

沙地风蚀过程的 实验研究和 沙堆防止问题

A. И. 茲納門斯基

科学出版社

沙地风蚀过程的实验研究和 沙堆防止問題

A. И. 茲納門斯基著

楊 郁 华 譯

朱 震 达 校

科 学 出 版 社

1960

А. И. ЗНАМЕНСКИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ ПЕСКОВ И ВОПРОСЫ
ЗАЩИТЫ ОТ ПЕСЧАНЫХ ЗАНОСОВ

Издательство Академии Наук Туркменской ССР

Ашхабад—1958

內 容 簡 介

本书譯自苏联土庫曼苏維埃社会主义共和国科学院出版社1958年出版的“供卡拉庫姆运河設計和建設参考用的研究材料”第三册——沙地风蝕过程的实验研究和沙堆防止問題。作者应用了空气动力学的原理,在风洞实验室进行了无数次实验,以所得的資料加以分析綜合而成的一本有关风沙地貌的理論性著作。在本书中作者不仅說明了沙漠地区沙地地貌形成基本条件之一的风沙流性質及沙子吹蝕堆积的数量分析,同时也說明了如何应用这些实验所得的資料,去解决沙漠地区风力作用下工程建筑物(公路、堤坝、房屋等)的防风固沙問題,所以本书可以作为目前大规模开展的治沙工作的重要参考文献。

沙地风蝕过程的实验研究和沙堆防止問題

А. И. ЗНАМЕНСКИЙ

楊 郁 华 譯

朱 震 达 校

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 7 月第 一 版

书号: 2212 字数: 101,000

1960 年 7 月第一次印刷

开本: 737×1092 1/27

(京) 0001—4,500

印张: 4 10/27 插页: 5

定价: 0.66 元

前 言

在开发沙地地域时，必然遇到由粘聚性极小的沙质土的特征所造成的那些现象。

沙质土的缺乏粘聚性和垒结的松散性，导致车轮运输和履带牵引运输及掘土机械对沙质土表层的任何破坏，会引起风蚀过程、沙子的风力搬运及与之有紧密联系的沙子的吹蚀及堆积现象的发展。

这些现象的发展导致沙堆和工程建筑物的吹扬。因而有必要保护这些建筑物，使之不发生这些有害的现象。

为了保护工程建筑物，必须规定成套的措施，包括开发沙地地域的全部阶段——查勘、设计、建设和使用时期的所有措施。

本书叙述沙子在地表附近气流中的搬运原理的实验研究中的某些成果。在这些成果的基础上，著者制定了沙子非堆积搬运的理论，并用来保护工程建筑物，使之不发生沙堆和吹扬作用。

实验室和野外条件下的研究包括风沙流的发展中的基本的物理依赖关系，作为依据的是气体动力学的理论和方法。

著者深深地感谢苏联科学院力学研究所对这一工作的关心，并深深地感谢土库曼苏维埃社会主义共和国科学院院士、地质-矿物科学博士 П. И. 卡鲁金(Калугин)，物理-数学科学博士 Е. А. 克拉西尔希科瓦(Красильщикова) 及技术科学副博士 Ю. Б. 阿依曾贝尔格(Айзенберг)，他们都阅读过本书初稿，并提出了一系列宝贵的意见。

著者的同事 Л. А. 阿洛夫(Алов)，П. Н. 巴甫洛夫(Павлов)，А. Т. 列瓦德纽克(Леваднюк) 和 Л. Г. 杜勃林(Добрин) 帮助著者准备和进行实验室试验和野外观测；А. С. 麦德诺夫(Меднову) 在野外和实验室研究成果的整理和书稿的准备出版方面给予了很大的帮助，对于这几位同志著者也表示深切的谢意。

目 录

前言.....	(i)
导論.....	(1)
第一章 具有不同粗糙度的水平面上, 以气流速度和进入 气流的沙量为轉移的气流中不同高度的沙子分布···	(8)
第二章 在不同速度和进入气流的沙量不同的情况下, 沙 质水平面上沙子的吹揚.....	(53)
第三章 上部寬度与深度比例各各不同的浅槽上的风沙流 的研究.....	(72)
第四章 防护工程建筑物不受沙堆侵袭的某些原則性方案···	(82)
沙子非堆积搬运法(82)	
公路的沙堆防止(83)	
卡拉庫姆运河札赫麦特段的沙堆防止(90)	
沙堤的吹揚防止(98)	
参考文献	(114)
中俄名詞索引	(115)
俄中名詞索引	(118)

导 論

近年来获得越来越大的规模的新地域的工业与农业开发，向科学和实践提出了一系列问题。这些问题对于缩短开发时期，最快地安排经济活动及在这里创造正常的生产条件和生活条件都有重大的意义。如同工业、农业、水利工程、灌溉工程、民用房屋、住宅的设计与修筑以及建筑材料的生产，道路的修筑和给水等问题一样，在沙质地表的区域中，保护工程建筑物不受沙堆侵袭的问题也获得了重大的意义。

建设工作的机械化和工业化的高度水平，土方工程的新技术和新组织，为发展空前高速的建设创造了广阔的条件。

但是保护建筑物不受沙堆侵袭的工作方法与组织，却仍然停留在很低的科学技术水平上。往往有这样的情况，沙堆使建设工作陷入停顿状态，延迟建设对象交付使用，引起事故、窝工及造成巨大的非生产性开支。

沙堆不仅是土方工程量巨大的建筑物，如巨大的灌溉工程、河渠等的实际威胁。在沙地风蚀很剧烈的地区，沙堆还威胁着其他的较小的建筑物。

因而，对于沙地地域现在的工业与农业开发任务说来，要求最快地克服沙地风蚀与沙堆防止方法研究的理论与实践的落后状态。这决定于下述必要性：在现代科学理论和实验的基础上，重新考虑和制定新的防止沙堆的方法。

直到最近几年为止，最为流行的防止沙地风蚀和沙堆的方法为：用植被固定沙地，在这以前则修建人工沙障。这一方法的实质是大家都知道的，即在于用不高的芦苇（或其它草类）沙障系统来复盖流动沙地面积。这些沙障一般呈平行的条状或格子状。

这一措施所追求的基本目的，可以归纳如下：降低保护面积表

面附近处的风速,阻止气流中沙子搬运现象的发展,预防植被的栽植、播种和发芽时受到吹扬和沙堆。这一措施虽然是有效果的,但是费用较大,而且只有在下述情况下才是合适的,即当一个地域一般地有可能发展植被,和那种沙障系统能够复盖全部流动沙地的地区。如果那种沙障系统仅在一定的部分建立的话,那么它将变为积累大量沙子的中心,即流动沙地形态的形成中心,因而反而造成更严重的沙堆威胁。

很显然,在下述情况下,这一措施可以是完全不合适的和在经济上是不合算的:在某些地方由于条件不利,要栽培植被是不可能的,或者当需要保护个别分布于流动沙地中的对象,或者当需要保护穿越大片沙地区的公路不受沙堆侵袭的时候。

在实践中传布较广的沙障是条状的人工沙障,其类型与铁路和公路上为了防止雪堆所采用的相同。这一措施对于防止雪堆这一季节性现象是正确的,但要把这一方法搬运来治沙,那就完全不适合和勉强了。

这一方法的实质归纳如下:拦阻和积累沙障附近的气流中带来的沙子。但是,沙子的积累不能够是无限地进行的。达到积累的极限后,沙障就不再发生作用。沙障附近沙子的积累过程一般伴随以堆积物质的变形,沙裾和沙咀的形成。它们后来的分裂导致流动沙地形态的形成,要防止这种地形形态的产生,困难无疑较多。

如果我们要用建立格状沙障系统的办法来全力制止引起沙堆的原因的话,那么,套用防止雪堆的方法——采用条状沙障,就是完全不适当的了。这种方法只能产生时间较短的效果,而其代价是造成更严重的沙堆威胁。

甚至从实践中最广泛传布的沙堆防止方法的概述中,也可以清楚地看出,这些方法都缺乏理论基础,而这乃是进一步发展和改善不同风蚀防止设备方案中不同保护任务的解决方法的主要条件。

因而在寻找防止沙堆的新途径和方法时,我们首先面临着理

論基礎的問題，它是安排綜合研究和科學概括的基礎。我們應用了氣體動力學理論和方法作為基礎。這就決定了研究的方向和性質，研究的基本部分乃是風洞的實驗室試驗。我們進行實驗室試驗的目的，是要從數量方面解決如下的一般任務：查明在不同流速和不同沙量的條件下，在具有不同粗糙度的表面上沙子在風沙流中的搬運情況，等等。

在許多年期間（從 1938 年起），我們創造過若干種適合於風沙流實驗工作的、不同大小的風洞。它們的主要特點是具有以不同原則為依據的、把沙子送入氣流的裝置。這些風洞的工作經驗，使我們能夠創造具有這種結構的風洞，它是符合於我們的目的的，並能使我們解決關於風沙流及其結構、氣流中沙子搬運過程中沙質表面上沙子吹蝕和堆積現象的研究方面的各種任務。

根據這一經驗，在 1946 年我們設計和制成了一種長方形的風洞，斷面為 30×30 厘米，有計量供沙器和過濾室，其全貌見圖 1。這一結構不同於一般風洞的最大特點是風洞全部長度上的橫斷面是一樣大小的，並有計量供沙器和過濾室。過濾室用來沉淀和排出氣流中搬運的沙子，防止沙子經由抽空室進入工作室，過濾室所集中的沙子，能夠重新進入計量供沙器的給沙斗中。由此可見，風洞中的實驗實際上是用一種沙子來進行的，沙子的儲量僅僅要求不大的補充，這是很方便的，因為不需要經常控制進行實驗時進入風洞的沙子的機械組成的一致性。代替那種控制的是定期地選擇平均沙樣（每年進行 2—3 次）和同以往採取的沙樣進行比較，以觀察沙粒的磨損過程，一般說來磨損程度是很小的。

計量供沙器安裝在風洞的擴散器和驅散部分之間，它是巨大的木框，在上部安裝有給沙斗，它擁有給沙的開關裝置。

這一具有梯形小槽形狀的裝置，在其縱軸上能夠旋轉到 90° 。在有寬闊的縱切口的一壁上，有支撐定型金屬板用的彈簧夾子。每一金屬板有 9 個量孔，通過量孔可以測定單位時間內的沙量（克/秒）。每一片金屬板提供着與它相應的固定的沙量，沙量決定於量孔的直徑。由此可見，要改變進入氣流中的沙量，可以利用每

秒輸沙量或大或小的各种金属板。

在給沙斗底部銲接有9条短的小管子，它們与輸送板的孔眼是相适应的(图2)。細小的沙流通过輸送板的量孔进入平坦而垂直

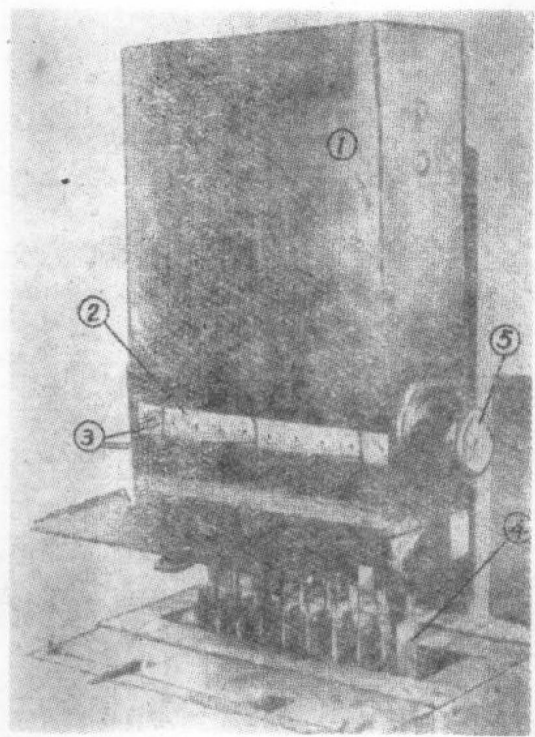


圖2 計量供沙器

- 1——給沙斗 2——有量孔的輸送板 3——支撐輸送板用的彈簧
夾子 4——小輸沙管(送入气流中) 5——輸沙开关的把手

的小管子中,沙子沿着这些管子散布入傾斜的薄板系統,然后在这里呈薄层地均匀地分散开来,进入安装在风洞下壁的矩形的水平的小管子中。这些小管子的一端連接总管,通过这个总管,利用特殊的通风机进行吹揚;另一端是开口的,安装在风洞下壁特殊的橫裂縫下,沙子通过这条裂縫进入气流中。

上面提到的小垂直管,具有流綫型的橫剖面,位于裁直柵前面

不远处,从而可以不占满风洞的断面。进入风洞的沙子,为气流所接住。在风洞的驱散部分上,沙子来得及均匀地散布在这一部分的全部宽度上,从而获得风沙流的全部特征,这些特征说明各搬运情况,搬运情况是与计量供沙器的输沙量、流速和风洞下壁表面的特点相适应的。为了使移动的沙粒在气流中有良好的垂直分布,在风洞的驱散部分的下部的平滑表面上装有三条横向“粗糙”带。它们是由大的沙粒组成的,用胶水把沙粒胶结成一沙层。它们可以预防(特别是在输沙量很大的情况下)一部分沙子落入驱散部分中。

在风洞驱散部分长度较小的情况下,计量供沙器的结构可以使我們获得具有任何含沙量的、结构良好的风沙流,沙子沿气流的宽度和高度有良好的分布。

这样一来,我們有可能进行下列现象的观测:在具有不同含沙量(似乎是从“无限远处”送入的)的风沙流中,各种不同表面上的沙子吹蚀与堆积现象。

由于风洞结构中加入计量供沙器,我们对野外观测风沙流时,产生的概念获得了实验的证实。这些概念的意思为:只有由于风沙流与沙质下垫面(由流动的沙粒组成)相互作用的結果,沙质表面上才会发生沙子吹蚀与堆积过程。考虑到气流中大多数沙粒运动的跳跃性质,这些概念的进一步发展会导致如下的結論:沙子搬运现象必须看作是統一的,同时作用着的吹蚀和堆积过程。

在发育的风沙流中,沙质表面的吹蚀应当看作是吹蚀对堆积占居优势,而决不是绝对沒有堆积情况下的吹蚀的绝对发展。因而,关于沙质表面上气流中的沙子搬运(它是在吹蚀与堆积现象同时地、平行地发展情况下产生的)的概念,应当补充以关于气流中搬运的沙粒,不断与各該時間停留在表面上的沙粒进行着交换的概念。

由于这一新的观念引入气流的沙子搬运概念中,广泛传布的流动沙地地形的划分,即划分为堆积形态和吹扬形态,根本是沒有成因上的根据的。

流动沙地地形形态的形成的实验室研究与近年来积累的这方面的实际材料都证明：认识这一过程的原理的现有方法显然是不够的。的确，仅仅根据地形形态特征的差别，未必能得出关于这种地形的形成的不同原理的假设。相反地，较为正确的是，假设地形形成过程具有统一的原理，并按照环境外部条件（风的情况、气候特点等）和内部条件（沙子的机械组成和矿物组成等）以风沙流的发展和形成特点来解释地形形态的所有的多样性。

地形的形态标志往往被当作一种根据来把地形列为这种或那种类型，一般仅用不同的风的情况来解释地形类型，但这些标志并不解释成因本身。无疑，新月形沙丘链的长轴的走向完全取决于风的情况，但是我们认为，决不能仅仅用风的情况特征来解释形态的高度或例如新月形沙丘链横剖面的性质。如果不知道风沙流的发展规律和它与下垫面相互作用的特征的话，那么，决不能想象出地形形成的原理。类似的试图仅仅是形式主义的方法，丝毫不能解释问题的本质。要在地貌学和自然地理学范围内和用它们的方法来解决这些复杂的问题是不可能的。

把气体动力学的理论和方法引入流动沙地地形的形成过程的研究中，就使我们能够揭示这些过程最重要的特点。但这些研究并不仅仅局限于从理论上探讨地形形成、地形形态的问题以及沙质表面的垂直切割问题。这些研究也包括如下的问题：与解决防止沙堆的任务有关的问题，防止的技术和组织问题。

风沙流的研究使我们能够消除存在于这两个问题之间的界线（这两个问题是由过程的统一性及共同的因素相互联系起来的）和建立统一的理论，它使我们能够把沙堆看作是在外部因素与内在因素一定结合与作用下，流动沙地地形形态的局部的形成情况。

由此可见，对于上述两个问题最重要的是风沙流变动规律的统一性，它使我们能够把大量的局部性归纳为一个中心任务，即关于在外部因素（它们取决于具体条件）一定结合下，气流中的沙子的搬运任务。这样提出任务，可以大大简化解决方法，这一解决可以看作是一系列的局部解决（用风洞实验的方法）。一般理论方

面的成果的解释,使我們可以找到任务的一般解决方法,在这个基础上可以找到技术上可以实现的解决办法。

本书是作者写的专著的一部分,叙述了实验室条件下风沙流研究的某些成果,以及叙述了若干論断和获得的結論。这些結論,是作者所制定的防止公路、渠道被沙堆侵入(在修筑时期,在未被水浸淹的情况下)以及防止沙堤吹揚的实际方案的基础。

第一章

具有不同粗糙度的水平面上，以气流速度和进入气流的沙量为转移的气流中不同高度的沙子分布

量沙器测定法

我們是在胶布面(风洞的下壁)上研究沙子在气流中不同高度的分布的。

在这一壁上，即在风洞的工作部分，钻一个孔，利用弹簧压紧器在孔上嵌有黄铜小管；在小管的上端固定有面积为 1×1 厘米的正方形量沙器的接受部分。小管上进行厘米分划，根据分划可以确定量沙器接纳孔装置高出表面的高度(图 3)。

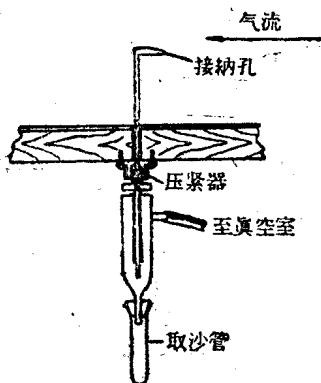


圖 3 風洞工作部分的量沙器裝置

气流不同部分沙量的测定，是在离表面 10 厘米高的沙层中进行的，其方法是依次把量沙器的接纳孔移动一个厘米。

量沙器的停留时间，在不同的高度上是不一样的：在底层短些，在上层则长久一些。这之所以必要，是为了在沙子较少的高处，量沙器的接纳管可以收集足够数量的沙子（为了衡量的方便）。量沙器在不同高度上的停留时间的不同，对于观测的最终结果并没有重大的意义，因为归根到底，量沙器确定的沙量是以单位时间的克数来表示的。

量沙器在高处之所以要停留得久,还因为当搬运的沙量少时,可以使我們有可能更好地进行時間的平均,并消除偶然誤差,否則偶然誤差是不可避免的。

沙子在气流中不同高度的分布的观测誤差,是一系列原因的结果。其中最重要的原因是从計量供沙器輸入气流中的沙子混合物的不一致性。大家知道,用来調节輸入风洞中的沙量的計量供沙器,是9根方形断面的小管(3×3 厘米),装在风洞开端部分下壁的水平面上。在計量供沙器水平管子的进口一端,装有平坦的垂直小管,在上部有漏斗。

如同前述,送入小管子的沙量的調节,是利用具有孔眼的平坦的定型金属板来实行的,而孔眼是与計量供沙器垂直小管的漏斗的孔眼一致的。

定型金属板的孔眼直径,是与进入气流中的輸沙量相适应的。

利用弹簧夹子把金属板固定在活动銷上,把它的把手轉 90° 后,就可以开始或中止把沙子送入計量供沙器的水平小管中。

銷装在特殊的护罩中,位于充滿沙子的給沙斗的底部之下。在斗底收縮部分有9根小管,輸送的孔眼是与它們相适应的。这些小管的内部直径比輸送板最大的孔眼大得多。由于小管末端和輸送板之間有空隙,开启輸送板孔眼上的銷后,就形成沙錐,它保証輸沙的均匀性和不間断性,因小管摩擦而产生的停滯在外。

当輸送板的孔眼巨大(这决定巨大的輸沙量)时,所有的沙量是不能进入气流中的。一部分沙子落在水平小管上,堵塞小管,使沙子不可能繼續輸入。为了避免这一現象,用吹扬总管与小管的入孔連接起来。总管的第二端有弹性地与圓筒壁中的孔眼連接起来,圓筒的一端装有通风机,另一端則为挡板,它由两个可以在槽上移动的瓣組成。把两瓣分开,就可以在一定的范围内調节吹扬量。

有时,当輸沙量少时(这与輸送板小的孔眼相适应),还是出現供沙中断的現象。这是因为在沙粒有某些結合的情况下,在輸送板孔眼上形成由大沙粒組成的穹隆,能够支持上面的沙子的压力,

阻止沙子进入气流中。当输送板孔眼大时,那种现象就观察不到。但是,不管沙子混合物是怎样的一致,当它经过计量供沙器输送板的孔眼时,最低长度内小柱中的大小沙粒的组合仍将是不同的。由此可见,短时间内进入小管中的沙子混合物中的大小沙粒的百分比,不可能是相同的;因为这取决于构成给沙斗的混合物的沙粒的分配。

这一造成输沙量某些不均匀性的现象,显然在天然的搬运条件下也是发生的,并取决于沙粒在表层的分布性质。因而,增加量沙器在高处的停留时间(在高出多半搬运小沙粒),就可以使我们很好考虑到偶然性因素和求出长时间内这些因素的平均值。

0—10 厘米内每隔 1 厘米的气流速度的测定结果见图 4。进行观测时,风洞轴上的速度共有 4 种,速度保持不变(按照控制用的微气压表),分别为 21、35、46 和 57 毫米。气压表的标尺成 10° 的角度。液体为煤油,比重 0.78。

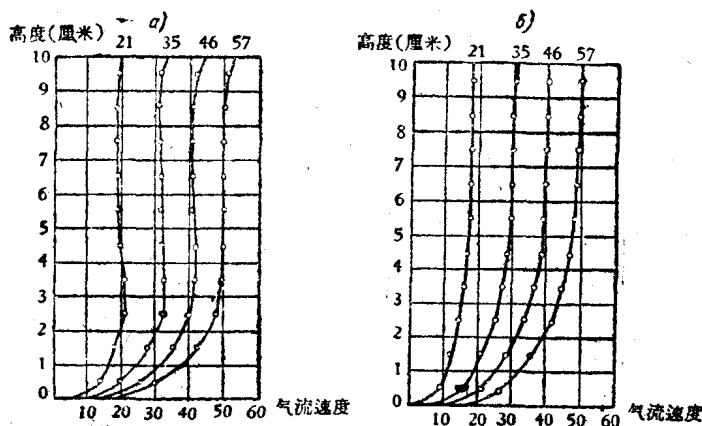


图 4 平滑表面上气流的速度

风洞轴上速度为 21、35、46 和 57: (a) 计量供沙器有吹扬, (b) 无吹扬

图 4 表明速度在不同高度的分布情况(计量供沙器有吹扬的及无吹扬的)。

吹扬(在任何气流速度下都是相同的)对速度分布曲线的性质

的影响,归根到底归纳为速度梯度的减小。

表1援引4种速度的每种速度下的梯度值及其总量,而且梯度表现为风洞轴上速度(最大速度)和0—10厘米层内不同点上的速度之间的差数。

表1 最大速度与局部速度的差数

高 度 (厘米)	計 量 供 沙 器							
	有 吹 揚				无 吹 揚			
	21	35	46	57	21	35	46	57
10	3	4	6	7	1	3	4	6
9	3	5	6	8	2	4	5	7
8	3	5	6	8	2	3	5	7
7	3	5	6	8	2	3	5	7
6	3	5	7	9	2	3	5	7
5	4	6	7	10	1	3	5	7
4	5	8	10	13	0	3	5	8
3	6	9	12	15	0	3	6	9
2	9	14	17	21	3	8	11	15
1	11	19	24	30	7	15	20	27
合 計	50	70	101	129	20	48	71	100
	221					219		

速度梯度的比較表明:在計量供沙器吹揚的影响之下,接近气流表层的速度略微增大,因而速度梯度下降。如果对比有吹揚与无吹揚的各种速度的梯度总量,那么,发现在沒有吹揚、风洞轴上速度較小的情况下,梯度总量相当于有吹揚、速度大情况下的梯度总量。从表1也可以看出,为了使有吹揚与无吹揚下的速度梯度总量相同,有吹揚的气流速度应当相应地提高。

由此可見,气流下部吹揚对速度梯度总量的影响,是与无吹揚的速度降低所起的影响相同的。換句話說,在有吹揚、风洞轴上速度大的气流中和无吹揚、速度較小的气流中,可以获得相同的速度梯度总量。

在这种情况下，我們获得的結論，完全类似于 W. 菲利齐 (Fritsch, 1928 年) 在研究粗糙表面对近表面层速度分布曲线性质的影响时所获得的結論。从这些結論中可以看出：不管表面的粗糙度如何，曲线性质一般是不变的，例外的是紧接壁部的地方。所有这些曲线可以用迭置方法加以合并（当按速度方向沿风洞轴部移动时）。但是，由于表面粗糙度的阻力乃是负的气流速度，所以为了合并这些曲线，应当把曲线沿与气流流向相反的方向挪动。

由此可见，与計量供沙器的輸沙有联系的吹揚，及气流下部流速分布的某些破坏，仅仅在計量供沙器出口发生。但是在气流通过风洞驅散部分的期間，气流能够很好地移动，以致从吹揚中获得的补充的空气容积，是均匀地分布着的。而且在工作部分就已仅仅理解为气流速度的一般降低。因而，在研究搬运层中沙子的速度和分布特点时，我們不仅考虑了局部速度，而且考虑了风洞轴部上的速度。

表 2 列举我們所作的平滑水平面上气流中搬运的沙子的速度和数量（在高度不同、风洞轴部上速度不同与进入气流的沙量不同的情况下）的研究成果。

从表 2 的資料中可以看出：气流中 0—10 厘米层中搬运的平均沙量，它是以由計量供沙器进入气流中的总沙量的百分数来表示的。当速度为 21 吋为 82%，35—76%，46%—78%，57—85%。

这証明取决于速度的沙子在不同高度的不同分布程度。也很重要的是不管气流中 0—10 厘米层中沙子的速度和总量如何，平均沙量 (10%) 是在离表面 3—4 厘米高处搬运着的。

对比計量供沙器不同輸沙量情况下每个厘米层中搬运的沙量的百分数时，我們发现：随着气流中总沙量的增加，第一层中的沙量也增加。第二层中的沙量，不管速度和輸沙量如何，都保持不变，平均等于 20%。在第三层及更高的层中，在同一速度之下，沙量随着輸沙量的增加而略微减少。由此可见，在任何速度之下，进入气流中的总沙量的增加，主要引起第一层中沙量的增加，和較高几层中沙量的减少。同一速度与增加輸沙量情况下第一层中观察到