

李傲雯, 李永红, 姚超伟, 等. 几种地质灾害监测预警和成功预报的模式[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 222–229. [LI Aowen, LI Yonghong, YAO Chaowei, et al. Several modes of geological disasters monitoring, early warning and successful predicting [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 222–229. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.01.041.]

几种地质灾害监测预警和成功预报的模式^{*}

李傲雯¹, 李永红^{2,3}, 姚超伟^{2,3}, 苏晓萌^{2,3}, 惠明强⁴, 任超⁴, 杨渊^{2,3}

(1. 长安大学 水利与环境学院, 陕西 西安 710054; 2. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室, 陕西 西安 710054;
3. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054; 4. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054;)

摘要: 地质灾害成功预报是指通过多种形式的监测预警手段, 在地质灾害临灾前, 由单位或个人对地质灾害将要发生的时间、地点、范围或强度等进行准确的预判并发出预报预警信号, 相关部门立即采取必要的避险防治措施后, 避免了人员伤亡或财产损失的事件过程。该文以 2003–2018 年陕西省 553 起地质灾害成功预报为样本, 以第一次预报预警信号的来源为依据, 界定了地质灾害监测预警和成功预报的模式, 辅以具体案例并对每一种模式进行了定义。文章认为地质灾害监测预警和成功预报的模式有: 专业监测型、巡查排查型、气象预警型、群测群防型共四种模式, 四种模式的成功预报率由低至高具“金字塔”型。

关键词: 地质灾害; 成功预报模式; 监测预警; 专业监测型; 巡查排查型; 气象预警型; 群测群防型

中图分类号: P694; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)01–0222–08
doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.01.041

地质灾害成功预报是指通过多种形式的监测预警手段, 在地质灾害临灾前, 由单位或个人对地质灾害将要发生的时间、地点、范围或强度等进行准确的预判并发出预报预警信号, 相关部门立即采取必要的避险防治措施后, 避免了人员伤亡或财产损失的事件过程。在国外, 成功预报多通过数学模型研究来实现, 如日本学者斋藤迪孝在 1960 年提出均质土滑动时间与蠕变速率之间的经验公式, 成功预报了高场山隧道滑坡^[1]; 前苏联学者利用滑坡与降水关系, 建立数学模型, 对东南喀尔巴阡山地带滑坡进行了长期预报^[2]。在国内, 成功预报多通过新闻报道来说明, 如 2016 年 1–8 月全国成功预报地质灾害 635 起^[3]、2018 年云南省成功预报避让地质灾害 54 起^[4]等地区性地质灾害成功预报工作总结; 又如安康岚皋县成功预报 2 起地质灾害避免 18 人伤亡^[5]、四川阿坝州泥石流地质灾害实现成功避险无人员伤亡^[6]等单点地质灾害成功预报工作总结。纵观国内相关文献, 地质灾害成功预报的内容多集中在采取了什么样的做法, 避免了多少人员伤亡和财产损失, 而其中的做法实质是一种预报预警模式的雏形, 但目前没有相关的文献对这种模式进行系统的归纳总结, 这就对最大限度地避免因地质灾害造成人员伤亡和财产损失缺乏更多的技术支撑与行政管理手段。研究第一次预报预警信号的来源, 如是群测群防员发出, 行政管理部门应该对其给予一定的物质与精神奖励, 以期希望更多的基层干部群众加入到群测群防员队伍中, 加强地质灾害的监测预警, 及时发现隐患实现更多的成功预报; 如通过专

业设备实施预报预警的, 科研人员则应该加大研发力度, 实现科技创新, 从人防向技防转变, 真正将群测群防员从“人海战术”中解放出来。

因模式不同而技术支撑、行政管理的着力点、发力点不同, 实现地质灾害成功预报的精细化管理, 对地质灾害防治主管部门具有一定的现实意义。为此, 本文基于 2003–2018 年陕西省 553 起(图 1)地质灾害成功预报的案例^[7], 归纳总结了陕西省地质灾害几种成功预报的模式, 并对其进行了定义, 研究了四种模式成功预报率的关系, 旨在为地方政府防灾减灾服务。

1 陕西省地质灾害 2003–2018 年成功预报概况

2000 年后, 各级地质灾害防治主管部门通过地质灾害调查与区划、地质灾害详细调查、初步摸清了全国地质灾害隐患的家底, 为了避免这些隐患造成人员伤亡和财产损失, 一方面加大综合治理力度, 如避灾搬迁和工程治理; 另一方面采取形式多样的监测预警手段, 使得地质灾害成功预报成为可能, 有效避免了大量人员伤亡和财产损失, 主要做法是: ①发动受地质灾害威胁的群众进行“土办法”监测, 如贴片法实现监测预警; ②通过物联网、计算机等技术进行“洋办法”监测, 如自动雨量报警仪等实现监测预警; ③通过气象

^{*} 收稿日期: 2019–07–25 修回日期: 2019–10–30

基金项目: 陕财办预[2017]6 号《陕西省财政厅关于批复 2017 年省级部门预算的函》

第一作者简介: 李傲雯(1994–), 女, 山西孟县人, 硕士研究生, 主要从事环境科学与工程。E-mail: 2399675518@qq.com

通讯作者: 李永红(1968–), 女, 山西孟县人, 教授级高级工程师, 主要从事水工环地质工作。E-mail: 573142680@qq.com

台、手机短信等发布气象预警信息, 提醒人们雨季出行注意安全; ④专业技术人员或地质灾害防治主管部门相关人员通过“三查”等工作, 加强地质灾害防治知识的宣传培训, 提高群众的识灾、防灾、避灾意识。2003—2018 年陕西省成功预报地质灾害 553 起, 这些成功预报点主要分布在陕南三市(图 1), 其次是关中盆地, 最后是陕北地区零散分布^[7], 成功避免了 26 918 的人员伤亡、避免了 43 729.8 万元的经济损失(图 2)。

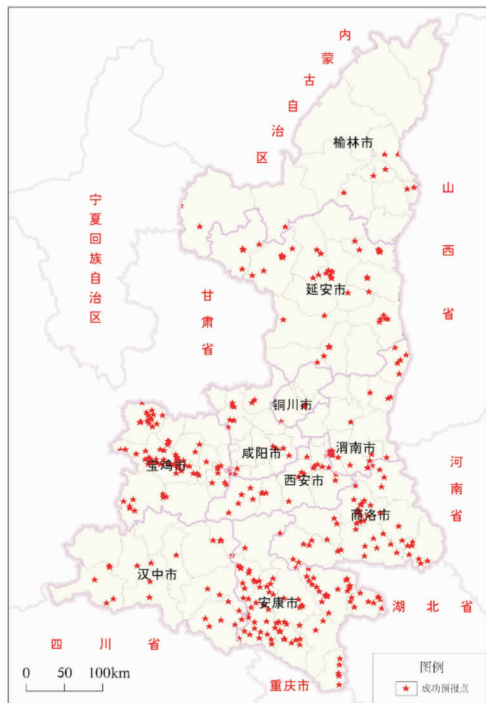


图 1 2003—2018 年陕西省地质灾害成功预报分布图

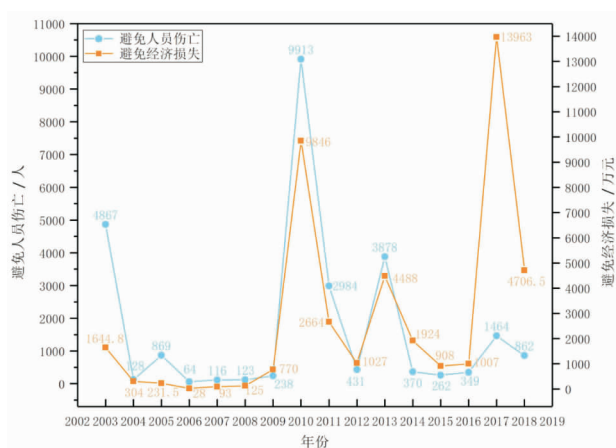


图 2 2003—2018 年陕西省地质灾害成功避免人员伤亡和财产损失情况

2 几种成功预报的模式

分析 2003—2018 年陕西省 553 起成功预报的具体做法, 以第一次预报预警信号来源依据, 界定地质灾害成功预报的模式有: 专业监测型、巡查排查型、气象预警型、群测群防型共四种。简单地说, 如果由专业监测系统首先启动报警装置的就是专业监测型; 技术人员或管理人员在“三

查”时发现隐患, 第一次发出预报预警信号的就是巡查排查型; 根据气象台或手机预警信息引起干部群众警戒, 第一次发出预报预警信号的就是气象预警型; 群测群防员根据掌握的地质灾害防治知识或监测记录变化情况, 对隐患点的发展趋势做出正确的临灾预判, 并通知相关人员采取措施的就是群测群防型。现将四种监测预警和成功预报模式的基本概念、理论基础、流程或案例等归纳总结如下:

2.1 专业监测型

2.1.1 基本概念

专业监测型模式是利用天—空—地技术监测地质灾害隐患区域、地质灾害隐患点变形特征或引发因素的信息, 通过特定系统实时或定时接收、分析与处理这些信息。当地质灾害临灾前, 第一时间第一次发出预报预警信号, 相关单位或个人采取必要的避险防治措施后, 避免了人员伤亡或财产损失的一种监测预报预警模式。

2.1.2 理论基础

随着遥感技术、物联网技术、通信技术、计算机技术的发展日趋成熟, 结合必须的地面调查与勘查, 人与地质灾害体之间基本实现了智能连接。因此遥感技术、物联网技术、通信技术、计算机技术的理论基础就是专业监测的理论基础。

2.1.3 建设流程

(1) 隐患识别

受财力限制, 不是每一个隐患点都能够布设专业监测设备的。专业监测前第一步应该进行地质灾害隐患早期识别。许强^[10]认为应该对正在变形区、曾经变形区、稳定性较差的斜坡、大型松散堆积体加强监测。2000 年来通过地质灾害调查与区划项目、详细调查项目, 在全国范围内共发现地质灾害隐患点近 30 万处^[11], 对于危重的隐患点大都实施了综合治理措施, 还有一部分采取群测群防或专业监测。但近年来中国灾难性地质灾害事件时有发生, 代表性的有 2015 年陕西省商洛市山阳县中村镇烟家沟滑坡造成 65 人死亡失踪, 2017 年四川省茂县叠溪镇新磨村滑坡造成 83 人死亡失踪, 2018 年西藏雅鲁藏布江米林段色东普沟先后两次发生冰崩造成堵江事件, 而这些灾害性事件又不在我们的防范之列。由此可见专业监测选点至关重要, 将有限的资金用在真正需要专业监测的隐患点上, 提高财政资金绩效目标, 是我们专业技术人员应该思考的问题。关于地质灾害隐患早期识别, 许强^[10]也提出了“三查”体系: 基于光学遥感和 InSAR 的地质灾害隐患普查、基于机载 Lidar 和无人机航拍的地质灾害隐患详查、基于地面调查和监测的地质灾害隐患核查。“三查”后发现的地质灾害隐患点也要区别对待, 对于出现明显的险情且风险很高的地质灾害隐患, 应采取避让搬迁或排危除险措施; 而对于危害性很大但目前危险性并不太高的灾害隐患, 应采取工程治理措施; 而对于危害性较大但其状况还不够明确的灾害隐患, 应通过专业监测来掌握其变形阶段和发展趋势; 而对于一般性的地质灾害隐患可直接纳入群测群防体系。

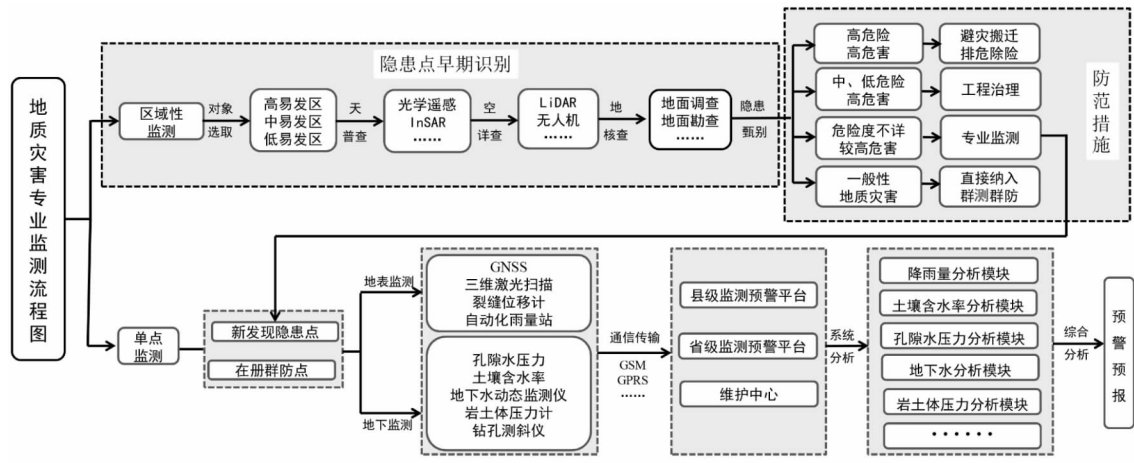


图3 地质灾害隐患早期识别与专业监测流程图

(2) 建设流程

建设流程围绕两条线进行(图3),一种是区域性监测、一种是单点监测。前者主要在易发程度高的区域进行监测,是通过天-空-地由面到点对地质灾害隐患识别的过程;后者是针对在册的地质灾害隐患点或新发现的地质灾害隐患点,在坡体地表、内部布设一定数量的监测设备,进行实质性监测的过程。截至2018年底,陕西省已建成专业监测点225处(图4),根据隐患点类型与引发因素的不同,主要投入了数量不等的雨量计、裂缝相对位移计、泥位计、次声仪、图像抓拍、地下水位计、土壤含水率等。

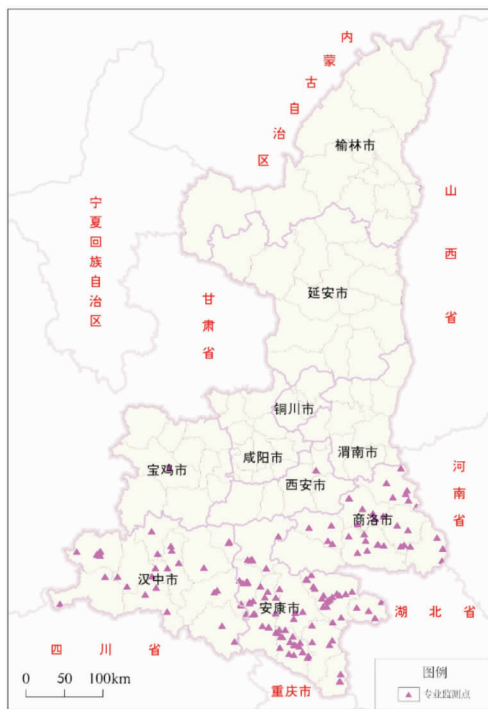
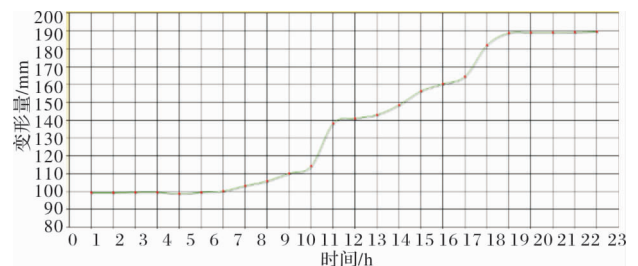


图4 陕西省专业监测点分布图(截至2018年底)

陕西省针对滑体厚度小于10 m的堆积层滑坡^[11],构建了地表相对位移+图像抓拍、地下水位+土壤含水率+降雨量相组合的监测预警技术,

研发了相关软件,实现远程预警发布,这套技术在商洛市王洼大型堆积层滑坡成功布设。针对黄土古滑坡规模大、滑体厚度大于10 m以上特点,提出空对地的绝对位移监测+地表至深部相对位移监测相组合的监测预警技术,如金台区八角寺大型古滑坡上布设了GPS监测网、深部测斜监测网等。

专业监测的关键技术是布设监测设备后,在临灾前时灾害发生的时间、范围做出准确预报的过程,这虽是一个国际难题,但近年来的研究和实践证明,对大多数已进行科学、专业监测的地质灾害体而言,在灾害发生前,提前数小时、数分钟发出预警信息还是可能的。2017年10月11日09:00陕西省宁陕县值班室专业监测预警系统识别到^[11],三星村原地板条厂后山滑坡后缘裂缝宽度变形量呈上升趋势,提前2 h系统自动启动中心控制室声光报警、短信报警及远程监测灾害点广播联动语音报警,“一发三收”成功预报了该起滑坡险情,保障了138户390人312间房屋的安全。图5为滑坡发生当日变形趋势分析曲线图,06:00-09:00开始发生变形,09:00-11:00和11:00-18:00加速变形,相关部门采取裂缝回填、遮盖雨布等防范措施后,在18:00后变形得到控制。

图5 陕西省宁陕县三星村原地板条厂后山滑坡G11站
2017年10月11日变形趋势分析曲线图

分析陕西省553起地质灾害成功预报的案例,通过专业监测预警体系自动发出警报信号的案例较少,约有2.0%左右。

2.2 巡查排查型

巡查排查型模式是指专业技术人员或各级地质灾害防治主管部门在地质灾害易发区内,针对地质灾害的各类引发因素(降水、地震、人类工程活动等)进行阶段性的地面“三查”^{*}工作,包括事前排查、事中巡查、事后核查,常见的“三查”有汛前排查、汛中巡查、汛后核查,雨前排查、雨中巡查、雨后核查。在这个过程中发现险情或灾情发出预报预警信号,采取相应的措施,有效避免了人员伤亡或财产损失的一种成功预报模式。其中:“排查”是指对已知地质灾害隐患点逐一核查,和对可能发生地质灾害的地区进行地面调查;“巡查”是对已知地质灾害的发展变化情况进行多次调查并作好相关记录的过程;“核查”是比对与地质灾害相关的各个要素,对地质灾害隐患现状(规模、发育与变形特征、稳定性、危险性等)进行现场评估的过程。由此可见“三查”工作实际上是由“面”至“点”的调查过程,是在地质灾害易发区内对已知点调查和未知点识别调查的过程,这项工作一般是多部门联动,主要对居民集中区、旅游观光区、村民零散区、交通沿线、工程建设领域等进行调查。2017年9月27日10:30左右,陕西省安康市蜀河镇蜀河社区主任张正海等人在地质灾害巡查中^[8],发现蜀河社区四组(黑沟)何世刚房后地面出现较大裂缝,有滑坡迹象,立即组织坡体下方2户7人及沟道下游两侧21户53人共计23户60人转移到安全地带。同时设立了警示标志,落实专人24h监测。当日11:10坡体开始发生滑动,15:40分土石大面积下滑,滑坡方量约为7000m³。由于预警及时,撤离迅速,未造成人员伤亡。相对专业监测,通过巡查排查实现成功预报的案例较多,陕西省553起地质灾害成功预报的案例中有8.0%属此类型。

2.3 气象预警型

2.3.1 基本概念

气象预警型模式是基于气象因素对崩塌、滑坡、泥石流山坡型地质灾害进行区域性预警的,是对前期过程降雨量、预报降雨量等气象因素引发地质灾害的可能性大小预测预报并向社会发布预警产品的行为。气象预警的地质灾害特指崩塌、滑坡、泥石流。预警产品用红、橙、黄、蓝色表示地质灾害发生的可能性很大、可能性大、可能性较大、可能性较小,其内容主要包括地质灾害可能发生的时间、区域、危害程度等信息。地质灾害临灾前,相关单位或个人采取必要的避险防治措施后,避免了人员伤亡或财产损失的一种预报预警模式。

2.3.2 理论基础

降雨过程中,当山坡岩土体的含水量达到某一界限值(或称临界雨强)时,可能发生崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害。气象预警的关键技术是研究降雨与山坡地质环境因素的耦合关系。温铭

生^[12]认为气象预警理论有隐式统计预警、显式统计预警,其中隐式统计预警模型是把地质环境因素的作用隐含在降雨参数中,对某地区的预警判据仅仅考虑某种降雨量,如年降雨量、季度降雨量、月降雨量、多日降雨量、日降雨量、小时降雨量和10min降雨量等,将其中的几个参数作为预警判据,这种方法适用于地质环境模式比较单一的小区域。显式统计预警是充分考虑地质环境因素与降雨的相互作用关系,预警判据不仅考虑降雨量,还要充分研究孕灾地质环境条件,这种方法适用于地质环境比较复杂的大区域。

2.3.3 工作流程与产品制作

2.3.3.1 工作流程

(1)地质灾害防治主管部门首先通过服务器接收气象台前期降水量(一般10d以上)或未来24h的降水信息^[13];然后根据“降雨诱发地质灾害等级划分表”生成某一时段降雨诱发地质灾害等级图层,然后将其叠加于“陕西省地质灾害易发程度分区”图上;最后结合“地质灾害预报等级划分表”,采用事先建立的隐式统计预警模型或显式统计预警模型进行研判,生成地质灾害预报预警产品图(图6)。

该产品图由两个图层组成,以陕西省气象预警为例,一个是省域范围内的行政区划图层,由全省107个县(区、市)边界要素组成;一个是预报预警等级图层,也是产品图的核心图层,按四种颜色分了四个预报预警等级^[14]:即蓝色表示发生地质灾害的可能性较小、黄色表示发生地质灾害的可能性较大、橙色表示发生地质灾害的可能性大、红色表示发生地质灾害的可能性很大。

(2)根据产品图的预报等级,一般达到黄色级别时,专家对产品进行联合会商签署后,将产品图传至气象台,气象台影视制作中心形成预报预警影像资料,再传送给电视台通过卫星频道向社会公众发布,与此同时,通过互联网、手机向社会发布全省地质灾害预报预警信息。2013—2018年,陕西省发布地质灾害气象预报预警产品76次^[15],区域内地质灾害成功预报率约20%(表1)。

(1)2017年9月,陕西省紫阳县连续遭遇强降雨天气^[8],基层干部群众收到的气象预警信息频频告急。9月27日16:00左右,汉王镇安五村村委会主任陈伟带队进行巡查时,住户王邦报告自己房后坡地上出现了裂缝,陈伟带人对现场进行了查看,认为相当危险,立即将王邦等人进行转移撤离,10月3日11:20左右发生滑坡,规模约60余m³,碎石土冲进屋内造成房屋受损,因提前将人员进行撤离,避免了2户15人的伤亡。

* 此处“三查”有别于前面提出的“三查”体系。前者是利用天—空—地进行地质灾害隐患点早期识别的调查手段,包括普查、详查与核查,后者是地质灾害阶段性地面调查,分事前排查、事中巡查、事后核查。

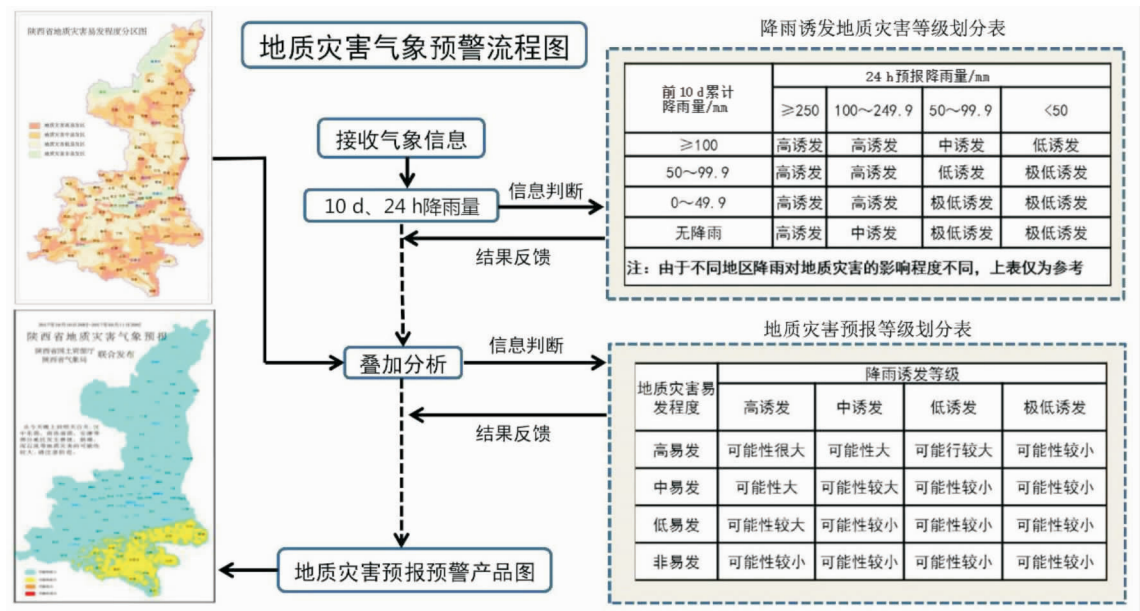


图6 陕西省地质灾害气象预警流程框架及产品图

表1 2013 – 2018 年气象预警型成功预报分析表

发布/年份	发布预警预报产品/(次/年)	当年地质灾害成功预报数	预报区内成功预报数	避免损失		预报区内成功预报占当年比例/(%/年)
				避免人员伤亡/(人/年)	避免财产损失/(万元/年)	
2013	23	52	10	628	366	19.23
2014	12	18	5	87	838	27.78
2015	5	11	4	105	324	36.36
2016	7	12	1	36	10	8.33
2017	18	30	3	128	682	10.00
2018	11	13	5	423	2571.5	38.46
合计	76	136	28	1407	4791.5	—

(2)2017 年 9 月，同样是紫阳县连续遭受强降雨，其中 24 – 27 日界岭镇降雨量达 149.1 mm^[8]，气象预警信息使得界岭镇驻村干部和麻园村委会干部坐不到家中。30 日 11:40 分左右他们沿村级公路巡查时，发现四组公路边有掉落土石块现象，认为出现滑坡的可能性较大，当即组织周边 6 户 18 名群众迅速安全转移撤离至安全地带。当日 13:00 左右坡体发生大面积滑坡，规模约 1.92 万 m³，滑坡造成 1 户房屋被埋，1 户房屋受损。因组织转移群众及时，成功避免了人员伤亡。

2.3.3.2 模型建立

气象预警产品的制作通过模型来实现。

(1)隐式预警产品制作首先考虑研究区的面积及地形、地貌、水系、构造、岩土体类型及结构、气候、地质灾害分布等特征，划分为若干预警分区，每一个预警分区的地质环境、气候等条件相对单一，这种地质灾害预警分区实质是地质灾害易发程度分区。然后利用多日降雨量与 24 h 降雨量的多少确定诱发地质灾害的程度，形成红色、橙色、黄色预警区域。陕西省地质灾害气象预警产品的制作属此种类型。

(2)显式预警产品的制作首先将研究区进行网格化管理，在每一个网格中进行地质灾害“潜势度”的计算。“潜势度”计算完成后，建立地质环境基础因素、降雨激发因素与地质灾害之间的显式统计预警模型，即地质灾害“危险度”评价模型计算；最后通过“危险度”等级划分地质灾害气象预警等级。全国地质灾害气象预警产品的制作属此种类型。

2.4 群测群防型

群测群防型模式是群测群防员或受地质灾害威胁的群众在日常生活生产工作中，根据自己掌握的地质灾害防治知识，如发现落石、房屋开裂、渗水等异常现象，通过实地勘察，发现坡体上有明显的临灾前兆，上报地质灾害防治主管部门或当地政府，相关部门或自行迅速组织周边群众撤离至安全地点，避免人员伤亡或财产损失的一种预报预警模式。

地质灾害群测群防工作^[16]是基层干部群众直接参与地质灾害点的监测和预防，及时捕捉地质灾害前兆、灾体变形、活动信息，迅速发现险情，及时预警自救，减少人员伤亡和财产损失的一种

防灾减灾手段。目前全国有 30 余万群测群防员, 其中陕西省有 1 万余人遍布三秦大地^[17], 陕南最多(图 7)。

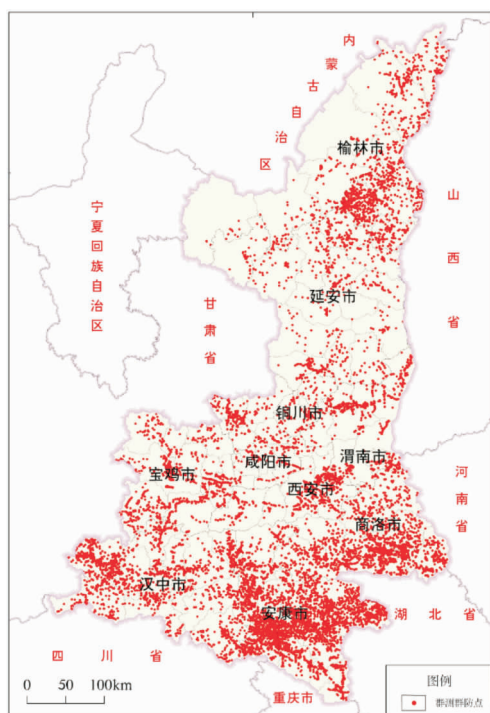


图 7 陕西省群测群防点分布图(截至 2018 年底)

群测群防的主要做法是, 汛期前根据地质灾害隐患点的变形趋势, 确定地质灾害监测点, 落实监测点的防灾预案, 发放防灾工作明白卡和避险明白卡。同时, 县、乡、村层层签订地质灾害防治责任书, 从县、乡政府的管理责任人一直落实到村和具体监测责任人, 形成了一级抓一级、层层抓落实的管理格局。通过这种责任制形式, 明确了隐患点的具体责任人和监测人, 保证隐患点的变形特征能及时被捕捉, 从而有效地实现了对地质灾害隐患点的监测预警。在陕西乃至全国的群测群员无疑是最辛苦的, 也是地质灾害防范工作最有效的一股力量, 由他们发出声声预报预警信息, 甚至第一时间组织人员撤离, 起到了较好的社会效益, 陕西省 553 起成功预报案例中 70.0% 左右的信号由他们发出。

2017 年 6 月 7 日 21:30, 陕西省安康市国土资源局汉滨分局接江北办事处报告^[8], 群测群防员发现江北办广景花园小区活动广场南侧斜坡体多处出现裂缝, 有滑坡的可能。分局接到报告后, 主管副局长带领相关人员立即赶赴现场进行现场应急调查, 认为险情重大, 直接威胁群众 115 户 476 人, 情况非常危险, 相关部门立即组织受威胁的 115 户 476 人进行撤离, 并做好临时安置工作。6 月 9 日 11:30 坡体出现了滑动, 土体将下部江北小区 15 号楼后部房屋掩埋, 其中 4 单元 1~4 层 8 户房屋墙体受损(图 8、图 9)。由于防范措施到

位, 涉及的群众 115 户 476 人全部安全撤离, 无一人伤亡。



图 8 滑坡体全貌



图 9 滑坡体掩埋居民楼

3 相互关系及优缺点

3.1 相互关系

分析研究 2003 - 2018 年 553 起地质灾害成功预报的案例, 四种模式成功预报率为由低到高为专业监测型、巡查排查型、气象预警型、群测群防型^[11], 基本呈“金字塔”型分布(图 10)。

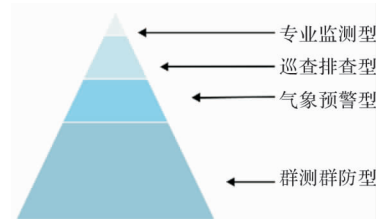


图 10 四种模式“金字塔”型关系图

辩证地分析, 四种模式相辅相成, 某种程度上难以分割, 又是一个统一的整体。无论是专业监测型、还是巡查排型查或气象预警型, 通过系统、产品或工作人员发出预警信息后, 都需要群测群防员到现场实地查看或长时序跟踪, 所以没有群测群防员基层的监测与调查, 预警信息的真实性无从考证与落地。

3.2 各种模式优缺点

各种预警模式优缺点明显。①专业监测型可以实现全天候、时序不间断的监测, 但设备研发水平参差不齐, 投入成本较高, 尽管有成功预报的案例, 但实现精确预报还有许多科学技术问题要突破。②巡查排查型是地质灾害防治主管部门

或专业技术人员工作的重要组成部分,他们在管理或技术上相对规范与专业一些,长期的工作经验积累丰富的防范意识或知识,往往从“不变”中能够看到“变化”的前兆,但仅是阶段性的地面调查的一种,大都集中在汛期前后或降雨前后,往往受工作人员时间和精力限制,且可调查的范围还受山高坡陡等地形条件的限制,也不可能实现全过程、全方位地面调查,近年来发生的高位远程地质灾害^[18]证明很难通过这种手段来识别。③气象预警型只能起到“面”上的警示作用,因为气象预警模型研究对象的是一个较大的区域范围,而这一范围内的地质条件是有差异的,具体到每个边坡的坡度、坡形、岩土体结构、地下水条件等都是不同的^[19],企图用一个临界值去预警该范围内的所有地质灾害是不现实的,往往因为预警的是一个区域范围,预警区范围以外的所有边坡都排除在了预警目标之外,而实际上低易发区内也有可能发生地质灾害,这样就会遗漏一些潜在的灾害点,气象预警区域性太大,精度太低,精细化研究还需进一步加强。④群测群防型的优缺点正如关凤峻^[21]所言是我国地质灾害防治的一个创举,群测群防员来自乡里、置身群众,对自己生活的环境非常熟悉,加之地质灾害防治知识的专业培训,很快就能胜任监测岗位工作,但是现在的群测群防还存在科学指导不够的问题,虽有些专业培训,而培训的制度性、及时性、有效性等方面还有进一步改进和加强的地方。最终走向群专结合的地灾防治监测体系是必然的。

4 结论

(1)2003-2018年陕西省成功预报地质灾害553起,这些成功预报点主要分布在陕南三市,其次是关中盆地,最后是陕北地区零散分布,成功避免了26918人员伤亡、避免了43729.8万元的经济损失。

(2)陕西省地质灾害监测预警与成功预报的模式是专业监测型、巡查排查型、气象预警型、群测群防型共四种模式,且成功预报率由低至高基本呈“金字塔”型。

(3)四种模式的概念:①专业监测是利用天-空-地技术监测地质灾害隐患区域、地质灾害隐患点变形特征或引发因素的信息,通过特定的系统实时或定时接收、分析与处理这些信息。当地质灾害临灾前,第一时间第一次发出预报预警信号,相关单位或个人采取必要的避险防治措施后,避免了人员伤亡或财产损失的一种监测预报预警模式。②巡查排查型是指专业技术人员或各级地质灾害防治主管部门在地质灾害易发区内,针对地质灾害的各类引发因素(降水、地震、人类工程

活动等)进行阶段性的地面调查,包括事前排查、事中巡查、事后核查,常见的“三查”有汛前排查、汛中巡查、汛后核查,雨前排查、雨中巡查、雨后核查。③气象预警型是基于气象因素对崩塌、滑坡、泥石流山坡型地质灾害进行区域性预警的,是对前期过程降雨量、预报降雨量等气象因素引发地质灾害的可能性大小预测预报并向社会发布预警产品的行为。气象预警的地质灾害特指崩塌、滑坡、泥石流。预警产品用红、橙、黄、蓝色表示地质灾害发生的可能性很大、可能性大、可能性较大、可能性较小。④群测群防型是指群测群防员或受地质灾害威胁的群众在日常生活生产工作中,根据自己掌握的地质灾害防治知识,如发现落石、房屋开裂、渗水等异常现象,通过实地勘查,发现坡体上有明显的临灾前兆,上报地质灾害防治主管部门,通过主管部门或自行迅速组织周边群众撤离至安全地点,避免了人员伤亡或财产损失,这种成功预报的模式称之为群测群防型。

(4)各种监测预警和成功预报的模式优缺点明显。专业监测型可以实现全天候长时序监测,实现成功预报的时间与范围不受外部环境的限制,但有许多科学技术问题需要破解;巡查排查型仅是阶段性地面调查的一种,受山高坡陡等地形条件的限制不可能实现全过程、全方位地面调查,因此其成功预报受调查时间与地形条件的限制,对于高位远程地质灾害准确预报的可能性较低;气象预警型的缺点是结合引发因素降雨形成的一种预报预警产品中,往往预警的范围大,可操作性较差,只能起到一种防灾避灾的警示作用,成功预报的时段仅在汛期,其精细化研究还需进一步加强;群测群防型是我国地质灾害防治的一个创举,性价比较高,由于群测群防员依托对自身生存环境的了解,随时随地可能发现临灾前兆,成功预报率高,但目前其缺乏科学指导。监测预警和成功预报地质灾害最终走向群专结合的道路。

致谢:作者长期以来技术支撑地质灾害防治主管部门从事地质灾害防治工作,相关的数据来源于技术支撑形成的系列资料,尤其是年度地质灾害成功预报汇编、群测群防动态更新数据等。在此对各级地质灾害防治相关的领导干部、工作人员及广大的群测群防员表示诚挚的谢意!没有他们多年对地质灾害防治事业的辛苦付出和长期工作形成的丰富一手资料,不可能形成此篇文章。

参考文献:

- [1] 王念秦,王永锋,罗东海,等.中国滑坡预测预报研究综述[J].地质评论,2008,54(3):355-360.
- [2] 鲁德科 Г И. 预报喀尔巴阡山山前粘性土层滑坡时数学方法的应用 C//刘铁良,译.滑坡文集(11).北京:中国铁道

- 出版社, 1994.
- [3] 央广网. 1-8 月全国共发生地质灾害 8994 起 成功预报 635 起[EB/OL]. [2016-09-03] [2019-07-05]. http://china.cnr.cn/ygxw/20160903/t20160903_523109088.shtml.
- [4] 云南网. 2018 年云南省成功预报避让地质灾害 54 起[EB/OL]. [2019-06-21] [2019-07-05]. <http://www.kunmingbc.com/lm/zx/84411.shtml>.
- [5] 西部网. 安康岚皋县成功预报 2 起地质灾害避免 18 人伤亡[EB/OL]. [2017-10-03] [2019-07-05]. <http://sx.sina.com.cn/news/g/2017-10-03/detail-ifymkwwk7997270.shtml>.
- [6] 中国新闻网. 四川阿坝州泥石流地质灾害实现成功避险无人员伤亡[EB/OL]. [2019-06-23] [2019-07-05]. http://www.ce.cn/xwx/gnsz/gdxw/201906/23/t20190623_32426876.shtml.
- [7] 刘海南, 李永红, 杨渊, 等. 2001-2017 年陕西省地质灾害成功预报时空分布规律[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 117-121.
- [8] 陕西省国土资源厅. 2017 年地质灾害成功预报汇编[R]. 西安: 陕西省国土资源厅, 2017.
- [9] 陕西省国土资源厅. 2018 年地质灾害成功预报汇编[R]. 西安: 陕西省国土资源厅, 2018.
- [10] 许强, 董秀军, 李为乐. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(7): 957-966.
- [11] 宁奎斌, 李永红, 谢婉丽, 等. 秦巴山区地质灾害监测预警技术及应用[C]//第二届中国西部矿山地质环境保护学术论坛论文集, 西安: 陕西省地质调查院, 长安大学, 2018.
- [12] 温铭生, 刘传正, 陈春利, 等. 地质灾害气象预警与减灾服务[J]. 城市与减灾, 2019(3): 9-12.
- [13] DB 61/T589-2013 地质灾害预报技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [14] 陕西省地质环境监测总站. 2019 年第 5 号地质灾害气象预警[EB/OL]. [2017-7-21] [2019-07-05]. <http://shaanxi.cigem.cn/auto/db/detail.aspx?db=998001&rid=5402&showgp=False&prec=False&md=67&pd=202&msd=68&psd=5&mdd=68&pdd=5&count=10>.
- [15] 程晓露, 徐岩岩, 姜月红, 等. 陕西省 2018 年地质灾害(气象)预报预警工作报告[R]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 2019.
- [16] 关凤峻. 中国十万群测群防员四年避免九万人伤亡[EB/OL]. [2010-07-25] [2019-07-05]. http://bosafe.com/html/yjy/yjy_dt/50369.html.
- [17] 姚超伟. 2018 年群测群防动态报告[R]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 2018.
- [18] 宁奎斌, 刘海南, 姚超伟, 等. 对高速远程链生突发地质灾害防治问题的思考[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 11-17.
- [19] 宁奎斌, 李永红, 何倩, 等. 2000-2016 年陕西省地质灾害时空分布规律及变化趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 93-101.
- [20] 李永红, 范立民, 贺卫中, 等. 对如何做好地质灾害详细调查工作的探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 102-112.
- [21] 关凤峻. 群测群防: 基层地灾防治的创举的群测群防[EB/OL]. [2015-07-16] [2019-07-05]. http://www.cgs.gov.cn/xwl/ddyw/201603/t20160309_302637.html.
- [22] 唐亚明, 张茂省, 薛强, 等. 滑坡监测预警国内外研究现状及评述[J]. 地质论评, 2012, 58(3): 533-541.
- [23] 王雁林. 陕西省地质灾害预报实例分析及模式探讨[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 71-75.

Several Modes of Geological Disasters Monitoring, Early Warning and Successful Predicting

LI Aowen¹, LI Yonghong^{2,3}, YAO Chaowei², SU Xiaomeng², HUI Minqiang⁴,
REN Chao⁴ and YANG Yuan³

(1. School of Water and Environmen, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Xi'an 710054, China; 3. Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China; 4. College of Geology Engineering and Geomatic, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The successful prediction of geological disasters means that through various kinds of monitoring and early warning approaches, before the geological disaster, the authority or individual could be able to accurately predict the time, location, extent or intensity of the geological disaster, and issue warning signal, then the relevant departments could immediately take necessary measures to avoid the loss. Based on the successful forecasting of 553 geological disasters in Shaanxi Province from 2003 to 2018, this study defined the modes of geological disaster monitoring and early warning and successful prediction based on the source of the first forecasting and warning signal, typical cases were demonstrated in this study. Four mode were defined: professional monitoring mode, patrol inspection mode, meteorological early warning mode, public prevention mode, and the successful rates of the four modes have a "pyramid" form from low to high.

Key words: successful predicting modes of geological disasters; monitoring and early warning; professional monitoring mode; patrol inspection mode; meteorological early warning mode; public prevention mode