



水利水电国际资讯摘要

中国水利水电科学研究院主办
主编：孟志敏
责编：张 诚 孟 圆

4月专刊之二

2018年4月27日

气候变化发展历程及机理追踪

《京都议定书》，1997年。《京都议定书》是首个具有国际法律约束力的温室气体排放减排目标。《京都议定书》由168个国家于1997年12月11日在日本京都共同签订，目标是到2012年将温室气体排放量在1990年的基础上平均减少12.5%。

《京都议定书》的重点为发达国家减排目标，而包括中国和印度在内的发展中国家均被豁免，无需承担减排义务。《京都议定书》直到2005年才正式生效，导致这一拖延的最主要原因是未能通过美国批准。美国一直占全球温室气体排放量的四分之一，因此美国缺乏减排领导力将对气候谈判造成不可低估的不利影响。克林顿总统表示，若《京都议定书》不就大幅削减发展中国家的排放量达成协议，则其不可能通过美国参议院的表决。布什总统则宣布美国退出《京都议定书》，并在其两任任期中拒绝参加谈判平台。他对气候变化持怀疑态度，并曾在多个场合质疑人类活动造成气候变化的证据。尽管奥巴马总统与近期发表了一些积极言论，但他未能在减排方面发挥领导作用。事实上，在万众瞩目且酝酿已久的2009年哥本哈根世界气候变化大会上，奥巴马总统仅于最后一天出席大会，并通过一个软弱的协议与少数国家缔结了合作伙伴关系。下图显示了签署和/或批准《京都议定书》的国家数量。

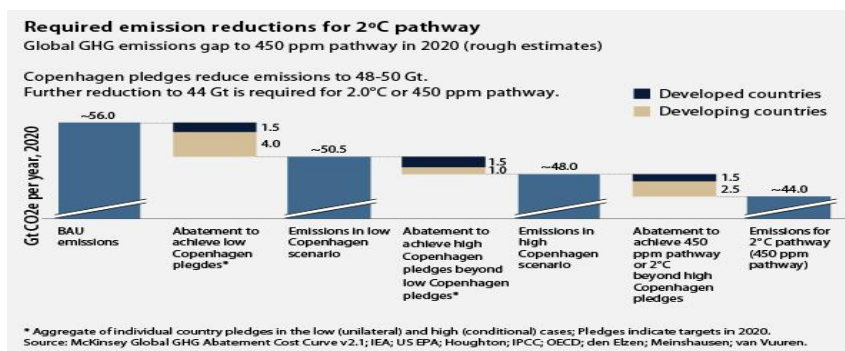


Participation in the Kyoto Protocol, where green indicates countries that have signed and ratified the treaty (Annex I and II are in dark green), grey is not signed, brown is signed but not ratified, and red is former party). South Sudan is not on displayed on the map

巴厘路线图（又称公约长期合作共同行动），2007年。包括为在2009年前就其进行谈判的关键事宜制定的清晰议程。其中包括：为适应气候变化造成的负面后果（如旱灾和洪灾）而开展的行动。温室气体减排的方法。广泛部署气候友善技术并为适应性措施和减排措施提供融资的方法。适应基金。适应基金将协助发展中国家应对气候变化影响（包括洪灾、旱灾、热浪和海平面上升）。适应基金的资金将来自清洁发展机制。适应应当与减排具有相同的优先级，这一点已经得到公认。打破发展中国家与发达国家之间的“柏林墙”，这也意味着发展中国家需要尽其所能实现碳减排。南非承诺承担应该承担的共同责任，打造共同未来。事实上，在2007年巴厘气候变化大会中出现了一些问题。美国、日本和加拿大对减排目标提出反对意见。南非呼吁美国发挥领导力并承担相应的责任。发展中国家与发达国家之间的讨论也出现越来越多的冲突。巴厘气候变化大会结束后还有部分问题尚未解决，其中包括巴厘路线图序言语言中存在的差异，发达国家和发展中国家的指导说明，以及将就未来气候变化协议进行谈判的机构的性质。

哥本哈根，2009年。期待已久的哥本哈根气候变化大会在召开前数年便已酝酿良久。谈判的重点是为在哥本哈根进行决策奠定基础。环保组织和环保活动家们也积极开展公民游说工作，公众期望高涨。欧盟和英国对哥本哈根气候变化大会的谈判抱有宏伟的目标。但是谈判却未能实现。显而易见的是，各国均代表自己的国家利益，将国家经济目标置于国际共识之上。美国、中国以及欧盟成员国等国家在为期10天的会议中并未达成任何类型的协议。发展中国家没有话语权，多次威胁要退场。奥巴马总统直到最后一天才出席大会，可能因为大会未能达成任何协议。他力争在会议中为减排承诺提供真正的领导力，但并未解决通过参议院立法的问题。尽管如此，哥本哈根气候变化大会并非一次彻底的失败，其主要成果为《哥本哈根协议》。美国、中国、印度、巴西和南非等多国领导人在距离哥本哈根气候变化大会正式结束还有几个小时的凌晨，在闭门会议中达成《哥本哈根协议》。这份协议并不具备法律约束力，令部分发展中国家和气候活动家深感失望。《哥本哈根协议》得到193个与会国家的“认可”而非“批准”，协议中认可了将全球平均温升控制在工业革命以前2°C的必要性。协议中的措辞表明，这一2°C目标并非一个正式目标，只是会议团体认可必须将温升控制在这一数字以下的科学观点。但是，《哥本哈根协议》中并未明确碳排放的峰值年。《哥本哈根协议》要求各国在2010年2月1日前制定2020年减排承诺。但这份协议中并未制订惩罚措施，当然这些目标也并不具有法律约束力。

《哥本哈根协议》还承诺在未来三年向发展中国家提供 300 亿美元的援助资金。协议提出一个目标，即到 2020 年，每年向穷国家提供 1000 亿美元的援助，以协助穷国应对气候变化的影响。这一基金将作为绿色气候基金。《哥本哈根协议》指出，富国将联合动员这 1000 亿美元，而这些资金将通过“公共和私人、双边和多边等各种渠道加以提供。”这一基金将支持发展中国家开展与减排、适应、“能力建设”和技术转让相关的项目。联合国秘书长潘基文强烈表示，《哥本哈根协议》将在 2010 年转化为一份具有法律约束力的条约。下图展示了承诺和已交付的资金的当前状态（2013 年 2 月 1 日），单位为百万美元。在已交付的 250 亿美元中，超过 150 亿美元的资金直接来自日本，近 50 亿美元来自英国，超过 60 亿美元来自美国、德国和加拿大。显而易见，这一捐助团体的狭窄范围表明明确的供资机制尚不明确，并且承诺资金和已支付的款项之间也存在明显差距。《哥本哈根协议》中规定，各国必须按要求在 2010 年 2 月 1 日这一“软”目标日之前提交 2020 年减排承诺。2010 年 3 月，尼古拉斯·斯特恩（Nicholas Stern）在伦敦经济学院（LES）就哥本哈根气候变化大会的成果发表了讲话。斯特恩表示，他对此次气候变化大会的结果深感失望，但他认为《哥本哈根协议》可能会改善“一切照常”的温室气体排放路径。根据他的评估，要想实现 2°C 目标，到 2020 年全球温室气体排放量应该限在 440 亿吨之内。根据斯特恩的预测，《哥本哈根协议》中各国（在协议日期）做出的自愿承诺将超过这一排放限制，并达到将近 500 亿吨。在这一预测中，斯特恩假设各国将履行他们的承诺。斯特恩将这一预测与“一切照常”的排放路径进行了比较。他对“一切照常”排放路径的估算表明，如果没有《哥本哈根协议》的约束，2020 年的排放量可能会超过 500 亿吨。在附件 I 中列出的、承诺进行针对性减排的所有国家中，美国承诺的减排目标强度最低，仅为 17%，而欧盟的减排目标为 20%至 30%，日本则为 25%。



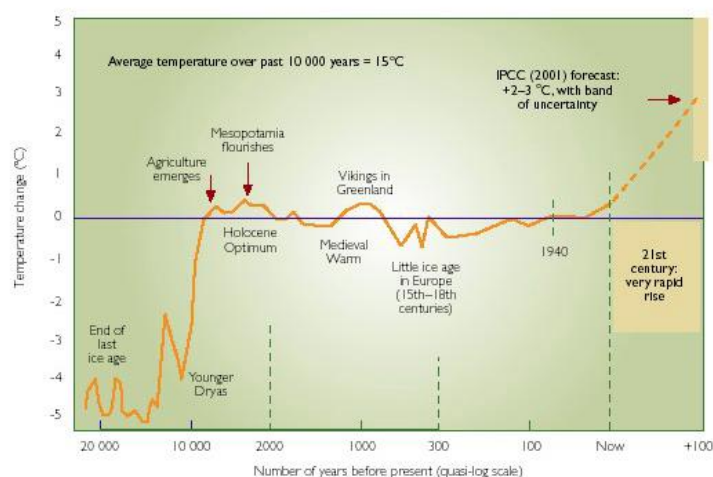
德班，2011年。在德班展开为期两周的谈判后，《联合国气候变化框架公约》的195个缔约国就欧盟提出的路线图达成一致，同意在2015年前起草一个针对所有国家行动的法律框架。德班谈判的成功体现在包括美国、中国和印度以及所有发展中国家在内的所有国家签订的对减排目标具有法律约束力的协议，该协议到2020年才将生效。2020之前的减排目标仅为自愿减排目标，与哥本哈根承诺保持一致。在这一轮谈判结束后尚未明确的是遏制全球变暖的宏伟目标的实际规模，如各国采纳的减排目标所示。德班协议中承认，目前承诺的减排措施与将温升控制在2°C以内这一获得广泛公认的安全限制之间的差距日益扩大。德班气候变化大会还就其他气候友善补充措施达成了一揽子协议。其中最重要的是，会上达成了一项针对全球绿色气候基金广泛设计的协议，利用附件I中所列发达国家承诺的到2020年向发展中国家提供的1000亿美元，帮助发展中国家实现减排目标并适应气候变化。然而，会议同样并未就资金来源这一重要问题达成一致，甚至并未对这一问题进行深入讨论。商界领袖似乎对这些疏忽深感不满。普华永道可持续发展和气候变化负责人乔纳森·格兰特（Jonathan Grant）表示：“德班气候变化大会达成的协议在更大程度上是联合国进程而非全球气候的胜利，也并未创造新的商业需要。业界对德班气候变化大会深感不满，并期待国家国家资本下达的进一步指示。”

多哈，2012。在多哈气候变化大会召开之前，它被视为2015年摊牌谈判的跳板。但欧盟气候专员康妮·赫泽高（Connie Hedegaard）表示，多哈气候变化大会实现了更多成就。多哈气候变化大会提出了一个新体系，在这一体系之下，所有国家（发展中国家与发达国家）将首次在新的全球协议下做出具有法律约束力的承诺。此外，多哈气候变化大会改变了谈判结构，来自发达国家和发展中国家的代表首次坐在一起，在同一个论坛（即德班平台）上进行谈判。发达国家和发展中国家之间不再有区别（这一区别在谈判中往往起到分裂作用和反作用）。多哈气候变化大会上还就《京都议定书》的第二期承诺做出决定。包括澳大利亚和欧盟成员国在内的37个国家签署了《京都议定书》第二承诺期修正案，设定了2013年1月1日至2020年12月31日的减排指标。这些国家在2013年至2020年期间将在1990年的基础上减排18%。德班气候变化大会还为发展中国家启动了新的绿色气候基金。此外，长期存在的“热空气”问题（碳排放交易体系实施以后，碳排放量不降反增）——《京都议定书》第一承诺期中存在的剩余未使用碳信用额问题也最终得到解决。碳信用额买家能够购买的信用额受到限制。欧盟法律不允许其成员国使用购买的碳信用额，

所有潜在买家也申明其不会购买碳信用额。最后，多哈气候变化大会就预防出现更多减排空气漏洞制定了相关规定。

近 2 万年的气候状况

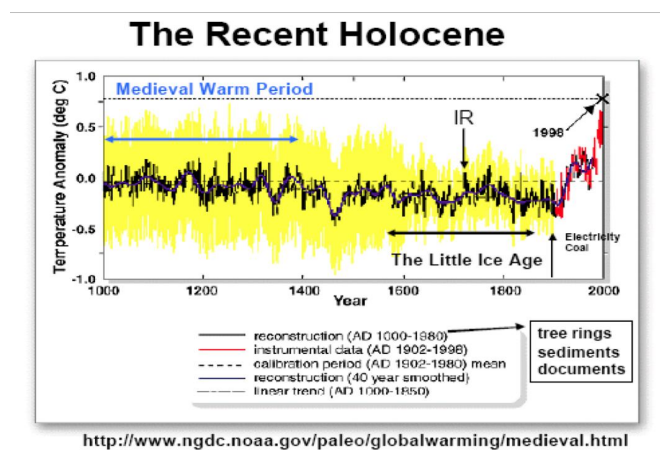
气候变化的定义为平均大气条件在连续两个 30 年期间发生的显著变化。某一年温度高于平均温度，或某一个冬季出现强降雨均不能代表气候发生变化。气候变化仅仅指长期趋势变化。在过去两万年中气候发生了剧烈变化。我们可以将过去的两万年划分为两个时期。首先，我们将距今一万年的时期称为全新世，而在此之前的一万年则被称为更新世。全新世的特点是气候出现多样性变化，并包括多个时期（全新世气候适宜期、中世纪暖期、小冰河时期以及受工业革命和工业时代影响的过去两个世纪）。



上图采用准对数标度来表示时间。在距今 10000-9000 年前，更新世大部分时间均非常寒冷，而在距今 10000-9000 年期间，世界经历了一次 4°C 至 5°C 的快速升温期。从距今 10500 年起，世界温度一直保持在与更新世相比较为温暖的水平。世界的平均温度为 15°C。但这并不是说在世界温度这一时期并未发生变化。在这一时期出现了一段时间的升温，让人类发展成功向前迈出一大步，例如农业的发展和美索不达米亚文明的壮大。在这一时期，由于温度升高，粮食供应也得到发展。同样，维京人在公元 1000 年左右的温暖时期也实现大规模迁移。另一个值得注意的时期是如布勒赫尔的冰上画作所描绘的，在 15 世纪至 18 世纪期间出现的小冰河时期。然而，自 18 世纪以来，世界经历一场升温，导致目前的温度接近全新世最暖和的时期，且预计在未来 90 年内会继续升温 2°C 至 3°C

(存在一定的不确定性)。

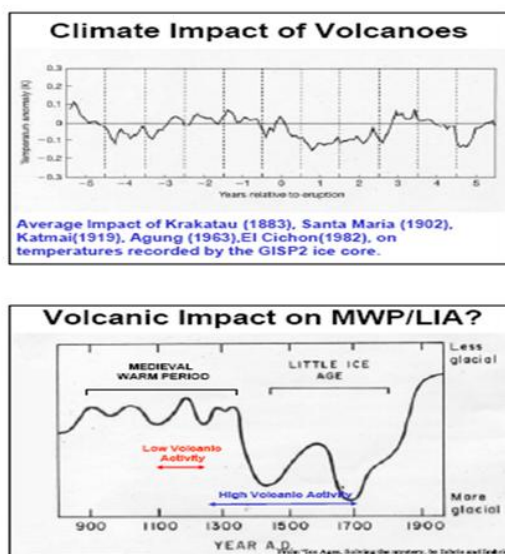
前工业化时代是一个具有重要气候科学意义的时期，因为从这一时期我们能够得出在未受到人类影响时，世界气候发生的自然变化。全新世中最为突出的两个时期为中世纪暖期和小冰河时期。中世纪暖期的持续时间为公元900年至1380年。中世纪暖期时的欧洲温度比平均温度长期趋势高出 0.5°C 至 0.8°C 。欧洲在这一时期实现了快速发展并出现大量变化，其中包括维京人在格陵兰和北美地区殖民，挪威种植小麦，冰岛成功种植燕麦和大麦以及英格兰成功种植葡萄园。这一时期以暴风雨和洪水等极端天气事件结束，并最终导致粮食短缺。



小冰河时期出现在公元1580年至1850年。相比之下，小冰河时期的温度明显低于平均温度，但在时间和地点上仍然存在高度差异性。小冰河时期特点是冰川前进（规模扩大），树木高度下降，湖泊、河流、运河冻结，海冰面积扩张和人口数量稳定（若未出现下降）。也正是在这个时候，冰岛的人口几乎消失殆尽。

近 2 万年气候变化解释

在解释过去2万年间的发生的气候变化时，将最近的工业时代（即距今200年左右）与其他时期进行区分具有重要意义。在除工业时代外的其他时期中，自然因素是导致气候变化的唯一原因。自然因素多种多样，包括火山活动、太阳黑子活动以及地球的岁差和轨道。首先，大规模火山喷发柱将火山灰颗粒和富含硫的气体注入对流层和同温层。这些云状物可以在数周内环绕地球。火山灰微颗粒能够减少抵达地球表面的太阳光量，降低全球平均温度。而含硫气体则与大气中的水结合形成酸性气溶胶，同时吸收入射太阳辐射并将其散射回太空。



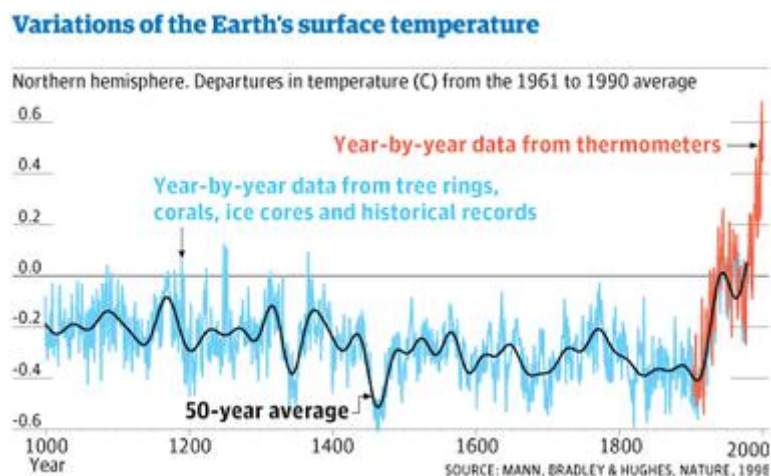
上图展示了追溯至 1883 年喀拉喀托火山的一些大规模火山喷发对温度的平均影响。如图所示，温度在火山大规模爆发后出现下降，且这一影响能够持续 2 至 3 年时间。而火山频发正是小冰河时期的一项特征。影响气候的第二个因素为太阳黑子活动。太阳的能量输出随时间而发生变化，并与太阳黑子在太阳光球层上的运动模式直接相关。太阳黑子是出现强烈磁活动的区域，并可能产生太阳耀斑等二次现象。大多数质量抛射来自可见太阳黑子群周围的磁活性区域。从左图中可以看出，太阳黑子的活动遵循一个独特的周期模式。太阳黑子通常遵循 11 年和 22 年的周期，但也存在更长期的周期性模式。高太阳黑子活动水平与低于平均水平的大气温度相关。而低太阳黑子活动则与高于平均水平的大气温度相关。这是因为太阳黑子抑制太阳的能量输出。然而，太阳黑子中可能产生太阳耀斑，并且可能抵消太阳黑子的影响，从而导致出现边际温升增加 ($> 0.1^{\circ}\text{C}$)。

与太阳能量输出有关的第二个自然因素为地球摆动的方式和地球转轴倾角（地球自转轴相对于绕太阳公转轨道平面的倾斜角度，介于 22.5° 和 24.5° 之间）。目前地球的自转轴倾角为 23.5° ，若低于这一倾角，则北半球和南半球之间的季节性差异较小；若高于这一倾角，则季节差异较大（即夏季更温暖，冬季更寒冷）。若低于这一倾角，则极地地区获取的阳光较少，温度寒冷，冰雪累积。地球捕获的阳光总量保持不变。在距今 41000 和 21000 年的时间尺度上，地球轴倾角和摆动分别发生了变化。

影响地球气候的一个主要因素是偏心率。偏心率是地球绕太阳公转轨道形状的变化。目前，地球绕太阳公转的轨道几乎是一个完美的圆形：当前的偏心率为 0.017。地球轨道的变化令我们离太阳更近或更远。更准确地说，我们离太阳的距离最远为 9450 万英里，最近为 9140 万英里，仅有 6% 的差异。这种周期模式的变化周期约为 95000 年。这种轨道变化是导致出现多个全球温度下降时期的原因，导致温度下降至低于目前温度（低 5°C 至 6°C ），并在间冰期导致温度上升，高于目前温度（高出 2°C 至 3°C ）。上图对这一周期模式进行了介绍。

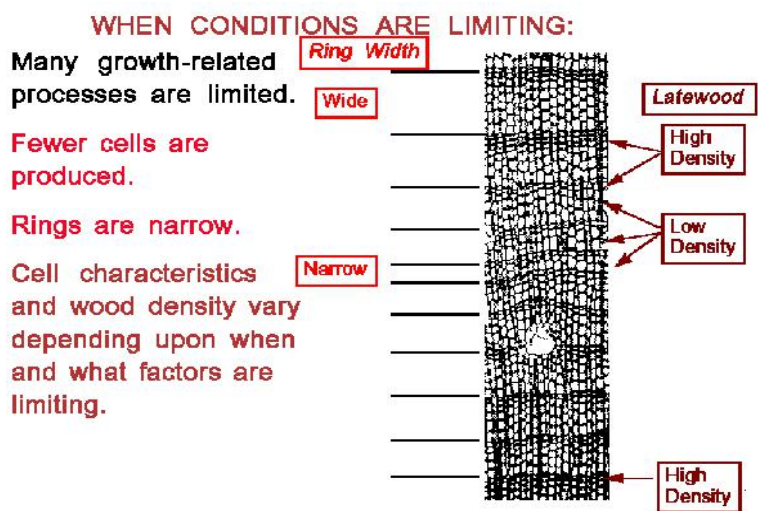
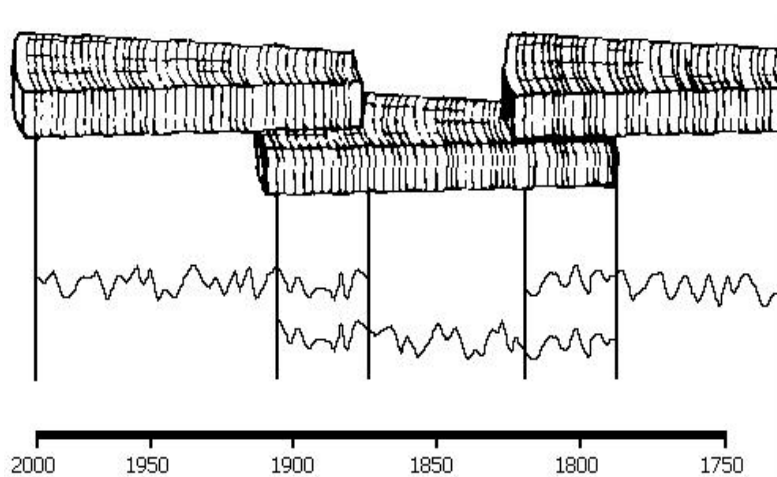
对气候变化造成影响的最后一个因素是海洋作用。南大洋振荡变化在短时间内导致气候和天气发生急剧变化。这种现象通常被称为拉尼娜现象，部分证据似乎表明，随着气候发生变化，拉尼娜现象的频率也日益增加。在更长的时间尺度内，碳封存对气候具有重大影响。在冰河时期，大气中的二氧化碳浓度下降至 180 ppmv 左右，大部分二氧化碳被认为被封存在海洋中。随着冰河时期结束，二氧化碳从海洋释放出来。在最近一个间冰期，大气二氧化碳浓度已经达到 280 ppmv 左右。目前，海洋大约吸收了人类活动碳排放量的三分之一，每年约为 20 亿公吨。

自 1900 年以来，全球温度发生了显著变化，全球平均温度较长期平均水平升高 0.6°C ，且年同比升温达到 1°C 。这一图表通过结合树木年轮、珊瑚、冰芯等代用资料编制而成，而现代数据可通过温度计直接获得。图中温度显著上升，展现了一个具有视觉冲击力的全球变暖图示，并且一直作为政府间气候变化专门委员会证明人类活动造成全球变暖的重要工具。这一图表与自然原因以及下文视频中介绍的温室气体排放相结合，为人类活动造成全球变暖提供了令人信服的论据。



气候变化的证据

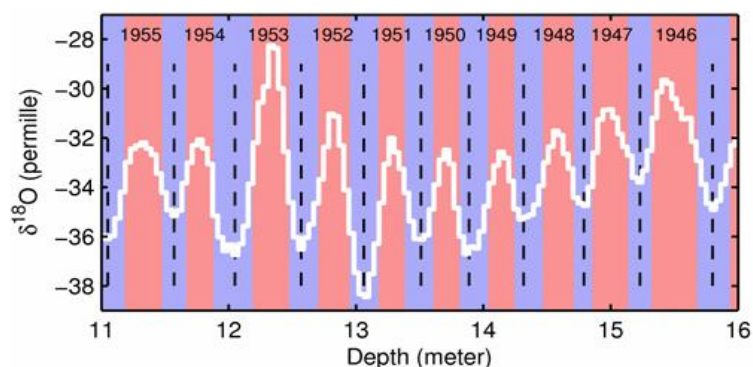
树木年轮数据（树木年代学）能够提供有关季节性温度和潮湿或干燥条件的信息。在最佳条件下，树木年轮数据的精确度能与仪器的平均值不相上下。然而，合适的树种仅生长在部分温带地区，且为了取得良好的测量结果，必须进行大量采样，并开展谨慎评估。即便如此，树木年轮记录也仅仅只能用于区域气候研究。



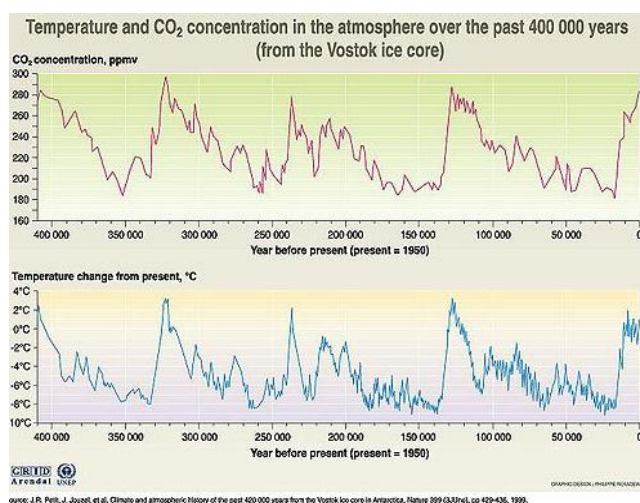
通过同位素技术可从珊瑚中获取良好的水温数据，尽管这一数据可能受到海洋盐度的影响。树木年轮能够用于构建数千年前的温度记录，而珊瑚年表则要短得多，珊瑚数据的价值也因此受到限制。珊瑚拥有坚硬的碳酸钙（ CaCO_3 ）骨架。部分珊瑚在生长过程中能够形成碳酸钙年轮。与树木年轮一样，这些碳酸钙年轮能够用于对温度进行估算。珊瑚在温暖海水中的生长速度要高于在寒冷海水中的生长速度，因此，温暖年份的碳酸

钙年轮更宽，而寒冷年份的碳酸钙年轮则更窄。碳酸钙中所含的氧同位素也可以用来估算珊瑚生长时的海水温度。

冰芯可以为我们提供多种不同的信息：空气温度、降水量、火山尘和硫酸盐、太阳活动产生的宇宙同位素以及被困在气泡中的温室气体。遗憾的是，冰川仅仅覆盖了地球表面的一小部分，因此也只能反映这些地区的大气条件。与冰芯研究有关的最重要的技术是测量水的同位素组成。简而言之，在温带和极地地区的雨雪中存在两种氧同位素（ ^{18}O 和 ^{16}O ），这两种同位素的比例取决于温度。通过测量冰中 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值随着时间发生的变化，研究人员可以推算出降雪时的温度。因此，气候科学家已经重建了温度（以及许多其他参数）是如何逐年发生变化的快照。通过这些不同类型的证据联系在一起，气候科学家们正在增进对过去气候如何发生变化的全面认识。



$\delta^{18}\text{O}$ values from the Greenland Crête shallow ice core. The annual temperature variation is clearly seen in the record. The data both show warm/cold seasons and can be used for dating because the annual layers can be identified and counted starting from the surface.



摘自：<http://thebritishgeographer.weebly.com/global-climate-change.html>