

长江流域外动力地质现象发育规律初探

熊道锷 陈喜昌

(地质矿产部成都水文地质工程地质中心)

长江流域范围辽阔,人口众多,经济发达,工程设施密集,是我国国土开发的重点地区之一。强烈而频繁的人类活动,稍有不慎就可诱发大量的外动力地质现象。因此,研究长江流域外动力地质现象的发育规律,为制定防治措施提供理论依据,是一个十分重要的课题。本文在地质矿产部成都水文地质工程地质中心主编的《长江流域地貌及外动力地质现象图》及其说明书的基础上,提出我们的一点粗浅认识。

外动力地质现象因其发生在地壳浅层,并经常受到外营力的作用而得名。所以也有人称之为“表生地质现象”、“外生地质现象”或“外成地质现象”,等等。其实,就产生外动力地质现象的动力而言,有时与内营力的关系更为密切。尤其是它们的区域分布状况,明显地受地质构造和新构造运动控制,故常与内动力地质现象的发育范围相一致。

长江流域的构造条件十分复杂,差异也很大。其西部断裂稠密,主要展布青藏“歹”字型构造、龙门山华夏式构造及康滇经向构造,新构造运动主要表现为强烈的差异性断块抬升,且地震

产品外运,主要靠水运。目前3,000吨船队从上海直达重庆,三峡水库建成后,可以改善川江航道的通航条件,但是按目前拟建中的150米低坝方案,仅仅改变大坝以上400公里的航运条件,在200多公里的回水变动区内有半年经常处于自然状态。随着回水区泥沙的淤积,河床抬高,在回水段内的航运条件不但不能得到改善,反而恶化,位于回水区的重庆港将变为死港,其结果必然阻碍西南经济发展。如果按180方案建坝,川江航道600—700公里的河段得到改善,回水段在重庆以上30公里处。由于重庆位于长江和嘉陵江的汇合处,嘉陵江多年平均输沙量为1.67亿吨,居长江水系之首。近年来,嘉陵江上游水土流失加剧,含沙量增加,虽然180方案在建库初期,重庆以下航道暂不会淤积碍航,但在水库运行若干年后,回水变动区的泥沙淤积,不仅向上游延伸,而且向大坝推进;不仅影响嘉陵江的航道通航和重庆

以上长江干流的通航,同时还会阻塞重庆以下的航道,重庆港区的淤积也会加剧。这也是值得注意的大问题。

三峡工程是关系到我国四个现代化的大事,用科学态度合理利用资源,发挥最大的综合效益,是修建三峡工程的基本原则。为此,必须对长江的水利资源开发利用制订出符合实际的开发方案。去年,我们在三峡考察中,有关部门曾提出先支流、后干流的开发方案,把长江的泥沙来源拦截在上游支流上,减少三峡水库的来沙量,延长水库的使用寿命。为了提高水库的综合效益,应该放弃低坝方案,而是采用190或200的高坝方案,在经济上是合理的,技术上也是可行的。如果目前因我国财力所限,可以等它一段时间,等有条件时再上马。这些建议望有关部门考虑采纳。

(转自《科学报》1986年5月31日第680期)

频率高、震级大；中部除南北缘为纬向构造外，主要分布新华夏构造，新构造运动主要表现为褶皱隆起，活动性较弱；东部在经历了印支期、燕山期以及喜马拉雅早期的强烈构造变动之后，长期处于掀斜沉降状态。不同的构造条件和新构造运动强度，既造成了地貌类型和气象条件的巨大差异，也影响到地层的出露与分布。西部以高山峡谷和高原浅谷为主，气候干寒，出露地层以变质岩最广；中部以中低山峡谷、宽谷为主，气候温润，碳酸盐岩及红色砂泥岩出露较多；东部以丘陵、平原宽谷为主，具湿热的海洋性气候，并有大面积的松散沉积分布。地貌、气象和岩性的差异，自然又会对外动力地质现象的形成产生重大影响。所以归根到底，外动力地质现象的类型、发育强度和区域分布规律(包括分布区域、地段和位置)等，均与地质构造及新构造运动密切相关。

一、新构造运动控制了各类外动力地质现象的主要分布区域

上新世以来的地壳运动，除加剧了原有褶皱的变形、断裂的活动和产生新的不连续结构面之外，并由于近代的地震活动和强烈的抬升造成的强烈侵蚀，还可为外动力地质现象的发育提供动力条件。新构造运动的方式和强度不同，外动力地质现象的发育类型也不同(见图1和图2)。

在流域西部的江源地区，新构造运动使其整体抬升到海拔4,500—5,000米以上，形成了玉树以西及石渠—康定以北的高原区和雀儿山、贡嘎山等高山和极高山区。由于地势愈高，气候愈加干寒，使不少地区甚至终年积雪，因而冰川、冻融和寒冻风化作用均较强烈。

流域西部的高中山区、中部的秦岭—大巴山区以及武当山—武陵山区，新构造运动的上升幅度较大，常形成河流强烈下切的高、中山峡谷地形。由于山高坡陡，河流纵坡降大，气候多变，降雨丰沛(年降水量大都在1,000毫米以上)且多暴雨，加之断裂发育、岩体破碎、河谷深切，具有产生滑坡、崩塌的介质条件和临空条件，也具有暴发泥石流和产生严重水土流失的固体物源和地形条件以及水源和水动力条件。因而，流域内体积在100万立方米以上的大型滑坡、崩塌、泥石流，和年侵蚀模数在700吨/平方公里以上的水土流失范围，几乎都集中在这三个区域。据统计，这三个区的滑坡、崩塌和泥石流强烈发育带占全流域的96.9%，推测的强烈发育带占90.9%(见表1)。

流域中部和东部，在新构造运动表现为间隙性上升且幅度不大的碳酸盐岩褶皱区，气候温湿，降水较多，岩溶作用强烈。在一些岩溶盆地、岩溶槽谷及沉降区的边缘，因溶洞之上覆盖层不厚，在人工抽汲或疏排地下水时，极易产生岩溶塌陷。

表1 长江流域滑坡、崩塌和泥石流强烈发育带分布状况

地 区	强 烈 发 育 带		推 测 的 强 烈 发 育 带	
	个 数	占总数的%	个 数	占总数的%
西部高中山区	20	62.5	7	63.6
秦岭—大巴山区	7	21.9	3	27.3
武当山—武陵山区	4	12.5	0	0.0
其它地区	1	3.1	1	9.1

流域东部的构造运动，表现为掀斜沉降。长江在切穿隆起的巫山山脉之后，便进入沉降区——长江中下游平原。由于河水流速骤减，水流的携带能力迅速降低，泥沙大量下沉，造成了河湖的严重淤积；尤其是现代构造运动强烈下降的地区，淤积问题更加突出。如江汉平原的现代构造运动下降速度为6.4—12.5毫米/年，造成荆江河段、汉江下游和洞庭湖区严重淤积。仅洞庭湖的

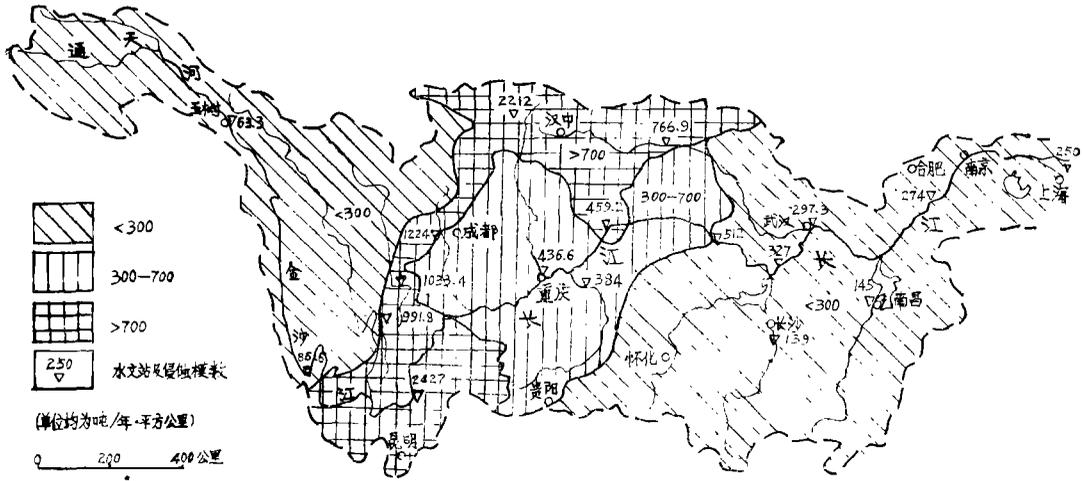


图2 长江流域水土流失分区图

淤沙量就达1.61亿吨/年。在长江下游的湖口—镇江段，新构造运动表现为左岸强烈下降，使河道向左岸弯曲。由此形成的横向环流对左岸产生强烈侧蚀，造成左岸严重坍塌，其坍塌长度为右岸的2.5倍左右。在沉降区东缘的长江三角洲，沉积了厚度较大、压缩性较好的松散堆积层，地面沉降十分严重。如上海的最大地面沉降量达2,629毫米，苏州达761毫米，无锡达800毫米，等等。

综上所述，不同类型的外动力地质现象的区域分布及其发育程度，普遍受新构造运动制约。

二、构造复合与转折部位，往往是外动力地质现象的强烈发育地段

新构造运动控制了外动力地质现象的发育区域，软弱结构面的发育程度则进一步控制着外动力地质现象的发育地段。它对外动力地质现象强烈发育带的形成，起着决定性的作用。在新构造运动方式和强度基本相同的区域内，构造复合部位或转折部位由于岩体结构遭到强烈破坏，可在几个方向发育大量的不连续结构面，因此更易形成滑坡、崩塌、泥石流和水土流失等外动力地质现象。如北西向“歹”字型构造、北东向龙门山构造和康滇经向构造复合的康定—汉源—雅安一带，便是流域内滑坡、崩塌、泥石流等最为密集的地区之一。武陵山新华夏构造与大巴山弧形构造交汇的三峡地区，在200公里长的长江两岸发育了60多个滑坡和崩塌。仅体积在1,000万立方米以上的就有9个，其中在北东 10° — 25° 的九湾溪断裂与北西 20° 的仙女山断裂交汇带内，岸坡岩体更加破碎，节理裂隙纵横交错，致使新滩—黄崖一带崩塌、滑坡频繁发生。1931年黄岩崩塌波及江段约12公里；1981年11月和1982年3月广家崖连续发生两次较大的崩塌；经过斜坡上部的不断加载及地下水等作用，终于导致了1985年6月12日体积达3,000万立方米的新滩大滑坡，将大约200万立方米的土石推入长江，造成了巨大的损失。

岩体破裂结构发育程度不同，抗风化性能也各异。不连续结构面发育、疏松破碎的岩体较易风化，如三峡三斗坪的花岗闪长岩及丹江口水库右岸的辉长辉绿岩，在断裂及其交汇部位均形成风化深槽，深者可达60—92米，而川中水平岩层中较完整的砂岩，风化厚度仅有2—5米。通常，断裂破碎带的风化厚度一般超过同种岩体正常风化厚度1倍以上。

岩石结构与岩溶塌陷的发育也有密切的关系。流域内70%以上的岩溶塌陷都发育在质地较纯、结晶较好的石炭系—三叠系中厚层灰岩及白云岩中。尤其是断裂交汇部位，不连续结构面发育、地下水交替强烈、岩溶洞穴较多，为岩溶塌陷创造了前提条件。鄂西南和大巴山裸露型岩溶区的大量调查资料证实，溶蚀洞穴也多发育在断裂交汇带。在祁阳“山”字型构造与新华夏构

造复合的涟源、零陵和黔西“山”字型构造与南岭纬向构造复合的水城等地，岩溶塌陷也都十分发育。

三、软弱结构面与临空面的配置关系，决定了滑坡、崩塌和泥石流等外动力地质现象的发育位置

说到底，滑坡和崩塌产生与否，取决于软弱结构面的性质及其与临空面的配置关系。只有具备了临空条件，岩体才有可能沿软弱结构面产生崩塌和滑坡。一般说来，在与断裂及岩层走向一致的顺向河段，岸坡较难稳定。如长江奉节—涪陵段多为顺向河段，在长340公里的长江两岸产生滑坡、崩塌120多个，其中大于1,000万立方米的达21个；而涪陵—重庆段为横向河段，虽然穿过的地层仍为沙溪庙组砂泥岩，且同在川东平行褶皱带内，但在长120公里的长江两岸仅有滑坡、崩塌23个，体积最大的也只有306万立方米。川东前河渡口岩以上的古生界碳酸盐岩夹砂页岩区，在蓼子口上游为顺向河段，滑坡、崩塌发育，其中桃园坪滑坡的体积在1,000万立方米以上；而蓼子口下游至渡口岩为横向河段，虽然所穿过的地层、构造条件大体一致，且地形比蓼子口上游更加陡峻，河流切割更深，却未见岸坡有大的崩塌和滑坡。

除了不连续结构面的方向与河谷切割方向的关系之外，软弱结构面的倾向和倾角与斜坡方向及坡角的关系，对滑坡、崩塌的形成也有决定性的意义。在顺向坡，当软弱结构面的倾角大于其内摩擦角而又小于地形坡角时，前缘常常临空，在抗滑阻力不足以阻止岩体下滑时便形成滑坡。如雅砻江金河—南坝一带顺向河段的顺向坡，由上三叠系白果湾组砂页岩组成，岩层倾角 30° — 40° ，滑坡沿页岩层面发育。该河段产生的滑坡，仅体积在10万立方米以上的就有157处，其中100万立方米以上的10处。前河上游与岩层走向一致并与乱石坝断层并行的顺向河段，其左岸的桃园坪顺向坡，滑坡沿倾角为 35° — 47° 的寒武系页岩面滑动，体积大于1,000万立方米。四川云阳鸡扒子滑坡，发育在侏罗系蓬莱镇组砂页岩中，岩层层面倾角自上部的 40° 渐变至下部的 10° 且倾向长江，滑坡体积达1,500万立方米。铁道部第二设计院在研究成昆铁路红层区的滑坡后认为，其顺向坡岩层倾角在 10° — 30° 时，最易产生滑坡。当软弱结构面倾角大于坡角时，前缘可能已插入地下而失去临空条件，边坡反而比较稳定，而倾角过陡时则易翻倒，形成崩塌，如湖北房县五谷庙公路左侧的武当片岩，岩层倾角达 70° 以上，形成了大规模的崩塌；湖北巴东杨家棚顺向坡的二叠系灰岩，倾角 80° ，形成体积达290万立方米的崩塌。

综上所述，外动力地质现象的分布区域、地段及具体位置，都严格受构造因素的制约，具有明显的规律性，因而可作为预测未知区外动力地质现象分布状况的多层次判据。

四、现代构造运动对外动力地质现象的诱发作用

构造运动不仅控制了外动力地质现象的分布区域、地段和位置，而且还常常是决定其发生时间的诱发因素。长江流域近代无火山爆发，也未发现“火山洪流”、“火山泥流”等遗迹。因而构造运动对外动力地质现象的诱发方式主要表现为地震。强烈的地震波常常引起岩体位移和砂土液化，造成滑坡、崩塌、泥石流和岩溶塌陷，等等。如1933年8月25日岷江迭溪7.4级地震，诱发了大量的滑坡和崩塌，其中较场坝大滑坡的体积达1.5亿立方米，堵塞岷江，形成了大小海子；1973年2月6日炉霍7.9级地震，触发了137个滑坡，总体积达230万立方米；1976年8月16—23日松潘—平武地震，也诱发了大量的滑坡、崩塌及其后来的泥石流。

通过对外动力地质现象发育规律的讨论，使我们认识到：人类在进行工程建设和其它触及地表的经济活动时，必须了解外动力地质现象发育的客观规律，才能进行有效的预测和防治；否则被触发的外动力地质现象将给人类造成巨大的损失。近几十年，随着人类活动的增强，在浅覆盖的

观音岩滑坡险情告急及防治途径

刘新民 颜可芬

(中国科学院成都地理研究所 成都科技大学水利系)

1982年7月27—28日,川东南地区普降暴雨,江河水位陡涨,出现了历史上罕见的洪涝灾害。与此同时,沿江河溪流两岸,多处发生地裂、山崩、滑坡、泥石流等,给当地人民的生命财产带来巨大损失。有些地段迄今留下隐患,有可能进一步恶化,酿成重大灾害。当前急需查清,提出切实可行的措施,防患于未然。

本文以观音岩滑坡险情为例,重点论述滑坡形成的自然地质环境;滑坡基本特征及成因;探讨滑坡险情及危害;并对滑坡防治途径进行对比取舍,供决策参考。

一、观音岩滑坡形成的自然地质环境

观音岩滑坡位于川东南黔江盆地出口的观音岩峡谷段,上游距黔江县城1.5公里。峡谷海拔550—800米,相对高差250—300米。峡谷长0.5公里,谷坡分上下两部分:上部为相对高差约100米的垂直峭壁;下部为缓坡,其中左岸天然坡度 18° — 22° ,右岸稍陡,约 25° — 28° 。整个河谷形态似大“U”型谷套小“V”型谷。

岩溶区抽取和疏干地下水,或在覆盖层上修建厂房和架设桥梁等,都曾经引起过大量的岩溶塌陷而招致工程失败;大范围内过量抽取地下水而降低地下水位,或水库蓄水加载,均可造成地面沉降;铁路和公路开挖边坡引起的大量滑坡、崩塌,岸边采矿引起的山崩,修建水渠引起的滑坡,以及矿渣堆放不当引起的泥石流等,也与日俱增。如成昆铁路在牛日河、孙水河一带的顺向坡(或顺断裂破碎带)开挖的人工边坡,在施工和运营中曾多处产生滑坡,甚至造成铁路改线或运营中断。四川龙泉山一带的都江堰主渠道正好与龙泉山断裂带并行,由于渠道开挖和长期渗水产生的多处“渠道滑坡”,也是久治不愈。尤其是在强烈褶曲、断裂等构造破碎地段,渠道病害极为严重。如人民渠第七期主干渠中长33公里的中上段,因沿合兴乡断裂展布,产生滑坡69处。沿渠分布总长度达14.95公里,几乎占渠道总长的一半。在雅砻江上游,由于古滑坡上的渠道渗水,在1967年发生了体积达6,800万立方米的唐古栋滑坡。湖南柘溪水库,蓄水不久便在库岸的顺向河段发生了165万立方米的大滑坡。与之相反,湖北温峡口水库由于建在横向河段,尽管坝址紧靠断层,建成之后发生过坝基渗漏等其它工程地质问题,但坝肩及库岸却比较稳定。因此,我们可根据天然条件下外动力地质现象的发育分布规律,因势利导,避免人为造成类似条件。也就是说,首先应当在工程选址和选线中避开具备外动力地质现象发育条件的区域、地段和位置,少用或不用可能诱发外动力地质现象的设计方案或施工方法;不得已时,也应预先采取必要的防护措施。