

泥石流

〔苏〕 C. M. 弗萊施曼 著

科学出版社

泥 石 流

〔苏〕 C. M. 弗莱施曼 著

姚德基 译

李 熾 校

科 学 出 版 社

1986

内 容 简 介

本书是一本较为系统的泥石流专著，主要涉及泥石流的基础理论及泥石流的防治。作者系苏联著名的泥石流学者。

全书内容包括：泥石流的形成、运动和堆积，泥石流的研究方法，泥石流的结构流变特征，泥石流动静力学定量参数的计算原理和确定方法，泥石流的预报，以及泥石流防治措施的类型、设计和配置。

此书可供泥石流科学技术工作者，防汛、水土保持、水文气象、地貌、工程地质等工作人员，冶金、道路勘测设计人员，从事山区生产建设的专业人员与干部，以及高等院校有关专业师生参考。

С. М. Флейшман

Сели

2—е Изд.

Гидрометеониздат Ленинград 1978

泥 石 流

〔苏〕 С. М. 弗莱施曼 著

姚德基 译

李 械 校

责任编辑 严梵琰

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1986年 8 月第一次印刷 印张：11 1/2

印数：0001—1,850 字数：257,000

统一书号：13031·3245

本社书号：4897·13—13

定价：2.70 元

苏联泥石流防治工程地质学。普安译
地质出版社

地质出版社

译者的话

目前，苏联研究泥石流大体有自然地理、水文气象和工程地质三个流派。

本书是苏联研究泥石流的自然地理流派的代表作。自然地理流派从综合观点出发，把泥石流现象视为各种自然—人为因素相互作用的结果，以及自然界中的综合体，据此来拟定并采取泥石流防治措施。

此书第一版问世于1970年，增补再版于1978年。现据再版本译出。

本书的特点是：1.全面系统地论述了泥石流基本问题，尤为重视泥石流的参数计算、防治方法和工程整治；2.总结了苏联泥石流研究和防治的成果及经验教训；3.探讨了苏联泥石流学界的一些争论问题（诸如，泥石流实质、泥石流分类和泥石流运动特性等问题）；4.主张泥石流类型不同，泥石流物理模式亦有差异。

然而本书对有些问题（比如泥石流堆积和农业森林土壤改良措施等问题）的论述显得欠深入；应用的资料和例子绝大部分是苏联的，这具有一定的地区局限性。尽管如此，本书还是有可供借鉴之处，因为它反映了苏联泥石流研究进展的一个阶段。

我国泥石流几乎遍及全国（特别是西南、西北）山区，且危害日趋严重。为了除害兴利，目前我国许多部门和单位正在从事泥石流研究和防治。近年来，我国出版了数本泥石流论文集、区域性专著和泥石流防治专著，就是缺少一本综合

性专著。因而本书的出版对我国泥石流研究和防治无疑是有
益的。

本书作者C. M. 弗莱施曼(1912—1984)是苏联著名的
泥石流学者, 技术科学博士, 国立莫斯科大学地理系教授,
苏联研究泥石流的自然地理流派的代表人物。

由于译者水平限制, 译文难免有不足之处, 谨请批评指
正。

译 者

再 版 前 言

1970年本专著曾出了第一版，并于同年一售而空。这也是不足为怪的。泥石流如同其他一些山地自然破坏现象（崩塌、岩堆、雪崩和地震）一样，亦随着山区开发的进展而对人类及其建设事业的威胁在日趋加重。泥石质泥石流、水石质泥石流和泥质泥石流大多暴发突然，而又皆是沿山地河床作快速运动的声势巨大的浆体。浆体为片蚀松散碎屑物质（或是丧失了平衡的松散碎屑物质）与水体的混合物。这种流体在短暂的时间（数十分钟或数小时）内摧毁桥梁、道路和山区水电站，并以泥石流冲出物阻塞渠道，淤埋田野、葡萄园和其他一些耕地。泥石流威胁着许多居民区，其中有一些是大城市，比如阿拉木图市、埃里温市、杜尚别市、阿什哈巴德市、安集延市、纳曼干市和诺沃罗西斯克市等，这些居民区曾屡遭泥石流破坏。大家都还记得，1973年7月暴发过一次泥石流，约有400万余立方米浆状泥石流涌向阿拉木图市。一道高坝拦挡了这次泥石流巨流，从而使阿拉木图市免遭了一场灾祸。

泥石流夺走了许多人的生命，因而山区居民常把泥石流称之为“凶恶的死神”。

近年来，泥石流现象的防治防护工作成了苏联上下一个特别关注的对象。1967年苏联共产党中央委员会及苏联部长会议作出了一项关于防治水蚀与风蚀的专门决议，决议把泥石流现象定为山区极其重要的一类侵蚀现象，并确定了泥石流防治任务及其解决途径。1973年7月6日苏联部长会议国

家科学技术委员会，在上述决议的基础上，作出第325号补充决议，即关于加强泥石流、滑坡、雪崩和崩塌科学研究工作以及完善这些现象的防治防护措施的决定。在这一决定中规定：各部、各主管部门在从事泥石流研究与拟定、实施泥石流防治措施时要有明确的任务。此外，1977年苏联部长会议讨论了建立山地防护部门的问题，以便与各类山地现象的破坏活动作斗争，同时也是为了保护国民经济设施、体育-保健设施以及其他一些设施。

泥石流过境在全国范围内所造成的损失极为可观。然而对泥石流防治工作作出了正确而又有充分科学根据的筹划后，即估算出了可开发山区的泥石流危险度、实施了有成效的泥石流综合防治措施（首先是泥石流预防措施）以及建立起泥石流危险预警站后，这种损失有可能大为减少，泥石流危害作用便可减至最低限度。

遗憾的是，目前尽管已有许多科学研究机构进行过众多的泥石流研究工作，完善了泥石流防治防护措施，但泥石流防治工作的效果还是欠佳的。泥石流危险地区某些国民经济设施和文化-保健设施（铁路、公路、矿山企业、登山营地、旅游场所与疗养院）的配置、设计得不切合客观实际，仍是屡见不鲜的，这更加重了泥石流所造成的危害。

近年来，因有人为因素——某些山区施工单位和主管部门从事的经济活动不当，而使泥石流的暴发更为频繁。

忽视（或错误的估算）泥石流危险度的原因之一在于高等院校理工科没有培养泥石流方面的专门人材。因而在山区工作的水文学家、地貌学家、地质学家、勘测工程师和施工人员虽然深感有考虑泥石流危险度之必要，但对估算泥石流危险度工作是毫无素养的。缺乏必要的标准和规范，系忽视（或错误的估算）泥石流危险度的原因之二。有了必要的标

准和规范，便既有可能全面地论述泥石流现象的本身性质，又有可能对泥石流参数进行必要的计算，从而也就有可能正确地拟定和设计泥石流防治设施与措施。许多泥石流问题，尤其是泥石流动力学问题，由于认识泥石流现象的实质既复杂而又不容易，故至今研究得还很不够。但这些泥石流问题都曾有所研究，这反映在许多论文、报道或报告（大多散见于许多主管部门的论文集、年刊和定期出版物）中。研究工作很不完整，出版物极为分散，以至在实践、教学和科学研究工作中，既很难掌握文献资料，又不便利用研究成果。

研究泥石流要有通晓泥石流现象起因、掌握泥石流现象评价方法和整治规范的专家。培养这种专家的组织任务曾屡见于历次全苏泥石流现象研究会议〔其中包括第十四次全苏泥石流会议（第比利斯，1974年）〕的决定中。本专著的作者，从1972—1973学年起，在国立莫斯科大学（地理系）开始讲授苏联第一本泥石流教材，即《泥石流现象》。显然，不久之后，这样的课程在全苏其他一些高等院校中也将开设起来。

本专著是对现有的泥石流资料和各种泥石流问题的主要研究成果加以系统整理的一次探索。这些泥石流问题是：泥石流的形成、运动和堆积，泥石流的结构流变特征，泥石流动力学定量计算数据的取得，泥石流预报、预警，泥石流防治方法和工程整治，此外还有泥石流研究方法。诚然，本书因篇幅有限，且现有的各种泥石流问题既复杂而又难度大，所以叙述难免是提纲挈领的，并势必会遗漏许多意义极为重大的问题。此外，作者对较感兴趣的一些问题可能有叙述得过于冗长之处。

现考虑到近年来已出版有苏联泥石流图书文献目录^{〔12〕}，所以本书末的参考文献目录仅列出了正文中引用的某些主要

的泥石流著作。

本版与第一版一样,在叙述资料时,尽可能统一最常用的字母符号,因为不同的研究者对诸如泥石流密度、泥石流平均纵向流速和最大纵向流速之类的特征值采用的是不同的符号。许多相同的符号在不同的公式中往往有不同的含义,因此为免于误会而标注出相应的注释。提供给读者的本专著,鉴于考虑到人们需要有一部阐明泥石流基本问题的补充参考文献,因而可作为实际工作者——水文气象工作者、地貌工作者和工程地质工作者,勘测工程师和设计人员的参考书。这些实际工作者在各自的工作中一定得估算区域性泥石流危险度,并一定要统计泥石流危险地区的泥石流危险度,用以配置、设计各种设施。本专著还可作为水文气象学院,综合性大学地貌教研室和水文地质工程地质教研室,建筑学院,交通学院,山地土壤改良学院以及林学院的学生与研究生的教科书。

本书作者感谢为本专著修改提出了许多宝贵意见的几位泥石流同事。他们是:И.В.博戈柳博娃(Боголюбова), Б.Н.伊万诺夫(Иванов), И.И.赫尔赫乌利泽(Херхелидзе), Н.В.鲁哈泽(Рухадзе)。

目 录

译者的话	(i)
再版前言	(vii)

第 一 篇

泥石流现象的普遍特征

第一章 绪论	(1)
1. 1 泥石流的本质, 泥石流与其他一些外力过程的差别	(1)
1. 2 地理分布	(5)
1. 3 泥石流的破坏作用	(13)
1. 4 泥石流研究及泥石流防治 (研究史概况)	(27)
第二章 泥石流的形成	(36)
2. 1 各种因素所起的作用	(36)
2. 2 泥石流流域及其分区	(48)
2. 3 泥石流形成机理	(55)
2. 4 泥石流重现度	(63)
2. 5 人为泥石流	(65)
第三章 泥石流的运动及堆积	(69)
3. 1 泥石流运动特点、类型和种类	(69)
3. 2 河床型运动特性和运动情况; 泥石流过程线	(74)
3. 3 泥石流动力特征值及其大小	(82)
3. 4 泥石流的堆积	(86)
3. 5 泥石流流域分类和泥石流分类	(91)

第 二 篇

泥石流研究方法

第四章 野外调查方法	(108)
------------------	---------

4. 1	调查任务和内容	(108)
4. 2	泥石流流域的路线调查	(111)
4. 3	半定位观测方法	(119)
4. 4	定位观测	(124)
第五章 泥石流航空摄影研究方法的应用		(133)
5. 1	泥石流航空摄影研究方法的任务和应用范围, 以及对航空摄影资料的一般要求	(133)
5. 2	自然地理条件的判读	(139)
5. 3	泥石流形成的外力过程的判读	(142)
5. 4	获得泥石流形成条件定量特征值的可能性	(145)
5. 5	航空目测	(148)
第六章 理论研究方法和试验研究方法		(150)
6. 1	理论和试验的作用以及应用范围	(150)
6. 2	理论研究方法	(152)
6. 3	试验研究方法	(154)
6. 4	人工泥石流	(159)

第 三 篇

泥石流的参数计算及泥石流预报

第七章 理论前提和计算原理		(164)
7. 1	基本计算参数和基本特征值	(164)
7. 2	稀性泥石流的造床作用和运动	(169)
7. 3	粘性泥石流的形成和运动	(176)
7. 4	泥石流的模拟条件, 相似准则	(189)
第八章 泥石流计算特征值的确定方法		(200)
8. 1	概述	(200)
8. 2	泥石流平均密度及泥石流固相物质极限饱和度	(202)
8. 3	泥石流流速	(207)

8. 4	泥石流最大流量和泥石流冲出物方量·····	(218)
8. 5	泥石流的其他一些特征值·····	(231)
第九章	泥石流预报·····	(242)
9. 1	问题的提法·····	(242)
9. 2	泥石流的空问预报·····	(243)
9. 3	泥石流的时间预报·····	(251)
9. 4	用植物指标来进行泥石流预报·····	(262)

第 四 篇

泥石流防治措施

第十章	经营管理措施和农业森林土壤改良措施·····	(267)
10.1	泥石流预防措施·····	(267)
10.2	泥石流危险预警站·····	(273)
10.3	森林土壤改良措施和农业技术措施·····	(276)
第十一章	河道水利工程措施和建筑物·····	(285)
11.1	防治泥石流水利工程措施的应用范围和内容·····	(285)
11.2	泥石流拦流建筑物和稳定泥石流河床·····	(286)
11.3	泥石流过流建筑物和泥石流导流建筑物·····	(303)
11.4	泥石流排流建筑物, 固床建筑物和泥石流防护建筑物·····	(329)
11.5	设计保证率的选定·····	(334)
结束语	·····	(337)
1.	泥石流利用的可能性·····	(337)
2.	今后的研究任务·····	(339)
参考文献	·····	(344)
术语对照	·····	(348)

第一篇 泥石流现象的普遍特征

第一章 绪 论

1.1 泥石流的本质，泥石流与其他一些外力过程的差别

泥石流现象（即泥石流）如同滑坡、崩塌、岩堆、土滑、山地洪流和其他一些剥蚀现象一样，亦属既塑造又破坏自然地形的外力现象之列。泥石流现象广泛分布于山区，其中也包括苏联山区。

泥石流¹⁾，指的是固体物含量高、泥位剧增的暂时性山地河床洪流。一般地说，泥石流的组成成分是水体和岩石破坏产物（大石块、沙粒、粉粒与粘粒）。再则，泥石流所具有的特点是暴发突然，运动快速（每秒数米），历时短暂（以数小时计）。

与其他一些剥蚀现象不同，泥石流现象的形成作用错综复杂，并有阶段性。经深入研究得知有如下三个阶段（即三个时期）：

1) 山地河流流域的坡地上和河床内，作为泥石流形成

1) Сель, снль, сейль, сейльн, селяб (阿拉伯文、波斯文的俄译音) 即为奔腾急驰的山地洪流; mudflow, mudavalanche, rockmudflow (英文) 分别为泥流, 泥质巨流, 石泥流; torrents, mure (法文) 分别为山地洪流, 泥流; wildbach, müre (德文) 分别为咆哮的洪流, 泥流, 山津坡, 土石流 (日文) 分别为山地巨流, 泥石流。

起源的物质（主要由岩石风化作用和山地侵蚀作用、片蚀作用和线蚀作用所产生）有一个较长的酝酿阶段；

2) 片蚀物质或丧失了平衡的物质以泥石流形式沿山地河床自山地汇流区的高处向低处所作的快速运动阶段；

3) 泥石流冲出物在山谷低处呈现为河床堆积扇或其他一些泥石流洪积形态的堆积阶段。

泥石流暴发的一般原因是，山地河流流域的坡地上或河床内有足以使各种岩石破坏产物产生运动的水量。这些岩石破坏产物，是由风化作用而聚集起来的松散碎屑物质，冰碛物，丧失了稳定的冲-坡积物，遭冲刷、淘刷和崩落的滑坡-土滑重力堆积物、崩塌-岩堆堆积物、坡地堆积物与河床堆积物，此外还有构成河谷两岸和谷底的冲积层与基岩岩层。一般地说，使各种岩石碎屑物产生运动的水量受控于暴雨量、高山冰川和万年雪堆的融水量、堵塞湖和各种水池的溃决水量以及山坡上往往与雨水或暴雨同时出现的季节性雪盖融水量。众所周知，还有因地下水涌水量剧增而使泥石流暴发的事例（比如，1936年北高加索山地切列克河支流别津基河流域内暴发过的一次泥石流）。在有些情况下，松散碎屑物质的含水量适当时，某些内力作用也可以引起泥石流暴发（小阿拉木图河，1887年）以及火山喷发引起泥石流暴发（堪察加河，1968年）。

与其他一些河床演变现象不同，泥石流的特点是历时短暂，同时又含有大量运动着的岩石松散碎屑物，并且暴发突然，出现频率较低。一般地说，永久性（或暂时性）山地沟谷水流中固体物质体积含量小于1%，而泥石流中固体物质体积含量为10—15%至60—70%。因此在泥石流河床下游，数十分钟（最多数小时）内，泥石流过境而冲出的固体物质方量为数万立方米或数十万立方米，而有时达数百万立方

米。泥石流的固体物质饱和度如此之高，以至泥石流破坏力极大。兹因泥石流体流量、流速和密度均很大，故泥石流的动力参数较之山地沟谷河床内所暴发的非泥石流特大洪流的动力特征值大得多。泥石流被固体物质所饱和，致使泥石流结构与一般山地洪流结构有质的差别，从而泥石流与水流也就有迥然不同的运动机理（见第3.1节）。

泥石流暴发突然，是指不可能预先确定泥石流过境日期。泥石流形成因素众多，各因素间的相互关系又错综复杂，因而在泥石流现象的目前研究阶段，不可能提前预报出某一流域内泥石流暴发的具体日期。在研究泥石流形成条件的基础上，预报出泥石流危险周期的出现时间是可以的，然而常预料不到泥石流过境的具体时间。

泥石流过境历时短暂是因为山地汇流区陡峻沟床内的泥石流体流速很快，从而使岩石碎屑物同时（或几乎同时）参与运动。由此泥石流规模和流量均很大。同一条山地沟谷内，泥石流流量通常大于日常流量或最大清水流量的数倍。

泥石流固体物质饱和度高乃是泥石流的一个重要识别标志。这就是说，在清水流量很大的丰水河流的河床内是不会形成泥石流的。除个别情况外，丰水河流的河床内实际上不可能呈现有较长期的泥石流流态；而若呈现有泥石流状态者，清水流量中固体物质量将相当可观，固、液两相物质的数量将相近。正因为如此，泥石流为小型山地沟谷所特有，后者的日常流量一般不足每秒一立方米，最多为每秒数立方米。干沟沟床内的泥石流暴发极其频繁，不过是呈周期性的，即泥石流暴发在洪流期。因而泥石流（其与其他任何一种河床流均有差别）的基本指标就是流体的泥沙饱和度高。泥沙饱和度高时，流体所搬运的固体物质对整个运动情况产生极大的影响，特别是在河床条件发生变化时，或在流体同

障碍物、工程建筑物产生相互作用时，这种影响尤为明显。凡流体的泥沙体积饱和度至少为10—15%者，流体便拥有泥石流性质，它经历了一个独特的量变至质变的过程。这样的流体与水流已具有质的差别，前者乃是介于液体和固体之间的过渡介质。

唯有许多区间支流内的大量泥石流冲出物经泥石流河床汇合处同时进入大型山地河流时，并且泥石流冲出物浓度从不变稀，大量水体又始终未使泥石流冲出物产生散流者，大型山地河流的洪流才会拥有泥石流性质。由此可见，泥石流现象既与其他一些河床演变现象有差别，又与各类坡地外力现象（诸如岩堆、崩塌、滑坡、土滑、石流和其他一些重力现象）有差别。泥石流现象乃是坡地-河床综合演变的结果。唯有在河床成为坡地变形、坡地位移的终点时，上述各类坡地重力现象才能成为泥石流补给源，因而河床内含水的重力堆积物便演变成河床流，后者也就是真正的泥石流。

崩塌、干岩堆、活动石流都是坡地非含水岩石碎屑物的运动。因而这样产生的运动不是呈流动，而是呈固体（松散体）位移。滑坡、土滑、湿岩堆所产生的运动为流动，其实应属慢速（每秒、时、日为数毫米或数厘米）滑动之列，而泥石流所产生的运动则属流速为每秒数米的快速流动之列。在这种情况下，滑动体结构在运动过程中通常未遭受破坏（因为滑坡沿滑动面进行滑动），滑动面与滑坡坡体间有成因联系，结果滑坡块体丧失平衡。而泥石流运动产生于泥石流构成物结构遭极度破坏时，并且泥石流运动的下垫面与运动着的泥石流体间无成因联系。

雪崩沿雪崩槽倾泻而下，沿途加入有一定数量的松散碎屑物质。雪崩与泥石流有质的差别，这不仅表现在成因上，而且还表现在固体物质的铲蚀、输移和堆积条件上。虽然雪

崩体亦沿河床状槽子作快速运动，雪崩动力特征值与泥石流动力特征值又大致相近，可是第一，雪崩是在没有水体参与下搬运松散碎屑物质的；第二，雪崩是纯以机械方式来铲蚀和输移固体物质的。雪崩体中的石块对雪崩槽说来是外来物，而泥石流中的石块与亲水分散细土颗粒融合为一体，由此石块决定着泥石流的运动性质。雪崩产物宛如其他一些坡地重力现象产物一样，亦仅能是泥石流固体物质源。再者，雪崩往往还可塑造出一种特殊的侵蚀沟槽，即泥石流运动的河床。此外，在许多情况下，雪崩会堵断山地沟谷，构成独特的天然挡坝，一旦溃决，即成泥石流（比如，1977年春，希比内山地和厄尔布鲁士山区分别暴发过一次这样的泥石流）。

与作稳定运动的永久性山地沟谷水流不同，成因各异的泥石流具有如下特点：即运动不稳定，通常呈现有巨流性质，并拥有前锋（龙头），遇障碍物不产生绕流，而产生冲击作用。

由此可见，泥石流乃是一种独特的现象，应把它视作为一种错综复杂的外力现象来加以分析研究。

1.2 地 理 分 布

从泥石流现象本身性质来看，地球上所有的山区几乎都有泥石流分布。在欧洲主要的泥石流危险区是阿尔卑斯山区的某些国家（法国南部地区、意大利北部地区、奥地利、瑞士、捷克斯洛伐克和德意志联邦共和国南部地区），巴尔干半岛地区，亚平宁山地，比利牛斯山地以及喀尔巴阡山地。在文献中还提到斯堪的纳维亚山地（瑞典、挪威）也有泥石流活动。在亚洲，遭受泥石流危害最为严重的地区是印度和中国的喜马拉雅山区；泥石流现象强烈发育的地区是小亚细