全新世晚期气候变化的文化响应

现代复杂社会对年际到年代的干旱具有显着的恢复能力，但是对多年代到多年干旱的文化反应只能通过整合详细的考古和古气候记录来解决。 来自新旧世界的四个案例研究文明记录了社会对长期干旱的反应，包括人口混乱，城市遗弃和国家崩溃。 进一步研究过去对持续气候变化的文化适应可能为现代社会对未来气候变化的可能反应提供宝贵的视角。

1785年春天，地质学家詹姆斯·赫顿（James Hutton）向爱丁堡皇家学会（Royal Society of Edinburgh）举办了一场演讲，改变了对自然过程的科学探究。他的观点的本质很简单：现在是理解过去的关键。赫顿认识到缓慢的地质过程，如侵蚀或隆起，可能会产生沉积地层或山脉。在1795年，他写道：“我们没有找到一个开始的痕迹 - 没有结束的希望。 。 。 。不只没有权利被雇用对全球不自然，没有任何行动被承认，除了那些我们知道原则并且没有特别事件被指控以解释共同经历的行为。 。 。“（1）。当时大多数自然科学家都不接受这种观点，因为它需要完全接受大量的地质时间和拒绝年轻地球的普遍观点。然而，未来几代科学家，尤其是查尔斯半个世纪之后，达尔文受到这种新思维方式的鼓舞，以他们对现代过程的了解来解释他们的观察。

要了解气候变化的方式和原因，我们必须引用赫顿观点的必然结果：过去必须习惯于了解现在。现代器乐Lamont-Doherty地球观测所哥伦比亚大学，Palisades，NY 10964，美国。电子邮件peter@ldeo.columbia.edu记录足以记录在年际时间尺度上变化的气候现象，例如厄尔尼诺现象，但它们太短从过去的500年到1000年（2,3），详细的树木年轮，珊瑚礁和湖泊沉积物记录可以解决多年代到世纪尺度的气候变化问题。同样，最近厄尔尼诺/拉尼娜现象的社会经济影响也有很好的记载（4），但对长期气候偏移的社会影响。如果不了解几十年到几千年的时间尺度上的各种气候变化，我们很难在地球气候如何实际表现的背景下，自然地和现代气候变化及其社会经济影响。由于人为增加温室气体（3）。

**北美历史性的和史前的干旱**

过去气候记录的价值的优秀例子可以从美国的干旱历史中收集。水的可用性而不是温度是全球半干旱地区生命的关键气候决定因素。干旱常常让人联想到沙尘暴的干旱20世纪30年代，持续了6年（1933年至1938年），并导致了美国历史上最具破坏性和记录最深刻的农业，经济和社会灾难之一。干旱是由于美国西部地区降雨量大幅普遍减少引发的，特别是在大平原北部地区（5）。它使数百万人流离失所，在联邦支持下耗资超过10亿美元（20世纪30年代美元），并导致新生的经济崩溃。对沙尘暴干旱的后续分析表明，其巨大的社会经济影响部分是由于在干旱之前肆意农业实践和过度资本化，当时降雨量更加充裕（5）。随后的20世纪50年代的年代际干旱（图1，A和B）也很严重但不太普遍，主要影响美国西南部，改善土地使用做法和救灾计划减轻了它的影响。

20世纪30年代和50年代的干旱与其他历史和史前的干旱相比如何？干旱？在对来自美国各地的数百个树木年表的综合分析中，库克等人建立了一个夏季干旱重建网络，可以追溯到公元1200年（6,7）（图1A）。在17世纪之前，这种重建记录了更持久的干旱（7）。这些所谓的“大干扰”非常激烈，持续了数十年，并且每500年大约一次或两次在美国西南地区复发（图1，A至D）。在这些多年代干旱期间最大的重建条件远远超过了过去150年（在有大量仪器数据的时期）记录的干旱期间的条件。这些和其他大规模干旱的证据有在详细的湖泊沉积物记录中发现了（8），并且在1350年和公元前1110年之前加利福尼亚州发现了更长的世纪级干旱的证据（9）。

美国西南部在过去800年中最严重的干旱跨越了7222年，在公元1572年至1593年之间（7）（图1C）。在公元1583年这个干旱时期的高峰期重建的空间干旱模式显示了跨越该地区的极端干旱条件

美国西南部（图1C）。干燥的条件显然向东延伸并持续到17世纪初，远至弗吉尼亚州沿海地区（10）。根据来自弗吉尼亚州东北部的700年树木年表，Stahle等人。得出的结论是，在公元1587年至1589年和公元前1606年至1612年间的间隔是过去700年中最干旱的时期（10）。公元1587年8月，第一批英国殖民者抵达并定居在弗吉尼亚州的罗阿诺克。这一小群定居者随后被称为失落的殖民地，因为整个罗阿诺克定居点在4年后英国再补给船返回时已经消失。最初归因于计划不周和供应不足，罗阿诺克定居点的失败现在在这场严重干旱的背景下被理解，这种干旱始于他们巨大的厄运，就在定居者抵达时（10）。随后于公元1607年4月在弗吉尼亚州詹姆斯敦建立了一个更大的殖民地定居点，定居者也遭受了巨大的痛苦。在25年内，超过80％的人口死亡，主要是营养不良（10）。

虽然明显不如1580年代的干旱严重，但1280年代（11）的26年“大干旱”同样延长并普遍存在（图1D）。 在这场干旱时期，现代普韦布洛印第安人的祖先Anasazi长期在美国西南部的半干旱高地和峡谷建立了优雅的石头和土坯村。 对Anasazi定居点的考古调查表明，许多遗址在公元13世纪末期突然被废弃.Anasazi崩溃的原因包括该地区内的紧急巴尔干化，战争和宗教动荡，以及严重干旱的发生 条件和区域森林砍伐（11,12）。 1280年代的多年代干旱是否是阿纳萨齐崩溃的决定因素仍在争论中（13,14），但目前的考古证据确实暗示干旱是造成不稳定因素的因素（12,14）。

**全新世的气候变化的模式与机制**

上述相对较新的干旱持续了几年到几十年。复杂的社会可以而且确实如此适应水资源可利用的年际至年代际波动，但更持久的干旱呈现出一系列不同的挑战和应对策略。现在众所周知，多次干旱到多次干旱的干旱已经打破了全新世时代的温暖气候[过去11,700个历年（现在的日历年）]。此外，进入和退出这些气候变化的过程可能非常突然，发生在不到十年（15）。全新世曾被认为是气候稳定的（16），但详细而且陈旧的古气候记录现在表明，全新世的气候被几次广泛的降温事件打断，这种事件持续了许多世纪，大约每1500至500年重现一次（17 -22）（图2）。

古海洋学数据表明，这些事件与次极地（19）和亚热带（21,22）地表海洋环流（图2）的变化以及陆地气候的显着变化有关（17,18,23,24）。这些事件似乎在北大西洋同步发生（21），在西北大西洋可能发生反相行为（25）。与这些全新世事件有关的深海环流变化的深海沉积物证据目前是模棱两可的（19,26），尽管已经提出了其他支持性证据（20,27,28）。全新世气候变率的千年尺度起搏暗示了长时间常数的机制，如温盐环流或海洋 – 大气耦合（26,29），它们控制着现代气候配合稳定性

分析最近的千禧年全新世气候周期，小冰期[公元1300年至1870年左右]和前一中世纪暖期（公元800年至1300年），表明影响全球气温的主要因素过去千年的变化是太阳辐照度和火山活动的变化，它们共同占重建温度变化的40％至60％（30）。气候模型需要一种额外的强迫因子，即温室气体的人为增长，可以解释20世纪的温暖（30,31）。太阳辐照度变化（32,33）与地表温度的强相关性（30，

31）和过去一千年的区域干旱（34,35）将太阳变率作为影响全球气候的一个重要因素，涉及多年代到多年的时间尺度。然而，太阳变化在全新世（和最后一次冰期）期间强迫全千年尺度气候变化的作用因大气14 C记录（36）及其一般缺乏1500⫾500年的变化而变得复杂。与全新世气候异常不一致（图2）。 14 C记录在2200至2500年期间确实表现出显着差异[Hallstadzeit周期（36）]。

**全新世晚期的文化反应气候变化**

过去的文化如何应对长期，多年代规模的气候变化，这些变化打破了全新世晚期的气候？将文化变革的考古记录置于详细和过时的背景下全新世古气候记录提供了研究大型复杂社会如何应对气候长期持续变化的机会。在全新世晚期的某些时候，整个帝国崩溃，他们的人民减少到更低的生存水平，而在其他情况下，人口迁移并适应新的生存模式。在所有情况下，观察到的社会反应反映了人类文化因素（社会经济，政治和世俗压力）与持续的多元化气候变化之间的相互作用。从新旧世界的联合考古和古气候历史中得出的四个案例研究说明了过去对全新世晚期气候变化的文化反应：阿卡德（约4200年历年BP），经典玛雅（约1200年历年BP）的崩溃），Mochica（大约1500日历年BP）和Tiwanaku（大约1000日历年BP）帝国。

阿卡德倒塌（美索不达米亚，约4200日历年B.P.）。在阿卡德的萨尔贡统治下，第一个帝国建立在约4300和4200日历年B.P.在底格里斯河和幼发拉底河之间的宽阔平坦的冲积平原上（37）。该地区的阿卡德人帝国化将美索不达米亚北部生产但偏远的雨水灌溉农田与美索不达米亚南部城市的灌溉农业区联系起来。然而，经过100年的繁荣，阿卡德帝国突然倒塌了。 4170⫾150日历年B.P.（37,38）。考古证据证明，美索不达米亚北部农业平原的广泛遗弃（37）以及难民涌入人口膨胀的美索不达米亚南部（37,39）（图3）。一条180公里长的墙，“亚摩利人的驱逐者”，建在马其顿中部，以阻止游牧入侵南部。较小的久坐不动的人口在北部平原的重新安置发生在3900日历年左右，collapse崩溃后的300年左右（37）。代表叙利亚东北部Tell Leilan坍塌的地层水平覆盖了厚厚的（⬃100厘米）风力堆积淤泥，没有文物（37），表明突然转向更干旱的条件。尽管考古证据表明阿卡德人实施了谷物储存和水调节技术以缓冲大型年际，但社会崩溃显然已经发生降雨量的变化是该地区的特征（37）。

使用来自阿曼湾的深海沉积物核心，Cullen等。 （40）根据美索不达米亚风源沉积物的矿物学和地球化学示踪剂，重建了全新世区域粉尘输出变化的详细记录（图4）。过时的校准序列放射性碳日期，阿曼湾的核心记录了风成白云岩和碳酸盐的300年以上的增长，开始于4025⫾125日历年B.P.同位素（87 Sr / 86 Sr）分析证明了这一点增加的风尘来自美索不达米亚来源（40）（图4）。在Tell Leilan和深海沉积物岩心中发现的火山岩tephra碎片的地球化学相似性提供了进一步的证据，表明Akkadian崩塌和气候变化事件是同步的（40）。在底格里斯河（41）的源头附近的Lake Van湖附近增加了风成石英沉积，表明区域干旱增强了。来自黎凡特的古气候记录（42）。

综合的考古和古气候证据强烈暗示突然的气候变化是导致这个高度复杂社会消亡的关键因素。美索不达米亚突然干旱的发生在4100日历年左右B.P.恰逢北大西洋大范围降温（19,21）。在此次事件中，称为全新世事件3（图2），大西洋次极地和亚热带地表水冷却1°至2°C（19,21）。底格里斯河和幼发拉底河的源头由海拔诱发的冬季地中海降雨捕获。对现代仪器记录的分析表明，当极地西北大西洋海面温度异常凉爽时，美索不达米亚供水量大幅度减少（50％）（43）。美索不达米亚在4100日历年间的干旱化B.P.因此可能与北大西洋较冷的海面温度的开始有关。

经典的玛雅人崩溃（尤卡坦半岛，大约1200日历年B.P.）。从公元前第二个千年开始，Preclassic Maya文化占据了中美洲广阔的低地和高原地区。大约250 A.D.公元前250年后经典古典时期的开始标志着一个更复杂，分层，智力和艺术多产的帝国的快速增长。早期（公元前250至550年），特别是晚期（公元前550至850年）经典玛雅文化的标志性成就包括贸易网络跨越中美洲，广阔的城市中心，建造巨大的石柱，以及天文学的进步和数学（44）。

经典的玛雅帝国在他们的文化发展的高峰期崩溃了。公元750年和900年，由该公司确定在任何特定时间跨中美洲进行纪念碑建设的场地数量（45）（图5）。继公元721年纪念碑建设的顶点之后，公元前750年至790年间，崩塌的迹象开始显现。公元830年后，整个地区的建筑工作有效停止。

公元909年，墨西哥金塔纳罗奥南部的最后一座纪念碑上刻有玛雅长统计日期（44）。引用了许多崩溃的原因，包括人口过剩，森林砍伐和土壤污染

侵蚀，社会动荡，战争和疾病，以及气候变化等自然现象（46,47）。在崩溃之前许多地区都充分记录了森林砍伐，侵蚀和人口密集的情况（46,48,49）。

气候变化在经典玛雅（50）崩塌中的作用的第一个明确证据来自湖泊沉积物记录了墨西哥尤卡坦半岛（墨西哥）中部地区在1300至1100年之间突然转向更干旱的条件（800到1000 A.D.）（图6）。沉积物组成和稳定同位素分析保留在尤卡坦中部闭合盆地Chichancanab（50）和Punta Laguna（51）的沉积岩心中，表明该地区经历了200年的持续干旱和高度蒸发条件集中在1200日历年BP附近（900A.D.）（图6）。

尤卡坦半岛人口密集的南部低地高度依赖人类的地表水供应。农业需求，这些地区在公元800至1000年干旱期间受到的影响最为严重。考古发掘估计低地人口密度从经典晚期高峰时期的200人/平方公里减少到不到100人/公元900年公里2;到公元1500年，许多流域已被完全废弃（48）。公元580年，在Punta Laguna湖（51）的更高分辨率核心记录中，注意到崩塌前的另一个干旱期（图6）。这个世纪规模的干旱时期与Maya Hiatus在早期/晚期经典玛雅边界，当纪念碑一致施工被短暂缩减（从公元前550年至公元650年）（44,45,48）。

Moche IV-V转型（沿海秘鲁，约1500日历年B.P.）。前哥伦布时期的沿海和高地秘鲁文明提供了对文化与气候变化之间过去联系的独特见解，因为它们

在非常具有挑战性的环境中持续人口密集，复杂的农业文化。秘鲁海岸非常干旱，需要高度依赖灌溉来支持农业，但这些地区在数百年的时间里仍然拥有大量人口。

因其复杂的冶金学而闻名Mochica政体建立了城市中心，并控制了Sechura沙漠南部的整个秘鲁北部海岸线。公元300至500年（早期莫切四世时期）（52）。其中一个地方，莫切的首都遗址，拥有新世界最大的土坯结构，Huaca del Sol（52）。这个巨大的沿海地区及其所服务的城市在公元600年左右突然被遗弃。考古证据显示，在放弃时，主要的灌溉渠道已经被沙丘侵占。随后Moche V文化重新建立在更远的内陆，靠近排出安第斯山麓的高地河流汇合处，在那里径流更加可靠，公元600至750年间.Moche IV-V变换在该地区的范围，规模和速度都是前所未有的（52 ）。

来自Quelccaya冰芯（秘鲁）的区域降水变化的年度分辨率记录牢牢地暗示气候变化是Moche IV-V转型的主要因素（52）。这个冰芯中氧同位素，积累速率和不溶性粒子浓度的变化记录了过去1500年来区域气候的巨大变化，可用于将文化记录置于其中古气候的背景（52,53）。古气候和文化历史的比较表明，公元600年附近的Moche IV-V转化之前是一个⬃30年的区域降水减少时期（公元563年和594年之间的积冰量较低），相当于⬃60年冰中风团颗粒增加的间隔（图7）.Moche IV沿海灌溉渠道的流失匍匐的沙丘和人口迁移到更好的浇灌的高原山谷是对冰芯所表明的增强的区域干旱的一致反应（52）。保尔森（54岁）认可了几个沿海地区高地人口在整个第一和第二个千年发生变化A.D.（图7），注意到秘鲁和厄瓜多尔沿海和高地农业文化的兴衰之间存在普遍的跷跷板关系。正如汤普森等人所讨论的那样。 （53），这些古老的沿海至高地人口变化与Quelccaya冰芯记录中记录的最大冰积累（降水）变化密切相关（图7）。特别是古气候感兴趣的是在公元900和600附近的两个半球（秘鲁和尤卡坦）的热带地区干旱条件的明显同步发生（51）（图6和7）.

Tiwanaku崩溃（玻利维亚 - 秘鲁高原，约。 1000日历年BP）。蒂瓦纳库文化蓬勃发展近1500年（公元前300年至公元1100年），在玻利维亚南部 - 秘鲁高原（海拔4000英尺）的喀喀湖周围的城市和乡村农业环境中（55,56）。通过巧妙地利用凸起的田间种植，促进有效的养分循环利用，并使用灌溉渠道来热量缓冲作物以防止霜冻，蒂瓦纳库能够维持一个估计人口近半个百万的城市综合体 - 狮子人（55）。喀喀湖（Lake Titicaca）的大型城市中心是一个不断扩张的国家社会的首都，最终开辟了延伸到秘鲁沿海沙漠和山麓的地区。

密集定居的蒂瓦纳库（Tiwanaku）城市中心和凸起的田地在公元1100年左右突然被废弃（55,56）。蒂瓦纳库州完全崩溃发生在12至15世纪。 Quelccaya冰芯在的喀喀湖（53）西北方向200公里处钻探，从而提供了宝贵的见解

进入蒂瓦纳库遗弃和崩溃的古气候背景。比瓦纳库文化变化与奎尔卡亚同位素和冰积累记录的比较表明，放弃和越来越干旱的条件（冰积累率越低）之间存在紧密的一致性（图7）。在公元1040年（53年）之后，几个世纪以来比今天显着干燥的条件持续了几个世纪。喀喀湖的沉积岩心记录了此时湖水位下降了10米（56）。有人提出，更多干旱条件的突然发作和多次持续存在会严重影响耕地农业系统的生产力，以及它维持Tiwanaku城市和农村人口膨胀的能力（53,55,56）。

**过去的文化对气候的反应更改**

从长期干旱的这些古老文化反应中可以学到什么？与这些晚全新世社会位错相关的气候扰动在其持续时间和强度上都是极端的，远远超过了现代仪器时期记录的干旱。如图1A所示，年际干旱在给定的一代内发生多次，并且十年代干旱很少发生在多代中。多年到多年的干旱很少见，但仍然是自然气候变化的组成部分。过时和详细的古气候来自气候敏感地点的记录见证了这些多年代到多年干旱的发生和严重程度（图2,4和6）。

对于上面讨论的例子，现有的古气候和考古数据表明，社会崩溃和长期干旱是在各自的约会不确定性中重合。只有巧合不能证明因果关系;实际上，这些文化崩溃中的每一个都曾一度仅仅根据与自然气候变化无关的人为因素来解释，例如战争，人口过剩，森林砍伐和资源枯竭。然而，对古气候和考古证据的联合解释现在强调了持续的长期干旱在阿卡德（37,39,40），玛雅（46-48,50），Mochica（52,53）崩溃中的重要作用。 ）和蒂瓦纳库（53,55,56）文明。这些例子表明，受到前所未有的环境压力的挑战，文化可以通过降低社会复杂性，放弃城市中心，重组供应和生产系统，转向降低维持生计水平（39）。

回顾詹姆斯·赫顿的统一前提，使这些古代事件与现代如此相关的原因是它们同时记录了大型复杂文明对环境变化的复原力和脆弱性。复杂的社会既不是无能为力的典当，也不能无限适应气候变化。与现代文化一样，古人适应并在边缘环境中繁衍生息年际气候变率。与古代文化一样，现代文明（令人遗憾地）根据历史（口头或工具）记录中所知的来衡量其适应未来气候变化的能力。这些古老文化与我们自己的文化的区别在于它们独自拥有目睹了数十年到数百年前所未有的干旱的爆发和持续存在。了解过去对大而持久的气候变化的文化反应的努力可能会有所帮助评估现代社会对变化和不确定未来的准备（57）。