

基于 ERA-Interim 再分析资料的中国极端气温分析

高路^{1,2}, Karsten Schulz³, 陈兴伟^{1,2}, 林广发^{1,2}

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007;

2. 福建省陆地灾害监测评估工程技术研究中心, 福州 350007;

3. 奥地利维也纳农业大学 水资源与水利工程学院, 奥地利 维也纳 1190)

摘要: 采用中国陆域 1989 年-2009 年 3 小时 0.7° 格点的 ERA-Interim 地表 2 m 气温预报数据, 运用累积分布函数与分位数对研究区的极端低温和极端高温进行分析。结果表明: 东北、青藏高原及西北地区为极端低温的集聚区, 极端低温逐步沿西北-东南方向递增; 青藏高原为全国极端高温中的唯一冷中心, 西北盆地为最热中心; ERA-Interim 再分析资料能够较好地反映中国极端低温和极端高温空间分布规律, 整体上具有较好的可信度。结合分位数方法定量分析了极端气温的持续时间, 为极端气候事件的定量研究提供了方法借鉴。

关键词: 气候变化; 极端气温; 再分析资料; ECMWF; 累积分布函数; 分位数; 中国

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0075-04

Analysis of Extreme Temperatures in China Based on ERA-Interim Reanalysis Data

GAO Lu^{1,2}, Karsten Schulz³, CHEN Xingwei^{1,2}, LIN Guangfa^{1,2}

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters,

Fuzhou 350007, China; 3. Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering,

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna 1190, Austria)

Abstract: In this paper, the 3-hour and 0.7° grid temperature forecast data of 2 m above ground surface during the period of 1989 to 2009 derived from ERA-Interim reanalysis dataset were applied for the analysis of extremely low and high temperatures in China. Based on the cumulative distribution function and quantile function, the results indicated that the Northeast China, Tibetan Plateau, and Northwest China are the main extremely low-temperature areas, and the extremely low temperature rises along the northwest-southeast direction. Tibetan Plateau is the sole cold area with the extremely high temperatures, while the basins located in Northwest China are the warmest areas. ERA-Interim reanalysis data can represent the spatial distribution of extremely low/high temperature areas in China. The duration of extreme temperatures can be quantitatively analyzed using the quantile function, which provides reference for the quantitative analysis of extreme climate events.

Key words: climate change; extreme temperature; reanalysis data; ECMWF; cumulative distribution function; quantile; China

全球气候变化是国际社会长期关注的重大议题, 它所带来的负面影响如气温升高、海平面上升等已陆续被实验模拟或定位观测所证实^[1,2]。在此背景下, 近年来干旱、洪涝、冰雪灾害等极端气候事件及其次生灾害日益频繁, 如 2006 年重庆特大旱灾^[3]、2008 年南方低温雨雪冰冻灾害^[4]等, 对人民生命和财产安全造成了巨大威胁, 因此开展极端气候的研究对灾害风险评估^[5]有重要的实际意义。

气温是气候变化讨论的焦点, 极端气温又是表征气温变

化的重要特征, 因此极端气温的研究得到了众多学者的关注。秦大河等^[6]评估了中国气候与环境演变, 发现随着极端低温的上升, 气温日变化减少; 任福民等^[7]研究了极端气温的变率与趋势, 发现极端低温有增暖趋势, 且增幅大于极端高温; 赵军等^[8]利用城市气象站点分析了中国大陆极端低温、高温的时空变化趋势; 龚志强等^[9]运用动力学原理划分了气温变化特征区, 并讨论了特征区的气温变化趋势。总体来讲, 众多研究^[10-11]表明我国近几十年来的平均气温整体有

收稿日期: 2013-12-05 修回日期: 2014-01-09 网络出版时间: 2014-03-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.02.001.html>

基金项目: 福建省公益类项目(2013R04); 福建省科技厅产学研重大项目(2012Y4001); 欧洲中期气象预报中心(ECMWF)自主研究项目

作者简介: 高路(1983-), 男, 湖北当阳人, 助理研究员, 博士, 主要从事水文气象研究。E-mail: l.gao@foxmail.com

增暖趋势。

通常情况下,极端气温的研究依赖于传统的气象站点。气象站点的观测值可认为真实有效,但不足之处在于观测站点分布不均,尤其在西部高海拔地区更加覆盖不足,而插值方法具有较大的不确定性。再分析资料作为全球观测资料的替代品在过去 20 年里越来越受欢迎^[12-14]。它同化了数值天气预报和大量的地面观测数据与卫星遥感资料,具有时空分辨率精度高、时间跨度长等优点,因此在很多研究中,再分析数据被视为真实观测数据^[15]。虽然再分析数据作为数据同化的产品与真实观测值之间仍有误差,但对于大区域极端气温的分析影响不大。Simmons 等^[14]通过对比全球尺度的观测数据和再分析资料发现,在欧洲和亚洲区域两者的相关系数达到 0.997。目前为止,再分析数据主要由全球四家机构提供,即美国环境预测中心和大气研究中心(NCEP/NCAR)、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、美国宇航局和戈达德太空飞行中心(NASA/GSFC),以及日本气象局(JMA)。在过去的 20 年里,NCEP/NCAR 和 ERA-40 数据应用最为频繁^[16-17]。中国学者对再分析数据曾做了较多的研究,例如赵天保等^[18-19]对比了中国区域内 ERA-40 和 NCEP-2 再分析资料,发现两套再分析数据能够反映中国区域的气温场和降水场的时空分布特征,但是在中国西部,尤其是青藏高原地区,则偏差较大;邓小花等^[20]对比了几套再分析数据后发现在中国区域的各个再分析数据具有不同的优缺点。ERA-Interim 作为 ECMWF 第三代的再分析数据在 ERA-40 的基础上有了很大改进,空间分辨率提高到 0.75° 网格,另外在误差校正、四维变分方法等方面也有很大提升^[21-22]。但到目前为止,ERA-Interim 再分析资料的实用例子尚不多,中国案例也很少。本研究基于 ERA-Interim 再分析资料,运用累积分布函数和分位数对中国陆域 20 年的极端低温和极端高温进行空间特征分析,为中国极端气温的定量分析提供参考,同时为再分析资料在中国的应用提供实例借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究采用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)第三代再分析资料 ERA-Interim。ERA-Interim 提供了自 1989 年(已扩展至 1979 年)以来的再分析资料,并实时更新。相比于 ERA-40 数据同化模型,ERA-Interim 采用了四维变分分析(4 Dimensional Variation Analysis),并结合改进的湿度分析、卫星数据误差校正等技术,实现了再分析资料的质量提升,例如水文循环的表征、平流层环流以及误差校正和数据管理等。ERA-Interim 采用了综合预报系统(IFS)的 Cycle31r2 模型版本,该模型在垂直方向上包含 60 层,最高层到达 0.1 hPa,并采用光谱谐波分辨率 T255 作为分析基础,最后得到简化的高斯网格(N128)数据,该网格近似于 79 km (0.71°)的经纬度网格。ERA-Interim 提供每天四次的同化分析数据,分别在 00:00, 06:00, 12:00 和 18:00 UTC^[22-23]。除此之外,ERA-Interim 发布两套分别开始于 00:00 和 12:00 UTC,为期 10 d 每 3 h 的预报数据。两套预报数据基本一致。本文采用始于 00:00 UTC 的 3 h 的预报气温(2 m)数据,预报时间点为 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00,

21:00 和 24:00 UTC。时间序列为 1989 年 10 月至 2009 年 12 月。图 1 为中国陆域的 ERA-Interim 格点分布,共计 1 659 个。

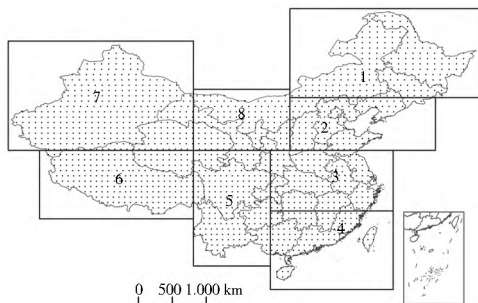


图 1 中国陆域 ERA-Interim 格点分布与区域划分
Fig. 1 Distribution and regionalization of ERA-Interim grid points in China

1.2 研究方法

本文采用累积分布函数(CDF)和分位数(Quantile)方法分析 ERA-Interim 再分析资料 2 m 气温在 1989 年-2009 年时间序列上的极端低温和极端高温。以往极端气温的分析常采用观测值的绝对极值,而这种方法往往受到异常值的干扰,甚至出现虚假的极端气候变化信号。而累积分布函数能够较完整描述气温场的概率分布。同时,分位数能够较好地反映累积函数的边缘分布。

设每个 ERA-Interim 格点的气温场累积分布函数为 $F(X)$, 密度函数为 $p(x)$ 。对任意 $0 < p < 1$ 的 p , 称 $F(X) = p$ 的 x 为此分布的分位数,即分位数是连续分布函数中的一个点,这个点对应概率 p 。本研究选取边缘分布的 0.1%、0.5%、1% 和 5% 分位数表征极端低温,95%、99%、99.5% 和 99.9% 代表极端高温,图 2 为累积分布与分位数示意图。根据时间序列的长度和时间步长可以得出极端气温的持续时间。例如,在时间序列内共有数据 59 176 个,那么气温低于 0.1% 分位数气温的持续时间每年少于 9 h,反之,气温高于 0.1% 分位数气温的持续时间每年也少于 9 h。表 1 为各极端气温分位数代表的持续时间。分别计算每个 ERA-Interim 格点时间序列上的累积分布函数和分位数,最后做最邻近点插值,得到极端气温的空间分布。为了更好地分析极端气温的区域特征,根据气候特点,将中国陆域划分为 8 个子区域(图 1)^[24],表 2 为区域区间。

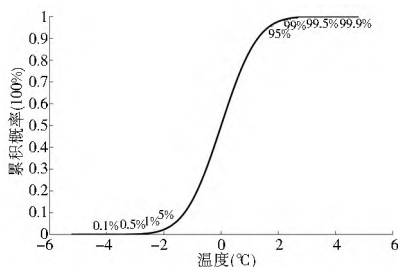


图 2 累积分布与分位数示意图

Fig. 2 Schematic diagram of CDF and Quantile function

表 1 各极端气温分位数的持续时间

| Table 1 Duration of each quantile value of extreme temperatures | | | | | | | | |
|---|------|------|-----|------|------|-----|-------|-------|
| 分位数 (%) | ≤0.1 | ≤0.5 | ≤1 | ≤5 | ≥95 | ≥99 | ≥99.5 | ≥99.9 |
| 时间/h | ≤9 | ≤45 | ≤90 | ≤450 | ≤450 | ≤90 | ≤45 | ≤9 |

表2 中国陆域分区

Table 2 Latitude and longitude boundaries of sub regions in China

| 区域编号 | 纬度区间(°N) | 经度区间(°E) | 区域名称 |
|------|-------------|---------------|--------|
| 1 | 42.25-54.75 | 110.25-135.25 | 东北地区 |
| 2 | 35.25-42.25 | 110.25-129.75 | 华北地区 |
| 3 | 27.25-35.25 | 107.25-122.75 | 江淮地区 |
| 4 | 15.75-27.25 | 107.25-122.75 | 华南地区 |
| 5 | 21.75-35.25 | 97.25-107.25 | 西南地区 |
| 6 | 26.75-35.25 | 77.25-97.25 | 青藏高原地区 |
| 7 | 35.25-49.75 | 72.25-97.25 | 西北西部地区 |
| 8 | 35.25-42.75 | 97.25-110.25 | 西北东部地区 |

2 结果分析与讨论

2.1 极端低温

图3展示了中国陆域极端低温的空间分布,4个分位数的气温范围在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,其高温区间略高于前人的研究结果^[25]。主要原因在于ERA-Interim的格点位势高度低于西部地区的海拔高度,导致预报值偏高。对比前人研究^[7,9,10],4个分位数较好反映了极端低温的空间分布规律,同时也体现了与地势、气候特征的关联性。受太阳辐射及地形海拔影响,东西部的极端气温差异较大。0.1%分位数的低温主要集中在东北、青藏高原及西北地区。相对温暖地区分布在华南、西南地区及四川盆地,尤其是海南岛及东南沿海。从0.5%到5%分位数,极端低温逐步沿西北-东南方向递增,这一规律也符合了我国的气温变化特点。塔里木盆地由于其特殊的地形和气候特征,形成了特殊的气温场,该地区的极端低温平均比周边地区高 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。与之相似,柴达木盆地也是一个温暖地区,但温差不如塔里木盆地明显。图3不仅反映了极端气温的空间分布,也定量表示了各个分位数代表的极端气温的持续时间,例如纬度最高的大兴安岭北部地区,0.1%的极端气温持续时间在每年9h左右,5%的极端气温持续时间在每年450h。

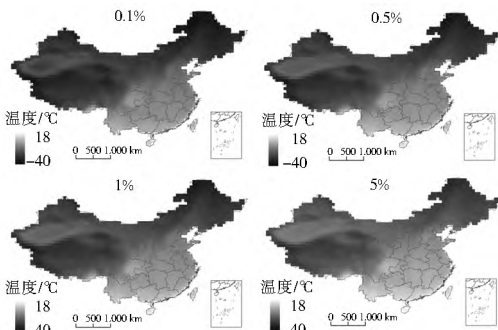


图3 中国陆域极端低温空间分布

Fig. 3 Extremely low temperature distribution for 0.1%, 0.5%, 1%, and 5% quantiles

2.2 极端高温

图4为中国陆域极端高温的空间分布,4个分位数也较好反映了极端高温的空间分布规律^[7,9,10],气温范围在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 42\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,低于前人的研究结果^[25],表明ERA-Interim数据在极端高温的模拟上偏冷。与前人研究结论相符的是,青藏高原成为全国极端高温中的唯一冷中心,塔里木盆地、吐鲁番

盆地和准噶尔盆地最热中心,说明ERA-Interim在空间分布规律上具有较好的可信性。西北地区东部、江淮地区、华南地区以及四川盆地为次暖中心。与极端低温相同,沿大兴安岭东缘和太行山脉形成一条明显的气温分界带。从99%到99.9%,极端高温的空间发展趋势无明显变化,但是增温幅度明显,尤其是四川盆地和江淮地区。除此之外青藏高原西部也有增暖趋势。图4也定量表示了各个分位数极端高温的持续时间。例如西北塔里木盆地核心区95%以上高温(约 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$)每年持续时间约达450h。

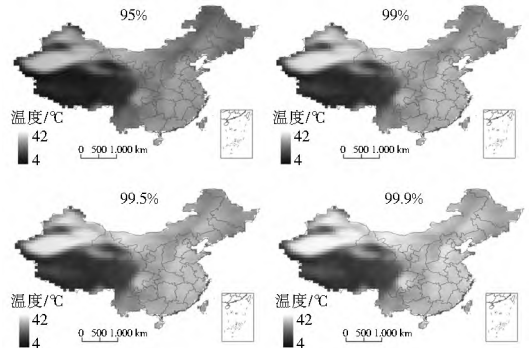


图4 中国陆域极端高温空间分布

Fig. 4 Extremely high temperature distribution for 95%, 99%, 99.5%, and 99.9% quantiles

图5分别对比了不同区域的平均极端低温和极端高温。区域1(东北地区)的0.1%和0.5%气温要低于区域6(青藏高原),而青藏高原的四个分位数极端高温均为全国最低,符合客观事实(全国极端高温中的唯一冷中心)。塔里木盆地所在的区域7极端高温略低于区域8。区域2和区域3,以华北和江淮地区为主,是传统的高温地区。极端低温与极端高温的最大差值(99.9%-0.1%)出现在区域1东北地区,达到 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其次是区域7和区域8,西北地区,温差分别达到 $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。说明华南和西南地区气温波动最小,东北、西北和华北气温变率较大(图6)。

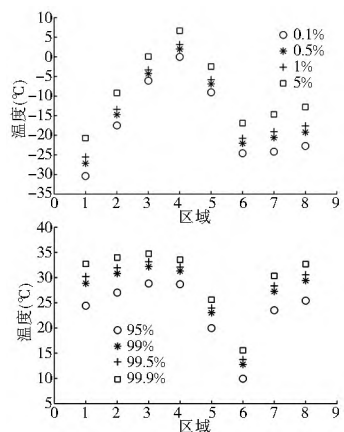


图5 区域平均极端低温和极端高温对比

Fig. 5 Comparison of average extremely low/high temperatures in eight sub regions

3 结论

(1) ERA-Interim再分析资料整体上能够较好地反映中国陆域的极端低温和极端高温分布规律,在大区域内具有较

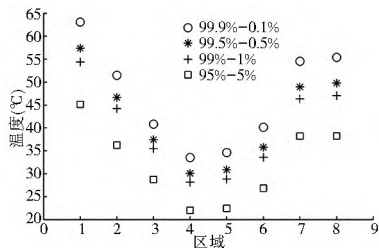


图 6 区域平均极端温差对比

Fig. 6 Comparison of average differences between extremely low and high temperatures in eight sub regions

好的可信度。但如果要应用到局地气候的研究中,则需要做进一步的适用性检验,尤其是在地形和气候条件复杂的区域。

(2) 通过累积分布函数和分位数的分析发现,东北、青藏高原及西北地区为极端低温集聚区,极端低温逐步沿西北-东南方向递增,而青藏高原为全国极端高温中的唯一冷中心,塔里木盆地、吐鲁番盆地和准噶尔盆地为最热中心。东北地区的极端高温与极端低温的温差最大,华南和西南地区气温波动最小,东北、西北和华北气温变率较大。该方法不仅能够定性的反映极端气温的空间分布规律,同时能定量的表示极端气温的持续时间。

气温分布的差异主要受地形、地貌、太阳辐射和季风活动等多种因素的共同影响,但不同区域各个因素的影响程度不同。由于再分析数据空间分辨率的限制,有些影响因子无法在更小尺度上体现出来,因此克服尺度差异是区域气候研究的关键问题。下一步的研究将针对局地气候的分析与应用,结合地面观测站点,验证再分析资料的区域适用性、分析气候变化的趋势以及实现空间分辨率的降尺度。

参考文献(References):

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report [M]. Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability [M]. Cambridge University Press, 2007.
- [3] 高路,陈思,周洪建,等.重庆市2006年特大旱灾分析与灾后恢复性研究[J].自然灾害学报,2008,17(1): 21-26. (GAO Lu, CHEN Si, ZHOU Hongjian, et al. Analysis of Drought Catastrophe in Chongqing in 2006 and Research on Post drought Resilience [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(1): 21-26. (in Chinese))
- [4] 王凌,高歌,张强,等.2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析Ⅰ.气候特征与影响评估[J].气象,2008,34(4): 95-100. (WANG Ling, GAO Ge, ZHANG Qiang, et al. Analysis of the Severe Cold Surge, Ice snow and Frozen Disasters in South China During January 2008: I. Climatic Features and Its Impact [J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(4): 95-100. (in Chinese))
- [5] 桑国庆.南水北调受水区干旱灾害风险评估方法探讨[J].南水北调与水利科技,2008,6(1): 14-17. (SANG Guoqing, Drought Risk Assessment in the South to North Water Transferred Areas [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(1): 14-17. (in Chinese))
- [6] 秦大河,丁一汇,苏纪兰,等.中国气候与环境演变评估(I):中

国气候与环境变化及未来趋势[J].气候变化研究进展,2005,1(1): 4-9. (QIN Dahe, DING Yi hui, SU Ji lan, et al. Assessment of Climate and Environment Changes in China (I): Climate and Environment Changes in China and Their Projection [J]. Advances in Climate Change Research, 2005, 1(1): 4-9. (in Chinese))

- [7] 任福民,翟盘茂.1951-1990年中国极端气温变化分析[J].大气科学,1998,22(2): 217-227. (REN Fu min, ZHAI Pan mao. Study on Changes of China's Extreme Temperatures During 1951-1990 [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1998, 22(2): 217-227. (in Chinese))
- [8] 赵军,师银芳,王大为,等.1961-2008年中国大陆极端气温时空变化分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(3): 52-56. (ZHAO Jun, SHI Yin fang, WANG Da wei, et al. Temporal and Spatial Changes of Extreme Temperatures in China During 1961-2008 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(3): 52-56. (in Chinese))
- [9] 龚志强,王晓娟,支蓉,等.中国近58年气温极端事件的区域特征及其与气候突变的联系[J].物理学报,2009,58(6): 4342-4353. (GONG Zhi qiang, WANG Xiao juan, ZHI Rong, et al. Regional Characteristics of Temperature Changes in China During the Past 58 Years and Its Probable Correlation with Abrupt Temperature Change [J]. Acta Physica Sinica, 2009, 58(6): 4342-4353. (in Chinese))
- [10] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近50年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6): 942-956. (REN Guo yu, GUO Jun, XU Ming zhi, et al. Climate Changes of China's Mainland Over the Past Half Century [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-956. (in Chinese))
- [11] 王遵亲,丁一汇,何金海,等.近50年来中国气候变化特征的再分析[J].气象学报,2004,62(2): 228-236. (WANG Zun qin, DING Yi hui, HE Jin hai, et al. An Updating Analysis of the Climate Change in China in Recent 50 Years [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese))
- [12] 谢潇,何金海,祁莉.4种再分析资料在中国区域的适用性研究进展[J].气象与环境学报,2011,27(5): 58-65. (XIE Xiao, HE Jin hai, QI Li. A Review on Applicability Evaluation of Four Reanalysis Datasets in China [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2011, 27(5): 58-65. (in Chinese))
- [13] Decker M, Brunke M A, Wang Z, et al. Evaluation of the Reanalysis Products From GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations [J]. Journal of Climate, 2012, 25(6): 1916-1944.
- [14] Simmons A J, Willett K M, Jones P D, et al. Low-frequency Variations in Surface Atmospheric Humidity, Temperature, and Precipitation: Inferences from Reanalyses and Monthly Gridded Observational Data Sets [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2010, 115.
- [15] 林壬萍,周天军,薛峰,等.NCEP/NCAR再分析资料所揭示的全球季风降水变化[J].大气科学,2012,36(5): 1027-1040. (LIN Ren ping, ZHOU Tian jun, XU Feng, et al. The Global Monsoon Variability Revealed by NCEP/NCAR Reanalysis Data [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2012, 36(5): 1027-1040. (in Chinese))

(下转第106页)

- 2010 Catastrophic Debris Flows in Sichuan Province: Characteristics, Genetic Mechanism and Suggestions [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18(5): 596-608. (in Chinese)
- [3] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. *山地学报*, 2010, 28(3): 341-349. (TANG Chuan. Activity Tendency Prediction of Rainfall Induced Landslides and Debris Flows in the Wenchuan Earthquake Areas[J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(3): 341-349. (in Chinese))
- [4] 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2010, 42(5): 10-19. (CUI Peng, ZHUANG Jian qi, CHEN Xing chang, et al. Characteristics and Countermeasures of Debris Flow in Wenchuan Area after the Earthquake[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2010, 42(5): 10-19. (in Chinese))
- [5] 马煜, 余斌, 吴雨夫, 等. 四川都江堰龙池“8·13”八一沟大型泥石流灾害研究[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2011, 43(增刊): 92-98. (MA Yu, YU Bin, WU Yufu, et al. Research on the Disaster of Debris Flow of Bayi Gully, Longchi, Dujiangyan, Sichuan on August 13, 2010 [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2011, 43(Supp): 92-98. (in Chinese))
- [6] CHUAN Tang, JING Zhu, MING Chang, et al. An Empirical Statistical Model for Predicting Debris Flow Runout Zones in the Wenchuan Earthquake Area [J]. *Quaternary International*, 2012, 250: 63-73.
- [7] CAINE N. Rainfall Intensity Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows [J]. *Geogr Ann*, 1980, 62: 23-27.
- [8] Jibson RW. Debris Flow in Southern Porto Rico [J]. *Geological Society of America*. 1989, 236: 29-55.
- [9] 余斌. 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 789-796. (YU Bin. Research on The Calculating Density by the Deposit of Debris Flows [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(5): 789-796. (in Chinese))
- [10] 马煜. 粘土矿物成份与泥石流屈服应力的关系研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011. (MA Yu. Research on the Calculating Density by the Deposit of Debris Flows [D]. Cheng du: Cheng du University of Technology 2011. (in Chinese))
- [11] 余斌. 不同容重的泥石流淤积厚度计算方法研究 [J]. *防灾减灾工程学报*, 2010, 30(2): 207-211. (YU Bin. Study on the Method for Deposition Depth Calculation of Debris Flow with Different Densities [J]. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering* 2010, 30(2): 207-211. (in Chinese))
- [12] 余斌. 粘性泥石流的平均运动速度研究 [J]. *地球科学进展*, 2008, 23(5): 524-532. (YU Bin. Study on the Mean Velocity of Viscous Debris Flows [J]. *Advances in Earth Science*. 2008, 23(5): 524-532. (in Chinese))
- [13] 唐川, 朱静. GIS支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究 [J]. *地震研究*, 2001, 24(1): 73-81. (TANG Chuan, ZHU Jing. GIS Based Earthquake Triggered Landslide Hazard Prediction [J]. *Journal of Seismological Research*, 2001, 24(1): 73-81. (in Chinese))

(上接第78页)

- [16] Charles S P, Bates B C, Smith I N, et al. Statistical Downscaling of Daily Precipitation from Observed and Modelled Atmospheric Fields [J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18(8): 1373-1394.
- [17] Friederichs P, Hense A. Statistical Downscaling of Extreme Precipitation Events Using Censored Quantile Regression [J]. *Monthly Weather Review*, 2007, 135(6): 2365-2378.
- [18] 赵天保, 符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析 [J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(1): 14-32. (ZHAO Tian bao, FU Cong bin. Preliminary Comparison and Analysis between ERA-40, NCEP-2 Reanalysis and Observations over China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(1): 14-32. (in Chinese))
- [19] 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展 [J]. *地球科学进展*, 2010, 25(3): 242-254. (ZHAO Tian bao, FU Cong bin, KE Zong jian, et al. Global Atmosphere Reanalysis Datasets: Current Status and Recent Advances [J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(3): 242-254. (in Chinese))
- [20] 邓小花, 翟盘茂, 袁春红. 国外几套再分析资料的对比与分析 [J]. *气象科技*, 2010, 38(1): 1-8. (DENG Xiaohua, ZHAI Panmao, YUAN Chunhong. Comparative Analysis of NCEP/NCAR, ECMWF and JMA Reanalysis [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(1): 1-8. (in Chinese))
- [21] Dee D P, Uppala S M. Variational Bias Correction of Satellite Radiance Data in the ERA-Interim Reanalysis [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2009, 135(644): 1830-1841.
- [22] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2011, 137(656): 553-597.
- [23] Uppala S, Dee D, Kobayashi S, et al. Towards A Climate Data Assimilation System: Status Update of ERA-Interim [J]. *ECMWF Newsletter*, 2008, 115.
- [24] Shi X, Xu X. Regional Characteristics of the Interdecadal Turning of Winter/summer Climate Modes in Chinese Mainland [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(1): 10F-112.
- [25] 潘晓华, 翟盘茂. 气温极端值的选取与分析 [J]. *气象*, 2002, 28(10): 28-31. (PAN Xiaohua, ZHAI Panmao. Analysis of Surface Air Temperature Extremum [J]. *Meteorological Monthly*, 2002, 28(10): 28-31. (in Chinese))