

Analysis on Causes of a Rainstorm during Continuous Autumn Rain in the Danjiangkou Reservoir Basin

Zhiyong Liu¹, Puping Yang¹, Xiaonan Wang²

¹Danjiangkou Meteorological Bureau of Hubei Province, Danjiangkou Hubei

²Suizhou Meteorological Bureau of Hubei Province, Suizhou Hubei

Email: lzy19740628@163.com

Received: Feb. 27th, 2018; accepted: Mar. 14th, 2018; published: Mar. 21st, 2018

Abstract

In order to improve the forecasting accuracy of this kind of weather, the rainstorm process during continuous autumn rain on Sept. 17~18, 2014 in the Danjiang Reservoir basin was analyzed by using conventional meteorological and rainfall date, FNL date, satellite cloud pictures and so on. The results show that: the main affecting systems of rainstorm come from the low trough of upper air, middle and low level shear line and the cold air from the east area. The rainstorm during the continuous autumn rain is obviously different from that in summertime that stability of atmospheric stratification occurs. The satellite images show that the precipitation cloud system is mainly stratiform cloud, and there are convective clouds in some period, but considerably weaker than those in summertime. The wet and warm of middle and lower tropospheric jets provide abundant moisture for the rainstorm, and it forms strong frontal zone with cold air at the lower troposphere in the Danjiangkou Reservoir basin. Rainstorm occurs in the frontal zone where the water vapor convergence is stronger.

Keywords

Continuous Autumn Rain, Rainstorm, Cold Air from the East Area, Frontal Zone, Water Vapor Convergence

丹江口水库流域秋季连阴雨中一场暴雨的成因分析

刘志勇¹, 杨普平¹, 王晓南²

¹湖北省丹江口市气象局, 湖北 丹江口

²湖北省随州市气象局, 湖北 随州

Email: lzy19740628@163.com

收稿日期: 2018年2月27日; 录用日期: 2018年3月14日; 发布日期: 2018年3月21日

作者简介: 刘志勇, 男, 1974年6月出生, 湖北省丹江口市人, 高级工程师, 研究方向: 天气预报与气象服务。

摘要

利用常规天气资料、地面降雨量资料、FNL资料与卫星云图资料,对2014年9月17~18日丹江口水库流域的一次秋季连阴雨中的暴雨过程进行了诊断分析,结果表明:高空低槽、中低空切变线与地面东路冷空气是暴雨发生的主要影响系统;秋季连阴雨中的暴雨与夏季暴雨明显不同,即暴雨发生在稳定的大气层结状态下,卫星云图显示,降雨云系以层状云为主,部分时段出现了弱的对流云系,但较夏季要弱的多;中低空暖湿急流一方面为暴雨提供了源源不断水汽条件,另一方面与低层冷空气在丹江口水库流域形成了较强的锋区,暴雨发生在锋区中水汽辐合较强的区域。

关键词

秋季连阴雨,暴雨,东路冷空气,锋区,水汽辐合

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

暴雨是丹江口水库流域(105°12'~112°10'E, 31°24'~34°11'N)汛期(5~10月)的灾害天气,当地的水文气象工作者对丹江口水库流域暴雨分析研究得较多,徐元顺[1]等对2003年丹江口水库流域两场致洪暴雨进行诊断分析,结果表明,中低层物理量场配置为暴雨的定性预报提供了客观依据;徐元顺[2]等对2005年10月丹江口水库流域秋季致洪暴雨的水文气候特征进行了分析,结果表明:日平均面雨量和过程雨量是衡量致洪过程的重要指标,地形对丹江口水库致洪暴雨过程有着重要贡献;王晓南[3]对丹江口水库前汛期的一次暴雨天气过程进行了分析,结果表明:暴雨的落区与850 hPa水汽通量、水汽通量散度大值区的重叠区域相吻合,大多数气象科技工作者对夏季暴雨研究较多[4][5][6][7],而对于在秋季连阴雨中的暴雨研究的较少。

秋季连阴雨是丹江口水库流域秋汛期常见的天气现象,近十年来平均每两年一遇,最长的一次连阴雨天气长达一个多月,秋季连阴雨中的暴雨则出现的较少,特别是在长连阴雨天气背景下,大气层结处于稳定状态,水汽条件一般的情况下为什么会出现在区域性暴雨天气成为困扰预报员的问题。

2014年9月6~30日丹江口水库流域出现了一次长连阴雨天气,其中17日08时(北京时,下同)到18日08时出现了一次全流域性暴雨,根据多年丹江口水库流域预报服务工作需要,将丹江口水库流域划分为三个区,其中:石泉以上为I区,石泉到白河段为II区,白河到丹江口为III区(以下简称为I区、II区、III区),此次暴雨天气就发生在长连阴雨天气背景下,强降雨主要集中在II区与III区,本文针对此次暴雨天气进行诊断分析,希望对上述问题有深刻认识,为今后预报类似暴雨天气过程提供帮助。

2. 资料选取和降水实况

本文使用丹江口水库流域与国家气象台站降水资料、FNL资料与FY-2E卫星云图与天气分析资料,计算物理量场使用FNL提供的资料。

2014年9月6日~30日丹江口水库流域出现了长达25天的阴雨天气,全流域总降水量为237.6 mm(图略),连阴雨天气造成丹江口水库水位迅速上涨,从143.02 m(1日08时)涨到157.94 m(30日20时),水库来水量增加了92亿m³,有效的缓解了前期干旱少雨造成丹江口水位低,水资源调度紧张的局面。其中9月17日08时到18日08时水库流域出现了一次暴雨天气过程,流域降雨量(图1)30.7 mm,图1中显示强降雨主要集中在II

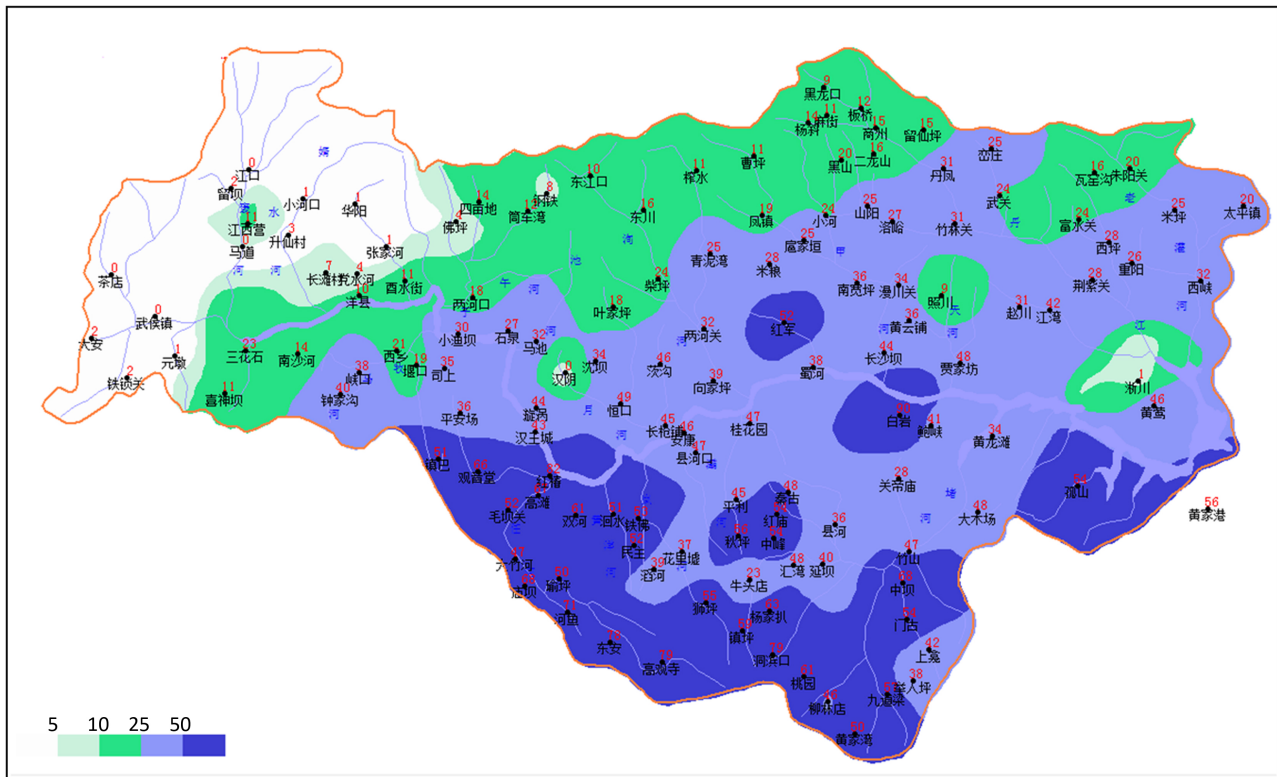


Figure 1. Precipitation from 08:00 Sept. 17 to 08:00 Sept. 18, 2014 at Danjiangkou Reservoir basin

图 1. 丹江口水库流域 2014 年 9 月 17 日 08 时到 18 日 08 时雨量图

区与 III 区, 受强降水影响, 丹江口水库入库流量明显增加, 水位由 151.69 m (17 日 08 时) 涨至 154.14 m (19 日 08 时), 库容两日内增加了 1 亿 m^3 。

3. 基本环流形势与主要特征

3.1. 500 hPa 与 700 hPa 形势

9 月 8~15 日 500 hPa 亚欧中高纬地区出现了两脊两槽形势, 其中两个脊区分别位于欧洲中西部与鄂霍次克海附近, 两个槽区分别位于西西伯利亚到里海一带与日本列岛, 巴尔喀什湖到贝加尔湖为平直西风气流, 多小波动东传, 西北太平洋副热带高压(以下简称西太副高)控制我国长江以南, 9 月 17 日 08 时(图 2(a))西北槽东移到西北地区东部, 受 2014 年 15 号台风海鸥的顶托, 西太副高北跳到淮河流域一带, 西伸脊点达到 109°E 附近, 丹江口水库流域受西太副高外围的西南暖湿气控制; 17 日 20 时随着海鸥在云南减弱为热低压, 西太副高继续加强西伸到四川盆地, 西北槽移动缓慢, 造成丹江口水库流域降水持续, 18 日 08 时后西太副高东撤, 西北槽东移南压, 丹江口水库流域区降水逐渐减弱停止。700 hPa 16 日 20 时陕西北部到甘肃南部生成一西南东北向切变线, 17 日 08 时切变线北段东移南压, 南段少动, 20 时(图 2(b))这条切变线东移南压到陕南 - 河南 - 江苏连云港附近, 受这条切变线影响, 丹江口水库流域的 II 区、III 区 17 日下午到晚间降水明显加强, 18 日 08~20 时切变线南压到湖北省中部到湘西一带, 丹江口水库流域降水逐渐减弱。

3.2. 地面形势

9 月 10~15 日水库流域处于地面冷高压后部, 16 日 08 时, 冷高压主体位于贝加尔湖西部地区, 中心强度达到 1024 hPa, 地面冷锋位于贝加尔湖附近, 华北平原有一小冷高压, 17 日 02~08 时冷锋移动到中蒙边境, 其底

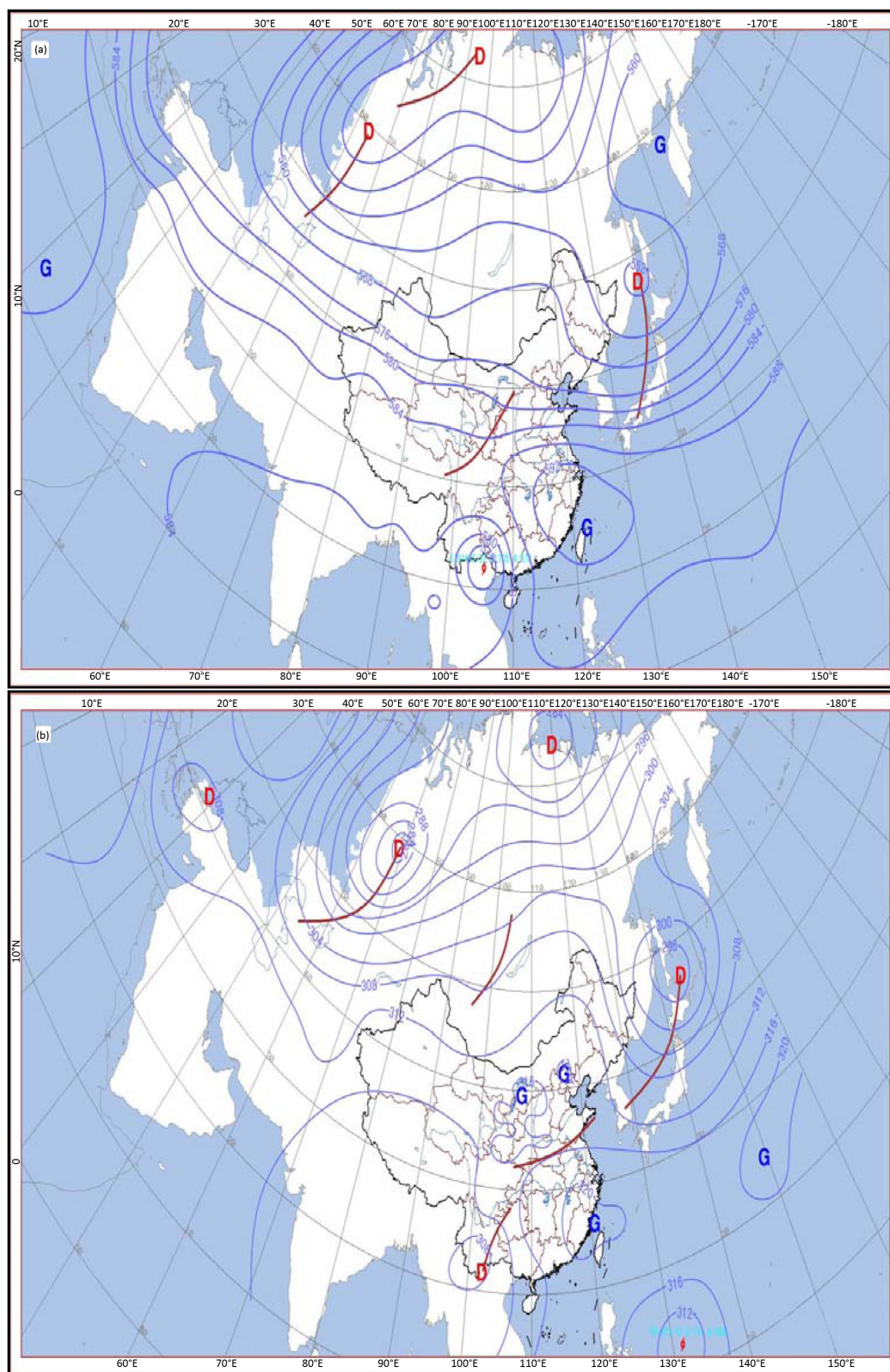


Figure 2. 500 hPa at 08:00 on Sept. 17, 2014 ((a) unit: dagpm) and 700 hPa at 20:00 on Sept. 17, 2014 ((b) unit: dagpm) synoptic situations

图 2. 2014 年 9 月 17 日 08 时 500 hPa (a)、20 时 700 hPa (b) 天气形势 (单位: 位势什米)

部分裂出来的冷空气沿华北平原南下，在华北平原上形成一个 1020 hPa 的闭合高压中心，08 时~20 时华北平原上冷高压中心南压到山西中部，冷高压中心达到 1024 hPa，丹江口水库流域处于冷高压底部密集的等压线控制中，18 日 08 时后高压中心南压，丹江口水库流域受其控制，降水逐渐减弱。

3.3. 大气层结特征

此次秋季暴雨中大气层结始终处于稳定状态，16 日 08~20 时，丹江口水库流域 $\Delta\theta_{se(500-850)}$ 普遍在 $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，17 日 08 时~18 日 08 时后随着低层冷空气南下，丹江口水库流域 $\Delta\theta_{se(500-850)}$ 增大，普遍 $>10^{\circ}\text{C}$ ，最大值达到 23°C ，这说明在此期间，低层没有明显的不稳定能量存在，这次连阴雨中暴雨天气过程是在一种特定情况发下产生的，即发生暴雨的区域大气层结处于稳定状态中。

3.4. 卫星云图特征

通过对卫星云图的分析，发现此次暴雨过程云顶亮温平均值在 -30°C ，说明暴雨过程的降水云系主要是稳定的层状云，层状云降水具有范围广、持续时间长但雨强弱的特点；从图 1 中可以看出，较强降主要集中在 II 区与 III 区，从 III 区武当山站 17 日 08 时到 18 日 08 时逐小时降水量可以看出：17 日 11~16 时与 18 日 02~06 时武当山雨强较强，小时雨强普遍在 4~6 毫米，最大小时雨强达到 7.8 毫米，出现在 18 日 03 时；对应此时段的

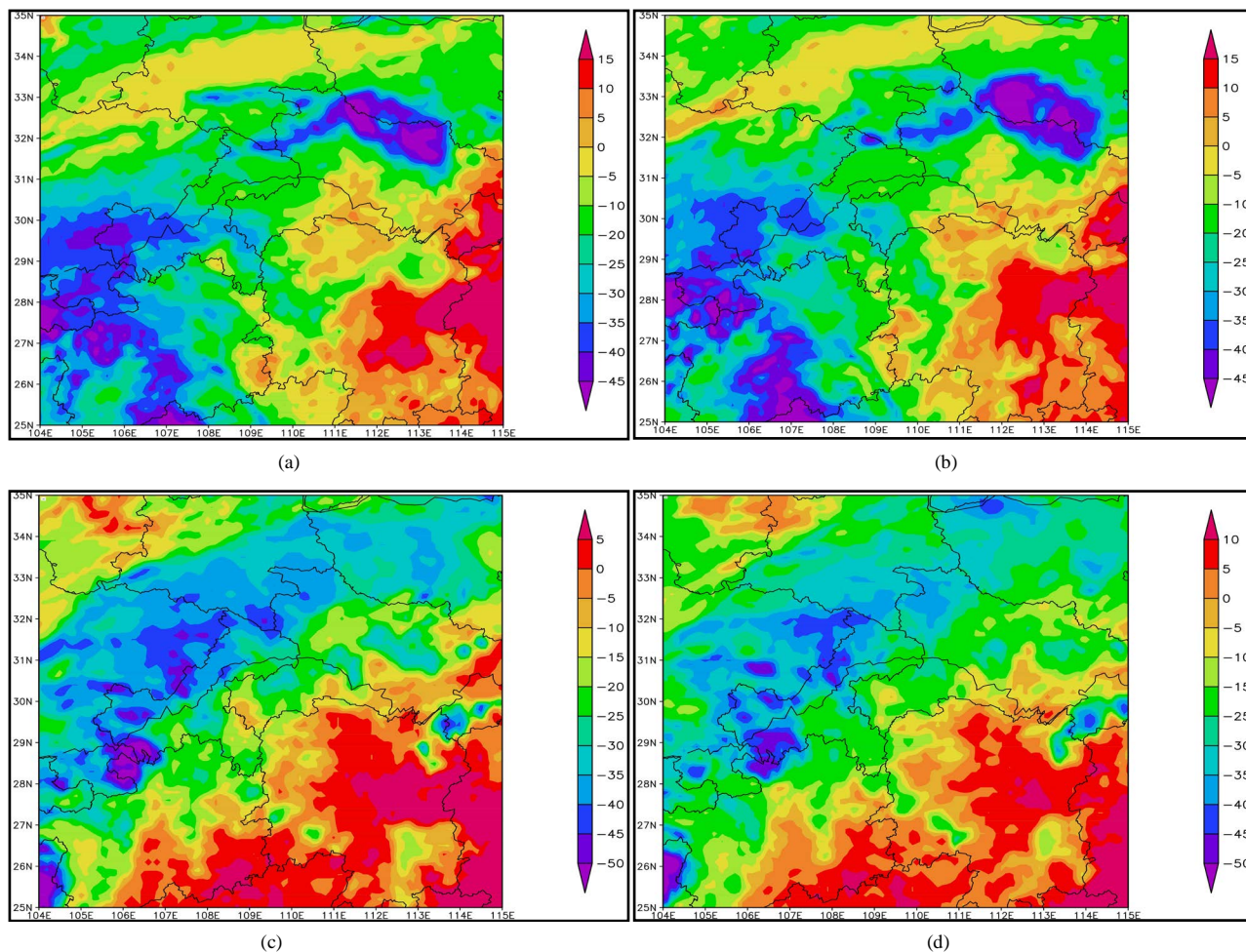


Figure 3. Evolution of TBB of FY2E infrared cloud image at 11:00 (a), 12:00 (b) on 17 and 03:00 (c), 04:00 (d) on Sept. 17, 2014
 图 3. 9 月 17 日 11 时(a)、12 时(b)、18 日 03 时(c)、04 时(d) FY2ETBB 图(单位： $^{\circ}\text{C}$)

FY2ETBB 图(图 3(a)~(d))上,我们发现武当山及其附近有弱的对流云系发展并持续,云顶亮温达到 -45°C ,最强时达到 -49°C ,但这种弱的对流云系的云顶亮温较夏季时高得多,小时雨强也较夏季暴雨小得多;18时07时后,武当山地区云顶亮温又上升到 -25°C 以上,以稳定的层状云降水为主,没有明显的对流云系出现。

上述分析发现表明,造成此次暴雨过程的降水云系以稳定的层状云为主,部分时段出现了弱的对流云系,但这种弱对流云系没有明显的中尺度特征,发展的高度较夏季低,云顶亮温也较夏季高些,小时雨强也较夏季暴雨小得多。

4. 区域性暴雨成因分析

4.1. 高空急流的作用

高由禧[8]指出,华西秋雨的起止时间与高空急流有着密切关系,在此次产生暴雨形势中,200 hPa 高空急流始终处于 43°N 附近,对区域性暴雨的持续起到了重要作用。

9月16日08时200 hPa 青海-甘肃-陕西北部-内蒙古一带出现了风速 $\geq 30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的一支高空急流,17时08时这支高空急流有所发展,沿 111°E 散度剖面图上(图略)可见,高空急流入口区($32^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$)400 hPa 以上为辐散,其中散度值达到 $3\times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$,500~850 hPa 以下为弱的辐合,散度值达到 $-1.2\times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$;14~20时高空急流较08时加强,从200 hPa 到400 hPa 高空有负涡度发展,14时沿 111°E 散度剖面图(图 4(a))上可见300 hPa 高空急流入口区($32^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$)高空辐散,其中最强值达到 $6\times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$,500~850 hPa 以下辐合依然很强,最强值达到 $-2.8\times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$,对应同一时刻的垂直速度图上(图 4(b)),800 hPa 以上垂直速度明显增强,最强出现在600 hPa,达到了 $-6\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,由于高空急流的加强,使得高空急流的抽气作用明显,丹江口水库流域的上升运动得到迅速发展,强劲上升运动有利于丹江口水库流域暴雨的发生。

4.2. 中低空急流

在此次过程中,低空急流的建立落后于高空急流,16日20时700 hPa 偏南风急流在南海-广东-湖南建立,急流中最大风速达到 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,这支急流沿西太副高边缘北上到湖北西南部后发生了反气旋式旋转,转为西南风,

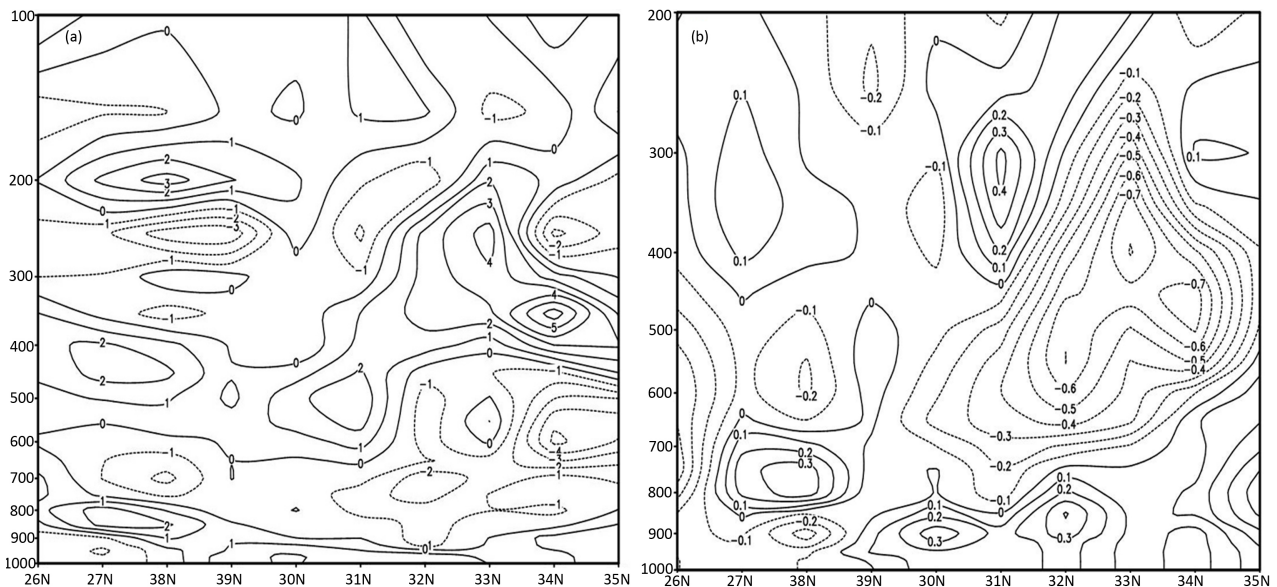


Figure 4. Cross-sections of divergence ((a) unit: $\times 10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$) and vertical velocity ((b) unit: $\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) along 111°E at 14:00, Sept. 17, 2014

图 4. 9月17日14时沿 111°E 散度垂直剖面图((a) 单位: $10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$), 垂直速度剖面图((b) 单位: $10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)

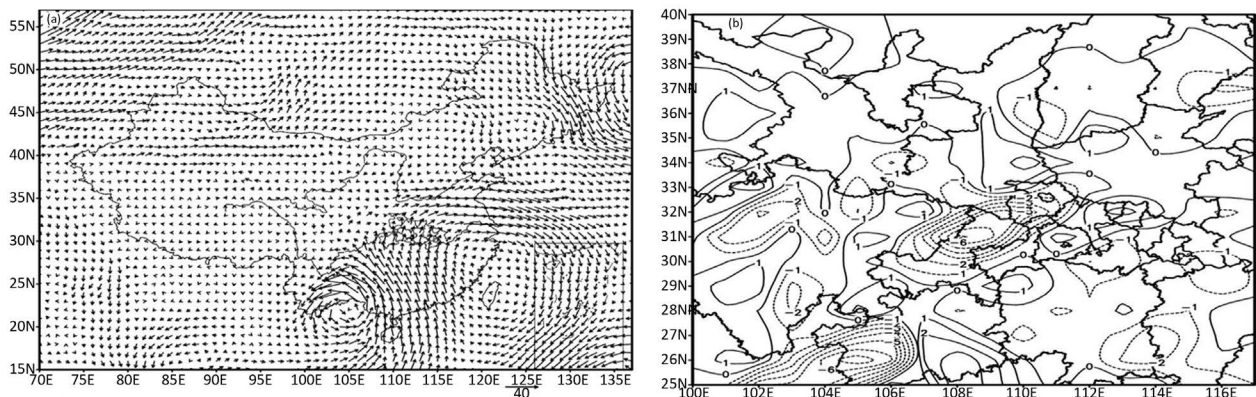


Figure 5. 700 hPa Wind speed ((a) unit: m/s) and water vapor flux divergence ((b) unit: $\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{S}^{-1}$) at 08:00, Sept. 17, 2014

图 5. 9 月 17 日 08 时 700 hPa 全风速((a)单位: m/s)、水汽通量散度图((b) 单位: $10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{S}^{-1}$)

其中汉中、安康、南阳风速达到 $10\sim 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，丹江口水库流域处于急流轴的左前方，这支急流将来自南海的水汽输送到水库流域上空，但此时水库流域上空水汽为辐合辐散相间；17 日 08 时(图 5(a)) 700 hPa 急流加强，湖北恩施 - 襄阳 - 南阳一带风速增加到 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，这支低空急流将来自南海的水汽源源不断地输送到丹江口水库流域上空，II 区与 III 区的水汽通量迅速增加到 $4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{S}^{-1}$ ，水汽的辐合强度也迅速增强，最强达到 $-3 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{S}^{-1}$ ，低空的急流的加强为丹江口水库流域的暴雨提供了充沛的水汽，18 日 08 时以后低空急流东移，丹江口水库流域转为偏北气流控制，水汽通量迅速减小，水汽通量散度达到 $1 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{S}^{-1}$ ，降水减弱停止，由此分析可见，高空急流的抽气作用导致丹江口水库流域的上升运动明显加强且持续较长时间，低空急流的产生与加强改善了水库流域的水汽条件，从而有利于丹江口水库流域的暴雨产生，这也为后期预报类似暴雨提供了有益的启示。

4.3. 中低空冷暖空气的作用

4.3.1. 中空冷暖空气

要产生区域性暴雨天气首先要有冷空气活动，此次秋季暴雨与夏季暴雨有明显的不同，暴雨发生在稳定的大气层结中，500 hPa，丹江口水库流域始终处于暖平流控制中，17 日 08 时水库流域处于暖平流控制，暖平流强度达到 $9 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{s}^{-1}$ ，到 18 日 08 时，水库流域仍处于暖平流控制中，说明暴雨过程中，丹江口水库流域中空无明显的冷空气活动，而在夏季，中空冷空气对暴雨的产生起到重要作用。

4.3.2. 低空冷空气

在冬、春、秋季，低层冷空气的活动加剧，特别是东路冷空气对丹江口水库流域的影响很大。

通常认为低层 850 hPa 回流冷空气起到冷垫的作用，中低层暖湿气流沿冷垫爬升，有利于降水发生。如图 6 所示，16 日 08 时 700 hPa 丹江口水库流域大部为弱的暖平流控制，850 hPa I 区、II 区为弱的冷平流控制，III 区为弱的暖平流控制；20 时后，随着 700 hPa 急流建立，丹江口水库流域为强的暖平流控制，中心最强达到 $12 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{s}^{-1}$ ；850 hPa 冷空气自山西 - 河南南下，水库流域的 I 区、II 区冷平流增强，但 III 区为弱的暖平流控制中，17 日 08~20 时，随着低层冷空气的持续南压，850 hPa 的丹江口水库流域为冷平流控制，中心强度达到 $-6 \times 10^{-5} \text{ k}\cdot\text{s}^{-1}$ ，700 hPa 水库流域始终为暖平流控制，由于中空无冷空气存在，中层的偏南暖湿气流与低层的冷空气在丹江口水库流域交汇，形成了较强锋区，同时偏南暖湿气流带来了大量的水汽，在锋区附近形成强的水汽辐合，暴雨就发生在锋区水汽辐合较强的区域，同时暖湿气流沿低层冷空气向上爬升，锋面的抬升提供了较强的上升运动，有利于暴雨的产生；18 日 08 时后，500 hPa 以下丹江口水库流域均为冷平流控制，锋区南压，丹江口水库流域降水减弱结束。

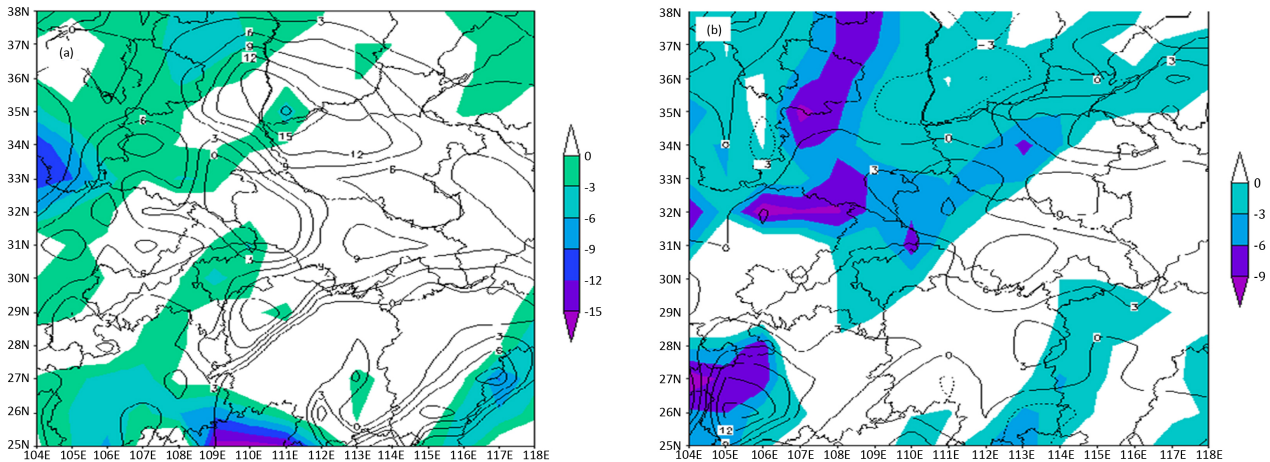


Figure 6. Temperature advection (unit: $\times 10^{-5} \text{ K}\cdot\text{S}^{-1}$, Solid line (700 hPa), Shadow (850 hPa)) at 20:00 Sept. 16 (a), at 14:00 Sept. 17 (b)
图 6. 9月16日20时(a)、17日14时(b) 700 hPa (实线)、850 hPa (阴影)温度平流图(单位: $\times 10^{-5} \text{ K}\cdot\text{S}^{-1}$)

5. 小结

1) 此次暴雨天气过程发生在有利天气形势下, 高空低槽、中低空切变线与地面东路回流冷空气是主要影响系统。

2) 此次连阴雨天气中的暴雨发生在稳定的大气层结中, 由于中层没有冷空气活动, 低层冷空气自东路侵入, 大气层结处于对流稳定的状态。

3) 降雨云团主要是层状云, 部分时段出现了弱的对流云系, 弱对流云系没有明显的中尺度特征, 发展的高度较夏季低, 云顶亮温也较夏季高些, 小时雨强也较夏季暴雨小得多。

4) 高空急流先于低空急流建立, 持续加强的高空气流抽气作用明显, 造成丹江口水库流域的上升运动得到迅速发展并且持续较长时间; 中层的偏南暖湿气流与低层的冷空气在丹江口水库流域交汇, 形成了较强锋区, 暴雨就发生在低层锋区的较强水汽辐合区域, 同时暖湿气流沿低层冷空气向上爬升, 锋面的抬升提供了较强的上升运动, 有利于暴雨的持续。

参考文献 (References)

- [1] 徐远顺, 许书成, 刘志勇. 中低层物理量场对致洪暴雨中的作用[C]//中国气象学会. 推进气象科技创新加快气象事业发展——中国气象学会 2004 年年会论文集(下册), 2004.
XU Yuanshun, XU Shucheng and LIU Zhiyong. Role of the middle-low level physical quantity field in flood rainstorm. In: China Meteorological Society. 2004 Annual Meeting of China Meteorological Society, 2004. (in Chinese)
- [2] 徐元顺, 许书成, 刘志勇. 丹江口水库流域秋季致洪暴雨的水文气候特征分析[C]//湖北省水利学会. 第三届湖北科技论坛水利分会场学术研讨会论文集, 2005.
XU Yuanshun, XU Shucheng and LIU Zhiyong. Analysis of hydrological and climatic characteristics of flood induced rainstorm during autumn in Danjiangkou Reservoir basin. In: Hydraulic Engineering Society of Hubei Province. The Third Session of the Academic Symposium of the Hubei Science and Technology Forum Water Conservancy Branch, 2005. (in Chinese)
- [3] 王晓南. 丹江口水库流域前汛期一次暴雨天气过程分析[J]. 湖北气象, 2016(1): 16-19.
WANG Xiaonan. Analysis of rainstorm weather process in the first flood season in Danjiangkou Reservoir basin. Journal of Hubei Meteorology, 2016(1): 16-19. (in Chinese)
- [4] 张顺利, 陶诗言. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 467-473.
ZHANG Shunli, TAO Shiyan. Multi scale conditions of flood rainstorm in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(6): 467-473. (in Chinese)
- [5] 施望芝, 张萍萍, 吴涛, 等. 湖北省两次区域性暴雨过程的对比分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3): 219-224.
SHI Wangzhi, ZHANG Pingping, WU Tao, et al. Contrastive analysis of two heavy rain cases in Hubei Province. Torrential Rain and Disasters, 2008, 27(3): 219-224. (in Chinese)

- [6] 张端禹, 徐明, 汪小康, 等. 华南前汛期持续暴雨环流特征分析[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(3): 264-271.
ZHANG Duanyu, XU Ming, WANG Xiaokang, et al. Analysis on circulation characters of persistent heavy rain in the first flood season in South China. *Torrential Rain and Disasters*, 2012, 31(3): 264-271. (in Chinese)
- [7] 黄远盼, 宁玉梅, 莫家尧. 广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(s2): 47-49.
HUANG Yuanpan, NING Yumei and MO Jiayao. Comparison analysis of twice heavy rain weather processes during pre-rainy season of Guangxi. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2013, 34(s2): 47-49. (in Chinese)
- [8] 高由禧, 郭其蕴, 我国的秋雨现象[J]. 气象学报, 1958, 29(4): 264-273.
GAO Youxi, GUO Qiyun. Autumn rain phenomenon in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1958, 29(4): 264-273. (in Chinese)