

试论泥石流地区的河道演变

李 鸿 琏

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

泥石流含有比一般洪水多5—50倍的泥沙石块,刹那间将数以千百万立方米计的沙石冲进江河,使汇入段的河道发生突变,其变化之快,非一般山区河流所能比拟。一场泥石流,即可使河道面目全非:或堵塞河道,聚水成湖,城镇、道路浸没于汪洋回水;或推移河道,易槽改道,水流横溢,漫流成灾。而其长期大量的淤积所引起的河道演变,则更严重地威胁着山区的国民经济建设,这在我国西南和西北的某些山区尤其突出。例如,泥石流堆积在金沙江河道中的众多险滩,严重影响航道开发;小江、白龙江、渭河等河道中的泥沙大量淤积,河底上涨,带给工矿、交通、农田和人民生命财产的危害,均日趋严重。另外,泥石流的快速侵蚀、搬运和堆积作用,迅速改变着河谷地貌发育的正常过程,掩盖了新构造运动引起的水流作用、冲淤消涨及谷地发育的真实迹象。由此可见,泥石流地区的河道演变,是河流泥沙工程学和河流地貌学研究的一个新课题。

我们虽从事泥石流研究多年,而于河道演变确属外行。但在甘肃武都城防工程审议中遇到白龙江某段的疏浚问题,又想起上述河道开发中存在的问题,深感与泥石流关系密切。兹据白龙江流域的工作,并引证与此地相似的云南小江等地的资料和前人的分析,试就泥石流最发育区的河道演变作些粗浅分析。

一、水沙特征

以白龙江中游和小江中下游为例。那里泥石流分布集中,活动频繁,是我国目前泥石流最活跃的地区之一。这两个流域的上游区,植被条件较好,水土流失轻微。泥石流对于干流河道作用明显,在白龙江流域沿江长约200公里,两岸有泥石流近800处;小江流域长60—70公里,有较大泥石流150多处。为剖析泥石流地区河道的泥沙石块(以下简称泥沙)的来源、水沙平衡和河道

流的发生运动机理进行深入的探讨。

我们根据野外实测资料,得出了洪峰模量与流域面积的相关关系。此结果具有明显的带状分布规律。由于调查资料仅限于1981年,因而只得出重现期大约为100年的相关关系。其它不同重现期的相关关系还有待于进一步工作,这将有助于该地区泥石流的预测。

本文还在拜格诺和高桥保理论的基础上,考虑了稀遇洪水急流条件下对河槽的拖曳力,将静力平衡方程下滑力部分增加一项洪水的拖曳力后,计算所得出的水力条件 h_1 与实测的 h_1 值相差不大。

演变特征，势必先叙述一下泥石流输移，物质的形式、量及性质。

(一) 泥石流的输移

1、输移形式。白龙江和小江流域的泥石流，是由深层滑坡和大型崩塌等不良地质作用补给固体物质。泥石流的性质以粘性为主，间有稀性和洪水。它们的输移方式和对江河的影响各有所异：稀性泥石流（包括水石流， $\gamma_c = 1.4 - 1.8$ 吨/立方米），属紊流型的二相流，其液相为水和粉砂、粘土组成的浆液。固相中有紊动支持的悬移质，也有靠碰撞扩散应力支持的推移质。流出沟口后，便发生分异流，粗砾在宽缓的干流谷地停积下来，浆液流失。当其流量较大时，连粗带细一起冲入大河。粘性泥石流（ $\gamma_c = 1.8 - 2.3$ 吨/立方米）基本属于固液混合流，大小石块与浆液凝聚成粘稠的整体。由于它凝聚性强，流速快，惯性大，动能足，只要有足够的泥深以克服阻力，便可保持原有结构在宽缓坡面上流动而不解体。流程长达数公里至20—50公里，可横穿大江大河而不解体，沉积后仍保持流动时的结构。

2、输移量。泥石流的输移量各沟不一，就是同一条沟中各次输出量差异也很大，加之目前有观测资料的沟不多，所以计算区域泥石流输移量更加困难。现仅根据部分泥石流观测站记录的年冲出量中的中等数值，结合前述泥石流沟所占有的总面积作粗略估算。由此估算的单位面积年输出量，白龙江中游为7.8万吨/平方公里，小江中下游为13万吨/平方公里。由泥石流区每年输入白龙江和小江河谷的泥沙总量分别为5亿吨和3.8亿吨。泥石流输出的泥沙，一部分停积在坡脚与干流之间的扇形地上；另一部分直接输入河道。前者也属干流的主要物质来源之一，洪水期受到大量冲刷。如1976年8月29日，白龙江洪水冲掉火烧沟扇形地前缘宽25米。

3、输移物的粒度特征。如前所述，我国泥石流活跃的地区，山高沟深，沟谷比降大。泥石流输移得到得天独厚的条件，它居高临下直泻入江。所以无论河床质或河岸物质均由泥石流的原始质体构成，通常称之为大小悬殊、杂乱无章地堆积物，粘土、砂、砾至漂砾俱全，粒径范围由小于0.002毫米到2—3米，乃至更大。由粒度级配曲线看出：（1）泥石流体中粒径小于5毫米的砾石、砂及粘土约占30—40%，而卵石及漂砾占60—70%；（2）河岸沉积物的成分与泥石流体相同。而进入河床，经水流再搬运改造过的物质，粒径小于0.1毫米的细粒物质基本消失，遗留下来的仅系粗粒，其级配曲线的分布趋势仍与河岸泥石流沉积物相似。可见水流可能搬运的颗粒粗度是有限的。有泥石流输入的河段内，并不存在如同平原冲积性河流中的床沙质粒径 d_{50} 。沿下游方向按指数规律减细的可能性，因为沿河都有泥石流输入。

(二) 干流的水沙特征

1、水沙状况。由白龙江武都水文站和小江水文站20—30年资料看出，它们在水量方面的共同特点是，年内分配极不均匀，丰水期与枯水期约各占一半。枯水期流量仅6—120立方米/秒，输沙能力微弱，断面含沙量只有几十公斤；丰水期，特别是7—8月份流量较大，最大达1,500立方米/秒和600立方米/秒，冲蚀输移加强。分析泥沙资料及河道断面形态变化图看出，河槽部分除个别年份出现河底下切，输沙率增大外，多数年份是水流冲蚀扇形地前缘，增加泥沙输移量。其中的粗粒物质输移距离很短，大部分停积在平缓段，成为新河床质，淤高河床。

2、泥沙平衡。这里引用的输沙资料，武都水文站对白龙江悬移质沙量的实测值，推移质沙量据武都地区水电勘测设计队的推算值，小江的悬移质量亦系实测值，推移质参照白龙江的悬移质和推移质的比例推算而得。可以看出，输出的泥沙仅占来沙量的3.3%及5.7%，而停积在河谷中的泥沙却占来沙量的94.3%及96.7%。这表明出入极不平衡，而其淤积量急剧增加。据白龙江武都站资料，白龙江在四十至五十年代中，年平均淤高7厘米；而六十至七十年代中，年平均淤高8.2厘米，可见输沙能力逐渐降低，或表明来沙量增加了，可能是泥石流输入量增大。

二、泥石流地区河道演变的若干特征

(一) 河道平面形态

宏观我国泥石流活跃区的河谷地形，大都以高山深谷为特色。河道的横向发育演变，受制于横宽仅几公里，乃至几百米的峡谷范围之内。但由于河道长期朝着淤积上涨的单向变形，使其又具有平原河流的某些特征。如河床发育在厚达几十米至百米以上的冲积物上，横断面呈山形，或为复式形状。在河谷较宽处，河漫滩发育，横比降明显，除局部河段，一般无河岸陡坎，由泥石流扇形地前缘平缓段构成。在纵向上，边滩和河心沙洲众多，河汉交错，但它毕竟是山区河流，深受泥石流、滑坡等突然输入的泥沙石块的填充和堵塞，使之河道在平面上迂回蜿蜒，以及坡折阶梯频出。

(二) 河道演变

1、横向变形。泥石流地区河道横断面的变化，受泥石流的作用远超过干流水量变化及河道边界条件施予的影响，因而以其突变为特色。其形变主要表现在以下方面：

(1) 河道左右摆动明显。泥石流扇形地的发展延伸，特别是新生扇形地的形成与扩展，以及冲出物的局部堵塞，均使河道在短期内发生快速迁徙，出现“几年河东，几年河西”的现象，甚至瞬时即变。例如，白龙江左岸的火烧沟，1973年6月13日泥石流流量达313立方米/秒，远大于白龙江流量135立方米/秒。于是在原河道中形成面积几千平方米的新冲积扇，逼迫河道右移50多米；稍后又冲出泥石8万立方米，继续推移河道80米；约过了两年之后，斜对岸的草坝子泥石流复活，冲出物又将河道向左推移数十米。小江流域的蒋家沟、尖山沟、黑沙沟及拖沓沟等泥石流，均使河道在短期内发生大幅度推移。

(2) 河道宽窄变化悬殊。无论泥石流冲出物对河道的侧向挤压，还是沿江两岸毗连交错的泥石流互相推挤，均使河道断面挤压变窄。例如，近几十年来，小江流域的大白泥沟和蒋家沟等泥石流，压缩河道分别由500米到30米和630米到41米；白龙江武都水文站的河流断面，在26年内(1957—1983)，由于淤积减少288平方米，平均每年减少11.1平方米。该断面在1975年的两个多月内，河宽由65.5米减至36米。然而距泥石流沟较远的河段，由于大量淤积，却又向两侧扩展，变宽变浅。如小江中下游新田湾长8,000米的一段，平均河宽400米，洪淹早露的河漫滩面积约达5,300亩；白龙江中游河道也具有同样的特点，呈宽窄相间的串珠形状，河汉交错，沙滩发育。

(3) 冲淤规律。泥石流发育区的河道有冲有淤，以淤为主；而在河道淤积上升的总过程中，在某些年份又出现冲刷下切。武都水文观测断面近26年来的变化过程，即反映出这一特点。它在淤积上涨的过程中，曾出现6次冲刷，冲刷深度一般几厘米至十几厘米，其中1982年切深82厘米。小江中游岔河至小青河之间，也曾出现局部冲深3—5米的现象。对此冲刷出现的原因及其持续时间的分析，于确定此类河道整治原则十分必要。冲淤变化，按传统的河道演变原理，自然是水沙条件的改变所致，即洪水流量增加，含沙量降低。然而从武都水文站26年的资料绘制的淤积与流量过程线看，流量与冲刷的关系并不密切，且出现流量小而冲刷强的反常情况。在6次冲刷中，除2次出现的流量较大(与上年比)的年份外，其余4次出现在较小流量的年份。1976年淤积最严重，而汛期流量也最大；1968年冲刷最深，流量却回降。图上曲线还显示，当某年淤积量较大时，次年都出现冲刷，即淤积峰后有谷。在正常情况下，淤积厚度的年际变率较小，大致为10—20厘米。

白龙江武都站河道断面，位于两大泥石流沟之间，距上游的北峪河入口仅千米左右。它的淤

积消涨，首先受北峪河泥石流输出量的影响，同时也受来自上游泥沙的影响。可以看出，武都断面上出现的几次大幅度淤积，均与北峪河洪峰高含沙量有关。

显然，在这种情况下，影响河流形变的因素是复杂的。但由上述特征看，在区域泥石流发育的某一阶段内，它在个别年份供给大河的泥沙显然很多，使淤积厚度大增，而在较长的时期内又趋于常数。所以河形仍然遵循着长时段水沙条件决定的均衡状态，冲刷的河槽，第二年又被淤埋，恢复到正常淤积上涨过程。在这种状况下，采用调整河床形态，欲减轻淤积，几乎是无效的。只有减少或防止泥沙汇入，方能减轻淤积，或变淤为冲。

(4) 淤积速度快。泥石流冲出物对干流的淤积形式有二：一是在泥石流沟口段，泥石流直接输入干流，形成堵塞；二是在泥石流沟的下游段，洪水冲刷堵塞物或冲积扇前缘沙石，短距离搬运再沉积。前者属间断型淤积，较大泥石流沟几年至十几年出现一次，但淤积厚度很大，常近几米至十几米；后者属长期作用过程，每年汛期，均有冲刷搬运和再沉积的重现过程，年平均淤积厚度7—25厘米。这与我国黄土高原泥石流极为发育的渭河相比，河道淤积上涨速度大10—30倍。

(5) 淤积物分配不均匀（淤积上涨具有较大差异性）。鉴于泥石流冲出物粒径极为悬殊，加之水流搬运的分选性，泥石流区域的河道横向变形各段不同，可大致分为两段：一是泥石流直接汇入段，河道横向变形，由泥石流冲出量决定，河道侧向发育，即泥石流汇入一侧淤积发展很快，将主流线推向另一侧。由于淤积分布的不均匀性，使河道位置侧向迁移，对人为整治（如截弯取直，控制流向）造成困难；另一是在泥石流沟下游段，由河道本身的水沙条件决定，呈均匀淤积，河道横断面淤积变形，在河床淤积升高过程中，断面各部位淤积上升面大致在同一高度上。

2、纵向变化：

(1) 纵剖面形态。泥石流区域的河流纵剖面坡折多阶。这种阶状剖面并非新构造运动及河床岩石硬度变化的反映，也不是流量沿程变化而塑造的结果，恰恰是支沟泥石流汇入堵塞的产物。大凡较大的泥石流，都有可能堵断江河水流，形成阶地。如白龙江中游长150公里的沿江两岸，有10多处泥石流时常堵断江水，仅1976年7月24日，白龙江两河口段及其支流岷江下游，共有6处泥石流堵塞成湖，水位最高达19米多。小江流域最大的蒋家沟，近几十年来曾8次堵断小江，1968年堵江成湖，水位比正常水位高出7.22米。

(2) 地方基准面的变化。地方基准面也称局部基准或临时基准。据Г.И.Горецкий的观点，河流上的坡折就是一种地方基准。在有泥石流汇入的河段上，如前所述，这种地方基准面分布之广泛，是一般山区河流不能相比的。水流能量之大部分集中在坡折急流处，虽然由粒径大小不等的砂砾构成，但总归属冲积物之类，想来冲蚀搬运的变化是异常强烈的。然而并非如此，它不但较长期存在，有时还常加积升高。譬如，西藏野贡藏布江左岸的章隆弄巴泥石流，早在1885年前堵江成湖，成为这条干流上第一处明显坡折，它至今依然存在。小江上的蒋家沟泥石流阻塞堤，以及白龙江中游的许多拦河坝，都有了几十年的历史。其所以有增无减，理由也是明显的：首先是泥石流冲出物不断地在原堵塞物上累积加高；其次那里集中了全河道上最粗大的漂砾，直径3—5米的巨砾密集，所以也是水流能量消耗最大的部位，尽管水势很凶，但要起动这些大漂砾，仍显得力所不及。在这阶梯众多的河道上，即使个别阶坎降低或消失，侵蚀也不一定加强，因为两个阶梯之间的深水区，比降相对要小，依然属于淤积区。当较长河段均处于淤积上涨的情况时，以阶梯为地方基准的部位也相应淤高，或者淤高速度更快。它的淤高，更有利于拦蓄来自上游的砾石，便使得某段河道全面淤高。据研究，来沙量大的河流，如黄河、渭河，洛河等，当其基准面上升以后，整个淤积性河道2/3以上的河段纵剖面表现为平行升高。

(3) 冲淤问题。对于淤积为患的河道，人们多么期望它能变淤为冲。在泥石流活动频繁的区域

水石流的性质及形成机理

祁 龙

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

1981年8月,陕南特大暴雨期间,在宝成铁路北段的秦岭至草凉驿之间,普遍发生了水石流灾害。该段线路长30公里,约有水石流10多处,其中作了调查的有9处,是我国水石流的主要分布区之一。它为我们研究和认识水石流提供了有利条件。本文主要对水石流的运动规律及形成机理作一初步分析。

一、水石流的一些特征

在泥石流分类中,经常提到水石流,它是不同于泥石流和泥流的另一种类型。

1、水动力要素。水石流为典型的水动力类泥石流。它形成的必要条件是稀遇的洪水,暴发水石流的频率远比典型的泥石流为低。据调查,1981年该区发生水石流的洪水频率约为百年一遇,总降水量达363.8—400.3毫米。而在典型的泥石流沟谷中,每年都要暴发泥石流,甚至要发生几十次。我国西北的西部山区,总降水量只要达50毫米,就会形成泥石流。

水石流中的固体物质主要来自沟床和岸壁。在高强度水流的冲蚀作用下,沟槽形态瞬时发生巨变,沟床一次下切数米,展宽数十米,大量的沟槽物质被卷入水流,从而形成水石流。

2、固体物质来源及其组成。水石流主要发育在花岗岩、石英岩等质地粗糙,岩性较坚硬的石质山区。流域内山青水秀,树木茂密,沟谷内连续分布有洪积成因的新老堆积物,厚度一般在10米左右。沟槽发育在洪积层上。从侵蚀剖面可以看到,洪积物主要以大石块为主,大石块中间
~~~~~  
域,寄希望于河流水砂自动调节,而改变其河相形态的可能性是很小的。于是人们拟采用人工措施降低地方基准,以期溯源侵蚀,减少淤积,降低河底标高,这也可以说是徒劳的。至今在我国以及西方许多地质地貌学家,甚至水利学家还在引证这一概念,但用于水流作用并不适宜。这个概念是诺埃和马尔热里(De la Noe et Margerie, 1888)在干的砂流上实验的结果,是岩屑锥上沟槽发育的模式,尽管曾得到彭克等地貌学家的支持,然而早被E. B. 桑采尔和B. 拉赫京等水文学家所更正。他们的大量研究结果表明,水流对河底的冲刷,是在整个河床中都发生,而不是仅仅从侵蚀基准面向上游加深,人为地降低地方基准,疏浚局部堵塞,以开发水上交通,兴利除害的工作,已在我国白龙江、小江和金沙江等泥石流区的河道上,以及长江和黄河等非泥石流区的河道上均有不少,但效果不显著或适得其反。例如,长江南京河段,在1949年汛期后,采用疏浚心滩,导流趋中的治理,水下挖沙1,132万立方米,工程完成不久,疏浚区大量回淤,出现更大的心滩,工程失败。(参考文献略)