

文章编号: 1006-6616 (2007) 01-0001-06

# 沙粒不能“远走高飞”

## ——有关“尘暴”的一条基本原理

张宏仁

(国土资源部, 北京 100812)

**摘要:** 沙与尘虽然都是岩石物理风化的产物, 但在风力作用下, 习性截然不同。拜格诺用严格的物理实验证明, 尘粒能随风远走高飞, 而沙粒却只能在地面附近跳跃前进。从北方侵袭华北平原的所谓沙尘暴, 实质上都是尘暴。对历次重大天气事件沉积物的分析, 也完全证明了这一点。因此, 尘暴物质的源头不是来自有沙, 而是有尘的地方; 从而可以使人们采取正确的治理方法。

**关键词:** 尘暴; 沙尘暴; 最终沉降速度

**中图分类号:** X16; X43; P694

**文献标识码:** A

近来, 更多的人逐渐认识到, 近年来多次侵袭我国北方地区的重大的灾害性天气事件是“尘暴”而不是“沙尘暴”。因为降落的都是细颗粒的“尘”, 含沙量极少。在这一点上统一认识极为重要。它涉及所谓的“沙尘暴”物质来源的确定, 从而影响治理方案的制定。然而至今认识并不完全统一, 许多人仍然把追寻物质来源的目光放在沙丘分布区。

这一点并不奇怪。在我国的传统历史文化中, “沙”这个词深入人心, “疾风冲寨起, 沙砾自飘扬”, “沙飞朝似暮, 云起夜疑城”, “飞沙走石”等诗词和成语, 竟相传颂, 不一而足。而“尘”这个词主要用于家居, 极少用于野外的自然现象。很可能在古人的概念中, “沙”这个词既包括“沙”也包括“尘”。

直到现代地质学传到我国, 人们才对不同大小的岩石颗粒进行细分, 分为砾、沙、尘、粘土。然而对“尘”这个粒级常常用“粉沙”一词代替, 还是没有摆脱掉“沙”字。也就是说, “沙”与“尘”仍然没有截然分开。“沙尘暴”这个词也由来已久, 并非新的创造。

有人会认为, “沙”与“尘”都是岩石风化形成的碎屑, 何必要划分那样细呢? 诚然, 对非专业人员来说往往就没太大的必要; 然而对于专业人员来说, 意义就非同一般。

在风力的作用下, 颗粒大小的细小差别, 却导致了在风的作用下行为的巨大反差: “尘”可以随风“远走高飞”, 而“沙”却不能。于是在风力的作用下, “沙”与“尘”会彻底地“分道扬镳”。这也就是为什么被大风从遥远的北方刮到北京的是“尘”, 而不是“沙”。

遗憾的是, 这样一条早已确立的简单的原理至今在我国学术界却没有成为“常识”, 由此引发了几年以来的争论, 否则就不会把北方的沙丘当作北京的“风沙源”了。因此, 引述一下前人的定论, 也许是必要的。

收稿日期: 2006-10-01

作者简介: 张宏仁 (1934), 男, 教授, 1959年毕业于前苏联第聂尔彼得罗夫斯克矿业学院地质系, 曾任国土资源部副部长, 现任国际地科联主席, 长期领导我国地质调查和地质科研工作。

## 1 在风力作用下, 尘与沙分道扬镳

干旱地区一般昼夜温差大, 在长期、强烈的物理风化作用下, 岩石碎裂成碎屑。碎屑颗粒大小不一; 直径在 2 毫米以上的叫砾, 2mm ~0.05mm 米的碎屑叫沙, 0.05 毫米以下的叫尘和粘土。沙、尘的分界不完全一致, 也有取 0.0625mm 的 (相当于  $1/16$  mm)。

沙和尘都是岩石风化的产物, 但是在风力作用它们的习性却大相径庭。正是由于这种不同习性, 风力能把尘与沙分选得非常干净、彻底。

风力分选的原理并不复杂, 农民的“扬场”用的就是这个原理。每当庄稼脱完粒、晒干后, 在进仓之前, 要对稻谷或麦子再进行一次净化处理, 以除去杂草、秕谷和灰土。含杂质的谷子被扬到空中, 再在重力的作用下向地面坠落。如果没有风, 所有的颗粒仍会混在一起, 落向地面。如果这时有不大不小的风, 大部分杂质会在坠落的过程中被吹向远处, 而谷粒则会落在近处。这是由于谷粒在空气中坠落的速度比杂质快的多。

风力对尘与沙的分选作用与“扬场”的机理大同小异。这是一个比较简单的经典物理学问题。可能由于它过于简单, 大多数物理学家不屑一顾, 而多数地质学家又不太精于物理和数学, 于是沙、尘问题就成了一个死角。

这里我想介绍一位尽其毕生精力从事沙尘研究的英国人拜格诺 (R. A. Bagnold, 有人翻译成巴格诺尔德) 和他的不朽著作《Physics of Blown Sand and Desert Dunes》(《风沙和荒漠沙丘物理学》, 有钱宁翻译的既准确又流畅的中文本)<sup>[1]</sup>。他在上个世纪 30 年代所做的艰苦细致的研究工作, 为沙尘研究奠定了坚实的基础。

拜格诺 (1896~1990) 出身于军人世家, 参加过两次世界大战。然而, 他的主要兴趣不是打仗, 而是探索大自然的奥秘。他利用两次大战之间军队驻扎在北非和中东的机会, 约了几个朋友, 用假日对约旦、西奈半岛和利比亚的沙漠进行自费考察, 研究风搬运沙的过程。拜格诺在剑桥大学学习过工程学。在物理和数学方面有扎实的基础。这对他设计各种仪器设备, 包括风洞, 进行野外和室内试验方面有很大帮助。经过若干年极端艰苦条件下严谨的野外观察和室内试验, 拜格诺于 1939 年完成了经典著作《风沙和荒漠沙丘物理学》一书。

该书第一版 1941 年出版, 问世已有 65 年。但书中的主要结论直到今天仍为全世界从事风沙和沙丘研究的科学家所反复引用。20 世纪 70 年代, 美国的空间探测活动在火星上发现了规模比地球上大得多的尘暴。1978 年, 美国宇航局还专门邀请已达 82 岁高龄的拜格诺去作主题报告, 以便利用地球上取得的知识分析火星上的尘暴活动。

科学史上有一个关于伽利略的传说: 亚里斯多德曾断言, 一个十磅重的铁球和一个一磅重的铁球, 从同样的高度下落, 前者比后者要快十倍。一千多年以后, 伽利略从比萨斜塔往下同时放两个不同重量的铁球, 结果两个铁球几乎同时落地, 用试验证明了亚里斯多德的谬误。

我们可以在试验室对沙粒进行类似的“比萨斜塔试验”。人们把石英颗粒研磨成不同直径的球, 然后测试它们在静止的 (即完全没有风的) 空气中降落的情况。从比萨斜塔下落两个铁球, 空气的摩擦阻力小到可以忽略不计; 但对沙粒来说, 空气的摩擦阻力却具有重要作用。

作用于空气中降落的颗粒上有两种力, 一种是指向地心的重力, 另一种是与颗粒降落运动方向相反的空气摩擦阻力。

重力与颗粒的质量，即体积与密度的乘积成正比，体积又与颗粒直径的三次方成正比。可以说密度相同的情况下，重力取决于颗粒直径。

空气的摩擦阻力与颗粒的端面面积成正比，也就是与颗粒直径的平方成正比。

随着颗粒直径的减小和降落速度的增大，空气阻力会很快完全抵消重力，岩石碎屑最终以等速下降。这一速度被称为“最终沉降速度”，简称为“最终沉速”。岩石碎屑随着颗粒直径的减小而迅速减小。例如，中等大小的沙粒的“最终沉速”为每秒 1 米，而一颗中等大小的尘粒的“最终沉速”只有每秒 0.001 米。

在自然条件下，空气永远是不会静止的，而总是处于不断的运动之中。“风”就是运动中的空气。如果空气运动向上的速度分量大于颗粒的“最终沉降速度”，颗粒就会永远悬浮在空气中。虽然风速变化无常，只要平均风速比颗粒的“最终沉降速度”大得多，颗粒悬浮在空气中的概率就很大。可以认为，只要一有“风吹草动”，尘埃肯定会悬浮在空气中。

因此，对岩石颗粒所作的“比萨斜塔试验”会得出有趣的结果：颗粒直径小的尘埃颗粒会长时间悬浮在空气中；颗粒直径略大的沙粒只能短暂地离开地面很快会回落到地面。

拜格诺由此得出了平凡而又重要的结论：“因此我们可以对沙粒粒径的下限下一定义而不需考虑到沙粒的形状和其构成物质。在这个下限时，沙粒的最终沉速小于平均地面风的向上旋涡流速，较小的颗粒有被吹入空中并作尘土飞扬的趋势。”

“当风的直接压力或其他运动中的颗粒的冲击都不再能移动在地面的颗粒时，这就到了沙粒粒径的上限。”

“在这两粒径极限之间的任何无粘性固体颗粒，都可称为沙”。

如果您有机会到塔里木盆地去走一走，可以看到戈壁和沙丘。所谓戈壁，就是沙和更细的颗粒全被风吹走，只剩下砾石的地方。在戈壁滩表面，很难找到沙粒。相反，如果到沙丘分布地区去，在沙丘上取一个沙样，做一个简单的机械分析就会发现：沙丘里的沙分选极好，既无砾石，又绝少粉沙（尘）和土。

大量的尘粒，在风的反复作用下，或早或晚会被风刮到遥远下风向的地方，最终沉积下来形成黄土。

于是，在风力的作用下，由岩石风化形成的碎屑被分选于三处：砾石被留在本地，形成戈壁滩；沙则在离母岩不远的地方形成沙丘，并缓慢地顺风向移动；粉尘则被风带到很远的地方，形成黄土沉积。

早在 60 多年前，拜格诺就曾指出：“由于没有把沙和尘区别开，对于沙暴常有误解。在干旱地区中，如果气候平静了一阵以后，继之，强风自新方向吹来，空中便会弥漫着小颗粒。在没有多少或完全没有细沙的冲积地区，例如伊拉克及卡尔通附近，尘土可以形成密云，飞扬到几千尺之高，长期遮蔽天日。虽然这常被错误地引用较为动人的名词‘沙暴’两字来描述，但它显然是‘尘暴’。由于沉速微小，极细的尘粒可被风的内部运动所产生的向上气流所带起，并悬浮在空中。”

在风力作用下岩石碎屑的运动规律告诉我们：长城以外的沙在短期内（几十年内或几百年内）是不可能刮到北京来的。从长城以外被风刮到北京等地的，只能是“尘”，而不是“沙”。因为沙粒不能远走高飞，而活动沙丘沿地面的移动速度每年不过几米。

## 2 全世界与沙尘有关的重大灾害性天气事件都是“尘暴”，而不是“沙暴”

我国学者对尘暴做过很多研究，刘东生在其《黄土与环境》<sup>[2]</sup>一书中列举了上个世纪北京遭遇的三次“尘暴”，样品分析表明，大风带来的都是“尘”，“沙的含量极少。2006年4月的“尘暴”后，我在窗台上取了一个样品，岩石碎屑颗粒分布与当年刘东生先生书中列举的结果差不多。

其实，不仅在中国，全世界各地，凡是影响面大的都是“尘暴”，而不是“沙暴”。“沙暴”只能在沙源附近，如裸露的岩石风化面、荒漠沙丘或岸边沙丘附近肆虐。

近年来，为了了解国际动态，在网上查阅有关资料，得到了一个有趣的发现。用“sand dust storm”（沙尘暴）在网上搜索时，找到的绝大部分是中国的网站，国外的网站所提供的信息绝大多数是有关“尘暴”的。如国际上瞩目的美国上个世纪30年代的黑风暴，澳大利亚的红色风暴，以及加拿大、北非等地著名的风暴，都被列为“dust storm”（尘暴）。

令人费解的是，国外大量有关“dust storm”（尘暴）的信息一词在中国几乎全被翻译成“沙尘暴”。美国上个世纪30年代发生在中央平原的尘暴，是全世界最著名的尘暴，在美国被称为dustbowl，在我国却翻译成“沙尘暴”。类似的情况也发生在加拿大、澳大利亚等地著名的事件。

建议做一项简单但有说服力的工作：把全世界有关重大沙尘天气灾害的资料不带偏见地，如实地重新收集整理一遍。看看有多少是“沙尘暴”，又有多少实际上是尘暴。我想不会给“沙尘暴”留下多少余地。

## 3 我国尘暴的物质来源

一旦确信肆虐的是“尘暴”，我们就可以把沙丘、沙地排除在“尘暴”的来源之外，因为沙丘基本不含“尘”。我国的几大沙漠不是“尘暴”的物质来源。

那么大量的尘来自何方呢？

毫无疑问，“尘”只能来自地表有“尘”的地区。首先，“尘”来自干旱、半干旱地区，由于开垦荒地和过度放牧植被或地表钝化层被破坏，使得含有大量“尘”的岩石风化产物暴露在风力作用之下。美国20世纪30年代的黑风暴和澳大利亚的红风暴就是两个典型的例子。

30年代恰逢第一次世界大战以后，国际市场粮食价格居高不下，激发了人们种粮的热情，大批美国农民迁移到中央平原去开荒。头几年降雨量比较充沛，农民们获得了好收成。可是好景不长，1933到1936年出现了创纪录的连续干旱。由于植被被破坏，尘土失去了保护层，狂风一起大量尘土被卷入大气层，形成延续几年的“尘暴”，危及得克萨斯、俄克拉何马、新墨西哥、科罗拉多、堪萨斯等几个州的面积高达6亿亩，几十万农民背井离乡，许多人逃到加利福尼亚去打工，采摘水果。这一时期被称作“肮脏的三十年代”。

澳大利亚是著名的畜牧业大国。但除了东部、北部沿海，雨量稀少。中央澳大利亚和中昆斯兰等地由于过度放牧加上兔子对植被的破坏，为“尘暴”提供了大量物质来源。由于气候炎热，土壤的铁被氧化成红色，所形成的“尘暴”呈红色。

此外，还有另一个重要的原因，这就是内陆河水流被上游地区截走用于灌溉，使得下游尾闾湖泊干涸，沉积在湖底的尘土暴露在风力的作用之下，为尘暴提供了大量物质来源。

我国西北的大片地区，属于内陆河地区，包括内蒙古、甘肃、新疆大面积的塔里木河、黑河以和石羊河等地区。几十年来，由于上游地区不断扩大灌溉面积，逐渐耗尽了本来流入下游尾闾湖的地表水资源，使得面积很大的湖泊干涸。从而为“尘暴”提供了大量物质来源。

南疆的和田地区在绿洲附近以方格网的形式植树造林，保护农田，农业得到发展。但由于过多地占用了原来流向下游的水资源，使得当地的浮尘天气比过去增加了一倍。

所有这些问题不能责怪当地老百姓发展生产的热情，但需要科学工作者和决策机构认真总结经验，探索一条比较合理的可持续发展的道路。

## 4 治沙问题

以上重点讨论了治尘问题，但并不是说治沙就不重要了。

移动沙丘、沙暴对附近的居民和设施毫无疑问是重大的威胁。移动沙丘能淹没房屋、道路、农田，造成重大的财产损失。然而，另一方面，移动沙丘、沙暴是比较局部的问题，仅限于沙丘分布区附近，并不会影响内地广大地区。

人们常说“一团散沙”。然而，和人们的印象相反，沙不喜欢散居，而喜欢扎堆。在风力作用下，沙粒只能在地表附近跳跃前进，稍微碰到一点阻碍，就会停下来。而停下来的沙粒又会成为别的沙粒前进的阻碍，于是沙越积越多，越积越高，成为沙丘。沙粒大量集中在沙丘里，而沙丘与沙丘之间常常没有沙粒。在塔里木盆地可以见到很多“红柳丘”。沙粒受红柳的阻挡堆积在灌木的周围，逐渐把红柳埋没，而红柳为了生存向上长高，于是沙丘越堆越高，形成“红柳丘”。

沙的这种习性使得植树造林成为防沙固沙的有效手段。

大量的沙丘分布在荒漠地区。然而并非所有出现沙丘的地方都说明当地生态条件很恶劣。除了荒漠沙丘，还存在另一类沙丘：岸边沙丘，包括海岸沙丘、湖岸沙丘、河岸沙丘。西欧是世界上生态条件最好的地区之一，然而在大西洋沿岸有大量沙丘。这并不奇怪，凡是有沙源又有风的地方都可能形成沙丘。大西洋有沙，又有经常吹向岸边的风，自然而然地形成大量沙丘。由于当地雨量充沛，容易形成植被，固沙也就比较容易。许多沙丘成了旅游胜地、高尔夫球场。人们还组织了沙丘保护协会。

前几年，人们发现在离北京很近的密云水库南岸、河北省怀来县境内出现了四个沙丘。当地把它称为“天漠”，说是从天而降形成的。于是有人惊呼：沙漠离北京只有几十公里了。

其实，这是典型的岸边沙丘。与“沙尘暴”基本上没有关系。

历史上的永定河水带着大量泥沙流入北京。1953年我们在河边生活时，毛巾一下水就变黄了，而且再也洗不干净。以后修建了官厅水库，泥沙被拦截在库里，天长日久，越积越多。到了枯水季节，库底露出水面，风一刮，沙就上了岸，形成了沙丘。我在沙丘上取了一个样品，99%都是粒径0.075毫米以上的沙粒，几乎完全不含尘，证明与尘暴无关。

## 5 如何治理尘暴

弄清原理以后, 在治理的办法方面就有可能逐步取得统一的认识。

首先, 在干旱、半干旱地区不能任意开荒。近年来实行的“退耕还草”和“退耕还林”可能是有效的措施。

其次, 在充分论证的基础上, 逐步恢复河流的尾间湖泊, 减少“尘”的物质来源。在黑河、塔里木河等地, 已经开始进行这方面的工作。由于上游灌区已成事实, 保护已经形成的农业生产力和人民的生活水平, 建议研究减少从绿洲到尾间之间河道的蒸发损失的方案。这部分损失可能足以维持尾间湖泊一定的面积。

有一点需要认清: 近年来亚洲发生的重大尘暴, 来源不全在中国。中国只能承担应当承担的那一部分责任, 而不能为全部问题背黑锅。我们应当抓住这个机会开展国际合作, 把上风向、下风向的国家联合起来, 共同探讨解决的途径。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Bagnold RA. Physics of Blown Sand and Desert Dunes [ M ]. Methuen, 1954.  
 [ 2 ] 刘东生. 黄土与环境 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1985.

## SAND GRAINS CANNOT “FLY FAR AND HIGH” ——A BASIC PRINCIPLE ABOUT “DUST STORMS”

ZHANG Hong-ten

(Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

**Abstract:** Sand and dust are both products of physical weathering. However, their behaviors are entirely different in the eolian transport process. A rigorous physical test performed by Bagnold proved that dust can fly up to 3000 m high over great distances with wind, while sand grains can move at most by means of saltation near the land surface. All the so-called “sand-dust storms” that attack the North China plain from the north are essentially dust storms. Analysis of sediments deposited in various major weather events also confirms the conclusion. Therefore the sources of dust storm materials are not areas with sand but areas with dust. This study may help people take correct methods for remediation of effects of dust storms.

**Key words:** dust storm; sand dust storm; ultimate falling velocity