

文章编号: 0451-0712(2006)02-0164-04

中图分类号: U418.5+6; P426.63+6

文献标识码: B

公路雪崩危险度评价的程序和方法

刘健¹, 李亮², 邓涛³, 田伟¹, 刘兰¹

(1. 新疆交通科研院 乌鲁木齐市 830000; 2. 新疆交通厅质检站 乌鲁木齐市 830000; 3. 塔城公路总段)

摘 要: 公路雪崩是多雪地域积雪较厚的山坡上发生的一种自然现象。由于其突发性, 常常造成生命和财产损失。因此, 研究雪崩, 对减少灾害具有非常重要的意义。公路雪崩危险度评价是雪崩研究的一个重要方向。在提出“积雪单元”概念的基础上, 将公路雪崩危险度评价分为区域雪崩危险度评价和点位雪崩危险度评价。从发生学角度论证了公路雪崩发生危险度评价的参评因素和指标体系。详细论证了两类评价各自的特征、操作性评价程序和方法。

关键词: 公路雪崩; 危险度; 雪崩危险度评价

公路雪崩危险度评价是雪崩研究的一个重要方向。多雪国家对此非常重视。如俄罗斯雪崩研究历史长, 雪崩危险评价形成了自己的一些独特方法等, 在评价西外高加索山地的积雪及雪崩状况时, 根据积雪厚度、雪崩发生次数、有雪崩危险的降雪次数和降雪的最大强度将其分成7种类型并制图。这些评价紧密结合当地实际, 从而直接为建设服务。然而, 在评价方法上, 虽然各国各地的评价方法有所差异, 但一般是根据一地的雪崩发生次数、规模和损害状况等的统计数据 and 实地分布状况来划分危险程度不等的区域或类型, 因而无法应用于同类资料短缺的地域。同时, 很少从发生机制或形成条件上选取参评因素, 因而必然会影响雪崩防治的针对性及效果。分析雪崩灾害发生过程发现, 雪崩危险度评价可以分为发生危险度评价和到达危险度评价。前者是指雪崩发生的危险程度或可能性大小, 后者则为雪崩发生后到达某一特定地点的危险程度或可能性大小, 这一点位已有或拟建建筑物、交通道路、桥梁或其他设施, 或有某些具有重要经济意义的自然物, 如河流。发生危险度历来是雪崩研究的一个主要方向。许多学者从发生机理或从统计学角度对雪崩发生的条件进行了大量研究。对到达危险度的研究则主要在于对雪崩抛程的物理学和统计学研究。但这些研究大多为单因素分析, 而多因素综合的、专门的雪崩危险度评价则较少见到, 在我国甚至是空白。本文试图结合作者多年的土地评价和积雪研究经验, 对我

国雪崩危险度评价的类型、程序和方法进行论证。

1 公路雪崩危险度评价的类型

1.1 危险度评价的概念

首先, 我们定义一个名词: 积雪单元。它是指在某一自然地块上的、积雪的物理属性、厚度和环境条件相对一致的一片(块)积雪。相当于土地评价中“土地单元”的概念。例如, 某一坡度、下垫面状况相对一致的坡地上的积雪, 若雪的厚度、云层构造、雪晶物理特征及含水率等属性也基本相同, 则此坡地积雪可被划分为一个积雪单元。一个积雪单元具有相对一致的发生危险度, 反映在评价图上便是一个图斑。积雪单元的相对一致性表现在两个方面: 一是单元内部的一致性, 即还存在差异, 如即使是坡度非常一致的一小块坡地, 积雪厚度也会有几厘米甚至十几厘米的起伏; 另一方面, 不同比例尺评价图之间所划分出来的积雪单元的一致性也是相对的, 因为对于同样大小的图斑, 比例尺小的所代表的积雪单元的面积比例尺大的大, 而面积增大意味着复杂性增加、差异性增大、一致性减小。所以, 一般来说, 制图比例尺较小时, 所划分的积雪单元的内部差异性较大, 一致性较小; 反之, 则差异性较小, 一致性较大。

1.2 危险度评价的类型

按服务目的、评价范围和特征的不同, 公路雪崩危险度评价可分为区域雪崩危险度评价和点位雪崩危险度评价。前者系指对特定区域内(如一个县或

乡,或一个自然流域)的不同积雪单元的划分及其雪崩危险度的评价,主要为政府经济规划和建设计划服务;后者则为对某一特定点位雪崩危险度的评价,主要为特定的工程建设服务。点位雪崩危险度评价的对象可以是一个小的积雪单元,如大比例尺图(如1/500)评价的单元;也可以是较小比例尺图(如1/50 000)评价的积雪单元的一部分。

2 参评因素及其评价指标

参评因素及其评价指标是整个评价工作的标准。无论是区域雪崩危险度评价还是点位雪崩危险度评价,如何选取合适的参评因素及其评价指标都是一项极其重要的基础工作。

影响公路雪崩发生的因素很多,包括积雪厚度、含水率、深霜的厚度及类型、密度、雪晶大小与形状、雪层结构、硬度、雪温与温度梯度、坡度、植被类型与覆盖度、风、降雪与吹雪、稳定积雪期的长短、地形切割深度及其他外部因素(如人畜行走、滚石等)等等。一般来说,不可能利用所有因素来进行公路雪崩发生危险度评价,而只能从中选取若干主导因素。

分析前述影响因素,我们可以将其分为两类:一类属于积雪的自身属性,包括积雪厚度、含水率和密度等;另一类则为环境条件,包括坡度、植被状况和风等。

积雪的属性多,而且随时间不断变化;既有较快的变化,如湿雪含水率的日变化;也有较慢的变化,如雪晶的稳定粗化。它们彼此紧密联系,相互影响,因而其关系异常复杂,主次关系也因时因地而异。例如含水率,对于干雪来说,不存在这一因素,但对于湿雪而言,则它与雪粒粒径共同引起积雪粘滞度(把积雪当成一种粘滞流体)的降低,但那个更重要则尚不清楚。然而,从根本上来说,积雪是气候的产物,也是气候的组成部分,一地的气候特征所决定的该地积雪的属性或特征等的研究显示,雪的密实化过程与雪的荷载或深度的关系不如其与一些雪的属性的关系重要,这些属性包括雪晶与雪晶聚合特征、雪温 and 含水状况等,它们主要受气候控制。所以,可以选取气候因素来替代众多的积雪属性(因素)。不过,积雪厚度较为特殊,由风和地形等所产生的雪的重新分配可以产生很大的差异,植被也可以使积雪空间分布产生很强的非均匀性,故必须把其列作一个单独的参评因素。但气候也是个非常复杂的自然要素,包括水、热等基本因子,且每个因子都需要两个以上的指标来衡量。热量仅用积温指标的话,就不能反映

其时间分配状况,而这一特征对积雪属性的形成非常重要。由于气候具有区域性,因此可以在气候区划的基础上再利用积雪厚度和其他环境因子来评价公路雪崩发生危险度。这样,不仅简化了因子筛选及随后的评价工作,而且将使评价结果更加客观。气候区划在我国有着长时间的研究历史,有大量资料可供参照;此外,还可参照胡汝骥的中国雪崩区划工作。但气候区划也有不同的级别,公路雪崩发生危险度评价的气候区划背景选择相当于中国雪崩区划第三级的尺度或规模较合适。这样,既区分了主要的气候类型或不同属性的积雪,又不至于使评价工作过于复杂,较大范围(如县级或地区级)内的雪崩发生危险度评价一般都会在一个气候区域内进行。如若发生待评价区域跨不同气候区域的情况,则需要对比不同区域内各种积雪类型雪崩发生概率的统计数据,以建立统一的积雪单元评价等级系统。

环境因素主要包括3类:地形、下垫面状况和气候。根据前述方法,气候因子已在气候区划中进行了充分筛选,故只需考虑地形和下垫面状况两个方面。对于地形条件,普遍选取坡度来衡量,也有选取地形切割系数的,但主要是为大区域雪崩范围圈定或小比例尺雪崩区划图服务的。对于下垫面,以冰川、粒雪、岩屑堆、草地和树木等坡面类型最为典型。由于前3类地形一般处于山体顶部,远离人类经济活动地带,虽有雪崩,但一般不会造成经济损失,而且所占面积相对较少,再加上统计资料非常稀少,所以我们只研究草地(包括裸地)和树木两种下垫面类型。草地有利于雪崩的形成,而树木则对雪崩发生有一定的抑制作用,树木的大小及覆盖度则决定抑制作用的强弱。因此,植被类型与覆盖度应被选作评价因子。

综上所述,在气候区划的基础上,公路雪崩发生危险度评价可以选取积雪厚度、坡度和植被类型与覆盖度作为参评因素。齐藤在首次对雪崩危险度进行定量评价时,正是选取坡度、植被状况(类型与覆盖度)和积雪深度3因素来评价雪崩发生危险度的。

在选定了参评因素(子)的基础上,还必须进行因素(子)分级,即确定各因素(子)分几级及各级之间的划分指标。一般分3~5级为宜。严格地说,因素(子)分级应以因素(子)与雪崩发生危险度之间的物理学定量关系为依据。但由于多因素(子)之间的复杂关系,即使通过实验,也很难建立这种定量关系。因此,实践中是依据统计关系来进行的,个别情况甚至是根据某些经验。表1(无标注部分)是在前人的基

础上所制定的分级标准,同时还给出了不同级别的赋分值。从我国的实际情况看,多数雪崩发生在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的山坡上,当坡度超过 60° 时,积雪不易在山上停留,极限厚度小,很难酿成雪崩,只有小型滑雪等。在研究雪崩过程中的物质平衡时,也发现坡度在 30° 时雪崩雪侵蚀程度最大。对于植被状况,虽然个别案调查中也有涉猎,但并未见统计数据。我国积雪深度远小于一些多雪国家,雪崩发生在西部和东北的一些山地。我们多年对天山山坡积雪稳定性观测发现,在地形切割程度较大的山区,当新雪厚度超过30 cm时,可发生雪崩。新雪厚度超过70 cm时,可酿成雪崩危害。对照表1(无标注部分)和上述我国的天山公路雪崩实际情况发现,只要将表1(无标注部分)中积雪厚度的划分指标稍做修改(表1中标注部分),便可以作为我国天山公路雪崩发生危险度评价的参照标准。

表1 公路雪崩发生危险度评价参评因素
等级划分指标及其评分值

参评因素	等级	划分指标	得分	发生难易度
坡度 $\theta/^{\circ}$	1	$\theta < 30$	4	小 ↓ 大
	2	$30 \leq \theta < 40$	7	
	3	$40 \leq \theta$	10	
植被状况 (树高 h/m , 覆盖度 $C/\%$)	1	$h \geq 8, C \geq 50$	4	小 ↓ 大
	2	$4 \leq h < 8, C \geq 50$; $h \geq 8, 20 \leq C < 50$	7	
	3	$2 \leq h < 4, C \geq 20$; $4 \leq h < 8, 20 \leq C < 50$	9	
	4	$h < 2, C < 20$ 的树木 及草地裸地等	10	
积雪厚度 H/cm	1	$H < 100$	0	小 ↓ 大
		$70 \leq H < 100$	6	
	2	$100 \leq H < 200$	7	
	3	$200 \leq H < 300$	9	
	4	$H \geq 300$		

注:阴影部分为标注部分。

3 区域公路雪崩发生危险度评价

在选取了参评因素并得出其分级指标后,区域雪崩发生危险度评价的程序和方法如下。

首先在底图上划分出积雪单元。一般以地形图为底图。这是一项最基础的工作,工作量很大。通常采用室内和野外调查相结合的方法。室内应尽可能多搜集区域内与雪崩相关的资料和图件,特别是植被状况和积雪深度方面的资料。可以先利用地形图做出坡度图,其分级依据见表1。积雪深度可以采用过去若干年的平均深度。由于雪崩通常发生在地形

较破碎、坡度较大的山地,故积雪单元的面积一般较小。因而制图时,比例尺应该偏大,以使评价图件较为客观、直接,便于应用。根据多年研究雪崩评价的经验,成图以不小于 $1/5\,000$ 为佳。有关制图的具体细节可参考相关文献。

然后,参照参评因素评级表(表1),逐一评出各积雪单元的等级,并最终得出区域公路雪崩发生危险度评价图,在将积雪单元某因素的值与表1中的等级划分标准进行配比时,一般将参评因素值达到最高等级的积雪单元的雪崩发生危险度评为1等,将参评因素值在1等范围内的积雪单元的雪崩发生危险度评为最低一等。因此,因素评级的级别高低与发生危险度等级高低的含义是相反的,即因素评级越高,越容易引起雪崩发生;而发生危险度级别越高,雪崩发生的可能性越小。由于3个参评因素相互从属性小,相对独立,因而在配比时,由各因素单独评出的等级很可能是不一致的。例如,某积雪单元的坡度为 35° ,植被为草地,积雪厚120 cm,依据表1,由3因素单独评出的等级分别为2,4,3。所以,需要综合3因素的评级来确定积雪单元的危险度等级。可以利用3因素各自因素评级(数)的积来确定积雪单元的发生危险度等级。与参评因素分级类似,积雪单元的雪崩发生危险度亦以分3~5级为宜。若分3级,则可参照表2的标准执行。

表2 积雪单元发生危险度评价标准

单元危险度等级	3因素各自因素评级(数)的积(I)
1	$I \geq 27(3 \times 3 \times 3)$
2	$8(2 \times 2 \times 2) \leq I < 27$
3	$I < 8$

4 点位公路雪崩发生危险度评价

区域公路雪崩发生危险度评价的主要任务是在弄清积雪单元属性的基础上评定各单元的相对等级高低。而点位危险度评价则需要评出某一特定点位或单元的雪崩发生概率。虽然雪崩的发生机制或动力学研究已有很长的历史,并且在雪崩危险评价中越来越重要,但由于雪崩发生过程的复杂性,目前为止,其研究成果的精确度还远远达不到雪崩危险评价制图的要求。因此,点位发生危险度及到达危险度评价都需要大量的统计数据来预测概率。然而,我国非常缺乏这方面的资料,故必须借鉴国外的研究成果。

日本雪崩专家齐藤的工作为我们提供了很好的

参照。他将评价点3 因素的值分别对照表1 的划分标准,得出各自的得分值。然后将3 个得分值相加,得到一个合计得分值。最后将合计得分值对照参评因素合计得分值(m)与雪崩发生概率 $P(\%)$ 关系图(见图1),得出该点位的雪崩发生概率。图1 是齐藤根据仓岛1 301 个坡面的统计资料整理而得出的。点位评价由于针对特定的点位,所以不一定需要制图。如确有必要,则比例尺可选取1/500,也可以结合后面的到达危险度评价的对象——特定建筑物或工程一起制图,比例尺可稍小。

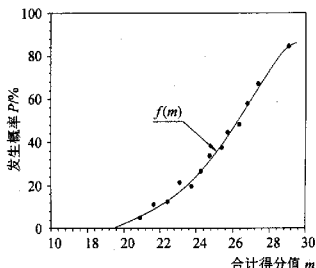


图1 发生概率与参评因素和合计得分值 m 的关系

5 到达危险度评价

到达危险度评价也是针对某一具体点位及其附近某一特定公路或工程的,所以亦需要评出可能点位的雪崩发生后雪崩雪到达该公路或工程的概率。国内外都对雪崩抛程进行了大量统计研究,包括抛程与落差的关系、抛程与雪崩体积的关系、抛程系数(抛程的水平投影量与落差的比值)与雪崩源区的平均坡度及源地面积的关系、最大抛程与落差及运动

最小摩擦系数之间的关系、抛程与落差及发生点对抛落终点俯视角($\tan\phi$)的关系、最大抛程与 α/β 角的关系等等。其中,抛程与落差的统计关系简单明了,便于应用,是较好的参照。图2 是齐藤根据630 个表层雪崩与155 个全层雪崩得出的抛程(L)与落差(H)的统计关系图。从图2 看出,已知雪崩抛落方向上任意一点的抛程与落差比值(L/H),便可以查出该点的到达概率 $Q\%$ 。 L/H 值可以直接在地形图上量算出。

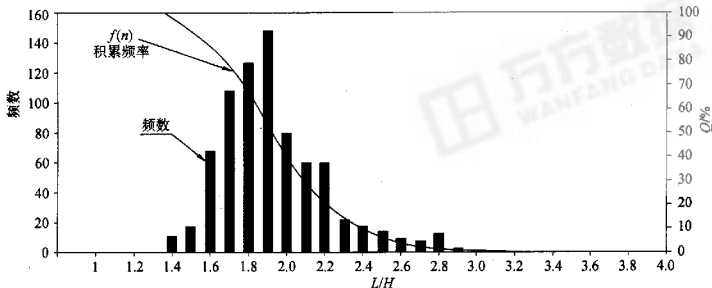


图2 到达概率与 L/H 的关系

6 公路雪崩危险度

在分别算出了上述的发生危险度和到达危险度后,二者的积便是雪崩危险度 $D(\%)$:

$$D=100\left(\frac{P}{100} \times \frac{Q}{100}\right)$$

例如,发生和到达危险度都为100%时,雪崩危险度为100%。发生和到达危险度都为50%时,雪崩危险度为25%。

7 结语

本文提出了“积雪单元”的概念,并在此基础上将公路雪崩危险度评价分为区域雪崩危险度评价和

点位雪崩危险度评价。从发生学角度论证了公路雪崩发生危险度评价的参评因素和指标体系。详细论证了两类评价各自的特征、可操作的评价程序和方法。这对推动我国的公路雪崩危险度评价工作起步、防灾减灾是非常有意义的。然而,公路雪崩危险度评价是一项非常复杂的工作,不同国家和地区的雪崩各有特点,如中国天山为低密度雪,公路雪崩危险的积雪厚度指标较小,表1 中的得分栏应做适当修改。从长远看,需要逐渐积累我国自己的公路雪崩统计资料,以建立完全适合我国不同地区的公路雪崩危险度评价指标体系和方法。