

山洪易发区水库致灾预警与减灾技术研究丛书

山洪易发区 灾变监测技术指南

李卓 何勇军 范光亚 徐海峰 李宏恩 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利部公益性行业科研专项经费项目（
南京水利科学研

山洪易发区水库致灾预警与减灾技术研究丛书

山洪易发区 灾变监测技术指南

李卓 何勇军 范光亚 徐海峰 李宏恩 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书为《山洪易发区水库致灾预警与减灾技术研究丛书》之一。有效而系统的监测是进行山洪易发区灾害预测预警,制定防灾、抢险及救灾方案的重要前提和依据,从而最大限度地发挥减灾系统工程效益,减少山洪灾害造成的损失。本书围绕山洪易发区水库安全监测技术,主要对水库上游流域洪水监测、近坝库岸边坡监测、水库大坝安全监测及水库安全评价技术进行详细探讨。

本书可作为有关设计院、水库大坝管理单位和从事大坝安全监测设计、施工的技术人员开展大坝安全监测工作的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

山洪易发区灾变监测技术指南 / 李卓等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2016. 10
(山洪易发区水库致灾预警与减灾技术研究丛书)
ISBN 978-7-5170-4818-3

I. ①山… II. ①李… III. ①水库—防洪—监测系统—指南 IV. ①TV697.1-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第247105号

书 名	山洪易发区水库致灾预警与减灾技术研究丛书 山洪易发区灾变监测技术指南 SHANHONG YIFAQU ZAIBIAN JIANCE JISHU ZHINAN
作 者	李卓 何勇军 范光亚 徐海峰 李宏恩 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 3.75印张 52千字
版 次	2016年10月第1版 2016年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	20.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

在水利部公益性行业科研专项经费项目“山洪易发区水库致灾预警与减灾关键技术研究”(201301033)基础上,为保证山洪易发区水库安全运行,制定《山洪易发区灾变监测技术指南》(以下简称《指南》)。

《指南》主要内容包括山洪易发区洪水监测和水库大坝安全监测。山洪易发区洪水监测内容为降雨量、水位、流量;山洪易发区水库大坝安全监测内容为变形、渗流、环境量及大坝安全监测自动化系统。

《指南》进一步明确和细化了山洪易发区水库安全监测的总体技术要求,包括《指南》的编写目的、监测内容以及大坝安全监测自动化系统。

《指南》的出版得到了水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院和中国水利水电出版社的大力支持和资助,谨表深切的谢意。

由于山洪易发区监测技术的不断进步,并受限于作者水平,《指南》中难免不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2015年12月

目 录

前言

1	总则	1
2	山洪易发区洪水监测	2
2.1	监测站网布设	2
2.2	水雨情监测系统结构	5
2.3	水雨情监测系统工作方式	10
2.4	水雨情监测方法	11
2.5	水雨情监测系统土建及安装	15
2.6	水雨情监测系统供电电源	20
2.7	资料整编与分析	21
3	山洪易发区水库大坝安全监测	24
3.1	巡视检查	24
3.2	大坝安全监测项目	27
3.3	变形监测方法	29
3.4	渗流监测方法	36
3.5	大坝安全监测自动化系统	40
附录 A	安全监测项目	53
附录 B	巡视检查记录表	55

1 总则

(1) 为保证山洪易发区水库安全运行, 切实保证山洪易发区水库安全, 制定本《指南》。

(2) 本《指南》针对的山洪易发区水库安全监测技术主要包括水库上游流域洪水监测、水库大坝安全监测。山洪易发区洪水监测内容包括降雨量、水位、流量监测; 山洪易发区水库大坝安全监测内容包括变形、渗流、环境量监测及大坝安全监测自动化系统。

(3) 本《指南》可为各省(自治区、直辖市)山洪易发区水库提供安全监测技术参考, 也可以作为各省(自治区、直辖市)山洪灾害安全监测技术参考。

(4) 本《指南》的引用标准和文件主要包括:

- 1) SL 61—2003《水文自动测报系统技术规范》。
- 2) GB/T 11828.1—2002《水位测量仪器》。
- 3) GB/T 50138—2010《水位观测标准》。
- 4) SL 21—2006《降水量观测规范》。
- 5) GB 50179—1993《河流流量测验规范》。
- 6) SL 537—2011《水工建筑物与堰槽测流规范》。
- 7) SL 274—2001《水文资料整编规范》。
- 8) SL 675—2014《山洪灾害监测预警系统设计导则》。
- 9) SL 551—2012《土石坝安全监测技术规范》。
- 10)《山洪灾害防治非工程措施运行维护指南》。
- 11)《大坝安全监测与自动化》。

2 山洪易发区洪水监测

山洪易发区洪水监测内容主要包括降雨量、水位和流量。由于山洪易发区主要分布在我国的高山、丘陵地区，受山区局地小气候影响，降雨时空分布极不均匀，所以山洪易发区洪水监测有别于大江大河的水雨情监测。山洪易发区洪水监测要求精度高，监测站密度大，预报作业时间短、精度高。不仅要考虑面上雨量分布而且要考虑高程变化对降雨量影响。

2.1 监测站网布设

2.1.1 监测站网布设原则

(1) 监测站网布设应密切结合本流域的特性，反映流域暴雨洪水特性。监测站网应能满足水库运行调度所需要的雨量、水位、流量等信息要求；雨量监测站网应能正确反映各类型暴雨及暴雨中心的分布规律，能够反映流域暴雨的空间分布特性。雨量监测站网布设应满足平均雨量计算的精度要求，同时应满足洪水预报方案精度要求。

(2) 监测站设置应考虑交通方便，便于通信组网、建设和运行维护，还应避开可能发生坍塌、滑坡和泥石流等不安全因素的区域。

(3) 水库工程应建设坝上水位站、出库水文站。坝上水位站应选择合适的位置，避开受水库放水、泄洪等波动影响的区域；出库水文站以控制全部出库水量为宜。对于综合利用的水库，因出口较多、不易集中控制时，可在各出口下游分别建站。

(4) 配置水库洪水预报方案时, 应根据预报方案要求, 在水库入流断面段设立水文(水位)监测站。

2.1.2 站网论证

2.1.2.1 有资料地区站网论证

站网论证是在站网规划的基础上, 以定量分析方法确定站网数量, 合理确定测站位置。站网论证主要有以下两种方法:

(1) 以面雨量作为目标函数进行站网论证, 主要是通过比较各站网布设方案平均误差来确定站网数量和分布。

计算面平均雨量可用等值线法、泰森多边形法、算术平均法、两轴法等, 计算中宜用暴雨等值线计算的面平均雨量作为近似真值, 所选择的雨量样本应考虑不同成因和量级的暴雨。

抽站法是利用较多雨量站资料, 计算面平均雨量, 然后用较少雨量站资料(包括日雨量与时段雨量)重新计算面雨量, 计算抽样误差, 探讨布站密度与抽样误差之间的关系, 求出满足精度要求的布站数量。

如某水库坝址以上集水面积 75.9km^2 , 河长 22.26km , 河床平均坡降 2.62‰ , 流域平均宽度 3.41km 。水库坝址以上地势自南向北倾斜, 属高丘区。整个流域山峦重叠, 流域内地形梯度变化大, 河流源短, 坡陡流急。采用抽站法进行面雨量分析, 某水库 3d 面雨量比较见表 2.1。

表 2.1 某水库 3d 面雨量比较表

起始时间	9 个监测站		7 个监测站		5 个监测站		3 个监测站	
	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%
1986-06-08	63.5	0	63.0	-0.8	62.7	-1.3	66.3	4.4
1988-07-12	53.2	0	53.8	1.1	52.4	-1.5	54.8	3.0
1990-09-13	76.4	0	76.1	-0.4	77.5	1.4	74.6	-2.4
1993-08-21	90.6	0	89.9	-0.8	91.2	0.7	86.2	-4.9

续表

起始时间	9 个监测站		7 个监测站		5 个监测站		3 个监测站	
	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%	面雨量 /mm	误差 /%
1996-09-03	83.9	0	84.1	0.2	82.9	-1.2	86.7	3.3
1998-07-09	57.6	0	58.0	0.7	58.7	1.9	59.8	3.8
2000-09-16	98.2	0	97.8	-0.4	99.3	1.1	95.2	-3.1
2002-06-23	102.7	0	103.4	0.7	104.2	1.5	107.0	4.2
2005-09-12	80.5	0	81.2	0.9	79.2	-1.6	83.8	4.1
2006-08-10	64.3	0	63.8	-0.8	65.0	1.1	62.1	-3.4
2008-09-15	86.1	0	85.6	-0.6	86.9	0.9	84.0	-2.4
2011-07-21	70.2	0	69.7	-0.7	69.1	-1.6	73.3	4.4

由表 2.1 可知,随着站数的减少,误差越来越大。结合模型方案分析后,该系统选取 5 个监测站作为优选方案。

(2) 以洪水预报精度作为目标函数进行站网论证,主要是通过比较各站网布设方案的洪水预报精度对站网布设数量、位置进行定量分析,一般以相对误差 20% 为标准。

以现有入库水文站作为预报断面,将流域分成若干子流域,对每一块再细分单元块,对每个子流域块利用降雨产流模型,根据历史水文资料,作降雨、蒸发、土壤含水量、水源分配和消退、单元河网单位线及河槽汇流等分析,率定各子流域有关参数,在达到一组调试最佳参数的条件下,分析计算与实测拟合成果,探讨监测站点对暴雨控制的代表性。改变各子流域模型参数进行率定计算,组成多种站网方案,再分析其洪水过程拟合程度,从而求出满足精度要求的布站数量。

仍以前述水库流域为例,根据水文站点分布情况,分别按 9、7、5、3 个监测站建立洪水预报模型,从实测资料中选取多场降雨和洪水过程率定预报模型参数,与实测洪水过程比较,分析拟合程度,计算多场次洪水预报的平均精度,某水库流域洪水预报模型论证成果见表 2.2。

表 2.2 某水库流域洪水预报模型论证成果表

监测站数/个	9	7	5	3
洪峰合格率/%	95	89	85	77

从表 2.2 可以看出,定量论证后拟选的 5 个监测站点,用预报模型计算的洪峰精度能满足精度要求(以场次洪水的洪峰相对误差不大于 20%为合格标准)。

2.1.2.2 无资料地区站网论证

山洪易发区洪水监测主要内容是降雨量,降雨量与高程变化有一定的相关性,不同地区高程与降雨量的关系不同,而且大气环流、水汽含量、山脉、气温、太阳辐射、地形的陡缓等对降雨量的影响很大。因此,山洪易发区降雨量站密度根据本地区生活条件、设站目的、地形等条件确定,应该考虑山洪易发区高程与降雨量关系,雨量站的站址选择应该符合以下要求:

(1) 面雨量站应在大范围内均匀分布。

(2) 不遗漏雨量等值线图经常出现极大极小值的地点。

(3) 在雨量等值线梯度大的地带,对防汛有重要作用的地区,应适当加密。

(4) 暴雨区的站网均应适当加密。

(5) 生活、交通和通信条件较好的地点。

(6) 站网根据实际需要考虑降雨量布置测点数。

2.2 水雨情监测系统结构

根据通信组网的不同,水雨情监测系统一般由监测站、中继站和中心站组成。监测站设在区域内的水雨情监测点,可分为雨量监测站、水位监测站和流量监测站;中心站一般设在水库管理局(所)或上级管理部门处;如果系统采用超短波通信,当通信条件难以满足监测站与中心站之间直接数据通信要求时,还需要建设中继站,中继站一般选择在地势较高、通信条件较好处。水雨情监测

系统总体结构见图 2.1。

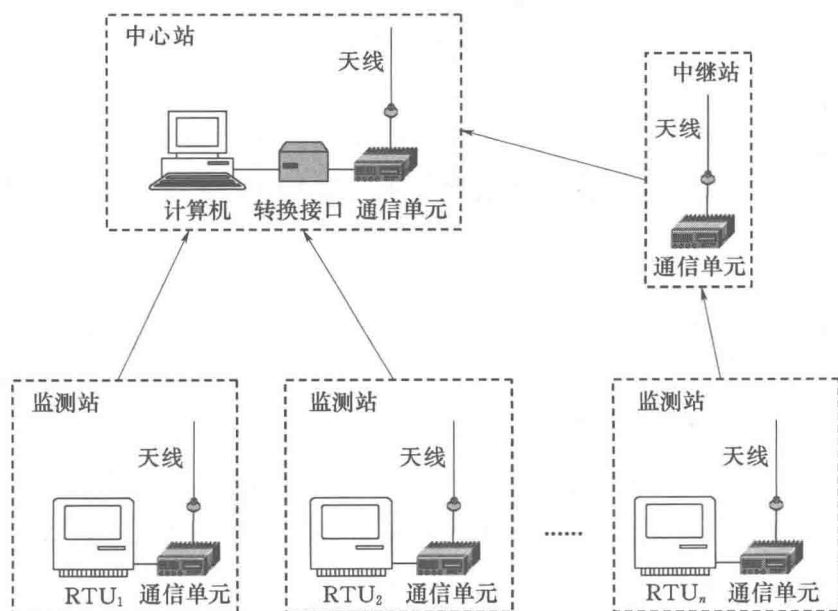


图 2.1 水雨情监测系统总体结构

2.2.1 中心站

中心站是数据采集和处理中心。中心站应包括中心站硬件设备和软件系统。中心站硬件设备配置主要是通信接收设备、计算机设备和电源支持系统，通信接收设备包括天馈线、各种通信终端（如超短波电台、GSM 通信机、卫星小站等），计算机设备包括水情工作站、水情服务器、打印机等，电源支持系统包括电源避雷装置、交流隔离稳压器、UPS 及后备蓄电池组等；软件系统包括系统应用软件、操作系统软件、数据库软件及工具软件等系统配套软件。水文遥测中心站结构见图 2.2。

一个中心站最少需要以下设备：

- (1) 台式商用电脑或工业电脑，作为实时监控计算机（水情工作站）。
- (2) 水文数据服务器和网络设备。

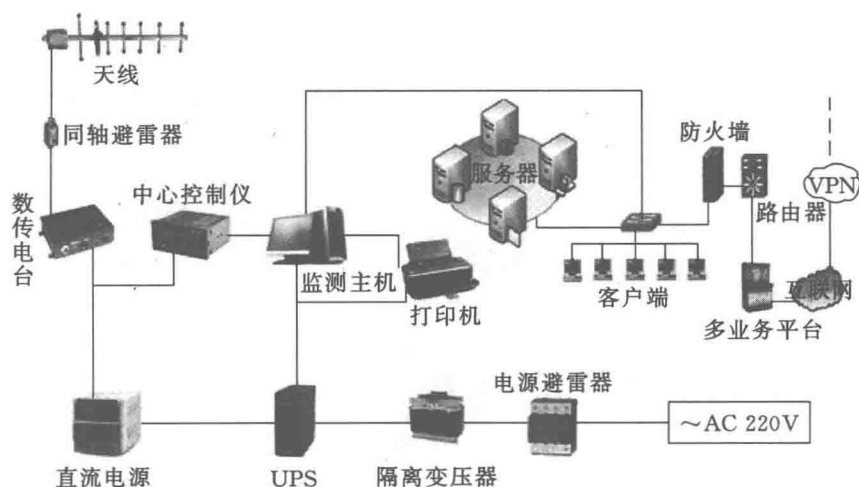


图 2.2 水文遥测中心站结构

(3) 所选择信道的通信终端一台或多台（双信道或多信道通信时）。

(4) 中心电源避雷和供电维持设备。

2.2.2 监测站

水雨情监测站的设备主要包括遥测终端（RTU）、雨量传感器、水位传感器、流量传感器、无线调制解调器、通信机及其天馈线、太阳能电池板、蓄电池组等。典型的水雨情监测站结构见图 2.3。

2.2.3 水雨情监测系统通信组网

水雨情监测系统可选用移动公网（数字移动通信）、卫星、超短波和计算机网络等数据传输通信方式。

(1) 通信组网方式。水雨情监测信息采集传输系统的通信组网设计，应结合所处流域内的气象条件、自然地理环境、现有通信资源、供电状况等具体情况，因地制宜地选择、确定组网方案，以保证系统的实用性、可靠性和经济性。根据通信方式不同，通信组网方案差别较大，测站与中心站之间的组网形式多为星形结构。在信

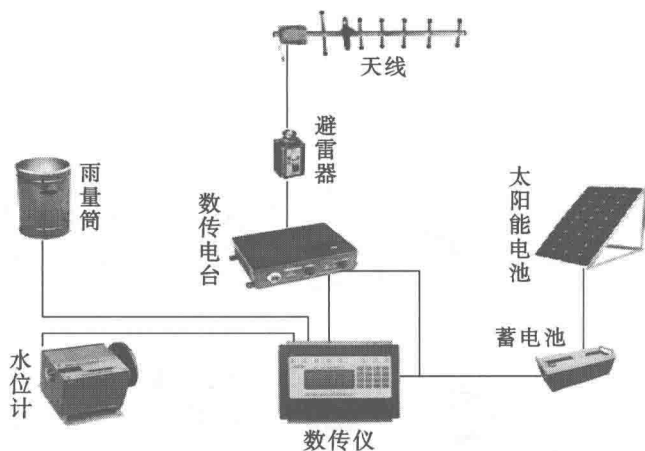


图 2.3 典型的水雨情监测站结构

道、设备设计中，应遵循专网/公网相结合的原则，并充分利用现有的通信资源和设备。

(2) GSM/GPRS 通信组网。GSM/GPRS 公网通信具有网络稳定可靠、通信费用低、基本不受地域限制的优点，它在水雨情监测数据传输通信方面可以被认为是一种首选的通信方式。根据 GSM/GPRS 数据传输原理，系统不需要建设像超短波那样的中继站。利用 GSM/GPRS 系统进行无线通信还具有双向数据传输功能，其性能稳定，为远程监控设备的通信提供了一个强大的管理支持平台。典型的 GSM/GPRS 通信网络见图 2.4。

(3) UHF/VHF 超短波通信组网。UHF/VHF 频段超短波是一种地面可视通信，其传播特性依赖于工作频率、距离、地形及气象因子等因素。国家无线电管理委员会将 230M 的频段划分给水利数据通信专用。目前我国国内已建系统的超短波频率大多为 150~450MHz，它主要适用于平原丘陵地带中继站数量少、中继级数较少的水雨情监测系统。超短波通信组网具有建设费用低、无需通信费、组网结构简单、可靠性高等优点。虽然公共移动通信网具有许多优点，但对于山区、丘陵区该网络不一定能全面覆盖，因此，超

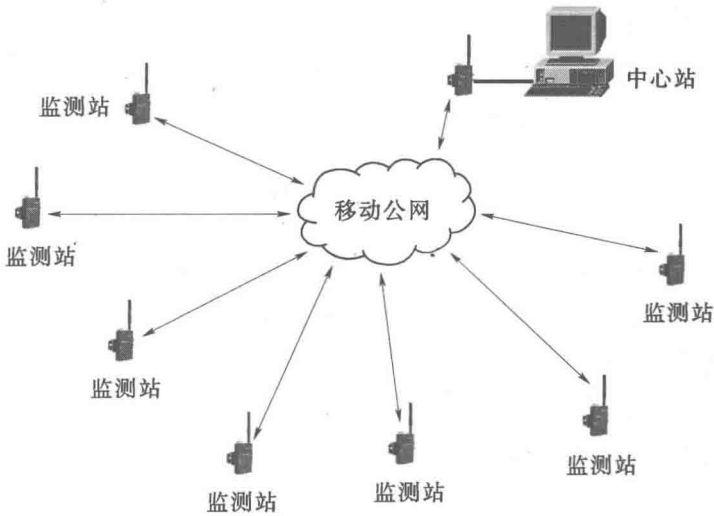


图 2.4 典型的 GSM/GPRS 通信网络

短波通信仍具有一定优势。典型超短波通信网络是一种树形结构的网络，见图 2.5。

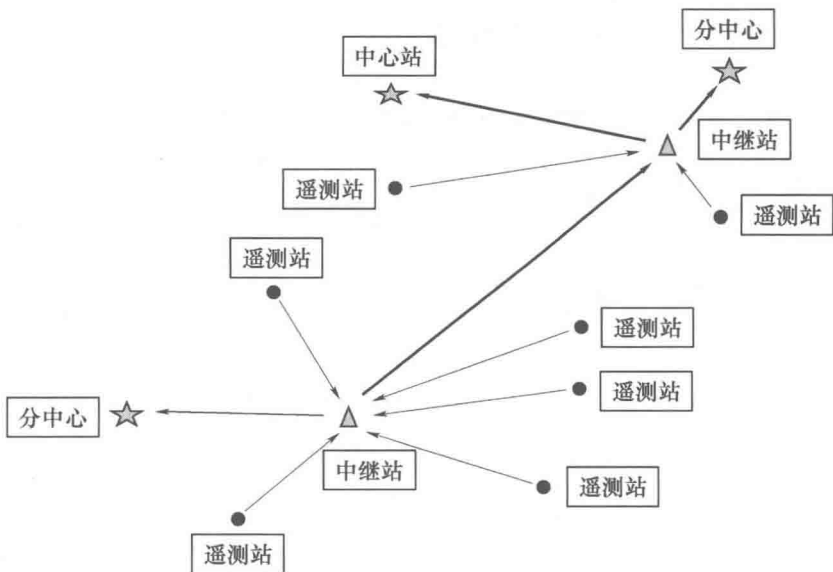


图 2.5 典型超短波通信网络

(4) 卫星通信组网。卫星通信具有传输距离远、通信频带宽、传输容量大、组网机动灵活、不受地理条件的限制、建站成本及通信费用与通信距离无关等特点。目前可以利用的卫星通信方式有北斗卫星通信、VSAT 卫星通信、海事卫星通信和全线通 SCADA 卫星通信。

(5) 多信道复合系统组网结构。系统可选用的通信组网方式有超短波、卫星通信(北斗卫星、VSAT、Inmarsat 等)、移动通信(GSM/SMS 或 GSM/GPRS)、短波信道(SW)等多种。随着国家防汛指挥系统逐步投入建设,多信道系统复合组网已越来越多地投入了实际应用。

根据系统流域的自然地理特性,区间各站点的通信现状以及组建水雨情监测系统的实践经验和当今通信及网络技术的发展趋势,同时考虑到系统建成后便于运行管理,保证系统信息流畅、有效和实用,系统建设数据传输方式推荐方案采用主用、备用信道进行混合组网,系统配备“双信道”,互为备份。

2.3 水雨情监测系统工作方式

水雨情监测系统应根据功能要求、电源、交通、可应用的通信信道、信道质量和管理维护力量等条件,按照经济合理的要求,选用部颁规范中推荐的自报式、查询-应答式或兼容式工作方式。

2.3.1 自报式系统工作方式

自报式水雨情监测系统在遥测站设备控制下采用随机自报和定时自报相结合的工作方式完成数据上报。

自报式系统工作方式是在雨量和水位参数发生一个计算单位的变化时,实时将实测值传送到中心站,流量参数按一定时间间隔定时将实测值传送到中心站,其遥测站通信机平时处于关机状态,终端机可使用发射模块,因此可以降低系统的功耗和成本。这种工作方式便于遥测站使用太阳能和蓄电池组合供电,结构简单,可靠性

较高，实时性强，能较好地反映水雨情参数变化的全过程。

2.3.2 查询-应答式系统工作方式

查询-应答式系统工作方式监测站自身能对水雨情参数发生的变化自动采集和存储，但不主动传送给中心站。只有当中心站发出查询命令时，才将当前水雨情参数传送给中心站，因为要接收中心站的查询命令，所以监测站通信机处于长期守候状态，因此功耗较大。

查询-应答式工作方式主要用于远程设备管理和远程站点历史数据下载。

2.3.3 混合式系统工作方式

兼容工作方式具有自报、查询-应答两种工作方式的特点，既能很好地反映水雨情参数变化的全过程，又能响应中心站的查询，其缺点也是功耗较大。

系统数据采集与传输的工作体制应尽量选为自报式体制，并在某一信道上能够支持中心站召测功能。通过软件设置支持上述几种数据传输体制，无需修改硬件，能够自动或根据中心指令，在暴雨时，水位陡涨或达到警戒水位情况下，主动增加传送数据频度。

2.4 水雨情监测方法

降雨的空间分布具有显著的地域性，降雨量虽与高程的变化具有一定的相关性，然而不同的地区高程与降雨量的关系不同，而且影响降雨的因素并不是单一的，大气环流、水汽含量、山脉、气温、太阳辐射、地形的陡缓等对降雨量的影响也很大。

2.4.1 降雨量监测

2.4.1.1 监测点布置

降雨量监测场面积一般应不小于 $4\text{m} \times 4\text{m}$ ，应避开强风区，其

周围应空旷、平坦，不受突变地形、树木和建筑物以及烟尘的影响，使在该场地上监测的降雨量能代表水平地面上的水深。

在山区，监测场不宜设在陡坡上或峡谷内，要选择相对平坦的场地，使仪器器口至山顶的仰角不大于 30° 。难以找到符合上述要求的监测场时，可酌情放宽，即障碍物与监测仪器的距离不得少于障碍物与仪器器口高差的 2 倍，且应力求在比较开阔和风力较弱的地点设置监测场，或设立杆式雨量器（计）。如有障碍物处设立杆式雨量器（计），应将仪器设置在当地雨期常年盛行风向过障碍物的侧风区，杆位离开障碍物边缘的距离，至少为障碍物高度的 1.5 倍。在多风的高山、出山口、近海岸地区的雨量站，不宜设置杆式雨量器（计）。

2.4.1.2 不同高程监测点布置

山洪易发区降雨量与高程变化有一定的相关性，不同地区高程与降雨量的关系不同，而且大气环流、水汽含量、山脉、气温、太阳辐射、地形的陡缓等对降雨量的影响很大。因此，山洪易发区降雨量监测点布置应该考虑高程与降雨量关系，根据本地区生活条件、设站目的、地形等条件确定，根据实际需要考考虑降雨量布置测点数。

2.4.1.3 降雨量监测仪器

降雨量主要采用雨量器或雨量计来监测。我国使用的监测降雨量的仪器有雨量器、虹吸式雨量计和翻斗式雨量计。目前普遍用于降雨量监测的是翻斗式雨量计，雨量计的承雨器口内径采用 200mm，允许误差为 $0\sim 0.6\text{mm}$ 。承雨器口呈内直外斜的刀刃形，刃口锐角为 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。

翻斗式雨量计结构简单、性能可靠，可把降雨量转换成电信号，便于自动采集，已广泛应用于水文自动测报系统和雨量固态存储系统等自动化采集的系统中。

2.4.2 水位监测

水位监测分为水库水位监测和河道控制断面水位监测。