

四川境内成昆铁路泥石流研究进展

成昆铁路屡遭泥石流危害。铁路系统、路外科研单位、大专院校和地方政府对沿线的泥石流进行了大量调查研究和防治工作,撰写了许多考察报告,发表了不少研究论文,取得了宝贵的经验,总结了深刻的教训。

为进一步探讨沿线泥石流的属性、活动状况和发展趋势,并据此作出综合防治规划和提出综合治理措施,1983年初中国科学院受四川省建设委员会的委托,根据国务院有关文件精神,指示我所组建成昆铁路北段泥石流及防治研究课题组,对占全线泥石流沟总数90%、受害最严重的成昆铁路北段(即四川境内)的泥石流进行全面系统的考察研究和深入的分析论证。

通过1983—1987年沿线的实地考察、取样和重点泥石流沟半定位观测,以及收集资料、实验分析测试和室内整理工作后,业已取得如下成果。

(一)论著《泥石流研究与防治》(1989年四川科学技术出版社,53万字)

它以四川境内成昆铁路沿线泥石流为主线,全面系统地阐述了泥石流的理论和防治问题。现主要综述下列各点。

1. 给出了泥石流的定义及属性

泥石流是一种由泥沙、石块等松散碎屑物质和水体构成的流体。

泥石流的性质是:1)一相(粘性)、两相(稀性)和介于两者之间的流体(过渡性);2)非牛顿体,其具有静剪切力($\tau_0 \neq 0$)和较大的粘滞力。

泥石流的特征是:1)活动场所在山区;2)暴发突然,流动快速,历时短暂;3)容重变化范围大(1.10—2.30克/立方厘米);4)固相物质粒径的差异大(粘粒与巨砾的粒径比为1:100万);5)惯性力大,具直进性和爬高能力;6)冲淤能力强,破坏力巨大,危害严重。

2. 总结了泥石流沟的判别方法

1)地质地貌分析法,以流域内地质现象的差异和地貌条件的不同为依据。

2)沉积分析法,通过泥石流堆积物外部形态和内部结构,以及泥石流因碰撞而造成的擦痕和形成泥球的特殊功能来判别。

3)泥痕调查法,通过泥石流过境后的残留堆积物、抛高和超高堆积物、冲蚀磨擦痕迹以及缝隙堆积物等的存在来确定。

4)泥石流活动史的走访调查。

用前述的四种方法判断、确定,四川境内成昆铁路沿线有泥石流沟367条,在泥石流分布区内平均1.73公里就有1条泥石流沟。

3. 提出了泥石流形成因素的主因素分析观点

在全面论述泥石流发育的背景条件和形成因素基础上,对错综复杂的泥石流形成因素作出主因素分析。主因素分析的基本点是,将较多的地理要素通过分析,化为几个综合

地理指标,据此作为泥石流形成的主要因素。这是抓住泥石流形成的主要矛盾的方法,为泥石流预测预报和泥石流治理提供了一个新途径。

对数个要素组(各组分别选择8个、9个、10个和11个要素)进行主因素分析后的结果表明,各组的主因素基本一致。其中,由11个要素构成的要素组得到的分析结果较为令人满意。但是在内中等载荷较多,不利于对各主因素作出明确解释,为此对因子载荷阵要进行正交变换,使主因素明显而突出。最后得到的结果是,第一主因素为地形条件和水源条件,第二主因素为降水条件和地质条件,第三主因素为植被条件。

4. 明确了泥石流形成机理,确定了动力学特征值。

由于沿线泥石流形成的水源几乎全部来自降水,故依流域坡面和沟道中松散物质参与泥石流运动的状况,将泥石流形成过程分为水动力侵蚀过程、重力侵蚀过程和滑塌崩落形成过程。前者应满足不等式 $P_w > G \cos \alpha f + C$, 式中 P_w 为水体流体动力; G 为固体物质总重量; α 为固体物质所处的坡面坡度; f 为摩擦系数; C 为内聚力。后两者必要而充分的条件是: $\tau > \tau_0$, 式中 τ 为土体的内应力; τ_0 为土体极限剪应力。

据众多泥石流沟调查资料和重点泥石流沟半定位观测资料得知,泥石流宏观运动特征是:大冲大淤、冲淤不定,弯道超高和受阻爬高能力颇强,搬运力和冲击力巨大等。这在利子依达、龙门和勒古洛夺等 10 余条泥石流沟中最为突出。

从实际情况出发,对泥石流动力特征值之一的流量,用泥痕调查法来确定。与此同时,采用以降雨特征值为主要参数计算了全部泥石流沟五十年一遇和百年一遇的流量。此外,在实在考察中还特别注意到一个情况,即 $Q_A \neq Q_B \neq Q_C$, 式中 Q_A, Q_B, Q_C 分别为设在上中下游三处的 A, B, C 三个断面的泥石流流量。

经计算,泥石流最大冲击力达 2100 余吨/平方米。

5. 测试了泥石流静力学和胶体特性

沿线取样 73 个(其中大样 19 个),单样最大重量 1800 公斤。

泥石流固体颗粒粒度的特点是,粒径平均值 \bar{x} 为 $-2.94 \sim -3.57 \varphi$ ($\varphi = -\lg d$, 式中 \lg 是以 2 为底的对数; d 为颗粒粒径,毫米),颗粒粗大,各粒径组的相对含量差异大;标准差 σ 达 3.72φ , 粒度分选性差或极差,粘性泥石流粒度分选性比稀性泥石流粒度分选性更差;分布多呈正偏,偏度 $S_k > 0 \varphi$; 泥石流峰态 K 为 $1.84 \sim 10.42 \varphi$, K 值之均值为 4.18φ ; 与粘性泥石流相比,稀性泥石流的粒度分布曲线尖而窄;粒度分布曲线多呈双峰性或多峰性。看来,结合实地考察,某些粘度参数(如 σ 值和 K 值)可望促进泥石流分类的量化。

泥石流流变实验是用 RV 12 型旋转圆筒粘度计与 MV II 测量系统进行的。实验项目有:1)流动曲线;2)双向流动曲线;3) S (剪切应力的直接测量值) — t (剪切时间)关系曲线;4)恢复曲线。

流变实验结果表明,稀性泥石流浆体浓度低,粘度小,细颗粒含量少;流变参数不随剪切时间的推移而变化,即无时间依赖效应;流变特性可近似用宾汉模式来表示。粘性泥石流浆体浓度大,粘度高,细颗粒含量多;流变参数随时间的推移而递增,即有时间依赖效应;流变特性可用震凝性模式表示之。

泥石流胶体(尤其是粘粒含量)的分析结果表明,粘粒含量 $< 3\%$ 者,主要形成稀性泥石流;粘粒含量 $> 5\%$ 者,主要形成粘性泥石流。

6. 观察研究了泥石流堆积物的显微特征

这方面的内容包括:各类泥石流堆积物的微结构、微构造及石英砂表面特征,并涉及到成因。粘性泥石流和稀性泥石流的石英砂表面特征(颗粒外形与磨圆度,撞击坑,撞击 V 型断口与断块,平整解理面与解理断口,贝壳状断口,擦痕与擦条,以及化学溶蚀等)有明显差别。前者以碰撞作用和磨蚀作用为主,化学作用稍次。这反映了沿线降雨丰沛而集中,流域面积大,沟道较宽阔,粘性泥石流规模大、流程长、性质易变。

泥石流堆积物显微构造的空间变化,记录了泥石流运动力学过程和沉积特征。

粘性泥石流堆积物的微构造类型有二:1)流动构造,根据组成物质的排列方式、定向程度和连续性等又可分为:(1)水平流动构造,(2)波状流动构造,(3)流动纹层构造,(4)绕流构造与分流构造,(5)交织构造,(6)块状构造与斑杂构造,(7)气孔构造;2)准同生变形构造,它又分为:(1)贴边构造,(2)半环状构造。

稀性泥石流堆积物的微构造类型有四:1)粗层理构造;2)沉积定向构造;3)块状构造;4)层理构造。泥石流显微构造和显微特征观察研究,对划分泥石流类型、揭示泥石流性质具有重要意义。

7. 探讨了泥石流分类

泥石流分类的基本原则是,科学性、实用性和简明易行性。

泥石流分类有七个方面。

1)根据泥石流暴发规模分为:(1)特大规模的,最大一次泥石流冲出物方量 > 50 万立方米(22条);(2)大规模的,10万—50万立方米(41条);(3)中等规模的,1万—10万立方米(103条);(4)小规模, < 1 万立方米(201条)。

2)根据对铁路危害程度分为:(1)危害严重的(17条);(2)危害中等的(70条);(3)危害轻微的(224条);(4)暂无危害的(56条)。

3)根据泥石流活动场所的地貌形态分为:(1)山坡型(48条);(2)沟谷型(285条);(3)河谷型(34条)。

4)根据泥石流固相物质组成成分分为:(1)泥质泥石流(1条);(2)泥石质泥石流(366条)。

5)根据泥石流流体性质分为:(1)粘性泥石流(34条);(2)稀性泥石流(149条);(3)过渡性泥石流(184条)。

6)根据泥石流发育阶段分为:(1)发展期泥石流(159条);(2)活跃期泥石流(137条);(3)衰退期泥石流(65条);(4)中止期泥石流(6条)。

7)根据泥石流形成与人类活动的关系分为:(1)自然泥石流(348条);(2)人为泥石流(19条)。

8. 分析了泥石流发展趋势

根据收集到的灾害史资料,用系统动力学方法,建立系统结构和 SD(系统动力学)系统模型进行模拟,其结果与灾害史资料十分接近。这证明所建模型与原型接近,即比较真

实。因此用该模型预测泥石流发展趋势是可行的。

对沿线泥石流发展趋势预测的结果是:1)在保持现状的条件下,1990—2000年的泥石流发展趋势是略有增强,但变化不明显;2)在有地震发生的条件下,将导致地震发生后的1—2年内不仅大大增加泥石流数量,其规模也增大一个量级,并要继续影响一定时段;3)在人类经济活动强度改变的条件下,泥石流将随人类经济活动增强而活跃(增强幅度可达1/2量级),随人类经济活动的减弱而衰退,不过这种变化一般要滞后3—4年;4)即使森林覆盖率增加20%,至2000年泥石流的变化趋势也不十分明显,这是因为环境恶化太严重,森林植被暂时还不能抑制泥石流发展。

9. 使用了一些新技术、新方法

坚持以泥石流防治任务带动泥石流学科理论研究,同时以理论研究的成果指导完善沿线泥石流防治规划和防治措施的研究方法,贯穿于室内外工作的始终。

再则,用电镜技术观察拍摄泥石流堆积物的显微结构、显微构造及粘土矿物特征;用RV 12型旋转圆筒粘度计进行流变剪切试验;用IBM计算机对众多而复杂的泥石流形成因素作主因素分析;用系统动力学方法分析泥石流灾害史,建立系统结构和SD系统模型,并利用该模型在微机上预测泥石流发展趋势;用微机计算367条泥石流沟的最大流量;用新颖的符号和标志编绘泥石流活动现状图;组建泥石流数据库等等。

10. 拟定了泥石流综合治理规划

规划以丰富的实地考察资料为基础,以铁路运营以来整治泥石流经验教训为借鉴,是密切结合铁路实际的。

规划原则是:1)全线统一规划,突出重点区段,分期分批开展治理;2)坚持生物措施、工程措施、预警报措施和管理措施并重的全面综合治理;3)实行铁路、地方和沿线企事业单位多方协作、互惠互利;4)保证铁路畅通为主,兼顾沿线地方经济不断持续发展。总之,规划最终目标是,除害兴利、彻底改变铁路沿线的大环境,恢复沿线的自然生态平衡,消除产生泥石流等多种山地灾害的条件。

规划方案的要点是:1)抓紧对新判定的泥石流沟的防治工作,对隐蔽性泥石流沟应作进一步调查;2)加强对有严重危害和中等危害的泥石流沟的治理;3)积极预防人为泥石流的发生发展;4)对有轻微危害的泥石流沟应重视环境保护工作。

11. 制订了泥石流防治措施

这是在对沿线泥石流防治工程进行全面实地考察,并对以往防治工作进行全面系统分析后提出的,因此是切实可行和行之有效的。它包括生物措施、工程措施和管理措施。

生物措施中不仅阐述了土地利用、林业措施、农业措施、牧业措施和辅助措施,还分析了生物措施的特点、意义和功能,并提供了乔木和灌木22种及其特性。

工程措施主要根据泥石流的属性、规模、对铁路危害方式和程度提出的。具体列出:1)排导:完善和新建急流槽的泥石流沟10条,建明洞渡槽的6条,修建渡槽的3条;2)拦排护结合:拦排结合、上拦下排的2条,以拦为主、拦粗排细的3条,拦挡与护岸的3条,拦挡与护墩的1条,以排为主、排细拦粗的4条,排导与护墩的3条,排导与护岸的3条,排导与护坡的14条,排导与护岸护墩的1条,排导与护岸护坡的3条;3)绕避与改建:绕避的

3 条,改建过沟建筑物的 6 条;4)综合治理的 22 条。对上述各条沟谷均列表示出其沟名、铁路里程、危害对象和程度,流域诸特征值,泥石流流体性质,百年一遇泥石流流量,现有泥石流防治工程,拟采取工程措施的具体内容和治理分期等。

管理措施则在明确提出其意义和重要性后,对铁路行政体系提出了明确的具体要求,同时也对沿线的地方政府应采取的管理措施提出了具体的意见和建议。

12. 建立了预测预报和报警系统的理论模式

泥石流预测的主要依据是,目前已判明的 367 条泥石流沟数据库资料。预测结果是,在一般情况下,沿线每年平均可暴发规模不一、危害程度不同的泥石流 18.4 次。

泥石流预报是在分析沿线具备了预报基础、预报依据、预报指标、预报信息资料四项条件后,建立了预报体系及分工模型,并提出了区域性预报、局地性预报、单沟补充预报的具体内容和方法。

在报警方面,介绍了接触式报警方法(含:断线法、泥石流体导通法、压力法)和非接触式报警方法(含:地声法、超声波泥位法),列出了应尽早使用报警器的沟谷 15 条。

(二)《四川境内成昆铁路泥石流活动现状图》(1990年成都地图出版社,1:20万,彩图)

这是沿线泥石流及其基本特性在图上生动、直观的反映。它和论著相辅相成,是科研为生产服务的具体体现。这种比例尺较大、内容丰富的彩图,将给泥石流防治工作的实施、铁路系统的领导及沿线职工提供极大的方便。再则,这次编图还是泥石流专题图编制的有益尝试。

(三)四川境内成昆铁路泥石流数据库

它是沿线 367 条泥石流沟的档案馆。目前可作为已知泥石流沟的科学管理、监测及预测泥石流的依据,今后可为进一步探索预测预报泥石流新途径和新方法、并组建这些方法的具体实施方案服务。

这次与《山地研究》编辑部合作奉献给读者的本专刊包括:数据库应用系统,为完善预测预报服务的专家系统和参数的确定问题,区域泥石流,泥石流静力学特征和重点沟堆积物的粘土矿物分析,以及特殊的泥石流问题等。其实本专刊和一本论著、一幅图、一个数据库共同构成一个有机的整体、成为一套四川境内成昆铁路泥石流防治研究的系列成果。

中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 李斌 钟敦伦

THE PROGRESS OF STUDYING ON DEBRIS FLOWS ALONG CHENGDU—KUNMING RAILWAY IN SICHUAN PROVINCE

Li Jian Zhong Dunlun

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*

& Ministry of Water Conservancy)

Abstract

The railway line from Chengdu to Kunming is damaged very often by debris flows. Since 1983, a new project of studying debris flows along Chengdu—Kunming Railway was carried out by Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy. Three main results have been obtained by 1987. 1. Monograph "Debris Flow Research and Prevention" (Sichuan Press of Science and Technology, 1989, p. 1—358); 2. Colour map of debris flow activity along Chengdu—Kunming Railway (1:200000); 3. Data-base of debris flow gullies and their characteristics.

The essentials of the monograph of debris flow research and prevention are:

1. The criteria of distinguishing debris flow gullies are listed. There are 367 debris flow gullies along the railway determined according to the criteria.
2. The main factors in debris flow formation have been analysed with IBM computer. The first place in debris flow formation occupies gradient of the basin and water supply, the second is rainfall and geological structure, and then is vegetation cover.
3. The maximum impact force of debris flow bursting is calculated as 2100 t/m^2 .
4. According to the principle of classification of debris flow (such as with the rules of scientific meanings, easy in practice and simple in understanding), 7 different classes of debris flow are suggested.
5. Based on the model of SD-system, the tendency is to be stronger and stronger for debris flow activities during 1990—2000 in this region.
6. Some new methods and technics such as electronic-microscope, modeling in computer, method of systematic dynamics, new method of mapping and data-base of debris flow are adopted in the analysis and research work.
7. The planning for debris flow comprehensive prevention has been mapped out. Engineering, vegetation and administrative measures for preventing and controlling debris flow have been designed.
8. System of preestimate and forecast of debris flow is established. 18. 4 times of bursting each year are to be occurred in the period of last decade of this century.

Key words Sichuan Province, Chengdu—Kunming Railway, debris flow