

牧区道路路基合理断面形式的研究

胡 朋¹, 郑传超², 徐汉信³, 相 东³

(1. 山东交通学院 济南市 250023; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064; 3. 赤峰市公路管理局 赤峰市 024000)

摘 要: 牧区道路是一种比较特殊的道路形式, 易受雪害和沙害的影响。利用有限元的方法分析了风速场在遇到路堤、路堑、半填半挖路基时的变化情况, 模拟风雪流和风沙流在遇到不同路基断面形式时的速度场, 从而提出合理的路基断面形式。

关键词: 牧区道路; 风雪流; 风沙流; 路基断面形式

内蒙古自治区内草原的自然路, 车道数量多, 占地面积大, 对草场形成大面积破坏, 使得草场沙化加剧。牧区地质条件简单, 土质多为风积砂或者是砂性土, 路基成型困难, 施工难度大。同时, 由于对已建成的公路采用的防护措施不完善, 方法不得当, 造成公路风蚀严重, 直接影响着公路的安全。公路边坡按现行规范标准设计施工, 对适宜牧区道路的路基高度及边坡坡度没有经过系统地研究, 致使公路沙阻、沙埋、雪埋现象非常严重, 经常阻断交通。近几年出现的几次严重雪灾, 都是因交通中断, 使救援物资不能及时运到, 给牧区救灾造成了极大困难。

为了研究牧区道路路基合理的边坡坡度和高度, 首先就要掌握风雪流和风沙流的运动规律。从风沙流和风雪流是否堆积或者吹蚀的根本原因来看, 风沙流和风雪流的速度是最为关键的因素。所以, 掌握风雪流和风沙流在路基各个不同部位速度的变化规律非常重要。本文采用了有限元的方法来模拟不同路基断面形式的风速场, 以此来分析风雪流和风沙流在越过不同路基断面形式时的运动特征, 找出适合牧区的合理的断面形式和防治风吹雪、风积砂的合理措施。

1 有限元模型的建立及边界条件的施加

1.1 有限元模型的建立

野外实地地形变化较多, 本文在进行分析时做了一定的简化, 并根据实际情况建立路基二维有限元模型进行分析。本文以高度为 1.5 m、宽度为 8.0 m、边坡坡度为 1:1.5 的路基为例来建立模型, 如图 1 所示。

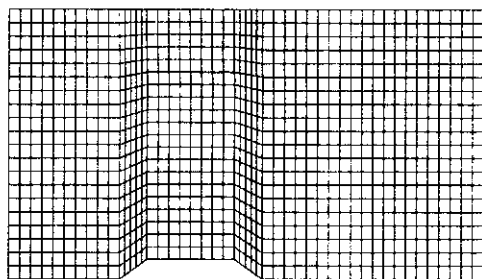


图 1 路基二维有限元模型

1.2 边界条件的施加

在进行计算分析时需要定义边界条件, 一般边界条件如图 2 所示。左边界为来流方向, 施加初始速度 $V_x = 8.0 \text{ m/s}$; 上边界施加初始速度 $V_x = 8.0 \text{ m/s}$, $V_y = 0$; 下边界 $V_x = 0$, $V_y = 0$; 右边界施加压力自由度 $\text{Pressure DOF} = 0$ 。经过计算雷诺数可知, 应采用紊流边界层。

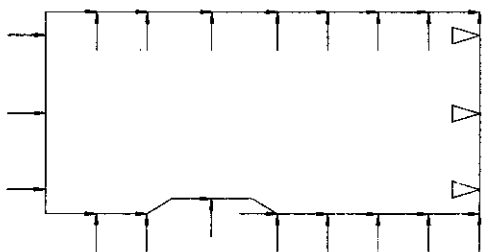


图 2 边界条件

2 分析结果的验证

为了验证分析计算结果的正确性, 取 1.0 m 高路堤, 对沿程 20 cm 高度的风速和吴正^[1]现场实测

沿程 15 cm 高度处风速进行对比。采用本文有限元模型分析的结果显示,背风路肩处风速显著增强。而吴正的实测数据^[1]表明,背风路肩处风速有一定的减弱,其余各特征点处的风速变化与本文计算结果基本一致,见表 1。内蒙古自治区锡林郭勒盟交通科

学研究所,在公路风吹雪雪害防治技术研究项目阶段工作报告^[6]中的现场实测风速等值线表明,路堤背风路肩处的风速确实出现了增强的现象,而且增强幅度和本文基本一致。因此,本文采用有限元分析路基风速场的变化情况是可行的。

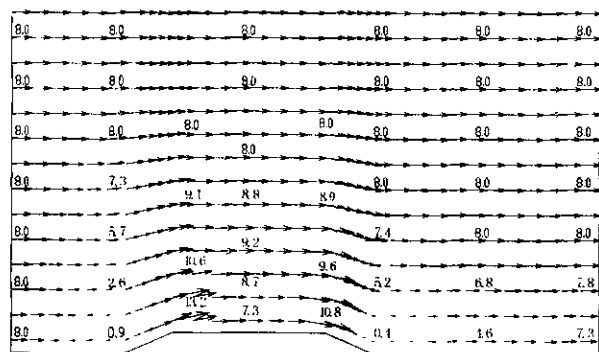
表 1 1.0 m 高路堤各关键部位风速变化

项目	沿程高度 cm	迎风坡脚		迎风路肩		路基中心		背风路肩		背风坡脚	
		风速 m/s	增减 %	风速 m/s	增减 %	风速 m/s	增减 %	风速 m/s	增减 %	风速 m/s	增减 %
有限元分析结果	20	3.63	-54.6	11.76	47	7.62	-4.8	9.58	19.75	1.79	-77.6
现场实测结果	15	4.3	-49	9.2	10	7.1	-16	7.8	-9	3.4	-60

3 路堤风速场的研究

3.1 路堤风速场

以高度为 1.5 m、边坡坡度为 1:1.5、顶面宽度为 8 m 的路堤为例,通过有限元建模和计算分析,得出其风速场如图 3 所示。



单位: m/s

图 3 路堤风速场

由图 3 可以看出整个风速场的变化情况。

(1)在迎风坡的坡脚、坡中处和背风坡的坡脚、坡中处的风速大大降低,由于风速的降低,风积砂和雪粒最容易在这些部位产生沉积,造成公路沙害或者雪埋。

(2)减速范围大致为迎风坡前 $4H$ (H 为路堤高度)距离,风速在背风坡后需要较长距离才能恢复。

(3)路肩处风速并不减弱,反而增强,这种增速情况尤其以迎风路肩为重。所以,在路肩处不会发生砂粒或雪粒沉积,反而会出现吹蚀现象。因此,在牧区道路的设计中,要对路肩进行加固或者用粒径较大的碎、砾石进行覆盖。

3.2 路堤高度和风速场的关系

分别计算路堤高度为 1.5 m、1.0 m、0.5 m 时的风速场,并提取沿程高度分别为 20 cm、80 cm、

160 cm 的各点处风速值点绘成图,如图 4~图 6 所示。

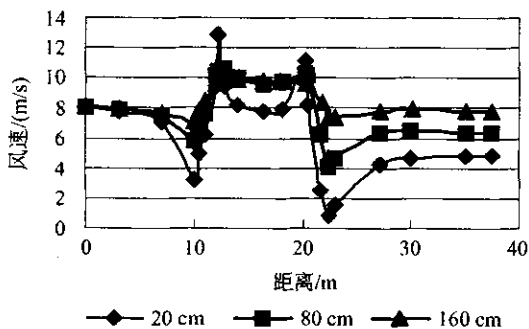


图 4 路堤高度为 1.5 m 时沿程不同高度的风速

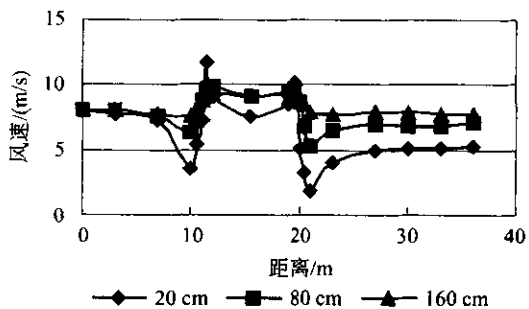


图 5 路堤高度为 1.0 m 时沿程不同高度的风速

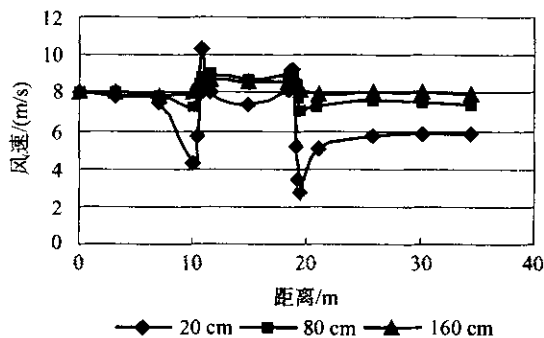


图 6 路堤高度为 0.5 m 时沿程不同高度的风速

由图 4~图 6 可以看出:

- (1)路堤越高,路基两侧的风速减速范围和程度越大;
- (2)地面风速减弱程度大大高于上部风速减弱程度;
- (3)背风侧的风速在沿程 80 cm 以下恢复缓慢,在沿程 80 cm 以上则很快就会恢复。

3.3 路基宽度和风速场的关系

路基宽度是根据不同车速条件下路基、路面各组成部分的功能要求,本着节约道路用地、节省工程造价的原则确定的。根据牧区道路课题组任艺宏^[5]的研究,将牧区道路分为牧一级、牧二级道路,并对其宽度进行了论证,提出了牧区道路路基宽度的建议值,见表 2。

表 2 牧区道路路基宽度						
道路等级		牧一级道路			牧二级道路	
设计车速/(km/h)		80	60	40	40	30 20
路基宽度 m	一般值	7.5	7.0	6.5	4.5	4.5 4.5
	最小值	7.0	6.5	—	—	— 4.0

表 2 中路基宽度的划分是从行车安全和行车的顺适上考虑的,此宽度的设置从自然因素上考虑是否合适呢?为此,分析了路基宽度分别为 8.0 m、7.0 m 和 5.0 m 时的风速场。分析结果发现,路基宽度变化后,前后的风速场基本不变。因此,在牧区道路路基宽度的设计上,可以不考虑路基风速场的影响。

3.4 路堤边坡坡度和风速场的关系

由分析知道,路堤高度对风速场有很大的影响。为了分析路堤边坡坡度对风速场的影响,建立了路堤高度相同、而边坡坡度不同的路基模型,并进行了分析。首先建立了边坡坡度分别为 1:2、1:3、1:4、1:5 和 1:6,路堤高度为 1.0 m 的 5 个模型,并进行了计算。

为了分析边坡坡度的变化对于沿程不同高度处的风速影响情况,将所分析的数据进行整理,得出了边坡坡度变化对沿程不同高度处风速影响程度的变化规律。经分析可以知道:

- (1)边坡坡度变缓,沿程不同高度处的风速逐渐趋于缓和,增速和减速程度变得比较小;
- (2)边坡坡度的变化对沿程较低处的风速影响较大,对较高处的风速影响不大;
- (3)对于路堤高度为 1.0 m 的道路,路堤边坡坡度缓于 1:4 时,对沿程不同高度处风速的影响程度

开始变得比较小。

4 路堑风速场的研究

4.1 路堑风速场的分析

为了分析路堑风速场的变化情况,建立路堑有限元模型,其路堑边坡坡度采用 1:0.5、路堑深度为 2.0 m。在计算后得出其风速场,如图 7 所示。

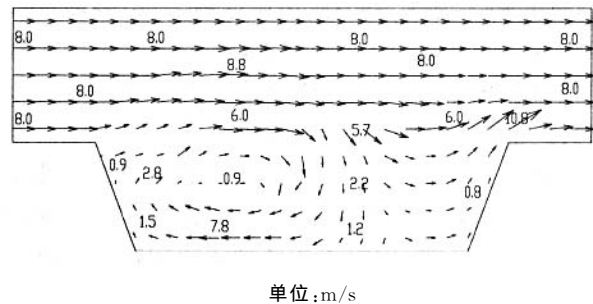


图 7 路堑风速场局部大样

由图 7 可以看到:

- (1)背风侧坡脚处产生了巨大的漩涡,而在迎风侧坡脚处的风速几乎停滞,所以在迎风侧坡脚处是雪粒和风积砂最易沉积的地方,在背风坡坡顶处雪粒也易堆积;
- (2)近地面风速变化剧烈,尤其以背风坡脚处为重,而沿程高度较高处风速变化程度比较缓和;
- (3)路肩处风速增强,但增强程度不是很大,所以在迎风路肩处,会发生轻度吹蚀现象;
- (4)在迎风坡脚处风速几乎停滞,所以在此处积沙严重,极易造成沙埋现象(图 8),在背风坡脚处,风速震荡,变化剧烈,在紧靠坡脚处也易形成沙埋。



图 8 路堑内公路沙埋现象

4.2 路堑深度对风速场的影响

为了分析路堑深度对路堑内部风速场的影响情况,分别计算了路堑深度为 1.0 m、2.0 m、3.0 m 和 6.0 m,边坡坡度为 1:0.5 时的风速场。其风速场具有如下的特征。

(1)路堑较浅时,漩涡在背风坡脚处产生,而且所形成的漩涡较小。随着路堑深度的增加,路堑内部的漩涡增大,漩涡中心点向路堑中心移动。

(2)由回流速度可以知道:路堑深度为 1.0 m 时,回流最大速度为 2.76 m/s;路堑深度为 2.0 m 时,回流最大速度为 7.63 m/s;路堑深度为 3.0 m 时,回流最大速度为 7.08 m/s;路堑深度为 6.0 m 时,回流最大速度为 5.11 m/s。这说明,路堑很浅时,回流速度很小;路堑深度增加,漩涡回流速度增加,但增加程度是有限的,当路堑深度增加到一定程度时,回流速度并不会随之增大。

从以上分析可以看出,对风沙盛行地区来讲,应尽量避免路堑的出现,因为不论何种形式的路堑,都会引起风速的降低。对于边坡较陡的深路堑,尽管会出现回流区,但回流速度还是无法超过远处的初始速度,所以深路堑更不宜采用。

对风雪盛行地区来讲,由于风雪流和风沙流的特征不同,尤其是风雪流的起动风速小于风沙流的起动风速,所以应区别对待。由分析就可以知道,较深路堑(2~6 m)中出现较强回流区,因此,路堑底不会积雪,如图 9 所示。对于浅路堑,回流速度很小,雪粒极易沉积连成一片,形成更严重的雪阻,难以清除,如图 10 所示。

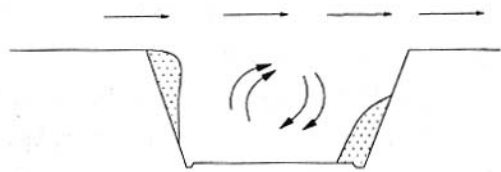


图 9 较深路堑仅在坡脚处产生积雪

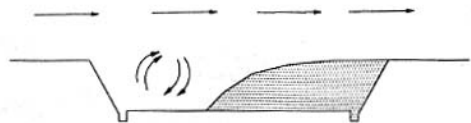


图 10 浅路堑易引起雪埋

但对于风速较低或者更深的路堑(>6 m),为了研究回流速度是否足以吹走雪粒的问题,分析了边坡坡度为 1:0.5、深为 10.0 m、初始风速为 4.0 m/s 的情况。

经过计算可以知道,随着路堑深度变大,路堑底的回流速度相对于初始速度仍然较大,可以达到初始速度的 60% 以上。这说明如果风雪流初始速度较大,路堑底部仍然不会积雪。同样,由以上结果可以

知道,如果风雪流初始速度较小,路堑底的风速就不会很高,如本例中,初始速度为 4.0 m/s,路堑底的最大回流速度只有 2.8 m/s,如此小的风速是不足以吹走积雪的;而且在背风坡处回流速度非常小,在本例中只有 1.0 m/s,在背风坡顶附近,风速基本为 0。所以,综合考虑自然界的情况,风雪盛行区还是要尽量避免特别深的路堑出现。

4.3 路堑边坡坡度对风速场的影响

为了分析边坡坡度对风速场的影响,从而找出合适的边坡坡度,建立有限元模型,其边坡坡度分别取为 1:1、1:2、1:3、1:4 和 1:5,路堑深度取为 2.0 m,初始风速为 8.0 m/s,然后进行分析。

经过分析可以知道:

(1)随着边坡坡度的变缓,路堑内部回流区逐渐消失,随着回流的消失,迎风坡脚和背风坡脚处的风速降低相当严重;

(2)在边坡坡度较大时,背风路肩处的风速减弱程度更为严重,但随着边坡坡度的变缓,迎风坡脚和背风坡脚处的减弱程度基本趋于一致。

由此可以知道,在风雪地区采用了较深路堑后,边坡应该采用较大的坡度或者采用完全开放式路堑,一般不要采用 1:1~1:4 之间的坡度。根据本例分析可以知道,在路堑深度为 2.0 m,采用 1:2~1:4 之间的坡度时,回流区将会消失,在迎风边坡和背风边坡附近风速降低严重,无法将雪粒携带出去,所以会引起雪粒大量堆积,产生严重雪害。

在风沙盛行地区,如在不得已的情况下采用了路堑的形式,也应采用深度小、完全开放式的路堑,以利于风沙顺利通过。

5 半填半挖路基风速场的研究

由于半填半挖路基的边坡坡度、路基高度变化都比较大,情况比较复杂,所以在此所建立的模型只能代表其中一种情况,通过这种情况来粗略了解其风速场的变化。

为了分析半填半挖的这种路基形式,建立 2 种模型:一种为挖方侧来流;另一种为填方侧来流的情况。模型的填方高度为 2.0 m,挖方深度也为 2.0 m;填方侧边坡坡度为 1:1.5,挖方侧边坡为 1:0.5;风速采用 8.0 m/s。

经过计算分析可以知道,当来流方向为填方侧时,风速场具有路堤风速场的性质:在迎风坡脚处风速迅速降低,很容易在此处产生积沙和积雪;而在迎

风路肩处风速增强,易在此处产生吹蚀。当来流方向为挖方侧时,风速场具有路堑风速场的性质。

由分析可以知道,在挖方侧坡脚和填方侧坡脚处风积砂和雪粒很容易沉积,造成沙埋和雪阻,而沿程仅在填方侧坡顶和挖方侧坡顶可能会产生轻度吹蚀现象。因此,根据半填半挖路基的特点,可以考虑设置储雪场或储砂场。当挖方侧来流时,可以在挖方侧设置储雪场或储砂场。当填方侧来流时,既可以考虑在挖方侧设置储雪场或储砂场,也可以考虑在填方侧设置。采用合理的边坡、完全敞开式路基,也可以在一定程度上防止雪粒沉积。

6 结语

牧区道路的路基断面形式对风速场的影响非常大,采用合理的路基断面形式可以减弱或者消除风沙流和风雪流引起的公路沙害或者雪害。

(1)风沙地区要尽量采用低路堤和较缓的边坡,尽量不用路堑或者半填半挖的路基形式。

对路堤来讲,高度一般不要高于 $1\sim 1.5\text{ m}$,在 1.0 m 左右时,边坡坡度可以采用 $1:4$ 。当路堤高度更小时,如低于 30 cm 时,建议路堤边坡坡度不要过缓,一般在 $1:1.5\sim 1:4$ 左右即可。

对路堑来讲,尽量采用边坡坡度较缓、挖方深度不大的路堑,一般深度应不大于 2.0 m 、边坡坡度缓于 $1:4$ 。在有条件时,尽量采用完全开放式路堑。

对于半填半挖路基,具有路堤和路堑的双重特点,应尽量采用较缓的边坡,同时应参考路堑和路堤的合理的边坡坡度和合理的高度或深度。有条件时采用完全开放式断面,并设置储砂场。

(2)风吹雪地区要尽量采用路堤的形式,尽量不用路堑或者半填半挖的路基。

对路堤来讲,为避免自然降雪带来的危害,路堤高度不宜过低。对于风吹雪地区,路堤位于平坦开阔地区时,路基最小填土高度一般要比当地最大积雪深度高出 $0.5\sim 1.0\text{ m}$,并清除路堤两侧 $15\sim 20\text{ m}$ 范围内凸出的障碍物;一般积雪地区,路堤最小填土高度要比当地最大积雪深度高出 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ 。风吹雪地区路堤在满足了最小填土高度后,可以适当放缓边坡。

在风吹雪地区要尽量避免路堑的出现,特别是浅路堑的出现。当无法避免时,应尽量采用深度较大、边坡较陡的路堑。

风吹雪地区中的半填半挖路基,也应尽量采用较缓边坡,有条件时采用完全开放式断面并设置储雪场。

参考文献:

- [1] 吴正,彭世古.特殊地区公路——风沙地区[M].北京:人民交通出版社,1993.
- [2] 王中隆,张志忠.中国风吹雪区划[J].山地学报,1999,11(4).
- [3] 董飞,刘大有,贺大良.风沙运动的研究进展和发展趋势[J].力学进展,1995,8(3).
- [4] Bagnold R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes[M]. New York: William Morrow&Company, 1941.
- [5] 牧区道路研究项目课题组.西部交通建设科技项目阶段报告之三[R].2004.
- [6] 内蒙古自治区锡林郭勒盟交通科学研究所.公路风吹雪雪害防治技术研究项目阶段工作报告[R].2003.

A Study on Reasonable Cross Section Type of Subgrade in Pastoral Area

HU Peng¹, ZHENG Chuan-chao², XU Han-xin³, XIANG Dong³

(1. Shandong Jiaotong University, Ji'nan 250031, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

3. Highway Administration Bureau of Chifeng, Chifeng 024000, China)

Abstract: The roads in pastoral areas are a special kind of highways, which suffer snow damage and sand damage easily. On the basis of using FEM to analyze the speed of wind blowing across the embankment, cutting and part cut-part fill subgrade, the speed field of snow-bearing wind and sand-bearing wind is simulated, then a reasonable cross section type of subgrade is proposed.

Key words: roads in pastoral areas; snow-bearing wind; sand-bearing wind; cross-section type of subgrade