等值线的边界雨量值与中心日最大雨量值组合判别区域泥石流发生数目的方法(谭万沛等，1994)。王礼先等人通过对北京山区暴雨泥石流的研究建立了泥石流发生日前3、5或15天雨量与当日激发雨量的回归模型。总体上，在山洪泥石流实时预报中，硬件处于领先水平，各国都在通过各种仪器的改进，提高预报精度，其发挥的作用无可否认。而软件技术比较落后，在建立山洪泥石流预报模型时在选择建模参数和确定线形与非线形关系上，长期以来都存在着争论，这也是目前关于这方面的研究文献较多的原因。

1.3.3 泥石流警报系统

国外关于泥石流预警系统的研究，主要是通过设立传感器感受泥石流幅频信号，自动判别，再通过先进的传输手段和报警设备，为保护对象提供山洪泥石流警报(Takahashi,1980.铁道科学研究院铁道建筑研究所,1989.Wikerocky,et al,1990)。早在40年代，前苏联就开展了泥石流特征与机理的研究。在寻求泥石流避难体制中，70年代末，通过在溪沟流通区设置传感器，采取无线或有线电缆通道，在泥石流发生之前将泥石流的模拟幅频信号传送到下游接收调度站进行处理、判别，使得在泥石流到来之前，向泥石流通道上的居民点、机关等受灾体发出报警信号，从而达到防止或减少生命与财产损失的目的。日本在泥石流预警方面处于国际领先地位，而且采用的仪器设备也比较先进。他们采用的传感器有龙头高度泥位检知线和接触式泥位检知器和震动传感器等，传输通道均为专用有线电缆，而且目前发展到建立具体到每一条沟或相邻几条沟的小规模地区的泥石流预报预警系统，如图1-1。并通过历次发生或未发生泥石流时的上游形成区的降雨资料进行统计分析，确定临界雨量值和临界雨量报警线，制定预报图，通过微机雨量警报器（传感器）和雨量遥测装置的研制，借以对上游雨量进行实时数据收集、演算和比较判别，自动发出报警信号。上述两种方法是目前国外采用较多的方法，前者必须克服地震等信号的干扰，后者必须布设高密度的雨量传感器。随着计算机技术和GIS技术的迅猛发展，国外对环境及土地资源利用等领域进行了计算机信息管理系统的开发研究，并取得了突出成果，如加拿大的“全国地理信息系统”，日本的“全国性土壤信息系统”，美国的“纽约土地利用和自然资源信息系统”，加拿大的“土壤信息系统”，新西兰的“微机土壤信息系统”等，近年来有人利用这些系统在山洪泥石流灾害预警预报中进行了一些尝试性研究，但到目前为止，还没有建立完整系统地山洪泥石流灾害预警系统（吴延熊,1999)。

我国关于泥石流警报系统的研制主要是铁道系统和中科院做了大量的工作。铁道科学院铁道建筑研究所通过对泥石流发生前降雨资料整理分析和统计，完成触发泥石流发生的“临界雨量值”和“灾害临界线”等软件工作基础上，通过设立传感器形式进行临近预报（姚令侃,1990. 荆绍华.1986)。中科院陈景武通过对蒋家沟实测降雨资料分析，得出泥石流形成的临界降雨判别式和泥石流暴发临界降雨判别式，由此

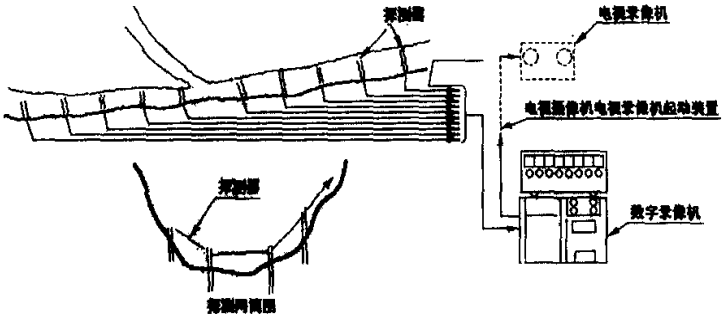


图 1-1 日本泥石流警报系统示意图

Fig 1.1 The debris flow warning systems in Japanese

制成预报图，由人工在自动记录纸上不断读数、计算和在预报图上填图，进行多次准确临近预报。东川泥石流站通过计算机存取收集整理数据，编成年鉴，建立泥石流预报模式，利用遥测雨量装置或遥测地声警报器建立了预报预警系统。此外，长江水利委员会也完成了长江流域滑坡泥石流预报预警系统研究，其方法基本上都与日本的预报预警系统近似，只是在传感器的选择和布设上有所差异（郭廷辐，1999）。特别需要指出的是，我国目前山区交通不很发达，尤其是山洪泥石流沟聚居人口较多，通信手段还不能达到日本等国家的水平，不可能建立预警专线传递，如长江预报预警系统（向立斌等，1999）采用建立群测群防站的方式(如图 1-2)，实际上是由我国的国情所决定的，只是靠人的听力和声音传递未免出差错。我国在铁路干线上已经在泥石流沟流通区设置不同传感器装置，并建立了有线电缆传输专线和中心控制室进行报警的系统，在二维直角坐标系画出警戒报警线、慢行报警线、停车报警线，制成预警图，保证列车行使安全。其主要缺点在于要投入大量人力、物力，因投资巨大，目前在还不能在全国山区范围内进行推广应用。

在我国，信息系统的研究和开发起步较晚。80 年代初，水土保持信息系统的发展，刚刚起步。20 年以来，陆续研究和开发了一批水土保持专题信息系统，如宁夏固原的“上黄小流域综合治理评价信息系统”，“北京市水土保持信息系统”，“黄土高原（重点产沙区）信息系统 LPIS”，北京林业大学王礼先教授等研制开发的“小流域水土保持信息系统”等。在荒溪分类和危险区制图系统方面，一些单位和个人对某些专题和系统进行了研究和开发，如钟敦伦等完成的“四川境内成昆铁路泥石流数据库应用系统”；赵玲等研制的“四川境内成昆铁路泥石流预测预报专家系统”等，但信息系统的功能和结构都不完善，需要加以改进。随着信息系统的理论和技术日趋成熟，各种专题信息系统越来越多，具有各种不同的功能，但与本文研究内容相关的不多。

随着计算机技术的发展，山洪泥石流预警预报技术的研究逐渐与计算机信息系统相结合，成为一个不可分割的整体。而且由于计算机技术的应用，使得更加准确的预报技术得以进一步发展。近年来，计算机网络信息传输技术的飞速发展，为时效行

很强的山洪泥石流预警系统的开发提供了有效途径。

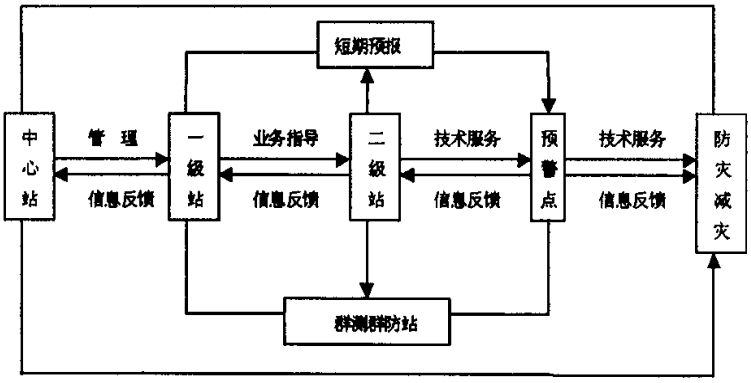


图 1-2 长江滑坡泥石流灾害预警系统业务工作框图

Fig 1.2 The landslide debris flow disaster early-warning system operation process in Yangtze River region

1.3.4 预警技术发展趋势展望

山洪泥石流灾害预报预警技术一直是各国山区防灾减灾的研究重点，各国都意识到减轻自然灾害的危害最有效的最经济的措施就是防重于治，加强预防措施的研究，将灾害的发生机理与预警原理结合起来，提高对灾害的预防预警能力，避免灾害发生造成严重损失（万庆等, 1999. 陈秀万, 1999）。从目前国内外关于山洪泥石流灾害预警技术研究情况分析，其研究趋势具有如下特点：

1）在空间预报技术上，从以判断泥石流沟与非泥石流沟为依据，运用综合指数法判断泥石流沟的危险程度确定整个泥石流沟的危险等级，发展到通过对泥石流沟危险程度评价与分布密度确定不同区域的危险性即灾害易发生区范围；最后通过对灾害易发区内每条沟道进行类型划分，采用不同类型沟道危险区制图模型确定沟道中危险区具体部位和范围(魏永明等, 1998)。

2）在实时预报技术上目前国内外研究主要集中在通过建立泥石流发生雨量、雨强回归模型上，并在雨强参数、有效雨量日数选取上进行了研究，从建立直线方程、指数方程等线性模型发展到非线性模型的建立（崔鹏，刘世建，谭万沛, 2000）。山洪实时预报由传统的推理公式、单位线等经验公式进行粗略估算，向基于 GIS 技术的小流域分布式水文汇流模拟模型进行降雨过程的汇产流过程的实时模拟进行准确预报，准确的中小尺度天气预报仍是目前最有效的防灾措施（葛守西, 1999）。

3）在预报模型构建方法上，由传统的统计回归、自回归模型，逐步向采用灰色预测模型、神经网络预测、智能预测模型以及计算机技术方向发展。由单纯预报临界降雨量或可能性预报，逐步变为能预报临界降雨、警戒避难雨量以及危害范围和危害程度等能进行具体减灾避难决策的多功能模型（John N. R, 1983. 李邦宪等, 1996. 李荣等，2000. 向喜琼等, 2000）。由过去只采用历史统计资料和实测资料，向与高精度