

文章编号: 2096-1618(2023)01-0070-05

四川白鹤滩一次罕见秋冬 10 级偏南大风过程分析

唐毓羚

(凉山州气象局,四川 西昌 615000)

摘要:为进一步研究 2020 年 11 月 17 日发生在四川白鹤滩水电站的一次罕见偏南 10 级大风过程,利用白鹤滩坝区新田自动站逐小时气象要素数据、NCEP 及 ECMWF 提供的逐日再分析资料,对天气形势、影响天气系统及相关的物理量进行诊断分析。结果表明:高空槽前西南气流加强使四川盆地热低压发展旺盛,引起白鹤滩的气压梯度增大致使偏南大风产生;中低层西南急流建立所产生的动量下传对偏南大风增幅作用显著;太阳辐射导致热低压强度以及动量下传强度变化使大风呈现明显的日变化特征;白鹤滩地形产生的狭管效应对大风的增强提供了有利条件。

关键词:气象学;极端大风;南支槽;热低压;太阳辐射;动量下传;狭管效应

中图分类号:P458.3

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2023.01.011

0 引言

白鹤滩水电站是金沙江下游 4 个巨型梯级电站中的一个,其建成后将成为中国第二大水电站。由于其特殊的地理位置,经常受大风天气影响。极端大风天气破坏力大,在大坝浇筑时对左右岸高空缆机的运行影响极大,对施工人员的安全也存在威胁,因此在电站修建期间对大风的预报和及时预警需求迫切。目前对偏南大风的预报参考资料有限,且偏南大风天气成因复杂多变,造成此类大风天气预报准确率偏低。通过探索偏南大风的成因,分析地面偏南大风的产生机制和变化特征,从而提高大风天气的预报水平和气象保障能力,为今后白鹤滩坝区大风预报提供参考依据,对保障水电站安全运行有重要的意义^[1]。

西南地区在春季常有偏南大风天气出现,不少学者对此进行的研究^[1-20]表明:高空槽、中低空急流、热低压是大风产生的重要天气系统;峡谷地形有利于大风的增强;热低压与湍流加强都与太阳辐射有关,故存在明显的午后大风增强而夜间减弱的日变化特征;基于以上特点,值得深入研究和总结分析。本文通过此次过程的诊断分析,以期以后此类大风的预报服务提供更加科学的参考。

1 数据与方法

选用白鹤滩坝区新田自动站 2020 年 11 月 16-17 日逐小时气象要素数据,使用要素包括小时极大风风速及风向、小时最高气温、小时最低气温、小时最小相对湿度。美国国家环境预报中心(NCEP)提供的逐日再分析资料,空间分辨率 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,时间分辨率为 6 h,使用要素包括 2020 年 11 月 16-17 日位势高度场、海平面气压场、纬向风分量、经向风分量,用于分析高空形势场以及海平面气压场。由于 NCEP 再分析资料时空分辨率较低,还使用了欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 2020 年 11 月 16-17 日逐日再分析资料,空间分辨率 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为 2 h,使用要素包括 700 hPa 纬向风分量、经向风分量、垂直速度、散度、涡度,用于分析 700 hPa 急流、垂直速度、散度、涡度、风羽垂直时间剖面图。

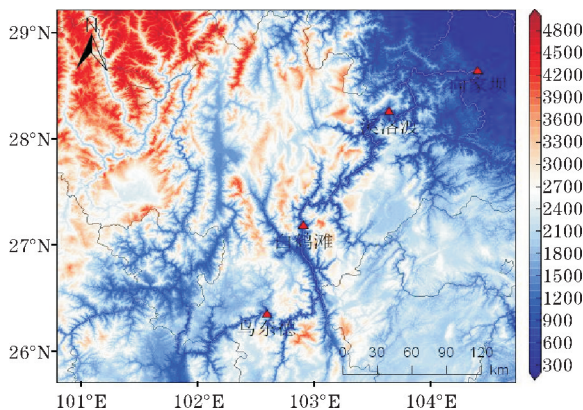


图1 金沙江下游巨型水电站地形分布图

2 实况

2020 年 11 月 17 日,白鹤滩坝区出现了一次偏南

收稿日期:2022-10-10

基金项目:中国科学院 A 类战略性先导科技专项资助项目(XDA23090103);中国气象局创新发展专项资助项目(CXFZ2021Z014)

大风天气过程,平均风力 6~7 级,过程极大风速为 24.6 m/s (偏南风 10 级)。此次大风过程强度大,持续时间长,具有明显的日变化特征(图 2)。16 日上午坝区为较弱的偏南风,14 时风力陡增到 7 级,大风维持 7~8 级至 17 时减弱到 5 级,直至 17 日 09 时坝区都为较弱的偏南风。10 时过后,风速急剧增大到 8 级,13~16 时风力达到 9~10 级,18 时后风速明显减弱,当日极大风力 24.6 m/s 出现于 16 时 25 分。

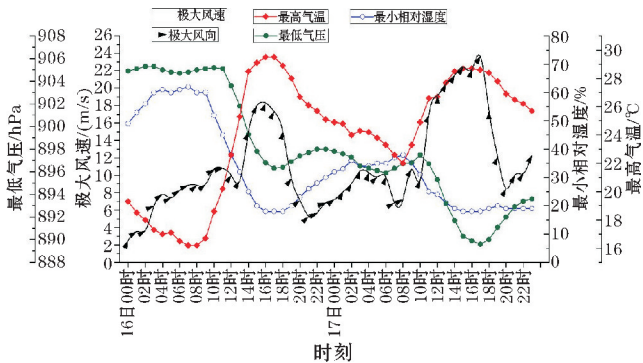


图 2 2020 年 11 月 16~17 日逐小时气象要素

通过分析偏南风与温度、气压、相对湿度之间的关系,发现偏南风增强时,坝区温度明显增高,气压和相对湿度明显降低。17 日平均温度达到 25.1 °C,同历史 9 年日平均温度为 18.2 °C,偏高了 6.9 °C。白鹤滩偏南大风多发生于春季,11 月以偏北大风为主,此次偏南大风较为罕见。

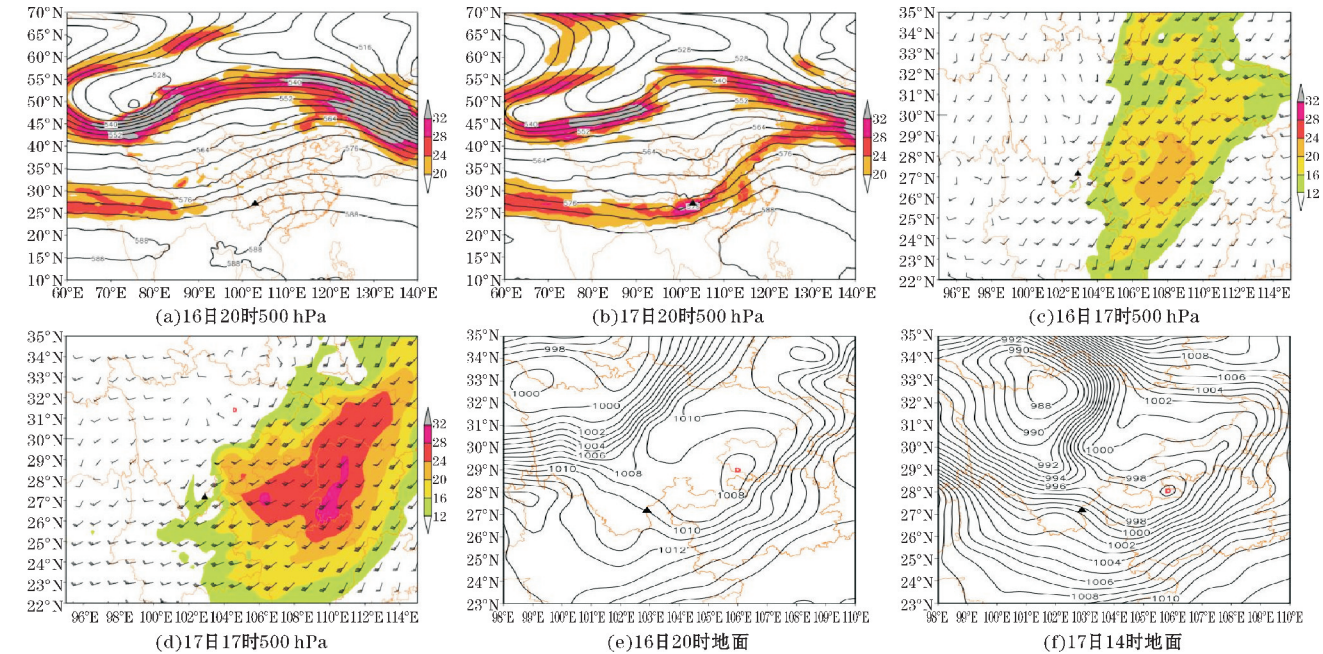


图 3 2020 年 11 月 16~17 日天气图(阴影为急流区)

3 环流背景

200 hPa 天气图上(图略),在 60 °E~110 °E 有一条风速大于 46 m/s 的西风急流带,脊线位于 32 °N,白鹤滩上空风速达到 40 m/s。500 hPa 天气图上(图 3),15 日 08 时 70 °E 有一南支槽,台风“环高”在越南东部登陆,白鹤滩上空风速为 14 m/s。16 日 20 时(图 3a)南支槽东移到 85 °E,白鹤滩上空转为西南气流,风速加强到 16 m/s。17 日 14 时(图 3b)南支槽东移到 95 °E,受槽前西南气流、副高外围偏南气流以及台风残余的共同影响,云南西部到凉山西南急流建立,白鹤滩上空风速达到 32 m/s,18 日急流带东南移出四川境内。700 hPa 16 日 17 时(图 3c)西南急流中心在贵州,风速达到 24 m/s,白鹤滩位于急流左侧,上空风速达到 8 m/s。17 日 17 时(图 3d)西南急流增强,中心风速达到 30 m/s,急流带范围扩大到凉山南部,白鹤滩上空风速达到 14 m/s,18 日急流带东南移出四川,白鹤滩上空风速明显减弱。地面上,16 日 20 时在盆地南部生成了一个热低压(图 3e),白鹤滩到热低压的气压梯度增大,呈现出东北高西南低的地面气压形势,南风增强。17 日 14 时地面气压陡降,热低压显著加强(图 3f),中心最低气压达到 992 hPa,白鹤滩位于热低压西南部等压线密集区,南风显著增强。18 日热低压东南移且减弱明显,白鹤滩位于低压西部,气压梯度明显减小,对白鹤滩影响开始减弱,地面风速减小。

4 诊断分析

根据 Petterssen 涡度发展方程:

$$\frac{\partial \zeta_0}{\partial t} = -\vec{V}_s \cdot \nabla (\zeta_s + f) - \frac{R}{f} \nabla^2 \int_{p_5}^{p_0} [-\vec{V} \cdot \nabla T + (\gamma_a - \gamma) \omega] + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt} d\ln p \quad (1)$$

式中:0 代表 1000 hPa,5 代表 500 hPa;500 hPa绝对涡度平流项为 $-\vec{V}_5 \cdot \nabla(\zeta_5+f)$,温度平流项为 $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}(-\vec{V} \cdot \nabla T)d\ln p$;绝热垂直变化项为 $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}\omega(\gamma_a-\gamma)d\ln p$;非绝热加热项为 $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}\frac{1}{C_p}\frac{dQ}{dt}d\ln p$ 。

4.1 热低压

热低压是由于大气受热不均匀而在受热最多近地面大气中形成的水平温度分布不均匀、移动性不大的低压或低压槽。尺度较小,通常出现在夏季,冬季较少。此次过程发生时正值秋冬季节,且热低压发展极为旺盛,较为罕见。

根据方程中绝对涡度平流项分析,16 日 20 时四川在 500 hPa 位于槽前脊后时, $-\vec{V}_5 \cdot \nabla(\zeta_5+f)>0$,为正

涡度平流,促使地面气旋生成,此时热低压在四川盆地东南部初生。17 日 14 时 500 hPa 暖平流加强,根据温度平流项 $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}(-\vec{V} \cdot \nabla T)d\ln p>0$,地面涡度增加,有利于地面气旋发展,四川盆地的热低压加强。

根据 Petterssen 涡度发展方程中的绝热垂直变化项分析,当大气层结不稳定时, $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}\omega(\gamma_a-\gamma)d\ln p>0$,上升运动对气旋的发展起促进作用。此次过程极大风速出现在 17 日 16 时 25 分,从 17 时热低压中心散度剖面(图 4a)可以看出,低层辐合,高层辐散,与之对应的是 650 hPa 以下强烈的上升运动(图 4b)和热低压旺盛发展。涡度剖面图(图 4c) 700 hPa 以下均为正涡度,近地面层涡度值达到 $25\times 10^{-6} s^{-1}$ 以上,低层涡度大使热低压加强。旺盛发展的热低压造成白鹤滩附近的气压梯度增大,使坝区偏南风风速增强。

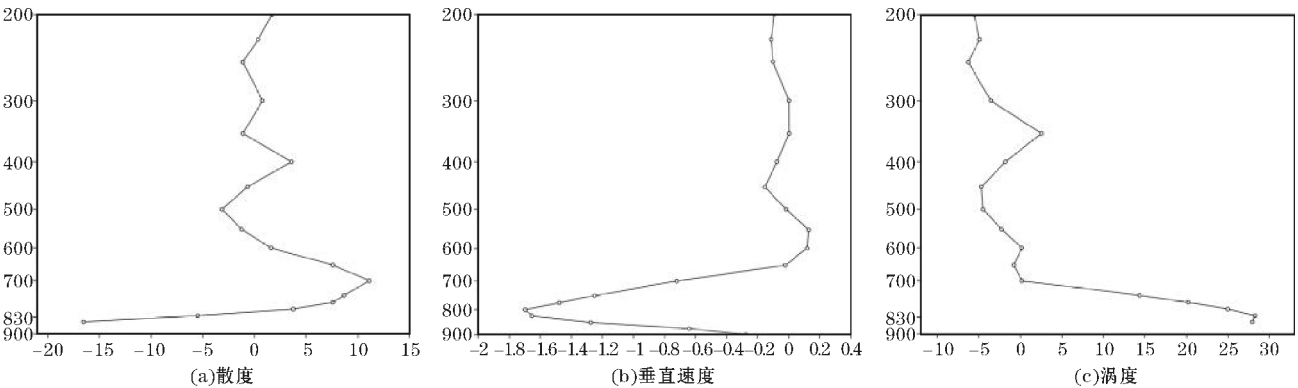


图 4 2020 年 11 月 17 日 17 时热低压中心附近点散度(单位: $10^{-5} s^{-1}$)、垂直速度(单位: $Pa \cdot s^{-1}$)和涡度(单位: $10^{-6} s^{-1}$)的垂直剖面图

4.2 动量下传

白鹤滩散度图显示(图 5a),16-17 日 600 hPa 以下为辐散层,17 日上午 750 hPa 散度值达到 $14\times 10^{-5} s^{-1}$ 以上,表明低层辐散较强,上层的辐合区延伸到了 300 hPa,中心值强度达到 $-10\times 10^{-5} s^{-1}$,中高层辐合较强。从垂直速度图(图 5b)可以看出,17 日早间白鹤

滩上空 400 hPa 以下有强的下沉运动,强度超过了 $1.4 Pa \cdot s^{-1}$ 。此次大风过程,近地层出现强辐散,中层强辐合,整层大气流动快,中低层产生了强烈的下沉运动,导致中低层西南急流的动量下传到地面,致使坝区偏南风增强。动量下传是高低空动力强迫造成的结果,正是大气这种三维质量和动量的调整,造成了地面大风的加强。

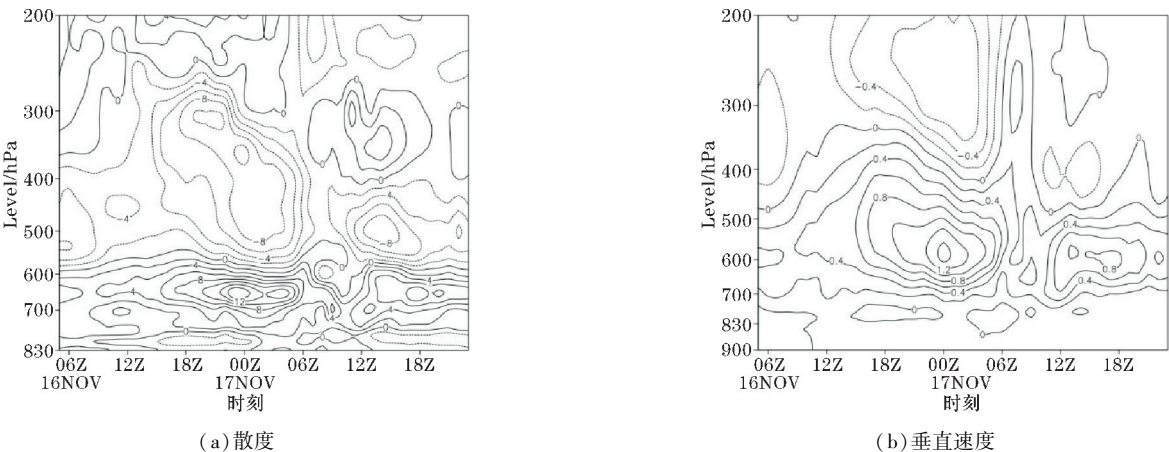


图 5 2020 年 11 月 17 日 17 时白鹤滩的散度和垂直速度的垂直时间剖面图

4.3 非绝热加热

午后受太阳辐射的强烈照射时,由 Petterssen 涡度发展方程的非绝热加热项可知, $-\frac{R}{f}\nabla^2\int_{p_5}^{p_0}\frac{1}{C_p}\frac{dQ}{dt}d\ln p>0$,有利于热低压发展。此次过程中17日午后西南热低压气压陡降,坝区偏南风极大风速也呈现出了午后明显增大的特征。

湍流是产生于边界层中流体的不规则运动,由这种随机运动能够引起边界层内垂直方向上动量、热量和质量的传递。动量下传需要在湍流运动的条件下产生,从图6可以看到,16日午后200~700 hPa各层风速明显增强,在白鹤滩上空的中低层形成了急流。17日午后太阳辐射增强使湍流运动加快,此时整层急流风速出现明显增大,700 hPa到地面风速也陡增,维持到20时开始减弱。湍流运动的增强使坝区上空偏南急流动量下传对地面偏南风增幅作用明显,中低层出现西南急流脉动的时段对应于地面风增加的时段,此次过程中极大风速极值也出现在这一时段。强盛的中低空急流引起的动量下传为近地面大风提供了动力条件,午后至傍晚近地层快速升温产生的湍流加强为动量下传的产生提供了热力条件。

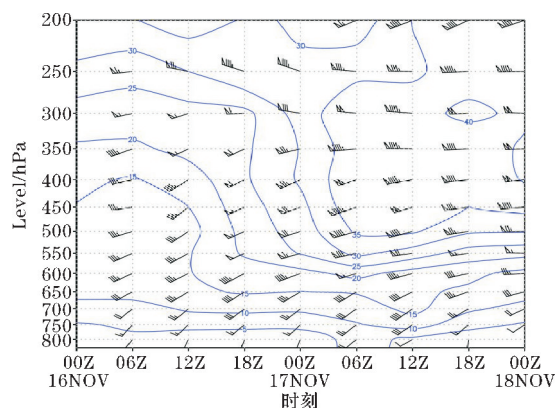


图6 2020年11月16日08时-18日08时白鹤滩风羽垂直时间剖面图(等值线为风速)

非绝热加热使偏南大风的强度具有明显的日变化特征,傍晚到清晨减弱,白天随着地面温度升高,热低压和湍流强度开始增强,偏南风开始加强;午后随着热辐射显著增温,地面气压迅速下降,热低压和湍流强度显著增加,偏南风达到最强。

4.4 地形因素

白鹤滩水电站大坝位于四川省宁南县和云南省巧家县交界的“V”字形峡谷最窄的地方,河谷呈南北走向,使白鹤滩常年盛行南北风。狭管效应是指地形的狭管作用,使气流由开阔地带流入地形构成的峡谷时,

由于空气质量不能大量堆积,于是加速流过峡谷,风速增大。此次过程当偏南风经过大坝时,受地形的“狭管效应”作用所产生的狭管风使偏南风增幅显著。

5 结论

通过对2020年11月17日出现在白鹤滩10级偏南大风过程进行分析,得出如下结论:

(1)白鹤滩位于热低压西南部,地面系统呈“北低南高”,自南向北的气压梯度增大致使偏南大风形成。由于500 hPa南支槽前正涡度平流、较强的上升运动、以及暖平流使地面热低压不断发展并加强。形成了有利于白鹤滩坝区产生强度大且持久的偏南大风的形势。

(2)中层辐合低层辐散使白鹤滩上空形成强的下沉气流,中低层西南急流的动量下传到地面,进一步增强偏南大风。白鹤滩坝区所在的峡谷南北走向的地形以及峡谷产生的“狭管效应”有利于偏南大风的加速。

(3)非绝热加热使大风呈现出明显的日变化特征,也使17日午后白鹤滩上空中低层湍流运动和四川盆地热低压增强,致使白鹤滩上空动量下传作用以及地面气压梯度增大,对坝区偏南风增幅作用明显。

参考文献:

- [1] 李国文. 西南热低压及其预报的研究[J]. 气象学报, 1965, 35(2): 126-131.
- [2] 诸月琴, 高秋莎, 黄万岗. 西南热低压填塞的暴雨预报[J]. 贵州气象, 1994(2): 5-12.
- [3] 丁一汇. 高等天气学[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2005: 233-294.
- [4] 熊方, 王元. 典型高影响天气系统之西南热低压研究 I——统计分析[J]. 热带气象学报, 2008, 24(4): 391-398.
- [5] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 2000. 天气学原理和方法[M]. 3版. 北京: 气象出版社, 2000: 106-133.
- [6] 杨静, 汪超, 雷云, 等. 春季西南热低压的发生发展与结构特征[J]. 气象, 2013, 39(2): 146-155.
- [7] 白虎志, 董安祥, 李栋梁, 等. 青藏高原及青藏铁路沿线大风沙尘日数时空特征[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 311-315.
- [8] 吴春英, 孙桂双, 张昱, 等. 1986-2005年抚顺大风特征分析及预报[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(5): 42-47.
- [9] 苗爱梅, 贾利冬, 武捷. 近51a山西大风与沙尘

- 日数的时空分布及变化趋势[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 452-460.
- [10] 曹玲, 董安祥, 张德玉, 等. 河西走廊春季大风、沙尘暴的成因差异初探[J]. 气象科技, 2005, 33(1): 53-57.
- [11] 马学莲, 党永秀. 2010年3月19日青海省大风、沙尘暴天气过程诊断分析[J]. 青海科技, 2011(1): 20-23.
- [12] 王金辉, 刘海涛, 王东, 等. 克州地区春季一次强风沙天气成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(1): 41-45.
- [13] 安东. 大风天气特征分析及预报指标[J]. 农业气象, 2018(20): 112.
- [14] 陈淑琴, 黄辉. 舟山群岛一次低压大风过程的诊断分析. 气象, 2006, 32(1): 68-73.
- [15] 尹尽勇, 曹越男, 赵伟. 2010年4月27日莱州湾大风过程诊断分析. 气象, 2011, 37(7): 897-905.
- [16] 刘和平, 代佩玲. 河南大风灾害分布特征及成因分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(S1): 135-137.
- [17] 张利平. 乌鲁木齐国际机场一次强东南大风天气分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(2): 23-25.
- [18] 苏小岚. 1998年4月乌鲁木齐东南大风天气过程分析[J]. 新疆气象, 2001, 24(3): 16-17.
- [19] 杨静, 雷云. 一次西南热低压形成过程的数值试验和分析[J]. 贵州气象, 2011, 35(3): 1-6.
- [20] 熊方, 王华, 杜正静, 等. 一次典型热低压填塞导致贵州暴雨天气过程能量条件分析[J]. 贵州气象, 2008, 32(4): 6-8.

Diagnosis and Analysis of a Rare 10-level Southerly Windy Weather at Sichuan Baihetan Hydropower Station

TANG Yuling

(Meteorological Bureau of Liangshan Prefecture, Xichang 615000, China)

Abstract: In order to further study a rare southerly gale process of magnitude 10 in Baihetan Hydropower Station, Sichuan Province on November 17th, 2020, the weather situation, influencing weather system and related physical quantities were diagnosed and analyzed by using hourly meteorological element data of Xintian automatic station in Baihetan dam area and daily reanalysis data provided by NCEP and ECMWF. The results show that the strengthening of southwest airflow in front of the high-altitude trough causes the vigorous development of the hot low pressure in the basin to flourish, and the increase of the pressure gradient of the White Crane Tower beach leads to the southerly strong wind; the momentum generated by the establishment of the southwest rapids in the middle and lower layers has a significant effect on the increase of the southerly southerly winds; the strength of the thermal low pressure caused by solar radiation and the power transfer intensity of momentum. The change makes the general wind show obvious diurnal change; the narrow-tube effect caused by the topography of the white Crane beach provides favorable conditions for the enhancement of the wind.

Keywords: meteorology; extremegale; southern branch troug; thermal depression; solar radiation; momentum downward; narrow pipe effect