

文章编号: 0451—0712(2006)08—0008—04

中图分类号: U418. 5

文献标识码: B

阻沙或积沙法测定风沙流活动强度

金昌宁¹, 董治宝², 刘健¹, 张天华¹, 阿米娜¹

(1. 新疆交通科学研究院 乌鲁木齐市 830000; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州市 730000)

摘 要: 现有的确定风沙流输沙强度之方法在运用到防沙工程设计上时,常因误差较大,难以满足工程需要。为解决这一问题,所提出的方法是首先设置起到阻沙作用的高立式沙障,然后在一段时间后,如一年或一个风季后,通过量测高立式沙障所在处的积沙量,再结合气象资料等,计算而得风沙流输沙强度。这种反向的“由果推因”之方法虽然需要的时间较长,却在一般情况下低于公路工程等的设计周期,可满足工程设计对时间的要求。而且以这种方法确定的风沙流输沙强度与实际出入不大,并经实践证明是可以满足防沙工程设计需要的。

关键词: 路基工程; 输沙强度; 风沙流; 高立式沙障; 防沙工程

在风沙研究领域,所谓风沙流活动强度,也称输沙强度或输沙率,是指气流在单位时间内通过单位宽度或面积所搬运的沙量^[1]。而在防沙工程设计方面,输沙强度则是需要较为准确掌握的最为重要的参数指标,其大小对防沙工程防护带宽度的确定有着直接的决定作用,因而也直接影响着工程造价及其后期维护费用。

1 现状分析

输沙强度计算一直是从事沙漠科学研究的学者极为关注的问题,尽管国内外学者在理论、实验及野外观测等的基础上提出了许多理论或经验公式,但由于边界条件的难以确定和区域性的差异,很难与特定区域内的实际输沙强度相符合^[2]。

目前,确定输沙强度的方法有两种。

第一种方法是用理论或经验公式来计算。首先

利用理论分析或风洞实验等,确定出输沙强度与风速之关系公式;有此公式后,然后利用气象资料,尤其是风速、风向、风时等风况资料,计算出输沙强度。以这种方法进行研究的人很多,推导出的理论或经验公式也有数十种之多。在这些公式中,有的公式表明输沙强度与摩阻速度的3次方成正比,有的公式表明输沙强度与风速超过起动速度的那部分风速的3次方成正比,有的公式表明输沙强度与摩阻速度的2次方成正比,有的公式表明输沙强度与风速超过起动速度的那部分风速的2次方成正比,有的公式表明输沙强度与风速为幂函数关系,等等^[3~5]。众多公式各有不同,令使用者无所适从。更为重要的是,已有研究表明,以这些公式计算所得结果往往与实验结果,特别是野外观测结果都有不小的差距。因其误差较大,则很少在防沙工程设计中运用。

第二种方法是目前常用的,是先用积沙仪在野

收稿日期: 2006—02—22

路用材料的重大改进方向与发展趋势。

(3)分析了造成公路路面、桥面早期快速破损的原因,对水泥混凝土路面与桥面使用的纤维,从结构适用性方面,提出了高强、高模量、小变形的要求;从复合材料适应性方面,提出了耐碱、阻锈、长度匹配的要求;从磨损结构的使用安全性、锚固性和拌和不成团方面,提出了外形要求;从经济性角度,提出单位重量的纤维根数要多。

(4)从沥青混合料热施工工艺上,提出所用纤维

必须具备耐热性、易热碾压性与不成团性;从与沥青混凝土材料适应性上讲,有亲油性、大应变性、无锚固外形、耐老化性要求;从纤维增强效果与经济性上,提出沥青混凝土所用的纤维要细,单位重量根数多。

(5)水泥砂浆分为结构水泥砂浆与抹面水泥砂浆,承受应力的结构水泥砂浆应遵循结构水泥混凝土使用纤维的规定;抹面水泥砂浆中使用纤维应遵循其与基体材料强度、变形、抗裂性相匹配的原则,并应兼顾其抹面施工工艺等要求。

外直接观测,再进行曲线拟合,拟合特定条件下输沙强度与风速的关系;然后利用气象资料,计算输沙强度。这种方法较第一种方法准确的原因在于,通过积沙仪在野外现场观测而得到的输沙强度与风速之关系,实际上已涵盖了风积沙粒径、形状、比重、湿润程度、地表状况等多种因素(特定条件)的影响^[1,2]。但是这种方法仍有明显不足,表现在以下几方面。

(1)沙漠地区自然条件恶劣,再加上积沙仪容量有限等,使得长时间观测变得很困难;而且长时间观测的费用也非常大。在多种因素制约下,在野外用积沙仪进行观测的时间一般都不很长,多在几天之内,在不同地貌单元或部位取得几组不同风速所对应的输沙强度即可。但已有研究表明,地表风积沙的湿润程度对输沙强度影响很大,且沙漠地区的降水又常与大风相伴;沙漠地区不同的降水对地表风积沙浸润程度不同,浸润程度不同的风积沙在不同温度、风速、光照等条件下的逐渐变干过程也各不相同。除此之外,在不同季节,沙漠植被的长势及其覆盖度等不同,也会在很大程度上影响输沙强度。因无法较为准确地把握这些因素的影响,自然会造成第二种方法也会有较大误差,这在降水较多、植物较多的半干旱或半湿润的沙漠或沙地中表现得更为明显。

(2)空气流场(风)具有很强的脉动性,表现为即使在某一点处,风速、风向也随时在变化着,而气象观测所得风速、风向则为一段时间(一般为10 min)的平均值。正因为如此,一方面固定在地表上的积沙仪不可能一直保持积沙口的方向平行于风沙流;另一方面因输沙强度与风速为非线性关系,则会出现这样的情况,一段时间内风速变化不同却平均值相同的风,其输沙强度并不相同;再加上地表上犹如障碍的积沙仪的本身亦会较为明显地影响到风速与风向,表明积沙仪测定结果实际上也并不准确,有时误差也较大。

(3)沙漠地区,尤其是沙漠内部气象台站很少,因此在计算输沙强度时所用气象资料多来自于沙漠外围的气象台站,后者常分布在绿洲中。虽然受大气环流等因素影响,在沙漠内部与外围的较大区域内,空气流场等具有较为明显的相似性或相关性,但仍然在变化中有所不同,尤其是下垫面性质相差较大时,如沙漠与绿洲等。这种气象资料的缺陷,同样可导致计算的输沙强度存在误差,且有时也较大。

本文介绍的方法是利用高立式沙障测定风沙流输沙强度。运用此方法时,首先在需要测定输沙强度之部位,如平坦的沙地或沙丘迎风坡上,垂直于当地合成主风方向(也就是新月形沙丘落沙坡之倾向或纵向沙垄之走向),设立起阻沙作用的高立式沙障(栅栏)。栅栏为常用的疏透型,孔隙度30%左右,高出沙面1~1.5 m、长度5~20 m,并要求在不同部位所设的栅栏不能相互影响。然后在一段时间后,如一年或一个风季后,通过量测栅栏所在处的积沙量,并结合气象资料,计算而得风沙流输沙强度。

2.2 分析论证

在栅栏所在处,风沙沉积的原因主要有3种:一是栅栏设立后,改变了局部气流场,导致一定范围内的近地表风速明显降低,从而削弱了搬运风沙的能力;二是栅栏本身以障碍物的形式所表现出的对运动沙粒的拦截作用;三是栅栏设立在天然条件下就已经存在的风沙沉积区中,如落沙坡处等,从而被动地接受风沙沉积。3种情况中,后一种较特殊。由于风沙沉积并非全由栅栏引起,故积沙量与输沙强度的对应关系十分复杂。为不使问题复杂化,则应要求栅栏不能设置在天然条件下就已经存在的风沙沉积区中。为满足这一要求,栅栏一般都设置在较为平坦的沙地或沙丘的迎风坡上,如在迎风坡的底部、中部与顶部等,并与落沙坡之间有一定的距离。

已有研究表明,在较平坦的沙地及沙丘迎风坡上,风沙运动具有贴近地表的性质。故对栅栏来说,只要孔隙率及孔隙大小合适,并在沙面上保持一定高度,如在40 cm以上,就能够拦截住绝大部分过境风沙流所携带的沙粒。在这种情况下,栅栏所在处的积沙量与风沙流输沙强度之间有着较为明显的对应关系。在平坦的沙地上,栅栏所在处的积沙量(Q)为:

$$Q = \sum_{i=1}^n (q_i \times \eta_i \times \sin \alpha_i) \quad (1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, n$,为不同方位的起沙风向; q_i 为第*i*个风向的输沙强度; η_i 为栅栏在第*i*个风向上的阻沙效率; α_i 为第*i*个风向与栅栏走向的夹角。

而在地形起伏较大的沙丘分布区,情况则有些特殊,因在沙丘的不同部位上,如沙丘迎风坡底部、中部、顶部及落沙坡等处,输沙强度有较大差异;当栅栏走向与当地的合成主风方向夹角较小时,较为明显的导沙作用,会使本应沉积在沙丘某一位部栅栏所在处的部分风沙却沉积在了沙丘的另一部位,如本应沉积在沙丘顶部栅栏所在处的部分风沙,却

2 技术论证

2.1 方法简述

沉积在了落沙坡处。如此一来,因难以掌握更为复杂的导沙作用,相应的研究工作也难以再进行下去。为避免上述情况出现,要求在这一地区为进行研究而设置栅栏时,栅栏走向应与当地的合成主风方向垂直,从而最大程度地减弱导沙作用。如果当地的主风方向很明显(沙漠地区基本上都如此),则导沙作用甚至可减弱至忽略不计。这时,也可用式(1)计算其输沙强度。

式(1)表明,如果栅栏的阻沙效率 η_i 在所有风向上均达100%,则栅栏所在处的积沙量在数值上等于各个风向输沙强度的矢量和。利用高立式沙障测定风沙流输沙强度,实际上是通过量测得知栅栏所在处的积沙量(Q)后,反过来求不同方位的输沙强度(q_i)。这显然是有多解性的,对此有3种处理方法。

第一种是当地的起沙风明显地以单风向为主,则可忽略其他方向的风沙活动影响,并由式(1)可知栅栏所在处的积沙量(Q)即为其输沙强度。以这种方法确定的输沙强度与实际有一定差距;但来自于实践的数据,在单风向要求能够得到很好保证的条件下,虽有一定的偏差,但差距不大,是可以满足工程需要的。

第二种是在季风等影响区,当地的起沙风明显地以往返风向为主,在此情况下也可忽略其他方向的风沙活动影响,但为了能区分往返风向的作用,需再设一道平行的栅栏,两道栅栏间距10 m左右,以达到每道栅栏都能够拦截外侧之风沙流,且栅栏处的积沙又不相互重叠之目的。然后,用与上述相同之方法,分别以各自栅栏所在处的积沙量(Q)为其不同风向的输沙强度。这种方法同样在往返风向要求能够得到很好保证的条件下,与实际差距不大,因而可满足工程需要。

第三种是在通过气象观测或气象资料收集等已得知当地的起沙风情况,包括起沙风的作用时间、风速及方位分布等。则可由式(1)得:

$$Q = q_a \sum_{i=1}^n (r_i \sin \alpha_i) \quad (2)$$

式中: q_a 为输沙总量,是各个风向输沙强度的代数和; $r_i = q_i / q_a$,为第*i*个风向上的输沙强度与输沙总量之比。

式(2)表明,若已知各个风向上的输沙强度与输沙总量之比(r_i),则可由栅栏所在处的积沙量(Q)计算出输沙总量(q_a),再由输沙总量计算各个风向上的输沙强度(q_i)。至于各个风向上的输沙强度所占

比例(r_i),可由起沙风作用时间、风速及方位分布算出。较为公认的输沙强度计算公式为:

$$q = A \times (V - V_i)^n \quad (3)$$

式中: q 为输沙强度; A 为常数; V 为实际起沙风速; V_i 为风积沙起动风速(取决于风积沙的粒径大小); n 为常数,在某一沙漠地区可参考已有研究成果将其取值为2或3,若无资料,也可取值为2.5(目前的研究成果一般倾向于输沙强度与风速超过起动速度的那部分风速的2次方或3次方成正比)。

利用式(3)及风况资料、风积沙起动风速等可计算各个风向上的输沙强度(q_i),后者的代数和即为输沙总量(q_a)。由此可计算出 r_i (两数相除时可将未知的常数 A 消去)。

需要说明的是,本文所述方法虽然也利用风况等气象资料进行计算,却不像传统方法那样用类似于式(3)的公式直接求得输沙强度,而是先求得各个风向上的输沙强度与输沙总量之比(r_i),再利用量测的栅栏所在处的积沙量(Q),反过来求得输沙强度。后者因为有实际量测的栅栏所在处的积沙量(Q)作保证,故误差不会很大(即使有气象台站距试验点较远等因素,造成气象资料有所误差时,也是如此),是可以满足工程需要的。

此外,还需说明的是,本文所述之方法虽然需时较长,却要低于公路工程等的设计周期,

公路工程设计需经预可行性研究、工程可行性研究、初步设计及施工图设计等阶段,需时一般在3年以上。两者相比,前者用时小于后者,表明此方法具有较强的实用性。

3 应用实例

位于塔克拉玛干沙漠腹地的塔中一号公路走向与当地合成主风方向大角度相交,从而为上述方法运用创造了条件。2002年,在部分路段的防沙工程设立达1年后,选择栅栏走向与当地合成主风方向垂直或近于垂直的路段,通过量测不同地貌单元与栅栏所在处的积沙量(Q),再经计算确定输沙强度。为此,首先根据塔中地区气象资料,计算出各个风向上的输沙强度所占比例(r_i),见表1。

在不同地貌单元及部位量测出栅栏所在处的积沙量(Q),再由式(2)计算出输沙总量(q_a),结果为表2。

由表2及表1,可计算出各个风向上的输沙强度(q_i)。

表 1 塔中地区的风沙活动参数

风向	起沙风速 $\geq 6.0\text{m/s}$		输沙强度 所占百分率/%
	风时/min	百分率/%	
N	138	2.81	3.35
NNE	392	8.00	8.50
NE	396	8.08	8.06
ENE	1 489	30.37	27.19
E	1 058	21.58	24.76
ESE	792	16.15	15.84
SE	121	2.47	2.02
SSE	50	1.02	0.71
S	40	0.82	0.66
SSW	26	0.53	0.46
SW	27	0.55	0.52
WSW	92	1.88	1.76
W	50	1.02	1.16
WNW	61	1.24	1.19
NW	27	0.55	0.47
NNW	144	2.94	3.37
合计	4 903	100.0	100.0

注:气象观测时间为 1995—05~1996—04。

表 2 典型路段栅栏所在处的积沙量

$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

地貌单元	地貌部位	栅栏处 的积沙量	输沙总量
垄间低地	平坦的沙地	1.98	2.58
		2.93	3.82
		2.66	3.47
	小纵向 沙垄垄顶	7.17	9.34
		6.72	8.75
纵向大沙垄	沙垄迎风坡 底部坡面上	2.32	3.02
		2.80	3.65
	沙垄迎风坡 中部坡面上	5.75	7.49
		4.94	6.44
	沙垄顶部 大沙丘顶部	12.52	16.31
		10.77	14.03
	沙垄背风坡 中部坡面上	4.50	5.86
		4.20	5.47
	沙垄背风坡 底部坡面上	2.11	2.75
		1.88	2.45

将此研究成果应用到塔且沙漠公路的防沙工程设计上,从而在不同的地貌单元及部位设置不同的防护带宽度,经实践证明是经济合理且又可靠的。

4 结论

(1)输沙强度计算一直是从事沙漠科学研究的学者极为关注的问题,尽管国内外学者在理论、实验及野外观测等的基础上提出了许多理论或经验公式,但由于边界条件的难以确定和区域性的差异,很难与特定区域内的实际输沙强度相符合。目前常用的方法是先用积沙仪在野外直接观测,再进行曲线拟合,拟合特定条件下输沙强度与风速的关系;最后利用气象资料,计算输沙强度。但这种方法也有明显的不足。

(2)本文介绍的方法是首先在需要测定输沙强度之部位,沿与当地合成主风方向垂直之方向设立高立式沙障(栅栏)。然后在一段时间后,通过量测栅栏所在处的积沙量,并结合气象资料,计算而得风沙流输沙强度。

(3)理论分析表明,在栅栏设置合理并又充分发挥阻沙效能的条件下,栅栏所在处的积沙量与风沙流输沙强度之间有着较为明显的对应关系,则可通过量测得到栅栏所在处的积沙量,然后反过来求不同风向的输沙强度。为解决多解性问题,依据不同的条件或资料,有 3 种处理方法,且都能满足工程的需要。

(4)本文所述之方法虽然需时较长,却要短于公路工程等的设计周期,因而有较强的实用性。这一方法经实际应用,证明是切实可行的。

参考文献:

[1] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京:科学出版社,1987.
[2] 王训明,董治宝,陈广庭. 塔克拉玛干沙漠中部部分地区风沙环境特征[J]. 中国沙漠,2001,31(3).
[3] Bagnol R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes[M]. London:Marrow,1941.
[4] Kawamura R. Study of sand movement by wind [R]. Institute of Science and Technology. Tokyo, 1951.
[5] Sarre R D. Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements. Saunton sands, England [J]. Sedimentology,1988,35.