

降温的概念

空调在全球变暖时代的备选方案



印度斋浦尔的珍珠学院，有一个下沉式水池，利用了地面的热调节特征，其创意来源于传统的拉贾斯坦建筑。

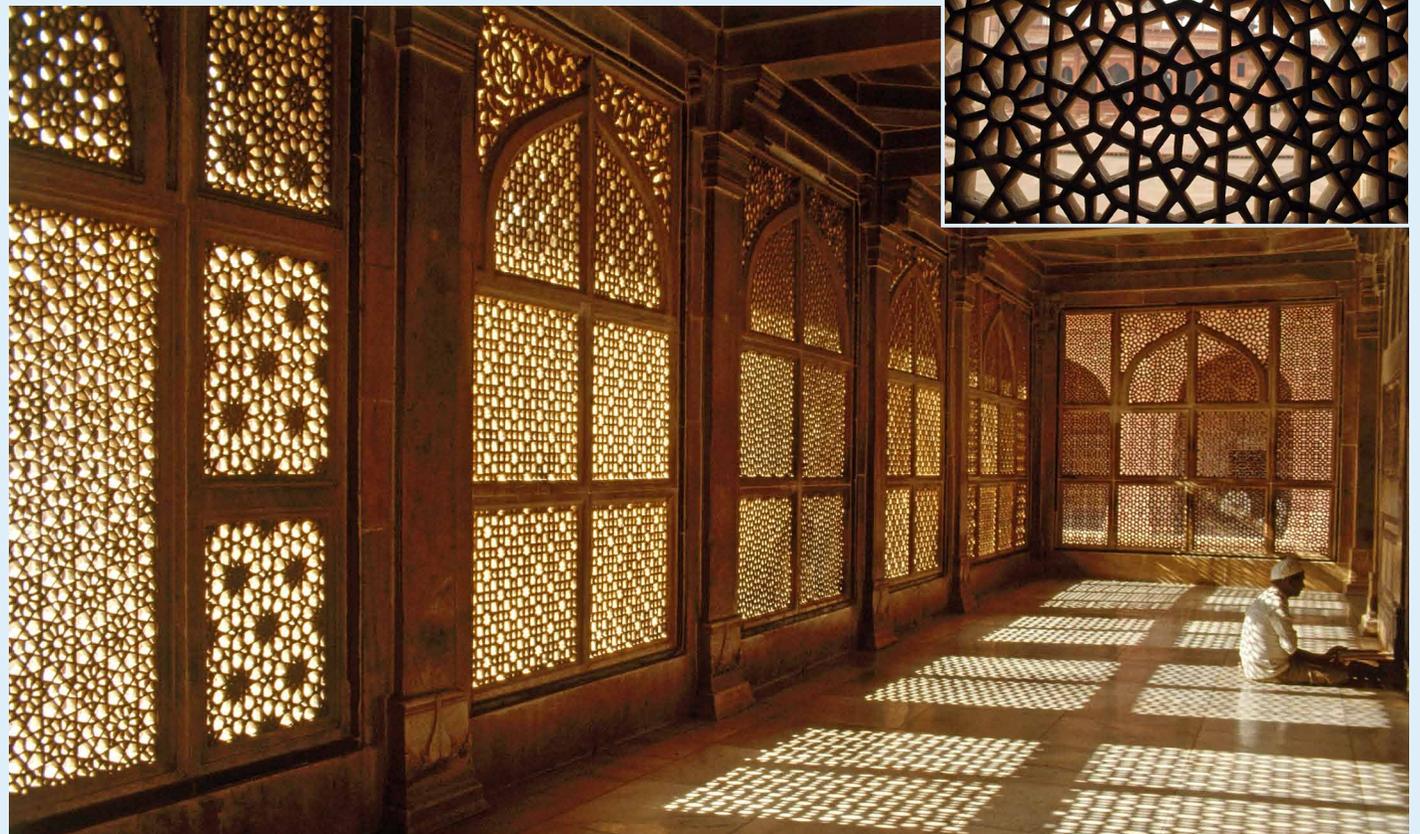
去年夏天，在印度发生的两次大规模持续数日的停电，使得发展中国家所面临的难题凸显出来，空调使用量的增加给脆弱的电网造成了压力。

在印度，弱季风季节会导致一些水电坝的水位低于正常水平，电量供应不足，这是停电的一个原因。此外，可能也与空调需求的逐步上升有关。加利福尼亚大学伯克利分校的哈斯商学院能源研究所所长Catherine Wolfram指出，数据显示在拥有1600万居民的印度新德里，2009年最热和最冷月份之间能源需求的增加量比2000年增加了一倍以上。在2012年的一篇关于这项研究的文章中，她的结论是“空调销售量的巨幅上升是能源需求量显著增加的主要原因。”

世界上最热和发展最快的城市大部分是在发展中国家——世界50大城市中有38个是在发展中国家，而这些城市中最热的30个城市大部分也是在发展中国家。这些国家的中产阶级群体迅速扩大，该群体现在已有能力购买那些发达国家居民早已习以为常的设施，其中空调位于首位。

印度和南亚、东南亚的其他国家空调需求量的增加有望创世界最高记录。在过去3年里，印度的空调销售量估计上涨了17%，其中住宅用户的购买量上升最快。根据密歇根大学的研究教授Michael Sivak的估测，仅孟买这一个城市，其降温的潜在需求就几乎占整个美国降温需求的24%。

这种镂空窗户是一个装饰性的多孔筛，能滤过阳光以减少日照量。这种设计元素在印度和中东的建筑很流行，在16世纪后期建于印度法特普希克里城的Sheikh Salim Chishti 陵墓（顶图）和珍珠学院（下图）也可以同样看到。



阿里格尔穆斯林大学的建筑学教授助理Mohammad Arif Kamal解释说,空调在印度已成为一种礼节需要。“空调已成为一种社会地位的象征,”他说。“人们为了追求现代化,废弃那些用砖、泥、砖坯、木材、竹等建成的老式传统房子,而换成混凝土和玻璃建成的房子,而这需要消耗大量能源”。

另一方面,Cox认为,到2020年中国可能超过美国成为空调用电的最大用户。劳伦斯伯克利国家实验室的研究员Michael A. McNeil观察了全球的空调使用情况,发现在气候温暖的地区,其空调拥有率的增长速度比经济增长更为迅速。他在2008年的一篇文章中说到,1990年中国只有不到1%的家庭拥有空调,但是到2003年空调拥有率已经增长到了62%,如果以中国为例,那么在发展中国家,使用空调将会迅速成为一种普遍现象。

最近,中国国家统计局的数据显示,2011年中国消费者购买空调的情况大致为110台/100户城市家庭、18台/100户农村家庭。Stan Cox是非营利性土地研究所的高级研究员,同时也是2010年出版的*Losing Our Cool*一书的作者,他预测中国将会在2020年超越美国,成为空调用电量最大的国家。根据他“非常粗略”的估计,目前全球使用的空调每年合计消耗约1万亿千瓦时(kWh)的电量,是非洲大陆所有用途总能耗的2倍以上,到2050年可能会增加10倍。此外,他还预测“尽管目前美国消耗的电量约占1万亿千瓦时总耗电量的一半,但是在预计的10倍增长的耗电量中,亚洲将会占绝大部分。”

空调对环境的影响

除了对国家电网造成压力之外,空调还对自然环境和环境健康构成威胁,

是全球气候变暖的主要因素。“对于大多数国家而言,空调用电是能源负荷的主要部分,并且仍在持续增加,”非营利性治理与可持续发展研究所所长Durwood Zaelke说道。“燃烧越多的煤或气体使空调运行,则越多的大气污染物会被排放,包括设备中用作制冷剂的温室气体。”

Cox认为,空调对气候的影响几乎80%来自化石燃料发电厂,剩下的20%来自制冷剂,即在线圈中用来冷却和干燥空气的液体。

这些年来,空调中的制冷剂出现了很多种类。氯氟化碳(CFCs)是破坏臭氧层的主要物质,这一发现在国际上引起了反响,并由此制定了关于消耗臭氧层物质的《蒙特利尔议定书》,于1989年生效,最终在1996年停止了氯氟化碳的生产。氢氟化碳(HCFCs)可减少臭氧的消耗,仅在公司研发更好的冷却剂时,作为一种过渡的氟碳化合物取代氯氟化碳。如今,这些替代品正被淘汰,由氢氟碳化合物(HFCs)所取代。

HFCs因为缺乏氯原子,所以不会破坏臭氧层。然而,HFCs很可能是一种严重影响全球变暖的超级温室气体,这在《蒙特利尔议定书》中未曾提及。因此,在努力解决某个环境问题的同时很可能恶化了另一个问题。

《蒙特利尔议定书》的技术与经济评估小组(TEAP)副主席Stephen O. Andersen说,研发新型制冷剂是现在所面临的挑战。他说,制冷剂类的丙烷,作为一种很有前景的替代品,能够有效利用能源,并最大程度减少对气候的影响。但是丙烷动力型空调与传统的窗式空调不同,它需要由受过训练的人员进行安装,而且由于传统空调销售量持续

快速上升,世界上对HFCs监管不一致,使得丙烷动力型空调缺乏市场竞争力。

Zaelke介绍道,HFCs虽然不是臭氧消耗物,但《蒙特利尔议定书》引起了HFCs排放量的增加,所以签署国已经开始着手解决HFCs问题。密克罗尼西亚联邦担心海平面上升,去年呼吁要逐步减少这些化学物的生产和使用。美国、加拿大和墨西哥同样也呼吁要正式修订协议,逐步减少HFCs。197个签署国中有110余个国家表示支持。显然,接下来的工作重点将会是促进新型制冷剂的研发。此外,欧盟委员会在2012年11月提出了一项措施,要减少欧洲国家HFCs的排放。但是,2012年11月《蒙特利尔议定书》缔约方在日内瓦举行会议时,少数国家阻碍了协议的修订。

与此同时,工程师正在制造更高效的空调系统,以减少对电力供应的压力。多年来,日本政府已推行了多项措施以降低电力需求,其中包括领跑者项目(Top Runner Program)。该项目通过评定效能最高的产品,建立其他制造商必须符合的新基准性能水平,设定了包括空调在内的电器产品的能效标准。

人们不断追求能源效率是因为其可以提供很多好处,但Zaelke和Cox注意到,空调工作效率的提高对减少全球变暖的影响可能比人们预期的要小。“这是一种反弹效应,”Zaelke说。“当效率提高了50%,那么人们会说,‘我只用了原来电量的一半,那么现在我可以更多。’”

Cox提供了数据来支持这个说法,他说1993到2005年,美国家用空调的总效率增加了28%,这是“非常明显”的。但在同期的12年内,美国空调使用家庭所消耗的能量增长了37%。

对传统技术的呼吁

目前缺乏严格的监管制度，全球的空调使用量肯定会持续增加，但一些观察人员认为，意识到空调对环境的影响，至少会使建筑师和工程师设计降温的方式得到改变。事实上，许多待建的和现有的建筑物都采用各种新老技术以实现舒适的室内温度，而不依赖空调的使用。

加州州立理工大学波莫纳分校建筑系教授Pablo LaRoche同时也在洛杉矶HMC建筑公司任职，他认为，被动冷却系统是解决温度管理的有效方法。这个系统可以通过建筑物本身的特殊细节设计，将建筑物的热量传递给任意组合的外部散热系统如空气、水、地表等。他解释说，通过一些途径，将建筑物内部的热量带到室外，使得建筑物本身就成为了一个空气调节系统，而且很少或根本不需使用能量。

LaRoche指出不同种类的被动冷却系统在不同气候条件下可以更好地工作。他说，例如在较干燥环境下，蒸发冷却系统（增加空气湿度）则能更好地工作，而夜间冲洗系统（利用夜间冷空气对房屋进行通风，并冷却自身的热质量）更适合昼夜温差很大的地方。

Kamal说，被动下沉式蒸发冷却法（PDEC）喷洒微小水滴进入空气中，这一概念借鉴于巴基斯坦、伊朗、土耳其和埃及的传统建筑。这些传统建筑顶部装有捕风罩（*malqafs*），使空气顺着烟囱向下，经过水源如游泳池、喷泉、多孔渗水盆等而被冷却。当代的PDEC建筑同样也有捕风设备，但用湿纤维垫或类似设备替换了蓄水盆。Kamal说印度艾哈迈达巴德洪流研究中心就是PDEC在当代应用的很好例子。该中心于1999年建成，有

报道称其可为居住者提供舒适的条件，并且能源消耗非常之低。

另一个例子是印度斋浦尔的珀尔学院，它是一座使用水和传统设计来冷却空气的热气候建筑。建筑师Manit Rastogi解释说，该建筑包括一个功能类似地下室的下沉式庭院，与地面空气相比，具有冬暖夏凉的特点；在建筑物下流动的微风生成蒸发冷却气流，推动空气上升并通过中庭和开放的楼梯井。

包绕在建筑物外部的网格状筛（*jaali*）是拉贾斯坦建筑物的传统特征，具有热缓冲功能（这并不是真正的被动冷却，而是一种避免过热的方法）。尽管建筑物位于炎热的沙漠气候地区，但Rastogi说即便室外温度达到110°F，室内温度仍可保持在80~85°F，而且一年中只有2个月需使用最小型的机械空调。

米克皮尔斯东门中心是位于津巴布韦哈拉雷市的一个购物中心，这是最特别、最有创意的建筑实例之一。该建筑使用了传统技术，其创意来源于1992年英国广播公司自然学家David Attenborough主持的关于白蚁的电视节目。白蚁对地面和土丘热容量的利用及其通风隧道迷宫使Pearce感到震惊。他说，“在地面上我们所看到的白蚁丘，其实是一个呼吸和空气调节系统，类似于人类的肺。”

东门中心温度的控制依赖于夜间冲洗：夜间冷空气通过存在于建筑物厚重的混凝土和砌体结构中的大量空气通道，使白天吸热的混凝土拱形天花板降温。每天累计的热量在晚上通过这些通道排出，部分是通过贯穿建筑物中心的48根巨柱中的抽风机或对流设备而排出。

Pearce说他花了大约3年时间才找到昼夜抽风的最优时间，使其能与白天温度的改变相适应。他说，“这就像是在调

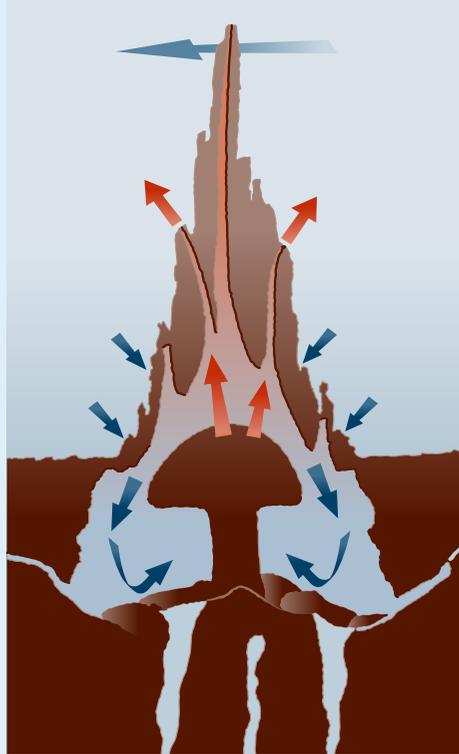
试教堂中的风琴一样，其中建筑物共振是非常重要的。建筑物的使用是另一个因素，就像白蚁窝一样，居住者的热量[输出]对于整个热循环而言也是至关重要的。”Pearce认为东门仅使用了哈拉雷同规模的空调建筑能耗的10%。

另一个降温替代方案在多伦多已经实施了8年，即“深度水源冷却”系统，系统中的冷水是从安大略湖5千米深处泵上来，并通过金属线圈，进入办公楼。抽风机将线圈中的冷空气吹入建筑物的气候控制系统，可以减少其能量需求。尽管它大多数是用于比较寒冷的地区里，但在较为温暖的地方也有使用。一个同样使用了该项技术的项目将会在火奴鲁鲁动工，用的将是海水。

小规模改动

除了这些大量证明了机械空调能够被淘汰或减少使用的实例之外，专家说还可通过很多更小的方法，使工作场所和住房在炎热天气时变得舒适而无需使用空调。

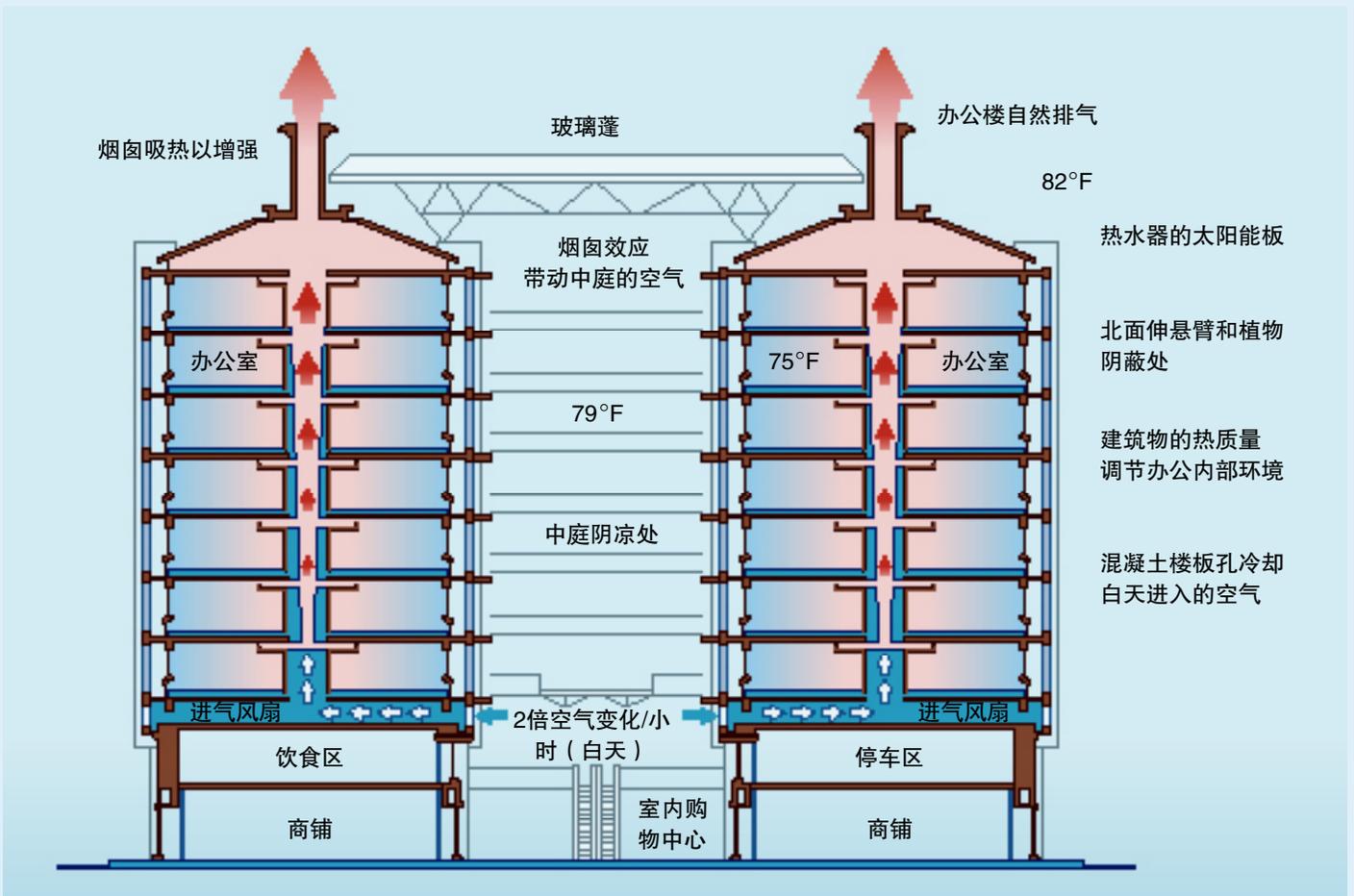
麻省理工学院建筑技术和机械工程系教授Leon Glicksman指出，吊扇作为一种额外的降温方法，与空调相比要便宜很多。通过使用外部百叶窗和遮阳篷而避免建筑物过热，这样可以降低办公楼和住房吸收的太阳能。他说可以把屋顶漆成白色以反射热量。Glicksman也在开发设计实现自然通风的项目，在春天和秋天使用交叉通风和用作烟囱的垂直管，可以增强建筑物通风，减少空调的使用。其他经过时间验证，使人们保持凉爽又省钱节能的方法包括：安装窗口遮阳棚，外部卷式遮光帘阻挡阳光直射房屋，使用绝缘设施，安装屋顶通风口以减少阁楼的吸热，在白天关闭门窗以



隔热，而在晚上打开门窗，安装吊扇，减少发热电器的使用。

然而，许多现有建筑的设计并不与之适应，这是在工作场所应用可替代的降温技术时所遇到的问题。为了降低电力需求，日本政府规定办公楼的空调温度设置不得低于82°F。2011年3月福岛第一核电站事故之后，节约能源变得更为紧迫，日本政府组织了一个“超清爽

哈拉雷东门中心的抽风和通风设施用来排出建筑复合体（下方）的蓄积热，其设计灵感来源于白蚁丘（左侧近端）的通风道和烟囱。夜间冷空气将建筑物白天吸热的砌体冷却。点缀着绿色植物的锯齿状混凝土面板在白天吸收的热量最少，而在夜间却释放最多的热量（左侧远端）。



Photograph © David Brazier. Illustrations by Daniel Gallant/Foundry Zero. Adapted from artwork courtesy of Mick Pearce.



印度艾哈迈达巴德的洪流研究中心使用了捕风引入塔，吸入的空气在通过细水雾后被冷却。冷却的空气通过一个开放的中央走廊，在各个层面被卷入工作区。复合体四周的排气塔在夜间排放热气。

商务装”活动，鼓励大家抛开夹克衫、领带的着装规定，穿上清爽的衣服。Glicksman说对于办公环境而言，82°F可能会比较热，若考虑到工作环境的特性，研究结果则显示出一种适应效应。也就是说，在一个建筑物里，如果空气循环或员工可以开窗控制所处的环境，则其可容忍温度的上限比在受空调控制的“密闭环境”中的要高。

事实上，不同文化间对空调的接受程度有很大差异。加拿大瑞尔森大学室内设计系副教授Lloyd Alter说，空调在法国家庭是非常罕见的，同样，在西班牙家庭也不是很常见。“在法国，他们认为使用空调会让人生病，”他解释道。“在西班牙，人们习惯在室外活动，并充分利用室外环境：‘我们晚上10点才出去吃晚餐，中午通常吃的很简单。’”

展望未来

Zaelke认为，未来政府将会在制定生产标准方面发挥更大作用，就像日本

的领跑者计划；减免税收以刺激技术改革；综合分类项目如美国绿色建筑委员会开展的LEED（能源和环境设计引领项目，Leadership in Energy and Environmental Design）评级系统，解决空调超出联邦能源之星能效评级范围的问题。他认为在空调出现之前所流行的设计思维是解决的方法之一。“在能源变得廉价之前，我们曾很用心地设计建筑物，”他说。“例如，我们以前选址的地方，夏天通常有能提供阴凉落叶树和挡风的常青树。”

Pearce称空调让建筑师变得懒惰。“空调允许他们完全不需考虑自然环境，而是在形式概念的基础上去设计建筑物，”他说。“建筑师应该基于建筑物的地理位置，对自然环境进行科学理解而设计模型，而不是设计一些纯粹异想天开的雕塑模型。”

LaRoche认为设计建筑时必须追求对环境影响的最小化，并想方设法结合可替代的降温法让人们保持凉爽。他说洛杉矶加利福尼亚大学开发的免费软件

HEED（家庭节能设计）是一个很好的住宅用能源设计工具，而且每个人都能使用。“类似这样的工具可以帮助房主或设计者建造低能耗建筑，”他说。

LaRoche说，最终，建筑学的教育是改变的关键所在：“如果新的建筑师没有经过低碳、低能耗的建筑设计思维的训练，那一切都将徒劳无功。新学生必须接受这两年出现的新软件和工具的培训。”他补充道，“每当我们在建筑物中用被动冷却法代替机械冷却法时，我们就在拯救地球。这当然也能省钱，而且我们的建筑与周围的环境能更自然地融为一体。”

Richard Dahl，波士顿自由撰稿人。自1995年起为EHP撰稿。他还定期为麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology）撰写文章。

译自EHP 121(1):A18-A25 (2013)
翻译：张蕴晖

★本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a18>

阳光下没有新鲜事

仿生学研究从大自然中得到启示和指引而促进新技术的开发。蒙大拿州的米苏拉非盈利性仿生3.8研究所最近创办的学生设计挑战杯，是以气候改变为主题，大量降温设计的创新灵感来自大自然。第一名获奖者是伊朗伊斯法罕艺术大学的一组学生，他们受沙漠蜗牛和其外壳自然降温的启发，设计了一个热天建筑物。第二名是拉脱维亚大学的一个团队，模仿花和气孔随着阳光而开关的特点设计了一个遮阳系统。

其他源于大自然的降温设计包括：

- 梧桐吊扇。由两位澳大利亚工业设计师所设计，美国梧桐吊扇是单叶风扇，灵感来源于梧桐树豆荚的飘落。设计者说浆叶一端比另一端更大的设计使空气流动更加有效。
- COMOLEVI林冠。Lofsee股份有限公司设计了一种人工遮阳篷，模仿了大自然中的树枝和树叶。它的优点：让人们凉爽的同时也享受斑驳舒适的阳光。
- 外观自调控系统。纽约设计公司 Decker Yeadon 受生物系统的肌肉和内稳态的启发，为大型建筑物设计了双层玻璃系统。外观设计得像一个有漩涡的窗户，根据室内温度自动开关以允许阳光的进入与否。



与传统吊扇相比，创意来源于“直升机”的桨叶设计，据报道可以使梧桐吊扇以更低的运行速度产生更大的风量。

外观自调控系统原型包括电场活化聚合物中的弹性缆心绕包层花体。高弹体随着环境指标如温度而相应地扩展和收缩，改变核心的形状，让更多或更少的光进入。

