

# 高频微波链路测水新技术应用研究

邹明忠

(江阴市江堤闸站管理中心,江苏 无锡 214400)

**摘要:**通过实时采集大气中的降水对微波传播信号的衰减数据,根据信号衰减与降水强度之间的关系,反演微波链路网络覆盖范围内的降水强度分布,能针对性解决山区、流域、湖泊、水库、公路等场景的监测难点,并实现“快、精、准”监测。目前该研究成果已在江阴市得到良好验证与应用,可在防汛、水文、气象、交通、农业等行业广泛推广。

**关键词:**微波测水;精细化;网格化;高时空分辨率;降水

中图分类号:TV66

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)10-0032-0004

## Research on the application of rain measurement technology based on high frequency microwave link

ZOU Mingzhong

(Jiangyin Yangtze River Dike and Sluice Station Management Center, Wuxi 214400, China)

**Abstract:** By collecting the attenuation of the rainfall in the atmosphere on the microwave propagation signal in real time, according to the relationship between the signal attenuation and the rainfall intensity, the rainfall intensity distribution in the coverage area of the microwave link network can be inverted, which can solve the problem of mountain areas, watersheds, lakes and reservoirs, road and other scenes monitoring difficulties, and realize “fast, precise and accurate” monitoring. At present, the research results have been well verified and applied in Jiangyin City, and can be widely promoted in flood control, hydrology, meteorology, transportation, agriculture and other industries.

**Key words:** microwave rain measurement; refinement; gridding; high spatial and temporal resolution; rainfall

近年来,降水的不规律性,导致暴雨频发、城市内涝、山洪灾害等问题频发,对政府防洪抗涝提出了诸多挑战。研究应用具有“快、精、准”的新一代降水监测技术,有利于针对不同情形的降水状况及时做出科学应对措施,最大程度保障人民生命财产安全。

### 1 降水监测技术现状

降水监测对于防汛水文、气象播报、农业生产、预防自然灾害等方面都具有极大意义。目前常用

的监测方法主要有:雨量计、测水雷达、卫星遥感。

雨量计是目前水利、气象等行业中降水监测最常用的设备,能够对某一区域一段时间的单点雨量进行监测。目前常用的雨量计为翻斗式,只有当降水量达到雨量计最小翻转雨量时,雨量计才会翻转进行报送一次。对于雨量较小的情况,可能需要较长一段时间的降水累计才能翻转一次,导致无法表示该段时间的降水状况,而且雨量计对安装选址有规范性要求,易受外界杂质的影响,人工定期维护成本较高、特别是山区等地区的运维难度更大。

收稿日期:2022-05-12

作者简介:邹明忠(1974—),男,高级工程师,主要从事水利信息化研究应用与水工管理工作。Email:605787418@qq.com

测水雷达是探测一定空间范围内的降水强度分布和总降水量。测水雷达主要利用外推图进行降水监测,能够较好地实现区域遥感监测。测水雷达受一些复杂地形及地球曲径的影响,监测的降水区域数据与实际降水数据会产生精度偏差。另外雷达外推需要一定的时间,且测水雷达安装选址与建造成本高,需要专业的运维人员,不易迁移导致灵活性缺失<sup>[1-2]</sup>。

卫星遥感是具有全球性降水监测功能,采用了辐射测量等技术,通过算法反演出能反映降水的相关数据。相比于测水雷达,卫星遥感能够实现更大范围的监测,但仅于国家层面使用、数据回传时间长,在小区域的降水监测精度不如测水雷达且极易受云层干扰,数据精度不高,需要其他降水数据源进行补充或修正<sup>[3-4]</sup>。

## 2 基于高频微波链路的降水监测技术

基于高频微波链路的降水监测技术通过对微波链路进行组网、晴雨区分、反演算法、计算得出线平均雨量,最后形成监测区域的二维降水场。

### 2.1 组网方案

对于降水监测区域,微波链路组网主要分为线雨量监测与面雨量监测。根据监测区域内监测精度和时空分辨率的要求,通过合理的组网方式(如交叉、平行、相交等),降低微波链路的组网成本;进行规划频率尽可能减少干扰,提高组网质量。

#### 2.1.1 线雨量监测组网

在流域、铁路、公路等线雨量监测场景,优先采用折线组网方式,也可以采用沿线组网的方式,特殊应用场景下,采用交叉组网(图1)。

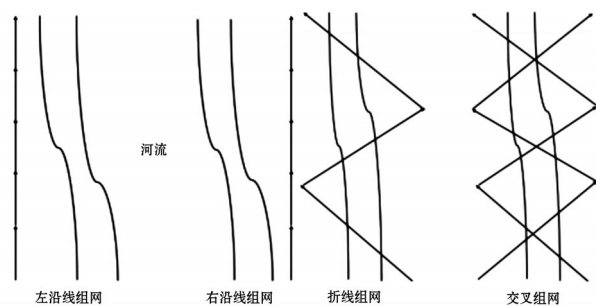


图1 线雨量监测组网

#### 2.1.2 面雨量监测组网

在城镇、湖面、山区等面雨量监测场景下,对区域进行网格化,按照网格的方式进行链路组网(图2)。网格需采用相同的组网方式,且部署的链路相

对规整,可满足区域的组网要求。采用交叉组网的方式,保证2条高频微波链路的高度离散性,增强空间代表性,并提高网格内的降水监测精度。

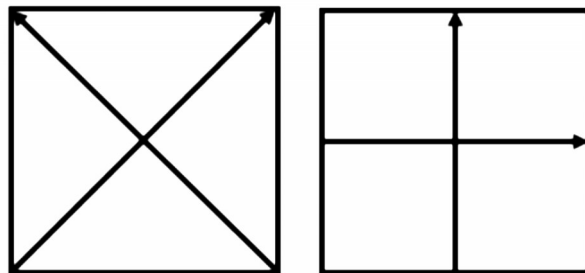


图2 面雨量监测组网

在2条链路交叉组网的前提下,在网格内部署更多的链路,进一步提高监测精度和空间分辨率。

### 2.2 晴雨区分

高频微波链路通过发射端发射信号接收端接收信号,获取微波链路实时电平值变化情况,采用深度学习中的长短期记忆(LSTM)方法,根据微波链路的电平值时序变化情况,对链路所在区域的天气情况进行晴雨判别。

### 2.3 线雨量反演

在晴雨判别的基础上,高频微波链路利用链路之前时段的电平值变化情况,计算出微波链路的基值,通过当前链路的信号强度减去基值,获取所需衰减量,然后根据链路衰减与雨强之间的对应关系,得到链路实时线雨量。

### 2.4 二维降水场构建

基于微波链路的网格化降水监测是利用监测区域内的多条微波链路线雨量,通过反距离权重插值法,计算出每个网格格点的降水量,通过网格点之间的不同降水量,构建出区域实时二维降水场。如图3所示,在图中共有16个网格,将每个网格左上角格点记作 $C_1, C_2, \dots, C_{16}$ ,同时将链路均匀划分成 $n$ 端,划分好的链路每个端点都为链路雨强。随后根据每个格点到链路距离的优先级,利用雨强计算公式,计算出每个网格格点雨强,从而反演出区域面雨量。

以江阴市为例,首先获取一个包含江阴市的矩形边界,将矩形划分成8255个网格,同时链路按照0.3 km的精度进行划分。目前基于微波链路的网格化降水监测的空间分辨率为0.5 km×0.5 km,微波链路的电平值是能够实时获取的,网格格点的雨强时间分辨率为分钟级,降水监测精度可达到0.1 mm。

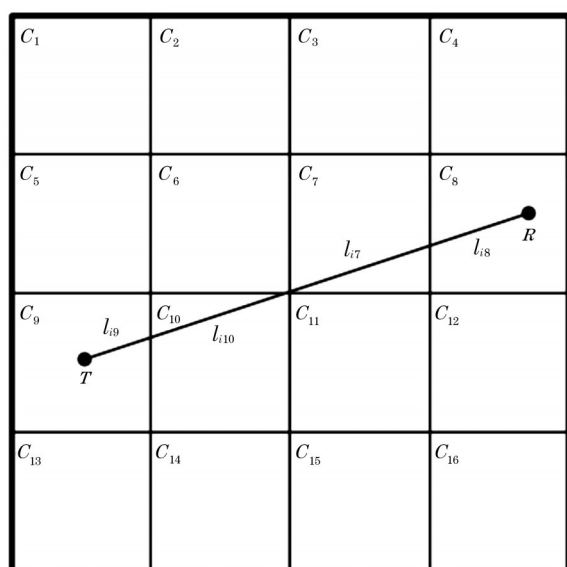


图3 格点雨量计算

### 3 与不同降水监测方式的数据对比

选取实际降水时的过程进行数据对比,分别通过与江阴市高频微波链路附近的雨量计、雨滴谱仪监测的数据,苏州枫桥水文局公布的数据、中国气象局气象雷达监测的降水数据进行对比。

#### 3.1 江阴高频微波链路测水数据与临近雨量计、雨滴谱仪降水监测数据对比

选取江阴39编号高频微波链路于临近的雨量计、雨滴谱仪进行数据对比。39编号链路于2021年9月13日反演降水时间段为15:59至16:46,3个雨量计中反应最早以及最晚翻转的雨量计时间为

16:00和16:36,雨滴谱仪降水时间段为15:58至16:36,降水数据如图5所示。源泰科技雨量计与凯润国际雨量计精度为0.5 mm,这两处雨量计累计雨量均为1.5 mm;天福世纪广场雨量计精度为0.2 mm,累计雨量为2.2 mm;雨滴谱仪累计雨量为1.76 mm,微波链路反演累计雨量为3.2 mm。通过雨量计的数据对比可以看出,雨量分布并非均匀的,呈现由北往南逐渐减小的趋势,同时雨量计由于得达到一定刻度才会翻转,而微波测水监测的为线雨量,故存在一定空间误差。

#### 3.2 苏州高频微波链路测水数据与临近苏州枫桥水文局降水数据对比

选取在苏州枫桥水文局区域架设的2条高频微波链路测水数据,与2021年9月12日苏州降水数据进行对比。表1是枫桥水文局对外公布的降水数据,84、85编号高频微波链路监测所得降水数据。通过数据对比,84、85编号高频微波链路的线雨量分别41.8 mm与20.6 mm,由于区域降水呈不均匀现象,所以两条链路存在差距,但两条链路的平均线雨量为31.2 mm,与水文局公布的累计降水数据33 mm误差为5.5%,相差较小。

#### 3.3 江阴区域高频微波链路测水数据与中国气象局对应降水区域数据对比

中国气象局的降水监测是通过气象雷达对全国降水情况进行监测,监测区域广泛,空间分辨率为5 km×5 km,降水图是利用micaps4文件获取全国数据,通过数据处理、数据清洗等方式,定位到江阴,将雷达监测降水数据映射到地图上,与高频微

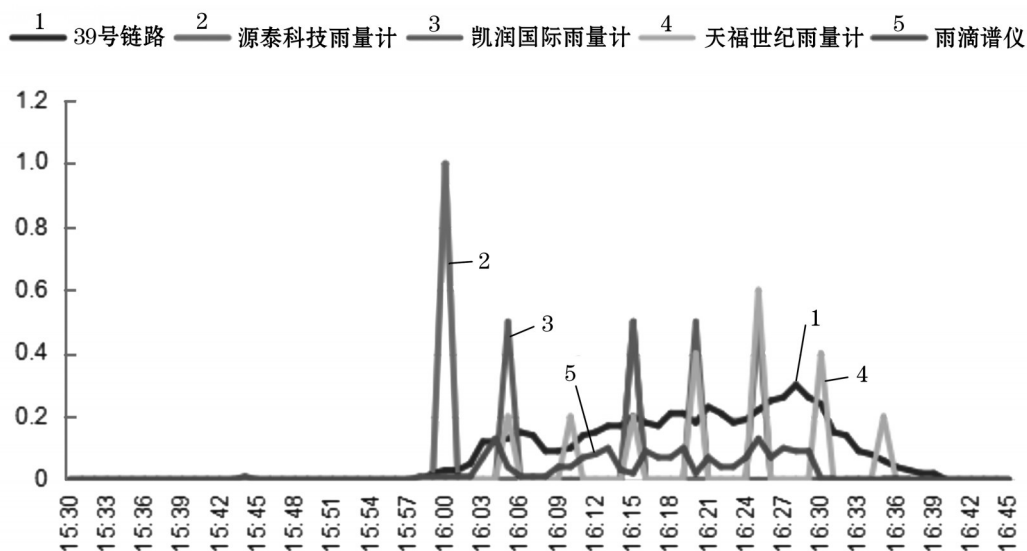


图4 9月13日链路、雨量计、雨滴谱仪降水数据

表 1 苏州枫桥水文局与链路降水数据对比 单位:mm

时间	枫桥水文局	84 号链路	85 号链路
00:00	0	0	0
01:00	0	0	0
02:00	0	0	0
03:00	0	0	0
04:00	0	0	0
05:00	0	0	0
06:00	0	0	0
07:00	0	0	0
08:00	0	0	0
09:00	0	0	0
10:00	0	0	0
11:00	0	0.9	0.5
12:00	10.5	17.7	8.4
13:00	2.5	3.2	1.4
14:00	3	6.0	2.3
15:00	0.5	0	0
16:00	0	0	0
17:00	0.5	0.6	0.5
18:00	0.5	0	0
19:00	7.5	6.8	5.4
20:00	4	2	1.1
21:00	4	4.6	1.0
22:00	0	0	0
23:00	0	0	0
日累计降水量	33	41.8	20.6

波链路测水获得的二维降水场进行对比。

雷达监测降水图与高频微波链路降水图均选取了 2021 年 7 月 15 日 16 时和 17 时数据,中国气象局监测降水数据与高频微波链路测水数据两者之间累计降水量存在一定差异,同时高频微波链路测水监测到的降水区域为江阴城区东部,而中国气象局监测到的降水区域为江阴城区西部,且两者监测到的累计降水量、面雨量趋势以及降水区域亦存在差异。

## 4 应用意义

### 4.1 提高降水监测精度

基于微波链路的网格化降水监测利用降水时雨滴对微波链路造成的链路衰减来进行降水反演计算,可以实时获取链路线雨量及区域降水动态变化。同时由于链路部署依托于通信基站,链路主要监测近地表降水量,相比于气象卫星与测水雷达,在针对小区域降水监测时,基于微波链路的网格化降水监测会更加精准。

### 4.2 降低城市内涝风险

目前我国城市气象预测多是大区域整体监测和预报,精准性不高,对城市强降水预报相对不准确。在强降水预测时,多是依据大气科学理论,以各种气象探测手段为基础,依靠预报人员的综合判断分析预测,导致预报结果与实际降水存在较大差距且信息传递不及时。由于数据发布不及时,对水患及水情认识不清,造成错误判断,引发严重后果。而网格化实时精准的监测近地表降水量,结合城市地形、地下管网排水能力,能够提前给防汛部门发出区域被淹预警,防汛部门做出应对措施,从而降低财产损失。

### 4.3 提高山洪灾害预警

不同地形对暴雨形成灾害的影响是不同的。高原和山地由于阻挡作用,常常会形成绕流和爬流等,易引发暴雨。暴雨会引发山洪暴发、江河泛滥、堤坝决口,给人民和国家造成重大经济损失。目前降水监测主要利用雨量计、天气雷达等专用测水仪器,但这些仪器存在较为明显的限制条件。采用高频微波链路测水的方法,其分布密度更加广泛,能够在雨量计、天气雷达等无法架设的地方成为一种有效的降水测量手段。通过利用微波的衰减从而反演雨滴形状、降水类型、降水强度等指标,这种结果直接作用于地表真实降水,反演结果代表性高,而且可以在较大范围内以较高精度实时监控。

### 4.4 推动水文技术发展

目前水文行业降水监测主要利用雨量计、天气雷达以及遥感卫星。这些技术手段在实时性和空间性方面存在一定的缺陷,而基于微波链路的网格化降水监测能够对上述技术缺陷进行较好的补充。同时基于微波链路的网格化降水监测主要监测近地表降水,其数据与天气雷达和遥感卫星数据

(下转第 53 页)

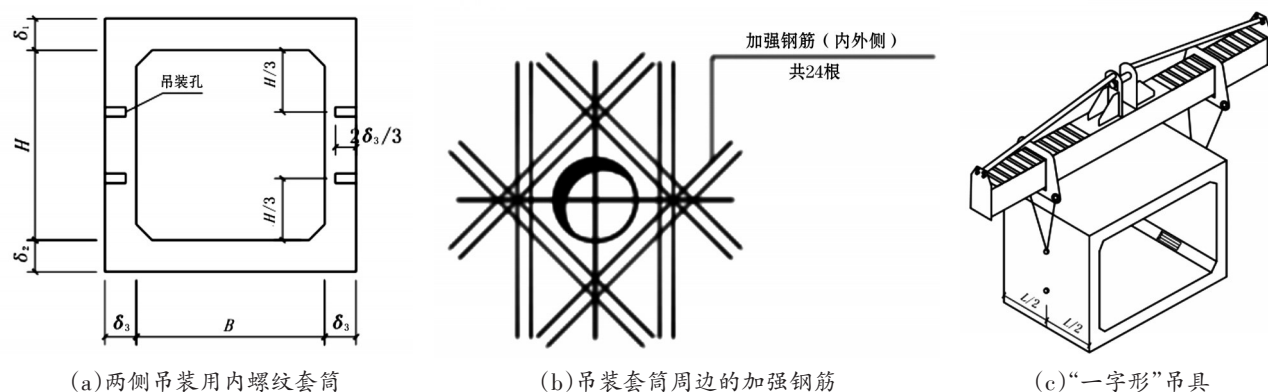


图5 预留吊装孔及专用吊具

点的防渗效果尤为重要。在进行小型水工建筑的设计过程中,本文提出的相关防水构造可为设计人员提供相应参考。

#### 参考文献:

[1] 陈友国,余代广,郦行. 小型水工建筑物常见渗漏问题

分析[J]. 江苏水利,2012(10):19-21.

[2] 郭学明. 装配式混凝土结构建筑的设计、制作与施工[M]. 北京:机械工业出版社,2017.

[3] JGJ 355 钢筋套筒灌浆连接应用技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.

[4] 郭学明,杜常岭,王书奎,等. 装配式混凝土建筑——施工安装200问[M]. 北京:机械工业出版社,2018.

(上接第35页)

相结合,能够更好地进行降水预测,促进水文行业监测技术的发展。

## 5 结 语

高频微波链路测水新技术具有优先利用基站资源、可快速搭建网格、系统稳定性强、无需日常维护等显著特点,节省了大量人力、物力及维护成本,能实现网络化的实时动态降水监测,为水灾害防御、气象水文、水资源管理、农业种植、交通管理、应急调度、军事保障、无人驾驶、市民出行、快递企业等提供“快、精、准”的降水数据服务,是对现有降水监测技术的有效补充或革新,具有良好的社会和经

济效益。

#### 参考文献:

[1] 刘志雨,刘玉环,孔祥意. 中小河流洪水预报预警问题与对策及关键技术应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(1):1-6.

[2] 吕玉凤,胡文. 基于高分三号雷达卫星的洪涝灾害遥感监测[C]//第七届中国(国际)商业航天高峰论坛论文集,2021:198-208.

[3] 唐国强. 卫星遥感降水在全球及典型区域的检验、应用和改进[D]. 北京:清华大学,2019.

[4] 印敏,高太长,刘西川,等. 微波链路测量降水研究综述[J]. 气象,2015,41(12):1545-1553.