

跨学科的地质灾害预警工程

姚学祥, 徐晶

(中央气象台, 北京 100081)

[摘要] 滑坡、泥石流等地质灾害受多种因素的影响, 地质灾害预报预警工程体系的建立需要多部门、多学科的合作。2003年6月1日中国气象局和国土资源部联合启动了全国地质灾害气象预警业务, 取得了很好的社会效益和经济效益。分析了我国滑坡泥石流等地质灾害的时空分布特点及其与降雨等多因素、多学科的关系。介绍了国家级地质灾害预报预警业务系统的有关技术, 并分析了存在的问题, 结合国内外的技术发展现状和趋势, 提出了从地球系统5大圈层相互作用的角度研究地质灾害, 建立多学科多部门合作的地质灾害监测、预报、预警和防治体系等建议。

[关键词] 地质灾害; 泥石流; 滑坡; 预警工程

[中图分类号] TP14.3; O213.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)06-0009-06

1 引言

近年来, 滑坡、泥石流等地质灾害造成的重大人员伤亡事故呈增加趋势, 引起了社会各界的广泛关注。国家领导人批示, 要求做好地质灾害的预报预警和预防工作, 国务院办公厅专门下发了《关于加强汛期地质灾害防治工作的紧急通知》。开展地质灾害预报预警业务刻不容缓。

地质灾害的发生发展受多种因素的影响, 如地震、火山、河流冲刷、融雪、降雨以及人类活动等。在诸多因子中, 降雨是主要诱发因素, 由局部地区暴雨引发的滑坡、泥石流等灾害占这类灾害总数的90%和95%以上。因此, 根据降雨的观测进行滑坡、泥石流等地质灾害的预报, 成为地质灾害预报的主要方法^[1-4]。

地质灾害的防治需要多学科、多部门的合作, 靠一个学科、一个部门的力量、资源和专业, 很难开展有效的全国范围的地质灾害预报预警工作。为此, 国土资源部和气象局联合下文, 决

定联合开展地质灾害气象预报预警工作。根据两局的文件要求, 中央气象台和中国地质环境监测院联合攻关, 开发了全国地质灾害气象预报预警业务系统, 并于2003年6月1日启动了全国地质灾害预报预警业务, 已经取得良好的效果。

2 地质灾害是多学科的科学问题

滑坡、泥石流等地质灾害孕育形成的因素十分复杂, 不仅包括自然因素, 也包括社会因素。但就作用于地质灾害暴发过程最基本的自然因素而言, 其主要受特定的地质地貌与恶化的自然生态环境的控制, 并受灾害性气象因素和降雨量异常及其相互作用的支配。地质灾害问题是气象、地质、地震、水文、生态等多学科的复杂课题, 需要跨学科的合作研究。要解决地质灾害的防治问题, 不仅需要长期的建设规划和科学的发展战略保证, 也需要短期的预报预警。地质灾害的防治是一个复杂的系统工程, 涉及多部门、多学科, 需要气象、地质、地震、国土资源、农业、水文、水利、交通、铁路、

[收稿日期] 2004-01-02; **修回日期** 2004-03-29

[基金项目] 中国气象局应用技术推广(地质灾害气象预报系统一期建设)资助项目

[作者简介] 姚学祥(1963-), 男, 江苏盐城市人, 中央气象台高级工程师, 南京气象学院博士研究生

城市规划、林业、建筑等多部门和基层政府组织的通力合作。因为大多数灾难性的地质灾害事件是降雨诱发的,因此,当务之急、也是最有效的工作是做好暴雨诱发的地质灾害的预报预防工作。

暴雨泥石流和滑坡发生的直接激发因素是降雨过程的特征(雨型、降雨总量和强度)^[5,6]。因此,研究地质灾害气象条件预报方法要从降雨与地质灾害的关系分析入手。

根据以前的研究和所掌握的资料,我国的地质灾害具有广域性的特点。我国各省、市、自治区都有过地质灾害的发生,上海也面临地层下陷的地质灾害问题的困扰。因此,要在全中国范围内开展地质灾害的预报预防工作,建立国家级的地质灾害预报警报系统。

但是,地质灾害在空间分布上并不均匀,具有明显的地域差异性。无论从灾害点分布密度,还是灾害发生频次上看,我国南部重于北部,南部不仅滑坡、泥石流多发区面积大,数量多,而且多发区内的崩塌、滑坡、泥石流密度也大于北部。

地质灾害的空间分布与我国的降雨分布一致。1995年至2002年地质灾害发生最多的省、市、自治区的地质灾害发生频次分布见封三图1。滑坡、泥石流灾害发生强烈的地区都是暴雨频发、降雨丰沛的山区。江西、贵州、重庆等地由于多山、多雨等原因,地质灾害发生非常频繁。西藏等地滑坡、泥石流等地质事件也很频繁,但由于人烟稀少,观测资料比较少。

与暴雨相比,泥石流、滑坡的发生具有更强的局地性。一般说来,暴雨的水平尺度量级差别较大,而滑坡、泥石流和崩塌都是小范围的局部山地灾害,水平尺度一般不超过千米量级,这就给预报预防带来了困难。因此,在用降雨量制作地质灾害预报时,要充分考虑地质灾害与气象条件之间的尺度差异,更加精细的地质灾害预报,必须建立在丰富及时的地质因子实时观测资料和精细的降雨预报的基础上。就目前的条件而言,还难以制作精细的地质灾害发生预报,目前的预报模型还只是分辨率较低的地质灾害潜势预报。

我国属于东亚季风气候区,降雨有明显的季节变化趋势。伴随着降雨的季节性变化,我国的地质灾害也具有明显的季节性变化特征。华南、江南、西南地区东部、江淮黄淮之间以及北方大部地区(西北地区、华北地区、东北地区)的地质灾害频

次月分布图见封三图2。

由封三图2可见,“冬半年”(10月到第二年的4月),为我国地质灾害发生少的时段,全国各地几乎没有滑坡、泥石流等地质灾害发生,这与冬半年我国盛行冬季风、降雨较少正好一致。5月份华南前汛期开始,江南、华南和西南地区的降雨逐步增加,开始发生地质灾害。6月份,江南、华南的地质灾害达到高峰期。6月下旬到7月份江淮梅雨开始,主要雨带北抬至西南地区到江淮、黄淮一带,地质灾害高发地带也随着雨带向北推移到这一带地区,西南地区、江淮地区、黄淮地区的地质灾害达到峰值。华北、东北地区和西北地区的地质灾害高发期在七八月份,此时也正是北方雨季。西南地区东部受江淮梅雨和华西秋雨的影响,泥石流、滑坡等地质灾害有一个较长的频发期,出现在7月和8月。随着华南后汛期的来临,9月份华南、江南的地质灾害出现了次峰值。由此可见,降雨带的季节性转移与地质灾害的频发时段有着很好的对应关系,这说明降雨是地质灾害的主要诱发原因。因此,地质灾害的预报警报重点期也应放在“夏半年”,各地的主汛期要特别重视地质灾害的预防工作。

我国泥石流和滑坡等地质灾害具有夜发性特征。从2003年收集到的有明确时间记载的153条地质灾害的记录中,有88例发生在19时(北京时间,下同)到次日6时之间(见表1)。地质灾害的夜发性可能和山区暴雨的夜发性有关。由于夜晚正是人们熟睡疏于防范之时,给警报和防御带来困难。考虑到地质灾害的夜发性,要尽可能延长预报警报时效,确保警报能及时发布到位。

由暴雨引起的泥石流、滑坡一般具有群发性和链生性的特点。地质灾害往往与持续的降雨或突发性暴雨有关,而持续性暴雨的尺度范围比地质灾害的尺度范围大得多,在同样的气象条件和相似的地质条件下,地质灾害会在较短的时间内接连发生。因此在地质灾害发生后,在相邻地区要特别警惕新的地质灾害的发生。暴雨引起山洪,造成滑坡、崩塌、泥石流等灾害,灾害不仅导致水土流失、人员伤亡、淹没农田、房屋被毁、交通中断、水电工程因泥沙堆积而失效等,救援不及时,还会发生其他次生灾害,如传染病流行等。地质灾害的防治是一个复杂的系统工程。

表1 2003年夜间发生地质灾害事件

Table 1 Nighttime events of sediment disasters in 2003

时间	省 地区	时间	省 地区	时间	省 地区
2003-06-01-24	四川凉山州	2003-07-07-05	四川合江县	2003-08-05-05	甘肃宁县
2003-06-05-24	新疆伊犁谷地	2003-07-08-24	湖北竹山县	2003-08-05-20	四川荣经县
2003-06-08-24	广东曲江县	2003-07-10-02	甘肃永靖县	2003-08-06-06	辽宁本溪
2003-06-08-02	云南福贡县	2003-07-10-06	湖南慈利县	2003-08-06-05	四川石棉县
2003-06-09-06	云南宁蒗县	2003-07-11-04	重庆永川市	2003-08-07-24	山东青岛
2003-06-10-24	云南宜良县	2003-07-12-02	四川丹巴县	2003-08-07-24	四川
2003-06-12-24	新疆阿克陶	2003-07-13-24	湖北秭归县	2003-08-07-24	云南昭通市
2003-06-12-24	重庆忠县	2003-07-13-02	陕西宝鸡市	2003-08-09-23	陕西铜黄公路
2003-06-13-24	云南金平县	2003-07-13-04	重庆奉节县	2003-08-09-06	四川绵阳市平武县崇州市
2003-06-16-06	广东河源县	2003-07-14-23	陕西铜川	2003-08-09-06	四川
2003-06-16-24	广东梅州市	2003-07-14-05	四川旺苍县	2003-08-10-23	广东广州市
2003-06-16-03	云南新平县	2003-07-17-24	湖北兴山县	2003-08-10-05	重庆大足县
2003-06-20-24	四川普格县	2003-07-18-24	四川冕宁县	2003-08-16-24	福建南靖县
2003-06-21-24	贵州赤水	2003-07-18-24	四川雷波县	2003-08-17-04	陕西
2003-06-21-23	四川泸州市	2003-07-18-24	云南永善县	2003-08-20-24	湖南浏阳市
2003-06-22-07	四川合江县	2003-07-18-24	云南绥江县	2003-08-21-06	湖北武当山景区榔梅祠后山
2003-06-24-23	贵州习水	2003-07-19-19	重庆城口县	2003-08-23-04	四川青城后山
2003-06-24-23	四川合江县	2003-07-21-07	贵州都匀	2003-08-24-05	陕西宝鸡市
2003-06-24-24	四川华蓥市	2003-07-23-04	陕西泾阳	2003-08-30-24	云南个旧
2003-06-25-06	贵州仁怀	2003-07-26-24	湖北恩施州巴东县	2003-09-01-04	陕西210国道黄陵与洛川交界2
2003-06-25-05	四川三台县	2003-07-26-24	四川雅安市名山等县	2003-09-01-04	陕西旬阳县桐木乡
2003-06-26-03	四川丹巴县	2003-07-28-23	贵州紫云县	2003-09-02-01	四川邛崃市
2003-06-26-03	重庆石柱县	2003-07-29-24	四川雅安市芦山县	2003-09-06-03	陕西
2003-06-29-24	甘肃兰州市	2003-07-29-01	新疆土乌大高等级公路后沟段	2003-09-07-24	四川旺苍县
2003-06-29-05	广东信宜市	2003-07-30-03	内蒙包头	2003-09-13-06	陕西铜川市
2003-07-01-01	四川美姑县	2003-07-30-24	陕西榆林市府谷县、神木县	2003-09-14-01	陕西
2003-07-01-24	四川凉山	2003-08-02-07	四川青城后山	2003-09-23-01	陕西子洲县
2003-07-03-06	陕西安康市	2003-08-05-24	福建南安市	2003-09-23-24	陕西周至县
2003-07-06-06	云南宜良县	2003-08-05-24	福建晋江市	2003-09-25-23	甘肃
2003-07-07-02	甘肃舟曲县				

3 地质灾害气象预报的基本思路

地质灾害的诱发因子很多,成灾原因复杂,但是水的作用非常重要。由局地暴雨或长时间降雨引发的泥石流滑坡等地质灾害一直是分布最广泛、活动最频繁的地质灾害,因此,根据降雨预报,再结合具体的地质地况,制作地质灾害预报是可行的^[7]。

由于泥石流等地质灾害的发生与前期降雨有密切的关系,除了当日降雨,前期降雨也很重要。一般来说,在充分的前期降雨条件下,如果再有突发性暴雨,则暴发泥石流等地质灾害的可能性很大。其实,如果前期降雨充沛,下垫面含水量高,则再有很小的降雨就可能激发滑坡、泥石流等地质灾害。因此,许多预报模型不仅包含临近几分钟和数小时的降雨量因子,也包含前几天、十几天的前期

降雨量因子^[5, 8]。

基于国内外研究成果和所收集到的不完全资料的统计分析,对由降雨引起的滑坡、泥石流等地质灾害进行了统计分型,由降雨引发的地质灾害可以分为以下3种类型:

1) 当日大降雨型 大量的研究表明,当日大降雨与地质灾害的关系最为密切。即使前期累计雨量不大,持续时间也不长,只要当时有足够大的强降雨,地质灾害就可能发生。例如,对香港地区,当日降雨量小于100 mm/d时,很少有滑坡发生;而当降雨量大于270 mm/d时,就会诱发较多的滑坡。并且,当小时降雨强度超过70 mm/h时,滑坡的数量和严重性剧增;又如,经研究,将四川盆地、陕南、鄂西暴雨滑坡的临界降雨强度,分别定为200 mm/d, 70 mm/d, 100 mm/d^[9, 15],超过临界雨强就可能发生滑坡灾害。泥石流的发生也有其

临界雨量,不同的地区有不同的临界雨强,如:四川东南部临界日雨量为180 mm/d,临界小时雨量为60 mm/h。

2) 持续降雨型 前期降雨持续时间长,已经使下垫面饱和,地质灾害易发地带变得很脆弱,尽管灾害发生当日雨量不大,也会发生地质灾害。对于这种类型,持续降雨天数是很重要的因子。1998年在长江流域多发地质灾害就与持续降雨天数多有密切关系。蒋家沟模型考虑了前期20天的降雨情况^[5]。

3) 前期降雨型 灾害发生前的降雨不一定持续,但前期的累计雨量大,也会使下垫面饱和,地质灾害易发地带变得很脆弱,即使当日雨量不一定很大,同样会激发滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害。对于这种类型,有效(实效)降雨量是重要因子。除了蒋家沟模型外,许多学者对前期3 d、15 d、14 d、5 d雨量与地质灾害的关系也进行了研究^[8, 10, 11]。

用降雨量预报泥石流等地质灾害的基本思路是,通过对雨量资料进行统计分析,确定滑坡、泥石流等地质灾害的临界雨量或触发雨量,然后根据降雨量制作灾害发生可能性的预报^[9, 12~16],其中在国内以吴积善等^[5]提出的云南蒋家沟的泥石流预报模型最为著名。大多数研究都是用降雨量观测资料建立泥石流预报模型,这就限制了预报时效的延长,谭万沛等^[14]探讨了将泥石流预报与气象预报产品结合,建立长、中、短期预报模型的设想。众多泥石流等地质灾害预报研究者,通常是将暴雨泥石流等地质灾害预报简化为降雨量与泥石流等地质灾害发生(如阈值雨量)的简单判别关系,从而便于运作和实施预报分析^[17]。笔者也参考这种做法,进行地质灾害预报。具体做法是,先对全国进行区划,将不同地质条件的区域划分开,再对每个区域计算多因子的临界阈值,然后,根据历史资料的统计得出因子不同取值时的概率,最后求出合成的概率。

为了开展全国地质灾害预报报警业务,中国地质环境监测院,根据中央气象台提供的气象资料和最新的地质灾害资料,对我国地质灾害进行了新的区划研究,把全国划分为7个一级区,28个二级(预警)区,见封三图3。一级区主要考虑长时间周期、大空间尺度的气候区划和地质环境条件,以全国性分水岭或雪线为界;封三图3中A, B, C, D,

E, F, G加数字表示二级区的划分,主要以重大水系、区域分水岭、区域气候、滑坡泥石流分布密度(暂代发生概率)、地质环境条件、斜坡表层岩土性质和年均降雨量分布等区域性因素为依据。

假定在同一个预警区内,发生地质灾害的其他潜在条件都相似,降雨量成为唯一的决定因素。这样就可以根据各区内的降雨量与地质灾害发生之间的统计关系建立分区预报方程。为了解决预警区地质灾害的预报问题,挑选出预警区内附近有雨量测量站(小于110 km)的泥石流发生地,并对相应的降雨资料进行整理。然后通过统计历史记录中泥石流过程与前期降雨的关系,针对不同的预警区建立起气象统计潜势预报模型。

根据上述降雨分型,选取5个与降雨有关的预报因子,分别是灾情发生当日的24 h降雨量、灾情发生前一日24 h降雨量、累计降雨天数、累计降雨量、有效(实效)雨量。

根据方法论^[18],在建立模型时,将地质灾害发生概率为10%, 25%, 50%, 75%, 95%定义为可能性很小、可能性较小、可能性较大、可能性大、可能性很大的临界概率。与这些概率对应的因子取值,作为地质灾害发生该概率时的临界值。

在建立模型时,针对不同的地质灾害预警区进行统计分析,找出各个预报因子的等级临界值,确定出灾害潜势等级,最后得出综合的地质灾害潜势等级预报。

4 跨学科的国家级地质灾害预报报警业务系统

从2003年6月1日起,中国气象局与国土资源部联合开展了地质灾害气象预报报警业务。国家级地质灾害预报报警业务由中央气象台和中国地质环境监测院共同承担,以上述预报模式为主要技术方法。根据上述研究,将地质灾害预报报警的重点时段暂定在每年5月至9月,中央气象台每天16时前,利用地质灾害潜势预报模式,根据前期降雨量、当日降雨量、未来24 h降雨量预报等,计算出当天20时到次日20时各站点地质灾害发生的潜势预报等级,经过预报员综合分析、修改后,生成地质灾害发生潜势预报图表,下发地方气象局,并通过互连网传输给中国地质环境监测院(见图1)。中国地质环境监测院每天16时30分将修改结果传输回中央气象台。经过双方会商后,17时以前由中央气象台签发地质灾害气象预报的最终预警结

果, 通过媒体发布。

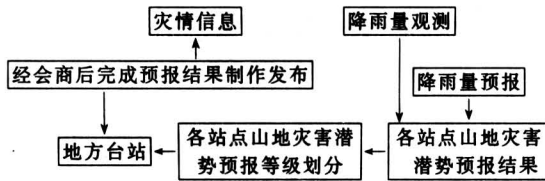


图1 中央气象台地质灾害预警流程

Fig.1 Procedure of sediment disaster warning by Central Meteorological Observatory

预警等级分为5级, 分别是: 一级, 可能性很小; 二级, 可能性较小; 三级, 可能性较大; 四级, 可能性大; 五级, 可能性很大。

当预报将出现成片(大于3个基本站)四级地质灾害气象等级时发布地质灾害气象预报。当预报某一地区(大于3个基本站)地质灾害气象等级为五级时, 发布地质灾害气象警报。

自2003年6月1日全国地质灾害潜势预报业务运行以来, 效果良好, 仅6月一个月就发布预警信息27次, 在中央电视台天气预报节目中发布13次, 根据各方面的反馈消息得知, 6月份有30起334处地质灾害发生的时间和地点位于预报预警范围内。

2003年6月22日发布了“重庆大部及四川、贵州交界等地区发生地质灾害的可能性较大”的预报。事后收到的灾情报告是: 重庆万盛区6月23—25日连续普降暴雨, 引发三处山体滑坡, 6月24日23时30分四川合江县容山镇金桂村山体滑坡约100 m³, 6月24日晚四川华容遭遇特大暴雨, 造成150处山体滑坡。由于及时发布了预报警报, 当地采取了积极的预防措施, 避免了人员伤亡、大大减轻了经济损失。

2003年汛期, 全国各级气象台站共发布地质灾害气象预报预警信息500多次, 避免了29 514人的伤亡, 减少经济损失超过4亿元^[19]。

5 地质灾害监测、预报、警报系统需要更加广泛的合作

应该指出, 现在的工作只是国家级地质灾害预报警报工作迈出的第一步, 地质灾害防治需要更加广泛的合作和更加深入、细致的工作。根据国内外的技术发展趋势, 针对目前存在的主要问题和困难, 提出如下建议:

1) 重视多学科合作, 从地球系统角度认识地

质灾害。地质灾害是一个多学科的复杂课题, 要从地球系统多圈层相互作用的角度认识地质灾害的发生发展规律。只有提高对地质灾害危害性的认识, 加强多学科、多部门的合作, 才能有效防治地质灾害, 减少灾害损失。

2) 加强地质灾害历史资料的收集、整理和共享工作。目前地质灾害研究遇到的最大困难是资料不完备问题。这就使得对地质灾害的研究无法深入。尽管资料来源于国土资源部的权威机构, 笔者对地质灾害特点的统计分析结论在许多细节上与以前的相关研究有些不同。地质灾害历史资料的收集、整理、规范和共享工作有待加强。

3) 建立综合的、跨部门的地质灾害监测系统。准确的预报必须建立在准确的实况观测的基础上。地质灾害预报不仅需要灾情资料, 更重要的是地学因子的观测。与其他气象要素预报不同, 对地质灾害的实时观测系统还没有建立。预报需要初始观测资料支持, 也需要观测资料检验。许多灾害实例表明, 当地事先已经发现了滑坡体的异动, 但是这样的信息并没有及时上传。如果获得这样的资料, 就可以制作出比较准确的预报警报。目前, 气象、水文、地震等部门已经建立了独立、完备的观测站网, 依托地球系统各学科、各部门建立的观测站网, 构建地质灾害观测系统, 不仅少花钱、效率高, 也符合地质灾害本身的跨学科特点。

4) 加强多学科合作的地质灾害发生发展规律的研究。过去的大量研究工作多是对一个具体的泥石流沟或是滑坡体进行的, 这样的研究有助于了解地质灾害的发生发展机理, 是预报、警报的基础。但是, 对于全国范围的地质灾害预报、警报, 不可能简单地用几个模型代替, 需要更加广泛的研究和调查, 得出更具有共性的成果, 作为预报方法的理论基础。另一方面, 地质灾害本身的跨学科性, 也需要加强多学科合作研究。

5) 加强对地质灾害预报方法的研究。笔者设计的预报模式, 是比较简单的统计经验模式, 是非常粗浅的。即使在统计方法方面, 也需要进一步深化, 对预报对象应该分开不同的灾害种类, 对预报因子也应该引进地学因子、水文因子、其他气象因子等。毫无疑问, 更加精细的预报, 有待于以数值预报为基础的动力学方法或者动力统计相结合的方法, 需要开发考虑了多圈层相互作用的气象-水文-地质灾害数值预报系统。

参考文献

- [1] 罗元华. 我国滑坡泥石流崩塌灾害分布与经济损
失评估 [J]. 国土开发与整治, 1994, (1):49~55
- [2] 谭万沛. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报 [M].
成都: 四川科技出版社, 1994. 115,205~274
- [3] 崔鹏, 刘世建, 谭万佩, 等. 中国泥石流监测预
报现状与展望 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 10
~15
- [4] 姚令侃. 用泥石流发生频率及暴雨频率推求临界雨
量的探讨 [J]. 水土保持学报, 1988, 2(4): 72~77
- [5] 吴积善. 云南蒋家沟泥石流观测研究 [M]. 北京:
科学出版社, 1990
- [6] 柳源. 滑坡临界暴雨强度 [J]. 水文地质工程地
质, 1998, (3): 43~45
- [7] 谭万沛, 罗晓梅, 王成华, 等. 暴雨泥石流预报程
式 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 106~111
- [8] 文科军, 王礼先, 谢宝元, 等. 暴雨泥石流实时预
报的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6):
59~64
- [9] 韦文强, 胡凯衡, 崔鹏, 等. 不同损失条件下的
泥石流预报模型 [J]. 山地学报, 2002, 20(1): 97
~102
- [10] 谭万沛. 泥石流沟的临界雨量线分布特征 [J]. 水
土保持通报, 1989, 9(6): 21~26
- [11] 王礼先, 于志民. 山洪及泥石流灾害预报 [M]. 北
京: 中国林业出版社, 2001
- [12] 魏永明, 谢又予. 降雨型泥石流(水石流)预报模
型研究 [J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 48~54
- [13] 张洪江. 土壤侵蚀原理 [M]. 北京: 中国林业出
版社, 2000. 58~61
- [14] 佛莱施曼 C M. 泥石流 [M]. 姚德基译. 北京: 科
学出版社, 1986. 1~5
- [15] 荆绍华. 泥石流临界雨量和触发雨量的初步分析
[J]. 铁道工程学报, 1989, (4): 91~95
- [16] 葛守西. 现代洪水预报技术 [M]. 北京: 中国水利
水电出版社, 1999. 6~25
- [17] 高速, 周平根, 董颖, 等. 泥石流预测、预报技
术方法的研究现状浅析 [J]. 工程地质学报, 2002,
10(3): 279~283
- [18] 金哲. 当代新方法 [M]. 上海: 上海人民出版社,
1990. 103~106
- [19] 陈磊. 2003年中国气象十大新闻 [N]. 中国气象
报, 2004-01-01(1)

Multi-discipline Forecast and Warning Engineering System on Sediment-related Disasters

Yao Xuexiang, Xu Jing

(National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

[Abstract] Sediment-related disasters are caused by various factors. A multi-discipline and multi-department cooperation is important to construct the warning engineering system on sediment-related disasters. Most of the sediment-related disasters are induced by rainfall. Based on the regressive relationship between the disaster occurrence and rainfall, a meteorological-statistical potential forecast model for sediment-related disasters is developed as part of a joint project undertaken by China Meteorological Administration (CMA) and Ministry of Land and Resource (MLR). The forecast has been launched into operation since June 1, 2003, when a nationwide sediment-related disasters warning system via public media was set up by CMA and MLR. In this paper the forecast and warning system is reviewed and some valuable suggestions are presented.

[Key words] sediment-related disasters; debris flow; landslide; engineering system for forecast and warning