

中国天山艾肯达坂透风式下导风防雪工程*

王 中 隆

(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

提 要 据艾肯达坂风雪流形成条件,提出了贴地气层分离是公路吹雪堆积的机理.通过对密闭式下导风能量转换和流场结构的剖析,创造了透风式下导风防雪工程.其实施后,改变了公路因冬半年严重雪阻而不能通车的状况,经济效益和社会效益俱佳.

关键词 天山 艾肯达坂 透风式下导风 防雪工程 风雪流

我国境内的天山是东西向,横亘于新疆维吾尔自治区(简称新疆)中部,海拔多>4 000m,冷暖季分明.天山西部山势由东向西递降,从北至南山脉盆地相间,谷地向西开口,利于西来气流入侵.

艾肯达坂(海拔2 840—3 050m),位处天山西部,居于西风气流的迎风坡,对西、西北两个方向来的低槽和冷锋具有屏障作用.由此使当地成为天山降水最多的地区之一,年降水量约1 000mm.当年10月下旬—翌年4月为主要降雪期,均温<0℃,最低气温达-37℃;降雪总量约350mm,最大降雪总量394mm,最大自然积雪深度>145cm.

国道干线伊(宁)若(羌)公路艾肯达坂路段(长23km),是连接伊犁哈萨克自治州(简称伊犁州,首府在伊宁市)和巴音郭勒蒙古自治州,以至南疆地区的公路交通咽喉.1981年以前,该路段公路因冬半年吹雪堆积深厚而难以通车;每逢冬半年,伊犁州往南的汽车需绕道807km,经乌鲁木齐、库尔勒抵若羌.由上可见,艾肯达坂的公路路面雪阻严重影响着公路畅通,亟待解决,得采取防雪工程措施.

兹就20世纪80年代以来对艾肯达坂风雪流形成及雪阻状况、贴地气层分离和透风式下导风防雪工程的研究做如下简要阐述.

1 艾肯达坂风雪流形成条件及雪阻条件

我国的积雪分为两类,即“干寒型”和“湿暖型”.“干寒型”积雪是在行星西风带控制区内形成的一种典型积雪.它的特点有密度低,负温大,雪层温度低,积雪密实化,固结作用速率小与力学强度低等.艾肯达坂的积雪属“干寒型”.它利于雪粒起动与运行,使吹雪发育长度较短,一般20—210m.大量观测结果得知,气温由-30℃上升到-5℃者,1m

* 本课题由中国科学院和新疆军区下达,并得到新疆维吾尔自治区交通厅公路管理局资助.

此项工作主要由本所、中国科学院兰州沙漠研究所、新疆维吾尔自治区交通厅公路管理局及其下属的伊犁公路养护总段完成.对协作单位中国科学院下属的新疆地理研究、成都山地灾害与环境研究所,以及新疆气象局等的同仁们表示感谢.对在工作中疾劳病逝的三位同志深表悼念,致残致病的四位同志深表慰问!

本文收稿日期:1994-05-06.

高处雪粒起动风速 V_i 变动在 3.4—4.5m/s 之间。艾肯达坂于风口地带,大风出现时数 t 多,冬半年 $V_i > 5.0$ m/s(东风、西风合计)的 $t > 600$ h,使风雪流出现频率高约 50%。阴雪天(多为西风、西北风)和晴天(盛行东风、东南风)总移雪量分别达 500 与 > 400 (m^3/m)。

对不同量级降雪量出现几率所作的统计结果表明,降雪量 > 100 mm 的出现几率只有 7.1%,大体在 4 月;60—100mm 的出现几率 18.4%,大多在 3 月;10—60mm 的出现几率 72.2%,主要在当年 10 月下旬—翌年 3 月; < 10 mm 出现几率仅 2.3%,一般在 1 月。艾肯达坂降雪的特征是多以连续降雪出现。其中 10—30mm 连续降雪出现十分频繁,其次 30—60mm,一次较长的连续降雪可 > 20 d。观测结果还表明,在 3 月底前,若地表无雪或积雪很薄者,一次 10mm 左右的连续降雪,就能形成一连几天的风雪流,使公路路面上积雪深 2m。总之本区 70% 以上的公路雪阻由连续降雪所造成。

风对自然积雪有重新分布的作用。艾肯达坂地貌形态复杂,公路攀山而行,不少路段走向与吹雪风向的夹角 $> 70^\circ$,路基断面又多便于吹雪堆积的类型,故使本区公路雪阻频繁而又严重,有些路面积雪深 > 8 m。需指出的是,大风雪期间能见度极差,路面积雪深厚,不仅机械除雪速度很慢,有时一台机械一天推出单车道仅长 50m,而且已造成几起机翻人亡的事故。

由上可见,区内降雪量大,积雪类型为利于雪粒起动和运行的“干寒型”,风力较强,以便于吹雪堆积的公路路基断面类型为主。这些均为艾肯达坂风雪流的形成及严重雪阻的产生创造了条件。

2 贴地气层分离与密闭式下导风

下垫面性质是风雪流运动的转换条件,而风雪流场结构直接影响着雪粒的运行、吹蚀和堆积。风雪流穿经平坦开阔地面时,仅有摩擦阻力损失,而风速变化不大,吹雪一般处于不饱和状态,雪粒随风运行,并形成各种吹蚀形态。若从地表进入气流中的雪粒与沉降到地面上的雪粒几近相等,或处于平衡状态者,地表风雪流的吹蚀与堆积就均不明显。如果地表粗糙度明显增大,摩擦阻力增加,使气流搬运能力相对减弱,则形成积雪深度不大的片状或舌状等吹雪堆积。若风雪流吹经起伏大的地面或障碍物者,则不仅有摩擦阻力,更主要是由于地貌与地物的局部变化,而使贴地气层运动的气流发生滞止、回流,并与地表分离,形成涡旋阻力。其比摩擦阻力大得多,从而气流速度锐减,使大量雪粒堆积^[1]。

涡旋阻力和摩擦阻力所损失的能量

$$P_0 = (C_p/2) A \rho V_0^3 S, \quad (1)$$

式中 C_p 为地表阻力系数; A 是地表的特征面积; ρ 是气流密度; V_0 为地表气流速度; S 是雪粒沿阻力方向的迁移距离。

用式(1)计算结果表明,在雪源、风向等相近的条件下,地貌形态和道路路基断面类型的剧变及气流速度越大,吹雪堆积就越多。

道路上能否出现雪阻及其严重程度,与道路所处的位置、周围地貌形态、雪源多少和吹雪风向等有关。但在上述条件相近时,路基断面类型与规格对路面雪阻及严重程度起着决定作用。参考文献[2]中所指出的易造成道路吹雪堆积的路基断面类型主要有:背风

半路堑、迎风半路堑、典型路堑、转弯绕流路段、过低或过高的路堤及隧道进出口等。但该文中未论述路堑的风雪流场结构和积雪过程。现对此作如下分析。

路堑的背风坡、迎风坡和坡折点,使风向变化多端,并在路堑的背风坡坡折点 A 处、迎风坡坡折点 B 处出现两个较明显的涡旋减速区(前者比后者的范围大)和路堑中的回流增速区(图 1, 2)。因此路堑的风雪流场结构较其他断面类型的积雪路基的风雪流场结构复杂得多。

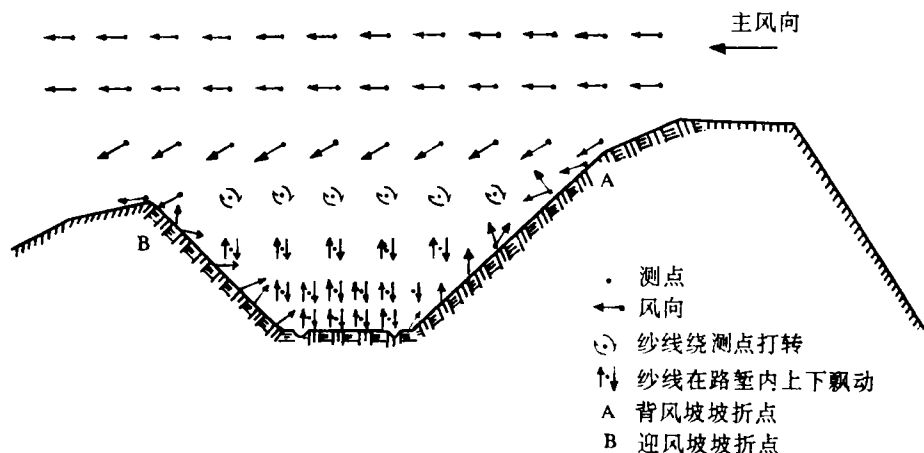


图 1 垂直于主风向的路堑的风向变化

Fig. 1 Variation of wind direction in a vertical to wind direction cut

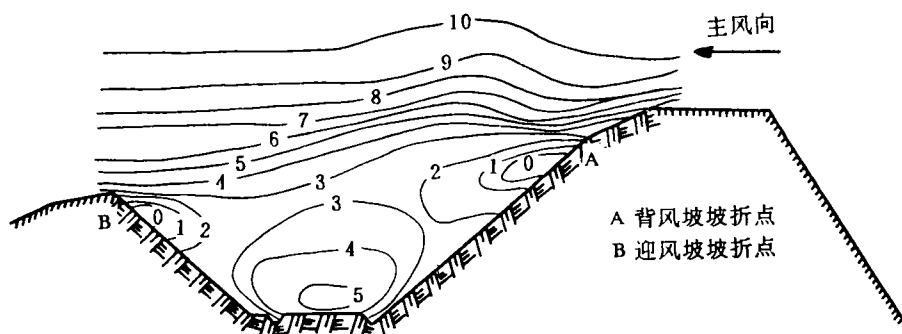


图 2 垂直于主风向的路堑的风速等值线(单位: m/s)

Fig. 2 Isolines (unit: m/s) of wind velocity in a vertical to wind direction cut

若风雪流由堑顶沿背风坡作向下运动时,贴地气层首先在 A 点处分离,形成强烈的涡旋减速区,使大量雪粒呈雪檐形堆积在 A 点附近。与此同时,路堑中部却出现较强的回流增速区,风雪流处于吹蚀状态,使路堑底部暂无积雪。此后, A 点处雪粒不断堆积,所成的雪檐随贴地气层分离点前移而至路面。迎风坡的阻塞作用及涡旋减速区的积雪也渐向路堑中移动,导致路堑中的回流增速区减小以至消失,路堑底部就被雪埋没,造成严重雪阻^[3]。若雪源充足、背风坡和迎风坡间距较小、路堑又深者,则路堑雪阻更为严重。

对路堑及其他路段的雪阻所作的分析得知,路面上由贴地气层分离而形成的涡旋减

速区,乃是道路雪阻的机理.就同一地区而言,随着路基断面类型、规格的不同,贴地气层分离点的位置、涡旋减速区的强度及尺度也不一样,因此吹雪堆积量也有明显差异.

密闭式导板下导风(简称密闭式下导风)是一种防雪工程.它能使流层流体运动的动能和势能转化,并加强导板上下两端流体运动的动能和势能.从而消除了贴地气层分离,破坏了路面之上的涡旋减速区,以防止雪阻.

背风半路堑密闭式下导风工程设置后,改变了道路的风雪流场性质,使流场成为一种近于平板(垂直气流)的绕流结构(图3).

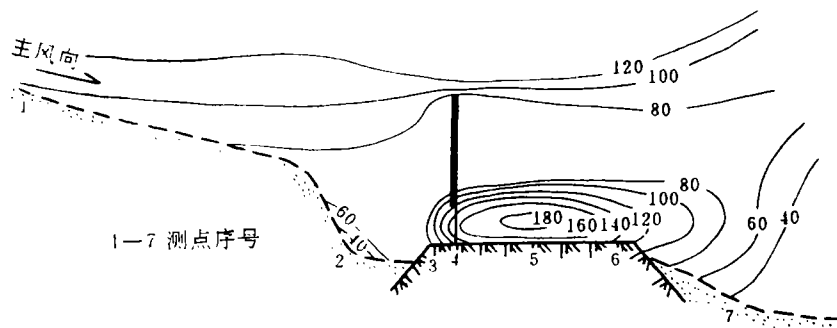


图3 背风半路堑直立型密闭式下导风风速百分比等值线

Fig. 3 Isolines of percentage of wind velocity near a upright blower fence in a leeward one-sided cut

在迎风半路堑密闭式下导风工程的导板前后出现了五个重新组合的风速区,抑制了雪檐或雪舌的前移,路面之上不呈现涡旋减速区,而在路基中部形成一风速明显增大带(表1).因而迎风半路堑设有密闭式下导风工程的,风雪流不但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涡旋减速区沉降的雪粒带走,道路得以畅通.

表1 迎风半路堑未设和设有密闭式下导风的贴地气层风速

Table 1 Boundary layer wind velocity while with and without blower fences in a windward one-sided cut

贴地面高度(m)	风 速(m/s)							
	未 设 下 导 风				设 有 下 导 风			
	路肩	路中	路边	坡脚	路肩	路中	路边	坡脚
0.10	4.2	1.6	1.9	2.2	3.1	7.2	7.5	4.4
0.20	4.5	2.1	2.5	2.6	3.2	7.5	7.7	4.7
0.50	5.4	2.8	3.3	3.0	3.4	7.7	7.9	5.1

3 透风式下导风防雪工程

密闭式下导风防雪工程虽能保证道路畅通,但需要的导板材料量多(全由木板封钉而成)、易损坏且较难维修.由此减少导板投资,改进风雪流场结构,提高防护效能就成为需要继续研究的课题.由进一步分析得知,下导风能量转换是通过导板本身阻力来实现的.

导板阻力来自两个方面,即迎风面气流阻力和导板涡旋扰动引起的负压力。这就是说,若导板高度一定,通过适当增加导板透风度,可减少导板前后由涡旋扰动所引起的部分能量损失。

用风洞和在野外对不同导板高度、导板倾角、导板下口高度和导板各种透风度(如15—80%之间,增加档次5%)作了大量试验观测。结果表明,导板透风度35%左右者,仍能消除路面雪阻,保持道路畅通。在1979年国际运动雪学术大会上,对透风式导板下导风(简称透风式下导风)的理论根据、试验结果及风雪流场的结构特征等作了报告^[4]。与会专家、学者认为,这是一项有可能成功的新防雪技术,在学术研究上也是一个创新与发展。

1980—1981年,修改后提交的透风式下导风防雪工程由新疆交通厅公路管理局实施。与此同时,在周围地貌形态、路基断面类型、移雪量和吹雪方向相同条件下,为进一步弄清透风式下导风和密闭式下导风的风雪流场特征、两侧堆雪位置与数量等的差别,于雪阻严重的背风半路堑和迎风半路堑处,各留一段新设的直立型透风式下导风试验工程和原设的直立型密闭式下导风试验工程(两者的导板高度和导板下口高度相同),以便对比观测。

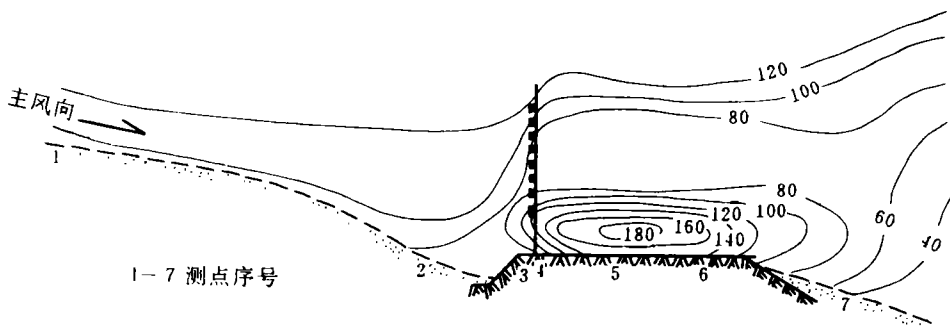


图4 背风半路堑直立型透风式下导风(导板透风度35%)风速百分比等值线

Fig. 4 Isolines of percentage of wind velocity near a upright blower fence with a permeability (35%) in a leeward one-sided cut

由同段的背风半路堑两种下导风试验工程(见图3,4)中可见,两者的导板前后虽都出现了五个重新组合的风速区,但大小和强弱却有所不同。由于部分气流穿过透风式下导风的导板,致使透风式下导风后方(图4右)中部涡旋减速区的范围有所减小,沉降雪粒较少;更重要的是,与密闭式下导风相比,透风式下导风前方(图4左)涡旋减速区的范围与强度均小得多。如密闭式下导风前方(图3左)测点2处竟出现 $<60\%$ 的风速百分比等值线,导致该处积雪深度达6.2m,而透风式下导风测点2处积雪深度仅1.3m,这显示穿过密闭式下导风下口的气流显著减弱。透风式下导风的前方积雪较薄,显示通过导板下口的气流较强,后方路面的风速就增大,气流吹刮宽度相应增宽约2.0m。

在迎风半路堑上,透风式下导风各处的风速分别 $>$ 密闭式下导风相应各处的风速(表2),前者的气流吹刮宽度要增宽 $>2.0\text{m}$ 。

透风式下导风工程除前述的直立型外,还有前倾型(导板倾角 $<90^{\circ}$)和后倾型(导板倾角 $>90^{\circ}$).这三类工程各有长处,可因地制宜加以使用.例如,在伊若公路 K330+184—+816 背风半路堑严重阻车路段,设置了导板倾角 75° 、导板高度 5.0m、导板下口高度 2.2m 的背风半路堑前倾型透风式下导风工程(导板透风度 30%,图 5).观测积雪变化时间:1989-01-04.

表 2 迎风半路堑直立型密闭式下导风和透风式下导风的贴地气层风速¹⁾
Table 2 Boundary layer wind velocity near bower fence and blower fence with a permeability in a windward one-sided cut

贴地面高度(m)	密闭式下导风				透风式下导风			
	路肩	路中	路边	坡脚	路肩	路中	路边	坡脚
0.10	3.4	7.8	8.2	4.8	3.8	8.7	9.1	5.4
0.20	3.5	8.0	8.5	5.2	4.0	9.2	9.6	6.0
0.50	3.7	8.4	8.9	5.5	4.3	9.6	10.1	6.4

1)与表 1 在同一处,两种下导风的规格相同.

此路段位于艾肯达坂顶的背风坡,吹雪方向与道路走向的夹角近 90° ,冬半年总移雪量 $500\text{m}^3/\text{m}$.因此该处成为本区雪阻最严重的路段.

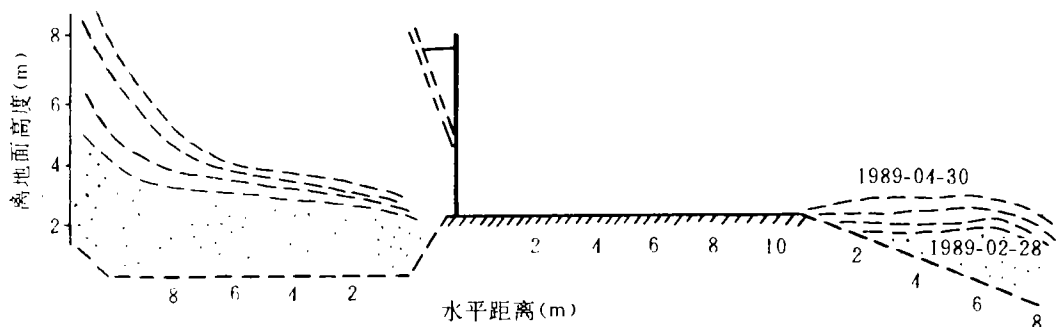


图 5 背风半路堑前倾型透风式下导风工程的上下风面积雪变化

Fig. 5 Variation of deposited snow on the upper and down surface of forward-inclined blower fence with a permeability in a leeward one-sided cut

所采用的倾角 $<90^{\circ}$ 透风式导板,对吹来的风雪流有向下压缩的作用,使导板前方(图 5 左)雪檐形成较缓慢,同时路面风速相对增大,从而吹雪不在路面上堆积,甚至连降到路面上的雪也被吹光.就一般严重雪阻路段或中等雪阻路段而言,采用这类结构简单、省料的直立型透风式下导风工程,确可保证道路畅通.

1981 年在艾肯达坂路段,新疆交通厅公路管理局完成了总长 8468m 透风式下导风工程,不仅节省了工程材料费 160 多万元,而且还增大了路面不积雪的宽度.此外还辅以修建了敞开式路基,开挖了储雪场(沟)和修整了边坡、加大了弯道半径等,移动土石方量 22万m^3 .由此开始,冬半年路面无雪阻,保证了公路畅通,伊犁州南行汽车再无需绕道.

一个较大防灾工程十年后计算其效益是比较可靠合理的.为此 1992 年新疆交通厅

公路管理局及其下属的计财科做过效益计算。计算结果表明,艾肯达坂透风式下导风等防雪工程建成后,冬半年艾肯达坂路段汽车可畅通无阻;11 年共节省运输费用 4.79 亿元,取得了巨大的经济效益和社会效益。前往参观的中外名家、学者也给予高度评价^[5]。

参 考 文 献

- [1] 王中隆,白重媛,陈元. 天山地区风雪流运动特征及其预防研究. 地理学报,1982,37(1),51—64.
- [2] 王中隆. 我国地害及其防治研究. 山地研究,1983,1(3),22—31.
- [3] 王中隆,潘遐华,刘贤万. 路堑和隧道风雪流的风洞模拟实验研究. 地理学报,1988,43(3),265—273.
- [4] Wang Zhonglong, Chen Yuan. Research on prevention of snow-drifts by blower fences. *Journal of Glaciology*, 1980, 26 (94), 435—445.
- [5] 张祥松,王中隆,王彦龙等. 中国冰雪灾害研究的回顾与展望. 见:第四届全国冰川冻土学术会议论文选集. 北京:科学出版社,1990. 3—8.

APPLICATION OF BLOWER FENCES WITH A PERMEABILITY NEW TECHNOLOGY ON AIKEN PASS IN TIANSHAN MOUNTAIN OF CHINA

Wang Zhonglong

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences

Lanzhou 730000)

Abstract

Tianshan Mountains inner China extend in WE, the altitude is usually over 4 000m, the cold and warm seasons can be divided clearly. Aiken Pass (at the altitude 2 840—3050m) is situated in west part of Mt. Tianshan and the intersected site of windward slope and wind gaps. Here is the most precipitational region on Mt. Tianshan, the annual precipitation is 1 000mm. The winter half an year (during October in year to April in next year) is the main snowfall period, the average temperature is below 0℃, the lowermost temperature reaches -37℃; the average snowfall is 350mm, the maximum one reaches 394mm, the maximum natural snow deposit >145cm; the velocity of wind >5.0m/s reaches 1 600h, the occurring frequency of snow drift is 50%, and the total snow transportation is 400—500m³/m.

The section along Aiken Pass (23km long) in National Highway from Yining to Ruqiang is the key section which connects the south and north Xinjiang each other. Before 1981, this part is the serious snow blockage section in this region, the maximum snow deposit reached 8m, during the period of winter half an year, all automobiles should take a devious round for 807km.

More than 70% of highway snow blockage is caused by continuous snowfall. The snow

deposit type belongs to "dry-cold type" which is fit for starting and movement of snow grain, the favourable roadbed sectional type for snow drift deposition is mainly in a leeward one-sided cut, windward one-sided cut and typical cut etc. All these factors become the formation condition of snow drift and snow blockage disasters in Aiken Pass. The vortex velocity reduction zone caused by separation of boundary layer on road surface is the main generation of road snow blockage.

The blower fence and blower fence with a permeability are all the snow drift prevention works, but the first one needs much deflector material, it is easy to be destroyed and difficult to maintenance, the late one can avoid these weaknesses.

The observation on two upright blower fence in leeward one-side cut on Aiken Pass (Fig. 3—4) shows that both of which has appeared five united wind velocity zones, but their scale and intensity are different. The blower fence with a permeability can let some airflow permeate through deflectors, the range of vortex zone behind of deflectors become smaller, so there are fewer snow drift depositing. The most important point is that comparing with blower fence, the front of blower fence with a permeability is much smaller no matter the scale and intensity of vortex velocity reduction zone. The snow deposit is 6.3m in front of the first one, but it is only 1.3m in front of later one. The snow deposits is relative thin in front of blower fence with a permeability, this phenomena indicates that the airflow passed through deflectors is very strong, so the velocity on road surface behind of deflectors will be increased, the blowing width by airflow will be enlarged 2m. The blower fence with a permeability is the best snow drift prevention works.

In 1981, the highway departments set up 8 468m long blower fence with a permeability and other supplementary works on Aiken Pass. Since then, there is no snow blockage during winter half an year and ensure the safety of transportation, automobiles is not needed to take a devious round.

After 11 year from 1982 to 1992, 479M yuan (RMB) of highway transportation fee was saved.

Key words Tianshan Mountains, Aiken Pass, blower fence with a permeability, prevention snow works, snow drift