

翻译及编辑 社区应对气候变化项目组
广东省千禾社区公益基金会

联系人 何昕

邮箱 hexin@ghfmail.cn

气候素养 基本原则





《气候素养：气候科学基本原则》对个人和社区认识地球气候、了解气候变化的影响以及找到适应或缓解方法十分重要。指南手册中的原则可以作为科学探究的讨论起点或切入点。该指南旨在通过提供这一原则和概念的教育框架，提高公众气候科学素养。该指南还可以为教授气候科学的教育工作者服务，满足其科学课程的内容要求。

气候科学与能源是复杂的课题，随着科学技术的迅速发展，存在着潜在的争议。教育工作者如何有效地将这些重要的学科引入课堂？根据受众水平、课程主题和教学方法，有许多方法可用来处理气候和能源问题。下面的一套气候素养原则为教授这些问题背后的科学提供了一个框架，每个原则会链接到一个更详细的讨论，包括该原则的一些重要观点，如何帮助公众去理解等内容。

目录

01 / 知情气候决策的指导原则

05 / 基本原则1：太阳是地球气候系统的主要能量来源

07 / 基本原则2：气候是由地球系统各组成部分之间复杂的相互作用所调节的

10 / 基本原则3：地球生命依赖气候，由气候孕育，同时也影响着气候

12 / 基本原则4：气候的时空尺度受自然和人为影响而变化

15 / 基本原则5：通过观测、理论研究和建模，我们对气候系统的理解得到了提高

18 / 基本原则6：人类活动正在影响气候系统

21 / 基本原则7：气候变化将对地球系统和人类生活产生影响

知情气候 决策的 指导原则



- 1 气候信息可用于指导降低社区受气候变化的影响，增强其韧性以及降低生态系统的脆弱性。持续提高对气候系统的科学认识，有助于为决策者和决策提交高质量的报告。
- 2 降低人类应对气候变化的脆弱性不仅取决于我们对气候科学的学习能力，还取决于我们将这些知识向人类社会普及的能力。在做地球气候的决策时，我们要了解地球系统中物理和生物组成间的复杂关系，以及预测这些决策对社会、经济和文化会造成的影响。
- 3 气候变化的影响可能会影响各国安全。水、食物和土地等可用资源的减少可能会引发人和人之间的竞争和冲突，进而产生大量的“气候难民”。
- 4 人类或许可以通过固定大气中的碳或减少温室气体排放来降低大气中的温室气体浓度，从而缓解气候变化或减轻其严重性。
- 5 减少温室气体排放需要综合多种策略。最直接的策略是节约石油、天然气和煤炭资源的使用，我们的大部分交通、供暖、制冷、农业和电力都依赖这些燃料。短期策略包括将碳密集型能源转向可再生能源，这需要建设可以替代传统能源的新型基础设施。长期策略包括进行创新研究和从根本上改变人类使用能源的方式。
- 6 人类可以通过降低自身脆弱性来适应气候变化。诸如迁往高地以应对海平面上升、培育可在新气候条件下茁壮成长的新作物或使用新的建筑技术等，这些行动都是典型的适应性策略。适应性策略往往需要对新兴研究、技术和基础设施进行金钱投资。
- 7 个人、社区、地区和国家的行动会影响气候特征。家庭、学校、企业和政府不同主体的行为和政策都可能对气候产生影响。当代人做出的气候决策可能为下一代提供更多的发展机会，也可能限制其未来更多的可能性。在降低气候变化影响的过程中，当代人也会受益于改善的公共卫生基础设施，以及具有可持续性的环境改造。

■ 深入学习气候决策的指导原则：人类可以采取行动减少气候变化及其影响。

人类活动造成了气候变化，但同时人类也可以应对气候变化。气候变化可能是一个很难向公众普及的话题。但是，谈论解决方案可以给受众带来希望。公众必须了解我们可以采取的行动类型，以及气候变化影响的规模之大。人类需要减少温室气体的排放，同时也要做好应对影响的准备，为有弹性的社区做好规划，保护我们赖以生存的生态系统。应对气候变化将是一个巨大的挑战，毫无疑问，现今人们将在设计和实施未来的方案中发挥重要作用。

■ 人们了解应对方案是至关重要的，应对气候变化的行动已经在我们周围开展

人为造成的气候变化虽然是一个全球性问题，但其根源是我们的行动总和。

减少气候变化的行动类型可以有多种形式，例如避免温室气体排放、改变土地用途和固碳等。气候行动的主体可以是个人、社区、国家甚至国家联盟。各个国家和地区目前正在制定气候和能源政策。所有公民，包括学生，都可以为新政策提供意见，由此产生的政策可能会对我们所有人产生影响。行动并不总是由政策驱动的，一些企业甚至在没有被要求的情况下也在采取行动应对气候变化。政策、经济鼓励、环境或社会责任感或这些因素的复合都会推动气候行动。

减缓气候变化的一些例子：减少化石燃料的燃烧，使用无碳能源；高效使用能源；规划改造城市、社区和网络，比如改造能源密集型的食物和交通网络；建设新的能源基础设施，以应对小型、多元、大量的一些能源需求，如风力涡轮机和太阳能农场；吃食物链底层的食物；提高或恢复地球储存碳的能力，如改善土壤、森林或湿地。

适应气候变化的一些例子：培育能适应气候变化的社区；监管沿海和低洼地区的新建筑，改造其现有结构，使其能够承受洪水风险；教育易受气候变化影响地区的人们如何应对极端天气；了解更多适应性强的作物；了解更多受威胁的生态系统和物种，并采取行动保护它们。

帮助公众理解这些观点

在未来几年和几十年里，社会必须应对的气候和能源挑战对许多学习者来说可能是压倒性的。对于经验丰富的科学家来说，全球变化的科学发现也会令其震惊和沮丧。许多学生在他们还没完全掌握科学知识之前，就会想知道他们能做些什么来改变现状。我们发现，将科学与解决方案有机结合可以避免让大家感到沮丧无助。

应对气候变化的巨大挑战不容低估。一些减少个人对地球气候影响的“简单解决方案”，例如更换节能灯泡，是制定减缓策略一个很好的起点。然而，真正的变化只会发生在我们使用能源的方式上的重大改变，例如减缓碳排放倡议。应对全球气候变化的巨大挑战，不可能仅通过一项行动就从真正意义上解决，因此，给公众赋能不仅需要教授他们“拯救地球可以做的十件事”，教育工作者更需要了解所教授的公众本身，利用他们的知识、价值观和经验，让他们不断受到启发，以便有效地激励和增强他们的能力。

解决方案往往是跨学科的，涉及科学、工程、经济学和政策等方面的内容，研究如何将解决方案融入我们的社会是普及这些知识的有效方法。也就是说，教育工作者应该谨慎对待政策讨论，避免政治辩论，因为这可能会分散大家掌握内容的注意力。如果受众很容易理解这些解决方案，他们将能够在多因素的基础上进行评估选择，并能够权衡利弊。这种批判性思维对于做出明智的决定和解决复杂的问题至关重要——所有参与的公众都应具备这些技能。



基本原则1：

太阳是地球气候系统的主要能量来源

虽然太阳为地球气候系统提供能量，但季节周期、轨道周期和其他变量都会影响地球表面的能量平衡。

1 太阳辐射到达地球后对陆地、海洋和大气进行升温，一部分太阳辐射被地表、云层或冰川反射回太空，绝大部分太阳辐射被地球吸收，保持地球温度。

2 当地球辐射与吸收的能量等量时，其能量收支平衡，地球平均温度能维持稳定。

3 地球自转轴与绕太阳轨道的倾斜角导致了不同地区可预测的全年日照持续时间以及不同纬度接收太阳能的变化，从而导致了季节的年周期和温周期的变化。

4 地球自转和公转周期的变化改变了极地和赤道地区接收到的太阳光强度。至少在过去的100万年里，这些由自转和公转引起的能量变化，在地球上形成了温度低的冰期和相对温暖的间冰期，冰期变化的周期是10万年。

5 太阳辐射的显著增加或减少会导致地球变冷或变暖。过去30年的卫星测量显示，地球对太阳能的吸收和辐射发生了轻微变化，但科学家们认为这些变化太小，不是近年地球变暖的主要原因。

深入学习

太阳使地球变暖，推动水循环，使得地球有孕育生命的可能。地球表面接收到的阳光量受到表面反射率、太阳角度、太阳输出量以及地球绕太阳轨道的周期性变化的影响。太阳能的基础科学及其对地球气候的作用很容易被理解，但地球能量平衡的复杂性仍然是一个活跃的科学研究领域。因此，这个话题非常基础，同时又复杂。

气候系统的基本机制

了解太阳辐射在地球气候系统中的作用可以帮助我们掌握一些重要的概念，例如：

- **季节形成的原因。**季节的形成是因为地轴倾斜角，地轴倾斜意味着地球的南北部分每单位面积接收到的太阳辐射不等。当南半球向太阳倾斜时，南半球是夏季，北半球则是冬季。
- **冰期发生的原因。**冰期是由地球表面接收到的太阳辐射分布的变化造成的。地球公转轨道不是恒定的，地球公转轨道的变化会导致到达地球表面的太阳辐射量发生变化。
- **太阳能量（太阳光度）如何随时间变化。**太阳的输出量不是恒定的，其光度（太阳发出的总能量）随着地质时间的推移而增加，并在较短的时间尺度上有轻微变化。
- **最近的气候变暖为何不是由太阳能量输出的增加引起的。**在过去的几十年里，太阳的能量输出并没有发生足够大的变化，不能解释同期观察到的地球温度上升现象。
- **人类使用的大多数能源都来自太阳能。**人类使用的许多形式的能源最终来源都是太阳，包括食物、碳氢化合物（如石油和天然气）、风能、水能，以及太阳能。

帮助公众理解这些观点

大多数学校里科学教育的内容都包含了太阳为地球系统提供能量，但内容传授往往是脱节的，比如季节及其对季节性天气和动物迁徙的重要性可能会在小学时教授，但在往后许多年不会被拿来重新讨论。

此外，所有年龄段的学生，包括大学生和成年人，都很难理解季节的成因。除了地轴倾斜外，困扰人们的相关知识还包括：地球绕太阳公转轨道是长椭圆形；对地球相对太阳的大小、运动和距离的概念不清楚；光如何传播；地球绕太阳公转的长度；旋转周期等。消除这些常见误解的一个策略是让这些问题在高中阶段得到充分讨论学习，因为高中学生有足够的几何和物理知识来掌握这些概念（McCaffrey & Buhr, 2008）。

还有一个长期的误解是，我们最近的气候变暖是由于太阳入射能量的变化，而不是温室气体排放的增加，这可以通过将太阳能量输出记录与全球温度记录进行比较来解决。数据清楚地表明，太阳辐射度与近期地球温度变化无关。

基本原则2:

气候是由地球系统各组成部分之间复杂的相互作用所调节的

温室效应、区域地理、海洋、大气和生物群系都对气候系统的不同部分有影响，地球系统不同部分之间的反馈效应可以放大或减缓气候的变化。

1 地球气候受太阳、海洋、大气、云层、冰、陆地和生命相互作用的影响，由于这些相互作用存在局部差异，气候也因地区而异。

2 海洋覆盖了地球表面积的70%，通过调控地球的能量和水循环，海洋对气候有重大调控作用。海洋可以吸收大量太阳能，热量和水蒸气通过洋流和大气环流在全球重新分配。地壳运动或极地冰川融化导致大量淡水涌入海洋，以至于洋流发生变化，这可能会导致当地和全球气候发生重大甚至是突然爆发式的变化。

3 地球吸收或辐射太阳能的多少由地球大气调节，调节能力取决于大气组成。与氮气和氧气等这些大量气体相比，水蒸气、二氧化碳和甲烷等温室气体的自然发生量较小，它们吸收和释放热能的效率更高，因此二氧化碳浓度的小幅上升对气候系统的影响非常大。

4 大气中温室气体的丰度由生物地球化学循环调控，这些温室气体在海洋、陆地、生物圈和大气层间不断移动。大气中碳的丰度会随着海洋沉积物和植物生物量的增加而减少，随着森林砍伐或矿物燃料燃烧等行为的发生而增加。

5 空气中的颗粒物，即“气溶胶”，对地球的能量平衡有复杂的影响：它们通过反射太阳光到宇宙而使地球降温，通过吸收太阳光和释放大气的热能对地球进行保温。这些小固体和液体颗粒会通过各种自然或人为的活动释放到大气中，包括火山爆发、海啸、森林火灾和人类活动。

6 地球系统的相互关联性意味着气候系统任何一个组分的重大变化都可能影响整个地球系统的平衡。正反馈循环可以放大这些影响，并触发气候系统的突变。这些复杂的相互作用可能会导致比目前气候模型的预测更迅速、更大规模的气候变化。

深入学习

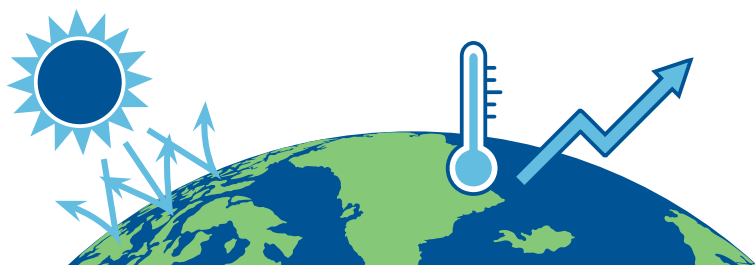
海洋、大气、生物和地质过程都驱动着气候系统，并导致了气候的区域差异。许多气候过程，如温室效应和碳循环，是地球系统各个“圈层”相互作用的结果，包括大气层、低温层、地球圈、生物圈等。大气各组成部分之间的相互作用会加剧或减缓气候变化。

气候周期、反馈效应以及因果间的相互作用

这些观点解释了气候系统的自然复杂性，是理解碳循环、温室效应、相互作用和反馈循环等关键的气候组成部分的基础。这些主题是气候研究的活跃领域，包括了很多重要的问题，例如：气溶胶在变化的气候中发挥着怎样的作用。这些空气中由自然和人类活动产生的小颗粒既有冷却也有升温作用；气候系统的反馈效应有助于减缓大气二氧化碳增加带来的影响；洋流在热量分布、二氧化碳吸收和变化的循环模式中是不可或缺的一部分；历史上的气候变化为何有一部分是渐进变化，而有一部分是突然变化的。

在更基本的层面上，这些气候过程可以很容易地观察到，例如：与空气相比，水需要更长的时间来升温或降温；在其他因素一定的条件下，多云的夜晚比晴朗的夜晚更温暖；一个地区的整体气候不仅取决于其纬度位置，还受到诸如靠近海洋或山脉等因素的影响。





帮助公众理解这些观点

自然温室效应是一个容易被误解的知识领域，教育工作者应该用尽可能简单并且准确的方式来解释这个概念。

温室效应的简要解释

到达地球表面的大部分能量是短波辐射，如紫外线、可见光和红外线，它们使表面升温，并转化成长波红外线，辐射回太空。大气中99.9%的气体不能捕获辐射的长波红外线。然而，大气中的温室气体，如水蒸气、二氧化碳、甲烷和氮氧化物，能吸收大量辐射的长波红外线并向四面八方重新辐射出去。能量的再辐射导致低层大气变暖，进而使地球表面和海洋变暖。

过分简化温室效应可能会适得其反，使受众更困惑。对于年轻学生来说，自然温室效应就像“毯子”一样保持着热量，这种思维模式也许是合适的，但还应该注意其中的关键点是，毯子保持的是你的身体（地球）产生的热量。事实上，热能的来源是太阳，而不是地球本身。对于高中以及大学生，他们应该对温室效应的机理有更清晰的认识。这一概念对于理解人类活动如何影响气候系统至关重要。

全面理解碳循环需要了解生物地球化学系统。受众还需要了解碳交换在不同碳库中有不同的时间尺度。了解碳循环是理解化石燃料燃烧对大气影响的重要基础。正如在著名的哈佛私人宇宙研究里，学生们在研究将光合作用和碳吸收、生物量和化石燃料建立联系，所有的这些概念都是碳循环的一部分。

在一个系统中，正反馈和负反馈的术语通常容易引发误解，因为“正”和“负”有其他含义。在这里，用“自我强化循环”这个词来描述正反馈放大气候的初始效应会更清晰，而负反馈可以被称为“自我抑制循环”。

基本原则3： 地球生命依赖气候，由气候孕育，同时也影响着气候

生命与气候的相互作用是复杂的。生物圈与气候相互影响，碳循环是连结生物、地质和气候的关键。

- ① 个体生物习惯在特定的温度、降水、湿度和光照范围内生存，若气候出现异常波动，生物必须学会适应，或迁徙至宜居地，否则会有灭绝的风险。
- ② 大气中少量的吸热温室气体能使地球保温，从而形成了一个有着水源和生命的行星。
- ③ 气候条件的变化会影响生态系统的健康和功能，以及所有物种的生存。化石记录了历史上与气候变化有关的物种灭绝的证据。
- ④ 一系列自然记录表明，过去一万年是地球气候异常稳定的时期，现代人类社会就是在这—时期发展起来的。如果气候发生显著变化，我们所依赖的农业、经济和运输系统就会变得很脆弱。
- ⑤ 包括微生物、植物、动物和人类在内的生命是全球碳循环的主要驱动力，他们通过改变大气的化学组成来影响全球气候。地质记录表明，在地球历史上，生命活动极大地改变了大气。

深入学习

由于不同的生命形式以不同的速度吸收和释放二氧化碳、甲烷和氧气等气体，因此生命会影响大气的组成，进而影响气候。气候条件有助于塑造全球各种生态系统和栖息地。一种特定的气候利于一个物种生存，但对另一个物种可能有毁灭性的影响。随着气候变化，物种和生态系统通过适应、迁徙或减少种群数量来做出应对。对于人类或其他物种来说，气候的逐渐变化比突然变化更容易让生物适应。对地球气候历史的研究表明，过去气候发生了变化，并导致生态系统发生了巨大变化。然而，距我们最近的一个地质时期，全新世，其气候稳定持续了一万年。

在生命和气候之间有一种动态的平衡

地球维持生命的方式在许多层面上是至关重要的。地球上的条件，如合适的温度、湿度、氧气浓度和阳光等，是维持生命的条件。

纵观地质历史，地球生命影响了气候系统，反之亦然。无论是过去的地质时期还是现在的物种灭绝都与气候变化有关。解释过去的气候变化是了解当前和未来气候变化的关键。气候变化将导致生态系统的改变。要想预测气候变化对世界每个生态系统的具体影响是不可能的。

尽管温室气体的浓度在整个地球历史上发生了变化，但当前温室气体浓度迅速上升的主要原因是人类活动影响，而非自然因素。

帮助公众理解这些观点

像许多气候科学一样，这些观点概念跨越多个科学学科。普及这些知识时可以阐述科学思维如何从不同类型的科学家之间分享专业知识中受益。这个话题可以通过头脑风暴来引出，通过讨论生命繁荣所需要的条件，受众可以探索地球系统中各地的生命是如何生存的，例如海洋深处或酸性温泉。生命是充满活力和各种可能性的。尽管如此，所有的生物都需要一定的条件才能生存。

地球目前的温度既不热气腾腾也不永久冰封，这是因为自然温室效应使得大气能够对地球保温。由此可能产生的一个误解是，大家混淆了自然温室效应与由化石燃料燃烧大量排放温室气体所导致的温室效应增强（McCaffrey & Buhr, 2008）。这是一个讨论自然过程和人为影响之间差异的契机，例如，如果一定量的温室气体能让地球生命蓬勃生长，那么这种气体是多多益善的。

关于生物适应气候变化能力有限的内容不应该让受众导向一种悲观负面的情绪。相反，要努力培养一种意识，即人类有责任去稳定自然气候条件，有责任维持生态系统稳态，以使人类社会蓬勃发展。

在教授气候与生活之间的相互作用时，应强调自然和人为造成的变化之间的差异。很可能会有这样的问题出现：所有的自然变化都是好的吗？所有人为影响都是不好的吗？我们当前的气候是“正确”的气候吗？重要的是要强调，最近大气中温室气体浓度的增加在地质历史上是前所未有的，对自然和人为造成的变化进行比较可以促进学生对地球保护的参与感。

基本原则4：

气候的时空尺度受自然和人为影响而变化

虽然地球天气在短时间内变化无常，但整体气候也会在较长的时间间隔内发生变化。气候的自然变化过程并不能解释最近温室气体增加、地球温度和海平面上升的现象。

- 1 气候是由区域温度和降水的平均和极端情况的长期模式决定的。气候的定义范围可以是局部、区域或全球，也可以用不同的时间间隔来描述，例如数月、数年、十年、季节、或一年中的具体日期。
- 2 气候和天气不是一回事。天气是局部尺度上每分钟实时变化的大气状况，而气候是对一个地区的平均天气条件以及这些天气在长时间间隔内变化程度的概念性描述。
- 3 气候变化是指一个地区的平均气候条件或极端气候条件发生了显著和持续的变化。气候的一些季节性变化和多年周期（例如，厄尔尼诺南方涛动）在不同地区产生暖、冷、湿或干周期，这些是气候变化的自然组成部分，它们并不代表气候变化。
- 4 科学观察表明，全球气候过去已经发生了改变，现在正在改变，将来也会发生变化。气候变化的幅度和类型在地球上所有地方都不同。
- 5 根据树木年轮、其他自然记录和世界各地科学观测的证据，地球现在的平均温度比过去1300年的任何时候都要高。过去50年里，地球平均气温显著升高，尤其是在北极地区。
- 6 驱动地球长期气候变化的自然过程并不能解释近几十年来观察到的快速气候变化现象。与所有现有证据一致的唯一解释是，人类影响正在气候变化中发挥着越来越大的作用。与历史气候变化相比，未来的气候变化可能会更快。
- 7 与现在向大气排放二氧化碳的过程相比，固定大气中二氧化碳的自然过程进程缓慢。因此，今天排入大气的二氧化碳可能会在大气中存留一个世纪或更久，其他温室气体，包括一些人类产生的气体，可能会在大气中存留数千年。

深入学习

多种原因在不同时间尺度下改变了气候。

这些关键观点阐明了天气和气候之间的差异，并揭示了导致自然气候变化、气候突变和人为气候变化的一些过程。了解厄尔尼诺-南方涛动等气候变化现象对于帮助科学家区分自然变化和人为气候变化至关重要。根据这一原则，人类通过燃烧化石燃料对气候造成的影响与自然发生的气候过程明显不同。

这些观点有助于找出影响气候变化的不同方式：

学生经常将天气与气候混为一谈。虽然二者密切相关，但天气发生在较短的时间尺度，如数小时到数天，而气候发生在季节和更长的时间跨度。由于这些概念经常混淆，因此厘清以下内容十分重要：

- 一段异常寒冷或温暖的天气既不能否定也不能认定是人为造成的气候变化。气候是在自然变化的长期模式下形成的。
- 地球历史上，气候在不同时期，由于不同的原因发生了不同程度的变化。
- 人为引起的地球变暖与地球的自然变暖不同，科学家使用了多种证据来区分人为与自然引起的气候变化。
- 天气和气候都可能在非常小的区域里发生很大程度的变化。

帮助公众理解这些观点

一个有效的出发点是确定天气和气候之间的区别。天气事件在几分钟到几小时到几周内发生，而气候则是一种更长期的模式，会随着季节、年份而变化。两者都可能突然发生变化，但变化的原因往往非常不同。

想要了解有多年周期影响的自然气候过程，如厄尔尼诺-南方涛动，还需要了解基本的气候模式、过程以及反馈效应。一旦学生能认识到气候系统的复杂性，他们将能够理解，尽管全球温度呈上升趋势，但全球变暖不一定导致每个地方都变暖，一些地方（少数）仍可能出现净降温的现象。同样地，在长期气候变暖的趋势期间出现的短暂降温现象，也不能否认气候的确正在变暖的事实。

在公众对气候变化的理解中，最常见的一个误解是，气候在过去的地质时期发生了变化，一些人错误地推断，这意味着人类无法影响今天的气候。不管大家在课堂上是否掌握了气候科学知识，他们在课堂之外几乎都会遇到这种误解。教育工作者可以积极主动地通过多种类型的学习活动来加强公众对这些概念的理解。

一个相关的误解是，人类无法解决气候变化问题。但是如果我们知道气候变暖是由于温室气体的增加，那么我们也知道减少温室气体的增加将减少这种影响。避免公众的绝望感是很重要的。《人类可以采取行动》是气候知识普及的指导原则，里面有更深入的讨论。

基本原则5:

通过观测、理论研究和建模，我们对气候系统的理解得到了提高

气候系统的变化是通过观测、直接测量和地质记录记录下来的，计算机模型可用于重建历史气候、预测未来气候情景并指导决策。

1 地球气候系统的成分和发展过程与宇宙其他部分一样，遵循着相同的物理定律。因此，通过仔细、系统的研究可以了解和预测气候系统的行为。

2 环境观测是了解气候系统的基础。从海底到太阳表面，气象站、浮标、卫星和其他平台上的仪器收集着气候数据。为了了解过去的气候，科学家们可以利用自然记录，例如树木年轮、冰芯和沉积层。一些历史观察，如本土知识和个人记载，也记录了过去的气候变化情况。

3 观测、实验和理论用于构建和完善气候系统的计算机模型，并对其未来行为进行预测。这些模型的结果有助于更好地了解大气-海洋系统与气候条件之间的联系，并激发更多的观测和实验。随着时间的推移，这一迭代过程将使得我们对未来气候条件的预测更可靠。

4 我们对气候和天气两个概念的理解有很大不同。气候科学家预测未来数月、数年或数十年气候模式的能力受到的限制与气象学家在预测未来数天至数周的天气时面临的限制也不同。

5 科学家们已经对气候系统的基本特征进行了广泛的研究，他们的专业认识将不断提高。当前的气候变化预测足够可靠，可以帮助人类评估应对气候变化的潜在决策和行动。

深入学习

在气候科学这一学科，科学家们是如何认知的

现有的气候文献解决了我们如何研究和理解气候系统的基本问题。气候科学遵循所有科学研究的相同方法和原则，并建立在提出问题、观察、测试想法、解释数据、同行评审和交流发现的基础上。科学研究过程的可靠性在过去几百年中得到了证明，它给人类社会的各个方面都带来了好处。

由于政策影响，气候科学往往比其他类型的科学更容易受到挑战，但这并不能反驳我们在这个问题上获得的大量科学知识。研究一再表明，气候研究人员几乎都同意，人类活动正在改变气候系统。尽管如此，部分公众仍认为科学家们仍在争论人类是否正在改变气候。事实上，气候科学是科学探索中最严格的例子之一，几十年来，世界各地的科学家从多个科学学科进行了实践。这项研究扩展了我们的学识，我们也发现，它的基本发现自20世纪50年代末以来一直没有改变。

科学是一个严谨的过程，具有内在的完整性

许多人不知道科学研究在实际是如何进行的。一个有效的方法是解释科学研究的迭代过程，因为很少有人知道活跃的科学家，更不用说气候科学家了，而且许多研究人员不把他们研究发现与非技术听众交流，因此帮助公众理解气候科学家工作的一些基础知识是很重要的。这些概念并非气候科学独有，所有科学研究领域都有共同的主题，例如：

- 通过各种工具和技术收集数据；
- 严格检查数据的质量和准确性。当科学家使用“不确定性”这个术语时，并不意味着内容不清楚。不确定性是一个数学术语，它表达的是测量值的范围，而不是一个特定的精确值；
- 模型是通过测量地球上的已知过程而建立起来的一组数学方程。在校准的过程中，会将模型与实际观测值进行比较。气候模型可以通过数学来复制我们今天看到的气候变化。只有当模型经过了准确的校准，它才能用来预测未来的气候变化；
- 同行评审的过程使方法、结果、分析和结论具有透明度。数据是可用的，这样任何分析都可以由其他研究人员重复。已发表的论文由那些对该主题了解透彻且经验丰富的人仔细审查。科学家们共享数据、方法和结果；
- 同行评议的出版物是科学研究过程的重要组成部分。尽管这些文章通常是非常技术性的，而且往往很难被非专业人士理解，但它们仍然是气候科学传播的主要方式。



帮助公众理解这些观点

教育工作者、学生和公众普遍感到困惑的是，气候科学家们对于气候变化是否正在发生，或者人类是否是主要原因等问题上存在分歧。众说纷纭，但归根结底，绝大多数研究气候并在同行评议期刊上发表论文的科学家都同意人类活动正在改变自然温室效应并导致地球变暖这一观点。另一个相关的困惑是，大多数人不知道气候科学家是怎样进行研究的，这使得研究结果更难为公众理解。部分原因是科学家并不总是擅长与非技术受众传达交流研究结果，部分原因在于不合适的媒体传播方式。另一个障碍是人们认为理解科学过于困难。在这里，教育工作者可以采取积极措施让学生参与科学学习，让他们亲身体验到科学可以是有趣的、是可以凭直觉理解的、与日常生活相关的。

基本原则6： 人类活动正在影响气候系统

温室气体排放和土地覆盖情况的巨大变化与气候变暖有关，并对整个地球系统产生了广泛影响。

- 1 气候科学研究的共识表明，自20世纪下半叶以来，观察到的全球平均气温升高大部分原因是人类活动，主要是燃烧化石燃料导致了温室气体浓度增加。
- 2 自工业革命开始以来，化石燃料广泛燃烧所产生的排放增加了大气中温室气体的浓度。由于这些气体在被自然清除之前可以在大气中存留数百年，它们的变暖影响预计将持续到下个世纪。
- 3 人类活动影响了陆地、海洋和大气，这些变化改变了全球的气候模式。燃烧化石燃料、向大气排放化学物质、减少森林覆盖面积以及农业和工业发展的快速扩张，都在向大气释放二氧化碳，改变着气候系统的平衡。
- 4 越来越多的证据表明，许多物理和生物系统的变化与人类引起的全球变暖有关。人类活动导致的一些变化降低了环境对各物种的支持能力，大大降低了生态系统的生物多样性和生态恢复力。
- 5 科学家和经济学家预测，全球气候变化将有积极影响，也有消极影响。如果下个世纪升温超过2-3°C (3.6-5.4°F)，负面影响的后果可能远远大于正面影响的后果。

深入学习

这些关键观点与人类引起气候变化的原因和影响有关

一个多世纪以来，人们一直在评估由于人类活动排放的温室气体使得地球升温的可能性。目前，多个学科的大量科学研究一致认为，人类正在使气候变暖。2013年IPCC第四次评估报告指出，“人类对气候系统的影响是明显的。从大气中不断增加的温室气体浓度、正辐射强迫、观测到的变暖以及对气候系统的认识来看，这是明显的。”（IPCC AR5）

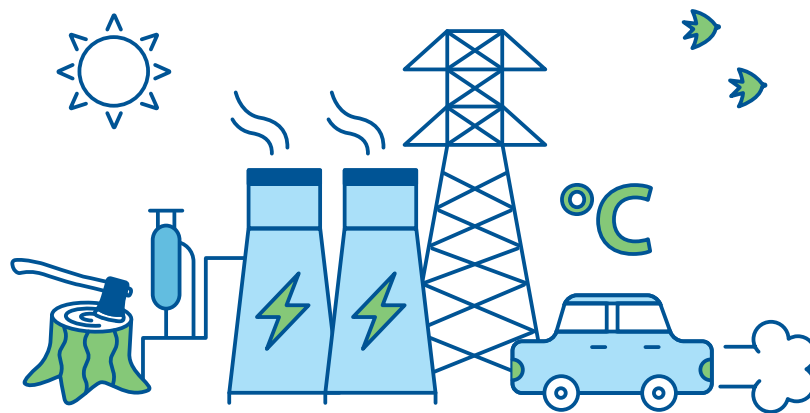
有大量证据表明，人类活动，尤其是燃烧化石燃料，导致大气中二氧化碳和其他温室气体含量增加，进而增强了自然温室效应，导致地球大气层、海洋和陆地表面的温度升高。温室气体“捕获”红外线热量，这一理论早在1856年，在尤妮斯·富特（Eunice Foote）的实验室实验中首次得到证实。

大气二氧化碳增加的趋势是由燃烧化石燃料和大规模土地利用变化引起的。碳同位素（不同原子量的碳原子）提供了明确表明人类活动对最近大气二氧化碳含量增加负有责任的“确凿证据”。同位素示踪使科学家能够分辨二氧化碳分子的来源，从而揭示大气二氧化碳的增加是由化石燃料燃烧造成的（National Climate Assessment, 2017）。

人类造成气候变化是最重要的概念之一

由于吸热气体的基本物理原理以及人口和能源消耗的指数增长，人类已经成为一种自然力量。显然，这是一个具有巨大政治、社会经济和情感维度的话题，但科学结果清楚地表明：

- 人类活动，尤其是化石燃料的燃烧，正在改变气候系统；
- 人类驱动的土地利用和土地覆盖变化，如森林砍伐、城市化和植被模式的变化也改变了气候，导致地球表面反射率（反照率）、森林燃烧的排放、城市热岛效应和自然水循环发生变化；
- 由于近期全球气候变化主要是人为因素造成的，因此解决方案主要在人类能力范围内；
- 因为我们了解气候变化的原因，这为制定和部署有效的解决方案铺平了道路。



帮助公众理解这些观点

人类对气候变化的影响是气候科学中最常被误解的方面，因为尽管有成熟的科学理论，但一些公众部门仍在争论这些观点是否正确。有的人可能会抵制人类正在改变气候这一结论，原因有几个。首先这个概念可能会让有的人感到不舒服，因为内疚感、政治阻力或缺乏正确的科学理解。其次，预测气候变化对我们社会的影响可能会使有的人感到恐惧、不知所措或气馁，这可能导致他们拒绝或抗拒学习。此外，即使对这一主题掌握很牢固，几乎可以肯定的是，在某个时刻，这一知识将在社会中受到挑战。建立一个坚实和仔细的科学论证是至关重要的。我们鼓励教育工作者在介绍这个主题时，采用大的框架，去建立科学知识的基础，确立气候科学的基本原则，以及充分利用支持这一结论的强有力科学研究。

可能有很多人喜欢对这个话题进行辩论，但这可能不是学习它的最有效方式。一场辩论里存在可信的、相反的观点，而事实上，科学界对气候变化人为原因的观点几乎是一致的。其次，在学习中辩论一个话题可能会加深误解，引起不必要的争论。但认真讨论不同的观点是绝对必要的，角色扮演是一种拓展视角的方式，同时要注意保持科学的准确性。

基本原则7：

气候变化将对地球系统和人类生活产生影响

气候变暖的影响包括海平面上升、淡水资源供应减少、极端天气加剧、海洋酸化、生态系统破坏以及对人类健康和农业生产造成影响。

1 随着海洋变暖，冰原和冰川融化，再加上海水的热膨胀，导致海平面上升。淹没低洼地区，吞噬沿海淡水资源，并逐渐淹没沿海设施和堰洲岛。海平面上升增加了飓风引发的风暴潮对房屋和建筑物造成破坏的风险。

2 气候在淡水资源的全球分布中起着重要作用。降水模式和温度条件的不断变化将改变淡水资源的分布和可用性，减少许多人和作物获得可靠水源的机会。由于全球变暖，为人类提供水源的冬季积雪和高山冰川正在减少。

3 由于气候变化，极端天气事件预计会增加。许多地方每年的高温天数将大幅增加，极端寒冷的情况可能会减少。许多地区的降水频率预计会减少，但强度将更大，平均降水量预计减少的地区干旱将更加频繁和严重。

4 从大气中吸收二氧化碳会改变海水的化学性质。大气二氧化碳含量的增加正导致海水变得越来越酸，威胁到贝壳类海洋生物的生存以及它们所构成的整个食物网。

5 陆地和海洋的生态系统过去和未来都将受到气候变化的干扰。动物、植物、细菌和病毒将迁移到气候条件有利于生存的新地区。传染病和某些物种将能够入侵它们以前没有居住过的地区。

6 由于气候变化，世界不同地区的人类健康和死亡率将受到不同程度的影响。尽管与寒冷有关的死亡预计会减少，但因其他风险伤亡的人数预计会上升。疟疾、登革热和蜱媒病等一些气候敏感传染病的发病率和发病地理范围将增加。干旱导致作物产量减少、空气和水质恶化以及沿海和低洼地区的危害增加，将引发许多健康问题，尤其是那些脆弱人群。

深入学习

这个原则与气候变化的当前影响和未来预测结果有关

大多数人都意识到极端天气事件越来越频繁，这也正是气候科学家对全球变暖的预测结果。气候变化对人类和环境系统的影响已经成为资源管理者、专业医疗人员、应急管理人员、保险公司和军事策略家关注的焦点。21世纪的一个巨大挑战将会是让社区做好适应气候变化的准备，同时减少人类对气候系统的影响（即减缓）。贫困、资源匮乏、政治意愿缺乏以及各国共同努力的必然性等其他因素使得这一挑战更具复杂性。许多行业和工作都将受到正在发生或预计未来发生的气候变化影响。

气候变化对国内外、今天和未来都有深刻影响

这一原则的重要性显而易见：我们的世界正在发生变化，气候变化的后果就发生在我们身边，如极端天气、冰川减少、年复一年破纪录的高温、干旱、自然灾害以及生态系统面临的压力，一些关键点是：

- 人为造成的气候变化的后果已经显现出来，无论是极地地区，还是我们的后院，以及世界各地的社区；
- 气候变化将在许多层面上影响着生物圈，如珊瑚白化、森林消失、物种灭绝；
- 人类基础设施受到气候变化的威胁，如海岸线的侵蚀、能源网络的压力以及永久冻土融化导致的结构变化；
- 气候变暖威胁着山区积雪、淡水供应和为数百万人服务的水力发电；
- 气候和降水模式的变化将影响农业和粮食安全；
- 深受海平面上升和粮食安全迫害的脆弱人口将面临最大的困境，政治动荡、难民移民和全球经济影响都是很可能结果，其中的一些影响已经很明显了。

帮助公众 理解 这些观点

将学习主题与相关新闻联系起来是吸引听众的一种有效方式。气候变化的影响显而易见，尽管如此，使用一个当地的例子是吸引听众进入话题的有效方法，可以帮助他们看到影响本身的科学问题。

就干旱和极端事件等气候灾害的影响向学生和公众直接发出警告，效果可能会适得其反，人们很可能会忽视警告，感到绝望或抗拒接受。然而，若只是掩盖气候变化影响的严重性和对社会和环境影响的恶劣性，可能会导致社会准备不足，而不能应对变化。需要找到一种平衡的方法，在课堂内外，避免“信心不足”显然是一个很好的实践手法。

培养公众对气候变化后果认识的另一个挑战是，许多影响是深远的，可能不会直接影响大家的生活。解决这一问题的两种方案，一是使用当地数据和案例来讨论您所在地区的气候变化影响，二是采用案例研究的方法，这能让学生更深入地了解这些影响将如何深刻而深远地影响各地人类和生态系统。



关于这本指南

《气候素养：气候科学基本原则》翻译自Climate Literacy: The Essential Principles of Climate Science，原文链接：<https://www.climate.gov/teaching/climate>

NOAA, in partnership with the AAAS Project 2061, funded a workshop to discuss the need for a common set of curriculum guidelines specifically for climate education to be used at the local, state, and national levels. This workshop resulted in a broader interagency effort through the US. Global Change Research Program to coordinate and produce Climate Literacy: The Essential Principles of Climate Sciences guide. Development of the guide began at a workshop sponsored by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the American Association for the Advancement of Science (AAAS). Multiple science agencies, non-governmental organizations, and numerous individuals also contributed through extensive review and comment periods. Discussion at the National Science Foundation- and NOAA-sponsored Atmospheric Sciences and Climate Literacy workshop contributed substantially to the refinement of the document.