6 北京山区山洪及泥石流灾害实时预警模型研究

6.1 实时预警的依据

灾害实时预警就是对灾害发生的实际发生情况和时间进行预报。根据研究区灾害发生背景分析，北京山区山洪及泥石流的暴发均是由于暴雨这一最活跃的激发要素所致。北京山区山洪泥石流的实时预警就是通过荒溪分类和危险区划分确定灾害可能发生范围及其保护对象（需要预警服务对象），根据暴雨特征进行山洪和暴雨泥石流灾害的实时预警。通过对受灾区以往多年造成灾害性暴雨的降雨特征分析，在危险区危险性确定的基础上，建立起山洪场暴雨洪峰流量预报模型和暴雨泥石流的警戒临界雨量和避难临界雨量的判别模型，依据模型，根据当地实际降雨雨情或气象部门发布的降雨预报，开展山洪和泥石流发生的预警预报。

山洪灾害的发生是暴雨直接作用的结果，一般情况有暴雨就会有山洪的发生，故山洪灾害发生频率很高，有必要对其进行实时预报。山洪的危害程度取决于洪水水位、洪峰流量以及山洪挟带的物质，实时预警即可在荒溪沟道地学要素确定的基础上，通过预报洪峰流量进行山洪灾害的实时预警，由于北京山区一般山洪荒溪和高含沙山洪荒溪集水区面积一般都小于 5km^2，其汇流时间一般不过几十分钟，最多几小时，因此，一旦预报洪峰流量超过预警对象处过流能力，即可采取防范措施躲避灾害，从而达到防灾减灾的目的。

暴雨泥石流实时预警，是目前国内外泥石流研究的热点。它之所以能引起众多的研究者关注，除危害严重，往往造成巨大损失外，还有暴雨泥石流预报的发生学原理所致，即暴雨泥石流实时预报，是把地学系统环境因素作为已知，并满足形成泥石流条件，根据荒溪分类判定为泥石流沟，其发生过程只依赖于降雨这一最活跃的主导因素来进行动态的不误时机的一种判别预报。

6.2 山洪灾害实时预警模型研究

6.2.1 现有实时预警方法分析

目前国内外关于大中尺度流域洪水预报研究报道较多，但对山洪预警预报的报道却很少，导致这种现象的主要原因就是因为山洪预见期太短，而且破坏性巨大，目前还没有成套可靠的观测方法和测验仪器，此外对某一具体荒溪来说，山洪发生的次数是不多的，短期内不可能有足够的科学根据等。

据文献（徐再庸, 1981），美国在 1974 年就开始进行山洪预报研究，其主要工作方法有 4 种：①利用自动化仪器监测洪水过程，根据实时监测情况，发布预警信息。由于预报的准确性受到检测仪器的可靠性影响，此外全套的自动化装置导致费用过于昂贵，这对一般山区来说，是很不现实的。②协助当地建立雨量网和水文网，帮助当

地非水文专业人员掌握简易预报方法，在暴雨季节提醒当地群众予以警惕，不要因为长期不发生山洪而麻痹大意。③建立警报系统。通过水文站记录观测“危险水文”，通过电话线通知警报站发布山洪警报。④当气象预报有大雨可能降落，则派人进行观测，随时发布警报。

我国对山洪的预报起步比美国稍晚，其主要研究方法还是水文预报和气象预报，工作方法和美国的后三种方法近似。

山洪水文预报是利用水文观测所得到的资料进行预报，一般根据上游站的流量、水文来预报下游站的流量。通过建立流域水文模型计算小流域产汇流过程，从而计算暴雨洪峰流量和汇流时间进行山丘区洪水预报。按近代汇流理论（Dooge J.C.I.,1973），通常可以采用三种途径建立流域水文模型，即连续力学、黑箱分析法和概念性模型。用连续力学建立荒溪流域暴雨汇流计算模型，就是采用圣维南河道不稳定流动方程组，经过种种概化与均化，应用到流域汇流计算中。黑箱分析方法，是现代控制论发展和完善起来的一种分析方法，它只是根据系统的输入和输出资料来推求系统的响应，而并不去探讨输入形成输出的物理机制。有名的谢尔曼经验单位线分析法，就是利用黑箱分析方法建立的最早的一个应用例子。概念性模型则介于两者之间，它吸取了各自的优点，模型本身以一定的物理概念作为基础，主要因子间存在某种确定性关系。由于模型中参数从实测资料优选，因而能使计算成果控制在一定的使用范围内，因此，近 20 多年来得到了迅速的发展。但是由于山洪历时短、猛涨猛落，如果用一般水文预报模型，根据上游站水情预报下游，其所能争取的灾害反应时间过短，往往不能满足防洪减灾要求，虽然一般水文预报技术已经成熟，则在山洪预报方法，却只能看作是一种方向和可能途径，有待进一步深入研究，因此，水文方法还不是山洪预报的主要方法。

由于现代气象预报技术的迅速发展，气象预报的准确程度提高，气象预报仍是目前山洪预报中最有效的方法。日本在能监测数条荒溪的制高点上通过布设小型测雨雷达装置，监视该地区上空的雨区移动方向、速度、雨量和雨强时空变化，从而对山洪进行预测预报，其效果非常明显。据“北京山区荒溪分类、山洪泥石流危险区制图及实时预报系统的建立研究”项目第 3 专题研究成果，在美国中尺度模式 MM2-MM4 的基础上开发建立的高分辨率中尺度降雨等值线预报系统能够对中小天气过程进行定量、定点预测，其预测分辨率提高到 10 公里内，基本能够满足山洪的实时预报，给未来北京山洪实时预报打下了基础。

目前北京山区山洪实时预报方法，还很落后。地方政府一到雨季就派专人在荒溪沟道处进行监测、执勤，一旦听到山洪啸声，就通过打锣、警报等方式传递山洪预警信息，使人们及时躲避灾害。笔者认为，这也是目前北京的实际情况决定的，北京山区山洪荒溪和高含沙山洪荒溪达 2000 多条，总面积达 3700 多 km^2，平均每条荒溪的

面积不到5km²，山洪汇流时间往往只有数十分钟，由于荒溪沟道短，数量多，不可能也没有必要在荒溪内建立水文观测站进行山洪的实时预报。气象预报方法虽然是未来山洪预报发展的一个重要方向，由于山区地形起伏大，而暴雨的分布与地形地貌密切相关，而且北京的市情还不能达到象日本针对几条荒溪就布设测雨雷达站网，进行暴雨的实时监测预报，山区暴雨的数量预报的准确性和精度仍是一个难解决的关键问题。因此，建议在荒溪分类与危险区划分确定山洪荒溪和高含沙山洪荒溪及预警对象准确位置的基础上，结合气象预报结果，利用推理公式粗略估计预警对象处可能洪峰流量与预警对象区过流能力进行比较，进行山洪灾害的实时预警，是目前切实可行的一种途径。需要指出的山洪灾害的发生，不只是一次暴雨的结果，往往和前期降雨有很大的关系，故在进行山洪预报的过程必须考虑前期降雨的影响。

6.2.2 本研究提出的方法

推理公式在150年来的实践和应用中，不断发展前进，曾是由暴雨推算洪水的主要依据。由于其计算程序简便，对资料条件要求不高，是目前计算小流域洪峰流量最方便的方法。本研究主要通过利用合理概化后推理公式，结合天气预报进行荒溪洪水的实时预报。

推理公式法从产生以来的历史发展证明，在实际应用中比较适应于小流域的洪水计算，从近代汇流理论的观点看，它属于集总型的概念性模型。推理公式法属于朴素的成因推理，目前所有的推理成因法在建立模型时，不可避免地要采用一定的概化假定条件，因而与实际情况必然产生差异，因此，应用概化推理公式也还需结合经验分析的方法。

本研究采用的推理化公式是根据实测数据进行概化后的小流域洪水计算公式（据《北京市水文手册》，1999）：

$$Q_c = 0.278\frac{\Psi S}{\tau^n}F$$

式中：Q_c为洪峰流量，n为暴雨递减指数，τ为汇流时间，S为τ时段内最大降雨量，F为流域面积。

在北京山区2007条山洪荒溪中，一般流域面积小于5km²，流域长度较短，因此汇流时间很短。暴雨递减指数n可根据《北京市水文手册》中短历时暴雨递减指数图查得。汇流速度和洪峰径流系数Ψ的获取，如果有水文观测资料，可根据历史上场暴雨的汇流过程进行计算。但北京山区大部分山洪荒溪都没有水文观测资料，为提高进行山洪预警的安全系数，可对洪峰径流系数进行假定（北京山区的荒溪洪峰径流系数一般在0.5~0.8之间，据陈家琦等，1985）。山洪的暴发应该和前期降雨有一定关系，山洪暴发时，土壤含水量由于受前期降雨影响往往达到饱和，因此，洪峰径流系数一般较高，可假定为1。汇流速度的推理可根据谢才公式或者斯米诺夫公式：