



# 水泥行业 可持续替代方案



## LC3 - 一种低碳的选择

石灰石煅烧粘土水泥 (LC3) 是一种有利于水泥制造商在生产时减少二氧化碳排放的新型低碳混合水泥。在瑞士发展与合作署 (SDC) 资助下, LC3技术得以从实验室落地, 最终实现大规模商业化生产。SDC致力于支持LC3的科学基础发展以及产品测试, 同时着眼于促进LC3的标准采用以及全球推广。

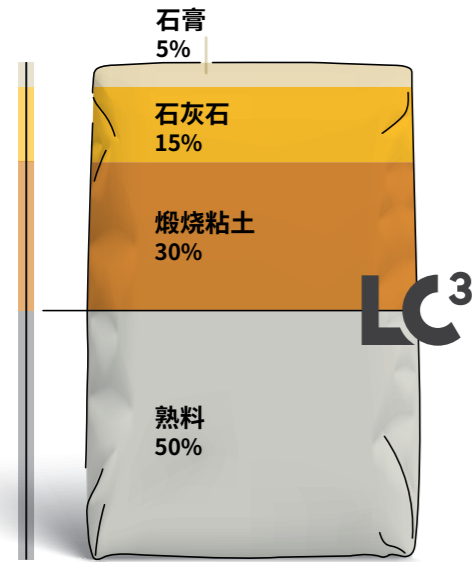


图1

### 使用 LC3 的五大理由



1 熟料: 由石灰石和粘土在约 1400-1500°C 的高温下加热制成的深灰色结晶体材料。

## 水泥行业实现零碳的挑战

混凝土是世界上使用最广泛的建筑材料, 其主要成分即是水泥。

水泥生产中的化学和热力燃烧过程是二氧化碳排放最主要的来源, 其中 60% 是加热石灰石生产熟料时直接排放的, 40% 是水泥窑燃烧燃料时产生的 (全球水泥和混凝土协会, 2022)。水泥生产约占全球二氧化碳排放量的 8%。

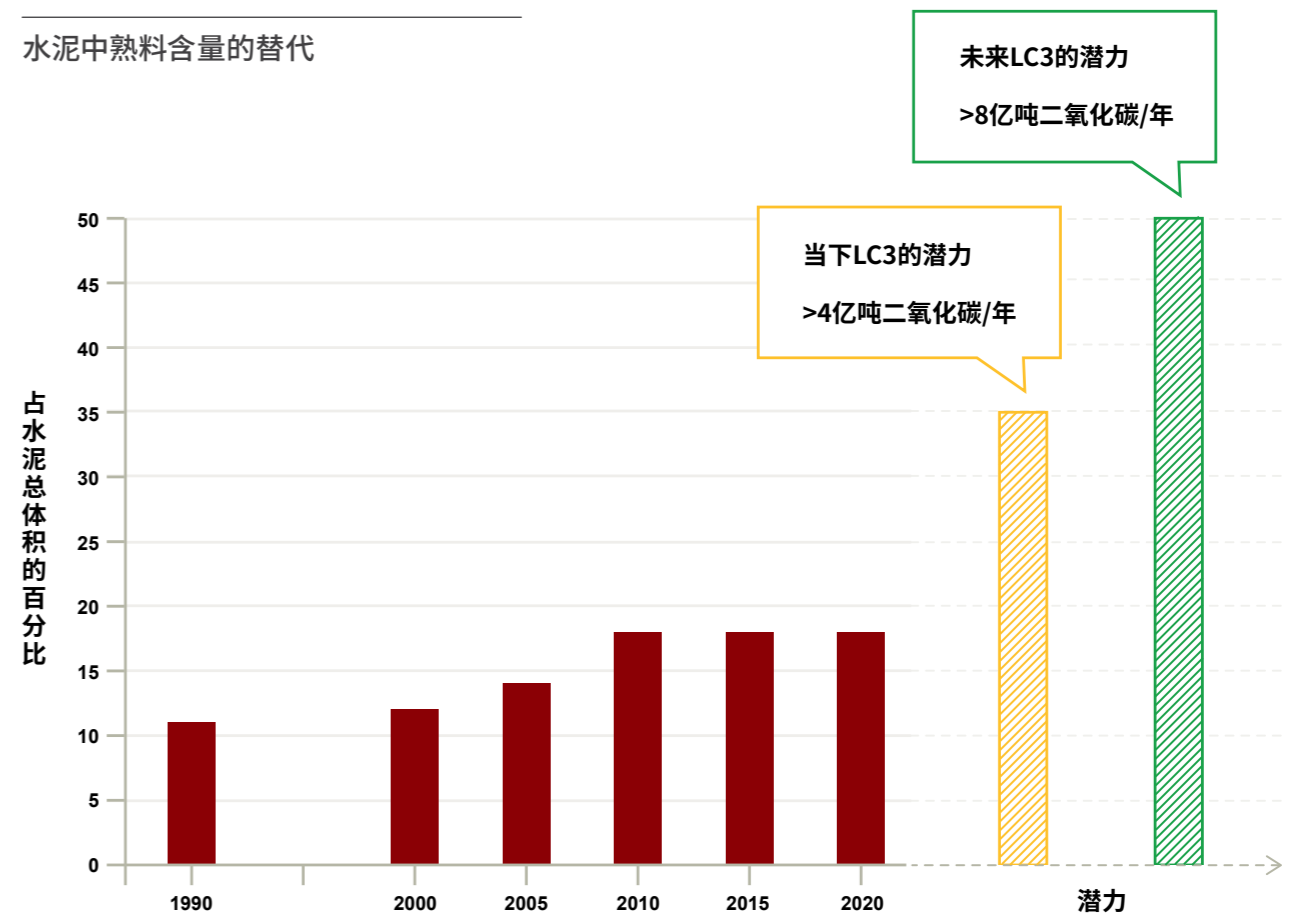
全世界正在加速城市化的进程, 特别是在亚洲和撒哈拉沙漠以南的非洲。到 2020 年, 56% 的世界人口居住在城市, 预计到 2050 年城市人口将实现翻倍 (世界银行, 2020)。可以预见, 混凝土在建成环境的扩展中将继续发挥重要作用, 特别是在新兴经济体中。混凝土产量的增加将要求水泥产量从目前每年 40 多亿吨增加到 2050 年的 50 亿吨以上 (查塔姆研究所, 2018)。

同时, 要实现《巴黎协定》将全球升温幅度限制在低于 2°C、甚至低于 1.5°C 的目标, 需要所有部门在脱碳方面做出巨大努力。到 2050 年, 建筑的整个生命周期必须实现净零碳排放 (国际能源机构, 2021 年)。

2015-2021 年期间, 水泥生产的直接二氧化碳排放浓度每年增加 1.5%。相比之下, 到 2030 年必须每年下降 3%, 才能达到 2050 年净零排放的目标 (国际能源机构, 2022)。

图2

### 水泥中熟料含量的替代



尽管煅烧过的粘土和石灰石已经被普遍用作补充胶凝材料，但LC3的主要创新点：其成份是将熟料含量降低到50%，并加入30%的低品质高岭土、15%的石灰石和5%的石膏混合物。这些材料具有协同作用，水泥性能与波特兰水泥亦相似。熟料的较少使用减少了石灰石所释放的二氧化碳排放量（与波特兰水泥相比，高达40%），相应的熟料燃烧所用的燃料也减少了。由于煅烧粘土的可锻造性更强，加热温度约为700-800°C，而制造熟料需要1400-1500°C的温度，因此可以大大节省能源。熟料含量为50%的LC3-50在欧洲、印度、美国、古巴和南美大部分地区的水泥标准中被广泛推广和接受。目前正在研究的熟料含量低于50%的LC3配方，有望进一步减少二氧化碳的排放。

通过使用工业废弃物，例如粘土废弃物，LC3提高了资源利用率，并减少了生产水泥熟料所需的稀缺原材料的利用。煅烧粘土和石灰石随处可见，而作为拌合水泥的一种组分——粉煤灰，在一些地区越来越稀少，而且随着燃煤火力发电厂的逐淘汰，粉煤灰可能会变得更加稀缺。同样地，矿渣作为拌合材料已经很稀缺，随着钢铁工业的脱碳化，它将更加稀缺。此外，LC3的高抗氯离子性能、高表面电阻率的致密微观结构使其适用于海洋环境中恶劣的天气条件。

图3

LC3的生产

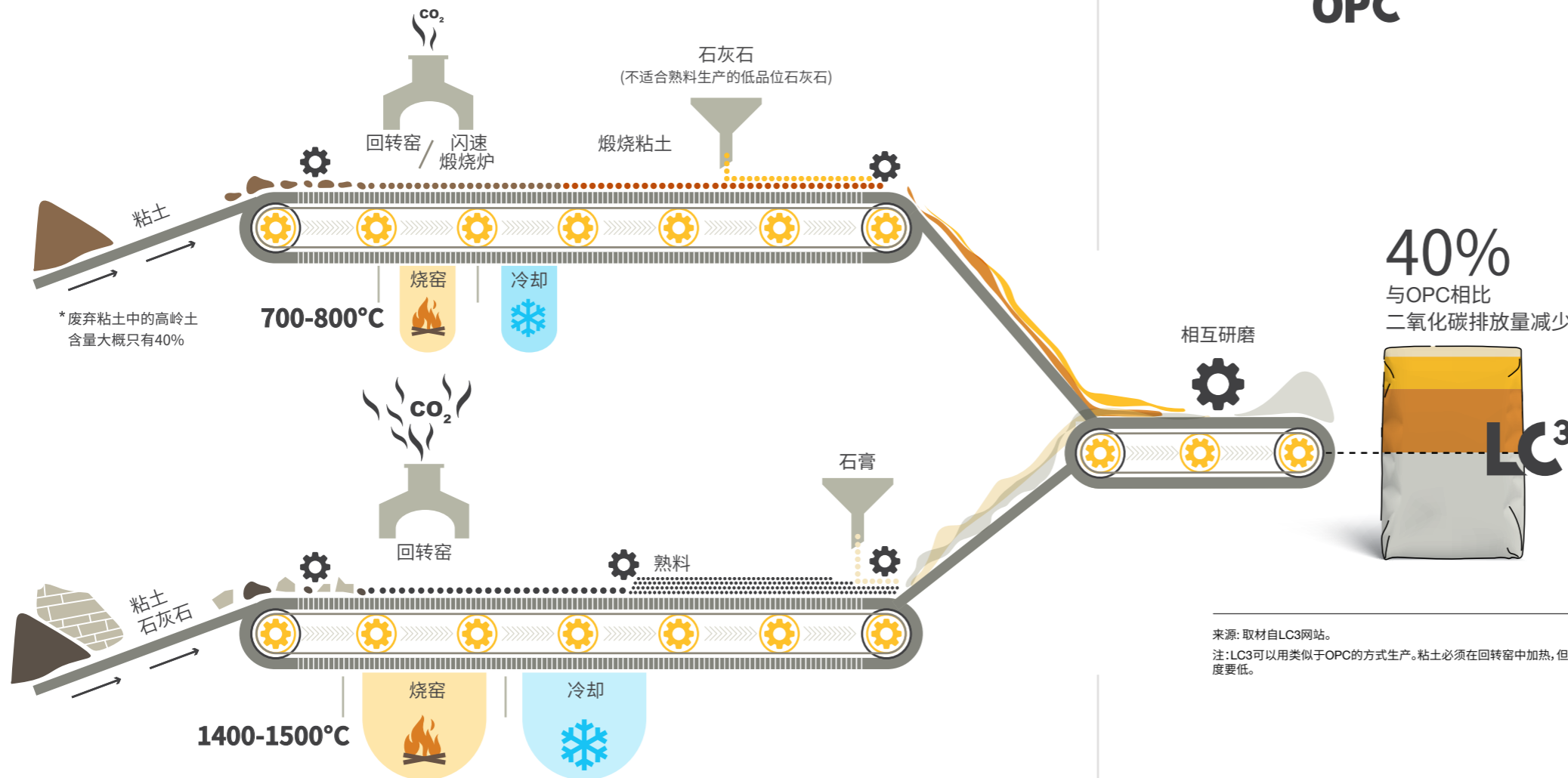
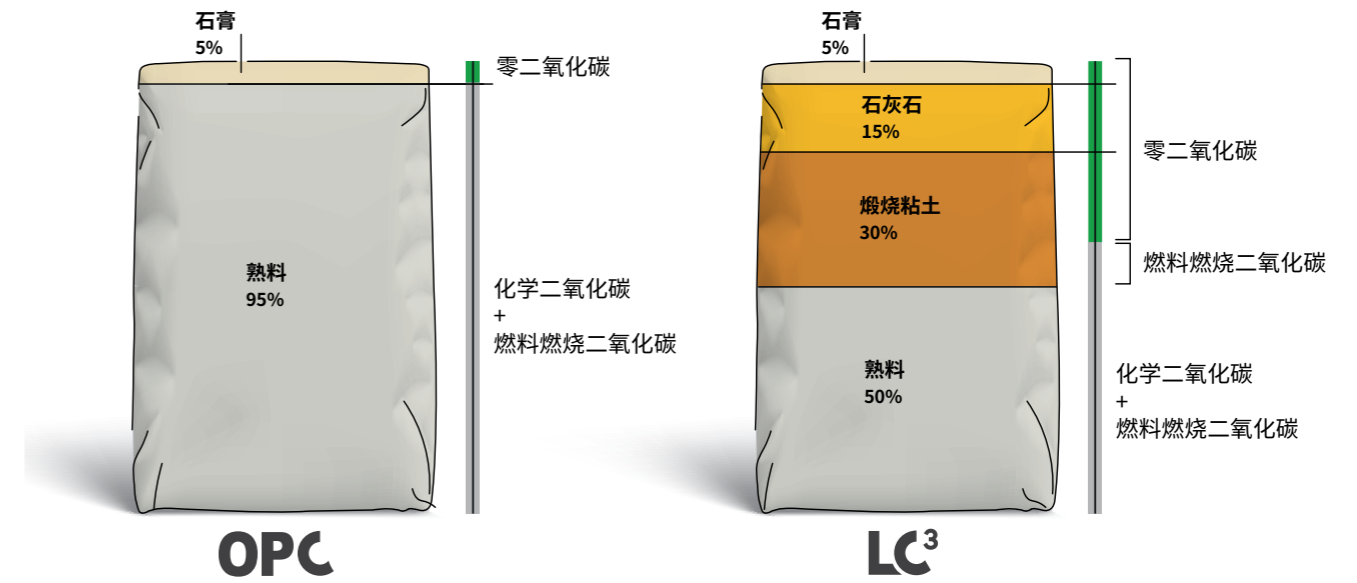


图4

利用 LC3减少二氧化碳



来源：取材自LC3网站。  
注：LC3可以用类似于OPC的方式生产。粘土必须在回转窑中加热，但温度要低。

通往市场成功之路



### 瑞士发展与合作署参与开发并扩大低碳水泥的生产规模

由于节省了能源和材料，LC3的生产成本可以比波特兰水泥低25%。在有些地方熟料依赖进口，这样节约成本。最后，LC3技术是现成的，并且可以被商业化。世界上大约75%的水泥厂只要对其生产线稍作调整，利用其现有的基础设施和丰富的材料就可以生产LC3。无需特殊培训，转换为LC3的生产可与其他可用的或正在开发中的脱碳技术相结合。

2013年，位于印度德里、孟买和马德拉斯的印度理工学院与印度非政府组织“农村进步技术与行动”一起，加入了瑞士发展与合作署资助搭建的由洛桑联邦理工学院（EPFL）和古巴拉斯维拉斯大学发起的研究伙伴关系，并为LC3的开发、测试、生产和传播做出了贡献。瑞士国家科学基金会（SNSF）在初始阶段的参与有助于加强项目的伙伴关系，最大化利用瑞士的创新研究社区，并在全球范围内扩大参与度。瑞士、印度和古巴之间的开源方法和持续的知识交流提升了国际影响力并获得可持续解决方案。

图5

LC3对实现可持续发展目标的贡献



### 标准, 市场准备以及初次应用

2013

在古巴的第一个工业产品。

在古巴圣克拉拉完全用LC3建造的房屋。

2014

美国材料与试验协会 (ASTM) 批准了C595标准, 为混合水泥提供了新的配方。

使用首批生产的LC3建造了位于印度占西的房屋的墙壁、屋顶瓦片和地板。

2015

位于印度新德里的瑞士大使馆瑞士发展与合作署新办公室, 使用了LC3砖。

2017

验证材料的经济优势。

2018

古巴通过了NC1208三元水泥, 其中包括LC3。

2021

2021年, 欧盟批准了EN1975, 其中包括LC3。

## 进展与前景——具体成果

瑞士发展与合作署为支持LC3的启动和推广做出了开创性的努力，产出了科学调查和出版物，确定了该技术在环境和生态方面的可行性，并助力将LC3纳入建筑和施工部门的脱碳政策和路线图中。古巴和印度的技术资源中心作为与行业的接口，正在支持水泥公司采用LC3技术。同时，世界各地的同行都在进行自己的研究，并为LC3革命做出贡献。

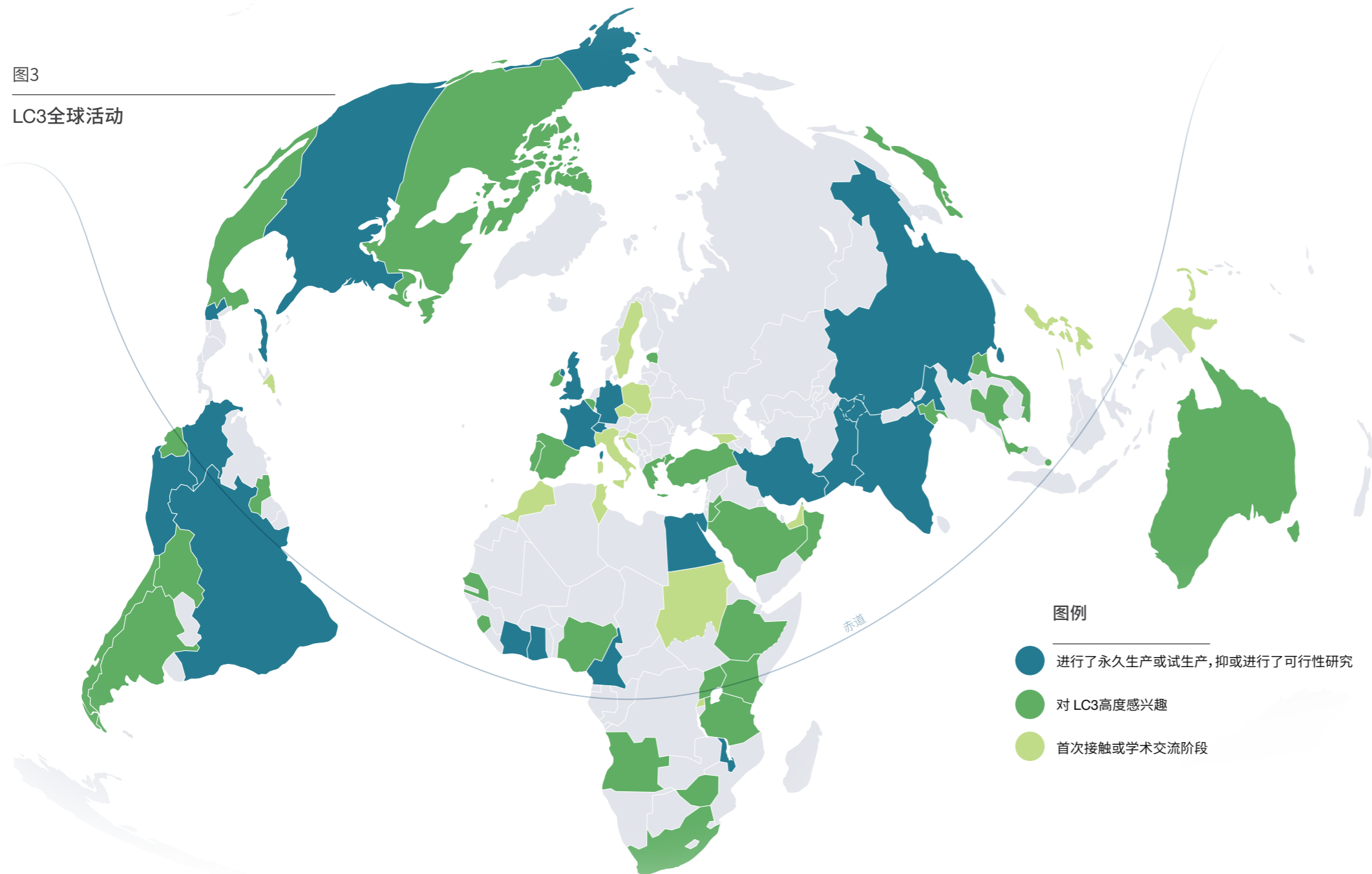
生更多LC3项目和倡议落地，而在欧洲，在欧盟排放交易体系下随着排放额度市场价格的飙升，预计将配置更多的煅烧粘土装置 (CN Cement, 2022)。

然而，在快速增长的东南亚国家和服务于全球70%市场的行业小公司中，LC3的参与度仍不足。各国政府可以通过采取高要求的公共采购政策，制定行业标准和排放规范，以及制定脱碳路线图，来构建更可持续的建筑和施工部门。

下面的地图显示了LC3在全球的分布情况。在非洲不断增长的需求、进口熟料的高成本和原材料的广泛分布正在催

图3

LC3全球活动



## 私营企业的接受度

2019

古巴LC3工厂已投入使用。

2020

ARGOS开始在哥伦比亚生产绿色混凝土。

CIMPOR开始在科特迪瓦生产DeOHclay产品。

## 扩大规模

2020及以后

位于印度德里和古巴圣克拉拉的技术资源中心提供行业咨询服务。

2022及以后

有50多个国家在生产或研究开发LC3。

专注于扩大小型公司，特别是在东南亚应用LC3的技术规模。

专注于符合高要求的公共采购政策，并制定行业标准和排放规范。

### 瑞士发展与合作署的角色

瑞士发展与合作署支持LC3的科学发展, 并为该技术在低收入和中等收入国家的推广以及行业标准的实施做出贡献。这些成果可以作为开源文件公开使用。

### 参考:

[Chatham House 2018, Making concrete change, innovation in low-carbon cement and concrete.](#)

[CN Cement 2022, Calcined clays: making a global impact](#)

[IEA 2022, Cement – Analysis - IEA](#)

[United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2019, World Urbanization Prospects 2018: Highlights](#)

[Global Climate Action Pathways 2021, Human settlements: Vision and Summary](#)  
[World Bank 2020, Urban Development](#)

[Global Cement and Concrete Association 2021, Concrete Future, The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete.](#)

### 相关链接:

[www.lc3.ch](http://www.lc3.ch)

[www.lc3trcindia.com](http://www.lc3trcindia.com)

[www.ecosolutions.gl/lc3-trc-latam](http://www.ecosolutions.gl/lc3-trc-latam)

### 版本说明:

设计和编写  
Zoï Environment Network

内容:  
与INFRAS共同制作

图片:  
© Bannafarsai // Shutterstock



**EPFL**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC