岩石的旅行

The Journey of Rocks

Liu Chenyu • 刘辰宇

Abstract：This geological popular-science article traces the migration of rock debris. It explains how weathered rock fragments are transported, sorted and deposited by glaciers, running water and wind, forming landforms including sand hills, deserts, the Loess Plateau and the North China Plain. Weathering products are categorized by grain size. It describes pedogenesis and the paleoclimate records preserved in alternating loess layers and paleosols. Differences in color and lithology of rocks and soils are interpreted based on rock-forming minerals, iron oxidation and grain-binding patterns, revealing the long evolution of the Earth’s surface.

Keywords: rock weathering; aeolian-fluvial transport; sedimentary landforms; eolian hypothesis of loess; pedogenesis; paleosol; rock-forming minerals

摘要：这篇地质科普以岩石碎屑的迁移旅程为线索，阐释岩石经风化破碎后，在冰川、流水、风力作用下搬运、分选、沉积，塑造白沙山、沙漠、黄土高原、华北平原等地貌的过程。文章按颗粒大小划分风化产物，介绍成土作用与黄土层、古土壤层记录古气候的原理，并从造岩矿物、铁的氧化、颗粒结合方式，解释岩土色彩与岩性差异，展现地表漫长的地质演化。

关键词：岩石风化；风 - 水搬运；沉积地貌；黄土风成说；成土作用；古土壤；造岩矿物

高山上的岩石坚硬又沉默，可它并不会永远停在原地。日晒会让它开裂，冰雪会把它们掰碎，风和流水带着这些碎片在古老大地上展开旅行。在地形、气候、风力、水流的组合作用下，这些碎片时而潜行冰水，时而曝于炎炎烈日，时而驭风而起，时而入地与生命相拥，千百万年前赴后继。这些碎片的每一次变化、每一段旅程，都会在大地上留下不同的印记，塑造出我们现在看到的大地模样：从巍峨的山巅到低处的沙山，再到广袤沙漠与黄土高坡，直至千里平川沃野。

五片大地的模样

在帕米尔高原的白沙湖畔，藏着一座雪一样洁白的沙山。

公格尔峰及周边山地白色岩石，被厚重的冰川在缓慢的滑行中磨蚀为细石粉。冰川融水带着石粉顺着山势一路流淌，来到一处低洼且宽阔的谷地，汇积成一片湖泊——白沙湖，形如一弯镶在群山间的月牙。“月牙”的一端接着冰川融水，另一端是湖水的出口。湖水流出后进入一段狭长险峻的峡谷——盖孜峡谷，然后流向山下的喀什平原，滋养着平原上的绿洲。洁白的沙山就在这“月牙”形湖岸的一侧，与盖孜峡谷隔湖相望。

白沙湖旁诞生白沙山，需要凑齐三个自然条件。

首先需要充足的白沙原料。冰川磨出的白色岩粉被河水带进湖里，长年累月沉积在湖底与沿岸；每年秋冬枯水季节，湖水退去，白沙裸露于宽广的湖岸，成了风可以搬运的 “沙源仓库”。

其次需要天然的定向风道。位于“月牙”一端的盖孜峡谷如一条巨大的风道，常年刮着稳定的强风，直扑湖区。

最后还需要一座拦截沙粒的山坡。沿“月牙”湖岸，与盖孜峡谷相对的那一侧，横亘着连绵的山体，挡住风的去路。强风卷着湖岸上的细沙，撞上山坡，力气耗尽，沙粒便纷纷沉降到迎风的这一面山坡上。经年累月，白沙越堆越厚、越堆越宽，这就形成了“白色沙山”。

若是少了其中一条 —— 比如没有迎风的山坡，沙粒会被风一直带向远方，在风力耗尽的地方堆积下来。这样一来，也许就是“白沙滩”取代了“白沙山”。 在雪山脚下的塔里木盆地，就是类似的情形。

塔里木盆地孕育了我国最大的沙漠 —— 塔克拉玛干沙漠。类似于白沙山的形成，沙漠的形成也需要有充足的原料——沙源。

数百万年前，塔克拉玛干地区曾是一片水网密布的古河湖平原，周边天山、昆仑山上的岩石经风化碎裂成泥沙，被数十条大河裹挟着汇入湖中，在湖底沉积了上百米厚的细沙层。

后来，随着青藏高原与周边山脉不断抬升，盆地被群山团团围住，四面八方的水汽都难以翻越山岭，气候变得越来越干旱。盆地中心年降水量不足50毫米，蒸发量却高达降水量的几十倍，成了我国最干旱的地方。湖水渐渐干涸，整片湖床的细沙都裸露出来，成了沙漠用不完的 “原料”。

要形成沙漠，除了需具备“沙源”以外，还需要常年不息的风。由于塔里木盆地中没有山脉阻挡，盆地里的大风卷着裸露的沙石在很大范围内奔跑，沙石在奔跑过程中相互撞击变得更细小，在风力减小的区域落下并堆积，堆积的区域会逐渐长大，或是变换位置，最终这些区域连成一片，形成了一望无际的沙海。这片沙海的南、北两侧，分布着许多绿洲。历史上著名的丝绸之路，就分别穿行在沙海两侧的绿洲之间。其中，沙海北侧绿洲中那些曾经的古国，就是西游记中许多故事场景的原型。

沿着塔克拉玛干沙漠北侧的丝绸之路向东，往吐鲁番盆地方向，就可以来到火焰山脚下。火焰山是位于吐鲁番盆地中部的一段山体，东西走向约100公里。在火焰山的西端有著名的葡萄沟，中间段是西游记“火焰山”的原型所在地，而在东端藏着一处全国罕见的景观——城市与沙漠零距离相接。这座城市就是鄯善县城，它的南部紧挨着连绵的库木塔格沙漠。站在县城的街道上，就能望见沙漠起伏的沙丘。当地的居民和前来的游客，喜欢来到这片沙漠，把自己的腿脚，甚至全身都埋到沙子里——当地人俗称“沙浴”，是当地颇具特色的理疗方式。

库木塔格沙漠的形成与白沙山堆积白沙有一些相似，它们都需要三个条件：沙源，风道与阻拦大风的山脉。

首先是沙源。火焰山山体向北地势不断升高，差不多三四十公里外就是天山东段的南麓，也是吐鲁番盆地的北缘。天山上的岩石碎裂之后，被融化的雪水裹挟着冲下山进入吐鲁番盆地，接着自北向南顺地势流淌，来到火焰山这里时，或是绕过它，或是从其中的缺口穿过，最后汇于盆地的低处。在沙石随水流旅行的过程中，随水流的减慢，沙石也逐渐沉积，于是在吐鲁番盆地内，也在火焰山周边，形成了大大小小的沙洲。

火焰山自西向东，从葡萄沟到鄯善县城，它们都身处其中某一片沙洲之上。虽然火焰山山体延伸到鄯善县就基本结束了，但火焰山北面的天山山脉，它还在继续往东延伸，那里也有不少同样的沙洲。等到河流枯水的时节，河床与沙洲完全裸露，被太阳晒得干燥蓬松。所有这些河床与沙洲，都成了库木塔格沙漠的“沙源”。

其次是风道。从库木塔格沙漠往东北、往西北各约200公里，分别有一条风道，东北方向的是七角井风道，西北方向的是达坂城风道。这两条风道其实是火焰山北部天山山脉上的两个大缺口。常年有强风分别从这两个缺口吹过，然后在鄯善县城南部的库木塔格沙漠所在区域交汇。我国风力发电的摇篮——达坂城风电场，就选址于天山山脉位于达坂城这一段的缺口。如果乘火车从乌鲁木齐到吐鲁番，就会经过这片壮观的风电场。

最后是一座阻拦大风的山脉。吹过达坂城与七角井风道的强风，卷起沿途河床与沙洲上的沙粒，奔袭百余公里，在鄯善县南部交汇，风力减弱，最终遇到了横亘在盆地南缘的觉罗塔格山，风力消散殆尽。强风中的沙粒，一路沉落，一路堆积，日久垒出连片的沙丘。

在自然状态下，来自东西两股方向不同的风，力量常年制衡，堆积沙丘的位置基本保持稳定，不会轻易挪位、扩张。如今人们又在沙漠边缘种植了防风固沙的灌木与林带，人力与自然力量一同守护着绿洲。

巍峨山巅的岩石碎屑,在水流、风力的组合作用下，除了可以挥洒出沙山，沙漠的模样，还可以融冶出高原与平原的模样。

我国西北戈壁与沙漠里的细土粉，被强劲的冬季风托举到高空，一路飘向东南。当它们遇到太行山、秦岭的阻挡，风速慢了下来，细碎的尘土便缓缓落到地面。数百万年里，尘土不停堆积，形成了深厚的黄土层；之后又经千万年的流水侵蚀，最终塑造成沟壑纵横的黄土高原。这就是地理学上经典的 “黄土风成说”。

除了被大风长途搬运到黄土高原的细尘土，还有更多粗大的碎石泥沙留在山谷里。它们被雨水、山洪冲刷进河道，顺着黄河、海河、淮河一路向东奔涌，到了东部平坦的地带，水流放缓，泥沙一点点沉积下来。年深日久，泥沙填平了洼地，铺展成千里沃野，我们的城市与农田，便大多建在这片河流馈赠的土地上。

石头家族的五兄弟

从洁白的白沙山到浩瀚的大沙漠，从沟壑纵横的黄土高原到沃野千里的华北平原，大地上的地貌千姿百态，但它们的源头，其实都是一块块坚硬的岩体。岩体在日晒雨淋、风吹冰劈的岁月里慢慢碎裂、变小，就像一个家族里辈分不同的兄弟，各有各的模样，也各有各的去处。

老大哥是岩石，它坚硬完整，撑起了整座大山，是整个家族的源头。可再坚硬的岩石，也抵不过岁月的打磨：白天被太阳晒得发烫膨胀，夜里遇冷收缩，反复胀缩便会裂开缝隙；雨水渗进缝里，冬天结成冰，体积变大，会一点点把石头撑裂；树根钻进石缝，也会慢慢把岩石掰碎。久而久之，大块的岩石就碎裂成了小石子。

二弟是砾石，也就是指甲盖大小的碎石子。它们是岩石碎裂后的第一代产物，还带着棱角，铺在戈壁滩上，踩上去沙沙作响。

三弟是沙子。冰川滑过去，河水流过去，大风刮起来，这些时候砾石都会被裹挟着一起运动。在运动过程中，砾石或是被挤压摩擦，或是奔跑撞击，它们的棱角被一点点磨平，个头也越来越小，最后变成了比小米粒还细的沙粒。抓一把沙子在手里，它们会轻轻松松从指缝间漏掉。沙漠与河滩，就是沙子最集中的家。

四弟是粉砂　：像面粉一样细，风能带上高空——　这就是构成黄土高原的主要颗粒　。

五弟是黏土　：最细最黏，河水带到最远处，汇入大海。

地表的植物根系、土壤里的微生物， 会利用水、空气慢慢地“加工” 三弟、四弟和五弟，将它们改造为能长庄稼的 土壤 。 这个加工改造过程就称为“成土”过程。在“成土”过程中，腐烂的落叶与草根混入土中，微生物将这些植物残体逐步分解，随后再转化合成为黑褐色的"腐殖质"。通常情况下，“腐殖质”含量越丰富，土壤越肥沃，庄稼与花草长势就越好。

地球的气候总在冷暖间交替，每一轮变化都要历经数万年。气候温暖潮湿的时候，草木繁盛，微生物活跃，尘土堆积得慢，土层有充足的时间被改造成土壤。后来气候转冷变干，又有大量黄土被吹过来，把前面的给盖住、封存。在暖湿时期形成、又被后来干燥时期的黄土掩埋的那层土壤，就叫作“古土壤”。

在气候转冷、干燥时期被风吹来的那些黄土，前一层落到地面上，因为这时期植物稀少、微生物不活跃，还没来得及被改造成土壤，就被新来的一层给盖住了，这样层层堆积形成的土层，在地质学上被称为“黄土层”，它们不能算“古土壤” 。就这样，随着暖湿时期与寒冷时期的交替发生，在黄土高原的地下，一层“古土壤”上面压着一层“黄土层”，就像叠起来的夹心饼干，每一层都记录着一段远古的气候故事。

科学家能从古土壤里读出几十万年前的冷暖变化，推测气候的变迁。生活在当地的人们，也摸透了不同土层的脾气：挖窑洞多选地下深厚均匀的黄土层，这层土竖直方向的结构很稳固，不易坍塌，而窑洞顶部和底部分布的古土壤层，它们就像窑洞天然的"梁"和"地基"，既防止渗水，也有助于窑洞进一步稳固。这样的窑洞冬暖夏凉，很适合居住。种庄稼的农田，则多选在地表最上层的现代土壤层，或是埋藏较浅的“古土壤”层，这里腐殖质多、土质肥沃，更适合庄稼扎根生长。

藏在奇观里的密码

同样是岩石，有的洁白，有的赤红，有的深褐；同样是沙土，有的雪白，有的金黄，有的艳红。这些丰富的颜色，都藏在构成岩石的 “积木”块 里。

大部分岩石都是由“矿物”构成的。每一类“矿物”，就像是一类“积木”。岩石就是由许多同类的，和不同类的“积木”组成。每一类“积木”都有着自己的特性与外观，也有自己的名字。

比如“矿物”家族中最常见的两类 “积木”，一类叫“石英”，它质地坚硬，不轻易改变自己的本色，看上去像透明或乳白的碎玻璃；另一类叫“长石”，它比“石英”稍软一些，容易受外界影响，脱离原有的大家庭，“改变”自己，大多数情况下，它看上去是浅色的灰白或粉红。石英和长石，也是构成西岳华山山石的两类主要“积木”，所以华山整体呈现出浅色的灰白或肉红色调。

在云南石林，那里的石头外形千奇百怪，但骨肉都是整齐划一的灰白色。与华山不同的是，这里的山石绝大部分由另一种浅色“积木”——方解石构成。

“积木” 含有许多元素，有的元素紧密融入“积木”大家庭，有的元素属于外来混入的“不速之客”——它们或是附着在“积木”表面，或者填充在“积木”之间的缝隙里。这些“不速之客”有时会彻底改变“积木”的颜色。比如，当浅色的石英“积木”缝隙或者表面染上了铁元素 ，石英“积木” 就不再是浅色调，它可能呈现红色，或是深色。这就取决于沾染的铁元素处于什么样的状态。

打个比方：我们都见过铁钉生锈：接触了水，暴露在空气中，铁钉就会生锈。刚生锈时，铁钉颜色发暗，时间也越久，红黄色就越明显。这是因为时间越久，铁和氧气、水分结合程度越高，铁钉锈得越厉害。铁元素与氧气和水分结合的过程，这在科学上叫作“氧化”。铁元素的 “氧化”程度越高，铁钉的颜色就越偏向红、黄、褐色；若是处在缺氧的环境里，“氧化”程度轻，铁钉的颜色就会偏向深灰、黑绿。

在云台山红石峡，我们看到的那红色岩壁，主要由石英“积木”构成，并且“积木”里面沾染了较多的铁元素。这些铁元素在混入“积木”那个时期，碰巧气候炎热、潮湿，长期暴露在空气中，铁元素“氧化”程度较高，所以“积木”呈现红色，最终含石英“积木”的那一部分岩石通体赤红。

沙子与土壤的颜色，也遵循同样的规律。白沙山的沙由白色石灰岩磨成，几乎没有深色杂质，便像雪一样洁白；沙漠里的黄沙混着轻度“氧化”的铁，像裹了一层薄铁锈，便呈现出温暖的土黄色。黄土高原的黄土含铁氧化程度也很轻，是均匀的淡黄色；而南方雨水充沛、气温高，土里的铁元素被“氧化”的程度较深，便有了浓郁的“红壤”。

构成岩石的“积木”，有的可以彼此直接相互”牵手“，这在地质学上称为“结晶嵌合”。 比如华山、石林的岩石“积木”，它们都属于这一类，这一类岩石非常牢固结实，不容易散架。在这两个景区，我们常会看到一块巨石卡在细缝、悬在半空的奇景，有时会担心它坠落下来，现在我们可以放心一些：那块巨石与细缝之间的岩壁，手牵得可紧呢。

有时，岩石“积木”通过一种特殊的“胶水” 彼此粘在一起，这在地质学上称为“胶结”。比如在云台山红石峡，尽管它与华山都含有相同的石英“积木”，但由于外部环境条件的差异，红石峡的石英“积木” 彼此之间是“胶结”在一起的，而不是直接相互”牵手“——“结晶嵌合” 。在红石峡，石英“积木” 胶结所用的“胶水”比较强大，不惧风雨，并且粘合到一起的“积木”个头均匀，排列致密，所以云台山红石峡的岩石“积木”仍旧结合牢固，岩壁表面显得紧致光滑，可以长久保持着赤红本色。

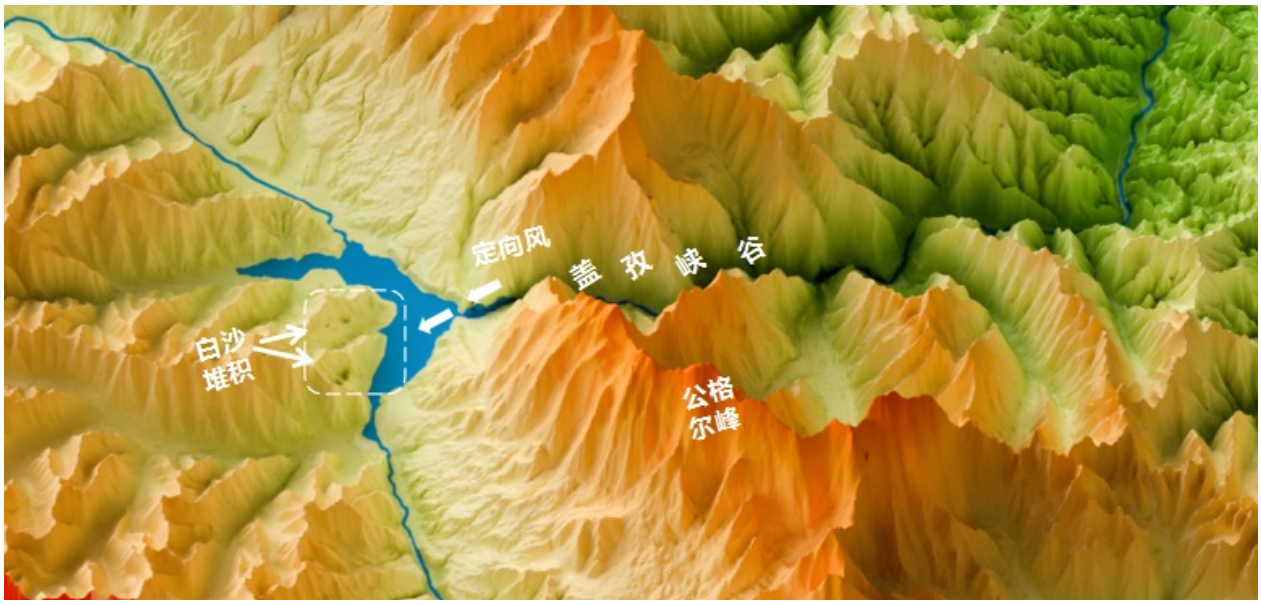
在武夷山，构成岩石的”积木”也是胶结在一起的。又是由于外部环境条件的差异，这里胶结所用的”胶水”与云台山那里是不一样的，它经不起风雨的长久侵袭。同时，这里的“积木”个头大小悬殊——大的如拳头，小的如米粒，相互之间难免留下很多空隙，夹有不少杂质，最终导致“积木” 结合相对疏松，岩石表面容易剥落，坑洼粗糙。剥落的碎屑融入土地，土地育出茗茶，茶汤散发岩骨花香，为好茶人士所追捧。碎屑剥落后的岩壁布满大小不一的洞室，被浪漫的诗人想象为“云窝”，也被络绎不绝的游人争相留影拍照。

从一块岩石到一粒细沙，从一片沙漠到一寸沃土，大地用亿万年的时光，写就了这本漫长的风物之书。每一道山岭、每一片沙丘、每一寸泥土，都是这本书里的文字，等着我们慢慢去读。而每一粒细沙、每一寸黄土，也都记得自己出发时那座山的模样。

原文配图

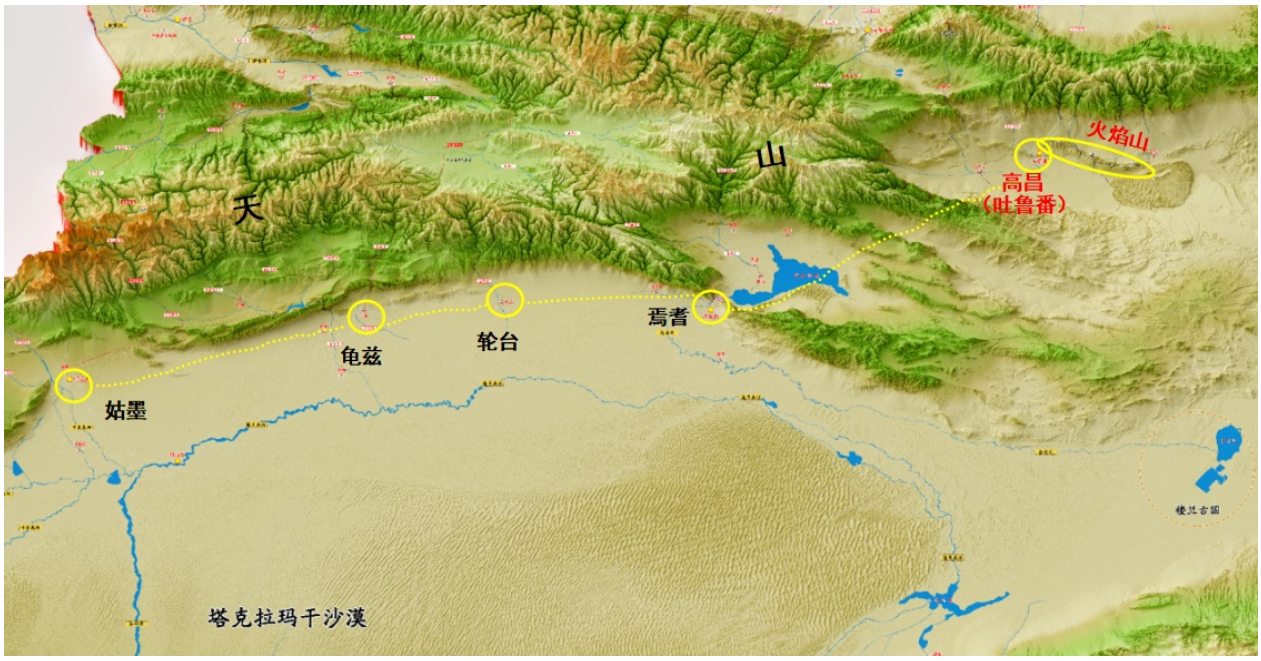


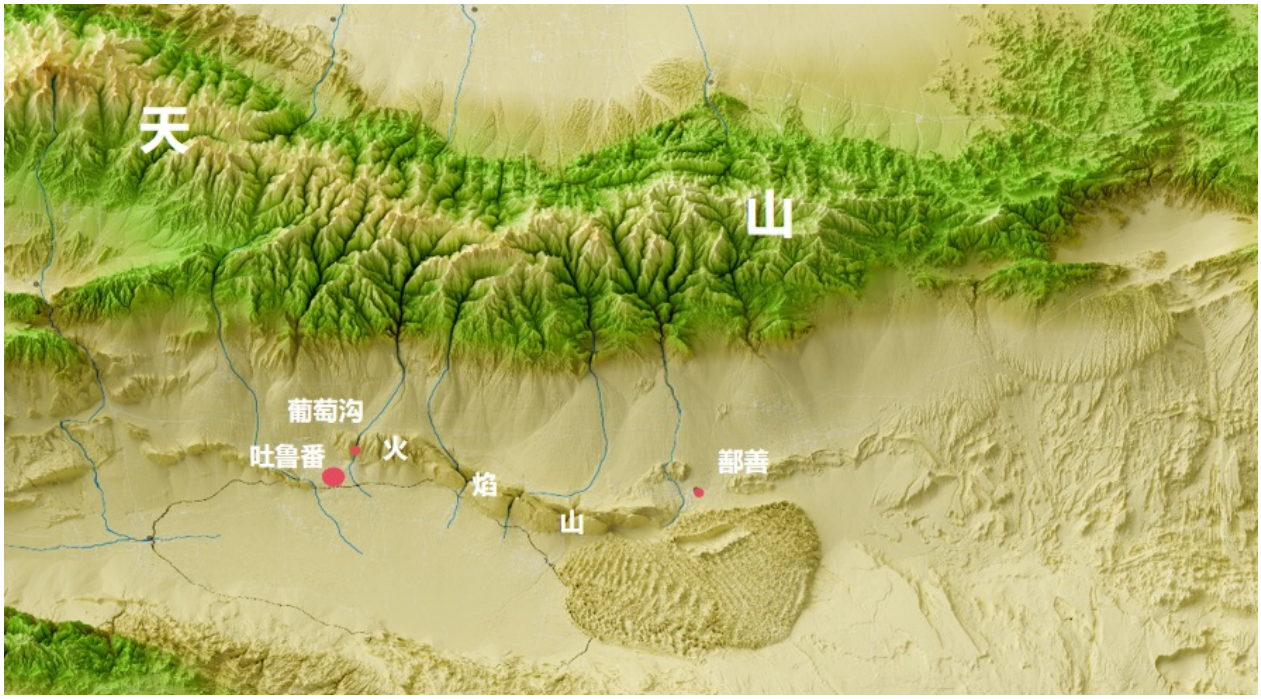


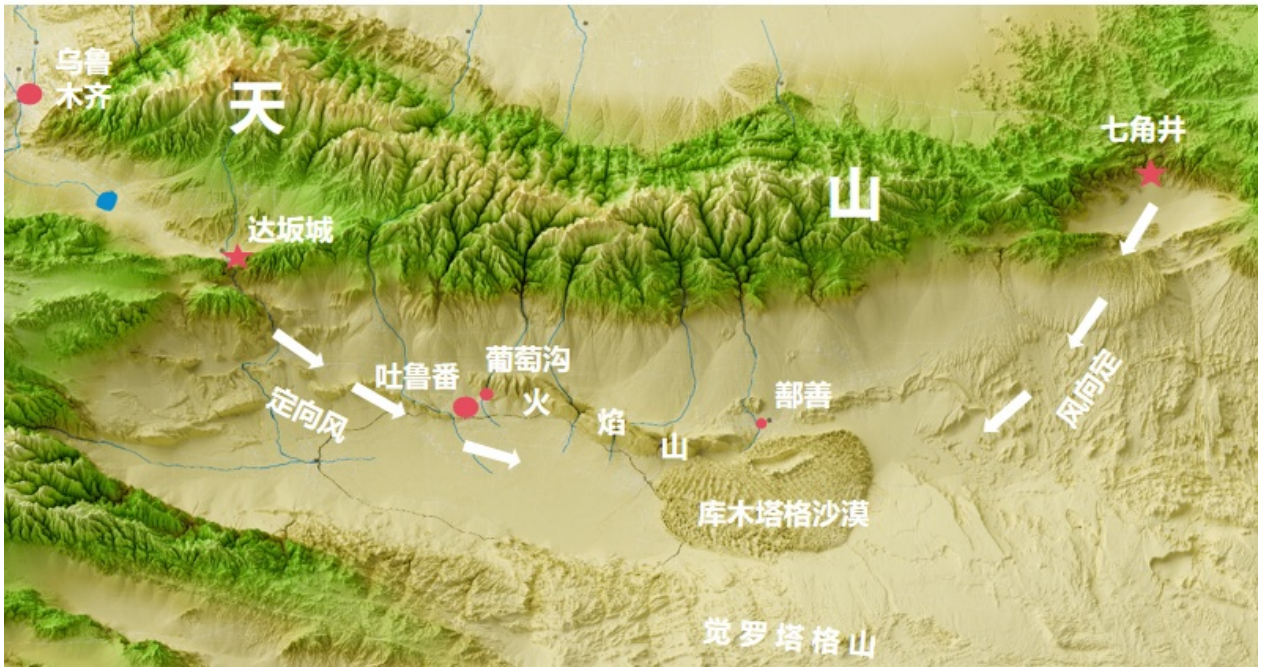

定向风
盖孜峡谷
白沙堆积
公格尔峰




① 山上岩石碎裂成泥沙
② 河流搬运泥沙
③ 湖底泥沙沉积


天
山
火焰山
高昌
（吐鲁番）
焉耆
轮台
龟兹
姑墨
塔克拉玛干沙漠


天
山
葡萄沟
吐鲁番
火
焰
山
鄯善


乌鲁
木齐
天
山
七角井
达坂城
葡萄沟
吐鲁番
火
焰
山
鄯善
定向风
风向定
库木塔格沙漠
觉罗塔格山


土壤的魔法变化
1 落叶和草根掉下来
2 残体进入土壤
3 微生物来工作
我喝到
养分啦！
4 变成腐殖质
掉落
分解
腐殖质
生长


古土壤层
黄土层
古土壤层
古土壤层（屋顶）
窑洞剖面
黄土层
（墙壁）
古土壤层（地基）


铁元素氧化：岩石和土壤为什么会变色？
铁 + 氧气 + 水 → 铁锈（氧化铁）
铁和空气，水一起，变颜色啦！
为什么是红色？
新铁钉
暗灰色
慢慢反应
开始生锈
慢慢反应
有氧气有水
严重生锈
小实验
铁 + 氧气 + 水 →
铁锈（氧化铁）
铁锈大多是红黄色或红褐色
红石峡
红色岩壁，含铁岩石氧化
白沙山
白色沙子或岩石，含铁少
沙漠
金黄色沙子，含铁适中
黄土高原
淡黄色土壤，含铁较少
南方红壤
红褐色土壤，铁元素氧化明显!


岩石是由哪些矿物积木砌成的？
像搭积木一样认识岩石！
石英 Quartz
透明闪光，像碎玻璃一样。
长石 Feldspar
浅灰带粉，温柔又稳定。
方解石 Calcate
灰白光亮，像小石头一样结实。
岩石小科
岩石百科
华山
结晶嵌合，手牵手，坚固又险峻。
石林
结晶相连，像森林样挺立。
云台山
胶水粘合，黏粘的，黏稳的，
胶水
武夷山
胶水粘合，色彩丰富，稳稳当当。
岩石是由许多矿物积木组成的，有的像手牵手一样嵌合，有的像用胶水一样粘在一起。








老大 岩石
老二 砾石
指甲盖大小
老三 沙子
比小米粒还细
老四 粉砂
像面粉一样细
老五 黏土
最细最黏的土