

排放交易在中国——电力行业碳排放交易模拟

致谢

本报告由国际能源署（IEA）的 Christopher Guelff 和 Liwayway Adkins 在 Christina Hood 的支持下完成。Marco Baroni, Simon Mueller, Manuel Baritaud, Julie Jiang, Dennis Best, Philippe Benoit 和 Carlos Fernandez Alvarez 在本报告的模拟设计和测试方面做了许多有价值的工作。现任经济合作与发展组织（OECD）可持续发展圆桌会议首席顾问 Richard Baron 先生在项目创建及整个执行过程中给予了宝贵的支持。国际能源署可持续能源政策和技术项目主任 Didier Houssin、能源效率和环境部门主管 Philippe Benoit 以及环境和气候变化部门负责人 Takashi Hattori 负责本项目的全程监督和指导。

本项目由中国电力企业联合会（CEC）、北京环境交易所（CBEEEX）、美国环保协会（EDF）和国际能源署（IEA）共同合作完成。中国电力企业联合会、北京环境交易所和美国环保协会在设置和协调整个项目、建立和管理交易平台、推进模拟交易、与电力行业部门协调以及确保模拟和最终报告成功完成方面都扮演了重要的角色。在此，我们要特别感谢北京环境交易所的李懂熠、邹毅和李聪，中国电力企业联合会的石丽娜和杨帆，以及美国环保协会的王昊和 Josh Margolis 在整个过程中的贡献。另外，我们还要感谢中国电力企业联合会研究室主任潘荔女士、北京环境交易所董事长杜少中先生、美国环保协会中国项目主任的张建宇博士和美国环保协会副总裁杜丹德博士（Daniel Dudek）在整个过程中的悉心指导。

最后，国际能源署还要诚挚感谢英国儿童投资基金（CIFF）给予本模拟项目的资金支持以及英国儿童投资基金气候变化执行董事 Kate Hampton 和气候变化主管 Shirley Rodrigues 的建议和支持。

执行摘要

概述

中国“十二五”规划（2011-2015）中提出“要逐步建立碳排放交易市场”（国家发展和改革委员会，2012），为完成建立全国性统一碳市场的目标，国家批准七个省市（北京、天津、上海、重庆、深圳、广东和湖北）率先建立试点排放交易机制（ETS）并试水碳交易。在七个省市中，有五个省市在 2013 年便已开始正式交易，第六个启动的碳市场也于 2014 年 4 月开市。截止 2014 年 5 月，已经启动的六个省市试点涵盖了 10 亿多吨的二氧化碳排放。第七个碳市场预计也会很快启动。

为在中国碳排放交易体系（ETS）设计过程中做出贡献并为试点地区提供相应的建议，国际能源署（IEA）、中国电力企业联合会（CEC）、北京环境交易所（CBEEEX）和美国环保协会（EDF）共同设计和执行了本次中国电力行业模拟碳交易项目。

尽管本次模拟的覆盖范围有限，但模拟结果对中国电力行业实行碳交易来说却是一个积极的信号。模拟过程中涉及的内容包括固定的碳总量约束、配额和碳抵消、惩罚机制、增长的发电需求，同时模拟过程中电厂必须满足发电、碳排放承诺以及利润三方面要求。与预期一致，模拟结果也显示碳排放交易的市场设计对企业效益和市场效率都有直接的影响。

为什么要进行模拟？

通过模拟可以为政策建议和项目实施之间提供一个有效的沟通途径。现实生活中的市场复杂且充满不确定性。尽管理论具有指导作用，但是很难预测市场参与者将如何对新政策做出反应。在对现实情况进行简化的规则条件下模拟市场运行，可以创造一个可控的“实验环境”，在该环境下，分析者可以控制市场情况、赋予市场参与者某些属性并且可以通过各种手段模拟现实中的激励。用这种方法，政策制定者便可收集关于碳排放交易体系结构搭建的各种见解。

该模拟有以下几个目的：

1. 探讨电力部门的碳排放交易体系如何在实践中运行。
2. 为中国发电企业员工提供一次感受碳排放交易体系运作机理的体验，同时使他们熟悉和理解这些理论方法。
3. 观察不同的碳排放交易体系设计对参与者表现的影响。
4. 判断参与者在面临发电需求增长和具有“排放总量限制、配额及碳抵消、未履约处罚”特征的碳排放交易体系时，如何满足生产需求、管理碳资产以及满足利润目标。
5. 理解这些模拟结果对中国进行碳排放交易体系市场设计的潜在启示。
6. 为进一步探索确定方向。

中国的电力部门和排放挑战

中国正在经历快速和持续的经济增长，同时也面临着一些环境方面的挑战。过去十年间，中国的国内生产总值（GDP）已经翻倍，伴随而来，对于电力的需求也急剧增长。化石燃料，特别是煤，几乎代表了四分之三的发电能力。在可预见的未来，煤炭仍将是重要的能源来源。可再生能源和核能则是重要的、份额持续增加的低碳替代能源。

中国与能源相关的二氧化碳排在 1990 至 2000 年间增长了 50%，而在接下来的十年

里继续翻倍。中国电力部门的排放已经增长到大约每年 40 亿吨，大约占中国所有能源消耗排放的一半（IEA，2014a）。中国已经在 2009 年哥本哈根气候大会以及 2011 年德班气候大会上承诺到 2020 年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40-45%。为实现这一目标，中国的“十二五”规划（2011-2015）提出“逐步建立碳排放交易市场”，作为承诺的一部分“大幅度降低能源消耗强度和二氧化碳排放量”也应该被视为捆绑的约束目标（NDRC，2012）。

碳排放交易体系模拟架构

本模拟旨在评估在中国设计一个活跃碳市场时的主要影响因素。总体看来有三个关键点：第一，中国的电力企业如何适应碳约束带来的影响？第二，市场规模和交易灵活性如何影响交易和生产运营？第三，参与者不同的资产配置如何影响交易？

为测试不同的初始设置的结果，我们按两个不同的维度建立了四种情景。第一个维度与流动性和交易市场规模有关。根据可使用碳抵消信用（offsets）履约的比例和市场规模（通过限制不同地理区域之间交易来实现）的不同，我们分为“宽松情景”和“受限情景”。在此维度基础上，继续根据初始情况下获得的配额指标数量是否一致进一步划分情景。

这四种情景根据中国目前电力部门的实际情况构建，并特别考虑了不同类型电厂的混合发电方式、不同类型燃料对应的税费以及不同类型电厂的成本。本次模拟的 32 位参与者来自中国主要的发电企业。模拟情景下，每个参与者管理一家虚拟电力公司（VPC），每家公司下对应有一系列不同类型的发电厂。且每种情景有 8 位参与者（即 8 家虚拟电力公司）。

每家虚拟电力公司必须在日趋严格的碳约束条件下满足增长的发电需求，虚拟电力公司每年可获得一定数量的免费排放配额。每名参与者通过一套 EXCEL 工具，管理他们自己的虚拟电力公司。他们可以通过使用 EXCEL 表格进行运营、新建电厂以及交易的模拟，找到一个发电利润最优化的组合方式。

该模拟要求所有虚拟电力公司必须在碳排放约束下履行发电义务，最终获得最多利润的虚拟电力公司将成为获胜者。由于有两个情景下将虚拟电力公司分别设置成买家和卖家，因此，根据虚拟电力公司初始资源设置的不同，一共分为 6 组来确定获胜者，最终，从每个初始资源配置相同的组中各评选出一名获胜者。

模拟结果概述

模拟的主要产出结果如下。主体报告中还将有更深入的讨论和详细的附录说明。

虚拟电力公司的表现

超过 90% 的虚拟电力公司能够在满足碳约束的同时履行发电义务并盈利。竞争很激烈：有一半虚拟电力公司的收入同他们组冠军的收入差在 10% 以内。

交易越活跃，财务业绩越良好。一般来说，交易活跃的虚拟电力公司盈利能力可能比同组其它参与者都好。

有两家虚拟电力公司未能获得足够的排放权，以满足它所拥有的电厂发电所排放的二氧化碳，并且将面临罚款：即 1500 元/吨二氧化碳（相当于 176 欧元或 240 美元）。

碳市场模拟结果

“宽松”交易情景下的交易量是“受限”交易情景下交易量的两倍多。

碳价随着履约难度的加大而上升，这种情况在“受限”情景（即交易区域受限、可使用的碳抵消量比例偏低）下表现更明显。

从非参与者手中购买的碳抵消量占总交易量的 88%。参与者将此归因于购买碳抵消量相对于从其他参与者手中购买配额更容易，并且在一定程度上可以在避免与自己处于竞争地位的虚拟电力公司交易的情况下获得碳信用额度。

有几个参与者试图通过影响配额价格来增加他们持有碳的价值。例如，某个情景下的一位参与者在第五年末用极高的价格购买了少量配额，从而拉升了配额的平均价值，即使得他们手中持有配额的总价值上升，而目的在于增加虚拟电力公司总体的赢利能力（模拟结束后，需按配额的平均价值将参与者手中剩余的配额进行折算）。

解析

从模拟结果我们可以得出以下结论：

- 中国的电力企业可以在满足它们电力生产要求的情况下适应新的碳排放约束。
- 当面临碳约束、增长的发电需求、管理一系列发电厂（包括新建和现存电厂）以及它们各自的碳排放情况、成本结构和配额约束时，电力企业会做出最优选择。
- 碳排放交易体系市场机制设计对市场整体功能、个体公司在其中的运营方式以及整体和个体的运营效率都有直接影响。
- 覆盖面广、一体化、交易规则灵活的市场可以以更低的成本来满足碳排放限制。
- 一般来说，在市场中交易活跃的公司往往效益最好。
- 碳抵消（由非交易方提供）可以有效的为参与者提供低成本的履约机会，特别是相对于和其它参与者交易配额的来说成本较低。

对中国设计全国性碳排放交易体系的启示

这次模拟对政策及其它模拟设计均有许多启示。

总体来看，两个“宽松”情景中的交易在所有情景中占到了三分之二，这使得模拟结果更倾向于强调“覆盖面广、交易规则灵活”的市场将提供成本最低的履约路径。

- 政策建议：分区交易会降低交易量。大范围市场更易激发流动性并提高市场效率。碳抵消量交易大大超过了配额交易，所有情景中有 80% 以上的交易均是碳抵消量交易。通过参与者的反馈可知，参与者更倾向于碳抵消量交易是因为其更容易获得想要购买的量（而价格合适的配额交易可能并不能提供足够的交易量），并且，在某种程度上，碳抵消量交易避免了通过交易使自己的竞争方获利。
- 政策建议：中国碳抵消量项目的巨大潜力是显而易见的。提供一个具有广泛抵消市场机制的交易体系可以促进具有成本效益的履约。同时，抵消市场也需要建立监督、审查和复核机制来确保抵消信用的有效性（例如，确保抵消信用真实性）。
- 对潜在模拟的优化建议：应考虑发展和应用更复杂的抵消供给曲线，更直接适用于中国市场碳抵消的量、价格和有效性。
- 如上所述，只有两家虚拟电力公司未能完成排放履约，可以认为同模拟中设计的严厉的惩罚机制有关。
- 政策建议：对于未履约的重大违规处罚有利于加强履约行为，因为这对碳排放交易下的参与者来说是一个很坏的选择。尽管如此，本次模拟并未测试出惩罚的敏感性以及力度。

- 模拟交易的拍卖过程影响交易行为。可对排放交易市场上交易情况进行管理的体系对市场整体效率有显著影响。
- 政策建议：区分买方卖方市场、不能提供连续匹配订单的规制会降低潜在的交易数量、影响结算价格，并对整体市场效率有消极的连锁影响（尽管在某些情况下，这种规制是为了某些其它的经济目标）。
- 对潜在模拟的优化建议：应考虑发展一个允许买单卖单最优匹配的独立模拟平台。
- 电力企业在不同电厂之间的调度对能否实现最大利润是极为关键的步骤。允许企业之间进行发电需求的交易可进一步增加灵活性和效率。
- 政策建议：可考虑发电量交易的可行性，这种方式更能有效利用整个市场的资源，使不同的发电单元更有效地在特定排放量下满足特定的发电需求。
- 参与者会对比配额交易的成本是否小于他们使用可替代资源（包括新建清洁能源电厂）减排的最小成本，来选择是否进行交易。模拟中，参与者在决定新建电厂时，往往考虑建设核电站，尽管核电站建设有显著的建设和运营维护成本。
- 对潜在模拟的优化建议：应考虑应用营运资本预算，这样可以为参与者在制定新建投资决定时提供一个更现实的约束。