

定量分析能源效率项目中的协同效益：以中国山东省水泥工业为例

Ali Hasanbeigi, Agnes Lobscheid, Yue Dai, Hongyou Lu, Lynn Price

能源分析和环境影响处
环境能源技术部
劳伦斯伯克利国家实验室

概要

2010年，中国水泥行业的年产量，占全球总产量的一半以上。水泥行业作为高能源消耗和高二氧化碳排放的行业之一，也是中国大气污染的最主要来源。例如，在中国，水泥行业是悬浮颗粒物最大的排放源，其占工业悬浮颗粒物总排放量的40%，占全国总悬浮颗粒物排放量的27%。通过具体法规政策的实施，水泥行业的污染物排放量可以得到减少。同时，实施节能减排和气候变化缓解的政策方案所产生的协同效益，可以帮助改善中国空气污染的情况。评估节能减排政策方案时，将协同效益纳入评估的范围并进行定量分析，可以反映出这些政策方案在节能减排以外的益处，并提高其成本效益。

在本项研究中，我们对中国水泥行业实施节能措施后在减少可吸入颗粒物(PM₁₀)和二氧化硫(SO₂)排放方面产生的协同效益进行定量分析。为了纳入这些定量分析的数值，我们将节能成本的计算公式调整如下：

$$\text{节能成本}_{\text{协同效益}} = \frac{(\text{每年平均资本成本} + \text{运行和维护成本的年度变化量} - \text{每年的协同效益})}{\text{年度节能量}} \quad (\text{公式 ES1})$$

每年平均资本成本的计算如下：

$$\text{每年平均资本成本} = \text{资本成本} * (d / (1 - (1 + d)^{-n})) \quad (\text{公式 ES2})$$

其中：

d = 折现率 (本研究的假设值为30%)

n = 实施节能措施的年数

计算含有协同效益效果的节能成本时，我们采用下列方法：

1. 我们以2008年作为基准年计算山东省16家水泥厂能耗量、原料使用量和产量。在建立空气质量和对健康造成的影响的模型时，我们也使用2008年的数据。
2. 我们列出34项已商业化的技术措施，其中29项措施适用于本研究范围内的水泥厂。在这29项措施中，23项属节约用电措施，6项属于节约燃料措施。为了计算节约用电

措施对减少大气污染情况(PM_{10} 和 SO_2)的贡献程度,我们采用电网排放因子相对平均值。我们并未就节电措施对空气质量造成的影响进行建模,也没针对其健康影响进行分析,原因在于发电造成的空气污染的排放源是分布在各地的电厂,而电厂并不属于本研究的范围。本研究将目标放在水泥厂本身对空气污染造成影响,所以,将协同效益定量结果纳入节能成本公式计算时,我们仅考虑这六项节约燃料的措施,因为这些措施可以直接减少水泥厂对大气的污染。

3. 根据采集自这16家位于山东的水泥厂的相关数据,我们对这些工厂采用多项能效技术措施的潜力进行了评估。
4. 我们就每一家水泥厂采用各项能效技术措施可带来的节能量、二氧化碳减排量与大气污染物(PM_{10} 和 SO_2)减排量进行计算。
5. 我们分别就 PM_{10} 和 SO_2 对大气质量造成的影响进行建模,从而找出基准情景与高效情景的排放浓度。我们仅对6项节约燃料技术措施进行建模。(有关于建模的详细介绍,请见第3.4节)。
6. 基于上述步骤而导出的排放浓度数据,我们使用浓度—反应函数对实施节约燃料措施对健康带来的积极影响进行计算。(有关计算相关说明,请见第3.5节)。
7. 我们将每项节约燃料技术措施在减少 PM_{10} 和 SO_2 排放量以外的协同效益换算成货币价值,从而用来计算包含协同效益的节能成本(请见公式ES2)。

结果显示,在不考量节电技术产生的协同效益时(理由如上所述),这些措施是具有经济效益的(图ES1),节电技术措施在减少 PM_{10} 和 SO_2 排放量的潜力超过41%。结果同时显示, PM_{10} 和 SO_2 减排对健康带来的收益可降低这些节约燃料措施的节能成本(表ES1)。

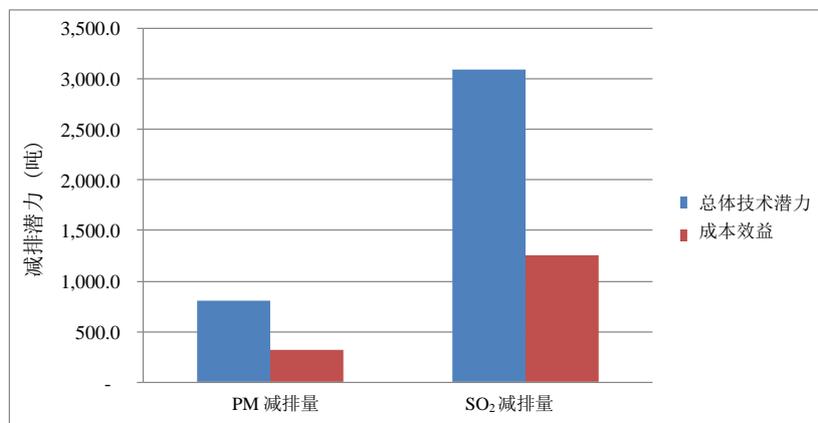


图 ES1. 2008 年山东省 16 家水泥厂采用节电措施促成 PM 和 SO_2 的减排, 其减排的成本效益和总技术潜力

表 ES1. 2008 年山东省 16 家水泥厂的 PM₁₀ 和 SO₂ 减排潜力，与节约燃料措施本身的节能成本和纳入协同效益的节能成本

节能成本排序	能效措施 ^b	PM ₁₀ 减排量 (吨 PM ₁₀)	SO ₂ 减排量 (吨 SO ₂)	节能成本 (人民币/节能 GJ)*	节能成本 ^{协同效益} (人民币/节能 GJ)	差异 (%)
1	混合水泥(添加剂: 飞灰、火山灰和高炉矿渣) ^a	2,560	248	0.72	0.25	-65%
2	石灰石硅酸盐水泥 ^a	850	13	0.76	0.16	-80%
3	减少炉窑热损程度(经过改良的耐火材料)	-	270	1.98	1.89	-5%
4	使用替代能源	-	215	3.78	3.76	-1%
5	提高热回收效率/改造熟料冷却机 ^a	-	28	4.71	4.56	-3%
6	生产熟料时, 采用能源管理和工艺控制系统	-	202	12.60	12.4	-1%

*人民币/节能 GJ = 节约每十亿焦的人民币成本

^a 根据节电量和节约燃料用量, 我们使用一次能源节能量计算本措施的节能成本(不纳入协同效益和纳入协同效益二种情况)。

^b 有关节约燃料措施的简介, 详见附录 A.5。

在纳入协同效益后, 能促成产品变化(混合水泥和石灰石硅酸盐水泥的生产)的两项措施, 其节能所需的成本大幅的减少。因为它们可以同时减少 PM₁₀ 和 SO₂ 的排放量, 对比之下, 其它节约燃料措施无法减少 PM₁₀ 的排放。从这里可看出, 减少 PM₁₀ 排放量对水泥行业的重要性以及减少污染物带来的可观收益。敏感性分析结果显示, 纳入协同效益后导出的节能成本, 与浓度—反应系数及单位值健康结果(疾病/死亡)呈现逆向关系, 与风速呈现正向关系。

本研究同时就研究范围、大气质量建模、健康收益评估和节能成本计算方面遇到的不确定性进行了阐述; 本研究指出未来可进行进一步研究的几个方向: 将其他排放物, 特别是细颗粒物, 纳入分析范围; 对中国其他行业进行类似的协同效益评估; 研究协同效益评估可能对政策制定产生的影响, 尤其是对发展中国家政策制定上的影响。

致谢

本项工作通过美国能源部, 由能源基金会中国可持续能源项目和陶氏化学公司(通过慈善捐款)共同资助。合同编号 DE-AC02-05CH11231。

2012 年 11 月