

泥石流活动性的一种判别方法

兰州大学 艾南山 张林源 晁廷全

一、引言

在地球表面进行的地貌过程,是受制于两种营力的作用,即内营力和外营力。从地球动力学的角度去研究地貌过程,应十分重视营力的问题。泥石流、滑坡、崩塌等工程地质病害,也可视为由一定的地貌过程组合形成的地貌现象,它们同样受制于内外营力的作用。但过去研究这些病害时,却常常只注意了外营力,而忽视了内营力的作用。当然,在研究这些病害时,也注意到地质构造、岩性等因素,但这只是作为边界条件或初始条件;而对内营力本身则几乎没作什么考虑。内营力对泥石流等的作用问题,是一个新的课题。从不多的研究结果表明,在有些时候,它的作用是不应忽视有时甚至是不应低估的。

内营力是由深部的地球动力学过程引起的,源于板块构造作用,在地表就表现为构造应力场。尽管对板块的形成机制,还是一个尚待进一步阐明的问題,但就其地表的作用来讲,我们关心的问题只是确有板块存在,继而由于板块间相互作用形成了构造应力场。

本文拟从构造应力场对泥石流等工程地质病害的作用出发,研讨泥石流活动性的一种判别方法,以期对铁路、公路选线和判定边坡稳定性等问题,提供一种宏观判据。

二、新构造应力场的主应力方向和应力场活动强度的估算方法

地球动力过程的主要表现是它产生了构造应力场,对现代地球动力过程来讲,就是新构造应力场。沙伊德格尔的对抗性原理指出,内外营力是同时作用的;内外营力的特点是不同的。根据前者,我们可以用量测外营力作用强度的方法,来估量内营力,从而得出内外营力对抗作用的强度;而根据后者,我们可以用数学的方法:区分内外营力,同时分析构造应力场的特点。也就是说可以用较简便方法,研究构造应力场的特点和活动强度。

直接测量应力场各分量的绝对值,虽然不是不可能的,但要独得可信的结果,耗费是很大的。而根据内外营力的不同特征比较简便的,可用数学方法区分出内营力作用的痕迹,据这些遗迹的方向,至少可以了解应力场部分的,但也是很重要的特征:主应力的方位方向。我们在研究武都及其邻区的新构造应力场时,就是用的这种方法。

过去我们所进行的大量研究已证明,河流展布、节理、地震断层、等等都受到构造应力场的作用,而它们在方向上的系统性,正是构造应力场作用的结果,其优势的方位可以认为是新构造应力场的剪切现象。因而,只要找出了一组共轭的剪切面,就不难求出构造应力场的主应力的方向。

现有三类方法,可以计算出剪切面的方向,它们是;

1) 科尔贝一沙伊德格尔方法,是一种统计的参数估计方法。它是选用形式为 $A \cdot \exp(K \cdot \cos^2 a)$ 的理论分布函数,用最大似然法,通过函数极值运算,寻求最佳“平均”方向,这些“平均”方向,在一般情况下,就是我们所要求的剪切面方向。但这种方法,由于程序浩大,一般计算机上难于实现。

2) 两种替代的较简便计算方法:

为了克服科一沙法的弱点,近年在兰州大学研究出了两种精度既高,运算又较简便的计算方法,它们都能在一般微型计算机上实现。这两种方法,一是密集度方法,一是等密图方法。

3) 非参数估计,直接在方向分布的玫瑰图上,找出最大值,即是优势方向。这种方法是简单的,但有时也是有用的。如在研究巴基斯坦的水系和新疆伊犁盆地水系时,由水系的优势方向来反推新构造应力场主应力方向,获得了较满意的效果。

至于判定新构造应力场活动强弱,或内外营力对抗作用强弱,可以用斯揣勒 ($A \cdot N \cdot Strahler$) 设计的流域面积—高程曲线。这个曲线本来是用来表示戴维斯的地貌发育期的,流域的面积—高程曲线的形状,即凸形、接近直线、凹形等,分别对应地貌发育正处于青年、壮年和老年。这个曲线的作法是:在流域等高线图上,量出每一条等高线以上的面积(设为 a),求出每条等高线与流域最低点的高差(设为 h),又设全流域的面积为 A ,流域内最大高差为 H ,则以

$$x = a / A, \quad y = h / H$$

为横坐标和纵坐标, x, y 均在 $(0, 1)$ 范围内取值,是无因次变量。曲线

$$y = f(x)$$

即面积—高程曲线。

后来,人们进一步对上述曲线进行积分,

$$I = \int_0^1 f(x) dx$$

(I 的取值在 0 和 1 之间)。用 I 值来定量解释地貌的发育期:

$$I > 0.6 \quad \text{幼年期}$$

$$0.35 \leq I \leq 0.6 \quad \text{壮年期}$$

$$I < 0.35 \quad \text{老年期}$$

根据对抗性原理,“幼年”、“壮年”和“老年”并不表示地貌形态发育的各个阶段,而是表示对抗作用的强弱。大致还可以作这样的估计:所谓“幼年”期,隆升速度大于 1 mm/年,而“老年期”隆升速度大大小于 0.1 mm/年。“壮年期”界于其间。

三、在铁路、公路建设中的应用举例

新构造应力场主应力方向的确定,可以判定区域沟道边坡的稳定性,这对宏观的铁路选线显然是值得考虑的。若铁路线(公路线亦然)垂直于区域应力场主压应力方向,而边坡又陡时,那么就容易出现滑塌,而沟谷垂直于主压应力方向,沟谷两壁滑塌严重,又可能易于形成泥石流。

傅传元在研究铁路线方向时发现,福建鹰厦线一些线路,伸延方向为 NNE ,铁路边坡滑塌严重,他对这一发现的解释是归于 NE 走向的华夏系作用。我们曾研究过东南沿海的新构造应力场,在研究地区的东部区(福建即属于此区)的新构造应力场主压应力方向为 111° (由水系资料计算)或 103° (由地震断层面解资料计算),即 SEE ,刚好与 NNE 方向伸延的铁路线垂直。因为铁路线垂直于新构造主压应力方向,因而边坡相对更为失稳,岩体破碎,有利于滑坡的形成,并为泥石流的形成准备了更多的疏松碎屑物质。

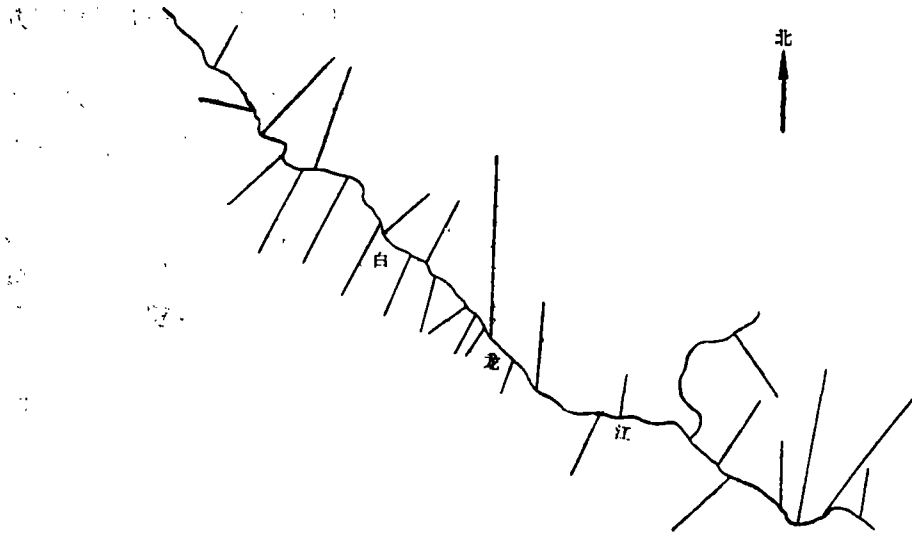


图1 甘肃省武都白龙江及其泥石流支沟的“折线化”图

甘肃武都地区白龙江流域,泥石流危害是十分严重的,沿白龙江经过的甘川公路,在泥石流经常爆发的季节,不时阻断,成为公路交通的最严重病害之一,为了探求这里泥石流爆发频繁是否与构造应力场有某种联系,我们用统计分析方法分别研究泥石流平均沟道方向与区域新构造应力场平均主应力方向。图1是武都白龙江及其泥石流支沟的“折线化”的图,它是将水系图用直线联结相交点和端点而成,然后测各线段的方向和长度,以长度作权重,绘出泥石流沟的方向玫瑰图(图2),由图可知,泥石流沟的优势伸延方向为 113° 。而沙伊德格尔(A·E·Scheidegger)和艾南山,在武都及其附近共量测13个点测得岩石节理产状226个,在维也纳技术大学计算中心用科尔贝克(Kohlbeck)—沙伊德格尔方法,求出节理的两个优势面方向为

$$\text{Max I: } 82^\circ \pm 9^\circ / 89^\circ \pm 7^\circ$$

$$\text{Max II: } 164^\circ \pm 9^\circ / 85^\circ \pm 7^\circ$$

两面夹角为 82° ,求得区域新构造应力的主压应力方向为 $33^\circ / 3^\circ$,主张应力方向为 $303^\circ / 4^\circ$,主压和主张应力接近水平。图3是这些节理的等密图。

比较主压应力方向和泥石流沟的平均方向,互相是接近垂直的,这样泥石流沟壁稳定性差,容易滑塌,为泥石流提供更多的疏松物质。这可能是这一地区泥石流危害特别严重的一个原因。

而研究泥石流等铁路、公路工程地质病害的区域差异,斯揣勒曲线不失为一种定量指标。

1984年夏季,笔者之一(艾)参加了甘肃省天水、武都两地区公路水毁的调查;从武山往天水至武都,从陇中黄土高原到西秦岭山地,1984年夏季公路水毁虽然普遍,然而不同地区其性质和规模却有差别;黄土高原滑坡和泥石流远不及秦岭山地严重,而武都地区白龙江流域泥石流特别是水石流和滑坡较天水地区秦岭山地远为发育,大规模的泥石流在白龙江流域经常发生。即由北往南,由天水往武都,泥石流、滑坡等活动的强度增加。对于上述三个不同区域,由北往南,我们选了渭河、党川河与西汉水,白龙江这四个流域作了斯揣勒曲线分析。结果是有趣的二条流域的I值也是由北往南增加,与灾害强度增加的趋势是一致的。

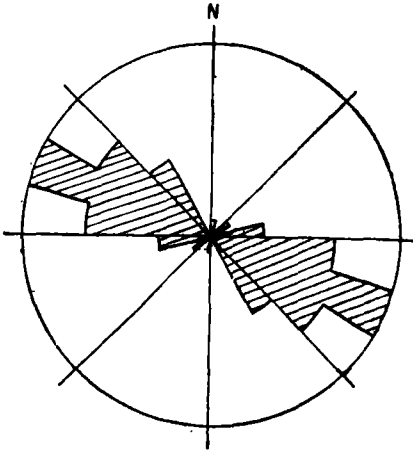


图2 武都地区泥石流沟的方向玫瑰图

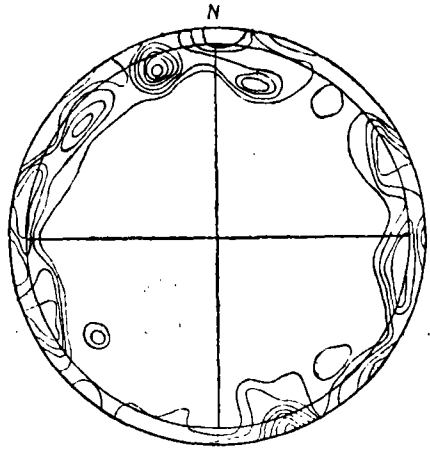


图3