

夏季青藏高原上的对流云 和中尺度对流系统^{*}

江吉喜 范梅珠

P4 A

(中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要 运用1998年6~8月逐日逐时日本地球静止气象卫星(GMS)红外辐射亮温资料, 计算和分析了青藏高原及周边地区对流云和中尺度对流系统的活动, 揭示了它们形成和发展的月际变化和地理分布、强度、日变化、移动和传播等诸多特征, 以及与长江流域暴雨过程的关系。

关键词: 青藏高原; 对流云; 中尺度对流系统

1 引言

青藏高原的动力和热力作用, 通过几次较大规模的科学试验已有过大量的研究, 并且给出了较全面的总结^[1,2]。青藏高原上的对流云和中尺度对流系统(MCSs)十分活跃, 是高原上产生强降水和强对流天气的主要系统, 它们中的一些移出高原后, 还常常造成长江中下游地区的暴雨。由于高原上常规气象测站稀少, 对MCSs难以进行跟踪分析^[3,4], 因此, 不能全面地分析对流云和MCSs的活动特征。与此同时, 对它们的移动和东移出高原以及对长江流域降水的影响也缺乏充分的分析研究。

本文运用1998年6~8月逐月逐时地球静止气象卫星(GMS)高时空分辨率红外展宽资料, 计算和统计分析了高原上对流云和MCSs的发生频率和地理分布、形成和发展的日变化以及东移和传播等诸多特征, 同时还就它们对长江流域的强降水影响也作了初步探讨。

2 资料处理和分析方法

将1998年6~8月逐日逐时GMS红外展宽数字资料, 通过应用普朗克函数处理转换成相当黑体温度(TBB), 简称为辐射亮温, 并且计算水平分辨率为 $0.5^\circ(\text{经}) \times 0.5^\circ(\text{纬})$ TBB格点值。在此基础上, 以 $TBB \leq -32^\circ\text{C}$ 为对流云, 同时还划分了几个不同TBB等级, 计算高原上各月对流云出现的频率和强度, 以揭示高原上对流云的活动和分布特征。与此同时, 选取对流云活动强而频繁的包括高原中南部和长江流域在内的纬度带($27^\circ \sim 33^\circ\text{N}$), 计算 $80^\circ \sim 120^\circ\text{E}$ 各个经度上所有具备相邻3个以上 $TBB \leq -32^\circ\text{C}$ 格

2000-04-24收到, 2001-02-05收到再改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目“中国暴雨研究”(G1998040908)资助

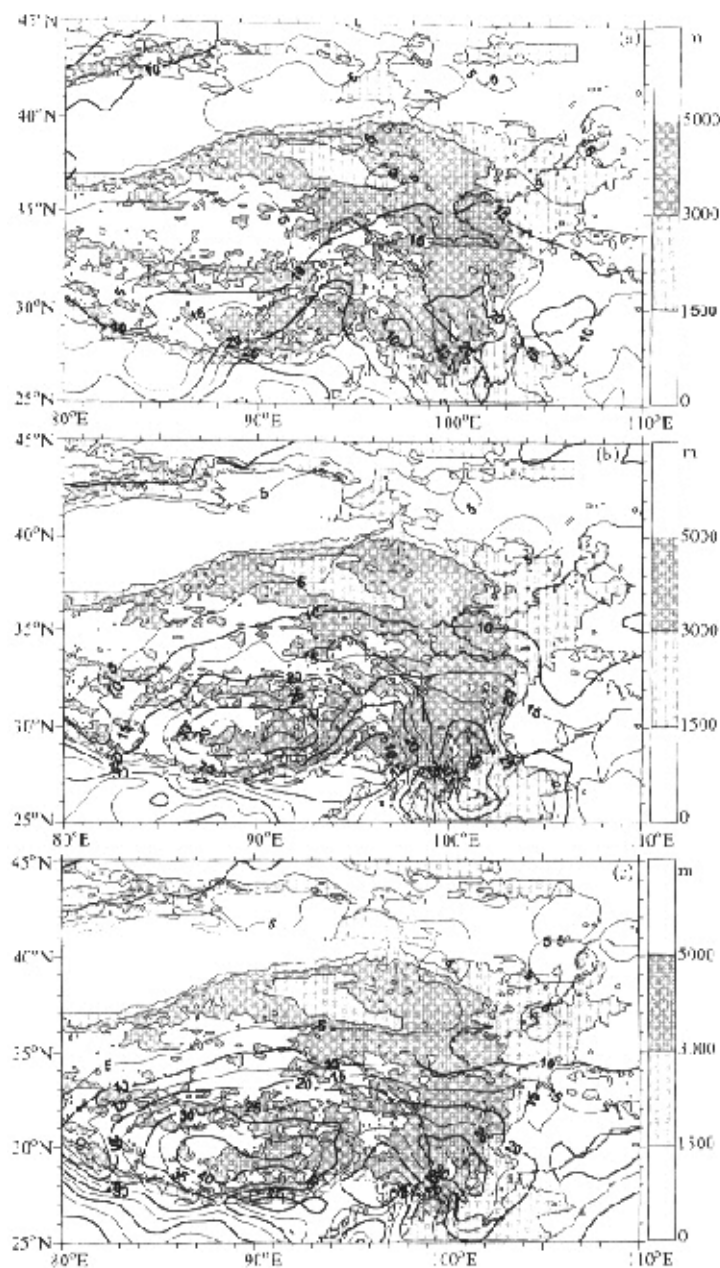


图1 1998年6月(a)、7月(b)和8月(c)青藏高原及周边地区对流云($TBB \leq -32^\circ\text{C}$)出现的频率及地理分布

点的 TBB 平均值, 得到该纬度带中每个经度上 MCSs 的强度; 然后由各日逐时值制作成各月 TBB 时间-经度剖面图, 追踪和分析 MCSs 的活动、移动及传播, 并且探讨它们在长江流域的 4 次暴雨过程中的作用。用这种资料处理办法, 本文只涉及 β 中尺度和 α 中尺度的 MCSs, 即它们的面积在 $15\,000\text{ km}^2$ 以上, 生命史在 1 h 以上。

3 结果

3.1 各月对流云发生频率及地理分布

将各月各个格点上对流云出现的小时数与其总样本小时数之比作为各点对流云活动频率, 然后分析各月等值线, 得到高原及周边地区各月对流云活动频率 (图 1)。6 月 (图 1a) 较高频率 ($>10\%$) 区出现在高原的东南部, 其中在四川甘孜藏族自治州和雅鲁藏布江中下游地区及其以南各有一个高频率 ($20\%\sim 25\%$) 区; 高原北部大部地区为 $5\%\sim 10\%$, 西部最低 (5% 以下)。7 月 (图 1b) 高原上的对流云活动频率显著增加, 中南部均在 10% 以上, 其中甘孜州一带和雅鲁藏布江中上游地区增大至 $30\%\sim 35\%$; 高原北部和西北部同 6 月相比变化不大, 依然很低 (5% 以下)。8 月 (图 1c) 高原上对流云活动的频率分布与 7 月相似, 只是上述的东南部高频率中心值减小了 5% 左右, 并且位置略向西北方向移动; 西南部高频率中心值增大至 40% 以上; 高原北部的低频率区进一步南扩至 35°N 一带, 较高频率 (10%) 区的北界也南移至 33°N 附近。

上述分析表明, 夏季高原上对流云活动从 6 月到 8 月依次加强, 尤其是西南部地区最为明显, 对流云活动频率与高原上各处的海拔高度无关。高原上的对流云活动主要集中在 33°N 以南的南半部分, 并且以西南部和东南部两个高频率中心区为主体, 前者强于后者, 两者之间的雅鲁藏布江下游至横断山脉以西 ($95^\circ\sim 98^\circ\text{E}$ 附近) 为一个显著的低频率区, 可以推断移出高原的 MCSs 主要源于东南部高频率区。 33°N 以北的高原北部, 对流云活动频率很低, 并且从 6 月至 8 月越来越低, 8 月份大部地区降至 5% 以下。

3.2 对流云强度和日变化特征

参照美国通用对流云分类方法^[5], 将对流云的强度按云顶 TBB 值分为 4 级: 即一般性对流云 ($-32\sim -54^\circ\text{C}$), 伴有雷暴的较强对流云 ($-54\sim -64^\circ\text{C}$), 穿越对流层顶的强对流云 ($-64\sim -80^\circ\text{C}$) 及 $\leq -80^\circ\text{C}$ 的极强对流云。表 1 给出了高原上 ($27^\circ\sim 40^\circ\text{N}$, $80^\circ\sim 105^\circ\text{E}$) 1998 年 6~8 月及各月逐时各个强度等级对流云网格点数, 从中可以看到: 一般性对流云占近 $3/4$, 伴有雷暴活动的对流云约占 $1/4$, 其中又有近一半为穿越对流层顶的强对流云, 极强对流云极少。这就是说, 高原上对流云的云顶亮温多在 $-32\sim -54^\circ\text{C}$ 之间, 强对流云很少。

图 2 给出了上述 4 个强度等级中前 3 个强度等级对流云日变化曲线, 极强对流云由于网格点数极少在图中难以表示出来而舍去。图 2 中曲线显示, 对流云活动具有显著的日变化特征, 即对流云最活跃时段出现在 $8\sim 19\text{ UTC}$, 即下午后半段至午夜, 11 UTC 达到顶峰; 对流云活跃程度随时间的变化十分典型, $05\sim 09\text{ UTC}$ 急剧增加, $11\sim 19\text{ UTC}$ 缓慢减弱, 其后转为锐减, $01\sim 05\text{ UTC}$ 最弱, 其中 03 UTC 达到最低值。伴有

表 1 1998 年 6~8 月青藏高原上逐时不同强度对流云网格点数统计值

UTC	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
6 月日数	26	30	27	30	30	29	30	29	30	30	28	30	28	30	30	29	29	30	30	30	30	30	30	29
样本数	35802	41310	37179	41310	41310	39933	41310	39933	41310	41310	38556	41310	38556	41310	41310	39933	39933	41310	41310	41310	41310	41310	41310	39933
≤-32℃	1575	1592	1449	1539	1586	1820	2471	3055	3944	4377	4440	4904	4539	4682	4666	4386	4362	4177	3863	3587	3214	2871	2613	2190
≤-54℃	193	185	165	137	116	116	133	194	405	637	722	900	913	995	923	729	677	603	494	434	424	387	338	274
≤-64℃	117	117	90	76	70	37	29	52	101	199	255	381	399	401	350	289	264	245	242	217	212	197	184	141
≤-80℃	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	2	2	3	1	5	5	9
7 月日数	27	30	30	29	30	29	30	28	29	30	30	31	30	31	31	31	31	30	31	31	30	30	30	29
样本数	37179	41310	41310	39933	41310	39933	41310	38556	39933	41310	41310	42687	41310	42687	42687	42687	42687	41310	42687	42687	41310	41310	41310	39933
≤-32℃	2268	2439	2186	2015	2126	2093	2978	3606	4635	5375	5495	5899	5450	5456	5298	5137	5150	4876	5085	4829	4319	3983	3784	2944
≤-54℃	240	244	193	171	174	166	214	367	807	1139	1445	1694	1693	1623	1571	1459	1305	1109	955	872	686	563	450	368
≤-64℃	97	90	84	34	24	15	12	38	136	301	447	669	745	801	710	646	573	447	397	314	218	187	204	114
≤-80℃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	6	5	1	1	0	0	0
8 月日数	29	30	30	29	31	30	31	31	29	31	31	29	31	29	29	29	29	31	30	29	31	31	31	31
样本数	39933	41310	41310	39933	42687	41310	42687	42687	39933	42687	42687	39933	42687	39933	39933	39933	42687	41310	39933	42687	42687	42687	42687	42687
≤-32℃	3062	2629	2337	2120	2443	2736	3189	4441	4968	6124	6346	6061	6261	5714	5704	5600	5883	5753	5556	5539	5066	4761	4488	3989
≤-54℃	309	238	194	185	172	161	224	481	811	1329	1693	1860	1951	1854	1742	1664	1527	1308	1097	1014	850	734	621	471
≤-64℃	102	93	71	46	41	42	42	65	146	338	514	658	757	740	691	553	468	392	401	332	294	262	216	161
≤-80℃	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	6	6	10
合计日数	82	90	87	88	91	88	91	88	88	91	89	90	89	90	90	89	91	90	90	92	91	91	91	89
样本数	112914	123930	197990	121176	125307	121176	125307	121176	121176	125307	122553	123930	122553	123930	123930	122553	125307	123930	123930	126684	125307	125307	125307	122553
≤-32℃	6905	6660	5972	5674	6155	6649	8638	11102	13547	15876	16281	16864	16250	15852	15668	15123	15395	14806	14504	13955	12599	11615	10885	9123
≤-54℃	742	667	552	493	462	443	571	1042	2023	3105	3860	4454	4557	4472	4236	3852	3509	3020	2546	2320	1960	1684	1409	1113
≤-64℃	316	300	245	156	135	94	83	155	383	838	1216	1708	1901	1942	1751	1488	1305	1084	1040	863	724	646	604	446
≤-80℃	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	6	8	7	8	2	11	11	19

雷暴活动和穿越对流层强对流云活动随时间的变化呈准正态分布, 最活跃期发生在 10~15 UTC, 最强时刻分别出现在 12 和 13 UTC。对流云分布的这种日变化, 充分展现了高原的热力作用。另外, 极强对流云的活动缺乏日变化特征(表 1), 比如 6 月和 8 月高峰值出现在 21~00 UTC, 最强时刻在 23 UTC; 7 月出现在 15~18 UTC, 这表明它们的出现可能与天气系统紧密联系在一起, 而不单单是受高原的热力影响。

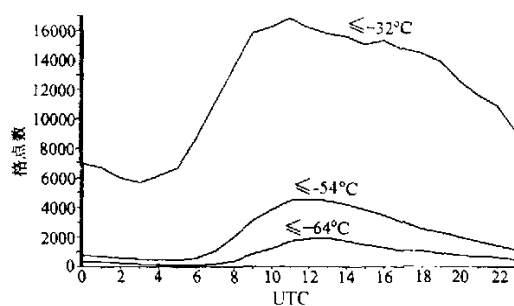


图 2 1998 年 6~8 月青藏高原上不同强度等级对流云网格点数日变化曲线图

3.3 MCSs 的东移和传播活动

在卫星云图上, MCSs 的移动表现为其主体类似于刚体一样从一处移至另一处; 而它的传播则表现为主体减弱或者基本消失, 而在其周围某一侧发展出新的 MCSs。这个过程大多为连续的, 但也有的在中间出现短暂的间隔, 图 3 充分展示了这两种过程。

夏季青藏高原上天天都有 MCSs 生成和发展(图 3), 它们的活动可以分为 3 种情况: 一种是呈准静止状态, 即在原地生消演变, 次数最多; 第二种是在高原上自西向东移动或者传播; 第三种是移出或者传播出高原(105°E 以东), 这种次数较少。

首先看第一种情况, 原地生消的 MCSs 具有很强的日变化特征, 例如 6 月上半月, 在西南部高频率中心的 90°E 附近, 每天的后半时段均有 MCSs 活动, 并且多呈孤立状, 其中以 6 月上旬最为典型。它们的强度较强, 云顶 TBB 一般在 -54°C 以下, 伴有雷暴活动; 最强的(如 6 月 2 日、6 日)的 MCSs TBB 在 -64°C 以下, 即对流穿越了对流层顶, 对流活动十分强盛。同样, 7 月 20~26 日在东南部(100°E 附近)和西南部两个高频率区中心附近, 也分别出现了类似的典型原地生消的 MCSs 活动。另外, 6 月 10 日以后高原中南部 MCSs 迅速活跃起来, 同一纬度带上出现多个孤立状或成串 MCSs, 如较为典型的有 6 月后半月、7 月 1~4 日、27~31 日、8 月 5~15 日、25~29 日等, 它们也主要出现在一日中的后半时段中。MCSs 活动的这种典型日变化特征, 充分展示了高原热力作用对 MCSs 形成和发展演变的重要影响。其机理是由于高原高海拔的下垫面, 在正午至午后太阳的强烈加热下, 地面剧烈增温, 其上方的低层大气也随之剧烈升温, 下午后期至前半夜对流层大气变得十分不稳定, 从而极易产生对流活动。第二种情况, 高原西南部的 90°E 附近及其以西 MCSs 高发地区中, MCSs 初生以后强烈发展, 并向东缓慢移动, 或者在移动中强度缓慢减弱后在高原东部的长江上游支流中再度发展, 形成传播现象, 但它们一般没有移出高原, 例如 6 月 17~20 日, 7 月 2~4 日和 10~11 日, 8 月 3~4 日和 6~7 日以及 18~19 日等时段中这种现象十分典型。其结果造成长江上游的高原东部各支流流域的强降雨, 直接增大了长江上游主河道中的水流量。第三种是少数 MCSs 从高原东南部 100°E 附近的东部高频率中心处移出或者传播出高原后, 在高原东侧的四川盆地及附近地区发展, 有的还在合适的条件下进一步东

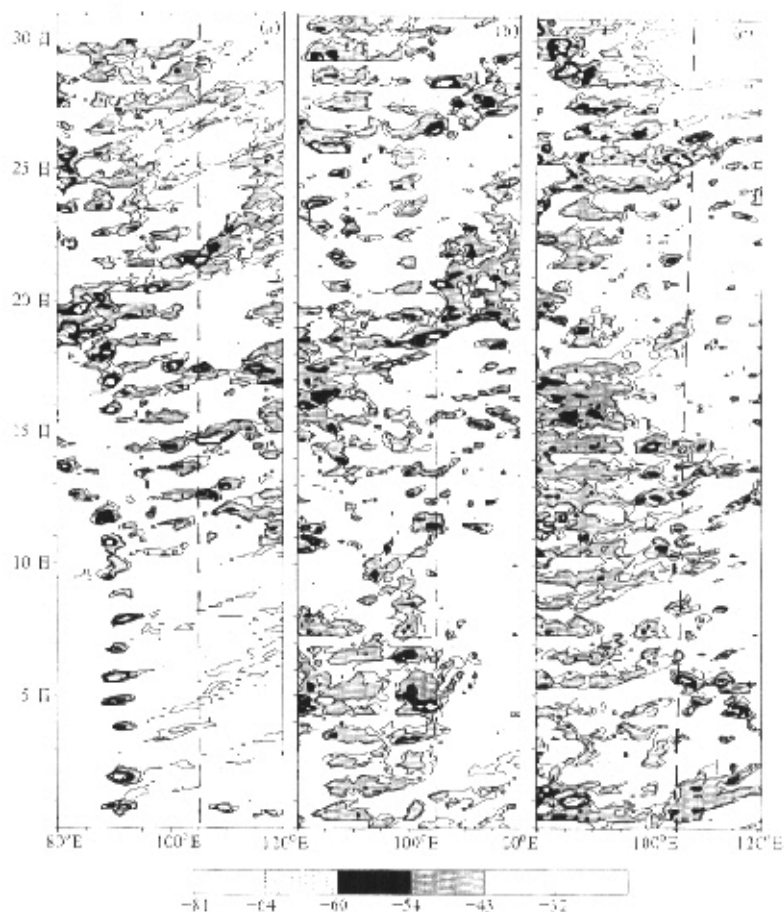


图3 1998年6月(a)、7月(b)和8月(c)逐时27~33°N纬度带中80~120°E
各经度上TBB≤-32℃平均值的经度-时间剖面图

移或传播至长江中游地区,造成长江中上游地区的暴雨,甚至波及下游地区,下面将进一步讨论这个问题。

3.4 MCSs的活动和长江流域的4次暴雨过程

在1998年夏季长江流域的4个暴雨时段中,均出现了MCSs在高原上自西向东移动和移出或传播出高原(图3)。在6月12~27日长江中下游地区的第一个暴雨时段,先后于12~15日、17日、21~22日、26~27日等9天中均有MCSs从高原东南部高频率区中移出或者传播出高原。其中大多数在长江上、中游分界处的110°E附近及以西发展,并且均波及到了长江中下游地区,其中15日的MCSs云顶TBB低达-64℃以下。另外,18~20日和26~27日的4天中,高原西部形成和发展起来的MCSs不断地

向东传至长江上游的高原中东部, 它们造成的强降水直接进入长江上游的江中, 加大了长江流量。长江中下游地区 7 月 20~30 日的第二个暴雨时段中, 19~21 日、27~28 日的 5 天中也有 MCSs 从高原东南部高频率区中传播出高原后在四川盆地强烈发展, 并且传播至长江中游地区与其他系统相结合而出现第二次强发展, 这两个时段对应的降雨也最为剧烈。长江上游地区的第一个暴雨时段发生在 6 月 27 日~7 月 22 日, 高原上 MCSs 的频繁活动时段出现在 6 月 25 日~7 月 10 日、15~20 日两个时段, 并且它们以 95°E 附近为界, 分别在上述的东南部和西南部高频率区中形成和发展。在第一个时段中, 西部的 MCSs 活动具有显著的日变化, 并且基本上是原地生消; 而东部地区则几乎全天中均有 MCSs 活动, 并且发展得较为强盛, 是造成这次暴雨过程的主要系统。在后一个时段中, 东、西部 MCSs 活动恰与第一个时段相反, 然而西部 MCSs 的发展对这次暴雨过程仍没有贡献, 还是东部 MCSs 在 7 月 18~19 日发展和向东传播起主要作用。长江上游地区 8 月 1~27 日的第二个暴雨时段中, 95°E 附近及其以西地区 MCSs 活动十分频繁, 并且大部分时段中具有显著的日变化特征; 它们当中只有少数向东传播至高原东部, 如 4 日、6~7 日、18~19 日等, 并且强度弱。高原东部的 MCSs 活动频次虽然少一些, 但强度较强, 并且出现多次向东传播, 活动在长江上游地区, 如 5~7 日、9~10 日、13 日、18~19 日、25~26 日等。由此可见, 这次暴雨过程也主要是由东部 MCSs 活动造成的。在此期间长江中下游地区只在少数几日中有生命史较短的 MCSs 活动, 多为少雨晴热天气; 但是上游地区的连续暴雨, 多次形成洪峰下泄, 造成了长江中下游主干道持续高水位和对沿岸地区形成洪水威胁。

4 小结与讨论

通过上述的分析, 提出以下 3 点初步看法:

(1) 夏季青藏高原上对流云十分活跃、频繁, 但强度不太大。对流云主要活动在高原的中南部, 并且在 6~8 月中逐渐从东南部地区向西部发展, 对流活动强度迅速加强, 形成东、西两个对流云活动高频率中心区, 而且西部中心还强于东部中心。这种特征的形成, 主要与南亚不同地区夏季风暴发时间的先后次序和强度密切相关。

(2) 高原上对流云活动具有显著的日变化特征。对流云活动主要发生在一日中的后半段, 即下午后半段至午夜, 11 UTC 达顶峰, 01~05 UTC 最弱, 其中 03 UTC 达到最低值。这种变化, 充分展现了高原加热对对流活动的决定性作用。

(3) 高原上的 MCSs 活动以 95°E 附近为界分为东南部和西南部两个高频率区, 并且后一区中 MCSs 活动更为频繁, 但是只有很少数的东移和传播进入东区而影响长江流域的降水。高原的东南部覆盖了长江上游 4 条主要支流中的 3 条, 这里频繁的 MCSs 活动直接造成长江上游地区的强降雨; 另外, 少数 MCSs 东移或传播出高原和进一步发展, 也常常造成长江中下游地区的暴雨。由此可见, 影响长江流域强降雨的高原 MCSs 主要出现在高原东南部。

参 考 文 献

- 1 叶笃正、高山禧等, 青藏高原气象学, 北京: 科学出版社, 1979, 1~278.
- 2 章基嘉、朱抱真、朱福康等, 青藏高原气象学进展, 北京: 科学出版社, 1988, 1~268.
- 3 钱正安、张世敏、单扶民, 1979年夏季青藏高原附近地区对流云的分析, 青藏高原气象科学试验文集 (一), 北京: 科学出版社, 1984, 203~217.
- 4 江吉喜、项雯康、范梅珠, 青藏高原夏季强中尺度对流系统的时空分布, 应用气象学报, 1996, 7(4), 473~478.
- 5 Clark, D. J., The GOES User's Guide, NESDIS / NOAA, 1983, 7~39.

Convective Clouds and Mesoscale Convective Systems over the Tibetan Plateau in Summer

Jiang Jixi and Fan Meizhu

(National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract The features of convective clouds and mesoscale convective systems (MCSs) over the Tibetan Plateau, such as monthly and daily variations and distributions of their initiation and development, intensity, movement and propagation related to heavy rainfall processes in the Yangtze River Basin are revealed using GMS infrared black-body temperature (TBB) during the period of June~August, 1998.

Key words: Tibetan Plateau; convective clouds; mesoscale convective system

田 万方数据
WANFANG DATA