

# 为什么二氧化碳能够使地球表面冷却

Dr. Theo Eichten, München; Dr. Gerhard Stehlik<sup>1</sup>, Hanau; Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp<sup>2</sup>, Dreieich; Dr.-Ing. Edmund Wagner, Wiesbaden; © January 2014

美国国家航空航天局(NASA)发表了最实际的有关从太阳到地球和地球到太空的年度能量通量(图 1)<sup>3</sup>。政府间气候变化专业委员会(IPCC)也有类似的描述<sup>4</sup>。定性地说, NASA 和 IPCC 的测量通量值从本质上来说没有什么不同。此外, NASA 和 IPCC 在数值上的差异和能够证实二氧化碳能够使地球表面变冷的证据不相关。

图 1:

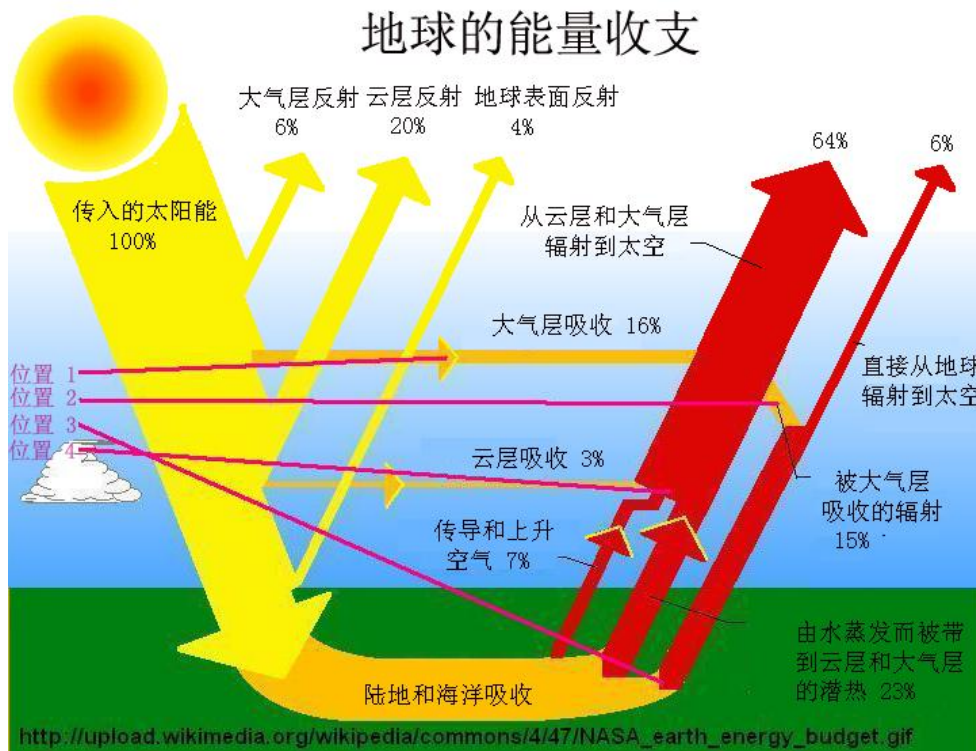


图 1 中黄色和赭色箭头显示所有到地球的太阳辐射通量 (百分比) 和它们的组分。三个通量 (黄色) 被反射 ( $6\%+20\%+4\%=30\%$ )。其他三个通量 (赭色) 被大气层或地球表面吸收 ( $16\%+3\%+51\%=70\%$ )。两条赭色箭头以长的水平箭头显示。其中一个 ( $16\%$ ) 加热上部大气层。另外一个 ( $3\%$ ) 加热云层。任何被大气层或地球表面吸收的太阳辐射都是使地球变热的因素。所有的热通量 (红色) 向上。没有向下的热通量。

<sup>1</sup> Corresponding author: Dr. Gerhard Stehlik ([gerhard.stehlik@gmx.de](mailto:gerhard.stehlik@gmx.de)), [GDCh Senior Expert Chemist](http://www.gdch.de) (<https://www.gdch.de>)

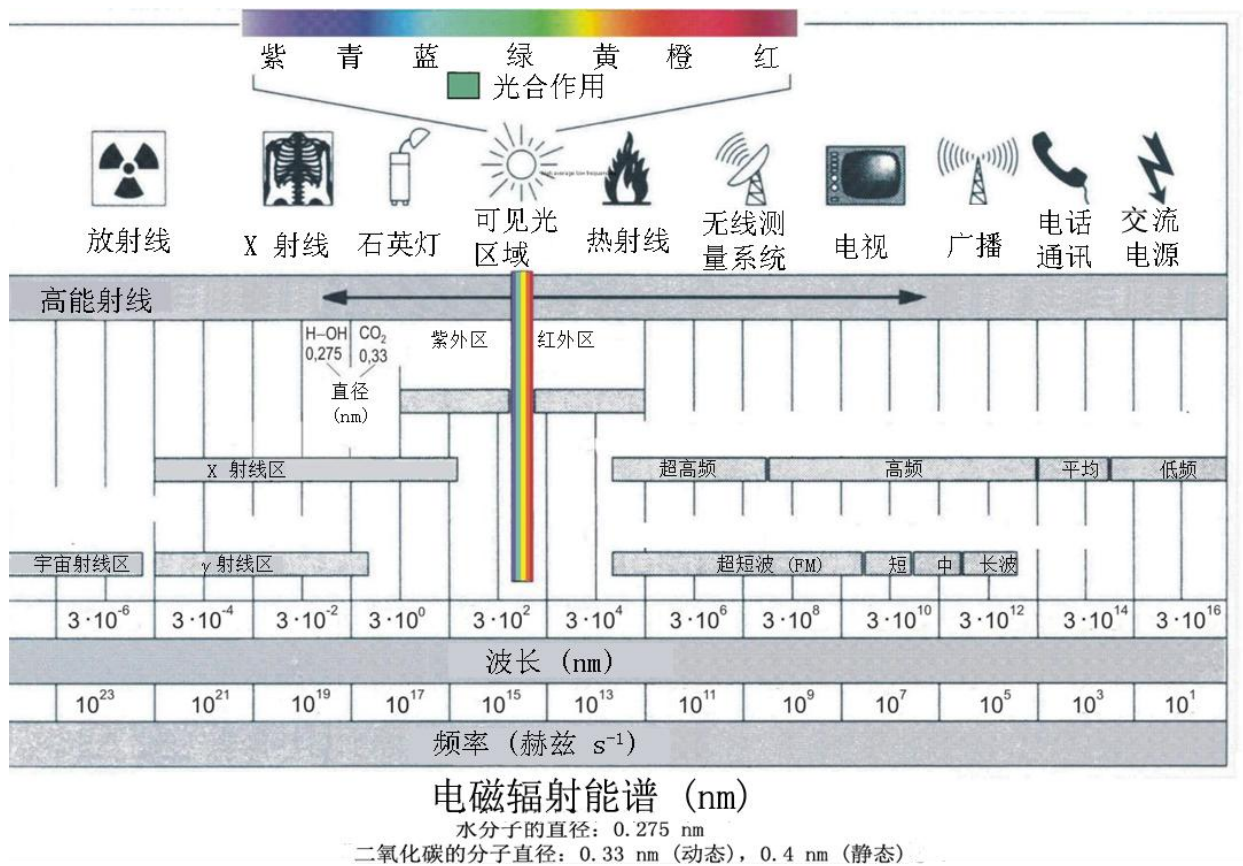
<sup>2</sup> Convenor Working Group Environment Engineering, [VDI Darmstadt - Frankfurt am Main](http://www.vdi.de) (<http://www.vdi.de>)

<sup>3</sup> NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA\\_Earth\\_energy\\_budget.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_Earth_energy_budget.gif)

<sup>4</sup> IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth’s Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

太阳使地球变暖是基本常识且无可争议，因为地球处在太阳辐射的电磁频谱中（图2）。很明显，地球不能自身加热。因此，没有化学物质能自身加热<sup>5</sup>。这也同样适用于二氧化碳。如果二氧化碳变暖，必须从其他地方获得能量。

图 2:



太阳辐射是变暖的唯一因素。与此相反，地球的冷却不但需要热辐射，而且需要机械能热能的转化和水的蒸发。因此，影响制冷的因素很复杂。如图 1 所示的三个从地球表面散发向太空的红色能量通量<sup>6</sup>。

地球表面变冷源于以下三个向上流动通量：第一个通量（7%）机械能和热能的转化包含向上的热运动。第二个，也是最重要的通量（23%）通过水的蒸发制冷。第三个通量（21%）通过向上的热辐射冷却。这个通量被分成两个明显的通量，一个（15%）被散发到大气中，另一个（6%），直接散发到太空。三个表面冷却因素的总和（51%）等于该表面从太阳吸收的热。

太阳辐射总是向下流动（70%），除了三个反射（30%）。热辐射总是向上流动：64%到大气层中，6%到太空。在大气层中向下的热辐射不存在。温室效应（+33°C）应该需要一个这样的向下的热辐射通量。

从表面到大气层的（位置 2）向上的热辐射通量（15%）是 CO<sub>2</sub> 使地球表面冷却的讨论重点。因为这种热辐射流远离地球表面不能成为地球表面变暖的一个因素。

<sup>5</sup>白磷可以通过自然而自身加热。实际上温度的升高是由于白磷和氧气的化学能转化为热能。这是每个燃烧过程遵循的定律。

<sup>6</sup>位置 2 除外。

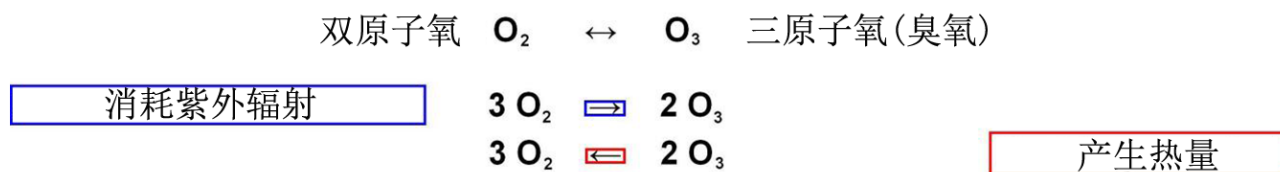
现在将要讨论，大气中最重要组分的不同分子的化学性质(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>)。然后，二氧化碳对于地球变冷的影响将从这些不同的性质中推导出来。

这有一些相关的科学定律描述能量的流动。其中一个基本科学定律是能量守恒定律<sup>7</sup>。这个定律适用于地球的所有物质，但对于以太阳作为能源生产者和以太空作为能量的无限吸收并不适用。因此，能量守恒定律只适用于地球表面和大气层之间的能量转换。另一个基本的科学定律告诉我们，物质释放能量温度降低，吸收能量温度升高。辐射能只有在物质存在时才能转换成热能。热力学第二定律指出，热能不能被完全转化成有用能(“功”)。所有这些定律仅仅和地球上的横向能量交换有关，对于太阳，地球和太空之间的向上和向下的能量通量并不适用，如图 1 所示。

只有当辐射被吸收，并且辐射不穿过如玻璃、水等透明物质时，靠辐射的加热才能实现。另外，大气中的主要气体，如 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>，使得差不多所有向下的太阳辐射<sup>8</sup>到达地球表面，并且使得向上的热辐射从地面扩散到太空。因为它们不能吸收太阳辐射和热辐射，所以没有被加热。任何辐射的释放和吸收都是靠特定化学键的运动(振动/旋转)，吸收时运动加快(加热)，释放时变慢(冷却)。一般来讲，N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>，既不能吸收，也不能释放辐射。

然而，正如图 1 所示，两个太阳辐射(16%和 3%)的通量是被大气和云层吸收。这就提出了那个问题，哪些分子能够真的吸收这种辐射?

标记为“位置 1”(16%)的通量对应于太阳的紫外线辐射。它是被氧气分子所吸收，并通过下面两种臭氧处理转化为热量:



臭氧处理之前和之后，氧气和臭氧分子组成不变。这就是所谓的化学平衡。因此，臭氧形成过程不能完全将来自太阳的紫外线辐射转化为大气的热量。臭氧处理过程不符合普朗克辐射定律。

百分之三的太阳辐射通量被云层吸收具体为太阳的红外辐射被云层中液态水滴所吸收。气态水分子红外吸收谱带比液态水分子小。因此，液体水分子的红外吸收率比气态水分子高得多。

现在，我们回到讨论重点关于二氧化碳的冷却问题。这需要仔细关注从地球表面进入大气(位置 2)的热辐射通量。此通量之所以存在，是因为 CO<sub>2</sub> 向太空的排放速率通常高于来自地球表面向上的辐射的吸收速率。

最初，研究表明地球和地球上的化学物质不能使本身加热。与之相反的是，基于牛顿冷却定律，由于热辐射向太空的不可逆的释放过程，使得几乎所有的物质都能冷却。然而，也有一些例外，如一些化学分子，牛顿冷却定律不适于解释它们的冷却。这些气体分子是球对称和完全非极性分子，包括 N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>。它们占据了 97%的大气组成。也就是说，大约 97%

<sup>7</sup> 横向能量流和地球表面平行就像冷风使一块区域变冷，热风使一块区域变热，二者都和地球的能量收支不相关因为在这些情况下遵循牛顿守恒定律。

<sup>8</sup> 一个例外是紫外太阳光的臭氧过程(位置 3)。

的大气本身不能冷却。这点对讨论  $\text{CO}_2$  非常重要。 $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  分子不构成电偶极矩<sup>9</sup>。没有这种电偶极矩，分子的热运动就既不能释放也不能吸收任何来自太阳或是地球的电磁辐射波。

然而，接近表面的大气呈现出一种夜间变冷。但是大气不是直接通过接触表面来变冷的。在夜间，表层通过强烈的向上热释而变冷。

但是，牛顿冷却定律适用于非对称三原子气体分子  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ ，其化学键中有强电偶极矩，因此它们具有红外活性（图 3）。形象地说，大气中的大部分（ $\sim 97\%$ ）是红外非活性的与大约  $2\%$  “通常红外活性物质”混合，使得大气在一定程度上“通过空间冷却”。 $2\%$  是  $\text{H}_2\text{O}$ （ $\sim 0\%$  到  $4\%$ ）和  $\text{CO}_2$ （ $0.04\%$  相当于  $400\text{ppm}$ ）的平均浓度的总和。 $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  被认为“正常的地球物质”，因为它们通过释放热辐射到太空来冷却，通过太空释放热辐射来被冷却。在测量气象温度的高度， $\sim 2\text{m}$ ，这层大气的冷却主要靠表面的间接冷却。由于它们的浓度只有  $2\%$ ，基本不会靠  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  的向上热辐射来直接冷却。

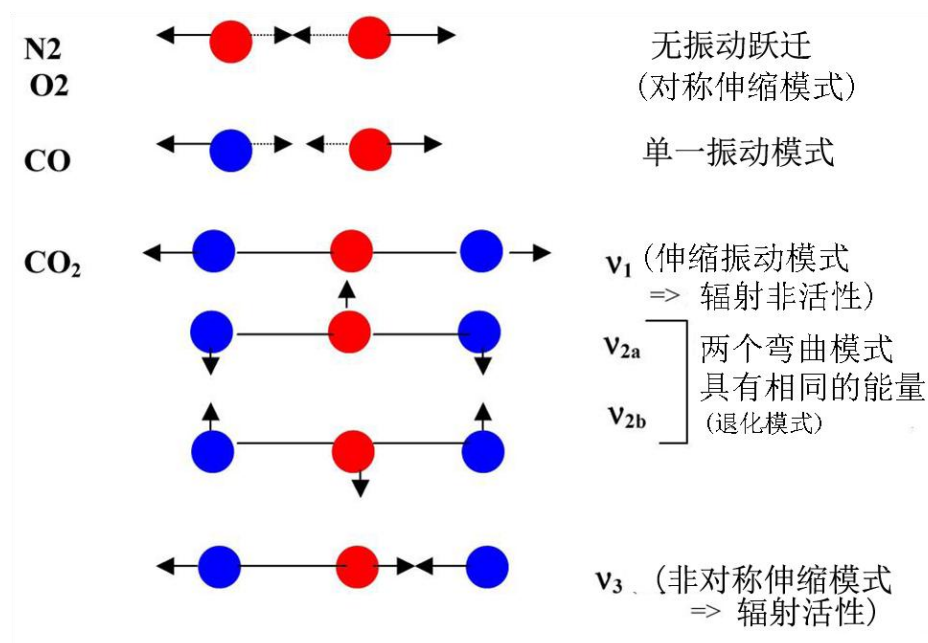
然而，考虑大气层的总能量平衡条件，海拔  $75\text{km}$  处湍流层的情形会有很大的不同。 $2\%$  的水和二氧化碳的混合物足以使整个大气层变冷，距离太空越近，这种冷却作用越强烈。一方面，在海拔  $75\text{km}$  的整个范围内大气层被太空冷却，而另一方面，地球表面被冷却的部分却仅限于几厘米厚的范围。这就解释了大气层中很高的冷却量（ $64\%$ ）和地球表面（包括陆地和海洋）很低的冷却量（ $6\%$ ）产生的原因。

关于太阳辐射通量，大气层不仅间接地通过地球表面（ $51\%$ ）获得能量，还直接的通过吸收太阳辐射来获得能量（ $16\%+3\%=19\%$ ）。因此，大气层获得了  $70\%$  的太阳能，比地球表面获得的（ $51\%$ ）要多。尽管如此，大气层仍然比地球表面冷！整个地球的冷却量为（ $70\%$ ）。大气层的冷却量（ $64\%$ ）比地球表面几厘米的冷却量（ $6\%$ ）大一个数量级。

---

<sup>9</sup>如果不同原子彼此相连，这个化学键就具有电偶极矩。一个原子带有正电荷另一个原子带有等量的负电荷，所以整体上是电中性的。两个靠化学键相连的具有偶极矩的原子的热运动可以引起电磁热辐射。

图 3<sup>10</sup>:



我们再回到我们的讨论重点。在图 1 中的赭色箭头（位置 2）显示冷却是由于从地球表面到大气层的热辐射（15%）。但是，N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 不能吸收热辐射。只有痕量气体 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 可以吸收由表面散发的这种热辐射。这种辐射冷却完全与“温室效应”理论中+33℃是由所谓的“温室气体”引起的相违背。

而且，从大气层到太空中的最重要的热辐射通量（64%），它支配着地球的整体能量平衡，位置 4，以红色的粗箭头显示，其通过热辐射将能量转移到地球外部空间。图 1 显示了大气层中代表均一宽度的红色箭头在开始时的陡然变化。实际上，这种突然的跳跃并不存在。箭头的粗细，代表了大气层的冷却速率，会随着海拔增加而增大，直到 75km。大气层的温度随海拔的升高而降低，通常每升高 100 米温度降低 0.6℃到 1°，和重力对密度和温度的影响一致。

虽然大气层中只含有 400 ppm CO<sub>2</sub>，但 CO<sub>2</sub> 如何成为地球的主要冷却剂？气态水的浓度在海拔~12 千米处降低到~10 ppm，因为气态水分子冷凝成冰。在海拔~12 和~75 千米之间，到太空中的热辐射仅由 CO<sub>2</sub> 释放。

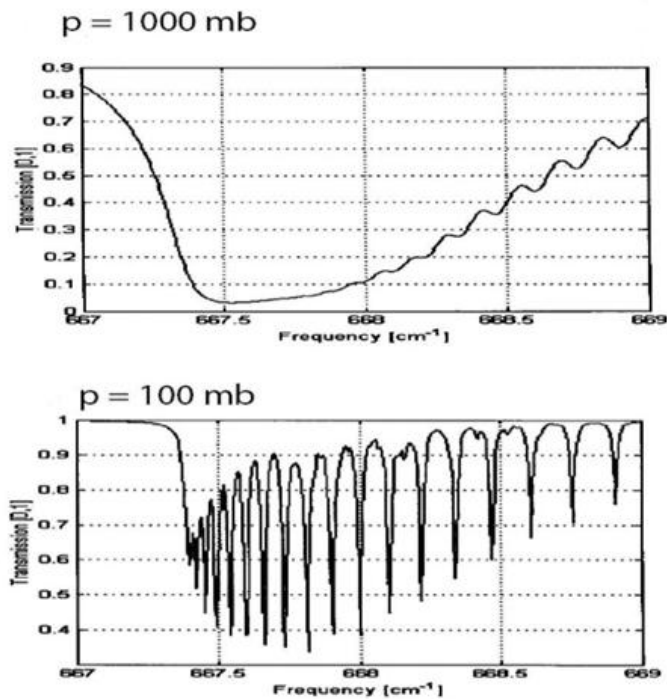
此外，二氧化碳是地球最重要的冷却剂，不仅由太阳，地球和太空之间的能量通量证实，而且因为其具有特别强的红外活性。由于 C = O 键的高偶极矩，CO<sub>2</sub> 在 15 微米和 10 微米处具有很强的红外谱带（图 4）。由于所谓的温室效应的伪物理假设，把二氧化碳的重要制冷效应说成是制热效应是科学家所犯的最大的错误之一。

H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 很强的红外活性是影响“整个大气层”的热辐射随海拔高度而增加的最重要因素，压力可以使其红外谱带变宽。在高海拔低气压下，红外谱带非常窄而且密集。在高压下地球表面附近，红外谱带非常宽而且稀疏。但是，在较高的海拔和较低的压力下热辐射直接从谱带外到达空间，而不被分子吸收。

<sup>10</sup> <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf>

图 4<sup>11</sup>:

大气压对气体的吸收光谱具有很强的影响（通过压力变宽）。这对于计算通过不同压力，温度和气体含量的大气层的红外辐射传递很重要。



在1000毫帕和100毫帕经典二氧化碳浓度的  
高光谱分辨率透射谱图

在书中有更具体的讨论<sup>12</sup>。

<sup>11</sup> [http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803\\_Fall2009/Lec6.pdf](http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf)

<sup>12</sup> Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0.