

# 砖是“月壤砖”，房是“月壶尊”

## 月球上盖房子，这事儿越来越有眉目了



在月球上建房子，要有什么材料？目前我国科研团队已用模拟月壤烧制出了“月壤砖”，近日，“月壤砖”将搭乘“天舟八号”货运飞船飞向中国空间站，到太空去做暴露实验。有了“月壤砖”，又该如何在月球建房子？未来月球基地上的房子会是啥模样？

主笔：于梅君

### 1 榫卯结构的“月壤砖”是如何炼成的

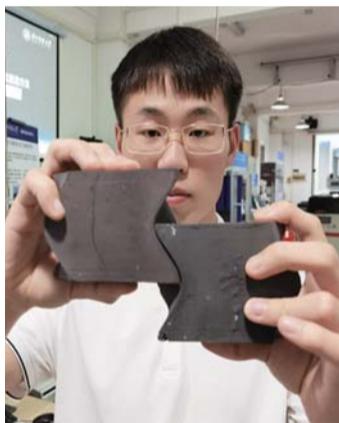
日常建筑用砖一般有红砖、青砖以及混凝土砖，但你听说过“月壤砖”吗？“月壤砖”需要经受怎样的考验，才能肩负起月球盖房子的重任？

月球月昼温度能超过180℃，月夜温度又能降到-190℃，想要盖房子，首先要接受温度剧烈变化的挑战。因为没有大气保护，大量宇宙辐射和许多微陨石会撞击月球表面，同时还有频率较高的月震，这些都会对月面建筑材料的力学性能、热学性能和抗辐射性能提出苛刻要求。

国家数字建造技术创新中心、华中科技大学教授周诚介绍，“月壤砖”呈榫卯结构，密度与普通砖块相当，抗压强度却是普通红砖、混凝土砖的三倍左右，相当于每平方米能承受1吨多重量。未来的月球基地，可能采用这样的结构进行拼装建造。

榫卯结构的设计原理，源于中国古代的建筑技艺，依靠精密的几何吻合，不需要金属连接件，就能保证建筑物的整体稳定性和抗震性能，在地震多发的复杂环境下优势明显。

如何用月壤烧制月壤砖？中国工程院院士、华中科技大学教授丁烈云表示，月壤里含有多种矿物，它们的熔点不一样，需要确定一个最佳的烧制温度段，使得“月壤砖”能达到建筑材料所



榫卯结构的月壤砖

需的强度，“目前，我们可以把月壤砖烧到100兆帕的强度，这个强度比混凝土还要坚硬得多。”

目前，人类还无法直接到月球上烧制“月壤砖”。所以，科研人员采用了真空烧制的方式——模拟月球的真空环境，将装有月壤粉末的石墨模具，整体置于真空热压炉内进行烧制。烧制一炉模拟月壤砖，大概需要24小时。

“月壤砖”是以100%原位成型的工艺方法制造的，也就是说，将来建设月球科研站时，可在月球上就地取材，直接利用月壤、太阳能、矿产等月面原位资源盖房子，不用再从地球上运输，这样能极大降低月面建造成本，为未来太空探索提供绿色、低碳的解决方案。

### 2 “月壤砖”为啥要先到空间站逛一圈

为验证“月壤砖”的性能，近日，“月壤砖”样品要搭乘“天舟八号”货运飞船前往中国空间站。在完成太空实验后，第一块“月壤砖”预计将于2025年年底返回地球。

“月壤砖”的太空之旅，有三大关键性能要验证，一是“月壤砖”的力学性能，太空环境下，检验样品的力学性能会不会退化十分关键；二是验证“月壤砖”热学性能的变化；三是验证辐射作用对“月壤砖”的影响，因为月球是真空环境，存在大量宇宙辐射，“月壤砖”能否经受住宇宙辐射的作用，也非常值得检验。

为充分利用太空实测的珍贵机会，研究团队将带到中国空间站的“月壤砖”设计为柱状和片状两种形态：柱状“月壤砖”主要用于力学测试；暴露面积较大的片状“月壤砖”，则用于热学和辐射效应测试。

除了形态不同，这些“月壤砖”还使用了5种不同的模拟月壤成分、3种不同的烧制工艺，为后续月球基地的建设，提供更准确的科研数据。这些模拟“月壤砖”在太空暴露实验后，将为未来月面建设积累科研数据，从而优化实际方案。

### 3 “月亮屋”起名“月壶尊”，像个大蛋壳

月球基地及其配套设施，将成为支撑深空可持续探测活动的关键基石。可月球那么大，“房子”盖在哪儿？怎么盖？

在华中科技大学的国家数字建造技术创新中心，实验室的一个沙盘，模拟了未来月球基地的场景。一个像鸡蛋壳一样圆弧结构的建筑，就是科研人员设计的“月亮屋”雏形，它有一个生动的名字叫“月壶尊”。

作为建筑物，“月壶尊”里面并没有承重的“四梁八柱”，蛋壳顶端是穹顶结构，蛋壳体分内外两层，中间夹一层类似于肋骨的结构，以增强稳定性。

华中科技大学教授周诚介绍，这款“月壶尊”属于缩小版，它真实的长宽均为3米，类似于一个圆形结构的房子，房间分成上下两层，分成工作区和休息区。

这个大胆构想，是中国工程院院士、华中科技大学教授丁烈云团队提出的。“月面基地不可能从地

球上携带建筑材料去建造，这样的话建筑成本会极高。”丁烈云将“月壶尊”定位为“原位建造”，即建造材料主要来源于月球。

月球表面昼夜温差很大，“建筑样式应充分考虑保温隔热。”周诚表示，在月面建什么样的建筑，他们一直在进行各种尝试。2021年底，外形像竖立鸡蛋壳的“月壶尊”，成为月面基地建筑物的定型样式，既体现了中国元素又有科技感。

周诚介绍，月表地震频繁，鸡蛋壳一样的壳体结构，可以抗击小地震，保持更好的稳定性，同时，投放进蛋壳内的气囊可以自动展开，具有很好的保温隔热性能，可以形成真正的居住空间，“我们希望使用的材料越少越好，这样它的自重就比较轻，同时还要进一步提高它的强度。”

周诚表示，中国的探月工程表明，月球南极可能有连续光照的区域，可作为月球基地的理想选址。

### 4 “月蜘蛛”机器人，将用于基地建造

砖有了，“月亮屋”雏形也有了，谁来盖房子？用人力显然无法实现，只能靠自动化机器设备。

去年在武汉举行的首届地外建造学术研讨会上，众多专家学者围绕“如何在月亮上盖房子”展开热议。中国工程院院士、华中科技大学教授丁烈云描绘了月球上造房子的图景：“月壶尊”既可以在月球上采用3D打印施工，也可以利用月表机器人，对“月壤砖”进行拼装施工。

丁烈云介绍，2015年，他从建筑3D打印中获得启发，开始带领团队从事月面基地建造研究。他们借鉴中国传统砌筑和榫卯连接方式，将中国传统制砖砌筑的建造方法，与3D打印建造方法相结合，利用月壤烧出带有榫卯结构的月壤砖，再用机器人砌筑，像搭“乐高”一样在月球上盖房子。这种方式不仅可以搭建出较大尺寸的月面建筑结构，而且能耗和造价更低。

“将一瓶矿泉水重量的材料运到月球，可能花费20万美元。”丁烈云表示，高昂的成本也意味着，地外建造所需的钢筋、混凝土、水等材料，不可能都从地球上“外带”，只有尽可能利用天然月壤材料进行原位建造。

丁烈云透露，团队正在参与研发“月蜘蛛”机器人，未来将用于月球基地建造。“月蜘蛛”属于3D打印机器人，远看像蜘蛛，上部分是混联机械臂，下部分是多

足平台。“月蜘蛛”机器人有6只“脚”，平台上安装有机“手臂”，“手臂”能360度旋转，水平、竖向作业空间可达6米，“手臂”前端可更换不同的工具，完成挖、钻、振、捣等任务，施工时机械臂也可以换成3D打印机。

丁烈云介绍，未来由运载火箭发射升空的“月蜘蛛”，能快速找到适合的地点精准着陆。确定建造位置后，“月蜘蛛”将先开挖一个环形圈，然后在圈内打印出工作站的地基，接着利用原位月壤3D打印建筑墙体、放入可扩展气囊、喷涂防护等，建造的蛋壳建筑内有两层，上层为生活区，下层为工作区。

按照专家预测，2028年左右，“中国超级泥瓦匠”——也就是“月蜘蛛”机器人，有可能登陆月球，开始制作第一块真正的月球砖。未来，一座座由“月壤砖”搭成的建筑，将在月球上拔地而起。

“月面基地建设工程化是一个长远目标。”丁烈云介绍，目前还有一系列问题要解决，比方说打印好“月壶尊”以后，里面充气设施如何工作、“月壶尊”的具体选址等问题，都需要一个个解决。

“目前我们所做的就是从0到1的探索，通过进一步月球勘探，说不定未来还会采用更新的技术路径来建造月球基地。”丁烈云表示，月球基地建造的研究，还可以催生新的技术和业态，如3D打印建造、机器人砌筑等。

知多一点

一个国际团队最近在英国《自然·天文学》杂志发表研究成果说，他们在月球静海区域发现了一处熔岩管洞穴，这处洞穴及其他类似洞穴，或可为宇航员提供天然庇护。

由意大利特伦托大学学者领衔的团队，分析了美国航天局探测器获取的月球观测数据，发现在月球静海区域表面下，存在一处熔岩管洞穴，距“阿波罗11号”飞船的落月点约400公里。研究人员估计，整个洞穴至少宽40米，长几十米，并且有入口。

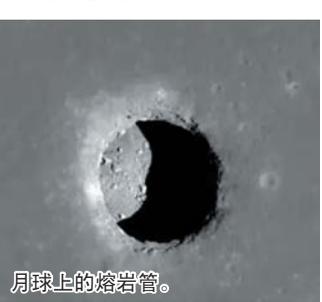
熔岩管洞穴是一种特殊的洞穴类型，是熔岩在流动并凝固过程中形成的中空管道。越来越多证据表明，月球表面下方存在着错综复杂的隧道网络——熔岩管。

光是月球表面，人类就发现了200多个被称为“天窗”的熔岩管塌陷坑。如果能通过“天窗”进入熔岩管的其余部分，或许有幸找到大型地下洞穴，那里的环境可能比月球表面更温暖，住在里面可免受有害宇宙射线、太阳辐射和微陨石的伤害。

由于熔岩管内为永久阴影区，而且地势低洼，内部很可能有月球上的水冰。一旦真能够发现大量水冰，将为人类在月球的生产生活提供充分保障。

研究人员介绍，未来这类洞穴有潜力发挥天然庇护所的作用，可能只需进行洞穴墙体加固或搭建一些设施，就能帮助宇航员抵御宇宙射线和太阳辐射，这比在月球上修建全新的庇护基地显然简单很多。

## 月球洞穴，或可为宇航员提供天然庇护



月球上的熔岩管。