



# 作坊式砖窑的 现代化之路 全球之需

阿富汗喀布尔市 (Kabul)，工人把木柴劈碎作为砖窑燃料。仅有的几个关于砖窑工人健康的研究结果显示出肌肉骨骼效应以及与其它多烟多尘工作场所类似的健康效应。

© Shah Marai/AFP/Getty Images

# 秘

鲁东南部的库斯科市（Cusco）是联合国教科文组织确认的世界文化遗产，附近的

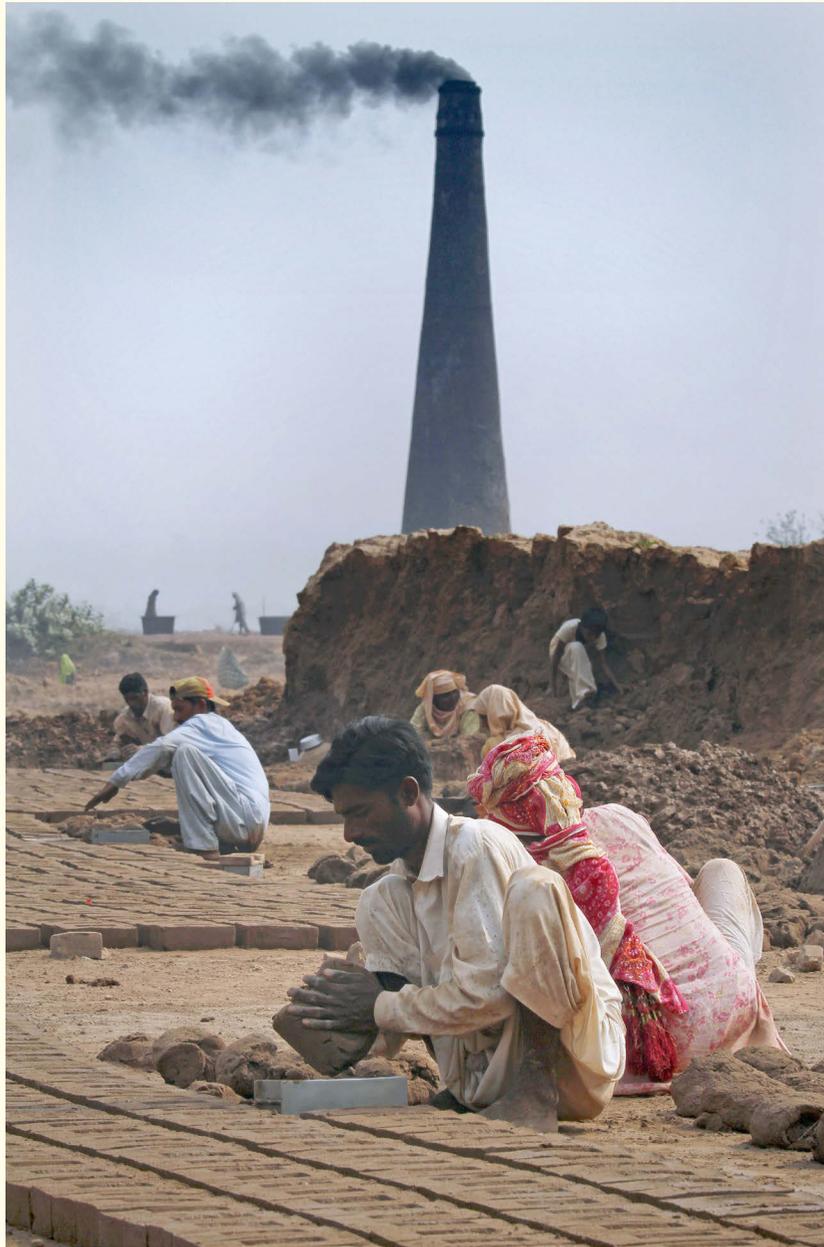
能会持续恶化。

由世界银行、联合国与其他组织协同成立的一些小规模及跨国发展集团，现在正把注意力转移到这个重要却未受

EELA），其宗旨是将秘鲁、阿根廷、巴西、玻利维亚、厄瓜多尔、哥伦比亚、尼加拉瓜、洪都拉斯以及墨西哥的作坊式制砖业逐步现代化。

印加遗址吸引了大量游客。然而，那里的居民以及到访库斯科市的人都不得不忍受其严重的空气污染。卡车与公共汽车喷出一团团的柴油废气，市郊数百家个体经营的作坊式砖窑上方腾起黑色的烟柱。库斯科市附近的制砖商使用的传统砖窑以烧煤为主，长期以来也焚烧塑料垃圾、废机油以及废旧轮胎。“这导致了严重的空气质量问题，”在利马市（Lima）工作的瑞士籍发展专家Jon Bickel说道。

在秘鲁以及其他低收入国家，大部分砖是在作坊式砖窑中烧制的，导致产生了大量的温室气体和其它污染物，不仅对制砖工人的健康构成威胁，而且也危害到周围社区甚至更远的地区。来自华盛顿特区的世



巴基斯坦伊斯兰堡（Islamabad）郊区，一家人在固式烟囱布氏壕沟窑旁一起准备砖块。在“债务奴役”这种根深蒂固的南亚习俗约束下，人们需要在砖窑工作数年以偿还业主的贷款。© AP Photo/Anjum Naveed

重视的工业部门。负责拉丁美洲项目的Bickel领导着一个瑞士资助的“作坊式砖窑能源效率机构”（西班牙文简称为

Bickel说作坊式砖窑能源效率机构的长远目标是将砖窑排放减少30%~50%。但是实现这个目标并不容易。在整个拉丁美洲与其他发展中国家，作坊式砖窑经营者形成了一个非正式行业，他们很少缴税而且大多没有经营许可证，所以往往无法获得购买清洁技术所需的信贷和资金。很多经营者甚至没有电力（新型机械化生产需要电力），没有实施现代化所需的道路与其他基础设施。还有的经营者不愿意改变古老的制造工艺。

Li指出，实现砖窑现代化最终可以带来效益回报。作坊式砖窑不仅导致环境健康问题，而且这些生产过程雇佣“穷人中的穷人，很多情况下包括妇女和儿童，”Li说道，

“因此我们通过推广更高效的砖窑及生产工艺，可以同时解决相关的发展问题比如贫困、童工及妇女问题。”

### 现代化制砖与作坊式制砖

位于波士顿的非营利机构“清洁空气工作组”(Clean Air Task Force)的资深科学家Ellen Baum指出,全世界每年生产大约15亿块砖,中国以7~8亿块砖的年产量位居全球第一。但是Li指出中国的制砖业正在逐步普及现代化技术,这些现代化砖窑比印度及拉丁美洲的作坊式砖窑排放要低。印度砖产量全球第二(作坊式制砖位居第一),而拉丁美洲的制砖商则往往使用最原始且污染最严重的砖窑。

中国和发达国家的现代化砖窑使用自动压砖机,生产线上的砖块就像制造香肠那样源源不断地从机器中输送出来。而作坊式砖窑则是手工制砖,工人把表土、辅料、其它原料及

水混在一起做成一种黏稠的泥状物,压入模具后晒干。最后把这些晒干的所谓“青砖”放入砖窑中烧制,然后堆放在托板上以备运输。

位于弗吉尼亚州雷斯顿市(Reston)的砖业协会(The Brick Industry Association)的总裁兼首席执行官Greg Borchelt指出,在美国一个配备污染控制设施的自动化砖厂,只需20~30名员工每年就可以生产3000万到一亿块砖。但是在孟加拉国,一个典型的作坊式砖窑需要150名员工,一年却只能生产400万块砖。Bickel说拉丁美洲的砖

窑规模往往比其亚洲同行小很多,而且大多是家庭式经营,根据需求批量生产。

对该行业仅有的几个健康研究表明,呼吸系统疾病以及其他一些问题如肌肉骨骼应激与砖窑作业有关。



上图:印度阿姆利则市(Amritsar)附近的一个砖窑旁,一名工人把干牛粪浸入煤油汽油的混合液,这种混合物可以用来点燃窑火。下图:孟加拉国达卡市(Dhaka),一个男孩正在运送一个废弃轮胎。废旧轮胎以及其它垃圾长久以来被广泛用作砖窑燃料,不过一些窑主现在已经开始使用更清洁的燃料。© Andrew Biraj/Reuters/Corbis

加德满都医学院的一项研究发现，居住在尼泊尔巴克塔普尔区（Bhaktapur District, Nepal）砖窑附近的儿童与住在远离砖窑地区的儿童相比，更容易罹患上呼吸道感染，包括扁桃体炎与咽痛。巴基斯坦卡拉奇市阿迦汗大学（Aga Khan University）的一项研究发现，男性砖窑工人的慢性咳嗽、咳痰、气短、喘息、支气管炎及哮喘的发生率都比较高，无论吸烟与否。作者指出这些研究结果与其它多烟多尘工作场所进行的健康影响研究的结果大致类似。

位于华盛顿特区的一个人权组织“国际正义使命”（International Justice Mission）的研究人员在南亚的作坊式制砖业发现了大量“债务奴役”现象。在这种“债务奴役”的约束下，砖窑工人及其家属艰辛工作多

年，以期偿还窑主的贷款，结果可能是徒劳一场。Bickel表示他还没有在拉丁美洲制砖业发现债务奴役的证据，但是这些国家的砖窑一般为家庭式经营，所以存在使用童工的情况。

### 最低排放数据

制砖行业空气污染排放的特点不太明晰，可能包括硫氧化物、二氧化氮、一氧化碳，二氧化碳、颗粒物形式（PM）包括黑碳，还有煤与其它燃料燃烧产生的化合物。Baum解释说污染排放随窑型及燃料的差异而有所不同，所以很难计算出能够代表整个作坊式制砖业的平均排放值。

由于这些砖窑是无照经营，业主们不在当地市政府登记，所以调查人员通常无法依靠官方数据来估计某地区的砖窑数量。Bickel说作坊式砖窑能

源效率机构于2010年成立时，无论是政府还是地方部门都无法提供其辖区内砖窑的准确数量，“他们说库斯科市有3~5个砖窑，但那只是经过正式注册的企业。我们只有挨家挨户地计数，结果发现砖窑的实际数量接近300。

作坊式砖窑能源效率机构一直在计算库斯科市制砖业的污染排放，发现其排放量与其它污染源相比排名较低。但是库斯科市砖窑的粗颗粒物（PM<sub>10</sub>）排放总量超过了1000公吨，仅次于车辆排放而位居第二——秘鲁的交通运输业是以柴油卡车以及没有排放控制设备的车辆为主，是迄今为止全国最大的颗粒物排放源。颗粒物污染是一个重要的健康威胁，可以增加罹患心血管及肺部疾病的风险。

在世界上其他一些地区，砖窑排放的颗粒物则多于运输业。据估计，



也门萨那市（Sana'a），工人在作坊式砖窑内摆放青砖。污染排放因窑型及燃料的差异而有所不同，所以很难计算可以代表整个作坊式制砖业的平均排放值。© Reuters/Mohamed al-Sayaghi

孟加拉国首都达卡市（Dhaka）附近大约530个砖窑排放的粗颗粒物和细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>），每年造成750人患呼吸系统疾病而过早死亡，占达卡居民每年死于空气污染人数的20%。在干燥季节，砖窑产生的细颗粒物占全市排放总量的38%。“它们是头号污染源，甚至超过了交通运输业，”世界银行的Li说道。

砖窑现代化旨在限制其粗颗粒物的排放以改善公共健康，同时也试图限制其它重要的气候污染物如二氧化碳及黑碳颗粒的排放。黑碳颗粒可以吸收太阳短波辐射然后再释放热量，使大气层变暖。有时候它们会沉积在浮冰上，导致冰面颜色加深因而融化速度加快。有证据表明黑碳与其它短期气候污染物（如甲烷及对流层臭氧）对气候的影响比二氧化碳更大，

但它们在大气中存在的时间也更短。

联合国开发计划署（United Nations Development Programme）与世界银行的研究表明，如果孟加拉国采用清洁砖窑技术，由空气污染导致的过早死亡与疾病数量可以减半。采用新技术还可以大幅降低该行业对气候的影响。据作坊式砖窑能源效率机构估计，拉丁美洲的砖窑采用清洁技术后二氧化碳排放至少可以降低30%~45%。

旨在减缓气候变化的项目已经开始关注作坊式制砖业。位于科罗拉多大学博尔德分校（University of Colorado Boulder）的“国际全球大气化学项目”（International Global Atmospheric Chemistry Project）最近发布了一份报告，把作坊式砖窑生产列入了黑碳减排重点名单。2012年启动

的“减少短期大气污染物的气候与清洁空气联盟”项目（Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants）——目前已得到了31个国家政府的支持——也将其目光落在了砖窑生产上，视其为大幅减排短期大气污染物的一个关键领域。

### 提高效率

正如作坊式制砖的规模在各个国家参差不齐，其现代化任务也各不相同。拉丁美洲的制砖商采用的是最原始的砖窑设计，基本上需要从零开始；而亚洲制砖商采用的砖窑设计已较为复杂，其目标是进一步提高效率。

早期的一项设计改进是在19世纪中叶，英国工程师William Bull发明了一种壕沟式砖窑并以他的姓氏命名为“布氏壕沟窑”（Bull's trench kiln,



阿富汗喀布尔市郊的一个布氏壕沟窑，工人向窑火中添加燃煤。只要不断添加新砖块和燃料，这种持续性砖窑可以不停地运转数月甚至数年。© AP Photo/Tomas Muntia

BTK)。Bull注意到由于砖窑使用木炭做燃料而导致印度的森林遭受破坏性砍伐，因此设计了布氏壕沟窑，充分利用新烧制砖及燃料燃烧的余热。窑内设有一个圆形或椭圆形的沟，青砖以格子图案的模式摆放其中。工人们把火焰和可移动金属烟囱从沟槽的一个部位移到另一个部位，形成一个连续燃烧区，同时不断补充青砖并取出成品砖。

这种砖窑的烟囱高度只有大约30~50英尺（9.1~15.2米），无法产生足够的气流以保证燃料的充分燃烧，而且污染物排放非常接近地面。因此印度政府于1996年禁止了布氏壕沟窑生产，转而采纳了一种新型砖窑设计。这种“固式烟囱布氏壕沟窑”（fixed-chimney Bull's trench kiln, FCBTK）配备一个高达120英尺（36.6米）的烟囱，不仅增加了气流量而且

污染物排放距离地面更高，可以减少工人的污染物暴露。现在印度有40%的制砖商使用该新型砖窑，砖产量占全国总量的70%。然而位于新德里的咨询公司“绿色科技解决方案”（Greentech Solutions）的创始人及董事Sameer Maithel指出，和布氏壕沟窑一样，工人从固式烟囱布氏壕沟窑中取出成品砖时，同样会暴露在浓厚的烟尘中。

中国的制砖商则采用了两种更高效的砖窑设计。其中霍夫曼窑（Hoffman kiln）为房屋状结构，内设一个主要火力通道，火焰由此穿过摆满青砖的烧砖室，其实就是一个配备了永久性屋顶的布氏壕沟窑。另一种是隧道窑（tunnel kiln），装载着砖块的传送带穿过一条长而直的通道，砖块逐渐加热至烧成温度，然后冷却下来并运出通道。Maithel指出这种隧道

窑显著降低了灰尘及热力暴露，可以说为工人提供了最佳工作环境。

拉丁美洲的砖窑可不像那些可以连续运行数月甚至数年的持久性砖窑，其制砖业以传统砖窑为主，用于批量产砖。这些砖窑形式各异，一般来说最多可以烧几堆砖块，砖块的排列方式也各不相同以使砖块之间的气流最大化。有些砖窑只是一个简单的外壳，成本一般不超过1000美元，但是由于效率低下而耗费大量燃料。Bickel指出，从作坊式砖窑能源效率机构的角度来看，高燃料成本提供了一个市场机遇：如果长远看来有利可图的话，砖窑经营者愿意付费改进制造工艺以及提高产品质量。

#### 探寻现代化选项

Li认为采用新技术的主要障碍是成本及缺乏认识。技术更新需要花



印度阿姆利则市，工人把烧好的砖块上的沙子清除。虽然这种固式烟囱砖窑比布氏壕沟窑清洁一些，但工作环境仍然十分恶劣。© AP Photo/Alattf Qadri

费数万美元甚至更多，而更清洁的产业规模的霍夫曼窑及隧道窑则价值数百万美元。大多数砖窑经营者没有能力或缺乏动力进行技术更新，Li指出：“生产商终究需要信贷信用，但由于他们没有正式注册，所以被银行视为高风险客户。”

Bickel认为作坊式砖窑能源效率机构的工作很大程度上依赖市场的力量。“愿意出资的政府或团体或许只能修建40~50个新砖窑，”他说道，“但是拉丁美洲有将近4万个砖窑。因此我们正在努力提供技术更新动力以及信贷机会，使制砖商能够自行实施技术更新，除此之外别无他法改善该行业。”

作坊式砖窑能源效率机构检验了几种提高砖窑效率的措施，最终选定了一种多管齐下的砖窑现代化策略，其第一步措施非常简单：安装一

个风扇向闷燃的窑火鼓风以提高燃烧效率。该机构的财务专家Jorge Luis Delgado指出，这种价值1200美元的风扇可以节省30%的燃料，这相当于在砖的生产率保持不变的情况下，减排30%的二氧化碳。“我们刚开展这个项目时，库斯科市只有一家供应商销售这种风扇，”Bickel说道，“现在已经有5家供应商，几乎所有的制砖商都用上了风扇。”

作坊式砖窑能源效率机构的第二步措施是风扇安装结合一种更高效的“倒焰窑”（downdraft kiln），可以减排二氧化碳及节省燃料将近50%。倒焰窑比产业规模的霍夫曼窑或固式烟卤布氏壕沟窑要小一些，同样可以回收热量来预热砖块。这种砖窑可以利用当地材料建造，所以成本最高只有1万美元，Delgado认为可以把传统砖窑中安装风扇后所节省的燃料费用

充当部分投资。Bickel指出风扇的成本通常6个月左右可以收回，而砖窑则大约需要2~3年。

尽管安装风扇可以节省燃料费，但是仍不足以抵偿倒焰窑的成本，所以作坊式砖窑能源效率机构也在和一些金融机构例如当地小额信贷机构合作，这些金融机构通常不会贷款给没有注册的制砖商。Delgado指出，这些信贷机构只有在确信更高效的砖窑确实可以提高制砖商收入且自身财务风险很低时，才愿意提供低利率的小额贷款。作坊式砖窑能源效率机构正在努力提供证据以说服这些信贷机构，同时也在与“生态微信贷”（EcoMicro）的代表们合作。“生态微信贷”是由“多边投资基金”（Multilateral Investment Fund）与“北欧发展基金”（Nordic Development Fund）于2012年合作成立的新项目，



巴基斯坦拉瓦尔品第市（Rawalpindi），砖窑散布的景象。2012年的一项研究表明，附近白沙瓦市（Peshawar）的砖窑排放的氟化氢对一些重要经济作物造成了严重危害。© AP Photo/Dita Alangkara

旨在为拉丁美洲和加勒比国家的借款人提供小额信贷。

世界银行也在采取其他一些策略支持南亚的制砖业现代化，尤其是在孟加拉国和印度。其措施包括在制砖的黏土中混入煤炭以增进燃烧，试行清洁砖窑技术，展示其他替代建材（例如空心砖与多孔砖，既可以节省制砖原料又可以减少燃料耗费，同时砖的强度不受影响），以及把制砖过程中耗费人力的原料混合与挤压成型工艺自动化。

世界银行试图通过两种途径来减少投资壁垒。首先，通过联合国气候变化框架公约（United Nations Framework Convention on Climate Change）发起的“清洁发展机制项目”（Clean Development Mechanism），世界银行可以作为南亚制砖商出售碳信用额的受托人；其次，通过世界银行的“清洁空气可持续环境项目”（Clean Air Sustainable Environment Project）来资助孟加拉国政府的工作，为那些愿意采用清洁技术的制砖商提供技术支持。

在孟加拉国，通过该项目推动实施的新型砖窑，可以减少80%的颗粒物排放，节省50%的燃料，同时减排50%的二氧化碳。而印度的制砖商可以通过生产压缩砖（非烧制砖，所以不需要燃煤）来赚取碳信用额。另外，亚洲开发银行于2012年批准了

5000万美元的信贷额度，以支持孟加拉国的清洁节能制砖业的投资。

### 政府的作用

Maithel认为各国政府在制砖业现代化过程中发挥着重要作用。事实上，中国政府和越南政府都积极参与了各自建设部门的工作，在制砖行业大力推广使用隧道窑。最近中国政府在城市地区禁止使用实心砖，推荐使用同等强度的空心砖。中国政府的这项举措是基于对食物及空气质量的担忧，因为用作制砖原料的地表土来自于可耕种区。

Maithel建议印度政府可以提高固式烟囱布氏壕沟窑的颗粒物排放国家标准，为作坊式制砖业提供一种他认为可以双赢的方案：将固式烟囱布氏壕沟窑进行“之字形”改装，改变砖窑内的烟气路径，从而加快烟气速度，改善燃烧效率，产生更多热力，可以节约20%的燃料并减排20%的二氧化碳。Baum指出，一些新的尚未发表的检测数据表明这些改装砖窑的黑碳排放也比较低。这种“之字形”改装的费用不超过4.5万美元，大约1~3年收回成本，可以作为昂贵的霍夫曼窑及隧道窑的替代选择。

Maithel认为印度政府也可以采取政策性措施，例如禁止新建固式烟囱布氏壕沟窑。但他说印度政府对政策性措施不太感兴趣，只是禁止了移动

式布氏壕沟窑。“我对此的理解是，印度政府有众多当务之急的环保事宜，立法约束这些遍地都是的小企业难度太大，”他解释道，“但是政府没有认识到，作坊式制砖业是一个创造就业机会的重要行业，为1000多万人提供了工作。工作条件虽然艰苦，但是为这个贫穷国度提供了基本的建材和就业机会。”

Bickel也认为政府部门可以通过将制砖业正规化而有效降低其环境影响。与此同时，一些立场坚定的人们正在努力推动传统制砖业的现代化工作，而且势头日益强大。“已经有很多快速的进展，”Bickel说道，“当制砖商认识到他们可以迅速获得投资回报时，几乎全部会采用新砖窑技术。”

Charles W. Schmidt, 理科硕士、来自缅因州波特兰市的获奖科普作家，为《探索杂志》（*Discover Magazine*）、《科学》（*Science*）及《自然医学》（*Nature Medicine*）撰写文章。

译自EHP 121(8):A242-A249 (2013)

翻译：周江

\*本文由于版权原因有部分图片不能在中文版刊出，读者如有兴趣可浏览英文原文。不便之处望读者见谅。

\*本文参考文献请浏览英文原文

[原文链接](#)

<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.121-a242>

## 更正启事

《环境与健康展望》中文版2014年第3期（6月刊）《EARTH 大学：农业可持续发展的典范》一文的译者“周江”应为“张蕴晖”。特此更正，并向张蕴晖、周江以及广大读者致歉。

《环境与健康展望》中文版编辑部