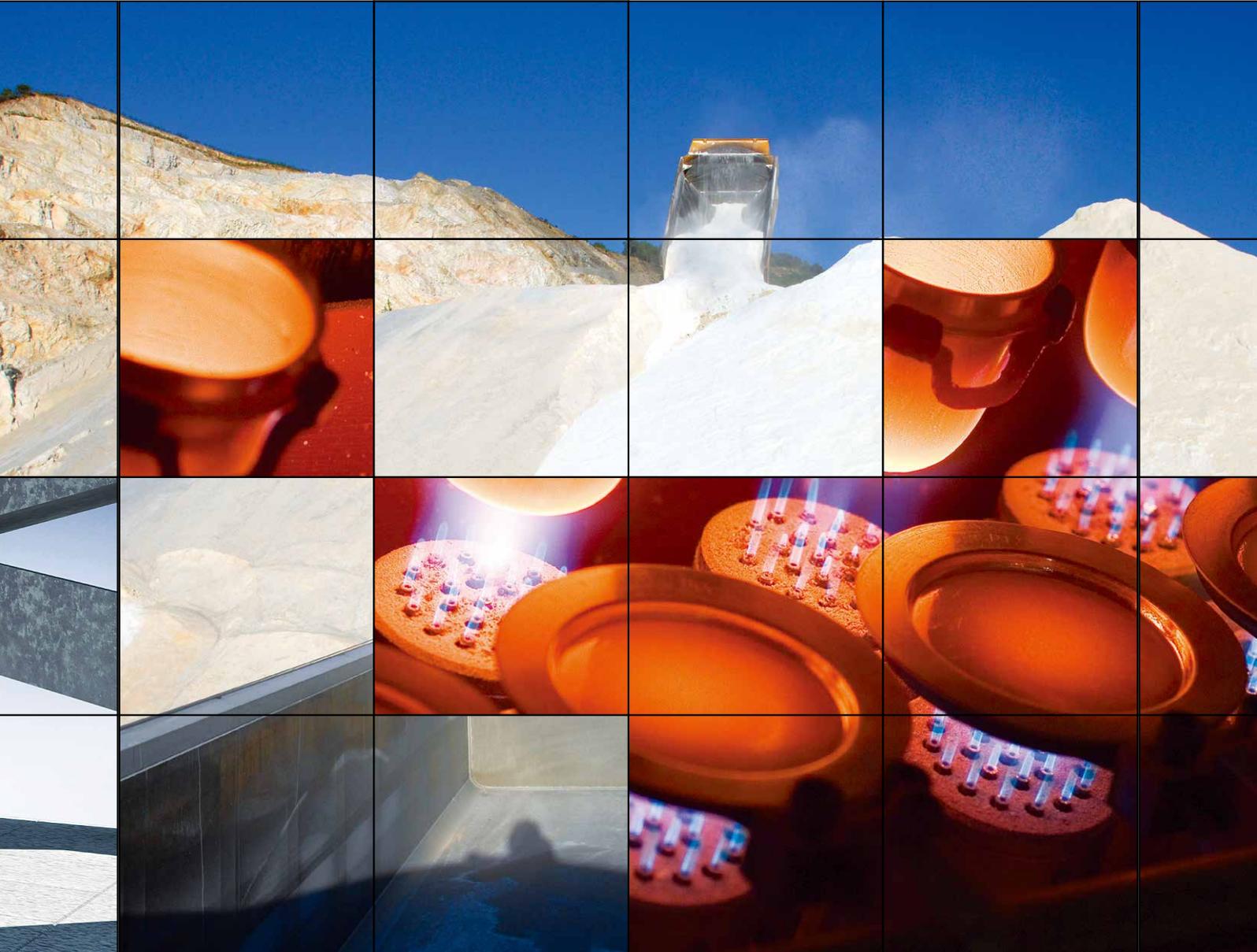


低碳技术合作伙伴倡议

(Low Carbon Technology Partnership initiative · LCTPI)



水泥

水泥行业低碳技术合作伙伴倡议
将于2030年之前减少十亿吨的
二氧化碳排放，大约相当于德国
全年的碳排量。





首席执行官共同声明

环顾四周的建成环境，我们可见混凝土获广泛应用于不同用途，它在我们的日常生活中发挥着不可或缺的重要作用。事实上，它是世界上最常用的人造材料，全球平均每年每人使用混凝土达三吨。

受惠于混凝土的特性（强度、耐久性、热质量、低廉的价格及原材料的多样性），混凝土能够提高建筑环境（如学校、医院、家庭、道路、桥梁、隧道、跑道、大坝及污水管道系统）的可持续性，因此也大大丰富了建筑专业人员实现可持续发展目标的方式。

水泥是混凝土中必不可少的“粘黏剂”。它与水发生反应使集料（碎石和砂砾）和沙土结合。

生产水泥所产生的碳排放物约占全球人为二氧化碳排放物的5%，其中：

- 大约60%的排放来自水泥生产过程中使用的原材料，因为从石灰岩到石灰的碳酸盐分解过程中所释放的二氧化碳；
- 其余40%来自产发生上述化学反应所需的能量，以及将材料加热至1450°C所需的能量。

承诺长期不懈地努力以减少水泥行业的二氧化碳排放

了解混凝土目前在现代社会所发挥的重要作用，以至在未来（应付城市化及人口流动性的发展需要同时）将继续发挥同样重要功能，并考虑到要减少水泥行业二氧化碳排放所面临的巨大挑战后，数家具前瞻性思维的龙头水泥企业于1999年一起成立了水泥可持续发展倡议行动组织（Cement Sustainability Initiative, CSI）。这个组织隶属于世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development, WBCSD），是一个由首席执行官主导的项目。

自1999年以来，缓解气候变化一直是CSI策略和工作计划的核心，而且已取得相当成果：

- 依照WBCSD和世界资源研究所（World Resources Institute, WRI）联合制定并广受认可的《温室气体（greenhouse gas, GHG）议定书》为基础，为水泥行业制定了一份通用的能源和二氧化碳数据报告议定书；
- 建立了最全面的行业二氧化碳排放数据库，从实现行业对二氧化碳排放物的严格监控（2015是第八个连续报告年）；
- 与国际能源署（International Energy Agency, IEA）合作，并在国际金融公司（International Finance Corporation, IFC）的财政支持下，制定技术路线图，从而：
 - 确认现有可用和持续发展开发中的技术，包括突破性技术发展；
 - 评估各种技术的潜力及所需的实施水平以达到在2050年温度上升幅度维持在2°C之内。

早在2009年，WBCSD和IEA就发布了首个行业低碳技术路线图，这项突破性的工作成果当时可谓开创先河，成为其他行业跟随的典范。

- 通过以下方式扩大这些技术的实施使用：
 - 与国家和地区水泥行业协会合作；
 - 招揽更多水泥企业加入CSI（会员数量已从1999年的10家成员公司增加到2015年的25家，预计还会有其他公司陆续加入）；及
 - 发展地区技术路线图（印度、巴西、埃及等），更配合当地条件以利专注实践工作。

需要行业内外的共同努力

除了世界各地水泥企业本身的努力以及通过CSI平台的合作，我们认为还需要采取进一步行动。

我们一同制定了此声明以陈述目标：**要在2030年从基线情境水平，减低20至25%的二氧化碳排放，这个减幅相当于CSI成员中最佳表现企业在2020年的平均减排目标。**

为了向这个愿景目标迈进，作为以下列水泥企业的首席执行官，我们广邀全体水泥行业参与和制定以下行动计划：

1. 扩张水泥行业二氧化碳排放及能源消耗数据库的复盖范围，尤其是在中国（占全球水泥产量的60%）。
2. 提高水泥生产过程的整体能效水平。
3. 加强优质替代能源和原材料的采集、可用性和使用，包括利用循环经济结构，从其它行业取得废料供应。
4. 进一步减少水泥中的熟料含量，从而将整个生产过程中能源密集型材料的比重降低。
5. 研制新型水泥，减低其整个生命周期中的二氧化碳净排放量。
6. 在本地市场环境中动员整体建筑和基础设施价值链，以确认并最大化水泥和混凝土产品在其应用期内所提供的可避免碳排量。
7. 评估跨行业计划的可行性和价值，特别是关于碳捕集、利用与储存（CCS-U）的机会。

这些措施的成功，将取决于决策者是否能够落实以下措施：

- 在巴黎气候大会上就全球长期气候变化达成协议，让商界能够进行适当的长线投资。我们对此满怀期待。
- 加强国际合作，以收集可靠的行业层面能源和排放数据；并开发生命周期评估（LCA）的相关工具和复盖所有建设和基础设施的数据库。我们在CSI的经验证明：“所测即所得”。
- 扫除在某些国家（例如中国）仍然存在的数据报送障碍。我们需要以此确保数据库信息能更好地代表全球整体水泥行业。
- 制定一项有关适应气候变化的协调策略，以应对我们即将面临的社会挑战。我们相信适应和缓减同等重要，故应平行发展。
- 审查并修订区域、国家和地方等各个层面的法律法规，确保政策鼓励可替代燃料和生物质的使用。因为没有普适规律，我们明白需要灵活配合不同框架条件以确认最有效措施，所以我们支持各地根据其具体情况而各自制定合适方案。
- 制定、修订并强化适当的标准、规范和公共采购政策，以推广低碳产品。以组分为准的标准往往是引进具有较小二氧化碳排放产品的最大障碍。
- 促进对创新低碳水泥监管和财政激励措施的制定。行业是积极的，但进一步支持至关重要。
- 建立财务激励机制以资助CCS-U项目的研究、试点和示范，形成商业规模示范工厂。事实已经证明，CSI这样的行业合作是成功的。我们认为，是时候将此扩大到跨行业合作范围，我们一定乐于参与其中。



目录

- 06 水泥行业低碳技术合作伙伴倡议介绍
- 07 扩大水泥行业二氧化碳排放量及能源消耗数据库的复盖范围
- 09 提高电效和热效
- 12 替代燃料与废物的利用
- 15 进一步减少水泥中的熟料的比重
- 17 低碳水泥熟料
- 20 应对可避免碳排的挑战
- 22 规模化碳捕集、利用与存储

LCTPI

Led by  wbcasd

水泥

水泥行业低碳技术合作伙伴倡议 (LCTPi) 介绍

目标

要在 2030 年从基线情境水平，减低 20 至 25% 的二氧化碳排放，这个减幅相当于水泥可持续发展倡议行动组织 (Cement Sustainability Initiative, CSI)¹⁾ 成员中最佳表现企业在 2020 年的平均减排目标。

行动计划

通过与国际能源署 (International Energy Agency, IEA)²⁾ 的合作，在未来开展以下工作：

1. 扩大水泥行业二氧化碳排放量及能源消耗数据库的复盖范围，重点关注中国（占全球水泥产量的 60%）。
2. 提高水泥生产过程的整体能效水平；
3. 加强优质替代燃料和原料的采集、可用性和使用，包括以循环经济方式从其他行业收集的相关废料；
4. 进一步降低水泥中的熟料含量，从而将整个生产过程中能源密集型材料的比重降到最低；
5. 研制新型水泥，减少其整个生命周期中的二氧化碳净排放量；
6. 在本地市场环境中动员整体建筑和基础设施价值链，以确认并最大化水泥和混凝土产品在其应用期内所提供的可避免碳排放量；及
7. 评估跨行业计划的可行性和价值，特别是关于碳捕获、利用及储存（CCS-U）的机会。

建立监督上述各项行动议程的**报告机制**，以达成共同的目标。

本报告旨在说明水泥行业低碳技术合作伙伴倡议的关键解决方案，以及如何执行、需要扫除哪些障碍、为何它不仅新而且重要、牵涉的参与者、何时要开展什么工作、如何监督相关工作。至于所需的资源，请参考低碳技术合作伙伴倡议宏观分析与展望。

从**整体政策要求**出发，我们强烈建议在国际水平制定可预测、客观、公平竞争和稳定的二氧化碳限制条件、激励政策与能源政策框架。

¹⁾ www.wbcscement.org

²⁾ www.iea.org

扩大水泥行业二氧化碳排放量及能源消耗数据库的复盖范围，重点关注中国



背景

水泥行业低碳技术合作伙伴倡议的愿景是要推广由 CSI 成员识别和制定的解决方案，带动非 CSI 成员公司也会广泛应用，并通过在不同区域扩大实施以带来更多的益处。

尤其是采用经验证的可靠工具，向其他国家和地区推荐使用或提供由 CSI 制定的《水泥行业二氧化碳排放统计与报告标准》¹⁾、《把数据搞准》(Getting the Numbers Right, GNR) 数据库²⁾和《水泥技术路线图》³⁾；比如，向中国提供经国际验证的工具，通过与中国企业和政府建立合作关系，确定适用于中国的具体解决方案。

¹⁾ www.wbcsoement.org/CO2protocol

²⁾ www.wbcsoement.org/GNR

³⁾ www.wbcsoement.org/technology

中国的水泥行业规模无疑居世界首位，故向中国企业提供 CSI 多年来（与其他利益相关方合作）开发的、经国际验证、用于支持减缓水泥行业二氧化碳排放策略的工具，可以提升中国企业寻找和实施促进全球大幅降低二氧化碳排放量的能力。此外，鼓励中国参与，对于某些技术的扩大应用存在相当影响，同时减少开发成本和商业价格。

行动

依循世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development, WBCSD）和国际能源署在 2009 年开发的全球低碳技术路线图，以至在其他国家（如印度、巴西和埃及）家制定地区路线图的工作方向，为中国水泥行业制定类似的技术路线图对于识别可用于降低中国水泥行业排放量的技术途径及其对实现总体目标的作用非常重要。

在此过程中首先要做的是确定排放数据的基准值，从而评估潜在的减排量，这可通过提高把数据搞准数据库在中国的复盖率实现。

为落实 CSI 工具应用，提高把数据搞准数据库复盖率，并在中国制定低碳技术路线图，我们要采取以下行动：

- 进一步加强与当地行业协会的合作，如中国水泥协会（China Cement Association, CCA）¹⁾和中国建筑材料联合会（China Building Materials Federation, CBMF）²⁾，接触更多中国水泥企业，从而推广 CSI 工具的使用；
- 参加各论坛活动，广推知识和最佳实践经验分享；
- 为中国建立数据库。由已向把数据搞准数据库报送数据的国际成员企业和 CSI 中国区成员单位向其他成员提供培训和支援；
- 加强国际合作，以：
 - 收集可靠的行业级能源和排放数据；
 - 支持有效的政策发展；
 - 跟踪绩效；以及
 - 如通过 CSI 把数据搞准数据库识别地区和国家间的绩效差距和最佳实践基准；和
- 吸引更多中国水泥公司成为 CSI 会员。

政策要求

- 加强国际合作，以收集可靠的行业级的能源和排放数据；支持制定有效的政策发展；跟踪绩效，识别地区和国家间的绩效差距和最佳实践基准。
- 各国政府（特别是法国政府及其主办 2015 年 12 月联合国气候峰会会议的机构）和联合国秘书长办公处应与中国政府主管气候变化的部门进行协调，共同扫除向国际层面第三方报送数据的障碍，以便为中国制定低碳技术路线图。

障碍

- 无法获得所需报送的数据。
- 文化差异导致对信息披露保持谨慎含蓄。
- 与国家自主贡献文件（Intended Nationally Determined Contributions, INDC）的实施和碳交易机制在全国发展的关连。

利益相关方

- 在中国有业务的 CSI 成员单位和 CSI 中国区成员单位积极倡议 CSI 行动。
- 任何与中国政府部门有直接联系的政府（特别是法国政府及其主办巴黎气候大会的相关机构）及联合国秘书长办公室共同努力，移除数据报送的障碍。
- 中国当地的水泥行业协会（中国水泥协会和中国建材联合会），协助向整个行业广泛传递 CSI 的信息，并动员国内整体水泥和建筑行业，及帮助寻找当地的合作伙伴。
- 当地的学术机构（如技术专家和大学），可能为中国建材学院（China Building Materials Academy, CBMA）³⁾，牵头组织编写技术文件，找到各种可用（或即将开发）的技术。
- 金融界，如国际金融公司（International Finance Corporation, IFC）⁴⁾支持各个公司使用 CSI 的工具并将其与当地市场相结合。

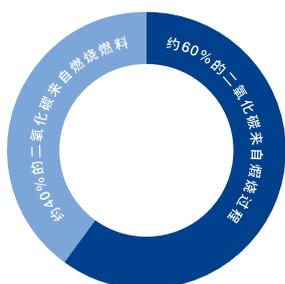
¹⁾ www.chinacca.org

²⁾ www.cbfm.org

³⁾ www.cbma.cn

⁴⁾ www.ifc.org

提高电效和热效



背景

水泥生产行业所产生的二氧化碳排放量占人为产生的二氧化碳排放量的5%。这由两个主要部分组成：

- 煅烧的过程中，将石灰石、泥灰岩或白垩中的碳酸钙（ CaCO_3 ）转化氧化钙（ CaO ），相关的化学反应排释二氧化碳：
 - 排放的二氧化碳中有60%来自生产过程本身。
- 要完成煅烧并将石灰转化为熟料所需能源，需要煅烧各种燃料，将水泥窑中的温度保持在 1450°C ：
 - 排放的二氧化碳中有40%来自燃料的燃烧。

行动

为提高水泥厂的电效和热效，需采取以下行动：

- 适当的定期培训，以确保厂房运营顺畅并持续维护，维持最佳经营效率；
- 增加可再生能源的使用和生产，包括余热回收（waste heat recovery, WHR）；
- 研究和开发：
 - 需要显著增加水泥行业所需的长期研究与开发。对整个创新链的投资，从大学层次的培训到行业范围的创新，必须来自学术界、行业、设备供应商、以至政府；
 - 开展公私营合作以降低技术风险，并提供更多方案提高能效或减少二氧化碳排放；
- 逐步淘汰发达国家和发展中国家低效的干法长窑和湿法生产工艺；
- 制定并实施水泥行业能源效率及二氧化碳排放国际标准；
- 分享最佳实践策略，以促进水泥行业的能源效率和二氧化碳减排；和
- 进行常规能源审计；
 - 执行标准测量和核查（measurement & verification, M&V）程序，水泥企业和技术供应商必须共同努力，就升级换代的标准机制达成一致。例如更换风机。

政策要求

- 确保能源效率投资所获得奖励与其社会效益成比例：
 - 创建新的市场机制（market mechanism，MM），以取代之前的清洁发展机制（Clean Development Mechanism，CDM）框架，以推进对能效项目的资金支持，适当时转让技术和知识。
 - 奖励清洁能源投资，例如对余热回收的财政激励；惩罚耗能性投资，如减少对低效产能的补贴。
 - 确保经济和财务机制到位，在各国家或地区避免碳排放和生产泄漏，以受益于更有利的条件。

障碍

- 巨额资本投资成本，尤其是在更换生产线方面的成本（例如将湿窑改造为干法窑）。
- 长期投资回报。
- 缺乏对碳的定价（除了诸如欧盟排放交易体系（European Union Emission Trading Scheme，EU ETS）¹⁾之类的本地或区域性机制）。

- 使用新技术改造旧技术的可能性有限。
- 企业缺乏全球统一战略，能效是水泥厂建设初始和后续投资的考虑要素，然而经常受当地能源价格的影响。
- 难以获得可持续和可负担得起的能源。
- 使用可再生能源现场发电的能力较低。
- 其他减排途径也会对能效产生负面影响，例如：熟料替代品如矿渣和粉煤灰可减少熟料生产过程二氧化碳的排放，但通常在粉磨水泥时需消耗更多的电力。
- 提高环境要求的同时也会增加电耗（比如，限制粉尘排放，无论采用何种技术进行粉尘分离都要消耗更多电力）。
- 降低余热回收的投资壁垒，使余热发电与电网更容易并网或自给消耗，这是需克服的障碍。要求对初期投资进行激励，以缩短一般技术投资回收期。
- 对水泥性能要求更高，就会要求水泥粉磨得更细，同样会比标准性能水泥消耗更多的电力。

合作伙伴的角色

潜在影响

项目／合作伙伴	行业	行业供应商	政府	大专学府	研究机构	
最佳实践	x	x				
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x	
技术扩散	x \$	x	\$			
制度结构	x	x	x	x	x	
绩效数据	x					

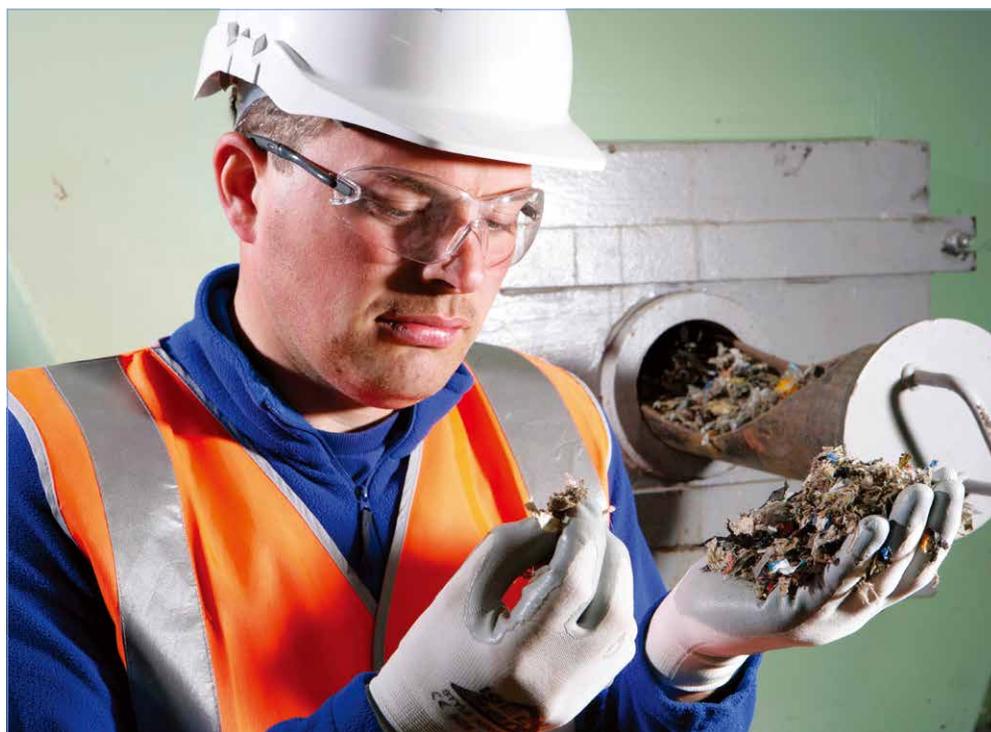
x = 要求的领导角色和直接参与
\$ = 资金来源

¹⁾ ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

利益相关者

- **行业自身**：在新建水泥厂时，生产商使用最新开发的技术，通常来讲能效也最高。
 - 设备的热效很大程度上取决于最初的工程设计；
 - 然而，在设备安装后，机械运行和维修时的效率是确保实现最大可能运行效率的关键。此运行效率由于技术的不同而变化，且难以进行衡量，但它是能源和排放管理的一个重要方面。
- **能源提供商**确保能以合理的价格提供所需的燃料和电气，从而与对能效的追求保持一致。
- **政府部门和监管机构**会对能源价格产生影响并作出某个国家或地区的能源组合战略性决策。
- **金融机构**发挥积极作用，确保各公司有能力进行长期的巨额资金投入，同时还能保持盈利。
- **市场和经济力量**促使淘汰低能效设备，而采用更多先进技术。
- **能源服务公司和建筑运营商**应付出更多的努力，开发和提供最先进能效技术的机械、建筑和基础设施元件。

大规模使用替代燃料和废物

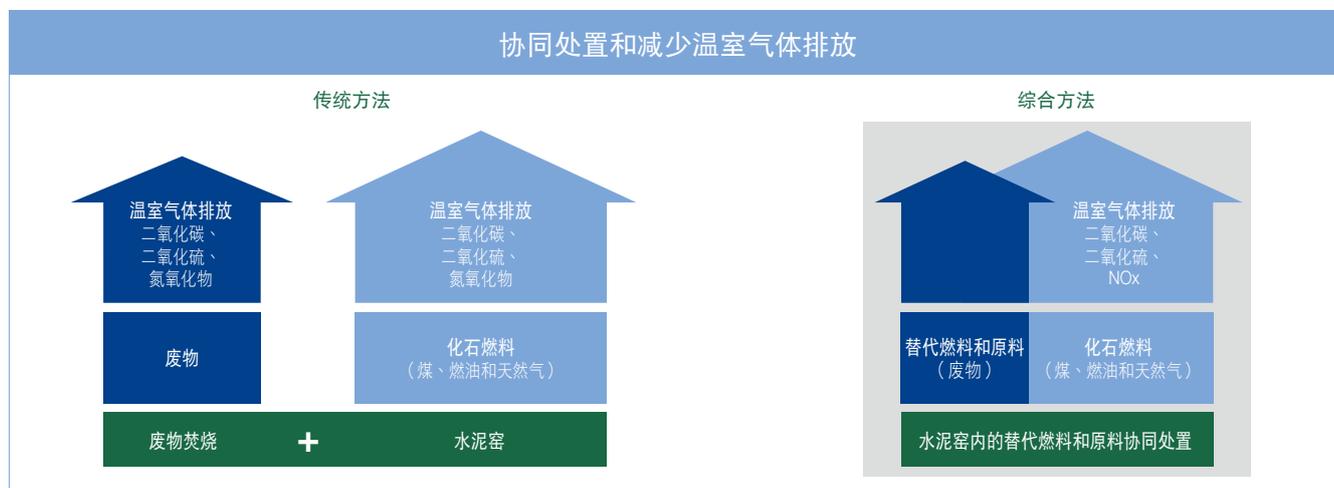


背景

使用非传统燃料指替代水泥窑运行所需的传统燃料（主要为煤和/或石油焦），如：使用碳强度较小的废物和生物质燃料。个别燃料（例如：塑料废物和废油）的碳强度一般比固体化石燃料低约 20%，而生物质燃料就可以低 100%。个别水泥厂在各混合燃料的节能量已可以超过 50%。

水泥窑是处理不可回收废物的最佳可用解决方案。因此，水泥窑在发展循环经济方面发挥着重要作用：与废物填埋相比，在水泥窑内焚烧废物节约了土地使用，避免潜在泄漏的问题，避免有机碳转化成甲烷，还重新获得了废物中的能源和材料。与在专用焚化炉内进行燃烧相比，水泥窑允许更高的化石燃料替换率，还允许在相似的非温室气体排放水平下，使得物料全部恢复。

水泥窑内的协同处置减少了来自水泥厂的二氧化碳排放量，同时减少了专用焚化炉和填埋排放的可能产生的二氧化碳和其他污染物排放量。



来源：欧洲水泥协会（The European Cement Association, CEMBUREAU）¹⁾

行动

为了提高优质替代性燃料和原材料的收集、获取和使用的规模，包括透过实践循环经济的理念从其他行业取得废弃物，我们将采取以下行动：

- 促进发展中国家的水泥窑协同处置，例如：与联合国工业发展组织（United Nations Industrial Development Organization, UNIDO）²⁾合作，让使用可替代燃料的专业知识得到广泛传播；
- 与其他工业合作，开拓适合水泥行业使用的废物流；
- 审查和在合适情况下更新区域、国家和地方立法，确保政策鼓励可替代燃料和生物质的使用；
- 开发资源使用指标，可以与世界资源论坛（World Resources Forum, WRF）³⁾合作；
- 促进社会认可，传播由 CSI 制定的协同处置和利益相关者参与指导方针，从而确保运营商遵守一套共通的替代燃料使用指南，以保证其贯彻执行正确处理程序，例如：为雇员和承包商提供入门培训和再培训、文件记录和监测；
- 组织研讨会，旨在分享关于替代燃料使用方面知识，并展示替代燃料使用方面的最佳实践（例如：2012 年在中国举行的 CSI 论坛）；及
- 对在某些国家需要的废物流进行库存清单编制和分类。

政策要求

- 政策制定者协助利益相关者及公众理解替代燃料使用如何帮助减少排放。
- 政府引进工业生态学的理念，并发扬循环型社会的理念。法律和监管框架必须支持区域过程的发展。
- 与国家行业协会合作，从而推广支持禁止垃圾填埋或使垃圾填埋从经济的角度是失去吸引力的政策和法规。政府和行业去探讨由垃圾填埋场产生替代燃料和原材料的概念（例如：由于城市扩展造成对空间的需要加剧）。
- 在当权机关内提供相关培训提升能力。让公务人员接受适当培训并挑选具备相应技术背景的人选负责许可、控制和监管工作。
- 识别具有气候中和作用的生物二氧化碳排放。
- 提供使用替代燃料发电和税收和财政激励措施，及相关监管框架。
- 协助处理替代燃料使用许可的发放。
- 创建企业社会责任基金、清洁能源基金 - 提供使用替代燃料的可用资金。

¹⁾ www.cembureau.eu

²⁾ www.unido.org

³⁾ www.wrforum.org

障碍

- 不利废物管理的政策。废弃物管理立法对把废物作为替代燃料而使用的可获得性存在明显影响。只有当地法规严格限制填埋垃圾或使用专用焚烧装置处理废物，并允许进行受监控的废物收集和替代燃料处理时，才能实现更高的燃料替代率。
- 在某些国家内，政府机构将废物专用焚烧装置的立法也应用于水泥窑的协同处置活动。事实上，温度、停留时间和最终残留量水平都清楚地证明了水泥窑的操作条件和限制与焚烧炉的大不相同。
- 当地废弃物的收集网络不足。
- 废物的可获得性。替代燃料价格很可能会随碳排放价格的升高而上涨。这会使水泥行业较难以可接受的价格获得大量生物质燃料。
- 公众反对。社区对水泥厂协同处理废弃物的接受程度会对当地工作开展产生极大影响。民众经常担心协同处置会排放有害气体，而实际上管理良好的水泥厂使用或不使用替代燃料时的排放水平是一样的。因此，提升认知意识是关键。
- 缺乏对于资源的合理使用权和使用能力。

利益相关者

- 其他行业部门确保废料/二次材料的适当供应。
- 联合国工业发展组织促进发展中国家的水泥窑协同处置。
- 多边发展银行（如：世界银行集团）将支持企业实施所需要技术。
- 驰名国际组织，例如：WRF 去开发资源指标。
- 国家层面行业协会协助当地政府倡导所需的政策和法规。
- 政府将实施需要的法律和政策框架，并将解禁现有不利的法律和政策框架。

合作伙伴的角色

潜在影响

项目/合作伙伴	行业	行业供应商	政府 (包括乡镇 地方政府)	大专学府	研究机构	
最佳实践	x	x				<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 低 高 </div> <p>节能</p> <p>二氧化碳减排量*</p> <p>水泥生产</p> <p>投资需要</p> <p>* 给定的范围取决于所使用替代燃料的定义</p>
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x	
技术扩散	x \$	x \$	\$			
制度结构	x	x	x	x	x	
绩效数据	x					

x = 要求的领导角色和直接参与
\$ = 资金来源

进一步减少水泥中的熟料的比重



背景

熟料是大多数类型水泥的主要成分。熟料提供了水泥的结合性能，同时也占了水泥的二氧化碳排放的最大部分。其他矿物成分也具有类似的水硬性，如：高炉矿渣（来自于钢铁业的副产品）、粉煤灰（来自于燃煤电站的剩余物）和一些天然火山材料（即：火山灰）。可使用这些矿物成分部分替代水泥中的熟料，因此减少熟料的使用。

目前，水泥行业开展了多个研发项目，期望可以达到降低水泥相对熟料比重，甚至完全取缔上述传统活性成分，例如：通过增加熟料的反应性，或更好地了解非活性成分（如：重质碳酸钙）的作用。

行动

为进一步降低熟料在水泥中的比重，需采取以下行动：

- 加大生产技术的研发。对替代材料的性能进行系统评估，以理解哪种混合材最适合某种特定的用途。
- 跨行业合作。开发和相互参考其他行业的路线图，这些行业由于生产熟料替代材料而与水泥工业相关。这将可以预测某一行业减排效果对其他行业减排潜力的影响。
- 制定最佳实践指南，并提高接纳度。对水泥和其他行业使用的主要替代材料进行独立的环境影响研究，以表明在何种程度可达到最高的减排潜力。
- 对具有潜力的熟料替代品开展制备工艺的研发工作，这些替代品由于目前由于质量限制暂不能使用。

- 与国家标准化机构和认证机构推动国际培训活动，就熟料替代品、混凝土标准、新型水泥制备混凝土的长期性能，环境和经济影响交流经验。
- 考虑允许使用混合水泥和高回收含量混凝土的标准。
- 在新建筑规范——强制性规范中确定回收含量层级。

政策要求

- 制定合适的公共采购政策，避免给予高熟料含量水泥优惠待遇。
- 支持政策和法律。制定新的、或修订一些国家的现有产品标准和规范，以便允许广泛使用更多混合水泥，例如基于性能（而不是成分）去订定标准，并确保地方机构认可这些标准。
- 提高政府在推动环境友好型绿色水泥中的作用。
- 激励低灰燃料使用。
- 激励粉煤灰和粒化高炉矿渣的远距离运输。

障碍

从技术角度看，更低的熟料掺入比可广泛用于某些特定混凝土产品，但是其他非技术因素可能会成为障碍：

- 熟料替代材料的区域可用性。熟料替代品将来是否可用存在不确定性。很大程度上，其可能会受到环境政策和法律的影响。

例如，随着电力行业未来的去碳化发展，粉煤灰的可用供应情况会受到限制；或燃煤发电站使用脱硝技术减少氮氧化物排放量，由于氨的浓度过高，产生的粉煤灰不能作为熟料替代品使用；

- 替代材料的价格不断升高；
- 替代材料的属性和水泥/混凝土的预期用途；
- 普通硅酸盐水泥和复合水泥的国家标准，及施工规范缓慢的更新；
- 市场和监管机构的认可，包括对常规做法的接受，及建筑承包商和客户对复合水泥的接受；
- 缺乏激励创新的整体政策；
- 市场准备；
- 缺乏系统紧迫性；
- 粉煤灰/粒化高炉矿渣质量和质量变化。

利益相关者

- **水泥价值链**促进市场对低碳水泥的认可。
- **标准机构**促进市场对低碳水泥的认可。
- **公共采购机构**促进市场对低碳水泥的认可。
- **金融机构**支持创新研究。
- **研究倡议**造就多方参与。

合作伙伴的角色

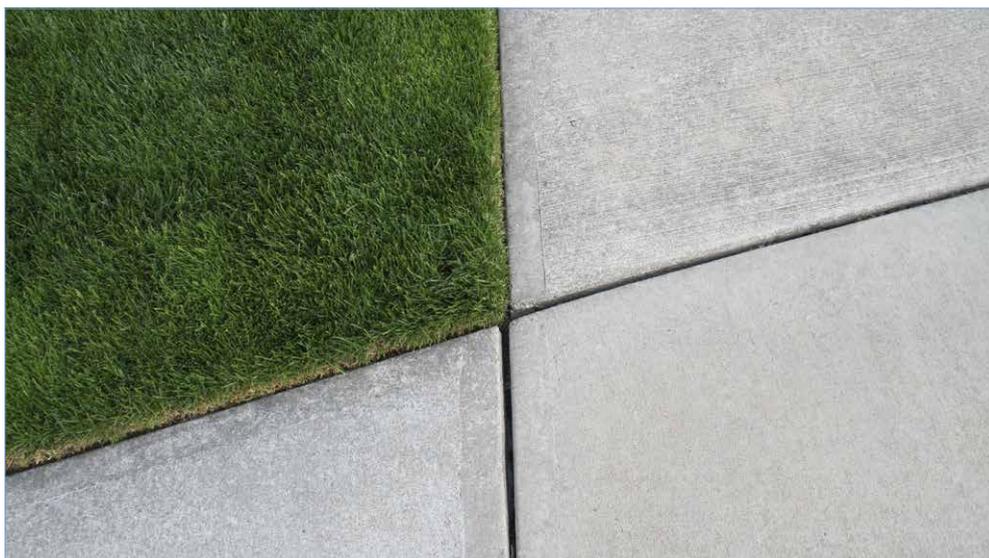
项目/合作伙伴	行业	行业供应商	政府 (在这种情况下，包括国家实验室)	大专学府	研究机构	标准化机构
最佳实践	x	x	x	x	x	x
技术研究	x \$	x	\$	x	x	x
技术扩散	x \$	x	\$		x	x
制度结构	x	x	x	x	x	x
绩效数据	x		x			x

潜在影响



x = 要求的领导作用和直接参与
\$ = 资金来源

新型低碳水泥熟料的开发



背景

熟料是大多类水泥的主要成分。熟料是水泥/混凝土使用过程中所产生的所有直接和大部分间接排放二氧化碳的重要原因。传统普通硅酸盐水泥经过粉磨，与石膏、其他矿物质或胶凝材料混合，例如高炉矿渣（钢铁工业中产生的副产品）、粉煤灰（燃煤发电站的残渣）、和/或天然的火山灰物质，然后与沙、骨料、助磨剂和水加入混凝土中，发生水化反应，混合物硬化为混凝土。

生产普通硅酸盐水泥熟料所产生的直接二氧化碳排放主要源自石灰石原料的分解及燃料燃烧。石灰石是生产熟料的主要原料，石灰石、黏土及铁矿石等按适当的比例配制、煅烧成硅酸钙，其满足水泥所需的性能。熟料煅烧过程中需要燃料（例如煤、焦炭、石油和天然气）提供可观热能，从而排放大量的二氧化碳。

开发新类型的熟料有如下两种基本方向：

1. 按照的要求开发石灰含量较低的新类型水泥熟料会减少因煅烧而产生的排放物，并降低能源需求量，从而需要使用较少的燃料；因此，减少了燃烧过程产生的相关二氧化碳排放量。
2. 熟料中的硅酸钙与水反应，形成水化硅酸钙（C-S-H）。某些类型的硅酸钙可以与二氧化碳在适当的条件下进行反应，形成碳酸盐（C-S），其可具有与水化硅酸钙类似的硬化性能。

在过去的几年里，一些公司已经报告了需要作出研发努力，以开发硫铝酸盐熟料，它仅需要较少的石灰石和较低的煅烧温度，会减少二氧化碳的排放。虽然成功研发，但仅停留在工业试验阶段，这些水泥还没有实现商业化，因为需要较高含量的氧化铝原材料，导致原材料成本较高，不能与普通硅酸盐水泥竞争。采用氧化钙为原料的其他水泥受到氧化钙在自然界中矿化形态的限制。

对于开发硬化混凝土结构，也进行了使用碳化而不是水化的工业规模试验和技术部署。迄今为止，使用部署碳化的技术只能达到多价螯合作用的非常适中水平，而基于碳酸盐的新型水泥在混凝土产品应用中使大量二氧化碳多价螯合，刚刚开始商业化。

联合国环境计划署辖下的可持续建筑与气候倡议（United Nations Environment Programme's Sustainable Buildings and Climate Initiative, UNEP SBCi）¹⁾——作为主要公共和私营部门的利益相关者在建筑领域的协作——成立了一个工作组去探讨实用、低成本的解决方案，以减少碳足迹，提高水泥建材行业的资源利用效率。目标是收集解决方案，以帮助行业避免将碳捕集、封存与利用作为减排对策。

该小组汇集了多学科组来自不同国家、学术界、行业、非政府组织的 30 名专家。它将集中努力，通过 CSI 的水泥技术路线图制定解决问题的更多技术解决方案。它也将通过提高水泥的使用效率，向下寻找产业价值链中的减排机遇。

然而，应当注意的是，围绕新类型熟料的发展仍然存在相当不明朗因素，这些因素会对相关解决方案构成总体影响（包括理论上的减排潜力、费用问题、原材料的可用性、扩散速度、现有设备的更换需求等）。水泥行业制定目标时，在考虑了已开发相当的技术潜力，是遵循了适度保守的做法，但也认识到要广泛实施所面临的挑战；现订目标未有包括任何突破性技术，如（几乎）碳中和熟料类型。

行动

为了以更低的能源满足煅烧要求来开发新型水泥熟料，并且新型水泥将通过碳化反应，同时硬化来使二氧化碳多价螯合，将实施以下行动：

- 加工技术研发。记录潜力评估，以降低斜硅钙石—硫铝酸钙—铁素体熟料的原材料成本。进一步开发这类材料，以使它们在成本方面比普通硅酸盐水泥更具有竞争力；
- 行业合作。在有很少甚至没有二氧化碳排放量的混凝土产品行业建立激励机制，以便采用新技术，从而减少水泥行业的二氧化碳排放量；
- 制定良好的实践指南，并提高接纳度。由水泥和其他工业就使用含低熟料水泥进行独立环境影响研究，以说明在何处能够达到最高减排潜力；
- 加入新型水泥及水泥基材料的研究倡议，如洛桑联邦理工学院（École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL）²⁾ 和联合国环境计划署的可持续建筑与气候倡议倡议；
- 广泛推广水泥行业低碳技术用资金的替代来源，包括出口信贷机构和多边开发银行；例如，气候投资基金（Climate Investment Funds）³⁾，它们由世界银行集团（World Bank Group）、国际金融公司、欧洲复兴开发银行（European Bank for Reconstruction and Development, EBRD）⁴⁾、欧洲投资银行（European Investment Bank, EIB）⁵⁾ 和能源服务公司管理。

¹⁾ www.unep.org/sbci

²⁾ www.epfl.ch

³⁾ www.climateinvestmentfunds.org

⁴⁾ www.ebrd.com

⁵⁾ www.eib.org

- 研发全新的水泥熟料，具有更低的能耗和煅烧排放量；和
- 促进开展国家标准化机构和认证协会的国际培训活动，以在新类型的水泥、混凝土标准、新型水泥的长期混凝土性能以及环境和经济影响方面交流经验。

政策要求

- 制定推广新型低熟料水泥的适当公共采购政策。
- 应用政策和立法。在一些国家制定新的或修订现有的水泥标准和规范，并考虑使用低熟料水泥。这些标准应该不仅限于化学成分，还应包括性能以及化学。

壁垒

从技术方面来看，开发可使二氧化碳多价整合合同时固化成混凝土的新型熟料和水泥能够成功，但其他非技术问题可能成为壁垒：

- 原材料的可用性。许多新型熟料需要氧化铝来源。氧化铝废料，如废催化剂可以是一种来源，但这种材料的区域可用性有时受到挑战；
- 国家建筑标准或施工规范通常未考虑用于代替标准混凝土的新材料；

- 市场及监管机构认可，其中包括习惯作法、施工承包商和客户对新型水泥的接受；
- 缺乏刺激创新的整体政策；
- 市场准备和接受；
- 缺乏系统的紧迫性；及
- 研发项目的知识产权，可以防止扩大实施。

利益相关者

- 水泥价值链推动市场接受低碳水泥。
- 标准机构推动市场接受低碳水泥。
- 公共采购机构推动市场接受低碳水泥。
- 研究倡议，例如联合国环境计划署辖下的可持续建筑与气候倡议相关组织，来激励创新的解决方案。
- 金融机构支持创新研究。
- 多利益相关者的研究倡议。

合作伙伴的角色

潜在影响

项目／合作伙伴	行业	行业供应商	政府 (在这种情况下，包括国家实验室)	大专学府	研究机构	标准化机构	潜在影响	
							低	高
最佳实践	x	x	x	x	x	x	节能	
技术研究	x \$	x	\$	x	x	x	二氧化碳减排量	
技术扩散	x \$	x	\$		x	x	水泥生产	
制度结构	x	x	x	x	x	x	投资需要	
绩效数据	x		x			x		

x = 要求的领导作用和直接参与
\$ = 资金来源

应对可避免碳排的挑战



背景

水泥行业目前产生约 5% 的人为二氧化碳排放量。业界一贯采用最佳可用技术测量、监测和减低碳排。作为低碳技术价值链的一部分，与传统产品或是市场平均水平比较，各种水泥及混凝土产品可以帮助减少温室气体排放。根据《温室气体议定书》¹⁾ 国际会计工具的术语，这种减排视为“可避免碳排”。因此，生产过程中排放的二氧化碳可通过材料的使用阶段而抵消，它是产品和解决方案的关键部分，可显著促进开发适应性强的基础设施和建成环境。

¹⁾ www.ghgprotocol.org

行动

为了在当地市场动员完整的建筑和基础设施价值链，并通过使用创新型水泥和混凝土产品最大限度地避免碳排，需要多根据建筑和基础设施项目完整寿命周期内的影响评估，去选择建筑材料和解决方案，包括原材料提取、加工、运输、施工、使用阶段和产品寿命结束（拆除/再利用）（从摇篮到坟墓/从摇篮到摇篮）；需要实施以下行动：

- 巩固和扩大混凝土带来的与缓解和适应相关效益，增强相关意识和相关知识；
- 通过提供专业知识和咨询，为客户努力实施更多可持续发展项目提供支持；
- 积极支持生命周期评价方法的使用，包括但不限于：
 - 建设性地参与生命周期评价的相关标准、方法、工具和最佳实践的制定和开发；
 - 为混凝土和其它建筑制品提供环保生产声明，这种声明对所有建筑和结构整个生命周期内重要影响提供关键量化评估；
 - 在内部决策程序中多使用生命周期评价技术（例如，选择技术、加工、燃料、材料等）；
- 为建筑和材料制定一种通用的方法和一个简化的生命周期框架；
- 识别跨行业的突破性合作机遇，评估其它行业产品的完整生命周期，包括一个行业的某些成果可能成为完整循环经济中其他行业的投入的可能性；及
- 推广混凝土路面并展示与使用沥青比较更能避免碳排。

政策要求

- 缓解气候变化的努力应与适应相关协调策略相结合，以应对我们面临的社会挑战。识别混凝土对实现特定可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）的贡献。
- 审查现有标准、重新考虑、加强和进一步实施建筑规范和标准，让发展基础设施时多考虑创新的解决方案和提高恢复力的价值。
- 建立超国家体制，转移能力、技术和资源以构建发展中国家的恢复力，重点发展在金字塔底部的群体，并确保直接参与恢复项目的实现。
- 建立促进整个生命周期内生命周期评价使用的规章制度，特别包括所有施工项目的使用阶段。
- 支持生命周期评价相关工具和数据库的开发。
- 根据需求制定规章制度。
- 支持生命周期评价进行公开采购和公路特许经营。

障碍

缺少易于使用的生命周期评价工具和相应的关键材料、产品和加工数据库。

- 市场和监管机构验收，包括惯例和施工承包商和客户对创新型产品的验收。
- 缺少刺激创新的整体政策。
- 市场准备。
- 实现铺平道路的能力构建。
- 无路面设计耐久性标准。

利益相关者

- **城市规划者、化学、铝钢行业、建筑和基础设施行业**制定了共同的生命周期评价指标，并提高了其恢复力，以及其可能影响的社区的恢复力。
- **政府和政策制定者**重新考虑、加强和进一步实施建筑规范和标准，让发展基础设施时多考虑创新的解决方案和提高恢复力的价值。
- **金融界**与政府机构合作以更准确评估气候变化的代价—包括直接代价（如自然灾害）和间接代价（如保险）。
- **大专学府和学术机构**会在确保建成环境未来专业人员资质的同时，巩固与恢复力重要性相关的知识并开展相关教育课程。
- **非政府组织**会发起一项联合行动，以提高在发展中国家构建气候变化恢复力的必要性意识。
- **联合国国际减灾战略署（The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNISDR）¹⁾**将在全球范围内支持和推广我们的讯息。

¹⁾ www.unisdr.org

评估大规模碳捕集、利用和封存的机遇

背景

跨行业合作是加速创新和实现共同目标的核心。在遵守反垄断规定的原则下，共享技术技能、理念和影响力将促进现有和突破性技术的实施。因此，能源密集型产业（水泥、化学和钢）已齐聚一堂制定碳捕集、利用与封存（carbon capture, storage & utilization, CCS&U）解决方案。水泥行业已积极投入研发，并致力于由欧洲水泥研究院（European Cement Research Academy, ECRA）¹⁾ 推动的氧燃料技术试点项目，目的是捕集二氧化碳。

行动

为了评估跨行业倡议，特别是关于大规模捕集、利用和封存一定量碳的机遇，将实施以下行动：

- 确定水泥和钢铁行业的碳捕集和利用（CC&U）成本与效益，利用化工行业的解决方案将二氧化碳和一氧化碳转变为燃料和其它应用；
- 测量来自生产过程和产品的二氧化碳排放；
- 与积极的能源密集型行业合作，通过本倡议促进已确认的现有和突破性技术的实施，可考虑与低碳技术伙伴关系倡议就碳捕集开展合作；
- 促进适当规章制度和财政激励机制的建立；
- 扩大政府和行业在教育和通知公众和主要利益相关者与碳捕集或利用（CCS/U）相关事项方面做出的努力；及
- 调查现有或集成网络与行业领域内在工业范畴集群活动机遇的联系。通过建立本地和全球合作伙伴关系（受益于多个执行者之间的协同作用）加强合作，加大商业解决方案实施规模以构建低碳社会。

政策要求

- 在 2015 年巴黎气候大会上对长期、具有约束力、普遍的气候协议达成一致意见，使私营体系能够进行适当的长期投资。
- 制定与促进碳捕集或利用监管国际合作相关的政策和立法。
- 对与长期二氧化碳地下/水下储存相关的债务建立一项担保机制。
- 建立财政激励机制。政府支持并资助研究、试点和示范项目，促进形成商业化示范厂。

¹⁾ www.ecra-online.org

障碍

- 高成本和商业可用性。
- 政府激励、资助研究、长期负债的政策支持，将碳捕集或利用用作全面气候变化战略的一部分。
- 复杂的许可和批准程序。
- 当地居民在获得充分资讯下批准在他们的社区内开展碳捕集或利用项目。
- 创建新的市场机制代替之前的清洁发展机制规章制度，进而加速为能源效率项目提供资金提供和包含碳捕集或利用项目，以及接受排放交易计划中碳捕集或利用的贷款，例如欧盟排放交易体系。
- 人们通常认为碳捕集或利用是减少二氧化碳排放的关键，但据估计，这使工厂的能耗提高了 50 至 120%（空气分离、剥离、净化、二氧化碳压缩等能耗）。
- 确保具有支持性监控、报告和验证（monitoring, reporting, and verification, MR&V）规章制度的政策通过新市场机制激励碳捕集或利用技术。可发展全球市场机制基金，碳捕集或利用有资格使用该基金（并帮助实现中长期碳捕集或利用的商业可行性），或市场机制项目标准可包括水泥行业内的行业基准，这该行业，市场机制会激励早期碳捕集或利用发展。

利益相关者

- **金融界**支持突破性技术的研究和开发，并支持被证明有效的低碳技术的加速和扩大；将特别强调在发展中国家使用。
- **大专学府和学术机构**应提高行业内未来专业技术人员知识水平和资质，并在与公共和私营体系以及金融机构合作的情况下发展大规模研究项目。
- **非政府组织**应与利益相关者合作，以加强对未来突破性技术的意识、理解和认可。

合作伙伴的角色

潜在影响

项目/合作伙伴	行业	行业供应商	政府	大专学府	研究机构	参与碳捕集运输和储存的其他行业	潜在影响
最佳实践	x		x \$ (运输)		x		二氧化碳减排量  水泥生产  投资需求 
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x	x	
技术扩散	x \$	x \$	\$	x	x	x	
制度结构	x	x	x	x	x \$	x	
绩效数据	x	x	x	x	x		

x = 领导角色和要求的直接参与
\$ = 资金来源

致谢

水泥 LCTPI 水泥工作组召集了 25 家水泥可持续发展倡议行动组织（Cement Sustainability Initiative，CSI）成员企业共同制定本报告。水泥工作组的工作由 CSI 经理 Cristiana Ciaraldi 和 Esha Sar 主导。LCTPI 的工由世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development，WBCSD）气候与能源常务总监 Maria Mendiluce 和水泥 LCTPI 项目经理（同时是来自 PwC UK 的借调人员）Helen Baker 共同主导。



本出版物以世界可持续发展工商理事会（WBCSD）的名义发行。本文件和文件中的行动计划是由 WBCSD 和参与低碳技术合作伙伴倡议（LCTPI）的各公司代表共同制定的。LCTPI 的广泛成员审查了本材料，并确保文件可广泛代表 LCTPI 工作组大多数人的观点。但这并不表示工作组包含的所有公司同意文件的所有内容。

此中文版文本是对英文原版的翻译（鸣谢中国建材与华润水泥提供翻译）。如中文译本与英文原版之间在表达和理解方面存在分歧，请以英文原版为准。

The Chinese language version of this document (prepared with kind contribution of CNBM & China Resources Cement) is a convenience translation of the original English language version. In case of discrepancies between the original English language document and its Chinese convenience translation, the original English version shall apply and prevail.

版权所有 ©WBCSD，2015 年 11 月
ISBN: 978-2-940521-42-5



世界可持续发展工商理事会
(World Business Council for Sustainable Development)

Maison de la Paix, Chemin Eugène-Rigot 2, Case postale 246, 1211 Geneve 21, 电话 : +41 (0)22 839 31 00

115 Fifth Ave, 6th Floor, New York, NY 10003

4th Floor, Worldmark 2, Aerocity New Delhi 110 037, 电话 : +91 11 4138 7278