

文章编号: 1000-2022(2005) 04-0507-09

一次河南省春季层状云降水的地面雨滴谱特征

胡娅敏¹, 沈桐立¹, 廖 菲²

(南京信息工程大学 1 大气科学系; 2 应用气象学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 2002 年 4 月 4—5 日 河南省出现了层状云降水天气, 临颖、孟津两站进行了地面雨滴谱观测。通过对降水过程中两站的雨滴微物理参量和雨滴谱的对比分析, 指出河南层状云降水的雨滴平均直径为 10^{-1} mm, 雨滴数密度为 10^2 个/m³, 占雨滴总数较小的大雨滴对雨强的贡献较大。锋前暖区雨滴的平均直径比锋后冷区雨滴平均直径小, 雨滴数密度比锋后冷区大, 但冷区降水强度大于暖区。在层状云降水过程中, 暖区雨滴谱型由宽谱双峰型演变为窄谱单峰型, 冷区雨滴谱型由宽谱单峰型演变为窄谱单峰型。雨滴平均直径的起伏暖区要大于冷区, 这与暖区中云系结构不均匀及云中对流有关。

关键词: 层状云降水; 雨滴谱; 微物理参量; 河南省

中图分类号: P426 **文献标识码:** A

对层状云降水特征和形成机制的研究可以从宏观和微观两个方面进行。在宏观探测方面, 利用雷达、卫星等探测手段研究降水云系宏观的水平和垂直结构, 双通道微波辐射计能实时测量降水云系的水汽和液态水总含量。在微观探测方面, 利用挂载在飞机上的粒子测量系统 (PMS) 在云中进行直接探测来进一步研究降水过程中云滴谱、雨滴谱、云水含量等微物理参量的时空演变特征及降水的形成机制等问题。但是, 由于进行飞机探测受许多因素的影响, 对每次降水过程并不都能获取云中微物理资料, 而地面雨滴谱观测却不受天气、地理等条件限制, 资料获取比较容易, 且地面雨滴谱能在一定程度上反映云中降水特征, 因而常用地面雨滴谱资料来配合分析降水的微物理特征。

利用地面雨滴谱连续观测资料, 可以分析降水特征和形成机制。邓雪娇等^[1]研究了广州夏季不同的对流云降水(雷阵雨、阵雨等)的雨滴谱分布特征。牛生杰等^[2-3]利用宁夏地区不同天气系统和不同降水云系所产生的层状云降水的雨滴谱资料, 分析了各种天气系统影响下所对应的不同降水云系和不同降水强度的云滴、雨滴的谱分布形式。袁成等^[4]和宫福久等^[5]分别分析了哈尔滨和沈阳地区积雨云、层状云、积层混合云这三类降水云系产生的降水所对应的雨滴谱分布特征。Sauvageot 等^[6]分析了热带和中纬度地区对流云降水时雨滴谱的多峰结构, 指出雨滴谱的多峰结构与降水强度的多峰结构相对应, 而雨强的多峰结构的产生是由于某

收稿日期: 2003-04-01; 改回日期: 2003-06-26

基金项目: 国家“十五”攻关项目(2001BA610A06); 国家自然科学基金资助项目(40075023)

作者简介: 胡娅敏(1978-), 女, 湖北黄石人, 硕士。

一地点的降水是由其上空的降水云的不同部位所产生的降水叠加而成的, 由此提出了产生多峰结构的雨滴谱所对应的降水模型。Tokay等^[7]分析了层状云降水和对流云降水初始阶段的谱分布特征, 并根据降水形成机制的不同, 提出了用雨滴谱参数来判断层状云降水和对流云降水。Gorgucci等^[8]利用雨滴谱资料, 将多参数方法应用于雷达回波强度估算雨强的 $Z-I$ 关系。

本文采用滤纸法, 对降水过程进行地面雨滴谱连续观测。选取 2002 年 4 月 4—5 日河南省临颖和孟津两站的雨滴谱资料, 对雨滴微物理参量进行比较分析, 初步讨论了不均匀的层状云降水的雨滴微物理量的时空演变特征, 由此来认识冷锋移动过程中冷锋前后不同降水云系的雨滴微物理量特点, 从雨滴谱特征来研究层状云降水特点, 为今后研究不同降水机制在锋面层状云降水过程中的作用做基础性研究, 完善人工增雨的科学理论依据。

1 降水云系的宏观特征

2002 年 4 月 4 日 20 时, 位于陕西省的一条东北—西南走向的冷锋缓慢向东南方向移动, 4 月 5 日 00 时从西北部移入河南省, 并继续向东南方向移动, 到 5 日 17 时从河南东南部移出。从图 1a 可以看出, 1 h 降水量的空间分布很不均匀, 在地面冷锋前后都有降水极值中心存在, 但冷锋后的降水量 (冷区降水) 大于冷锋前的降水量 (暖区降水)。08 时, 临颖 (114. 0°E, 33. 8°N) 处于地面冷锋附近, 而孟津 (112. 4°E, 34. 8°N) 则处于地面冷锋之后, 两站降水量相差约一个量级。由雷达回波图 (图 1b) 可以看出, 整个层状云系结构是不均匀的, 整个云系回波强度约为 20 dBZ, 但在郑州西南面和西面 50~ 100 km 之间 (内圈第 2 圈) 存在零散的强度为 40~ 50 dBZ 的强回波区, 这表现为地面降水的空间不均匀性。比较降水量空间分布 (图 1a) 也可看出, 在郑州的西南面和西面存在降水量较大的极值中心。

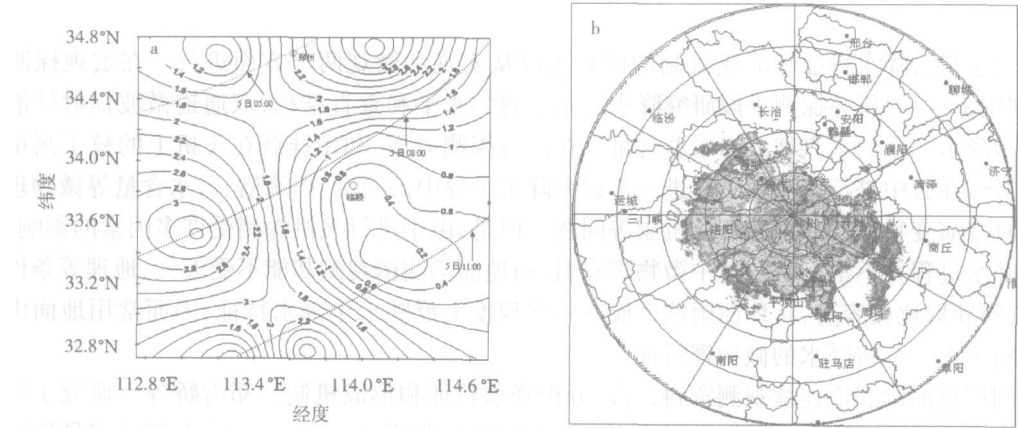


图 1 河南省 2002 年 4 月 5 日 08 时 1 h 降水量分布 (a 单位: mm; 点线为地面冷锋位置) 和 2002 年 4 月 5 日 07 03 时郑州的 PPI 雷达回波 (b 天线仰角 1°)

Fig 1 Hourly rainfall at 0800BST in Henan Province
(a units mm; dotted line is the position of ground surface cold front)

and radar echo(PPI) at 0703BST (b the elevation angle= 1°) on 5th April 2002

根据地面气象观测记录, 在这次降水过程中, 孟津站对应的降水云系主要是蔽光高层云 (A sop), 降水类型以间隙性小雨为主; 临颖站对应的降水云系主要是上层为蔽光高层云 (A sop)、下层为碎雨云 (Fn) 的两层云结构, 降水类型为分段型的连续性小雨。

2 微物理量的平均特征

表 1、表 2 分别是由雨滴微物理参量的计算公式^[9]得出的 2002 年 4 月 4—5 日降水过程中孟津和临颖两站的雨滴微物理量平均值。这次降水主要是 A s 云降水, 临颖、孟津的雨滴平均直径 (D) 分别为 0. 63 mm、0. 89 mm, 雨滴的平均数密度 (N) 均较大, 有 10^2 个 / m^3 的量级, 平均雨强 (I) 分别为 1. 16 mm /h、2. 76 mm /h, 这是典型的层状云降水。根据表 1 和表 2 可以看出, 在整个降水过程中, 孟津和临颖两地雨滴的数密度和雨滴平均直径起伏变化较大, 从而引起降水强度的起伏变化, 且雨强的变化与雨滴直径变化密切相关。与这种起伏特征相对应, 降水云系的空间结构表现为不均匀性, 这种不均匀性很容易从图 1b 中看出。

为进一步了解此次层状云降水与其他时期的层状云降水时的雨滴微物理参量的异同, 列举了 2000 年 4 月 14 日和 17 日两次层状云降水微物理参量平均值 (表 3)^[10]。

由表 1、2 和 4 可看出, 河南省层状云雨滴数密度有相同的量级, 平均数密度都在 10^2 个 / m^3 , 而降水强度却不同。在旱季里, 雨滴的平均直径较小^[10], 又由于雨强与雨滴直径的三次方成正比, 因而 2000 年 4 月两次降水强度比 2002 年 4 月 4—5 日的降水强度小。

表 1 2002 年 4 月 4—5 日孟津层状云降水微物理参量

Table 1 Microphysical parameters of precipitation on 4—5 th April 2002 in Mengjin

日期	时刻	N /个· m^{-3}	I /mm· h^{-1}	D /mm	时刻	N /个· m^{-3}	I /mm· h^{-1}	D /mm
4 日	02: 12	159. 98	0. 04	0. 57	05: 33	190. 51	3. 64	1. 38
	02: 30	152. 81	0. 04	0. 57	06: 01	286. 15	3. 20	1. 08
	21: 27	19. 61	0. 08	1. 10	06: 30	267. 28	8. 38	1. 29
	21: 34	87. 47	0. 25	0. 70	07: 01	199. 94	6. 80	1. 30
	21: 37	361. 53	20. 41	1. 29	07: 29	325. 19	7. 43	1. 02
	21: 59	45. 85	0. 02	0. 58	08: 06	232. 73	1. 44	0. 79
	22: 30	1 161. 64	13. 86	0. 86	08: 30	248. 15	1. 40	0. 95
	23: 00	387. 19	0. 99	0. 70	09: 01	630. 00	0. 68	0. 66
	23: 32	45. 37	2. 82	1. 98	09: 30	389. 04	0. 37	0. 65
5 日	00: 00	695. 20	0. 53	0. 63	10: 02	235. 97	0. 36	0. 67
	00: 27	33. 61	0. 17	0. 87	10: 30	98. 88	0. 03	0. 57
	01: 01	79. 55	0. 02	0. 57	11: 01	331. 99	0. 08	0. 57
	01: 28	123. 24	0. 03	0. 57	14: 43	89. 16	0. 39	0. 81
	02: 04	90. 96	0. 02	0. 57	15: 02	112. 55	0. 15	0. 68
	04: 18	249. 85	7. 64	1. 49	15: 28	35. 79	0. 04	0. 61
	04: 30	117. 71	3. 52	1. 29	16: 09	114. 01	0. 15	0. 67
	04: 43	69. 96	0. 83	1. 05	16: 31	108. 81	0. 14	0. 68
	05: 05	367. 42	10. 70	1. 37	平均值	232. 7	2. 76	0. 89

注: N 为雨滴的平均数密度; I 为平均雨强; D 为雨滴平均直径。

表 2 2002 年 4 月 5 日临颖层状云降水微物理参量
Table 2 Microphysical parameters of precipitation on 5th April 2002 in Linying

时刻	$N / \text{个} \cdot \text{m}^{-3}$	$I / \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	D / mm	时刻	$N / \text{个} \cdot \text{m}^{-3}$	$I / \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	D / mm
04:30	253.36	0.100	0.59	10:30	2873.66	5.431	0.67
05:00	2285.53	3.502	0.62	11:00	1585.98	0.655	0.58
05:30	670.93	3.602	0.86	11:30	4927.49	1.559	0.58
06:00	945.74	0.973	0.62	12:00	1114.19	0.272	0.57
06:30	374.32	3.495	0.79	12:30	171.73	0.042	0.57
07:00	508.51	0.639	0.65	16:00	323.68	0.256	0.59
07:30	150.75	0.060	0.59	16:30	173.89	0.042	0.57
08:00	165.73	0.221	0.63	17:00	680.02	0.166	0.57
08:30	264.48	0.079	0.57	17:30	616.43	0.166	0.57
09:00	251.04	0.078	0.58	18:00	835.26	3.555	0.75
09:30	112.87	0.085	0.63	平均值	884.1	1.16	0.63
10:00	165.19	0.562	0.75				

表 3 2000 年 4 月郑州两次层状云降水微物理参量平均值
Table 3 Average values of microphysical parameters of
two different stratiform precipitations in April 2000 in Zhengzhou

日期	$N / \text{个} \cdot \text{m}^{-3}$	$I / \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	D / mm
2000-04-14	1 011	0.30	0.45
2000-04-17	297	0.78	0.45

为揭示此次降水中各档雨滴在总雨滴中的所占比例, 计算了临颖、孟津两站的各档雨滴占总雨滴数的平均比例及各档对雨强的平均贡献(表 4)。从表 4 可以看出, 在临颖的降水过程中, 直径 $D < 0.57 \text{ mm}$ 的雨滴数浓度占总雨滴数浓度的 90% 以上, 而雨强却不到总降水雨强的 20%。占雨滴总数仅 1.5% 的直径为 1.68 mm 的雨滴, 它对雨强贡献最大, 占 26% ; 1.12

表 4 临颖、孟津各档雨滴对总雨滴数和雨强的贡献

Table 4 Contribution to the total raindrop number and precipitation in intensity
of different size raindrops in Linying and Mengjin

D / mm	临颖				孟津			
	$N / \text{个} \cdot \text{m}^{-3}$	$(N / \bar{N}) \%$	$I / \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	$(I / \bar{I}) \%$	$N / \text{个} \cdot \text{m}^{-3}$	$(N / \bar{N}) \%$	$I / \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	$(I / \bar{I}) \%$
0.57	820.49	92.8	0.2	17.2	160.03	69	0.039	1.4
1.12	46.49	5.3	0.26	18.1	36.87	16	0.16	5.5
1.68	13.31	1.5	0.51	26.2	21.22	9	0.47	16.9
2.24	3.00	0.3	0.43	18.5	9.03	4	0.62	22.5
2.80	0.55	0.06	0.42	8.2	3.82	2	0.64	23.0
3.36	0.14	0.02	0.52	4.1	1.19	1	0.39	14.3
3.92	0.15	0.02	0.98	7.7	0.33	0.5	0.19	6.9
4.48					0.20	0.5	0.19	6.8
5.04					0.01	0.05	0.02	0.6
5.60					0.03	0.05	0.05	1.9

~ 2.24 mm 的雨滴占雨滴总数的 7%, 但对雨强的贡献达 62.8%。而在孟津的降水过程中, 直径 $D < 1.12$ mm 的雨滴占总雨滴数浓度的 85%, 对降水的贡献却只有 6.9%。占雨滴总数的 16%、直径 1.68~ 3.36 mm 的雨滴对雨强的贡献是 76.7%。从这次降水的雨滴微物理参量特点来看, 占雨滴总数很大部分的 $D < 1.12$ mm 的雨滴对降水贡献不大, 降水时雨强贡献超过 70% 的雨滴直径范围是 1.68~ 3.92 mm。

3 雨滴谱的分布特征

对层状云降水的雨滴谱分布可以用 Marshall-Palmer 分布形式: $N = N_0 \exp(-\lambda D)$ 进行拟合^[9]。对我国北方地区的层状云降水, M-P 拟合分布与实际雨滴谱分布偏差较小^[11], 因而本文对 2002 年 4 月 4—5 日降水过程用最小二乘法拟合 M-P 分布, 拟合结果指出: 对临颖站来说, 拟合的 M-P 分布曲线与实际雨滴谱分布曲线在雨滴直径 $D > 1.3$ mm 时十分接近, 拟合效果较好, M-P 分布曲线中参数的拟合值 $N_0 = 1\,338.15$, $\lambda = 2.558\,5$ 。对孟津站来说, 拟合的 M-P 分布曲线与实际雨滴谱分布曲线整体吻合较好, 参数 N_0 、 λ 的拟合值分别为 448.28 和 1.831 8。由以上分析可知, 此次层状云降水是符合 M-P 分布的, 分布曲线见图 2。

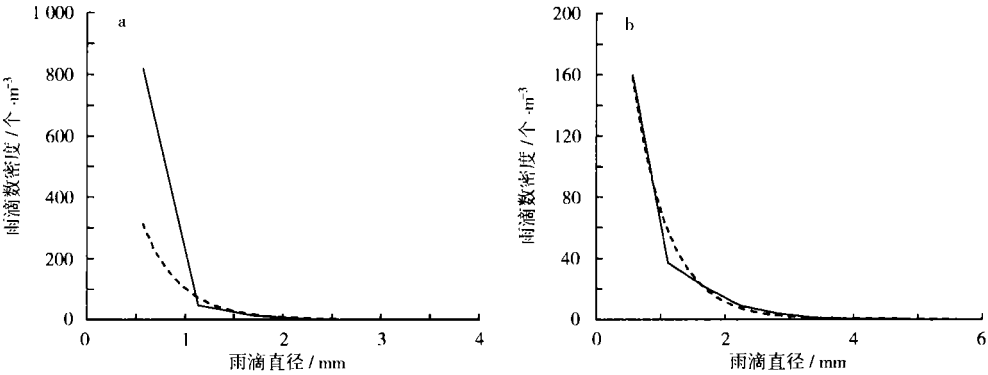


图 2 2002 年 4 月 4—5 日降水过程地面雨滴谱 M-P 拟合分布 (实线为实际谱分布, 虚线为拟合分布)
a 临颖; b 孟津

Fig 2 M-P fitting of surface raindrop size distribution on 4—5 th April 2002

(The solid line is the observed raindrop size distribution, and the dashed line the fitting distribution)

a Linying b Mengjin

4 雨滴微物理参量及雨滴谱的连续演变特征

一般来说, 层状云雨滴的微物理量比对流云雨滴的微物理量小, 但层状云雨滴的微物理量也因降水云系的空间结构不均匀也存在较大起伏。图 3、4 给出了 2002 年 4 月 4—5 日河南省层状云降水过程中孟津和临颖两站各自的雨滴平均直径 D 、雨滴的平均浓度 N 和雨强 I 这 3 个物理参量随时间的变化。从图 3a、4a 可以看出, 此次层状云降水过程中两站的雨滴微物理参量 D 、 N 随时间变化较大, 且微物理量在冷锋过境前后均出现多峰结构, 因而冷锋前后雨滴谱变化明显, 也与图 3b、3c 和图 4b 的特征相一致。

4.1 4 日 21:34—5 日 01:28 降水过程

由 2002 年 4 月 4—5 日的地面天气图 (图略) 可知, 地面冷锋在 5 日 02:00 经过孟津, 5 日 08:00 经过临颖。由图 3a 可以看出, 在 4 日 21:34—5 日 01:28 的降水过程中, 由于孟津处于地面冷锋之前, 所以此时孟津的降水是锋前暖区降水, 降水期间雨滴的平均直径随时间变化出

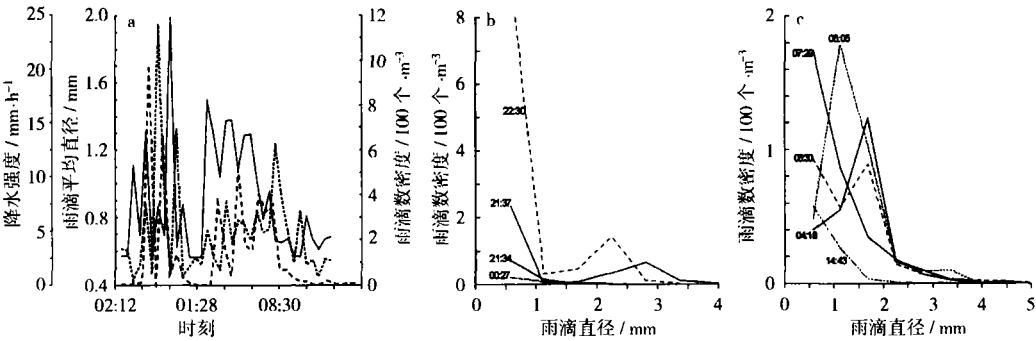


图 3 孟津 2002 年 4 月 4—5 日降水时雨滴的微商物理量变化

a 3 个物理量随时间的变化 (实线为雨滴平均直径, 短虚线为雨滴数密度, 长虚线为降水强度); b, c 不同时刻的雨滴谱分布

Fig 3 Micro-physical parameters of raindrops on 4-5th April 2002 in Mengjin

a time-variations of three micro-physical parameters (The solid line is the raindrop average diameter, the short dash line the raindrop number density, and the long dash line the precipitation intensity);

b, c raindrop size distributions at different times

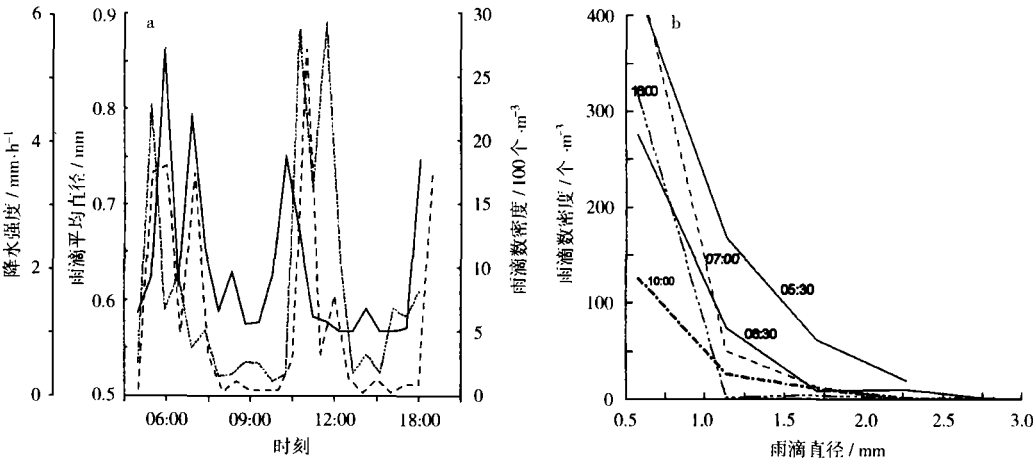


图 4 临颖 2002 年 4 月 5 日降水时雨滴的物理量变化

a 3 个物理量随时间的变化 (实线为雨滴平均直径, 短虚线为雨滴数密度, 长虚线为降水强度); b 不同时刻的雨滴谱分布

Fig 4 Micro-physical parameters of raindrops on 5th April 2002 in Linying

a time-variations of three micro-physical parameters (The solid line is the raindrop average diameter, the short dash line the raindrop number density, and the long dash line the precipitation intensity);

b raindrop size distributions at different times

现了几个极值, 且极值相差最大达 1.12 mm (22:30 平均直径为 0.86 mm, 23:32 平均直径为 1.98 mm), 平均直径和雨滴数密度的剧烈起伏与云中的对流活动以及云系的空间结构不均匀有关。从图 3b 中可以看出, 在降水开始不久, 21:34 雨滴主要是直径为 0.5 mm 左右的小雨滴, 其数密度仅为 70 个 / m^3 。21:37 雨滴谱迅速拓宽, 大雨滴数目明显增多, 尤其是直径为 2.8 mm 的雨滴数增加到约 70 个 / m^3 , 雨滴谱呈现双峰结构, 由于大雨滴的迅速增加, 雨强也出现瞬间极值 (20.41 mm/h)。22:30 由于大雨滴下落时的破碎, 导致雨滴平均直径减小, 雨滴数

密度增大, 所以雨滴谱向小雨滴方向偏移, 谱宽略有减小, 但直径为 2.3 mm 的雨滴数密度增加到 $140 \text{ 个}/\text{m}^3$, 雨强再次出现瞬间极值 $13.86 \text{ mm}/\text{h}$ 之后在 00 27 雨滴谱宽和雨滴数密度迅速减小, 降水趋于停止。从图 3a b 可以知道, 降水过程中雨滴谱宽的增大, 尤其是大雨滴数密度的增加, 对降水的贡献比较大, 也就是说, 雨滴平均直径对雨强的影响比雨滴数密度对雨强的影响大。另外, 在降水开始和结束, 雨滴谱为单峰型, 而在降水过程中雨滴谱表现为双峰型。

4.2 5 日 04 00—07 30 降水过程

在 5 日 04 00—07 30 孟津处于地面冷锋之后, 降水为锋后冷区降水。从图 3a 可看出, 04: 00—07: 30 雨滴平均直径起伏不大, 但雨滴数密度都随时间变化出现多个极值, 这可能是锋后冷区降水云系中不同云体的降水造成的, 说明降水云系空间结构不均匀导致云中的雨滴平均直径和雨滴数密度出现起伏。从图 3c 可看出, 04 18—07 29 雨滴谱较宽, 大于 2.5 mm 的雨滴数密度变化不大, 雨滴谱为单峰结构, 峰值直径为 1~2 mm, 峰值对应的雨滴数密度在整个降水过程中先增大后减小。也就是说, 在降水过程中主要是以直径为 1~2 mm 的雨滴为主。

在此降水时段内由于临颖处于地面冷锋之前, 所以降水类型为锋前暖区降水。从图 4a 可以看出, 雨滴的平均直径仍然存在起伏变化, 但变化只有 0.2 mm 左右。平均直径的多个峰值可能是由于降水云系中不同的降水云体所产生。从图 4b 可以看出, 05 30、06 30、07 30 三个时刻的雨滴谱型为单峰型, 谱较窄, 直径大于 2 mm 的雨滴很少。在降水过程中, 大于 1.2 mm 的雨滴数密度一直减小, 而小于 1.2 mm 的雨滴数密度先减小后增大, 雨滴谱的这种变化可能是由于降水形成以后, 大雨滴碰并小雨滴使得小雨滴不断消耗, 降水后期由于没有大雨滴生成, 所以小雨滴没有被碰并消耗, 因而小雨滴数目略有增加。

比较孟津、临颖两站降水的雨滴特征, 发现临颖的雨滴平均直径小, 雨滴数密度大, 地面降水强度小; 而孟津的雨滴平均直径大, 雨滴数密度小, 地面降水强度却比临颖的大。这说明当云中的小雨滴较多但缺乏大雨滴时, 云体并不会产生强的降水。

4.3 5 日 09 00 之后的降水过程

由于地面冷锋在 09: 00 已过临颖, 所以此时临颖、孟津的降水都是锋后冷区降水。从红外卫星云图 (图略) 可看出, 09 00 以后孟津处于冷锋降水云系的边缘。图 3a c 指出, 此时孟津的雨滴的平均直径减小到 0.6~0.8 mm, 直径 1 mm 的雨滴数仅为 $30 \text{ 个}/\text{m}^3$ 。由图 4a b 可知, 冷锋后大范围内降水云系的空间结构随时间变化趋于均匀, 降水较强的云体逐步减弱消失, 但仍有一些弱对流云体存在, 所以 10 30 临颖的雨滴平均直径和雨滴数密度出现了一次峰值, 之后趋于平缓。随着降水的减弱消失, 大于 1.2 mm 的雨滴减少至零, 只剩下直径小于 1 mm 的小雨滴, 这种现象预示着降水的结束。

4.4 孟津、临颖两站降水特征的比较

随着地面冷锋的移入、移出, 孟津、临颖先后经历了锋前、锋后降水, 但两站产生锋前、锋后降水的时间不同, 各自所处的地面冷锋系统的部位不一样, 所以降水特征也不一样。

当孟津、临颖两地同为暖区降水时, 雨滴的平均直径都随时间表现为明显的上下起伏, 说明暖区降水云系结构不均匀, 云系中对流运动导致雨滴碰并增长也是雨滴平均直径出现极值的一个原因。由于冷锋在由西北向东南移动过程中强度减弱, 所以孟津的暖区降水强度大于临颖的暖区降水强度, 相应地云层厚度、云中的对流活动也有此特征。所以, 孟津出现的暖区雨滴的平均直径、雨滴数密度都要比临颖的大。比较两站出现暖区降水时的雨滴谱发现, 孟津的雨滴谱是谱较宽的双峰结构, 临颖的雨滴谱为谱较窄的单峰结构。但从降水开始到结束, 两

站雨滴谱都表现为直径为 2 mm 左右的雨滴数密度迅速减少至零,而直径小于 1 mm 的小雨滴在降水后期占雨滴总数的大部分。

当孟津、临颖两地同为冷区降水时,雨滴平均直径都是先出现一段多峰值区,之后雨滴平均直径下降并稳定在某一较小的值附近。这说明冷锋后靠近冷锋附近的云系空间结构仍不均匀,而离冷锋较远的降水云系的空间结构较为均匀,但云层薄、降水强度小。同样因为冷锋移动过程中其强度会随时间变化而变化,所以当冷锋从孟津移到临颖时,临颖的锋后冷区降水时雨滴平均直径和雨滴数密度有所减小。比较两站锋后冷区降水的雨滴谱可以看出,雨滴谱都是单峰型,但孟津的冷区降水的雨滴谱比临颖的宽,且雨滴以直径为 1~2 mm 的为主,而临颖的雨滴以直径为 1 mm 以下的为主。随着冷锋的移动,冷区降水时雨滴谱的峰值直径向小雨滴方向移动,这与暖区降水的雨滴谱有共同特征。

孟津在冷锋过境前后的降水特征表现为:锋前暖区降水时雨滴平均直径和雨滴数密度变化较大,而锋后冷区降水时雨滴平均直径趋于稳定,当处于降水云系边缘时,雨滴平均直径和雨滴数密度迅速减小。锋前暖区降水时雨滴谱较宽,谱型为双峰型;锋后冷区降水时雨滴谱为单峰型,直径大于 2.5 mm 的雨滴数密度在降水过程中保持不变,且主要以直径为 1~2 mm 的雨滴为主。在暖区、冷区降水结束时,雨滴谱迅速变窄,大、小雨滴数密度都减小并趋于零。

临颖在冷锋过境前后的降水过程中,雨滴平均直径和数密度与孟津的变化趋势相同。但由于冷锋移动过程中其强度的减弱,所以临颖在暖区和冷区降水时,其上空降水云系的对流活动会有所减弱,因而雨滴平均直径在冷锋过境前后的起伏量值要比孟津小。而雨滴谱的谱型在冷锋过境前后均为单峰型,且暖区降水时大雨滴数密度比冷区降水时大。

在同一时刻,如 5 日 06 时,此时孟津处于冷锋后部,临颖处于冷锋前部。比较图 3a 4a 可看出,锋前暖区的雨滴数密度大于锋后冷区的雨滴数密度,但锋前暖区的雨滴平均直径小于锋后冷区的雨滴平均直径,而且大雨滴对降水的贡献比较大,从而导致锋后冷区的雨强大于锋前暖区的雨强。

5 结论与讨论

(1) 此次层状云降水的雨滴谱分布在直径 $D > 1.3$ mm 时用 M-P 分布拟合较好。

(2) 直径 $D > 1.68$ mm 的雨滴对降水贡献高达 80%,但它们只占雨滴数密度的 20%,所以雨滴平均直径对雨强大小的贡献比雨滴数密度的贡献大。

(3) 层状云降水时雨滴微物理量有相同的量级:雨滴平均直径为 10^{-1} mm,平均数密度在 10^2 个 $/\text{m}^3$ 左右,平均雨强为 10^0 mm/h。

(4) 锋前暖区降水特征为:雨滴平均直径起伏较大,随着冷锋在移动过程中减弱,雨滴谱由谱宽大的双峰型演变为谱宽小的单峰型;随着暖区降水的结束,大雨滴数目迅速减少,雨强减小至零。

(5) 锋后冷区降水特征为:雨滴平均直径的起伏比锋前暖区的小,雨滴峰值直径随时间逐渐减小,雨滴谱在冷区中为单峰型,随着时间的变化,锋后冷区降水的雨滴谱的峰值直径向小雨滴方向偏移,且谱宽减小。

(6) 由同一时刻冷锋前后的降水特征比较,发现锋前暖区雨滴的平均直径比锋后冷区的小,而暖区雨滴的数密度比冷区的大,由于大雨滴对降水贡献大,所以冷区降水强度比暖区降水强度大。

由于缺少雷达资料进行辅助分析,因而无法对雨滴谱的起伏变化、雨滴谱宽变窄、雨滴谱

型随时间变化等进行原因分析, 需进一步研究。

参考文献:

- [1] 邓雪娇, 黄浩辉, 吴 兑. 广州地区汛期强降水的微物理特征 [J]. 热带气象学报, 1996 12(2): 167-173
- [2] 牛生杰, 安夏兰, 桑建人. 不同天气系统宁夏夏季降雨谱分布参量特征的观测研究 [J]. 高原气象, 2002 21(1): 37-44
- [3] 牛生杰, 何珍珍. 降水性层状云中水凝物的谱分布 [J]. 高原气象, 1995, 14(1): 114-120.
- [4] 袁 成, 樊 玲, 李亚滨. 哈尔滨地区春夏季降水微结构特征 [J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(2): 250-257
- [5] 宫福久, 刘吉成, 李子华. 三类降水云雨滴谱特征研究 [J]. 大气科学, 1997, 21(5): 605-614.
- [6] Sauvageot H, Marandon K. Multimodal raindrop size distribution [J]. J Atmos Sci 2000 57(15): 2 480-2 492.
- [7] Tokay A, Short D A. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds [J]. J Appl Meteor 1996 35(3): 355-371
- [8] Gorgucci E, Chandrasekar V, Gianfranco S. Radar and surface measurement of rainfall during CaPE: 26 July 1991 case study [J]. J Appl Meteor 1995 34(7): 1 570-1 577.
- [9] 王鹏飞, 李子华. 微观云物理学 [M]. 北京: 气象出版社, 1989
- [10] 周毓荃, 刘晓夫, 周非非. 河南干旱年地面雨滴谱特征 [J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 39-47.
- [11] 李大山. 人工影响天气现状与展望 [M]. 北京: 气象出版社, 2002 84-92

Characteristics of the Surface Raindrop Size Distribution of Spring Stratiform Precipitation in Henan Province

HU Ya-min¹, SHEN Tong-li¹, LIAO Fei²

(1. Department of Atmospheric Sciences, NUST, Nanjing 210044, China

2. Department of Applied Meteorology, NUST, Nanjing 210044, China)

Abstract The surface raindrop spectra of stratiform precipitation on April 4—5, 2002 were measured in Mengjin and Linying stations in Henan Province. Through the comparison and analysis of the raindrop microphysical parameters and raindrop size distributions of the two stations during this precipitation process, we find that under the circumstance of stratiform precipitation in Henan Province, the average diameter of raindrops is 10^{-1} mm, the total number density of raindrops 100 drops/ m^3 , and the big size raindrops which account for a small proportion of total raindrops make more contribution to precipitation intensity. The average diameter of raindrops in the warm sector ahead of a cold front is smaller than that in the cold sector behind the cold front, while the total number density of raindrops in the warm sector is greater than that in the cold sector, but the precipitation intensity in the cold sector is higher than that in the warm one. During the process of stratiform precipitation, the raindrop spectra in the warm sector evolves from a wide spectra double-peak pattern to a narrow spectra single-peak one, while the raindrop spectra in the cold sector changes from a wide spectra single-peak pattern to a narrow spectra single-peak one. The fluctuations of the average diameter of raindrops in the warm sector are larger than those in the cold sector, which is related to the inhomogeneity of the cloud system structure and convection in the cloud.

Key words stratiform precipitation; raindrop size distribution; micro-physical feature; Henan Province