

我国分钟降雨率分布

仇盛柏*

(中国电波传播研究所 新乡 453003)

摘要 本文主要给出时间百分数为0.01%的我国分钟降雨率分布的等值线图。

关键词 分钟降雨率 等值线

The distributions of 1-min rainfall rate in China

Qiu Shengbo

(China Research Institute of Radiowave Propagation, Xinxiang 453003)

Abstract In this paper, contours of 1-min rainfall rate in China exceeded for 0.01% of time are given.

Key words 1-min rainfall rate, contours

1 引言

随着卫星通信的发展,10GHz以上的频段在无线电通信中的地位越来越重要了。然而在这个频段雨的散射和吸收所引起的无线电波的衰减是不可忽视的,而且在一定的频率范围内衰减值随着频率和降雨率的增加而增加。因此,在毫米波通信电路的设计中,必须考虑降雨引起的衰减。通常情况下,降雨率和雨衰减率值间的关系式如下:^[1]

$$r_R = kR^\alpha \quad (1)$$

式中 r_R 为雨衰减率(dB/km); R 为降雨率(mm/h); k, α 为与频率、雨滴尺寸以及水温有关的系数。值得注意的是,在雨衰减值的估算中,降雨率 R 必须是以1分为积分时间得到的分钟降雨率,否则计算结果会产生很大的误差。但是目前国内外广泛使用的翻斗式或虹吸式雨量计,是以10分为积分时间,只能测出10分降雨率值。为了获取分钟降雨率值,人们使用快速响应的分钟雨强计,在典型地区开展分钟降雨率测量,然后在10分降雨率和1分降雨率之间建立转换关系式^[2]。本文中分钟降雨率分布就是按照这一思路得到的。

2 资料概况

本文选取了北京、满州里、海口、乌鲁木齐、广州、青岛等中国境内最重要的65个站点,它们遍及中国各地,其位置的经度从82°E至162°E,纬度从19°N至50°N,地域范围广大而且包

* 国家自然科学基金资助项目

** 仇盛柏 电子部22研究所高级工程师,现主要从事毫米波传播中降雨特性的研究工作。

含有各种典型的气候区。这些站点的具体分布如表1所示。每个站均有10年每10分的降雨数据,将这些数据输入计算机,统计得到每个站点的小时降雨率的累积分布值。具体计算公式如下:

$$P_{ij}(\%) = \frac{N_i}{365 \times 10 \times 24 \times 6} \times 100\% \quad (2)$$

式中 P 为出现时间概率; N 为某一降雨率的出现次数; i 代表不同的站点, $i=1, \dots, 65$; j 代表不同的降雨率序列,它是一个不确定的数。以广东省阳江为例说明之:

表1. 降雨率统计计算的站点

序号	站名	纬度(N)		经度(E)		海拔高度 (米)	序号	站名	纬度(N)		经度(E)		海拔高度 (米)
		度	分	度	分				度	分	度	分	
1	阳江	21	52	111	58	23.3	32	信阳	32	07	114	05	75.9
2	钦州	21	57	108	36	4.0	31	上海	31	10	121	26	4.5
3	海口	20	02	110	21	14.1	39	北京	39	48	116	28	31.2
4	南宁	22	49	108	21	72.2	25	昆明	25	01	102	41	1891.4
5	广州	23	08	113	19	6.3	43	长春	43	54	125	13	236.8
6	桂林	25	20	110	18	116.7	35	新乡	35	19	113	53	72.7
7	汕头	23	24	116	41	1.2	25	腾冲	25	07	98	29	1647.8
8	东方	19	06	108	37	8.4	38	大连	38	54	121	38	93.5
9	柳州	24	21	109	24	96.9	23	蒙自	23	23	103	23	1301.7
10	赣州	34	50	119	08	2.9	38	石家庄	38	04	114	26	81.8
11	南昌	28	40	115	58	46.7	27	西昌	27	53	102	18	1590.7
12	厦门	24	27	118	04	63.2	33	汉中	33	04	107	04	508.3
13	宜宾	28	49	104	32	340.8	45	哈尔滨	45	41	126	37	171.7
14	温州	28	01	120	40	6.0	47	延安	36	36	109	30	957.6
15	福州	26	05	119	17	84.0	48	太原	37	47	112	33	777.9
16	赣州	25	50	114	50	123.8	49	呼和浩特	40	49	111	41	1063.0
17	济南	36	41	116	59	51.6	50	图里河	50	30	121	28	733.3
18	浦城	27	55	118	32	283.3	51	西安	34	18	108	56	396.9
19	贵阳	26	35	106	43	1071.2	52	桐州里	49	34	117	26	666.8
20	宜昌	30	42	111	05	131.1	53	兰州	36	03	103	53	1517.2
21	徐州	34	19	117	22	43.0	54	拉萨	29	42	91	08	365.8
22	杭州	30	19	120	12	7.2	55	西宁	36	35	101	55	2261.2
23	青岛	36	09	120	25	16.8	56	银川	38	29	106	13	1111.5
24	合肥	31	51	117	17	23.6	57	二连浩特	43	39	112	00	964.8
25	南京	32	00	118	48	8.9	58	昌都	31	11	96	59	3240.7
26	丹东	40	03	124	20	15.1	59	贺兰	38	42	105	43	2885.1
27	天津	39	06	117	10	3.3	60	巴彦毛道	40	45	104	30	1328.1
28	武汉	30	38	114	04	23.3	61	库车	41	43	82	57	1099.0
29	长沙	28	12	113	04	44.9	62	乌鲁木齐	43	34	87	06	653.5
30	恩施	30	16	109	22	437.2	63	酒泉	39	46	98	31	1477.2
31	成都	30	40	104	04	505.9	64	大柴旦	37	50	95	17	3173.2
32	重庆	29	35	109	28	260.6	65	哈密	42	49	93	31	737.9
33	沈阳	41	46	123	26	41.6							

$P=5\%$, $R=0.9(\text{mm/h})$, $N=26280(\text{次})$

$P=1\%$, $R=5.8(\text{mm/h})$, $N=5256(\text{次})$

$P=0.5\%$, $R=13.5(\text{mm/h})$, $N=2628(\text{次})$

$P=0.1\%$, $R=42.5(\text{mm/h})$, $N=525.6(\text{次})$

$P=0.05\%$, $R=59.0(\text{mm/h})$, $N=262.8(\text{次})$

$P=0.01\%$, $R=102.0(\text{mm/h})$, $N=52.6(\text{次})$

$P=0.005\%$, $R=127.0(\text{mm/h})$, $N=26.3(\text{次})$

$P=0.001\%$, $R=170.0(\text{mm/h})$, $N=5.3(\text{次})$

显然,概率大的是小降雨率,出现次数多;概率小的是大降雨率,出现次数也少。65个站点时间百分数在5%~0.001%范围内的降雨率累积分布,汇集成我国降雨率分布图集^[3],表2仅列出我国海口、广州、南京、重庆、新乡、长春6个地区的10分降雨率 $R_{10}(P)$ 的统计分布值。由表2可见,南京、新乡、长春相对于海口、广州、重庆而言,年降雨的概率较小, $P=5\%$ 时不出降雨,长春地区年降雨的概率更小, $P=1\%$ 时才出现降雨。

表2. 6地区10分降雨率 $R_{10}(P)(\text{mm/h})$ 的统计分布

站名 P (%)	海口	广州	南京	重庆	新乡	长春
5	0.7	0.7		0.7		
3	1.0	1.2	0.6	1.0	0.6	
1	3.7	4.0	2.0	2.4	1.3	1.6
0.7	5.8	6.0	2.8	3.2	1.9	2.1
0.5	8.6	8.8	4.0	4.2	2.5	2.8
0.3	15.2	15.5	6.2	6.2	4.0	4.4
0.1	35.0 _{51.7}	33.5 _{52.6}	16.0 _{22.4}	15.5 _{22.2}	11.0 _{10.5}	11.5 _{15.1}
0.07	43.0	40.0	19.8	19.0	14.9	15.0
0.05	52.0	47.5	25.0	23.5	19.0	19.0
0.03	62.0	59.5	33.5	32.5	26.5	26.4
0.01	(127) 87.0 ₁₅₂	(116) 84.6 ₁₅₂	(74.4) 57.5 _{87.4}	(70.8) 54.5 _{85.6}	(58.1) 48.5 _{89.6}	(59.2) 48.5 _{82.0}
0.007	95.0	92.2	67.5	63.0	56.5	56.5
0.005	102.0	98.3	78.0	69.5	62.5	64.0
0.003	117.0	112.0	92.5	82.0	73.5	74.5
0.001	145.0	137.5	128.0	101.0	96.5	99.0

3 分钟降雨率的换算

众所周知,无论是传播预测计算,还是通信电路的设计,至今国内外所提出的雨衰减计算模式,均需要有1分降雨率的统计分布值。为了将积分时间为 τ 分的雨量计得到的数据转换为1分的统计值,人们通常定义一个转换因子 $\rho_r(P)$:^[2]

$$\rho_r(P) = R_1(P)/R_r(P) \quad (3)$$

式中 $R_1(P)$ 和 $R_r(P)$ 分别是超过相同概率 P 的积分时间分别为1分和 τ 分的降雨率。进一步研究表明,转换因子 $\rho_r(P)$ 和概率 P 成很好的指数关系式:

$$\rho_r(P) = a \cdot P^b \quad (4)$$

(4)式中系数 a 和 b 可以利用最小二乘法回归统计得到。表3列出了加拿大 $\tau=5$ 分和 $\tau=10$ 分,欧洲地区 $\tau=10$ 分的分析结果。

表 3 加拿大和欧洲地区降雨率转换因子的回归系数

区域	$\tau = 5\text{min}$		$\tau = 10\text{min}$	
	a	b	a	b
加拿大(A,B带)	0.895	-3.61×10^{-2}	0.796	-7.45×10^{-2}
加拿大(C,D,E带)	0.852	-4.57×10^{-2}	0.836	-7.36×10^{-2}
加拿大(F,K带)	0.862	-5.64×10^{-2}	0.847	-8.29×10^{-2}
欧洲			0.86	-7.3×10^{-2}

为了将积分时间为 10 分的雨量计得到的数据转换为 1 分的统计值,我们选择了海口、广州、南京、重庆、新乡、长春 6 个典型气候区开展了降雨率测量,根据我们在 6 地区实测得到的 10 分和 1 分降雨率数据,将其转换方法简要叙述如下:

首先,建立 10 分降雨率 $R_{10}(P)$ 和 1 分降雨率 $R_1(P)$ 的关系式:

$$R_1(P) = a \cdot P^b \cdot R_{10}(P) \quad (5)$$

$$\rho_{10}(P) = R_1(P) / R_{10}(P) = a \cdot P^b \quad (6)$$

其次,根据 $\rho_{10}(P)$ 和 P 值进行统计回归,从而得到系数 a, b 值。

最后,得到了 6 地区的转换公式如下:

$$\text{海口: } R_1(P) = 1.0721P^{-0.0571}R_{10}(P) \quad (7)$$

$$\text{广州: } R_1(P) = 1.0496P^{-0.0587}R_{10}(P) \quad (8)$$

$$\text{南京: } R_1(P) = 1.1006P^{-0.0352}R_{10}(P) \quad (9)$$

$$\text{重庆: } R_1(P) = 1.0753P^{-0.0412}R_{10}(P) \quad (10)$$

$$\text{新乡: } R_1(P) = 1.0357P^{-0.0354}R_{10}(P) \quad (11)$$

$$\text{长春: } R_1(P) = 1.0582P^{-0.0311}R_{10}(P) \quad (12)$$

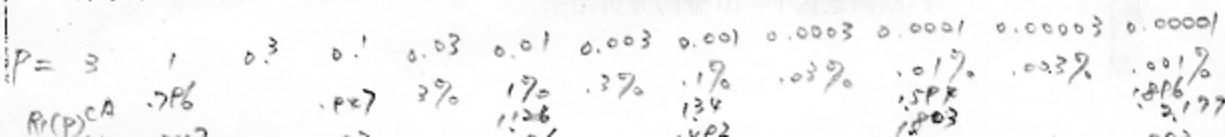
(7)~(12)式的单位为 mm/h,由实测值和换算值作出比较曲线,二者是相当吻合的,时间百分数在 0.001%~1% 范围内,它们的相对误差值在 8% 以内^[4]。

4 我国分钟降雨率分布

海口、广州、南京、重庆、新乡、长春分别代表了我国不同的降雨气候区,相同和相近的降雨气候区内的 10 分降雨率,可以分别应用(7)~(12)式换算为 1 分降雨率。根据中国的降雨资料,将 65 个站点 10 年每 10 分的降雨数据,通过计算机找出它们降雨率的累积分布,同时换算为 1 分降雨率的累积分布。

人们都知道,作为无线电通信系统的设计,通常要求高概率可靠度(例如 99.99%),这就要求各种衰减引起的系统中断概率不超过 0.01%。近年来 0.01% 中断概率已为国际公认,所以 0.01% 时间的降雨率 $R_{0.01}$ 是表征降雨特性的最重要的参数。

由于我们已经得到了 65 个站点的分钟降雨率的累积分布,也就不难得到 65 个 0.01% 时间的降雨率值。再用线性差值求出 0.01% 时间的降雨率的中国地域分布。由此得出如图 1 所示的时间为 0.01% 的分钟降雨率(mm/h)分布等值线图。由图可见, $R_{0.01}$ 的最高值为 140mm/h,分布在我国的海南省、台湾省、广东省南部沿海一带; $R_{0.01}$ 的最小值为 12mm/h,分布在我国的新疆和甘肃一带,最高值和最低值相差 10 倍之多。因此在有关的传播预测计算和通信电路设计时,应该参考如图 1 所示的等值线分布,这样才能减少盲目性,提高可靠度。



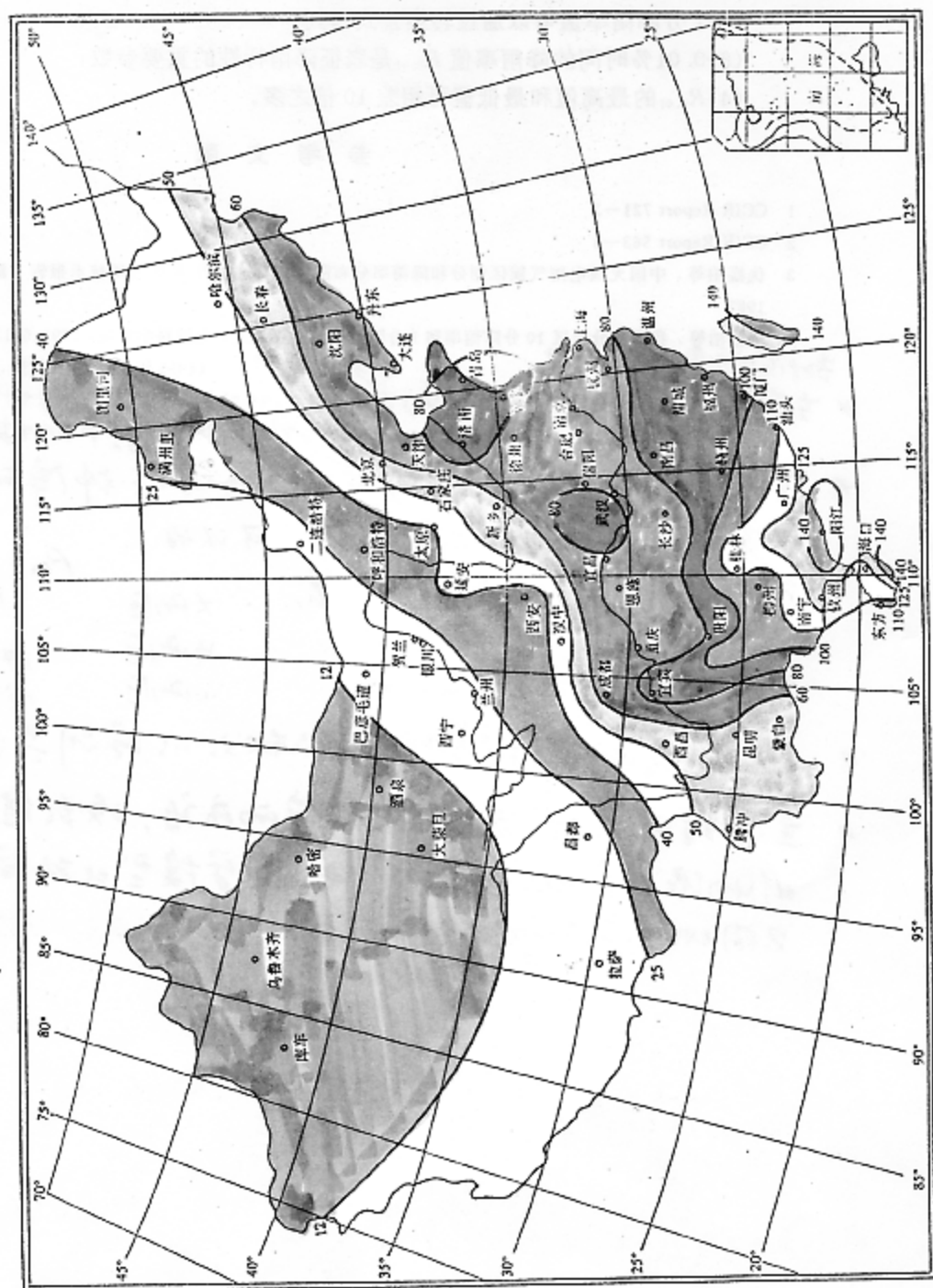


图 1 时间为 0.01% 的分钟降雨量 (mm/h) 分布等值线图

5 结论

- (1) 分钟降雨率值是雨衰减预测计算中必不可少的参数;
- (2) 1分降雨率值可以通过转换公式得到;
- (3) 0.01%时间的降雨率值 $R_{0.01}$ 是表征降雨特性的重要参数;
- (4) $R_{0.01}$ 的最高值和最低值可相差 10 倍之多。

参 考 文 献

- 1 CCIR Report 721-3
- 2 CCIR Report 563-4
- 3 仇盛柏等, 中国无线电气候区划分和降雨率分布图集, 中国电波传播研究所技术报告, 新乡, 中国电波传播研究所, 1987
- 4 仇盛柏等, 我国部分地区 10 分降雨率和 1 分降雨率的换算公式, 电波科学学报, 1991, 6(1): 136~139

(1995年5月25日收到, 1996年2月8日改定)

- 当时间取 $P=0.01\%$ 时,
- * 在转换因子 $P_2(P) = aP^b$ 中, P 按 0.0001 计时, 但对应表 2.6 中的 P 按 0.01 计时, 且各有所示。
- * 由比例和加拿大点采用 10 分钟 \rightarrow 1 分钟降雨率转换因子, 以及本文实测数据中的规律, 似可认为转换因子可简化为 3 类, 如右表。
- | | $P_{10}(0.001)$ | $P_{10}(0.0001)$ |
|-----|-----------------|------------------|
| 大山区 | 1.55 | 1.80 |
| 中山区 | 1.40 | 1.60 |
| 小山区 | 1.32 | 1.45 |
- 其相对误差值仍在 8% 以内。
- * 希望能代购或复制参考文献, 以得到其他时间取值的图 1。
- * 在计算雨衰时, 需用到降雨率, 该数值对计算结果的影响很大。CCIR 所提供的数学模型比较简单, 希望能提供不同地区的降雨率分布图或表格。
- 表 2