

硬质与柔软的反弹导致小行星的表面结构

(北京大学 王树峰 编译自 David Lindley. *Physics*, March 17, 2017)

实验与计算模拟显示，小行星表面大、小岩石的分离来源于轰击表面的颗粒与已经存在的岩石发生的碰撞。

糸川(Itokawa)是由岩石堆积而成的小行星，是太阳系中的碎片经由自身的重力聚集而成。它具有不规则的形状，最大长度只有540 m。2005年，日本“隼(Hayabusa)号”无人探测飞船近距离地拍摄了它的照片，并出人意料地揭示了它的两种不同的表面类型。表面凹陷的区域主要填充了厘米以下的小石子和细碎的尘埃，而较高的区域则是大到40 m的巨型卵石。

人们对于为什么会有这种现象争论不休。来自新泽西罗格斯大学的Troy Shinbrot及其同事基于理论和实验分析提出一种解释。他们说，糸川上大卵石与小石子的体积相似，因此小石子的数目远超大卵石的数目，大约达到十亿倍。糸川的形成与生长来源于无数小颗粒的累积，以及偶尔的大颗粒的撞击。

如果一个小颗粒飘至糸川时撞到一块大卵石，它通常会被弹飞：



碎石堆成的小行星糸川(Itokawa)具有两种截然不同类型的表面：低地势区域填充了小石子，高地势区则是大块岩石

要么飞离小行星，要么换个地方再次碰撞。但是，如果它落到的地方都是尺寸类似的小石子，它的动量和能量则会迅速地通过多次碰撞而消散，于是就会在碰撞点附近停下来。这种差异使人们易于理解为什么石子海会稳步地长大并填充了较低的地区，而较大的卵石则裸露于小行星表面较高的地区。

一系列的实验验证了这种想法。首先，研究人员将1 mm直径的玻璃珠子落到模拟巨石表面的陶瓷片上。玻璃球逐粒地掉落，而不是倾倒下去。这些珠子几乎全部被弹开，陶瓷片表面仍然保持了一无所有。但是如果先在盘面放置一小堆珠子，下落的珠子则会扎进去并停留在那里，使得这堆珠子越来越大。

随后，他们准备了卵石。每一颗卵石的直径为几个厘米，堆成山峰和山谷的样子。他们不断将玻璃

珠掉落这些不规则的表面上，发现随着时间的推移，这些珠子填充了较低的区域，而较高区域的石子仍然裸露。为了说明这并不是简单的珠子滚落到山谷的结果，研究人员检测了山谷填充的速度。他们发现这一结果并不

与颗粒滚入山谷的速率相符，但与一个有上百年历史的经验公式相符合，这个公式描述的是颗粒如何积累到已有的颗粒堆中。

最后，研究人员通过计算机模拟来追踪反弹颗粒所经历的路径，并控制其中的重力。这种模拟肯定了粒子从巨石上弹开并在颗粒海中停留下来。他们同样展示了这种机制在非常低的重力条件下也可以成立。研究人员认为，对那些重力很弱、只能吸引慢速粒子的星体而言，这是其上不同大小颗粒发生分离的主要原因。但这种机制在各种重力条件下都会产生效果。更大的小行星灶神星(Vesta)和爱神(Eros)直径分别约为500 km和30 km。它们的表面平整，显然由细碎的颗粒构成。这可能是源于相同的机制。那些拥有较强重力的星体会经历更高速的撞击，从而抛出碎石雨，也可以导致巨石移动和破碎。

北卡州立大学的Jonathan Kollmer认为这项工作优雅简洁，并称赞其将颗粒材料物理学带入天体物理的探讨中。由于这个研究组的实验清晰地展现了地球重力下尺度不同颗粒的分离过程，他们提出它可能在研究较大星体的结构形成中具有重要意义，比如火星。

更多内容详见：Troy Shinbrot et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2017, 118: 111101.