

水泥行业煤炭消费总量控制方案及 政策研究

执行摘要

中国水泥协会



我国工业能源消耗仍然以煤炭为主，建材工业煤炭消耗占工业部门煤炭消耗总量的 7.4%，水泥工业煤炭消耗占建材工业的 83.7%，本着抓大带小的原则，抓好水泥煤炭总量控制相当抓住了建材煤炭总量控制，为落实国务院发布的《能源发展战略行动计划（2014-2020）》，在水泥行业贯彻实施“节约优先战略”和“绿色低碳战略”编写了本报告，以下摘要报告主要内容。

一. 建材工业发展现状及趋势

2012 年我国规模以上建材工业企业完成主营业务收入 3.6 万亿元，同比增长 11.7%，实现利润 2608 亿元，同比下降 1.2%。2012 年末规模以上建材工业企业数量 2.5 万家，工业总产值 3.9 万亿元，同比增长 14.6%。完成增加值按可比价格计算比上年增长 14.3%。

2012 年建材工业能源消耗总量 2.9 亿吨标准煤；消耗煤炭 2.5 亿吨，消耗电力 2700 亿千瓦时。建材能耗占全国能源消费总量 8%，占工业部门能耗总量 11.5%；煤炭消耗占全国煤炭消费总量 7%，占工业部门煤炭消耗总量 7.4%。

建材工业主要污染物排放主要是废气。根据环保部数据按行业加工整理，2012 年建材工业废气排放量 10.5 亿立方米（标态），二氧化硫排放 187.8 万吨，氮氧化物排放 264.5 万吨，烟（粉）尘排放 254.8 万吨。

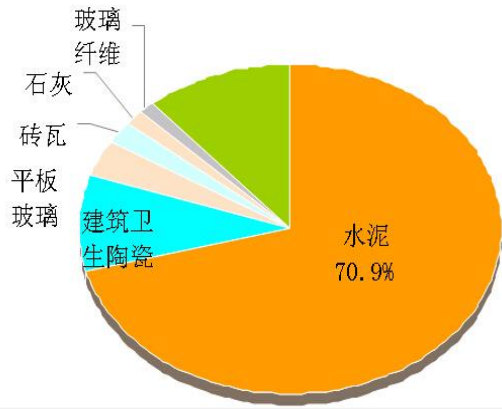


图1 2012年建材工业能耗总量产业构成

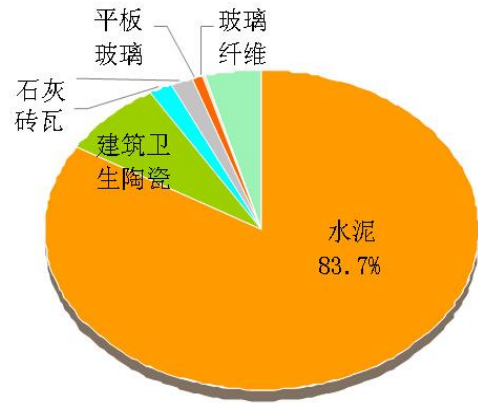


图2 2012年建材工业煤炭消耗产业构成

二. 水泥工业发展现状及趋势

1. 水泥工业基本现状

2013年全国水泥产量24.2亿吨，生产能力32.9亿吨；熟料产量13.8亿吨，生产能力18.6亿吨。运营生产的新型干法生产线1586条，新型干法熟料生产能力17.7亿吨。

生产企业约3500家，从业人员90多万人。新型干法熟料生产能力占全国熟料生产能力的95.2%，水泥行业已经完成了工艺结构调整的目标。

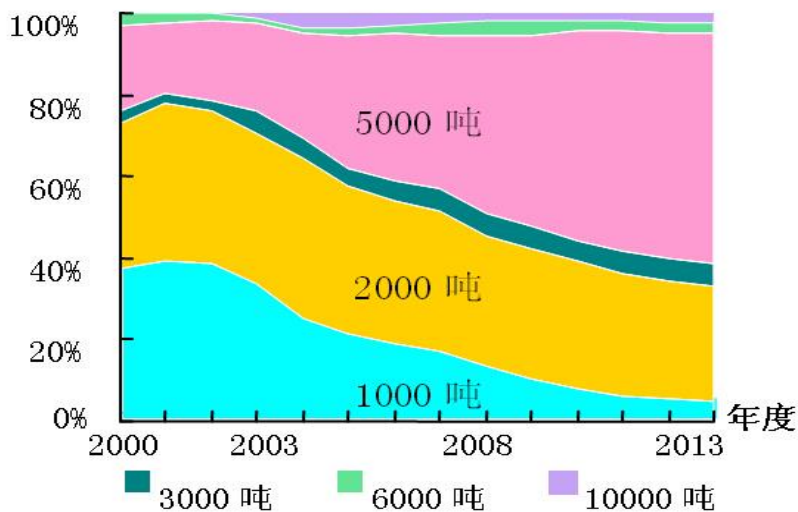


图 3 2000 年以来预分解窑规模比重

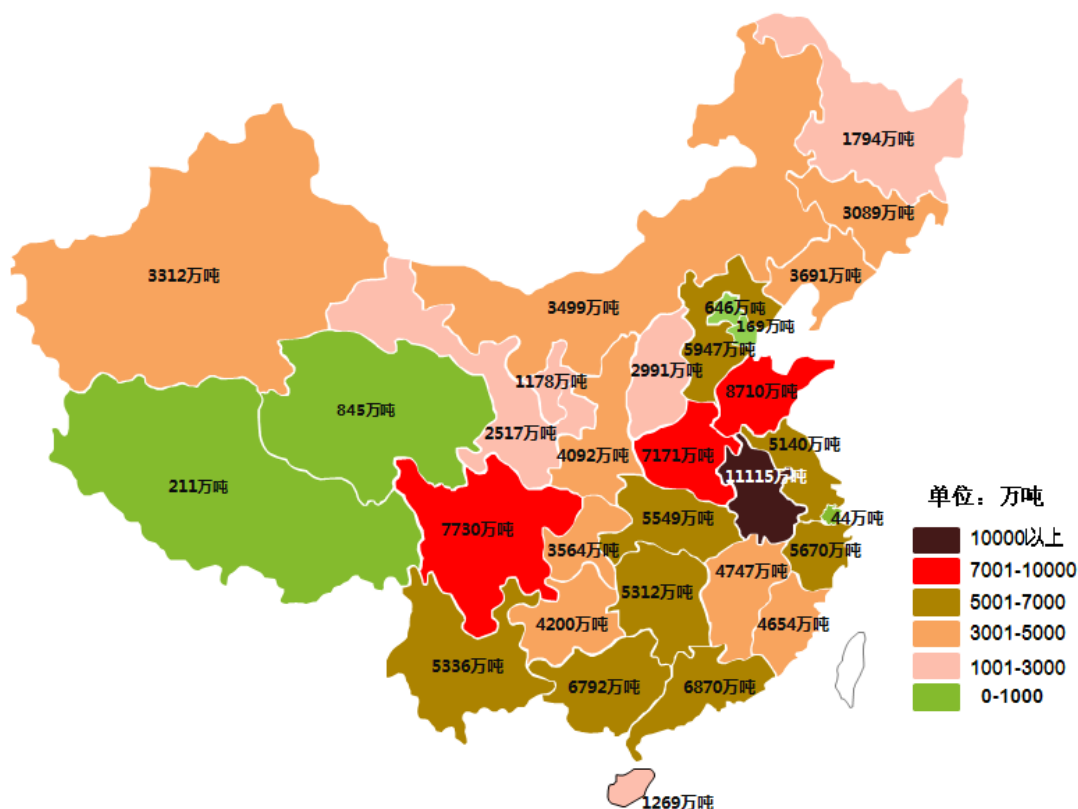


图 4 2012 年全国分省新型干法水泥熟料产量及分布

图 4 可以看出，2012 年新型干法熟料产能只有安徽省超过亿吨，达到 11115 万吨；其次是山东、四川、河南分别为 8710、7730、7171 万吨；除上海、天津、北京产能较小外，西藏、青海产能小于 1000 万吨，为 211、845 万吨；其余大部分省份均在 5000 万吨上下。

2012 年规模以上水泥制造业能耗总量 2.07 亿吨标准煤；煤炭消耗 2.08 亿吨；电力消耗 1680 亿千瓦时；煤、电消耗占水泥能耗总量 96.6%。

2012 年水泥制造业 SO₂ 排放 109 万吨，占工业排放 5.7%；NO_x 排放 198 万吨，占工业排放 11.9%；烟（粉）尘排放 67.1 万吨，占工业排放 6.5%。2012 年水泥生产综合利用工业固体废物量 5.1 亿吨，

占工业利用量 25.2%。

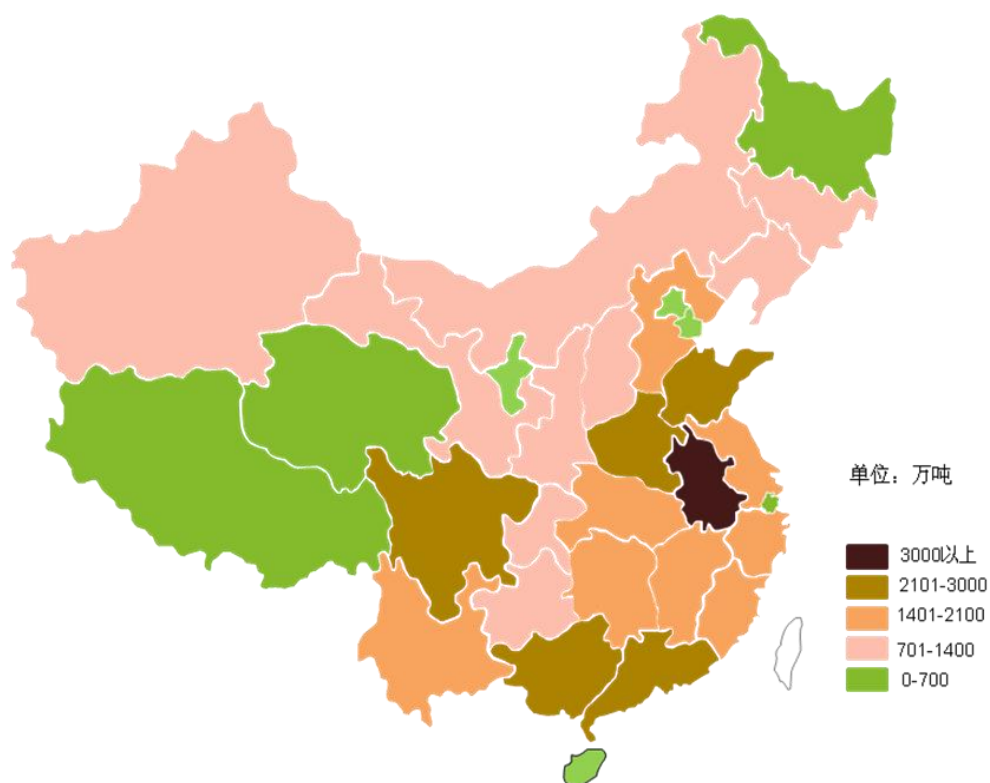


图 5 我国分省水泥生产燃煤二氧化碳排放示意图

2. 与世界先进水平的差距

(1) 水泥总体品质不高。32.5 等级水泥比例大，混合材掺入量多，熟料系数低，我国实物水泥 1.36 吨才相当于国际平均品质水泥的 1 吨，但随着 GB175-2007 修订案的出台和 32.5 复合硅酸盐水泥产品的取消，这一情况会有较大改进。

(2) 大型水泥公司向社会公众提交的年度社会责任报告、环境报告和能源消耗报告只有少数。至今只有中国建材、中国中材、华润水泥、华新水泥等几家提交了年度社会责任报告。

(3) 对污染物排放的控制种类不够齐全，行业标准有待提高和健全。企业整体管理水平、自动化和智能化管理水平尚须提升到一个新的台阶。

(4) 产业集中度有待进一步提高；

(5) 水泥窑协同处置可燃废物提高燃料替代率差距较大。节能减排和绿色发展已成为我国基本国策，政策法规、标准规范不断进步对水泥工业能效、排放、环保、质量水平的提高都是有力驱动。

三、水泥熟料消费需求预测

水泥生产工艺过程可概括为“三磨一烧”，即原料、燃料（煤炭）、水泥粉磨和水泥熟料煅烧。水泥生产直接煤炭消耗环节是熟料烧成，另外有少量（可忽略不计）的原料烘干用煤。可以说水泥生产煤炭消耗即是熟料生产煤炭消耗，煤炭消耗预测即是熟料需求预测。

1. 预测条件界定

(1) 我国近年来熟料占水泥的比例大幅度下降，单纯以水泥消费量研究预测水泥峰值，不能正确体现水泥消费的内涵。

(2) 为了与选取的国外样本国家的水泥消费更有可比性，消除熟料系数波动对水泥消费预测结果的影响，本课题对我国水泥消费量采用水泥熟料消费量做为分析指标进行研究。

(3) 以熟料量预测为基础，适应当前技术标准和产品标准，以2013年熟料占水泥的比值为基础，结合水泥产品发展趋势，按不同比值，折算出不同时期水泥消费量。

2. 预测数据采集及分析

预测研究中对影响水泥熟料需求的主要因素进行了深入分析，共采集了 14000 多条与课题直接相关的各类数据，结合我国经济建设和水泥消费特点，选泽具有代表性样本国家和地区：英国、法国、美国、日本、韩国、台湾、加拿大、西德、西班牙、意大利、澳大利亚。2013 年这些国家人口约占世界的 13%，经济总量占世界的 47%，建立了关于各主要国家和地区水泥消费及相关经济社会发展完整数据链系统。

课题预测采用多因素综合分析法，分析内容包括：

- (1) 历年水泥消费量包括：水泥消费总量、人均水泥消费量、人均累计水泥消费量
- (2) 人均累计水泥消费量时间序列拟合曲线
- (3) 人均累计水泥消费量（GDP 增长与水泥消费量回归关系）
- (4) 城市化率与人均水泥消费量的关系
- (5) GDP 与水泥消费量的关系
- (6) GDP 增长与水泥消费量变化的弹性系数
- (7) 三产比例与人均水泥消费量的关系
- (8) 钢铁消费量与水泥消费量的关系
- (9) 固定资本形成总额及形成率与水泥消费量的关系
- (10) 建筑竣工面积与水泥年消费量的关系

2. 预测方法及结果

预测采用多因素综合分析法，建立相应预测模型，获得多角度预测结果。结合 AHP 法（层次分析法）、德尔菲法等对结果进行综合分析和调整。

基于近年来我国水泥混合材掺加比例逐年提高，单纯以水泥实物量无法正确反映水泥煤炭消费实际情况，因而采用预测水泥熟料消费需求进行测算煤炭消费需求和消费趋势。

预测结果为：水泥熟料消费量在 2017 年前后进入消费平台区，熟料消费峰值 2019 年前后出现，峰值量 15.9 亿吨左右。根据对样本国家数据序列的判断，峰值后 10 年人均水泥需求水平为峰值时的 65% 左右。我国水泥消费是在经济持续增长、结构不断调整的基础上达到峰值，消费峰值出现后水泥需求特点与日本具有更多相似情况，峰值出现后，水泥需求将在平台区上波动后逐渐回落。2050 年中国已经全面进入后工业化时代，虽然水泥消费总量还会出现小的波动，但总体比较平稳，需求量应维持在峰值的 40-45% 左右。

表 1 我国水泥熟料消费量预测

年 份		2015	2020	2030	2050
水泥熟料需求量（亿吨）		14.8	15.9	10.3	6.8
水泥消费量 （亿吨）	熟料率为 0.58 时	25.5	27.4	17.8	11.7
	熟料率为 0.65 时	22.8	24.5	16.6	10.5
	熟料率为 0.70 时*	21.1	22.7	14.7	9.7

注：*2013 年我国水泥熟料率 0.57，随着《通用硅酸盐水泥》标准的修订和 32.5 复合水泥的取消，预计 2020 年以后，水泥熟料率达到 0.70 的可能性较大。

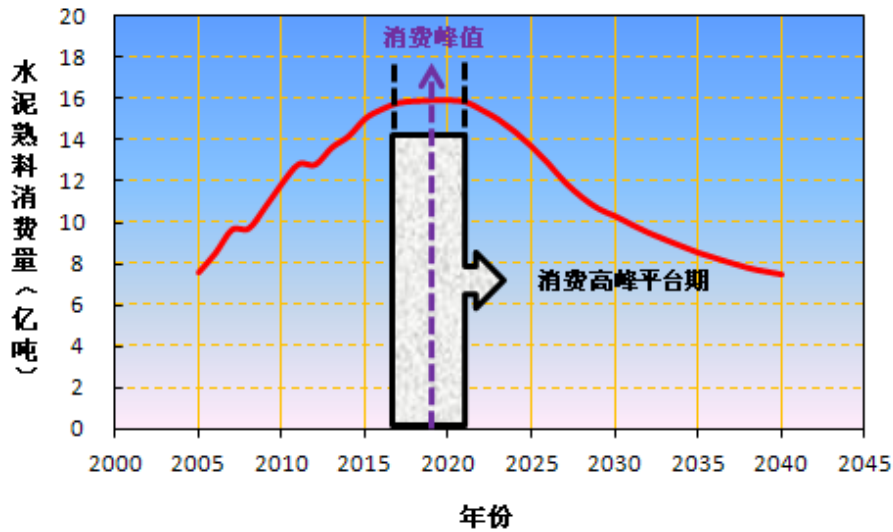


图 6 水泥熟料消费峰值及消费高峰平台图

四、煤炭总量控制目标及措施

1. 基准情景下煤炭消费量

2010 年水泥熟料生产煤炭消耗量折标准煤 1.42 亿吨。以当前基准情景下的水泥熟料能耗水平和熟料需求进行测算，预测 2015 年、2020 年、2030 年和 2050 年的水泥行业煤炭消耗量分别为：17600、19000、12300、8200 万吨标煤。当前能源消耗情景下，水泥行业煤炭消费峰值于 2019 年出现，煤炭消费量为 19000 万吨左右；

表 2 基准情景下水泥熟料生产煤炭消费量及趋势

年份	2010	2015	2020	2030	2050
2010 年能耗水平下煤炭消耗量 (万 tce)	14200	17600	19000	12300	8200

2. 节能情景下煤炭需求预测

(1) 节能途径路线图

通过实施水泥产业结构调整，进一步淘汰落后产能；采用高效节能煅烧技术、水泥窑协同处置可燃性废弃物技术、工业废渣替代原料技术、高效隔热保温材料及砌筑技术、水泥窑炉富氧燃烧技术等一系列节能技术；进一步加强水泥能效管理，加强两化融合等措施；水泥生产单位能耗将进一步降低，熟料烧成热耗预计在 2020 年达到世界领先水平。

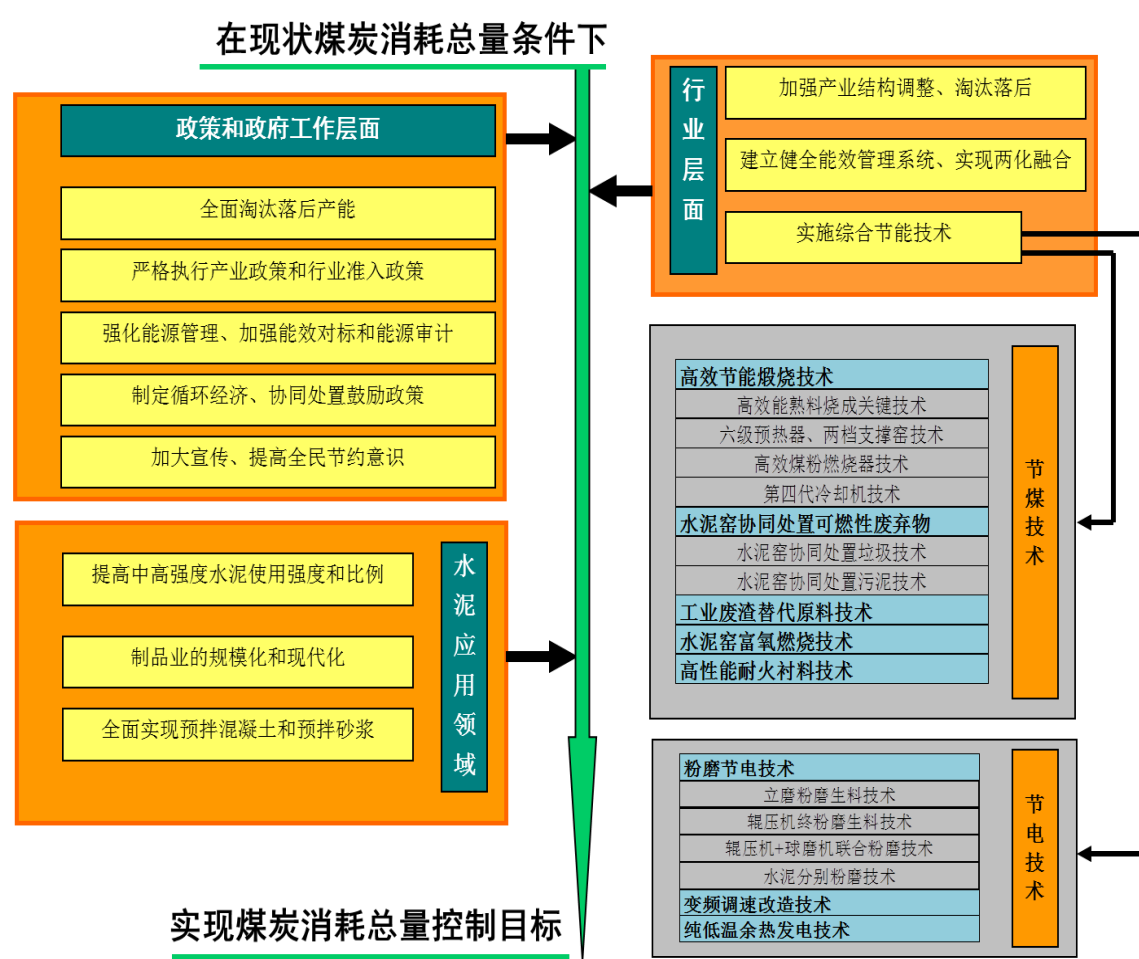


图 7 煤炭消费总量控制技术路线图

(2) 节能情景下煤炭消费量

以 2010 年为基准年，采取节煤措施后,单位熟料煤耗呈大幅度下

降趋势，到 2020 年单位熟料平均煤耗将由 2010 年的 119.8kg 标煤/吨熟料下降为 104.6kg 标煤/吨熟料。测算结果表明，技术措施节煤始终是节煤工作的核心，淘汰落后节煤的贡献率 2020 年后呈下降趋势；采取一系列节能措施后，煤炭消费峰值较水泥消费峰值提前 2 年，将在 2017 年达到，峰值量为 17000 万吨标煤。通过对各种措施的节煤量的定量分析，测算出 2015、2020、2030、2050 年煤炭消费总量。

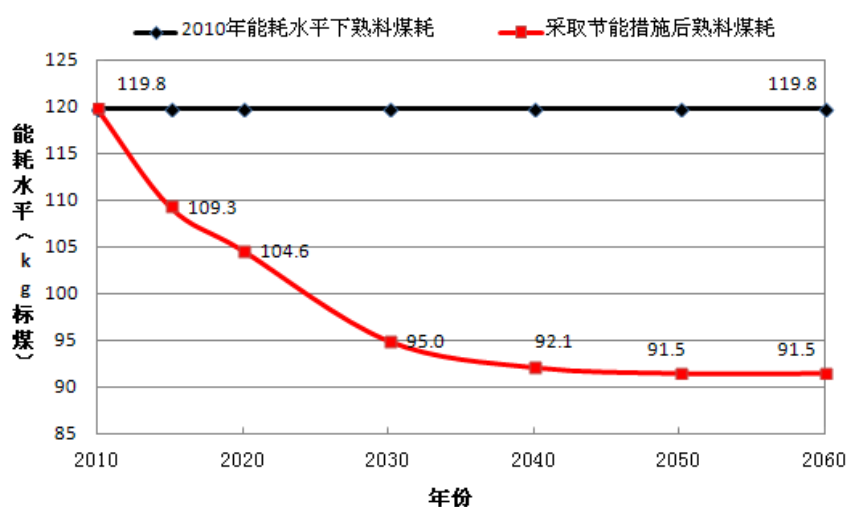


图 8 采取节能措施后单位熟料能耗水平趋势

表 3 节能情景下煤炭消费预测

年份	2015	2020	2030	2050
2010 年能耗水平下煤炭消耗量 (万 tce)	17600	19000	12300	8200
节能情景下煤炭消耗量 (万 tce)	16505	16635	9780	6220
节能与基准情景相比产生的节煤量 (万 tce)	1095	2365	2520	1980

采取节能措施后，水泥煤炭消费轨迹低于现有能耗水平下的水泥煤

炭消费轨迹，二者之间的高度差即为采取节能措施所产生的节煤量。

煤炭消费量随着水泥消费量的变化也将出现消费峰值。

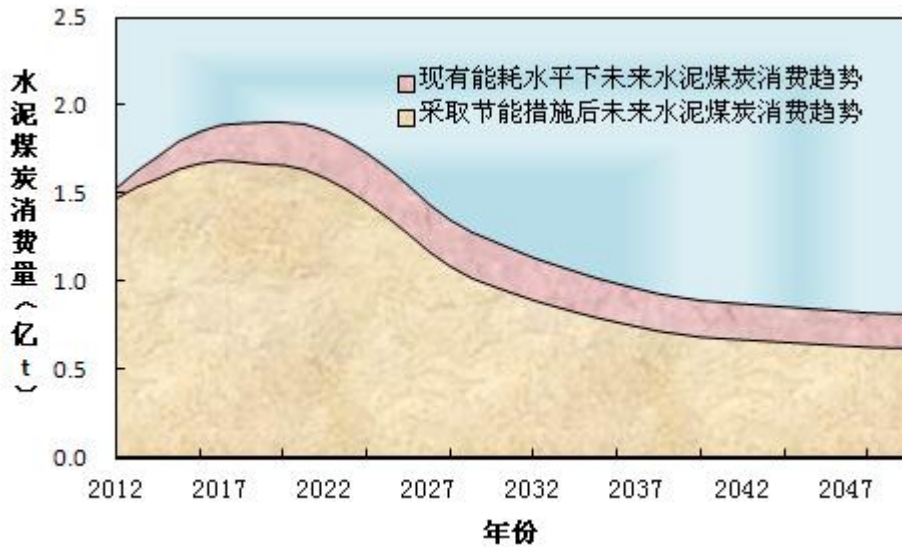


图9 水泥行业煤炭消费趋势

(3) 控制情景下煤炭消费量

根据课题总体要求，提出了2015、2020、2030、2050年煤炭消费总量控制目标分别为：16700、16500、9700、6000万吨标准煤。

表4 煤炭消费总量控制目标及新增节煤量

年份	2010	2015	2020	2030	2050
2010年能耗水平下煤炭消耗量（万tce）	14200	17600	19000	12300	8200
采取节能措施后煤炭消耗量（万tce）	14200	16505	16635	9780	6220
预测节煤量（万tce）	0	1095	2365	2520	1980
煤炭消费总量控制目标（万tce）	14200	16700	16500	9700	6000
按煤炭消费总量控制目标要求需新增节煤量（万tce）	0	-195	135	80	220

从上表可以看出，2015年水泥行业在采取相应的节能措施后煤炭消耗总量可以满足课题提出的总量控制目标。其他年份与煤炭消费总量控制目标也相差不大，采取以下措施就可以实现控煤目标。

(1) 进一步改善产业结构，完成对落后工艺产能淘汰后，要继续对日产 2000 吨以下的新型干法窑予以淘汰。每等量替换 1 亿吨相对落后产能，将新增节煤量 200—400 万 tce。

(2) 发挥市场机制作用，实施企业兼并重组，提高产业集中度；

(3) 组织错峰生产，合理降低产能发挥；

(4) 加强能源审计，有效提升企业的能效水平，降低生产线能耗。

(5) 强化能效管理系统，实现两化融合。通过信息化、智能化技术应用，开展企业生产线的能源检测、统计、分析，实时掌握能耗水平，通过操作软件实现对生产线能源消耗的优化和管理。

五、实现控煤目标产生的连锁效应

1. 节煤潜力大

节煤措施主要通过结构调整淘汰落后、用节煤技术和装备实施技术改造、加强节能管理等措施实现节煤。各种措施节煤通过定量分析，得出节煤预测量。

表 5 水泥工业节煤潜力汇总表

年份	2015	2020	2030	2050
淘汰落后节煤（万吨）	400	750	500	300
主要技术节煤（万吨）	575	1315	1720	1480
管理及其他措施节煤（万吨）	120	300	300	200
节煤总量（万吨）	1095	2365	2520	1980
结构调整淘汰落后贡献率	36.53%	31.71%	19.84%	15.15%
主要技术措施贡献率	52.51%	55.60%	68.25%	74.75%
管理及其他措施贡献率	10.96%	12.68%	11.90%	10.10%

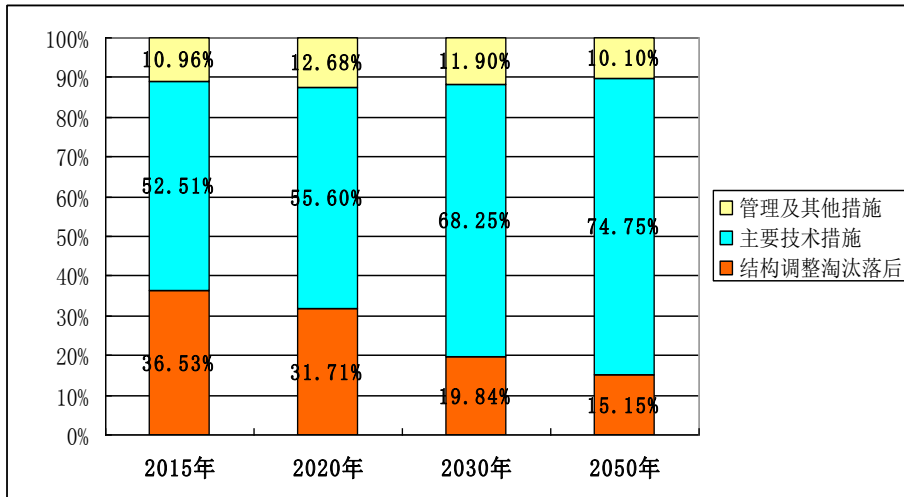


图 10 从基准情景到节能情景各种节煤措施贡献率预测 (%)

实例 1. 水泥窑协同处置垃圾

对垃圾进行预处理后，利用各种垃圾焚烧炉（包括气化炉）焚烧产生的热量送入分解炉内燃烧，可替代部分燃料。根据水泥窑高温、碱性物料多等生产特点，吸收在焚烧垃圾过程产生的二噁英等有害物质，经水泥窑处理后大量减少二噁英等有害物质产生。同时焚烧灰渣作为原料配料通过煅烧进入水泥熟料，或者作为混合材料掺入到水泥产品中。以海螺铜陵已投产的 5000t/d 水泥熟料生产线为例，可实现日处理量 300-600 吨垃圾计算，年可实现节标煤约 1.35-2.7 万吨。

表 6 水泥窑协同处置可燃性废弃物节煤潜力分析汇总表

年份	协同处置生活垃圾节煤量 (标煤万吨)	协同处置污泥节煤量 (标煤万吨)	协同处置工业危险废弃物及其他燃料替代节煤量 (标煤万吨)	合计 (标煤万吨)
2010	10	5	1	16
2015	30	20	5	55
2020	150	100	20	270

2030	300	200	50	550
2050	360	300	100	760

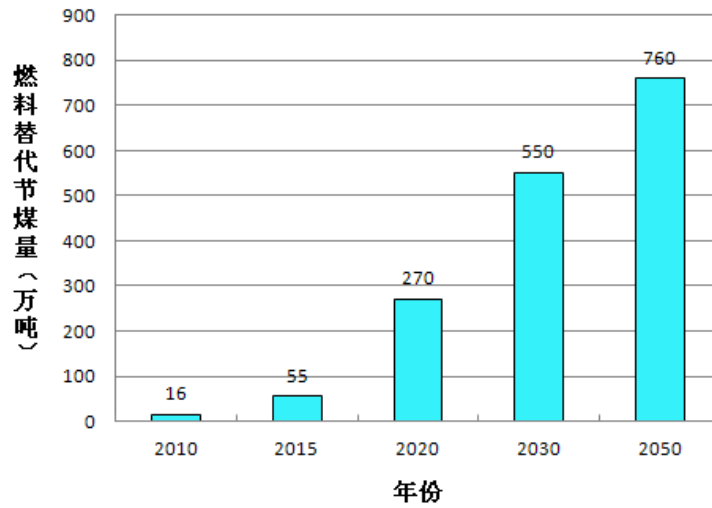


图 11 燃料替代分析图

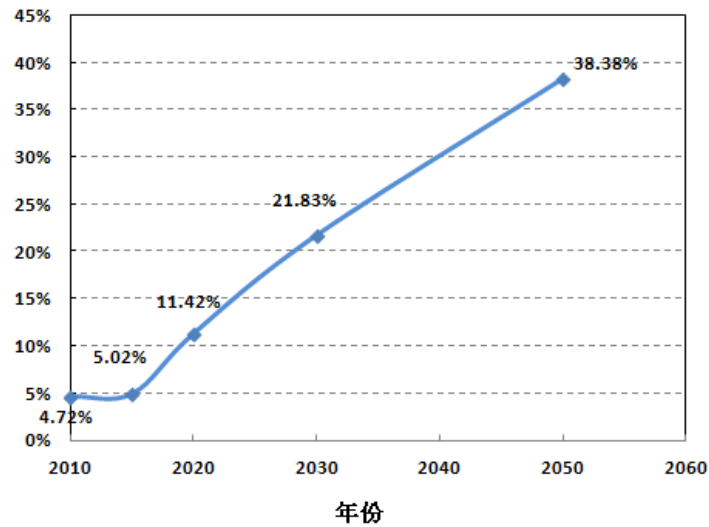


图 12 燃料替代占总节煤量的比例预测

实例 2. 工业废渣替代原料

工业废渣（粉煤灰、煤矸石、钢铁渣、硫酸渣、电石渣等等）作为水泥生产原料（生料配料及水泥混合材）得到综合利用，是当前废

渣利用量最大、最为彻底、技术最为成熟的途径和方法。国家出台的鼓励综合利用工业废渣有关政策和财税奖励政策，促进了水泥工业综合利用工业废渣的积极性，不但减少了自然资源的使用，而且减少了水泥熟料的使用量，降低水泥生产过程中燃料和电力消耗。

表 7 工业废渣利用替代技术节煤潜力分析表

年度	预测熟料产量 (万吨/年)	工业废渣利用替代熟料量 (万吨/年)	节煤量 (标煤万吨/年)
2010	115000	2300	260
2015	151000	3020	330
2020	159000	4120	450
2030	103000	3390	360
2050	68000	2600	270

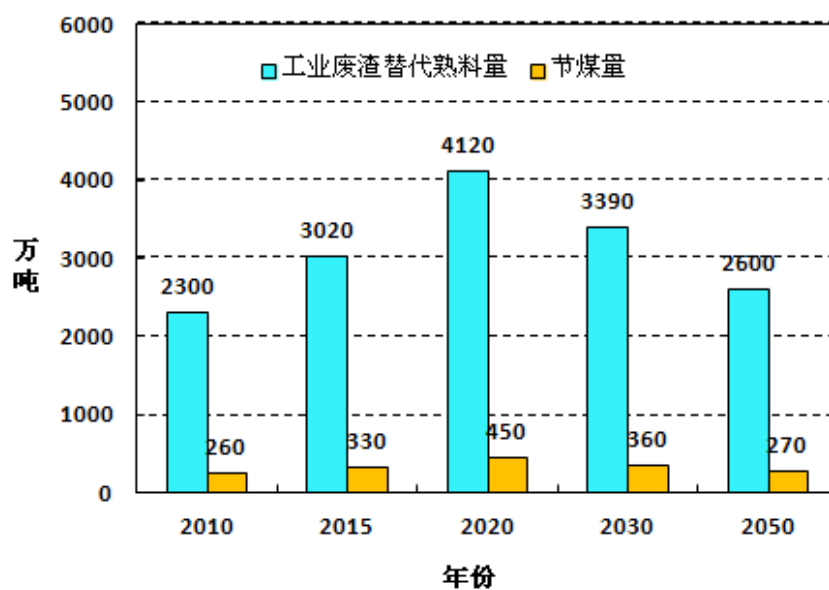


图 13 原料替代量分析图

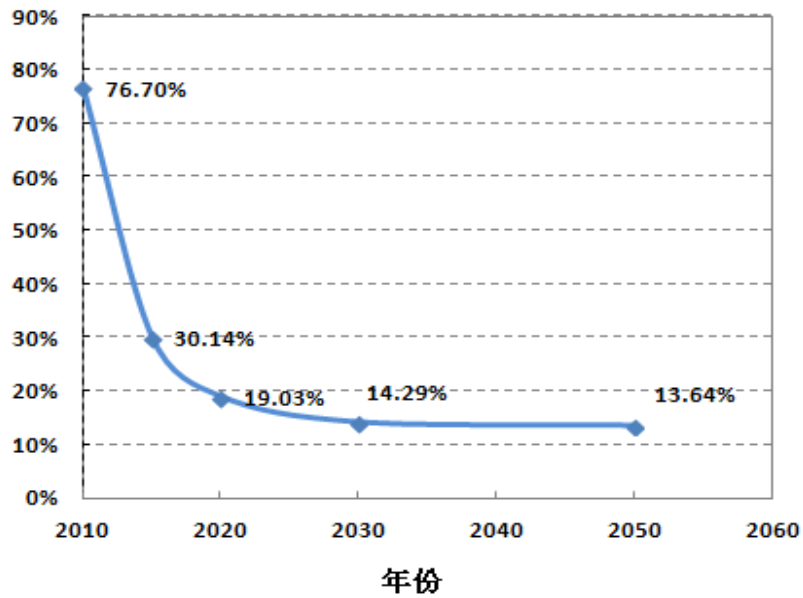


图 14 原料替代节煤量占总节煤量比例预测

2. 实现主要污染物和二氧化碳减排

水泥工业污染物的减排主要是通过环保技术的进步、节能减排、加强环保管理工作的提升来实现的，其中降低煤耗、实现煤炭总量控制目标对污染物减排具有重要贡献。通过以上节能技术的实施，可以有效降低各类污染物和二氧化碳的排放。

在以 2012 年为排放总量和单位排放强度为基准对各预测年进行主要污染物排放测算时，各污染物将会有大幅度下降。

表 8 按各年熟料预测量测算采取节煤措施后 CO₂ 减排情况 单位：万吨

年份	2015	2020	2030	2050
CO ₂ 减排量	1550	4850	5250	3850

注：CO₂ 减排量=基准情景下 CO₂ 排放量—控制情景下 CO₂ 排放量。

CO2减排量

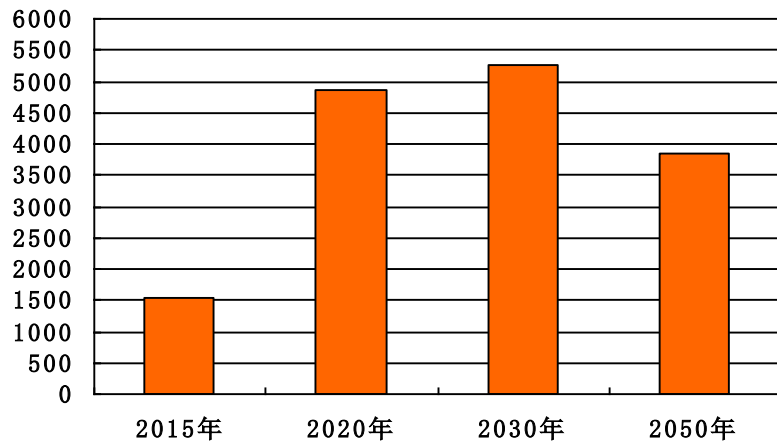


图 15 按各预测年测算采取节煤措施后煅烧熟料减排 CO2 情况

表 9 按各年熟料预测量测算污染物减排量 单位：万吨

年份	SO ₂			NO _x			烟粉尘		
	基准情景下排放总量	控制情景下排放量	减排量	基准情景下排放总量	控制情景下排放量	减排量	基准情景下排放总量	控制情景下排放量	减排量
2012	109.0			198.0			67.1		
2015	128.6	121.0	7.6	233.6	168.3	65.3	79.2	64.6	14.6
2020	135.4	119.7	15.7	246.0	110.9	135.1	83.4	48.9	34.5
2030	87.7	71.8	15.9	159.3	65.6	93.7	54.0	29.3	24.7
2050	57.9	46.5	11.4	105.2	43.1	62.1	35.6	18.9	16.7

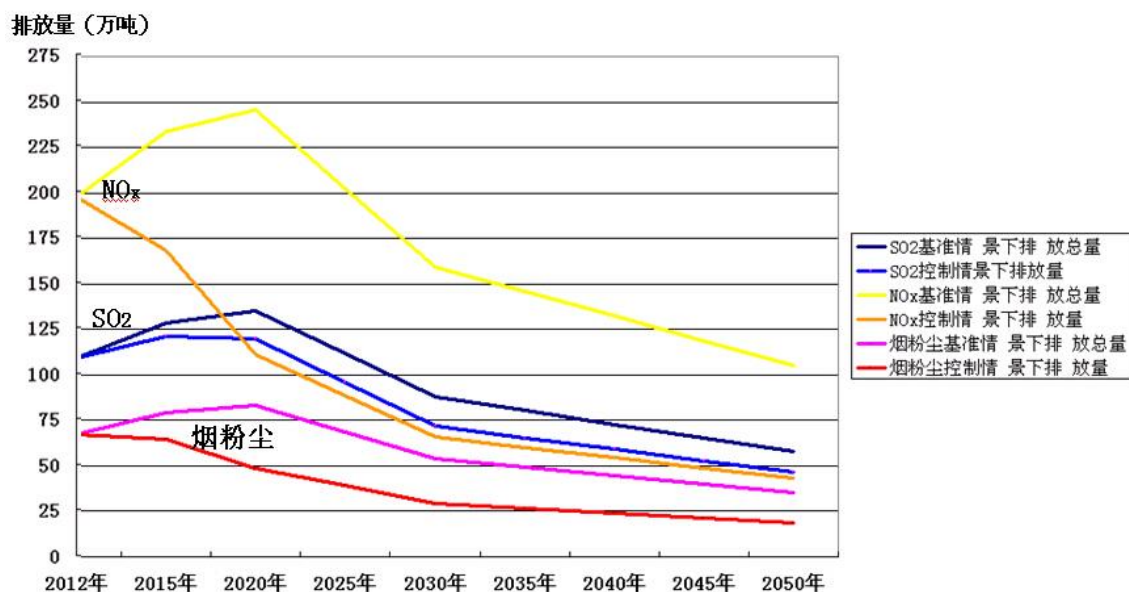


图 16 各年度基准情景下和控制情景下污染物排放预测

3. 节能技术创造就业机会

水泥工业技术发展过程中，总体趋势是生产人员减少和生产效率的提高。在主要技术节能措施中，高效节能煅烧技术、工业废渣替代原料技术、高效隔热保温材料及砌筑技术、水泥窑炉富氧燃烧技术的实施对工作岗位的变动基本不产生影响。

工业废渣替代原料技术，重点是电石渣替代石灰质原料的技术，虽然增加了原料处理等工序，但由于减少了石灰石原料的开采、破碎等工艺，对就业机会也基本不产生影响。

水泥窑协同处置可燃性废弃物技术中，由于单纯性增加了相应工艺系统，所以在生产体系中需要增加相应的人员配置。此外，水泥窑协同处置，还将带动可燃性废弃物的搜集、处理、输送等相关行业的就业。总人数应为直接从业人数的 2 倍。以 2010 年为基数，按每条生产线新增 30 人计。

节电技术中，只有余热发电技术需要新增相应的工艺体系和人员配

备。

主要节能技术措施中，除水泥窑协同处置废弃物和余热发电需要新增工作岗位外，其他技术的实施工作人员基本不变。

表 10 以 2010 年为基数测算新增就业机会分析

新增就业机会项目		2015	2020	2030	2050
水泥窑协同处置可燃废弃物	直接就业	600	3000	6000	8100
	带动就业	1200	6000	12000	16200
余热发电		18000	22000	13000	8000
合计		19800	31000	41000	32300

4. 污染物治理成本有升有降

水泥行业污染物治理主要包括烟粉尘和氮氧化物的治理。由于二氧化硫绝大部分在工艺过程中固化到熟料中，二氧化硫排放可以达到国家标准，所以水泥企业一般不采取二氧化硫专门治理措施。

以 5000t/d 新型干法熟料水泥生产线为例，一般情景下污染物排放治理成本分析如下：

水泥生产中关键节煤技术的减排潜力和减排单位成本如下（以 5000t/d 熟料生产线为例）：

表 11 水泥生产关键技术的减排潜力和减排成本

序号	技术名称	减排潜力 kgCO ₂ /t 熟料	累计减排量 kgCO ₂ /t 熟料	减排成本 元/t CO ₂	备注
1	水泥辊磨终粉磨技术	14.20	14.2	-436.36	
2	纯低温余热发电技术	32.70	46.9	-255.70	
3	协同处置城市垃圾	261.30	308.2	41.15	同步考虑了甲烷减排因素
4	协同处置污泥技术	115.48	423.68	348.87	同步考虑了甲烷减排因素

表 12 2020 年我国主要节煤技术的节煤潜力及成本

序号	技术名称	主要技术的节煤潜力 万吨标准煤	主要技术节煤 累计量 万吨标煤	吨节煤成本 元/tce
1	第四代篦冷机技术	150	150	-748.79
2	新型高效燃烧器	170	320	-561.86
3	高性能耐火材料窑炉砌筑技术	70	390	-500.00
4	高效分解炉预热器系统	20	410	-265.82
5	能耗在线检测及分析管理系统	300	710	-12.16
6	水泥窑炉富氧燃烧技术	30	740	12.32
7	协同处置城市垃圾技术	150	890	788.20
8	协同处置污泥技术	100	990	3734.53

注：（1）以 2012 年为测算基年，采用静态分析的方法，不考虑技术的寿命周期等影响因素；

（2）按照 20 年经营期测算平均经营成本及折旧；

（3）生产线为 5000 t 熟料/日，窑年运转时间为 310 天；

（4）标准煤单价为 600 元/t；（5）用电价格为 0.5 元/kWh；

（6）员工平均工资以 5 万元/年计。

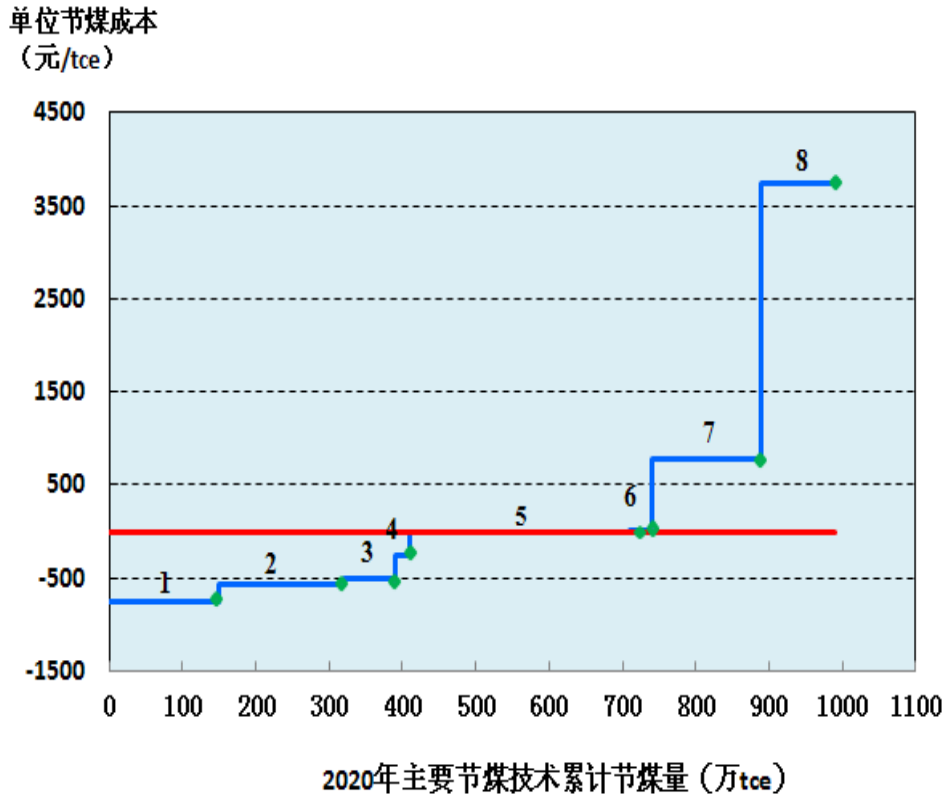


图 17 2020 年我国主要节煤技术的节煤潜力及节煤成本

5. 节电效应显著

粉磨是水泥生产过程中用电量最大的环节。生料、煤粉和水泥制备均通过粉磨工艺实现。其电量消耗占水泥生产综合电耗的 72%，其中，生料粉磨电耗约占水泥生产总电耗的 24%，水泥粉磨电耗约占水泥生产总电耗的 38%。因此，积极推广新型粉磨设备和粉磨工艺，是水泥行业的重要节能减排措施之一。新型粉磨设备（立磨、辊压机等）与传统球磨机的粉磨效率相比，其效率是球磨机的 1.6~1.8 倍，系统节电 20-30% 以上。生料粉磨采用立式磨与传统的球磨机相比平均可节省电耗 8-10kwh/t 生料；生料粉磨采用辊压机终粉磨与传统的球磨机相比平均可节省电耗每吨 13-15kwh/t 生料；采用辊压机加球磨

机联合粉磨系统与传统的球磨粉磨比较，粉磨每吨水泥平均可节约6-10kWh/t 水泥。

针对我国水泥产品中掺加大量混合材（综合利用工业废渣），对混合材深加工的研发工作取得进展，将混合材由填充材料转变成提高或改进水泥某些品质的“激发剂”，或改性成为可以基本替代熟料的新材料，已经取得很好的使用效果。例如对矿渣和粉煤灰等工业废渣实施单独超细粉磨，预计未来将有推广前景。水泥熟料和混合材分别粉磨与混合粉磨术相比，平均每吨水泥可节电在 8-10kwh/t 水泥。

表 13 水泥工业节电潜力汇总表

年份	2015	2020	2030	2050
淘汰落后节电(万 kwh)	75000	150000	250000	161000
主要技术节电(万 kwh)	7055230	9449800	7266443	5019200
能效管理系统建设节电(万 kwh)	144000	230000	346000	774000
节电总量 (亿 kwh)	727.4	983.0	786.2	595.4
节电量折标煤(万吨)	2540	3425	2725	1975
结构调整淘汰落后贡献率 (%)	2.0	2.5	2.0	1.8
主要技术措施贡献率 (%)	94.9	94.0	88.4	85.1
能效管理系统建设贡献率 (%)	3.1	3.5	9.5	13.2

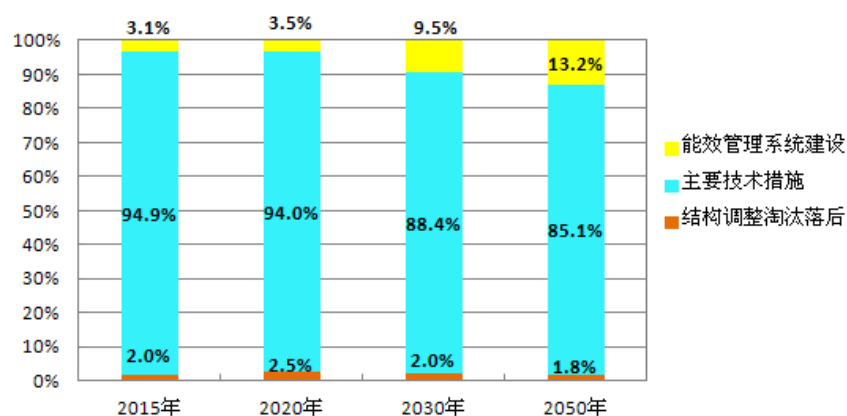


图 18 基准情景到节能情景各种节电措施贡献率预测 (%)

六、政策建议研究

鉴于各工业部门政策建议的研究有很多共同特性，本课题只选取了具有行业独特优势且利国利民、节能环保、符合新常态、利于行业转型发展的“水泥窑协同处置生活垃圾、污泥等可燃废弃物”进行政策建议研究。

虽然我国水泥窑协同处置各种废弃物处于起步阶段，但借鉴国际上先进的处置技术，开发了适用我国的实际情况的水泥窑协同处置废弃物的技术和装备，并在试点企业成功应用，目前水泥窑协同处置废弃物的推广应用是万事俱备只欠东风。

具体政策建议：

- 1、将水泥窑协同处置技术纳入国家“十三五”规划；
- 2、加强法律保证和政策支持力度；
- 3、出台水泥窑协同处置垃圾费用的指导价格；
- 4、国家给予财政、税收、金融支持；
- 5、工信部、住建部联合制定实施细则、标准、制度；
- 6、各地政府统筹规划，积极开展试点工作；
- 7、支持关键技术研发与创新；
- 8、加强生活垃圾分类从源头抓起的宣传和组织工作。