

USGS滑坡研究和服务进展及启示

王卓妮

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 回顾了美国地质调查局(USGS)滑坡灾害项目的发展历史, 简述了其在滑坡的分布与绘图、分类与发生过程、实时监控、预报预警与灾害损失评估等方面的研究与服务进展。USGS在滑坡研究与服务方面的经验对我国具有一定的启示: 应发挥滑坡灾害防治中的气象保障作用, 建立高频次全天雨量监测网、预报与风险评估系统以及预警信息发布与服务系统; 设立滑坡防治专项资金, 健全滑坡减灾防治体系, 加大非工程措施投入, 用于开展滑坡灾害损失调查、危险区划定与防控、公众科普教育以及为应急管理人员提供技术援助和培训。

关键词: 滑坡灾害, 实时监控, 损失评估, 美国地质调查局(USGS)

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.z1.008

1 USGS滑坡灾害项目

1.1 项目由来

在美国, 滑坡是全国性灾害, 主要出现在阿拉斯加、夏威夷与太平洋沿岸, 落基山脉、阿巴拉契亚山脉以及岛屿领区, 如美属萨摩亚、关岛、波多黎各和美属维京群岛。由滑坡造成的损失在逐年增加。据估计, 目前滑坡在美国造成的直接和间接经济损失约为每年30亿美元, 平均每年因滑坡灾害而死亡的人数为25~50人。

美国地质调查局(U.S. Geological Survey, 以下简称USGS)成立于1879年, 是美国内政部唯一的自然科学机构, 为决策部门和公众提供广泛、高质量、及时的科学信息。USGS的服务重点放在4个方面: 自然灾害、资源、环境、信息和数据管理。自20世纪70年代中期, USGS的滑坡灾害项目(Landslide Hazards Program, 以下简称LHP)作为一个国会授权项目, 就已开始实施。LHP是个5年期项目, 每5年更新一次。1879年3月3日颁布的构成法(Organic Act)和1974年颁布的灾害救济法(Disaster Relief Act)规定USGS有及时发布潜在滑坡灾害预警信息的职责, 从而明确了LHP的法定权力。到2005年, LHP已成立了由17人组成的科学团队, 他们在滑坡研究、实时监控和灾害评价方面具有丰富的野外、实验和理论知识。

USGS的滑坡研究主要是针对与其他自然灾害(如地震、火山爆发、洪涝和暴雨、飓风和野火)相关的滑坡灾害。LHP帮助USGS利用可靠的科学信息来完成降低自然灾害造成的生命和财产损失的任务。LHP的任务是提供可以降低滑坡损失的信息, 促进人

们对滑坡灾害的了解, 制定科学的减灾战略, 提高公众的安全意识。为完成使命, LHP开展了滑坡灾害评价、滑坡研究和预报, 为滑坡应急提供帮助。LHP的主要工作有: 研究和监测活动滑坡、对滑坡灾害做出响应、编制科学报告和图件, 以及其他为满足广泛用户需求而开展的研究活动。作为唯一研究滑坡灾害的联邦项目, LHP提供研究成果, 供地质和地质工程界的私人顾问与各级政府部门、私人部门的规划者和决策者使用。LHP的研究成果提高了美国乃至全球范围内对滑坡问题性质和范围的认识, 这是该计划最主要的成功之处。

1.2 发展历程

在20世纪80年代初, 尽管美国滑坡损失每年超过10亿美元, 但由于这些损失通常很分散, 始终未引起重视。LHP是USGS的3个地质灾害计划中最小的项目, 每年获得的资金约为200万美元。1983年, 美国犹他州因泉水异常大量集中流出而引起一系列滑坡和泥石流, 造成4亿美元的损失, 成为美国史上单个滑坡最高损失记录; 1985年, 波多黎各庞塞附近发生较大滑坡造成129人死亡, 这是美国历史上单个滑坡最高伤亡记录。自此, 美国开始逐渐重视滑坡灾害的预警。1986年, USGS和NWS(National Weather Service)合作建成的实时滑坡警报系统, 在当年2月12—21日旧金山湾区暴雨期间发布了美国第一个公开的地区性滑坡报警。

1996年, 美国NAS(National Academy of Sciences)下属的NRC(National Research Council)的一项评估结果显示, 美国每年因滑坡带来的灾害损失近20亿美元。1997—1998年, 旧金山湾区的厄尔尼诺暴风雨引发了成千上万次滑坡, 造成公共和个人的直接损失超过1.5亿美元。由此, 美国提出制定综合战略

收稿日期: 2013年10月31日; 修回日期: 2013年11月25日
作者: 王卓妮(1982—), Email: zhuoni@gmail.com

以解决滑坡问题。1999年，美国国会指定USGS制定这项综合战略。2000年，“国家滑坡减灾战略——减少损失的框架”的报告正式发布，该报告提出联邦机构、州、地区、社区及企业开展合作，实施这项国家战略，提出了9项实施要点（表1）。国会批准USGS LHP的资金投入从当时的260万美元提高到了2000万美元，其中，1000万美元用于USGS的新增行动计划，1000万美元用于合作方支出。

国家滑坡减灾战略建议USGS与联邦和州的其他机构进行合作，来应对国家战略所面临的挑战。据此，USGS新制定了LHP 5年计划（2006—2010年）。该5年计划将USGS国家滑坡减灾战略中的综合战略建议与NRC的“合作减轻滑坡风险”战略建议进行了综合。USGS提议将资金投入由最初的每年2000万美元增加到每年5000万美元，同时提出以下3项主要任务：

- （1）扩展LHP，以提供所需的协调、信息管理、方针制定、培训和拓展能力；
- （2）扩展LHP，以提供所需的研究、绘图、评价、监测和应急能力；
- （3）加强联邦、州和公共及私人机构的合作，资助和鼓励滑坡灾害研究、绘图、评价和减灾工作。

为了赢得对减灾战略的认可，获得联邦、州和当地合作机构对执行减灾战略的支持，在2006—2010年，LHP公布国家滑坡减灾战略和NRC报告。LHP还向许多机构介绍了这一战略，包括美国州属地质学家协会（American Association of State geologists）、美国规划协会（American Planning Association，简称APA）和由美国西部地震政策委员会（Western States Seismic Policy Council）发起的全国地震会议（National Earthquake Conference）。同时，LHP在专业期刊和行业杂志上发表了许多关于执行减灾战略重要性的文章。依托LHP的实施，USGS走在了滑坡领域的研究前沿。据文献计量研究结果表明，在1975—2010年间，在滑坡泥石流领域文章发表量排名第1的机构是USGS，作者大多是LHP科学团队成员。

2 USGS滑坡研究与服务的进展

在过去近半个世纪，LHP对滑坡分布与绘图、滑坡分类及发生过程进行了深入研究。随着科技的进步，USGS不断提高滑坡灾害实时监控能力，探索开发并逐步完善了滑坡灾害预警系统，尽可能降低滑坡灾害对生命和财产造成的损失。此外，USGS还逐

表1 国家滑坡减灾战略下的新任务与合作机遇

要点	现状	合作者及任务				
		联邦	州	当地	私人	学术界
1. 研究。开发一项符合滑坡过程与触发机制的预测模式	加强对滑坡过程和机制综合理解，以提高预测不同类型滑坡现象	协调研究优先领域				
		实施研究				
		运用研究成果到政策、规划和减轻灾害的决策中				
2. 灾害绘图和评估。圈划易受影响地区，及不同类型滑坡灾害的影响范围，用于规划和决策	滑坡编录图库和滑坡影响地图对许多滑坡易发地区是非常必要的。总的来说，还没有绘图和评估的标准	绘制联邦滑坡图件				
		确定绘图和评估标准				
		绘图并评估滑坡灾害				
		运用滑坡灾害图和评估结果到规划、前期筹备和减轻灾害行动中				
3. 实时监测。监测会造成重大危险的活跃滑坡	在全国范围开展实时监测活跃滑坡是当务之急	提高实时监测能力				
		监测滑坡并建立滑坡预警系统				
4. 损失评估。收集和评价滑坡灾害对经济和环境的影响信息	美国还没有统一收集和跟踪损失	建立和执行收集、维护和评价数据的国家战略				
		收集与共享损失记录				
5. 信息采集、阐释、散播和存档。建立信息传递的有效系统	全国还没有系统的滑坡灾害信息的采集或散播系统	开发高效的滑坡灾害信息交换清算系统，用于系统采集、阐释、存档以及科学技术信息、数据库和图件的散播		采集和散播决策者需要的信息	开发和共享信息	
6. 指南和培训。针对科学家、工程师和决策者开发指南和培训项目	科学家、工程师、规划师和决策者对指南和培训的需求旺盛	开发和实施指南和培训课程				
		参与培训项目				
7. 公众意识和教育。为用户社区开设资讯处，开发教育项目	公众对滑坡灾害及其对社区的影响，以及降低风险措施所知甚少	开发和实施公众意识和教育项目，涉及土地利用规划、设计和滑坡灾害课程；滑坡灾害的保险和社区风险控制				
8. 实施降低损失的措施。鼓励减轻灾害的行动	当地尽力减轻灾害；因此，各个社区采取的降低损失的措施各不相同	制定和鼓励减轻滑坡灾害的支持；制定减轻滑坡灾害的财政激励和非激励措施；开发和鼓励工程和建设方案减轻滑坡灾害		采纳并实施减轻滑坡灾害的政策和措施		
					提供专家咨询服务	
9. 突发事件的应急、响应与恢复。建设活力社区	联邦、州和当地政府、私人部门和公众需要做好充分准备，应对滑坡突发事件及事后恢复	为联邦、州和当地应急管理人员提供培训；建立协调的滑坡快速反应能力，包括滑坡灾害专家与将快速传递实时数据应急部署给应急管理人员的设备		参加培训	在突发事件中提供专业知识和技术	
				滑坡突发事件的有效响应；实施减少未来滑坡损失的政策		

步开始探索和建立统一的滑坡灾害损失评估框架与方法，以更深刻地认识滑坡本身及其给人类与自然带来的影响。

2.1 认识滑坡

2.1.1 滑坡分布与绘图

美国的滑坡研究始于19世纪末，早于LHP项目。USGS首次对科罗拉多州西南部圣胡安（San Juan）山的滑坡进行了全面研究。尽管没有进行滑坡灾害和风险评价，但是确定了主要的滑坡分布区。20世纪40年代末，USGS、美国国家公园管理局和美国内政部垦务局对华盛顿富兰克林罗斯福湖的斜坡稳定性进行了统计评价，并编制了滑坡和潜在滑坡易发区的图件（链接1）。之后于1950年与美国陆军工程公司合作，对大古力水电站（Grand Coulee）和赤约斯水电站（Chief Joseph）之间的哥伦比亚河的滑坡进行了研究，这是第一次全面的滑坡区域研究，进行了滑坡灾害评价，编制了滑坡编录图。20世纪70年代，分别编制了加利福尼亚州、宾夕法尼亚州和科罗拉多州的滑坡编录图。1983年，Radbruch-Hall等将美国的滑坡综合图进行了数字化处理并重新发行，其中包括一些最新的资料以及覆盖美国所有县郡的图件。1997—1998年，利用全国滑坡灾害综合图与美国国家海洋和大气局（NOAA）的全国气候图，确定了在发生厄尔尼诺现象的丰水年里可能发生滑坡的地区。这些图件每季度都会在USGS和NOAA的网站上更新。

为了评价局部地区的滑坡灾害，美国国会在1966年的洪水控制法案中授权编制城市滑坡编录图。LHP一直在编制滑坡灾害记录图，并增加了滑坡易发性评价图和灾害危险性分区图，以提供更新、更详细和更为有用的滑坡灾害评价。1972年，Earl Brabb和USGS的一些工作人员编制了第一幅加利福尼亚圣马特奥的区域滑坡易发性评价图，他们是滑坡易发性评价图编

制工作的先行者。

2.1.2 滑坡分类及发生过程认识

在滑坡研究领域，一个最重要的进步就是确定滑坡分类（链接2）。David Varnes创造出很有用的专业词汇来描述滑坡，这一分类为全世界的科学家、工程师和土地利用规划者所用。从1958年开始，David Varnes在NRC第29号特别报告中，对斜坡运动类型和过程进行了分类。Varnes等在之后的NRC第176号特别报告和第247号特别报告中，对分类系统进行了改进。Varnes滑坡命名系统的依据首先是滑坡的组成物质，然后是运动类型（如岩崩和泥石流），成为了滑坡分类的标准方案。其他一些USGS的科学家们作为这些特别报告的编写者和修改者也做出了重要贡献。这些报告现已成为美国 and 全世界滑坡研究及减灾防御的参考标准。另外，USGS的滑坡研究人员已经发表了数百篇研究重要滑坡事件的科技文章。他们的研究成果有助于进一步认识滑坡过程，推动滑坡灾害和减灾的科学技术进展。相关实例包括预测灾难事件，利用Newmark方法来模拟地震诱发的滑坡（现在全世界都在利用这一方法）以及最新开发和应用的首次基于网络的活跃滑坡实时监测。

2.2 滑坡灾害防控

2.2.1 滑坡实时监控

对预测滑坡活动以及预报可能引发滑坡的暴风雨而言，监控是至关重要的。USGS滑坡项目的科学家们选择了一些典型滑坡区和山地实施滑坡活动监控，以此更好地认识触发滑坡的物理过程及其运动机制。

USGS实施滑坡实时监控，可追溯到1985年监测La Honda地区的滑坡活动，这是加州旧金山湾区滑坡预警系统的重要组成。1997年，在克利夫兰科拉尔滑坡区域建成了USGS第一个自动数据收集监测站，通过网络服务器，公众可获取相关数据。自此，USGS

链接1 滑坡地图类型

对土地利用规划者和普通民众最有用的滑坡地图有3种：滑坡编录图（landslide inventory map）、滑坡易发性评价图（landslide susceptibility map）和滑坡灾害危险性分区图（landslide hazard map）。

滑坡编录图标明那些曾经发生单个或多个滑坡过程的地区。小尺度地图可能只显示滑坡位置，大尺度地图会区分沉积物来源、滑坡类型及其他相关资料。

滑坡易发性评价图和编录图不同，它还包括这一地区潜在的滑坡发生的可能性。这些区域诱发滑坡发生的主要因素有陡坡、软弱地基、失重、饱和度及排水情况欠佳的岩石或土壤。这个图只反映斜坡的相对稳定性，并不是绝对的预测。

滑坡灾害危险性分区图描述这一地区地质灾害所造成的危险性的空间分布，在哪些地区曾经发生过滑坡，现在正在活动的滑坡，而最重要的是将来在哪些地方可能发生滑坡。对于某个特定的地区，灾害危险性分区图包括以下详细信息：滑坡的类型，发生破坏的边坡的范围和滑坡运动将影响的最大范围。这些图件将能用来预测某地区的滑坡灾害的危险程度。危险程度分为高、中、低危险区共3级。

链接2 滑坡及滑坡的分类

滑坡是岩石或土或两者的混合物沿着某个面的向下运动，当滑动面是曲面时，称之为弧形滑动；是平面时，称之为平滑滑动。在滑动过程中，滑动物质常呈现有粘聚力或半具粘聚力的整体，在内部很少有变形产生。应该指出的是，在某些情况下，如果滑坡物质性质发生变化，则在其运动过程中还可能包含其他的运动方式。

按照运动特征和物质组成可将滑坡分为不同的类型。滑坡的物质组成不是岩石或者土就是两者的混合物，如果主要由沙子那么大小的细颗粒和碎屑组成的就叫土体，如果是由较粗的颗粒碎屑组成的叫碎屑。运动类型描述了滑坡大规模滑动的内部机制：崩塌、倒塌、滑动、扩离、流动等。因此，滑坡的描述主要使用两种用语，分别为物质组成和运动类型（如崩塌、碎屑流等）。滑坡还可能是包含一种以上运动（如岩石碎屑流）的复合型运动。

运动方式	滑坡物质组成		
	基岩	工程土壤	
		粗颗粒为主	细颗粒为主
崩塌	岩石崩塌	土石崩塌	泥沙崩塌
倾塌	岩石倾塌	土石翻转	泥沙翻转
滑动	岩石滑动	土石滑动	泥沙滑动
扩离	岩石扩离	土石侧移	泥沙侧滑
流动	岩石流	土石流	泥沙流

开始监控多个近实时监控站点。在美国，USGS进行近实时监控的滑坡地点主要分布在加州、华盛顿州、俄勒冈州以及科罗拉多州。2007年以前，USGS进行的近实时监控滑坡地点如表2所示，有些至今仍处于监控状态，但是传感器进行了更新。目前，USGS网站上提供了在以上4个州布设的约10个滑坡监控站点的实时监控信息。此外，USGS研究人员还针对意大利阿尔卑斯山和新西兰鲁阿佩胡火山分别设计并安装了泥石流实时监测系统。

不同滑坡的发生、速度和潜在破坏性千差万别。

因此，美国还没有建立普遍适用的标准监测系统。针对滑坡运动的特点，USGS为每个滑坡量身定做监测策略。根据野外条件，安装传感器，探测降水、土壤湿度和地下水压以及滑坡位移和速度情况。地面远程监控系统不仅包括野外传感器，还需要数据采集单元来记录传感器测量值、遥感测量值（可通过无线电通讯、卫星或移动电话联接）、自动数据处理和状态显示器（通常联网）。远程抽样数据与向用户显示的数据存在滞后，故通常称为“近实时监控”，其滞后时间约几分钟到数小时，基本上还是非常接近并足以反

表2 2007年以前USGS进行近实时监控滑坡地点

地点	运行时期	滑坡类型	野外传感器	数据采集系统	交流系统和传输频率
La Honda, 加州	1985—1995年	浅层土壤滑动	雨量计, 测压计, 土壤湿度计, 延伸仪	Sierra Misco预警系统	无线电网和转发器, 每15分钟
克利夫兰科拉尔滑坡, 50号公路, 加州	1997年至今	平滑滑坡	雨量计, 地震检波器, 测压计, 延伸仪	USGS定制系统	无线电网和转发器, 每15分钟
Woodway, 华盛顿州	1997—2006年	弧形泥石流	雨量计, 测压计, 延伸仪	坎贝尔CR10X数据记录器	电话, 每15分钟
Rio Nido, 加州	1998—2001年	土壤滑动	雨量计, 地震检波器, 测压计, 延伸仪	USGS定制系统	无线电网和转发器, 每10分钟
Headscarp of Mission Peak Landslide, Fremont, 加州	1998年至今	岩块滑动	L1-GPS接收机, 延伸仪, 空气温度传感器	先使用环境声机, 后使用USGS定制系统	先使用移动电话, 后使用扩频无线电网, 每30分钟或每小时
Edmonds, 华盛顿州	2001—2006年	浅层平滑土壤滑动	雨量计, 土壤温度探头, 土壤水分分析仪, 土壤湿度计, 测压计	坎贝尔CR10X数据记录器	无线电网, 每小时和每15分钟
Everett, 华盛顿州	2001—2006年	浅层土壤滑动	雨量计, 水量反射计, 测压计	坎贝尔CR10X数据记录器	无线电网, 每小时和每15分钟
州际公路20号, Newhalem, 华盛顿州	2004—2005年	岩块滑动	地震检波器, 斜度仪, 延伸仪	USGS定制系统	无线电网和转发器, 每15分钟
约翰逊溪滑坡, Newport, 俄勒冈州	2004年至今	平滑滑坡	雨量计, 井内延伸仪, 测压计, 土壤湿度传感器, 空气和地表温度传感器	坎贝尔CR10X数据记录器	移动电话, 每天
佛罗里达河滑坡, Durango, 科罗拉多州	2005年至今	曾发生平滑滑坡, 最近在野火区发生岩屑滑动	雨量计, 延伸仪, 斜度仪, 测压计, 空气温度传感器	坎贝尔CR1000和CR200数据记录器, 无线电网	移动电话, 每小时
弗格森岩块滑动, 约塞米蒂国家公园, 加州	2006年至今	岩块滑动	L1-GPS接收机, 地震检波器	USGS定制系统	扩频无线电网和转发器, 每小时
波特兰, 俄勒冈州	2006年至今	浅层土壤滑动	雨量计, 土壤湿度计, 测压计, 土壤湿度传感器	坎贝尔CR1000数据记录器	移动电话, 每15分钟

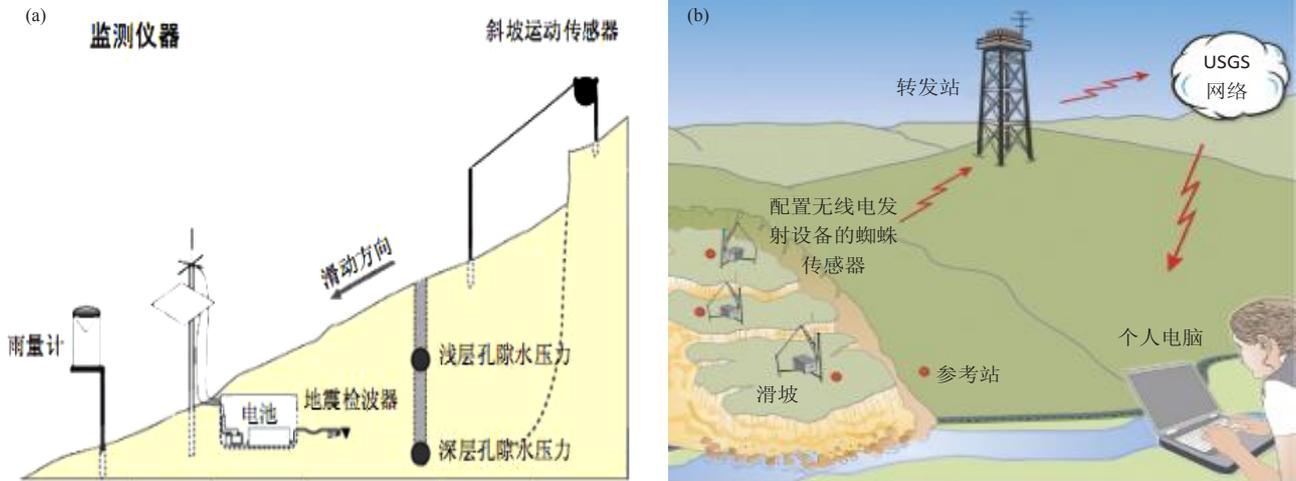


图1 滑坡实时监控 (a) 和数据传输网络 (b) 示意

映野外条件实际情况。

尽管各监测站安装的传感器有所不同，但各个监测站都采用同样的工作程序：监测站点处理设传感器，不同传感器的接线汇集一起与数据采集终端相接；因野外难获取电力，因此数据采集终端由大容量电池（部分地区采用太阳能）供电，通常6个月更换一次电池；终端定时通过无线信号，将数据发送给附近转发站，转发站再通过无线信号，将数据发回USGS数据接收处理中心；最终，该中心通过网络将数据传送到电脑终端（图1）。

2.2.2 滑坡预报预警

对1986—1995年在旧金山湾区运行的滑坡预警系统以及目前与州和当地政府合作运行的遍布全美的近实时监测系统而言，降水临界值这一指标非常重要。这个系统基于1982年2月3—5日在该地区发生的一次特大暴雨所引发的滑坡灾害数据，建立了滑坡与降水强度和持续时间的临界关系曲线。20世纪70年代，Russell Campbell开始研究降水持续时间和强度与浅层滑坡之间的关系，80年代，Susan Cannon、Stephenson Ellen和Gerald Wiezorek等对这一研究成果进行了改进。研究者利用20世纪70—80年代由USGS开发的方法来确定降水临界值，而且在对下面几次事件发布滑坡灾害预警信息时用到了这一指标：2004—2005年加州南部的冬季暴雨；2003年伊莎贝尔飓风；2000年以及2003—2004年华盛顿普吉特湾的暴雨；2003—2004年旧金山湾区的雨季。降水临界值在滑坡预报、预警中发挥的作用越来越显著。

1995年以后，降水测量和预报、滑坡灾害模型开发取得重要进展，以及地理信息技术的突破，实现了降水预报和灾害模型在时空上更紧密的联系。NWS已

经拥有一批先进的设备，包括高分辨率的数值天气预报模式、在全美布网的WSR-88D (NEXRAD) 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。开发可操作的预警系统的时机逐渐成熟。

在2005财年和2006财年，LHP工作的新突破口是火灾后的泥石流灾害研究和滑坡预报。USGS与NOAA的NWS和OAR (Office of Oceanic and Atmospheric Research) 签署No.052-49项目合作备忘录，成立了专责小组，任务是发展NOAA-USGS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。其中的一个环节是要在加州南部建立测试和应用预警系统的模型，并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与描述泥石流灾害的发生。USGS和NOAA依靠现有先进技术，在原有的滑坡预警系统基础上，共同合作开发了泥石流预警系统 (Debris-Flow Warning System, 以下简称DFWS)。

DFWS由独立的产品、监测和预警体系组成，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）提供服务。DFWS对外发布的产品，主要包括针对泥石流活动发出的预测 (Outlooks)、监控 (Watches) 和警报 (Warnings) 信息。

与降水预测以及实时降水测量相比，降水的“强度—时间”临界值是开发滑坡预警系统的基础。起初，专责小组要求NWS为USGS提供降水预测信息，但NWS缺少全天运行的监测系统。基于已有基础，专责小组同意用NWS的暴雨监测和预报系统 (Flash Flood Monitoring and Prediction, 以下简称FFMP)，实现预警系统的运行。NWS为USGS提供3种形式的数据：(1) 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。这些数据能够被输入到进行实时预报的水文模型和地质模型中，进行泥石流的敏感性预测、山坡水文条件预测和斜坡稳定性预测。NWS预报信息和雷达观测数据都以一种地理信息系统（GIS）所兼容的形式传送给USGS。

预警的工作流程是：USGS将产品通过AWIPS（Advanced Weather Interactive Processing System）传递给NWS，USGS人员与NWS天气预报员联合通过AWIPS发布泥石流关注、监测或警报产品。天气预报机构通过公共信息系统和NOAA的天气无线广播系统（NOAA Weather Radio，简称NWR）发布产品。任何产品的声明都将发给USGS的高级顾问、USGS地质和水资源方面的副董事、USGS国家滑坡信息中心的主任、水资源科学中心以及信息交流中心。

2.3 滑坡灾害损失评估

2.3.1 AASG 滑坡灾害损失调查

1999—2000年，AASG（Association of American State Geologists）启动了一项调查行动，要求50个州提供1997—1998年（厄尔尼诺年）冬季期间滑坡灾害损失报告。结果表明，当时，29个州将滑坡灾害列入各辖区地质灾害前三甲。47个州搜集了滑坡损失数据，但其中39个州的报告中提到没有进行系统性数据采集。损失评估的普遍难点在于：没有统一标准的搜集方法，缺少集中的数据储存库；没有标准的损失和滑坡术语，业主不配合提供损失信息；因滑坡灾害损失通常不在个人保险合同之中而缺乏保险理赔信息。AASG调查还表明，许多滑坡危险区所在辖区无法提供滑坡灾害信息，甚至许多地区对滑坡灾害还不了解。许多州调查局都希望尽快出台一项统一的评估方法。为此，国家滑坡减灾战略将改进滑坡灾害损失评估作为了重要目标。

2001年，LHP为自愿参与滑坡调查战略的7个州地质调查局提供资金支持，他们需要报告各自州内滑坡调查进展，在改进跟踪滑坡及其影响、灾害损失及减灾措施等方面提出建议。每个州需要起草提供跟踪滑坡的新方法的报告并参与随后的一系列研讨会。这项工作还希望从这7个试点州的报告中，提出一个最终版的适用于全国50州的评估方法，并提供搜集滑坡损害和经济影响数据的统一框架。

由这7个州调查局主持的试点研究，检验了采集滑坡经济损失的精确和可靠信息的可行性，检验了在试验地区经济损失数据的可得性、分布和内在不确定性，并对未来全国开展滑坡灾害损失评估给出了建

议：（1）重新采集已发生滑坡灾害的损失相关信息需要耗费大量的人力成本，建议今后保存信息技术能提供追溯滑坡损失数据的实用方法；（2）媒体来源的损失数据大体上不完全，也缺乏系统性和可靠性，然而，许多媒体不断更新特别报道能回顾事件的有关数据和情况；（3）鉴于版权问题和隐私，咨询公司不是获取大量滑坡损失数据的来源，然而，这不意味着就要排除这些来源，在获取许可或版权授权或购买的情况，可以获得有用信息；（4）建立滑坡损失目录的标准方法将降低损失信息使用和获取的成本。

2.3.2 滑坡灾害损失评估进展

Smith（1958）给出了美国首次国家级滑坡灾害损失评估值，“年均滑坡成本达数百万美元”。这很可能是个真实数据，然而，随着城镇化和工业发展，人类活动逐步扩展到滑坡易发区域，以及通货膨胀，滑坡损失值在不断上升。1976年，Krohn和Slosson评估美国因滑坡造成私人住宅的年均损失，以1971年美元计算约为4亿美元。这个评估结果不包括间接成本或公共财产损失以及森林或农田、交通或通信设施的损失。1985年，NRC考虑以上评估结果、粗略估算间接成本和通胀系数，得出美国每年滑坡损失约为10~20亿美元，因滑坡每年死亡人数约25~50人。滑坡损失评估大多数计算的是直接成本，从1983年加州50号高速路滑坡的评估开始，计算间接成本，如因高速公路维修当时产生了360万美元，但是据估算，旅游收入预计减少了1.2亿美元。表3给出了2000年以前美国的一些滑坡事件的灾害损失评估结果。但是，在2000年之前，官方的全美滑坡灾害评估工作还没正式启动。

2000年之后，LHP开始重视滑坡事件的记录，推动了滑坡事件数据库的建立和重要滑坡事件灾害的损失评估。Highland（2012）对2010年在科罗拉多州发生的7次重要滑坡灾害进行了全面的损失评估，计算了直接和间接损失，约为914.9万美元；其在报告中还指出，目前，美国50个州都没有进行滑坡综合损失数据的编制，也没有明确打算推进获取和维护精确的滑坡编录或全美滑坡损失数据集等方面的工作。没有全

表3 美国滑坡事件灾害损失评估结果

灾害发生年	灾害地点	引发滑坡原因	灾害损失
1964	阿拉斯加	地震	1.8亿
1979—1980	加州	冬季暴雨	5亿
1980	华盛顿州	火山喷发	0.29亿
1982	旧金山湾区	强暴雨	0.66亿
1983	犹他州	厄尔尼诺	2.5亿
1984	犹他州	Thistle滑坡	4亿
1998	旧金山湾区	厄尔尼诺	1.56亿

国统一的数据获取标准，成为了滑坡灾害损失评估的关键难点。未来，只有数据问题引起重视与解决，滑坡灾害损失评估研究才可能在精确量化方面取得实质进展。

3 启示

我国70%的国土为山区，一直是世界上崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害较严重的国家之一。2011年，全国共发生地质灾害15664起，其中滑坡11490起，地质灾害造成直接经济损失40.1亿元；2012年，前10个月共发生的14203起地质灾害中，滑坡占10841起，造成直接经济损失52.3亿元，与去年同期相比，地质灾害发生数量减少8.6%，然而造成的死亡失踪人数和直接经济损失分别增长39.2%和31.7%。

21世纪初开始，区域性滑坡监测预警工作逐渐在我国开展。2003年4月，国土资源部和中国气象局签订了《关于联合开展地质灾害气象预警预报工作协议》。截至2010年10月，全国已有30个省（自治区、直辖市）、223个市（地、州）、1035个县（市、区）开展了区域性地质灾害气象预警预报工作。

3.1 强调滑坡灾害防治中的气象保障作用

USGS滑坡研究与服务经历了一个“滑坡认识—滑坡监控—滑坡预防—滑坡治理”的客观发展过程，并逐步达成了降水强度、持续时间是预警预报关键要素的共识。正是NWS的降水预报准确率和技术的进步，实现全天雨量监测，为USGS开展精确滑坡预警提供了可能。

我国重大地质灾害频繁发生，特大滑坡造成的群死群伤灾害仍是减灾防灾难题。我国区域滑坡监测预警起步较晚，但我国气象部门介入滑坡等地质灾害预警预报早。近10年，国内在降水临界值研究方面做了大量工作，试图寻找降水量与滑坡发生的必然联系，借此进行预报预警。据2004年全国715个地质灾害成功预报避灾实例统计分析，专业性临界雨量预报仅占总数的9.8%。实际情况是，不同机理滑坡“需要”不同的降水临界值。要提高滑坡预警效果，要双管齐下，提高预报准确率和降水临界值精确度，二者都需要以滑坡易发区的详细降水监测数据为支撑，以先进的预报预警系统和信息发布系统为载体。

建立高频次全天雨量监测网。在中小河流洪水、山洪、地质等灾害防治区开展雨量监测，为灾害预警服务提供雨量观测实时数据。以现有气象站网为基础，通过加密观测站点、更新完善设备性能、合理布设自动气象站、自动雨量站、局地移动天气雷达、风廓线雷达、自动探空系统等观测设备，加强监测能

力。在地县级地区，建设综合气象观测数据处理平台，保障实时观测数据及时有效传输到预报业务平台。

建立预报与风险评估系统。实现强降水精细化监测分析与临近、短时和短期预报，确定致灾临界降水量，具备中小河流洪水、山洪、滑坡等地质灾害监测预警产品制作及其灾害风险评估能力等。同时，系统具备能和预警信息发布与服务系统共享的统一基础数据环境，使用一体化业务软件，在统一开发的人机交互平台、GIS等支撑基础上，实现国家、省、地、县四级预报预警体系。

建立预警信息发布与服务系统。依靠这个系统，可将局地突发性强降水等灾害性天气监测预报预警信息产品，通过气象灾害预警信息接收终端、气象灾害服务产品和气象灾害预警信息综合发布平台等渠道，及时传送到受影响地区的领导和群众手中，实现国家、省、地、县四级部门之间灾害预警与应急联动。

3.2 加大滑坡防治的非工程措施的投入力度

USGS的滑坡灾害项目能取得今天的成就，除了LHP科学家的不懈努力之外，更离不开美国国会的重视，将滑坡灾害项目上升到国家战略的高度，并给予了大力支持，年投入资金由早前的200万美元，逐步上升到5000万美元。正是这样大力度的资金投入，USGS才能建成涵盖滑坡灾害实时监控、预报预警发布与灾害损失评估等环节完整的防治体系。滑坡灾害项目还积极参与开展滑坡灾害损失调查、危险区域区划、建立社区灾害应急响应预案和风险控制机制、实施公众意识培训和宣传等非防治工程措施，有效降低了美国滑坡灾害损失。

从2009年起，我国中央财政专门设立了特大型地质灾害防治专项资金，当年安排资金8亿元，用于因自然因素引发危害公共安全的特大型地质灾害防治。然而，比起每年发生的上万起地质灾害以及因灾造成的超过50亿的直接经济损失，这些投入仍然是杯水车薪。历年地质灾害事件来看，滑坡占我国地质灾害事件的70%以上，却始终未设立滑坡防治专项资金。建议中国尽快建立滑坡灾害防治专项经费，用于开展滑坡的监测、预报、预警和灾后的损失评估等，逐步健全滑坡减灾与防治体系。

此外，中国应尽快加大滑坡防治的非工程措施的投入：一是支持开展滑坡灾害损失调查，推动滑坡事件数据库的建立，以更全面地了解滑坡事件，采集、获取和甄别有效信息，完善预警系统；二是加强对易发区、危险区的划定工作，在易发区和危险区建立防御和风险控制机制；三是深入开展公众意识教育和科

学普及教育, 为滑坡易发区和危险区的应急管理人员提供培训机会和技术援助, 有效降低滑坡灾害损失。

深入阅读

- 安培浚, 李栋, 张志强. 2011. 国际滑坡、泥石流研究文献计量分析. 地球科学进展, 26(10): 1116-1124.
- 范宏喜. 2010. 我国地灾气象预警预报成效显著. 中国国土资源报, 2010年10月15日.
- 刘维. 2012. 我国前10月发生1.4万起地灾. 中国国土资源报, 2012年11月7日.
- 刘维. 2012. 我国2011年成功预报地灾403起. 中国国土资源报, 2012年1月11日.
- 唐亚明, 张茂省, 薛强, 等. 2012. 滑坡监测预警国内外研究现状及评述. 地质论评, 58(3): 533-539.
- 魏丽, 郑有飞, 单九生. 暴雨型滑坡灾害预报预警方法研究评述. 2005. 气象, 31(10): 3-6.
- Highland L M, Bobrowsky P 著/ 汪发武 译. 2009. 滑坡灾害防治手册——认识滑坡防治滑坡, 北京: 地质出版社.
- NOAA, USGS 著/ 哲伦 编译. 美国的泥石流预警系统. 2009. 资源与人居环境, (19): 41-44.
- Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Research Council. 2004. Partnership for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy. Washington, DC: National Academies Press.
- Highland L M, Bobrowsky P. 2008. The landslide handbook: A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325.
- Highland L M. 2006. Estimating landslide losses—preliminary results of a seven-state pilot project. U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1032.
- Highland L M. 2012. Landslides in Colorado, USA—Impacts and loss estimation for 2010. U.S. Geological Survey Open-File Report 2012-1204.
- Krohn J P, Slosson J E. 1976. Landslide potential in the United States: California Geology, vol 29, no 10.
- NOAA-USGS Debris Flow Task Force. 2005. NOAA-USGS debris-flow warning system—Final report: U.S. Geological Survey Circular 1283.
- Reid M E, Baum R L, LaHusen R G, et al. 2008. Capturing landslide dynamics and hydrologic triggers using near-real-time monitoring, From: Landslides and Engineered Slopes – Chen et al. London: Taylor & Francis Group.
- Reid M E, LaHusen R G, Rex L. Baum R L, et al. 2012. Real-Time Monitoring of Landslides. USGS Factsheet(FS12-3008).
- San Francisco Chronicle. 1983. Highway 50 reopens and Tahoe rejoices.
- Schuster R L, Highland L M. 2001. Socioeconomic and environmental impacts of landslides in the Western Hemisphere. U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0276.
- Smith R. 1958. Economic and legal aspects. In: Eckel E B, ed, Landslides and engineering practice: Washington, National Academy of Science, National Research Council Publication 544, Highway Research Board Special Report 29.
- Spiker E C, Gori P. 2003. National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction: U.S. Geological Survey Circular 1244.
- U.S. Geological Survey. 2005. Landslide Hazards Program 5-Year Plan 2006-2010.