

国内外泥石流预报报警系统研制概述

——兼论铁路泥石流防灾警戒避难体制

铁道科学研究院铁道建筑研究所

提 要

对泥石流灾害和对待其它工程地质灾害一样,也应该采取以预防为主并与整治相结合的原则。为了保证山区城镇和工业的发展以及铁路、公路和航运的安全,在开展泥石流分布机理、成因和特性等研究的基础上,除注意发展工程整治(硬防治)的同时,还应特别注意开展软防治的研究工作,也就是开展多种形式的预报报警临测系统的研制,建立适合本部门、本地区的警戒避难体制,建立法规,以及发挥政府防汛部门、社会组织 and 个人的力量,通过各种媒介宣传和普及避难演习,将泥石流灾害遏制于摇篮之中,将灾害损失减少到最低程度。

一、国内外泥石流预报、报警系统概况

做为泥石流防灾警戒避难体制的重要组成部分和先进手段的泥石流警报和预报系统,近10年来越来越受到各有关国际组织和国家的重视,且开发速度很快。这不能不和这些年来不断发生的几次特大泥石流灾害(如日本1982年长崎县泥石流,中国1981年成昆线利子依达沟泥石流特大灾害)造成巨大生命财产损失,以血的代价引起社会各界及有关方面重视。社会的紧迫需求,使科技工作者产生强烈的责任感,自觉加快进展,研制出多种检测传感器,传输方式,自动判别与报警设备,以满足各保护对象的需要。

苏联是最早(四十年代)开展泥石流特征与机理研究的国家,在泥石流避难体制中,七十年代末主要开展的是在泥石流发生之后,通过在流通区设置多个地震传感器,通过无线通道或有线电缆通道,将泥石流的模拟幅频信号传送到下游接收调度站进行处理、判别,使得在泥石流到来之前,向泥石流通道上的居民点、机关、桥渡、线路等对象发出报警信号,从而使人们采取紧急避难措施,达到防止或减少生命与财产损失的目的。

苏联哈萨克环境科学研究所,地质部地球物理科学制造联合会所属的地球物理仪器实验工厂的专业设计所,苏联科学院地球物理所(塔加尔城)等先后提出几种报警系统方案。

一般采取多个地震传感器,目的是排除由于雷电、爆炸、崩坍、飞机和地震等非泥石流过程引起的干扰所造成的仪器误动作,以及监测非均匀移动流速。利用地震传感器还有下列优点:

- 1、装置结构简单,传感器埋设在河槽之外,泥石流通过时不被破坏;
- 2、在泥石流的整个流动过程,一直有泥石流过程的信息传送过来,辨别泥石流的可靠性得到提高;因为河槽中流体产生的全部地震动信号传入接收调度站;
- 3、安装传感器并不需要做太大的土建工程(一般安放在混凝土井槽内);
- 4、利用传感器输出信号的幅度可量测流体的流量(既规模)。但利用地震传感器测量流量的办法只适用于泥石流频次较高的场合,对于发生频次较低的泥石流沟,当安装警报和系统时,将遇到很大困难。

这些方案的工作效果或多或少均经过实验检验，在初期研制的泥石流传感器时，发现非泥石流现象（干扰信号）引起的地震动信号的振幅和频谱与泥石流过程所引起地震信号接近。因此从干扰信号中分离出泥石流信号，曾是这类警报系统可靠性的首先要解决的重要内容。

在后来的报道中得知，在泥石流警报系统的传感器中也采用过：1、流位传感器，是从竿上悬挂在泥石流沟中的浮体，流位上升和下降时，竿就转动并关闭或打开电子开关，控制发射机工作，发出报警信号；2、检知线传感器，它是一条放在保护管内横跨河沟的钢绳，其一端固定河堤上，另一端与传感器接触电路相联，当泥石流发生时可能会拉紧或冲断钢绳。这两种情况都能启动接触装置，从而控制发射机发出相应规模的泥石流信号至接收调度站。

日本在泥石流防灾工作中，无论在工程整治（硬防治）或警戒避难体制，发展防灾警报与预报系统方面（软防治），均处于国际领先地位。在后一方面他们的防灾体制和法规比较完善，管理水平较高，仪器设备也比较先进。

在泥石流早期检知警报系统方面，他们采用的传感器有龙头高度泥位检知线和接触式泥位检知器和震动传感器（拓和株式会社SA—155HT泥石流感知传感器）等，传输通道均为专用有线电缆。报警信号通过电话通道传至居民点或启动公路上的信号机及显示盘，通告司机阻止汽车驶入灾害地点。在泥石流观测试验站（京都大学防灾所烧岳山试验站），用此提前报警信号控制摄像机，照明电源及其它记录仪器，提前启动以记录完整的泥石流流动过程。

日本是以发展具体某一条沟或相邻几条沟的小规模地区的泥石流（临近）预报系统为主。为了实现泥石流的自动（临近）预报，需进行两方面工作：1、软件工作。在广泛设置自记式雨量计的基础上，对历次发生或未发生泥石流时的上游形成区的降雨资料进行统计分析，以确定临界雨量值和临界雨量报警线，制定预报图；2、硬件工作。通过微机雨量报警器和雨量遥测装置的研制，借以对上游雨量进行实时数据收集、演算和比较判别，自动发出2—3级报警信号。由于日本原有雨量站密度比较大，为统计分析工作创造了条件，再加上近几年微机（单板、单片）发展很快，特别是1982年7月长崎县泥石流造成重大灾害（死24人，大量房屋遭破坏），引起全社会各阶层及政府部门的关注和重视，以此为转机使日本泥石流（临近）预报系统的研制工作和软件制定工作均获得较大的发展。

其中硬设备由原来的拓和（生产T装置，铁道科学研究所西南所1985年引进一台）和日本无线（生产N装置）两个厂家（以上T装置和N装置），均不包含遥测装置，截止目前仍然是应用部门使用最多的两种，各自分别安装到现场25—30台。1984年初，建设省土木研究所曾发布公报，将进行泥石流监视系统的审定，至年底已有10个厂家新开发或赶制出十几种单路或多路无线传输或有线传输线，具有2种以上判别预报图形式的样机和室内试验报告，以期得到建设省的承认，以便为产品商品化打下基础。与此同时，建设省也于1985年发布了适于日本雨型特点的新的降雨判别曲线标准（这和降雨类型及保护对象要求的警戒避难时间裕度有关）。

根据地面降雨数据进行实时遥测，处理并进行自动多级报警的系统，属小规模区域系统，主要应用对象是建设省砂防部门所管辖的有关河川所经的市镇居民点。基于日本铁路具体情况，不论上述警报系统还是监测预报系统，在我们于1982年和1984年两次赴日研修与考察时获悉，均未在铁路部门使用。

对于泥石流多发地区的中规模系统，则是采用雨量雷达小型化装置，设置在能瞭望数十条泥石流危险溪沟广大地区的某个制高点上，用屏幕显示该地区的雨区移动情况，雨势的兴衰和降雨量、降雨强度，供预报泥石流发生使用，雷达的覆盖半径为40公里。1982年底，日本政府做

为紧急援助物资，曾向印度尼西亚提供过这种小型雷达装置，以监视火山周围的泥石流，并投入现场使用。

对于以县管范围的大系统，是气象协会由气象台发布的气象预报为基础，在县厅砂防科设置FAX装置，提供未来24小时的暴雨可能性预测，大雨洪水实况监测和短时间降雨预测等，将这些数据结合预先设定的危险雨量标准等进行综合判断处理，同时提出大雨洪水预测。根据这些数据，将情报送给即将受威胁的城镇和乡村。三重县安装了这套系统，在1982年雨季发挥了理想的防灾效果，尽管某些村庄多次受到大规模泥石流的冲击，但由于事先建立了警戒避难体制，而避免了生命灾难的发生。

我国泥石流警报与预报系统的研制工作，是在1981年成昆线利子依达沟特大泥石流灾害后提到日程上来的。1982年4月成都全路泥石流科技攻关会后，于1983年正式于铁道科学院铁道建筑研究所列题开展工作，并于1983年底完成二套有线传输式二级警报系统的样机加工调试。于1984年雨季前完成一套包括上游雨量发射站，流通区拾震与龙头高度泥位检知线，并用的编码发射台和中心台解码报警器的样示加工与室内大部分调试工作，并于1987年初完成国产双路三种判别比较方式的雨量警报任务。从1985—1987年，除国产雨量警报器外，均经历了3年的3个雨季监测试验，证明仪器设备稳定可靠，具有很高的抗误报漏报能力，完成了预计的任务要求，可以为今后推广应用提供成熟的系列多种应用方案。

与此同时，1981年10月，中国科学院地学部鉴于我国山地灾害（主要是滑坡和泥石流）的严重情况，也决定将山地灾害列入国家重点研究项目，中国科学院成都地理研究所也开展了泥石流预警系统的研究。

陈景武通过对蒋家沟试验站1983—1984年实测降雨资料的分析，得出该沟泥石流形成的临界降雨判别式和泥石流暴发临界降雨判别式，由此制成预报图，由人工在自动记录纸上不断读数、计算和在预报图上填图，对蒋家沟泥石流的发生进行了多次的准确临近预报。康志成等1985年将超声水位计探头移植过来用于泥石流沟的泥（水）位监测，并根据设定值进行报警。陈精日等通过对中国科学院声学研究所研制的DT—1型地听传感器改制，应用于泥石流地声测量，传感器的频响范围为0.2—1,000赫兹，动态范围0.3g，传感器材料为压电陶瓷换能器，要求防水防潮。由于泥石流属振动波衰减剧烈的表层振动源，故传感器信号与埋设深度、距离，泥石流性质、范围及沟床地质条件关系等都很明显，且非泥石流的环境信号也与泥石流信号一起被采集等。在泥石流发生与临界雨量统计方面，做了不少可以直接设定到微机雨量警报器中的工作，因而可对泥石流发生进行临近预报。

铁路部门在这方面也做了不少工作。成都铁路局成都科研所1985年在成昆铁路北段也多处安装了用龙头高度检知线，做为流通区检知传感器的NBJ-1型无线传输式泥石流报警器；此外，铁道科学院西南研究所，也于1985年开始在兰州局管内的一条泥石流沟试验一种沟壁接触式的泥（水）位传感器。

本课题研制的△增量雨量编码发射台，中心台解码电路和声光报警器以及RGB—1型双路多种（3—5）判别方式的微机雨量警报器所组成的泥石流临近预报系统，其功能和长期工作稳定性均达到日本1985年申报审定的12种泥石流监测系统中的大部分样机性能。

关于在流通区根据泥石流特征，为检测与检知泥石流发生过程，以达到获得泥石流提前警报信息的国内外所采用过或正在采用的传感器，其优缺点、采用国家及单位等列表如下。

多级水位传感器与泥位检测网（或检测栅）在桥下使用时，适于稀性泥石流，因为一场泥石

序号	传感器形式	国家、单位	优点	缺点
1	多个地震传感器	苏联	1、泥石流发生时不被破坏，可多次使用； 2、可排除非泥石流干扰； 3、埋设施工量不大。	1、只适于高频次泥石流沟； 2、逻辑判别电路比较复杂。
2	地声传感器	中国 (蒋家沟)	1、泥石流发生时不被破坏，可多次使用； 2、高频次泥石流沟可获得泥石流的全过程规模信号，并容易得知规模与流量的时程变化关系。	1、适于高频次泥石流沟，否则难获得信号幅频与规模的关系； 2、地震及其它非泥石流干扰噪声大，易产生误报。
3	龙头高度检知线	日本、苏联和中国(成都铁路科研所)	1、简单,对基岩情况可不作坝； 2、人畜通过无干扰； 3、高度可调节(但不太方便)； 4、直观；偏流时不产生漏报。	1、大规模泥石流通过时易破坏，事后需重新拉线。 2、只对灾害泥石流报警； 3、人畜易破坏，易引起误报警。
4	超声泥(水)位计	中国(蒋家沟)	1、报警设定值容易改变， 2、泥石流通过不破坏。	1、功耗大，需温度补偿； 2、人畜通过易造成误报警； 3、为克服偏流引起的漏报，需设多个。
5	龙头高度检知线与拾震器(或拾震触发器)构成主辅组合传感器	中国(铁道科学研究院铁道建筑研究所)	1、具有只采用拾震传感器和只采用龙头高度检知线两者的优点； 2、对灾害泥石流真伪可自行判别。	1、其中检知线部分当灾害泥石流通过后需重新拉线。
6	多级水位传感器与泥位检测网并用的主辅传感器。	同上	1、用于流通区和桥下均可； 2、设备简单，维修方便； 3、按装投资少，省时间； 4、检知网修复容易，多级水位，检知网可发出警戒与慢行车信号； 5、对泥石流灾害，信息可以自行判别，减少误报几率。	1、在桥下使用时，只有稀性泥石流时才能利用多级水位发出提前报警信号； 2、在流通区使用时，水位电极之间需采取保护干燥措施。

流发生和暴发过程，有一个水位逐渐增长过程，故可以得到提前警戒与慢行信号。桥下多级水位与泥位检知紧急警报系统，克服了只采用泥位检测网(或栅)检知灾害泥石流的紧急警报系统时不具有提前警戒信号的明显缺点，提高系统的安全系数，使系统具有一定的可信赖性和安全度。

利用降雨的适时数据进行临近预报泥石流系统，是比较有发展前景的防灾系统。我国目前存在的主要问题是，在推广使用中对泥石流发生与暴发时的统计软件工作跟不上，处于硬设备导先，软件工作不协调的状态，故应尽快克服软件工作的落后局面。

二、铁路泥石流的警戒避难防灾体制

(一) 防灾体制。以保证行车安全为目的铁路泥石流防灾的软件措施(非工程措施)，最关心的是泥石流发生时间和规模的预报(几天，几十天或更长)和短期预报(气象台24小时雨量预报)，铁路分局工务段与当地气象部门签订合同，及时获得降雨预报资料，以便采取(初级)警戒措施，集中人员上岗待命。为了和铁路暴风雨行车规定相协调，还应当自行建立地面雨量遥测站获得适时的上游雨量数据，再通过微机雨量报警器自动演算和比较判别，得到提前几分或几十分钟的(高级)警戒、慢行或停车报警指令。此临近预报是由正在出现的降雨过程，对在短时间内泥石流发生和灾害泥石流的暴发进行的临近预报，并直接和列车运行相联系，使之构成一套防灾体制。

(二) 研制警戒和预报系统的目的。主要有下几点：

1、满足在目前泥石流危险区段保证行车安全的迫切要求，起到防止或减轻泥石流对铁路行车造成的次生灾害损失；

2、改变目前在雨季主要依靠工人到泥石流沟的中上游一带进行24小时冒雨看守的报警方式为自动报警方式，大大减轻工人的劳动强度；

3、由于采用遥测技术，可大大减少误报和漏报的可能，提高了报警信号的及时性、准确性和可靠性；

4、提前预测到泥石流可能发生，特别是灾害泥石流将要暴发，或尽早检知出泥石流已经发生与暴发的信息，为列车避难措施的执行留有充足的时间。

(三) 特点与要求。主要有如下几点：

1、系统仪器要求长期稳定可靠，故障率低。通过技术措施达到不发生漏报和误报，这是两个基本的要求。误报停车时将打乱列车运行图，造成无谓的停车事故；漏报将造成车毁人亡的特大事故。为此要求采取多级检测及复合判断来提高成功率。

2、丰富和完善铁路暴风雨行车规定的具体内容，提供二至三级报警信号（警戒、慢行、停车），使临近灾害的灾体硬件化。

3、不仅能对泥石流的发生进行预报或报警，更应当包括对大规模的灾害泥石流的暴发发出自动警报，通知司机紧急刹车。

4、以保证行车安全为目的时，警戒信号允许一定的误报几率，提前发出的时间希望稍长些，但对灾害泥石流发出的停车报警信号有充裕的制动时间为合适，而不是越长越好。

(四) 系统种类。这为达到上述要求，可采取的系统有下列几种方式：

1、**泥石流发生前的临近预报系统（简称临报系统）。**主要有：

(1) 软件工作。这是通过对泥石流发生前的降雨资料整理、分析和统计，得知每条泥石流沟均有一个触发泥石流发生的“临界雨量值”。由于自然地理、地质、地貌环境、土壤岩性、气象水文条件、固体物质补给和储量等等的不同，以及是否经历过地震等，使得每条泥石流沟的临界雨量有较大的差异。通过差异原因的分析，可对拟安装临报系统且又无雨量资料的泥石流沟，采取各种相似类比法，大致确定出类比临界雨量值的范围，通过安装设备后雨量资料的积累，不断修正，逐步提高可信度。

由于降雨型泥石流的发生，是降雨量和雨强共同作用的结果，因此临界雨量不是一个特定值，而是在二维平面坐标上的一条线表示（直线、折线、阶梯线等）。降雨量分为连续雨量或连续雨量与前期实效雨量两部分之和的实效雨量来表示。考虑到各地区土壤吸水蒸发等因素，我国多数泥石流专家认为：在秦岭以北应考虑前期实效雨量，秦岭以南可不予考虑；并且对频次低的泥石流沟实测表明，也都不考虑前期雨量。

临界雨量线的含义是，当雨量坐标达到此线时，该沟有发生泥石流的可能，不越过则不会发生泥石流。故此线代表泥石流发生的最低雨量的界线。

大量的泥石流灾害事例表明，泥石流从发生到成灾过程之间有一定的时间间隔，且泥石流发生后的降雨情况对泥石流的规模（是否成灾）和延续时间起重要作用，即对灾害泥石流来源，有一条比临界雨量线更高的灾害临界线的存在。

(2) 铁路泥石流临近预报图的绘制。从铁路行车安全规定的现场防灾体制出发，在所确定的二维直角坐标上分别设定三条线，即警戒报警线（WL）、慢行报警线（EL）和停车报警线（CL），以制成临近预报图。

I——警戒报警线(WL)。可选得比临界雨量线再低一些,虽然误报几率大了一些,但由于是警戒不影响运行图,所以是允许的。当降雨坐标轨迹达到此线,即发出警戒报警,要求加强沟内监视,并通知车站传达司机加强瞭望。

II——慢行报警线(EL)。设定在介于上述的类比临界雨量线和类比灾害临界雨量线之间。降雨坐标轨迹超过它,意味着中规模泥石流发生的可能,要求通知司机慢行通过,瞭望信号机随时准备停车。

III——停车报警线(CL)。设得比类似灾害临界雨量线稍低一些。当雨量坐标轨迹达到该线时,发出停车报警信号,启开列车防护信号机,阻止列车前进。此线开始试用时间选得稍低一些,有利于保证行车安全的可靠度。随着雨量资料的积累,再做进一步调整修正,使之日趋合理。

应当指出几点: 1、上述铁路泥石流的临近预报图二个坐标的内容,取决于泥石流工作的软件工作; 2、预报图中的三条线(或二条线)的选定位置,随报警的服务对象的不同而不同,这和具体的防灾手段有关; 3、预报图也和雨型如台风雨、短程雨有关; 4、和对报警准确度的要求精度有关,等等。

(3) 雨量警报器和雨量遥测装置。根据临近预报图的坐标内容及报警线的形式设计制造的,防灾专用微机控制雨量警报器,将预报图内容设定输入微机内,根据雨量遥测装置遥测到的雨量值,雨量警报器自动进行演算、记录、报警判断、报警输出及报警记录。当需发出停车报警时,利用输出执行开关和列车防护信号联锁,自动控制灯亮,从而达到临报的目的。

2、**泥石流报警系统**。在泥石流流通区设置传感器,一旦有泥石流通过流通区时,就可对检测到的一定规模以上的灾害泥石流信息,通过有线电视(距离较近或地质条件复杂)方式传输给桥端看守房(中心控制室)进行报警的系统。泥石流从流通区流到桥下的时间差,即为泥石流提前报警时间,表示式为:

$$T_{\text{提前}} = L / \bar{V}$$

式中: L —传感器位置到桥梁之间的沟床距离(米);

\bar{V} —泥石流在此段的平均速度(米/秒)。

本系统的特点是在灾害泥石流发生时,具有提前报警的时间。

(2) 桥址检知报警系统。在桥下设置传感器,对检测到的一定规模以上的灾害泥石流信息进行报警所构成的系统。此报警信号属紧急信号,不具有提前时间量,但对桥梁危害具有最明显的直观性和可靠性。

做为泥石流警报系统,具有提前时间和不具有提前时间的二种报警系统,可以分别单独建立系统;而同时设置二级检测手段构成的二级报警系统,则是具有两者之优点的有效报警方案系统。

3、**泥石流预警系统**。“预警”一词是我们由现代防空体制中引伸过来的,从时间及信息来源上讲,预警系统应包括临近预报和警报(提前报警或不具有提前时间的报警)两部分内容。虽然降雨型泥石流发生前的临报系统有很大的发展前景,但由于雨量和灾害泥石流的规模之间的定量关系目前尚有一定误差。这项研究工作还需一定的资料积累和深化,故兼有临近预报和警报系统各自优点,并能相互补充的预警系统,在一些频繁而又严重的病害工点,可以起到对列车安全运行、万无一失的保证作用。

A survey on study of the system forecasting and warning debris flow at home and abroad

—with refuge system on disaster prevention and alarm of railway debris flow

Railway construction institute under the academy of Railway Ministry

Abstract

The debris flow should be managed with the principle that takes prevention as the major point and combines with renovation as other engineering disaster is done. To ensure the development of mountainous town and industry as well as the safety of railway, road and shipping, on performing the study of distribution mechanism, causes and nature of debris flow, it is suggested that while conducting engineering renovation (hard control) the study on soft control be paid special attention, that is, to research forecasting and warning system to inspect, to establish the warning and disaster prevention system suitable to this department or district, to set up laws and regulation, to bring the power of flood prevention branch into full play, social organization and individual person in order to keep the debris flow harm within limit and decrease the disaster loss to the least level through various kind of propagating intermedium and population of disaster prevention practices.