

国际电力温室气体排放控制研究

王宏亮, 薛建明, 许月阳, 管一明, 王 铮, 刘 珺

(国电科学技术研究院(国电环境保护研究院), 江苏 南京 210031)

摘 要: 电力行业是主要的化石燃料消耗部门, 同时也是温室气体的主要排放源。其控制策略的合理选择, 直接影响着能源供应的稳定和减排目标的实现。本文主要介绍了低碳技术、税收手段、碳交易机制和综合资源规划与需求侧管理四种控制策略在国外的应用, 并基于我国的行业特点, 提出了相应的建议。

关键词: 温室气体; 统计标准; 控制策略

0 引言

随着政府间应对气候变化谈判的推进, 温室气体排放的控制问题越来越全球化。1997 年 12 月通过的《京都议定书》规定了六种温室气体的具体减排目标, 使得温室气体的减排从理想走向现实。2008 年联合国气候变化框架公约发布的数据显示, 二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)以及氟化物所占比例分别为 85%、7%、6%和 2%, 其中附件一国家人为温室气体的排放主要来自能源部门, 并占据 83%的比例。2009 年国际能源机构(IEA)对全球温室气体在部门间分布情况的统计数据显示, 电力和热量生产、交通、工业、民用以及其他排放部门二氧化碳排放分别占 41%、23%、20%、6%和 10%^[1], 电力生产占据主要排放源的榜首位置。

1 电力企业温室气体

电力行业温室气体主要来源是化石燃料燃烧的发电过程, 产生温室气体为二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)。二氧化碳的生成量主要受燃煤含碳量的影响, 与其他条件的关联度不大, 而甲烷和氧化亚氮的生成除了受到燃料特性影响, 同时还与燃烧条件、机组容量、污染物控制设施等诸多因素有关。其中, 氧化亚氮主要受到空气过量系数、燃烧温度以及所采用的氮氧化物控制技术等的影 响, 甲烷则主要受燃烧效率的影响。

除了化石燃料燃烧之外, 引发比较大关注的还有坝式水电站库区及其下游近流域通过液面释放出的二氧化碳、甲烷以及输配电领域高压开关等设备使用过程中六氟化硫(SF₆)两个排放源。对于水电水库温室气体的排放研究, 由于缺少国际上公认的有

效测量方法以及此前研究数据不全面等诸多限制, 使得现阶段对水库温室气体排放尚无公认的结论。另外, 六氟化硫作为一种温室效应极强的气体, 虽然其排放量与其他温室气体相比很小, 但全球六氟化硫气体产量的 80%用于电力工业, 所以一直得到电力行业的关注。

2 温室气体排放统计标准

排放量统计是发展排放控制策略、考量允许排放和限制排放方案的适用性以及评价排放源的影响效果等环境治理工作的前提条件, 而建立统一的排放统计和审核标准则是推动各项治理工作的一种有效技术手段。为了实现对全球碳市场一致性评价, 减少评估技术的差异性。2002 年国际标准化组织的环境管理标准化技术委员会就成立工作组着手制定温室气体的相关标准, 并于 2006 年发布首批关于组织、项目层面温室气体排放量化、监测、报告及审定与核查方面的系列标准(ISO14064-1、ISO14064-2、ISO14064-3)。随后于 2007、2011 年分别发布了有关审定与核查机构要求的标准(ISO14065)和关于温室气体审定团队与核查团队的能力要求的标准(ISO-14066)。目前关于产品碳足迹评价的国际标准(ISO14067)也已经完成国际标准草案稿的编写, 正处于征求意见阶段。图 1 为 ISO 系列标准框架, 现阶段关于企业、项目层面的统计、核查以及相关的机构人员能力建设的标准已经形成, 为企业进行温室气体排放的核算提供了技术参考。除此之外, 国际电工委员会、英国标准协会、世界资源研究所等机构也纷纷制定了相关的标准。

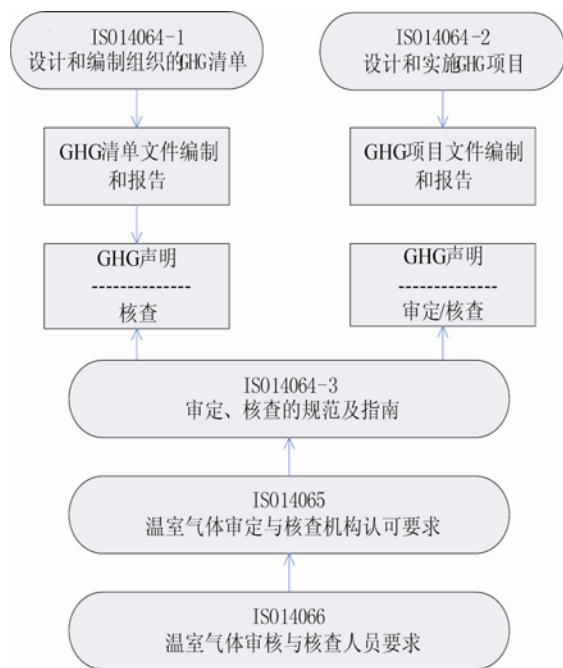


图 1 ISO 企业和组织层面温室气体相关标准框图

3 主要控制策略

电力行业应对气候变化主要是突出行业内温室气体减排控制，采取管理和技术相结合的手段，通过法律、规章的发布推动技术的革新。由于每个国家的能源结构、经济特点等诸多方面的差异，导致

在策略制定上各有侧重。主要的策略手段有四种：低碳技术、税收手段、碳交易机制和综合资源规划与需求侧管理。

3.1 低碳技术

低碳技术分为三种类型：第一类无碳技术，采用无碳排放的能源形式，比如核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术；第二类减碳技术，包括能源的高效利用和清洁利用两个层面，包括各种节能技术措施、煤的清洁高效利用以及油气资源和煤层气的勘探开发技术等；第三类除碳技术，主要是控制已产生的二氧化碳的排放，典型技术是二氧化碳捕获与封存(CCS)。

世界各国为了在碳减排这个国际问题上占据有利位置，不断加大三类技术上的技术研发。自 20 世纪 70 年代开始，西方主要工业国家开始注重和研发清洁煤技术和项目。经过几十年的发展，整体煤气化联合循环(IGCC)和捕集与封存技术作为当前被普遍接受的国际煤炭清洁技术项目，正在逐渐推广和应用。两项技术的技术原理、相对优势、发展限制以及现阶段进展见表 1。

 表 1 IGCC和CCS技术概况^[2-5]

	IGCC	CCS
技术原理	IGCC 是空气分离技术、煤的气化技术、煤气的净化技术、高性能的燃气-蒸汽联合循环技术以及系统的整体化技术等多种高新技术的集成体。它由两大部分组成，即煤的气化与净化部分和燃气-蒸汽联合循环发电部分。	CCS 是指把工业生产中化石燃料燃烧产生的二氧化碳进行收集，并将其安全地储存于地质结构层及其他可以封存二氧化碳的地方，从而达到减少二氧化碳排放、防止其后恶化的目的的技术。发电厂中进行二氧化碳捕集的技术路线主要有三类：燃烧后脱碳、燃烧前脱碳和富氧燃烧脱碳。
相对优势	发电净效率高，明显高于常规亚临界机组，并且提升空间大（现阶段 43~45%）； 耗水量小（相对降低 30~50%）； 适用煤种广泛（煤炭、石油焦、渣油、生物质以及城市固体垃圾作为发电燃料）。	由于 CCS 具有高效/清洁应对碳排放等优点，并且拥有极大的发展空间，被认为是解决高耗能行业碳排放问题的技术。
限制障碍	较高的成本（一般高于 1500 美元/kW）； 较低的可用性和可靠性（可用率 70~85%）。	成本高（13~51 美元/吨）； 运输技术的不成熟； 长期封存具有很高的风险； 公众认知度不够。
国外	国外已进入了 250~300MW 大容量机组的商业示范阶段	世界上还没有任何商业运行的电厂实施全规模的碳捕获与封存，二氧化碳捕集项目主要和清洁发电项目相结合，二氧化碳封存也仅限于地质封存和 CO ₂ -EOR，目前整体处于研发示范阶段。
国内	天津建设第一座 25 万千瓦 IGCC 燃煤示范电站，预计在 2020 年前将其改造成能够进行集制氢、氢气燃机和氢燃料电池发电循环。另外还有 10 余个项目处于可研、报批、实施等不同阶段。	华能北京热电厂、上海石洞口第二电厂和重庆合川双槐电厂先后建设了 3 个二氧化碳捕集示范工程。

3.2 税收手段

(1) 税收作用

随着全球应对气候变化问题的推进，针对二氧化碳减排的税收手段也逐渐被一些国家所采用。其中碳税是以减少二氧化碳排放为目的，对化石燃料（如煤炭、天然气、汽油和柴油等）按照其碳含量或碳排放量征收的一种税。除了碳税这种针对温室气体排放的税种之外，还有英国的气候变化税、德国的生态税、以及一些国家的能源税等，这些税种或是直接涵盖了二氧化碳排放税或者是通过能源使用的角度进行整体征税。虽然各税种名称各不同，但其本质都是把环境污染和生态破坏的社会成本，内化到生产成本和市场价格中去，再通过市场制来分配环境资源的一种经济手段。因为征税使得污染性燃料的使用成本变高，这会促使公共事业机构、商业组织及个人减少燃料消耗并提高能源使用效率。另外，碳税能提高替代能源的成本竞争力，使它们能与价格低廉的污染燃料相抗衡^[6]。

(2) 碳税征收方式

目前国际上碳税征收有三种方式：一是以化石燃料的含碳量作为计税依据，在现行资源税和消费税基础上进行加征；二是在资源税、消费税和环境税之外单独开征碳税；三是将碳税作为环境税的一个税目征收。大部分国家的碳税都是作为消费税直接对消费者征收^[7]。具体的实施方式为政府部门首先确定免征和减征范围，然后对每吨排放量确定一个价格，通过这个价格换算出附加在电力、化石燃料使用过程中的税费，最终对规定范围内的机构进行征税。

(3) 国际征税现状

目前，二氧化碳税已成为欧盟国家中普遍实行的税种，且都采用国家碳税模式，在税率设计上多采用复合税率。一部分根据燃料的含碳量征收，每吨碳的碳税率为 10 欧元左右；另一部分根据燃料的发热量征收，每标准能源单位税率是 0.2 欧元左右。征税时，首先根据含碳量和所含能源单位确定总体税率，再计算征收二氧化碳税。总体来看，二氧化碳税的征税范围比较广泛，但多数国家出于对本国经济国际竞争力影响的考虑，对一些行业给予豁免或特殊优惠。在税收的用途上多数国家将二氧化碳税作为一般财政收入，但是各国在税率水平上差异较大，部分国家的征税标准见表 2。

表 2 部分国家征税情况

国家	起征时间	税种	征收对象	现行征收标准
英国	2001 年	气候变化 征税	主要在电力、煤炭、天然 气、液化石油气等出售给 商业和公用部门的环节 上征收	能源价格上加 收 15%
			包括矿物能源、天然气、 电	
德国	1999 年	生态税		3.59 欧分/度
日本	2007 年 1 月	环境税	针对使用化石燃料单位	2400 日元/吨 碳 ^[8]
澳大利亚	2012 年 7 月	碳税	能源领域	23 澳元/吨碳

3.3 碳交易机制

1997 年 12 月在日本通过的《京都议定书》把市场机制作为解决以二氧化碳为代表的温室气体减排问题的新路径，即把二氧化碳排放权作为一种商品，进而开启了二氧化碳排放权交易之路。目前碳交易市场可以分为两种:一种是以项目为基础的减排量交易，另一种是以配额为基础的减排量交易。具体温室气体交易市场类型见图 2。

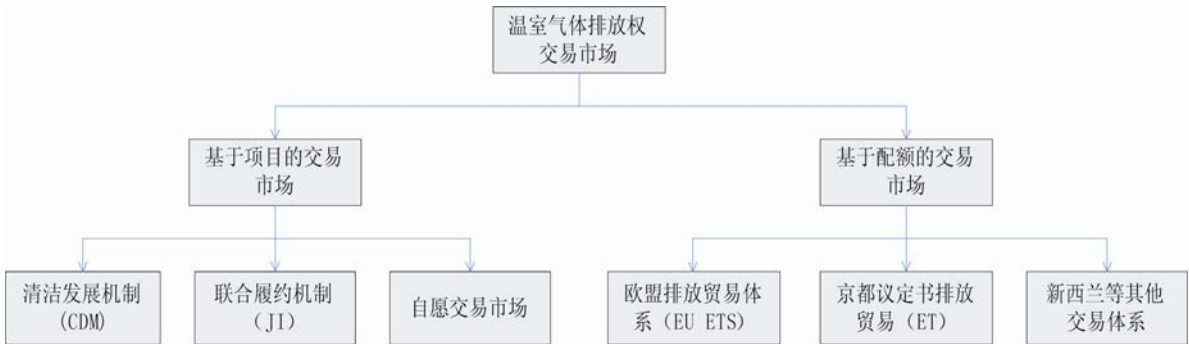


图 2 温室气体排放权交易市场框架图

(1) 以项目为基础的减排量交易(project-based transactions)

这种交易模式首先通过国与国合作的方式建设减排项目，然后由相关第三方组织对项目进行审定

核准,确定最终的减排量并进行交易。该类交易以《京都议定书》中的联合履约机制和清洁发展机制为主,还包括不承担减排义务国家的自愿减排市场。其中,联合履约机制适用于附件一国家间的联合减排,即允许附件一国家通过投资项目的方式从另外一个附件一国家获得减排量,该机制所使用的减排量化指标为“排放减量单位”(Emission Reduction Unit, ERU)。清洁发展机制则是附件一缔约方国家(发达国家)以提供资金和技术的方式,与非附件一国家(发展中国家)开展清洁发展机制项目级的合作,所实现的核证减排量可经过碳交易市场用于附件一国家完成减排目标的承诺,该机制所采用的减排量化指标为核证减排量(CERs, Certified Emission Reductions)。自愿减排更多是出于一种责任,主要是一些比较大的公司、机构,处于自己企业形象和社会责任宣传的考虑,购买一些自愿减排指标(VER)来抵消日常经营和活动中的碳排放^[9,10]。

(2) 以配额为基础的交易 (allowance-based transactions)

与基于项目机制的减排信用(Emission Credits)不同,在该交易中涉及的排放额度是在限额与贸易机制(cap and trade)下由管理者确定和分配形成。目前主要的排放交易包括欧盟排放交易体系下的欧盟排放配额(EUAs, European Union Allowances)、《京都议定书》下的分配数量单位(AAUs)、区域温室气体倡议配额以及新西兰排放配额等。欧盟排放配额是欧盟国家的许可碳排放量,欧盟所有成员国都制定了国家分配方案,明确规定成员国每年的二氧化碳许可排放量(与京都议定书规定的减排标准相一致),各国政府根据总排放量向各企业分发排放配额。如果企业在一定期限内没有使用完欧盟排放配额则可以出售;一旦企业的排放量超出分配的配额,就必须从没有用完配额的企业那里购买配额。表 3 显示了 2010 和 2011 年全球碳市场交易情况。

3.4 综合资源规划与需求侧管理

综合资源规划是 20 世纪 70 年代末首先在美国和西欧工业化国家兴起的一种用于电力工业的计划规划模式,其核心思想是将供应侧和需求侧各种形式的资源,作为一个整体进行综合规划。综合资源规划的关键是需求侧管理(DSM),其基本作法是把需求侧通过提高利用效率节约的资源视进行成本效益分析,从中选择出技术上合理、经济上可行且能

够满足同样能源服务的方案。

需求侧管理最早起源于美国,到现在已有 20 多年的发展历程。目前在国外 DSM 被普遍应用,他们将其定义为电力公司有计划地从事一项或多项影响电力消费用电时间和数量的一种策略。这种策略视电力系统的具体情况而定,一些表现为降低用电负荷和电量,一些表现为提高负荷和电量,一些还表现为提高可靠性和稳定性,而还有几种措施并用。纵观国外的电力需求侧管理现状,虽然每个国家或同一国家的不同地区根据自身情况所采取的具体措施有所不同,但主要包括如下七个要素:提供 DSM 法律保障、制定相应的 DSM 技术措施、DSM 推广中的政府引导作用、激励机制、解决 DSM 资金来源、能源服务公司运行模式、建立 DSM 实施过程的监督机制^[12-14]。图 3 表示的是电力需求侧管理体系框架。

表 3 2010 和 2011 年全球碳市场交易情况

项目	2010		2011	
	交易量 (MtCO ₂ e)	交易额(US\$ million)	交易量 (MtCO ₂ e)	交易额(US\$ million)
配 额 市 场				
欧盟配额(EUA)	6789	133598	7853	147848
《京都议定书》配额 (AAU)	62	626	47	318
碳抵免单位(RMU)	-	-	4	2
新西兰配额(NZU)	7	101	27	351
区域温室气体减排行 动(RGGI)	210	458	120	249
加利福尼亚(CCA)	-	-	4	63
其他	94	151	26	40
小计	7162	134935	8081	148881
二级抵消市场				
二级市场 CDM 核证 排放量 (sCER)	1260	20453	1734	22333
二级市场 JI 减排量 (sERU)	6	94	76	780
其他	10	90	12	137
小计	1275	20637	1822	23250
基于项目的交易				
初级市场 CDM 核证 排放量 (pCER pre-2013)	124	1458	91	990
初级市场 CDM 核证 排放量 (pCER post-2012)	100	1217	173	1990
初级市场 JI 减排量 (pERU)	41	530	28	339
自愿市场	69	414	87	569
小计	334	3620	378	3889

合计	8772	159191	10281	176020
----	------	--------	-------	--------

资料来源: State and Trends of the Carbon Market 2012, World Bank.^[11]

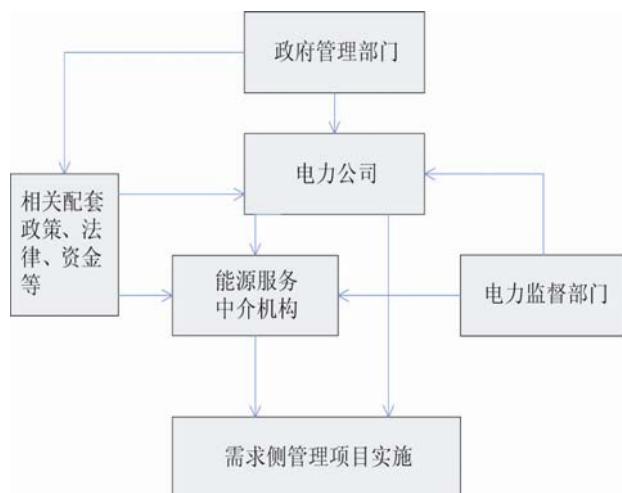


图 3 电力需求侧管理体系

4 结论

随着近年来我国电力行业的跨越式发展,虽然煤发电机组供电煤耗和电网线损率方面均已达到或接近国际先进水平,有效地降低了温室气体的排放,但是单纯依靠先进发电技术和降低线损的手段推动减排的空间正逐步被压缩,因此电力行业必须进一步丰富减排控制手段。

(1) 在低碳技术的应用方面,继续稳步提高清洁能源在发电装机中的比例,加快 IGCC 和 CCS 等潜力技术的示范步伐,同时注重跟踪国际新技术发展动态,对符合我国国情的技术进行探索和研发。

(2) 电力需求侧管理在我国已进入起步实施阶段,进一步推动该项工作的开展对电力行业应对气候变化意义重大。未来需要主要推进的几个方面包括:建立综合资源规划机制、建立适合国情的 DSM 组织体系、建立有效的融资和资金运营机制、建设 DSM 监督机构以及推行合同能源管理机制。

(3) 因为电力行业是碳排放的大户,而且电力企业排放“可测量、可报告、可核实”的基础条件较好,所以即将开始的碳排放交易和渐行渐近的碳税都可能将电力作为先行先试的行业。因此需要快速推进电力低碳发展同时深入挖掘企业潜力,降低运营成本,消化上述措施导致的成本增加。

参考文献:

- [1] International Energy Agency.CO₂ Emissions From Fuel Combustion(2011 EDITION)[R].Paris:2011.
- [2] 刘鹤.煤炭清洁利用国际技术问题研究[J].安徽农业科学,2012,40(6):3521-3523.
- [3] 康重庆,陈启鑫,夏清.低碳电力技术的研究展望[J].电网技术,2009,33(2):1-7.
- [4] Tooraj Jamasb,William J,Nuttall,Pollitt M G.Future electricity technologies and systems[M].Cambridge University Press,2008.
- [5] 左鑫.美国低碳电力技术综述[J].华中电力,2010,23(5):77-80.
- [6] 王琿.国际碳税方案的比较分析[J].中国人口.资源与环境,2012,22(3):82-86.
- [7] 翟冬平.碳税征收政策的国际比较研究[J].价格理论与实践,2012,(3):63-64.
- [8] 刘兰翠,甘霖,曹东,等.世界主要国家应对气候变化政策分析与启示[J].中外能源,2009,14(9):1-8.
- [9] 曲如晓,吴洁.国际碳市场的发展以及对中国的启示[J].经济研究,2010(6):57-63.
- [10] 张懋麒,陆根法.碳交易市场机制分析[J].环境保护,2009,4(2):78-81.
- [11] Alexandre Kossoy, Pierre Guigon.State and Trends of the Carbon Market 2012[R]. Washington DC: The World Bank,2012.
- [12] 史连军,郭玲丽,董如,等.美国电力综合资源规划 IRP 的实施经验[J].华东电力,2010,38(2):183-187.
- [13] 陶鹏,张艳,张波.国外需求侧管理综述及其对我国需求侧管理的启示[J].中国电力教育,2011(30):45-48.
- [14] 陈江华,徐杰彦.电网企业电力需求侧管理目标的实现途径和影响因素分析[J].电力需求侧管理,2011,13(2):4-7.

作者简介:

王宏亮(1983-),男,黑龙江鹤岗人,工程师,主要从事火电厂烟气脱硫、脱硝及新能源研究开发工作。E-mail: hl_wang0128@163.com。