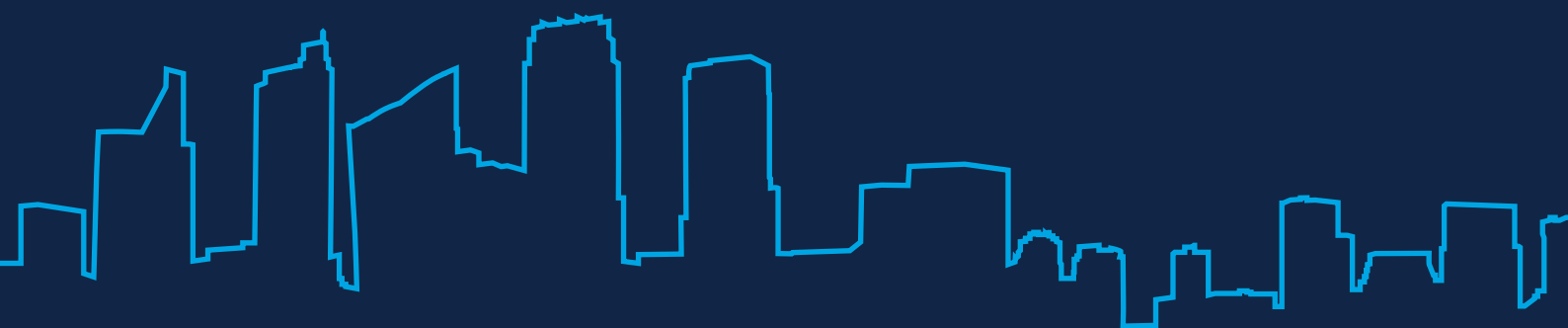


# 煤炭消费总量控制目标的 协同效应



## 中国煤炭消费总量控制方案和政策研究 (中国煤控项目)

中国是世界煤炭生产和消费第一大国。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但同时也对生态环境造成了严重的破坏。尤其是 2012 年以来反复出现的全国性大面积重度雾霾，严重威胁了公众的身体健康。为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染，国际环保机构自然资源保护协会 (Natural Resources Defense Council, NRDC) 作为课题协调单位，与包括政府智库、科研院所和行业协会等 20 多家有影响力的机构合作，于 2013 年 10 月共同启动了“中国煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目 (中国煤控项目)，为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，促使煤炭消费量在 2020 年前达到峰值，帮助中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标。了解更多详情，请登录 [www.nrdc.cn/coalcap](http://www.nrdc.cn/coalcap)。

## 系列报告

- 《气候变化与煤炭消费总量控制》
- 《建筑领域煤炭 (电力) 消费总量控制研究》
- 《基于煤炭消费总量控制的煤炭行业可持续发展研究》
- 《中国能源转型和煤炭消费总量控制下的金融政策研究》
- 《煤炭消费减量化对公众健康的影响和可避免成本》
- 《煤炭消费总量控制的就业影响》
- 《煤炭消费总量控制的财税政策研究》
- 《水泥行业煤炭消费总量控制方案及政策研究》
- 《电力行业煤炭消费总量控制方案和政策研究》
- 《中国能源统计系统改革的几点建议》
- 《2012 煤炭的真实成本》
- 《中国 2012 年能流图和煤流图编制及能源系统效率研究》
- 《煤炭使用对中国大气污染的贡献》

请前往中国煤控项目网站下载



自然资源保护协会 (NRDC) 是一家国际非营利非政府环保机构，拥有逾 140 万会员及支持者。自 1970 年成立以来，以环境律师、科学家及环保专家为主力的 NRDC 员工们一直为保护自然资源、公共健康及环境而进行不懈努力。NRDC 在美国、中国、加拿大、墨西哥、智利、哥斯达黎加、欧盟、印度等国家及地区开展工作。请登录网站了解更多详情 [www.nrdc.cn](http://www.nrdc.cn)。

本报告与 WWF 合作完成：



世界自然基金会 (WWF) 是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环保组织之一。拥有全世界将近 500 万支持者和一个在一百多个国家活跃着的网络。WWF 的使命是遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。为此我们致力于：保护世界生物多样性；确保可再生自然资源的可持续利用；推动降低污染和减少浪费性消费的行动。

[www.nrdc.cn/coalcap](http://www.nrdc.cn/coalcap)

---

# 目 录

---

煤炭消费的基准情景与总量控制情景	3
水资源效益	7
大气污染物减排效益	13
公众健康效益	21
能源系统转型效益	25
减缓气候变化	32
绿色就业效益	35
协同收益汇总分析	37
结论	40



全球变暖是当今国际社会共同面临的重大挑战，科学证据表明，全球变暖的主要原因是大气中温室气体浓度的增加。为了减缓全球变暖的趋势，各方面都正在积极采取各项应对气候变化的政策。煤炭消费总量控制是我国中近期应对气候变化和提高空气质量的重要政策目标。虽然控制煤炭消费总量的政策措施会带来一定的经济成本，但同时也会在环境、健康、水资源、温室气体减排、能源绿色转型和绿色就业等领域带来积极正面的影响。因此全面评价煤炭总量控制的政策和措施，不应仅仅关注其带来的经济成本和部门影响，更应关注其对总体经济带来的全面影响，从系统的角度分析其成本和效益。

煤炭总量控制政策的主要协同效益主要包括：

- 减少空气污染对健康产生损害
- 降低污染增加劳动生产率
- 提高能源效率，增加实际收入以及增加竞争力
- 促进绿色创新
- 提高能源安全
- 增加“绿色就业”
- 降低交通运输部门投资的拥堵成本，包括空气污染损害、能源成本、时间的机会成本以及损失的生产率

煤炭总量控制在能源效率、产业竞争力、能源安全及绿色发展等诸多方面均可以带来显著的协同效益，本研究的主要目的即是在此基础上分析并量化煤炭消费总量控制的协同效益，为实施煤炭总量控制政策提供参考。



# 煤炭消费的基准情景与 总量控制情景



中国目前正在大力进行经济和增长模式的转变，能源开发利用结构必须转型才能使中国的经济步上高效率、低污染、高产出的可持续发展之路，而煤炭在能源转型中是最关键的因素。实施煤炭消费总量控制是煤炭产业可持续发展的一个至关重要的问题。中国一批政策研究机构、大学、行业协会以及其他组织，开展了多年的煤炭政策研究与实施，有丰富的经验积累。近几年的交流讨论形成一个共识，在第十三个五年计划（2016 ~ 2020 年）和长期规划中，制定并实施高效的、基于市场的、强制性的全国煤炭消费总量控制政策和目标，实行目标责任管理和实施路线图，加速煤炭消费少量化和清洁化。

要达到这个目标，必须建立和实施综合的、全方位的、纵深的煤炭消费总量控制的解决方案和实施手段。项目综合考虑煤炭的消费需求、资源约束以及环境约束等因素，与中国政府现有的节能减排减碳目标和实施措施紧密结合，研究并实施煤炭消费总量控制的战略目标和解决方案。根据“煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目组的整体协调，确定了煤炭消费总量控制的基准情景和煤控情景，见表 1 和表 2。2010 年煤炭消费总量为 31.22 亿吨（实物量），近期煤炭消费总量预计仍将持续增加。随着国家能源结构转型以及清洁能源的发展，煤炭消费总量在经过一段时间的持续增加后将达到峰值，并在之后进入持续下降通道。

## 能源开发利用结构必须转型才能使中国的经济步上高效率、低污染、高产出的可持续发展之路，而煤炭在能源转型中是最关键的因素

表 1 煤炭消费总量控制基准情景

基准情景	分部门煤炭消费量（亿吨标煤量）							总煤耗（亿吨标煤量）	总煤耗（亿吨实物量）
	钢铁	水泥	其他行业	建筑	电力	焦炭	现代煤化工		
2010	3.21	1.67	4.38	2	10.82	0.71	0.05	22.83	31.22
2015	3.75	1.81	4.44	2.5	14.26	0.91	0.33	28	39.2
2020	4.14	1.98	4.53	2.65	15.46	1.1	1.84	31.7	44.4
2030	3.24	1.26	4.88	2.78	17.39	1.12	3.74	34.4	48.18
2040	2.18	1.07	4.59	2.83	16.9	0.95	4.48	33	46.22
2050	1.4	0.78	3.88	2.87	15.87	0.65	4.95	30.4	42.58

表 2 煤炭消费总量控制煤控情景

煤控目标	分部门煤炭消费量（亿吨标煤量）							总煤耗（亿吨标煤量）	总煤耗（亿吨实物量）
	钢铁	水泥	其他行业	建筑	电力	焦炭	现代煤化工		
2010	3.21	1.67	4.38	2	10.82	0.71	0.05	22.83	31.22
2015	3.51	1.67	4.38	2.45	14.13	0.76	0.24	27.14	38
2020	3.76	1.65	4.24	2.4	14.88	0.8	1.28	29.01	40.63
2030	2.7	0.97	3.71	2.35	13.36	0.7	2.61	26.39	36.97
2040	1.68	0.82	2.47	2	10.78	0.4	3.06	21.21	29.71
2050	1.17	0.6	1.1	1.5	8.96	0.1	3.33	16.76	23.47

## 在考虑煤炭消费总量控制的政策和措施的煤控情景下，预计煤炭消费在2020年前后达到峰值

在基准情景和煤控情景下，煤炭消费总量均经历了由持续增长、平台期、缓慢下降直到快速下降的过程，但是在煤炭消费总量的峰值以及峰现时间等方面差异较大，各部门煤炭消费量的发展趋势也不尽相同。

在基准情景下，预计煤炭消费在2030年前后达到峰值，总量为48.18亿吨；在考虑煤炭消费总量控制的政策和措施的煤控情景下，预计煤炭消费在2020年前后达到峰值，总量为40.63亿吨。基准情景和煤控情景下的煤炭消费峰值相差达到了7.55亿吨，占现状煤炭消费总量的23.6%，实施煤炭消费总量控制的效果明显。

在基准情景下，煤炭消费总量在2030年之前保持持续增加趋势，2010～2030年的年均增长率为2.1%，其中2010-2015年的年均增长率达到4.2%；煤炭消费总量在2030年左右出现拐点，由持续上升转入缓慢下降，2030～2050年的年均减少率为0.6%。

在各部门煤炭消费量方面，钢铁和水泥等行业的煤炭消费预计在2020年达到峰值，电力、焦炭及其他行业的煤炭消费预计在2030年达到峰值，建筑及现代煤化工等行业的煤炭消费量在未来仍将持续增加。在各部门煤炭消费占比方面，钢铁、水泥及其他行业的煤炭消费量占全国煤炭消费总



量的比例已经开始逐年降低；电力和建筑行业的煤炭消费占比呈现小幅波动，电力行业煤炭消费量维持在煤炭消费总量的 50% 左右；焦炭行业则呈现出略微升高后持续下降的趋势。值得注意的是，由于市场需求的增加和经济效益的驱动，现代煤化工行业煤炭消费占比将持续较快增加，未来将占到煤炭消费总量的 16% 左右。

在煤控情景下，煤炭消费总量在 2020 年之前仍将持续增加，2010 ~ 2015 年的年均增长率为 3.5%，2016 ~ 2020 年的年均增长率为 1.3%；煤炭消费总量在 2020 年左右出现拐点，由上升趋势转为下降趋势，2020 ~ 2030 年的年均减少率为 0.9%，2030 ~ 2050 年的年均减少率为 2.2%，煤炭消费总量呈现出加速下降趋势。

在各部门煤炭消费量方面，水泥和其他行业的煤炭消费将逐步下降，建筑行业的煤炭消费量在 2015 年达到峰值，钢铁、电力和焦炭等行业的煤炭消费预计在 2020 年达到峰值，现代煤化工行业的煤炭消费量持续增加，但是增加幅度较基准情景有较大的控制。在各部门煤炭消费占比方面，各行业煤炭消费量占比变化趋势与基准情景基本相同，电力行业煤炭消费量仍维持在煤炭消费总量的 50% 左右，煤化工行业未来将占到煤炭消费总量的将近 20%。

## 水泥和其他行业的煤炭消费将逐步下降，建筑行业的煤炭消费量在 2015 年达到峰值，钢铁、电力和焦炭等行业的煤炭消费预计在 2020 年达到峰



# 2

水资源效益



在煤炭总量控制的背景下，煤炭消费总量控制对用水总量控制的影响主要表现在两个方面。一是煤炭消费总量的控制在一定程度上压缩了煤炭的产量和转化利用量，有利于直接减少相关工业企业采煤用煤过程中的取水量和煤炭开采过程中的矿井涌水量，属于直接用水控制效应；另一方面，煤炭消费总量的控制促进了煤炭消费相关行业的能源消费结构以及用水模式的调整，煤炭替代能源在消费过程中的用水特性将改变相关工业企业的用水总量和取用水特点，同时煤炭消费过程节水工艺的改进也将降低相关工业企业的总用水量，对用水总量控制起到积极的作用，属于间接用水控制效应。

煤炭消费全过程取用水量主要由煤炭开采洗选用水量和煤炭转化利用用水量构成，其中煤炭开采洗选用水量主要与煤炭产量、空间布局以及开采工艺有关，而煤炭转化利用用水量主要与煤炭的消费总量、分部门消费结构以及用水水平有关。在最严格水资源管理制度的要求下，节水将是未来经济社会发展的必然趋势和基本要求，其对未来各水平年国民经济各部门的用水总量将产生重要影响。因此，以下分析中考虑了常规模式和节水模式两种情况，常规模式主要依照现有的用水总量和用水定额推算未来不同情景下的各部门用水量，而节水模式中考虑了节水技术的推广应用，在各部门煤炭消费增长阶段的新增产能采用高标准的用水定额要求，当煤炭消费由持续增长变为逐步下降时，考虑优先淘汰落后产能，且兼顾了未来水平年总体节水水平提高对用水总量的影响。

考虑不同的煤炭消费总量控制情景和煤炭相关部门用水模式，分析中共设置了四套方案，分别是常规模式基准情景，常规模式煤控情景，节水模式基准情景，以及节水模式煤控情景。本研究基于煤炭消费总量控制的基准情景和煤控情景，估算了常规模式和节水模式下各主要部门煤炭转化利用对应的用水量，分析了不同水平年的煤炭消费对于用水总量的影响程度。结果表明，四套方案中 2010 年 -2050 年煤炭转化利用相关部门的用水总量均呈现出先增加后减少的趋势，各部门用水量随着煤炭消费量的变化而变化。在常规模式下，煤炭转化利用的用水总量在近期仍快速增长；在节水模式下，各部门用水量增幅有较为明显的下降。

在常规模式下，无煤炭总量控制的基准情景煤炭转化利用的用水总量呈现出大幅上涨的趋势，预计在 2030 年达到峰值 1047.84 亿  $m^3$ ，较现状煤炭转化利用用水总量增加了 61.7%；在考虑煤炭消费总量控制的煤控情景下，预计煤炭消费的用水总量在 2020 年达到峰值，各部门用水

水资源条件对煤炭转化利用相关产业的发展具有强约束，未来煤炭消费增长的需求必然要结合强化节水技术的推广和应用才有可能实现

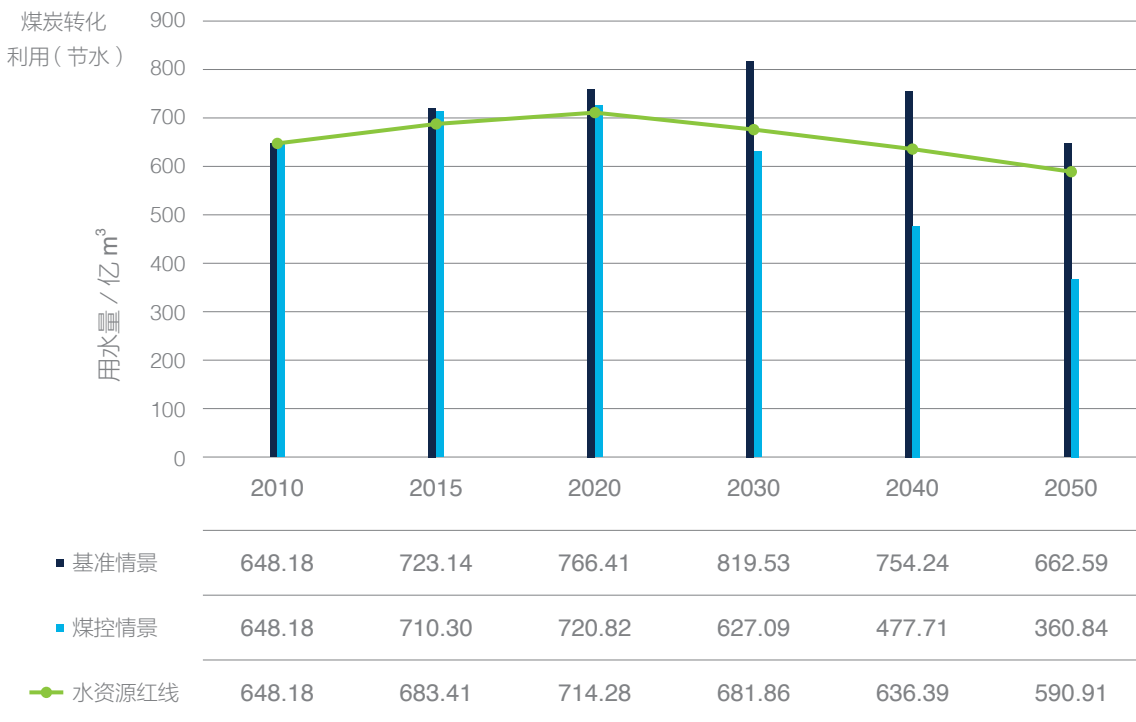
总量为 867.93 亿  $m^3$ 。基准情景和煤控情景下煤炭消费的用水总量峰值相差 179.91 亿  $m^3$ ，相当于现状用水总量的 27.8%，煤炭总量控制具有较为明显的效果。与用水总量红线相比，各水平年基准情景和煤控情景下煤炭转化利用的用水总量均超过了红线数值，基准情景下最大缺水量达到了 386.82 亿  $m^3$ ，主要是因为常规模式下没有考虑节水措施。分析表明，水资源条件对煤炭转化利用相关产业的发展具有强约束，即使是在削减煤炭消费的煤控情景下，按照现状用水水平仍然不能支撑煤炭相关产业的可持续发展，未来煤炭消费增长的需求必然要结合强化节水技术的推广和应用才有可能实现。

图 1 常规模式下不同情景煤炭转化利用的用水总量及水资源红线对比



在节水模式下，基准情景煤炭转化利用的用水总量预计在 2030 年达到峰值，各部门用水总量为 819.53 亿 m<sup>3</sup>；煤控情景下煤炭转化利用的用水总量整体波动较小，并在 2020 年达到峰值 720.82 亿 m<sup>3</sup>，较基准情景减少 98.71 亿 m<sup>3</sup>。与用水总量控制红线对比，如图 2 所示，基准情景下各水平年煤炭转化利用用水总量均超过了用水红线的限制，说明煤炭总量控制在我国水资源条件下具有明显的必要性；煤控情景下 2015 年和 2020 年的煤炭转化利用用水总量分别比用水总量控制红线高 26.89 亿 m<sup>3</sup> 和 6.54 亿 m<sup>3</sup>，主要是由于电力和现代煤化工产业的快速发展导致其用水量的增长，因此在煤炭相关高耗水行业的规划布局中应该进一步体现水资源的约束。

图 2 节水模式下不同情景煤炭转化利用的用水总量及水资源红线对比



整体来看，随着煤炭消费高峰的到来，煤炭相关产业面临着较强的水资源约束，尽管节水模式比常规模式对应情景下的用水总量有较大程度的下降，但是在近期内仍不能满足用水总量控制红线的要求，只有更加严格

## 要实现煤炭消费与水资源开发利用的协调发展，煤炭总量控制和节水技术应用缺一不可

地控制电力和煤化工等高耗水产业才能确保满足用水红线的约束。通过分析可知，一方面节水技术在煤炭转化利用的用水总量控制方面发挥了巨大的作用，另一方面实行煤炭消费总量控制对于煤炭转化利用过程中用水总量的影响也十分显著，二者对于降低煤炭相关产业用水总量、缓解区域水资源供需矛盾具有重要作用。要实现煤炭消费与水资源开发利用的协调发展，煤炭总量控制和节水技术应用缺一不可。

### 不同情景下煤炭消费控制对水资源的协同效益

由于煤控情景采取的措施更严格，更有力度，相对于基准情景其近期的煤炭消费增速较低。当增长拐点出现后，煤控情景下煤炭消费的下降速度也相对较大。所以煤控情景的煤炭开采消费较基准情景均偏低，且出现拐点的时间也有所提前，远期规划年 2050 年的煤炭开采消费总量也相对较小。与煤炭消费量类似，煤控情景的煤炭开采消费对地下水、地质和水质的影响程度也相对较小，影响程度变化拐点也相对提前，到远期规划年的 2050 年，总体的影响程度也较低。

与国家能源局《煤炭工业发展“十二五”规划》中 2015 年煤炭产量规划对比，如表 3 所示，不考虑煤炭进出口的影响，基准情景下的 2015 年煤炭产量较“十二五”规划产量多 0.2 亿吨，煤控情景则少 1 亿吨。在煤炭开采引起的水文及地质效应数据方面，本报告测算的地面沉陷面积低于规划水平，而水土流失面积略高于规划值，矿井涌水量测算结果则基本相符。由于不同区域水文和地质条件的差异，采用分区域细化情景将有助于加强计算的科学性，可以结合煤炭总量分地区情景进行研究。

表 3 不同情景的对比

指标	煤炭工业 “十二五”规划	基准情景	煤控情景
煤炭产量（亿吨）	39	39.2	38.0
矿井涌水量（亿 m <sup>3</sup> ）	70.92	71.0	68.8
地面沉陷面积（km <sup>2</sup> ）	780	627.2	608.0
水土流失面积（km <sup>2</sup> ）	722	744.8	722.0



综上所述，煤炭消费总量控制在水资源保护方面产生了显著的正面效应。一方面，煤控情景下煤炭开采洗选和转化利用用水总量较基准情景有明显的降低，有助于相关产业用水达到最严格水资源管理制度“三条红线”中用水总量控制的要求；另一方面，煤控情景下煤炭开采和转化利用对地表水、地下水及地质的破坏程度以及污染物排放较基准情景均有所降低，有助于“三条红线”中水功能区限制纳污等的实现，也符合国家生态环境保护相关政策要求。

煤炭消费总量控制对于我国经济结构转型和生态文明建设具有重要意义。“十二五”是我国经济结构转型的关键期，“十一五”期间凡涉及总量增长的预期指标都超额完成，但是涉及结构调整的许多指标则完成得很不理想。煤炭消费总量控制减少了相关行业取用水量，可以用于支持循环经济和节能环保产业用水，配合国家经济结构转型。我国生态环境形势严峻，主要表现在资源危机、环境污染和生态破坏、水资源匮乏且污染严重、气候变暖、自然灾害频发等，煤炭消费总量控制可以缓解水资源和环境问题，有利于区域植被和生态环境修复，有利于河流生态系统的健康生命，符合“十八大”提出的生态文明建设要求

通过煤炭总量控制措施的实施，一方面减小了煤炭开采需求，另一方面减少了煤炭的消费总量，因而降低了煤炭开采洗选和转化利用对水资源的影响，对区域水资源及环境带来了积极影响和正面效益。煤炭消费总量控制带来的水资源协同效益货币化测算结果如表 4 所示，计算中考虑了在新增产能时矿井水必须全部利用、优先淘汰落后产能以及煤炭消费全过程对水资源系统的累积影响等因素。可以看到，煤炭总量控制在水资源方面的协同效益显著，通过煤炭总量控制可以有效地减轻煤炭消费对水资源的负面影响。

## 煤控情景下煤炭开采和转化利用对地表水、地下水及地质的破坏程度以及污染物排放较基准情景均有所降低

表 4 煤炭总量控制的水资源协同效益货币化测算

分类	分项	货币化效益 (亿元)				
		2015 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
水资源短缺	水资源耗减	34.30	111.41	308.76	391.95	415.49
	地下水资源流失	0.00	0.00	35.71	71.03	81.02
水资源破坏及污染	水土流失及水生态退化	34.11	110.78	307.01	389.73	413.14
	水环境污染	3.89	12.63	50.64	75.54	82.59
	总计	72.30	234.82	702.13	928.24	992.25

# 3

大气污染物减排效益

## 电力行业污染物减排效益

电力行业的大气污染物产生主要来源于煤炭燃烧，因此，根据电力行业煤炭需求量乘以吨煤排放系数，计算得到 2020—2030 年电力行业的大气污染物排放量。各地区电力行业煤炭需求量由其他相关支持课题组给出，本研究采用的区域差异化单位煤炭污染物排放系数和选择标准如表 5 所示。

表 5 不同区域电力行业 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放系数

	地区	2020		2030	
		排放系数 (kg/t 煤)	选择标准	排放系数 (kg/t 煤)	选择标准
SO <sub>2</sub>	一般地区	3.0	参考 2011 年发布的《火电厂大气污染物排放标准》确定，重点地区执行特别排放限值，一般地区执行一般标准，考虑一定的超标率	1.5	参考 2011 年发布的《火电厂大气污染物排放标准》确定，重点地区执行特别排放限值，一般地区执行一般标准，新源执行特别排放限值
	重点地区	1.0		0.7	
NO <sub>x</sub>	一般地区	1.9		1.2	
	重点地区	1.7		1.2	
烟粉尘	一般地区	0.5	0.2		
	重点地区	0.3	0.2		

考虑到电力机组的寿命通常为 30 年左右，2040、2050 年吨煤排放系数参照目前新建电厂最严格标准，同时参考发达国家最佳减排技术实例取值。2040 年，东部中部燃煤发电机组全部达到超低排放，即 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放浓度分别达到 35、50、10 毫克 / 立方米，西部地区一半机组达到超低排放，一半机组达到《火电厂大气污染物排放标准》GB13223-2011 中的特别限值。2050 年，东部中部在 2040 年基础上进一步提高，达到发达国家先进水平，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放浓度分别达到 20、30、5 毫克 / 立方米，西部地区达到超低排放。基于 2012-2050 年不同区域单位煤炭消费污染物排放系数以及煤炭消费总量区域分解方案，通过采取煤炭消费总量控制，所能取得的污染物减排效益显著。



## 对比基准情景与煤控情景，通过实施电力行业煤炭总量控制，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别减少9万吨、11万吨、2万吨

2020年基准情景下，电力行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为527万吨、437万吨、102万吨，相比2012年电力行业排放量分别削减45%，59%，43%；2020年煤控情景下，电力行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为518万吨、426万吨、100万吨，相比2012年电力行业排放量分别削减46%，60%，44%。对比基准情景与煤控情景，通过实施电力行业煤炭总量控制，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别减少9万吨、11万吨、2万吨，占电力行业污染物排放总量的比例分别为1%、1%、1%。

2030年基准情景下电力行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为351万吨、335万吨、59万吨，相比2012年电力行业排放量分别削减63%，68%，67%；2030年煤控情景下，电力行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为327万吨、306万吨、57万吨，相比2012年电力行业排放量分别削减66%，71%，68%。对比基准情景与煤控情景，通过实施电力行业煤炭总量控制，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别减少24万吨、29万吨、2万吨，占电力行业污染物排放总量的比例分别为3%、3%、1%。

### 煤炭总量控制在非电力行业的污染物减排效益

本章考虑的非电力行业包括燃煤锅炉、钢铁、水泥、生活燃煤，相比于电力行业，这四个行业污染物治理水平明显偏低，单位煤炭消费污染物排放量明显高于电力行业。通过对钢铁、水泥、燃煤锅炉、生活燃煤2020-2030年污染物排放系数进行预测分析，利用基准情景及煤控情景下各省份钢铁、水泥、燃煤锅炉、生活燃煤煤炭消费量，分别计算基准情景及煤控情景下SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量得到非电行业煤控情景所能取得的污染物减排效益。

2020年基准情景下，非电行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为1258万吨、1106万吨、878万吨，相比2012年非电行业排放量分别削减4%，9%，20%；2020年煤控情景下，非电行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为1140万吨、1076万吨、809万吨，相比2012年非电行业排放量分别削减13%，12%，27%。对比基准情景与煤控情景，通过实施非电行业煤炭总量控制，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别减少118万吨、30万吨、69万吨，占非电行业污染物排放总量的比例分别为9%、3%、7%。

2030年基准情景下，非电行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为856万吨、834万吨、603万吨，相比2012年非电行业排放量分别削减35%，32%，45%；2030年煤控情景下，非电行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别为656万吨、725万吨、507万吨，相比2012年非电行业排放量分别削减50%，41%，



54%。对比基准情景与煤控情景，通过实施非电行业煤炭总量控制，SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量分别减少 200 万吨、109 万吨、96 万吨，占非电行业污染物排放总量的比例分别为 15%、9%、9%。

### 煤炭总量控制情景下的污染物减排效益

通过对电力、钢铁、水泥、燃煤锅炉、生活燃煤五个重点耗煤源单位煤炭消费排放系数变化进行预测分析，再结合 2020-2030 年基准情景和煤控情景下各个行业煤炭消费量，分别计算 2020-2030 年各省基准情景和煤控情景下 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘排放量，通过对比基准情景和煤控情景下污染物排放量即可求得煤炭消费总量控制所能取得的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘减排效益。

2020 年基准情景下，全国二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘排放量分别为 1785.4 万吨、1543.7 万吨、979.9 万吨，相比于 2012 年分别下降 22%、36%、23%，2020 年煤控情景下，全国二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘排放量分别为 1657.7 万吨、1502.0 万吨、908.6 万吨，相比于 2012 年分别下降 27%、38%、29%，煤控情景下二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘减排效益分别为 127.7 万吨、41.7 万吨、71.3 万吨，占全国污染物排放总量的比例分别为 5%、2%、6%。2020 年电力和非电行业污染物减排效益见表 6。

2030 年基准情景下，全国二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘排放量分别为 1207.5 万吨、1168.8 万吨、662.2 万吨，相比于 2012 年分别下降 47%、51%、48%；2030 年煤控情景下，全国二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘排放量分别为 982.7 万吨、1030.5 万吨、563.8 万吨，相比于 2012 年分别下降 57%、57%、56%，煤控情景下二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘减排效益分别为 224.8 万吨、138.3 万吨、98.4 万吨，占全国污染物排放总量的比例分别为 10%、6%、8%。2030 年电力和非电行业污染物减排效益见表 7。

由于实施煤炭消费总量控制，各省份在 2020 年和 2030 年污染物排放量相比于基准情景均有不同程度下降，煤控情景相比于基准情景污染物减排比例有所增加。

**煤控情景下二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘减排效益分别为 224.8 万吨、138.3 万吨、98.4 万吨，占全国污染物排放总量的比例分别为 10%、6%、8%**

表 6 2020 年电力和非电行业污染物减排效益

污染物	行业	基准情景减排比例 (%)	煤控情景减排比例 (%)	煤控情景污染物减排效益 (%)
SO <sub>2</sub>	电力	45	46	1
	非电	4	13	9
	合计	22	27	5
NO <sub>x</sub>	电力	59	60	1
	非电	9	12	3
	合计	36	38	2
烟粉尘	电力	43	44	1
	非电	20	27	7
	合计	23	29	6

表 7 2030 年电力和非电行业污染物减排效益

污染物	行业	基准情景减排比例 (%)	煤控情景减排比例 (%)	煤控情景污染物减排效益 (%)
SO <sub>2</sub>	电力	63	66	3
	非电	35	50	15
	合计	47	57	10
NO <sub>x</sub>	电力	68	71	3
	非电	32	41	9
	合计	51	57	6
烟粉尘	电力	67	68	1
	非电	45	54	9
	合计	48	56	8



## 空气质量改善效益评估

基于 2020-2030 年基准情景和煤控情景下，各省电力行业和非电力行业  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟粉尘排放量，假设现有污染源在空间上布局没有变化，根据基准情景和煤控情景下污染物排放量，在已经建立的 2012 年全国污染物排放清单基础上进行区域差异化削减，分别得到 2020-2030 年基准情景和煤控情景下全国大气污染源清单，然后利用 CAMx 空气质量模型分别模拟 2020-2030 年基准情景和煤控情景下  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度，通过对比分析对空气质量改善效益进行评估。

2030 年，如果不实施煤炭消费总量控制，根据各省各行业自身发展水平对煤炭消费需求以及随着污染物控制水平提高和污染物排放标准提升，基准情景下，全国  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟粉尘排放总量分别为 1207.5 万吨、1168.8 万吨、662.2 万吨，相比于 2012 年下降比例分别为 47%、51%、48%。基于此污染物排放总量在空间上和行业上进行分解，利用空气质量模型模拟，结果表明全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度相比于 2012 年明显下降，所有城市  $\text{PM}_{2.5}$  平均浓度由  $50.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  下降到  $27.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均下降幅度为 45%。总体来看，全国大部分城市  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度达标，重点区域  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度基本达标，但仍然存在少数不达标城市。相比于 2012 年全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度，各省  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度均有较大程度下降，下降幅度在 18%-61% 之间，其中天津、河北、重庆、四川降幅度较大，而北京、黑龙江、安徽、陕西、甘肃、新疆、青海下降幅度相对较小。基准情景下全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度分布见下图。

2030 年，如果实施煤炭消费总量控制，全国  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟粉尘污染物排放量将在基准情景基础上进一步下降，煤控情景下  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟粉尘排放总量分别为 982.7 万吨、1030.5 万吨、563.8 万吨，相比于 2012 年， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟粉尘排放总量分别下降 57%、57%、56%。对煤控情景进行空气质量模拟，结果表明，煤控情景下全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度相比于 2012 年显著下降，所有城市  $\text{PM}_{2.5}$  平均浓度由  $50.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  下降到  $25.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均下降幅度为 50%。总体来看，全国及重点区域  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度基本达标，不达标区域大面积减少，但仍存在部分城市  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度不达标。从各省  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度下降来看，下降幅度在 20%-67% 之间，其中下降幅度较大的省份为北京、天津、河北、湖南、四川、重庆，这些省份  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度下降比例均大于 55%，而下降幅度较小的省份为青海、宁夏、新疆，这些省份  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度下降比例均小于 40%。煤控情景下全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度分布见下图。

煤控情景下全国  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度相比于 2012 年显著下降，所有城市  $\text{PM}_{2.5}$  平均浓度由  $50.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  下降到  $25.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均下降幅度为 50%



图 3 2030 年基准情景下全国 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度分布

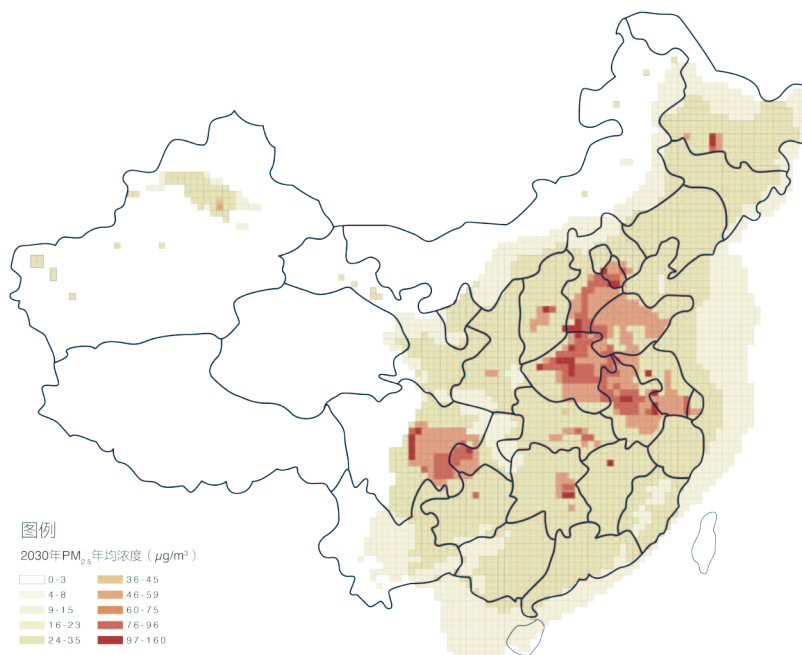
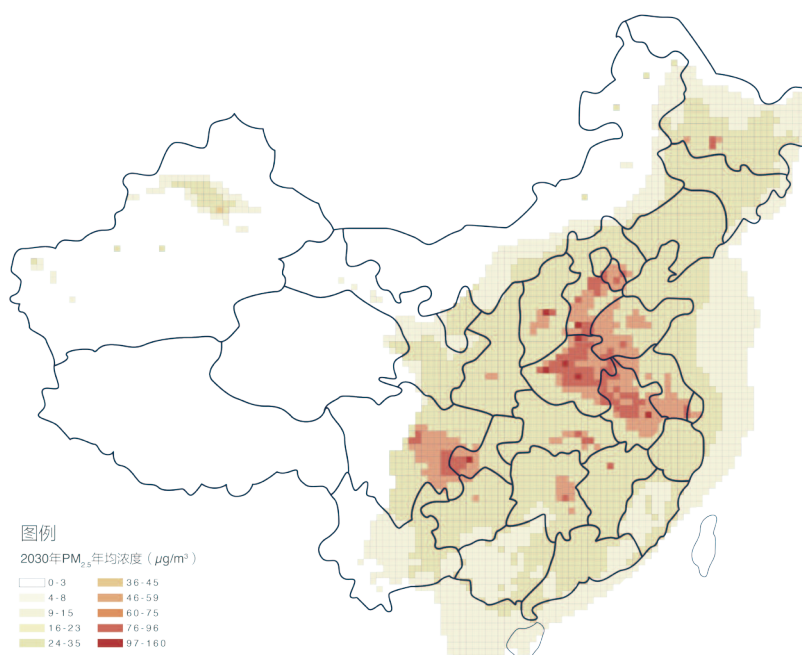


图 4 2030 年煤控情景下全国 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度分布





对比 2030 年基准情景和煤控情景下全国  $PM_{2.5}$  年均浓度空间分布可以看出，两种情景下  $PM_{2.5}$  年均浓度均大幅度下降，全国  $PM_{2.5}$  年均浓度不达标区域大幅减少，但依然有部分区域不达标。从城市  $PM_{2.5}$  年均浓度来看，相比于基准情景，煤控情景下  $PM_{2.5}$  年均浓度由  $27.36 \mu g/m^3$  下降到  $25.11 \mu g/m^3$ ， $PM_{2.5}$  改善效益明显。从各省来看，除少数省份外，其余省份煤控情景下  $PM_{2.5}$  下降幅度较基准情景下降幅度更大，表明煤炭消费总量控制对改善各省  $PM_{2.5}$  年均浓度能起到较好的效益，其中  $PM_{2.5}$  改善效益最大的是北京，其他改善效益较大的省份包括内蒙古、甘肃、天津、河北、安徽、贵州，而改善效益较小的省份包括湖北、重庆、西藏。重点区域  $PM_{2.5}$  改善效益明显大于全国平均水平，相比于基准情景，煤控情景下京津冀、长三角、成渝城市群、珠三角  $PM_{2.5}$  年均浓度下降幅度分别增大 14.29%、8.33%、6.45%、6.78%。重点区域  $PM_{2.5}$  改善效益见表 8。

**$PM_{2.5}$  改善效益最大的是北京，其他改善效益较大的省份包括内蒙古、甘肃、天津、河北、安徽、贵州**

表 8 2030 年重点区域空气质量改善效益

重点区域	平均下降比例 (%)
京津冀	14.29
长三角	8.33
成渝	6.45
珠三角	6.78

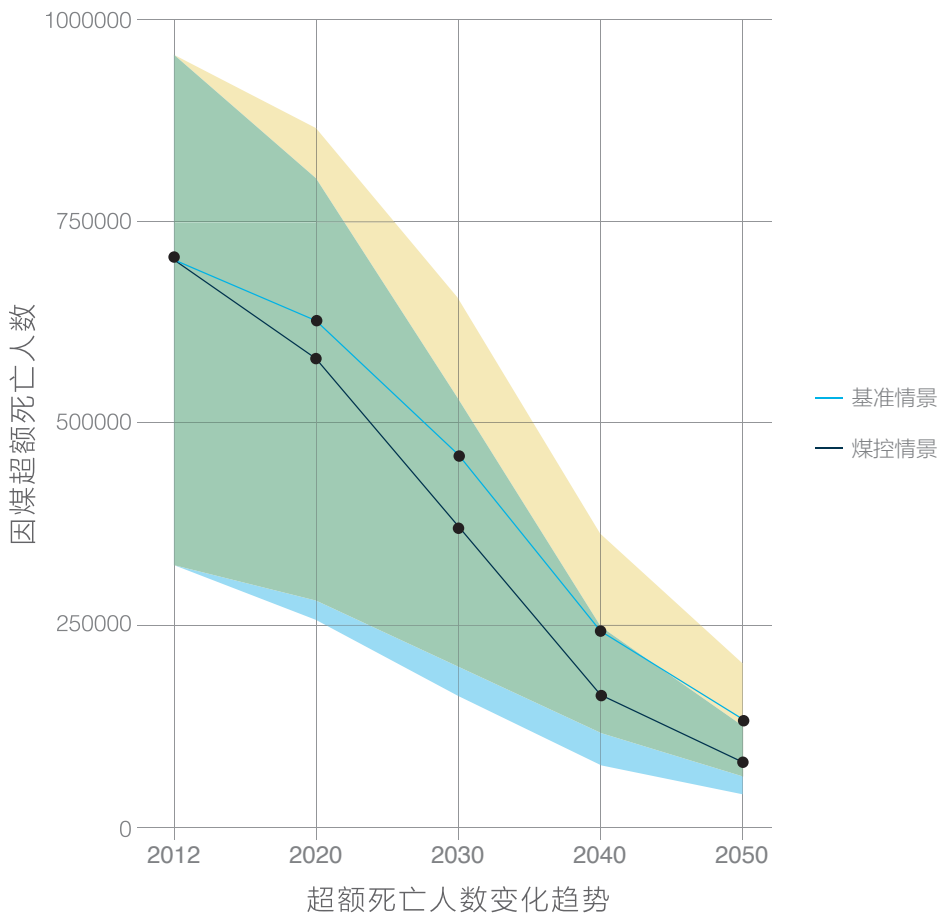
# 4

公众健康效益



大量的煤炭燃烧带来了严重的空气污染，给人们的健康造成了直接和间接的多种不良效应，因此研究煤炭燃烧对环境的影响，控制和减少其危害，具有重要意义。虽然目前我国的大气污染虽然已从煤烟型大气污染特征转向煤烟型和汽车尾气复合型大气污染特征，但是煤烟型污染仍占很大比重，因此，加强对煤炭的消费总量控制对于国人的健康、安全有着至关重要的意义。根据环规院提供的数据，对 2020,2030,2040,2050 年基本情景和煤控情景下的  $PM_{2.5}$  健康损害进行了比较。

图 5 不同情景模式下因煤  $PM_{2.5}$  造成的总死亡趋势变化图





如图 5 显示，从 2012-2050 年不同情景模式下，因煤排放 PM<sub>2.5</sub> 造成的不同病因别超额死亡人数均呈现明显下降趋势。其中 2020、2030、2040、2050 年煤控情景和同时间段的基准情景相比，死因为慢性阻塞性肺部疾病（COPD）的超额死亡人数减少分别为 0.7, 0.9, 0.9, 0.5 万人，对应的减少经济损失分别为 92.7, 254, 327.3, 266.5 亿元；死因为缺血性心脏病（IHD）的超额死亡人数减少分别为 1.1, 2.2, 2.2, 1.7 万人，对应的减少经济损失分别为 159.2, 504.2, 778.4, 768.8 亿元；死因为脑卒中（STROKE）的超额死亡人数减少分别为 2.5, 5, 4.3, 2.4 万人，对应的减少经济损失分别为 349.3, 1202.1, 1537.1, 1122.1 亿元；死因为肺癌（LUNG CANCER）的超额死亡人数减少分别为 0.5, 0.8, 0.7, 0.4 万人，对应的减少经济损失分别为 72.6, 192.6, 238.7, 198.9 亿元。

表 9 不同情景模式下的因煤健康损失（单位：万人）

时间	基准情景	煤控情景	死亡减少人数
2020	62.9(27.9,86.7)	58(25.6,80.4)	4.9
2030	46(20,65.6)	37.1(16.1,53.4)	8.9
2040	24.2(11.3,36.4)	16.2(7.7,24.9)	8
2050	13.1(6.5,20.1)	8(3.9,12.5)	5.1

表 10 不同情景模式下的因煤经济损失（单位：亿元）

时间	基准情景	煤控情景	收益
2020	8755(3889.8,12070.4)	8081.2(3566,11201.5)	673.8
2030	11130.2(4825.2,15860.9)	8977.2(3903.7,12911.6)	2153
2040	8743.3(4080.5,13139.7)	5861.9(2770.7,8994.7)	2881.4
2050	6076.9(3000.9,9283.7)	3720.6(1816.3,5789.5)	2356.3



如表 9,10 所示,煤控情景和基准情景相比,超额死亡减少人数分别为 4.9, 8.9, 8, 5.1 万人,对应的经济损失减少量为 673.8, 2153, 2881, 2356.3 亿元。

### 不确定性分析

本次研究对国内大陆地区省市,按照不同的地域特点,分别进行  $PM_{2.5}$  造成的健康经济损失分析,以评估室外空气中  $PM_{2.5}$  对健康的影响。同以往研究相比,仍然存在一定的不确定性,具体如下:

首先,暴露反应关系是否存在阈值。国外的很多研究表明  $PM_{2.5}$  在很低的浓度下就可以对健康产生影响,并且目前没有证据表明颗粒物对健康危害存在阈值。在本研究中,假定暴露反应关系曲线存在阈值。

第二,由于 2010 年中国各城市尚未开展大气  $PM_{2.5}$  浓度的连续常规监测,本研究大气  $PM_{2.5}$  人群暴露浓度是参考环境规划院的排放清单估计的浓度而非环境实测浓度,和人群实际暴露浓度有所差别。

第三,本研究仅仅考虑了人群死亡率的健康结局。大量的研究已经证实,  $PM_{2.5}$  不仅对人群死亡率,而且对医院的门诊,住院、急诊人次等都会产生影响,这部分结局因缺乏数据没有包括。

第四,本研究估算的经济损失是基于支付意愿法来估算。由于在我国该领域的研究尚在起步,可以参考的依据很少。我们现在用的估值远远低于发达国家(是德国的 1 / 20,美国的 1 / 35),与我国近年来国民经济总量在世界的排名和人均 GDP 显著增加的情况有一定偏差。随着我国未来即将全面建成小康社会,人民的生活水平和健康素养普遍提高,为健康支付的意愿必将进一步提高。

**煤控情景和基准情景相比,2020 年超额死亡人数减少 4.9 万人,对应的经济损失减少 673.8 亿元**

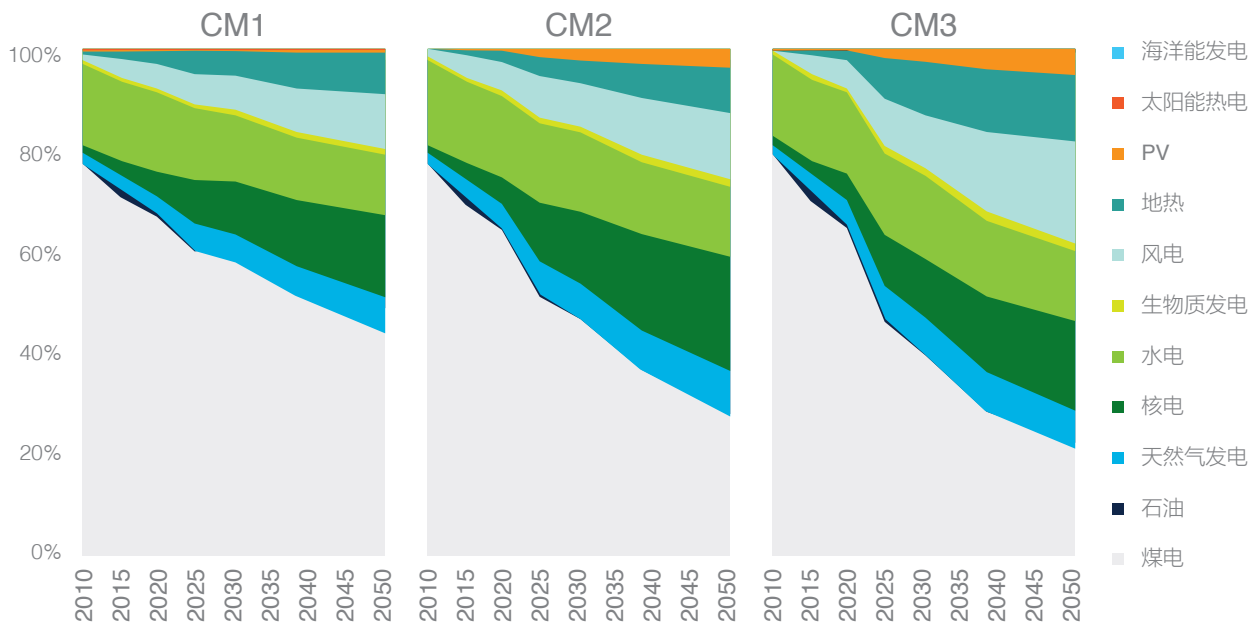
# 5

能源系统转型效益



根据情景设定，未来中国的能源供应结构如图 6 所示。其中，CM1 为基准情景，CM2 为煤控情景，CM3 为可再生能源激进发展情景，即为在基准情景的基础上，加大对低碳电力技术的激励机制，进一步降低单位电力的二氧化碳排放水平。

图 6 不同情景下电力供应结构分析



如上图所示，在基准情景下，2020 年煤电装机占电力系统装机总量的份额将由 2010 年的 70% 降低到 56%；到 2030 年煤电比例下降到 47%；到 2050 年则下降到 33%。从非化石能源的角度出发，2020 年，非化石能源电力技术的装机占电力系统装机总量的 38%；到 2030 年增加到 45%；到 2050 年接近 60%。

煤控情景下，中国煤电装机份额到 2020 年将由 2010 年的 70% 迅速下降到 52%；比当前煤控情景下降了 4%；2030 年煤电装机份额下降到

煤控情景下，中国  
煤电装机份额到  
2020年将下降到  
52%，2030年下降  
到36%，2050年  
下降到20%左右

36%；到2050年下降到20%左右，比基准情景低13%。煤控情景下，2020年非化石能源的装机份额进一步增加，达到41%；2030年为56%；2050年达到71%，比基准情景提高了10%。而激进的可再生能源发展情景中，对于非化石能源的发展给予了更高的期望，2030年非化石能源发电装机占电力部门装机总量的70%，2050年达到80%。

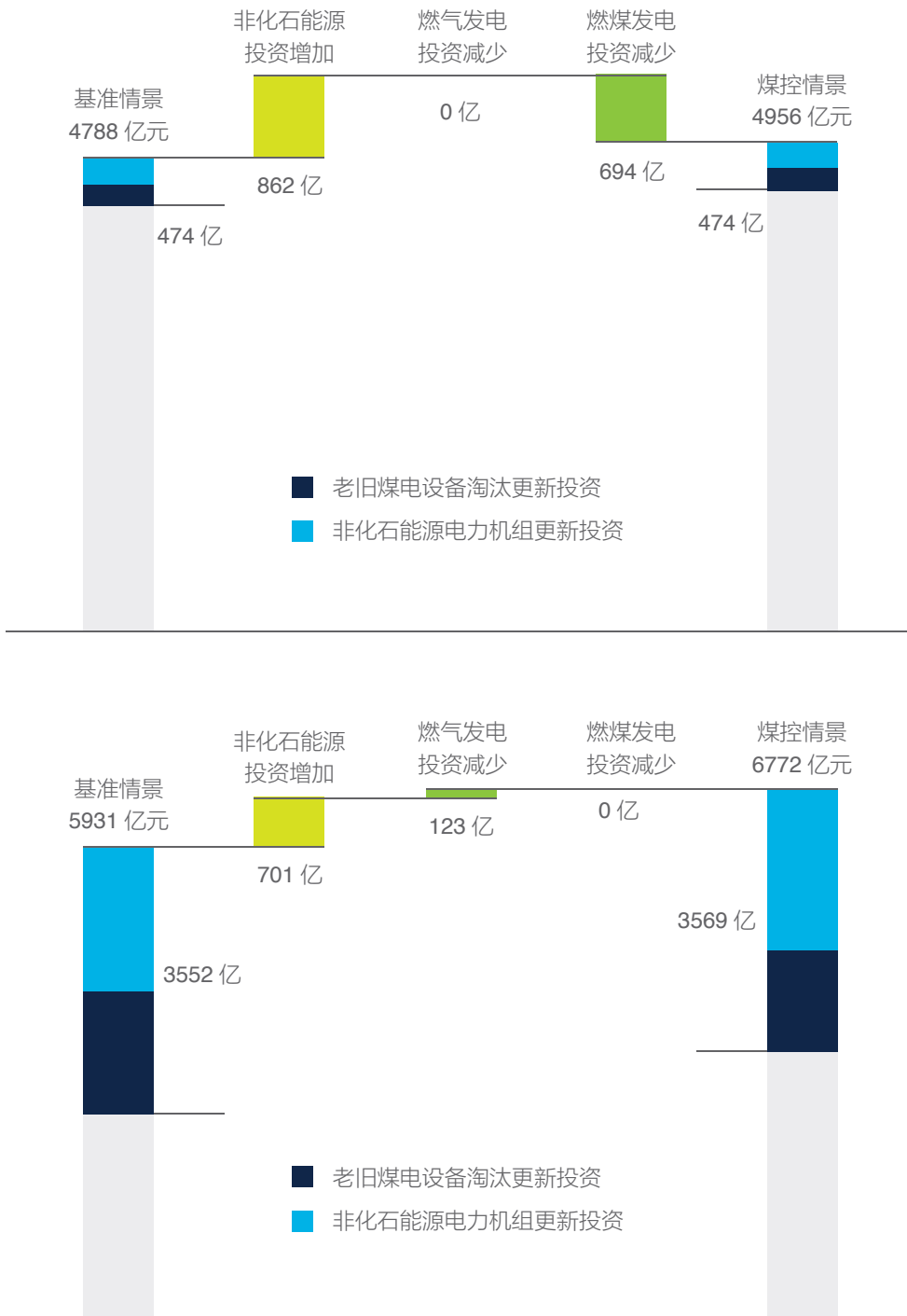
## 投资成本

本研究比较分析了基准情景与煤控情景下的投资成本差异及因素分析。研究表明，基准情景下，2020年电力部门的投资成本接近5600亿元人民币，其中包括400亿煤电设备的更新替代及近100亿风机装机的更新。而煤控情景下电力部门的投资成本比基准情景低15亿元左右，其中非化石能源投资比基准情景多260亿元、燃气发电投资减少100万元，新增燃煤机组的投资减少300亿元。

2030年，基准情景下电力部门的投资成本接近4800亿元人民币，其中包括近250亿元煤电设备的更新替代及近225亿元风机装机的更新。而煤控情景下电力部门的投资成本比基准情景高170亿元左右，其中非化石能源投资比基准情景多860亿元、新增燃煤机组的投资减少700亿元。

2050年，基准情景下电力部门的投资成本接近6000亿元人民币，其中包括近1650亿元煤电设备的更新替代及近1900亿元风机装机的更新。而煤控情景下电力部门的投资成本比基准情景高840亿元左右，其中非化石能源投资比基准情景多700亿元、新增燃气机组的投资增加100亿元。

图 7 不同情景下发电投资成本分析（2030、2050 年）

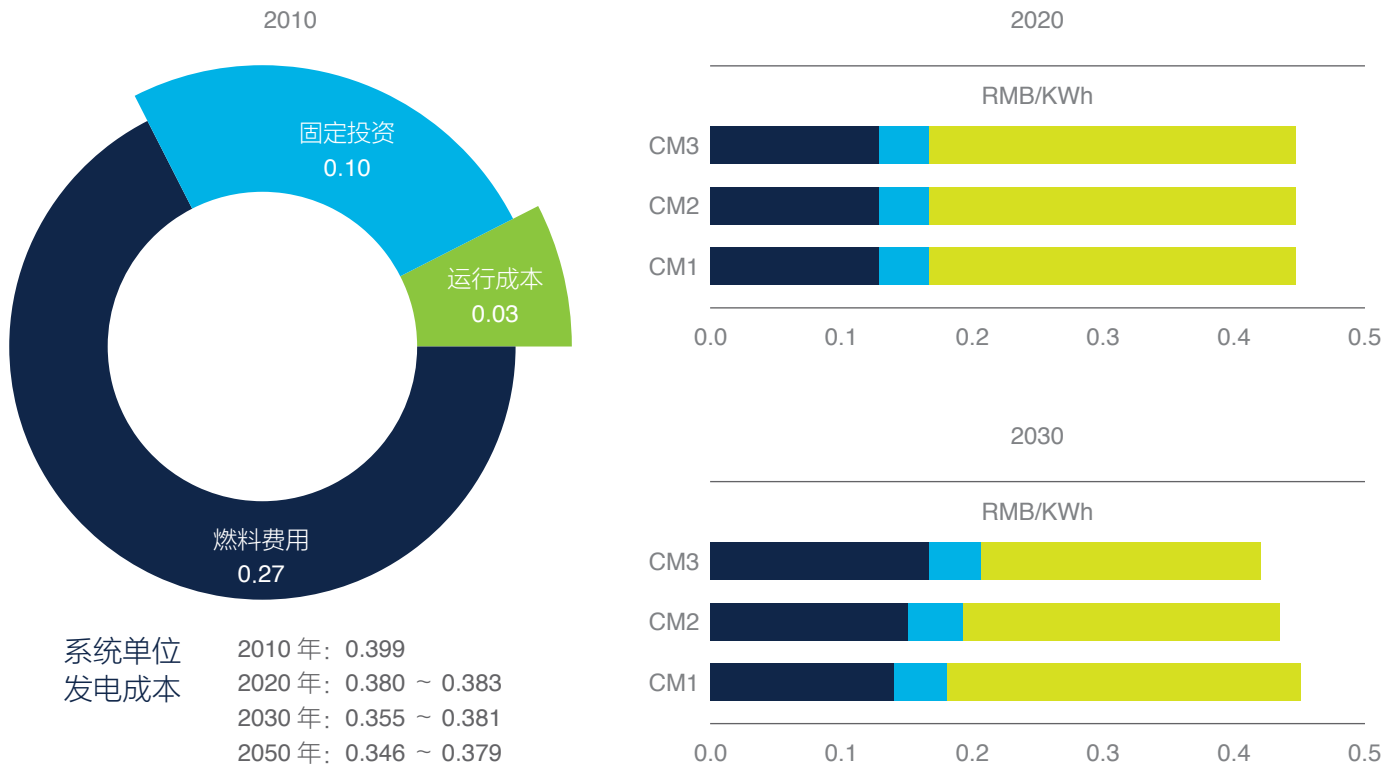


## 单位系统成本

从系统成本出发，2010年中国电力的系统发电成本为0.399元/kWh，到2020年可能降到0.380~0.383元/kWh，比2010年下降4.0%~4.8%，到2030年有望进一步下降到0.355~0.381元/kWh，比2010年下降4.5%~11.0%，至2050年可降至0.346~0.379元/kWh。

从中长期角度出发，核电和可再生能源电力的大规模发展可带来规模化经济效应，从而有利于降低电力系统的总体成本。2020年，煤控情景及激进的可再生能源发展情景下电力系统的均一化成本比基准情景下降1.0%；到2030年，煤控情景及激进的可再生能源发展情景下电力系统的均一化成本比基准情景显著降低，降幅达到6.8%。以2030年煤控情景下中国电力供应量10500TWh计算，电力系统的总体成本比基准情景减少近300亿元人民币。

图8 煤炭替代发电技术成本效益分析





从成本的构成结构分析，基准情景下，2010年固定投资成本占电力系统成本的24.1%、运行维护成本占7.7%、燃料费用占68.2%；到2020年，三者的比例变化为28.7%：8.4%：62.8%；到2030年变化为32.0%：9.1%：58.9%。由此可见，随着火电技术在电力系统中占据份额逐渐减小，燃料成本在电力系统发电成本中所占据的份额也逐渐减小。煤控情景下，2030年电力系统成本总量中固定投资、运行成本和燃料费用的比例为34.7%：9.5%：55.7%。由此可见，随着清洁电力技术和可再生能源电力技术装机规模及发电量的增加，燃料成本的份额逐渐下降，而固定投资及运行维护成本的份额上升，这种成本构成对于电力系统抵御化石能源危机及燃料价格的波动更为有利。

煤控情景下，由于应用了更多的非化石能源发电技术，虽然系统投资成本略有上升，但是电力系统的燃料成本大幅度降低

## 总系统成本

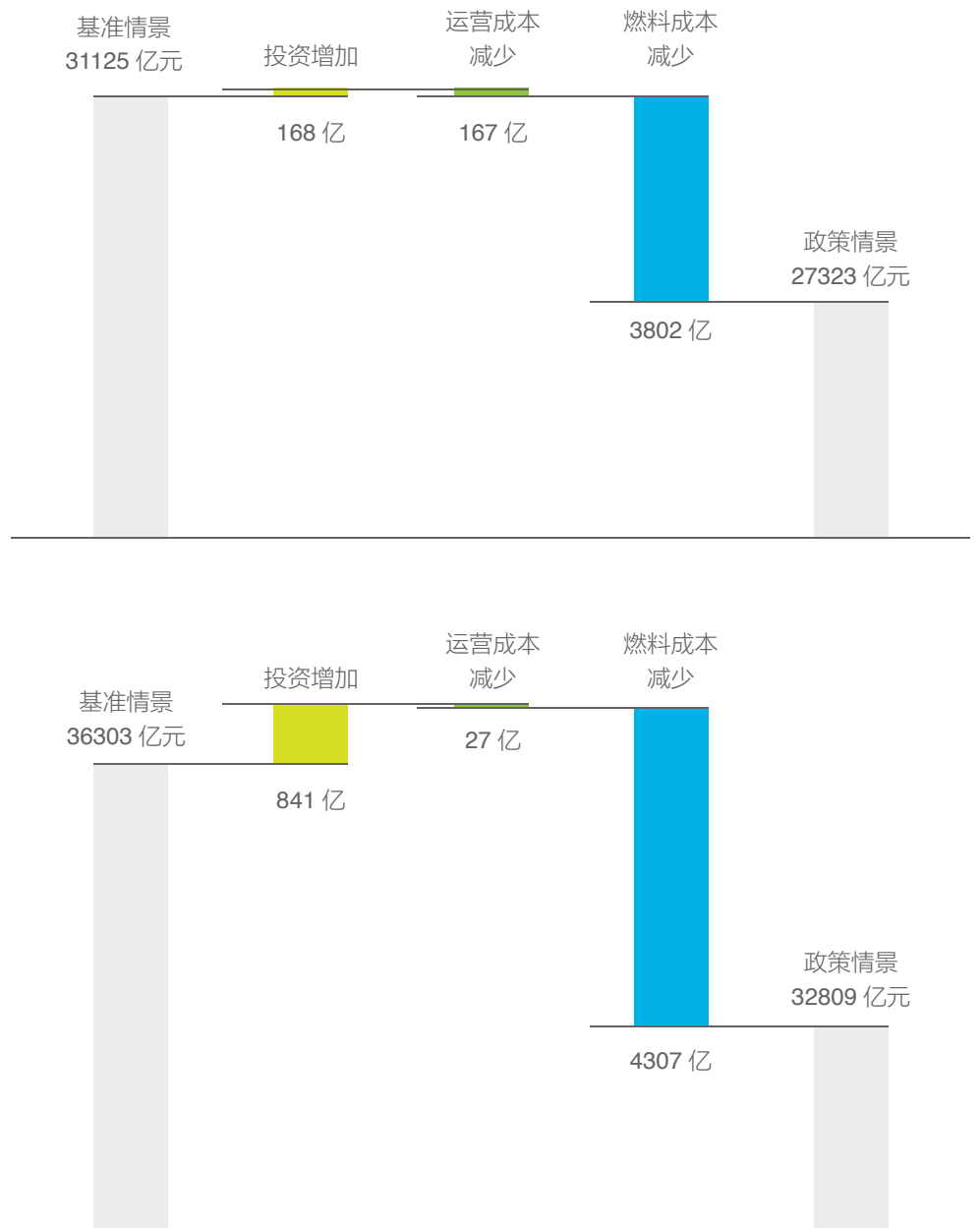
从系统总成本角度出发，2020年电力系统基准情景下的总成本约为2.54万亿元人民币，而煤控情景下电力系统的总成本可下降到2.45万亿元。其中投资成本降低14亿元，运营成本降低47亿元，燃料成本减少近700亿元。由此可见，煤控情景下，由于应用了更多的非化石能源发电技术，大幅度降低了电力系统的燃料成本。

2030年电力系统基准情景下的总成本约为3.11万亿元人民币，而煤控情景下电力系统的总成本可下降到2.73万亿元。其中投资成本增加了170亿元，运营成本降低170亿元，燃料成本减少近3800亿元。由此可见，煤控情景下，由于应用了更多的非化石能源发电技术，虽然系统投资成本略有上升，但是电力系统的燃料成本大幅度降低。

2050年电力系统基准情景下的总成本增加到3.63万亿元人民币，而煤控情景下电力系统的总成本可下降到3.28万亿元。其中投资成本增加了840亿元，运营成本减少了近30亿元，燃料成本减少近4300亿元。



图 9 不同情景下发电部门总系统成本分析（2030、2050 年）



# 6

减缓气候变化

## 在煤炭消费总量控制下通过能源结构优化措施将在2030、2050年实现约40%-50%的减排潜力，对于我国碳排放量控制起到十分重要的作用

温室气体控排效果将随着技术效率进步、末端处理措施等因素的共同作用，煤炭生产、运输和消费过程的温室气体排放因子也将发生变化。为了测算不同情景下未来年份煤炭消费总量控制条件下的温室气体控排效果，以下分别对煤炭生产、运输和消费过程中的排放因子进行了分析。

影响煤炭生产侧甲烷排放因子的因素主要是未来煤矿甲烷的利用率的变化趋势。根据历史趋势分析，1996-2010年间我国煤矿甲烷（煤层气）的利用量基本呈现每年上升的趋势，2010年达到21.94亿 $m^3$ ；但由于原煤产量的放大效应，煤矿甲烷涌出量大量增加，2004年以来其利用率维持在30%左右的水平，利用率仍然较低。但考虑到煤矿甲烷作为一种洁净、高热值的能源，同时又是一种有着广泛用途的化工原料，其利用形势方兴未艾，各种浓度的煤矿甲烷，在发电、液化民用等方面的推广使其市场前景十分广阔。根据《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十二五”规划》，到2015年煤矿甲烷的井下抽采量将会达到140亿 $m^3$ ，根据相关测算，届时抽采利用率将会从2010年的32%提高到42%。但考虑到煤炭甲烷利用率同样存在极限，本报告假设2015年后我国煤矿甲烷的利用率按照上述增速（五年增长10%）增长至70%后不再增长。

煤炭运输过程用的燃料主要为石油和天然气，考虑到燃油经济性的提升，本报告参考了其他相关报告的研究并提出以下假设：2020年煤炭货运综合能耗强度较2010年下降约15%，2030年在2020年基础上下降约10%，2050年在2030年基础上下降约10%。

对于燃煤终端消费过程中二氧化碳排放因子，本报告主要考虑两个煤炭消费的两个主要用途（发电和工业）煤炭利用过程的变化趋势。由于单位化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放理论上随着燃料质量（热值）、碳氧化率均会有所变化，在缺少其他支撑依据的条件下，本报告假定燃料质量（煤种、煤质）均不发生变化，而仅考虑由于碳氧化率的上升带来的影响。根据本报告的测算，2050年煤炭排放因子在2010年提升约4.2%，中间年份按插值获得。对于燃煤终端消费过程中的黑碳排放因子，在缺乏其他数据支撑基础上，本报假设未来年份黑碳减排效率与烟粉尘减排效率（由第二项目小组环保部环境规划院计算得到）相同。

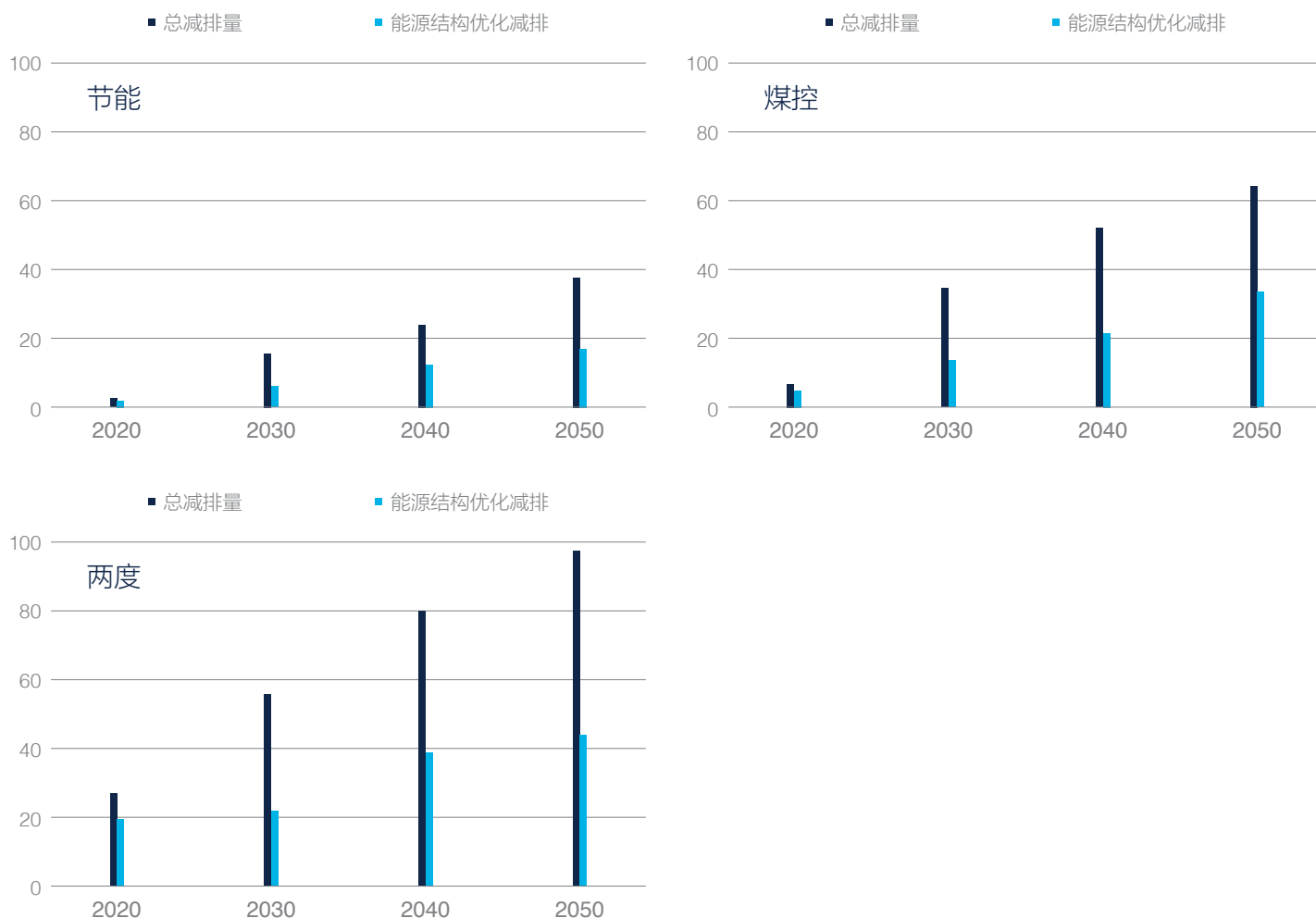
在上述假设条件下，节能情景、煤控情景、推荐情景和两度情景下的减排量、减排量在生产、运输、消费环节的分布和社会收益如表所示。

相较于基准情景，节能、煤控和两度情景下2030年温室气体分别减排13.7、33.9和55.9亿吨，带来的社会经济收益分别在0.16-0.76万亿、



0.40-1.89 万亿、和 0.65-3.11 万亿元（2012 年不变价），相当于 2030 年 GDP 总量的 0.1%-0.4%、0.2-1.1%、0.4-1.8%；2050 年温室气体减排量上升至 36.1、65.6 和 97.1 亿吨，带来的社会经济收益分别上升至 0.71-2.59 万亿、1.3-4.71 万亿和 1.92-6.97 万亿元（2012 年不变价），相当于 2050 年 GDP 总量的 0.2-0.8%、0.4-1.4% 和 0.6-2.1%。各情景下的减排可归因于由于服务量下降和技术效率提升导致的节能贡献和能源结构优化（即其他低碳能源替代煤炭）的贡献。本报告分析了各个情景下能源结构优化对于减排的贡献，如所示。相关数据显示，在煤炭消费总量控制下通过能源结构优化措施将在 2030、2050 年实现约 40%-50% 的减排潜力，对于我国碳排放量控制起到十分重要的作用。

图 10 不同情景下的总减排量及能源结构优化的减排贡献占比



7

绿色就业效益



从本研究确定的政策框架来看，对煤炭消费总量进行直接控制的工具一般将会造成相关产业的产值降低和就业减少；而间接控制的政策工具和框架，如鼓励替代能源和节能产业的发展将会推动相关的行业和部门面临新的发展机遇，从而产生就业创造的积极影响。要综合分析煤炭消费总量政策的就业影响，必须合理分析各种直接和间接的政策对不同行业和部门的就业影响。

煤炭总量控制政策短期内将使煤炭开采、运输行业受到直接影响。在技术优化情景下，如果采取煤控政策，2012-2050 年期间煤炭行业的就业总量相比于没有任何煤控政策和措施的情景将减少 72 万人。但同时也应注意到，即使不采取任何煤控措施，自然的就业挤出效应也将会使煤炭开采与洗选行业的总就业规模从目前的 580 余万人降至 2050 年的 160 万人，煤控政策只是加速了这一自然进程，约使行业就业总规模多减少了 20% 左右。煤炭运输行业因为业务的减少，所需就业也会趋于减少，其中公路运输所受冲击最为明显，但运输行业可以通过改运其他货物的方式应对政策影响。同时，由于煤炭运力不足的现状在一定时期内还将延续，铁路运输的整体规模和就业水平在短期内还会随着新的运输路线的建设和投入使用有所增加。

煤炭的替代能源，特别是可再生能源的发展会带来能源部门和相关产业制造部门的大量就业机会。通过大力发展水电、风电、太阳能、核能、生物质能等可再生能源，能够推动新能源技术开发、设备制造和安装、维护等行业产生一系列新增就业。而节能技术研发和运用将会大大推动技术层面和服务层面的就业，包括增加能源咨询公司、能源服务公司，形成新的就业岗位。到 2020 年，建筑节能服务、钢铁行业节能服务和水泥行业节能服务的新增就业机会分别为 30 万、45 万和 39 万个，即使考虑到这些就业中相互重叠的部分，也将产生几十万个直接就业机会和数以百万计的间接就业机会。此外，煤炭总量控制政策将给低碳发展带来的巨大投资，能给融资和金融服务业以及其他服务业带来大量的就业机会，服务业的发展可以促进我国的产业结构优化，为城乡失业人群提供更多更好的就业机会。

整体来看，尽管煤炭总量控制会使传统的煤炭生产部门和高耗煤行业如火电部门的就业减少，但通过替代能源以及能源服务业的快速发展将从总量上弥补就业损失的规模，并创造出更多绿色的就业机会。但也要注意煤控政策下新能源、新技术和新行业的发展，对劳动力的技术含量要求较高，不利于低端劳动力就业。中国大力发展可再生能源和提高能源效率，不但需要巨额的资金，还需要大量的高技术人才，而发展中国家大多数的劳动力大多是低技术或零技术含量，这将降低许多低素质劳动力的就业机会。

**到 2020 年，建筑节能服务、钢铁行业节能服务和水泥行业节能服务的新增就业机会分别为 30 万、45 万和 39 万个**

# 8

## 协同收益汇总分析

煤炭消费总量控制对于我国经济结构转型和生态文明建设具有重要意义。表 11 及表 12 汇总了与基准情景相比，煤控情景在水资源、环境质量、公共健康、能源转型、就业及煤炭行业等方面的协同效益。分析表明，煤炭总量控制可以带来显著的协同效益，2020、2030 及 2050 年煤控的协同效益可以分别达到 1900、9700 及近 20000 亿元，分别占当年 GDP 的 0.23%、0.67% 及 0.72%。在中长期对协同效益贡献最大的是温室气体社会成本的减少及能源系统转型效益的增加。虽然社会成本的估计具有较大的不确定性，但即便不计入温室气体的社会成本，煤炭总量控制的协同效益仍在 2020、2030、2050 年分别达到 1100 亿、5700 亿及 6700 亿元，占当年 GDP 的 0.13%、0.39% 及 0.24%。

表 11 煤炭总量控制协同效益汇总

		2020	2030	2050
水资源	减少涌水量 (亿 m <sup>3</sup> )	6.9	20.3	34.6
	减少地面沉陷面积 (km <sup>2</sup> )	60.3	179.4	305.8
	减少水土流失面积 (km <sup>2</sup> )	71.6	213	363.1
	减少洗煤废水排放 (亿 m <sup>3</sup> )	1.7	5.1	8.6
	节水量 (亿 m <sup>3</sup> )	46.88	198.37	314.86
空气环境质量	减排 SO <sub>2</sub> (%)	5%	10%	NA
	减排 NOx (%)	2%	6%	NA
	减排颗粒物 (%)	6%	8%	NA
公共健康	减少超额死亡人数 (万人)	4.9	8.9	5.1
	减少开采死亡人数 (人)	36	182	266
	减少职业病发数 (例)	938	799	977
能源系统转型	投资增加 (亿元)	-14	168	841
	系统成本减少 (亿元)	773	3802	3494
就业影响	煤炭开采洗选业 (万人)	-111	-255	-290
	电力行业 (万人)	-42	-83	+217
	节能服务行业 (万人)			
温室气体减排	温室气体减排 (亿吨)	8.8	33.9	65.6



表 12 煤炭总量控制协同效益货币化汇总

	单位（亿元）	2020	2030	2050
水资源	水资源耗减	111.41	308.76	415.49
	地下水资源流失	0.00	35.71	81.02
	水土流失及水生态退化	110.78	307.01	413.14
	水环境污染	12.63	50.64	82.59
公共健康	减少超额死亡人数	673.8	2153	2356.3
能源系统转型	系统成本减少	773	3802	3494
温室气体减排	社会成本减少	800	4000	13000
煤炭行业	技术进步损失	-204	228	322
	减少开采人员死亡	5	10	10
	减少职业病	64	71	21
	改善生态环境	167	496	930
合计		2514	11462	21126

# 9

结论

## 即使不计入温室气体的社会成本，煤炭总量控制的协同效益仍在 2020 年达到 1700 亿元

我国的经济发展长期依赖化石能源，而化石能源的生产、运输和消费导致了一系列对水资源、水质、生态系统、空气质量和人体健康的不利影响。煤炭消费总量控制对于我国经济结构转型和生态文明建设具有重要意义。煤控情景在水资源、环境质量、公共健康、能源转型、就业及煤炭行业等方面具有显著的协同效益。协同效益的分析表明，煤炭总量控制可以带来显著的协同效益，2020、2030 及 2050 年煤控的协同效益可以分别达到 2514、11462 及近 21126 亿元，分别占当年 GDP 的 0.29%、0.69% 及 0.63%。在中长期对协同效益贡献最大的是温室气体社会成本的减少及能源系统转型效益的增加。虽然社会成本的估计具有较大的不确定性，但即便不计入温室气体的社会成本，煤炭总量控制的协同效益仍在 2020、2030、2050 年分别达到 1700 亿、7400 亿及 8100 亿元，占当年 GDP 的 0.20%、0.45% 及 0.24%。

