



# 水泥技术路线图2009

## 直至2050年的碳减排目标



World Business Council for Sustainable Development



International Energy Agency

当前能源消费与供给的发展趋势从经济、环境、社会三方面来讲都是不可持续的。我们能够也必须去改变这种发展道路：由此必将引起一场以低碳能源技术为中心的能源革命。然而通往低碳经济的道路并非完全明朗。但我们不能消极等待，我们必须主动向前，依靠技术研究、开发及其应用来谱写人类的未来。

2008年，在日本北海道召开的G8峰会要求国际能源署主导一系列路线图的开发，重点关注能源供给和需求中最关键的低碳技术。这些路线图将有助确认加速根本性技术转变所必需的举措。从而让政府、行业和投资者做出正确的选择，最终也会促使社会做出正确的决定。

认识到寻求降低水泥生产中CO<sub>2</sub>排放技术的紧迫性，国际能源署与世界可持续发展工商理事会（WBCSD）水泥可持续发展倡议（CSI）携手合作为水泥行业制定了一个技术路线图。这是目前唯一针对特定行业的路线图，其它路线图主要涉及具体技术。这种合作不仅显示出基于已取得进展的共同愿望，建立在以往所取得的进展之上，同时也是对该行业未来发展所达成的共识。

目前水泥工业排放的CO<sub>2</sub>已达到了全球CO<sub>2</sub>总排放的5%。自2002年起，CSI成员企业在计量、报告和减少CO<sub>2</sub>排放方面取得了显著的成绩，并与其他水泥行业的同仁共同分享他们的进步。该技术路线图是一个合理的辅助性的举措，以推动应对气候变化的有效行动。水泥路线图为水泥行业勾勒出一条可能的转变途径，以继续为实现2050年全球CO<sub>2</sub>排放减半的目标做出贡献。作为水泥行业对减排的贡献，路线图预计2050年水泥行业可以在现有水平的基础上减少18%的直接排放。该路线图只是对该行业的潜能和挑战作了深入的分析，然而在全球范围内，并不意味着所有行业都线性减排到同一水平。

然而要实现18%减排量的宏愿，必须要有切实可行的、可达目标的具体改变。路线图只是第一步。只有拥有了支持性的政策框架和合适的资金来源做长期投资才能实现这一目标。本路线图列出了这些政策，预估了融资上的需求，描述了技术上的变化，还提出了支持研发以及未来投资决策的建议。

我们共同制定该路线图展示出合作与伙伴关系对实现全球减排目标的重要性，提出了一个行业的潜在途径。通过这一途径，我们期待与政策制定者、投资者和其它行业的公开对话，以帮助我们有效地适应未来的低碳世界。

**Nobuo Tanaka**  
执行总裁  
国际能源署 (IEA)



**Bjorn Stigson**  
主席  
世界可持续发展工商理事会 (WBCSD)



## 目录

<b>前言</b>	<b>2</b>
一个备受关注的行业	2
路线图的起草	3
水泥生产一览	4
碳减排途径	5
具有潜力的低碳水泥	5
<b>减排技术</b>	<b>6</b>
提高热效与电效	6
替代燃料的使用	9
熟料替代	12
碳捕集与碳贮存	14
<b>需要怎样的政策支持？</b>	<b>17</b>
行业减排途径	21
<b>需要怎样的财政支持？</b>	<b>22</b>
<b>进展指标</b>	<b>24</b>
<b>利益相关方的行动</b>	<b>25</b>
<b>结论</b>	<b>26</b>
<b>词汇表</b>	<b>27</b>
<b>参考文献</b>	<b>28</b>
<b>附表I IEA路线图模型中的排放系数</b>	<b>28</b>
<b>附表II IEA路线图模型中的基线计算</b>	<b>28</b>
<b>附表III 水泥低需求情景与高需求情景的主要区别</b>	<b>29</b>

此刊物原文以英文发表，虽然国际能源署尽力确保中文译本忠于英文原文，但仍难免略有差异。中文译本由中国建筑材料科学研究院提供。

## 引言

### 一个备受关注的行业

为了支持减排核心技术路线图的工作，国际能源署（IEA）也对水泥行业进行了调查。水泥生产技术既包括水泥行业特有的技术，也包括与其它行业共享的技术（如：粉磨、燃料制备、燃烧、破碎、运输等）。该路线图针对特定行业提供了一个有效的机制，将几种技术方案综合到一起。路线图不仅概述了单个行业技术改进的减排潜力，还表明了跨行业之间的合作潜力。

水泥是混凝土中必需的“胶粘剂”，是世界范围内社会基础设施建设的基础性建筑材料，混凝土是全球每年继水之后的第二大消耗品。但是生产水泥的同时会产生CO<sub>2</sub>，从而导致水泥行业的CO<sub>2</sub>排放量占到全球人为CO<sub>2</sub>排放量的5%左右。随着气候变化减缓与适应措施的增加，对混凝土的需求预计未来还会增长。特别是在发展中国家，由于现代化进程和经济增长，水泥生产预期还会增长。2006年全球水泥总产量为25.5亿吨（美国地勘局2008）。对于2050年的世界水泥产量，路线图采用了一种较低增长的情景，届时产量是36.9亿吨；另一种是增长较快的情景，产量预计达到44亿吨（详见附表III<sup>1</sup>）。

有一点很清楚，那就是至少在未来十年内，规模足以产生实质性影响的水泥替代品是不现实的。但是，近年来水泥行业已达到增长与CO<sub>2</sub>绝对排放量的部分脱钩：2000年到2006年全球水泥生产增长54%，但CO<sub>2</sub>绝对排放量增长仅约42%（5.6亿吨），2006年排放达到18.8亿吨<sup>2</sup>（IEA）。但这种趋势不会无限持续，无论在何处，市场对于混凝土和水泥的需求增长速度超过了生产每吨产品CO<sub>2</sub>减排的技术潜力，CO<sub>2</sub>绝对排放量将会继续增长。

注：1. 水泥需求预测是评估减排潜力的一个关键参数。需求大的情景则意味着更低的绝对减排或者更快地实施碳捕集与碳贮存，或者两种情况都出现。不同研究所得出的预测范围见附表III；

2. 18.8亿吨 CO<sub>2</sub>仅来自直接能源和生产工艺的排放。

### 世界可持续发展工商理事会水泥可持续发展倡议行动（WBCSD-CSI）

CSI是一个自愿性的商业倡议行动。近十几年来，其成员一直致力于应对气候变化问题。众所周知，尽管水泥生产会带来负面的环境影响，但使用混凝土也有诸多好处。混凝土的耐久性可达几个世纪，其维护和修护的花费有限，使用生命周期结束时还可以被回收利用（做为集料）。一个设计良好的混凝土建筑物与同样的一个轻质结构建筑物相比要少消耗5%-15%的热量，对室内供暖和制冷要求更低。在混凝土使用期限内，它还在慢慢地从空气中吸收CO<sub>2</sub>（碳封存）。混凝土还有较高的反射效果，它能反射更多的太阳光并吸收较少热量，形成更凉爽的当地温度和减少城市热岛效应。水泥由当地生产提供。CSI 目前正致力于了解水泥在整个使用生命周期内产生的影响，包括作为混凝土和再生集料。路线图的下一阶段任务可能是就此问题制定技术路线图。

## 路线图的起草

路线图基于国际能源署蓝色规划中水泥行业的模型，该规划检查了全球所有针对减少与能源相关的CO<sub>2</sub>排放的政策，计划在2006年的基础上到2050年CO<sub>2</sub>排放减半（蓝色情景规划IEA, 2008）。根据气候变化政府间小组（IPCC）所述，蓝色规划预计全球气温将升高2~3度，但这是建立在CO<sub>2</sub>减排和其它温室气体排放大幅减少共同实现的前提下。路线图所基于的模型数据来自《工业能源技术转变》（IEA, 2009）

### 能源技术愿景（ETP）2008 蓝色规划

ETP 蓝色规划介绍了为实现全球2050年CO<sub>2</sub>排放减半的目标，全球能源经济可能发生的变化。模型是一个倒置的马卡模型，在自然资源的条件限制下，利用成本最优原则来识别成本最低的综合能源技术和燃料来满足能源需求。ETP模型是一个关于全球15个地区的模型，各地区可在整个能源系统中分析各种燃料和技术方案。模型中详细的技术方案包括约一千个单独技术的介绍。此外，对于在工业、建筑和运输行业的所有主要终端用户，ETP 模型有详细的需求模型补充。

该路线图由CSI资助，由欧洲水泥研究院（ECRA）开发，列出了由38个技术文件组成的一套技术减排方案。IEA选择了对该路线图有贡献的具体减排潜力。技术文件中列出了现有的和潜在的技术、预测成本、实施时间和减排潜力。文件重点关注对水泥行业可行的四种减排途径：提高热效与电效、替代燃料的使用、熟料替代、碳捕集与碳贮存（CCS）。严格意义上讲，如果要实现蓝色规划的目标，需要综合运用所有这些技术，单靠某一减排途径是不可能实现的。

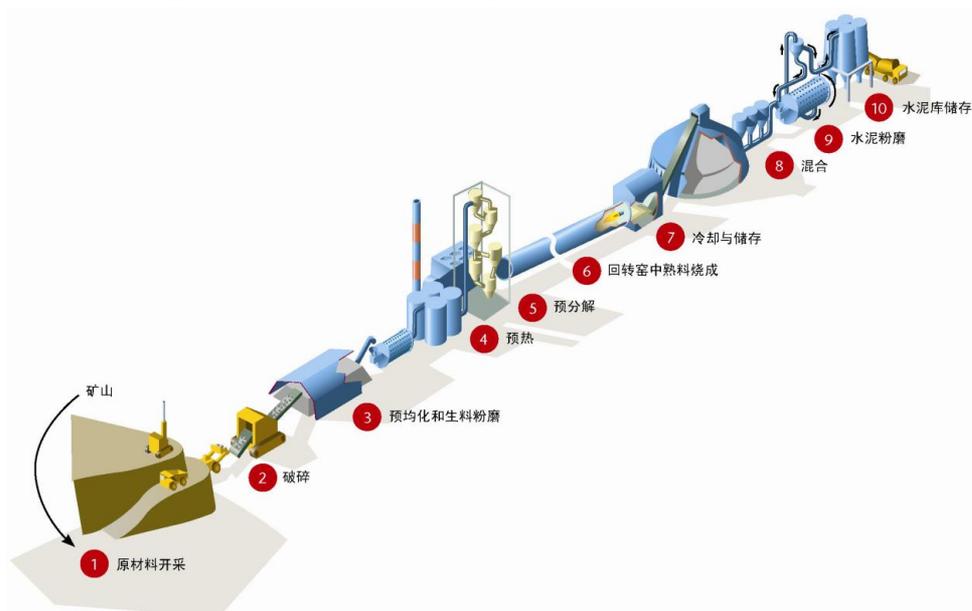
虽然这些文件是基于当前的技术知识，但也提供了未来潜在的减排愿景。文件假定水泥生产技术不会有重大突破，因此如果水泥行业要显著减少排放，CCS的重要性不言而喻。但即使随着CCS的开发和实施，水泥行业也不可能在其现有技术、投资和创新体制内实现碳中和。目前还没有可以替代混凝土作为全球主要建筑材料的大宗替代品。某些材料仅在一些领域内可以作为替代产品，但仍无法像混凝土一样如此广泛地被使用。

技术文件可登陆网站[www.wbcdcement.org/technology](http://www.wbcdcement.org/technology)查询。

## 水泥生产一览

水泥是一种人造粉末，与水与集料混合后就形成了混凝土。  
水泥生产工艺可以分为2个基本步骤：

1. 在1450℃的窑中形成熟料
2. 熟料与其它矿物共同粉磨后的粉末即水泥



### 1. 原材料开采

天然的石灰质矿如石灰石、泥灰岩、白垩可以提供 $\text{CaCO}_3$ ，通常在靠近水泥厂附近的矿山开采。少量的校正原料如铁矿石、矾土、页岩、粘土或砂可以提供 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2$ ，这些成份可以调整生料的化学组份以满足工艺和产品要求。

### 2. 破碎

原材料开采后运去进行一次和二次破碎，被破碎成10cm左右大小的碎石。

### 3. 预均化和生料粉磨

预均化是将不同原材料混合以达到要求的化学成分，再共同粉磨形成生料的过程。为了确保水泥质量，原材料和生料的化学性质要严格控制。

### 4. 预热

预热器由一系列垂直旋风筒组成，生料在通过旋风筒时与筒内相反方向的窑尾热气流接触。在这些旋风筒中，热能的回收利用来自于窑尾的热废气，生料进入窑内之前被预热，因此必要的化学反应发生得更快更有

效。根据生料中的水分含量不同，一个窑可以最多有6级旋风预热器，预热器每多一级热交换效率就更高。

### 5. 预分解

分解是由石灰石分解为氧化钙。一部分分解反应发生在分解炉内，即窑上方预热器底部的燃烧炉中，另一部分反应发生在窑中。石灰石分解过程中 $\text{CO}_2$ 的排放占到总排放量的60%-65%，其余的排放来自燃料燃烧，其中65%产生于预分解中。

### 6. 回转窑中熟料烧成

预分解后的生料进入窑中。燃料在窑内直接燃烧，使窑内温度达到1450℃。当窑以3~5转/分的转速旋转时，物料随着窑的旋转，逐渐由预热带移动至燃烧带。窑内的高温使物料发生化学与物理反应，将物料烧结为熟料。

### 7. 冷却与储存

高温熟料从窑进入篦冷机，被进入的燃烧空气所冷却，以尽可能减少系统的能量损失

一个典型的水泥厂在熟料生产和熟料粉磨之间设有熟料仓。熟料通常可以作为商品出售。

### 8. 混合

将熟料与其它矿物成分进行混合，所有水泥品种均包含约4%-5%的石膏，用来控制水泥的凝结时间。如果用一定量的矿渣、粉煤灰、石灰石或其它材料替代熟料，这样的产品被称为“复合水泥”。

### 9. 水泥粉磨

熟料与石膏一起粉磨成灰色的粉末，即普通波特兰水泥（OPC）。或者熟料与其它矿物质材料一起粉磨为复合水泥。在过去，用球磨机进行粉磨。现在，许多现代化工厂使用更高效的设备—辊压磨和立磨。

### 10. 水泥库储存

最终水泥产品均化、储存在水泥库中，然后分配到包装站生产袋装水泥或者用罐装车（散装水泥）进行运输。

备注：一些过时和能效较低的技术，如湿法窑中喂入的原料为浆状而不像干法窑为粉末状。

## 碳排放的减排途径

目前已有若干机构做过关于水泥行业减排潜力的研究(包括IEA (2008, 2009), CSI (2009), ECRA (2009), CCAP (2008), McKinsey (2008))。通过对不同发展情况、基线排放和未来需求预测的研究,他们得出相似的结论,其中都重点强调以下4种碳减排途径的影响:

1. 提高热效与电效—对新水泥厂采用当前最新工艺技术,对旧厂在经济可行性情况下进行节能设备改造。
2. 替代燃料的使用—使用低碳排放强度化石燃料,使用更多的替代化石燃料和生物质燃料。替代燃料包括那些可能在焚烧炉中被焚烧,填埋或处置不当的废弃物。

## 具有潜力的低碳水泥

目前有一些新兴公司正在开发低碳与负碳水泥,预计在2010或2011年建立试点工厂。这些新型水泥的力学特性与波特兰水泥相似,但其新工艺还在开发阶段,产品的经济性和长期可靠性都还没有得到验证。由于建材行业材料和建筑标准有较高的要求,所以建筑业还没有接受这些新产品。随着首批工厂开始生产,产品的初期使用范围可能会很有限,只针对特定的专业市场,消费者的认可和广泛应用尚待时日。

因此,该产品对未来水泥行业发展是否会产生影响尚不得而知。因此在该路线图中没有考虑此项技术。从长远来看,它们可能会对水泥生产降低CO<sub>2</sub>排放强度带来机遇,政府和行业也应当认真关注并支持它们的发展。

- **Novacem** 主要原料是硅酸镁(提供MgO),而不是普通波特兰水泥中使用的石灰石。据估算硅酸镁在全球的储量相当大,但是分布不均匀,使用前需要加工。通过低碳低温工艺将硅酸镁转化成氧化镁,然后加入矿物外加剂以加速强度发展和CO<sub>2</sub>的吸收。这为开发负碳排放水泥提供了机会。

3. 熟料替代—用其它具有胶结性的低碳排放强度材料替代高碳排放强度的熟料。

4. 碳捕集与碳贮存(CCS)—在CO<sub>2</sub>排放到大气中之前将其捕集并安全地贮存,使其以后也不会再次排放。

经常发生这样的情况,任何一种减排途径会对其它途径的减排潜力产生影响。比如,使用替代燃料通常会增加单位热耗(比如由于水份含量较高)。所以,简单将每种技术的减排潜力加和计算总的减排潜力是不可行的。减排潜力是基于净排放。

- **Calera** 是碳酸钙与碳酸镁以及氢氧化钙与氢氧化镁的混合物。它的生产工艺包括将海水、咸水或盐水与发电站所排烟气的余热接触,烟气中的CO<sub>2</sub>被吸收,碳酸盐矿物沉淀。

- **Calix's** 水泥是由白云石在反应器中的超热气流里被迅速煅烧而成。排放的CO<sub>2</sub>由一个单独的CO<sub>2</sub>净化系统收集。

- **地聚水泥** 利用电力行业中的废弃物(粉煤灰、底灰),钢铁行业的废渣和混凝土废弃物来生产碱激发水泥。该水泥的性能由原料的化学成分、化学激发剂氢氧化钠和氢氧化钾的浓度,以及可溶解的硅酸盐浓度等因素决定。该水泥已在小范围内实现商业化,但还未在强度要求较高的工程中大规模应用。该技术开发于20世纪50年代。

## 减排技术

### 提高热效与电效

当新建水泥厂时，应使用最新开发的技术，同时也是具有最高能效的技术，因此新线的能效相对而言都是较高的。能效高的技术可通过降低能耗为生产者带来成本优势。因此随着新厂的建立和老厂的升级改造，能效在逐步提高。

目前有许多可行的节能技术，生产每吨熟料可节约0.2-3.5吉焦。水泥行业正逐步淘汰低能效的长干法窑和湿法窑。市场导向和经济效益促使低能效设备淘汰，而采用更多先进技术。

设备的热效很大程度上取决于最初的工程设计。但安装完毕后，机器的运转和维护是确保实现其最大潜在运转效率的关键。不同的技术其运转效率也不相同，并且难以测量。但这是能源和排放管理的一个重要方面。目前最先进的工艺是带预热器和预分解炉的新型干法工艺。根据CSI-“把数据搞准”(GNR)中的数据，1990年窑的加权平均热耗是3605兆焦/吨熟料，2006年为3382兆焦/吨熟料，这表明16年来热耗降低了220兆焦/吨熟料(6%)。

能效是水泥厂初始和后续投资的函数，经常受当地能源价格的影响。比如，在印度的水泥厂对提高电效和热效的投资较大，是由于当地能源价格昂贵和煤炭资源匮乏，需要部分依赖价格更高的进口煤炭。且印度许多地区供电不稳定，水泥生产商建有高效锅炉的自备发电站，近年来余热回收设备开始兴建。

作为四种减排途径之一，唯有能效由行业自身进行管理。其它途径很大程度上受到政策和法律框架的影响。

#### 热效范围 (熟料)



来源: “把数据搞准” 2006, WBCSD

#### 电效 (水泥)

水泥生产电耗	千瓦时/吨水泥
10% 的粉磨	89
全球加权平均	111
90% 的粉磨	130

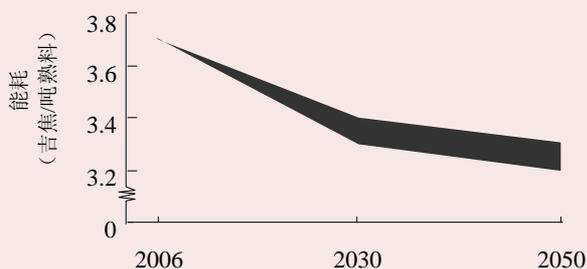
备注: 复合水泥和硅酸盐水泥的数据

来源: GNR数据 2006, WBCSD

## 使用当前最新技术的水泥厂热耗

### 热效

不同年份熟料生产热耗:



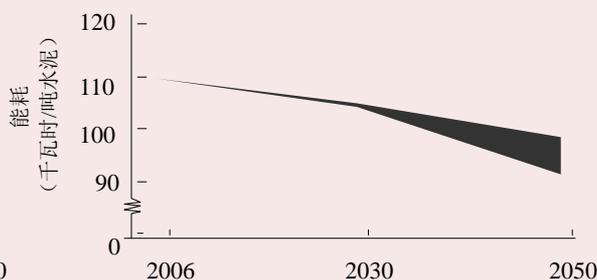
来源: ECRA 技术文件 (2009)

备注: 均为估计平均值

备注: IEA 的预测包括 2050 年全球电耗的减排, 该预测仅用于减排而不适用于基线情况, 因此在减排情况中的 CO<sub>2</sub> 排放和 CCS 规模不受电效影响。

### 电效 (占约10%的能耗)

不同年份水泥生产电耗 (不含CCS):



## 实施障碍

理论上化学和矿物反应所需要的一次能耗 (热) 最低约为 1.6-1.85 吉焦/吨水泥 (Locher, 2006)。但由于种种技术原因而无法实现, 如窑或分解炉表面会有不可避免的传导热损失。

然而对于减少单位电耗 (电), 也存在一些障碍让行业难以实现理论上的最低值。例如:

- 只有通过大量的升级改造, 电耗才能显著下降。但这需要大量的投资, 所以目前升级改造有限;
- 提高环境要求的同时也会增加电耗 (比如, 限制粉尘排放, 则无论采用何种技术除尘分离都要消耗更多电力);
- 对水泥性能要求更高, 则要求水泥粉磨得更细, 同样会比生产低性能水泥消耗更多的电力;
- 碳捕集与碳贮存 (CCS) 是减少 CO<sub>2</sub> 排放的关键技术, 但是工厂也会增加 50%-120% 的电耗 (用于空气分离、提取、纯化、CO<sub>2</sub> 压缩等);

• 其它减排途径也会对能效产生负面影响。例如, 熟料的替代品如矿渣和粉煤灰在熟料生产中可以减少 CO<sub>2</sub> 排放, 但是在水泥粉磨时, 则一般需要消耗更多的电力。

## 研发需求和目标

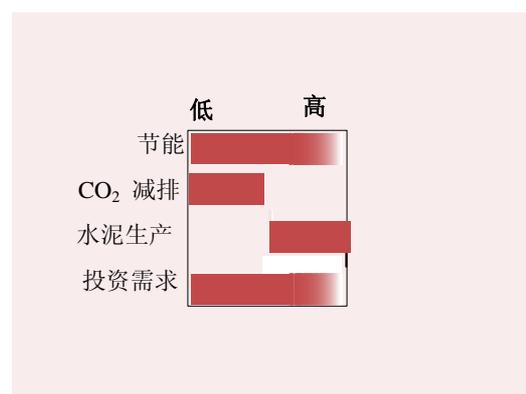
流化床是一项能够改进热效的具有发展前景的技术, 现在已广泛应用于其它一些行业, 但仍需证明其适用于水泥行业。其它可以产生更高能效的重大突破技术目前还不可预期。因此, 确保新建工厂使用最高能效的技术非常重要, 并注意良好的运行和维护。

同时正在研究新型粉磨设备和助磨剂对降低磨机电耗的作用。现有技术需要进一步研发以确保取得最大进展。需要注意的是在蓝色规划中是用更新能效更高的窑替代旧窑来减少与能效相关的排放而不是通过如上述技术上的开发。

### 合作方的职责

### 潜在影响

项目/合作方	行业	行业供应商	政府	大学	研究机构
最佳范例	x	x			
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x
技术推广	x \$	x	\$		
体制结构	x	x	x	x	x
性能数据	x				



x = 要求领导作用和直接参与  
\$ = 资金来源

备注：上述合作方职责表格显示不同利益相关方在保证提高能效与电效技术开发和实施中所必须起到的不同作用，以及开发技术所需的资金来源。类似表格同样用于路线图中的每项碳减排措施；

备注：上述潜在影响图表示水泥厂提高能效时对左边不同项目的潜在影响。当潜在影响范围较大时，影响大小从低到高用颜色标注；当潜在影响已经比较明确时，仅影响程度用颜色标注。类似图表同样用于路线图中的每项碳减排措施。

## 减排技术

### 替代燃料的使用

用替代燃料如可替代的化石燃料（天然气）和生物燃料，代替传统燃料（主要是煤或焦炭）用来加热水泥窑。混合燃料比煤的碳排放强度小20%-25%（路线图中使用的IEA排放系数见附件1<sup>3</sup>）。水泥窑特别适合使用替代燃料的原因有两点：替代燃料的能源组分是化石燃料的替代品；其中的无机部分，如灰可与熟料相结合。使用替代燃料排放的CO<sub>2</sub>比传统固体燃料更少。

生命周期分析表明：1）如果这些替代燃料作为废弃物被焚烧，那么还需要用额外的化石燃料来焚烧它们，又多排放了CO<sub>2</sub>；2）使用替代燃料还防止了不必要的垃圾填埋。

#### 水泥行业使用的一些典型替代燃料

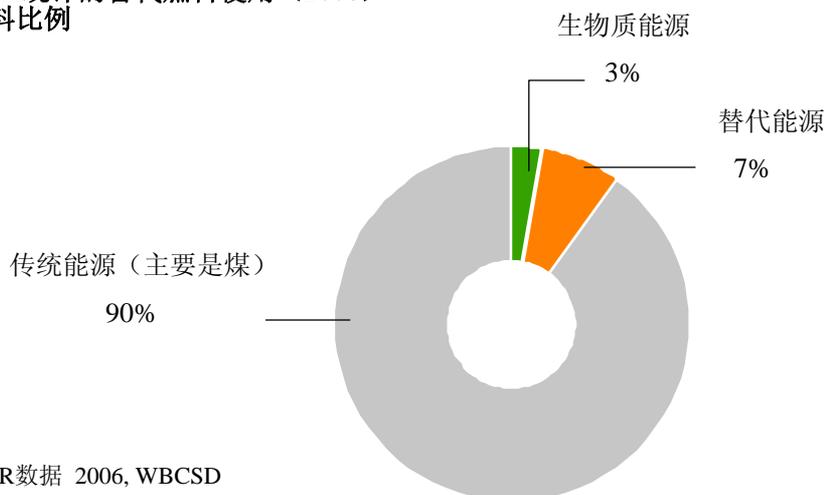
- 预处理过的工业和城市固体垃圾（生活垃圾）
- 废弃轮胎
- 废油和溶剂
- 塑料、纺织品和纸质废渣
- 生物质
  - › 动物骨粉
  - › 原木、木条和木屑
  - › 回收的木材和纸
  - › 农业废弃物，如稻壳和锯末
  - › 下水道污泥
  - › 生物质农作物

3. IEA 模型假定使用40%的生物质替代燃料，高于当前比例

#### 重点关注：废旧轮胎

据估计每年全球产生10亿个废旧轮胎。水泥窑可以使用整个或切碎的轮胎作为燃料，目前美国和日本的使用量最多。轮胎比煤的热值更高，在可控环境下燃烧，其排放不高于其它燃料。一些应用案例表明，使用轮胎替代化石燃料可减少NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的排放。重金属残渣被封固在熟料中。

#### 参与GNR统计的替代燃料使用（2006） 不同燃料比例



来源: GNR数据 2006, WBCSD

从技术层面上讲，使用更多的替代燃料是可能的。在一些欧洲国家，水泥行业平均燃料替代率超过50%，对于单个水泥厂年平均可达98%。水泥生产中与燃料相关的CO<sub>2</sub>排放占到40%，因此使用替代燃料减少CO<sub>2</sub>排放的潜力巨大。

模型中预计到2050年，由于较高的碳价格和其它燃料价格，使用天然气替代煤或焦炭在经济上更具吸引力。由于天然气的碳含量更低，使用天然气比使用替代燃料提高能效或熟料替代品对减排的效果更加明显。在该路线图中，“燃料变化”包括在“替代燃料使用”范畴中，因为两者都可降低混合燃料的平均碳排放强度，都是基本的减排途径。

### 实施障碍

尽管从技术上讲水泥窑可以100%的使用替代燃料，但在实际操作中还存在一些限制。大多数替代燃料的物理和化学性质与传统燃料有明显不同。水泥行业可以很容易地使用某些替代燃料（如肉骨粉），但有许多替代燃料使用起来仍有技术上的困难，如低热值、高水分、含高氯或其它微量元素的物质。还有一些挥发性金属（如汞、镉、铊）必须严格管理，适当清理水泥窑系统的粉尘也是必要的。这意味着经常需要预处理，以确保均一的化学成分和最佳燃烧。

但是，比起技术上的困难，实现高替代率还会遇到强大的政治和法律障碍：

- 废弃物管理条例的影响尤为明显：只有地方法规严格限制垃圾填埋和焚烧，并允许废弃物可控收集和处理的地区才会有高燃料替代率；

- 当地废弃物收集网络必须发达；

- 替代燃料价格很可能会随碳排放价格的升高而上涨。这会使水泥行业以可接受的价格获得大量生物质燃料变得愈来愈困难。该路线图预计到2030年当替代燃料的价格将达到传统燃料成本的30%，2050年达到70%时，水泥行业使用替代燃料仍是经济可行的；

- 社会对水泥厂协同处理废弃物的接受程度会产生极大影响。人们经常担心协同处理会排放有害气体，而实际上管理良好的水泥厂使用或不使用替代燃料的排放水平是相同的。

此外，使用替代燃料有可能会增加热耗，如前面提到的预处理就增加热耗。

### 研发需求和目标

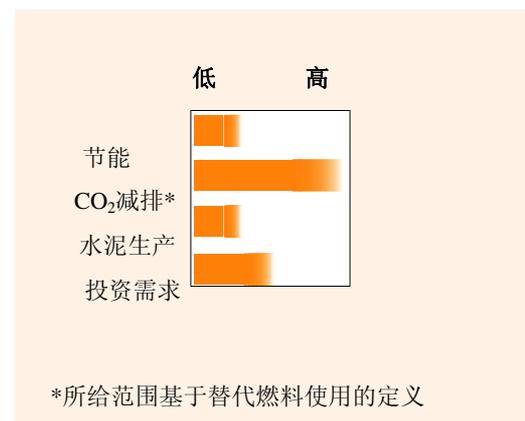
必须对适合用来做替代燃料的材料进行识别和分类。处理和使用这些燃料的研发成果应当共享，以确保可以大量稳定地使用替代燃料。

### 合作方的职责

项目/合作方	行业	行业供应商	政府 (包括地方自治政府)	大学	研究机构
最佳范例	x	x			
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x
技术推广	x \$	x \$	\$		
体制结构	x	x	x	x	x
性能数据	x				

x = 要求领导作用和直接参与  
\$ = 资金来源

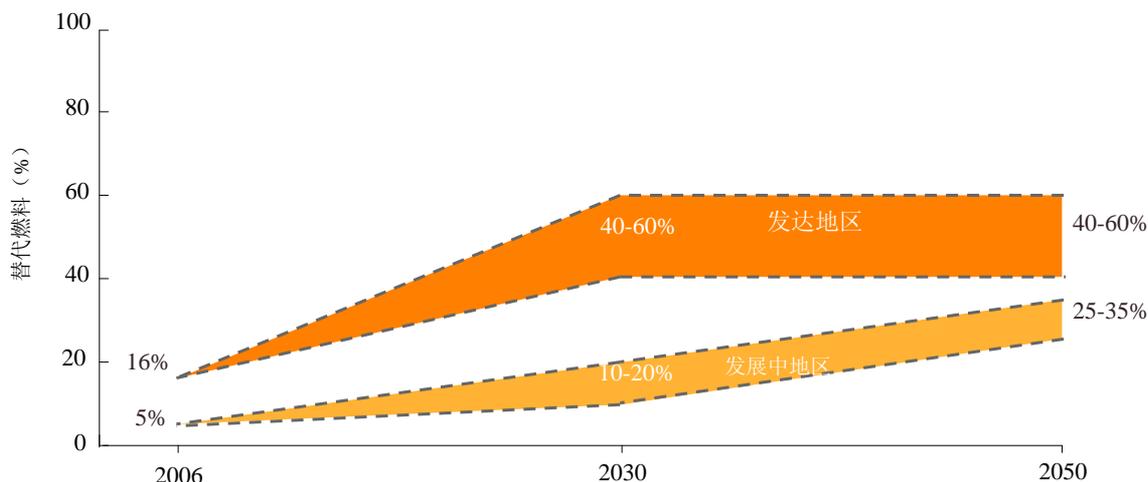
### 潜在影响



## 区域性前景

各地区和国家之间使用废弃物作为替代能源的情况不尽相同。主要受当地工业类型、废弃物法规发展水平、规范框架和执行、废弃物收集设施和当地环保意识等因素影响。

2006-2050 替代燃料使用情况预测



来源: ECRA 技术文件(2009), GNR数据2006 (WBCSD), IEA (2009)

备注: 每个地区的最高水平取决于其它行业对替代燃料的竞争

GNR数据的地区性分析显示, 欧洲水泥厂使用替代燃料占到总体能源需求的20% (15%替代化石燃料和5%生物质燃料)。北美、日本、澳大利亚和新西兰使用11%废弃物替代化石燃料。拉丁美洲替代能源使用比例达到10% (6%化石燃料和4%生物质燃料)。亚洲刚刚开始使用, 2006年的替代率为4% (2%化石燃料和2%生物质燃料)。在非洲、中东和独联体国家, 替代燃料的使用量极少。

即使是在发达地区, 替代燃料的使用差别也很大。例如, 荷兰的使用比例为98%, 而西班牙接近0%。这表明上图所显示的平均使用量不具有广泛代表性, 应当详细考虑个别国家的实际情况。

实现大量使用替代燃料的一个主要障碍在于燃料的可获得性。在荷兰的Maastricht, 2008年该地区替代燃料的使用率是98%, 但到2009年下降到了89%, 其原因就是燃料来源有限。在日本, 由于来源有限, 到2030年替代燃料的使用率预计最多可达20% (包括生物质燃料在内)。在其它地区, 处理废弃物的土地资源缺乏是提高当地环保意识或废弃物法规水平的主要动力。

遵照IPCC1996国家温室气体清单指南, CSI 成员企业认为只要农作物连续丰收, 可认为生物质燃料对气候是中性的 (在短时间内生物质再生长可以补偿排放)。水泥行业报告的总排放量是在一定时期内水泥厂的直接CO<sub>2</sub>排放量。总排放包括使用替代化石燃料产生的CO<sub>2</sub>, 但不包括使用生物质燃料产生的CO<sub>2</sub>。

水泥行业使用替代燃料可以减少填埋和垃圾焚烧 (产生甲烷) 产生的温室气体排放。由于废弃物种类不同及不再采用的处理废弃物方法, 由此产生的CO<sub>2</sub>间接排放减排量与水泥厂使用其作为替代燃料产生的直接排放量或高、或低、或相同。无论如何这会导致整体CO<sub>2</sub>排放的降低。结合生物质燃料成本可能升高和来源减少, 考虑到直接排放的影响、减少间接排放以及资源的有效利用, 用替代燃料代替传统化石燃料仍是减少全球温室气体排放有效的方法。基于以上原因, 在水泥行业的净排放报告中, 从总排放中扣除了替代化石燃料的排放。

如果把所有的替代燃料 (包括替代化石燃料) 看作碳中性, 那么预计到2050年水泥行业的计算减排量将从18%增加到大约24%。

## 减排技术

### 熟料替代

熟料是绝大多数水泥的主要成分，当其与4~5%的石膏混合粉磨后，加水反应并逐渐硬化。有些矿物组分同熟料和石膏混合粉磨后，也具有这种水硬性，特别是磨细高炉矿渣（钢铁行业的副产品）、粉煤灰（火力发电厂产生的废渣）和天然火山灰材料。这些可以部分替代水泥中的熟料，因此可减少熟料的使用，同时可减少与熟料生产相关的工艺、燃料和电能产生的排放。

水泥中熟料的含量（熟料水泥比）差别很大。尽管有一些极端产品仅在特殊工程中使用，普通波特兰水泥中的熟料含量是95%（其余为石膏）。根据2006年GNR数据，全球平均熟料系数是78%，相当于超过5亿吨的熟料替代材料用于生产24亿吨水泥，不过地区间的差异也很大。<sup>4</sup>

4. 不同国家产业结构也存在差异，如在大多数欧洲国家，熟料替代品在工厂中直接加入水泥，这就导致熟料系数下降，而在美国和加拿大，熟料替代品一般是在混凝土中加入（即在商品砼搅拌站中加入）

熟料替代品	来源	优点	缺点	年产量水平	可获得性
磨细高炉矿渣	钢铁行业	后期强度更高，较好的抗化学腐蚀性能	早期强度低，粉磨电耗高	2亿吨（2006）	很难预测未来钢铁产量
粉煤灰	燃煤炉的烟气	需水量低，良好的工作性，后期强度高，耐久性更好（取决于如何使用）	早期强度低，发电行业燃料来源发生变化，可获得性会降低	5亿吨（2006）	很难预测未来火力发电厂的数量和产能
天然火山灰质材料，如火山灰，稻壳灰，硅灰	火山，一些沉积岩，其它行业	有利于强度发展，良好的工作性，后期强度高，较好的抗化学腐蚀性能	多数火山灰会导致早期强度降低，水泥性能变化显著	3亿吨（2003），只有50%被利用	取决于当地条件—许多地区没有在水泥中使用火山灰
人造火山灰（煅烧粘土）	特别生产	同天然火山灰	煅烧需要额外热能，CO <sub>2</sub> 减排效果受到影响	不详	由于经济限制，可获得性不高
石灰石	矿山	改善工作性	为了维持同等强度需要消耗额外电力将熟料磨得更细	不详	容易获得

来源: ECRA 技术文件 (2009)

## 实施障碍

从技术角度看，高熟料系数对于某些混凝土产品是可能的。但有5种非技术因素会造成障碍：

- 区域内熟料替代品的来源；
- 替代材料的价格不断升高；
- 替代材料的性能和水泥的特殊应用；
- 普通波特兰水泥和复合水泥的国家标准；
- 消费者和建筑商的惯例和对复合水泥的接受度和使用情况。

受环境政策和法规的影响，未来熟料替代品的可获得性具有不确定性。如未来电力行业的去碳化发展会限制粉煤灰的来源，或者火力发电站采用脱硝技术<sup>5</sup>来减少氮氧化物的排放，但这会导致粉煤灰中NH<sub>3</sub>（氨）含量过高而无法使用其作为熟料替代品。

## 研发需求和目标

必须对混合材的性能进行系统的评估，以便理解哪一种混合材最适合某种特定的用途。比如，水泥标准允许矿渣在某些水泥中含量达到95%，但早期强度会非常低，这种水泥只能针对非常特殊的用途，其使用也取决于它的可获得性。为此，开发由于生产熟料替代材料而与水泥工业相关的不同行业的交叉参考路线图是很有价值的。这将可以预测某一行业的减排效果对其它行业减排潜力的影响。

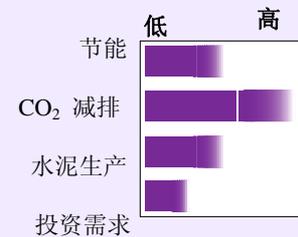
## 5. 烟气脱硝（NO<sub>x</sub>）工艺

### 合作方的作用

项目/合作方	行业	行业供应商	政府 (包括国家实验室)	大学	研究机构	标准化机构
最佳范例	x	x	x	x	x	x
技术研究	x \$	x	\$	x	x	x
技术推广	x \$	x	\$		x	x
体制结构	x	x	x	x	x	x
性能数据	x		x			x

x = 要求领导作用和直接参与  
\$ = 资金来源

### 潜在影响



## 减排技术

### 碳捕集与碳贮存

(备注：本路线图仅限于碳捕集技术。IEA 的CCS路线图则包括CCS整个技术链的各个环节，包括运输和贮存，详见网页[www.iea.org/Papers/2009/CCS\\_Roadmap.pdf](http://www.iea.org/Papers/2009/CCS_Roadmap.pdf))

碳捕集与碳贮存 (CCS) 是一项新技术，尽管还未在工业规模的水泥生产中得到验证，但发展前景光明。在CO<sub>2</sub>排放时即将其捕集，然后压缩成液体，通过管道运输到地下深层永久贮存。在水泥行业中，CO<sub>2</sub>由燃料燃烧和石灰石煅烧产生。针对这两种CO<sub>2</sub>排放源，需要低成本并且有效的适于特定行业的捕集技术。一些文献研究表明某些捕集技术似乎更适合水泥窑。

可参考《碳捕集与碳贮存——一种重要的减碳途径》了解更多关于CCS技术的信息 (IEA, 2008)。水泥行业已经在积极地研发CO<sub>2</sub>捕集技术。需要牢记的是捕集技术只有在拥有整个CCS链时才能运转，包括运输设施、适合的贮存地点、运输和贮存CO<sub>2</sub>的法律框架、监管和验证、许可程序等。

直到现在，水泥厂还未采用预燃烧技术。首先，在水泥生产中CO<sub>2</sub>排放的主要来源是石灰石的煅烧，即使采用预燃烧技术，排放依然不会减少。另外，氢有爆炸性，因此熟料烧成工艺需要有大的改动。所以该路线图关注的是适合水泥生产的CO<sub>2</sub>捕集技术。

1. 后燃烧技术是末端措施，熟料烧成工艺不需要大的改变，因此该技术适合于新窑，特别适合于窑的改造：

- 化学吸附是最有希望的，其它行业已经使用胺、钾和其它化学溶液获得高CO<sub>2</sub>捕集率；

- 如果开发出合适的材料和清洁技术，膜技术也可以在水泥窑中长期使用；

- 碳酸盐循环吸收工艺是让氧化钙与含CO<sub>2</sub>的燃烧气体发生作用生成碳酸钙，目前水泥行业正在评估该项技术，以作为现有窑潜在的改造方案并开发新的全氧燃烧窑。此外，还可与发电厂产生协同效应（发电厂失去活性的吸收剂可以作为水泥窑二次原料重复使用）；

- 其它后燃烧措施的技术很少被开发（如物理吸附或矿物吸附等）。

2. 全氧燃烧技术—在水泥窑中使用氧气替代空气，会产生一个相对纯的CO<sub>2</sub>气流。但仍需要大量的研究来了解可能对熟料煅烧工艺产生的潜在影响。全氧燃烧技术正在小型发电厂中示范应用，获得的结果可能会对水泥窑有所帮助。

从技术角度来看，水泥行业的碳捕集技术在2020年前不太可能实现商业化。在此之前，需要早期研究和试点来获得实践经验。一些机构已经开始努力尝试，比如ECRA的研究，以及在加利福尼亚和英国的试点。2015年到2020年期间，大规模示范项目会逐步启动（特别是后燃烧技术），但对整个CO<sub>2</sub>减排产生的作用仍很小。据粗略估计，如果全球10-20个大型窑（平均日产6000吨）使用该项技术，并达到减排80%，每年最多可减少2000-3500万吨的CO<sub>2</sub>排放。2020年以后，如果获得政治框架的支持和社会民意的认可，CCS将实现商业化运作。

由于单位成本较高，日产低于4000-5000吨熟料的窑不会采用CCS技术。CCS需要运输CO<sub>2</sub>的基础设施连接到贮存地点，比起在非工业化地区的水泥窑，工业化地区的水泥窑更容易连接到网络。全氧燃烧技术2025年可以实现其商业化运作。

## 年产200万吨的熟料厂利用化学吸附技术进行后燃烧碳捕集的费用估算

	新设备/改造	
	投资 (百万欧元)	已运行 (欧元/吨熟料)
2015	未知	未知
2030	100-300	10-50
2050	80-250	10-40

来源: ECRA 技术文件(2009)

备注: 预计成本基于 ECRA 的计算 (2009). 投资成本为水泥厂内额外的投资, 不包括运输和贮存。

### 实施障碍

除技术因素外, 经济架构对于未来水泥行业应用CCS至关重要。当前CO<sub>2</sub>捕集成本太高, 随着科技进步, 预计未来CCS成本会降低, 但捕集每吨CO<sub>2</sub>需要花费20~75欧元以上 (20欧元/吨CO<sub>2</sub>的价格只在非常适合的条件下, 并不代表大规模CCS的平均使用成本)。

只有在政治架构能有效控制碳泄漏 (在不同国家或地区重新分布水泥生产线不受限制) 的风险时, CCS才能在水泥行业中应用。目前公众对于CCS的认识还很有限, 对CCS及其在减缓气候变化中的作用还未形成一个稳定的观念。公众的支持很重要, 需要从以下几方面着手做工作:

- 政治上的支持, 获得政府的鼓励、研究资助并成为长期的责任, 将CCS使用作为气候变化整体战略的一部分;
- 取得土地所有者的合作, 为CO<sub>2</sub>的运输和贮存地点获得必要的许可;
- 对计划在当地社区实施的CCS项目, 争取当地居民的知情同意;
- 政府和行业继续努力教育宣传, 让公众和各利益相关方了解CCS。

### 研发需求和目标

目前正在讨论针对水泥行业的CCS措施, 不过现在仅开展了少数一些可行性研究, 还没有试点或者水泥窑工业规模的实验结果。特别是富氧燃烧技术还需要大力开发, 以促进CCS技术在行业应用中形成规模。

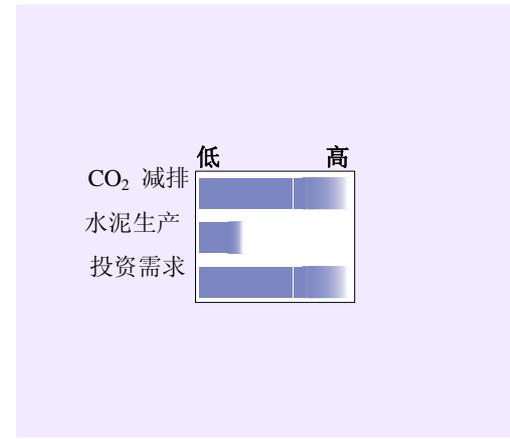
CO<sub>2</sub>排放源和贮存地点之间的运输问题是至关重要的, 但对此项技术和所需的基础设施还未得到足够关注。管道运输在不同地区有不同的规定, 要对地域性整合CCS运输管道的重要性和复杂性有清楚的把握。

由于全球内对适合作为贮存地点的认识只是刚刚开始, 还不可能对CCS的实施作出详细的评估。如果CCS在所有行业中实现商业化运用成功, 则需要额外资金支持以得出先进的贮存地点的特点。水泥厂通常靠近石灰石矿山, 可能靠近或者不靠近适合贮存CO<sub>2</sub>的地点。CCS集群将受与更大的CO<sub>2</sub>排放源, 如主要的火力发电厂的影响。必须扩大关于CO<sub>2</sub>贮存的研究以覆盖发展中国家, 因为预计到2050年, 80%的新水泥产能会来自发展中国家。政府同样需要做大量工作来开发出通用一致的方法来对CO<sub>2</sub>的贮存进行地点选择、运行、维护、监管和审核。水泥行业必须继续找到双边和多边资助方, 让他们有更浓厚的兴趣支持CCS的技术转让和能力建设。

### 合作方的作用

项目/合作方	行业	供应商	政府	大学	研究机构	其它涉及 CCS运输和 贮存的行业
最佳范例	x		x \$ (运输)		x	
技术研究	x \$	x \$	\$	x	x	x
技术推广	x \$	x \$	\$	x	x	x
体制结构	x	x	x	x	x \$	x
性能数据	x	x	x	x	x	

### 潜在影响



x = 要求领导作用和直接参与  
\$ = 资金来源

路线图提出要实现水泥行业18%的减排目标需要实施的技术。以下具有挑战性的数字将表明通过CCS技术的实施将如何达到目标。假设水泥窑的使用寿命是30~50年，2020年之前，20-33%的现有水泥窑将被新窑取代。假设50%的新产能是大型窑（年产200万吨），并假定新大型窑的CCS应用率是100%，2030年~2050年全球约有40-45%的产能安装CCS。这些窑中有10%是改造过的（ECRA,2009），这种潜在的更新时间表只是给出一个水泥行业潜在的更新量级，并假设运输和贮存问题已得到解决。

CCS很可能在需要大量新产能的地区实施，或正在运转和改造的大型水泥窑的地区，以及有适合贮存的地点实施。但是，由于水泥厂设施使用寿命较长，大多数在今后十年内建设的水泥厂仍会运营40-50年。到2050年，抑制排放的要求将促进对于具备碳捕集条件工厂<sup>6</sup>的新建或改造投资。这些决定明显具有短期的经济和政治含义，所有利益相关方需要认真评估。

6. 当必要的经济驱动和政策保障到位时，一个具备“碳捕集能力”的水泥厂是可以捕集CO<sub>2</sub>的。通过设计改造水泥厂的“捕集能力”，其中包括留出足够的空间、获得碳捕集设备、确认CO<sub>2</sub>贮存路径。

## 需要怎样的政策支持？

任何水泥路线图的成功实施都离不开政策框架对必要的技术开发和推广的支持。通过阐述政策需求，路线图向世界各国政府提出实际的政策建议，然后制定出适合本国国情的政策以实施这些建议。

1. 促进新窑和改造窑采用现有的最佳能效技术	5. 鼓励有前瞻性的、客观稳定的CO <sub>2</sub> 排放限制和国际性能源框架
2. 鼓励并促进替代燃料的更多使用	6. 提高研发和创新能力
3. 鼓励并促进熟料替代品的更多使用	7. 鼓励国际合作和公私合作伙伴
4. 促进碳捕集与碳贮存的发展	

### 1. 促进新窑和改造窑采用现有的最佳能效技术

随着预热器和预分解窑新型干法工艺的发展，水泥行业的能耗强度明显降低。尽管有许多可行的高能效技术，但高投资成本和基础设施使用寿命较长仍是实施这些技术的主要障碍。在许多地区，进一步提高能效是可能的，但我们必须马上行动起来。即使是投资并不划算，但通过公认的项目支持政策可以让实施变为可能。联合实施项目，如CRH公司用现代高能效技术改造乌克兰的一个水泥厂，是一个通过政策引导投资能效技术的良好范例。

#### 该路线图建议：

- 取消能源价格补贴政策，价格补贴是实施更高节能技术的障碍；
- 在发达国家和发展中国家中淘汰干法长窑和湿法生产工艺；
- 加强国际合作，收集可靠的工业级能源和排放数据、支持有效的政策制定、跟踪性能，找出地区和国家的性能差距，开展最佳范例对标，如通过CSI的GNR数据库进行对标；

- 制定并执行水泥行业能效和CO<sub>2</sub>排放的国际标准；

• 分享促进水泥行业节能和CO<sub>2</sub>减排的最佳政策，如设在北京的APP水泥最佳范例中心（APP-CoE），注重技术推广与能力建设。

### 2. 鼓励并促进替代燃料的更多使用

使用替代燃料可以防止化石燃料被不必要的焚烧或一些潜在的燃料资源被填埋。行业对其工艺和可能的应用有很好的认识，然而对进一步减排还需要有合适的法律法规框架。必须加强环境部门的监督和执法力度，增加透明度，建立社区信任。与目前相比，估计2030年全球平均燃料替代率将达到30%，到2050年达到35%。（但在这个平均值上，每个国家的替代率会有很大差别）

当前，广泛使用替代燃料的障碍主要为替代燃料和生物质燃料的来源、与协同处置、填埋和焚烧相关的立法支持与执行、公众的不理解和不接受。已有一些好的案例克服了这些障碍，如欧洲焚烧指导条例(2006/7)，其中采取逐步方法允许使用替代燃料，“水泥生产选择和使用原燃材料指南”（CSI, 2005.10），其中对可能的替代燃料进行了分类。

### 该路线图建议：

- 政策制定者帮助利益相关方和公众了解替代燃料在减排中的作用。如在挪威国家废物政策中，首选水泥窑来处理有害废物；

- 检查并改进国家、地区和当地的法律，确保政策对使用替代燃料是鼓励，而不是限制；

- 政府推介生态工业的理念，并推广循环社会的理念，如英国的国家工业共生项目（NSIP）。法律和规章制度必须支持诸如丹麦Kalundborg工业园的发展、美国副产品综合利用（BPS）区域流程（如芝加哥废弃物变财富网W2P）、俄亥俄州工业生态伙伴关系（PIECO）等；

- 确保操作者遵守替代燃料使用指南，以保证其正确处理。比如对员工和承包商的入职培训和再培训、文件记录和监管等；

- 确保对政府部门的培训，以保证有充足技术背景的公务人员来负责批准、控制和监督；

- 政府和行业共同探讨开采回填埋地，以产生更多的替代原燃料（如因城市扩建所需的空间）。

### 3. 鼓励并促进熟料替代品的更多使用

当前阻碍达到熟料最大化替代的因素主要包括：现行水泥标准和建筑规范、公众和消费者的不理解、地区和当地替代材料的来源、国际和国家的新立法不能反映替代燃料的来源。比如在欧洲一些地方已经根据新建筑标准生产复合水泥。与传统的波特兰水泥相比，复合水泥具有一定程度上不同的化学、物理和力学性能，其在混凝土中的应用必须符合特定的参数以确保结构足够安全，在扩大其使用范围方面已取得了很大进展，比如，欧盟非I型（Non-CEM I）波特兰水泥的比例已从1994年的13.1%上升到2004年的72.5%（CEMBUREAU, 2007）<sup>7</sup>。

### 该路线图建议：

- 对水泥和其它行业使用的主要替代材料进行独立的环境影响研究（EIS），以表明在何处可达到最高的减排潜力；

- 一些国家需要制定或修订相应的水泥标准和规范，以允许更广泛地使用复合水泥。例如，标准以产品性能而不是以成分为准，并确保地方主管部门接受其使用；

- 对由于质量限制而在目前不能使用的具有潜力的熟料替代品开展制备工艺的研发工作；

- 同国家标准化机构和认证机构一起开展国际培训，交流关于熟料替代品、混凝土标准、新型水泥制备混凝土的长期性能和环境经济影响方面的经验。

### 4. 促进碳捕集与碳贮存的发展

碳捕集与碳贮存(CCS)是目前水泥行业减少CO<sub>2</sub>排放最可行的新技术，急需大力支持其发展和实施。在短时期内鼓励并开展有效捕集水泥行业CO<sub>2</sub>的研发、试点项目、工业范围的示范，以确保水泥行业启动工业化的CO<sub>2</sub>捕集，这会支持整个CCS链。

---

7. 根据欧洲标准EN 197-1，“Non-CEM I”为除了普通波特兰水泥之外的其它所有普通水泥。这些水泥比普通波特兰水泥的熟料含量低。

CCS的边际减量成本估计是40-170美元/吨CO<sub>2</sub>（IEA 2009）<sup>8</sup>，实施后会导致水泥成本翻番。在没有建立全球框架的条件下，只有在政治框架可以有效控制碳泄漏（见词汇表）风险时，CCS技术才能在水泥行业中得以应用。新建厂应用CCS的成本比改造现有设备来应用CCS的成本低，由于水泥未来需求所在区域多数还没有当前的碳排放限制，必须建立鼓励机制推动CCS在所有地区尽早开展。

#### 该路线图建议：

- 制定CCS管理框架，开展CCS管理条例的国际合作，例如，支持CCS管理工作（STRACO2）项目的开展即支持欧盟制定CCS管理框架([www.euchina-ccs.org](http://www.euchina-ccs.org))；
- 政府支持资助水泥工业的试点和示范项目，以引导实现商业规模的示范工厂和贮存地点可行性；
- 确认并建立靠近水泥厂的运输网络和贮存地点；
- 协调地区、国家和国际的CO<sub>2</sub>运输网络，优化基础设施的发展以降低成本；
- 调研现有网络的连接和网络集成，以及工业区集群合作机会；
- 政府和行业继续努力，加强对关键利益相关方关于CCS的教育和知情。

## 5. 鼓励有前瞻性的、客观稳定的CO<sub>2</sub>排放限制和国际范围的能源框架

只有出现全球统一的碳价格，或者是否或何时会出现这种价格变得明晰，行业才会制定有效的技术研发计划。碳市场必须与能够使行业有效采用清洁减排技术的机制结合。如行业的减排途径或国家减排行动（NAMAS）等。有关协议必须支持国际气候变化谈判。

#### 该路线图建议：

- 改进现有的清洁发展机制（CDM）框架以推进对能效项目的资金支持，对CCS项目的及时涵盖并接受CCS在碳交易机制如EUETS中的作用。确保通过支持性的监管、报告和论证（MRV）框架政策，利用CDM激励CCS技术的发展。开发一个全球性CDM基金，支持可行的CCS项目（有助于CCS中长期的商业化可行性）。或者CDM项目准则可以包括水泥行业的对标，以激励CCS早期的发展；
- 认为生物质燃料产生的CO<sub>2</sub>捕集是中性排放，假定水泥行业更多地使用生物质燃料；
- 奖励清洁能源投资，如对余热回收的财政支持，惩罚耗能性投资，如减少对低效产能的补贴；
- 在联合国气候变化框架公约（UNFCCC）内，政府与行业共同探索成功框架的关键因素，如行业数据要求，测量、报告和认证实践，设定目标，建立国际标准规定的CO<sub>2</sub>通用计算方法为基础的潜在评分机制；
- 政府和行业一起制定有效的国家政策措施来减少水泥行业CO<sub>2</sub>排放，确保政府和行业公平承担责任。地区性的行动必须在贸易协会的良好指导下进行；

8. 包括运输和贮存费用。

- 确保全球政治框架有效地控制碳泄漏的风险。

## 6. 加强研发能力、技术、技能和创新

水泥行业需要对长期的研发显著加大力度。投资伴随着整个创新链，从大学培训到行业范围的创新必须来自学术界，来自行业，来自设备供应商，来自政府。例如，新一代水硬性胶凝材料能提高减排效果，但是并没有被很好地理解或没有发展到一定规模，还需要进一步的集中研发工作。

### 该路线图建议：

- 提高水泥行业科研工作者的数量和专业技术技能水平，通过政府和行业联合，对适当的大学科研项目进行支持，设置材料科学和工业气候保护领域的教学和科研岗位；
- 整合或联盟国家级和国际研究项目，让项目所在国的公司直接参与到项目中；
- 鼓励国家间科学工程研究项目，建立合作性的研究项目或网络，包括公司、设备供应商、研究机构和政府，以共享研发资金和资源；
- 推进标准精细化，能涵盖最近出现的新型水泥，即水硬性胶结料，以促进高减排潜力水泥能够快速使用。

## 7. 鼓励国际合作和公私合作伙伴

该路线图涉及的所有领域的现行国际知识必须进行评估，并将核心知识整合为一个共同的目标：在全球范围内实施减排技术。国际合作像催化剂一样，在加速技术示范阶段的进程中起着重要的作用。需要特别指出的是，以单一公司或国家的经济与技术能力无法在2020年完成CCS的关键设施，只有靠各个阶段大范围的合作才能达到。

新形式的公私合作伙伴必须确认哪些政府、研发机构、水泥行业和设备供应商共同努力在很短的时间内来组织、资助、筛选、开发和示范所选择的技术。钢铁行业中有一个很好的例子，“超低CO<sub>2</sub>排放钢铁制造”项目由欧洲委员会资助，48个公司和机构形成联盟，合作承担研发钢铁生产中如何减少CO<sub>2</sub>排放。

### 该路线图建议：

- 开展公私合作以减少技术风险，并开发更多方案提高效率或者减少CO<sub>2</sub>排放，例如，瑞士西北应用科学大学所组织协调的GTZ-Holcim公私合作伙伴 ([www.coprocem.org](http://www.coprocem.org))；
- 确保水泥行业在CCS示范项目的国际合作；
- 转移国家创新重点，确保气候保护国际合作研发活动在规模和速度上的有效性；
- 改进技术转让程序以适应单独地区，要意识到不同地区在材料来源（原材料、替代燃料、熟料替代品）、法律支持和执行、公众对水泥工艺的理解程度上存在差异。

## 行业减排途径

世界各国就减排问题还未达成一致，相比按地区划分所作出的一些反应，以行业划分为基础所提出的气候挑战分析和行业减排途径有更多优势。正因为如此，行业减排途径现已提上国际气候政策日程。对CSI来讲，行业减排途径涉及行业中主要生产商有组织的行为，在联合国气候变化框架公约内，其所在国的政府有责任来应对其产品和工艺所排放的温室气体，它可以作为国家适当减排战略的一部分来实施。为了表明不同政策对CO<sub>2</sub>排放的相关影响，CSI开展了一个经济和政策示范项目，兼有利益相关者之间的对话。这个经济模型包括世界8个地区，收集了水泥生产技术、运输、能源成本和CO<sub>2</sub>减排方案的数据。模型还包括地区目标、碳减排方案和交易的成本。模型还分析比较了不同的碳政策方案，以及其对区域CO<sub>2</sub>排放和水泥流量及成本的影响。

行业减排途径被做成一种模型，综合了附表1中国家的固定排放限制以及非附表1中国家的排放效率目标，这只是众多可能的政策组合方案的一种。与其它相同主题的报告不同，CSI行业减排途径模型不用于预测未来，相反，它将不同的政策方案在非承诺的基础上进行了比较。模型反映<sup>9</sup>：

- 相比“无承诺”的基本情况，行业减排途径可以显著减少水泥行业排放；
- 尽管存在地区差异，行业减排途径能够通过细致的国家政策设计，获得更多的行业主要温室气体减排途径；
- 要全面实现行业减排途径的潜力，需要参与国政府的支持性政策（包括水泥标准、建筑规范和废弃物管理办法等）。

对多数政府来讲，行业减排途径提供了重要的国家控制措施，让排放和能效目标的管理适应当地的环境和能力。行业减排途径也可以帮助提高行业温室气体减排的速度和有效性，如果设计合理，还能对发展中的经济、商业和政府提供强大的参与动力。

CSI已经准备好并能够更加细化该行业途径，包括行业数据要求，测量、报告和验证（MRV）实践，目标设定、评分政策，有针对性的国家政策，如围绕水泥产品标准和建筑规范的政策等。

政策制定者所面临的挑战在于如何把当前关于行业减排途径的概念转变为有效的国际政策工具，以促进最佳可行技术的快速和低成本应用，并向行业发出一个强烈的信号，使减排成为创新的重点。

欧盟最近着手的工作表明其在政治上对各种方案的接受程度，以及如果行业评分机制实行所需要满足的条件。还有一些其它工作研究了在联合国气候变化框架公约内实施可行的行业减排途径的程序。另外，日本在联合国气候变化框架公约波兹南会议上提交了一项方案，其中提出了成功实施行业减排途径的一些步骤。<sup>10</sup>

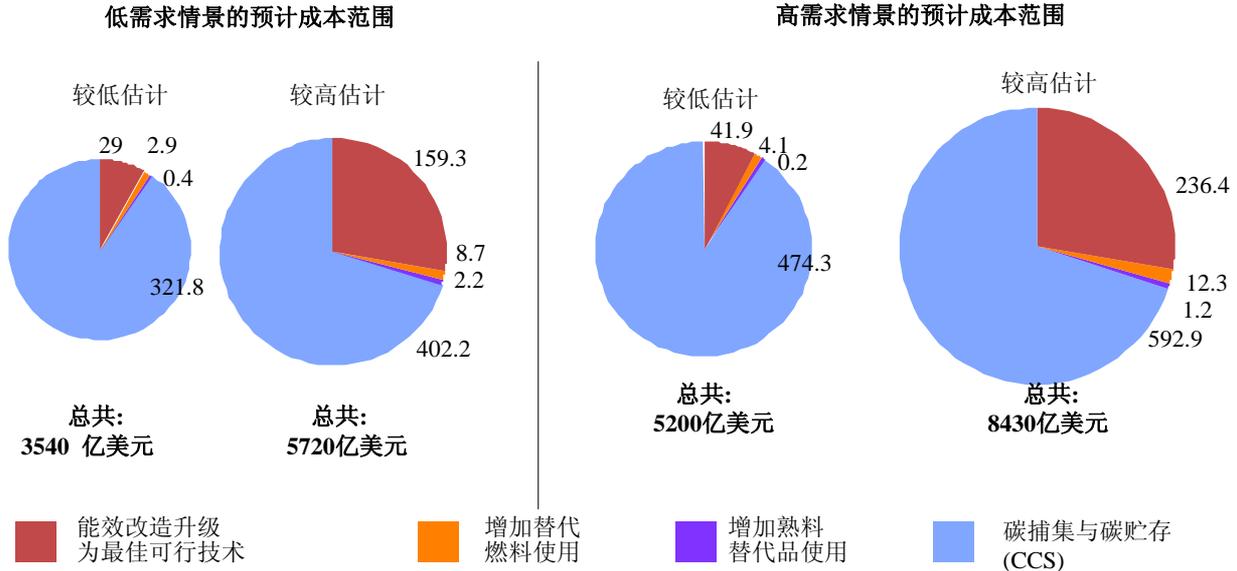
9 [www.wbcscement.org/sectoral](http://www.wbcscement.org/sectoral)

10 日本提交的关于行业减排途径实施备忘录2008年11月。

## 需要怎样的财政支持？

### 蓝色规划中预估的累积额外投资需求

增量成本 (基线以上), 以美元计



本报告计算了从 2005 年~2050 年的额外投资需求, 作为常规商业规划和蓝色规划中不同技术投资而导致的投资变化。该预测不包括这些投资所产生的经济收益而引起的成本降低。

来源: IEA, 2009

根据国际能源署估算, 实现CO<sub>2</sub>减排目标需要的额外投资有两种情况: 一种是低需求情景, 约为3500亿-5700亿美元; 另一种是高需求情景, 约需5200亿-8400亿美元。发展中国家需要其中多数的投资, 这些国家目前正在出台CO<sub>2</sub>政策。对他们而言, 由于资金有限且资金主要用作发展经济, 要大范围实施减排技术, 克服资金障碍是非常关键的。

电力行业减排的高额成本可以通过政府定价转嫁到使用者身上。与电力行业不同, 水泥是国际贸易商品, 它的价格由市场决定。未来全球的碳交易系统可能会是另一个重要的政策工具。但是, 在中短期内, 覆盖了主要能源密集型产业的所有主要排放国之间的国际协议, 将是在关注竞争力和碳泄漏同时刺激应用新技术的实质性的第一步。对于改进能效的融资, 政府担保贷款将在短期内支持一些国家的减排工作。

水泥行业的投资需求将主要集中在水泥厂安装CCS设备的额外费用上。在欧洲, CCS设备将使水泥厂的投资需求翻番, 同时能源使用和运行成本也会增加。显然, 水泥行业的总投资需求和边际减量成本对未来CCS的费用非常敏感。在短期内, CCS的开发和示范需要强有力的政府支持, 因为行业本身无法独自承担这笔费用。水泥行业的CCS示范项目预估需要20-30亿美元, 预计到2030年, 还需要300-500亿美元的额外费用来应用这项技术(50-70个商业化工厂)。

水泥行业碳捕集技术的开发和示范尤其需要资金支持。在2020年之前, 资金主要用于资助CCS示范工厂, 之后则用于富氧燃烧示范。行业的传统融资标准不适用于CCS项目, 除非有全球碳价格或激励政策, 对CO<sub>2</sub>减排的价值给出一个清晰的长期信号, 证明这是符合减排成本的。不像其它节能技术一样, 可以通过减少燃料花费进行投资回报, 碳捕集技术目前还没有投资回报。相反, 它们还会提高运行成本。从长远来看, 预计全球的碳价格从每吨50-100美元上升到2050年的200美元时才会对CCS投资产生回报。

从近期来看，CCS增加的成本所产生的资金缺口无法靠现有CO<sub>2</sub>市场得到弥补，相应地需要政府来弥补差距，因为没有商业利益驱动，行业自身无法弥补这个资金缺口。如果CO<sub>2</sub>奖励和惩罚措施没有到位，则需要额外的政府共同投资的研究和额外的应用支持。

要大规模商业化实施CCS，则需要更宽泛的融资机制。这种机制需要使CO<sub>2</sub>长期稳定地保持在高价位上。缺乏这种机制，CCS的使用则无法达到路线图目标所要求的水平。因此，就需要加强现有CO<sub>2</sub>减排融资机制（如确保CCS有资格入选CDM项目）和一些新机制，如碳捕集和碳贮存的最低保证价格等。针对CO<sub>2</sub>减排最普遍考虑的融资机制是配额交易市场，如欧盟的排放交易计划。

目前不同国家有不同的融资渠道来开发和实施低碳技术，但多数集中在如何提高能效上，很少有支持CCS开发和应用的。当前资金支持的重点是发电行业的CCS示范，但也应该扩大到水泥和其它行业，不同行业采用该技术有显著的差异。经济刺激一揽子计划用于CCS的一部分资金应用以支持水泥行业。

总而言之，当前的金融危机、暗淡的经济前景和商品价格的下降对水泥行业的投资计划产生了巨大的影响。由于缺乏可承担的建设资金以及未来市场需求的不稳定性，新的水泥项目被推迟或被取消。在这种经济形势下，由政府来支持技术开发至关重要。如通过大范围的政府担保贷款来帮助降低低碳技术的投资风险。

#### 该路线图建议:

- 全球排放交易系统可以帮助水泥行业最大程度地降低CO<sub>2</sub>减排成本，包括CCS技术；
- 安排政府担保贷款专项以降低风险，确保水泥行业CCS投资可行性；
- 扩大清洁发展机制和联合实施项目来促进对提高能效、替代燃料和熟料替代品利用项目以及CCS技术的资金支持；
- 大力推进水泥行业低碳技术的多种融资渠道，包括出口信贷机构和多边发展银行（如世界银行管理的气候投资基金、国际金融公司、欧洲重建与发展银行、欧洲投资银行等）和能源服务公司。

## 进展指标

可以运用一些指标来协助跟踪水泥路线图的进程。由于技术发展的速度不同，且CO<sub>2</sub>减排方案的实施具有不可预见性，制订出这样的指标很困难。然而这仍有助于制定未来技术和政策规划的里程碑。这些指标包括截至2050年最佳技术的利用、替代燃料、熟料替代品的使用和CCS的开发示范和应用情况。

这些指标指出水泥行业需要怎样发展才能实现路线图中的目标。它们可以作为国际合作框架下制定目标时的总指导方针。由于目前CCS的技术和商业可行性尚未被证实，给出的CCS数据显得雄心勃勃，并重点突出了CCS示范和应用阶段的紧迫性。

水泥路线图指标						
	2012	2015	2020	2025	2030	2050
热能消耗 吉焦 /吨熟料	3.9	3.8	3.5-3.7	3.4-3.6	3.3-3.4	3.2
替代燃料和生物质燃料的比例 (1)	5-10%	10-12%	12-15%	15-20%	23-24%	37%
熟料系数	77%	76%	74%	73.5%	73%	71%
CCS						
示范工厂数量	2	3				
示范工厂运行数量		2	6			
商业化工厂运行数量				10-15	50-70	200-400
贮存量 (百万吨)	0.1	0.4	5-10	20-35	100-160	490-920
吨 CO <sub>2</sub> 排放/吨 水泥 (2)	0.75	0.66	0.62	0.59	0.56	0.42

备注: (1) 假设2015年使用2500~3000万吨油当量替代燃料，2030年使用5000~6000万吨油当量替代燃料，不包括CCS的能耗和电耗。(2) 包括CCS带来的减排量。

来源: IEA, 2009

<b>利益相关方</b>  <b>财政经济部门</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 奖励清洁能源投资, 如余热回收 (WHR) 的财政激励政策</li> <li>• 取消节能价格补贴, 为应用节能技术扫清障碍</li> <li>• 提供政府担保贷款来支持 CCS 试点和示范工厂 的风险管理和投资</li> <li>• 建立全球排放交易系统, 使其有利于水泥行业 CO<sub>2</sub> 减排方案的融资</li> </ul>
<b>环境、能源和 源部门</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 分享节能和 CO<sub>2</sub> 减排的成功实践政策</li> <li>• 制订和执行能效和 CO<sub>2</sub> 排放的国际标准</li> <li>• 确保国家废弃物处理政策能够充分支撑水泥行业共处置的潜力, 并提高利益相关方和公众对替代燃料的使用对减缓气候变化作用的认识</li> <li>• 开发新标准, 修订现有水泥标准, 允许复合水泥更广泛的使用, 促进新一代水泥的使用</li> <li>• 支持研发项目, 填补 CCS 技术开发共同开发不同层面的知识差距</li> <li>• 修订 CDM 框架以促进能效项目, 包括对 CCS 项目的资金支持</li> <li>• 在排放交易计划中承认 CCS 带来的减排, 如 EU ETS (欧盟排放交易体系)</li> <li>• 制定 CCS 规范框架, 加强 CCS 规范的国际合作</li> <li>• 建立 CCS 公众延伸教育计划</li> <li>• 调查工业之间现有的或潜在的网络集成和 CCS 集群合作的机会, 确认靠近水泥厂的交通网络和贮存地点</li> </ul>
<b>培训/科技部门 和大学</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 推进国家标准化机构和认证协会组织的国际培训, 交流在熟料替代品、混凝土标准和混凝土性能方面的经验</li> <li>• 监督水泥和其它行业主要替代原料的使用对环境影响的独立研究 (EIS), 寻求能够最大限度减排的领域</li> <li>• 通过设立材料科学和工业气候保护方面的教学与科研岗位, 提高具备水泥工业专业知识的科研人员的数量和科研水平</li> <li>• 整合或统一国家级和国际级的气候保护研究项目, 尽可能让公司直接参与到项目中去</li> <li>• 为行业范围的技术行动建立机构框架 (管理和执行项目, 融资机制、合作规则以及监管模式), 与其它利益相关方合作, 加强国家之间以及国家的公私部门之间的合作, 以积累资金和知识, 并进行技术互补</li> </ul>
<b>多边发展机构</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 促进水泥工业低碳技术所需资金的多种融资渠道, 包括出口信用公司, 多边开发银行等</li> </ul>
<b>行业</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 在世界范围内淘汰长干法窑和湿法窑</li> <li>• 收集可靠的行业能耗和排放数据以追踪性能、确立标杆</li> <li>• 对由于质量限制目前不能使用的潜在熟料替代品加工工艺技术的研发</li> <li>• 参与政府讨论, 推广工业生态概念, 利用矿山回填生产替代燃料和原材料</li> <li>• 在公司、设备供应商、研究机构和政府之间建立合作项目或网络, 以共用减排方面的研发资源和公私伙伴关系 (包括 CCS)</li> <li>• 在《联合国气候变化框架公约》下与政府合作, 探索有效的气候框架的关键因素, 如行业数据要求, 测量、报告和验证, 目标设定及潜在评分机制</li> </ul>
<b>中央、省级和 地方政府</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 修改和更新地方法律, 确保政策鼓励而非限制替代燃料和生物质燃料的应用</li> <li>• 与水泥工业贸易协会进行接洽, 确保政府和行业之间在技术开发的责任上公平分配</li> <li>• 确保操作者遵守替代燃料的共同使用指南, 以保证处理工艺充分得当。如可通过培训、文件记录和监管以保证透明性</li> <li>• 对负责许可、控制和监管的人员提供培训, 建立社区信任</li> <li>• 认识到在材料来源、法律支持和执行、以及公众理解等方面存在着差异, 应使技术转让过程适应各个地区</li> </ul>
<b>非政府组织和 智库</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 与行业合作, 充分理解共处置技术在气候保护方面的作用</li> <li>• 交流 CCS 在减缓气候变化方面的作用</li> </ul>

## 结论

该路线图首次致力于全行业范围内的减排技术途径。国际能源署和CSI成员公司共同合作开发出一条可能的转变路径使水泥行业为实现2050年全球CO<sub>2</sub>排放量减半而努力。

本路线图讨论了水泥工业四种可行的主要的CO<sub>2</sub>减排途径:

1. 提高热效与电效
2. 替代燃料的使用
3. 熟料替代
4. 碳捕集与碳贮存技术

要发挥每种减排途径的最大潜力需要政策和经济的支持，以及行业自身的技术发展。要实现路线图中规划的结果，需要所描述的政策和技术活动的全力配合。第24页所确认的进展指标只能在每一个具体地区，通过适合该地区的减排途径行为才能达到。政策建议在不同地区都应进行调整，以确保整个工业范围的减排途径在不同地区是适合的，例如不同地区存在原材料来源的差异。

水泥行业减排的愿景宏大，该路线图设定了里程碑以帮助国际社会追踪为实现2050年CO<sub>2</sub>减排目标所开发的技术成果。将来路线图的更新将反映这些指标的真实情况并监控其进展。

我们共同开发此路线图，以表明在全球深度减排中合作和伙伴关系的价值。我们在这里为一个行业提供了一种可能的发展道路，利用它我们寻求与政策决策者、经济伙伴及其它行业的公开对话，帮助我们有效调整以适应所面对的低碳世界。

关于该路线图的投入和执行方面的更多信息，可以访问 [www.iea.org/roadmaps](http://www.iea.org/roadmaps)，关于该路线图与CSI在其它环保和减排方面的有关工作，可以访问 [www.wbcsdcement.org/technology](http://www.wbcsdcement.org/technology)。

## 词汇表

- **集料**: 建筑用材料, 包括砂子, 砾石和碎石。
- **替代化石燃料**: 源于化石燃料的产品, 可用于产生热能, 但不是传统的化石燃料。主要为化石废弃物, 如塑料、溶剂、废油、废旧轮胎等。
- **生物质**: 源于生物质的产品, 可作为热源, 包括来自动物和植物的生物质。主要为来自农业、林业、生物废水处理和农用工业的废弃物。
- **复合水泥**: 波特兰水泥与熟料替代品混合后的产品。
- **碳泄漏**: 一国的CO<sub>2</sub>排放量增加是由第二国CO<sub>2</sub>排放量减少造成的, 如假如第二国有更为严格的气候政策。
- **水泥**: 一种建筑材料, 由磨细熟料与不同矿物成分如石膏、石灰岩、炉渣、粉煤灰和天然火山灰等混合制成。作为胶结材料与砂子、砾石、碎石和水混合搅拌成为混凝土。水泥的品质由国家标准规定, 没有统一的世界性标准。在WBCSD – CSI 议定书和“把数据搞准”数据库中, “水泥”包括所有运送到终端客户的水硬性胶结, 如包括所有品种的水泥、波特兰水泥和复合水泥, 以及磨细矿渣和粉煤灰等, 但是不包括熟料。准确定义参考WBCSD – CSI 议定书6.3部分。
- **胶凝产品**: 水泥公司生产的所有水泥和熟料的统称, 不包括从其它公司购买用于生产水泥的熟料。胶凝产品的准确定义参考WBCSD – CSI 水泥议定书的6.2部分。当熟料销售和购买的净平衡为零时, 水泥就等同于胶凝产品。
- **熟料**: 水泥生产的中间产品, 是水泥的主要成分。熟料是水泥窑中石灰石煅烧以及通过烧结发生反应的产物。
- **共处置**: 在工业过程中对废弃物进行使用。如一次燃料和原材料的替代品在水泥生产中的应用。
- **CSI**: 水泥可持续发展倡议行动; 见 [www.wbcdcement.org](http://www.wbcdcement.org)
- **EUETS**: 欧盟排放交易机制
- **粉煤灰**: 燃煤热电厂产生并收集到的颗粒状物质
- **地聚水泥**: 具有链状或网状矿物分子结构的水泥, 比普通波特兰水泥减少80-90%的CO<sub>2</sub>排放; 见 [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)
- **GNR**: “把数据搞准”, CSI全球水泥数据库, 覆盖世界范围内其18个成员公司的800家水泥厂。
- **CO<sub>2</sub>总排放**: 所有CO<sub>2</sub>的直接排放(不包括现场发电), 不包括对气候中性的生物质燃料的CO<sub>2</sub>排放。
- **IEA**: 国际能源署 [www.iea.org](http://www.iea.org)
- **薄膜技术**: 这项薄膜技术允许气体(如CO<sub>2</sub>)选择性通过, 其过程由材料自身性质以及膜本身的压力差决定, 这项新型气体分离技术尚未工业化大规模使用。
- **MRV**: 测量、报告和验证
- **NAMA**: 国家适度减排行动
- **CO<sub>2</sub>净排放**: CO<sub>2</sub>总排放减去替代化石燃料的CO<sub>2</sub>排放。
- **普通波特兰水泥(OPC)**: 最通用的水泥类型, 包含90%以上的熟料和约5%石膏。
- **焦炭**: 石油焦, 从石油冶炼中提取的碳基固体。
- **火山灰**: 一种材料, 与氢氧化钙结合后会有胶凝性。
- **预分解炉窑**: 在旋窑前部的一个独立设备中完成绝大部分石灰石的煅烧, 比在窑中完成所有的煅烧更节能。
- **行业途径**: 在联合国框架内整合政策和措施以提高有效的分行业的温室气体减排。排放方和他们的政府有一系列减排目标, 国家之间可能会有差别, 或采取其它合作方法应对气候变化。详情[www.wbcdcement.org/sectoral](http://www.wbcdcement.org/sectoral)
- **技术路线图**: 路线图是支持低碳行业、科研机构、社会团体和政府部门为达到技术开发目标而确认和优先考虑的战略研发以及为达到研发目标而需要的投资。
- **传统燃料**: 由气候变化国际小组指导方针定义的化石燃料, 主要包括: 煤、焦炭、褐煤、石油产品和天然气。
- **WBCSD**: 世界可持续发展工商理事会[www.wbcd.org](http://www.wbcd.org)

## 参考资料

关于路线图所用的参考资料，请访问 [www.wbcscement.org/technology](http://www.wbcscement.org/technology) or [www.iea.org/roadmaps/cement.asp](http://www.iea.org/roadmaps/cement.asp)。

附表 I IEA 路线图模型中采用的排放系数

CO <sub>2</sub> 排放系数	
煤炭	4.4 吨 CO <sub>2</sub> /吨油当量
石油	3.2吨CO <sub>2</sub> /吨油当量
天然气	2.34吨CO <sub>2</sub> /吨油当量
替代燃料（平均）	1.85吨CO <sub>2</sub> /吨油当量
CCS 技术	0.54吨CO <sub>2</sub> /吨熟料

附表 II IEA路线图模型中的基线计算

	2006	2050基线 (低)	2050基线 (高)	2050路线图 (低需求)	2050路线图 (高需求)
<b>全球指数</b>					
%熟料	79	75	74	71	73
%替代燃料 (包括生物质燃料)*	3	4	4	37	37
吉焦/吨熟料	4.2	3.5	3.5	3.3	3.2
千瓦时/吨水泥 (不含CCS)	111	95	95	92	92
千克CO <sub>2</sub> /吨水泥	800	693	636	426	352**
<b>全球产量</b>					
水泥生产, 百万吨	2,559	3,657	4,397	3,657	4,397
CO <sub>2</sub> 排放 (不含CCS), 百万吨	2,047	2,337	2,796	2,052	2,521

\*IEA 采用替代燃料中40%为生物质燃料

\*\*在高需求的情况下达到低排放—352千克CO<sub>2</sub>/吨水泥以符合IEA蓝色规划在2050年要求每吨水泥CO<sub>2</sub>的碳捕集和碳贮存量约为 221千克。

随着水泥行业基线的开发，路线图预计 CO<sub>2</sub> 排放会显著降低。这包括熟料水泥比降低、能耗降低、燃料消耗和电耗同时降低。另外还伴随着替代燃料使用量的小幅增加，每吨水泥 CO<sub>2</sub> 排放量将从现阶段的 800 千克下降到 693 千克（减排超过 13%）

### 附表 III 水泥低需求情景与高需求情景的主要区别

水泥需求预测是评估减排潜力的一个重要参数。需求量高意味着需要在一定时期内达得更低的绝对减排量，或需要加速实施 CCS，或两种方式相结合。关于预测范围可以在不同的研究报告中查到。此路线图中 IEA 对 2050 年需求的预测处于预测范围的低端。例如，IDDRI 和 Entreprises pour l'Environnement (EpE) 预测 2050 年水泥需求为近 50 亿吨，世界自然基金会 (WWF) /拉法基的预测为超过 55 亿吨（见参考资料）这里列出了 IEA 所预测的高低需求情景的主要区别：

- 水泥低需求情景预测2050年水泥产量为36.6亿吨，高需求情景预测产量为44亿吨：有7.4亿吨的差异；
- 实施CCS技术减排的CO<sub>2</sub>：高低情景的差异为4.3亿吨；
- 没有实施CCS技术减排的CO<sub>2</sub>：高低情景的差异为4.2亿吨；
- CO<sub>2</sub>总减排：高低情景的差异为0.1亿吨；
- 排放强度（包括电耗产生的CO<sub>2</sub>）：高低情景的差异为0.074吨CO<sub>2</sub>/吨水泥；
- 排放强度（不包括CCS）：0.003吨CO<sub>2</sub>/吨水泥；
- 电耗：不包括CCS的高低情景没有区别，包括CCS的高低情景差异为14千瓦时/吨水泥。

## 关于国际能源署 IEA

国际能源署于1974年11月成立，是在经济合作与发展组织（经合组织）框架下执行国际能源项目的一个机构。

IEA在经合组织30个成员国中的28个国家之间开展能源合作综合项目。IEA的基本目标是：

- 维护并改进处理石油供应中断问题的系统；
- 通过与非成员国、行业和国际组织合作在全球背景下推动合理的能源政策；
- 运行一个国际石油市场信息系统；
- 提供国际能源市场其它方面的数据；
- 通过开发替代能源并提高能效来改进能源供需结构；
- 促进国际能源技术合作；
- 协助整合环境和能源政策，包括与气候变化相关的各方面政策。

IEA成员国：澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、捷克共和国、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、爱尔兰、意大利、日本、韩国、卢森堡、荷兰、新西兰、挪威、波兰、葡萄牙、斯洛伐克共和国、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英国、美国，欧盟委员会也参与了IEA的工作。

经合组织是一个特殊的平台，30个民主政府在这里共同合作以应对全球化的经济、社会和环境挑战。

经合组织站在最前沿了解并帮助政府应对新发展和新问题。如公司管理、信息经济以及老龄化人口的挑战等。经合组织提供了一个平台，各国政府可以在此对比政策、交流经验，寻求共同问题的答案，找到好的实践方法，努力协调国内国际政策。

[www.iea.org](http://www.iea.org)



中国水泥协会（CCA）有780个会员，其水泥制造商会员生产中国超过80%的水泥。协会提供了一个信息和技术专长的国际交流平台，并指导中国水泥工业的发展。协会还负责管理数字水泥网（[www.Dcement.com](http://www.Dcement.com)）和发行中国水泥杂志。中国水泥协会是WBCSD对可持续发展工商理事会水泥可持续发展倡议（CSI）的合作伙伴，也是亚太水泥合作组的成员。



## 关于世界可持续发展工商理事会 WBCSD

世界可持续发展工商理事会（WBCSD）使全球200多个跨国公司通过经济增长、生态平衡和社会进步来共同承担可持续发展的承诺。我们的成员来自超过36个国家和22个主要工业领域。我们同时还受益于全球约60个国家或地区的工商理事会以及合作伙伴组织构成的网络。

我们的使命是在可持续发展议题日渐重要的世界中，把商业领袖地位作为面向对可持续发展改变的催化剂，支持企业去运作、创新和成长。

我们的目标：

- 商业领袖地位一成为可持续发展的领军商业倡导者
- 政策制订—帮助制订政策以创立商业对可持续发展产生贡献的架构条件
- 商业案例—开发推进可持续发展的商业案例
- 最佳实践—示范商业对可持续发展的贡献，在成员之间共享最佳实践案例
- 全球范围—为发展中国家和转型期国家未来的可持续发展做出贡献

[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)



World Business Council for Sustainable Development

## 关于水泥可持续发展倡议行动 CSI

水泥可持续发展倡议行动是由全球18家主要水泥生产商努力达成的。这些企业的总部分别位于14个国家，在超过100个国家中开展业务。这些水泥企业的水泥产量占到世界总产量的30%，规模大到国际跨国公司，小到地方性企业。所有CSI成员都把企业运营和发展战略与可持续发展相结合，企业在追求盈利的同时承担社会和环境责任。在过去十年的发展历程中，CSI通过应对气候变化、燃料消耗、员工安全、气体排放、混凝土循环利用和矿山开采管理，一直致力于了解、管理并最小化水泥生产和使用对环境的负荷。

[www.wbcsdcement.org](http://www.wbcsdcement.org)



## 免责声明

本报告是由国际能源署与世界可持续发展工商理事会水泥可持续发展倡议行动共同协作完成的，在完成过程中咨询了许多利益相关方人员。国际能源署、CSI成员企业、水泥行业、设备供应商、研究机构和水泥技术创新企业都对此报告有一定的贡献。技术文件和路线图的起草还咨询了行业外的利益相关者，在文件中也有一定的反映。在严格遵循适用的竞争法前提下，CSI成员企业参与了路线图的制定。文中没有关于任何实施报告中提到的任何技术的承诺。在不过分依赖这份报告的前提下，报告使用者应当自己独立做出经营决策，并承担相应风险。

报告由国际能源署和世界可持续发展工商理事会联合出版。本草案中所使用的名称和所呈递的材料，就国际能源署和世界可持续发展工商理事会而言，不涉及任何国家、领土、城市、地区、或政府合法地位的表述，也不涉及任何关于其边界或边界界定的表述。

## 致谢

国际能源署和世界可持续发展工商理事会向所有参与制定本路线图的相关人员表示衷心的感谢。特别感谢CSI成员企业，以及ECRA准备路线图基础技术文件的团队。

### 国际能源署 (IEA)

- 路线图负责人 (IEA): Cecilia Tam
- 规划分析和模型开发: Michael Taylor
- 顾问: Dolf Gielen

### 世界可持续发展工商理事会 (WBCSD)

- 路线图负责人 (CSI): Caroline Twigg
- 主任 (CSI): Howard Klee

### 水泥可持续发展倡议行动 (CSI)

**工作组联合主席:** Paulo Rocha (Cimpor),  
Rob van der Meer (HeidelbergCement)

**工作组:** Eamon Geraghty (CRH), Yoshito Izumi (Taiheiyo Cement), Alexander Katsiampoulas (Titan), Alexander Röder (CEMEX), Volker Hoenig (VDZ)

**CSI参与者:** Ash Grove Cement (USA), Camargo Correa (Brazil), CEMEX (Mexico), Cementos Molins (Spain), Cimentos Liz (Brazil), Cimpor (Portugal), CRH (Ireland), Grasim (India), HeidelbergCement (Germany), Holcim (Switzerland), Italcementi (Italy), Lafarge (France), Secil (Portugal), Shree Cement (India), Siam Cement Group (Thailand), Taiheiyo Cement (Japan), Titan (Greece), Votorantim Cimentos (Brazil)

**设计:** Eddy Hill Design and Services Concept

**图片:** Dreamstime

**版权:** © 2009, 经合组织/国际能源署  
世界可持续发展工商理事会

**ISBN:** 978-3-940388-47-6

**印刷:** IEA

