

美国NOAA-USGS泥石流预警系统 及预警预防业务简介

李婧华

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 泥石流灾害经常造成大量的经济损失和人员伤亡, 对其准确预防可产生巨大的效益, 因此, 泥石流灾害的预防和协防研究受到世界各国广泛重视。重点介绍了NOAA-USGS专责小组开发和应用的泥石流预警系统 (DFWS), 对预警系统的组成和流程进行了全面的阐述。介绍的内容可为我国泥石流灾害的防御研究和能力建设的构建提供一定参考。

关键词: NOAA, USGS, 泥石流, 预警系统

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.z1.006

1 引言

泥石流是自然灾害中危害最大的灾害类型之一。泥石流具有巨大的破坏力, 能穿越陡峭的地形、较大的山坡和斜坡的表面, 在毫无征兆的情况下发生, 对其运动路径上的物体施加巨大的冲击力, 破坏植被和建筑, 甚至威胁人类安全。

美国的泥石流灾害发生频率高, 据统计, 滑坡灾害每年都会在美国造成大约25~50人死亡和20多亿美元的经济损失。在2003年圣诞节, 一场暴风雨袭击了加利福尼亚南部曾发生过森林火灾的山坡, 引发的泥石流灾害带来了410万km³的沉积物, 并造成16人死亡, 共花费了2650万美元用来修理被泥石流破坏的道路。2004—2005年冬季, 暴风雨再一次袭击加利福尼亚南部, 再次引发了灾难性的泥石流灾害, 共造成19人死亡, 这次事件中由泥石流和洪水造成的公共财产损失达到近5亿美元。

泥石流灾害的发生和成灾机理复杂, 研究难度大。但是一次成功的泥石流灾害预警带来的社会效益却是难以估计的。许多国家和地区投入了大量的资金和人力对泥石流灾害进行研究, 强化泥石流灾前预警研究已成为当前地质灾害防灾减灾工作中普遍关注的课题。

目前, 我国正在加快自然灾害的防御研究和能力建设。但防灾减灾经验不足, 技术较为落后, 先进技术的应用和科学研究严重滞后于滑坡、泥石流减灾的需求。为了更好地应对滑坡、泥石流灾害, 迫切需要采用先进的技术手段, 提高对灾害的监测预警能力和应急响应能力, 实现准确及时的灾情评估和快速有效

的救援措施, 最大限度地减少灾害造成的人员和经济损失。因此, 借鉴国外滑坡、泥石流灾害预警和防御研究中的有益经验成为最好的选择。

基于此, 本文选取了美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 和美国地质调查局 (USGS) 共同开发和运行的泥石流预警系统, 介绍了该系统在在降水诱发的泥石流灾害中的预防和协防作用, 以期对我国自然灾害的防御研究和能力建设的构建有所启发。

2 NOAA-USGS泥石流预警系统

2.1 泥石流预警系统 (Debris-Flow Warning System, DFWS) 简介

泥石流是滑坡中的一种, 通常是由强降水或者是迅速的冰雪融水促使泥土沿着陡坡运动而触发的。在巨大的推力作用下, 大量的岩石、泥土以及泥浆构成的混合流体沿山坡向下运动, 这种混合流体通常就被称作泥石流。由于泥石流的存在与降水有着密切的联系, 因此, 与其他滑坡类型相比, 泥石流更易于预测。

为预测泥石流在暴雨中可能发生的几率, 需要考虑两个与时间相关的触发临界值: 一是前期降水的临界值, 即这个季节中的累积降水量; 二是降水强度和持续时间的临界值, 即在暴雨过程中, 超过了比较关键的降水强度和持续时间的值。考虑前期降水临界值, 是因为山坡土壤在旱季失水, 需要一定量的降水来补充土壤水分。如果土壤水分没有恢复到正常的水平, 那么就不会达到斜坡失稳所需要的孔隙水压力, 即使有暴雨也不会引发泥石流。需要注意的是, 在最近发生过火灾的地区, 泥石流最有可能是由径流过程而不是由渗透过程触发的, 大规模的泥石流一般都是由当地第一次明显的降水引发。因此, 对泥石流而

收稿日期: 2013年11月8日; 修回日期: 2013年11月28日
作者: 李婧华 (1987—), Email: lijinghua@outlook.com

言,在已发生过火灾的地方,前期降水条件就不如在其他地方的影响大。在被烧过的地方,降水强度和持续时间的临界值能够为泥石流的初始预报提供足够多信息。

对于滑坡触发的泥石流,一旦超过前期降水的临界值,就要对未来的降水进行评价,确定预期降水强度和持续时间能否触发泥石流灾害。降水强度和持续时间的临界值是根据历史上多次触发泥石流的暴雨过程进行统计确定的。引发泥石流的暴雨过程包括了持续时间短但强度很大的降水,或者持续时间很长但强度较低的降水。临界值通常是以函数形式表示。由于不同地区导致泥石流发生的降水条件也会不同,因而,降水临界值有着明显的局地特征。

经过长期研究,USGS建立了降水强度和降水量的临界值,高于这个值,泥石流就很有可能在某些山区以及多坡地带发生。正是基于这种理论,USGS和NOAA共同合作,开发并运行滑坡、泥石流预警系统,能够在空间和时间上为系统用户(紧急事务管理者、计划者和回应者)提供泥石流发生过程和灾害评价技术以及降水预报和测量的研究。尽管泥石流易发地区的降水预警临界值存在着极大的差异,但是由于降水监测和定量降水预报的业务能力在逐步提高,对泥石流的预测已可提供较好的支撑,预测泥石流并发布灾害预警有着非常好的前景。

2.2 DFWS 的改进

1982年1月3—5日,美国加利福尼亚旧金山湾地区34h内降水616mm,在10个县内诱发了数千处滑坡、泥石流,造成25人死亡和6600万美元的直接经济损失。随后,USGS立即启动了旧金山湾地区详细的滑坡灾害调查研究项目,同时与美国国家气象局(NWS)一起筹备建立实时的滑坡预警系统。项目组成员分成数个小组分别从现场调查、历史数据分析、理论模型等不同方面研究滑坡的发育特征和发生规律。在查清滑坡发育特征、分布规律的基础上,对旧金山湾地区做出了详细的滑坡灾害敏感性分区,据此布设了覆盖全区的45个遥测雨量计。同时,选定数个地区布设监测仪器,监测降水期间土体含水量和孔隙水压力的变化,研究土、水相互关系。当雨量增加1mm时,遥测雨量计的数据信号通过无线电微波实时传送给每个接收站。研究人员从接收站采集数据,实时分析降水趋势。

1985年,NWS和USGS合作,正式建立了旧金山湾滑坡实时预报系统。该系统基于降水经验临界值、结合降水实时预报结果,分析预测降水型泥石流可能

发生时间。研究人员选取了10处已知准确发生时间的滑坡、泥石流,通过预测结果与实况的比较,发现8处与预报时间完全吻合,其余两处滑坡稍早或稍晚于预报时间,表明该滑坡实时预报系统对旧金山湾滑坡泥石流的实时预报是非常成功的。在进一步研究成果基础上,1997年该滑坡实时预报系统修正了旧金山湾模型,初步完成了旧金山湾地区泥石流启动的6h、24h临界降水量等值线图。同时,项目组基于旧金山湾地区土、水变化特征的系统监测,研究了滑坡、泥石流活动强度与土体含水量、孔隙水压力相互关系,并通过野外监测和室内实验研究了降水入渗水文地质模型和泥石流冲程等。

2005年,USGS和美国内政部以第1283号通函形式发布了“NOAA-USGS泥石流预警系统”报告,该报告是由NOAA和USGS共同成立的泥石流专责小组在对最先进的降水预报系统和泥石流灾害评估基础上完成的,提出了建立DFWS示范工程涉及的重大科学问题和财力问题,并在发生过火灾的加利福尼亚州南部地区和重点研究区建立了DFWS的示范工程,该系统成为国际上最全面、先进的泥石流早期预警系统。NOAA和USGS还计划把更先进的降水预报和测量技术应用于该预警系统,以预测不利的地理环境和泥石流触发条件和描述泥石流灾害的发生。

2.3 DFWS 的降水观测和预报

2.3.1 降水观测

(1) 雨量计

DFWS的成功运行需要准确的降水实时观测信息和短期预报数据。由美国地方洪水和水资源控制区进行维护的降水监测网(ALERT)是预警系统降水监测的核心。在ALERT监测网络系统的组成部分中,与滑坡预警密切相关的部分是降水和河流监测网。全美建立了分布密集的量计监测网络,通过联合观测提供每日的降水报告。图1给出了加利福尼亚南部实时雨量计的位置(红色点)。监测网有大约10000个雨量计,大部分降水监测站都配置了标准的翻斗式雨量计。当翻斗式雨量计倾倒(0.04 inch的降水累积量)时,信号就会发送到ALERT中央控制中心。根据每个ALERT监测站的历史降水数据,当降水总量达到能够引发滑坡的临界值时,就会发出警报,并向NWS的地方当局发送信息。

雨量计站网可以用来观测降水区的类型,并估计可能导致泥石流发生的流域内的平均降水量。但是,雨量计也有其局限性。大部分雨量计提供的是累积日降水总量,不能提供关于降水强度的信息。同时,降

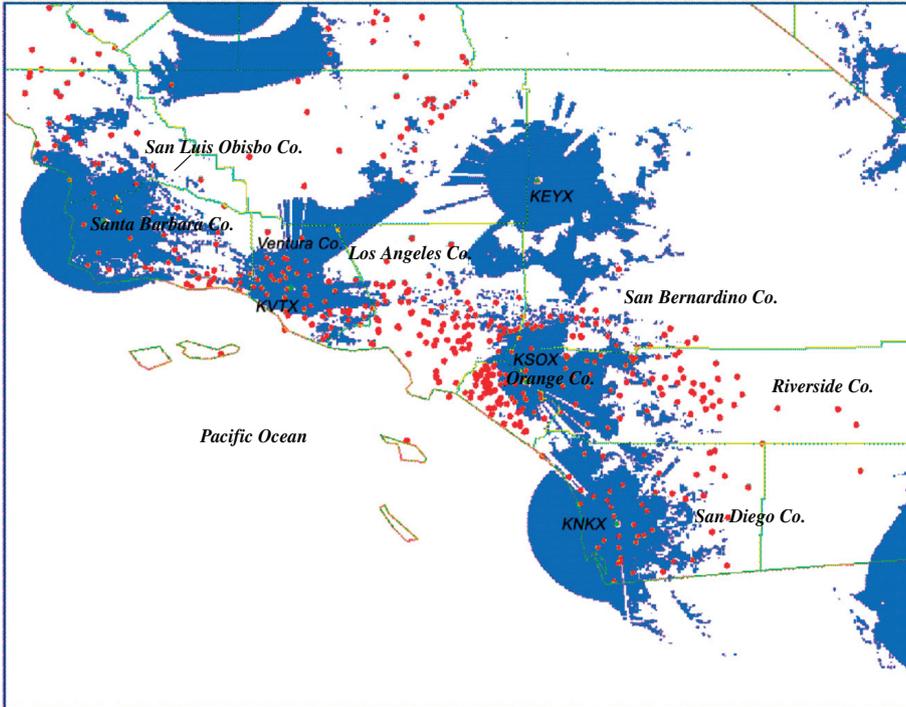


图1 加利福尼亚南部雷达覆盖区（蓝色区域）和实时雨量计的位置（红色点）

水数据在某些天气条件下有较大误差，比如在有风的条件下（特别是降雪天气）所获得的降水数据就不是很准确。最为重要的原因是，雨量计只能对单个点进行测量，不能代表附近的其他地方，尤其是在发生对流雨的山区，雨量计的测量结果误差更大。此外，在山区建立雨量计监测站，成本会更高，而且从雨量站网获得的资料只能用于与降水相关的灾害预警中。尽管存在这些不足，一个规划和维护较好的雨量计监测网对泥石流预报系统却是非常重要的。

（2）雷达

暴雨监视雷达是各种天气灾害短期预报和预警过程的基础。雷达能够观测降水强度和降水的空间类型，能观测高空和海面上的降水，还能够探测到强降水的来临。利用雷达获取的资料可以推断下一个小时或两小时之内的降水量，这种“实时预报”能力弥补了雨量计的缺陷。美国目前有100多个NEXRAD（Next-Generation Radar）WSR-88D（Weather Surveillance Radar 88 Doppler）雷达系统在运行，在探测天气灾害方面有很强的显示和计算能力。图1蓝色区域给出了加利福尼亚南部雷达覆盖区。这些雷达能够即时提供关于降水强度和累积在空间上的详细信息，这些信息将成为预警中的重要输入项。

图2给出了NEXRAD雷达站的实时降水累积风暴图。但是雷达也存在一些不足。雷达的反射率可能会因为其他因素的干扰而产生一定的误差，比如不准确

的硬件校准，部分电波的充填，部分电波受到地形的阻碍，弱化作用，冰雹、降雪以及冰冻时期的融雪（能够引起信号的加强，成为“强波段”）的污染，地面物体的干扰等等，这些问题随着与雷达距离的增加，产生的影响也会增强。许多“NEXRAD”雷达在多山的州内，电波受到地形阻碍，有很大的扫描空白。一些“NEXRAD”雷达的天线被安装在山顶，以最大程度地降低地形阻碍产生的影响。但是，这种方法也产生了其他问题，如观测不到山顶以下海拔较低的地区。

在DFWS中，为了获得更好的扫描范围，NOAA采

用了其他手段有效补充数据空白区。NOAA应用了用于填补数据空白区的便携式雷达和地对空雷达，主要类型的雷达有NOAA环境技术实验室（ETL）的X波段便携式偏振雷达（X-POL）、美国国家强风暴实验室（NSSL）的移动式5cm波长（C波段）多普勒雷达（SMART-R）、NOAA/ETL和NOAA高空大气实验室（AL）的915MHz的风廓线雷达和S波段的降水雷达

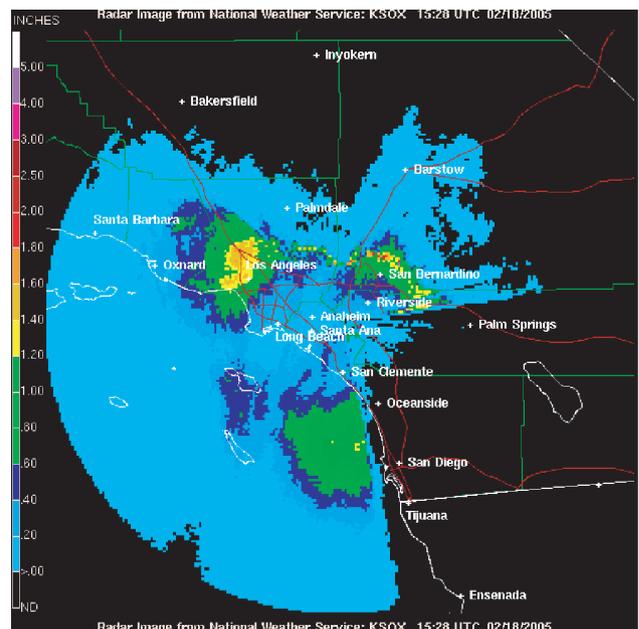


图2 NEXRAD雷达站的实时降水累积风暴图示例

(S-PROF)。在重要流域的附近或山区布置小型雷达,对空白区内或空白区之外的暴雨进行观测的精度可达到150m,从而增加WSR-88D雷达的覆盖率。地对空监控雷达可以以很高的精度持续测量边界层上控制降水量上坡动力的风,并能显示出降水在高处的微观物理特征。

X-POL雷达:在诸多野外项目中用到的X-POL雷达有0.9°波束宽,搜索半径有38km,数据分辨率半径有150m;X-POL的特长在于它的偏振测定能力,它实现对差异反射率和特殊的微分相位的分析,可以实现:(1)对降水信息进行更准确的评估;(2)允许水汽凝结体出现情况下的监测。偏振测定方法也被用来校正阻尼,减少X波段雷达反射值。在监控系统中,X-POL雷达被放置在30km以内泥石流发生概率最高的多山地区,尽可能充分发挥它的偏振测定能力。

SMART-R雷达:SMART-R雷达有1.5°波束宽,脉冲重复频率为1000Hz,能搜索半径在150km范围内,数据分辨率半径达75m。SMART-R的优势在于它的灵活性。与X-POL相比,它具有方便灵活的可携带性,但是需要花费一些时间去安装和拆除。SMART-R安装好以后,可以非常灵活地在每一个新环境中工作10~20min。SMART-R也属于C波段,但它不会像C波段雷达那样容易受降水条件的干扰。另外,自2006年以来,SMART-R的功能也受到双偏振作用的影响而得到了加强。实际上,冬季X-POL将被放置在主要的山区,SMART-R能够灵活地移动在整个原型系统预测/警报区域的任何地方。由于它的灵活性,SMART-R也允许被放置在加利福尼亚州南部其他发生过野火灾害的地区。值得注意的是,X-POL和SMART-R雷达与扫描距离较近的NEXRAD雷达(KSOX)相比,更接近于监控目标,而且都用于监测更低的海拔地区。这些地点也需要雷达来填补NEXRAD在低海拔地区的监控空缺。

在业务化雷达覆盖的空白区域放置X-POL和SMART-R雷达,并不能解决降水定量估计(QPE)问题。降水定量估算法则的实现还需要更多有关导致降水发生过程的精确的逻辑理论和专业知识。其他一些仪器的使用也会帮助解决这些重要问题。称重式自动采集雨雪量计(ETL型)也将被放置在发生过野火灾害的山区,以扩展现有的ALERT监测网络,进而确保降水定量估算算法则通过KSOX、X-POL和SMART-R得到实现。携带有称重式自动采集雨雪量计的10cm波宽(S波段)的多普勒雷达被放置在发生过野火灾害的主要山区的中心地带。这种仪器

(S-PROF)能够提供从地表以上到形成降水的云层之间垂直方向上有关反射率和粒子沉降速度的数据和信息。它还能提供高海拔地区冰雪融水变化的连续监测数据。S-PROF上安置了能够进行雨滴计算和测量的工具——雨滴测量器。雨滴测量器主要帮助确认偏振测定雷达的QPE信息。雨滴测量器和S-PRO都是优秀的提高对降水发展过程的物理机制认识的工具。

(3) 多传感器技术

除了使用比较好的雨量计和雷达外,QPE的误差也可能是由于传感器的使用造成的。为了提高降水的区域评价,在NOAA水文开发处(OHD)和NOAA/NSSL的共同努力下,多传感器(混合)方法正迅速地发展起来。NSSL开发出的方法,例如联合对雨量计监测数据进行质量控制的降水定量评价和分离式多传感器(QPE-SUMS)方法,“NEXRAD”,联邦飞行署(FAA)的多普勒雷达,环境卫星(GOES),光检测网络,地表和上层空间的气象数据以及数值预报模型等,可以综合应用于对降水的评价。每一种综合产品都有其长处和不足,并且随着季节、地理和降水类型的不同而发生变化。

综上,目前NWS已经拥有一批先进的设备,包括高分辨率的数字气象预报模型、在全美国布网的WSR-88D暴雨监测多普勒天气雷达以及进行信息实时共享的互联网等。

2.3.2 降水预报

目前,NWS定量降水预报(QPF)过程包括数值天气预报(NWP)和统计学指导,涉及的相关机构包括水文气象预报中心(HPC)、天气预报机构(WFO)以及河流预报中心(RFC),最终目标是制作国家数字预报数据库(NDFD)。

NWS降水预报准备阶段的基本步骤如下。

- (1) 对观测资料进行实时收集,包括所有的原位数据和遥感数据;
- (2) 通过美国国家环境预报中心(NCEP)将数据实时传输到运行中的NWP模型中;
- (3) 应用NCEP的全球、区域和大气尺度范围的大气模型以及综合的预报系统;
- (4) 国家统计指导产品的自动生成、发布和使用;
- (5) 来自于NCEP/HPC的国家QPF指导产品的人工生成与发布;
- (6) WFO的地区性QPF产品的人工生成以及向QPFs和其他用户的发布;
- (7) RFC对WFO的QPF产品进行同化,为水文

预报系统准备数据输入；

(8) RFC的水文和洪水指导产品以及RFCs在RFC预报范围内向WFOs提供产品；

(9) WFO准备所有公众水文预报、观测和预警产品，并将这些信息与紧急事件管理者，媒体和其他使用者们进行协调；

(10) 准备国家数字预报数据库(NDFD)：

——WFO发布更新过的预报信息的栅格数据；

——从WFO获预报信息的栅格数据；

——每隔5min在NDFD中心服务器上对WFO栅格数据进行解译，存储到相关的数据库管理系统中(RDBMS)；

——NDFD中心服务器上的集成数据每1h提前10min产生一次；

——NDFD中心服务器上的集成数据以GRIB2形式进行编码，然后发送到NWS远程通信网关(NWSTG)上；

——集成数据只对NWSTG上每1h前15~20min内下载下来的传输协议(FTP)有效。

2.4 泥石流预警系统的流程

NOAA-USGS专责小组的任务是发展NOAA-USGS泥石流预警体系，在通过降水预报推断有泥石流发生的地方实现预测、监控和警报系统。其中的一个环节是要在加利福尼亚州南部实现、测试和应用预警系统的模型系统。需要把更先进的降水预报和测量技术应用于预警系统，以预测不利的地理环境和泥石流触发条件和描述泥石流灾害的发生。

要建立起准确可靠的滑坡监测和预警系统，就必须对滑坡易发区进行全面的认识，对导致泥石流发生的各种条件进行识别。在DFWS执行过程中，首先由USGS向NWS提供引发暴洪和泥石流的临界降水值。NWS的暴洪监测和预报(FFMP)系统根据雷达获得的降水预测信息和临界降水强度以及持续时间之间的比较，来确定泥石流可能发生的时间。NWS天气预报机构根据降水监测系统获得降水预报信息，并提供给USGS准确的定量化降水预报栅格数据。NWS将为USGS提供3种形式的数据：(1) 定量化的降水预报信息；(2) 雷达预测的降水信息；(3) ALERT网络和其他方法获得的降水数据。

DFWS利用雷达获得的降水资料、ALERT网络获得的降水数据和其他相关信息，输入详细的水文模型和地质模型中，预测泥石流的敏感性、山坡的水文地质条件和斜坡稳定性，并最终确定泥石流活动的区域和预测泥石流的发展状态，从而完成由高级交互式气

象处理系统(AWIPS)所实现的泥石流预报、监测和警报系统。这些预报信息的有效时间范围从每天两次(常规的水文气象预报周期内每12h一次)到每天4次(灾害发生期内每6h一次)。雷达降水信息包括每5min、1h、3h和6h一次的降水资料。

预报信息将会被格式化后警告预报员，以一种警报信息在预报工作站上显示出来，并产生相应的文本形式产品。来自地质和气象的数据会汇聚到USGS，被系统处理后传递给气象局，通过公共信息系统和NOAA的天气无线灾害广播系统(广播时又称“国家天气之声”，即NWR)发布产品。

DFWS的产品有对泥石流活动的预测、监控和警报。预测、监控和警报系统都将包括如下信息。

——发布时间：DFWS产品是不定期的、受事件驱动的产品；

——有效时间：泥石流产品一直都是有效的，直到该产品被取消或者被其他产品更新；

——通用的规范类型：DFWS产品利用了各个州的规范；

——媒体产品线：产品线产品为“泥石流预报系统”、“泥石流监测系统”、“泥石流警报系统”；

——标题名字的定义；

——系统覆盖范围的确定；

——事件发生周期的预测；

——相关的因素(例如，降水预报资料、土壤条件、暴雨发生情况和相关的极限条件等)；

——潜在危险发生概率；

——针对预测事件制定恰当的行动计划；

——当USGS和NOAA NWS更新信息时，系统被终止。

无论DFWS预测的成功或者失败，都不仅仅是简单的预报技术的应用，更重要的是评价预警系统的有效性。这包括是否决定对风险区居民进行及时的监控和警报，或者是否采取撤离行动等。泥石流中的罹难者大多都是没有及时地听取或者忽略了警告。

NWS评估预警系统对不同气象条件的预报能力，其中包括强降水天气、暴洪等。诸如洪水和强降水天气这种二元(是或否)事件预报，都要利用假警报率(FAR)和命中率(POD)进行评估。最后，NWS利用发生概率、结合FAR和POD对强降水天气和泥石流预测方法进行评估。同样的方法也可以应用到泥石流的预报和评价当中。

暴雨过后，USGS进行野外调查，在预报和预警区域用拍摄和录像等方式进行取证证实。NOAA有关

暴雨数据的报告（包括私人观察、新闻报道和损失鉴定等）都被用来进行泥石流评价。另外，还有一些更为熟练的监测方法被应用到局部严重区域。

2.5 不足之处及未来发展

尽管目前的NOAA-USGS泥石流预警系统是目前美国较成熟和完善的预警系统，但系统仍有其能力的局限性。NOAA-USGS专责小组认为，DFWS仍然缺少全天运行的监测系统。一个可行的办法是利用NWS的暴雨监测和预报系统实现可操作系统的运行。

不同环境背景下的泥石流发生的临界雨量和雨强难以定量表达，泥石流灾害预警是在对降水天气分析诊断基础上做出的“二次预报”，很大程度上依赖于暴雨的预报精度，因此，使得泥石流灾害预警的准确程度不可能超过暴雨预报的准确率。此外，降水与泥石流发生的耦合关系分析是泥石流能否成功预警的关键内容之一，需要建立时间性强的降水入渗数据和泥石流源地稳定性的双模型系统，通过分析泥石流发生的敏感性、斜坡水文条件和稳定性，从而推断泥石流灾害发生的可能性，在空间和时间上提供泥石流活动的预警信息。这就要求加强不同区域条件下泥石流的活动与降水资料的积累，进行长期定位观测和试验，并构建其空间数据库和预警服务系统。

DFWS仅基于降水强度持续时间阈值应用于整个区域，该阈值不能够精确区分导致泥石流的触发条件，仅仅依赖于降水强度持续时间信息的预警系统将导致高误报率。由于泥石流发生的地质和气象因素具有局地特点，影响泥石流发生的局部条件不同，结果存在很大的差异。在加利福尼亚南部试运行成功的原型系统，将成为美国在其他泥石流易发区实现类似系统的典范。然而，其他地区有关泥石流的地质和气象因素可能与加利福尼亚南部地区差别很大。在加利福尼亚南部，冬季频繁发生的暴风雪是引发泥石流的主要因素。但是，在美国其他地区，泥石流的主要触发因素包括落基山脉局部存在的对流雷暴、亚利桑那州夏季的季节雨、阿巴拉契亚山区的飓风暴雨等。另外，影响泥石流的区域和局部地区的地质条件也存在着很大的差异。因此，预警系统未来发展的另一个重要的内容，是解决在一个新的地方进行泥石流预报的问题和局部范围内的数据在各个地区的可移植性问题。

3 经验启示

在对NOAA-USGS泥石流预警系统的分析中可以看出，资料和信息的掌握程度对发布泥石流预警是非常有用的。泥石流问题的研究包括气象学、水文学和

地质学等，是一个综合问题。建立完善的降水测量信息是研究的重点之一。在泥石流灾害监测预警实施中，需要充分挖掘气象部门提供的实时性较强的卫星云图和气象雷达信息，并加强对天气形势与泥石流发生关系的深入分析，气象部门开发的较为成熟的暴雨预警预报模型要充分利用到滑坡、泥石流的预警中。

尽管通过长期定点观测总结了一些滑坡、泥石流模式，但是对于低频率泥石流灾害很难获得暴发时的足够数据，给预警带来了很大困难。在区域泥石流灾害预警方面，应用统计学方法，提炼出一些地区预警的临界雨量指标，但是由于泥石流灾害形成的复杂性，这些模式和指标在防灾减灾实践中的广泛应用效果还不理想。当前滑坡、泥石流防灾研究中应重视开展预警工作，注重滑坡、泥石流预警与形成机制、新技术方法和减灾决策系统等相结合。

NOAA-USGS泥石流预警系统的成功在于预防和协防可以降低自然灾害造成的生命和财产损失。不断增加的泥石流灾情，要求不仅要细化，更要全力在滑坡、泥石流灾害中实现超前的预防和协防。不仅要有应急预案规划，更要有常态的防灾规划，让安全减灾网遍布城乡的每个角落，让泥石流安全防灾意识深入各级人员的意识中。监测系统研究和现代预警技术建设是减少灾害损失的有效途径。我国的单一灾害研究管理模式造成全国缺乏统一有效的研究系统。希望能借鉴国外自然灾害研究的有益经验，制定科学的减灾战略，提高公众对泥石流的认识和安全意识，促进我国的自然灾害研究。

总之，我国泥石流灾害预警的任务十分艰巨，在进行泥石流灾害工程防治的同时，必须加强泥石流灾害预警和风险管理等非工程性措施的研究与建设，从多角度、多层次进行泥石流灾害防范，以减轻泥石流灾害的威胁。

深入阅读

- A NOAA-USGS Demonstration Flash-Flood and Debris-Flow Early-Warning System [Available online at <http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3104/>]
- NOAA-USGS Debris Flow Task Force. 2005. NOAA-USGS debris-flow warning system: Final report. U.S. Geological Survey Circular 1283. [Available online at <http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1283/>]
- Cannon S H, Boldt E M, Kean J W, et al. 2010. Relations between rainfall and postfire debris-flow and flood magnitudes for emergency-response planning, San Gabriel Mountains, southern California: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1039. [Available online at <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1039/>]