

流砂地区公路的 设计、修建与养护

苏联专家B.И.聶格达耶夫講稿
交通部公路总局翻譯科譯

人民交通出版社

流砂地区公路的 設計、修建与养护

苏联專家 В.И.聶格达耶夫講稿

交通部公路总局翻譯科譯

人民交通出版社

本書首先對我國西北部的沙漠氣候、地質、地形等作了簡明的敘述，繼而系統地闡明在沙漠地區內如何進行道路的勘測與設計、如何在流沙地上進行道路的建築、整修與養護。此外，還介紹了風成砂的若干特點和在接近地表層的大氣層中氣流的一般特徵，以及風搬運砂的機械作用、流砂運動的特徵、形成砂沉積物的自然原因等。

此書適合道路工程技術人員學習和參考。

統一書號：15044·1149-京

流砂地區公路的 設計、修建與養護

蘇聯專家B.И.聶格達耶夫講稿
交通部公路總局翻譯科譯
人民交通出版社出版
(北京安定門外和平里)
新華書店發行
公私合營慈成印刷工廠印刷

1956年10月北京第一版 1956年10月北京第一次印刷

開本：787×1092毫米 印張：24張

全書：57,000字 印數：1—3,400冊

定價(10)：0.36元

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號)

目 錄

序 言	2
第 一 講 沙漠的气候	3
第 二 講 沙漠的地質	5
第 三 講 沙漠地形的形狀	7
第 四 講 風成砂的若干特性	14
第 五 講 在接近地表的大气层中气流的一般特征	17
第 六 講 風搬运砂的机械作用	21
第 七 講 流砂的运动特征	26
第 八 講 形成砂沉积物的自然原因	31
第 九 講 人工防护物的类型及其使用方法	39
第 十 講 沙漠地区内道路的勘测与設計	49
第十一講 流砂地区的道路建筑	62
第十二講 流砂地区道路的整修和养护	71
附 錄	76
参考文献	77

序 言

对中国西北沙漠和半沙漠地区的开发已提出修建交通綫的要求，依靠在这些地区內建筑新公路和改善原有道路网来使交通綫獲得更大的发展。

由于沙漠和半沙漠地区有流砂，所以这些地区与中国其他部分顯然不同。流砂对公路的修建和养护有不良影响，它使公路有积砂的威脅，而且有时長期不能通車。

如果在道路勘测、設計、修建和养护时考慮到沙漠地区的特点，根据与积砂作斗争的实践中所得出的經驗而采取措施，那末积砂的威脅就可大大地減少，而且在很多情况下还可能完全避免。

目前在國內和翻譯的技术著作中对于沙漠地区修建和养护道路的問題不很注意，因此就有出版这本講義的必要。此講義的某些部分对甘肃和新疆兩地公路部門的工作人員已經講过。

在此講義中除苏联所有的許多实际經驗和苏联科学工作者的研究資料外，还綜合了在甘肃和新疆部分已成道路上的观察結果，以及兩地公路部門广大工程技术人員的報導。

作者力求在講義中反映出在中国的条件下所有的地区特点，但是要想把沙漠面积的广闊性及其条件的多样性考慮得很周密，只有各地道路工作人員尽量提供有益的資料和以他們的观察和經驗来充实我們的知識的时候才有可能。

因此，对本講義提到的和沒有提到的問題的一切意見、希望和報導請寄北京交通部公路总局。

第一講 沙漠的气候

北部的阿尔泰山脈和罕加山脈及南部的納尼芒和阿尔金山脈之間的地区，包括准噶尔和塔克拉瑪干沙漠在內，都是沙漠或半沙漠区域，其中最大的是阿拉馬尼沙漠。

这些地区拔海700~1,500公尺，但个别山嶺达到2,500公尺。这些区域的夏季温度在陰影处达 $+50^{\circ}\text{C}$ ，而被灼热的土壤达 $+80^{\circ}\text{C}$ 或 $+80^{\circ}\text{C}$ 以上。在冬季冻结时期，北部温度达 -40°C 。

由表1中的資料可以看出，位于南部地区的沙漠与北部地区沙漠的主要气候特征顯然有所不同。

表 1

编号	特 征	南部地区	北部地区
1	不冻结期	275天	172天
2	一年的空气平均湿度	49%	67%
3	七月的空气平均湿度	30%	50%
4	1月的空气平均湿度	74%	84%
5	水面蒸发量公厘/一年	2,154	1,443
6	复雪稳定期	4天	70天
7	复雪厚度(公厘)	1	61

由上列資料可以看出，沙漠气候是大陸性气候最明顯的形式，其特征是空气干燥，有風塵，几乎完全沒有云层和雨。在这种区域中蒸发量要超过降雨量若干倍，一年的降雨量約为50

~200 公厘，同时最大的雨量是在夏天。沙漠中的土壤是砂質的和石質的。碱土和鹽土分布很广。岩石的化学分解是极少的。流过沙漠的河流的特征是不存水，而要在气候較湿的地区或山区才有水。

在沙漠区及其四周，白天几乎是經常刮风的。甚至在风最弱的时候也会发生尘土旋风和龙卷风。通常在視野中总是可以发现很多的龙卷风，这种龙卷风的数量有时达到10个或10个以上。旋风和风是因为地面被阳光所灼热和空气的急剧垂直对流所引起的。

由于这样的气候特征，沙漠中的主要植物是多刺的灌木叢和牧草，属于旱生植物类。这种植物在短時間內需要高的温度，并适合于在干燥和温度变化很大的地区生長。此外，在沙漠中还有一种長根类植物，它与前者不同之处是借長根系（見圖1）之助与地下水面和毛細水位相連接。由禾本科——戈壁羽茅——和鹽地禾本科（黃色金合欢类、鹽木类及鱗莖类灌木叢）所構成的复盖植物群落是半沙漠区的特征。

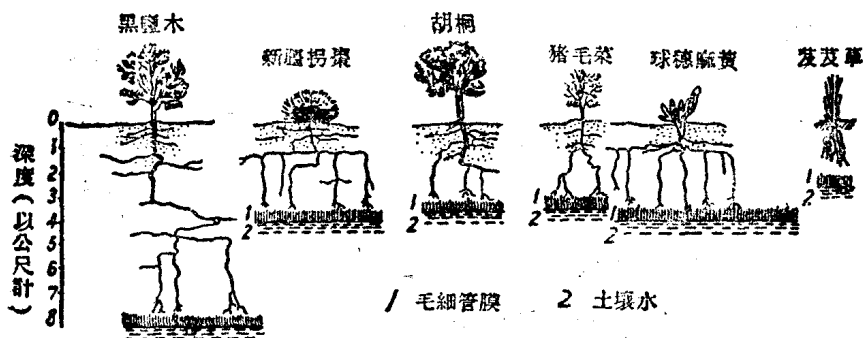


圖1 沙漠地區地下水不深時可生長的植物根系

第二講 沙漠的地質

华北、蒙古、新疆、科什加里和哈薩克斯坦的白堊紀大陸沉积和第三紀大陸沉积都属于戈壁地层，是紅的、灰的和淺綠色的黏土，砂岩、礫岩和泥灰岩。

这些沉积岩是在中亞細亞的内部閉塞盆地中經過白堊紀和第三紀所形成的。

在第四紀由于地質風化的影响，这些岩层遭到严重的破坏和冲蚀。由于山区河流的坡度很大，所以有高度的搬运能力，將这种岩层的風化产物帶到平原地区，并在这些地方聚积成冲积层。这种冲积层所堆成的錐体常常汇合成寬广而傾斜的平原，直接接联到沙漠四周山脉的山麓。

松的冲积层在其搬运时期根据它的粒度以下列次序分开：靠近山处堆积卵石，然后是礫石，砂，最后是粉狀黏土顆粒。顯然，依据当地情况，这些冲积层会相互楔入，但形成所述沙漠地形的这种一般情况并不改变。

在被粉狀黏土代替砂礫沉积的地方，通常在地表面上发现地下水的出口，有时就形成沿山脉流动的河流，并使这种河流切断冲积层。

有粉狀黏土土壤、地下水和有周期作用的河流的地方，就会出现居民区，因此，近代道路大多数都是沿着这种河流修建，并且照例沿着砂礫沉积层修建。

必須指出，当沙漠四周的兩山脉相距很近而又有平行于山脉的河流流过时，即形成如图 2 橫断面所介紹的地形。

这样的地形是由于河流逐漸將河谷冲积层移至沙漠低处的作用所形成的。因此在山間河谷的中間就形成了緩斜的分水



圖 2

嶺，这种地方是不会积砂而利于鋪筑道路的。

由于上述原因所形成的低平原和山間河谷的特点是：自然条件很明顯的帶狀分布并有規律地由边缘部分向中央变化。

例如，除已指出的按其粒度分布的冲积层外，气候也因为雨量由边缘向中央逐漸減少而变化，这种变化与土壤变化的同时也会引起复盖植物群落的变化。

地下水尖灭的特点与其矿化作用的提高，蒸发量的增大和鹽土的形成相符合。

可是，这些低地、河谷和盆地的最大特征，是这些沒有为植物复盖层固結的冲积层表面在風的作用下飛揚起砂顆粒并將它帶到平原区的中部。

当調查“戈壁”类沙漠时，不难看出，在礫石碎石沉积的表层下（这种地区本地人稱謂“戈壁”）是砂礫，其中大顆粒总量不超过15~20%。这种砂被上述的礫石和天然碎石层所复盖而免于繼續吹散。此礫石和天然碎石层也是因为砂被風吹走了而形成的。

因此“戈壁”地段上的礫石和碎石层不超过5~7公分，所以（当砂中礫石含量为15~20%时）为形成这样一层就需要吹走25~33公分厚的一层砂。如果注意到此地段的寬广区域，就可以断定相当大量的砂被風从这种冲积层中帶走。

被風吹走的砂不能在平原区的粉狀粘土部分硬而平的表面上鋪成均匀的一层，而是形成沙漠地形的形状。

当然，“戈壁”中風成砂的形成与其他沙漠中所形成的有显著的区别，那里的砂主要来源是風吹刮来的海洋、湖沼及河流砂，可是不論怎样这并不能改变砂質的地形特征及其在風作用下的性狀。

第三講 沙漠地形的形狀

砂层的形狀是多种多样的，它与風力、砂的粒度、降雨量、植物及当地地形有关。

虽然形成砂地地形的因素很多和地形的多样性，但是砂层形狀一般可分为下列几种：

1) 新月砂丘。由流砂堆集成山丘狀，它的水平断面具有鐮刀或半月形的形狀（见图3）。新月砂丘的砂很細，其顆粒尺寸一般是 $0.05 \sim 0.25$ 公厘。但是靠近乱石灘的新月砂丘的砂也可能有較大的顆粒，特别是在迎風面上。新月砂丘的迎風面比較平緩，有 $5 \sim 14^\circ$ 的斜坡，面层类似在水流中的砂一样的波紋狀。

較窄的背風一面，在平面上是 $28 \sim 36^\circ$ 的半圓形斜坡，坡面有狀似縱向小溝的波紋，其形成將在第五講中說明，原因是因为只有部分的砂經過丘頂被帶走，而另外一部分則落在背風的斜坡上，留在表面上狀似互相平行的小溝。

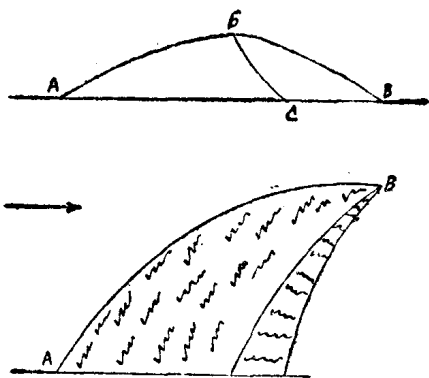


圖 3

新月砂丘一般是沒有植物的，只是有时在它的后面，在背風的斜坡保护下生長有單獨的地区性雜草和灌木叢。由于新月砂丘的窄和低的部分（也就是砂丘角）比它的中部和較高部分移动得快，因此新月砂丘的凸面朝風。在山前地区，即在上升气流特別强的地方，能形成角錐形的新月砂丘。單个新月砂丘的高度变化范围很大，可以达到50公尺，而角錐形的就更大。常常可以遇到横向长达200~800公尺的新月砂丘。底部为鐮刀狀的新月砂丘只有在外表平整的龜裂土和鹽土地面上，以及在沙漠邊緣上和乱石灘上（戈壁），也就是在不被風吹散的土壤上才能遇到。新月砂丘互相靠近会改变其底部的形状，但是它的鐮刀形状不論在什么高度上总是可以看出来。在密实土壤上的單个新月砂丘，当砂量不多时，它的形状是很稳定的；当它向前移动遇到其他風向时，会临时改变其本身的外形，但以后盛行風又使其成为原来的外形。單个新月砂丘的移动路綫和它的形状一样是很弯曲的，除了風的交替作用之外，它与当地地形及在路綫上所遇到的障碍有关。在山前地区常可以发现單个的新月砂丘或者像沙漠前哨一样的向前移动的不大的砂丘群。在离它若干距离之外，就是大量的（图4）砂丘群向前移动，直到遇見一連串的新月砂丘鏈和砂堆为止。它的特征是前面的新月砂丘比后随的向前移动得特別快，这是因为砂子少和后随的地区平坦的原故。前面的新月砂丘停止时，虽然沙漠还会向前运动，但是它的速度已顯著地降低了。

由图5可以看出，在古代佛教寺院“敦煌”附近堆砂的实例中，可以很好地說明新月砂丘与地区地形的关系。

新月砂丘的砂，在沿表面为碎石和礫石层所复盖的平地上搬运时，这层下面是礫石和碎石与砂的混合物，砂丘的砂填滿了孔穴下部。当“丹海”河氾濫时，这些搬运的砂順水流往下运

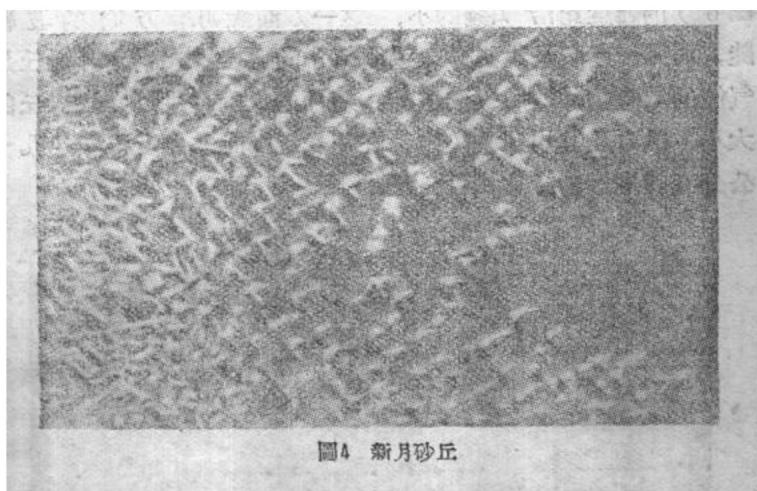


圖4 新月砂丘

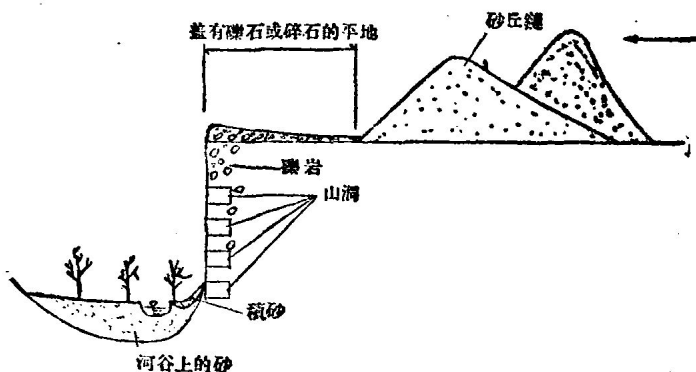


圖 5

行。該處雖在本紀元第三世紀即有廟宇存在，但是積砂并不多；雖然作為積砂來源的新月砂丘鏈很大，而且一開始運動必然填塞“丹海”河谷。

單個新月砂丘很容易觀察并能作出結論，在新月砂丘迎風部分表面上的砂，它的運動速度是不均衡的，即是沿AB綫（見

图 6) 的速度比沿 A 綫的小，这一方面說明 AB 方向的坡較陡，而另一方面是說明砂丘边側部分的風速增大。新月砂丘是气流的障碍物并能將气候压縮。新月砂丘的推进速度依砂丘的大小、風力及其規律来决定，在升降运动时其速度每年达几十公分在前进运动时达几百公尺。

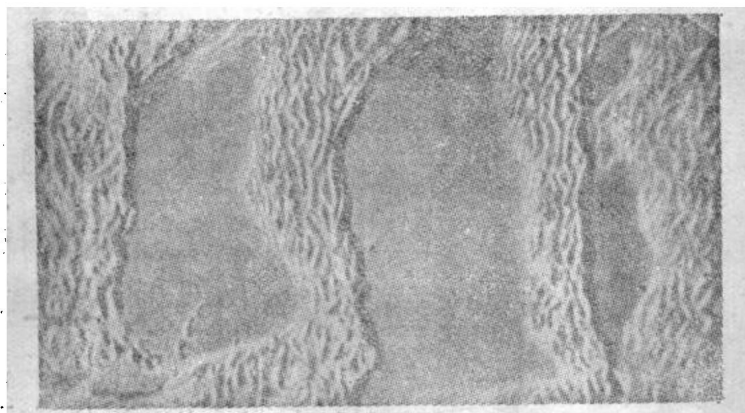


圖6 新月砂丘鏈

2) 新月砂壠。在密集砂的区域中能遇到它，对它的冬季盛行風向与夏季盛行風向完全相反，这种砂壠系由單个新月砂丘的砂角汇合成一片綜合体所形成（见图 6）并且彼此互相影响。新月砂壠的形狀与風的規律及較大新月砂丘对其周圍較小新月砂丘的影响有关。同一方向的風可以將新月砂丘整个体系变成同一斜坡的新月砂壠，它的高度可以达 100 公尺。与砂壠成直角或銳角的風能堆成殼狀或楔狀的砂丘。在中亞細亞沙漠中，成群的砂丘地帶具有砂丘鏈一樣的逐漸提高的迎風面，如图 7 所示。这种新月砂丘鏈的剖面图說明了这种沙丘地帶的前进升降运动的特征。

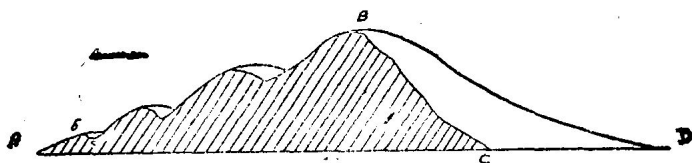


圖 7

新月砂丘鏈或砂壠是長30~40公尺、寬10~15公尺和高1~15公尺向盛行風向垂直延伸的不对称砂波。平緩的向風斜坡仰角為 $12^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，陡峭的背風斜坡角度為 $32^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 。砂壠的峯頂在平面和縱斷面上均有波浪的特征。砂丘鏈比砂丘不易移動，而在基層中常為當地抗干植物所固着。

3) 壠形砂地廣泛分布于沙漠中，其形成為向延伸的砂堤和砂壠，其間互距平均180公尺。砂壠由于沒有陡坡和緩坡區分的對稱性，以及這種砂由于沿盛行風向分布和斜坡被植物固着的流動性，這是縱向砂壠的特點。各種不同沙漠的砂壠高度約為15~100公尺。砂壠的形狀常被第二類風成地形所複雜化，並成為圖8的形式。



圖8 壠形砂地

4)草砂丘。这种砂丘常是新月砂丘鏈的殘物。它是由砂丘鏈未被植物固着的地段刮去了砂而形成的。草砂丘是高达8公尺的不規則形狀的砂丘。这种砂丘能很好地被植物固着，并不受風的影响。

由于形成沙漠地形的主要因素，如風、砂的顆粒成分，降雨及植物等，对各种沙漠和沙漠的各部分不同，所以对于每种沙漠或者某一种沙漠的每一部分的沙漠地形几何部分也是不同的。

應該特別指出，沙漠地形是在最强風的作用下形成的，因此其他方向不太強的風不会改变砂丘峯或者砂丘鏈的既定方向。

假若不談到砂地地形形狀对風砂流的影响以及它們相互之間的影响，这对砂地地形形狀的特征是不完整的。

如果研究盛行風向的沙漠剖面(图9)，就可以按照風砂流对該地区的影响特征將其分为若干帶。

在图9中可以看出，緊接在堆积地帶后面的是中立地帶，此地帶的長度主要取决于砂丘鏈的高度和地区特性。必須指出，砂丘鏈愈高和地区愈粗糙，則中立地帶愈大。在“戈壁”沙漠中这种地帶的寬广面积一般是細顆粒乱石灘；在这层下面是砂与礫石及天然碎石混合物所構成的厚的冲积层。这种中立地帶的構造証實了，有时它是吹出地帶，但砂被去掉以后（被風吹走），这种地

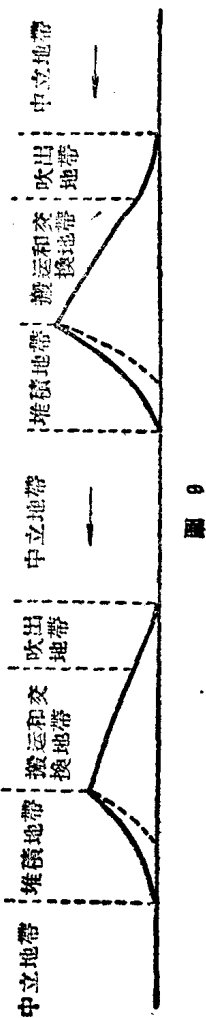


图 9

帶就變成空闊地帶，通過此地帶將砂搬運到堆積地帶。石質露頭、龜裂地、以及有時突出於空闊地帶表面的岩石和在向風坡起點的吹出地帶的地段是這種地帶的殘余。在新月砂丘鏈和砂壩中的中立地帶有時為砂所掩蓋（一般是大粒砂），因此它的長度顯著地減短。

吹出地帶在坡面全寬度上由砂丘坡腳和向風坡起點開始，並與這部分砂的粒度、風力、向風坡的坡度及在這個地帶生長的植物有關，而這些植物在其他地帶是不常發現的。這種地帶的特徵與中立地帶一樣，它們沒有外來砂的堆積，並發現砂粒的脫離和向堆積地帶搬運。由於砂的相對粒度的關係，砂粒的脫離主要是與最強風同時發生的，這時風砂流因某種原因失去了其中的懸浮砂而變成了濃度不大的風砂流。這就在風砂流中造成一種多餘的能，而能以使砂粒由這部分邊坡上脫離並繼續搬運。顯然，新月砂丘或砂丘鏈的向風坡面愈陡，則這個地帶愈窄，同時它在盛行風向方面的移動也愈慢。這種情況使得這個地帶的沙漠植物更順利地成長。

搬運和交換地帶。這種地帶是由向風坡起點開始到峯頂為止，因此幾乎占有全部向風坡。此地帶的特徵是：分選吹出地帶所來的砂子，交換搬運來的砂粒與坡面上的顆粒，這些砂粒連同搬運來的砂粒搬運到堆積地帶。當吹出地帶有外露的特大砂粒或用植物層和人工保護層加固時，搬運和交換地帶開始被含砂濃度小的風砂流所吹刮，因而使新月砂丘或砂丘鏈降低，使砂丘成為堤並具有不明顯的圓的峯頂，由於搬運和交換地帶的砂被吹散顯著地增加了堆積地帶。顯然，以後在通過的砂氣流中也開始增大砂量，這就立刻影響到背風方面的砂丘地形，也就是增加沙丘鏈的高度。

如圖 9 所示，由岩堆坡腳至坡頂都是堆積地帶。這種地帶

的特性，不仅是聚积由吹出地带以搬运方法带来的砂，而且也能获得風砂流中大量的砂。这是因为風砂流取得一部分能，而这个能以往是用于搬运砂子的，这就使它有可能搬运余砂，使砂粒脱离吹出地带以及搬运和交换地带的砂。在堆积地带所形成的与風向相反的旋風（见图10）能促使岩堆斜坡的形成，降低風砂流的速度（这种減速能被風砂流中丢落的砂所补偿），并将砂的最小顆粒吹至上层。



圖 10

第四講 風成砂的若干特性

風成砂沉积物是由風搬运其他（海、河等）来源砂的沉积物所形成的。砂在風的一再吹刮过程中粘土顆粒和粉砂顆粒的大部分几乎完全被吹走。实际上在風成砂中也没有礫石顆粒，因为它们只是在風很大的时候和在顯著地缺少砂質顆粒的时候才可以移动。

由于上述的原因，風成沉积物之所以迥然不同于其他来源的砂是因为它的級配的均匀性。但是这种沉积物中砂質顆粒的成分可以很不同，因为搬运砂的机械作用不适于这种成分砂的自然分选条件。

所有大小顆粒的圆度和它们的毛面也是風砂沉积物的特性。

粒細、顆粒均匀而潔淨都是風成砂的特性，可是研究新月砂丘表面时可以看出，这些砂都分选在沿斜坡的表面上，在向風坡起点最大的顆粒，而靠近峯頂和在峯頂上面是較大的顆粒。在堆积地带內峯頂后面最小的砂，像其他岩堆上的一样，与較