

为山区经济建设服务的泥石流研究*

李 斌

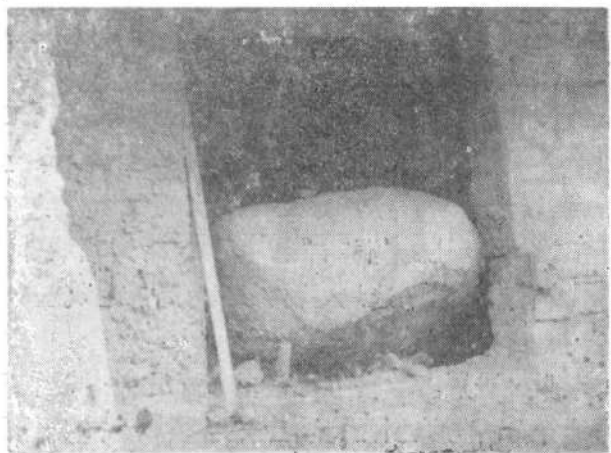
(成都地理研究所)

一、在山区开发中应运而生的新学科

泥石流是广泛分布于我国山区和半山区的自然灾害现象,它爆发突然、破坏力很强。大量的固体物质在极短暂的时间内迅猛地冲出山口,倾泻而下,给山区经济建设和人民生命财产造成巨大危害和严重威胁。泥石流的发生是现阶段山地环境退化,地表结构恶变、生态平衡失调的结果,它的出现与我国特殊的自然条件和种种历史因素有密切关系。再者,解放后,山区被

大规模开发、大批工矿企业迁入,各项建设和交通运输不断发展,人口猛增,相继出现了森林砍伐,过度放牧、陡坡垦殖、劈山引水、筑路削坡和开矿抛渣等活动,更加速了原已脆弱的自然结构和生态平衡的破坏,因而使泥石流灾害日趋频繁,灾情也日渐严重,成为山区开发中的一个独特问题。在这种情况下,我国的泥石流研究由小到大,逐步建立和发展起来。

泥石流研究是一门应用科学,具有应用性极强的突出特点,当前重在防治实践。就学科基础来说,它又是一门边缘科学,包含着固液两相流体的基础理论。开展泥石流调



泥石流冲毁房屋,大石块留在房内

查、观测和实验研究,摸清泥石流分布规律、活动特点、危害状况和发展趋势,掌握泥石流形成机理,运动特征和力学性质,探讨泥石流预测预报方法是泥石流学科的基础研究内容;在理论指导下进行泥石流综合治理,保障山区人民生命财产的安全,防止山区重点开发地区和大型工程建设项目遭受泥石流危害,则是生产建设中所付予的重任。

成都地理研究所的有关科研人员,从 60 年代开始就积极参加了国家组织的对一些重点建设工程(如成昆铁路)的泥石流调查考察和防治工作;1978 年全国自然科学学科规划会后,我院调集院内泥石流研究的主要科研力量,在该所组建了泥石流研究室,成为全国第一个研究人

* 本文在编写过程中得到许多同志的支持,其中吴积善、钟敦伦、罗德富、杨庆溪等同志提出许多宝贵意见并进行修改补充,特此致谢。

员集中、专业齐全、仪器设备配套的专业研究室,服务范围面向全国。成都地理所地迁泥石流频发的西南山区,责无旁贷地把泥石流研究与防治作为一个主攻方向。20多年来先后完成了国家各部委、各省市自治区、各部队及地方单位委托的150多项泥石流防治任务,治理了一大批危害严重的泥石流沟,取得科研成果19项,获国家、科学院和省级奖励7项。同时培养、锻炼了一批专业研究人员,召开了多次全国泥石流学术讨论会和防治经验交流会,出版了论文集和不定期集刊《泥石流》,在改善科研设备和手段先进化方面也不断向前迈进。该所还与美国、日本、联邦德国、奥地利、新西兰、苏联等十余个国家建立了业务联系和学术交流关系,并且承担了联合国教科文组织和环境署的国际合作项目。当前,成都地理所在泥石流研究方面已经具有一定的学术水平和较丰富的防治经验,并在国际上产生了一定影响。

二、为山区建设作出贡献

20多年来,成都地理所的泥石流科研人员,为交通、水利、矿山、工厂、城建和农林等各部门完成了量大面广的泥石流调查、考察、预测预报和防治等任务,足迹遍及四川、云南、西藏、甘肃、青海、北京、辽宁和江西等15个省区,为国家建设和山区防灾作出了积极的贡献。

(一) 泥石流灾害的考察、调查和防治对策的制订。

1. 对四川、云南、西藏、陕西等省区,横断山区和东北地区的泥石流灾害进行了广泛的调查;根据当地泥石流的分布、活动和危害状况,编绘了泥石流分布图和形成要素图,并提出了防治对策;为这些地区制订发展规划和安排建设项目,提供了防灾资料和依据。

2. 成昆铁路贯穿于西南山区的丛山峻岭之中,泥石流灾害频繁。从选线到现在,对沿线的泥石流进行过多次考察。对一些危害严重的泥石流沟,做了定点观测研究,采取了防治措施,从而保证了在已作防治的地段内铁路畅通无阻。如黑沙河下游的分散设桥和上游的综合治理、喜德东沟、黄连关沟等综合治理工程都取得了突出的成效。正在进行且被列为中国科学院重点课题的“成昆铁路北段沿线泥石流防治研究”也已取得了明显的阶段成果。

3. 在云南小江流域和大盈江流域,甘肃白龙江流域等泥石流集中发育,危害严重的地区,进行了详细的调查研究,已将泥石流沟编目建档,对全流域进行综合规划,进而提出了重点泥石流沟的治理方案,其中有的(如云南东川大桥河泥石流防治工程)已付诸实施。

4. 调查了四川炉霍、平武、云南大关、龙陵和河北唐山等曾发生地震地区的地震泥石流,预测了上述各地区的泥石流发展趋势,提出了防范对策,使震区人民在重建家园和恢复生产能及时考虑到泥石流可能产生的危害,避免重遭损失。

5. 考察了四川泸沽铁矿、川南煤矿、红星煤矿、新唐石棉矿,云南易门铜矿、东川铜矿、昆阳磷矿、个旧锡矿、江西德兴铜矿、永平铜矿、铁坑铁矿、广东海南铁矿、福建潘洛铁矿等矿山泥石流,论述了采矿及其它人为泥石流的形成过程和发展趋势,为矿区发展规划兼顾防治灾害提供了科学资料和科学根据。其中为泸沽铁矿、新唐石棉矿制定的具体治理方案和工程设计正在实施中,开辟了我国治理矿山泥石流的新途径。

(二) 预测预报: 包括宏观的区域性预报,长期的趋势预报,短期预报和临报,以及上游发生泥石流后的报警等。

1. 区域性预测和长期趋势预报: 主要根据一个地区的地质构造、地貌类型、地形变化、水

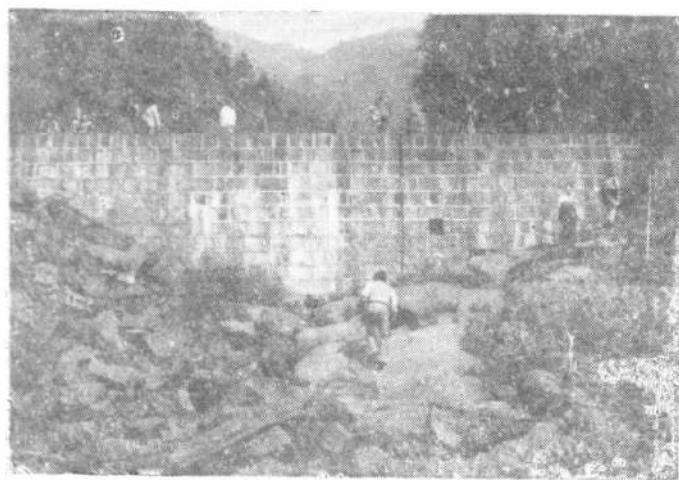
文气象特征等自然要素的组合情况,结合人类经济活动的程度和特点,分析泥石流形成的基本条件和激发因素,对发生泥石流的可能性及规模等作出预测。例如对四川二滩和三峡等大型水电工程库区进行了调查和分析,预测了建库过程中和水库建成后的库岸稳定情况和泥石流发生的可能性、发展趋势及其对水库可能产生的影响等,其中对二滩库区泥石流的预测已通过国家级鉴定并获得二等奖。

2. 短期预报和临报:根据泥石流爆发与暴雨间的关系,确定激发泥石流的暴雨强度极限值,由此再根据气象预报资料可对泥石流发生的可能性作出短期预报。临报是根据泥石流爆发期与前期降水量、10 分钟暴雨强度间的关系,建立预报公式,然后,根据流域上游设置的遥测雨量计通报的 10 分钟暴雨强度对泥石流的爆发做出准确的预报。这种方法在云南东川蒋家沟进行了试验,效果良好,准确率达 85%,预报超前时间约 20~60 分钟,从而为下游防灾和减少损失争得了宝贵的时间。

3. 报警是通过在危害区上游某一沟段设置泥石流报警器来实现的。报警器通过接受泥石流暴发时各种信号,如震动、冲击波或直接接触等方式向下游防护区发出报警信号。例如设在蒋家沟、南坪后山和金川八步里沟的报警器都取得了较好的效果。目前在成昆铁路沿线一些泥石流沟内都设置了报警器,这对保证行车安全有重要作用。

(三)、综合治理。

多年来,先后对四川、甘肃、云南、西藏、青海、河南、陕西、江西等省区的数十条有严重危害的泥石流沟,制定了综合治理规划,提出了工程设计方案。建成后的工程,有 95% 取得了显著成效,经受了时间的考验。1968—1972 年间在青海乐都,甘肃天水、临夏、武都和陕西凤县的许多综合治理工程,至今确保着当地的安全。自 1970 年以来,在四川先后完成的凉山黑沙河、汉源狮子沟、喜德东沟、南坪后山、雅安陆王沟、平溪沟、云南东川大桥河、大盈江浑水沟和梁河三家村沟、永安寨沟等泥石流综合治理工程,其效益尤为明显,可归纳为五个方面:1. 保住了三座县城和十数个村镇,其中仅南坪县城搬迁费一项就节省了 5000 万元,而防治费只需 200 万元;2. 保护了治理区原有的 1.3 万公顷良田,并新垦农田 400 余公顷。仅在黑沙河泥石流荒滩上就开出 130 公顷桑园,成为凉山州第一个蚕桑基地;3. 确保了成昆、昆汤铁路和川藏、川滇公路安全通过各泥石流沟。治理前每年都有泥石流危害,每次中断交通的损失都达数百万



泥石流拦挡坝

或更多。治理后车辆畅通无阻;4. 制止了泥石流发育区的恶性循环状况,生态环境明显改善。不少流域已由治理前的荒山秃岭恢复到植被覆盖率达 50~60%。这将造福于子孙后代,无法用单纯的经济价值来计算;5. 产生了积极的社会效果和政治影响。地处中缅边界的云南梁河县泥石流防治工程的建成和良好的效益,成为缅甸人民和华侨赞颂的话题。由此可见,这些年来所致力的大量泥石流防治实践已喜见成

效,不仅大大减轻了泥石流灾害对山区经济建设的危害和人民生命财产的损失,而且在一定程度上保护与恢复了山地的生态平衡,促进了良性生态循环的形成与发展,得到了社会各界的好评。

三、在实践中提高学科的研究水平

泥石流学科的发展和研究水平的提高与各项防治工作的有效进行是相辅相成、互为促进的。多年来,我们始终围绕着各项防治任务,既在开展区域性、综合性科学考察的基础上,进行各种各样的防治实践,又进行细致的定位观测和深入的分析研究,努力探索泥石流运动的内在规律;既做综合治理效益调查,又对影响效益的各种因素进行专题性的理论分析和探讨。从而不仅高质量地完成了防灾任务,而且使泥石流学科的基础研究有了多方面的进展,在国内填补了空白,在国际上跨进了先进行列。

(一) 通过全面考察研究,初步掌握了我国泥石流的危害状况和爆发特点,基本上摸清了分布情况和活动规律,并绘制了主要泥石流区的泥石流分布图,为我国泥石流的防治与研究打下了基础。

考察研究表明,我国泥石流危害严重,其特点是:分布广,类型多,爆发频繁。

1. 分布面积广。全国有 25 个省市自治区受泥石流危害或威胁,泥石流沟的总数在万条以上。

2. 类型多种多样。青藏高原边缘、天山、祁连山和喀喇昆仑山区有冰雪融水和冰湖溃决泥石流及高山融冻泥流;云贵高原、川滇山地以及华北、东北和东南山区有暴雨型泥石流和冰体溃决的泥石流;还有因地震激发的震区泥石流;至于因矿山弃渣或人类其它不合理经济活动引起的“人为泥石流”则在全国都曾发现。

3. 爆发频率之高、规模之大,为世界罕见。云南浑水沟和西藏加马其美沟每年爆发次数达 50—100 次,东川蒋家沟从 1965 年观测至今已记录泥石流 220 多次,7000 余阵。西藏古乡沟的泥石流最大流量为 28000 米³/秒,是各沟正常流量的 5000 倍。

泥石流给山区造成了巨大的经济损失和人畜伤亡,这里仅举二例。四川省有 106 个县市深受泥石流之害,每年经济损失在数千万元以上。成昆铁路利子依达沟泥石流剪断桥墩,造成两辆机车和三节客车堕入沟内,死亡 300 多人,这么大数字的铁路行车伤亡实为中外罕见。

全面调查考察的结果,我国泥石流的分布情况大致是:以大兴安岭、燕山、太行山、华山、龙门山和乌蒙山一线为界,西侧是泥石流的主要发育区,泥石流沟数占总数的 80~85%,呈片状或带状分布;以东则为零星分布。泥石流危害较重的省分是四川、西藏、云南、甘肃、青海和辽宁等。这与我国大的地形变化相关,即泥石流主要集中在两个地形过渡区:青藏高原与次一级高原和盆地的过渡区以及次一级高原、盆地与东部丘陵、平原的过渡区。这些地区地形高度变化剧烈,且有不少深大断裂带,岩层破碎松散、堆积物发育,又有较大强度的暴雨和大量冰雪融水。位于过渡区内的川藏公路和成昆铁路沿线、小江、大盈江和白龙江流域以及辽西地区和黄河中游地区都是活动强烈、规模巨大、危害严重的典型泥石流区。其中小江流域因泥石流滑坡特别发育、爆发频率极高,被中外泥石流界称之为“泥石流博览馆”。

在综合考察和分析研究的基础上,已编绘出横断山区、西藏地区、四川省和小江流域 1:20

万至 1:300 万泥石流分布图或类型区划图;全国泥石流分布图(1:500 万)正在绘制中;在二滩库区的下荒田泥石流沟,成功的绘制出正射影象地图和动态图(1:5000)。

(二) 开展了关于泥石流的流体性质、力学特性和运动特征等方面的研究,对这些特性间的内在联系和科学规律进行了初步的探索,为今后有关理论体系的建立提供了科学依据。

泥石流是由水和大量泥沙石块乃至巨砾等混合搅拌而成的固液两相流体,它的流动特性介于水流运动和块体运动之间,多呈粘性层流或塑性蠕动流,也有的是稀性紊流。泥石流和洪水及高含沙水的界限是:浆体容重 $\gamma_c \geq 1.30$ 克/厘米³ 时即为泥石流。目前,已测量出的泥石流容重上限值为 2.37 克/厘米³。泥石流的机械组成极其复杂,从极细微的粘粒到巨大的砾石混杂在一起,大小比值达 10^{10} 量级。

复杂的机械组成使泥石流流体具有特殊的运动特征和力学性质,特别是粒径小于 0.005 毫米的微小粘粒及不同粘粒类型对决定泥石流体的性质有十分重要的作用。在 1 立方米的浆体中,如有 10% 的粘粒,则其总表面积比占 90% 的其它颗粒的表面积总和大 100 倍。并且,粘粒通过水的理化作用形成网格结构,包围较大颗粒,构成格架结构,进而支撑更大的颗粒。这就是泥石流具有极大的浮托力和拖曳力的缘故,以致一般凶猛的泥石流可将直径 8—10 米的巨石从沟内抛至沟外,也可使数十立方米的原状土体长距离漂移,瞬时冲击力甚至高达 80—100 吨/米²。此外,粘粒的类型直接影响泥石流的粘度和屈服应力,因而,含不同粘粒的泥石流表现出不同的力学性质,以及运动和动力学特征。当浆体中的高岭土类和蒙脱石、绿泥石类粘粒含量高时,将增高浆体粘度并加大起始剪切力,使流体的运动和体积均有整体性质,同时构成大冲大淤,具有突出的直进性、很大的弯道超高和惊人的翻越障碍物的能力等特点。而当海泡石类粘粒含量增高达 3% 左右的成份比例时,即出现明显的流变特性,从而形成泥石流所特有的阵性波状流,不只在泥石流流速较小时,甚至在瞬时洪峰流量达数百立方米/秒的沟道中,两阵流之间也可能完全断开。

观察研究发现,泥石流的流动形态依流体性质、沟床形状和坡度以及流量大小不同而呈紊动、波动、滑动和蠕动等不同形式。一次泥石流过程,几种流态可能交错出现,阵性波状流的不同部位也可以是不同的流态:头部紊动、中段滑动、尾部蠕动。泥石流沟粗糙程度的变化范围是很大的,专业研究中以糙率来表征,泥石流的糙率值变化可以从 0.045 至 0.022。以这些研究为基础,已经建立起一些关于泥石流流速和流量的计算公式。

泥石流力学特性和运动规律的研究成果,不仅增强了我们对泥石流的理性认识,丰富了学科积累,对泥石流本身的防治工作发挥了指导作用,而且在钻井泥浆、煤炭水力输送、化学浆体的管道运输中以及防止与排除水库、港口和海岸区的淤积问题等亦有重要意义。

(三) 对泥石流的形成和堆积过程进行了考察与分析,为地理学和第四纪沉积等研究开辟了新的途径。

泥石流的形成过程是流域中固液两种物质在一定坡度条件下,相互作用而成为两相粘稠体的一系列物理变化过程。可见泥石流形成需要三个基本条件,即固体物质、水源和坡度,这三者同时存在与否决定了泥石流发生的可能性,而它们之间的组合制约关系和激发因素(地震、特大暴雨和人类不合理经济活动等)的偶然变化,则决定着泥石流爆发的时间、规模和流体性质。泥石流的形成可以是径流或洪水对坡面和沟床强烈冲刷、侵蚀和切割而成,这当然主要与当地的地理环境、地质特征等自然条件相关;然而,泥石流也可以是流域山坡上或沟谷内的

不稳定土体受水体液化,逐渐由静而动,最终险情扩大的结果。在这方面,有不少是人为因素的影响。例如矿山泥石流即属这一类,它与总体设计时对泥石流认识不足,建筑和采矿方式、排土类型和段高不尽合理、排土场和尾矿库的修建和管理不当有密切关系。从对成昆铁路沿线泥石流的调查研究来看,人为因素(包括修路削坡,开矿弃渣、陡坡开垦、滥砍乱伐、过度放牧等)造成的泥石流占 30—40%,特别是小江流域的 150 多条泥石流沟,有 90% 是因为近 200~300 年间该区森林被砍光而引起的。可见人类不合理活动对生态平衡的破坏是导致泥石流发生的重要原因,必须引起我们高度重视。

泥石流对流域上游侵蚀切割的强度,范围速度和规模是惊人的:一次泥石流将沟床下切 5—8 米以至 10 余米是常见的事。我国测到的泥石流侵蚀模数超过 20 万吨/公里²·年,是其它国家的 10—15 倍。因此,在泥石流沟口或与大河的汇合口,造成严重的淤积,这是泥石流危害的一种形式。例如,由于小江流域泥石流特别发育,已在其汇入金沙江的河口处形成一个宽 200 米,长 150 米的堆积扇,将金沙江水道压缩近 1/2。泥石流的这种大冲大淤、冲淤不定的特性,表明了它是现阶段山地极活跃的动力地貌过程。普通水流在漫长的地质年代中方能完成的物质迁移和塑造地表形态的过程,泥石流在较短时间(十几年、几年、乃至几个小时)就可完成,甚至,它可在顷刻之间使其流域和邻近地区面貌全非。有关泥石流堆积问题的研究及其结果,使人们对过去通常认为山麓地带停积的巨大漂砾是古冰川作用的佐记的看法提出了疑问,因为在自然界除冰川作用外,泥石流也具有搬运巨大漂砾的惊人力量。这无疑将促进地理学家们对我国东部山区古冰川遗迹以至第四纪堆积问题做更深入一步的研究。

(四) 建立了现代化泥石流观测实验基地,并不断采用新技术,新仪器,使泥石流研究进入一个向量化发展的新阶段。

根据防治泥石流灾害和发展学科研究的需要,曾先后在西藏古乡沟、云南浑水沟、四川黑沙河、甘肃火烧沟及云南蒋家沟等开展了观测和试验研究,进而充分利用蒋家沟的有利条件,建成了我国第一个半自动化泥石流观测站,开展了对泥石流形成过程、运动要素、冲淤变化和治理效益的观测、冲击与振动的测试及取样分析和预警报警等七个项目的观测研究,其中有四项实现了全自动化,它的观测项目全、系列较长、精度较高,在国际合作中被誉为世界第一流的泥石流观测研究试验站,是我们获取研究和工程设计数据的重要基地。除实地观测站之外,我们还建立了室内模拟实验厅。

近年来,在泥石流观测试验中不断采用新技术,新仪器。如:自记雷达测速仪,自动重锥式测深仪,自动接触式泥位报警器和自动取样系统、以及遥测雨量计、遥测冲击力仪、遥测振动报警器和遥测超声波泥位报警器等。在二滩和三峡等大型水利工程的泥石流科研任务中,还使用了航空和航天遥感技术,包括卫星磁带的计算机图象处理和地面动态立体摄影测量等方法。同时,计算机技术和微机处理也正在不断推广。总之,在短短的二十多年,泥石流研究已从定性描述为主进入到定量化研究分析阶段。