

探索大气粉尘和气候

辅导员指南

“探索大气粉尘和气候”是一系列活动，旨在让公众深入了解大气粉尘如何影响气候变化。了解粉尘的故事有助于我们更全面地理解地球的气候系统，同时提供有关如何缓解当前气候变暖现象的线索。这些活动是专为参与博物馆、科学中心和外展活动而设计的，也可以在从小学高年级到高中年龄段的正规教育环境中实施。

本系列中的活动：

粉尘
传说

不断移动的粉尘

“铁”泵：粉尘如何改变气候



小球大世界®



MeteoAR

探索大气粉尘和气候

辅导员指南

简介

UCAR 科学教育中心创建了这一系列活动，让公众围绕通过如下 NSF 所资助研究项目提出的中心科学主题参与其中：PIRE：粉尘刺激大气中二氧化碳含量的下降，是北半球冰川作用的触发因素。本指南中描述的项目和活动探讨了大气粉尘沉积量如何随时间推移而改变，粉尘如何从来源区域传送并最终进入海洋，以及向海洋中铁含量有限的区域加入粉尘如何通过海洋生产力进一步减少大气中的二氧化碳。该项目代表如下多个学科的科学家之间的多年国际合作：地质学、海洋学、大气化学、古生物学和环境科学，这些科学家分别研究地球过去和现在的气候与大气粉尘之间联系的独特方面。

本辅导员指南提供以下各项活动的说明、材料清单、设置建议和辅导说明：

- 粉尘假说（第 2-8 页）
- 不断移动的粉尘（第 9-13 页）
- “铁”泵：粉尘如何改变气候（第 14-18 页）
- 小球大世界®，MeteoAR（第 19 页）

虽然每项活动都是独立的体验过程，但如果同时完成这些活动，则可以更全面地探索大气粉尘。“粉尘假说”解释了地球上粉尘的本质，包括粉尘扩散如何随时间和空间而变化，同时回答有关粉尘来自何处、它如何最终进入海洋以及为什么这对于了解气候如此重要的问题。“不断移动的粉尘”提供了针对粉尘样品的实践体验，同时让您有机会测试风如何将微小颗粒运送到很远的距离，使粉尘实际上最终进入海洋的想法变得切实可行。“铁”泵假说描绘了地球圈（地圈、大气圈、水圈和生物圈）之间复杂的相互作用网络，该网络让海洋中的浮游植物得以吸收铁（粉尘），从而通过大气二氧化碳含量的下降来让气候降温。

粉尘传说

大气粉尘的故事以及它如何影响地球气候。

粉尘假说

“粉尘假说”是一个交互式谷歌幻灯片，它讲述了大气粉尘的故事，包括地球上粉尘最多的地点、粉尘来自何处、它如何在地球周围移动、大气粉尘在地球中的变化历史、一年中粉尘最多的时刻，以及大气粉尘如何影响地球气候。通过一组数据地图来讲述故事。

交互式幻灯片设计为具有应用程序功能，可让访客独立浏览故事，或者可让辅导者全程引导访问者浏览故事。“粉尘假说”可以在触摸屏显示器、iPad/平板电脑支架或展览空间内的笔记本电脑推车上顺利播放。

“粉尘假说”最适合个人或小团体，可能需要 5-10 分钟才能完成，具体取决于参与程度。

所需材料：

- [“粉尘假说”谷歌幻灯片](#)
- iPad/平板电脑或笔记本电脑

设置说明

- 制作“粉尘假说”交互式幻灯片的副本供您使用。
 - 将“粉尘假说”交互式幻灯片副本保存在存放教育内容的任何位置。如果需要，您可以编辑自己的副本。
- 设置平板电脑、笔记本电脑或触摸屏设备以显示“粉尘假说”交互式幻灯片。

辅导说明

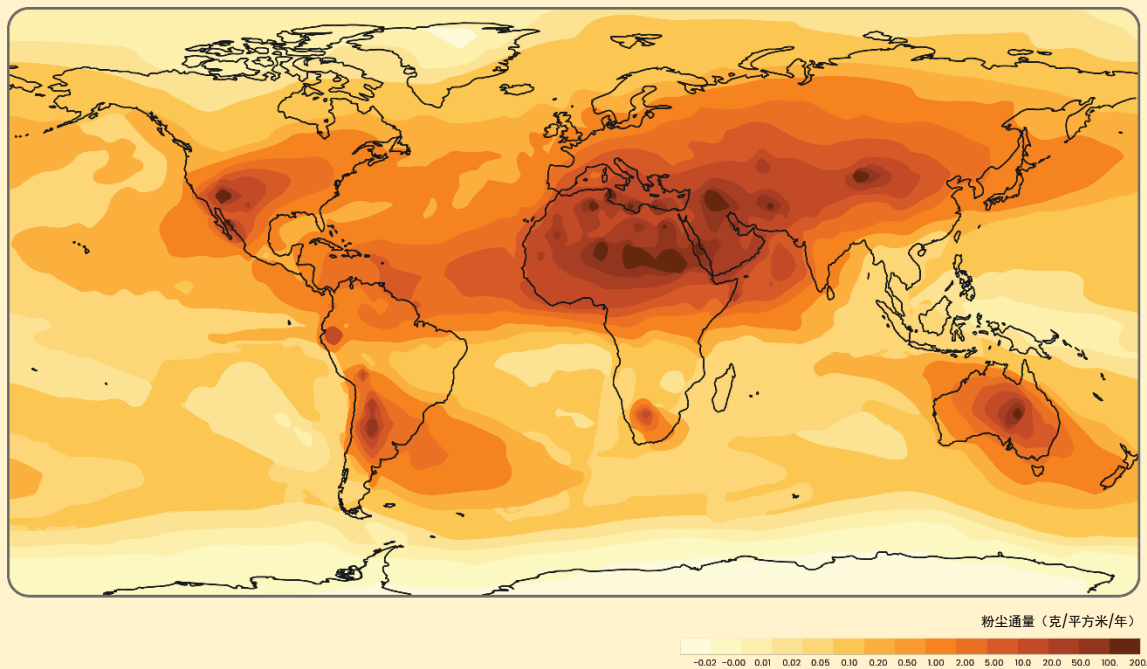
下面给出地图和提示的关键解释点，这些地图和提示用于在观众探索交互式幻灯片时吸引他们。然而，访客可能更喜欢独立探索，因此幻灯片设置为即使没有辅导也可正常运作。

- **邀请访客通过此交互式幻灯片了解大气粉尘的故事。**
 - “地球处处尘土飞扬！足够量的粉尘会影响天气和气候等事物，同时会影响生物！”
 - 注意：您可能想区分地球系统中产生的粉尘和家庭粉尘 — 我们不是在谈论床下积聚的少量灰尘！这种粉尘来自岩石材料受到的侵蚀。

- **粉尘是怎么回事？**（当前气候条件地图中的粉尘沉积）通过以下问题提示，重点关注地球上粉尘的分布：
 - 你有注意到粉尘的哪些方面吗？粉尘所在的地方有什么模式吗？
 - 世界上哪些地方的粉尘最多？哪些地方的粉尘最少？原因是什么？
 - 在此地图上找到您所在的位置。您所在地方的粉尘量如何？将您所在的位置与地球上的其他地方进行比较。
 - 是海洋中的粉尘多，还是陆地上的粉尘多？海洋的某些部分比其他部分有更多的粉尘吗？

当前气候条件中的粉尘沉积

下面的地图显示了粉尘的沉积位置（区域）和不同区域内的粉尘沉积量（体积）。较暖的颜色表示更多的粉尘。热带和中纬度地区的粉尘量似乎比极地地区多。虽然粉尘最多的地方位于大陆上空，但大量的粉尘会沉积在海洋中。海洋中粉尘含量较高的地方与陆地上粉尘最多的地方相邻。例如，北非似乎有最多量的粉尘，而大西洋也有大量的粉尘。



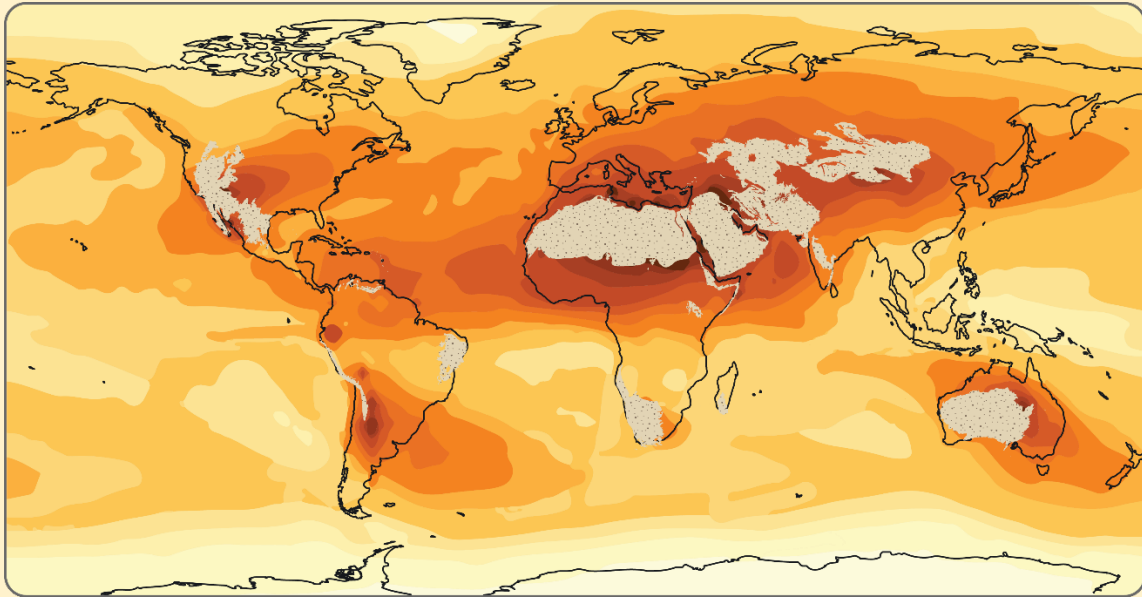
- 粉尘来自何处？（世界地图上的沙漠地带）

专注于全球的粉尘来源区域，即沙漠，其中给出问题提示：

- 粉尘来自何处？
- 您认为沙漠和地球上尘土飞扬的地点之间有什么联系？
- 哪个粉尘来源区域与您居住的地方最接近？此地点的粉尘会对您产生什么影响？

全球的沙漠

粉尘来自干旱多风的沙漠地区。粉尘沉积最多的区域与地球主要沙漠的位置相关。撒哈拉沙漠是地球上最大的粉尘来源区域。来自撒哈拉沙漠的粉尘在非洲北部形成大规模的夏季沙尘暴，并可能影响加勒比地区和美国的空气质量。



表示沙漠环境

粉尘量（克/平方米/年）

-0.02 -0.00 0.01 0.02 0.05 0.10 0.20 0.50 1.00 2.00 5.00 10.0 20.0 50.0 100.0 200.0

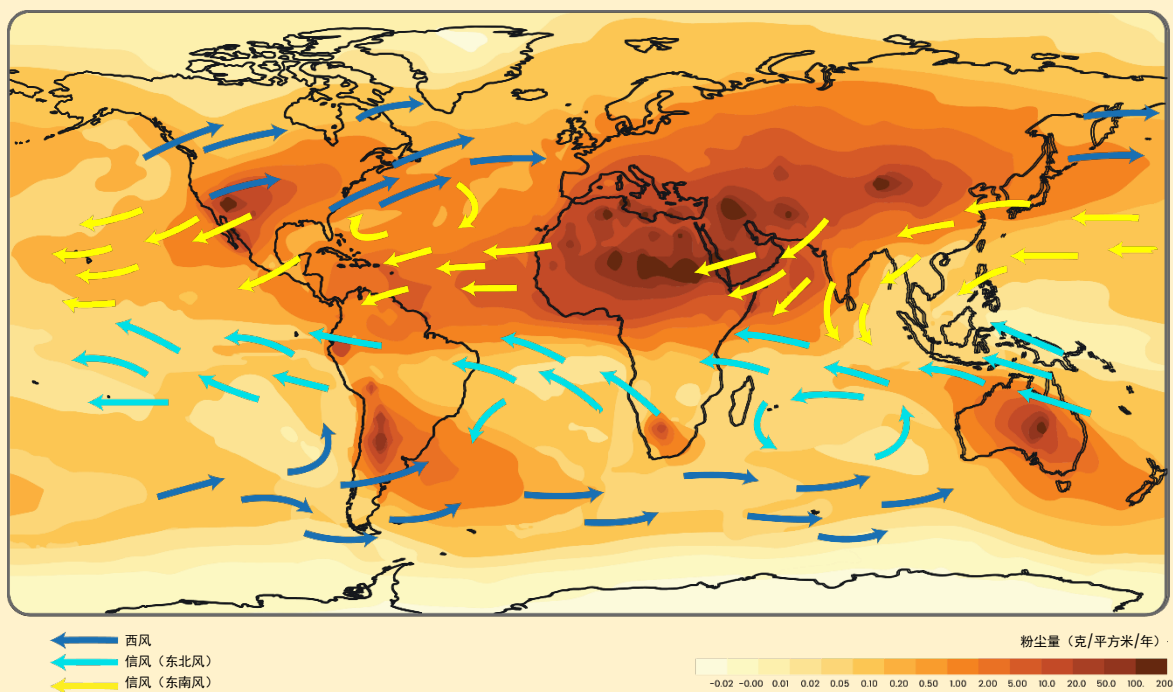
• 粉尘四处移动的原因是什么？（风场图）

现在关注粉尘如何通过风从来源区域转移到沉积的地点。使用以下提示：

- “粉尘是如何从沙漠进入海洋的？”
- 在地图上选择一个沙漠，然后跟随箭头以揭示该沙漠产生的粉尘可能会落到何处。
- 最终到达北美的粉尘来自何处？
- 最终进入太平洋的粉尘从何而来？

风场

箭头表示由于盛行风而穿过地球表面的空气运动方向。盛行风受到全球对流和地球自转（科里奥利效应）的影响。粉尘由沙漠中的风携带，沿着风的吹动路线沉积。因此，起源于北非的粉尘被信风向西吹过大西洋，沉积在中美洲和北美洲。来自北亚的粉尘被西风带向东运送并沉积在北太平洋。



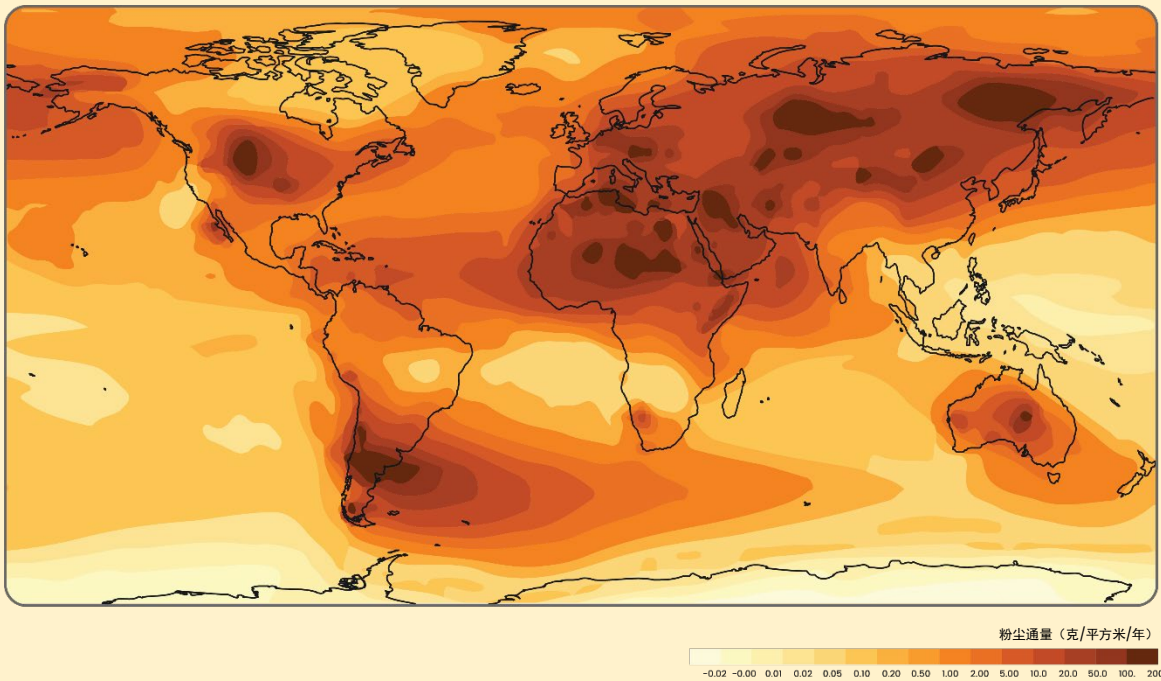
- **当地始终尘土飞扬吗？（末次盛冰期的粉尘沉积）**

解释此地图显示了上一个冰河时代鼎盛时期的粉尘沉积。此时期称为末次盛冰期（LGM），它发生在大约 22,000 年前，当时地球上的温度要低得多。将当前条件下的粉尘地图与 LGM 期间的粉尘地图进行比较：

- 两张地图之间有什么不同？
- 为什么地球过去的某些时期可能比其他时期更加尘土飞扬？
- 较冷的气候（例如在冰河时代）如何产生更多的粉尘？

末次盛冰期的粉尘沉积

LGM 地图显示了比当前气候条件地图更多的粉尘，无论是其面积还是粉尘沉积量。地球的气候变冷时，两极出现更多的冰块以及大陆和海洋冰盖。冰川的运动摩擦岩石，从而产生粉尘。由于存在较高的温度梯度，较冷的天气条件也会产生非常高的风速。因此，冰川运动导致的侵蚀增加和低温导致的风速提升表明，较冷的气候会让地球出现更多的粉尘。针对地质记录中粉尘层厚度的观察结果也支持较冷的气候与粉尘沉积量增加相关。



• 粉尘如何影响地球气候？（气溶胶和叶绿素）

关注粉尘进入海洋时发生的情况及其对全球气候带来的影响。

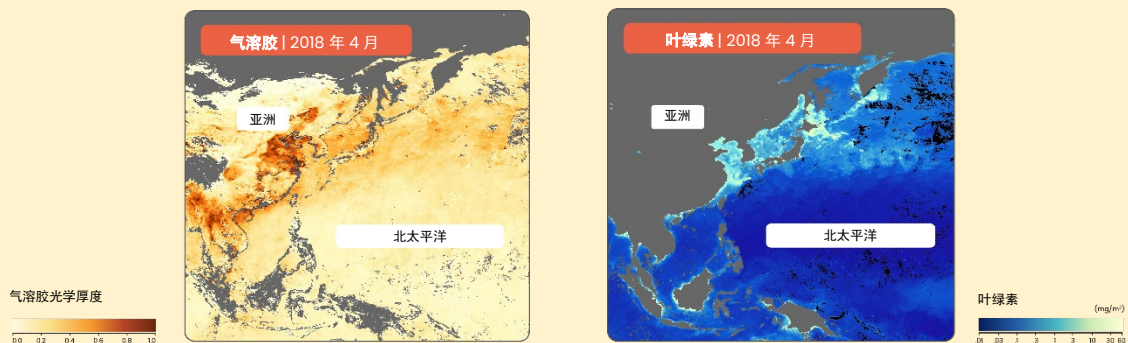
- 指出测量气溶胶含量是衡量大气中粉尘的一种方法。测量叶绿素含量是衡量浮游植物数量的一种方式。
- 区分进入海洋的粉尘如何影响气候以及大气中的粉尘如何影响气候可能是有意义的行为。大气中的粉尘通过散射光和吸收来自太阳的能量影响气候。这些地图则关注海洋中的粉尘如何影响气候。
 - 对于年轻的观众，您可能要确保他们了解气候的概念。
- 问题提示：
 - 粉尘如何改变气候？
 - 气溶胶地图和叶绿素地图之间有什么联系？
 - 粉尘中含有大量的铁，有助于浮游植物的成长。大量粉尘进入海洋会引发何种变化？

气溶胶和叶绿素

4月和5月期间，来自亚洲的更多粉尘（气溶胶）进入北太平洋。北太平洋沉积粉尘最多的区域也显示出最高的叶绿素浓度，这表明当地浮游植物大量成长。浮游植物数量的增长也意味着更多的CO₂通过光合作用从大气中抽出。因此，北太平洋中粉尘的增加以及随后大气中CO₂浓度的降低会导致气候变冷。

过往气候的代用数据表明，在粉尘增加期间，大气中的CO₂也会减少，这表明海洋的生物泵（海洋生物如何影响全球碳循环）可能是引发过往气候变冷的原因。

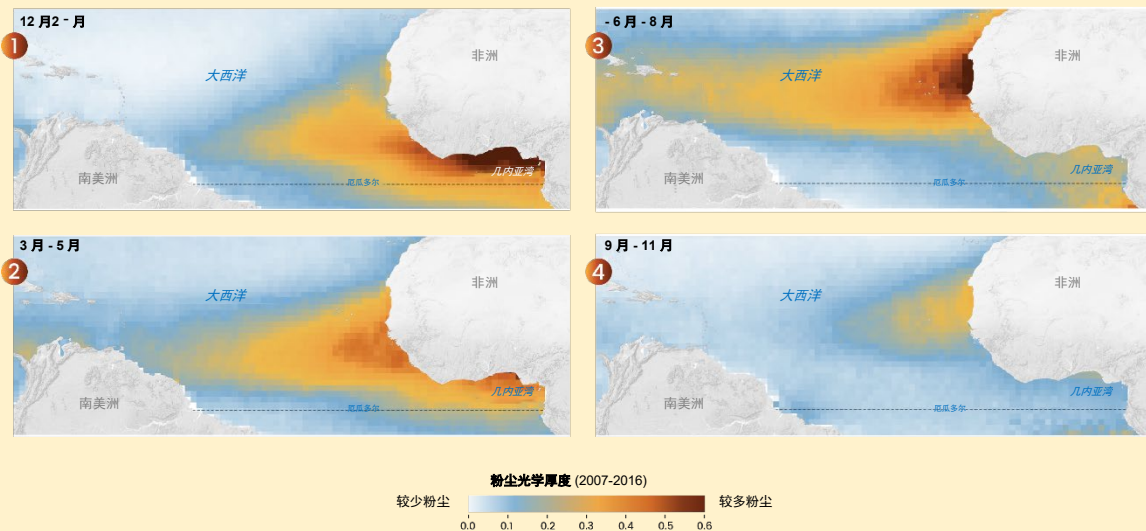
注意：粉尘影响更大规模的气候系统，但绝不是造成冰河时代和间冰期循环的唯一因素。粉尘的作用是最近形成的科学研究领域。



- **一年中的某些时刻是否更加尘土飞扬？**（全年从撒哈拉沙漠扬起的粉尘）
帮助访客了解大气中粉尘量的全年变化情况。
 - 从撒哈拉沙漠进入海洋的粉尘在一年中的何时最多？
 - 撒哈拉沙漠的粉尘如何最终进入大西洋？
 - 为什么全年的粉尘量会发生变化？

全年从撒哈拉沙漠扬起的粉尘

全年不断变化的天气模式导致某些月份比其他月份更加尘土飞扬。气压和风场，再加上炎热干燥的条件，导致夏季撒哈拉沙漠上空的粉尘增加。强对流系统会产生大量粉尘暴和一层炎热、干燥、多尘的空气，也称为撒哈拉空气层(SAL)。这种粉尘云每隔几天就会在大西洋上空移动一次，甚至可到达美国西部。在秋季的几个内，海面温度的变化导致信风减弱，从而减少了从撒哈拉沙漠向西吹来的粉尘。



- **我们如何了解关于粉尘的诸多事宜？**（地质学家在现场的图片）
 - 这位地质学家身处中国新疆省的准噶尔盆地，这是亚洲的一个主要产尘区，他在此研究侵蚀成粉尘的岩石。
 - 研究岩石和化石对了解地球气候有何帮助？
 - 我们可以借助这张图片提及“PIRE：粉尘”研究项目，来自中国和美国的科学家在该项目中共同努力，揭示有关过往地球气候变化的线索，以及气候如何受到粉尘影响。（有关该项目的更多信息，请参阅简介。）

不断移动的粉尘

不断移动的粉尘

“不断移动的粉尘”活动是一次实践体验，通过比较粉尘颗粒与其他常见沉积物的尺寸帮助访客了解什么是大气粉尘，以及探索粉尘如何从地球表面的来源区域分散到世界各地。活动分为两个部分。首先，在试管中和放大镜下检查粉尘、粘土、粉砂、细沙和粗沙以及砾石样品。接下来，我们提供一个风箱，访客可以在其中使用手持风扇测试哪些颗粒尺寸可以通过风传送。

活动的两个部分可以共同展示在一个桌面上，或者放在大型的活动推车上。“不断移动的粉尘”最适合可以在使用显微镜检查样品和与风箱互动之间来回切换的个人或小团队。可使用 5-10 分钟完成这两项活动，具体取决于参与程度。

所需材料：

- “不断移动的粉尘”标志
 - PDF 文件可在 scied.ucar.edu/atmospheric-dust-climate 中获取
- 桌面标志架
- 试管架，其中的密闭式试管装有六种沉积物样品
- 10 加仑的带盖玻璃罐
- 手持风扇和 USB 充电线（第二个风扇作为备用）
- 风扇用导风漏斗
- 橡皮筋 (2)
- 沉积物容器（细沙、粗沙、砾石）
- 手持式数码显微镜及配件
- 样品轮（粉尘、粘土、粉砂、细沙、粗沙和砾石）
- 用于查看显微镜图像的笔记本电脑或 iPad/平板电脑

设置说明

- 确保通过 USB 充电线为风扇电池充电。提供第二个风扇备用。
- 使用提供的橡皮筋将导风漏斗（透明塑料的 2L 瓶盖）连接到风扇背面的挂钩上。在漏斗的嘴部钩上一根橡皮筋，然后拉伸以钩住风扇的背面。在另一侧重复上述操作。（照片 1）



照片 1

设置说明（续）：

- 将所提供容器中的沉积物排空到玻璃罐中。轻轻摇晃玻璃罐，使沉积物分布在水箱底部。确保沉积物落在附于水箱底部的绿色圆圈区域内。（照片 2）
- 将显微镜固定在随附的支架上，并将其放在圆形沉积物样品托盘（样品轮）的中间。调整支架，使显微镜接触样品容器的顶部。（照片 3）
- 将显微镜连接到笔记本电脑或设备（参见下文中关于将显微镜与笔记本电脑或设备配对的说明），然后使用焦距调节旋钮在设备的屏幕上聚焦图像。请记住从显微镜上取下镜头盖！
- 将带有沉积物管的试管架放在样品轮附近。**注意：**可能需要使用电缆将试管连接到试管架上，以确保访客不会意外将它们从显示屏上取下。
- 在靠近玻璃罐和样品轮的标志架中显示“不断移动的粉尘”标志。



照片 1

照片 2



照片 3

使用数码显微镜

显微镜必须与笔记本电脑或支持 Wifi 的设备配对才能显示图像。如果使用笔记本电脑，请将显微镜直接连接到 USB 端口。如果使用平板电脑或智能手机，需要将显微镜连接到 Wifi 魔术盒，后者通过本地网络 Wifi 将图像发送到设备。可能需要在笔记本电脑或设备上安装应用程序来显示显微镜图像。确切的设置说明取决于所连接的设备。请参阅 [Juision General Microscope 网站](#)，获取将显微镜与设备配对的最新说明。

如果将设备与显微镜配对时遇到问题，请参考 Juision General Microscope 网站或包装中随附的手册进行故障排查。

随附设备：带可拆卸镜头盖的显微镜、可调节支架、Wifi 魔术盒、Micro USB 数据线、收纳箱

与 Mac 结合使用：将显微镜插入笔记本电脑的 USB 端口，使用名为 Pluggable Digital Viewer 的应用程序进行操作。

- 要在 Mac 计算机上安装 *Pluggable Digital Viewer*，请按照 Juision General Microscope 网站上的说明进行操作：<https://juision.com/art/microscope>。
- 从 *Pluggable Digital Viewer* 中，选择设置图标并从“设备”下拉菜单中选择“UVC PC 摄像头”（如果笔记本电脑配有内置摄像头，则默认情况下可能会选择它）。

与 iPhone 或 iPad 结合使用：将显微镜接入 Wifi 魔术盒并使用设备上的 HD Wifi 应用程序进行操作。

- 从 Apple 应用商店将 *HD Wifi* 安装到设备上
- 将显微镜连接到 Wifi 魔术盒，然后按魔术盒上的电源按钮（显微镜灯应亮起）。
- 务必事先为魔术盒充电，或通过 USB 数据线连接电源。
- 在 iPhone 或 iPad 的设置菜单中，选择魔术盒作为 Wifi 网络。
- Wifi 魔术盒充当本地网络。您必须将 iPad 或 iPhone 连接到此本地网络，麦克风才能与设备配合使用。
- 在您的设备上打开 HD Wifi 应用程序。可能必须允许应用程序访问摄像头，但显微镜目前应该显示在您的设备上。
- 务必将设备靠近显微镜和魔术盒，避免失去连接。



与 PC 或 Android 结合使用：可以使用多个应用程序，将显微镜连接到 PC 或 Android 设备。在某些情况下，可能无需安装其他软件即可使用显微镜。要了解与显微镜配对的建议应用程序和说明，请访问 Juision General Microscope 网站：<https://jiusion.com/art/microscope>。

辅导说明：

沉积物样品：粉尘颗粒有多小？

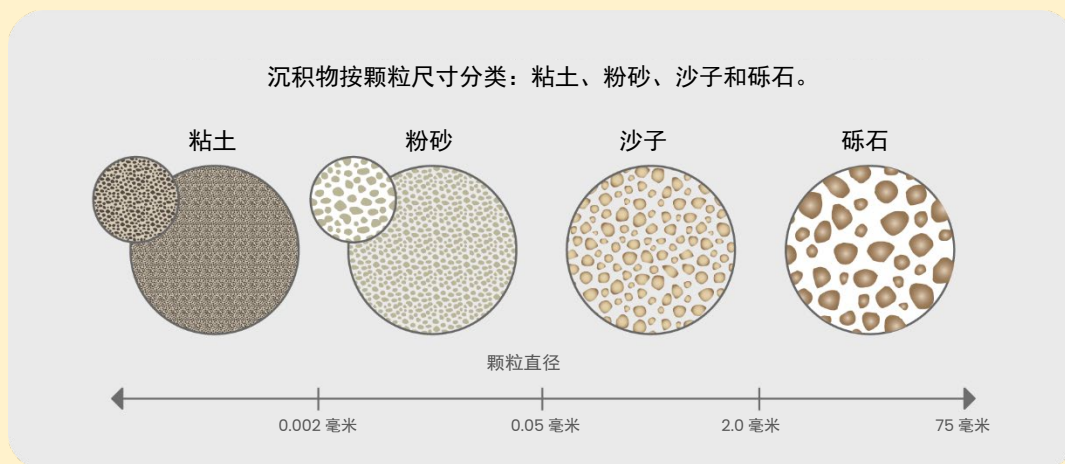
- 让访客用显微镜依次检查六种沉积物样品。提示他们注意颗粒尺寸的差异，并考虑哪种沉积物与粉尘样品最相似。鼓励访客手拿试管并将不同的样品相互比较。
- 问题提示：
 - 对于每个样品注意到哪些方面？
 - 样品之间有何不同？（注意颜色、质地、颗粒尺寸或颗粒形状的差异）
 - 比较不同的样品。哪一个样品最像粉尘？
 - 粉尘与其他样品有何相似/不同之处？

试管内有什么？

粉尘	活动中使用的粉尘样品是从中国或阿根廷现场采集的。一些样品在实验室中与源岩基质进行机械分离。
砾石	这种砾石是由松散的岩石碎片制成的碎石，并非来自任何特定地点。
粗沙	粗沙是粒度为 0.5-1.0 毫米的松散二氧化硅聚集体，并非来自任何特定地点。
细沙	这种沙子是商用或加工级别的材料，粒度为 0.075-0.425 毫米，并非来自任何特定地点。
红沙 仅在风箱中	这是一种来自犹他州摩押的细沙。沙子是由岩石材料的侵蚀自然形成的。
粉砂	这种粉砂质壤土来自犹他州的尼腓。粉砂是由水或冰侵蚀形成的粉尘状沉积物，粒度为 0.008-0.0625 毫米。
粘土	这种粘土来自犹他州的奥罗拉。粘土是一种松散、湿滑的材料，由含有长石的岩石侵蚀而成，粒度小于 4 微米 (μm)。

沉积物分类

粉尘是不同成分细颗粒的混合物，包括升高进入大气中的金属氧化物、碳酸盐和粘土。粉尘的确切矿物成分因来源区域而异。PIRE 项目研究了来自中国的粉尘，包括青藏高原北部。这些气溶胶大小的颗粒也称为粉尘，来自风速猛烈的干燥地区。就颗粒尺寸而言，粉尘与粉砂最相似。通过查找晶粒的直径来测量颗粒尺寸。颗粒尺寸越小，风越容易输送沉积物。



风箱：风能携带哪些颗粒尺寸？

- 邀请访客使用风箱测试哪种沉积物尺寸最容易随空气移动。来自风扇的空气代表风。玻璃罐内有三种不同颗粒尺寸的沉积物（砾石、粗沙、细沙）。
 - 演示如何通过玻璃罐盖上的开口来操作风扇。注意：请勿让访客通过盖子从玻璃罐内取出风扇，因为这可能会损坏空气漏斗。
 - 告诉访客可以通过改变风扇的速度来形成微风/大风。
- 问题提示：
 - （开始前）您认为哪种沉积物受风的影响最大？原因是什么？
 - 改变风速将如何影响颗粒的移动？
 - 为什么红沙颗粒更容易随风移动？
 - （测试后）您认为粉尘颗粒轻到足以被风携带穿越地球数千英里吗？可以或不可以的原因是什么？



期待的结果

访客应该注意到细沙很容易移动，而将风直接集中吹在粗沙上时，粗沙也会移动（但仍然不如细沙），而砾石几乎没有移动。他们应该得出结论，较小的颗粒尺寸将更容易通过风传送。

相比于更大更重的颗粒，小于沙子的粉尘更容易被风吹走。您不妨解释一下，此风箱中不含粉尘，因为它太容易被吹走并逸出风箱。

“铁”泵：粉尘如何改变气候

“铁”泵：粉尘如何改变气候

“抽运铁”是一个站式游戏，旨在说明粉尘在地球系统不同部分之间的移动，以及当富含铁的粉尘沉入海洋并刺激浮游植物生长（浮游植物会通过光合作用从大气中吸收二氧化碳）时对气候的影响。

玩家抽取卡片并被送往不同的基站，沿途收集浮游植物生存所需的营养物质——铁、氮和阳光。收集最多营养物质的玩家获胜！然而，玩家可能会被困在海底、成为云的组成部分，或者在途中被鲸鱼吃掉。

此游戏将需要 10 分钟或更长时间，其中解释游戏玩法约 3 分钟，玩游戏约 5-7 分钟，结束游戏约 2-3 分钟。

所需材料：

* 下面列出的印刷材料可以“探索大气粉尘和气候”网站以 PDF 文件格式下载：scied.ucar.edu/atmospheric-dust-climate

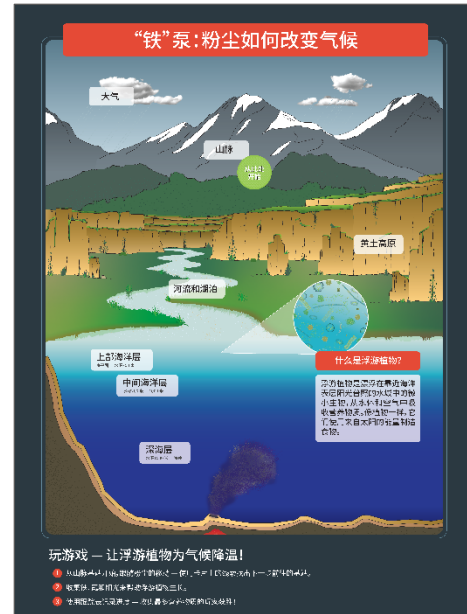
- **介绍性海报：**是基站如何作为系统组合在一起的视觉锚点。
- **基站标志：**（共 7 个）能够竖立在桌面或地板上。
- **游戏卡片：**（与每个基站匹配的卡片）提供有关如何在游戏中移动的说明。
- **卡片放置垫：**（共 7 张）显示在每个基站中的何处放置抽牌堆和弃牌堆。
- **跟踪表：**每位玩家一张 ½ 表（可以是纸质耗材，也可以是书写/擦除的可重复使用层压材料），玩家可以借助其跟踪访问过的基站以及通过游戏收集的营养物质。
- **结论标志：**提供结论以及粉尘、浮游植物和气候之间的联系。
- **高尔夫记分笔或白板笔：**每位玩家一支；用于在跟踪表上记录。

其他材料：

* 其他材料是可选项，但建议使用

- 与跟踪表结合使用的小书写板（6"x9"）
- 小篮子，用于保持抽牌堆和弃牌堆井井有条
- 展示介绍性海报的画架或支架
- 基站标志牌架（水平/横向）

提示：使用小篮子放置卡片组将有助于保持基站整洁。打印卡片放置垫的多个副本，并剪下显示卡片摆放位置的图片。用胶带粘在篮子的底部。



设置说明:

- “抽运铁”游戏需要有充分的空间，让多位玩家在整个游戏过程中轻松地在基站之间移动。图片（下方）显示沿长桌的一侧设置的基站，但其他选项包括使用 L 形或平行排列的两张桌子，甚至是采用 U 形设置的三张桌子。



- 在可轻松聚集玩家以提供指导的地点展示介绍性海报，例如放在画架或支架上，或者靠在墙上。
- 在每个基站中放置基站标志、卡片放置垫和匹配的卡片组。
- 为玩家准备好跟踪表和铅笔，最好放在小书写板上。
- 与辅导员一起保留结论标志，以在游戏总结时参考。

玩家人数:

- 虽然可以加入一轮游戏的玩家数量没有限制，但请考虑适合管理游戏的最佳规模（每轮游戏超过 8 名玩家就可能会有点混乱，除非是有很大规模的空间！）
- 对于少量玩家，仅使用卡片组 A (1-4)。
- 如果有 5 位或更多玩家，则添加卡片组 B（扩展卡片组）。

辅导游戏的说明:

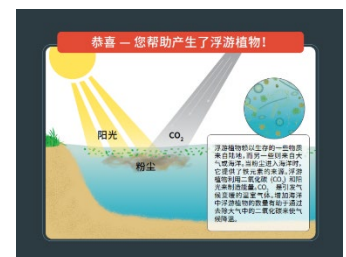
- 召集玩家围观介绍性海报，介绍游戏剧情:

“这款游戏讲述了粉尘在地球上传播并最终落入海洋的故事。粉尘中含有很多铁。铁是所有生物都需要的矿物质，但海洋中的铁含量极低。当富含铁粉尘进入海洋时，它会帮助称为浮游植物的微小生物生存和生长。海洋中有更多的浮游植物之后，就会促进地球气候降温！”

要玩这款游戏，请收集浮游植物生长所需的所有物质——铁、氮和阳光。收集的物质越多，制造的浮游植物就越多。制造的浮游植物越多，就越有助于气候降温。”

- 在介绍性海报的底部向玩家指出游戏步骤：
 - 从山脉基站开始，跟随粉尘的移动 — 使用卡片上的线索找出下一步前往的基站。
 - 收集铁、氮和阳光来帮助浮游植物生长。
 - 使用跟踪表记录进度 — 收集最多营养物质的玩家获胜！
 - 鼓励玩家阅读每个基站海报上的信息，以了解每个地点的重要性。
- 为每位玩家提供一张跟踪卡，解释如何在游戏过程中使用它：
 - 玩家将在跟踪卡上做标记，以跟踪游戏过程中取到的铁、氮和阳光卡片。
 - 对于年龄较小的玩家，请指出 Fe 代表铁、N 代表氮。
 - 玩家还可以通过绘制线条或箭头来显示从一个基站到另一个基站的路径，从而跟踪其在游戏中的行进方向。
 - 其他选项：圈出所有造访的地点或画井号标记以跟踪造访每个地点的次数。
- 开始游戏：
 - 玩家从山脉基站开始，抽取一张卡片以了解接下来的行动。
 - 多人游戏：如果多位玩家参加游戏，最年轻的玩家应该先抽取卡片。然后其他玩家轮流抽取卡片。在此基站之后，玩家在游戏的路径可能会随着卡片将他们带往的不同位置而分道扬镳。例如，一位玩家可能被带入大气层，而另一位玩家则被带入黄土高原。
- 玩游戏：
 - 玩家按照自己的节奏前进 — 如果多位玩家在同一个基站，则轮流前进。告诉玩家您将在游戏结束时宣布结果。
 - 每次抽出铁、氮或阳光卡片时，玩家在其跟踪表上做一个标记，然后将卡片放回弃牌堆。他们还可以跟踪在整个游戏过程中造访的地点。
 - 如果抽牌堆已没有卡片，则玩家将弃牌堆洗回卡组并继续抽取卡片。
 - 玩家抽卡并从一个基站移动到另一个基站会用时 5-7 分钟，但会根据玩家数量和玩家参与度调整时间。
- 游戏结束：在每轮 5-7 时间的游戏结束时，将玩家聚集在一起进行汇报并分享浮游植物与气候之间的联系（如结论标志所示）。
 - 询问玩家所收集的营养物质：哪种营养物质收集的最多？哪种营养物质最难找到？
 - 询问玩家造访的基站：您造访过每个基站吗？造访最多的是哪些基站？您是按什么顺序造访基站的？如果多人同时玩游戏，每个人都造访相同的基站吗？

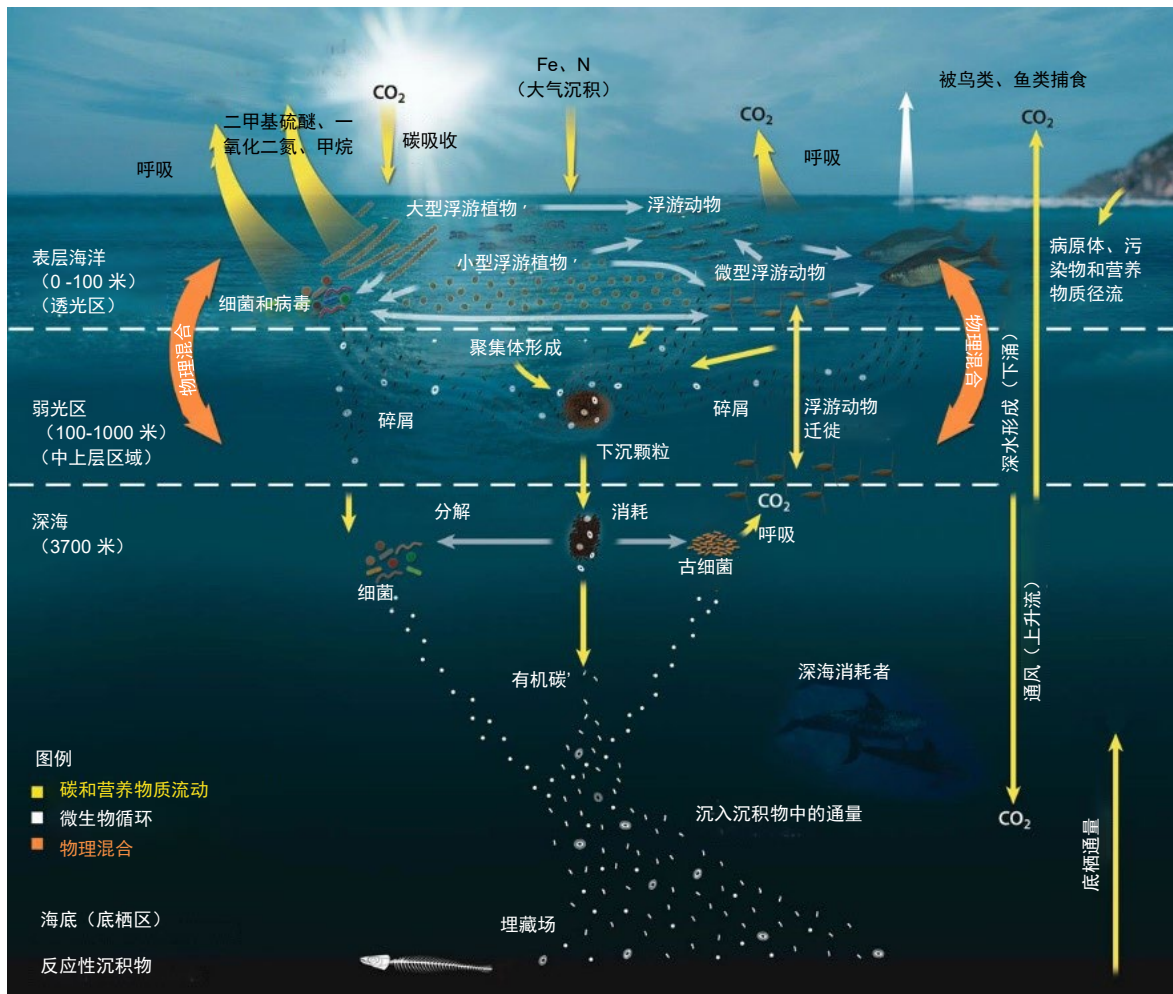
- 使用结论标志解释粉尘、浮游植物和气候之间的联系：
 - 解释 CO₂ 与气候变化之间的联系。询问玩家是否知道 CO₂ 是如何进入大气的。
 - 对于青少年和成年访客，请指出浮游植物正在通过光合作用从大气中去除 CO₂，就像植物一样。



- 如果有兴趣，可以再玩一轮游戏：玩家可以从上次中断的地点继续，或者从山脉基站重新开始，继续在他们的跟踪表中添加营养物质。再次汇报，讨论每轮游戏之间的差异，以说明粉尘在绕地球移动时所采用的路径并非始终相同。

与游戏相关的科学事实：

- 铁元素在海洋中非常有限，而一些海洋生物（如浮游植物）需要铁才能生存。氮元素更容易获得，但经常在海洋表层就耗尽，因为此处有很多生物。所有生物也需要氮。
- 铁以三种方式进入海洋：富含铁的粉尘沉积在海面并被海洋生物消耗或沉入海洋更深处；来自大陆边缘的侵蚀，原因是不断移动的海洋从大陆淹没部分的边缘破碎岩石；以及来自海底的热液喷口，这些喷口将包括铁在内的矿物质喷入水中。
- 海洋作为生物泵运转。营养物质被海洋生物消耗，并随着死亡生物的分解以及海洋生物和海洋环境之间发生的化学相互作用而释放回水中。有时营养物质在海底隔离数千年，而有时海洋层的混合使海底的营养物质更接近海洋表面。



信息来源：[维基百科](#)和[美国能源部生物与环境研究办公室](#)

- 海洋中有些地方的铁含量有限，如北太平洋；而有些地方则硝酸盐含量有限，如大西洋。相反，硝酸盐在北太平洋很容易获得，而铁在大西洋的含量较高。整个海洋中营养物质的不规则分布受到许多因素的影响，包括深海环流。
- 在铁含量有限的地区（如北太平洋），当粉尘增加海洋中的铁含量时，就会有更多的浮游植物生长。浮游植物通过光合作用从大气中去除 CO₂。随着气候继续变暖，铁、浮游植物和 CO₂ 下降之间的这些联系越来越引起人们的兴趣。人们已建议使用铁施肥作为气候干预策略，但是担心这对海洋生态系统造成潜在的负面影响。
 - [向海洋中加入铁元素如何减缓全球变暖？](#)
- 除了作为生命的重要营养物质之外，硝酸盐也是不错的指标，可以指示地表碳过剩的位置。由于北太平洋和南大洋的浮游植物受到铁（和光）的限制，它们不能利用地表可用的尽可能多硝酸盐和碳，因此这些区域会泄漏 CO₂ 进入大气层。相反，在有大量光和铁的大西洋，浮游植物会消耗可用的硝酸盐和降低大气中的 CO₂。在这些区域，硝酸盐的缺乏限制了浮游植物吸收碳的能力，因此当地铁的含量较高。碳浓度对于了解气候变化具有重要作用。
- 虽然浮游植物在二氧化碳的减少和氧气的产生方面发挥着关键作用（它们产生了世界上大约 80% 的氧气），但海洋中过多的浮游植物与死区的形成有关，其中缺氧的水域导致该地区的海洋生物大量死亡。死区在海岸线和污染物（例如富氮化肥）进入海洋的地方经常出现，其中会提供过量的硝酸盐，导致浮游植物大量繁殖。
 - [了解有关浮游植物的更多信息。](#)
- 地质记录表明，北太平洋粉尘的增加可能影响了上新世期间的全球降温（大约 2.7 mya）。

探索大气粉尘和气候

辅导员指南

其他资源

小球大世界®

对于可以访问“小球大世界® (SOS)”的博物馆和设施，SOS [直播节目目录](#)中有一个 *探索大气粉尘和气候* 的现场节目。其中包括辅导员脚本和随附的 PowerPoint 幻灯片。本指南中描述的活动可以与您的“小球大世界®”搭配使用。如果可能，请在您的“小球大世界®”附近设置活动，或在访客完成活动后将其引导至您的“小球大世界®”。

- [什么是 SOS?](#)

MeteoAR

使用 MeteoAR 应用程序、移动设备和可下载的科学表将 *探索大气粉尘和气候* 作为交互式增强现实 (AR) 数据集进行查看。访问 [NCAR MeteoAR 网站](#) 并按照说明打印 *粉尘和气候第 1 部分* 和 *第 2 部分* 科学表，并且将 MeteoAR 应用程序安装到移动设备上。MeteoAR *粉尘和气候* 数据集可以伴随本指南中描述的其他活动，对于无法访问“小球大世界®”的设施来说是不错的选择。这项活动也适用于外展活动。

探索大气粉尘和气候网站

UCAR 科学教育中心网站上提供了与 *探索大气粉尘和气候* 活动相关的资源，包括可打印的文件、本辅导员指南以及创建动手活动的说明：scied.ucar.edu/atmospheric-dust-climate