

我国泥石流灾害的成因和启动及相关防治措施研究

刘瑞强

(兰州理工大学 土木工程学院,甘肃 兰州 730050)

摘要:我国是一个泥石流灾害频发的国家,泥石流灾害的发生严重损害了人类的利益、威胁人类的生存和可持续发展,对我国泥石流的分布特点、形成条件、活动特点以及危害进行了分析,对泥石流的起动机理进行了研究,尤其是水石流的起动机理,最后综合提出了泥石流的预测预防、工程防治措施和生物防治措施,以及一些设计过程中的重要点,泥石流的防治应综合考虑多方面的因素,才能做出更为合理的防治措施。

关键词:泥石流;灾害;起动机理;预测预报;工程防治;生物防治

中图分类号:P694

1 我国泥石流的分布特点

1.1 我国泥石流在空间上的分布

泥石流是一种常见的自然灾害,普遍地分布于世界各地,泥石流的分布情况受地貌、地形、地质、降水量和人类活动的影响,我国的山地面大约占总面积的 2/3,受较多山地面积和岩层断裂等地质构造的影响,构成了许多潜在发生泥石流的条件,我国泥石流的发生地大多集中西部区域,如西南、西北等地,青藏高原与次一级的高原和盆地之间的接触带,以及在一些大断裂带、深大断裂带或地震频发的河道河谷的两侧是发生泥石流的主要地区,对人类的生命安全所造成的危害也最为严重,另外,在一些山体中,若片岩、板岩或易于风化的岩系含量较多,发生泥石流的潜在可能性便会加大,泥石流的分布特点还与当地降水、冰雪融化等外部条件有关。

1.2 我国泥石流在时间上的分布

泥石流的发生于气候条件密不可分,我国由于受独特的季风气候影响,泥石流的发生具有明显的季节性,多雨的夏季是泥石流发生的主要时期,一般在每年的 6、7、8、9 这几个月份比较集中,西北地区在 7、8 两月的降水量尤为集中,激发泥石流灾害的可能性也最大。据统计,我国约 90%左右的泥石流灾害均发生在 6、7、8 月份,因而泥石流的发生具有一定的周期性。

2 泥石流的形成条件及成因

2.1 地形与地貌条件

我国的地形呈明显的西高东低阶梯状分布,山

高沟深、沟床比降大、积水面积和流域面积便于水流的汇集。在地貌形态上,泥石流从上游到下游存在着形成区、流通区和堆积区,其流域面积的大小,形状和沟床比降引发泥石流的成因,一般有山坡型和沟谷型泥石流沟,但一些由于地震引发的泥石流却不同于上述分类,如汶川地震区文家沟泥石流,它是一种由强烈地震所引发的特殊泥石流成因模式。一般情况下,发生泥石流的流域面积不会太大,因为随着流域面积的增大,单位面积的固体物质补给量和流水汇集量都会减少,据甘肃省泥石流沟的统计资料表明,粘性泥石流沟的流域面积多在 50 以下,而稀性泥石流沟的流域面积多小于 400km,见表 1:

表 1 甘肃省 219 条泥石流沟的流域面积统计

流域面积 /km ²	<0.5	0.5~10	10~50	50~100	100~500	总计
条数	26	135	49	7	2	219
所占总条数的百分比/%	11.9	61.6	22.4	3.2	0.9	100

2.2 松散固体物质的补给

泥石流中固体物质是必不可少的部分,其来源主要是地表岩层破碎、破面侵蚀、地震、滑坡和崩塌等不良的地质现象,地震所引发的滑坡、崩塌和山体的松动为泥石流提供了先前的准备,如 2001 年 1 月 15 日在萨尔瓦多发生的地震,引发了大量的泥石流次生灾害,使得数百户人家和约 1200 人遇难,再如 2010 年 8 月 7 日发生的舟曲泥石流自然灾害,造成 1557 人遇难,流经区域被夷为平地,造成此次泥石流的有一部分原因是因“5.12”大地震后松

动了舟曲山体,出现了裂缝,变得极易垮塌,为泥石流的发生提供了潜在物质条件,加之不断的强降雨,形成了灾难性的泥石流。

2.3 水源条件

水既是泥石流的构成成分,又是其引发条件和搬运固体物质的介质,泥石流灾害一般发生在一次强降雨或持续降雨的之后,水的存在能够降低河谷周围岩体的抗剪强度,而且还增加了岩体的重度,一般来说,某地区虽已具备陡峭的地形地貌和松散固体物质来源,但若没有一定的暴雨或长时间的连续降雨,泥石流灾害是很难发生的。

2.4 人为因素

泥石流的形成不仅与自然因素有关,也人与人为因素有很大关系,由于人们在修建公路、铁路、桥梁、隧道和采矿等不合理的开挖以及随意堆积,破坏了山体固有的自然稳定形态,造成了泥石流,如云南省的东川至昆明公路的老干沟,由于修建公路,破坏了山体的固结稳定状态,最终引发了泥石流灾害,另有甘川公路的西水附近因不合理的堆集弃土、弃渣和石料等,在1974年7月18日发生了泥石流灾害,使得15座桥涵被淤塞,还有乱砍乱伐和过度放牧对自然不合理的开发和利用,造成植被和地表结构被破坏,加剧了水土流失,如甘肃省的白龙江河谷,原先植被茂盛、环境良好,但由于人类长时间的过度砍伐和开垦,如今不仅失去了原有的风貌,而且还变成了我国泥石流的多发区域。

3 泥石流的活动特点及危害

泥石流的发生具有明显的突然性,在一场强降雨或持续降雨中其随时都可能会被起动,其流速可达30m/s,若我们不及早采取相应的预防预测和防治措施,突然爆发的泥石流对山脚下的人和建筑物所造成的灾难是非常巨大的。泥石流的活动也存在着一定的季节性和准周期性,我国泥石流多发生于降雨量较多的夏季,同时地震和暴雨的发生也常伴随有泥石流,但一次泥石流发生过后,由于之前在沟内富集的松散固体物质被搬运到了山脚处,所以一般不会再发生较大的泥石流,但由于流水的再次不断冲刷,该沟又会重新积累新的松散固体物质,若再次遇到大量水源,则又会引发泥石流灾害,在这种情况下,人们对泥石流灾害的警惕性和预防意识会逐渐降低,若未采取合理的防治措施就搬回入

住,是极其危险的。

泥石流的发生常常是成群的、大面积的,这是由于同一地区的地形地貌具有很大的相似性决定的,泥石流爆发时能够携带大量的泥沙、巨大的石块和泥沙球,具有的能量非常巨大,所到之处常常会夷为平地。泥石流对交通设施的毁坏也很严重,可致运输中断,线路瘫痪,例如四川省曾发生的一次泥石流,造成成昆铁路利子依达沟的一座铁路冲毁,其时正值夜间,驶来的火车不知前面已经发生了泥石流,造成了很大的人员伤亡。泥石流也常常会淹没大量的农田和矿场。泥石流对山区的风景名胜区的危害,主要有九寨沟、华山、四姑娘山和崆峒山等。

4 泥石流的起动机理

泥石流的起动机理的研究是泥石流研究中最为核心的内容,泥石流起动机理的研究是一个艰难的过程,但随着研究的不断深入,人们建立了许多的理论模型,但由于影响泥石流起动的因素极其复杂,且存在着很大的不确定因素,试验模型研究与实际情况要做到一致还需要再不断地完善。

4.1 水泥石流的形成与起动

水石流的特点是含有的固体物质数量不多,大多由不均匀的是石块和砂砾构成,一般黏土质细粒含量小于10%左右,在我国的陕西华山、山西太行山等地分布较多,水石流的运动形式简单,为推移式运动。

相关研究表明,一般假定在水石流中完全没有参与悬移运动的细颗粒,则水、沙和石的混合物的运动图如图1所示:

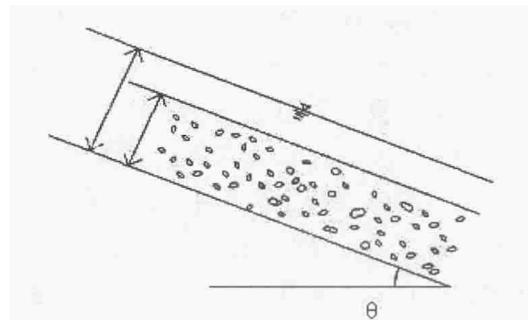


图1 水石流的起动原理图

在稳流下,驱动松散物质运动的剪应力为

$$\tau = [S'_{vm}(\gamma_s - \gamma)h' + \gamma h] \sin \theta$$

式中: θ 为泥石流沟道倾角; h' 为粗颗粒进行层移运动时的层移层厚度; h 为流深; S'_{vm} 为层移层的平均

体积比浓度; γ_s 为固体容重; γ 为清水容重。

层移运动的阻力:

$$\tau_i = [S'_{vm}(\gamma_s - \gamma)h'] \cos \theta \tan \alpha \tau_f$$

式中: $\tan \alpha$ 为颗粒间的宏观摩擦系数, $\tan \alpha = \frac{\tau_p}{P_p}$; τ_p, t_p 为颗粒离散剪应力; P_p 为法向离散压力。一般地, 当层移固体的浓度变得很高时, t_f 相对于固体物质的输移阻力会很小, 可以忽略。

当 $\tau \geq \tau_f$ 时, 即水石流中驱动剪应力超过运动阻力, 就会发生稳定的水石流, 可得水石流的起动条件为:

$$\tan \theta \geq \frac{S'_{vm}(\gamma_s - \gamma) \tan \alpha}{S'_{vm}(\gamma_s - \gamma) + \gamma (h/h')}$$

其中 $\tan \theta$ 为水石流起动的临界坡度。

通过上式可知, 当 S'_{vm} 和确定后, $\tan \theta$ 只与 h/h' 有关, 其中 $\tan \alpha$ 值与颗粒的形状和浓度有关, 浓度越高, 则颗粒间接触面积越大, 其值也就越大, 反之亦然。Bagnold 通过同心转筒试验测得的范围大致在 0.32~0.75 之间。

对于含有一些细颗粒水石流的起动条件为:

$$\tan \theta \geq \frac{S'_{vm}(\gamma_s - \gamma_f) \tan \alpha'}{S'_{vm}(\gamma_s - \gamma_f) + \gamma_f (h/h')}$$

式中: γ_f 为水与细颗粒组成的悬液容重; $\tan \alpha'$ 为含有细颗粒的摩擦系数; 其余意义同前。

泥石流的分类方案很多, 除过水石流型泥石流以外, 还有泥石流型泥石流以及泥流型泥石流, 由于它们各自的组成成分, 颗粒含量以及流动形态有所差异, 模型的简化与建立也各异, 因而起动条件和方程也各自不同, 在这些方面的理论研究仍需进一步深入。

4.2 泥石流的流量

衡量泥石流发生的大小和强度的一个重要指标就是它的流量, 泥石流的流量是由清水流量和固体颗粒流量构成, 泥石流流动过程中的流量会随沿途冲淤和地形的变化而变化, 在泥石流的流动过程中会不断的卷入沟谷中散集的固体物质, 固体物质的流量会不断增大, 若到达下游时没有发生淤积, 此时泥石流的流量可能会增大到清水流量的几倍之多, 这对下游建筑物的破坏是非常巨大的; 若下游发生了淤积, 由于固体物质的不断淤积, 沿途流量反而会减少, 因此流量的研究和控制对泥石流的

防治工程至关重要。

泥石流的平均流量: $Q_c = Q_b + Q_s$

式中: Q_b 为清水流量; Q_s 为固体颗粒流量。

$$Q_c = Q_b \left(1 + \frac{Q_s}{Q_b}\right) = Q_b \left(1 + \frac{S_v}{1 - S_v}\right) = Q_b \left(\frac{1}{1 - S_v}\right)$$

S_v 为固体体积比浓度; Q_b 可通过有关水文手册查算。

有时候仅知道泥石流的平均流量是远远不够的, 因为当泥石流的流量不能继续克服流动过程中产生的阻力时, 泥石流便会不断积累下来, 此过程称为阵流, 当泥石流积累的一定程度时会突然向下流动, 即为最大流量:

$$Q'_c = Q_b \left(\frac{1}{1 - S_v}\right) D_c, \quad D_c = \frac{Q_c}{Q'_c}$$

式中: Q'_c 为泥石流的最大流量; D_c 为阻塞系数。

5 泥石流工程防治措施与设计

5.1 泥石流的预测预报

泥石流的预测预报是减灾的重要举措, 做到“治病与未乱, 治乱与未乱”是很难的, 但同时安全和经济效果又是最佳的, 判断法是一种较为简单的预测方法, 在崔鹏等人的研究中, 可以看到, 将起动条件曲面 S_c 投影到 θ - C 平面, 如图 2 所示, 据此图可以大致地判断出一个沟谷能否形成泥石流, 如图所标 A、B、C 三个区域, 处在 A 区域, 不满足泥石流起动的条件; B 区域具备引发泥石流的条件; C 区域无泥石流的起动问题, 对于一些沟谷还需经过计算预测, 在计算之前首先应调查沟谷泥石流的有关地形、地貌和水量的参数, 对其建立数字化的管理, 尽量做好对泥石流灾害的预测预报。

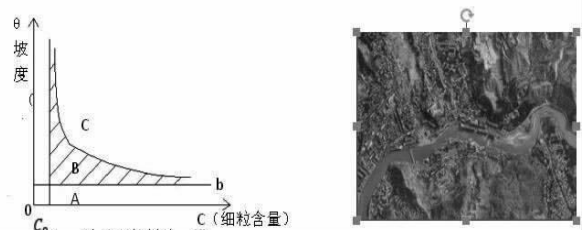


图 2 S_c 投影到 θ - C 平面

5.2 泥石流治理的拦挡工程

泥石流的防治首先应明确防治对象属于哪一类, 如对风景区泥石流防治会不同于一般的泥石流治理, 因为风景区不仅要保障旅游设施和人员生命的安全, 同时也应尽可能的地确保景观的原貌不

变,以及周围景观的协调一致。

拦挡工程一般的作用是拦蓄山洪,以及泥石流携带的粗颗粒固体物质,同时具有排泄细沙和水的的功能,以减少泥石流对下游的危害。拦挡工程的设立位置和库容要合理,吴积善等人曾提出一种经验的方法来确定,见表 2。

表 2 经验折算系数 K 的取值范围

坝高/m	稀性泥石流	粘性泥石流
3~5	0.70~0.75	0.75~0.95
5~10	0.60~0.70	0.70~0.90
>10	0.50~0.60	0.60~0.85

泥石流的拦挡回淤纵坡坡降: $I_k=KJ$;

式中: I_k 为拦挡回淤纵坡坡降; J 为沟床原始纵坡坡降。泥石流拦挡工程有许多结构,如拦沙坝、格栏坝等,格栏坝相比传统的拦沙坝,具有拦排兼备的作用,不仅拦截了大块石头,减轻了泥石流对下游的危害,而且还增加了对泥石流拦挡的频次。格栏坝设计中最重要就是确定梁间间隙,因为间隙太大,则对大石块的拦挡作用不佳,而间隙太小,对排疏细颗粒的能力不强,相似于拦沙坝,在有关研究中有: $h=(1.5\sim 2.0)d$,此中 h 为梁间间隙, d 为现场进行调查和统计之后的拦挡石块的粒径,一般可取 40cm,郑国足、王秀丽等研究出了一种带弹簧支撑的新型泥石流拦挡坝,由于弹簧的耗能作用,它与普通的坝相比,其支座反力会明显减少,约为 3/4 左右,具有良好的抗冲击效果,并且试验过程中发现前坝被破坏,但后坝却基本保持完好,能够正常发挥对泥石流的拦挡作用,故对拦挡坝结构的研究和设计是减少泥石流灾害的一种有效途径。

5.3 泥石流排导工程

排导工程按照不同的治理类型,有相应的工程措施,如排导槽、防冲肋板、明洞、导流堤、丁坝等,其中排导槽是应用最多的,排导槽一般经常设置在下游区段的堆积段,如武都地区火烧沟是泥石流灾害的常发区,通过布置在堆积扇上的排导槽,有效地保护了甘川公路。在排导槽的设计应注意保证其有足够的过流断面和纵坡,而且纵坡对其冲刷淤积的影响较为严重,铁路调查部门表明,一般工程治理效果最佳的纵坡范围为大于流通段纵坡的 80%左右。

5.4 泥石流工程措施的综合治理

泥石流的治理选择方案时,往往不是单一地选

取一种工程措施,而是与其他措施相互结合,合理地实施泥石流的治理,对流域面积比较大的泥石流地域,常采取“拦、移、排”相结合的综合治理方案,力求达到防治的最佳效果。

6 泥石流防治的生物措施

泥石流防治的生物措施是通过种植一定量的植被,充分发挥植物的滞留降水、调节径流、保持水土等作用来达到防治或减少泥石流灾害,要依据泥石流灾害发生的沟谷条件,成因和特点等,并结合当地的植被生态和社会经济情况,做出符合实际的治理措施,其应量保持与当地周围环境相互协调一致。

7 结束语

目前,我国对泥石流的研究和防治已经具备了一定的水平,形成了良好的综合治理模式,但是由于泥石流作为一种自然现象,存在着许多的不确定因素,大多时候仍是处于半理论半经验的设计阶段,这必然导致了对泥石流的防治上会存在许多的不足和疏漏,不同区域的泥石流形成条件和起动机理差别会很大,不同的防治对象应采取不同的防治措施,在泥石流的防治中应做到预测预报为先,工程防治措施与生物防治措施相互结合、协调统一地实施,做好泥石流的防灾减灾工作,为人类的生命财产安全等做好保障。

参考文献:

- [1] 中国科学院兰州冰川冻土研究所,甘肃省交通科学研究所.甘肃泥石流[M].北京:人民交通出版社,1982.
- [2] 吴积善,康志成等.云南蒋家沟泥石流观测研究[M].北京:科学出版社,1990.
- [3] 钱宁,王兆印.泥石流运动机理的初步探讨[J].地理学报,1984.
- [4] 费祥俊,舒安平著.泥石流运动机理与灾害防治[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 崔鹏.我国泥石流防治进展[J].中国水土保持科学,2009.
- [6] 崔鹏,柳素清,唐邦兴等著.风景区泥石流研究与防治[M].北京:科学出版社,2005.
- [7] 郑国足,王秀丽,张守丽.带弹簧支撑的新型泥石流拦挡坝抗冲击性能研究[J].防灾减灾工程学报,2014.
- [8] Bagnold R A. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid sphere in a Newtonian fluid under shear. Proc R Soc. London, Ser A. 1954
- [9] 吴积善,田连权,康志成,等.泥石流及综合治理.北京:科学出版社[M].1993.