雨,此次暴雨是由台风“安比”登陆后北上并以热带风暴级强度直接影响承德而产生,这样的暴雨过程十分罕见,有必要对此次台风暴雨成因进行深入分析。利用常规观测资料、自动气象站资料、卫星云图、雷达资料和NECP(1°×1°)逐6h再分析资料等对暴雨成因、暴雨落区进行诊断分析,以期找出关键因素为今后预报提供参考。

2 台风概况及降水分布

2.1 台风概况

2018年第10号台风“安比”于7月18日20时在西北太平洋洋面上生成,后持续向西北方向移动,于7月24日转向东北方向移动。

7月22日12时30分前后,台风“安比”的中心在上海市崇明岛沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有10级(28 m/s),中心最低气压为982 hPa。台风“安比”登陆后持续北上,于7月23日夜至24日白天给京津冀地区带来了强降雨天气,其中中国河北东部、北京东部和天津大部分地区出现暴雨或大暴雨天气。7月25日02时台风“安比”在内蒙古东南部变性为温带气旋,中央气象台02时对其停止编号。

台风“安比”7月24日03时左右进入中国河北省沧州市境内,先后经过天津、唐山、秦皇岛和承德,于24日18时左右经承德移出河北省,在津冀境内历时约13 h,台风如此北上并以热带风暴级强度影响京津冀地区实属罕见。

2.2 降水分布

受台风“安比”影响,23日夜至24日白天承德市出现了大范围强降雨天气。截至7月24日20时全市共有146个乡镇降水量大于25 mm,其中100个大于50 mm,28个大于100 mm,最大降水出现在宽城县汤道河镇,为181 mm。

如图1所示,从降水空间分布来看,降水范围广、区域性明显、呈螺旋状分布,具有明显梯度特征。全市大部分地区降水大于25 mm,100 mm以上降水主要集中在承德兴隆、宽城,承德市和平泉的部分乡镇也出现了大于100 mm的降水。从逐小时降水来看,降水强度大、持续时间长。降水于24日00时左右开始发生,04时以后强度逐渐加强,降水区域逐渐向东北方向扩展,16时前后表现最强,小时雨强达到34.7 mm/h,之后逐渐减弱停止。降水主要集中在24日04—19时,整个降水生命史约16 h,这期间降水可分为降水初发期,发展加强期,较强降水维持期和减弱消散期四个阶段。

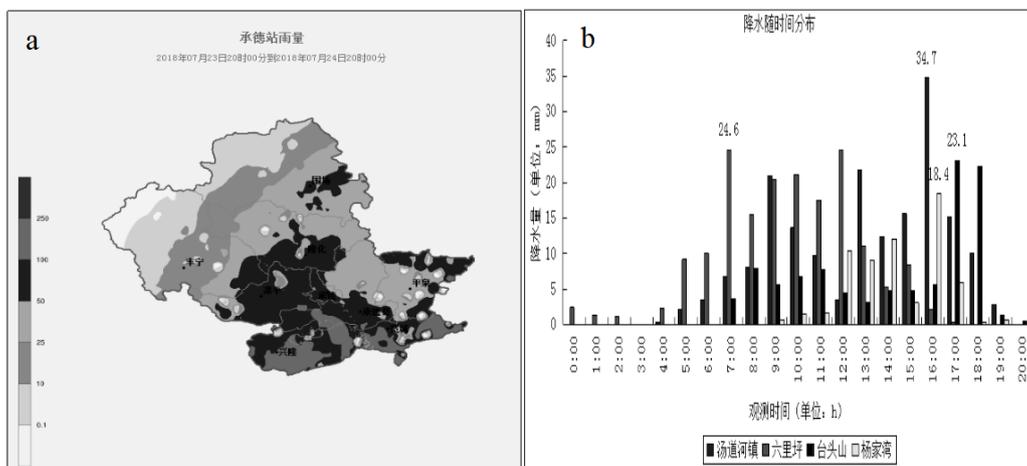


图1 23日20时—24日20时承德市降水分布图(a)和区域站逐小时降水分布图(b)(单位:mm)

3 环流形势

台风“安比”(1810)在西北太平洋洋面上生成,其发生在西太平洋副热带高压西伸加强的背景下。如图2所示,23日20时,200 hPa急流轴整体呈西南—东北走向,承德位于高空急流入口区右侧,其伴随的强辐散有利于加强上升运动。500 hPa上,高空槽位于河套西部,承德位于槽前,有正涡度平流输送至承德,有利于上升运动发展。副高呈块状,588线西脊点位于 42°N , 119°E 附近,北界则持续稳定在 40°N 以北。此时,台风位于山东济南附近,700 hPa、850 hPa和925 hPa上具有明显的涡旋特征,这说明台风系统深厚,涡旋右侧的低空急流、超低空急流源源不断向河北东北部输送水汽。受台风云系影响,23日夜间沧州东部开始出现降水,台风沿副热带高压外围引导气流持续向北移动,降水随之逐渐向北扩展。随着台风的逼近,承德上空风速不断增大,降水也不断增强,强降水随着台风的移动逐渐向北向东扩展。24日20时,热带风暴移出承德并与西风槽携带的冷空气主体结合,热带风暴强度迅速减弱,随着减弱低压进一步向东北地区移动,河北地区台风降水基本结束。

从“安比”的移动路径可以发现其能够以热带风暴级强度继续北上的原因:一是行进路线靠近海岸线,这使得“安比”有一半结构留在海上,一半在陆地,海洋上源源不断的水汽和良好环境有助于其保持结构和强度;二是地形相对平缓,行经地区以平原丘陵为主,坡度较缓、起伏小,不利于减弱台风强度。

4 中尺度分析

4.1 卫星云图特征

螺旋云带是台风结构的重要特征之一。螺旋云带的变化通常预示着台风未来移动以及强度变化。

如图3所示,23日20时云图上的一个明显特征是云系具有旋转结构,螺旋云带清晰可见,云带之间层次分明,内层云系为明显的对流云,外层则以层云为主。螺旋云带位于

台风北部,表明台风东部有较强的东南气流存在。23时30分,台风云系结构较之前有所松散,云团出现分裂,此时台风内层云系开始影响承德南部,该地区降水显著增强,随着内层密蔽云区向东北方向移动,强降水随之向东北方向扩展。24日08时,台风内层云系已经影响承德全区,大部分地区降水强度较大,云团之间的缝隙区域降水较弱。结合风场来看,云团之间的缝隙区域对应风场辐散区。13时30分,台风云系北部与东移的西风槽云系结合,说明西风槽分裂出的冷空气已经影响到台风云系,但此时仍然是台风云系南部的对流云团影响承德。16时30分,台风云系北部与西风槽云系结合更加紧密,甚至出现合并,台风云系仍具备涡旋特征,承德东部上空对流云团控制区域对应降水仍较强。20时,云系主体已经移出承德,台风降水基本结束,西南上游切变线控制区域开始有对流云团生成并加强。

4.2 雷达资料分析

降水期间雷达反射率因子演变及分布特征与降水分布特征有很好的对应关系。

如图4所示,24日02时36分在雷达站南部100~150 km范围内开始出现弱降水回波,强度在20~25 dBZ,回波向北移动的同时发展增强。03时18分回波增强至30 dBZ且开始影响兴隆地区。05时42分,承德境内已出现大面积降水回波,具有连续降水回波的特征,降水回波为层—积混合型,大范围层状回波中镶嵌着强度为45 dBZ的强回波,回波自南向北持续扩展,回波前沿已抵达雷达站。08时,回波继续向北扩展,但回波强度略有减弱,回波分布较之前有所松散,南北回波之间出现反射率低值区,南部仍持续有回波涌入。10时42分,回波开始呈现螺旋特征,且回波东部持续出现大片反射率低值区。15时42分,回波螺旋特征更加清晰,回波后部边界变得光滑整齐,说明上游西风槽分裂出的冷空气已经影响台风云系。17时12分,回波逐渐东移的同时其面积也明显减小,南部不再有回波涌入,东部地区回波仍较弱。20时,降水回波基本移出承德地区,河北台风降水也基本结束。

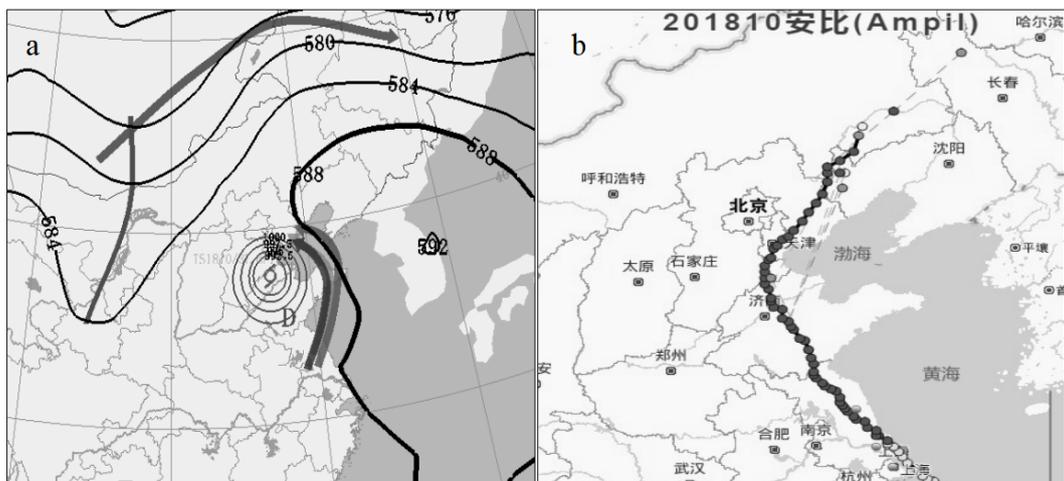


图2 23日20时高低空环流形势(a)和“安比”逐小时路径图(b)

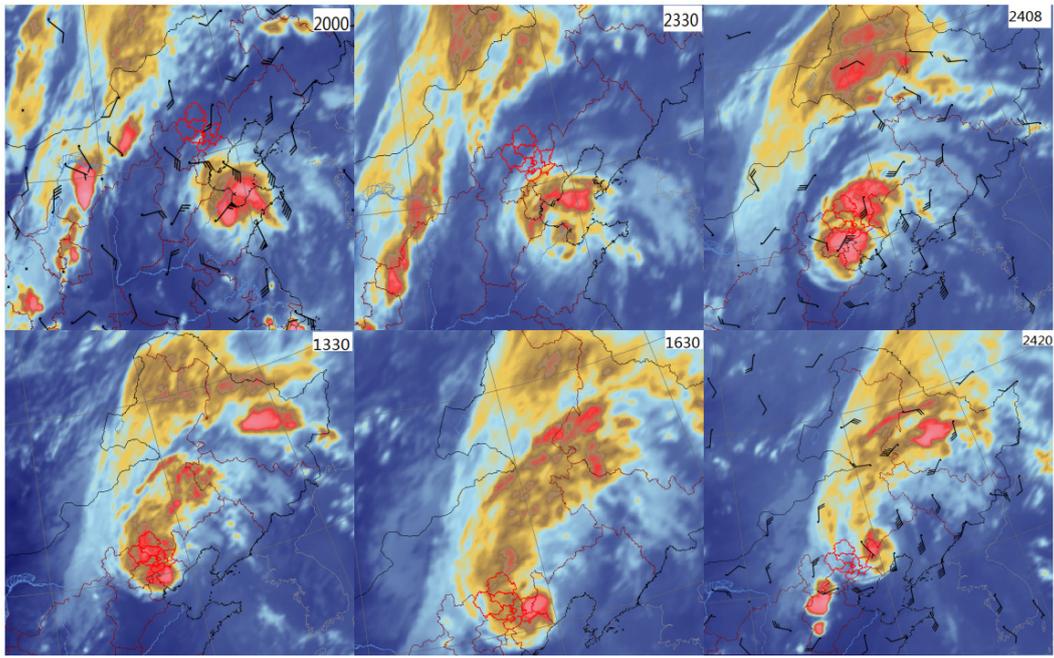


图3 卫星红外云图

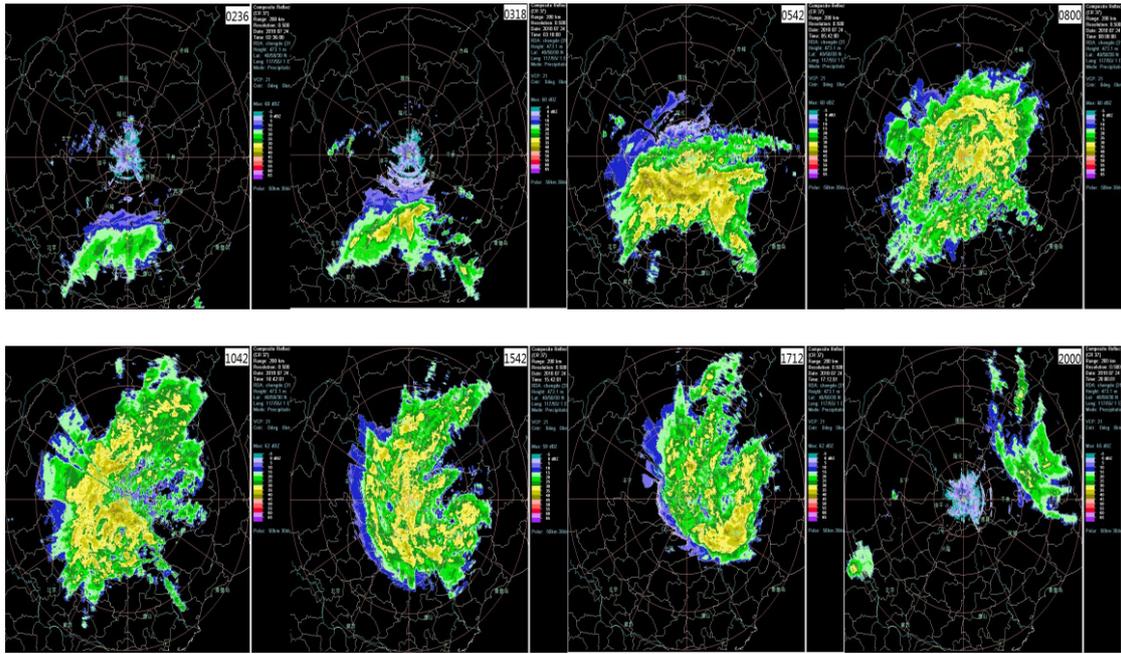


图4 雷达组合反射率

5 物理量场诊断

5.1 水汽条件—水汽通量与水汽通量散度

暴雨的形成既需要水汽持续向暴雨区输送，也需要水汽在暴雨区强烈辐合。水汽通量能很好反映水汽输送强度，而水汽通量散度则可以很好反映水汽辐合程度。

“安比”影响承德期间，在河北东北部存在很好的水汽输送通道，低空气流表现尤其明显。如图5所示，24日08时，850 hPa水汽通量大值区位于台风东北象限东南急流区，承德上空水汽通量分布具有明显梯度特征，从西北往东南逐渐

递减，大值区位于承德南部；水汽通量辐合也集中在承德中南部地区，水汽通量辐合也具有明显梯度特征。14时，随着台风移动，水汽通量大值区及辐合中心随之向东北方向移动。低层强水汽输送的同时伴随强水汽辐合，这非常有利于低层水汽集中上升形成强降水，水汽通量和水汽通量辐合峰值阶段对应降水峰值时段，其分布特征与降水分布相对应，低层水汽通量及辐合变化对降水变化有较好指示意义。从水汽通量、风场和比湿的时间—高度剖面来看，随着台风北上，风速不断增大，850 hPa和925 hPa持续出现大于20 m/s

的偏南风，东南气流越强盛，则水汽通量越大，说明水汽主要为东南气流输送。持续的低空急流、超低空急流输送了大量水汽，充沛的水汽输送对台风低压环流的长时间维持以及暴雨的形成和发展起到了重要的组织和促进作用。

5.2 动力条件—散度及垂直速度

暴雨的形成需要强盛而持久的上升运动，从而将低层水汽不断向上输送，然后凝结形成降水。如图 6 所示，强降水时段散度场结构和垂直速度场配置良好。24 日 08 时，300 hPa 与 850 hPa 的散度差 $DIV_{300-850}$ 正值区集中在承德中南部， $DIV_{300-850}$ 中心值 $\geq 12 \times 10^{-5} s^{-1}$ ，这种散度场结构非常有利于加强大气抽吸作用并增强上升运动，同时 $DIV_{300-850}$ 的分布特征且与降水分布特征相对应，即 $DIV_{300-850}$ 大值区对应降水大值区；850 hPa 上升运动区主要位于台风东侧和北侧的 $DIV_{300-850}$ 正值区，上升中心位于台风低压环流中有偏东气流的区域，说明该区域存在较强辐合上升气流，而在台风西侧为偏北风为主的弱下沉气流区。24 日 14 时，850 hPa 上升区伴随 $DIV_{300-850}$ 正值区一同向东北方向移动，持续的

大气抽吸作用和上升运动将低层暖湿空气持续向上输送，为产生暴雨提供了有利条件。

5.3 不稳定条件—假相当位温

假相当位温 θ_{se} 是表征温度和水汽的综合性物理量，其分布与对流天气发生发展有极大关系，也反映了大气中能量分布。当对流层低层出现假相当位温高值区时，可以形成强的对流不稳定，造成强降水。如图 7 所示，24 日 08 时，700 hPa θ_{se} 在 346~354 K，承德处于假相当位温高值区，大气处于高温高湿的不稳定状态，当有强上升运动时，极易触发不稳定能量释放，形成对流性天气。承德中南部位于 θ_{se} 水平梯度大值区，该区域等值线密集，说明该区域为高能锋区， θ_{se} 分布特征与降水分布特征相对应。24 日 14 时， θ_{se} 大值中心及能量锋区随台风向东北方向移动。结合风场来看，台风低压环流的偏东气流大值区始终位于台风移动路径的左前方，该区域处于高能锋区，且水汽输送强、水汽辐合上升强、大气抽吸作用强，因此台风暴雨区集中在台风移动路径左前侧的偏东气流大值区。

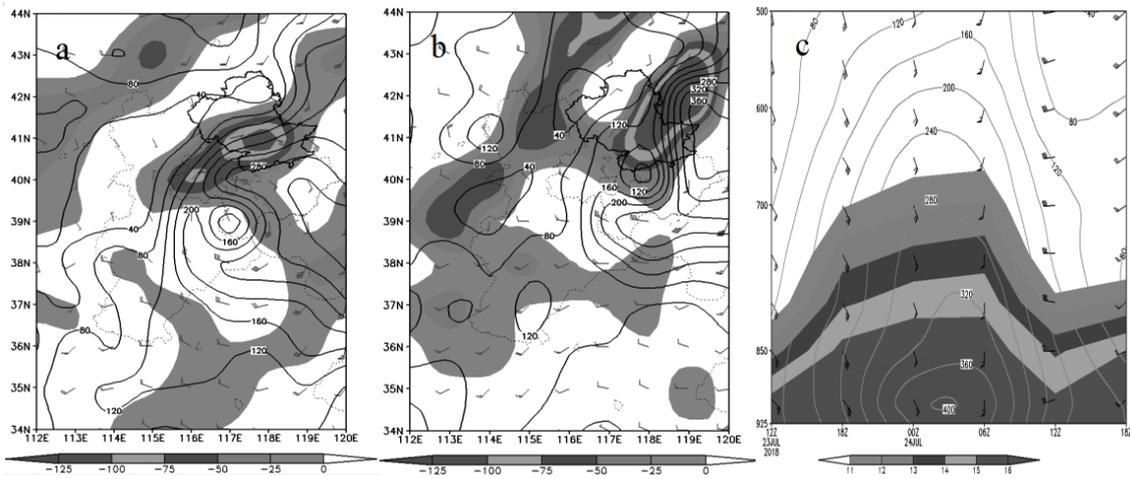


图 5 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度 24 日 08 时 (a)、24 日 14 时 (b) 和水汽通量时间—高度剖面 (c)

(等值线, 水汽通量单位: $g/(hPa \cdot cm \cdot s)$; 阴影, 水汽通量散度单位: $g/(hPa \cdot cm^2 \cdot s)$)

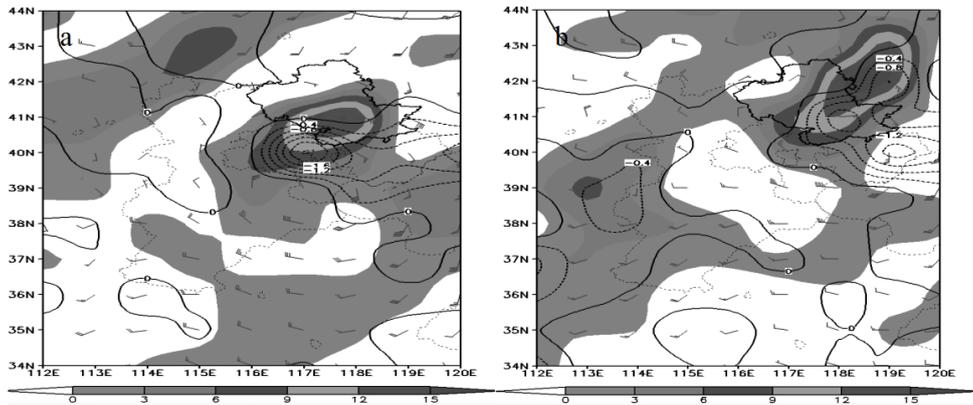


图 6 850hPa 垂直速度和散度差 ($DIV_{300-850}$) 水平分布图 24 日 08 时 (a)、24 日 14 时 (b)

(等值线, 垂直速度单位: $Pa \cdot s^{-1}$; 阴影, 散度单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$)

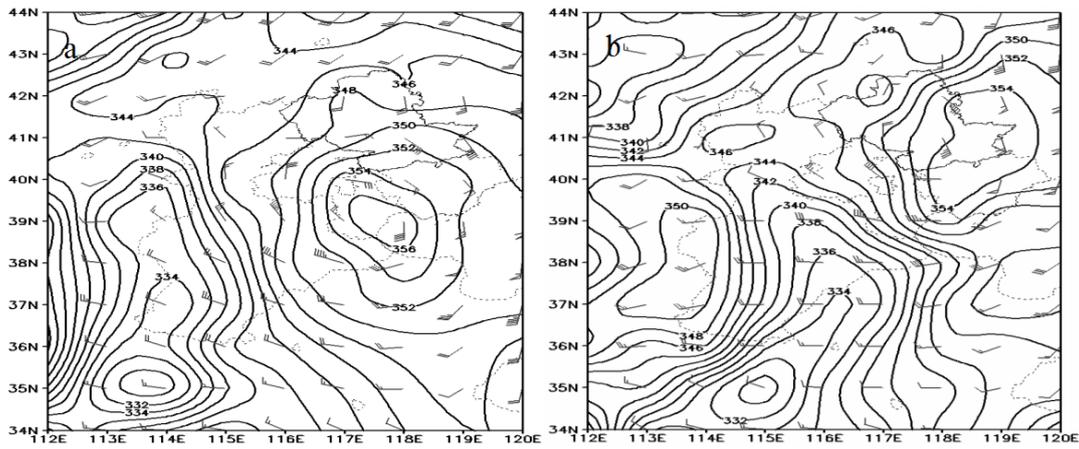


图7 700hPa 假相当位温分布图 24日 08时 (a)、24日 14时 (b) (单位: K)

5.4 温度平流

温度是大气重要物理属性之一, 温度平流对天气系统的发生发展起着重要作用, 其不但能直接引起大气热力结构变化, 还可引起其他物理属性变化。从预报角度来看, 温度平流的指示意义更直接。如图8所示, 从500 hPa 温度平流时空剖面来看, 西风槽槽区及槽后区域冷平流明显, 西风槽

分裂出的一股冷空气表现为向下游传播的一股冷平流, 西风槽东移过程中略有北抬, 冷平流逐渐向东、向北输送。降雨过程中, 承德暴雨区上空的温度平流逐渐由暖平流转变为弱冷平流, 说明旋转的台风卷入了西风槽分裂出的弱冷空气, 该时段为较强降水维持时期, 说明这种弱冷空气有利于降水强度维持。

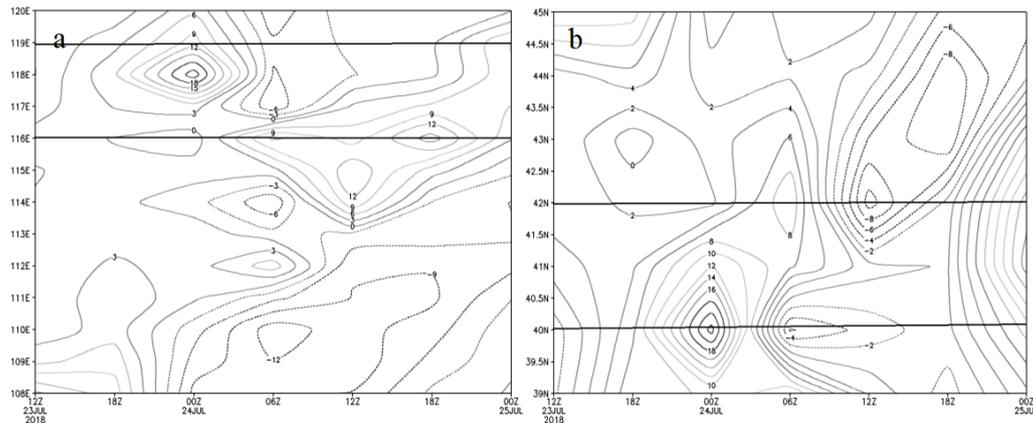


图8 500hPa 温度平流沿 40.3° N 时间—经度剖面 (a) 和沿 118.5° E 时间—纬度剖面 (b) (单位: 10⁻⁵K/s)

6 结论

①此次暴雨是由台风“安比”北上所造成, 降雨分布具有显著螺旋特征。

②暴雨主要由台风螺旋云带内层对流云团产生, 水汽来源于东南急流, 充沛的水汽输送对台风低压环流的长时间维持以及暴雨的形成和发展起到了重要的组织和促进作用。

③台风暴雨落区与台风移动路径密切相关, 暴雨区集中在台风移动路径左前侧的偏东气流大值区。

④降水过程中, 西风槽携带的冷空气主体没有对此次降水产生影响, 但其分裂出的小股冷空气被台风卷入, 这种弱冷空气有利于降水强度维持。

参考文献

[1] 陈联寿, 孟智勇. 中国热带气象研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 420-432.

[2] 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 台风暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 152-159.

[3] 李江南, 龚志鹏, 王安宇, 等. 近十年来台风暴雨研究的若干进展与讨论[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 113-117.

[4] 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 登陆热带气旋研究的进展[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 541-549.

[5] 程正泉, 陈联寿, 徐祥德, 等. 近10年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象, 2005, 31(12): 3-9.

[6] 李英, 陈联寿, 徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 91-98.

[7] 陈联寿. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 672-681.

[8] 王改利, 刘黎平, 阮征. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3): 388-395.