

风雪流及其防治方法

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所冰川研究室

人 民 交 通 出 版 社

风雪流及其防治方法

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所冰川研究室

人 民 交 通 出 版 社

1978·北京

内 容 提 要

本书主要介绍风雪流（风吹雪）的形成、运动规律和危害类型，道路防治风雪流危害的具体方法和措施。其内容包括：风雪流的基本概念及其分类；风雪流运动规律及其对道路的危害类型；风雪流的观测方法；风雪流地区道路的选择与路基设计；道路风雪流危害的防治措施；防雪工程运用举例及道路冬季养护等。

本书可供道路部门工人、技术人员有关院校师生及广大工农兵、知识青年阅读参考。

风雪流及其防治方法

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所冰川研究室

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：4 插页 2 张 字数：83 千

1978年11月 第1版

1978年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,800 册 定价（科三）：0.38元

前 言

“瑞雪兆丰年”，说明下雪对农业生产是件好事。然而，在我国北方冬春降雪较多的地区，在积雪期间或在降雪过程中，常常发生的风雪流（也叫风吹雪）却是一种自然灾害。它危害交通、邮电、工矿企业、农业、林业、牧业，影响当地人民生产和生活的正常进行。随着我国国民经济的蓬勃发展，对风雪流危害的防治越来越有需要。因而，开展风雪流的防治研究是当前生产和国防的一项重要任务，是贯彻落实毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针和华主席“抓纲治国”伟大战略决策的具体措施之一。

在伟大的无产阶级文化大革命中，在毛主席的革命路线指引下，我们贯彻科研为无产阶级政治服务，为工农兵服务，与生产劳动相结合的方针，同新疆交通局、新疆公路局、新疆地震大队、新疆气象局等单位协作，深入现场与养路工人一道总结了群众同风雪流斗争的丰富经验，同时对风雪流的形成、运动规律和危害形式进行了研究，并在大型工程试验的基础上，提出了预防风雪流危害的具体措施，取得了良好的效果。为普及风雪流的科学知识，为更好地交流防治风雪流危害的经验，我们编写了这本小册子，供广大工农兵和知识青年，以及有关生产部门、科研和教育部门参考应用。

本书是我室多年来工作的集体成果，由王中隆、潘遐华、陈元、白重瑗等四位同志执笔编写，尹世琰、康新成同志参加图的清绘工作。书中所引风洞资料是与沙漠研究室风洞实验人员共同实验而得。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，热诚欢迎批评指正。

中国科学院兰州冰川冻土
沙漠研究所冰川研究室

目 录

第一章 风雪流的基本概念及其分类	1
第一节 风雪流的基本概念.....	1
第二节 风雪流的分类.....	4
第二章 风雪流运动规律及其对道路的危害类型	5
第一节 影响雪粒起动的因素.....	5
第二节 吹雪量随高度的分布.....	9
第三节 风雪流对道路的危害类型.....	12
第三章 风雪流的观测	21
第一节 降雪和积雪的观测.....	21
第二节 移雪量的观测.....	22
第三节 风的观测.....	39
第四章 风雪流地区道路的选线与路基设计	41
第一节 道路选线与路基设计应注意的问题.....	41
第二节 不易积雪路基的设计.....	43
第五章 道路风雪流危害的防治	48
第一节 下导风.....	50
第二节 侧导板.....	73
第三节 防雪林.....	81
第四节 防雪墙.....	83
第五节 防雪栅栏.....	84
第六节 土石方工程.....	94
第七节 机械清雪.....	104
第六章 防雪工程运用举例和冬季道路养护	109
第一节 防雪工程运用举例.....	109
第二节 冬季道路养护.....	120

第一章 风雪流的基本概念及其分类

第一节 风雪流的基本概念

我国北方，冬春季节，瑞雪纷飞，在白雪皑皑的原野上，人们常常可以看到一股股携带着雪的气流，附地而行，好象白色绸带似的随风飘舞，有时扑面而来，十分寒冷，这种灰白色的特殊气流，就叫做风雪流，惯称风吹雪。

风雪流如同其它的风沙流、泥石流一样，是一种迅速运动着的特殊流体，瞬息万变，在暴风雪的天气里，强劲的风雪流猛烈地袭击草原牧场畜群和农田作物，形成深厚的积雪埋没道路，阻塞交通，严重地影响当地人民的生产和生活。这是我国西北、东北、内蒙古、青藏高原和西南山区常见的一种灾害性天气现象。然而，对于这种自然灾害，我国各族人民在长期的生产斗争中，从预报到防治，都积累了很丰富的经验，创造了许多有效措施。目前，有些地方已能初步做到变害为利，巧夺天工，巧妙的利用风雪流的作用，增加农田积雪保墒和水库水量，表现了人定胜天的英雄气概。

风雪流是怎样形成的呢？顾名思义，形成风雪流必须具备两个条件：大量的雪和使雪能够起动运行的风。降雪和积雪是风雪流的物质来源；而风则是风雪流形成的动力，它决定着风雪流的发展方向和运动规律。所以，当穿过雪源的气流达到起动风速之后，雪粒便起动，随风运行，形成风雪流。所谓起动风速就是刚刚能使雪粒起动运行的风速。一般情况下，起动风速是指雪面以上1米高度处的风速。起动风速的

大小既与积雪本身的物理力学性质（如雪粒粒径、积雪密度、粘滞系数等）有关，又与外界条件（如太阳辐射、气温、地面粗糙度等）有关。例如，在气温低于摄氏负6度（ -6°C ）时，刚下的干燥新雪（粒径小于1.0毫米，平均密度0.06克/厘米³）风速2米/秒就能起动，细雪（粒径小于0.5毫米，平均密度0.18克/厘米³）则要4米/秒才能起动，至于老的细粒雪（粒径0.5~1.0毫米，平均密度0.23克/厘米³）则要6~8米/秒才能起动。

雪粒被达到起动风速的风吹动后，开始时，绝大多数雪粒是滚动前进的，仅有少量跳出雪面，很快又落下，呈跳跃式前进，弹跳距离2~3厘米。随着风速增大，气流空吸作用（气流层之间的速度差产生的物体被吸引的能力）加强，滚动的雪粒越来越多，雪粒弹跳现象也大大增加，同时还有部分雪粒随风悬浮前进，高度可达几十厘米或更高。因此，在风雪流中，雪粒的运动形式主要有滚动、跳跃和悬浮移动三种，其中以跳跃前进为主。

风雪流穿越地形比较开阔平坦的地面时，风力只有沿程摩擦阻力的损失，能量损失较少，“它只有数量的变化，没有性质的变化”，雪粒随风继续运行。但当风雪流吹经高低起伏较大的地面时，则发生涡旋式运动，不但有沿程摩擦阻力损失，而且有局部涡旋阻力损失，能量损失较大，从而使“它已由第一种状态中的数量的变化达到了某一个最高点，引起了统一物的分解，发生了性质的变化”，造成雪粒和风的互相依存关系被破坏，引起雪粒重新被堆积下来。地形高低起伏越大，涡旋运动越强，雪的堆积也就越严重。

由于地形和各种障碍物的影响，风雪流形成的堆积形态种类较多，其中常见的有：波浪式积雪、鱼鳞状积雪、屋檐状积雪、雪堆、雪垄和雪堤等。

风雪流同世界上一切其它事物一样，都是一分为二的。风雪流能将雪搬运到人们生活和生产所需要的地方，这是其有利的一面。例如：风雪流能把迎风山前积雪吹运到背风山后堆积；自然坡地的雪也能被风吹到梯田和附近洼地，有利于农田储水、保墒保温；在高山地区的低洼盆地和山谷，风雪流形成之积雪成为冰川的一个重要物质来源，起着储存水源的作用。但从总体上来说，风雪流则是一种灾害性天气现象，它的危害性是很大的。对于农业，暴风雪摧残作物，降雪后的风雪流将均匀的积雪吹得不均匀，甚至将农田积雪吹光，不利于作物越冬。在牧区，暴风雪袭击羊群，淹没草场，压塌房舍，造成人畜伤亡。在邮电中，暴风雪压断电线，摧毁空中设备。对于交通运输危害更为严重，暴风雪时，道路难辨，能见度极小，迫使车辆停驶，并在道路上形成大大小小的雪堆和雪堤，阻塞道路，中断交通。在公路上常见的几种积雪形式如图1-1、1-2、1-3、1-4所示。

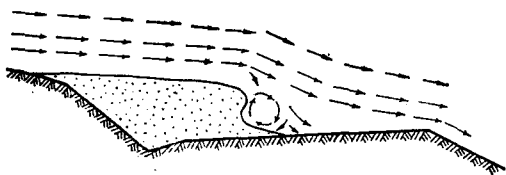


图1-1 背风沉积型堆积

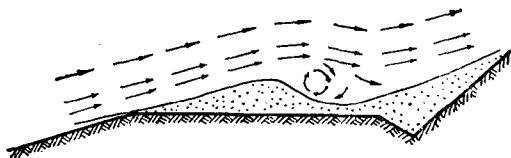


图1-2 迎风阻塞型堆积



图1-3 弯道绕流型堆积

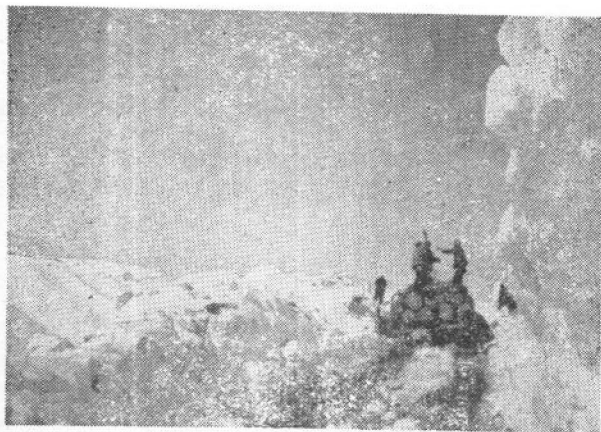


图1-4 风雪流后道路阻塞影响车辆通行

据观测，路面积雪深度大于30厘米时，便会发生不同程度的阻车现象。积雪深度不同，不但对汽车行驶的影响不同，而且对机械清雪的效率有重大影响，故积雪深度是反映道路雪害状况的一个重要标志，根据路面积雪深度的大小，可以把风雪流对道路的危害分为下列三个等级：

轻度危害地段：平均积雪深30~60厘米；

中等危害地段：平均积雪深60~100厘米；

严重危害地段：平均积雪深大于100厘米。

第二节 风雪流的分类

风雪流随着风速的变化，其运动特征和所造成的危害都

有明显的差异，依据雪粒的吹扬高度和对能见度的影响，大体可分为三类：

一、低吹雪：吹扬高度在2米以下；

二、高吹雪：吹扬高度在2米以上，使视程减小，水平能见度小于10公里；

三、暴风雪：大量的雪随风运行（主要在水平方向上运行），并伴随降雪，天空不可辨。

前两类吹雪一般是发生在晴天条件下的吹雪，其危害性要较第三类小些，暴风雪来临时一般又伴有强烈的降温，无论是对农牧业生产还是对交通运输造成的危害都是非常严重的。

第二章 风雪流运动规律及 其对道路的危害类型

第一节 影响雪粒起动的因素

前面已经谈到，影响雪粒起动的因素较多，既与雪粒本身的物理力学性质有关，又与外界条件有关。下面主要介绍一下温度、雪的粒径、密度以及地面粗糙度等对起动风速的影响。

一、温度对起动风速的影响

气温和雪面温度不同，积雪的物理力学性质就不一样，由于积雪性质的改变，造成了起动风速大小的差异。

我们在野外观测到：当气温从 -23°C 上升到 -6°C 时，1米高处的起动风速变化在3.7~4.3米/秒之间，变化不是很

大的。但当气温接近摄氏零度时，由于积雪的含水量增大，雪粒之间的粘滞力显著增大，需要较大的风速才能起动。有时积雪因含水量过高，遇到低温时，表面冻结成坚硬的冰壳，甚至无法起动。

二、雪粒粒径对起动风速的影响

在低温情况下，雪粒大小不同，起动风速也不一样。在粒径小于2毫米时，随着粒径的增大，起动风速也随之增大，其增大的速度越来越慢，如图2-1a。

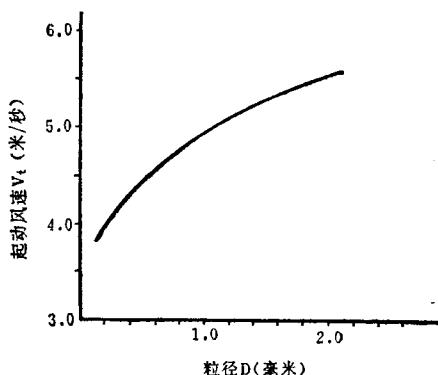


图2-1a 起动风速 V_t 与雪粒粒径D的关系

在温度低于 -6°C 时，起动风速 V_t 随雪粒粒径的平方根($\sqrt{D}$)的增大呈线性增加，如图2-1b。

其关系可用下式表示：

$$V_t = 3.4 + 1.5\sqrt{D} \quad (2-1)$$

三、积雪密度对起动风速的影响

新雪很疏松，平均密度只有 0.05克/厘米^3 左右，甚至观测到 0.004克/厘米^3 的罕见数据，因此有较小的风速雪粒就可以起动。经过风雪流搬运后，积雪密度增大到 $0.10\sim 0.15\text{克/厘米}^3$ 时，需要较大一些的风速才能够起动。经过风雪流多

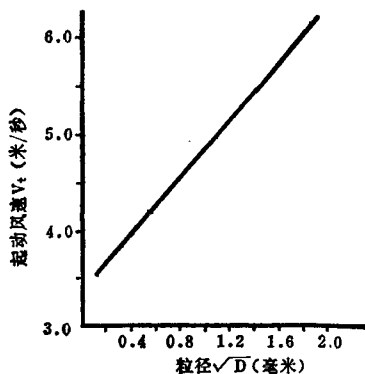


图2-1b 起动风速 V_t 与雪粒粒径平方根 ($\sqrt{D}$) 的关系

次搬运后，积雪密度可达到 $0.30 \sim 0.40$ 克/厘米³，加之雪粒间相互撞击粘合作用，雪粒粒径也随之增大，这时需要大的风速，雪粒才能起动。图2-2为低温吹雪时起动风速与积雪密度的一般关系图。

在山区平缓山坡附近的路面上，随着积雪密度的增加，1米及10米高处的起动风速值均迅速增大。但在秋末和初春的季节里，暖湿空气带来的降雪，往往伴随着比较高的温度 ($-1.0^{\circ} \sim -6.0^{\circ}\text{C}$)，此时片状雪花间粘滞力增大，致使密度较小的湿雪，起动风速反而有随着积雪密度减小而增大的趋势。同样，由于温度较高时雪粒含水量大而使新雪密度增加很快，此时所需起动风速可能不遵循图2-2中曲线所反映的规律。这种起动风速随季节和外界积雪温度条件而变化的特点，在实际运用中要加以考虑。

四、地面粗糙度对起动风速的影响

地面粗糙度不同，对起动风速的影响也不一样，其相互之间的关系比较复杂，下面作一些简要说明。

对于一般自然下垫面，因为长有野草、灌木等，地表凹

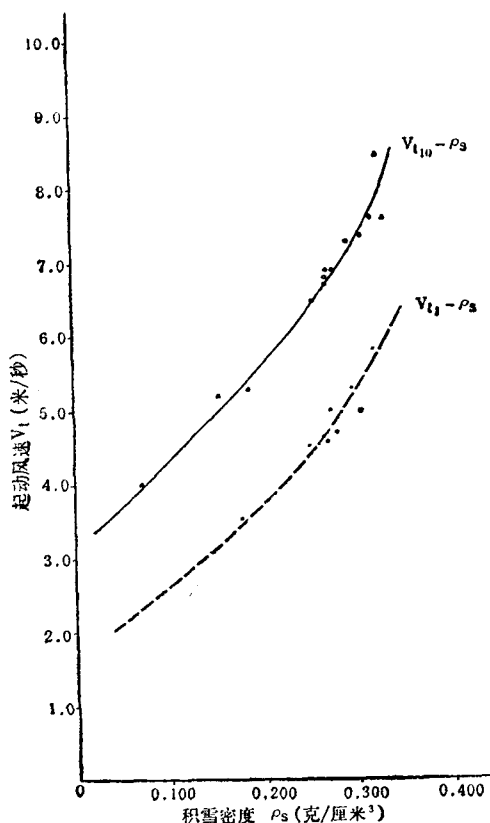


图2-2 低温吹雪时起动风速与积雪密度的关系

V_{i1} —— 1米高处起动风速(米/秒); V_{i10} —— 10米高处起动风速(米/秒)

凸不平,粗糙度比较大。较大的粗糙度,虽有促使气流向上运动,利于雪粒起动的趋势,但主要是起阻碍作用,阻挡近地气层的气流运动,使地面的雪粒不易起动,并使运动着的雪粒停留下来,这就是草地、灌木丛中积雪较多的原因。因而一般自然下垫面随着地面粗糙度的增加,雪粒的起动风速

值随之增大。

在积雪面上，则是另外一种情况。雪面均匀平坦，粗糙度较小，气流垂直运动的分量相对较小，雪粒与气流的接触面也较小，故雪粒不易起动。如果雪面凹凸不平，粗糙度较大，气流垂直运动速度分量相对较大，同时雪面凹凸处增大了一部分雪粒子与气流的接触面，因而这些雪粒就比粗糙度小的平坦雪面上的雪粒容易起动。

由野外观测到的不同粗糙度情况下各类型积雪表面10厘米高度处的起动风速值（表2-1）可知：积雪面上雪粒的起动风速是随粗糙度的增加而减小。

不同粗糙度 z_0 情况下的10厘米高处起动风速 V_t 表2-1

z_0 (厘米)	3.1000	1.0000	0.5930	0.2450	0.1400	0.0210	0.0026
V_t (米/秒)	1.5	1.8	2.6	2.7	3.1	3.8	3.9
积雪面状态	丘状起伏雪波		波状雪波纹		新吹雪板		平滑风板

注： z_0 为雪面上风速等于0的高度。

第二节 吹雪量随高度的分布

风雪流发生以后，雪粒分别以滚动、跳跃和悬浮等形式在近地层中移动。在不同天气条件下产生不同特性的风雪流。通常以吹雪强度来表示风雪流中的含雪量多少以及雪粒迁移输送的特征。吹雪强度也叫移雪量强度，是指单位时间(分)通过垂直于风向的单位面积(厘米²)上的雪量(克)，以克/厘米²·分来表示，为了计算风雪流运动的某些参数，也常用克/厘米²·秒来表示。单位时间内通过垂直于风向的单位宽度截面的吹雪量叫单位吹雪量，以克/米·分或克/米·秒来

表示。如果把风雪流中所含雪粒的质量 (m) 除以当时的积雪密度 ρ_s , 即能得到以体积表示的吹雪量。再以此吹雪量乘以风雪流路段长度和风雪流持续时间, 就可得到该路段的移雪量。

吹雪量在空间和时间上的变化是有一定的规律可寻的。测定和掌握这些规律, 不但可以加深对各地风雪流性质和特点的了解, 而且也可能进行某一地区风雪流防治工程中所需参数的计算。

吹雪量在空间上的变化, 最明显地反映在吹雪量沿着垂直方向的变化。吹雪量在垂直方向上, 随高度的增加而显著减少, 并遵循对数变化规律。表2-2列出了不同天气条件下天山某公路区吹雪量随高度的变化。

不同天气条件下吹雪量的垂直分布

表2-2

日 期	1972年4月11日	1972年4月13日	1973年2月19日	1973年1月4日
天 气 状 况	降雪天偏西风	阴天偏西风	晴天偏东风	阴天偏西风
气 温 (°C)	-6.2	-7.4	-10.9	-18.0
1.0米高风速 (米/秒)	9.9	7.1	7.5	5.9
10.0米高风速 (米/秒)	14.2	9.3	10.6	7.8
积雪密度 ρ_s (克/厘米 ³)	0.054	0.116	0.194	0.085
各层单位 吹雪量 (克/米·秒)	0~2 厘米 (q_1)	3.521	5.157	2.902
	25~27 厘米 (q_2)	0.036	0.040	0.030
	$\frac{q_1}{q_2}$	4.9	128.9	96.7

从表2-2可以看出, 不同天气条件下吹雪量随高度的分布

是显著不同的, 降雪天吹雪量随高度的变化较小, 0~2 厘米的吹雪量仅是26厘米高处的4.9倍。到了阴天, 吹雪量随高度的变化增大, 0~2 厘米的吹雪量为26厘米高处的 97.8 倍, 晴天时可达128.9倍。

在吹雪天气里, 吹雪质量的垂直分布, 可用下列指数方程来表示:

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{-\frac{\omega}{0.4V_*}} \quad (2-2)$$

式中: m_1 ——高度 z_1 处单位体积内的吹雪质量 (克);
 m_2 ——高度 z_2 处单位体积内的吹雪质量 (克);
 ω ——湍流悬浮速度 (厘米/秒);
 V_* ——摩阻速度 (厘米/秒)。

由实际观测证实 ω 随吹雪性质不同而变化, 降雪天吹雪时 ω 值较大, 为31.3~35.9厘米/秒, 晴天吹雪时 ω 值相应减少至 14.2~17.0 厘米/秒。这种变化更进一步说明, 晴天吹雪时上下层吹雪量相差大是由于湍流悬浮速度小的缘故。在

晴天时各层移雪量占全层移雪量的百分比(%) 表2-3

分布高度 (厘米)	日期		1972	1972	1972	1972	1973	1973	1973	1973	1973		
	年	月	1972	1972	1972	1972	1973	1973	1973	1973	1973		
	日	日	11	17	19	3	4	5	5	5	19	合计	平均
0~2			52.9	70.0	67.3	42.0	42.4	37.0	34.3	62.0	30.0	437.9	48.66
0~10			95.5	93.8	99.3	61.3	75.5	88.8	86.0	97.1	90.6	787.9	87.54
0~20			99.4	100.0	100.0	68.1	80.4	95.6	90.8	100.0	97.6	831.9	92.43

降雪天随着湍流悬浮速度增大而加速了上下层雪粒的悬移混合,从而使吹雪量随高度的变化减小。

表2-3与表2-4分别列出了晴天和降雪天贴地层移雪量占全层移雪量的百分比。从表2-3可知,在晴天吹雪天气里,0~20厘米层内的移雪量占全层移雪量的92.43%,变化在68~100%之间;在降雪天的吹雪天气里,0~20厘米层内的移雪量占全层移雪量的74.28%,变化在36~98%之间(表2-4)。由此可见,不论是晴天还是降雪天,风雪流中大部分雪粒都集中在0~20厘米以下的贴地气层中。

降雪天各层移雪量占全层移雪量的百分比(%) 表2-4

分布高度 (厘米)	日期	年	1972	1972	1972	1972	1972	1973	1973	1973	1973		
	月	日	2	4	4	4	12	2	2	2	2		
	17	11	13	17	5	15	17	20	21	合计	平均		
0~2	64.3	6.6	14.2	31.5	17.5	32.8	19.6	24.6	17.1	228.2	25.36		
0~10	88.8	43.2	94.6	63.9	33.1	72.2	52.1	77.1	51.6	576.6	64.07		
0~20	94.0	70.3	98.0	74.1	36.9	82.3	62.8	90.0	60.1	668.5	74.28		

第三节 风雪流对道路的危害类型

贴地气层中风速的大小对风雪流发展趋势起着决定作用。影响贴地气层风速变化的因素较多,其中主要有地表面的粗糙度、地面障碍物和地形的局部变化等。所以在其它条件相同的情况下,路基横断面形状对道路是否会发生雪害起着很重要的作用。根据路基横断面形状、积雪形态和流场状况,可以把风雪流对道路的危害归纳为以下五种基本类型。