

# 中国泥石流的特征及防治工程

李 械 罗德富

(中国科学院成都地理研究所)

## 一、中国泥石流的分布

泥石流作为一种自然灾害,在中国各地有不同的称呼:有些地区称之为“走龙”、“走蛟”,有的称为“龙爬”,有的叫泥石流为“流泥”、“流石”或“打地炮”,还有称之为“山洪暴发”或“冰川暴发”,等等。这些称呼虽然不同,但都很形象地表明了泥石流本身的突出特征和危险性。资料表明,世界上除南极洲外,其它各大陆均发生过不同程度的泥石流危害,其中:亚洲有16个国家,欧洲有18个国家,拉丁美洲有9个国家,非洲则有3个国家,而北美及澳洲各个国家均有泥石流危害。

中国有2/3的国土为山区和半山区。这些地区的地质地貌条件复杂,新构造运动活跃,地震频繁而且强烈,第四纪堆积物巨厚,加之集中的暴雨,大量冰川积雪的强烈消融,以及山高陡峻、切割破碎的地形,都为泥石流发育提供了有利的自然条件。因此,当这些山区的森林植被遭受不合理的乱砍滥伐和受到其它破坏山区地表的人类不合理经济活动时,就形成了灾害性泥石流。事实已经证明,泥石流现象实质上是山区生态平衡失调,土壤遭受严重侵蚀的表现形式,是水土流失达到极其严重程度的重要标志,是山地贫瘠化和石漠化的开端。在中国,由于历史的和现代的种种原因,泥石流分布相当广泛。据初步统计,全国30个省市自治区中,已发现泥石流活动并造成灾害的就有22个。泥石流沟的数量估计就有1万余条,仅沿几条主要铁路线的泥石流沟就达1,010条之多。这些众多的泥石流沟已经成为威胁山区建设和当地人民生命财产的严重自然灾害之一(图1)。由图可见,中国泥石流不仅分布广泛,而且危害严重。在云南、四川、甘肃、青海及西藏和东北局部地区泥石流比较集中。如在云南东川小江流域中下游80公里的距离内

渔业和副业)为基础。山区的水土,对于山区经济发展来说担负着双重的任务:一方面要保证山区农业(包括上述五个方面)大发展对水土资源的需要;另一方面,又要保证日益增多的新兴工业城市对水土资源的需要。同时,由于我国的河流差不多都是发源在山区,从山区流向平原和城市或城市边沿,而且主要河流的水系和相当大部分的流域也是在山区,所以,山区水土保持对于平原和平原城市的供水也就起了决定性作用。不但如此,而且山区水土保持工作做好了,才有可能给全国城乡提供源源不断的丰富的廉价能源——水电——创造基本的条件。由于矿质能源的总量毕竟是有限的,其它能源的开发利用又较为复杂,所以水电的开发利用不能不是最切近、最强大、最便利的“可再生能源”。因此,全面地长远地看来,山区水土保持工作做得如何,不仅关系到山区经济的发展前途和命运,而且关系到全国经济的发展前途和命运。这个问题,应该进一步引起全国人民的注意,在党和政府的正确领导下,持续地扎扎实实地做好水土保持工作。

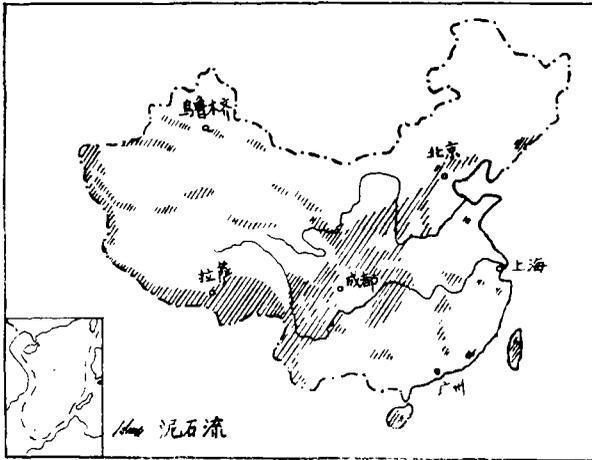


图1 中国泥石流分布简图

有150余条泥石流沟，其中规模较大的有30条。该区泥石流系数（或称侵蚀系数） $K$ 值达0.4—0.6（ $K = F_m/F$ ，其中： $F_m$ —流域内泥石流沟谷的流域总面积， $F$ —流域总面积），故称小江流域为泥石流博览馆是一点也不过分的。再如甘肃境内的白龙江中游大断裂带两侧的泥石流发育更盛，仅舟曲至临江长约100多公里，沿江两岸的泥石流沟就达1,000余条，平均沿江1公里长度内有10条，可以说两岸的大小支流几乎全部是泥石流沟。据研究，中国东北和东部地区的泥石流绝大部分是人类不合理经济活动造成的，可以称之为“人为泥石流”。值得

提出的是，在黄土高原和黄河中游地区发育有纯粹的黄土泥流，这种特殊的泥（石）流是世界少见的。它们正是黄河含有大量泥砂并成为举世闻名的害河的重要因素。

## 二、中国泥石流的主要特征及危害

本文仅对防治工程有影响的泥石流特性及特征值加以论述及分析。

首先，泥石流是一种饱含泥土、砂砾、石块等固体物质作快速运动的粘—塑性流体（有时亦为膨胀型流体），由于泥石流形成区及沟谷条件的多样性，故其物质成分和流动形态变化多端。但总的说来，泥石流中固体颗粒和粘土物质的含量可达80—85%，而水和固体物质的重量比可达1:6。这种流体的外观酷似搅拌好的混凝土。泥石流体的机械组成极端复杂，由小于0.005毫米的粘粒到直径8—10米的巨石所组成，最大与最小粒径之比达 $10^{10}$ ，这是其它任何流体所没有的。不仅如此，泥石流体中还夹杂许多有机质，其中甚至有长5—8米、直径20—30厘米的树干，完全是一种非均质流体。泥石流体的容重很大，多数达2.0—2.3克/立方厘米；其粘度值也较高，可达 $2 \times 10^3$ — $6 \times 10^8$ 泊；剪切力大，一般都在200—600克/平方厘米或更大。

泥石流的流动状态可以呈连续流或阵性流（即波状流），巨砾多集中于前锋（龙头）处，形如滚动波，平面上则多呈舌状，龙头和流体速度一般3—7米/秒，最高可达10—30米/秒。由于泥石流体中大颗粒之间的碰撞作用，经常发出震撼山谷的巨大响声，黑夜中有时还能看到石块相互撞击而发出的火花。这种泥石流体可流至几公里远后而突然停积，形成一个庞大的泥石流堆积扇（垅）。停止后的泥石流体能保持其流动时的形态，对于粘性泥石流来说，几乎没有任何水分很快地从其中渗出。因此，它经常形成并保持各种特殊的地表形态，从而给其流路上和堆积地区的各种设施和工程建设带来许多严重危害。

其次，泥石流以其突发性和大冲大淤而造成严重灾害，而在极短的历时中却出现惊人的最大龙头流量而加重灾情。泥石流沟谷不论是多年暴发一次还是在一年多次暴发的泥石流，均以突然暴发的形式出现，无渐变过程，其持续时间多在半个小时至一两小时，个别可达3—5小时之久。但在这较短的时间内，冲出的固体物质却是相当多的，一年可达几十万至数百万立方米，有时一

次泥石流即可达到30—50万立方米之多。这主要由于泥石流的最大流量比较惊人所致。例如，一个流域面积仅0.1—0.2平方公里的小泥石流沟，其最大龙头流量可达100—200立方米/秒，其中甚至还包含有5—7米直径的巨大石块。在云南东川蒋家沟（流域面积57.5平方公里）观测到的泥石流最大流量是2,420立方米/秒，它比可能形成的最大洪水洪峰流量大10倍；对于一些小于10平方公里的泥石流流域来说，这一比值有时可达50之多。在中国观测到的泥石流搬运下来的巨石体积，在西藏高原边缘地带的古乡沟是187立方米，重量500余吨；在甘肃武都徐家湾沟则达900多吨（实际观测值）。

云南东川蒋家沟泥石流暴发次数最多的1965年共暴发28次，这在其它国家是没有的。据统计，在东川小江流域2,000平方公里的面积内，每年泥石流暴发的总次数超过1,000次，泥石流带入小江的固体物质总量达2,000—3,000万立方米。在蒋家沟曾观测到10立方米的原状土体漂浮在快速流动的泥石流流体上，像航船一样顺流而下，长时间不破坏下沉。由此不难想像，一个一年内暴发数十次泥石流的流域，整个流域的面貌——从上游到沟口处会出现多么巨大的变化。实际观测资料表明，泥石流在上游段一年可将沟床下切10—16米，而在下游沟口处，一次泥石流过后沟床抬高3—5米是司空见惯的事。因此，中国泥石流流域年最大侵蚀模数为5—30万立方米/平方公里，它几乎是国外公布数字的8—10倍。

由于泥石流具有前述各种特殊性质，它经常危害山区的工厂矿山、交通运输、农业生产和人民的生命财产，使繁荣的山区变成光山秃岭，沟壑纵横；使肥沃富庶的河谷变成荒漠式的乱石滩。1981年7月利子依达沟泥石流毁桥翻车，1984年5月云南因民矿区的泥石流冲往稠密居民区，每次都造成一二百人死亡。这就是泥石流严重危害的实例。

对于泥石流的危害，各部门各地区报导和统计的数据主要是其直接损失，而间接损失往往要比人们直接看到的损失大得多。例如：

- 1、因泥石流而造成的农耕地减少和森林植被的丧失，以及由此引起的周围环境的退化和山区生态平衡的失调；
- 2、因交通体系阻断，给国家经济建设造成的损失；
- 3、重新恢复因泥石流灾害而报废的各种设施；
- 4、因灌溉和引水渠道工程遭破坏给人民生活和生产带来的损失，等等，其中有不少是无法用数字表示出来的。

### 三、泥石流防治工程及其特点

虽然综合治理泥石流的水土保持生物措施十分重要和不可缺少，但本节主要对防治泥石流的工程措施做一些分析。

泥石流的防治工程，在中国已有较长的历史。不少泥石流发育地区，人们很早就自发地采取筑坝或开掘排洪道等办法与泥石流作斗争。新中国成立后，随着山区经济建设的发展，泥石流防治工作也不断得到加强，治理泥石流的部门，也逐渐增多。铁路、公路及航运等交通部门，地质矿山部门，水土保持单位，城市规划以及农业、水利等部门，都开展过不少泥石流的防治工作。

防治泥石流的工程措施通常可分为五大类：

- 1、在流域上游清水区修建截水或引水工程，目的是拦截洪水或地表水流，使水土（石）分离，从而缩小泥石流的形成规模；
- 2、修建坝或坝群，拦截泥石流固体物质，以稳定沟床，固定两岸不稳定山坡及坡脚；

- 3、修筑泥石流导流堤、明洞及渡槽等，将泥石流排导至保护区以外；
- 4、建立泥石流停淤场，定时地将泥流体停积在规定的地段，然后清除；
- 5、其它治坡工程。利用护坡、挡土墙、抗滑桩及截水沟等工程措施减少或消除崩塌、滑坡、坡面侵蚀的发生，使松散固体物质供给量缩减到最低值，同时增加山坡的储水能力和稳定性，以控制泥石流的发生。

这五类工程措施中又以建坝为最重要和最普遍。

目前，中国泥石流的拦挡坝类型繁多，取材多样，其中有钢筋混凝土坝、浆砌块石坝、具有特殊溢流口的堆石重力坝、过水土坝以及各种类型的格栅坝等。大量实践证明，防治泥石流的工程措施具有许多突出的特点，这些特点不仅反映在措施的结构上，还表现在它的平面布置上。这是由泥石流本身的一些特点和它对工程建筑物的作用力所决定。其中主要有泥流体对坝体的冲击力（动压力）、静压力，个别巨砾的撞击力，以及对坝顶及下游坝面的拖动（碰击）磨损力，还有泥石流对坝基的掏刷冲蚀作用，等等。

根据野外观测，粘性泥流体的冲击力一般变动在5—30吨/平方米，其中如果含有巨大的石块，对坝体的威胁更大，特别在空库容（低坝）或半空库容（中高坝）时危险性更大。在这种情况下，可在坝体上游面预先堆积一定厚度的砂石混合物作为缓冲措施是有帮助的。为了避免泥石流的拖动磨损，泥石流拦挡坝在结构上的一个突出特点是下游面陡直（1:0.0—1:0.1—0.2），上游面平缓（1:0.5—1:1）。由于泥石流地区水流含砂量高，推移质数量大，一般在坝修好之后到泥石流暴发时，拦挡坝前大都会有一定数量的泥沙淤积，从而使这种反向坝的工作条件仍然是比较稳定的，其稳定系数可达到1.16—5.0（图2）。

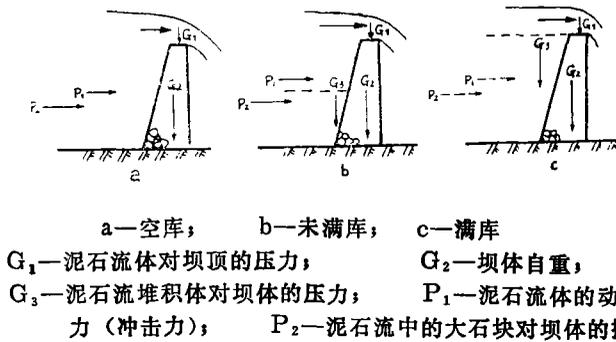


图2 泥石流拦砂坝及受力情况示意图

泥石流对坝脚的冲刷下切作用是十分强烈的。这不仅因为坝体的存在改变了沟床的原始状况，迫使沟床重新做纵坡的调整，还因为一般泥石流沟内松散河床质覆盖都相当深厚，抗侵蚀能力很弱，加上工程建筑物的基础大多不能座落在基岩上，故当基础处理不当或埋深不够时，坝下的冲刷掏蚀往往是导致拦挡坝毁坏的重要原因。据观测，坝

基的冲刷深一次可达3—6米，甚至出现冲刷深与坝体高度相等的情况（坝高不超过10米）。例如，云南东川市蒋家沟1975年修建的一座5米高的浆砌块石坝，因基础埋深浅（3米）而被掏空冲毁；四川冕宁县盐井沟一座5米高的毛石混凝土拦砂坝，1984年5月27日一次小规模泥石流在坝脚下下切3.7米，使护坦悬空5米。平常在泥石流沟槽内经常可以观测到一次泥石流冲切沟床5—8米的情况，可见对建筑工程基础处理的重要性。

值得提出的是，对于有常流水的泥石流沟来说，由于沟床纵比降大，水流中的悬移质和推移质含量大都很高，所以当修建实体拦挡坝时，都会出现坝体建完、库容淤满的情况。这就失去了拦截泥流体、削减泥石流洪峰流量的作用。为解决这个矛盾，目前已采用既能让一般细小固体物质通过，又能拦截泥石流的各种格栅坝，格栅的孔隙间距，一般约为被泥石流搬运石块最大粒径的1.5—2.0倍。此类坝型还具有省材料，可进行工厂化生产等优点，从而较大地缩短施工周期。

# 隆务西山滑坡及其隐患和应急措施

李天池 刘新民 吴其伟

(中国科学院成都地理研究所)

1984年11月21日晚7时许,青海省同仁县隆务镇西面的隆务西山,发生一起大型滑坡。滑坡从相对高180—200米的隆务西山中部向下滑动,并在山脚处剪出,滑坡总体积达180—200万立方米。滑坡使黄南中学后面的围墙倾倒,6间教工宿舍倒塌,球场破坏,在其前方直接威胁该校主教学楼及2,000多名师生员工生命财产的安全。受该滑坡的牵动,黄南中学东侧毗连的坡体失稳,斜坡的顶部及中前部出现裂缝,在其坡脚前缘处有个仓库的地面开裂、倾斜。这些变形迹象表明,另一个更大的滑坡正在酝酿发育之中。

隆务西山滑坡发生之后,国务院、青海省政府和中国科学院对此非常重视和关心。青海省委、省政府派遣工作组迅速赶往现场,及时采取了各种应急措施,很快地安定了人心,学校复课,城区各项生产活动恢复正常。

根据中国科学院和我所领导指示,我们这次考察的基本任务是:查明滑坡发生的原因及影响因素;评价滑坡活动的现状及其发展趋势;提出滑坡的防治对策。现将此次考察结果综述如下:

目前,我国泥石流拦挡坝大多是浆砌块石坝,高度一般为20—25米,个别地方也有金属或钢筋混凝土格栅坝和钢筋混凝土坝。在四川西南部现正计划用定向爆破方法修筑高达100米的堆石重力坝,此种类型的堆石坝在苏联阿拉木图是145米高,在美国洛杉矶是114米。

考虑到泥石流大冲大淤的特点,人工排泄泥石流的排洪道最好亦用浆砌块石或混凝土护岸,沟底每隔20—50米修建一道防冲肋墙(潜坝式),否则泥石流的冲刷下切很可能会危及两边护堤工程基础的稳定,或者就需要加深两岸护墙的基础而大大增加投资费用。此外,对待弯道亦应特别小心,由于粘性泥石流具有较大的粘度和内聚力,在其运动过程中泥石流龙头有保持直线运动的特性,尽管其流路两侧可能是很低的凹地或较深的沟壑。工程平面布置中如果忽略了这点,必然会使防治工程不能发挥应有的作用,达不到防灾的目的。为较好地解决这一问题,排泄泥石流的人工河槽要尽可能的避免急弯和较小的弯道。

根据前述的诸项原则,我们已在青海乐都、甘肃武都、云南东川和梁河以及四川凉山州等地区取得了成功的经验。如在大桥河流域内修建了四座总高为76.5米的拦挡坝和长达5公里的排洪道,基本上免除了泥石流对下游的危害,使堆积扇上5,000亩荒滩变成高产稻田。类似成功的例子可以在四川黑沙河、雅安陆王沟和南坪县后山沟以及甘肃武都白龙江沿岸找到许多。

最后,值得指出的是,由于泥石流形成机理和运动堆积过程比较复杂,许多工程措施所需要的有关泥石流的特征值和参数,还不能准确地确定,从而使泥石流防治工程仍有许多值得进一步研究的问题,甚至还会得到失败的教训。但是,随着泥石流研究工作的不断深入和防治工程广泛兴建,一切困难都将会逐步得到克服的。