

# 用 CAPPI 和 PPI 资料测定 区域降水量精度比较<sup>1)</sup>

戴铁丕 詹 煜 刘婉莉

(南京气象学院, 210044)

## 提 要

应用上海中心气象台 714 数字化天气雷达的体积扫描资料所得到的不同高度上的 CAPPI 资料和低仰角时 PPI 资料, 估算区域降水量并得到降水量分布形势。然后采用平均校准法进行了校准, 最后又与用雨量计网测得的区域降水量及其分布形势作了比较, 得到一些有意义的结果。

关键词: CAPPI PPI 区域降水量 平均校准 降水量分布形势

## 引 言

许多国家试验表明, 天气雷达测量降水具有诸多的优点<sup>[1]</sup>, 并且雷达测量值在近距离与雨量计有较好的一致性。但是应用雷达估计降水量会产生很大误差, 文献[2]报导用位于雨量计中心的单部雷达(苏黎士)每年平均测量的降水仅有整个瑞士 60 个雨量计测到的 25%, 而另一部位于雨量计网西部边界的 Ladöla 雷达, 距雨量计网较远, 测到的降水仅为雨量计的 16%。在我国这种现象也同样存在<sup>[2]</sup>。研究还表明: 纯粹由 Z-R 关系选得不合适造成的降水量测量误差一般不会超过 30%—40%<sup>[3]</sup>。因此新近不少学者认为, 产生上述的降水量测定误差最重要原因是由于雷达与雨量计取样空间不一致和雷达反射率因子 Z 值垂直廓线变化引起的。消除这类误差可采用雷达-雨量计联合探测系统方案<sup>[4-5]</sup>。

再有, 目前国内雷达定量测定降水, 多半采用 PPI、ZPPI 或 Col·Max 彩色分层图象产品资料, 据这些显示器原理, 用它们定量测定区域降水量有一定缺陷<sup>[4][6]</sup>, 因此国外一般采用 CAPPI 资料, 但是采用 PPI 资料究竟

会带来多大测量误差, 这就要求我们用三维体积扫描资料得到的几个不同高度上的 CAPPI 资料与低仰角探测到的 PPI 资料估算得到的区域降水量和降水量分布形势进行比较。

本文试从体积扫描资料得到的几个高度上的 CAPPI 资料, 应用不同 Z-R 关系, 得到不同高度上单站降水量、区域降水量和降水量分布形势。同时, 又应用 PPI 资料, 选用  $Z = 200R^{1.6}$  统计关系式, 得到区域降水量和降水量分布形势, 并把用上述两种资料得到的结果和上海地区 11 个雨量计网密度经内插得到雨量进行比较、分析, 得到了一些很有意义的结果。

## 1 资料

雷达回波资料取的是上海中心气象台 714 数字化天气雷达的 1991 年 7 月 1 日、1992 年 9 月 23 日、1993 年 3 月 25 日、1994 年 4 月 5 日、4 月 7 日共 5 次降水过程 8 个时次体积扫描资料及由此得到的 1、2、3km 三个高度上的 CAPPI 资料。另外也获得了 1994 年 4 月 5 日、4 月 7 日两次降水过程 5 个时次低仰角的 PPI 资料。

1) 本课题受 85-906 01-03 攻关项目资助

再者以上海台为中心,取面积为 $10000\text{km}^2$ 的正方形区域,其中格距为 $2\text{km}$ ,格数为 $50\times 50$ ,获得了相应11个气象台站雨量资料,各雨量计站分布见图1。

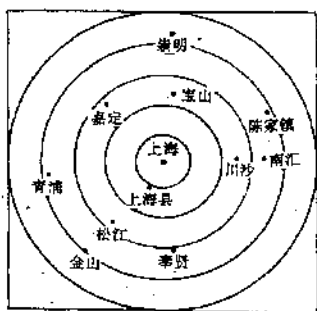


图1 上海中心气象台周围雨量站分布示意图及取样区域

查阅天气图,5次降水过程分别由锋面、台风、气旋波等系统所引起,其降水回波类型属于混合性大片絮状回波和对流性带状回波。

## 2 用雨量计网计算区域降水量

长期以来气象和水文部门都是依靠常规雨量计网密度测定区域降水量。但暴雨等强对流天气降水的局地性很强,这时利用常规雨量计站网密度往往容易漏掉暴雨强中心,使降水量分布形势“失真”。可是当降水分布比较均匀时,利用一定密度雨量计网测得的降水量,再利用文献[1]的方法内插到各网格点计算区域降水量,去检验雷达测定区域降水量精度,在精度要求不高时是允许的。

## 3 用不同高度上 CAPPI 资料估算单站降水量

据不同高度上 CAPPI 资料得到的相应雨量计站上空的 $Z$ 值,运用不同 $Z-I$ 关系求得雨强,并与地面雨量计测值进行比较。由于雷达探测和雨量计测量取样空间不一致等原因,这两种测量方法测值会存在较大误差,在对流性降水天气情况下,有时甚至会出现两种测值中一个很大而另一个等于0的情况。为了克服这类误差,本文采用了文献[5]的方法进行了5点平滑处理。5次降水过程8个探测时次单站降水量详细计算结果见表1,由表可见:

①从总体上看,除少数测站观测时次外,雨量计测值大于雷达测值,有时甚至大好几倍。特别是1994年4月5日、4月7日两次降水过程。由于后者采用了3个观测时次,前者采用了2个观测时次回波资料,几乎全部为雷达测值小于雨量计测值。

②利用不同 $Z-I$ 关系得到的雨强有差异,但差别不是太大。这就告诉我们造成雷达定量测定降水误差主要不是由 $Z-I$ 关系引起的。

③分析不同高度 CAPPI 上各站 $Z$ 值后发现, $Z$ 值垂直分布比较复杂,但多数为 $Z$ 值随高度增加而增加。在其它几次降水过程中,发现有 $Z$ 值随高度增加而减少的情况。此外,也有 $Z$ 值随高度增加先增后减或先减后增的情况, $Z$ 值随高度增加基本不变的情况极少。这些探测资料是很有意义的,它告诉我们,为了提高雷达探测降水量精度,就要求事先作好 $Z$ 值垂直分布廓线,以便对 $Z$ 值进行订正。

④对于有地物挡角的测站,雷达测值明显偏小,但这种偏小随高度增加逐渐有所改善。

## 4 用不同高度上 CAPPI 资料和 PPI 资料估算区域降水量及其精度

文献[1]中雷达测得的区域降水量是用 Col·Max 显示器得到的,它使用了由体积扫描中柱体内最强降水回波所组成的平面图象资料,因此与地面降水实况存在着差异。采用这种资料究竟会导致多少测量误差,精度如何?另外,我国不少部门和单位也常用一定低仰角情况下 PPI 资料估算区域降水量,其精度又如何?这就要求用三维体积扫描资料中取得不同高度上 CAPPI 资料进行比较和检验,表2列出了用3个不同高度上 CAPPI 资料和 PPI 资料估算区域降水量的精度。为了进一步研究雷达-雨量计联合探测系统测定区域降水量的精度,表中也同时列出了经平均校准后[4]测定区域降水量的结果,由表可见:

表1 用CAPPI资料得到的不同高度、不同Z-I关系单站降水量与雨量计测值比较

序号	高度 /km	类型	站名										
			崇明*	陈家镇	宝山*	嘉定	青浦	上海县	川沙*	松江	金山	奉贤	南汇
1	0	I	1.8		1.3		5.0	3.7	2.8	2.0	0.8	0.1	1.5
		dBz	14		27		34	46	15	22	0	4	32
	1	I	0.27 0.19		1.78 1.59		4.36 4.94	27.3 34.4	0.24 0.17	0.65 0.71		0.06 0.04	3.65 3.58
		dBz	15		27		52	44	11	26	0	15	32
	2	I	0.32 0.23		1.78 1.59		3.55 3.58	20.5 24.9	0.18 0.12	1.54 1.36		0.32 0.23	3.65 3.58
		dBz	14		27		31	43	18	26	0	19	30
2	3	I	0.27 0.19		1.78 1.59		3.16 3.04	17.8 21.2	0.49 0.37	1.54 1.35		0.56 0.44	2.73 2.59
	0	I	11.3		11.5		10.8	11.8	20.9	7.3	5.0	2.9	1.2
		dBz	26		25		30	27	17	33	8	18	32
	1	I	1.54 1.36		1.33 1.15		2.73 2.59	7.49 8.03	0.42 0.32	4.21 4.21	0.12 0.07	0.49 0.37	3.65 3.58
		dBz	26		37		30	33	15	34	11	20	33
	2	I	1.54 1.36		7.49 8.03		2.73 2.59	4.21 4.29	0.32 0.23	4.86 4.94	0.19 0.12	0.65 0.51	4.21 4.11
3		dBz	27		39		30	33	29	35	14	21	32
	3	I	1.78 1.59		5.99 11.1		2.73 2.59	4.21 4.21	2.37 2.20	5.62 5.81	0.27 0.19	0.75 0.60	3.65 3.58
	0	I	3.0	3.0	5.7	4.8	5.7	3.0	3.3	6.2	4.8	7.6	2.1
		dBz	14	23	16	33	29	32	14	30	23	29	27
	1	I	0.27 0.19	1.00 0.83	0.56 0.27	4.21 4.11	2.05 1.87	3.65 3.58	0.27 0.19	2.73 2.59	1.00 0.83	2.37 2.20	1.78 1.59
		dBz	15	27	34	31	31	31	11	20	29	31	29
4	2	I	0.32 0.23	1.78 1.59	4.96 4.94	3.16 3.04	3.16 3.04	3.16 3.04	0.18 0.12	2.73 2.59	2.73 2.20	3.16 3.04	2.37 2.20
		dBz	19	32	40	37	35	32	29	39	34	30	36
	3	I	0.56 0.44	3.65 3.58	11.53 13.04	7.49 8.03	5.62 5.65	3.65 3.58	2.37 2.20	9.09 11.10	4.86 4.94	6.48 6.83	6.48 6.83
	0	I	5.2		6.3	6.9	1.7	9.0	5.8	22.1	6.2	9.6	13.8
		dBz	22		15.7	33	18	33.7	14	29	15.3	26.3	30
	1	I	0.98 0.84		0.36 0.27	4.4 4.4	0.59 0.48	4.71 4.77	0.24 0.17	10.1 12.4	0.43 0.33	1.83 1.87	4.35 4.57
5		dBz	23.7		29.3	33.3	17	32	11.7	30	13.6	20	30
	2	I	1.27 1.10		2.70 2.59	4.55 4.59	0.57 0.46	3.72 3.67	0.23 0.16	11.4 14.23	0.35 0.26	0.65 0.53	4.35 4.17
		dBz	27		38.7	37	20	32	26	30	14.3	17	30
	3	I	2.07 1.92		10.97 12.50	10.45 12.0	0.91 0.78	3.72 3.67	1.58 1.4	11.4 14.23	0.40 0.31	0.43 0.32	4.35 4.57
	0	I	3.6	2.7	3.7	1.4	8.0	15.6	0.75	24.1	5.9	3.4	
		dBz	20	17	15.5	22.5	15	35	7.5	35	25	19	
6	1	I	0.65 0.51	0.49 0.32	0.79 0.71	0.33 0.29	2.37 2.20	5.51 7.5	0.57 0.4	16.3 20.6	1.17 1.12	0.71 0.44	
		dBz	17	19	31	23	13	36	7.0	33.5	29	18.5	
	2	I	0.42 0.32	0.39 0.44	1.15 1.10	0.46 0.44	1.60 0.98	10.3 13.2	0.44 0.35	15.4 17.5	1.79 1.71	0.76 0.75	
		dBz	13	21	28	26	13	39	16.5	35	21.5	17	
	3	I	0.24 0.17	1.10 0.77	2.25 2.20	0.46 0.43	2.33 0.83	13.8 15.5	1.10 0.90	10.9 13.1	0.62 0.60	0.60 0.55	

注:1)序号1-5分别为5次过程:1991年7月1日17时52分;1992年9月23日12时41分;1993年3月25日9时02分;1994年4月5日10时19分-11时04分;1994年4月7日03时11分-03时40分。

2)标有\*的站表示位于雷达挡角区。

3)雨强I的单位为mm·h<sup>-1</sup>,左边用Z=200I<sup>1.6</sup>,右边用Z=258I<sup>1.424</sup>计算雨强。

4)0km高度上为雨量计测值。

①用CAPPI资料测量区域降水量除1991年那次特例外,雷达测值均大大小于雨量计测值,雷达测值一般只占雨量计网测值的25%—50%。用PPI资料时,从两次降水过程来看,雷达测值更少,仅占雨量计网测值的25%。

②为研究CAPPI 3个高度上雷达测值的精度,我们对4次降水过程雷达测值和校准后的值相对误差进行了平均,得到了平均相对误差,结果发现,相对而言,3km高度上的雷达测值相对误差最小。

③平均校准后,雷达-雨量计联合探测系

统充分显示了优越性,其平均相对误差明显减少,且以1km高度上精度提高最多,这一点是很容易理解的。因为雷达波束原先被地物阻挡,其地物后面的降水雷达探测不到,现在经过平均校准,用雨量计网测值进行了订正,精度自然迅速提高。

④1991年7月1日降水过程中,雷达测值与雨量计网测值非常接近,这可能是偶然情况,一般情况下,不太可能出现。若遇到这样情况,校准就不必进行了。

5 雷达、雨量计网、雷达-雨量计网联合探测降水量分布形势比较

表2 用CAPPI和PPI资料测定区域降水量精度

降水日期		1991年 7月1日	1992年 9月23日	1993年 3月25日	1994年 4月5日	1994年 4月7日	平均相 对误差/%	
降水时间		12时52分	12时41分	9时42分	10时19分 11时04分	3时11分 3时40分		
天气形势		静止锋前	台风	气旋波	入海高压后部	锋前暖区		
降水性质		混合性	对流性	混合性	混合性	雷阵雨		
雨量计网测值 $10^7\text{m}^3$		2.2521	9.8836	4.5208	8.2451	9.2726		
雷达探测值	1	雷达值 $10^7\text{m}^3$	2.2720	4.0636	2.0557	2.1869	2.3784	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	-0.0198	5.8250	2.4651	6.0582	6.8942	
		相对误差/%	0.88	58.9	54.5	73.5	74.4	65.3
	2	雷达值 $10^7\text{m}^3$	2.3265	3.7776	2.2225	2.0719	2.4570	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	-0.0774	6.1110	2.2983	6.1660	6.8136	
		相对误差/%	3.3	61.8	50.8	74.7	73.5	65.2
	3	雷达值 $10^7\text{m}^3$	2.5468	3.6333	3.7313	2.8069	2.2402	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	-0.2947	6.2553	0.7894	5.4382	7.0324	
		相对误差/%	13	63.3	17.5	65.9	75.8	55.6
	PPI	雷达值 $10^7\text{m}^3$				2.1242	2.4004	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$				6.1209	6.8722	
		相对误差/%				74.2	74.1	74.1
雷达+雨量计联合探测系统(平均校准)	1	校准后值 $10^7\text{m}^3$	1.5173	7.1672	4.6823	10.8173	10.9647	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	0.7348	2.7214	-0.1615	-2.5722	-1.6921	
		相对误差%	32.6	27.5	3.6	31.2	18.3	20.15
	2	校准后值 $10^7\text{m}^3$	1.4711	5.6628	3.8527	11.2220	14.9183	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	0.7810	4.2258	0.6681	-2.9769	-5.6457	
		相对误差%	34.7	42.7	14.7	36.1	60.9	38.6
	3	校准后值 $10^7\text{m}^3$	1.4953	5.4443	2.8369	7.3877	13.0746	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$	0.7868	4.4443	1.6838	0.8574	-3.8020	
		相对误差%	34.9	44.9	37.3	10.4	41.0	33.4
	PPI	校准后值 $10^7\text{m}^3$				12.2922	12.2633	
		绝对误差 $10^7\text{m}^3$				4.0471	2.9707	
		相对误差%				49.1	32.2	40.6

已经提到用常规雨量计网密度测定降水会漏掉暴雨强中心,使降水量分布形势“失真”;用雷达探测可以准确测定降水量分布形势,但雨量探测值不准确。为此本文引进文献[4]的方法,采用平均校准法对CAPPI的雷达测值作了校准,它是雷达-雨量计网联合探测系统最简单的一种方案,效果良好。另外,本文也应用常用的PPI资料计算并得到了降水量分布形势,同样作了平均校准。文中以1994年4月5日的3个探测时次为例作了分析(其中10时39分探测时次图从略)。图2、图3、图4分别为用雨量计网、CAPPI资料并作了平均校准、PPI资料作了平均校

准后得到的降水量分布形势图,由图可见:

①比较图2、图3可见,雨量计网仅能分析出1个雨强强中心,从3个观测时次来看,它大体上由西向偏东方向移动。而雷达却能分析出多个雨强强中心。经平均校准后,这些雨强强中心在数值上接近雨量计网测值,其雨量分布形势大体上能保留原来雷达测得的雨量分布形势。比较3个观测时次,发现其北部的强中心由西向偏东方向移动。而南端的雨强强中心,大体上静止不动,且该雨强强中心雨量计没有探测到,经分析是由于该处没有安置雨量计站引起的。

②比较图3中不同高度CAPPI图可见,

随着高度增加,雷达探测得到的雨强强中心增多,而且3km CAPPI上雨强中心与1km上雨强中心不一致,前者位于后者西南方向,经分析这是由于当时高空盛行西南风引起的。

③图4是用PPI得到的雨量分布形势图。该图与1、2km高度上CAPPI雨量分布图很相似,但与3km CAPPI雨量分布图差异

较大,这是因为我们采用的是仰角为 $1.5^\circ$ 的PPI资料,在100km以内,波束中心轴线不会超过2.5km。

④经分析图3和图4,发现在每幅图右部均有一个明显挡角,随着高度增加,挡角略缩小。这是离上海中心气象台很近的建国宾馆的挡角,它对雷达探测有较大的影响,使得雷达探测值小于雨量计测量值。

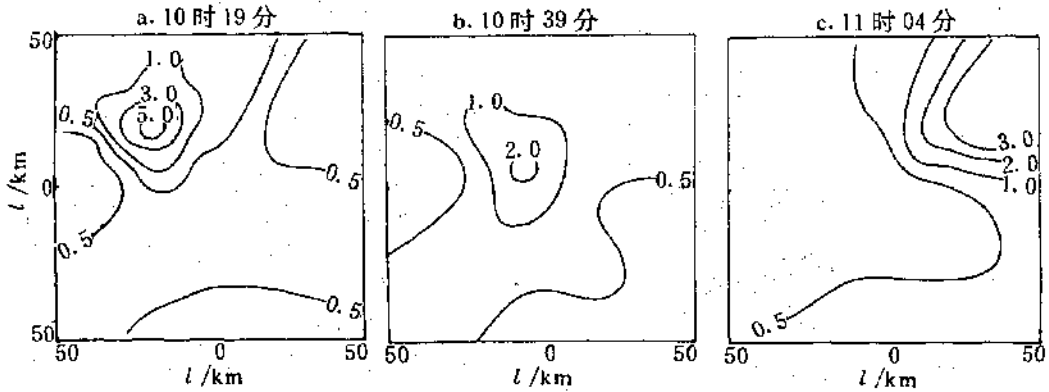


图2 雨量计网测得区域降水量分布形势图  
与图1对应的区域,4月5日

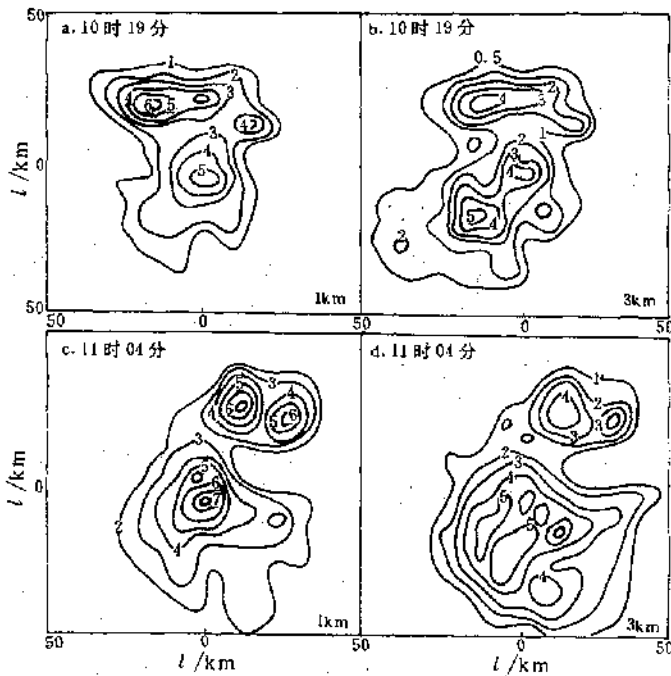


图3 CAPPI测量得到的1、3km高度上区域降水量分布形势图  
与图1对应的区域

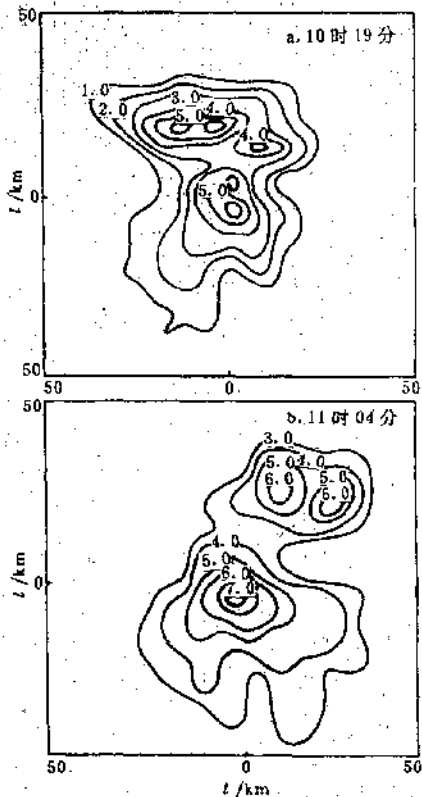


图4 PPI测量得到的区域降水量分布形势图  
(仰角:1.5°)  
与图1对应的区域,4月5日

### 6 小结与讨论

6.1 从分析5次降水过程来看,除一次例外,用CAPPI雷达测值只占雨量计测值的25%—50%;用PPI资料时,从两次降水过程来看,雷达测值仅占雨量计网测值25%左右。造成这种误差主要不是由Z-T关系变化引起的,经分析而是由雷达、雨量计两种测量方法取样空间不一致,Z值垂直方向变化以

及地物挡角引起的,为了提高雷达探测精度,建议从克服上述误差做起。

6.2 本文采用了雷达-雨量计联合探测系统方案中最简单的一种方法——平均校准法。该法无论从测量区域降水量还是降水量分布形势均提高了探测精度。由于平均校准法简单易行,便于推广,因此是很有前途的方法。

6.3 从3个不同高度CAPPI测区域降水量精度来看,相对而言,3km高度上的雷达测值相对误差最小,经平均校准后,1km高度上精度提高最多。

6.4 用PPI资料测区域降水量精度比用CAPPI资料测区域降水量精度要差,但当要求不太高时,仍可使用。

6.5 测定降水量分布形势,以联合探测系统方案最佳,它可使实际降水量分布形势尽量不失真。使用PPI资料会使降水量分布形势“失真”,探测远处,“失真”更严重。相比之下,使用CAPPI资料无论从测量区域降水量还是降水量分布形势均较理想。

### 参考文献

- 1 张培昌,戴铁丕等.用变分方法校准数字化天气雷达测定区域降水量基本原理和精度.大气科学,1992,16(2):248—256.
- 2 J. Joss and A. Waldvogel. Precipitation estimates and vertical reflectivity profile correction. 24th Conf Radar Mete., 1989, 682—688.
- 3 傅德胜,戴铁丕.雨滴谱变化对雷达定量测量单点降水的影响.南京气象学院学报,1985,NO.1,85—91.
- 4 戴铁丕,傅德胜.天气雷达-雨量计网联合探测区域降水量精度.南京气象学院学报,1990,13(4):592—597.
- 5 戴铁丕,袁括洪等.用CAPPI估算不同高度上区域降水量精度及雷达反射因子垂直分布廓线初探.南京气象学院学报,1995,18(1).
- 6 张培昌,戴铁丕,杜秉玉,汤达章.雷达气象学.北京:气象出版社,1988.

## An Accuracy Comparison of Estimated Precipitation by CAPPI and by PPI Data

Dai Tiepi Zhan Yu Liu Wanli  
(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

### Abstract

Using the CAPPI data at different heights and the PPI data at low elevation angle based on the 3 dimensional volume scanning data of 714 digital radar in the Shanghai Central Meteorological Observatory, the area precipitation is estimated and the distribution pattern is achieved. Then they are adjusted and compared with the measurement of the rain gage network.

**Key Word:** CAPPI PPI area precipitation average adjustment distribution pattern of precipitation