

山区公路 灾害防治研究

新疆维吾尔自治区科学技术委员会



山区公路雪害防治研究

1967——1974

新疆雪害考查防治工作队

(内部资料)

新疆维吾尔自治区科学技术委员会

毛 主 席 语 录

千万不要忘记阶级和阶级斗争。

这次无产阶级文化大革命，对于巩固无产阶级专政，防止资本主义复辟，建设社会主义，是完全必要的，是非常及时的。

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

前 言

新疆境内雪冰资源丰富，为发展边疆的社会主义建设事业提供了有利条件。但是，山区冬季雪崩和风吹雪却常能造成危害，不仅埋没道路，阻塞交通，影响战备和边防建设，而且危及人民的生命财产。因此，防治雪害的研究就成了急待解决的重要课题。

1967年，中国科学院、新疆军区生产办公室委托新疆维吾尔自治区科学技术委员会组织并领导有关科研及生产单位开展此项研究工作。同年9月成立了《新疆雪害考察防治工作队》。

在伟大的无产阶级文化大革命运动的推动下，工作队的同志们走出高楼深院，到三大革命的第一线，与工人、贫下中农和驻军结合在一起，狠批刘少奇的反革命修正主义路线，虚心接受工农兵的再教育，坚持科研为无产阶级政治服务，科研与生产相结合，专业队伍与工农兵相结合的正确方向。发扬“一不怕苦，二不怕死”的革命精神，顶风雪，战严寒，冒着雪崩危险，不分昼夜地奋战在高山深谷之中，追溯雪源，调查危害。经过六年时间的艰苦奋斗，在大型中间工程试验的基础上，总结出了适合新疆当地特点的以土石工程为主，同时注意生物措施的雪害防治工程设计方案。经鉴定认为：这一方案在目前较为经济、有效、切实可行。同时，达到了生产单位的要求标准，为我国填补了学科空白。

新疆雪害考察防治研究工作的胜利开展，是毛主席革命路线的胜利，是无产阶级文化大革命的一项成果，也是对孔老二、林彪宣扬的“上智下愚”和“天才论”的有力批判。

参加这项工作的单位有中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所、原中国科学院新疆分院地质地理研究所、新疆维吾尔自治区交通局公路管理局、公路设计院和巩乃斯养路段、新疆维吾尔自治区气象局科研所和伊犁、霍城、新源、托克逊气象台（站）。

本文集是工作队为雪害防治工程设计而作的考察和实验研究的资料汇编。经协商主要由马正海、王中隆、王彦龙、王银生、仇家琪、白重瑗、刘光远、陈元、李文忠、苏珍、周琴南、张祥松、张顺英、张培坤、胡汝骥、袁建模、徐夔慧、谢自楚、潘遐华等同志整理成文。文集图件由尹世纵、李胜年、曹文选、顾佩同志（以上均按姓氏笔划排列）清绘。

本文集定有不少缺点和错误，希望批评指正。

1974年12月

目 录

前言

第一部分 风吹雪考察与防治

天山西部防治公路风吹雪危害的初步研究.....	(19)
天山西部风吹雪的发生和雪迁移的初步研究.....	(40)
高山的降雪与吹雪阻车.....	(47)
关于影响下导风吹刮宽度因素的讨论.....	(62)
侧导板的导雪原理及应用.....	(71)
应用土石方工程防治风吹雪.....	(90)

第二部分 雪崩考察与防治

我国天山雪崩站区的季节性雪崩.....	(107)
我国天山西部1966年大雪崩的调查报告.....	(113)
浅谈雪崩和气象的关系.....	(117)
雪崩站区雪的若干物理学性质的初步研究.....	(145)
1972——73年雪崩站区雪的物理性质的观察报告.....	(166)
雪崩站区积雪的力学性质的试验研究.....	(185)
雪崩治理实验工程效应的初步分析.....	(192)
对于雪崩站的雪崩频率、最大雪深和降水强度的分析.....	(218)
关于雪崩动力学方程设计的探讨.....	(230)
天山西部山区公路雪崩的防治.....	(250)
天山雪害地段的道路选择.....	(260)

第 一 部 份

风 吹 雪 考 察 与 防 治

天山西部防治公路风吹雪危害的初步研究

风携带着大量雪粒运行的天气现象通常叫风吹雪，或者称为风雪流。

几年来，我们遵照伟大领袖毛主席关于“实践、认识、再实践、再认识”的教导，通过线路考察、定位观测以及室内风洞的模拟试验，初步查明了风雪流的运动规律和危害类型。在野外工程实验基础上，摸索出一些行之有效的防治方法，提出了以“导”、“改”、“阻”工程治理为主，机械清雪相结合的综合防护方案。

一 公路风吹雪危害的形成

公路风吹雪危害的形成是与当地雪源的多少、风速的大小、风向与公路走向的夹角、路基所处的位置和断面型式以及周围地形有着密切的关系。

公路穿越海拔3000多米的天山大坂（山口），处于西风气流的迎风坡，全年降水比较充沛。11月至翌年4月为主要降雪期，月平均气温都在零度以下，最低温度可达 -30°C 左右，10—30毫米连续降雪出现的十分频繁。一次连续降雪的时间最长达20多天，最大降雪量为130毫米。根据1967年至1972年统计，平均降雪总量271.1毫米，最大降雪总量356.1毫米。这就为风吹雪危害的形成提供了比较丰富的物质来源。

一定速度的风是风雪流形成的动力，它决定着雪粒运动的方向与规律。由于气温、积雪深度、雪的表面状态以及雪的物理性质（密度、粒径、硬度等）的不同，起动风速的数值也有明显的差异。一般说来，平坦的积雪场一米高处的起动风速变化在3.7—4.3米/秒之间，而公路路面一米高处的起动风速为4.5—5.0米/秒。穿过雪源的气流达到起动风速之后，空中的降雪或地面的积雪，就随气流以蠕动、滚动、跳跃与悬浮的形式运行。大部雪粒以跳跃的形式被搬运。

本区大于雪粒起动的风速经常出现，风雪流发生甚为频繁。如1971年12月至1972年4月（雪害较轻年份），吹雪总时间（包括西北与东南两种风向在内）达1538.6小时，最大风速约30.0米/秒。

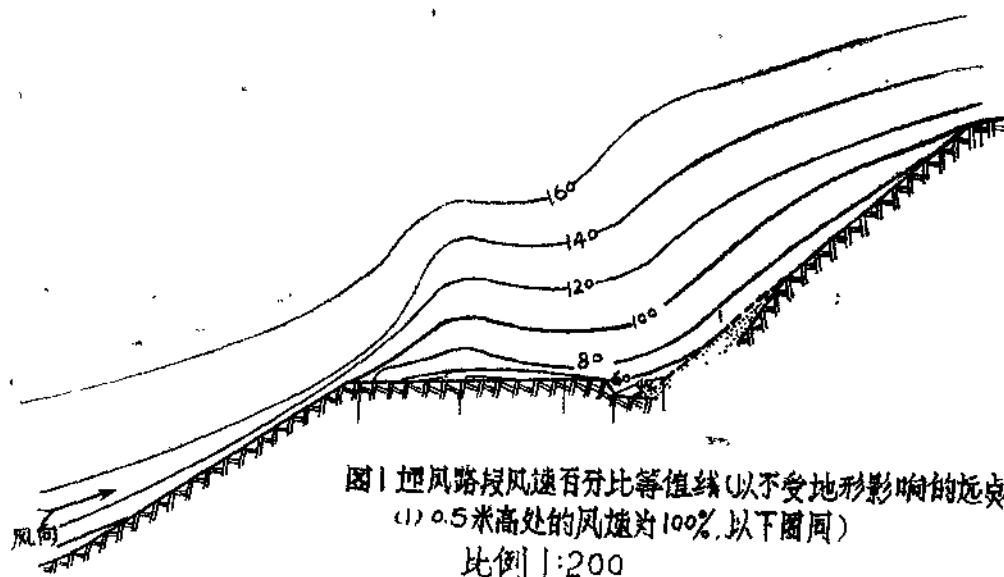
我们采用自制圆筒形聚雪器测定了单位时间、单位长度内雪粒子的水平通量——移雪量（克/米·秒）。根据多次观测，累计一米宽幅的10厘米层内和100厘米层内所含的移雪量与整个吹扬高度内总移雪量的百分比：高度100厘米以下所含的移雪量平均为98%，10厘米以下平均在75%以上。这表明雪粒子主要在贴地气层中运行。危害公路通车的是低吹雪。

由此可见，贴地气层的风速大小对风雪流发展趋势起着决定的作用。影响贴地气层风速变化的条件有：地表面的粗糙度、障碍物与地形的局部变化。风雪流横穿平坦的地表时，仅有粗糙度所引起的摩擦阻力损失，风速减弱甚微，雪粒随风继续运行。然而经过起伏较大的地形或障碍物时，不仅有摩擦阻力损失，同时还有地形局部变化所引起的涡旋阻力损失。涡旋运动使贴地层气流运行方向发生变化，导致风速急剧减弱至起动风速以下（表一），造成

表一 背风地形下风速的分布

1973年1月22日

风速 (米/秒) \ 测风高度 (米)	0.10	0.20	0.50	1.50	3.00	5.00
测点						
背风坡顶前 (12° 17米)	5.5	5.8	6.4	7.5	8.0	9.0
背风雪坡中 (29° 10米)	3.3	3.7	4.1	5.6	6.4	8.2
背风雪坡脚 (33°)	1.8	2.3	3.3	3.8	4.5	5.1



大量雪粒的沉积。

公路盘山修筑，其位置、走向和两侧地形变化都比较复杂，从而为公路吹雪危害的产生提供了条件。通过对积雪阻车路段的分析，可以把引起山区公路吹雪危害的地形归纳为迎风路段、背风路段与弯道水平绕流路段三种基本型式。

迎风路段

从图 1 中可看到，风雪流沿公路上风面边坡而上，速度不断增大，到达路肩风速增至最大值。此后由于附面层的分离，在路中和下风面边坡坡脚附近各形成一个涡旋减速区，使风速急剧下降，雪粒沉积呈雪堤或雪丘。野外量测以及风洞模拟试验如图 2 所示。雪粒堆积的

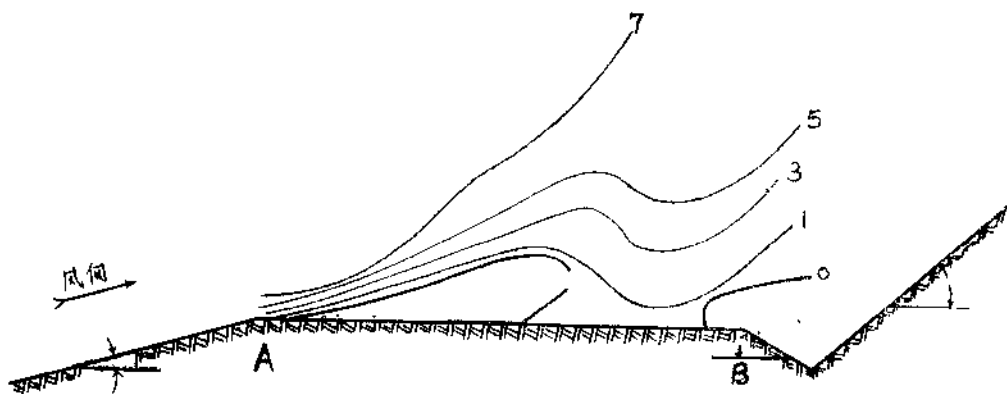


图 2 迎风路段贴地附面层分离(风洞测定)实线表示速度线(米/秒)
粗实线所包围的空间为涡旋区。

图比例 1:100 模型比例 1:50

位置与涡旋减速区的范围相吻合。随着风雪流中的雪粒不断沉积，两处雪堤逐渐连成一片，最后整个公路被雪埋没（照片 1）。

迎风路段积雪阻车是频繁的（只要有较强的风雪流吹来即可形成危害），但其雪害的严重程度，却与公路上、下风面的边坡坡度及坡长有关。随着上风面边坡坡度和坡长的增加，公路面涡旋的强度、尺度相应增大，雪害趋于严重。在下风面边坡紧靠路边的情况下，随着其坡度的加陡，下风面的阻塞作用明显增强，路面积雪量迅速增多。

当迎风路段上、下风面边坡坡度为 1:4 左右，或者虽然下风面边坡较陡，可是其坡脚离公路较远时，路面仍不会形成吹雪阻车（图 3）。

背风路段

图 4 表明，风雪流越过山脊或坡顶沿山坡而下，随着地形断面的急剧扩大，贴地层风速下降，雪粒大量堆积在公路上风面（即背风坡）坡边上。雪粒的堆积又改变了地形的外貌，

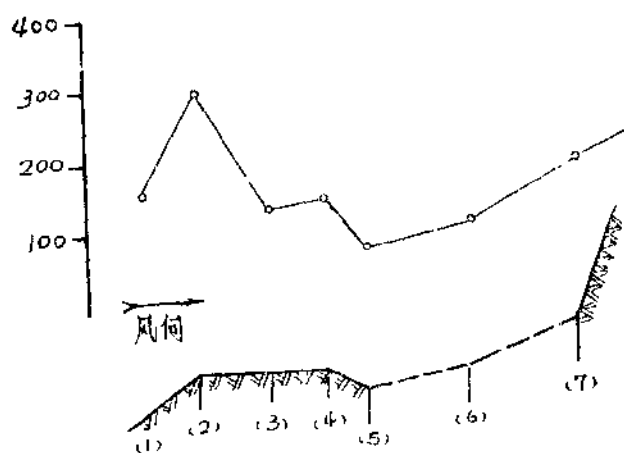


图3 迎风不阻车路段贴地层风速变化

导致附面层分离位置向前移动。当所形成的高大雪檐移到公路面后，则造成严重的阻车危害（照片2）。

背风路段吹雪危害的程度，取决于上风面边坡坡度的大小（图5）。坡度越大，贴地层风速减弱越多，路面积雪深度越明显增加。反之，公路积雪轻微，甚至不形成雪害（表二）。

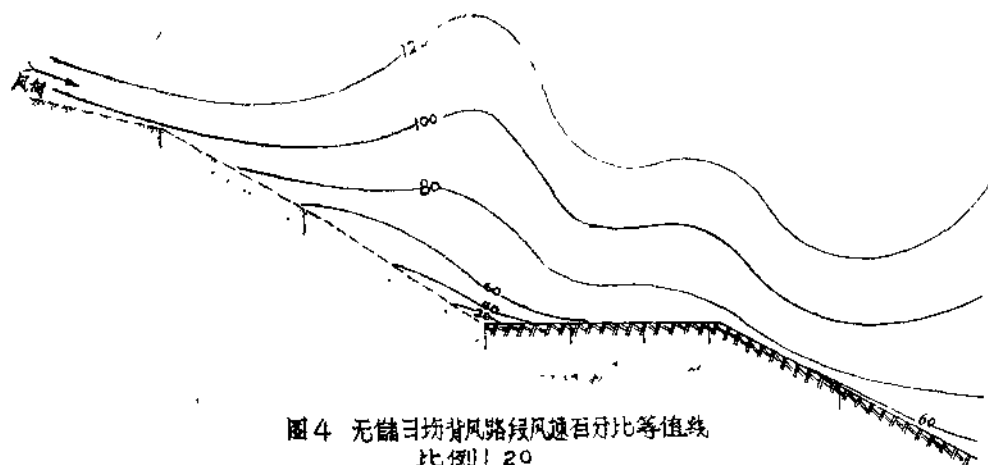


图4 无储风背风路段风速百分比等值线
比例 1:20

表二 无雪害的背风路段风速分布

1972年2月23日

测点 风速 (%) 测风高度 (米)	远 点	背 风	路 肩	公 路	路 边	公路下风面边坡
	11° 17米	中 10米	4 米	中 米	6 米	29°
0.25	97	95	110	113	105	74
0.50	100	108	121	129	118	89
1.50	108	116	132	147	142	95

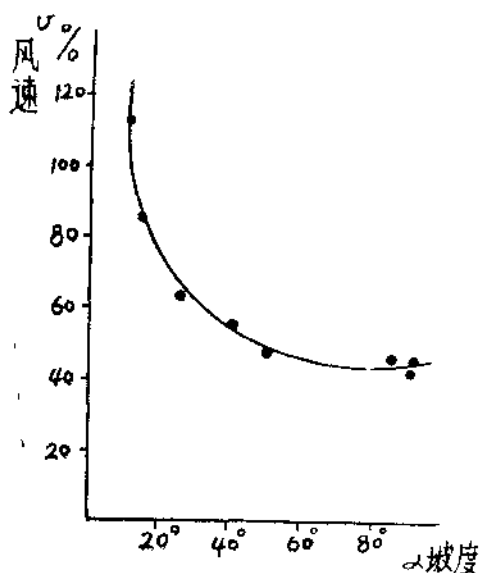
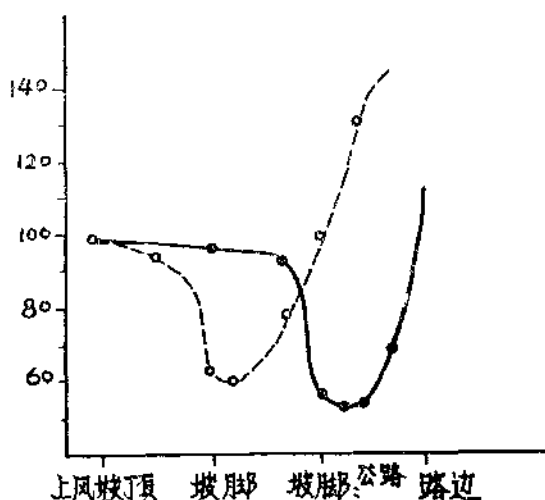


图5 背风路段上风面边坡坡度与贴地层风速(路肩处)的关系。

图6 背风路段上风面坡脚远近与路面贴地层风速的关系。
1) 坡脚离公路较远; 2) 坡脚紧靠公路。

背风路段积雪阻车与上风面边坡坡脚离公路的远近有关(图6)。如果坡脚离公路面较远,在整个吹雪期内,上风面形成的雪檐前移的最终点不靠近公路,则路面无风雪流的危害。这就是有些背风路段,尽管上风面边坡高陡,然而公路仍能保持畅通的原因。同时也为我们在背风路段上风面,开挖储雪场治理雪害提供了依据(图7)。

弯道水平绕流路段

公路处于急转弯地段(图8),其弯道处引起沿公路走向吹来的风雪流,对弯道边坡的偏离,在靠近公路内侧形成涡旋减速区致使雪粒堆积。随着弯道半径的减小以及弯道内边坡越靠近公路,雪害趋于严重。

弯道水平绕流往往与背风路段,或者迎风路段相配合。由于同时存在着水平和垂直二种涡旋,所以在弯道附近雪粒堆积深度,一般均大于转弯之后的背风路段或迎风路段。

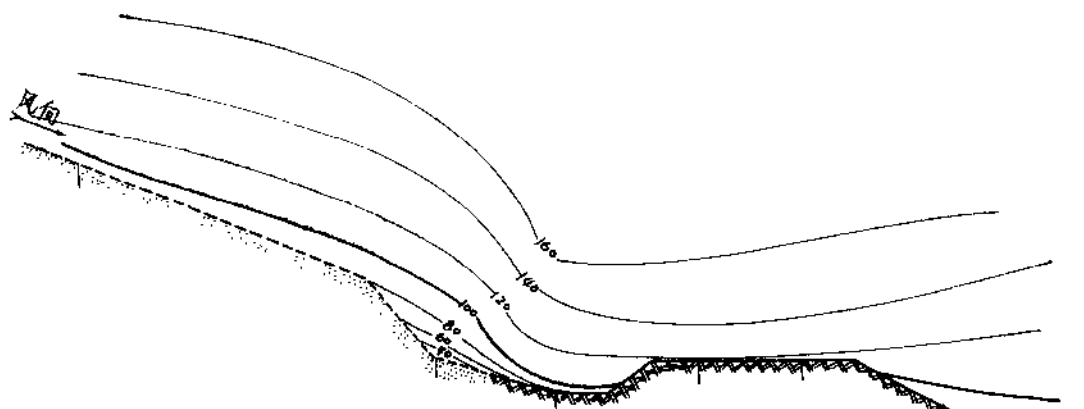


图 7 有路堤背风不阻车路段风速有分比等值线
比例 1:200

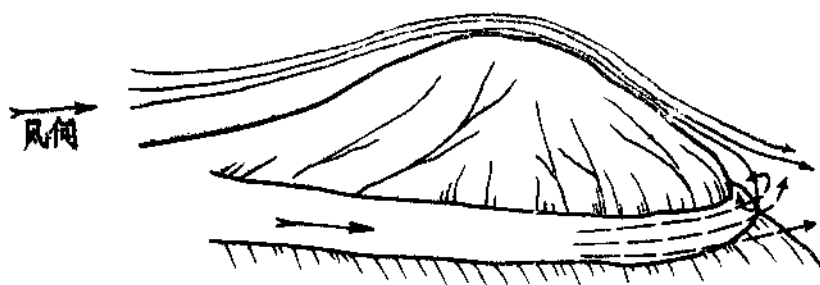


图 8 弯道水平绕流路段(与背风相配合)流
坊示意。

此外，当路堤高度大于主要降雪期积雪深度（图 9）时，公路无吹雪危害。但遇到边坡较陡、高度过大的路堤，或者风雪流通过较浅的路堑，则会引起程度不同的雪害。其原因与前述的背风路段、迎风路段相同。

风速、风向对公路堆雪深度也有一定影响。在雪源充足的条件下，风速越大，风雪流中所含雪粒必然增多，一旦风速减小时，公路堆雪深度则显著增高。一般情况，风向与公路走向的夹角小于 30° ，路面积雪轻微不易造成阻车。

总之，本区雪源丰富，大于雪粒起动的风速经常出现，公路两侧地形复杂多变，风雪流危害频繁且严重。在短短的数十公里内，吹雪危害路段就有百余处。吹雪的阻车日数与累计降雪的自然对数有近似直线关系。一般年份阻车日数占主要降雪期总日数的三分之一，严重年份占一半以上。而一次较强的风雪流可使公路堆雪深度达两米左右，累计深度在五米以上，有的路段高达八米之多。

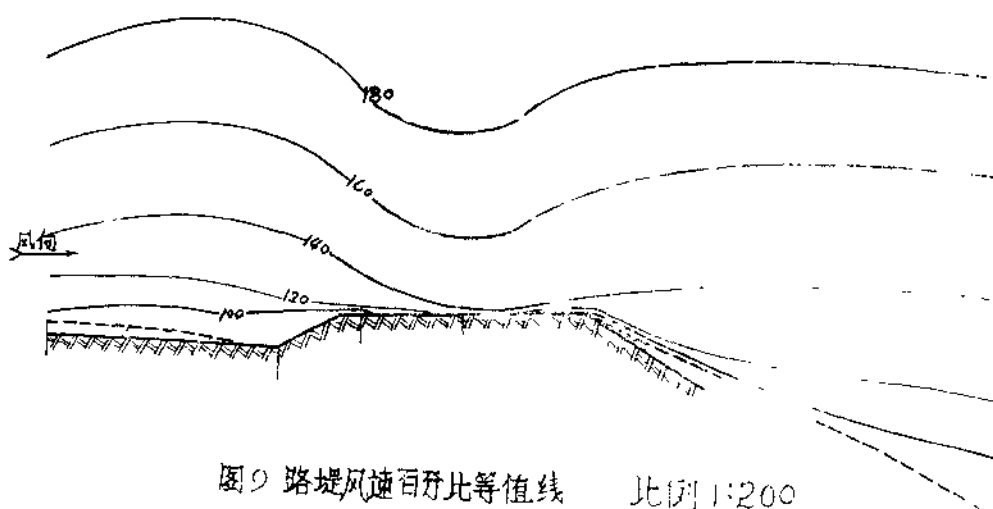


图2 路堤风速百分比等值线 比例 1:200

二 公路风吹雪危害的防治

在未修公路之前，应考虑当地的雪源、风向、风速以及地形等因素，合理选定路线的位置与走向，并从预防雪害出发，正确设计路基的断面型式，尽量避免或减轻吹雪对公路的危害。

对于已修成的公路，有条件的地区，可营造防护林，否则本着“因地制宜就地取材”的原则，分别采用以下几种防护措施：

“导”吹雪危害严重地区，风向与公路走向夹角大于 40° 的背风路段，或者夹角大于 30° 的迎风路段，可设置不同规格型式的下风口导风设备。

风向与公路走向夹角较小的路段，设置封闭式或开放式羽毛排侧导板，改变风雪流运行方向，将雪侧向导走，不上路面。

“阻”利用固定或移动式防雪栅栏、土石墙（雪墙）等使大量的雪粒在未进入公路之前堆积下来。这种工程适宜用在雪源不太丰富、风速较小，而风向与公路走向夹角较大的背风路段，或者地形平坦的地段。

“改”改变公路附近原有地形，因地制宜开挖储雪场，修缮边坡和提高路基等土石方工程，可以取得不阻车的效果。鉴于此法既不需建筑材料，又具有永久性，且道路附近无障碍物，因此凡适宜此种工程防护的路段，应尽可能采用。

“清”在风雪流危害不十分严重的路段，采用机械清扫的方法来维护路而通车。

以下仅就防护工程中的下风口导风设备以及阻拦设备进行讨论：

（一）下风口导风设备

流体力学研究指出，增加流速可使压力能沿流动方向显著降低，从而防止附面层发生分

离。下风口导风设备（简称下导风）能起到这样的作用。

从1968年起，我们在雪害严重的公路来风一侧，设置了导板前倾、直立和后倾等十二种不同规格型式，总长近一千米的下导风试验工程达到了预期效果（照片3、4），尤其是迎风路段更为显著。如大坂顶吹雪危害严重路段，每遇一次较强的风雪流，路面积雪深度可达二米以上，设置下导风后，始终保持了十多米的宽度内无积雪。在两种风向交替危害路段，用双排下导风防治雪害同样是行之有效的。

I 下导风的防护原理

为了说明下导风的防护原理，我们首先介绍风雪流经过下导风的情况。从图10和图11中看到，在下导风前方一定距离处，由于受到下导风导板的阻塞作用，风雪流逐渐增压减速，

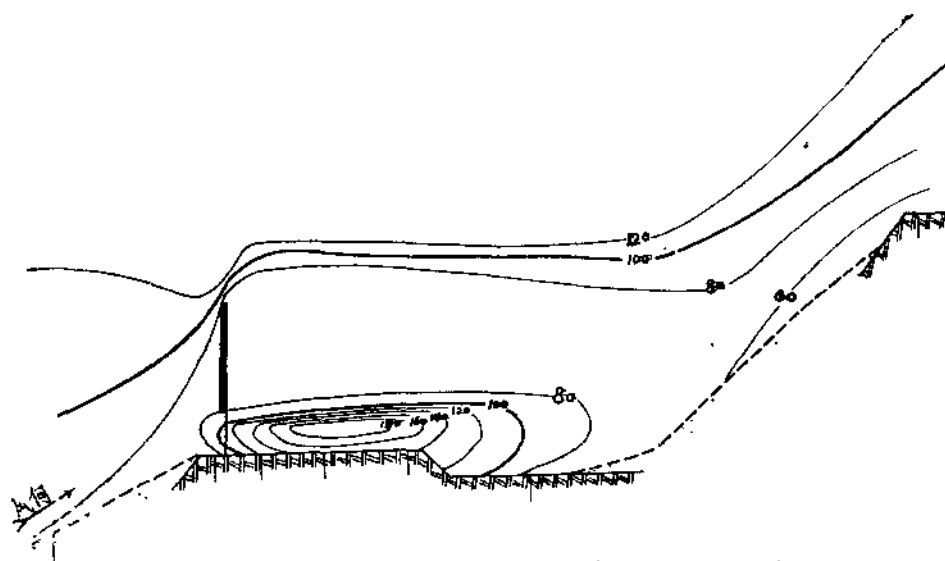


图10 迎风路段直立下导风风速百分比等值线
比例 1:200

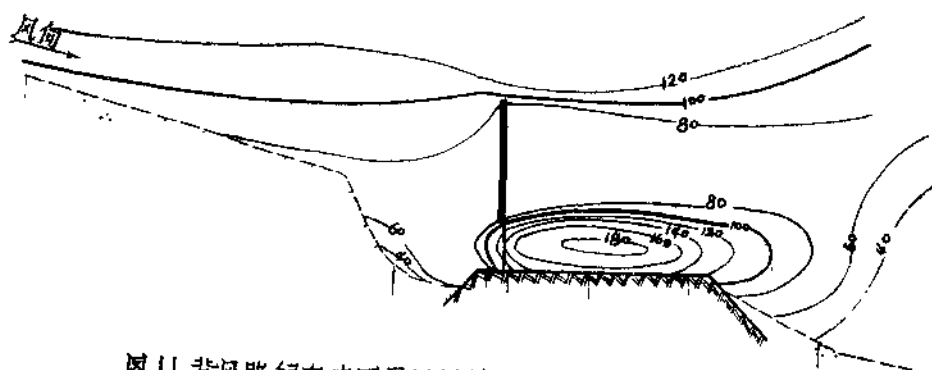


图11 背风路段直立下导风风速百分比等值线
比例 1:200

部分雪粒随之沉积下来,形成雪檐或雪舌。“一切矛盾都依一定条件向它的反面转化着。”当风雪流吹至导板附近时,则被迫改变了运行方向,分成向上、向下的两股增速气流。部分雪粒随向上的气流绕导板顶而过,向下的气流抑制了雪舌或雪檐的前移,携带着大量雪粒冲出导板的下口。下导风后面的流场是导板顶端后方为一弱增速区;导板下口后方为一强增速区。两增速区中间形成速度的不连续面,产生回流。

对比邻近的无下导风公路路面速度场(图1与图4)不难看出,下导风的设置改变了路面风速分布,呈为一种近于平板(垂直气流)的绕流结构。“不破不立,不塞不流,不止不行。”下导风前方的增压减速,正是为导板两端及其后方增速区的形成做了必要的准备。导板后方中部回流减速区的出现又是上、下增速区的必然伴生物。下导风之所以能消除公路雪害就在于:冲出导板下口的气流将板前的压力能转换为动能,破坏了原处于路而上的涡旋减速区(表三),同时在下口后方一定宽度范围内形成一风速明显增大带。这样不仅把本身携带的大量雪粒输送过路面,而且还将导板后方中部回流减速区沉降的雪粒带走,从而保证了公路的畅通。由此可见,下导风并不能产生能量,只不过起了能量的转换作用。

表三 迎风路段有、无下导风贴地层风速分布

1973年2月25日

测风高度(米)	风速(米/秒)	无下导风路段				有下导风路段		
		路肩	路中	路边	下风面 边坡脚	下口前 即路肩	路中	路边 下风面 边坡脚
0.10		4.2	1.6	1.9	2.2	3.1	7.2	7.5
0.20		4.5	2.1	2.5	2.6	3.2	7.5	7.7
0.50		5.4	2.8	3.3	3.0	3.4	7.7	7.9

I 下导风的设计方法

影响下导风吹刮宽度的因素主要有:导板长度(指垂直方向上的板面长度)、导板倾角、下口高度、山坡坡度、风向与下导风走向的夹角、风速大小以及移雪量的多少等。在综合分析影响下导风吹刮宽度各个因素内在关系的基础上,我们推导出计算下导风吹刮宽度的经验公式:

$$L = Ca \sin(\alpha - \delta) \sin \gamma \cos \beta \quad (1)$$

式中: L——下导风吹刮宽度 单位: 米

a——下导风导板长度 单位: 米

α ——下导风导板倾角 单位: 度

δ ——气流扩散角 (我们以实测值 11° 代替)

γ ——引起吹雪的风向与下导风走向的夹角 单位: 度

β ——从路边到临近公路上风面(背风路段)或下风面(迎风路段)山坡坡度(或拐点)的仰角 单位: 度

C——与移雪量、风速和下导风规格系数K*有关的系数。为方便起见，C用根据下导风规格系数K求得的平均值C¹代替（图12），知K值就能查出C值。

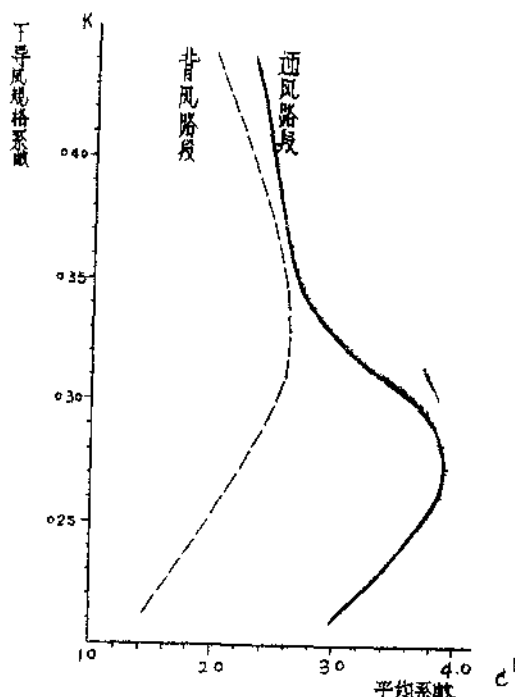


图12 平均系数随下导风规格系数的变化

为了说明公式（1）计算下导风吹刮宽度的可靠程度和误差范围，我们把迎风路段测定的82组数据、背风路段104组数据进行了计算。将计算得到的吹刮宽度L¹，与实测的下导风吹刮宽度L的相对误差 $\frac{L-L^1}{L}\%$ 做出表四。从表四可看到，相对误差±25%之间的占70%左右，相对误差落在±30%之内的占80%左右。

利用上式，已知下导风的导板长度、导板倾角、风向与下导风走向的夹角、山坡坡度等，就可计算出相对应的吹刮宽度。反之，当所需要的公路吹刮宽度确定后，根据所测得的山坡坡度、风向与下导风走向的夹角以及选定导板倾角，也能求出相对应的下导风导板长度和下口高度。

基于导板倾角小于90°时，对水平方向吹来的风雪流有向下压缩的作用，使前方雪檐形成较慢，同时路面风速增加相对最大，故在背风路段采用小于90°的前倾下导风（如70°的）效果较佳。当导板倾角大于90°时，对水平方向吹来的风雪流有向上抬升的作用，增强了导板上端的增速气流，利于风雪流爬坡（下风面边坡）。根据我们的观测，在迎风路段使用

$$* K = \frac{h}{2 \sin \alpha + h}$$

h为下导风下口高度 单位：米 其余与上同

表四 吹刮宽度计算值相对误差的分布

$P = \frac{L - L^1}{L} \%$		$-5 \leq P \leq 5$	$-10 \leq P \leq 10$	$-15 \leq P \leq 15$	$-20 \leq P \leq 20$	$-25 \leq P \leq 25$	$-30 \leq P \leq 30$
相对误差落在此区间的百分比	迎风路段%	18.3	28.8	42.5	57.5	68.8	81.3
	背风路段%	17.3	28.8	42.3	62.5	75.0	78.8

110°左右的后倾下导风,吹刮宽度相对最大。但就一般情况而论,迎风路段采用90°直立下导风也能保证公路畅通。对上风而边坡较缓或虽较陡,但与公路有一定距离的背风路段也可如此。

■ 透风式下导风与不连续下导风的应用

在吹雪危害严重的路段,下导风是一种有效的防护工程,但需用的材料较多。在保证公路畅通的前提下,改进结构型式和降低成本是值得进一步研究的问题。

下导风防治公路雪害的本质,在于它起了能量的转换作用,而这种转换是通过导板本身的阻力来实现的。导板阻力来自两个方面,即迎面气流压力和导板涡旋扰动引起的负压力。这就提供了一种可能性:当下导风板面长度一定时,通过适当增加导板本身的透风度,可以减小由于涡旋扰动所引起的部分能量损失。为此,我们在野外吹雪危害严重的路段,进行了透风板面下风口导风设备(简称透风式下导风)的试验(照片4、5、6、7)。试验表明:导板透风度为25—35%时,不仅可节省较多的材料,而且能保持下导风的导雪能力。

图13和图14分别绘出了背风路段和迎风路段35%的透风式下导风速度场,对比设置在地形、移雪量、风速风向相近以及规格完全相同的密闭式下导风。从图10、图11*速度场可知,两者下口后方增速区的范围与所对应的吹刮宽度接近一致。造成这种结果的原因是,由于部分气流可穿过透风式下导风的导板,从而形成其前方和后方中部回流减速区的明显减小。导板前方减速区范围与强度的减少,降低了板前雪堆积的高度,有利于拦截较多的气流

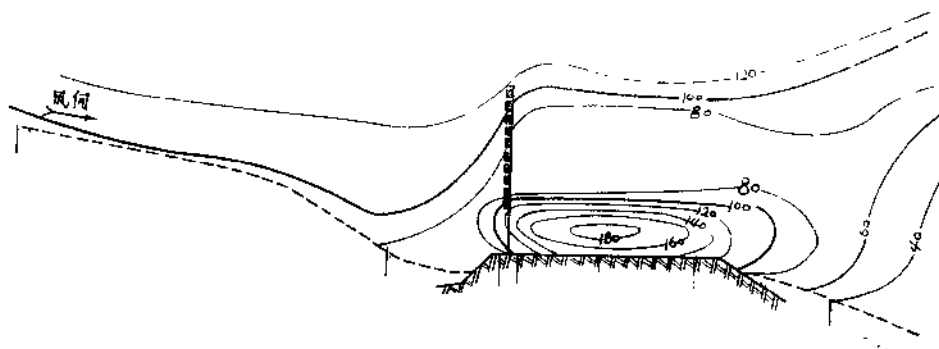


图13 背风路段导板透风度35%的直立下导风风速百分比等值线图

* 为了便于区别起见,我们把前面介绍的密闭板面下风口导风设备简称密闭式下导风。

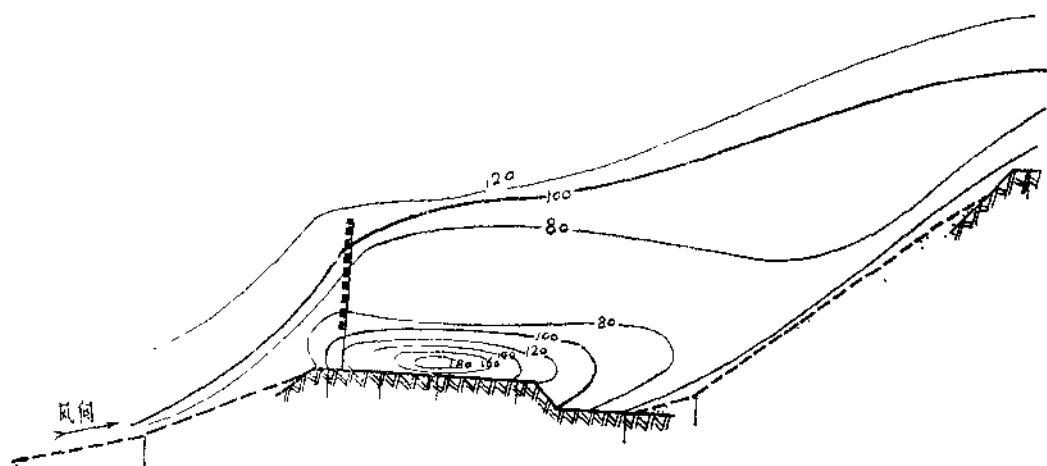


图14 迎风路段导板透风度35%的直立下导风速百分比等直线图 比例1:200

通过下导风，导板后方中部回流减速区范围的变小，减弱了对下口后方增速区的影响。

值得说明的，背风路段下导风前方积雪高度，对下导风后期的防护效果有重要的影响。随着下导风前方积雪高度的增加，吹刮宽度则有所减小。而透风式下导风具有前方积雪高度较低的优点，因此在一定程度上提高了下导风的防护能力。

另外，迎风路段设置密闭式下导风后，在导板前方水平方向上，还出现向下导风两端运动的气流。其中，大部气流沿下导风排面向尾端运行。随着下导风长度（指水平方向）的增加，绕流速度不断增大，当冲出下导风尾端时，在无下导风的路段上形成一个风速增大带，雪粒被携带过公路。据我们量测，下导风长度为48米，增速带的宽度在10—12米。基于这种原因（表五），在迎风路段可采用不连续的下导风。即每设置一段密闭式下导风之后，中间空出一段距离，然后再设一段，再空一段，以此类推。

表五 不连续下导风近地层风速分布

1973年3月12日

风速 (%) \ 测风高度 (米)		0.10	0.20	0.50	1.40	3.00	5.00
测 点							
两下导风之间 空12米	路 肩	143	148	157	163	166	168
	路 边	134	141	152	159	163	177
下导风	下口前 (即路肩)	125	136	152	143	95	163
	路 边	143	157	166	75	57	150

注：两侧为直立下导风，导板长度3.4米，下口高1.5米。

背风路段因风雪流沿公路上风面边坡而下，处于风速不断减小过程，下导风前方水平绕