

中国主要城市降雨雨强分布 和Ku波段的降雨衰减

孙修贵 主编

气象出版社

中国主要城市 降雨雨强分布和 Ku 波段的降雨衰减

孙修贵 主编

气象出版社

内容简介

本书收集整理了全国 31 个省会上城市、60 个地级市、14 个县总计 105 个气象台站的降雨资料,内容包括降水量的年、月平均值和极值,雨强的年、月平均值和极值;提供了中国雨气候图及七种时间概率下的雨强等值线图;提供了根据国际电联降雨衰减计算模型计算出的降雨衰减;分析了这些气象台站雨强资料的可靠性,分析了中国雨强趋势;提供了试验站典型降雨过程和雨衰关系的分析报告。

本书可给中国上空通信卫星转发器的设计以及 Ku 波段卫星通信的链路计算提供参考,也可给从事卫星通信的技术人员了解中国雨强、降雨衰减的影响提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国主要城市降雨雨强分布和 Ku 波段的降雨衰减/孙修贵主编.

—北京:气象出版社,2004.9

ISBN 7-5029-3830-3

I. 中… II. 孙… III. ①城市-降雨强度-分布-中国②城市-降雨-衰减-研究-中国

IV. P468.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 094613 号

出版者:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

网 社: <http://cmp.cma.gov.cn>

邮 编:100081

E-mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

责任编辑:吴庭芳 李太宇

终 审:周诗健

封面设计:张建永

版式设计:吴庭芳

责任校对:石 仁

印刷者:北京金瀑印刷有限责任公司

装订者:三河市海龙装订厂

发行者:气象出版社

开 本:787×1019 1/16 印 张:12.625 字 数:320 千字

版 次:2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月第一次印刷

书 号:ISBN 7-5029-3830-3/P·1350

印 数:1~1000

定 价:35.00 元

前 言

利用人造地球卫星转发无线电信号,实现电话、数据、传真、电视等信息的远距离通信传输已成为应用十分广泛的技术,是人们日常工作、生活不可缺少的技术。目前实现这一功能的核心是位于地球赤道上空约 36000 km 的同步通信卫星,从地面上的一点发送信号到用户,或者我们在电视机上看到的某地的电视信号,电波从发端卫星地球站到达通信卫星,通信卫星再将电波返回卫星接收地球站,电波行走了七万多公里,需两次穿越自由空间和大气层。自由空间和大气层对电波传输的衰减将直接影响卫星通信和卫星电视广播信号的质量。自由空间对电波的衰减几乎是一个恒定的参数,与波长和通信距离有关,大气层则由于大气中电子、离子、水汽分子、固态或液态粒子(含冰晶和水滴)对电波的吸收、反射等作用使得电波的衰减随着波长的减小而增加,也随着这些粒子的变化而变化,特别是水汽粒子对电波传输的影响很大。大气层对电波的衰减不是一个恒定的参数,水滴、冰晶等水汽凝成物对电波有吸收、反射的作用,大气层水汽量的变化将引起电波衰减的变化。众多的学者、专家对电波在自由空间和大气中的传输早已作了深入的研究,突破了许多关键技术,才使得卫星通信和卫星电视广播取得了前所未有的发展。

大气中的水分子是一个活跃因子。阴晴雨雪是大气中水态和水汽含量变化的结果,水态和水汽的这一变化都集中在从地面到高空大约数千米范围内的近地层中。空中固态或液态粒子在气流的作用下相互碰撞形成较大的水汽凝成物或曰水滴降落到地面形成降水,单位时间降水量的多少就是雨强,在电波传输中以每小时毫米降水量表示。雨强是引起电波在大气层中衰减的一个重要参数。从气象的角度讲,雨强是一个累计统计数据,在气象观测中只有累积雨量记录,只讲 6 小时降水量,12 小时降水量,或 24 小时降水量,气象观测中还记录 10 分钟最大降水量及 1 小时最大降水量。本书提供的雨强数据是根据气象观测台站多年的自记雨量记录纸,每五分钟取一个雨量数值推算出来的。

本书选取了全国 31 个省会以上城市、60 个地市级市、14 个县,总计 105 个气象站的相关气象资料记录。全部气象资料取自中国气象局国家气象中心气象资料室。高级工程师毛恒青等人对自记雨量记录纸的降雨资料的数字化处理、雨强统计做了大量的工作,教授级高级工程师刘小宁、王伯民对雨强资料的统计方法和统计数据的可靠性进行了推算和研究,撰写了《雨强资料的可靠性及雨强趋势分析》,并对资料的整编结果进行了全面的审查和技术把关;广东省清

远地区气象局作了长时间的 Ku 波段垂直极化和水平极化的降雨衰减(以下简称雨衰)观测;四川成都市气象局高级工程师马瑜勇、陈章提供了成都雨衰观测资料;南京通信工程学院的郝学坤教授对雨衰的计算做了大量的工作;高级工程师蓝孝葵对本书的编辑出版和数据整理做了大量的工作;气象数据处理工程师黄惠宝对气象数据做了大量的查阅、核对工作;国家气象中心通信台卫星主站的技术人员对雨衰作了长时间的研究并积累了一定的经验。亚洲卫星公司中国部总经理陈力群先生、经理苏剑英先生和亚洲卫星公司北京办事处首席代表李文彪先生,对雨强、雨衰的研究工作的进展极为关注;雨强和雨衰的研究得到卫星通信界很多学者、专家的帮助,该研究还得到了亚洲卫星公司的资助。在此,对所有为本书作出贡献的人员表示衷心的感谢。

希望本书对中国卫星通信的电路设计和链路计算有所帮助。由于编者的水平有限,对本书的不妥之处敬请指正。

孙修贵*

2004 年 4 月 17 日

* 孙修贵,国家气象中心通信台台长,高级工程师

目 录

前言

编纂说明	(1)
卫星链路雨衰计算方法	(3)
雨强资料的可靠性及雨强趋势分析	(6)
典型降雨过程对 Ku 波段电波衰减的分析	(11)
中国主要城市降雨量、雨强、Ku 波段雨衰值	(19)
北京市降雨量和雨强统计	(21)
天津市降雨量和雨强统计	(23)
河北省	(25)
石家庄降雨量和雨强统计	(25)
承德降雨量和雨强统计	(27)
山西省	(28)
太原降雨量和雨强统计	(28)
大同降雨量和雨强统计	(30)
内蒙古自治区	(32)
呼和浩特降雨量和雨强统计	(32)
博克图降雨量和雨强统计	(34)
内蒙古朱日和降雨量和雨强统计	(36)
海拉尔降雨量和雨强统计	(38)
锡林浩特降雨量和雨强统计	(39)
通辽降雨量和雨强统计	(40)
赤峰降雨量和雨强统计	(41)
辽宁省	(42)
沈阳降雨量和雨强统计	(42)
大连降雨量和雨强统计	(44)
锦州降雨量和雨强统计	(46)
丹东降雨量和雨强统计	(47)
吉林省	(48)
长春降雨量和雨强统计	(48)
四平降雨量和雨强统计	(50)
延吉降雨量和雨强统计	(51)
前郭尔罗斯降雨量和雨强统计	(52)

黑龙江省	(53)
哈尔滨降雨量和雨强统计	(53)
齐齐哈尔降雨量和雨强统计	(55)
牡丹江降雨量和雨强统计	(56)
呼玛降雨量和雨强统计	(57)
嫩江降雨量和雨强统计	(58)
富锦降雨量和雨强统计	(59)
上海市降雨量和雨强统计	(60)
江苏省	(62)
南京降雨量和雨强统计	(62)
徐州降雨量和雨强统计	(64)
浙江省	(66)
杭州降雨量和雨强统计	(66)
衢州降雨量和雨强统计	(68)
温州降雨量和雨强统计	(70)
定海降雨量和雨强统计	(71)
安徽省	(72)
合肥降雨量和雨强统计	(72)
安庆降雨量和雨强统计	(74)
蚌埠降雨量和雨强统计	(76)
福建省	(77)
福州降雨量和雨强统计	(77)
南平降雨量和雨强统计	(79)
厦门市降雨量和雨强统计	(81)
江西省	(82)
南昌降雨量和雨强统计	(82)
吉安降雨量和雨强统计	(84)
赣州降雨量和雨强统计	(85)
景德镇降雨量和雨强统计	(86)
山东省	(87)
济南降雨量和雨强统计	(87)
成山头降雨量和雨强统计	(89)
潍坊降雨量和雨强统计	(91)
河南省	(92)
郑州降雨量和雨强统计	(92)

驻马店降雨量和雨强统计	(94)
湖北省	(96)
武汉降雨量和雨强统计	(96)
恩施降雨量和雨强统计	(98)
宜昌降雨量和雨强统计	(99)
湖南省	(100)
长沙降雨量和雨强统计	(100)
常德降雨量和雨强统计	(102)
零陵降雨量和雨强统计	(103)
芷江降雨量和雨强统计	(104)
广东省	(105)
广州降雨量和雨强统计	(105)
汕头降雨量和雨强统计	(107)
阳江降雨量和雨强统计	(109)
韶关降雨量和雨强统计	(111)
汕尾降雨量和雨强统计	(112)
广西壮族自治区	(113)
南宁降雨量和雨强统计	(113)
桂林降雨量和雨强统计	(115)
百色降雨量和雨强统计	(117)
梧州降雨量和雨强统计	(118)
海南省	(119)
海口降雨量和雨强统计	(119)
东方降雨量和雨强统计	(121)
四川省	(123)
成都降雨量和雨强统计	(123)
马尔康降雨量和雨强统计	(125)
宜宾降雨量和雨强统计	(127)
南充降雨量和雨强统计	(128)
西昌降雨量和雨强统计	(129)
重庆市降雨量和雨强统计	(130)
贵州省	(132)
贵阳降雨量和雨强统计	(132)
毕节降雨量和雨强统计	(133)
遵义降雨量和雨强统计	(135)

云南省	(136)
昆明降雨量和雨强统计	(136)
思茅降雨量和雨强统计	(138)
临沧降雨量和雨强统计	(140)
腾冲降雨量和雨强统计	(142)
丽江降雨量和雨强统计	(144)
蒙自降雨量和雨强统计	(145)
西藏自治区	(146)
拉萨降雨量和雨强统计	(146)
陕西省	(148)
西安降雨量和雨强统计	(148)
榆林降雨量和雨强统计	(150)
延安降雨量和雨强统计	(152)
汉中降雨量和雨强统计	(153)
甘肃省	(154)
兰州降雨量和雨强统计	(154)
敦煌降雨量和雨强统计	(156)
酒泉降雨量和雨强统计	(157)
平凉降雨量和雨强统计	(158)
武都降雨量和雨强统计	(159)
天水降雨量和雨强统计	(160)
合作降雨量和雨强统计	(161)
青海省	(162)
西宁降雨量和雨强统计	(162)
大柴旦降雨量和雨强统计	(164)
格尔木降雨量和雨强统计	(166)
宁夏回族自治区	(167)
银川降雨量和雨强统计	(167)
新疆维吾尔自治区	(169)
乌鲁木齐降雨量和雨强统计	(169)
哈密降雨量和雨强统计	(171)
伊宁降雨量和雨强统计	(173)
库车降雨量和雨强统计	(175)
和田降雨量和雨强统计	(177)
喀什降雨量和雨强统计	(178)
阿勒泰降雨量和雨强统计	(179)

中国雨气候图 (179)

图 1 中国雨气候区图 (183)

图 2 全年 5 分钟累计时间为 0.1% 雨气候区划图 (184)

图 3 全年 5 分钟累计时间为 0.01% 雨气候区划图 (185)

图 4 1% 时间的雨强等值线图 (186)

图 5 0.3% 时间的雨强等值线图 (187)

图 6 0.1% 时间的雨强等值线图 (188)

图 7 0.03% 时间的雨强等值线图 (189)

图 8 0.01% 时间的雨强等值线图 (190)

图 9 0.003% 时间的雨强等值线图 (191)

图 10 0.001% 时间的雨强等值线图 (192)

编纂说明

本书的编写旨在为 Ku 波段卫星通信系统设计的链路计算提供参考。

我们收集整理了全国 31 个省会以上城市、60 个地市、14 个县总计 105 个气象台站的相关资料。

该资料的主要内容有:所在站点的地理位置参数,多年降雨统计计算的降水量、雨强以及根据国际电联(ITU)建议的计算模型计算的雨衰计算值等,另外还有雨强资料的可靠性分析和雨强趋势分析、试验站的降雨和雨衰关系的分析报告等。

105 个站点中有 54 个站提供了 5 分钟雨强的各月概率统计值和 1 分钟最大雨强资料。其余 51 个站的雨强资料只有 5 分钟雨强的年概率统计值。

一、资料来源

1. 站点的经纬度、海拔高度取自国家气象中心气象资料室 1971~2000 年《中国地面气候资料》。

2. 雨气候区取自中国气象局国家气象中心气象资料室和武汉大学、广播电视部共同研究的《12 GHz 频段雨衰减测试研究和我国雨气候区划研究》的“中国雨气候区”图。

3. 各概率下 5 分钟雨强资料和降水量资料由国家气象中心资料室提供。

4. 雨衰值是采用国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R)的建议,以亚洲卫星 2 号 Ku 波段(中心频率:水平极化 14165 MHz、垂直极化 12365 MHz)的年平均可用度进行计算的。

二、资料的时段

由于资料采集的繁杂程度不同等原因,所取各种资料的时段也不尽相同,现说明如下:

1. 雨强资料

所用到的原始数据为 1975~1984 年 10 年各站实测原始降水自记纸数字化数据。其中上海站是 1967~1974 年 8 年的资料。

2. 降水量资料

累年平均月降水量、最大月降水量、平均年降水量、最大年降水量、降水日数和最大日降水量均为 1971~2000 年地面气候资料整编而得。

1 小时和 10 分钟最大降水量则是 1971~1979 年 9 年资料的统计结果。

三、雨强项目说明

1. 某种概率($\alpha\%$)下 5 分钟雨强

对于连续的 5 分钟雨强的时间序列,按 5 分钟雨强值由大到小顺序排列,其顺序位置的

百分率为 $a\%$ 处的 5 分钟雨强, 记为 x 。也就是说, 5 分钟雨强值大于等于 x 的概率是 $a\%$ 。

2. 某种概率($a\%$)下的月(或年)的 5 分钟雨强

为一个月(或一年)连续的 5 分钟雨强的时间序列所得到的 $a\%$ 下的 5 分钟雨强, 记为 y_x (或 n_x)。

3. 多年平均

“多年平均”的含义: 多年资料, 用逐年 y_x (或 n_x) 的值进行平均求得。

4. 最大

“最大”的含义: 多年资料, 逐年 y_x 的值中挑选的最大值。

5. 年最大雨强及出现月份

多年资料, 在逐年各月 y_x 的值中挑选的最大值及相应的月份为“年最大雨强”和“出现月份”。

四、使用单位

雨强: 用毫米/小时(mm/h)为单位表示 5 分钟雨强。1 分钟雨强用毫米/分钟(mm/min)为单位来表示。

降水量: 毫米(mm)

降水日数: 表示 1 年中日降水量 ≥ 0.1 mm 的天数, 单位用日(d)表示。

雨衰值: 分贝(dB)

另外, 表中数据栏出现的“/”号, 表示该数据缺测。

卫星链路雨衰计算方法

几个参数说明:

$R_{0.01}$: 一年的 0.01% 时间超过的降雨强度(mm/h);

h_s : 地球站的海拔高度(km);

θ : 路径仰角(度);

φ : 地球站纬度(度);

f : 频率(GHz);

R_e : 有效地球半径。

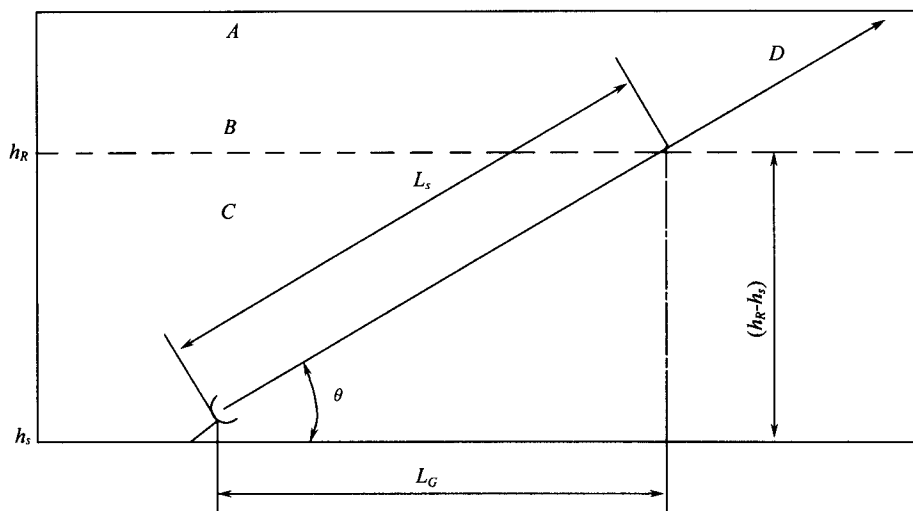


图 1 降雨衰减预测中的地球——空间路径及参数

A——冻结沉降物, B——雨高, C——液体沉降物, D——地球-空间路径

路径仰角的计算:

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{\cos \varphi \cos \Delta \lambda - R_e / (R_e + H_e)}{\sqrt{1 - (\cos \varphi \cos \Delta \lambda)^2}}$$

其中: $\Delta \lambda$ 是卫星与卫星接收站(或地球站)的经度差, H_e 是卫星离地面高度。

卫星链路雨衰计算步骤如下:

步骤 1: 计算降雨高度 h_R (km)

它可从当地气象数据中查出; 当没有相应气象数据可用时, 可由下式来确定:

$$h_R(\text{km}) = \begin{cases} 5 - 0.075(\varphi - 23) & \varphi > 23^\circ & \text{北半球} \\ 5 & 0^\circ \leq \varphi \leq 23^\circ & \text{北半球} \\ 5 & 0^\circ \geq \varphi \geq -21^\circ & \text{南半球} \\ 5 + 0.1(\varphi + 21) & -71^\circ \leq \varphi < -21^\circ & \text{南半球} \\ 0 & \varphi < -71^\circ & \text{南半球} \end{cases}$$

步骤 2: 计算雨高下的斜路径长度 L_S

$$\text{当仰角 } \theta \geq 5^\circ \text{ 时: } L_S = \frac{h_R - h_s}{\sin(\theta)} \quad (\text{km});$$

$$\text{当仰角 } \theta < 5^\circ \text{ 时: } L_S = \frac{2(h_R - h_s)}{\sqrt{\sin^2 \theta + 2(h_R - h_s)/R_e + \sin \theta}} \quad (\text{km});$$

步骤 3: 计算 L_S 的水平投影 L_G

$$L_G = L_S \cos \theta \quad (\text{km})$$

步骤 4: 根据雨区图查得地球站位置的 $R_{0.01}$

步骤 5: 计算降雨损耗率 γ_R (dB/km)

$$\gamma_R = k \cdot (R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/km})$$

其中参数 k 和 α 由下式确定:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos 2\tau] / 2;$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / (2k)$$

式中 θ 为路径仰角(度), τ 为相对水平方向的极化倾角。

对于圆极化, $\tau = 45^\circ$; 对于线极化波, 水平极化时, $\tau = \text{tg}^{-1} \frac{\sin \Delta \lambda}{\text{tg} \varphi}$; 垂直极化时, $\tau = 90 + \text{tg}^{-1} \frac{\sin \Delta \lambda}{\text{tg} \varphi}$ 。 $\Delta \lambda$ 是卫星与卫星接收站(或地球站)的经度差。 φ 是接收站(或地球站)的纬度。 k_H, k_V, α_H 和 α_V (k_H, k_V 和 α_H, α_V 分别表示线极化(水平极化(H)、垂直极化(V)以及水平路径的 k 和 α 值。))可由表 1 查出, 表 1 中未给出的值, 可由内插法得到。内插时, 频率和 k 取对数刻度, 而 α 取线性刻度。具体公式如下:

$$k(f) = \text{lg}^{-1} \left[\frac{\text{lg}(k_2/k_1) \times \text{lg}(f/f_1)}{\text{lg}(f_2/f_1)} + \text{lg} k_1 \right]$$

$$\alpha(f) = \left[(\alpha_2 - \alpha_1) \times \frac{\text{lg}(f/f_1)}{\text{lg}(f_2/f_1)} + \alpha_1 \right]$$

f 是实际的工作频率, 它介于表 1 中 f_1 和 f_2 之间, 而 k_1, k_2 和 α_1, α_2 是与 f_1 和 f_2 相对应的 k_H, k_V 和 α_H, α_V 。

表 1 降雨损耗率计算拟合公式中的有关参数

频率(GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030

续表

频率(GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
...	...	...	...	...

步骤 6: 计算 0.01% 时间的水平缩减因子 $r_{0.01}$

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}$$

步骤 7: 计算 0.01% 时间的垂直调整因子 $v_{0.01}$

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right) \quad (\text{度})$$

如果 $\zeta > \theta$, 则 $L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta}$ (km), 否则 $L_R = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta}$ (km)

如果 $|\varphi| < 36^\circ$, 则 $\chi = 36 - |\varphi|$ (度), 否则 $\chi = 0$ (度)

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31(1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)}$$

步骤 8: 计算有效路径长度 L_E (km)

$$L_E = L_R v_{0.01} \quad (\text{km})$$

步骤 9: 计算超过年平均 0.01% 时间降雨强度 $R_{0.01}$ mm/h 时的衰减量 $A_{0.01}$ (dB)

$$A_{0.01} = \gamma R L_E \quad (\text{dB})$$

步骤 10: 对超过年平均 0.001% 到 5% 时间降雨强度的衰减量 A_p , 可以根据 $A_{0.01}$ 用下式来修正

如果 $p \geq 1\%$ 或者 $|\varphi| \geq 36^\circ$: $\beta = 0$

如果 $p < 1\%$ 且 $|\varphi| < 36^\circ, \theta \geq 25^\circ$: $\beta = -0.005(|\varphi| - 36)$

否则: $\beta = -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta$

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)} \quad (\text{dB})$$

另外:

对于 7~55 GHz 的频率范围内, 如果测量到某个特定频率 f_1 的降雨损耗 A_1 , 则可以用下面的经验公式来计算另一个频率 f_2 上的降雨损耗 A_2 :

$$A_2 = A_1 (\varphi_2 / \varphi_1)^{1-H(\varphi_1, \varphi_2, A_1)}$$

其中 $\varphi(f) = \frac{f^2}{1 + 10^{-4} f^2}$, $H(\varphi_1, \varphi_2, A_1) = 1.12 \times 10^{-3} (\varphi_2 / \varphi_1)^{0.5} (\varphi_1 A_1)^{0.55}$

雨强资料的可靠性及雨强趋势分析

一、雨强统计方法及资料可靠性分析

对雨强统计过程比较繁琐,操作困难。特别是需要大量的手工点绘、审核、订正、读数等工作,还有大量的数据录入和统计工作,因此十分复杂。下面就统计中的方法、原理及可能的误差进行分析讨论。

1 资料内容及来源

1.1 基本气候要素资料

该部分资料站点包括全国地市以上台站,资料内容包括 1971~2000 年历年的年最大降水量、24 小时最大降水量、10 分钟最大降水量、年极端最大降水量及其出现年份等多个要素。资料来源于全国各省上报的气表-1 或年简表,依据其上报的内容进行信息化,全部进行人工审核校对,保证了资料的质量。

1.2 雨强的原始资料

提供 70 个台站 7 种概率下 1975~1984 年历年及历年各月的雨强计算时,用到的原始数据来源于 1975~1984 年全国上报的各站实测原始降水自记纸数据(上海站为 1967~1974)。

数字化仪对原始降水量自记纸进行图形到数据的转换,在此过程中已建立了完整的业务流程,并有一套比较严格的自记纸预处理质量控制方法。

首先对自记纸进行审核、时间误差订正、仪器误差订正及降水量记录异常检查等。

然后将图形转换为 5 分钟的雨强数据,并将数据进行了人-机结合的质量控制,对每一张自记纸形成的每一天的数据均与原始报表进行了核实,对错误资料进行订正。这样就初步形成了雨强统计的原始数据。

最后的质量控制是:将计算出的概率为 1% 时的累积 60 分钟降水量,与人工读取降水自记纸的一小时最大降水量对照检验。检验结果除极少数站点误差在 3~4 mm 外,多数站点误差均在 0.5 mm 以下。对误差较大的站点进一步检查,发现大多数出现在雨量线斜率大(降水强度大)或跨“时段”的曲线中。

经过以上几步的处理和质量控制,形成统计计算雨强的原始数据集。

2 各概率下雨强的统计方法

计算的雨强项目包括 70 余站 7 个概率下 1975~1984 年历年各月平均雨强、各月最大雨强、年最大雨强及其出现月份(5 分钟)、雨强极值(1 分钟)及该雨强持续的时间和出现时间(年、月、日)。

2.1 各概率点的雨强

根据气候统计理论,假定降水随机变量 X 有 n 项记录,构成一样本。将记录从大到小排序,记为 $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$ 。样本中记录大于等于 X_j 的有 j 项,则降水随机变量大于等于 X_j 的经验频率为:

$$p = P(X \geq X_j) = \frac{j}{n+1}$$

将各月 5 分钟雨强记录从大到小排序,一个月中 5 分钟的总样本数为:

$$IT5 = \frac{1440}{5} \times \text{该月天数}$$

在某概率(DAI)下的序号为:

$$IPQ = \text{int}(IT5 \times DAI) + 1$$

式中 int 表示取整(舍尾数)。

序号下的 5 分钟降水量即为该概率下的雨强。

2.2 各概率下各月平均雨强、最大雨强

各概率下各月平均雨强、最大雨强分别为各概率各月下 5 分钟雨强的平均值和最大值,并由各月最大值挑选出极大值为年最大雨强值。各概率下的年平均雨强为各概率下历年 5 分钟雨强的平均值。

1 分钟最大雨强及其持续时间,挑自历年 1 分钟雨强,并计算其持续时间及出现时间。鉴于 1 分钟雨强可能存在的误差,对部分 1 分钟雨强值进行了修正,修正方法是:原计算值和 0.01% 概率下 5 分钟最大雨强的算术平均。

3 误差分析

3.1 原始资料的误差分析

对原始资料的最后质量控制中,发现有极少数站点误差在 3~4 mm,多数站点误差均在 0.5 mm 以下。分析认为,造成误差的原因有以下三个方面:

(1)数字化操作误差。由于人工点图中,允许降水的时间误差为 2~3 分钟,时间误差造成时段降水的差异,尤其在跨越时段的降水迹线斜率大时,易造成误差。

(2)人工视差。在雨量迹线斜率大且密集时,人工读数存在一定的主观性,且每个人之间也存在个体差异。

(3)自记记录误差。由于仪器缺测、虹吸漏水等情况发生时造成迹线异常,使得自记记录失实。在预处理中做合理的纠正,故此数字化后与原始记录间出现一定的误差。

但是以上各种原因造成的误差,均在允许的范围内。

3.2 计算方法的误差分析

如前所述,根据原始资料和气候统计理论求出了各概率下的雨强分布。但由于降水量尤其是强降雨过程的雨量变率较大,又只有 10 年的统计资料,年代有些偏短,有必要对计算结果的代表性等问题进行讨论。为此,选用部分代表站对结果进行分析,首先利用各站 10 年各月的全部原始数据组成一个序列,进行排序并计算出各概率下的雨强,记为 B ;分别对每年各月资料组成的序列进行排序,求出每年各月的雨强,然后对 10 年进行平均而得的月