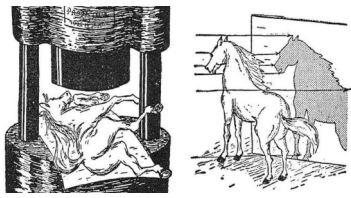


# 四维超空间是什么样子？



“三维世界”的概念，我们早已耳熟能详，但第四维的概念常常蒙着一层惹人疑惑的神秘色彩。作为被长度、高度和宽度所限的生物，我们哪儿来的胆量高谈阔论四维空间？

用尽我们三维头脑的所有智慧，是否有可能想象出四维超空间的样子？

四维的立方体或者球体看起来会是什么样子？

如果你要想象一头尾巴长满鳞片、鼻孔喷出火焰的巨龙，或者一架内设游泳池、机翼上有网球场的奢华飞机，你会在脑海中绘出一幅画面，试图描摹这件物体突然出现在你眼前的时候会是什么模样。

而这幅画的背景自然是正常的三维空间，你熟悉的所有物体，包括你自己在内，都存在于这样的空间里。如果这就是“想象”的确切含义，那么我们似乎不太可能想象出以正常三维空间为背景的四维物体，正如三维物体不可能被挤进平面一样。

但是，等等，从某种意义上说，我们的确能将三维物体压进平面，只要画一幅画就行。

不过在这种情况下，我们借助的当然不是液压机床或者其他什么物理力量，而是一种名为几何“投影”的绘画技巧。要将某件物体（比如说一匹马）压进平面，看看下图，你立即就会明白这两种方式有何区别。

以此类推，现在我们可以说，如果非要讲四维物体“挤入”三维空间，那它难免会有些零件左右支离，但我们的确可以讨论各种四维图形在我们这个三维空间中的投影。不过你必须记住，既然三维物体在二维面上的投影只有两个维度，那么四维超物体在普通三维空

间的投影也必然是三维的。

为了更清楚地理解这一点，首先我们不妨试想一下，生活在二维面上的影子生物该如何理解三维立方体的概念；我们能够轻而易举地想象这一幕，是因为我们生活在“更高级”的三维空间里，所以我们才能从上方，也就是从第三个方向，观察这个二维世界。

要将一个立方体“压进”二维面，唯一的办法就是按照下图所示的方法将它“投射”到这个面上。如果我们的二维朋友看到这个投影，以及旋转立方体得到的其他方向的投影，那么他们至少会对这个名为“三维立方体”的神秘物体形成一些粗浅的理解。

他们当然无法“跳出”自己所在的二维空间，像我们一样亲眼观察这个立方体的模样，但通过二维投影，他们至少会发现，这个立方体拥有8个顶点和12条边。现在看看下面那张图，你会发现自己的处境和那些在二维面上研究三维立方体的可怜的影子生物完全一样。

画面上这惊奇的一家子正在研究的那个复杂的奇怪结构实际上是四维超立方体在普通三维空间内的投影。（更确切地说，你在下面这张图中看到的是四维超立方体在三维空间内的投影在二维纸面上留下的投影。）

仔细研究这个图形，你很容易发现超立方体的一些特性，和上图中那些困惑的影子生物观察到的差不多：三维立方体在平面上的投影表现为两个嵌套正方形，它们的顶点两两相连；而超立方体在三维空间内的投影由两个嵌套立方体组成，顶点同样两两相连。

数一数你就知道，这个超立方体一共有16个顶点，32条边和24个面。看起来真够怪的，对吧？

现在，我们再来看看四维球体是什么样的。要完成这个目标，我们最好换个更熟悉的例子，就是普通球体在二维面上的投影。假设有一个透明的地球仪，上面标出了所有的大洲和大洋，现在我们将它

投影到一面白墙上。

当然，在这幅投影图中，前后两个半球必然重叠，要是只看投影，你没准会觉得美国纽约和中国北京隔得很近。但这是一个错误的印象。

事实上，投影上的每一个点都代表着实际球体上两个相对的点，如果有一架航班从纽约飞往中国，那么你将看到，飞机先是一路朝着平面投影的边缘移动，然后再原路返回。两个不同航班在投影图上的航迹可能重叠，但只要这两架飞机“实际”上位于两个不同的半球，那它们绝不会迎面撞上。

以上就是普通球体二维投影的特性。再发挥一点想象力，我们应该不难揣想四维超球体在三维空间内的投影会是什么样。

三维球体在二维面上的投影是两个点对点重叠的圆盘，它们只通过共同的边缘相连；那么超球体的三维投影必然是两个重叠的球体，只通过共同的表面相连。这个奇特的结构我们在上一章中已经讨论过了，当时我们举这个例子是为了说明类似封闭球面的封闭三维空间。

所以现在，我们只需要补充一句：四维球体的三维投影就是上一章中那个连体婴儿般的“双重苹果”，它由两个果皮完全重叠的苹果组成。

以此类推，我们还可以回答关于四维物体特性的很多问题。只是无论怎么尝试，我们可能都无法“想象”，我们这个物理空间中还有第四个独立的维度。

三维空间中的任意位置都能用前后、左右、上下三个维度来表达。如果我们来到一座陌生的城市，询问酒店前台某家著名公司的位置，那么店员也许会说：“往南走五个街区，然后右转过两个街区，直接上七楼。”

这三个数字通常被称为坐标，事实上，要前往一个确定的目的地，无论起点如何变化，只要有一套能够正确描述新起点与目的地之间方位关系的坐标系，我们总能

找到正确的方向。

而第四个维度难以想象的原因在于，它不受前后、左右、上下这三个维度的控制，在人们的头脑里，它是“空间”（三维世界）之外的奇怪存在。

但只要再想想，你会发现第四个维度其实并不神秘。有一个东西，它不受前后、左右、上午的控制，而且，我们不会把它和“空间”联系在一起。这个东西我们大部分人每天都会用到，它可以被视为、而且实际上就是物理世界中的第四个维度，这个词就是“时间”。

在我们描述周围发生的事件时，时间常常是一个和空间并列的度量。当我们谈到宇宙中发生了什么，无论是你在街上意外邂逅了一位老朋友，还是一颗遥远的恒星发生了爆炸，一般情况下，我们不大会提到事件发生的位置，还会陈述它发生的时间。通过这种方式，我们为三维空间中的事件引入了第四个维度：日期。

进一步思考这个问题，你也很容易发现，每个物理物体都有四个维度，其中三个是空间维度，还有一个是时间维度。你住的房子在长度、宽度、高度和时间这四个维度上延展，它在时间维度上的跨度始于建成之日，终于毁灭那一天——无论是烧毁、拆毁还是因年久失修而倒塌。

确切地说，时间这个维度和空间的三个维度不太一样。时间的跨度（间隔）由钟表来度量，秒针嘀嗒嘀嗒，整点叮咚报时；而测量空间距离的工具是尺子。你可以用同一把尺子测量长度、宽度和高度，但却不能把它变成钟表来测量时间。

除此以外，你可以在空间中向前、向右或者向上移动，然后再返回原地，但时间一路向前，从不回头，你只能被动地从过去来到现在，再去往未来。这是第四个维度和空间的三个维度最不同的地方：它变了就是变了，无法复原。

尽管时间的维度和空间的三维有这么多的不同之处，但我们依

然可以将时间当成第四个维度，用它来描述这个世界上的物理事件，只是不要忘了，时间和空间的确不太一样。

选定了时间作为第四个维度以后，我们会发现，想象本章开头提及的四维图形变得简单多了。比如说，你还记得那个四维立方体的奇怪投影吧？它有16个顶点、32条边和24个面！面对这样的几何怪胎，难怪看到四维立方体的人都一脸惊讶。

但是，现在我们换个角度来看，四维立方体实际上是一个存在于特定时间段内的普通立方体。假设你在5月7日用12根线搭了一个立方体，一个月后再把它拆了，那么现在，立方体的每个顶点都可被视作时间维度上跨度为一个月的点。你可以在立方体的每个顶点上贴一本小小的日历，然后每天翻一页，借此表示时间的流逝。

现在我们可以轻松数出这个四维图形有几条边了。事实上，这个立方体从诞生之初就拥有空间中的12条边，然后在时间维度上它还拥有8个顶点拉出的8条边，最后，在被拆毁的那一天，它在空间中还有12条边。（如果你还是无法理解，不妨想像一个拥有4个顶点和4条边的正方形，如果我们在垂直于这个正方形的方向（第三个维度）上将它移动一段等于其边长的距离，它就会变成一个立方体。）一共32条边。

以此类推，我们也可以数出16个顶点：5月7日有8个空间顶点，6月7日也有8个空间顶点，总计16个顶点。至于这个四维立方体的面应该怎么数，这个问题就留给各位读者自己练习吧。不过请记住，四维立方体的面有一部分是普通三维空间中的面，还有一部分则是“半空间半时间”的，它们的边就是从5月7日延展到6月7日的那几条时间维度上的线。

我们在此介绍的四维立方体的所有特性当然同样适用于其他任何几何图形或物体，无论是死的还是活的。

# 要想阻止气候变化，我们还剩多少时间？

一些政治家和作家已经“缴械投降”，称如今为时已晚，人类文明已经无力完成这一任务。其他人则将这篇报告视为“战斗的号角”，从中解读出了这样的信息：要想阻止气候变化，我们只剩下了12年时间（如今又过去了一年，所以只剩11年了），并且时间正在一分一秒地流逝。

但真实情况要复杂得多，绝非一句标语便能概括。我们无法阻止气候变化，因为它已经发生了，并且许多灾难效应已经为时过晚，来不及阻止。自本世纪以来，情况的确在不断恶化。要想阻止一些灾难性后果，全社会必须尽快行动起来，尽早达成一些里程碑目标。上述政府间气候变化专门委员会的报告发表12年后，就有一个关键的里程碑目标。如果没能达成，人类社会纵然不至于变成电影《疯狂的麦克斯》里那样的末日，但情况绝对会持续恶化，也更难以逆转。

一些科学家担心，如果过度强调2030年这个截止时间，可能会对公众产生误导。但也有专家指出，活动家们的任务与研究不同，需要更直截了当的目标和更简单清晰的思路。

联合国政府间气候变化专门委员会于2018年10月8日发表了上述报告，指出要想在2100年前将全球变暖增值控制在1.5摄氏度以内，需要在2030年前将人类二氧化碳净排放量缩减45%，并在2050年前将净排放量缩减到0。这并不是该机构发表的第一条迫切警告，却是

最引发公众热议的一条，原因可能与媒体的“概括”方式有关。许多知名报纸都用了颇为耸人听闻的标题，如“联合国警告，限制气候变化灾难仅剩12年”等等。

但科学家从来没说过“假如我们不阻止气候变化，世界将在12年后灭亡”这样的话。就连那些常常针对气候变化提出警告的科学家们也不可能这样说。此外，主流活动家们也很少提起“世界末日”的话题，他们的关注点大多在于长期的气候变化，而不是突然发生的气候灾难。但尽管如此，人们似乎还是将2030年当成了一个生死攸关的截止时间。

科学家指出，这种观念过于绝对，并不符合科学事实。就算全球温度相比工业前水平真的增加了1.5℃，世界也不会就此毁灭。并且就算我们到2030年前没能将二氧化碳排放量缩减45%，也不会导致温度增长1.5℃。不过，全球气温到2100年前增长1.5℃的概率倒是会因此升高，21世纪也会发生更多的气候灾害。

几乎所有针对全球变暖的缓解计划都由两个基本部分组成：一是在短期内减少碳排放，二是在长期内逐渐减少大气中的碳含量（如通过植树造林吸收二氧化碳等等）。

一些关注工业和经济增长的人可能不愿意在短期内牺牲经济利益，认为社会迟早能发明出解决气候变化问题的技术。但缩减碳排放每拖延一年，对碳捕捉技术的

要求就越高。我们每耽误一年，地球就会越过更多气候变化的转折点，越来越难走上回头路。

各类气候政策文件中提到了2030年这一目标已经有一段时间了，如《巴黎协定》中就同时提到了2030年和2050年两个目标。研究人员认为这是一个较为合理的时间规划，在减少排放的同时不至于造成难以承受的经济负担，也不会让人类过于依赖未来可能出现的碳捕捉技术。

将控制目标确定在1.5℃以内也是出于类似的原因，为了在“可能性”与“必要性”之间寻求一个平衡点。但就像2030年的时间目标一样，1.5℃也只是科学家设定的一个目标，而非不容辩驳的科学事实。

气温越高，地球面临的风险就越大。气候变化已经对全球造成了广泛影响。2019年的平均气温已经比工业前水平高出了1℃，而等这一数字增加到1.5℃，造成的影响还会更加显著，甚至造成更多无法逆转的严重影响。

但将全球变暖幅度控制在1.5℃以内并不会逆转气候变化。事实上，就算在这种“理想情况”下，各种灾难性影响也会比如今严重得多。

生态学家指出，如果我们抱有“再过12年才会发生重大灾难”这种想法，会导致我们忽视目前正在发生的气候变化后果。事实上，气候变化已经通过疟疾、登革热，以及其它一百多种渠道杀死了成千

上万人。研究显示，随着全球变暖，由蚊子传播的疾病会进一步肆虐。而如今全球变暖的程度已经导致很多人因此无辜丧命了。

因此科学家强调，这并不是“我们能否阻止”的问题，因为它已经发生了。

研究还显示，严重的气候影响正在威胁2019年的全世界食物产量。北美、南美、亚洲和非洲今年均有大片地区温度过高，不适于作物生长。此外，随着海平面上升、污染地下水，孟加拉国和中国的低海拔沿海地区的土壤含盐量也在不断增加，导致大米产量受到威胁。（不过，也有少数地区的气候变得更加适合特定作物生长。）这些因素的总体影响便是食品价格上涨，引发全球动荡。并且从长期来看，如果继续按这种趋势发展下去，部分国家的粮食产量将无法满足国民需求。

对于这种复杂局面，研究人员通常会将对措施分为两大类：缓解和适应。缓解是指阻止气候变化进一步恶化，如减少排放、植树造林等都属于此类。适应则指研究如何应对已经发生的全球变暖，以及未来进一步变暖造成的后果，如在沿海城市修建挡海墙、设置盐沼来阻挡洪水，分析降水量变化、帮助农民更合理地种植农作物，以及开展农作物培育工程、让它们更适应严峻环境等等。

但归根结底，只要全球变暖得到缓解，这些问题的严重性都会随之改善。假如在本世纪末之前将温度增幅控制在1.5℃以内，无论是短期还是长期问题，都比2℃更容易掌控，而2℃又比3℃更容易掌

控，3℃又比4℃好一些……以此类推。无论未来是哪种情况，至少在我们告别人世之前，地球都不至于变成一片毫无生机的荒漠。但温度每升高一度，都无疑会对地球上的生命造成更加严峻的考验。因此抑制全球变暖无论如何都是值得的。

至于由蚊子传播的疾病，我们也有可能阻止它们的肆虐。缓解气候变化将在其中发挥至关重要的作用。假如我们能阻止气候变化，也就能阻止随之产生的许多健康风险。不过这其中还涉及许多细节问题，例如，疾病传播的下降程度要取决于碳排放缓解项目的推广速度，并且不会立即见效，全球各地的效果也会有好坏。

所有科学研究都指向了同一个结论：应对气候变化最好的方法，就是从现在开始减少碳排放。相比于日后再设法将大气中的碳抽离出来，从现在起减少碳排放更容易抑制全球变暖。简而言之，缓解措施做到位，适应措施才能更加有效。因此，前文提到的2030年时间规划虽然不能解决全部问题，但至少能带我们迈出缓解气候变化的第一步。

如今，我们已经能在日常生活中感受到气候变化的影响了。今年全世界都比以往更热，大型风暴发生得更加频繁，疾病传播更加迅猛，森林火灾和洪水也更为常见。因此，设立2030年这一目标其实是为我们提供了一个行动的窗口期，希望在这12年中，全世界能就此采取更多有意义的行动。