

特殊地区公路丛书

泥石流地区公路工程

甘肃省交通科学研究所

中国科学院兰州冰川冻土研究所

著

人民交通出版社

特殊地区公路丛书

泥石流地区公路工程

人民交通出版社

特殊地区公路丛书

泥石流地区公路工程

甘肃省交通科学研究所

中国科学院兰州冰川冻土研究所

著

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 6.375 字数: 133千

1981年10月 第1版

1981年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2,500册 定价: 1.00元

内 容 提 要

本书总结了甘川公路十六年来的泥石流防治研究成果，并吸取了全国各地泥石流防治经验。书中对我国泥石流运动规律、公路防治泥石流的方法及计算作了较全面的介绍。全书共分十章，包括我国泥石流的分布、成因、类型、运动特征，公路选线，桥涵及各种防治工程设计、施工和养护等内容。

本书可供从事山区公路设计、施工和养护的工程技术人员和大专院校公路桥梁专业师生阅读，也可供从事山区铁路、厂矿、城镇泥石流防治工作者，地质地理专业师生及有关科研人员参考。

前 言

泥石流是发生在山区沟谷中饱含泥砂石块的特殊洪流。它在我国西北、西南及华北地区有较广泛的分布，严重地影响了公路交通。据统计，目前全国有（四）川（西）藏、甘（肃）（四）川、（四）川云（南）、昆（明）东（川）、甘（肃）青（海）等二十一条公路干线受到泥石流的危害，有的每年阻车时间长达两个月之久，有些线路被迫废弃或大规模的改线。为适应山区公路建设发展的需要，我国从五十年代修建康藏公路时就开始了防治泥石流的研究，但当时由于公路级别低，永久性路面和构造物少，对泥石流危害的严重性认识不足，仅以一般水毁对待。六十年代，随着山区公路的大量修建，泥石流研究广泛开展起来。甘肃省交通科学研究所、西藏自治区交通局、四川省交通设计院、交通部第二设计院、武都地区公路总段、中国科学院兰州冰川冻土研究所及成都地理所、中国科学院青藏高原考察队、铁道部科学研究院西南研究所、铁道部第一和二设计院、北京市政设计院等单位对我国20多条公路线上的泥石流进行了考察，在其中的四条线路上先后设立了11处观测站，并同时开展了工程实验和模型试验等工作，初步掌握了泥石流的发生、发展规律，以及公路防治泥石流的基本方法。七十年代以来开始把泥石流作为一门独立学科加以深入研究，从而使研究工作有了进一步的发展，并为防治工程制定了区域性设计原则和方法。

为了推广这些研究成果，我们以十六年来在甘川公路防

治泥石流的研究为基础，吸收了国内其它公路、铁路线上泥石流防治经验，撰写成此册。但泥石流防治与其它公路工程学科相比，还很年轻，研究肤浅，加之作者水平有限，谬误难免，恳望指正。

本书由曾思伟、李鸿琰执笔，承张又安、王景荣协助。编写中蒙中国科学院兰州冰川冻土研究所施雅风研究员、甘肃省交通局曹尔秀及甘肃省交通规划设计院王点等高级工程师指导，交通部第二设计院等单位提出宝贵意见，谨致谢意！

目 录

第一章 泥石流及其在我国的分布	1
第一节 泥石流及其危害	1
第二节 我国泥石流分布	6
第二章 泥石流的形成及分类	18
第一节 泥石流形成的条件	18
第二节 泥石流的分类	28
第三章 泥石流的基本特征	38
第一节 泥石流的静力学特征	38
第二节 泥石流的流动形态	43
第三节 粘性泥石流的淤积特性	51
第四章 泥石流设计参数计算	58
第一节 泥石流容重计算	58
第二节 泥石流流速计算	60
第三节 泥石流设计流量计算	64
第四节 泥石流年平均冲出总量计算	74
第五节 泥石流固体物质储备量计算	78
第五章 公路对泥石流的防治	81
第一节 泥石流地区公路选线	81
第二节 防治泥石流的主要措施	89
第六章 桥梁涵洞设计	95
第一节 桥梁设计	95
第二节 小桥涵设计	102
第三节 桥梁的基础深度	106

第七章 泥石流排导沟	114
第一节 平面布置	114
第二节 纵横断面设计	119
第三节 出口的淤积计算	128
第四节 设计计算实例	131
第八章 渡槽、明洞及其它排导建筑物	136
第一节 泥石流渡槽设计	136
第二节 明洞及隧道	151
第三节 过水路面	156
第四节 改沟工程	157
第九章 泥石流的拦截措施	161
第一节 停淤场	161
第二节 拦挡坝	170
第十章 泥石流地区公路养护和施工	186
第一节 养护	186
第二节 抢修	191
第三节 施工	194

第一章 泥石流及其在我国的分布

第一节 泥石流及其危害

一、概 述

泥石流是在暴雨、冰雪融水等水源作用下，发生在山区沟谷中含有大量泥砂石块的特殊洪流。它突然暴发，在很短时间内将大量泥砂石块送出沟外，从而给公路带来严重危害。泥石流流动体的容重一般在 $1.3 \sim 2.3$ 吨/立方米之间，固体物质重量一般占总重量的 $30 \sim 85\%$ 。固体物质含量低时，它的外观与一般洪水相似；而当固体物质含量高时，它的外观如同搅拌好的水泥混凝土一样。还有一种滑坡型泥石流，是滑坡滑动中滑坡体转变为泥石流的，这种泥石流常流过数公里沟道，涌出沟外，流动体的表面有时有一层松散的泥沙石块。由于泥石流类型复杂，因而运动规律有很大差异，地区性特点很强。

泥石流的形成与地形、固体物质供应、水源补给及植物覆盖度有关。一般地说，在地势比较陡峻，沟谷内又有大量泥砂石块储备的情况下，一旦有了充沛的水源，就会产生泥石流。泥石流是沟谷发展中的一种快速剥蚀过程，因而在山区有比较广泛的分布。我国从高山冰川边缘到沿海低山丘陵地区，都发现有新、老泥石流活动的踪迹。但主要分布在西南、西北及华北等十五个省区，并多分布在几经构造运动、新构造活动强烈的地区以及第四纪以来松散堆积物较厚的地

区。它的分布受地质构造形迹和岩性控制。是一种区域性的工程地质现象。处于这一区域内的沟谷往往都有发生泥石流的可能。

在一定时期内,山区的地形和水源条件比较固定,沟谷内能否暴发泥石流,常由固体物质的供应量决定。当沟谷中积存的固体物质丰富,并由坍塌、滑坡等方式正在源源不断向沟底补给时,泥石流则经常暴发;当固体物质被逐渐带走以致缺乏补给时,泥石流则停歇。因而沟谷中泥石流暴发的频率相差很大,有些沟谷每年暴发几十次,有些沟谷则几年或几十年才暴发一次。有一定间歇期的泥石流沟往往被人们所忽视,一旦暴发会造成巨大灾害。因此在判别是否是泥石流沟时,不仅应调查沟口的堆积情况,而且要深入流域内调查固体物质的补给情况。

二、危 害

泥石流对公路危害的形式比较复杂,危害程度也较严重。不仅公路跨越的沟谷造成危害,且上、下游及对岸的泥石流沟也可能危害公路。它不仅在流动时撞击破坏构造物,而且冲出大量泥沙石块掩埋公路,并造成地形的巨大改变,迫使公路全线废弃。因此,在公路设计中,既要注意防治的范围,又要注意泥石流固体迳流的特性及泥石流堆积造成的地形变化。为进一步说明泥石流地区公路工程设计特点,现将泥石流对公路危害的主要形式分述于后:

1. 淤埋公路

泥石流携带的大量泥砂石块,淤埋公路及桥涵是泥石流的主要危害之一。如据北京市政设计院调查,北京郊区1972年7月的泥石流淤埋了琉(璃庙)四(海)公路的大部路基,四座漫水桥全部淤塞,沿线108座涵洞中就有46座被淤

埋，甘川公路宕昌至武都段 1967 年 7 月 1 日仅 15 分钟降雨暴发的泥石流，在 8 公里长的公路上堆积的泥石达 15 万立方米，中断交通 35 天，1976 年 7 月 25 日又暴发一次泥石流，从面积 60 平方公里范围内共冲出泥石近 800 万立方米，在 15 公里长的公路上堆积泥石 40 万立方米，中断交通 40 余天。泥石流除直接淤埋公路之外，还由于泥砂淤积使沟床不断淤高，而淤埋公路桥涵。如甘川公路的北峪河，河床年平均淤高 13 厘米，1956 年修建的桥梁已加高了两次。又如武都城附近于 1971 年修建的一些小桥，目前桥下均已淤高 3 米多。此外，泥石流汇入的河流，河床淤高也很快，如白龙江中游年平均淤高 13 厘米。云南东川小江每年淤高 12~22 厘米。大盈江每年淤高 10~15 厘米等。沿这些河流而行的公路，如路基高度不够则常被河水淹没。

2. 堵塞江河淹没公路

近年来，因堵塞江河而淹没公路的事例较多，多发生在峡谷地段。如 1976 年 7 月 25 日发生在甘川公路两河口附近的泥石流，在十五公里长的路段里就两处堵断白龙江，五处堵断其支流岷江。石坳子沟泥石流堵断岷江后，使河床淤高 13 米，沿江而行的公路被埋入河床底下 6 米，迫使该段公路全线改线。其它如川藏公路古乡、皮康等也都因泥石流堵江多次淹没公路。堵江的影响范围较大，公路虽离泥石流沟较远，但仍有可能受到影响。如云南东川蒋家沟泥石流堵江的位置于小江公路桥下游 8 公里处，1968 年堵江三次，小江桥被淹，中断交通 3 个月。中国至巴基斯坦公路上最长的友谊桥，被下游帕提巴尔沟冲出的 500 万立方米泥石流堵断洪扎河，而全部淹没于水中，不得不重新修建。有些泥石流汇入大河，使河道发生大幅度变迁而毁坏公路及构造物。如青海省祁连至高大坂公路上的黑河桥，桥位上游 150 米处的

下柳沟于1959年暴发了水石流，将主流逼向对岸而将桥头路堤冲断，桥台冲倒。甘川公路临江河桥，由于下游30米处泥石流冲积扇的发展，淤塞了左岸桥孔，只好在右岸又扩建二孔，以保证洪水安全通过。

3. 冲毁桥涵

同一沟谷的泥石流流量要比清水流量大3~20倍。因而桥涵往往因流量过大而被冲毁。如甘川公路沿线的流域面积为6平方公里的清水子沟，1976年7月25日发生的泥石流流量达340立方米/秒，超越孔径7.5米，净高5.2米的桥面，将栏杆打倒，撞坏桥台，混凝土梁被打坏(图1-1)。

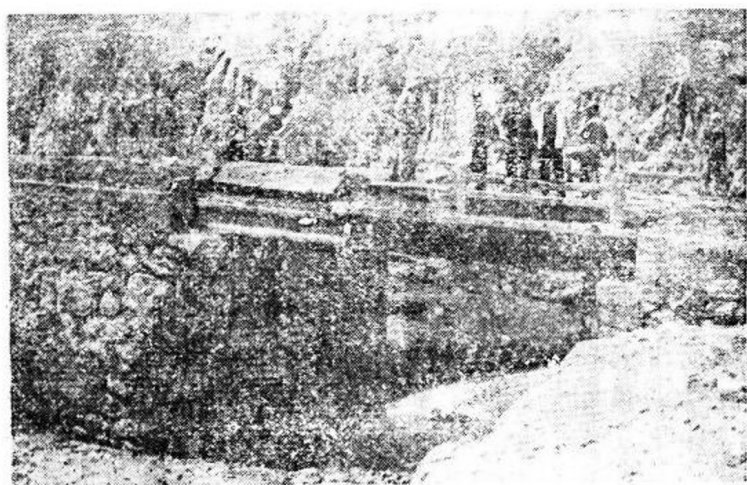


图1-1 被泥石流撞坏的清水子桥

川云西路老木沟也于1974年6月25日因泥石流流量过大，将公路桥摧毁。甘川公路火烧沟流域面积2平方公里，实测泥石流最大流量313立方米/秒，幸而公路桥孔径20米，净高8米，而未曾受到破坏。

4. 大石块撞击破坏

泥石流中携带的大石块常撞坏桥涵及建筑物。甘川公路多次发生这种事故，如 1971 年及 1976 年分别将柳城桥及清水子桥的桥台及梁撞坏。1978 年将石垭子 30 米双曲拱桥的拱脚撞坏。1978 年 8 月 26 日将清水子拱式渡槽的侧壁击毁（图 1-2）等。



图1-2 被大石块击毁的泥石流渡槽

5. 冲刷桥基

泥石流沟谷里补给物质减少，泥石流活动处于间歇期，或由于冲积扇被冲刷而造成侵蚀基准面相对下降时，沟床将由淤积变为冲刷。如甘川公路上的柳弯沟及桑园子沟都因冲刷而使防护堤及桥基损坏。川藏公路上的加马其美沟，建桥 23 年来，因冲刷屡使桥梁破坏，已改建 3 次，1970 年在桥下游修建了高 13 米的挡坝，仍未消除危害。

6. 对岸的泥石流沟危害公路

公路对岸的泥石流沟也会对公路造成危害；例如甘川公路 394 公里处河对岸的石门沟，1978 年 7 月 26 日暴发了较大泥石流，堵断了白龙江，致使一公里公路被淹没，并造成白龙

江改道,约两公里长的路基变成了江的主流线,公路、护岸及渡槽全部被毁。这段线路自1962年以来,由于受对岸泥石流影响已三次改线。又如甘川公路405公里处对岸泥石流冲积扇的发展,将白龙江主流逐渐挤向公路一岸,致使线路两次改线。

第二节 我国泥石流分布

我国泥石流主要分布地区见图1-3。其分布主要受地质条件控制,根据其性质不同,可分为受地质构造控制的泥石流分布区和受岩性控制的泥石流分布区两类。

一、受地质构造控制的泥石流分布区

构造运动使山体变陡,岩层揉褶断裂,岩石破碎,山坡滑坍,为泥石流的形成创造了条件。我国受地质构造控制的泥石流多发育在山字型构造系的前弧和脊柱地带及旋卷构造系中。在山字型构造系中,以川滇系和祁吕贺兰山系的前弧及脊柱两侧的泥石流为多。其它如金汤系前弧边缘的甘孜和灌县,淮阳系西翼反射弧上的襄樊等地也有泥石流发育。旋卷构造系中以滇缅系泥石流为最多。

(一)川滇山字型构造系中的泥石流

川滇山字型构造西翼的澜沧江中游及东翼金沙江中上游的主河及某些支流中,分布有各种类型泥石流,以前弧东翼小江大断裂带上最集中。仅小江流域,阿旺至江口长约八十公里的沿江两岸有大小泥石流沟38条,大部在昆(明)东

(川)公路沿线,严重威胁交通运输。近二十年来,被泥石流冲埋的桥涵达二十九座,清除的泥石流堆积物达148万方。这里泥石流暴发频繁而粘稠。以小江流域的蒋家沟为例,在流域面积45.1平方公里的沟内,有松散土石7.7亿

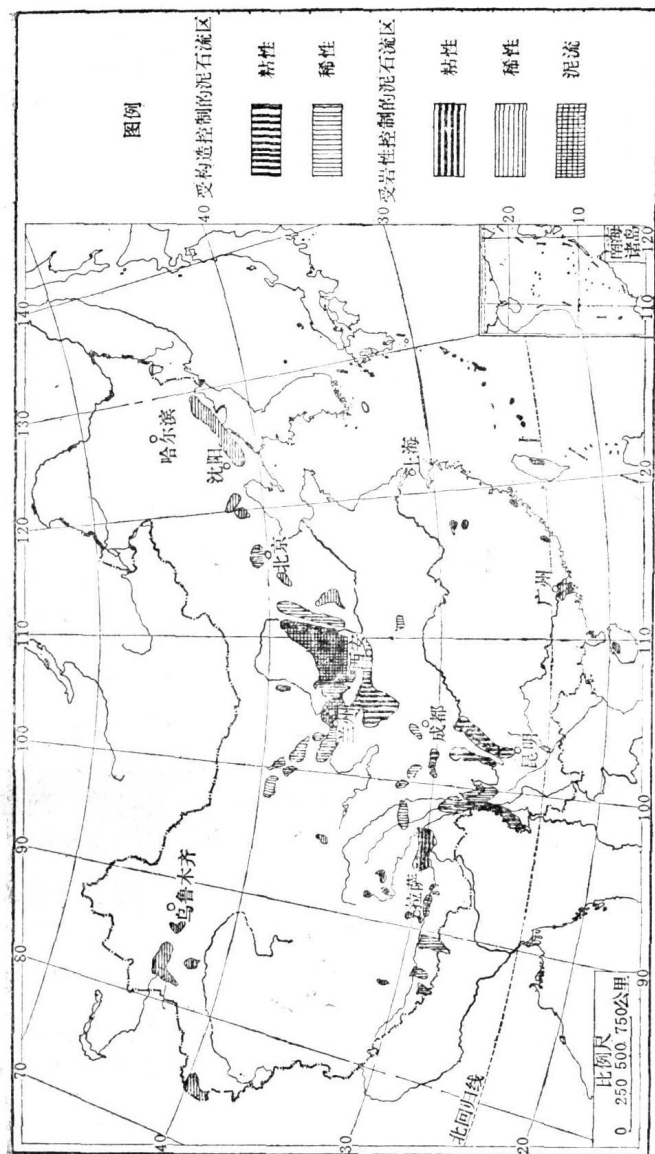


图1-3 全国主要泥石流地区分布图

立方米，泥石流暴发次数最多的年份达 80 多次，最高容重 2.37 吨/立方米，最大流量 2420 立方米/秒，一次泥石流最大径流量 37 万立方米，年平均总径流量达 250 万立方米。沟口形成长 3 公里，宽 1.5 公里的冲积扇。自 1919 年以来曾七次堵断小江，阻水成湖，淹没公路桥梁。像这样规模的泥石流，不仅小江流域数量较多，在金沙江也屡见不鲜，据调查，其中游 500 多条溪沟几乎都有泥石流活动。如白沙坡泥石流，已有 100 多年的发育历史，沟口堆成巨大滩体，阻塞河床，为金沙江群滩之王。

在川滇系的脊柱上，泥石流分布也较广泛，北起康定经西昌，南至会理一线几乎连续出现。据统计成昆铁路沿线有各种类型泥石流 249 处。成都至西昌，西昌至米易，泸沽至喜德的三条公路沿线上有泥石流约 170 处。昌都以东的川藏公路沿线有泥石流 30 处，尤以南线义敦至金沙江一带为多。从地理区域来说，安宁河至邛水河一带的西昌地区，金沙江花棚子至上格达，龙川江黑井集及汉源一带泥石流分布集中。

脊柱部分的泥石流与前弧区相比，具有发育历史长，目前活动性弱，形成物质较粗大，浓度低等特征。除固体物质补给丰富，发育较晚的一些沟谷有粘性泥石流外，大多为稀性泥石流。西昌地区泥石流已有二百多年的发育史，随着冲积扇的发展，地形条件的改变，向源回淤加剧，沟床坡度变缓，沟道展宽，可直接补给的固体物质减少，泥石流由强变弱，由稠变稀，间歇期加长，出现衰退迹象。具有代表性的黑沙河，过去常发生规模较大的粘性泥石流，使五个村庄沦为废墟，三千多亩耕地变为荒野，但目前形成和流动条件已发生较大变化，泥石流变稀，一般七、八年发生一次。有的间歇期更长，如西昌热水河支流中沟，1915 年发生规模很大的粘性泥石流之后，直至 1975 年 7 月 2 日的大雨激发下，

才再次发生。

汉源地区泥石流规模也较大，多由岩屑、砾石等粗粒物质补给，以水石流为主。川藏公路东段，由岩浆岩的风化物补给，泥石流分布零散，规模小，活动弱，多水石型，一般几年发生一次。

(二)祁吕山字型构造中的泥石流

祁吕山字型构造弧前缘，从祁连山、秦岭、吕梁山直至燕山南段，都分布有泥石流。以祁连山北麓，秦岭及华北的怀柔等地泥石流分布集中。脊柱部分，目前尚缺乏资料，但从石咀山至平罗的贺兰山东麓泥石流普遍分布的情况看，脊柱的其他部分，泥石流也可能比较发育。

1. 祁连山区泥石流

祁连山区于最近间冰期（约一万年开始）初期，可能出现过规模较大的泥石流，山脚下形成许多轴线长达数公里的冲积扇，沟内出现厚40~50米的砾石堆积。目前来自山区的洪水冲击这些物质，酿成新泥石流。甘新和甘青公路即常因这种新泥石流被阻断。

2. 秦岭山区泥石流

秦岭位处祁吕构造系的弧顶，是这个构造系中泥石流最活跃的地区，尤以西秦岭的白龙江中下游最为发育。这里虽离祁吕构造弧较远，但由于它处在大弧外缘的武都小山字型构造系中，而且又在东西和南北大断裂带的交汇处，新构造运动较强，地震繁多，不良物理地质现象发育，因而泥石流活跃。在其河谷两岸及较大支流白水江、岷江、三河、洋汤河等流域有泥石流沟一千余条，分布范围约6000平方公里。其中两河口至外纳长约100公里的甘川公路上有各类泥石流150多处。这里多粘性泥石流，容重1.9~2.2吨/立方米。每年平均暴发三、四次，从每平方公里流域面积上冲