

邹毅, 王德辉, 杨妮, 等. “碧利斯”引发罗霄山区局地特大暴雨的过程及成因分析[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 110–114. [ZOU Yi, WANG Dehui, YANG Ni, et al. Process and Cause of a Local Rainstorm Caused by Bilis in Luoxiao Mountain Area[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 110–114. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.021.]

“碧利斯”引发罗霄山区局地特大暴雨的过程及成因分析^{*}

邹毅¹, 王德辉², 杨妮¹, 匡耀求³

(1. 广西财经学院 管理科学与工程学院, 广西 南宁 530003;

2. 赣南师范大学 地理与规划学院, 江西 赣州 341000;

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 利用降水和多普勒天气雷达资料, 分析了2006年7月14日夜间断热带风暴碧利斯登陆期间, 发生于罗霄山区资兴市的一次特大暴雨的过程, 并通过与传统无线电探空资料比较, 发现大气红外探测仪 AIRS 数据产品在山区强对流活动成因分析中的应用价值。研究发现, 当强热带风暴碧利斯中心位于资兴市以东约400 km 之时, 引发了研究区东江水库盆地内的一次对流风暴, 并形成了所谓列车效应, 造成局地特大暴雨。发现依靠传统无线电探空资料难以有效预报这一对流风暴, 而采用 AIRS 产品数据发现, 台风暴雨发生前约8 h 时东江水库盆地低层大气即存在局地强逆温层, 有利于不稳定能量的积累。研究区逆温层受到碧利斯外围气流影响而释放不稳定能量, 很可能是导致此次特大暴雨的重要原因。

关键词: 台风; 暴雨; AIRS; 逆温层; 地形; 碧利斯

中图分类号: X43; X915.5; P458.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)02-0110-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.021

我国是世界上热带气旋(台风)登陆最多, 热带气旋灾害最重的国家之一^[1]。热带气旋作为全球最强的暴雨天气系统之一, 其带来的暴雨及次生灾害危害十分严重^[2-3]。研究表明, 随着全球变暖的趋势加剧, 全球将面临台风威胁的风险还将继续增加^[4]。但是, 受到诸多因素的限制, 台风降水的强度和分布预报至今仍是气象业务中的重要难题之一^[5-6]。

2006年7月14–15日, 受0604号热带气旋碧利斯(Bilis)的登陆影响, 湖南省东南部山区的资兴市经历了异常严重的台风暴雨, 引发东江、洙水上游流域严重的山洪泥石流灾害^[7]。已经有前期研究发现造成此次暴雨的是一次强对流活动^[8]。但是, 目前对于此次特大暴雨的过程及其形成原因的认识依然不足。为此, 在分析罗霄山区资兴市地形特征基础之上, 首先利用降水和天气雷达数据分析了此次暴雨过程的时空特征, 并利用无线电探空资料和大气红外探测仪 AIRS(Atmospheric Infrared Sounder)大气廓线数据产品, 探索此次特大暴雨的成因。

1 研究区概况与研究资料

资兴市是湖南省郴州市下辖县级市, 地处湘东南罗霄山脉西麓、耒水上游, 地貌形态以山地为主, 地形整体东高西低, 境内八面山主峰海拔2 042 m, 为湖南省第二高山。资兴市境内东江水库的面积达160 km², 是湖南省最大的水库之一。东江水库地处湘江支流耒水上游的高中山峡谷区, 两岸高山环绕, 峰顶高程均在1 000~1 500 m 以上, 地势较高。水库地形封闭条件好, 其中库区中部低缓开阔的山间盆地构成良好的库盆腹地, 两岸发育有资兴江、清江、滁水和浙水等支流。

本研究中用于地形分析的 DEM 数据来源于日本经济产业省和美国航空航天局共同提供的30 m 水平分辨率的 ASTER GDEM(version2); 热带气旋碧利斯(Bilis)最佳路径来源于日本国立情报研究所(NII)的热带气旋数据库; 雷达反射率数据来源于

^{*} 收稿日期: 2018-12-05 修回日期: 2019-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41867071); 广西自然科学基金项目(2017GXNSFBA198160); 广西高校中青年教师基础能力提升项目(2017KY0597); 广西财经学院青年教师科研发展基金项目(2016QNB17)

第一作者简介: 邹毅(1983-), 男, 湖南资兴人, 副教授, 博士, 主要从事灾害风险评估与管理研究。E-mail: zouyi06@126.com

韶关市气象局 S 波段(波长 10 cm)多普勒天气雷达,其雷达天线海拔高 301.9 m, PPI(平面位置显示器)产品水平空间分辨率为 1 km, 时间分辨率约为 6 min。为避免山地地形对于雷达回波的干扰,本研究选择的雷达回波资料均为 1.5°仰角;雨量数据来源于资兴市境内及其周边的 21 个地面雨量计,其中方石、黄草、连坪、龙溪、清江、兴宁和资兴 7 个站位于资兴市境内;并利用距离资兴市最近的郴州站 2006 年 7 月 11–15 日的无线电探空资料,获取 K 指数、对流有效位能、对流抑制能量和强天气威胁指数以分析地区大气稳定度。

大气红外探测仪 AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) 是 EOS (Earth Observing System) 卫星 Aqua 搭载的仪器之一,也是目前国际上领先的超高光谱大气红外探测仪之一。AIRS 标准反演产品包括云和地表性质,以及反演得到的温度、水汽、臭氧、一氧化碳和甲烷的大气廓线。其中,大气温度廓线的垂直分辨率为 28 层(1 100 hPa ~ 0.1 hPa), 大气湿度廓线为 14 层(1 100 hPa ~ 50 hPa), 而 AIRS 红外通道光谱仪的星下点的覆盖区大约为 15 km × 15 km。本研究中采用戈达德地球科学数据和信息服务中心 (GES DISC) 提供的基于 AIRS + AMSU 两种数据标准物理反演得到的大气廓线物理参数二级产品(L2), 空间分辨率 50 km。目前,国内外已经有众多学者将 AIRS 反演得到的大气廓线产品应用于气象预报等研究领域^[9-11]。

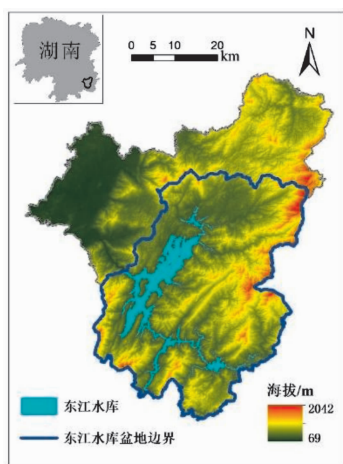


图1 湖南省资兴市地形

2 研究区暴雨过程特征

0604 号强热带风暴碧利斯 2006 年 7 月 9 日在西太平洋上生成,并于 7 月 14 日 12:45 在福建省宁德市霞浦登陆。碧利斯登陆后,其风暴中心向西北方向移动,取道福建的北部进入江西境内,

并于 15 日 15 时在江西西南部减弱为热带低压,而后缓慢向西北迁移消失。2006 年 7 月 14 日 21:00 左右,当碧利斯中心位于研究区以东约 400 km 之时(图 2),研究区内突然爆发了一次特大暴雨。

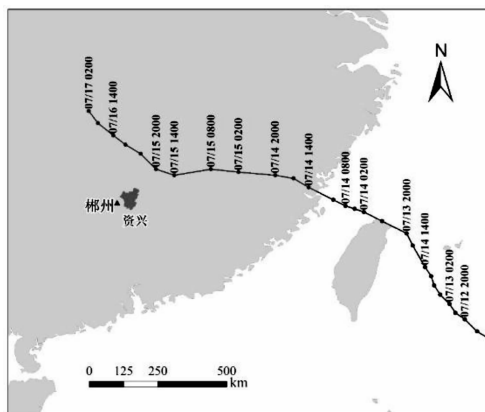
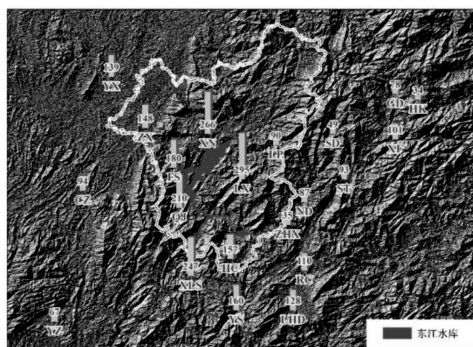


图2 碧利斯最佳路径

根据资兴市及周边地区共计 21 个雨量站 2006 年 7 月 14 日 20:00–15 日 08:00 的降水监测数据(图 3),可以发现资兴市境内东江水库周边的 12 h 累计降水量明显大于其他地区,其中库区的兴宁、龙溪两站降水达到特大暴雨级别,远高于周边地区,表明暴雨发生时的空间分布极不均匀,而 12 h 降水中心位于罗霄山区西部东江水库及其周边地区,表现出突发性、局地性和降水强度大的强对流天气特征。



CZ = 郴州; FS = 方石; GD = 桂东; HC = 黄草; HK = 寒口; LHD = 龙虎洞; LP = 连坪; LX = 龙溪; ND = 南洞; QJ = 清江; RC = 汝城; SD = 四都; ST = 沙田; XF = 新坊; XLS = 秀里山; XN = 兴宁; YS = 延寿; YX = 永兴; YZ = 宜章; ZHX = 樟溪; ZX = 资兴
图3 研究区 2006 年 7 月 14 日 20:00–15 日 08:00 各站 12 h 累计雨量

多普勒天气雷达技术的发展极大地改善了对中小尺度天气系统观察的时空分辨率^[12-14]。基于广东省韶关多普勒天气雷达的基本反射率资料,研究发现造成研究区异常降水的天气系统表现出明显多单体风暴的特征(图 4)。同时,雷达回波研究显示存在多个强对流单体连续经过同一地区的现象,在研究区内存在所谓的列车效应^[15],这很可能是造成研究区龙溪等地特大暴雨的重要原因。

基于韶关多普勒天气雷达 2006 年 7 月 14 日

20:00–15日08:00的累计反射率(图5)发现,研究区累计反射率呈现由南向北、由中心向两翼逐渐减弱的锥形空间分布形态。其中,累积反射率的高值中心位于水库南部。累积反射率分析显示,东江水库盆地是这一强对流活动发生发展的主要空间,与12h的台风暴雨落区呈现带状分布相符。

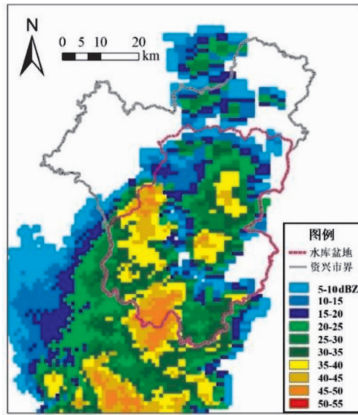


图4 2016年7月14日23:00研究区雷达回波(1.5°仰角)

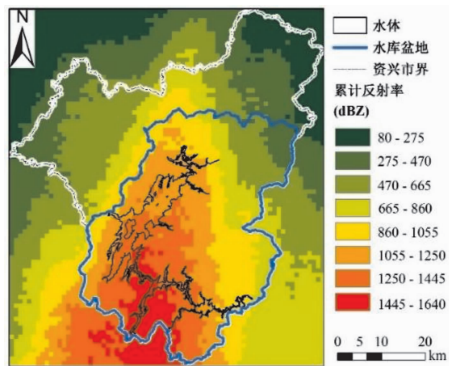


图5 2006年7月14日20:00–15日8:00 6-h 累计雷达反射率(1.5°仰角)

3 基于探空资料的大气不稳定度指数分析

大气不稳定度指数被广泛应用于分析强对流天气发生前的不稳定能量等条件^[16-17]。郴州站位于资兴市西南方向约30 km,是距离研究区最近的无线电探空站点。利用郴州站2006年7月11–15日的无线电探空资料计算得到了碧利斯登陆前后反映郴州地区大气的稳定度K指数、对流有效位能(CAPE)、对流抑制能量(CIN)和强天气威胁指数(SWEAT)4个大气不稳定度指数的变化过程,以探索此次特大暴雨的成因。

从图6中可见,在强对流天气爆发前的2006年7月14日20时,郴州站的K指数、CAPE和SWEAT指数处于较高状态,表明大气状态表现出明显的不稳定状态,而CIN数值较小,有利于对流活动;在强对流天气发生之后的7月15日,K指数、CAPE和SWEAT指数均有所下降,表现出

大气中不稳定能量部分释放,而CIN数值降低至接近0,表明阻碍对流的能量消失,不利于大气积蓄不稳定能量。

综合比较7月11–15日4个大气不稳定度指数的变化发现,SWEAT指数对7月14日夜间研究区发生的强对流天气的指示作用最佳,其曲线在强对流天气爆发前表现出显著的单峰值,峰值达到361,表明极可能有强雷暴出现,并且数值在此次强对流天气爆发后显著回落。虽然CAPE和K指数虽然也指示出强对流天气发生之前的大气的不稳定情况,但两者曲线表现出多峰形态,对研究区强对流天气的指示作用逊于SWEAT指数。这可能是由于SWEAT指数不仅指示不稳定能量大小,而且包含风速、风向切变等因素有关。

进一步研究发现,虽然郴州站位于研究区的西部且距离较近,但受到热带气旋外围气流的作用影响,郴州站探空气球无法深入资兴市境内,因此造成探空资料并无法真实反映资兴市当地的情况,特别是无法获知地形较为封闭的东江水库盆地内的大气状态,这也就造成了基于传统探空数据的大气不稳定度指数在此次暴雨预报中的可靠性不佳。

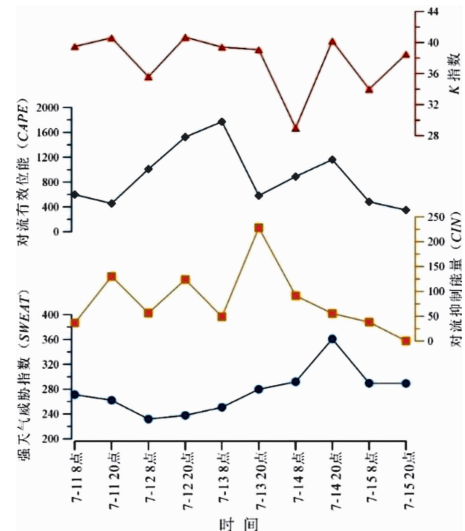


图6 郴州站2006年7月11–15日大气不稳定指数

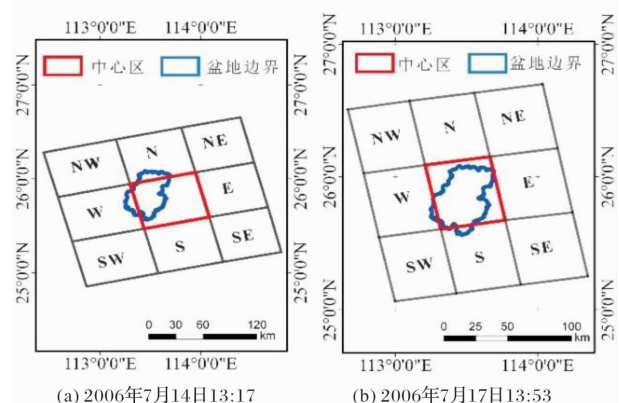


图7 2006年7月14日13:17和17日13:53 AIRS(L2)产品中东江水库盆地及其周边地区方位

4 基于 AIRS 的不稳定层结分析

无线电探空技术目前依然是获取大气层结曲线的主要手段,但是传统的无线电探空资料由于站台距离大、观测间隔时间较长等缺点,难以满足精细预报的需要。随着经济社会发展,对天气精细化预报的需求越来越强烈。尤其是在地形复杂多变的山区,往往因为缺少足够时空分辨率的无线电探空资料,难以获知当地的大气情况。为此,本研究选择基于 AIRS 二级标准温度产品,对研究区 7 月 14 日夜间接对流的前的大气层结进行探索研究。

表 1 基于 AIRS(L2)产品的 2006 年 7 月 14 日 13:17 和 17 日 13:53 东江水库盆地及其周边地区的大气温度,地面温度和地面气压

	2006 年 7 月 14 日 13:17			2006 年 7 月 17 日 13:53		
栅格方位	NW	N	NE	NW	N	NE
700 hPa 气温/K	287	287	286	284	284	281
850 hPa 气温/K	292	293	290	287	285	283
925 hPa 气温/K	295	299	295	289	288	292
地表温度/K	302	299	288	299	295	297
地面气压/hPa	969	930	918	981	967	924
栅格方位	W	中心区	E	W	中心区	E
700 hPa 气温/K	286	285	286	283	282	280
850 hPa 气温/K	292	293	300	285	282	281
925 hPa 气温/K	295	315	303	286	288	302
地表温度/K	300	299	304	299	293	295
地面气压/hPa	937	912	940	956	935	899
栅格方位	SW	S	SE	SW	S	SE
700 hPa 气温/K	288	286	287	281	281	282
850 hPa 气温/K	293	293	296	284	284	286
925 hPa 气温/K	299	301	300	286	289	288
地表温度/K	297	306	297	294	281	299
地面气压/hPa	936	934	955	948	930	941

表 1 为基于 AIRS 二级标准产品提取的 2006 年 7 月 14 日 13:17 和 17 日 13:53 研究区及其周边地区 925 hPa、850 hPa、700 hPa 的大气温度,地表温度和地面气压,而图 7a 和图 7b 分别指示了东江水库盆地在 AIRS 数据产品 3×3 栅格矩阵中的位置。研究发现 7 月 14 日 13:17 东江水库盆地 925 hPa 高度的大气温度大幅高于周边地区,形成一个明显的热异常区,但在 850 hPa 和 700 hPa 高度上研究区的大气温度异常不明显。这表示在强

对流活动爆发的 8 h 之前,东江水库盆地附近低层大气中可能已经存有大量不稳定能量,且在空间上异常集中。同时,地面气压数据显示,中心区的地面气压明显低于周边地区,形成一个地面气压异常区。更为重要的是,研究发现地表温度与 925 hPa 高度的气温之差达 -16 K,显示当地对流层低层存在局地强逆温现象,逆温现象强度远远强于周边地区。同时,研究发现 17 日 13:53 研究区 925 hPa 高度上的大气高温异常已经消失,并且研究区地面气压的低值异常也已消失,且地表温度与 925 hPa 高度的气温之差为 5 K,显示此时研究区大气低层的强逆温现象已消失。

复杂地形条件下,一个强对流将会在何时、何地生成是局地强对流天气研究与精细化预报的难点^[18]。国内外研究发现大气中的稳定层结有利于当地及上游的不稳定能量积累,是许多暴雨、雷暴等强对流天气前期的共同特征^[19]。基于 AIRS 数据产品发现,2006 年 7 月 14 日中午研究区内东江水库盆地局地存在的强逆温层有利于不稳定能量积累,为对流风暴的发生发展提供了有利能量条件。2006 年 7 月 14 日夜间的对流风暴很可能是由于碧利斯外围气流破坏研究区局地强逆温层,从而释放大量不稳定能量而造成的。

5 讨论与结论

本文主利用多种观测资料研究了 2006 年 7 月强热带风暴碧利斯登陆期间,发生于罗霄山区资兴市的一次特大暴雨的过程特征,并主要基于 AIRS 二级反演产品尝试揭示其形成的原因。主要结论如下:

(1)此次暴雨系统具有明显的多单体对流风暴特征,并在地处罗霄山区的东江水库盆地内形成所谓“列车效应”,造成资兴市境内局地降水强度远大于同期周边地区。

(2)基于 AIRS 反演的大气温度廓线产品显示在资兴市“714”对流风暴发生约 8 h 前,东江水库盆地低层大气存在局地强逆温层,形成本地增能效应,受到碧利斯外围气流影响后而释放大量不稳定能量,很可能是导致此次对流风暴的主要原因,但是局地强逆温层的形成机制仍然有待进一步探索。

(3)距离资兴市最近的郴州站探空资料受地形和大气环流影响,难以对此次大暴雨准确预报,而 AIRS 所提供的高时空分辨率大气温度廓线产品,作为传统探空资料的补充,可极大改善对于山区等地形复杂且缺少观测站点区域大气层结情况的监测,有助于复杂地形地区强对流活动的预

报和预警。

由于大气运动具有复杂性、非线性和多尺度特征,并受到复杂地形的影响,使得对流风暴的活动规律和形成原因十分复杂,因此有必要开展长时间积累多源观测资料,并在有条件时进行数值模拟实验,以揭示复杂地形环境影响下强对流天气系统的活动规律和形成原因。

致谢:本研究得到了 WMO 彭涛涌博士和南京信息工程大学魏鸣教授的指导,在此深表感谢。

参考文献:

- [1] 赵琳娜,白雪梅,邢程,等. 中国东南地区夏季台风小时降水概率分布特征[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 97-107.
- [2] 王然,连芳,余瀚,等. 基于孕灾环境的全球台风灾害链分类与区域特征分析[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 836-850.
- [3] 郭桂祯,赵飞,王丹丹. 基于脆弱性曲线的台风—洪涝灾害链房屋倒损评估方法研究[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 94-97.
- [4] Sobel A H, Camargo S J, Hall T M, et al. Human influence on tropical cyclone intensity[J]. Science, 2016, 353(6296): 242-246.
- [5] 陈联寿,孟智勇,丛春华. 台风暴雨落区研究综述[J]. 海洋气象学报, 2017, 37(4): 1-7.
- [6] 陈联寿,许映龙. 中国台风特大暴雨综述[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(1): 3-10.
- [7] 欧阳东. 资兴市 2006 年特大山洪灾害教训与反思[J]. 中国水利, 2013, (18): 12-13.
- [8] 邹毅,匡耀求. 东江水库对山区盆地大气强对流活动的影响[J]. 水电能源科学, 2016, 34(10): 1-4.
- [9] LI J, LIU C Y, ZHANG P, et al. Applications of full spatial resolution space-based advanced infrared soundings in the preconvective environment[J]. Weather & Forecasting, 2012, 27(2): 515-524.
- [10] 刘辉,寿亦萱,漆成莉. 高光谱大气红外探测仪(AIRS)反演大气不稳定度指数在强对流天气个例中的应用试验[J]. 气象, 2014, 40(6): 678-686.
- [11] 陈立,张杰,刘振元. 暴雨发生前 AIRS 卫星资料适用性检验研究[J]. 气象科学, 2015, 35(6): 710-719.
- [12] 俞小鼎,周小刚,王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [13] 梁维亮,黄荣. “威马逊”台前飊线天气背景成因和雷达预警方法[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 82-87.
- [14] 覃靖,潘海,刘蕾,等. 桂北地区强冰雹的雷达临近预警指标分析[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 159-164.
- [15] Doswell, C A, Brooks H E, Maddox R A. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology[J]. Weather and Forecasting, 1996, 11(4): 560-581.
- [16] 汪应琼,李芳,姜玉印,等. 湖北宜昌超级单体风暴发生的环境条件分析[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(1): 53-61.
- [17] 徐明,黄治勇,高琦. 2016 年 5 月 20 日广东信宜特大暴雨中尺度对流系统特征分析[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(1): 32-40.
- [18] 张文龙,崔晓鹏,黄荣. 复杂地形下北京雷暴新生地点变化的加密观测研究[J]. 大气科学, 2014, 38(5): 825-837.
- [19] 王秀明,俞小鼎,周小刚. 雷暴潜势预报中几个基本问题的讨论[J]. 气象, 2014, 40(4): 389-399.

Process and Cause of a Local Rainstorm Caused by Bilis in Luoxiao Mountain Area

ZOU Yi¹, WANG Dehui², YANG Ni¹ and KUANG Yaoqiu³

- (1. School of Management Science and Engineering, Guangxi University of Finance and Economics, Naning 530003, China; 2. School of Geography and Planning, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Using precipitation and Doppler weather radar data, we analyze the process of a heavy rainstorm occurred in Zixing City, Luoxiaoshan Mountains during the landfall of strong tropical storm Bilis on July 14, 2006. By comparing with traditional radio sounding data, we find the application value of AIRS data products of atmospheric infrared detector in the cause analysis of severe convective activity in mountainous areas. It is found that when the center of strong tropical storm Bilis is located about 400 km east of Zixing City, it triggered a convective storm in the Dongjiang Reservoir Basin of the study area, and formed the so-called train effect, resulting in local heavy rainstorm. However, the analysis of AIRS data indicated a strong inversion layer over the Dongjiang Reservoir basin about 8 hours before the occurrence of the convective storm. This research shows the instability of atmosphere which was released by Typhoon Bilis was an important cause of the intense convective storm.

Key words: typhoon; rainstorm; AIRS; thermal inversion layer; topography; BILIS