

傅云飞,刘鹏,林锦冰,等.星载测雨雷达探测的中国南部雨季对流性暴雨频次分析[J].暴雨灾害,2011,30(1):1-5

星载测雨雷达探测的中国南部雨季对流性暴雨频次分析

傅云飞^{1,2},刘鹏¹,林锦冰¹,衡志炜¹

(1.中国科学技术大学地球和空间科学学院,合肥 230026;2.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘要:利用星载测雨雷达1998—2007年10年观测结果,对雨季我国南部(35°N以南地区)对流性暴雨、大暴雨、特大暴雨频次及其占局地总降水比例进行了研究。结果表明,暴雨主要分布于两广至云贵高原东部,其频次大于1.2%,最大可超过1.8%;大暴雨主要出现在广东西部至云贵高原东南、福建与江西交界附近、大别山西南侧、江淮至黄淮东部,其频次大于0.06%;特大暴雨主要位于两广交界经两湖盆地东部、大别山西侧至江淮之间和黄淮东部,大体呈东北—西南向带状分布,其频次大于0.015%;主要暴雨区暴雨对局地总降水的贡献可达25%以上,主要大暴雨区其雨量对局地总降水的贡献大于5%,主要特大暴雨区其雨量对局地总降水量的贡献多达1%~3%。

关键词:暴雨频次;星载测雨雷达;雨季

中图分类号:P458.1*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)01-0001-05

Analysis on Frequency of Convective Storm Rain in Rainy Season Over Southern China Based on Measurements by TRMM Precipitation Radar

FU Yunfei^{1,2}, LIU Peng¹, LIN Jinbing¹, HENG Zhiwei¹

(1.School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026;

2.Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: The frequency of storm rain, heavy storm rain and extra storm rain in convective systems and their contributions to total rainfall in rainy season over Southern China (south of 35°N) are investigated based on measurements by TRMM Precipitation radar (PR) from 1998 to 2007. The results indicate that storm rain occurred mainly over Guangdong and Guangxi provinces and the east part of Yunnan-Guizhou Plateau, and its occurring frequency was more than 1.2%, and the maximum frequency may be over 1.8%. Heavy storm rain appeared mainly over the west part of Guangdong, southeast Yunnan-Guizhou Plateau, near the junction area between Fujian and Jiangxi provinces, the southwest side of Dabie Mountains and area from Jianghuai to eastern Huanghuai. The frequency of heavy storm rain over these regions exceeded 0.06%. Extra storm rain with over 0.015% frequency occurred mainly over the junction area between Guangdong and Guangxi provinces, the eastern basin of Hubei and Hunan provinces, the west side of Dabie Mountains, Jianghuai Region and eastern Huang-huai Region, which the distribution of the Extra storm rain area presented a northeast-southwest direction. Statistically, contributions of storm rain, heavy storm rain and extra storm rain in convective systems to total amount of precipitation were over 25%, 5% and from 1% to 3% respectively.

Key words: Frequency of rainstorm; TRMM PR; Rainy season

1 引言

根据我国气象业务部门的定义,暴雨是指地面测站雨量计观测的日降水量 ≥ 50 mm的降水。据此,我国学者对暴雨进行了大量研究,其原因是我国历史上多数洪涝灾害由暴雨产生,并由此而造成巨大经济损

失和人员伤亡。我国暴雨研究主要基于地面观测和卫星遥感,从天气气候诊断分析、中小尺度动力学及数值模式模拟等方面展开。如陶诗言等^[1-2]给出了暴雨发生的大尺度环流背景及造成暴雨的天气系统特点,并指出了暴雨及强对流发生的条件。丁一汇等^[3]从天气学角度给出了有利于暴雨发生发展的高空和低空流

收稿日期:2011-01-05;修订日期:2011-02-10

资助项目:国家自然科学基金重点项目(40730950)、国家重点基础研究发展计划(2010CB428601),中科院科技创新项目(KZCX2-YW-Q11-04、KJCX2-YW-N25),国家公益性行业支撑项目(GYHY200906002),国家科技基础性工作专项(2007FY110700)

第一作者:傅云飞,男,1961年生,教授,主要从事卫星遥感资料分析处理、反演及其应用研究。E-mail: fuf@ustc.edu.cn

场配置及其相互作用关系。有关暴雨和特大暴雨数值模拟研究表明^[4-6],地形对暴雨形成和发展起着十分重要的动力作用。有关诊断分析结果表明^[7-8],一些暴雨过程中对流层中低层持续的低涡和切变线系统控制下,充分的水汽输送和对流性不稳定是造成强降水的重要因素之一。孙淑清等^[9]还对我国暴雨中尺度动力分析研究进行了总结,指出以往常用的数值模拟、能量转换收支分析、涡度、散度、涡度收支、涡度平流、温度平流、各种不稳定指数等的诊断,仍是暴雨中尺度动力分析的主要手段。此外,利用地面测站雨量计长时间观测结果,一些学者从气候学角度,研究了我国暴雨分布地区性气候特征^[10-12]。另外,利用星载测雨雷达探测结果,学者们对暴雨降水结构、暴雨闪电等特点做了分析研究^[13-16]。形成暴雨的原因虽多,但由于暴雨与地形地貌关系密切,这就决定了暴雨具有一定的地域性,而其地域性特点也在一定程度上决定了暴雨出现概率(暴雨频次)。目前,因地面测站分布密度的有限或新布测站观测时间长度有限,对暴雨频次区域性特点认识也十分有限。因此,本文利用热带测雨卫星(Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM)上搭载的测雨雷达(Precipitation Radar, PR)10年观测结果,分析研究我国南部(35°N 以南地区)雨季暴雨频次的区域性特点,以期为进一步研究暴雨频次、暴雨结构与地形关系奠定基础。

2 资料说明与处理

本文使用的 TRMM PR 标准资料(2A25),由美国航空航天局(NASA)戈达德飞行中心(GSFC)提供。TRMM 卫星是一颗极轨卫星,于 1997 年 11 月 27 日升空,其轨道倾角约 35°,飞行高度为 350 km(2001 年 8 月 7 日后改为 400 km),环绕周期约 96 min,每天在 38°S 至 38°N 之间约有 16 条轨道。逐轨资料 2A25 是利用 PR 探测(扫描宽度约 220 km)回波反演而得到的降水率($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$),其水平分辨率为 4.3 km(星下点),垂直分辨率为 250 m(星下点),垂直探测高度自地表至 20 km 高。根据 PR 反演雨型算法^[17-18],2A25 还提供了降水类型信息,降水分为对流降水、层云降水和其它类型降水。即:如果 PR 回波在冻结层出现亮带,则该降水类型为层云降水;如果 PR 回波无亮带,但回波中一旦出现超过 39 dBz 信号,该降水类型则定义为对流降水;非上述两种情况的降水定义为其它类型降水,多为积雨云云砧^[19]。由于本研究针对的是强降水,故对层云降水和其它类型降水不予讨论。作为参考,本文还用到了中国气象局发布的地面测站雨量计逐日降水观测资料,时间长度为 1998—2005 年。

对文中用到的 1998—2007 年 5—8 月(大约对应我国大部分地区的雨季)2A25 资料,由于 2A25 是轨道级资料,作暴雨频次统计时,在 0.5°空间分辨率上进行计算处理;又由于 2A25 给出的雨强为 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (PR 瞬时扫描反演得到的降水率),不同于雨量计观测的暴雨定义。为此,本文将 2A25 给出的强降水分为三类,即:暴雨(雨强 $\geq 10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,同时 $< 25 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$),大暴雨(雨强 $\geq 25 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,同时 $< 50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$),特大暴雨(雨强 $\geq 50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$)。有必要说明的是,本文所指三类暴雨是依据 PR 瞬间探测结果而定义,它与雨量计暴雨的定义有所不同;这三类暴雨由对流降水所产生,因为根据 PR 降水类型算法,层云瞬间雨强达不到本文定义的暴雨标准。故此,本文定义三类暴雨均由对流降水造成,即为对流性暴雨(以下简称暴雨)。图 1 给出 1998—2007 年 10 年雨季 PR 探测的我国南部降水强度概率密度分布(PDF)。从中可见,三类暴雨数量分别占对流降水数量的 32.5%、4.6%和 0.6%。

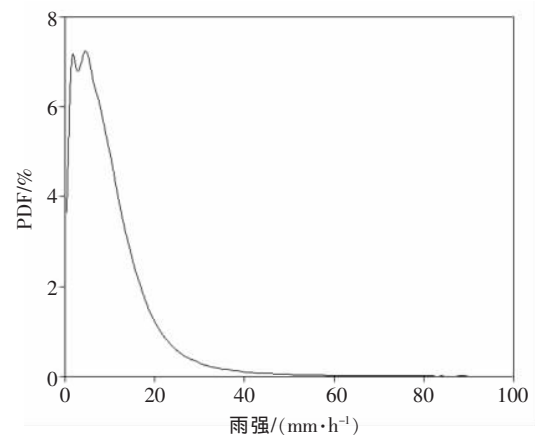


图 1 1998—2007 年雨季中国 35°N 以南地区对流降水雨强概率密度分布(PDF)图

图 2 是 PR 探测的中国南部三类降水强度样本数占对流降水样本数比例分布。从中可看到,我国南部多数地区暴雨占对流降水比例为 30%~40%(图 2a),江淮至黄淮之间比例可达 40%左右,属暴雨出现较多区域;我国南部大暴雨比例多不足 6%,江淮至黄淮之间仍属大暴雨出现较多区域(图 2b),比例达 8%左右;我国南部特大暴雨所占比例多在 0.5%~1.5%之间(图 2c),其中长江中下游、江淮之间比例较高,超过 1.5%。总之,大暴雨和特大暴雨出现比例较少,符合对暴雨规律性的已有认识。

本文讨论的某一类型暴雨频次是指 1998—2007 年 10 年雨季(资料时间长度内)0.5°格点内该类型暴雨出现的概率,定义为格点内 PR 探测该类型暴雨 10 年雨季出现的次数与 PR 总探测次数(有降水和无降水次数之和)之比^[20]。对于站点雨量计资料,暴雨频次定

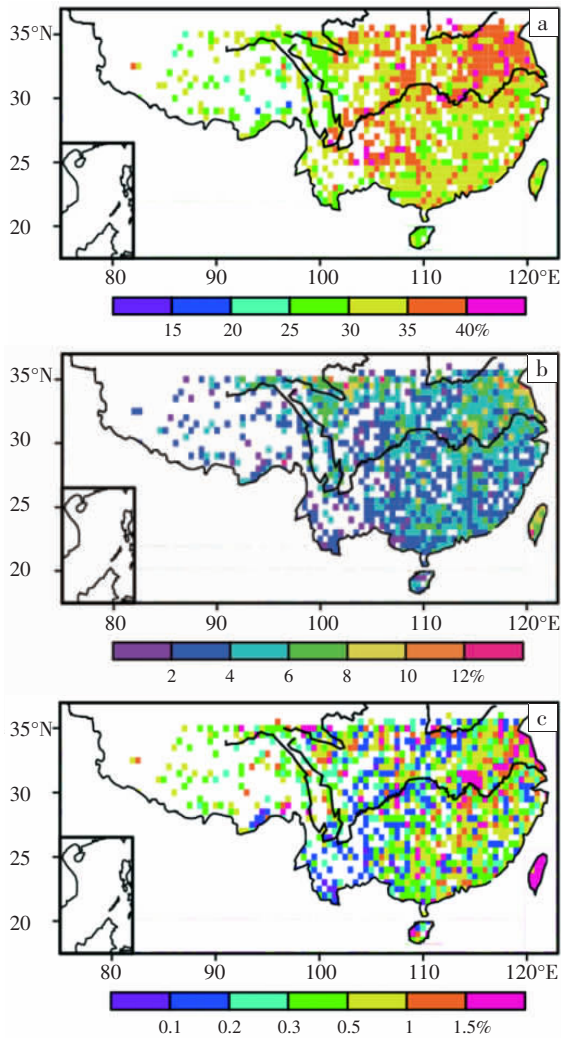


图 2 1998—2007 年雨季中国南部暴雨(a)、大暴雨(b)、特大暴雨(c)样本数占对流降水样本数比例分布图
义为测站出现暴雨天数与总观测天数之比。

3 结果与分析

3.1 三类暴雨频次的地域分布特征

为了对我国南部地区暴雨频次取得初步认识,首先,利用该地区约 450 个地面测站 1998—2005 年雨量计雨量观测结果,计算日降水强度 25.0~49.9 mm·d⁻¹ (大雨)和大于等于 50.0 mm·d⁻¹(暴雨)的频次分布(图 3)。结果表明,我国南部中等强度降水的频次遵从自南(东南)向北(西北)递减的分布规律(图 3a),其中大于 7% 的频次主要出现在福建北部、广东和广西、云贵高原至青藏高原东侧;长江流域两侧中等强度降水频次约 5%~6%;江淮以北其频次小于 5%。暴雨频次分布无中等强度降水频次分布具有规律性(图 3b),大于 4% 的暴雨频次主要出现在 30°N 以南、105°E 以东地区,主要位于福建北部至江西省东北部、川东至湘西、广东、云贵高原东部;沿江和江淮之间暴雨频次小于 4%。由于对雨量计资料收集不全,利用雨量计计算的暴雨频次

结果还有待于进一步完善。

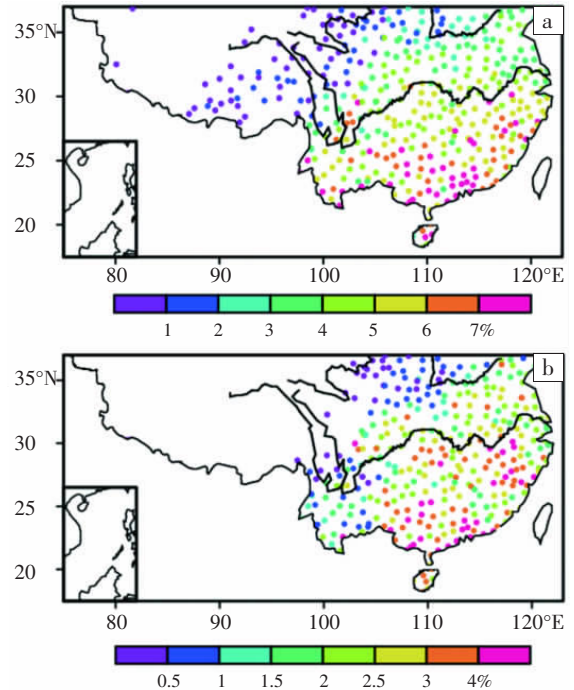
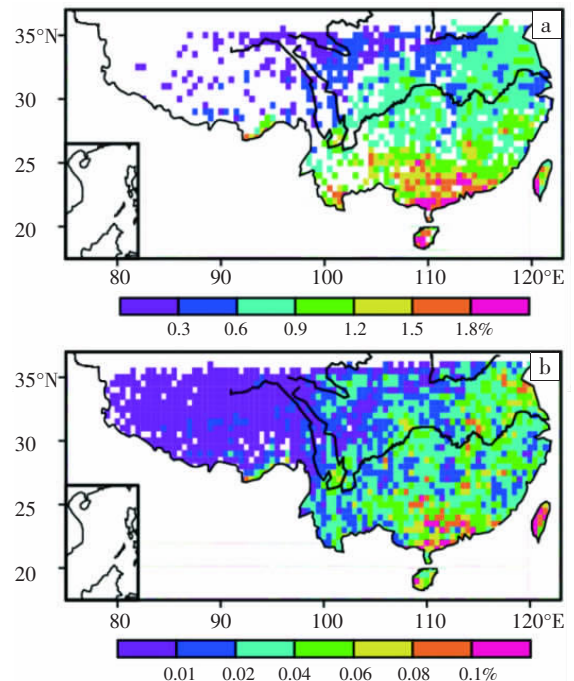


图 3 由 1998—2005 年中国南部约 490 个地面站雨量计资料计算得到的降水频次分布图
(a) 降水强度介于 25~50 mm·d⁻¹;(b) 降水强度大于 50 mm·d⁻¹

相对地面站雨量计点观测,TRMM PR 对降水是面扫描式探测,其反演给出的是瞬时面降水强度,因此这与雨量计给出的日累积降水强度不同。根据本文暴雨定义,图 4 给出 PR 探测的我国南部雨季暴雨、大暴雨和特大暴雨频次分布。

从图 4a 中可见,我国南部暴雨频次也基本遵从自南(东南)向北(西北)递减的分布规律,暴雨频次高值区



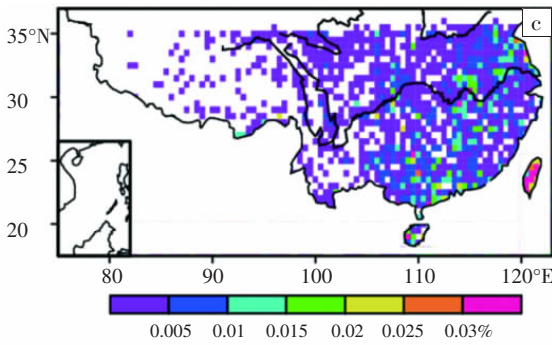


图 4 1998—2007 年 10 年雨季中国南部暴雨(a)、大暴雨(b)和特大暴雨(c)频次分布图

主要分布于广东、广西和云贵高原东部(与雨量计结果基本一致),其频次大于 1.2%,最大超过 1.8%(比雨量计结果小 100%)。雨量计结果显示的福建北部至安徽南部、川东至湘西的暴雨高频次区(图 3c),在图 4a 上并未表现出明显的高值区,PR 给出的频次为 1.0%左右,为相对次高值区;沿江和江淮的大部分地区暴雨频次在 0.6%~0.9%之间;海南岛和台湾岛的暴雨频次也相当高,频次高于 1.5%。总体上,PR 给出的暴雨频次分布与雨量计结果相近,但两者大小存在差异。

从图 4b 中可见,我国南部存在四个大暴雨高频次区(按频次大于 0.06 %计算);广东西部至云贵高原东南、福建与江西交界附近、大别山西南侧、江淮至黄淮东部;海南岛西部、台湾岛靠大陆一侧也是大暴雨高

频次区(按频次大于 0.1%计算);其它地区大暴雨频次小于 0.06%。

从图 4c 中可见,特大暴雨高频次(大于 0.015%)区主要位于两广交界经两湖盆地东部、大别山西南侧至江淮之间和黄淮东部,大体上呈东北—西南向带状分布;这一带状位置恰好位于夏季西太平洋副热带高压脊线西侧和西南侧,西南和东南暖湿气流带来充沛水汽,为特大暴雨形成提供了有利条件。此外,我国台湾岛上特大暴雨频次可达 0.03%,为特大暴雨频次最大区域。

3.2 三类暴雨的降水率空间出现比例

为了说明三类暴雨的降水率空间出现比例,图 5 给出对三类暴雨的不同平均降水率所占格点数与该类降水所占的总格点数之比的统计结果。从中可见,我国南部平均强度为 14~16 mm·h⁻¹ 暴雨降水的空间比例达 90%左右(图 5a),说明我国南部暴雨出现时,绝大部分地区暴雨的降水强度为 14~16 mm·h⁻¹;平均强度为 30~34 mm·h⁻¹ 大暴雨降水的空间出现比例为 75%(图 5b),即多数地区发生大暴雨时,其降水强度为 30~34 mm·h⁻¹;特大暴雨发生时(图 5c),其平均强度多为 55~70 mm·h⁻¹(占空间比例的 63%),平均强度大于 70 mm·h⁻¹ 特大暴雨的空间出现概率在 20%以下。图 4c 和图 5c 均说明,暴雨强度越大,其时间概率越小、空间比例也越小。

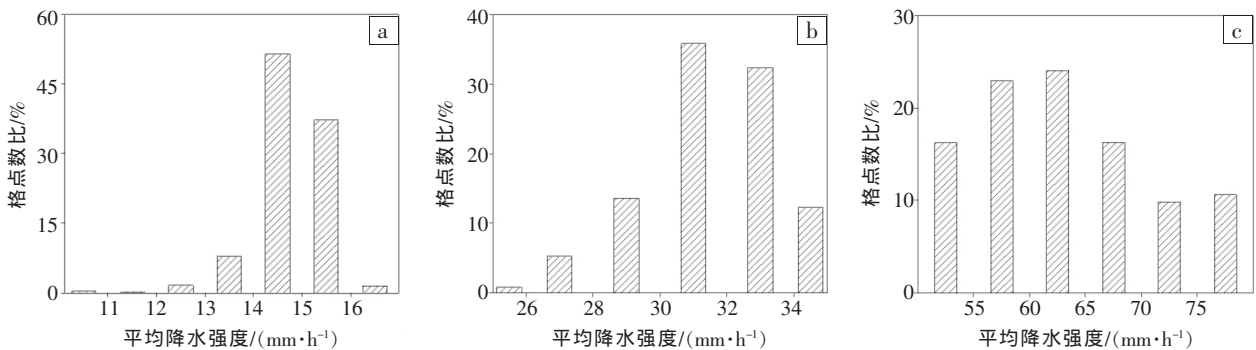


图 5 1998—2007 年 10 年雨季中国南部不同平均降水强度的格点数占总格点数比例
平均强度: (a) 14~16 mm·h⁻¹; (b) 30~34 mm·h⁻¹; (c) 55~70 mm·h⁻¹, >70 mm·h⁻¹

3.3 主要暴雨区暴雨对局地总降水的贡献

三类暴雨出现频次不同,对局地总降水量的贡献也就存在差异。图 6 给出 1998—2007 年 10 年雨季我国南部三类暴雨各自对总降水量之比的分布。从中可见,我国 100°E 以东、35°N 以南地区暴雨雨量对总降水量的贡献多达 20%以上(图 6a),其中两广至云贵高原及青藏高原东侧、江淮至黄淮地区的暴雨雨量对局地总降水的贡献可达 25%以上,其它地区暴雨雨量占总降水量的比例在 15%~20%之间。我国南部大暴雨雨量占总降水量的比例多在 3%~10%之间(图 6b),其中比例大于 5%的地区主要位于两广至云贵高原东

部、福建与江西交界附近、大别山西南侧、江淮至黄淮、沿长江两侧;此外在川陕交界地区,大暴雨雨量对总降水量的贡献也在 5%以上。特大暴雨因出现频次低,占局地总降水量的比例较小(图 6c),对应图 4c 特大暴雨高频带状区域,其对局地总降水量的贡献多在 1%~3%之间,其中江淮和黄淮地区的贡献超过 3%。

4 结论

本文利用 TRMM 卫星搭载的 PR 1998—2007 年 10 年的观测结果,对我国南部雨季暴雨、大暴雨、特大暴雨频次的区域性特点及其对局地总降水量的贡献

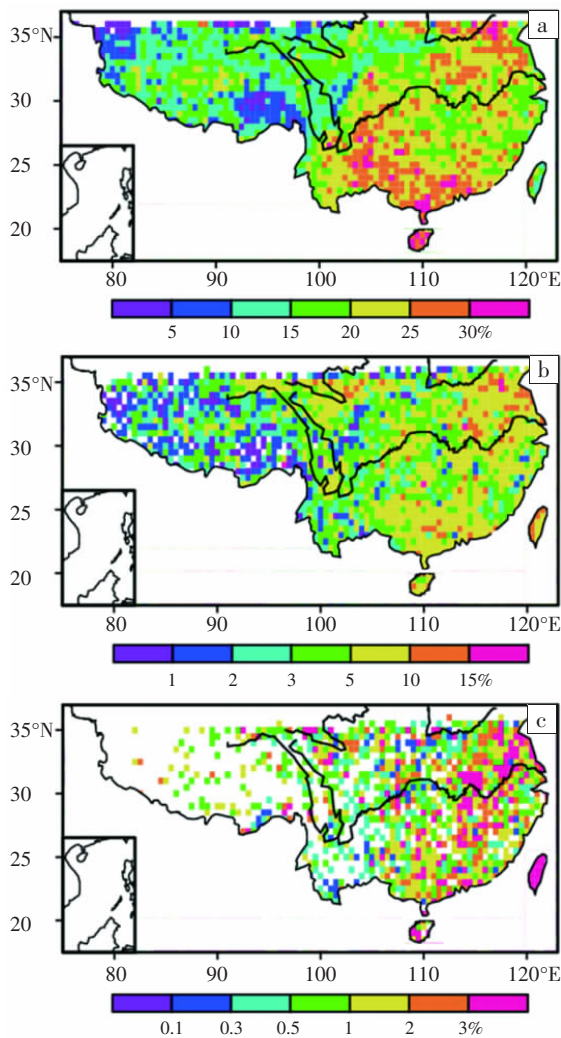


图 6 1998—2007 年 10 年雨季中国南部暴雨(a)、大暴雨(b)、特大暴雨(c)降水量占总降水量比例分布图

进行了分析。得到如下几点结论:

(1) 我国南部暴雨主要分布于两广至云贵高原东部,其频次大于 1.2%,最大超过 1.8%;我国大暴雨主要出现在广东西部至云贵高原东南、福建与江西交界附近、大别山西南侧、江淮至黄淮东部,其频次大于 0.06%;特大暴雨主要位于两广交界经两湖盆地东部、大别山西侧至江淮之间和黄淮东部,大体上呈东北—西南向带状分布,其频次大于 0.015%。

(2) 我国南部暴雨出现时,约 90%的地区降水强度为 14~16 mm·h⁻¹;大暴雨出现时,约 75%地区降水强度为 30~34 mm·h⁻¹;特大暴雨出现时,约 60%地区降水强度为 55~70 mm·h⁻¹,不足 20%地区降水强度大于 70 mm·h⁻¹。说明暴雨强度越大,其面积越小。

(3) 两广至云贵高原及青藏高原东侧、江淮至黄淮地区暴雨雨量对局地总降水的贡献达 25%以上,其它地区暴雨雨量占总降水量的比例在 15%~20%之间;两广至云贵高原东部、福建与江西交界附近、大别

山西南侧、江淮至黄淮、沿长江两侧大暴雨雨量占总降水量的比例大于 5%;特大暴雨对局地总降水量的贡献多在 1%~3%之间,其中江淮和黄淮地区其贡献超过 3%。

日本国家空间发展署(JAXA)地球观测研究中心(EORC)和美国航空航天局(NASA)戈达德空间飞行中心(GSFC)为本研究提供了 PR 资料,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 陶诗言,方宗义,蔡则怡,等.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:225.
- [2] 陶诗言,丁一汇,周晓平.暴雨和强对流天气的研究[J].大气科学,1979,3(3):227-238.
- [3] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性大暴雨的研究[M].北京:气象出版社,1993:255.
- [4] 孙键,赵平,周秀骥.一次华南暴雨中尺度结构及复杂地形的影响[J].气象学报,2002,60(3):333-341.
- [5] 崔春光,闵爱荣,胡伯威.中尺度地形对“98.7”鄂东沿江特大暴雨的动力作用[J].气象学报,2002,60(5):602-612.
- [6] 王晓芳,胡伯威.地形对 0604 号“碧利斯”登陆台风暴雨的影响[J].暴雨灾害,2007,26(2):97-102.
- [7] 赵思雄,孙建华,陈红,等.1998 年 7 月长江流域大洪水期间暴雨特征的分析研究[J].气候与环境研究,1998,3(4):81-94.
- [8] 贝耐芳,赵思雄.1998 年“二度梅”期间突发强暴雨系统的中尺度分析[J].大气科学,2002,26(4):526-540.
- [9] 孙淑清,周玉淑.近年来我国暴雨中尺度动力分析研究进展[J].大气科学,2007,31(6):1171-1188.
- [10] 鲍名,黄荣辉.近 40 年我国暴雨的年代际变化特征[J].大气科学,2006,30(6):1057-1067.
- [11] 符娇兰,林祥,钱维宏.中国夏季分级雨日的时空特征[J].热带气象学报,2008,24(4):367-373.
- [12] 朱育峰,钱永甫,宁亮,等.长江下游地区汛期暴雨气候特征[J].热带气象学报,2008,24(2):136-146.
- [13] 傅云飞,宇如聪,崔春光,等.基于热带测雨卫星探测的东亚降水云结构特征的研究[J].暴雨灾害,2007,26(1):9-20.
- [14] 傅云飞,冯静夷,朱红芳,等.西太平洋副热带高压下热对流降水结构特征的个例分析[J].气象学报,2005,63(5):750-761.
- [15] 李德俊,李跃清,柳草,等.利用 TRMM 卫星资料对“07.7”川南特大暴雨的诊断研究[J].暴雨灾害,2009,28(3):111-116.
- [16] 郑媛媛,傅云飞,刘勇,等.热带降水测量卫星对淮河一次暴雨降水结构与闪电活动的研究[J].气象学报,2004,62(6):790-802.
- [17] Awaka J, Iguchi T, Okamoto K. Early results on rain type classification by the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) precipitation radar [G]. Pro 8th URSI commission F Open Symp, Averbior, Portugal, 1998: 134-146.
- [18] Steiner M, Houze Jr R A, Yuter S E. Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data [J]. J Appl Meteor, 1995, 34: 1978-2007.
- [19] 傅云飞,冯沙,刘鹏,等.热带测雨卫星测雨雷达探测的亚洲夏季积雨云云砧[J].气象学报,2010,68(2):195-206.
- [20] 傅云飞,张爱民,刘勇,等.基于星载测雨雷达探测的亚洲对流和层云降水季尺度特征分析[J].气象学报,2008,66(5):730-746.