

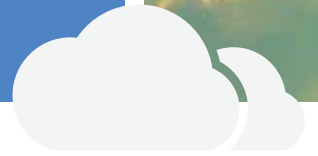


温室气体核算体系
GREENHOUSE GAS PROTOCOL



中国燃煤电厂温室气体排放 计算工具指南

GUIDANCE: GHG PROTOCOL CALCULATION TOOL
FOR CHINESE COAL-FIRED POWER PLANTS



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

石晓宇 Stephen Russell 朱晶晶 2013年6月

Disclaimer:

This guidance and associated spreadsheets have been prepared with a high degree of expertise and professionalism, and it is believed that the Spreadsheets provide a useful and accurate approach for calculating greenhouse gas emissions. However, the organizations involved in their development, including WRI, WBCSD, and any other organization involved, collectively and individually, do not warrant these Spreadsheets for any purpose, nor do they make any representations regarding their fitness for any use or purpose whatsoever. Each User agrees to decide if, when and how to use the Spreadsheets, and does so at his or her sole risk. When using the tools provided on the GHG Protocol website, you agree that you are not entitled to rely on any information generated using these worksheets. You further agree to hold WRI, WBCSD, and any of their partners in the creation of the tools, harmless for loss you might suffer arising out of: any inaccuracies in numbers generated by the worksheets or variation between predictions and your actual results. Under no circumstances shall WRI, WBCSD, or any of their partners that helped create the tools, be liable for any damages, including incidental, special or consequential damages, arising from the use of these Spreadsheets or an inability to use them.

If you distribute these tools through any means other than the GHG Protocol website at www.ghg-protocol.org, you should check the website to ensure the tool being provided is the latest version available, and provide information to users on how to check for updates and revisions to the tools.

WITH SUPPORT FROM:



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



Implemented by

giz Nationale Dienststelle für Internationale Zusammenarbeit (DIZ) GmbH

This study is made possible by the generous support of the American people through the United States Agency for International Development (USAID). The contents are the responsibility of World Resources Institute and do not necessarily reflect the views of USAID or the United States Government.

致谢

两年世界资源研究所与中国电力企业联合会合作的建立，拉开了本出版物相关研究工作的序幕。今天我们很高兴能借此出版物，对两年来中国燃煤电厂温室气体核算领域的工作做个总结，与更多的业界友人分享我们的研究成果，期待工具得到更广泛的认可和应用。

这一成果的问世离不开众多专家和同事对我们工作的大力支持与配合，在此向参与项目的各方表示最诚挚的谢意！首先，我们大力感谢下列来自电厂、电力公司、研究所等国内外机构的专家、学者（按姓氏拼音排名），他们与我们分享国际经验，帮助我们理解现状，提供方法学建议，参与路测，协助案例编制等：

Chapman, David	Xcel Energy	林明彻	美国自然资源保护委员会（中国项目）
Davis, Paul	Platte River Power Authority	李莹	中国水利电力物资有限公司
Diem, Art	US Environmental Protection Agency	刘小燕	广东粤华发电有限责任公司（广州黄埔发电厂）
Foran, Peggy	The Climate Registry	潘丽	中国电力企业联合会
Langefeld, Lars	Federal Environmental Agency German Emissions Trading Authority	钱国强	北京中创碳投科技有限公司
Qian, Song	The University of Toledo	石丽娜	中国电力企业联合会
Robyn, Camp	The Climate Registry	舒泽平	中国华电集团公司
Schreifels, Jeremy	US Environmental Protection Agency	许月阳	国电科学技术研究院
Vollaro, Bob	US Environmental Protection Agency	邢德山	中国电力企业联合会
陈谋万	广东省粤电集团有限公司沙角C电厂	杨建国	浙江大学能源清洁利用国家重点实验室
储炳南	京能集团	叶果	广东省粤电集团有限公司
代世峰	中国矿业大学	徐伟嘉	中山大学先进技术研究院
胡敏	能源基金会	施永健	华能南通电厂
林翎	中国标准化研究院	曾德勇	中国华能集团公司
李芳	神华国华北京热电分公司	朱松丽	国家发展和改革委员会能源研究所
李莉	中国科学院广州能源研究所能源战略研究中心	赵光耀	广东电力发展股份有限公司沙角A电厂
李宗哲	必维国际检验集团	邹骥	国家应对气候变化战略研究和国际合作中心
李承军	广东省粤电集团有限公司	张武英	中山大学先进技术研究院
李立勋	中国华能集团公司安全部	张瑞坤	神华国华国际电力股份有限公司北京热电分公司

此外，山西、浙江等省的十九家（热）电厂匿名参加了问卷调查，帮助我们了解并核对了燃煤电厂温室气体核算基础数据一线现状，为保证计算工具的实用性奠定了良好的基础，在此一并感谢。

计算工具和指南的编写，亦得到世界资源研究所（World Resources Institute）诸多领导和专家的大力支持和指导。在此特别向科学与研究副主席Janet Ranganathan、中国区前首席代表邹骥、现任首席代表李来来、现任副首席代表谭晓梅、温室气体核算体系总监Pankaj Bahtia、出版总监Hyacinth Billings，以及宋然平、房伟权、杨爱伦、雷红鹏、David Rich、Neelam Singh、Mary Sotos、Stacy Kotorac等同事表示诚挚的谢意。实习生张雯、李琦、于洋等在项目的不同时期也发挥了重要作用，特此感谢他们的辛勤劳作及贡献。

最后，我们要感谢美国国际开发署（United States Agency for International Development）、美铝基金会（Alcoa Foundation）、通用电气基金会（GE Foundation）、德国国际合作机构（Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit）和能源基金会对本计算工具及相关工作提供重要资金支持。

执行摘要

中国是煤炭大国,长期以来依靠燃煤发电支撑经济发展。2010年,75%以上的电力需求靠燃煤发电满足¹。燃煤发电为中国经济发展作出重大贡献的同时,也带来很多地方和全球范围的环境问题,深刻地影响着中国的可持续发展。国际能源署数据显示,2010年中国燃料燃烧二氧化碳排放有48%来自燃煤发电²。中国正在积极地进行能源结构多样化转型,可再生能源发电装机容量不断增加,但短期内煤炭主导的局面较难有显著改善。《能源发展“十二五”规划》预计“十二五”时期全国新增煤电机组3亿千瓦,2015年末煤电装机容量达9.6亿千瓦,占发电总装机容量的64%。妥善解决煤电带来的环境问题对于中国的可持续发展以及减缓全球气候变化都至关重要。

中国的温室气体管理工作不能避开煤电行业绕道而行。毫无疑问,要实现有效的温室气体排放管理,首先就要做好温室气体排放核算工作。然而,目前中国电力行业温室气体核算缺乏公认、规范的核算标准,普遍采用简化计算方法,以估算为主,难以反映电厂、电力公司之间的排放强度(绩效)差异,与国际先进经验存在较大的差距。

为改变这一现状,世界资源研究所与中国电力企业联合会(简称为“中电联”)等单位合作,共同开展了燃煤发电温室气体排放核算方法研究及其他相关工作,以便为更加科学、细致的煤电行业温室气体核算工作奠定良好的基础。目前,在中电联的牵头努力下,“燃煤电厂二氧化碳排放统计计算方法”作为合作成果之一,有望成为中国燃煤电厂温室气体排放核算标准。

中国燃煤电厂温室气体排放计算工具用于计算中国燃煤电厂(包括燃煤热电联产厂)二氧化碳排放总量及绩效。本工具借鉴国内外先进经验,采用上述“统计计算方法”所界定的排放计算范围、公式以及指标,同时充分考虑了中国燃煤电厂的现实情况,方便用户开展燃煤电厂的温室气体排放核算。

用户群

本工具用户群包括但不限于以下两类,任何对发电温室气体排放核算、预测有兴趣的组织或个人,都可以使用本工具。

- 燃煤发电企业

使用本工具或本指南,燃煤发电企业可以计算出关键排放数据,建立电厂层面温室气体排放清单。此外,这些企业还可以使用工具对自身排放进行定期的核算和比较。持续的数据记录可帮助企业设立减排目标,跟踪减排过程,方便企业向主要利益相关者提供可信、有效的排放报告。

- 政策制定者

政策制定者在制定温室气体排放“测量、报告、核查”以及其他管理政策时可以参考本工具及指南。例如,北京、上海和广东等地正在或即将建立排放权交易体系,政策制定者可以借鉴、依托本工具建立起包括电力行业在内的排放量核算体系,为排放权交易服务。

主要特点

本工具用于计算设施级别(一家电厂)的温室气体排放数据,具有以下几大特点:

- 关注重点

本工具与“燃煤电厂二氧化碳排放统计计算方法”一致,集中考察燃煤电力生产温室气体主要排放源和种类,即煤炭燃烧、湿法脱硫、外购电力或蒸汽消耗过程的二氧化碳排放。本工具对于其他温室气体直接排放源(如发电机组的启动过程)及其他温室气体种类(如氧化亚氮)暂不做计算,也不覆盖其他燃煤电厂上下游排放(如煤炭开采散逸排放)。尽管如此,本工具能够计算燃煤电厂最主要的直接排放。随着未来温室气体排放核算在中国燃煤电厂的不断推广及基础数据的不断充实,本工具将逐步得到完善,覆盖更全面的排放源和气体。

- 广泛适用

中国燃煤电厂现有温室气体排放核算基础数据存在较大差异,涵盖指标不尽相同,测量频度、对象有差异。鉴于此,本工具设计提供五种煤炭固定燃烧排放量计算方法,方便用户根据自身现有数据基础,选用合适的方法。例如,某电厂还未建立起完整的温室气体排放计算基础数据体系,仅有全厂每月的煤耗量和煤炭低位发热值数据,用户可以使用本工具进行相关二氧化碳排放量计算;而另一电厂执行了较完善的数据收集过程,拥有高质量、较全面的数据(如拥有大量机组层面实测数据),用户也可以使用本工具,通过选用相应的方法,获得更能反映电厂实际操作、生产的计算结果。工具中的多个计算方法也为电厂进一步完善数据体系提供了一个可参考的方向,方便企业作情景分析,挖掘减排潜力。

- 弥补现有数据缺陷

用户可以依托较常见的煤炭工业分析数据,实现较精确的排放计算。为了更好地反映客观情况,煤炭固定燃烧二氧化碳排放计算,需要用到煤炭含碳量(一般来自元素分析结果)和表征碳元素实际氧化程度的数据。然而,现阶段中国电厂普遍不做煤样元素分析,缺少含碳量数据,但拥有煤炭固定碳含量等工业分析数据。为弥补这一数据缺陷,本工具提供了煤炭含碳量推算模型,这一模型利用公开的煤质数据库开发而成,为实现最为精确的排放计算提供过渡方法。工具鼓励开展煤炭元素分析、使用元素分析数值计算排放。

本工具目前能够计算燃煤电厂绝大部分温室气体排放,可以满足集中精力有效优化电力企业、行业减排方案的需要。然而,电力公司的结构比电厂更为复杂,制定电力公司完整的温室气体排放清单还需要考虑其他排放源和温室气体,并涉及其他温室气体排放核算方法、各设施排放的合并等问题。因此,欲制定电力企业全面完整的排放清单,用户应在使用本工具计算单个电厂排放的同时,参照使用其他标准及工具,如温室气体核算体系的《温室气体核算体系:企业核算与报告标准》及交通与移动源温室气体排放计算工具等。

与工具配套的本使用指南,具体介绍工具的开发过程、特点、结构、用途、计算公式、各工作表功能和数据要求等,供从事温室气体核算的用户或其他研究人员参考。

Executive Summary:

Like many other coal rich countries, China depends heavily on coal to meet its electricity and economic development needs. In 2010 coal combustion supplied 75% of the country's electricity needs³ and accounted for 48% of its greenhouse gas (GHG) emissions from fossil fuel combustion⁴. This reliance on coal is a source of domestic and international environmental problems. In response, China has been diversifying its energy mix and increasing its renewable energy generation capacity. However, the dependence on coal will continue into the near future - an additional 300 GW of coal-fired generation capacity is expected to be added to the power supply system throughout China's 12th Five Year Plan [2011 – 2015]. By 2015, the total capacity of coal-fired power generation units in China is expected to exceed 960 GW and account for 64% of overall generation capacity⁵.

Effective measurement is an integral first step to managing emissions - GHG emissions inventories establish a basis for designing climate change policies and emissions reduction action plans. The accurate measurement of the GHG emissions from coal-fired power generation needs to play a crucial role in mitigating and managing China's national emissions. Historically, though, inventories of China's power sector emissions have represented rough estimates that did not sufficiently address the variances in generation efficiency and coal quality amongst power plants. The methodologies used diverge from international accounting best practices, which has been facilitated by the absence of a Chinese sectoral guidance.

The World Resources Institute (WRI) and China Electricity Council (CEC) partnered to develop technical resources for determining the emissions from Chinese coal-fired power plants through a collaborative, multi-stakeholder process. This includes a methodology for measuring emissions, informed through analysis of international best practices and the current measuring and reporting practices related to GHG emissions accounting in China's power sector. The new methodology is the basis of impending GHG accounting standards for Chinese coal-fired power plants.

Building on this methodology, WRI and its partners also created an Excel-based Calculation Tool for Chinese Coal-fired Power Plants to help users quantify the GHG emissions from individual power generation facilities. This tool addresses data availability challenges specific to the Chinese coal-fired power sector, is applicable to combined heat and power (CHP) plants, and calculates performance indexes. It also has user-friendly features, such as the built-in emissions factors of purchased electricity for scope 2 emissions calculation, to make it easier to perform the calculations.

Target Users

The resources can be used by any organization or individual, although they are specifically intended for:

Power companies

Power companies can use these resources to understand the GHG emissions profile of their operations and assets, by plant and source. The resources will also enable companies to set and track progress toward emissions reduction targets over time as well as to report on their progress to key stakeholders.

Policy-makers

Policy makers, such as those in provincial development and reform commissions, can refer to the tool and guide while designing Measurement, Reporting, and Verification (MRV) systems and other GHG management policies. For example, the resources can be used to inform how individual power plants measure and report their GHG emissions under cap-and-trade schemes that are under development in China, such as those in Beijing, Shanghai, and Guangdong.

Overview of the Tool and Guide

This guide outlines the tool's development process, features and structure, calculation equations, spreadsheet functions, and data requirements, etc. Key features of the tool include:

Focus on primary emissions sources and types.

The tool focuses on the most important GHG emissions from coal-fired power plants - the CO₂ emissions from coal combustion, desulphurization of flue gases, and consumption of purchased electricity or steam. It does not include other, less important emissions sources and GHGs that are associated with power production (e.g., CH₄ and N₂O emissions, or the upstream GHG emissions from the extraction and transport of coal and the start-up process of generation units, etc.). These simplifications provide a cost-effective basis for prioritizing emissions reduction efforts in the sector. However, GHG Protocol plans to update the tool over time to include additional emissions sources and to reflect changes in GHG accounting practices in the sector.

Applicability to a wide range of plants.

Chinese power plants differ widely in the types of information, such as whether carbon content of post-combustion ash is measured regularly, available to them that are suitable for calculating GHG emissions. The tool outlines five alternative modules in an ascending order per accuracy to cater to the circumstances of different plants and help plants enhance their data infrastructure and scenario analysis for emissions reductions. For example, power plants with only average figures for the heating value of coal and monthly coal consumption can choose the most simplified module (#1) to calculate emissions. Power plants with more comprehensive data (e.g. coal quality measured and recorded for each generation unit) can use a more sophisticated module than module #1 to obtain a more specific emissions profile of its activities.

Bridging existing data gaps

Coal is measured using elemental and proximate analyses to reflect its chemical composition and physical properties. One of the results of elemental analysis, carbon content, can be used directly to calculate CO₂ emissions factors for coal combustion. However, Chinese coal-fired power plants rarely conduct elemental analysis, preferring proximate analyses instead, and thus do not have carbon content data for the coal they burn. In order to bridge this data gap, the tool incorporates a statistical model, built on the theoretical relationship between carbon content and proximate analysis results, to indirectly calculate site-specific emissions factors. This model is based on publicly available full-spectrum coal quality data and provides a transition method toward the direct use of carbon content in determining emissions of coal combustion.

This tool is intended for plant-level GHG accounting. Power companies desiring a more comprehensive picture of their emissions profile may wish to develop a corporate-level inventory that consolidates information from across their power plants and other facilities and sources. The development of a corporate inventory entails additional considerations, such as the adjustment of base year emissions. Consequently, power companies should consult the GHGP Corporate Accounting and Reporting Standard for guidance and may wish to use other tools available on GHG Protocol website (www.ghgprotocol.org).



目录

执行摘要

第一章 背景	3
1.1 中国气候变化政策与温室气体排放核算	4
1.2 电力行业温室气体核算	4
第二章 工具概览	5
2.1 简介	6
2.2 开发过程	7
2.3 特点	8
2.4 用户群及用途	9
第三章 工具运营边界和基本结构	10
3.1 运营边界	11
3.2 基本结构	13
第四章 数据类型及前期数据准备	14
4.1 输入数据类型	15
4.2 内置参数	18
4.3 前期数据准备	19
第五章 工作表功能和数据要求	21
5.1 “工具简介”工作表	22



5.2 “电厂基本情况”工作表	23
5.3 “默认系数”工作表	24
5.4 煤炭固定燃烧排放“方法综述”工作表及各方法工作表	24
5.5 “脱硫”工作表	28
5.6 “外购电、蒸汽”工作表	29
5.7 “计算小结”工作表	29
5.8 “横向比较”工作表	31
第六章 计算公式	33
6.1 排放量化公式	34
6.2 排放分配公式	38
6.3 排放绩效公式	39
6.4 含碳量推算模型	40
附录A 煤炭含碳量推算模型及误差对比	43
附录B 热电厂排放分配	49
附录C eGRID数据库简介	50
附录D 范例	52
附录E 回归分析样本统计值	61
术语表	63
参考文献	66
注释	68

第一章 背景



4 中国气候变化政策与温室气体排放核算
电力行业温室气体核算



1.1 中国气候变化政策与温室气体排放核算

减缓和应对气候变化已成为中国发展的重要议题。中国对二氧化碳排放强度既确定了中长期下降40%~45%的目标,又在2011年制定了短期下降17%的约束性指标⁶。为实现这些低碳发展目标,中国实施了包括低碳试点以及碳排放交易在内的一系列政策措施⁷。例如,北京、上海和广东已于2012年分别正式启动了碳交易试点,企业成为重要的参与者。

温室气体排放核算是温室气体管理工作的基础,对各项低碳政策措施的有效实施起着至关重要的作用。上述气候变化政策对中国温室气体排放核算提出了全新的要求,除国家、省级排放清单外,需要进行更深入基层的温室气体核算,也需要完善相关能力及制度建设。“十一五”期间国家发展和改革委员会(以下简称“发改委”)启动了“建立中国温室气体清单数据库”项目,开展了省级温室气体清单编制工作。然而,低碳排放交易试点的确立使得仅在区域层面进行核算已不能满足政策需要。《“十二五”控制温室气体排放工作方案》(以下简称“《方案》”)中特别提到要加强温室气体排放核算工作,研究制定重点行业、企业温室气体排放核算指南⁸。

专栏1 企业编制温室气体排放清单的意义

各国政府为减少温室气体排放制定了政策并采取了措施,例如推行排放量交易、自愿性碳减排或交易项目、碳税、能源税,出台了各种针对提高效率和降低排放量的制度和标准。因此,企业若要在激烈的竞争中取得长足的胜利,就必须了解并控制自身的碳排放量,并且为未来气候变化相关政策的出台做好准备。

温室气体排放核算需要从各个渠道搜集不同温室气体排放的信息,并找到这些排放相对应的企业活动和部门。温室气体核算的最基本成果是温室气体排放清单。一份设计合理并持续更新的温室气体清单能使企业更好地理解其排放情况,规避相关的商业风险并把握机会。

企业可以在以下几个方面应用温室气体排放清单:

- 识别企业降低成本的机会
- 衡量企业业绩,挖掘提升企业竞争力的潜力
- 参与温室气体排放市场
- 为投资者和其他利益相关方提供信息
- 评估企业责任,追踪并最终达成企业社会责任目标
- 满足温室气体政策要求

1.2 电力行业温室气体核算

电力行业尤其是煤电行业,对中国温室气体减排目标的实现举足轻重。然而,现阶段电力行业的温室气体核算工作薄弱,普遍采用简化方法,以估算为主,难以反映电厂、电力公司之间排放强度(绩效)差异,也缺乏公认、规范的核算标准,与国际先进经验存在显著差距。

为改变这一现状,2010年6月,在能源基金会、美国国际开发署、美铝基金会、通用电气基金会的资助下,世界资源研究所与中电联结成合作伙伴,共同开展燃煤电厂温室气体排放监测统计方法研究。通过研究国内燃煤电厂温室气体排放特点、现状和规律,借鉴国际燃煤电厂温室气体排放统计监测先进实践经验,研究确立了符合中国国情的燃煤电厂温室气体统计监测方法,编制了“燃煤电厂温室气体排放量统计监测方法研究”报告,其中包括“燃煤电厂二氧化碳排放统计计算方法”,该报告为电力行业专项温室气体排放核算标准的出台奠定了基础,也为本工具的设计提供了核心方法。

第二章 工具概览



- 6 简介
- 7 开发过程
- 8 特点
- 9 用户群及用途



2.1 简介

中国燃煤电厂温室气体排放计算工具以中国燃煤电厂以及热电（联产）厂（以下统称“燃煤电厂”）为对象，在微软Excel软件中开发运行，用于计算燃煤电厂年度主要二氧化碳排放量及相关绩效指标。工具的开发旨在帮助降低中国燃煤电厂温室气体核算成本，促进核算规范化，为企业和政府的温室气体排放管理服务。工具在借鉴相关国际先进经验的同时，也充分考虑了中国电力行业统计框架，以及电厂现有运行管理实践。工具坚持《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》所遵循的政策中立性，工具本身不单一服务于某一特定的政策或温室气体计划，而是能够适应政策、市场或者特定项目框架的需要，在不同时期同样有效地服务于燃煤电厂、政策制定者和投资方管理或决策过程。

本工具用于计算单个燃煤电厂的温室气体排放，是一个设施⁹层面的工具。温室气体排放清单的编制对象可大可小，小到单个排放源、设施、企业，大到省或国家。本工具之所以在单个电厂这一设施层面提供计算，除与中电联推进的“燃煤电厂温室气体排放计算方法标准”保持一致外，还考虑到设施核算的广泛适用性或者说基础性特点。电厂排放核算为公司和行业温室气体排放核算和管理奠定基础，也为相关宏观政策分析、执行提供重要的基层信息。

专栏2 设施核算的意义

设施排放核算是一件基础性的工作，具有重要的意义：

- 为企业温室气体管理奠定基础

设施层面的核算可以作为企业层面核算的起点，结合组织边界的设定，服务于企业排放核算。企业（公司）往往拥有或控制多个位于不同地点的设施（如生产工厂），因此企业温室气体排放核算也往往需要整合多个设施的信息。整合需要在定义了企业的组织边界之后开展，往往不是简单地加和所有设施的排放。组织边界决定企业清单应该包括哪些设施，包括设施中哪些运营环节和排放源，以及应纳入排放的百分比份额等。

对于组织边界、运营边界的具体讨论，参见《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》。

另外，企业也可以通过比较设施之间的排放绩效，开展对标，识别减排机会。

- 协助解决某些特定的区域核算问题

例如，电力行业设施层面的核算可以用于开发电网或地区电力排放因子，从而方便区域内其他类型组织开展范围二排放核算。例如，美国国家环境保护局依靠发电设施（电厂）排放数据，开发了区域电网排放因子（eGRID，见附录C）。

- 协助政府有效监管温室气体排放

政府需要通过监督和强制实施来保证其对行业的监管。随着企业的大型化、国际化，企业往往在全国各地乃至全球各地拥有或控制多个设施。而地方政府仅对该公司在其辖区范围内的某个（或某几个）设施有监管权。这样，设施核算更与地方的监管权及方式匹配，设施层面的核算提供了在当前或者将来的监管体制下进行报告所需的专业技术和数据。

表2.1 国际经验回顾

国家/区域	资料名称
北美	1. 北美气候登记处 (TCR) : 自愿报告项目电力行业标准, 2009年6月第一版
欧盟	2. 欧盟委员会2007年7月18日决议 (2007/589/EC) : 温室气体排放监测与报告指南
美国	3. 40 CFR Part 75 美国国家环境保护局联邦法典第40卷第75条 (连续排放监测) 4. 40 CFR Part 98 美国国家环境保护局联邦法典第40卷第98条强制温室气体报告
澳大利亚	5. 国家温室气体和能源报告及系列规定
通用	6. 温室气体核算体系固定燃烧排放量计算指南 7. 温室气体核算体系热电联产厂温室气体排放量分配计算工具及使用手册 8. 2006年IPCC国家温室气体清单指南

2.2 开发过程

自与中电联合作、成立项目课题组以来,为确保工具的实用性、先进性、以及科学性,工具开发经历了以下几个重要环节:

- 回顾国际实践经验及国内统计体系,开展专家咨询

为保证工具的先进性,中电联与世界资源研究所调查研究了国际上主要相关温室气体排放核算和报告项目及指南(参见表2.1)对燃煤电力生产排放核算的具体规定。回顾发现,报告项目(国家的和地区的)都要求发电企业遵循具体的温室气体量化方法,而且尽管这些规定在某些细节上存在差异,但也呈现共性。本工具遵循了这些共性,包括:

- 同时包括煤炭固定燃烧和湿法脱硫过程这两个排放源
- 除连续监测外,允许使用从燃煤耗量出发计算排放的量化方法
- 提供一套分层的燃煤排放量化方法,企业可根据活动水平等数据的可得性以及生产、排放规模等选择与企业情况相适应的具体计算公式
- 对热电联产电厂排在供热和发电两个生产活动或产品间实施分配

此外,为保证工具的实用性,我们首先对中国现有燃煤电力行业统计指标体系进行了研究,特别回顾了国内相关标准及统计数据上报体系,包括DL/T904-2004《火力发电厂技术经济指标计算方法》、GB/T2589《综合能耗计算通则》等。在此基础上,我们还开展了多轮专家咨询,以了解各项相关标准在电厂的执行和使用状况。

- 形成中国燃煤电厂二氧化碳排放量统计计算方法研究成果

中电联与世界资源研究所于2011年11月完成了中国燃煤电厂温室气体排放核算研究,形成了“中国燃煤电厂二

氧化碳排放量统计计算方法”(以下简称“统计计算方法”)。该研究在上述案头工作的基础上,还就统计计算方法的范围、具体公式及可操作性等方面,广泛征询听取了来自中国有关电力企业、研究机构的专家学者的意见和建议。

“统计计算方法”作为研究成果,是本工具开发的核心依据。同时,在中电联的牵头努力下,该“方法”也有望成为中国燃煤电厂温室气体排放核算行业标准或国家标准¹⁰。结合“统计计算方法”标准化工作截至2012年末的进展,工具相应的更新了计算公式。在核心概念、计算公式等方面,工具保持了与潜在标准的一致性。

- 开展问卷调查,获得电厂一线信息

通过问卷方式,工具调查验证了国内燃煤电厂的温室气体排放基础数据统计实践,获得了如统计指标、统计频度等对工具开发设计十分有用的一线资料。来自11个省的19家燃煤电厂(包括8家热电厂)参与了问卷调查。调查回复反映出电厂实践存在多样性。本工具尊重这一现实,在遵守潜在标准的基础上,通过提供多种选择,保证工具具有广泛适用性。

- 建立煤炭含碳量推算模型及方程参数

煤炭含碳量是二氧化碳排放核算的关键变量,而中国电厂普遍没有该变量数据,但普遍有同样表征煤炭质量的工业分析数据。针对这一现状,我们开展了文献回顾与专家咨询,确定了含碳量与工业分析指标有理论与实证关系。最后,运用公开的国际煤炭质量数据库(World Coal Quality Inventory)数据,通过统计回归分析,我们总结出运用煤炭工业分析数据(固定碳含量、挥发分、灰分、发热量)合理推算煤炭含碳量的回归方程及参数。本工具应用了这一分析结果,详细解释及讨论见第五章、第六章、以及附录A。

- 开展两轮工具路测

在工具的开发过程中,我们开展了两轮路测。第一轮有广东和江苏的3家燃煤电厂参与测试,提供反馈意见;第二轮有8家机构(电厂、研究所、第三方审计服务商、CDM开发公司)参加了网络介绍会,其中5家提供了工具测试反馈意见。这些反馈意见,在更大程度上保证了工具的实用性与科学性。

2.3 特点

本工具在《温室气体核算体系:企业核算与报告标准》相关、完整、一致、透明、准确五大温室气体核算原则的指导下,以科学实用、用户友好、政策中立为目标,经由开放性过程开发而成。工具具有以下特点:

- 在范围、核心计算公式及固体未完全燃烧损失参数方面,工具与正处于标准化过程中的“燃煤电厂温室气体排放统计计算方法”⁹保持一致;
- 对于热电厂,可实现总排放在发电、供热两类产品上的分配。工具分别给出发电、供热排放量和排放绩效,体现热电厂热效率高、发电排放相对低的特征;
- 依托一般燃煤电厂现有运行统计数据基础,用户无需为核算进行专门数据测量,也可尽量避免使用假设或默认数据;
- 计算详尽,方便比较。如以单个发电机组作为基础计算单元,方便机组之间的比较;以月数据作为基础计算单元,汇总年数据,体现季节变化,方便细度分析;自动计算绩效数据,方便横向、纵向比较;内置美国燃煤电厂、热电厂排放绩效数据,方便同行业比较;
- 充分考虑不同燃煤电厂数据测量及记录差异,提供多种煤炭固定燃烧排放计算方法,方便用户根据目标电厂煤炭质量和氧化程度数据的可得性,选用合适的方法进行计算;
- 内置多种默认值或参数,如中国《省级温室气体清单编制指南(试行)》提供的分煤种分部门单位热值含碳量,方便用户进行计算。

2.4 用户群及用途

本工具的首要目标用户群为需要对中国境内的燃煤电厂进行设施层面温室气体核算的专家、学者及实践工作者。此处所指的燃煤电厂包括电力公司的燃煤电厂或热电厂，也包括其他行业的自备电厂，如钢铁公司的自备燃煤电厂。政府部门或研究机构可依托本工具搭建更加全面、系统的核算报告体系，开展相关政策研究，制定切实可行的电力行业减排政策。关注社会责任的投资方也可运用本工具，了解目标燃煤电厂的温室气体排放表现，做好气候变化风险控制。

实现减排的关键之一在于测量和追踪排放。通过使用本工具，用户可实现以下热电厂、电力企业集团、电力行业以及国家各层面的核算目标及任务（见图2.1）：

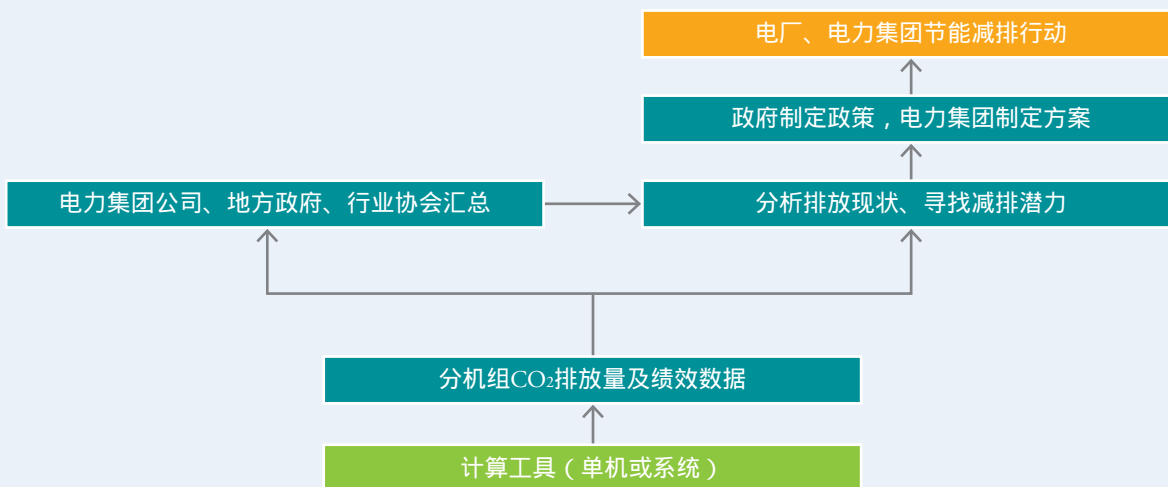
基础层面：

核算电厂分机组主要二氧化碳排放量、排放构成及排放绩效（例如，单位发电量二氧化碳排放），为电厂排放管理以及达到国家在《方案》中提出的相关要求奠定重要数据基础。《方案》要求重点排放单位完善温室气体排放和能源消费台账记录，直接报送能源和温室气体排放数据。

扩展层面：

- 建立电力集团层面能够体现电厂差异的温室气体排放清单，识别排放热点，帮助编制集团减排规划、管理排放等；
- 为政府设定电力行业温室气体减排目标等政策的制定提供依据。例如减排总量的设定及减排任务的分配、碳交易下排放限额的设定等。
- 建立详细、完备的中国电力行业温室气体排放清单，并进行有效的行业排放管理及政策分析；

图2.1 工具的基本用途及扩展用途



第三章 工具的基本用途 及扩展用途

-
- 11 运营边界
 - 13 基本结构



3.1 运营边界

与正在经历标准化过程的《中国燃煤电厂二氧化碳排放量统计计算方法》一致，目前工具仅计算燃煤电厂最主要的温室气体排放（见表3.1）。从温室气体种类来讲，目前工具仅计算CO₂排放；从排放源角度来讲，工具现仅包括最核心的三类燃煤电厂排放源，即煤炭固定燃烧、湿法脱硫工艺以及外购电力、蒸汽。其中，因工具以电厂作为核算对象，为设施层面排放核算工具，煤炭燃烧排放和湿法脱硫排放属于其范围一排放，而外购电力及蒸汽产生的排放属于其范围二排放。

表3.1 工具现有运营边界

气体、排放源及范围	适用	不适用
CO ₂ 排放		
范围一		
<ul style="list-style-type: none"> 煤炭固定燃烧 	✓	
<ul style="list-style-type: none"> 湿法脱硫 	✓	
<ul style="list-style-type: none"> 其他源（如移动燃烧） 及其他燃料（如轮胎） 		✓
范围二	✓	
范围三		✓
其他温室气体		✓

电力生产涉及一系列排放源，排放多种温室气体。用户在编制和完善电厂、电力企业温室气体排放清单的过程中可参考表3.2，并参考《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》中关于组织边界和运营边界的说明，对范围归属做出判断。

表3.2 电厂温室气体种类及排放源总览¹¹

排放源		温室气体种类
过程分类	相关设备/技术	
火力发电过程	<ul style="list-style-type: none"> • 锅炉：燃煤锅炉（如粉煤、流化床、抛煤机、切向燃烧锅炉等）、天然气锅炉、馏出油锅炉、生物质锅炉、混合燃料锅炉、辅助锅炉 • 涡轮：联合循环气体涡轮、简单循环气体涡轮、热电联产涡轮；微型涡轮；蒸汽涡轮；煤气化联合循环涡轮 	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
发电辅助过程	<ul style="list-style-type: none"> • 内燃机 • 应急/备用发电机 • 往复式发动机 • 压缩机 • 消防水泵 • 黑启动发动机（Black Start Engine） 	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
其他发电形式	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料电池 • 地热 • 厌氧消化池 • 由废渣提取的燃料 	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	<ul style="list-style-type: none"> • 水力发电中的水库（生物质分解） 	CO ₂ , CH ₄
电力分配、燃料储存、冷却过程、消防措施	<ul style="list-style-type: none"> • 断路器及产生六氟化硫的其他设备 	SF ₆
	<ul style="list-style-type: none"> • 煤堆、生物质燃料堆 	CH ₄
	<ul style="list-style-type: none"> • 烟道气冷却装置 	HFCs
	<ul style="list-style-type: none"> • 灭火器 	CO ₂ , HFCs, PFCs
湿法脱硫	<ul style="list-style-type: none"> • 含硫气体洗涤器 	CO ₂
运输过程 (若电厂直接拥有或控制该移动设备)	<ul style="list-style-type: none"> • 交通工具（例如卡车、轿车） 	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	<ul style="list-style-type: none"> • 其他移动设备 	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
电力生产	用于本电厂发电的外购蒸汽或热力	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
电力消耗*	用于电厂办公或外购的电力	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

* 这一排放过程并非电力行业所独有，但电厂这部分排放的计算方法学与别处不同。当电厂的办公室等建筑物消耗的电力来自于外购电时，这部分电力的排放应视为间接排放；当电厂消耗自身产生的电力时，这部分电力的排放已经包括在发电过程直接排放的计算里，无需作为间接排放另外进行计算。

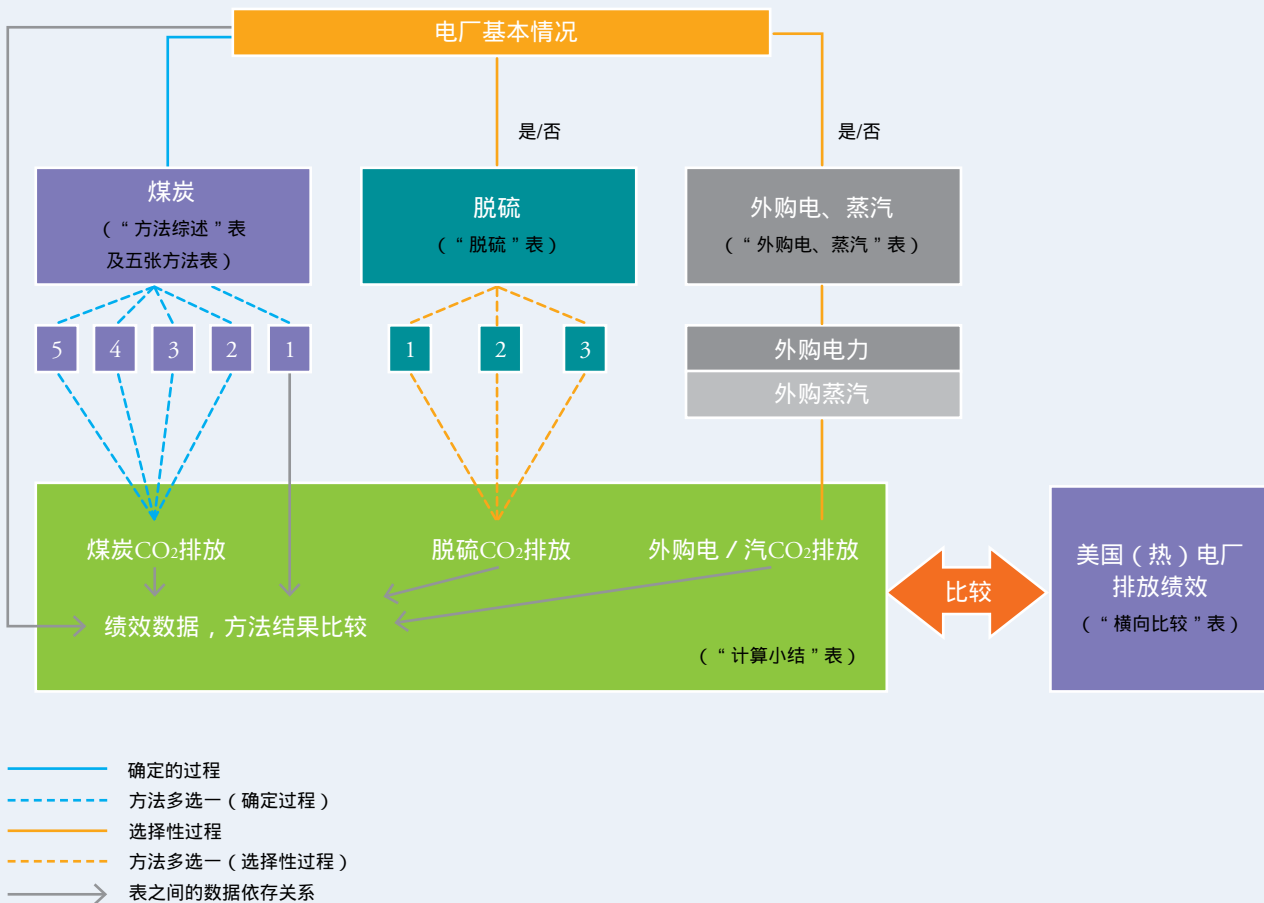
3.2 基本结构

工具由四类16个Excel工作表组成(包括默认状态下显示和隐藏的),涉及工具简介、数据输入、结果输出,以及后台数据和运算。大多数工作表相互联系,存在隐藏的信息流(见图3.1)。工具包括选择性过程或方案,并非所有的工作表都参与运算。其中,燃煤排放运算最为复杂,除涉及结果显示的“数据小结”工作表外,还包括机组月度数据收集、方法选定及后台运算在内的七张工作表。

用户应从工具最左边的的工作表开始,总体上依照工具设定的次序完成运算。工具计算过程始于电厂基本信息的收集,终于“计算小结”表格以及“横向比较”表格的总结性计算和结果显示,中间经过具体运算方法的选择、煤炭耗量等机组月度数据的收集和后台运算,分别在不同的工作表中完成。

本指南第五章对各非后台工作表逐一作详细说明,介绍功能及数据要求,具体解释工作表之间的关联。第六章则显示了后台运算所依据的公式。

图3.1 工具基本结构



第四章 数据类型及前期 数据准备

- 15 输入数据类型
- 18 内置参数
- 19 前期数据准备

4.1 输入数据类型

本工具需要用户输入定量和定性两种数据。定性数据用于回答电厂是否存在与排放量运算相关的某种运行情况(例如该电厂是否为热电联产,是否使用碳酸钙作为脱硫剂等),或提供其他描述性信息(如电厂名称)。与排放量运算相关的定性数据往往对工具其他部分有影响,如是否锁定某些单元格,是否显示某个工作表,以及具体选择哪种算法、哪个参数。因此用户必须按顺序由上至下、从左到右谨慎填写。其他定性数据用于情况描述(如电厂名称、用煤的主要产地),收集这部分数据是为了完善记录或方便后续核证,提高透明度,但不影响计算过程。

无论定量数据还是定性数据,工具用四种色彩加纹理区分数据的重要程度,帮助用户减少数据输入错误(见表4.1)。

表4.1 不同输入数据类型的色彩和纹理图示

输入数据类型	单元格色彩及纹理	描述
必输入	白色	白色
必要选择性输入	浅黄色	浅黄
自愿性输入	浅绿色	浅绿色
锁定	红色斜线	红色斜线

“必输入”数据是指在进行排放量运算中必不可少的数据,这类数据的缺失会导致某些运算无法进行。其单元格显示为白色,要求用户直接输入数字。如图4.1所示,“电厂基本情况”工作表要求输入分机组逐月发电量数据。

图4.1 “必输入”数据示例

单位Unit	Month 月份					
	January 一月	February 二月	March 三月	April 四月	May 五月	June 六月
机组1 EGU #1						
机组2 EGU #2						
机组3 EGU #3						
机组4 EGU #4						
机组5 EGU #5						
机组6 EGU #6						
机组7 EGU #7						
机组8 EGU #8						

对于“必要选择性输入”数据，用户必须在工具所提供的若干选项中做出选择。其单元格显示为黄色，用户需要打开下拉菜单点击某一选项，以便调用相关运算或显示相关页面。如图4.2所示，“电厂基本情况”工作表中的问题“是否有热电联产机组”，用户可选择“是”或“否”。

图4.2 “必要选择性输入”数据示例

是否有热电联产机组？ Does the plant have CHP units?	请选择
	请选择
	是 Yes
	否 No

“自愿性输入”数据是指不会对运算或表格显示产生影响的非关键数据。工具中设置这类数据是为了方便用户做自我数据核查或提供一些说明性信息。其单元格显示为绿色，如图4.3所示，“电厂基本情况”工作表中的电厂所在城市及详细地址信息。

图4.3 “自愿性输入”数据示例

电厂所在市 City the project is located	
电厂详细地址 Detailed address of the plant	

	July 七月	August 八月	September 九月	October 十月	November 十一月	December 十二月

最后一类“锁定”数据之所以锁定，一是工具从后台自动引用，用户不能修改，二是不适用于特定计算方法或配置，用户不需要提供。其单元格显示为红色斜线。如图4.4.a所示，在计算方法一之下，若用户选择使用工具内置的默认含碳量数据（见下文），在选定煤炭类型(如“烟煤”)后，工具就自动显示、调用烟煤对应的默认单位热值含碳量，用户无须输入也无法改动该数值。如图4.4.b所示，若用户在“电厂基本情况”工作表中选择了电厂拥有煤炭元素分析含碳量，在固定燃烧排放方法二到方法五的计算工作表中就无须提供煤炭工业分析的数值(固定碳含量、挥发分含量等)。

图4.4.a “锁定”数据示例——工具自动引用，用户无法更改

主要煤炭类型 Type of primary coal used	烟煤 Bituminous	发改委默认单位热值含碳量 (吨碳 / TJ) NDRC default coal carbon content (metric ton C/TJ)	26.18	其他数据源默认单位热值含碳量 (吨碳 / TJ) Default coal carbon content from other sources (metric ton C/TJ)	
次要煤炭类型 必输入 Type of secondary coal used	请选择 Please select	发改委默认单位热值含碳量 (吨碳 / TJ) NDRC default coal carbon content (metric ton C/TJ)		其他数据源默认单位热值含碳量 (吨碳 / TJ) Default coal carbon content from other sources (metric ton C/TJ)	

图4.4.b “锁定”数据示例——无须用户提供

Primary coal 主要煤炭							
Month 月份	Amount of coal consumed (metric tonnes) 煤炭消耗量 (公吨)	Average ash yield (%) 平均灰分含量 (%)	Average fixed carbon content (%) 平均固定碳含量 (%)	Average total carbon content (%) 平均含碳量 (%)	Average volatile matter content (%) 平均挥发分含量 (%)	Lower heating value (MJ/kg, as-received) 低位发热量 (收到基兆焦/千克)	Inferred total carbon content (%) 含碳量推算值 (%)
January 一月							
February 二月							
March 三							
April 四月							
May 五月							

最后，需要说明的是，各数据表的表头都对表中的指标作了单位标示，如月发电量的单位为“百万千瓦时”。用户填入数据时须注意单位，要保证手头数据单位与工具标示的一致，用户可能需要在填表前进行单位换算。需要特别注意的是，对于表头标明为“%”的指标，用户只需在单元格中填写数字部分，例如“60%”，在表格中只需填写“60”。

4.2 内置参数

工具提供了以下四组参考数据：

- 分煤种单位热值含碳量

分煤种单位热值含碳量是煤炭固定燃烧排放计算方法一中用到的工具默认数据，数据来自2011年的《省级温室气体清单编制指南(试行)》，见表4.2。

表4.2 公共电力与热力部门单位热值含碳量

煤种	单位热值含碳量（吨碳/TJ）
无烟煤	27.49
烟煤	26.18
贫煤	26.18
褐煤	27.97

- 电力、热力排放因子（用于范围二排放计算）

为方便范围二排放计算，工具内置中国分地区、分年份的电力/热力排放因子。电力数据来自世界资源研究所报告《准确核算每一吨排放：企业外购电力温室气体排放因子解析》¹²。因子开发利用公开数据（包括中国各省的能源平衡表、电力统计数据、燃料含碳量参考数值等），考虑了区域电网之间的电力输送（包括火电、水电、核电和风电）。与国家发改委定期公布的《中国区域电网基准线排放因子》相比，该组电力排放因子考虑了非化石能源的电力生产对电网排放的影响，包括可再生能源（风电、水电、太阳能）和核电。因此，这组排放因子数值总的来说相对偏低。另外，计算采用当年数据，而非三年平均，实效性更强。热力数据来自世界资源研究所温室气体核算体系“能源消耗引起的温室气体排放计算工具2.0版”¹³。

范围二排放计算过程中，用户只需在“电厂基本情况”工作表中选择省/自治区/直辖市和年份，工具将自动引用该地区当年对应的排放因子。目前外购电力、热力排放因子包括2006年至2011年数据，2006年之前的年份建议选择2006年，2011年之后年份可暂时使用2011年数据。欲查询具体数值，用户需访问工具的“Default emission factors”工作表。为此，点击工具中任一工作表的标签，然后右击，打开“取消隐藏”列表对话框，选择“Default emission factors”。

另外，工具允许用户提供自定义的范围二排放因子，但建议使用公开数据，如2012年12月发布的《上海市温室气体排放核算与报告技术文件：上海市电力、热力生产业温室气体排放核算与报告方法（试行）》中提供的电力和热力排放因子的缺省值。

- 锅炉固体未完全燃烧热损失

锅炉固体未完全燃烧热损失（即 q_4 ）与碳氧化程度相关。工具煤炭固定燃烧排放计算方法二和方法三（参见第六章）使用这一参数，用户可以自行输入电厂锅炉实际测算值或设计值。同时工具也按中电联《燃煤电厂二氧化碳排放量统计计算方法》（2012年10月版）提供了分锅炉煤种类型的一系列默认值，具体数值参见第六章。

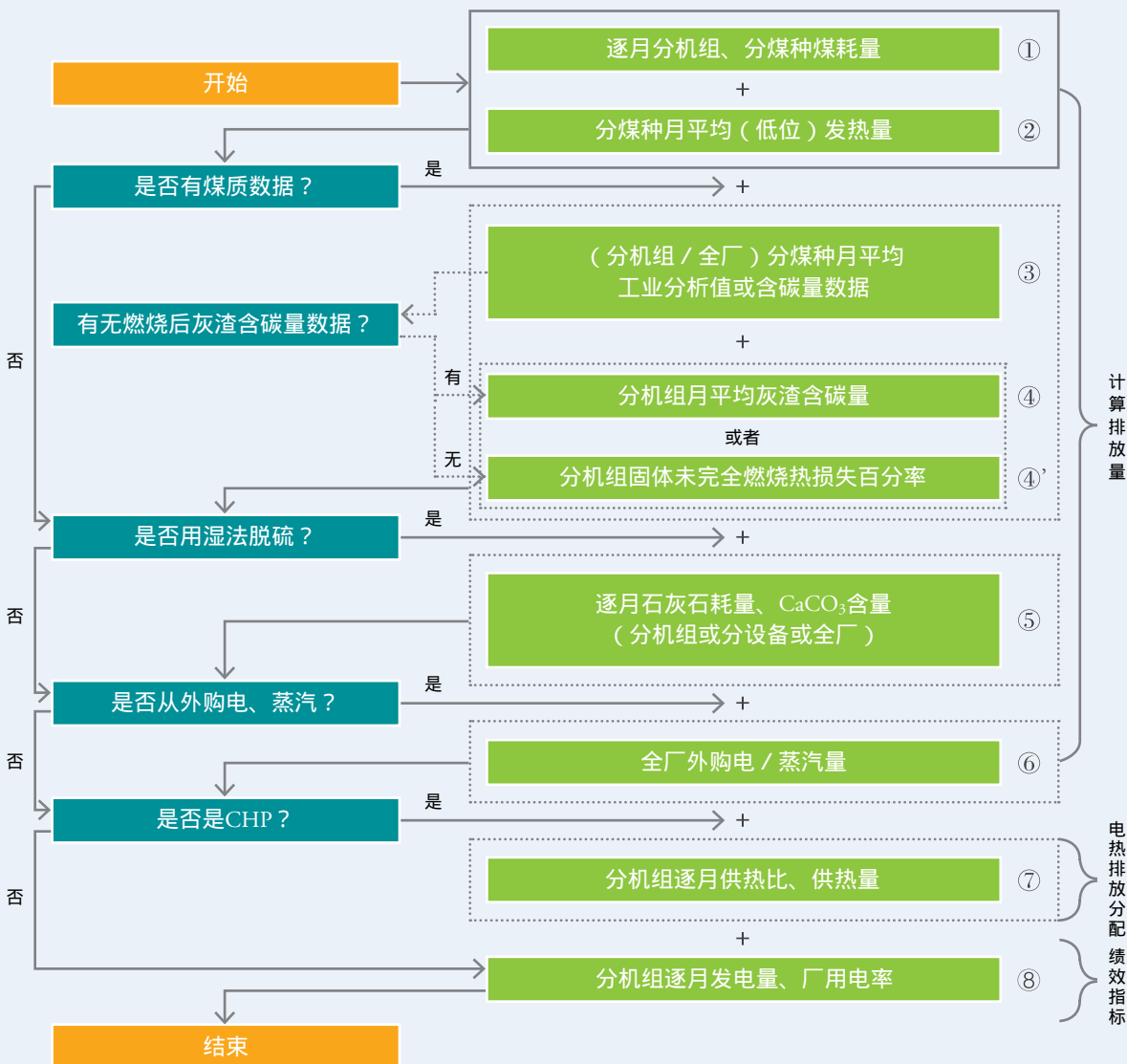
- 煤炭含碳量回归方程系数

本工具在文献分析和运用样本数据进行统计回归的基础上，提供了可以用于合理推算煤炭含碳量的回归方程及其系数。具体方程及系数值见第六章关于煤炭推算公式的讨论或附录A。

4.3 前期数据准备

使用工具进行排放量计算之前,用户需做好两项工作:收集原始数据和确定适当的燃煤排放计算方法。二者相关,煤炭固定燃烧排放输入数据的可得性会直接影响用户是否可以选择某个具体计算方法(见下文)。对于原始数据的收集,用户可参照数据收集决策树(见图4.5),视电厂情况(图4.6左侧的定性问题),首先确定需要收集图中所列8个模块(图中用绿色框结合1~8数字序号标示)中的哪些数据模块。收集到的数据将用来计算排放量和绩效指标,也用来分配排放(见第六章)。

图4.5 数据收集决策树



煤炭固定燃烧是燃煤电厂的最主要排放源,用户应尤其谨慎地选择煤炭固定燃烧排放的计算方法。本工具提供五种煤炭固定燃烧CO₂计算方法(以下简称“方法”,详细公式请见第六章)。这五种方法存在精确度差异,从方法五到方法一精确性总体上不断降低(具体讨论见第六章)。要使用方法五,用户需要掌握最多的电厂本身实际数据,即“电厂数据”,而对于方法一,用户需要最少的“电厂数据”,可更多地使用默认数据。用户可参考图4.6来确定具体计算方法,并且在数据可得的前提下,应尽量选择较精确的排放核算方法。

图4.6 煤炭固定燃烧排放计算方法选择流程图

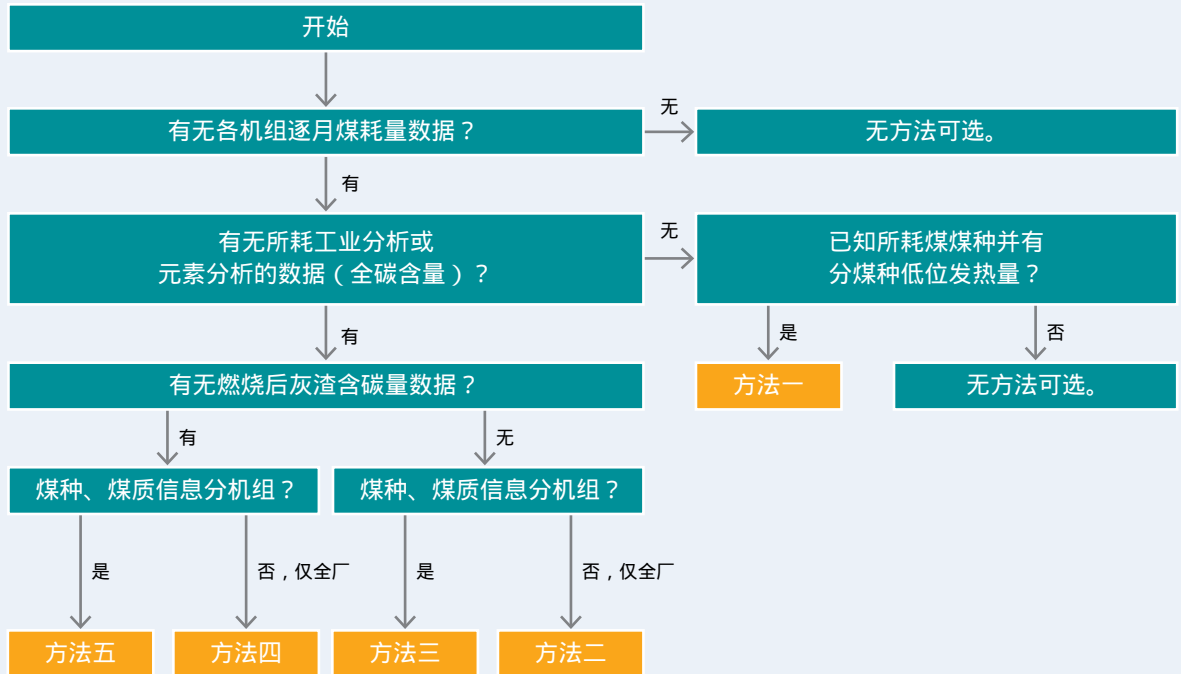


表4.3显示了各种燃煤电厂所需收集数据与煤炭燃烧排放计算方法的对应关系。其中,对于最简化的电厂(除发热量外没有其他任何煤炭质量分析数据,非热电联产,不使用碳酸钙湿法脱硫,无外购电、热或汽),用户需要收集数据 、 、 (数据模块定义见图4.5);对于最复杂的电厂(有完善的煤炭质量数据,开展热电联产,采用碳酸钙湿法脱硫,并外购电、热或汽),用户则需要收集所有八个模块的数据。

表4.3 煤炭固定燃烧排放计算方法选择流程图

煤炭固定燃烧排放		其他排放及排放分配	发电量、厂用电率
计算方法	数据		
方法一	+	任选其一: 无 或 或 + + + + + —湿法脱硫; —外购电、热或蒸汽; —热电联产	+⑧
方法二	+ + + ' *		
方法三	+ + + ' *		
方法四	+ + +		
方法五	+ + +		

* 可使用工具内置的默认值。 注:对 到 的定义见前文数据收集树图。

第五章 工作表功能 和数据要求



- 22 “工具简介”工作表
- 23 “电厂基本情况”工作表
- 24 “默认系数”工作表
 煤炭固定燃烧排放“方法综述”工作表及各方法工作表
- 28 “脱硫”工作表
- 29 “外购电、蒸汽”工作表
 “计算小结”工作表
- 31 “横向比较”工作表

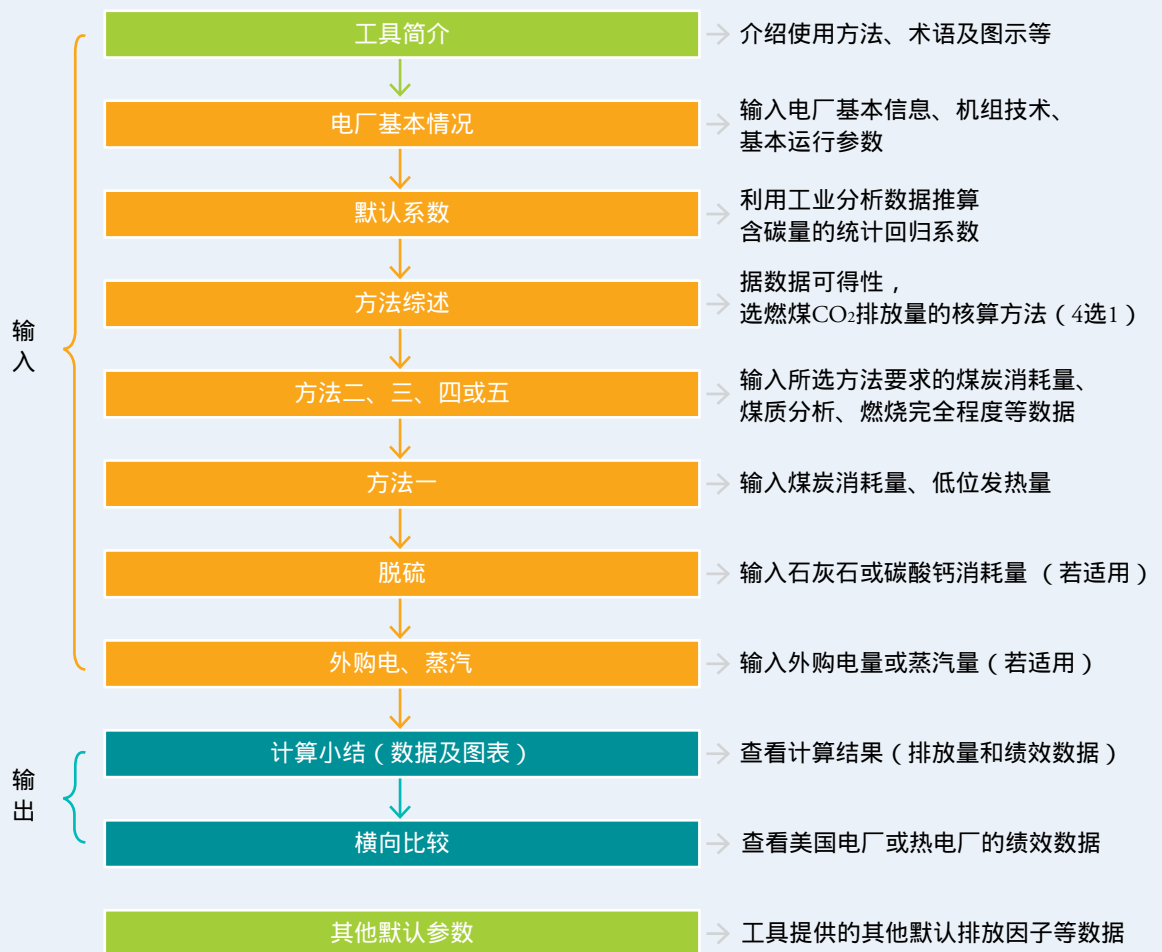


如前所述,本工具包含十六张工作表(见图5.1),用以收集燃煤电厂温室气体核算相关数据及信息并进行计算。工作表大致按使用顺序排列。用户可通过点击各工作表末尾的按钮进入下一工作表或查看计算小结工作表,也可在工作簿下端点按活动工作表右侧的工作表标签,直接转换到目标工作表。

本章介绍了各非后台工作表的功能和数据要求。后台工作表或存储默认参数(见第四章)和选项内容,或用于后台运算(方法见第六章),默认隐藏,不做具体说明。

整个工具设置了密码保护。如果用户希望改变默认数值或查看、修改计算公式(如含碳量推算模型),了解运算过程,可以输入密码“WRI”解除密码保护。

图5.1 工作表概览



5.1 “工具简介”工作表

工具中第一个工作表为“工具简介”,提示用户使用工具时应启用宏¹⁴,同时介绍了工具的版本、核心依据、基本功能,并对工具内置参数、表格中各种颜色单元格的意义进行了说明。用户可阅读本工作表以获得对工具的整体了解。“工具简介”表中的“版本说明”一栏显示了工具发布、后续更新及当前版本的情况。

5.2 “电厂基本情况”工作表

功能

要开始具体运算,用户应首先进入“电厂基本情况”工作表。本工作表主要用于收集关于燃煤电厂总体情况的描述性信息和基础数据。工具会根据用户在本工作表中对一部分描述性问题的选择答案,调整其他工作表的显示、结构以及功能,启用相应的参数;会运用用户在本工作表中提供的部分数据计算绩效、分配热电排放(见第六章)。余下的描述性信息和数据主要用于体现计算透明性,方便自我核查,以及标示目标电厂。

主要描述性选择的影响如下:

- 用户对外购二次能源和脱硫方式的选择,控制外购蒸汽量表格和“脱硫”工作表的可见性。
- 用户可以指明目标电厂是否有热电联产机组,这一选择控制单位供热量绩效指标的计算。
- 用户可以指明电厂拥有何种煤炭质量数据——元素分析或工业分析。如果用户只拥有煤炭工业分析数据,工具将使用内置的回归方程和用户提供的煤炭工业分析数据推算出相应的煤炭含碳量数值。若用户有元素分析测得的含碳量,则可将这一数据直接用于煤炭燃烧排放的计算。关于回归方程的简单介绍请参见第六章,详细的讨论请参见附录A。
- 用户对年份和电厂所在省市的选择,影响范围二排放默认排放因子的调用。

数据要求

本工作页需要用户提供的数据见表5.1。

本工作表共涉及五个步骤。工具根据用户在第二步提供的各机组逐月发电量自动计算各机组年发电量,在本工作表第五步表中显示。另外,工具在第五步中要求用户提供各机组装机容量和年利用小时数,然后工具自动计算各机组年发电量,以计算的发电量标示。工具借此方便用户核查发电量相关数据。

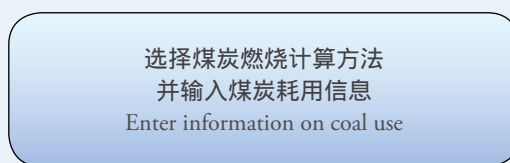
本工作表以蓝色按钮“选择煤炭燃烧计算方法并输入煤炭耗用信息”(见图5.2)结尾。点击该按钮,工具将跳过“默认系数”工作表直接转到有关煤炭固定燃烧二氧化碳排放量计算方法综述的“方法综述”工作表。如果用户不需要或不希望了解工具内置的含碳量回归公式,也不打算填入自定义的回归系数,可按该按钮,否则直接点击工具下方的标签进入“默认系数”工作表。

表5.1 “电厂基本情况”工作表数据要求

基本资料	
电厂名称	
母公司名称	
电厂所在省/自治区/直辖市	
电厂所在市	
电厂详细地址	
邮政编码	
贵厂是否从邻近外部设施购买蒸汽用于发电?	
贵厂是否有热电联产机组?	
贵厂共有几个发电机组?	
贵厂是否用碳酸钙作脱硫剂?	
报告年份	
贵厂拥有哪类煤炭质量分析数据?	
贵厂所使用的煤的主要产地	
运行数据	
发电量(分机组,每月,百万千瓦时/月)	
供热量(分机组,每月,太焦耳/月)*	
供热比(分机组,月平均,%)*	
年标煤耗量(各机组,吨标煤当量)	
装机容量(各机组,兆瓦)	
年利用时间(各机组,小时)	
厂用电率(各机组,%)	
上网电量或供电量(各机组,百万千瓦时/年)	
是否热电联产(各机组,选择“是”或“否”)*	

* 只有存在热电联产机组时才需要填入该数据。

图 5.2 工作表末尾按钮



5.3 “默认系数”工作表

功能

“默认系数”是指用工业分析及热量数据推算含碳量时使用的回归系数。本工作表为弥补电厂普遍不具有所消耗煤炭的含碳量数据但有工业分析数据的现实缺憾而增设。当用户在“电厂基本情况”工作表中选择拥有目标电厂的煤炭工业分析数据,但无元素分析数据时,需查看此工作表。含碳量推算结果用于煤炭固定燃烧排放计算方法二到方法五。因此,用户若只用方法一计算煤炭固定燃烧排放或有电厂煤炭的元素分析数据,则应跳过本工作表。

本工作表简要说明了该推算方法,提供了回归计算式及回归系数默认值。对于回归系数,用户也可自定义,提供自己总结的数值。工具优先选用用户输入的特定方程系数。

数据要求

本工作表中无必填数据,用户可以根据电厂情况选择性地提供自定义的回归方程系数。需要注意的是,自定义的回归系数尽管可以有别于工具提供的数值,但其计算式必须与工具内置的一致,同样是多变量线性回归,且包含一样的自变量。如果用户有大量目标电厂煤炭质量实测数据或其他中国煤炭质量数据库,且这些数据包括工业分析、含碳量、发热值数据,用户则可按本指南附件A介绍的方法做回归分析,得出可用于本工具计算的自定义回归系数。否则,在不修改工具的情况下,用户无法选择其他的回归方程设置,也不应套用与本工具回归计算式不同的回归及其系数。

当利用本工具的计算结果编制完整清单并向公众公布或邀请第三方进行核证时,用户可能需要详细解释回归系数的来源及分析过程,以确保计算结果的合理性和透明性。

5.4 煤炭固定燃烧排放“方法综述”工作表及各方法工作表

功能

如前所述,电厂之间现有数据基础存在一定差异。为此,工具提供五种煤炭固定燃烧二氧化碳排放量方法。这五种方法存在理论精度差异。从方法五到方法一,精确性总体上不断降低(见图5.3)。具体精确性差异分析见第六章第一节。工具中每种方法对应一个独立的工作表,用于收集煤炭消耗量、煤炭质量数据以及燃烧过程氧化程度等基础信息。默认状态下,“方法一”工作表始终处于显示状态;“方法二”到“方法五”工作表被隐藏。用户通过“方法综述”工作表下端的选择菜单来调用“方法二”到“方法五”工作表(见图5.4),控制相应工作表的显示与否。

在数据可得的情况下,我们推荐用户选用精确性较高的方法。若用户选用方法二到五中的某一种方法进行计算,建议用户同时运用方法一进行计算,以满足可能的合规要求。方法一引用中国《省级温室气体清单编制指南(试行)》中提供的单位热值含碳量数据,解决用户没有含碳量数据的问题。方法二到方法五需要用户自己提供煤炭质量数据。两种方法计算结果的比较将在“计算小结”工作表显示。查看两种方法计算结果的差距,有利于用户了解在不采用电厂自身数据(排放因子相关数据和氧化率相关数据)的情况下,电厂排放计算可能

是被高估还是低估,帮助用户理解采用电厂数据而非行业平均数据的重要性。

具体运算过程中,方法二到五有优先权,用户一旦选择了方法二到方法五中的任一方法,“计算小结”工作表将使用这一方法计算电厂排放量及绩效。而方法一的结果将仅在“计算小结”工作表的方法比较表格中出现。另外,用户所选方法应用于目标电厂所有机组的排放计算。用户无法为不同的机组选择不同的计算方法。

方法二到方法五,一次运算只可选其一。若用户希望查看方法二到方法五彼此之间计算结果的差距,必须做四次运算,建立四个文档。

每个方法工作表末尾提供了工具计算所得的电厂层面平均含碳量,用户可以将之与提交给中电联的数据进行比较。完成所选方法的数据填写之后,用户可以通过工作表末尾的按键“查看数据汇总”到“计算小结”工作表查看相应计算结果。若用户选用了方法二到方法五的一种,点击界面下方的标签,可前往“方法一”工作表进行填写。若电厂存在碳酸钙脱硫和外购电/汽的情况,应点击标签依次进入“脱硫”工作表或者“外购电、蒸汽”工作表。

图 5.3 燃煤固定燃烧排放计算方法

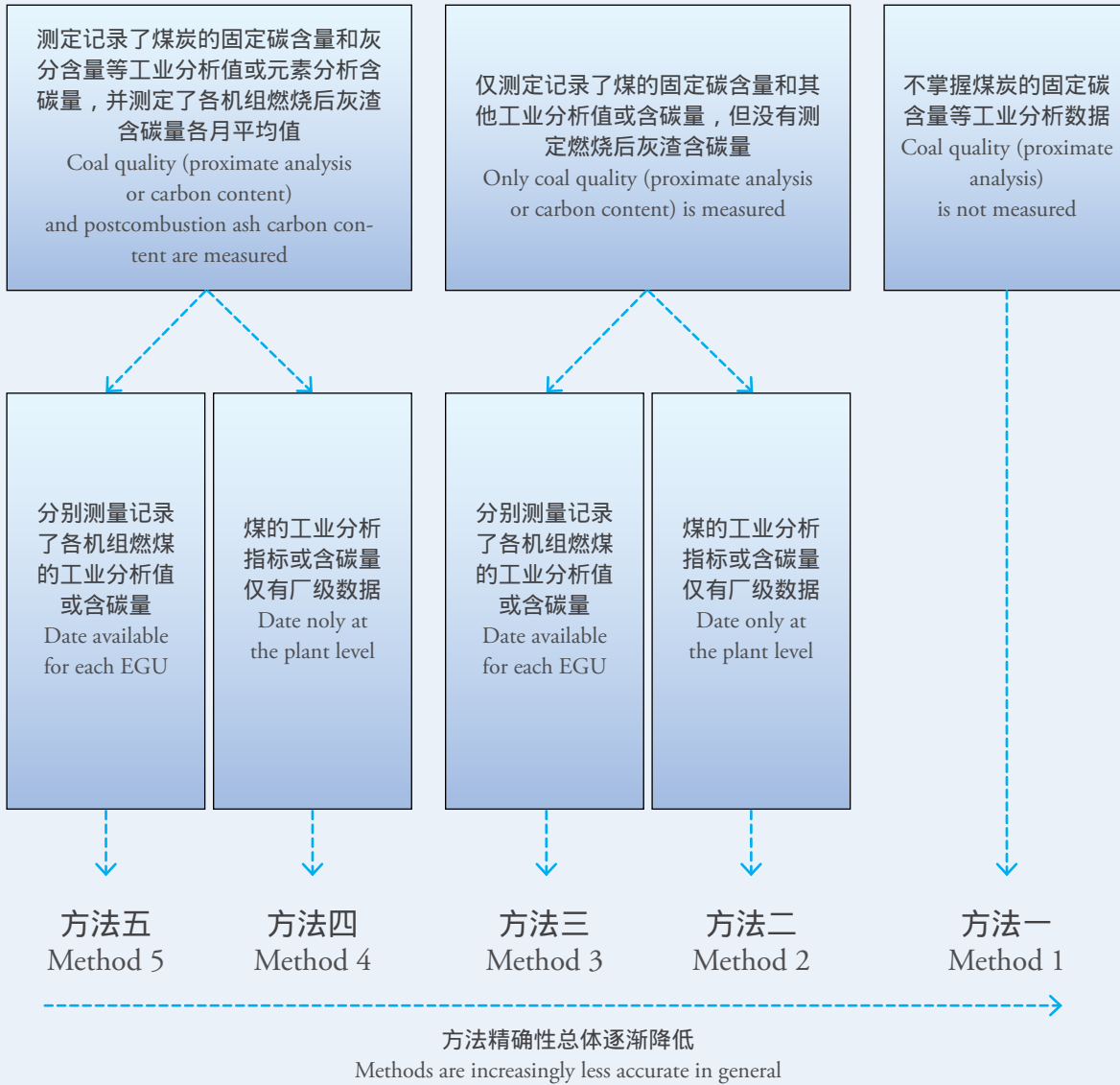
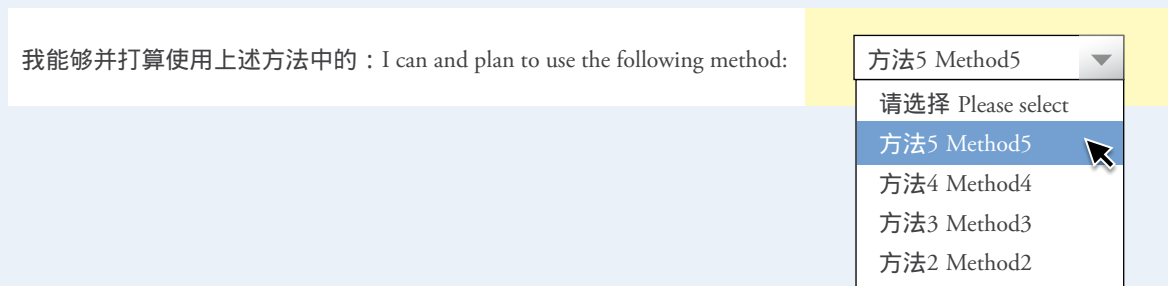


图 5.4 煤炭燃烧计算方法选择



数据要求

每种方法都需要机组煤炭消费量数据,但对燃煤质量数据及燃烧完全程度数据的要求却有所不同,数据要求见表5.2。用户需要按煤炭类型提供燃煤数据,区分无烟煤、贫煤、烟煤、褐煤。工具将贫煤从烟煤中单独列出,尽管有别于国家标准的三分法(无烟煤、烟煤、褐煤),但与发电锅炉的分类基本一致,便于后续计算引用相应的燃煤锅炉参数。四分法¹⁵及其参数基本遵照了“燃煤电厂二氧化碳排放统计计算方法”。另外,考虑到一些电厂出于煤炭供给紧张等原因,可能混烧煤炭,工具提供了相应的选项,具体讨论见下文。

用户进入各方法工作表后,用户在具体输入数据之前,首先需要选择煤炭质量数据月平均值的获得方法,然后还需要选择对应机组或电厂消耗的煤炭的种类(见图5.5)。煤种的选择决定用于计算含碳量的回归参数(见5.3“默认系数”工作表)。需特别注意的是,用户在提供煤质数据等信息之前若忘记选择煤种,工具则无法自动计算并显示推算的含碳量。工具需要此信息来调用相应回归系数,完成含碳量推算。

“煤炭质量数据月平均值的获得方法”单元格为“必要选择性输入”项,以下拉菜单形式提供三个备选答案(见图5.5),解释如下:

- 选项a: 煤耗量加权平均

该选项允许用户最多输入两种煤炭质量数据。

当电厂在计算期内,使用单一煤种,分煤炭批次逐个测量和记录煤质数据,月质量数据为不同批次煤耗量的加权平均,用户应选此项,在主要煤炭列输入数据。

当电厂使用两种煤炭混合燃烧¹⁶,对消耗的主要煤

炭和次要煤炭在混合前分别做煤质数据测量和记录时,用户也应选此项,否则选择b或c。工具结合用户提供的分煤种煤耗量,后台加权计算用于排放计算的煤质数据平均值。

- 选项b: 每班、日或周的样品汇总形成大样后,测得的大样煤炭质量数据

该选项允许用户输入一种煤炭的质量数据。

当电厂收集不同批次煤炭样本,在混合样本后测量质量数据,用户应选此项,在主要煤炭(实际上是混合后煤炭)列输入数据。当电厂在计算期内使用单一煤种,主要煤种即为该煤种;当电厂混烧两种煤炭,主要煤种可按混合后煤炭的质量属性与哪种煤炭更接近而定。此时可能产生额外的含碳量推算误差。原因在于当电厂混烧两种煤炭时,无法分别给出主要煤种和次要煤种数据,工具只能按用户提供的主要煤种类别,调用主要煤种对应的回归参数来推算含碳量,而不能调用两组回归参数做推算。如果电厂仅烧一种煤炭,这种含碳量推算误差则不存在。

当电厂混烧多种煤炭,如某些时段同时混烧无烟煤、烟煤、贫煤、以及褐煤,建议用户在确定了混合后煤炭“煤种”的基础之上,在主要煤种单元格选择煤种,在主要煤种列输入各月数据。

- 选项c: 其他,请在右侧单元格简要说明,并在方法综述里选择方法一进行排放量的计算

如果煤炭质量数据收集采用了上述情况一和二以外的方法,用户做出说明后,只能选择“方法一”工作表计算燃煤二氧化碳排放。

图5.5 月平均煤炭质量数据的来源

<p>The montly averages of coal quality indicators are calculated by 煤炭质量数据的月平均值是</p>	<p>每班、日或周的样品汇总形成打烱后。测得的大样煤炭质量数据 Samples are collected after <input type="text" value="Please select"/></p> <p>耗煤量加权平均 Coal quality is measured before blending and average is weighted per coal consumption of each rank.</p> <p>每班、日或周的样品汇总形成大样后。测得的大样煤炭质量数据 Samples are collected after coal blending and co</p> <p>其他, 请做右侧单元格简要说明, 并选择方法一进行排放量的计算。 Other method: Please state the method at the</p>
<p>Type of primary coal used 主要煤炭类型</p>	<p>烟煤 Bituminous <input type="text"/></p>
<p>Type of secondary coal used 次要煤炭类型</p>	<p>请选择 Please select <input type="text"/></p>

表 5.2 煤炭燃烧计算方法数据要求

方法	数据要求	注释
五	煤炭质量数据月平均值的获得方法	选项
	使用煤炭的类型	各机组, 主要和次要
	煤炭消费量 (吨)	各机组, 每月
	平均灰分含量 (%)	
	平均固定碳含量 (%) #	
	平均含碳量 (%) *	
	平均挥发分含量 (%) #	
	平均低位发热量 (收到基, 兆焦/千克) #	
燃烧后灰渣平均含碳量 (飞灰和炉渣) (%)		
四	煤炭质量数据月平均值的获得方法	选项
	使用煤炭的类型	全厂, 主要和次要
	平均灰分含量 (%)	全厂, 每月
	平均固定碳含量 (%) #	
	平均含碳量 (%) *	
	平均挥发分含量 (%) #	
	平均低位发热量 (收到基, 兆焦/千克) #	
	煤耗量 (吨)	
燃烧后灰渣的月平均含碳量 (飞灰和炉渣) (%)		
三	煤炭质量数据月平均值的获得方法	选项
	使用煤炭的类型	各机组, 主要和次要
	煤炭消耗量 (吨)	各机组, 每月
	平均灰分含量 (%) #	
	平均固定碳含量 (%) #	
	平均含碳量 (%) *	
	平均挥发分含量 (%) #	
	平均低位发热量 (收到基, 兆焦/千克) #	
固体未完全燃烧热损失 (Q ₄) 数据: 选择 a. 测量值	各机组, 年或每月 (如果报告期内各机组 Q ₄ 值变动明显)	
选择 b. 锅炉的设计值		各机组
选择 c. 锅炉煤炭类型 [@]		各机组
二	煤炭质量数据月平均值的获得方法	选项
	使用煤炭的类型	全厂, 主要和次要
	平均灰分含量 (%)	全厂, 每月
	平均固定碳含量 (%) #	
	平均含碳量 (%) *	
	平均挥发分含量 (%) #	
	低位发热量 (收到基, 兆焦/千克) #	
	煤炭消耗量 (吨)	
固体未完全燃烧热损失 (Q ₄) 数据: 选择 a. 测量值	各机组, 年或每月 (如果报告期内各机组 Q ₄ 值变动明显)	
选择 b. 锅炉的设计值		各机组
选择 c. 锅炉煤炭类型 [@]		各机组
一	使用煤炭的类型	各机组, 主要和次要
	煤炭消耗量 (吨)	各机组, 每月
	平均低位发热量 (收到基, 兆焦/千克)	
	碳氧化率 (%)	各机组

#, 若用户拥有煤炭质量工业分析值, 则需提供该数据。

*, 若用户拥有煤炭质量元素分析值, 则需提供该数据。

[@], 具体解释见第六章。

总之,工具允许用户最多输入两种煤炭的质量数据。若电厂只使用一种煤炭或只有混合样的数据,数据应填在主要煤种单元格内;若电厂混烧两种以上煤种,需要先确定混合后的煤炭可归为哪类单一煤种,否则无法使用本工具。“方法三”和“方法五”工作表允许用户为不同的机组选择不同的煤炭质量月平均值获得方法,分机组输入质量数据;“方法二”和“方法四”运用厂级煤炭质量数据,不能分机组输入该数据。

5.5“脱硫”工作表

功能

本工作表计算碳酸钙(CaCO_3)湿法脱硫过程所产生的二氧化碳排放。只有当用户在“电厂基本情况”表格中确认电厂使用碳酸钙作为脱硫剂时,“脱硫”工作表才会显示;否则,本表格隐藏且不对“计算小结”页的排放计算结果产生任何影响。脱硫排放计算分三步:提供石灰石碳酸钙含量的月平均值,选择脱硫组合和数据记录模式,以及输入石灰石消耗量。用户可以根据脱硫系统的具体配置,从以下三种脱硫数据记录模式中任选其一:

选择a. 一对一,即每台机组有独立的脱硫设施,且单独记录石灰石消耗量

选择b. 一对多,即每套脱硫设施供多个机组使用,且单独记录脱硫设施的石灰石消耗量

选择c. 只有电厂层面的石灰石消耗记录,石灰石耗量不作发电机组或脱硫设施区分

对于选择b和c,工具内置了分配方法,将脱硫设备或全厂的脱硫排放分配到各机组。具体方法见第六章。

本工作表末尾设置了按键可引导用户进入“外购电、蒸汽”工作表。若不存在外购电、蒸汽情况,用户可通过另一个“查看数据汇总”按键进入“计算小结”工作表。

数据要求

本页中湿法脱硫排放计算的数据要求见表 5.3。

表5.3 “脱硫”工作表数据要求

数据要求	注释
消耗石灰石的平均碳酸钙含量(%)	全厂,每月(若无该数据,建议填写 92%)
石灰石消耗数据:	
选择 a. 石灰石消耗量(吨)	各机组,每月
选择 b. 石灰石消耗量(吨)	各脱硫设施,每月
以及: 各脱硫设施供哪几台机组使用信息	选项
选择 c. 石灰石消耗量(吨)	全厂,每月

5.6“外购电、蒸汽”工作表

功能

本工作表要求用户提供电厂外购电和蒸汽的数据，结合工具内置的排放因子或用户自定义的排放因子，计算外购二次能源（电力或蒸汽）的CO₂范围二排放。只有当用户在“电厂基本情况”工作表中提供了核算年份及电厂所在省份信息时，工具才可以成功调用默认数据，进行排放计算。只有当用户在“电厂基本情况”表格中表明从邻近设施购买蒸汽用于发电时，本工作表中蒸汽数据表才会显示。

表格中附有按键，方便用户根据自身情况增加外购电力或蒸汽表格的行数。工作表末尾有“查看数据汇总”按键，可引导用户转到“计算小结”工作表。

数据要求

本工作页的数据要求见表 5.4。

表5.4 “外购电、蒸汽”工作表数据要求

数据要求	注释
外购电量(兆瓦时)	每次购买记录
外购蒸汽量(百万千焦)	每次购买记录

5.7“计算小结”工作表

“计算小结”工作表汇总了其他工作表格填入的关键描述性信息和工具计算结果，共有8个表格（见表5.5）和四张图；此工作表为工具输出部分，用户无须输入任何数据。任何时候，用户可点击煤炭固定燃烧、脱硫、外购电/汽等工作表末尾的按键或工具下方的标签进入本工作表，查看运算结果。

表 5.5 “数据小结”工作表内表格概览

表格编号	基本资料	内容*	图示
1	基本信息	汇总用户在“电厂基本情况”工作表填写的关键电厂描述性信息	
2.1	排放量绝对值	<ul style="list-style-type: none"> 厂级和各机组的年度燃煤、湿法脱硫及加和所得的范围一排放，并分别给出分配后的发电和供热排放； 厂级的外购电、蒸汽排放,即范围二排放 	
2.2	各排放量占范围一和二总排放的百分比**	<ul style="list-style-type: none"> 全厂及各机组不分产品年度燃煤、湿法脱硫及范围一排放占范围一和范围二综合排放的百分比； 全厂及各机组发电和供热年度燃煤、湿法脱硫、范围一排放量占范围一和范围二综合排放的百分比； 全厂的范围二排放占范围一和范围二综合排放的百分比 	饼图表示各排放源的排放量占排放总量的百分比
3	绩效指标	<ul style="list-style-type: none"> 范围一排放在全厂层面和机组层面的发电、供热、供电的绩效指标； 范围二在全厂层面的发电、供热、供电的绩效指标 	3个柱状图分别表示基于范围一排放的各机组发电、供热、供电的绩效指标,并用红线表示厂平均绩效
4	每月各机组燃煤的CO ₂ 排放	如标题	
5	每月各机组煤炭固定燃烧产生的发电CO ₂ 排放	如标题	
6	每月各机组煤炭固定燃烧产生的供热CO ₂ 排放	如标题	
7	煤炭固定燃烧CO ₂ 排放计算结果的比较	显示煤炭固定燃烧排放计算方法一以及用户在方法二到五中所选方法的计算结果，包括全厂和分机组年度数据，并计算二者百分比差	

* 当电厂不是热电联产厂时，表格2.1和2.2不显示发电和供热所对应的单元格，表格3和6中供热相关单元格无数据。

** 总排放 = 全电厂范围一排放 + 全电厂范围二排放。

5.8“ 横向比较 ”工作表

工具最后一张显示工作表为“ 横向比较 ”工作表。为协助开展横向比较，工具运用美国燃煤供电和供热温室气体排放绩效数据及工具计算所得目标中国电厂绩效数据绘制如图5.6和6.7的两张图。图中各包括一条彩色竖线和几条曲线。彩色竖线代表中国电厂，曲线代表美国电厂。彩色竖线及曲线在用户提供中国电厂绩效运算所需数据之后显现。

绩效比较图中，垂直竖线（如图5.6和5.7中的彩色竖线）由工具从“ 计算小结 ”中自动调用目标电厂排放绩效数据绘制而成，其横坐标为目标电厂单位供电（热）排放绩效。曲线由工具调用内置的美国同行绩效累计百分比数据绘制而成，其横坐标为供电或供热的排放绩效，纵坐标为电厂数量累计百分比，即排放绩效小于等于当前点绩效值的电厂数量占电厂总数量的比例。曲线最左下端点纵坐标为0%，横坐标为美国同行排放绩效最小值¹⁷，所有电厂均大于等于这一排放绩效值。曲线最右上端点，纵坐标为100%，横坐标为排放绩效最大值，所有电厂均小于等于这一排放最大值¹⁸。

用户若想了解目标电厂的排放绩效和美国同行相比，大致处于什么样的位置，可以做如下处理及解读。先查看彩色垂线与美国同行的排放绩效累计曲线交点对应的纵坐标百分比；然后根据百分比数值判定目标电厂比大多数美国同行比排放绩效是相对高、低，还是基本在中档水平等。如目标电厂排放绩效所在垂线与美国同行绩效曲线交点对应的纵坐标为50%，则说明该目标电厂的排放绩效与美国同行相比，基本处于中档水平。如对应的纵坐标为90%，则说明目标电厂的排放绩效数值较大，仅优于10%的美国同类电厂。如对应的纵坐标为20%，则说明目标电厂的表现优于80%的美国同类电厂。

本工具所使用的美国燃煤电厂绩效数据来自美国国家环境保护局eGRID数据库¹⁹，引用了2009年数据（关于eGRID及绩效计算的详细介绍请参见附录C）。

图5.6 燃煤电厂单位供电排放绩效(克 CO₂/千瓦时)比较

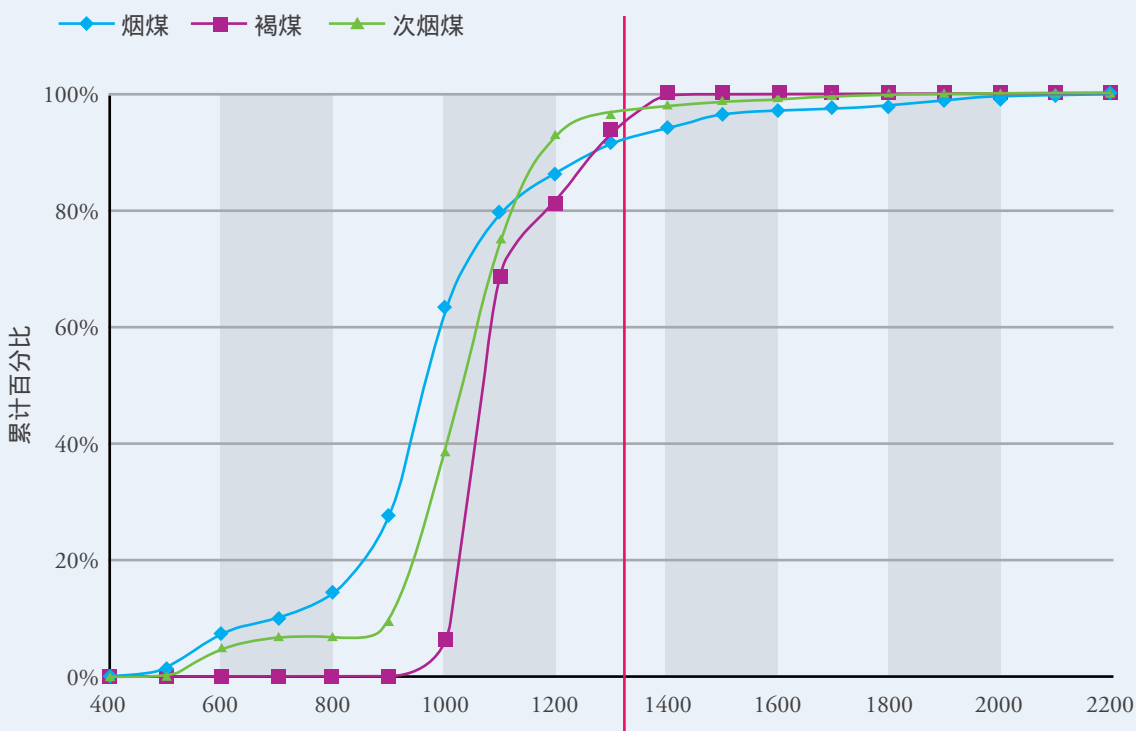
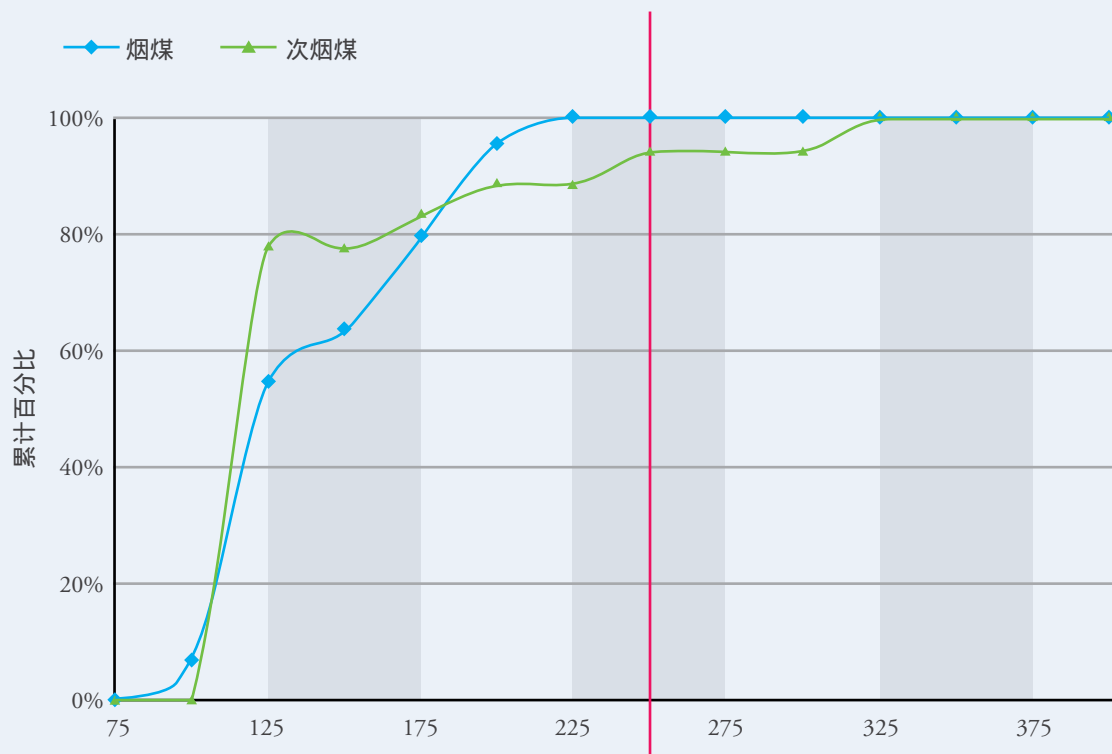


图5.7 燃煤热电厂单位供热排放绩效(克 CO₂/兆焦)比较



第六章 计算公式

- 34 排放量化公式
- 38 排放分配公式
- 39 排放绩效公式
- 40 含碳量推算模型

本工具包括三类排放计算公式和一个煤炭含碳量推算模型。

第一类排放计算公式是排放量化公式,用于计算燃煤电厂的煤炭固定燃烧过程、碳酸钙湿法脱硫过程以及外购电和蒸汽过程所排放的CO₂;第二类是排放分配公式,用于将计算出的排放量分配到热电厂的两种产品或电厂机组;第三类是排放绩效公式,用于计算(热)电厂生产或供给单位电力或热力的排放强度。

三类排放计算公式除固定燃烧排放量化方法一以外,均源于上文所提到的世界资源研究所和中电联的相

关联合研究项目成果,具体公式应中电联牵头的统计核算方法标准化截至2012年年底的进程进行了更新。该类公式中涉及的变量均为火电行业通用的指标,为火电行业人员所熟悉。从而保证温室气体核算与火电行业现有其他技术经济统计指标的协调,减轻不必要的核算负担及学习成本。

煤炭含碳量推算模型针对中国电厂普遍不进行煤炭元素分析、用户无含碳量数据的现实情况而开发。该推算模型便于用户运用电厂已有的煤炭工业分析数据推算煤炭含碳量,为煤炭固定燃烧排放量化提供电厂基础数据。

6.1 排放量化公式

煤炭固定燃烧二氧化碳直接排放

煤炭固定燃烧是燃煤电厂完成发电或供热的最重要生产过程,也是燃煤电厂最主要的排放源。针对这一过程,工具提供了三个基本计算公式。从计算公式一到三,排放因子的计算细度不断降低(见公式)。在此基础上结合煤炭质量数据的“地域属性”²⁰,工具设计了五种煤炭固定燃烧二氧化碳排放计算方法²¹。

煤炭固定燃烧二氧化碳排放计算公式及对应的工具方法如下:

公式一 (运用于工具方法四和五,对应工作表“方法四”和“方法五”)

$$W_{gr} = W_{coal} \times (C_{ar} - A_{ar} \times \bar{C}) \times \frac{44}{12}$$

公式二 (运用于工具方法二和三,对应工作表“方法二”和“方法三”)

$$W_{gr} \approx W_{coal} \times C_{ar} \times (1 - q_4) \times \frac{44}{12}$$

公式三 (运用于工具方法一,对应工作表“方法一”)

$$W_{gr} = W_{coal} \times Q_{net,ar} \times C_{heat} \times R \times \frac{44}{12} \div 1000$$

式中:

- W_{gr} 煤炭固定燃烧CO₂排放量(统计值),吨;
- W_{coal} 消耗的原煤量(统计值),吨;
- C_{ar} 煤炭收到基加权平均含碳量(加权平均,统计值),百分比;
- A_{ar} 煤炭收到基灰分²²(加权平均,统计值),百分比;
- \bar{C} 灰渣平均含碳量(加权平均,统计值)²³,即灰渣中平均含碳量占燃煤灰量的百分比;

q_4	锅炉固体未完全燃烧热损失 ²⁴ (统计值) ²⁵ ,百分比; 可以取厂里各机组的统计值,无统计值的可采用下列参照值: 烟煤、褐煤, q_4 取 1%; 贫煤, q_4 取 1.5%; 无烟煤, q_4 取 2.5%; 劣质无烟煤, q_4 取 4%。
\bar{C}	如果 q_4 在统计期内发生重大变化,采用公式二计算煤炭固定燃烧排放时,应对重大变化前后的排放量分开计算,然后再相加求和;
44	二氧化碳的摩尔质量,无量纲;
12	碳元素的摩尔质量,无量纲;
$Q_{net,ar}$	收到基低位发热量,兆焦/千克;
C_{heat}	《省级温室气体清单编制指南(试行)》提供的单位热值含碳量,吨碳/万亿焦耳;
R	碳氧化率,由用户提供,可选用省级清单里建议的燃煤发电锅炉平均值 98%;
1000	单位转换系数。

公式一用在煤炭固定燃烧排放计算的方法四和方法五中,可使用实测或推算的煤炭含碳量,用灰渣含碳量结合煤炭含碳量、灰分产率来表征煤炭中碳的氧化程度。其中,方法五使用的含碳量、灰渣含碳量、灰分含量和煤耗量均是机组层面数据;而方法四假定各机组同一时期使用同样品质的煤炭,计算单个机组的排放量时,含碳量、灰分含量均使用电厂层面的数据,灰渣含碳量和煤耗量使用机组层面数据。当电厂消耗无烟煤、烟煤、贫煤和褐煤四类煤炭中的两种时,工具要求分别提供主要煤炭和次要煤炭的煤炭质量数据及煤耗量,然后会自动以煤炭耗量为权重计算平均值。工具先计算机组排放,然后加和得出全厂值。当用户没有提供分机组数据时,工具自动调用用户提供的电厂层面数据进行机组排放运算。

公式二用于燃煤排放的方法二和三中,用锅炉固体未完全燃烧热损失(q_4)来近似地表征煤炭中碳的氧化程度。煤炭燃烧释放的热量来自碳、氢、硫元素,其中碳元素贡献最大,氢和硫的贡献很小或很微小,因此可以大致认为煤炭燃烧释放的热量与被氧化的碳元素之间有一定的线性相关。 q_4 作为火力发电厂常用的技术经济指标²⁶之一,表示固体未完全燃烧(指灰渣中仍含有可燃物的情况)造成的热损失占燃料总供热量的比例。因此从氧化率数据的角度来说,公式二近似计算煤炭固定燃烧的CO₂排放,其计算精确性比公式一低。

方法三使用机组层面的含碳量、煤耗量及 q_4 值计算排放。若年内变化不大,只需提供各机组中燃煤锅炉 q_4 的当年年度平均数据,若每月变化较大,则需提供各燃煤锅炉每月的 q_4 值。当无法获得 q_4 实测值时,用户只需提供锅炉设计参数和煤炭类型,工具会据此来选定内置的经验 q_4 值(来自前文所述“统计计算方法”)。方法二将电厂层面的含碳量数据应用于各机组。按与方法三一致的逻辑确定各机组的 q_4 值以后,同样使用公式二计算出各机组每月的CO₂排放量。

公式三遵从2011年发改委发布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》(简称《编制指南》),使用单位热值含碳量及氧化率(单一百分比数值)计算排放因子,再结合活动水平数据求算排放,用于燃煤排放“方法一”。据此公式,用户不需提供如公式一和二所需的灰分、灰渣碳含量或 q_4 值。工具内置了《编制指南》公共电力和热力事业分煤种单位热值含碳量,用户只需在“方法一”工作表中输入各机组每月煤炭消耗量、煤种和低位发热量,并填入氧化率数据,工具会自动匹配相应的省级清单为热值含碳量,计算出各机组每月及年度CO₂排放量。

煤炭固定燃烧CO₂排放计算的精确性受排放因子精确度的影响,进一步分解则受煤炭含碳量(煤炭中可能被氧化形成CO₂的全部碳元素)和氧化率(实际上被氧化的碳占煤炭总碳的比例)这两个影响排放因子数据的影响见表6.1。计算方法一到五对这两个参数的处理不同,其“地域属性”和涉及的相关次级变量不同。

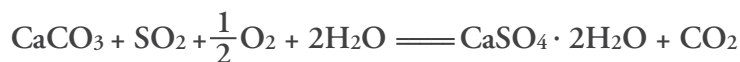
表 6.1 煤炭固定燃烧CO₂排放计算方法的精确性差异来源

方法	含碳量	氧化率
五、四	电厂或机组实测的元素分析值,或由电厂或机组工业分析实测值推算的值	由电厂或机组实测的灰渣含碳量、灰分、煤炭含碳量计算而得
三、二	电厂或机组实测的元素分析值,或由电厂或机组工业分析实测值推算的值	电厂或机组氧化率的近似值,即固体未完全燃烧热损失实测值、锅炉设计值、分锅炉煤型默认值
一	《省级温室气体清单编制指南(试行)》的单位热值含碳量缺省值,为“全国数据”	用户自定义的百分比(实测或行业平均)

由表6.1可见,工具所提供的五种煤炭固定燃烧CO₂排放计算方法在精确度上存在差异。总的来说,方法五最好,方法三和四居中,方法二较差,方法一最差。精确度的差异主要来源于方法使用“机组数据”还是使用其他更大范围的模糊数据,即“设施数据”、“地方数据”,甚至“国别数据”。方法五之所以比其他方法都精确,就在于方法五所有数据都是“机组数据”,而其他方法有部分“设施数据”或范围更大的模糊数据。方法一之所以最不精确,就在于它对含碳量这一变化幅度比氧化率²⁷更大的变量采用了“国别数据”,对同类煤炭不同亚种或批次的特殊性体现不足。方法二之所以较差,就在于方法二的含碳量采用了“设施数据”而且氧化率采用了近似值或经验值。

脱硫工艺二氧化碳直接排放

中国境内燃煤锅炉的二氧化硫排放标准为:新建锅炉不超过100mg/m³,现有锅炉不超过200mg/m³²⁸。脱硫是燃煤电厂的必要流程。其中,广泛使用的碳酸钙湿法脱硫²⁹会产生CO₂排放,化学反应过程如下:



工具中碳酸钙湿法脱硫过程产生的CO₂排放计算公式如下:

公式四

$$W_{se} = W_{\text{CaCO}_3} \times \frac{44}{100} = W_{L.\text{Stone}} \times K_{\text{CaCO}_3} \times \frac{44}{100}$$

式中:

W_{se} 湿法脱硫消耗石灰石引起的CO₂排放量,吨;

$W_{L,Stone}$	石灰石消耗量,吨;
W_{CaCO_3}	碳酸钙消耗量,吨;
K_{CaCO_3}	石灰石中碳酸钙含量,质量百分比,无统计值可取系数92%;
44	二氧化碳的分子量,无量纲;
100	碳酸钙的分子量,无量纲;

碳酸钙是湿法脱硫过程的有效成分。用户可输入石灰石消耗量和碳酸钙含量来计算实际的碳酸钙消耗量。工具设置了脱硫数据的三种情况,其中两种情况需要将电厂层面或从脱硫设备层面的脱硫排放分配到各台机组,具体分配方法请参见本章“排放分配公式”部分。

外购电力和热力(范围二)二氧化碳间接排放

若电厂存在从外部购入电力、热力或蒸汽的情况³⁰,需要计算相应的范围二排放。计算公式如下:

公式五 (外购电力)

$$W_{ie} = E_b \times k_g$$

公式六 (外购热力或蒸汽)

$$W_{ih} = E_{bh} \times k_h$$

公式七 (范围二排放,即外购电力和热力)

$$W_i = W_{ie} + W_{ih}$$

式中:

W_{ie}	外购电力产生的CO ₂ 间接排放,吨;
E_b	外购电力的数量,兆瓦时;
k_g^{31}	电网排放因子,吨CO ₂ /兆瓦时;
W_{ih}	外购热力或蒸汽产生的CO ₂ 间接排放,吨;
E_{bh}	外购热力或蒸汽的数量,百万千焦;
k_h^{32}	外购热力排放因子,吨CO ₂ /百万千焦;
W_i	外购电力和热力(范围二)的CO ₂ 间接排放,吨。

工具提供了世界资源研究所开发的2006至2012年间³³中国分地区(省/自治区/直辖市)电力和热力默认排放因子(见第四章)。为了和工具其他排放过程相统一(煤炭燃烧、湿法脱硫过程目前只统计CO₂排放),工具只引用上述报告中电力和热力排放因子的CO₂排放这一部分数值。

6.2 排放分配公式

热电产品排放分配

燃煤热电厂生产并对外输出两类产品:电和热。为正确反映热电联产厂在排放绩效上的差异,工具对在范围一排放量数据(煤炭燃烧排放和湿法脱硫排放)进行电力和热力的分配。公式如下:

公式八 (供热排放)

$$W_b = (W_{gr} + W_{se}) \times \alpha$$

公式九 (发电排放)

$$W_{eg} = (W_{gr} + W_{se}) \times (1 - \alpha)$$

式中：

W_b	热电联产机组供热CO ₂ 直接排放量,吨;
W_{gr}	煤炭固定燃烧CO ₂ 排放量,吨;
W_{se}	脱硫石灰石消耗CO ₂ 排放量,吨;
W_{eg}	热电联产机组发电CO ₂ 直接排放量,吨;
α	供热比,统计期内机组用于供热的热量和汽轮机热耗量的比值,纯凝机组取0, %。

公式八和九中的供热比是火力发电厂常用的技术经济指标,采用行业标准DL/T 904—2004定义。

湿法脱硫排放机组间分配

本工具考虑到脱硫设备数据的三种情况:

1. 各机组有独立的脱硫设备并且分别记录了石灰石消耗量。
2. 厂内有多个机组共用同一脱硫设备并且各脱硫设备的石灰石消耗量单独记录。
3. 只记录了厂级石灰石消耗量,没有记录各机组或各脱硫设备的消耗量。

第一种情况要求用户输入各机组每月的石灰石消耗量,不需要对脱硫排放进行分配。第二种情况要求用户输入各脱硫设备每月的石灰石消耗量,并指明各脱硫设备对应哪些机组,然后将该设备的湿法脱硫CO₂排放根据各机组年煤炭消耗量³⁴的比例进行分配,公式如下:

公式十 (若干机组共用一台脱硫设备)

$$W_{ds,i} = W_{ds,x} \times \frac{W_{coal,i}}{\sum_{j=1}^n W_{coal,j}}$$

式中：

$W_{ds,i}$	报告期间(一年)机组 <i>i</i> 由于湿法脱硫过程产生的CO ₂ 排放,吨;
$W_{ds,x}$	报告期间脱硫设备 <i>x</i> 由于碳酸钙脱硫产生的CO ₂ 排放,吨;
$W_{coal,i}$	机组 <i>i</i> 煤炭年消耗量,吨;
$W_{coal,j}$	使用脱硫设备 <i>x</i> 脱硫的第 <i>j</i> 台机组的煤炭年消耗量,吨。

第三种情况同样根据各机组煤炭年消耗量来分配湿法脱硫过程排放。公式如下：

公式十一（仅有厂级脱硫数据）

$$W_{ds,i} = W_{ds} \times \frac{W_{coal,i}}{W_{coal}}$$

式中：

$W_{ds,i}$	报告期间(一年)机组 <i>i</i> 由于湿法脱硫过程产生的CO ₂ 排放,吨;
W_{ds}	报告期间全厂由于湿法脱硫产生的CO ₂ 排放,吨;
$W_{coal,i}$	机组 <i>i</i> 煤炭年消耗量,吨;
W_{coal}	全厂的煤炭年消耗量,吨。

6.3 排放绩效公式

二氧化碳排放绩效（以下简称“排放绩效”）定义为燃煤电厂生产或供给单位电力或热力的二氧化碳排放量。工具计算了机组层面和厂级层面的范围一排放绩效，以及电厂层面的总排放绩效（综合了范围一和范围二的排放），并区分发电、供电、供热排放绩效。公式如下：

公式组一（范围一的排放绩效）

$$H_{1,g,i} = W_{1,g,i} \div E_{g,i}$$

$$E_{s,i} = E_{g,i} \times (1 - \eta)$$

$$H_{1,s,i} = W_{1,s,i} \div E_{s,i}$$

$$H_{1,b,i} = W_{1,b,i} \div Q_i$$

$$H_{1,g} = W_{1,g} \div E_g$$

$$H_{1,s} = W_{1,s} \div E_s$$

$$H_{1,b} = W_{1,b} \div Q$$

公式组二（范围一和范围二总排放的排放绩效）

$$H_{t,g} = W_{t,g} \div E_g$$

$$H_{t,s} = W_{t,s} \div E_s$$

$$H_{t,b} = W_{t,b} \div Q$$

式中：

参数：

H 排放绩效,克/兆瓦时(供电或发电)或克/兆焦(供热)；
 W CO₂排放量,吨；
 E 供电量或发电量,兆瓦时；
 Q 供热量,兆焦；
厂用电率,百分比。

下角标：

g 发电；
 s 供电；
 b 供热；
 l 范围一排放；
 t 范围一(燃煤、脱硫)加范围二(外购电、蒸汽)。
 i 机组 i ,如无 i 表示为厂级。



6.4 含碳量推算模型

含碳量是计算煤炭排放因子、固定燃烧排放的一个核心变量,可通过元素分析直接获得³⁵。然而中国境内的燃煤电厂几乎都不做煤炭元素分析,也没有煤炭含碳量实测数据。另一方面,与含碳量相关的煤炭工业分析数据(如固定碳含量)是燃煤电厂常用的生产统计指标,有较好的记录。同样作为煤炭质量数据,理论上讲,含碳量与工业分析数据高度相关。

针对上述现状,为方便用户能更大程度上运用“机组或设施数据”(即“电厂数据”)实现更详细、精确的排放核算,世界资源研究所开展了工业分析数据与含碳量之间的实证数量关系研究。在文献回顾的基础上,利用来自国际煤炭质量数据库(World Coal Quality Inventory,简称WoCQI)³⁶的223个有效中国煤炭样本,得出了含碳量多元线性统计分析模型(具体见附录A)。分煤种的公式如下：

公式十二 (无烟煤)

$$C = -7,771913 + 0.5980986 \times VM + 1.054403 \times FC$$

公式十三 (烟煤)

$$C = 10.2463 + 0.0902298 \times VM + 0.250828 \times FC + 1.633431 \times Q_{net,ar} - 0.129543 \times A$$

公式十四 (褐煤)

$$C = 3.227444 + 0.2142667 \times VM + 0.5027048 \times FC + 1.190495 \times Q_{net,ar} - 0.0550907 \times A$$

公式十五 (贫煤)

$$C = 27.10947 - 0.2675814 \times VM - 0.2299297 \times FC + 2.469394 \times Q_{net,ar} - 0.2721602 \times A$$

式中(各变量均为收到基³⁷下的数值)：

C	含碳量,煤炭中所含的全部碳元素占煤炭质量的百分比；
VM	挥发分含量,煤样中有机质热分解的产物占煤炭质量的百分比；
FC	固定碳含量,空气干燥基下测定挥发分产率后的有机残留物占煤炭质量的百分比,其中的组成成分以碳元素为主,还有不同数量的氢、氧、氮、硫等以有机形式存在的有机元素；
$Q_{net,ar}$	低位发热量,1千克燃料完全燃烧时放出的全部热量扣除烟气中水蒸汽的汽化潜热后的发热量,兆焦/千克。
A	灰分含量或灰分产率,煤样在规定条件下完全燃烧后所得残留物占煤炭质量的百分比。

受现有数据源影响,褐煤回归分析的样本数量有限,对回归模型的代表性可能产生影响。对那些有褐煤锅炉的电厂,使用本工具时,建议对照附录F,确定该电厂的褐煤对工具回归分析采用的样本来说,不是极端数。或者,用户可利用比本工具更大的自有样本数据,根据本回归计算式重新计算参数,并套用在工具的公式中。同时,工具未来也将进一步尽可能完善样本量较小的不足,扩充褐煤样本。

当用户在“电厂基本情况”工作表的“拥有哪类煤炭质量分析数据”下拉菜单中选择“工业分析固定碳含量”时,煤炭固定燃烧CO₂排放计算方法二到方法五工作表中的煤炭质量数据单元格会被激活,用户可在此输入相应数值并标明煤种。用户应确保输入的煤炭质量数据为收到基数据。此后在方法二到方法五的工作表中,工具会根据用户选择的煤种,自动引用对应的回归方程和系数在后台运算,计算出该煤炭的含碳量,然后结合前文所列的公式一或二计算燃煤CO₂排放量。

附录

.....

- 43 附录A 煤炭含碳量推算模型及误差对比
- 49 附录B 热电厂排放分配
- 50 附录C eGRID数据库简介
- 52 附录D 范例
- 61 附录E 回归分析样本统计值

- 63 术语表
- 66 参考文献
- 68 注释



附录 A

煤炭含碳量推算模型 及误差对比

鉴于煤炭工业分析与原始分析的理论相关，在文献回顾的基础上，我们运用国际上公开的煤炭质量数据库数据（国际煤炭质量数据库，World Coal Quality Inventory，简称WoCQI），开展了煤炭含碳量的统计回归分析。分析用工业分析数据（收到基）和低位发热量推算含碳量，采用多元线性回归模型，计算式为：

$$\text{Carbon} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Volatile Matter} + \beta_2 \times \text{Fixed Carbon} + \beta_3 \times \text{Calorific Value} + \beta_4 \times \text{Ash}$$

式中：

<i>Carbon</i>	含碳量，百分比；	<i>VolatileMatter</i>	挥发分含量，百分比；
<i>Calorific Value</i>	煤炭的低位发热值，兆焦/千克；	<i>FixedCarbon</i>	固定碳含量，百分比；
<i>Ash</i>	灰分含量或灰分产率，百分比；	β_0	常数；
$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$	自变量系数。		

回归使用了WoCQI的223个有效中国样本³⁸。为确定具体公式，做了两方面的检验分析。一是鉴于以往研究的差异，研究确定使用收到基与使用空干基数据做回归孰优孰劣；二是确定是否需要针对不同煤种分别做回归。首先，回归比较显示，收到基和空干基³⁹两种推算误差较为接近。鉴于电厂普遍记录收到基收据，并且为了方便计算，排放时可直接用含碳量乘以实际煤耗量，回归推算决定采用未经转换（除发热量⁴⁰）的数据库原始收到基数据。其次，为了比较确定用分煤炭种类的回归模型与单一不分煤种的混合回归模型进行推算孰更可靠，我们进行了F检验。结果表明分煤炭种类回归的模型显著优于混合模型。

$$F(3, 215) = 6.69 \quad \text{Prob} > F = 0.0002$$

因此，我们选择分煤种（四大类）用收到基数据进行回归分析，确定具体回归方程及参数。回归结果见表A.1。

表A.1 利用收到基数据进行分煤类的多元线性回归结果

		回归结果				
褐煤	Source	SS	df	MS		
	Model	1042.5746	4	260.643649	Number of obs = 18 F(4, 13) = 1461.92 Prob > F = 0.0000 R-squared = 0.9978 Adj R-squared = 0.9971 Root MSE = .42224	
	Residual	2.31774467	13	.178288052		
	Total	1044.89234	17	61.4642553		
	Carbon_ar	Coef.	Std. Err	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	volatilem_ar	.2142667	.0543393	3.94	0.002	.0968738 .3316596
	fixedcarbo-r	.5027048	.0736867	6.82	0.000	.3435144 .6618952
	LHV_ar	1.190495	.1573177	7.57	0.000	.8506311 1.530359
	ash_ar	-.0550907	.0181747	-3.03	0.010	-.0943548 -.0158266
	_cons	3.227444	1.911744	1.69	0.115	-.9026286 7.357517
烟煤	Source	SS	df	MS		
	Model	11989.5651	4	2997.39127	Number of obs = 124 F(4, 119) = 4717.97 Prob > F = 0.0000 R-squared = 0.9937 Adj R-squared = 0.9935 Root MSE = .79707	
	Residual	75.6023458	119	.635313831		
	Total	12065.1674	123	98.0907921		
	Carbon_ar	Coef.	Std. Err	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	volatilem_ar	.0902298	.0462906	1.95	0.054	-.0014301 .1818897
	fixedcarbo-r	.250828	.0512494	4.89	0.000	.1493492 .3523069
	LHV_ar	1.633431	.0893181	18.29	0.000	1.456572 1.81029
	ash_ar	-.129543	.0243959	-5.31	0.000	-.1778493 -.0812367
	_cons	10.2463	2.384109	4.3	0.000	5.525522 14.96707
贫煤	Source	SS	df	MS		
	Model	5090.00093	4	1272.50023	Number of obs = 29 F(4, 24) = 2208.68 Prob > F = 0.0000 R-squared = 0.9973 Adj R-squared = 0.9968 Root MSE = .75904	
	Residual	13.8272769	24	.576136538		
	Total	5103.8282	28	182.279579		
	Carbon_ar	Coef.	Std. Err	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	volatilem_ar	-.2675814	.1460536	-1.83	0.079	-.5690212 .0338584
	fixedcarbo-r	-.2299297	.1398491	-1.64	0.113	-.518564 .0587045
	LHV_ar	2.469394	.2831732	8.72	0.000	1.884953 3.053835
	ash_ar	-.2721602	.1079893	-2.52	0.019	-.4950391 -.0492813
	_cons	27.10947	9.946304	2.73	0.012	6.581311 47.63764
无烟煤	Source	SS	df	MS		
	Model	2970.4387	2	1485.21935	Number of obs = 52 F(2, 49) = 839.55 Prob > F = 0.0000 R-squared = 0.9716 Adj R-squared = 0.9705 Root MSE = 1.3301	
	Residual	86.6839507	49	1.76906022		
	Total	3057.12265	51	59.9435815		
	Carbon_ar	Coef.	Std. Err	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	volatilem_ar	.5980986	.0679745	8.80	0.000	.4614987 .7346986
	fixedcarbo-r	1.054403	.0262065	40.23	0.000	1.001739 1.107067
	_cons	-7.771913	2.130325	-3.65	0.001	-12.05296 -3.490865

注：ash_ar—灰分，volatilem_ar—挥发分，fixedcarbo-r—固定碳含量，LHV_ar—低位发热量，_cons—常数，数据均为收到基下数值。

因此,分煤种收到基下的含碳量回归方程如下:

褐煤

$$\text{Carbon} = 3.22744 + 0.2142667 \times \text{Volatile Matter} + 0.5027048 \times \text{Fixted Carbon} + 1.190495 \times \text{CalorificValue} - 0.0550907 \times \text{Ash}$$

烟煤

$$\text{Carbon} = 10.2463 + 0.0902298 \times \text{Volatile Matter} + 0.250828 \times \text{Fixted Carbon} + 1.633431 \times \text{CalorificValue} - 0.129543 \times \text{Ash}$$

贫煤

$$\text{Carbon} = 27.10947 - 0.2675814 \times \text{Volatile Matter} - 0.2299297 \times \text{Fixted Carbon} + 2.469394 \times \text{CalorificValue} - 0.2721602 \times \text{Ash}$$

无烟煤

$$\text{Carbon} = -7.771913 + 0.5980986 \times \text{Volatile Matter} + 1.054403 \times \text{Fixted Carbon}$$

比较四个方程,我们注意到,褐煤、烟煤、贫煤的收到基回归方程包括四个自变量:低位发热量、固定碳含量、灰分和挥发分。而无烟煤回归方程的自变量中不包括热值和灰分产率,仅有两个自变量,即固定碳含量和挥发分(与逐步多元回归的最佳回归结果相同)。无烟煤回归的自变量中剔除了发热量,而保留固定碳含量,原因有三。第一,回归过程中,我们发现在无烟煤几组同时包括固定碳含量和热值的回归中,固定碳含量和热值呈现出严重的共线性,热值的回归系数不显著异于零;而在剔除掉或固定碳含量或发热量、仅保留二者之一的情况下,模型的均方根误差(RMSE)并无显著增加。第二,无烟煤的碳含量通常在90%以上,碳是热量的主导来源,二者高度相关存在理论基础。第三,涂华等(2003)的无烟煤含碳量研究确定的回归方程也未包含发热量。此外,无烟煤的最终回归方程中也不包含灰分这一自变量,是考虑到以下特征值变化情况和理论基础。当在以固定碳和挥发分为自变量的无烟煤回归方程中进一步添加灰分产率这一自变量,调整的R方发生小幅变化,但不升反降,从0.9705降到0.9701。同时,灰分产率系数不显著异于零(P值为0.539)。从理论上讲,无烟煤是变质程度很高的煤种,挥发分受变质程度影响大,而灰分受变质程度影响小。因而,无烟煤含碳量与挥发分的变化更为密切,与灰分的相关性较低,回归方程包含含碳量而不包含灰分产率是合理的⁴¹。

模型交叉验证

为评价模型推算能力,我们对回归模型进行了交叉验证。交叉验证的基本思路是把数据分成若干部分,用其中一份数据进行模型验证,其余数据用于模型参数估计。设想我们用数据来估计模型中未知的参数,拟合过程的目的是找到最优化的参数,使模型结果尽可能与观测数据相匹配。但是最优的拟合结果不一定会带来最精确的推算结果,造成这一问题的原因在于过度拟合。该问题在数据点不足的情况下尤其容易发生。交叉检验提供了一种利用已有数据来避免过度拟合、找到最优推算模型的方法。

交叉检验包含多种形式，这里采用留一检验。具体做法如下：（1）在n组数据中取出1组作为验证数据，其余n-1组数据用于模型拟合；（2）用第一步拟合的参数值来推算验证数据组的值，将推算值与观测值相比较；（3）对每一组观测数据重复以上两步，并按下式计算均方根误差，以此衡量交叉检验的推算误差。

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

其中：

n 为观测数据组数； \hat{y}_i 表示第i组数据的推算值；
 y_i 表示第i组数据的观测值；

均方根误差越小,表明运用对应的模型进行推算结果越准确。均方根误差的单位与应变量含碳量的单位相同,为百分比。以褐煤为例,其交叉检验推算误差为0.518,表示用本工具内置的褐煤对应的线性模型对独立的数据进行推算时,其含碳量推算结果与测量值的偏离0.518%左右。各煤种模型交叉验证结果见表A.2⁴²。结果表明本节介绍的推算模型均有较好的推算能力。

表A.2 交叉验证推算误差

煤种	均方根误差(%) ⁴³
褐煤	0.518
烟煤	0.814
贫煤	0.927
无烟煤	1.443

含碳量误差比较:模型推算和默认值

为了进一步验证本研究所提供的推算模型为用户提供了更为精确的排放运算可能，我们将“推算模型误差”与运用《省级温室气体清单编制指南（试行）》中默认值引起的误差（“默认值误差”）做了比较。“推

算模型误差”为模型推算的含碳量与实测含碳量之间的差值；“默认值误差”为默认含碳量与实测含碳量之间的差值。

《省级温室气体清单编制指南（试行）》的含碳量默认值为单位热值含碳量，而元素分析中的含碳量为质量百分比，二者分子相同，分母不同，通过发热量，有下列数量关系：

$$(\text{质量百分比})\text{含碳量} = \text{单位热值含碳量} \times \text{发热量}$$

为进行误差比较，我们对223煤样的含碳量“模型推算值”根据上式做了处理。将煤样的“推算百分比值”和“实测百分比含碳量”除以其发热量，煤样含碳量的百分比形式转化成了单位热值含碳量形式。然后，再分别计算所有样本含碳量“模型推算相对误差”和“默认值相对误差”，最后计算出分煤种相对误差统计值。根据表A.3，“推算模型相对误差”的各统计值都小于“默认值相对误差”相应的统计值。相比之下，模型推算的含碳量在更小的相对误差范围内波动。

$$\text{相对误差} = (\text{模型推算值或省级清单数据倒推值} - \text{实测含碳量}) / \text{实测含碳量}$$

表A.3 含碳量相对误差（%）

		平均值	绝对值平均值*	绝对值最大值	绝对值最小值
无烟煤	模型	0.036	1.435	6.616	0.013
	默认值	2.149	3.707	8.765	0.262
烟煤	模型	0.012	0.991	4.424	0.002
	默认值	2.561	3.121	8.812	0.034
褐煤	模型	-0.044	0.808	2.116	0.102
	默认值	2.341	3.660	9.752	0.326
贫煤	模型	-0.003	0.874	2.931	0.001
	默认值	0.666	1.181	4.306	0.001

* 绝对值平均值为样本相对误差绝对值的平均值。

结论

文献回顾和本研究较大样本数理统计分析得出相同结论，即煤炭的含碳量可以根据工业分析结果进行可靠的数理统计推算。较为简便且行之有效的数理统计方法是多元线性回归。本研究分析确认分煤种回归的模型显著优于单一混合回归模型，得出了基于煤炭收到基工业分析数据的四个含碳量推算模型。其中，受现有数据源影响，中国有效褐煤样本数量有限，褐煤含碳量的推算质量可能会受到影响。本研究现还未找到更大样本量的数据库，以弥补现有分析的不足。此外，由于各煤种样本数量不同，各模型的统计能力不均衡。其他更为先进的统计方法，如多层模型（Multilevel model）可以从一定程度上解决线性回归模型的缺陷，然而其方法也较为复杂，在普及和推广上可能存在一定难度。

利用煤炭工业分析数据做多元线性回归推算煤炭含碳量，方法简易、可靠，误差较小，可以在Excel环境下完成运算。这类简易煤炭含碳量推算方法的采用，有利于利用电厂现有煤炭质量数据，在不大量增加煤炭样本分析成本的前提下，合理利用数理统计方法可靠推算煤炭含碳量，实现运用发电机组及电厂特定排放因子核算固定源燃烧CO₂排放量。然而，这只是短期方法，模型存在误差，对褐煤存在样本量较小的问题。长远来说，无论是温室气体排放的高精度量化，还是电厂本身优化运行，实现高效节煤生产，电厂开展煤炭的元素分析都应成为发展趋势。



附录 B

热电厂排放分配



热电联产整合热能和电能生产，实现一次燃烧燃料，同时产生热能和电能两种产品，用能高效。中国95%以上热电联产使用煤炭做燃料⁴⁴，因此本工具针对燃煤电力设施进行计算时考虑热电联产设施的情况是很有必要的。此外，以下两点原因进一步说明了区分供热与供电温室气体排放量的重要性：

1. 符合热电设施（电厂层面或机组层面）较单一发电电厂而言能源总体转换效率高、能源产品（供热或发电）排放因子低的特点，便于电厂之间横向比较。
2. 避免下游用户重复计算范围二排放。

根据温室气体核算体系的《热电联产温室气体排放分配工具指南》（以下简称《分配工具指南》），热电联产设施温室气体排放分配的常见方法有三种：

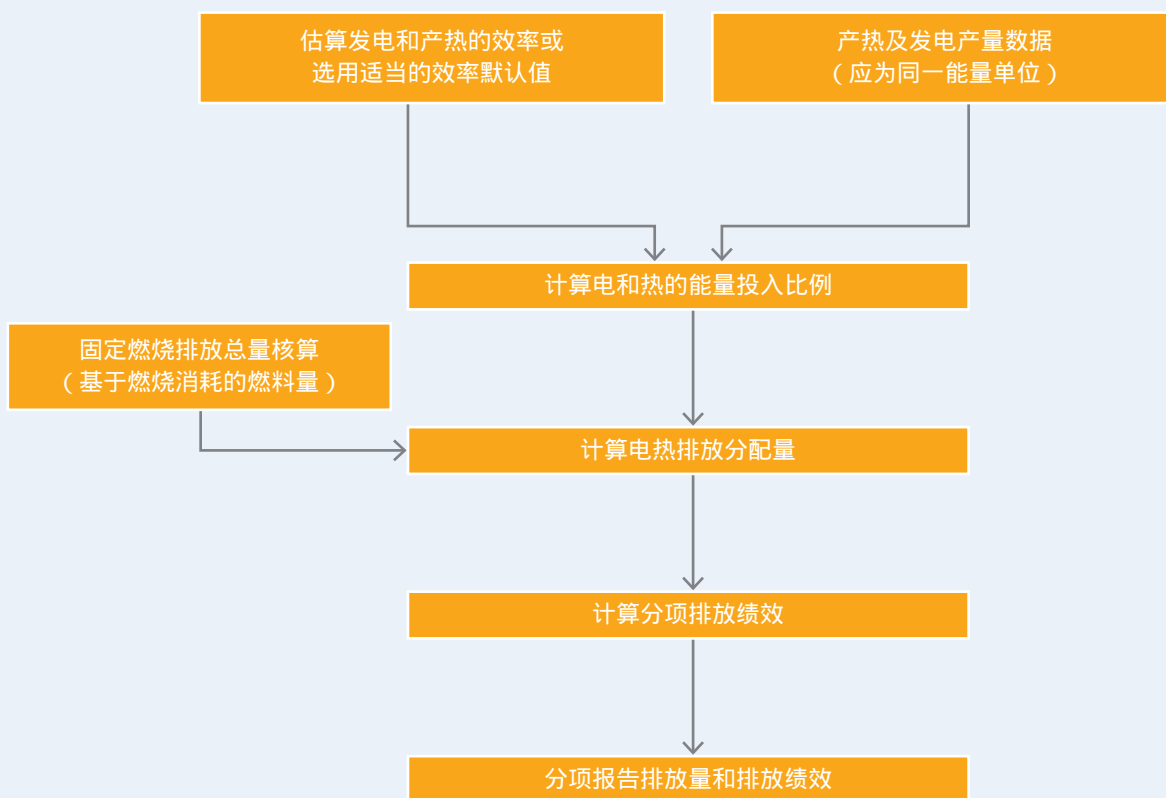
1. 效率方法——温室气体排放按用于生产蒸汽和电力的能量输入分配。（Allocated based on the energy inputs used to produce the separate steam and electricity products）《分配工具指南》推荐该方法。
2. 能量方法——温室气体排放按所产出的蒸汽和电力的能量含量分配。（Allocated based on the energy content of the output steam and electricity products.）
3. 潜在功方法——温室气体排放按蒸汽和电力的能量含量分配。（Allocated based on the energy content of the steam and electricity products.）。

《分配工具指南》推荐效率方法，对各方法的详细解释请参见《分配工具指南》，下载地址如下：

http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/CHP_guidance_v1.0.pdf

本指南中用于排放分配的关键参数是供热比，属于效率方法。

表B.1 效率方法



附录 C

eGRID数据库简介



eGRID是the Emissions & Generation Resource Integrated Database（电力资源与排放综合数据库）的缩写。该数据库由美国国家环境保护局（EPA）管理和发布，收集了美国多个联邦机构的数据，基本涵盖了美国境内所有的电力生产企业，内容涉及各种发电及环境指标，如二氧化硫排放量、二氧化碳排放量、排放绩效、净发电量等。eGRID将EPA的排放数据和电力生产数据相结合，计算出相应环境参数（例如每兆瓦电力产生的排放），便于直接比较不同电力的环境特征。eGRID不仅包括电厂锅炉、发电机组等各个层面的数据，还在此基础上提供全美、各州、电力公司和电网的汇总数据。

截至目前，美国国家环境保护局一共发布8个eGRID版本，主要针对2004年、2005年、2007年和2009年的数据，大概每隔一年或一年半发布更新后的版本。最新的eGRID2012于2012年5月份发布，含有2009年数据。数据库完全对外公开，可以直接从EPA网站上下载。下载地址如下：

<http://epa.gov/cleanenergy/energy-resources/egrid/index.html>

eGRID数据被用于碳足迹评估、减排计算、间接排放计算等，用户包括气候登记处（the Climate Registry）、加州气候行动组织（the California Climate Action Registry）、加州强制性温室气体报告项目（AB32）及其他温室气体项目。eGRID还为多个温室气体计算工具、国际碳排放数据库提供基础数据。美国很多的州利用eGRID信息对电力进行贴标，编制排放清单，制定排放政策和标准。非盈利机构也利用eGRID数据进行研究和分析。

与本工具的联系

为了帮助用户客观地了解目标电厂排放水平的高低，识别差距，我们收集eGRID数据，在工具中内置排放绩效图表，方便用户与美国同行进行比较。

工具中图表所用到的eGRID数据

“横向比较”工具表中的美国电厂排放图表运用了eGRID 2012 Version1（该版本包含2009年的数据）工作表“PLNT09”中的以下几组数据：

- 主要燃料种类（Primary Fuel Category）
- 电力生产燃料类型（Fuel Generation Category）
- 热电联产厂调整指示（Combined Heat and Power (CHP) Plant Adjustment Flag）
若一电厂为热电联产，则该参数等于1。
- 未调整的电厂年CO₂排放（Plant Unadjusted Annual CO₂ Emissions）
该参数显示未经调整⁴⁵的年CO₂排放。从2007年起，该参数包括生物质燃料产生的CO₂排放。
- 电厂年燃煤净供电量（Plant Annual Coal Net Generation）
该参数显示了由燃煤产生的净供电量，涵盖了以下五种燃料类别：烟煤、次烟煤、褐煤、煤渣（Waste coal）、合成煤（Syncoal）⁴⁶。
- 电厂燃煤发电比例（Plant Coal Generation Percent）
该参数显示了电厂年燃煤净供电量占电厂年净供电量的比例。
- 有效供热（CHP Plant Useful Thermal Output）
该参数为热电厂的有效热输入，即供热量。部分热电厂该数据缺失。
- 电力排放分配系数（CHP Plant Electric Allocation Factor）
该参数表征热电厂排放中由于电力生产所产生的部分，它是由电力热输出除以电力热输出与蒸汽热输出之和得到的，其中蒸汽热输出占有效热输出的75%。该参数用于将热电厂的排放分配给电力生产和有效热输入。对非热电联产的电厂，该参数值为1。

工具不直接使用eGRID排放绩效数据，而进行额外计算，原因在于eGRID文件中的所有排放绩效基于调整后的排放、净供电量和调整后的热输入。所谓的“调整”是指：根据数据来源和排放不同，排放先针对生物质燃料进行调整，汇总至电厂级别，然后再针对热电联产进行调整。在eGRID 2012中，仅电厂层面数据包含未调整排放数据。

eGRID涵盖了美国几乎所有的电力设施，包括燃煤电厂和使用其他燃料的电厂，故我们筛选了那些“主要燃料类型”和“电力生产燃料类型”均被标记为“煤炭”的电厂，同时排除了那些燃煤发电比例低于98%的电厂或有效供热数据为0的热电厂⁴⁷。最终我们从eGRID数据库筛选出近400家燃煤电厂，其中60多家燃煤热电厂。

附录 D

范例

模拟案例描述及数据

模拟案例旨在帮助用户熟悉工具使用流程并获得对计算结果的具体认知。案例情景设置如下：

2010年，北京一家燃煤热电厂，基本资料见表D.1，拥有两台装机容量均为500MW的发电机组，其中机组1是热电联产，机组2非热电联产。各机组每月发电量稳定，机组1的供热量有季节性变化。该电厂全年均消耗烟煤且一年内煤炭品质稳定。电厂拥有煤炭工业分析数据，见表D.2。该电厂使用碳酸钙湿法脱硫，每台机组对应一套脱硫设备，石灰石供应充足，供应商常年提供碳酸钙含量稳定的石灰石。该电厂有外购电力、热力或蒸汽，记录见表D.1。该电厂没有灰渣含碳量实测值，也没有 q_4 实测值，但有各机组的锅炉 q_4 设计值。机组1的煤耗、煤质、石灰石消耗量见表D.3；机组2的发电、煤耗及石灰石消耗情况见表D.4。本案例使用的模拟数据不代表任何燃煤热电厂的实际运行情况。

方法选择和计算步骤

鉴于该电厂有煤炭质量数据，有 q_4 设计值，但没有灰渣含碳量数据，可考虑使用方法二或方法三。最后，考虑到机组1和2的煤质数据相同，使用方法二，简化数据输入。用户可参照以下步骤输入案例数据：

1. 在“电厂基本情况”工作表的第一步根据描述和表D.1输入相关数据，第二步根据表D.2和D.3输入两个机组的发电量，第三、四步根据表D.3输入机组1供热量，第五步根据表D.1、表D.3、表D.4输入相关数据。
2. 在“方法综述”工作表选择方法二，在第一步中“煤炭质量数据的月平均值是”选择“煤耗量加权平均”⁴⁸，在主要煤种类型中选“烟煤”，然后根据表D.2、表D.3、表D.4填入煤质数据和电厂总煤炭消耗量每月数据；在第二步，根据表D.3和D.4填入机组1和2的各月煤炭消耗量数据；在第三步，选择第二项“没有测量 q_4 ，但每个锅炉都有设计值”，然后在下方表格中根据表D.1填写。
3. 进入“方法一”工作表填写机组1和2的数据。
4. 进入“脱硫”工作表，根据表D.2、表D.3、表D.4填入数据，其中第二步选择“各机组有独立的脱硫设备”。
5. 进入“外购电、蒸汽”工作表，根据表D.1填入数据。
6. 点击“外购电、蒸汽”下方的“查看数据汇总”按键。
7. 点击“横向比较”工作表的标签，查看美国数据并与计算结果作比较。
8. 保存计算结果。

表D.1 燃煤电厂基本资料

电厂所在省/自治区/直辖市	北京
报告年度	2010
厂用电率 %	6
石灰石碳酸钙含量 %	95
固体未完全燃烧热损失q4 (锅炉设计值) %	1
氧化率 (用于方法一) , %	98
单位热值含碳量数据 (用于方法一)	选用发改委2011《省级温室气体清单编制指南(试行)》数据
外购电力	购电记录序号: 201201 购电量: 56000MWh 购电记录序号: 201211 购电量: 10000MWh
外购蒸汽	购蒸汽记录序号: 20120005 外购蒸汽量: 20000MkJ 购蒸汽记录序号: 20120012 外购蒸汽量: 150000MkJ

表D.2 煤炭工业分析数据 (收到基)

月份	灰分含量 %	挥发分含量 %	固定碳含量 %	低位发热量 MJ/kg
1	14	28	46	22.6
2	14	28	46	22.6
3	14	28	46	22.6
4	14	28	46	22.6
5	14	28	46	22.6
6	14	28	46	22.6
7	14	28	46	22.6
8	14	28	46	22.6
9	14	28	46	22.6
10	14	28	46	22.6
11	14	28	46	22.6
12	14	28	46	22.6

表D.3 机组1的发电、供热、煤耗及石灰石消耗情况

月份	供热比 %	耗煤量 t	石灰石消耗量 t	发电量 MWh	供热量 MJ
1	71	151000	1780	230000	2228000000
2	71	151000	1780	230000	2228000000
3	54	121000	1420	210000	1338000000
4	54	121000	1420	210000	1338000000
5	54	121000	1420	210000	1338000000
6	14	112000	1320	230000	315000000
7	14	112000	1320	230000	315000000
8	14	112000	1320	230000	315000000
9	71	151000	1780	230000	2228000000
10	71	151000	1780	230000	2228000000
11	71	151000	1780	230000	2228000000
12	71	151000	1780	230000	2228000000

表D.4 机组2的发电、煤耗及石灰石消耗情况

月份	耗煤量 t	石灰石消耗量 t	发电量 MWh
1	112000	1320	317500
2	112000	1320	317500
3	112000	1320	317500
4	112000	1320	317500
5	112000	1320	317500
6	112000	1320	317500
7	112000	1320	317500
8	112000	1320	317500
9	112000	1320	317500
10	112000	1320	317500
11	112000	1320	317500
12	112000	1320	317500

计算结果

经过上述步骤，得到以下结果：

表D.5至表D.8综合展示了描述性信息和结算结果，用户可查询到电厂层面和机组层面的煤炭燃烧和湿法脱硫过程的排放，以及排放在热和电之间的分配。图D.1用饼图展示了排放比例，可以看出本案例中热电厂采用了含硫量低的煤炭，燃煤排放占统计总排放的98.5%以上，是排放的最主要来源。图D.2至图D.4用柱状图展示了各机组的排放绩效以及电厂层面的平均值，可以看出作为热电联产的机组1的发电和供电的排放绩效均优于非热电联产的机组2。最后，图D.5和图D.6展示了该电厂排放绩效与美国电厂相比较的状况，相比之下，该电厂排放绩效水平较低，比大多数的美国电厂好。。

表D.5 计算小结——基本信息（范例）

电厂名称 Plant name	
电厂主管单位名称 Parent company	
电厂所在省 Province the plant is located	北京 Beijing
报告年度 Year of reporting	2010
贵厂是否从邻近外部设施购买蒸汽用于发电？ Does your plant purchase steam from neighboring facility for electricity generation?	是 Yes
是否有热电联产机组？ Does the plant have CHP units?	是 Yes
共有几个发电机组？ How many EGUs does the plant have?	2
是否用碳酸钙作为脱硫剂？ Is CaCO ₃ used as a scrubbing agent for any of the plant's EGUs?	是 Yes
煤炭固定燃烧的计算方法 Calculation method for coal stationary combustion	方法三
贵厂拥有那类煤炭质量分析数据 Please indicate the type of coal quality analysis is	工业分析固定碳含量

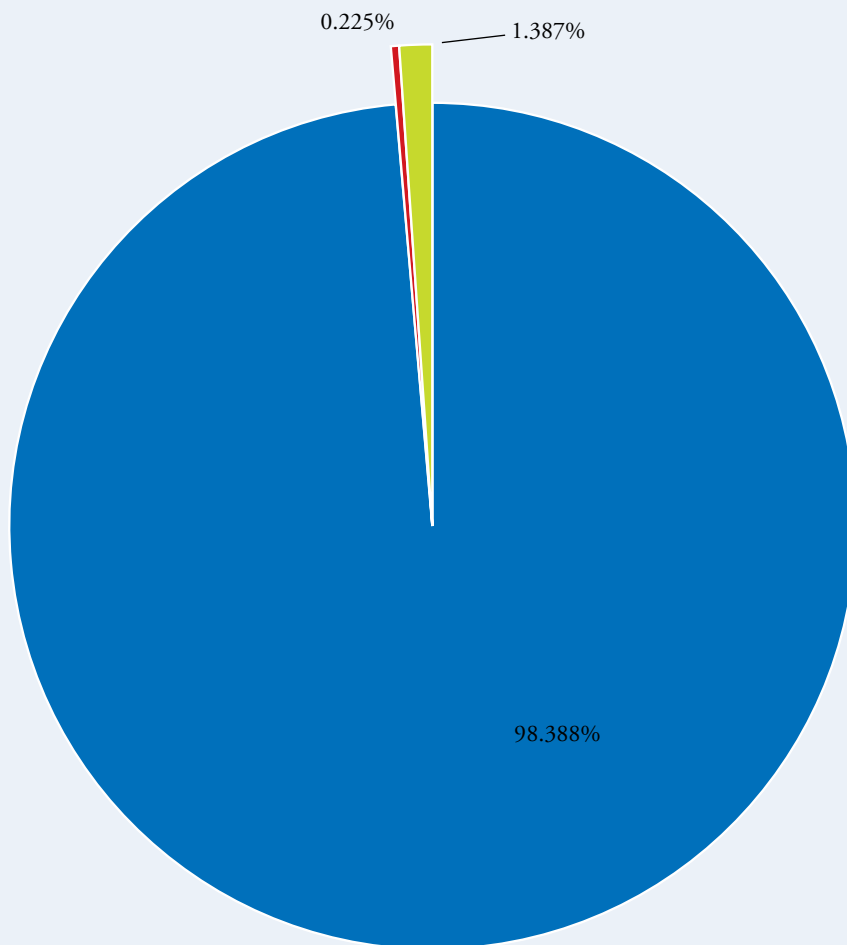
表D.6 计算小结——排放量绝对值（范例）

机组 EGU	煤炭 (范围一) Coal use (Scope 1)	脱硫 (范围一) SO ₂ scrubbing (Scope 1)	范围一的 二氧化碳排放 量汇总 CO ₂ emissions from Scope 1	外购电力、蒸 汽 (范围二) Purchased electricity and steam (Scope 2)	范围一和范围 二排放量 (公吨) CO ₂ Emissions from Scope 1&2 (metric ton)
	二氧化碳排放 量 (公吨) CO ₂ emissions (metric ton)	二氧化碳排放 量 (公吨) CO ₂ emissions (metric ton)	二氧化碳排放 量 (公吨) CO ₂ emissions (metric ton)	二氧化碳排放 量 (公吨) CO ₂ emissions (metric ton)	
合计 (厂级) Total (Plant-level)	6,360,059	14,521	6,374,580	89,664	6,464,244
#1	3,461,477	7,900	3,469,377	N/A	N/A
#2	2,898,582	6,621	2,905,203	N/A	N/A
#3				N/A	N/A
#4				N/A	N/A
#5				N/A	N/A
#6				N/A	N/A
#7				N/A	N/A
#8				N/A	N/A
热电厂发电所排放的二氧化碳 Emissions allocated to electricity generation in CHP plants					
合计 (厂级) Total (Plant-level)	4,448,547	10,159	4,458,706	62,715	4,521,421
#1	1,549,965	3,538	1,553,503	N/A	N/A
#2	2,898,582	6,621	2,905,203	N/A	N/A
#3				N/A	N/A
#4				N/A	N/A
#5				N/A	N/A
#6				N/A	N/A
#7				N/A	N/A
#8				N/A	N/A
热电厂供热所排放的二氧化碳 Emissions allocated to heat production in CHP plants					
合计 (厂级) Total (Plant-level)	1,911,511	4,363	1,915,874	26,948	1,942,823
#1	1,911,511	4,363	1,915,874	N/A	N/A
#2		0		N/A	N/A
#3				N/A	N/A
#4				N/A	N/A
#5				N/A	N/A
#6				N/A	N/A
#7				N/A	N/A
#8				N/A	N/A

表D.7 计算小结——各部分排放量占总排放（范围一加范围二）的比例（范例）

机组 EGU	煤炭 (范围一) Coal use (Scope 1)	脱硫 (范围一) SO ₂ scrubbing (Scope 1)	范围一的 二氧化碳 排放量汇总 CO ₂ emissions from Scope 1	外购电力、蒸汽 (范围二) Purchased electricity and steam (Scope 2)
	占范围一和范围二排放量的百分比 (%) Percentage to the total emissions of scope 1&2 (%)			
合计 (厂级) Total (Plant-level)	98.388	0.225	98.613	1.387
#1	53.548	0.122	53.670	N/A
#2	44.840	0.102	44.943	N/A
#3				N/A
#4				N/A
#5				N/A
#6				N/A
#7				N/A
#8				N/A
热电厂发电所排放的二氧化碳 Emissions allocated to electricity generation in CHP plants				
合计 (厂级) Total (Plant-level)	68.818	0.157	68.975	1.387
#1	23.978	0.055	24.032	N/A
#2	44.840	0.102	44.943	N/A
#3				N/A
#4				N/A
#5				N/A
#6				N/A
#7				N/A
#8				N/A
热电厂供热所排放的二氧化碳 Emissions allocated to heat production in CHP plants				
合计 (厂级) Total (Plant-level)	29.571	0.067	29.638	1.387
#1	29.571	0.067	29.638	N/A
#2		0.000		N/A
#3				N/A
#4				N/A
#5				N/A
#6				N/A
#7				N/A
#8				N/A

图D.1 计算小结——范围一和范围二的排放比例（范例）



- 燃煤 (范围一) Coal use (Scope 1)
- 脱硫 (范围一) SO₂ scrubbing (Scope 1)
- 外购电力或蒸汽 (范围二) Purchased electricity (Scope 2)

表D.8 计算小结——排放绩效（范例）

机组 EGU	单位发电量二氧化碳排放 (克/千瓦时) CO ₂ emissions per unit of electricity generated (g/kWh)	单位共热量二氧化碳排放 (克/焦耳) CO ₂ emissions per unit of heat supplied (g/MJ)	单位供电量二氧化碳排放 (克/千瓦时) CO ₂ emissions per unit of electricity supplied to the grid (g/kWh)
范围一（燃煤和脱硫） Scope 1 only (coal use and SO ₂ scrubbing)			
合计（厂级） Total (Plant-level)	684.9	105	729
#1	575	105	612
#2	763		811
#3			
#4			
#5			
#6			
#7			
#8			
范围一+范围二 Scope 1 and 2			
合计（厂级） Total (Plant-level)	695	106	739

图D.2 计算小结——发电排放绩效（范围一）图示（范例）



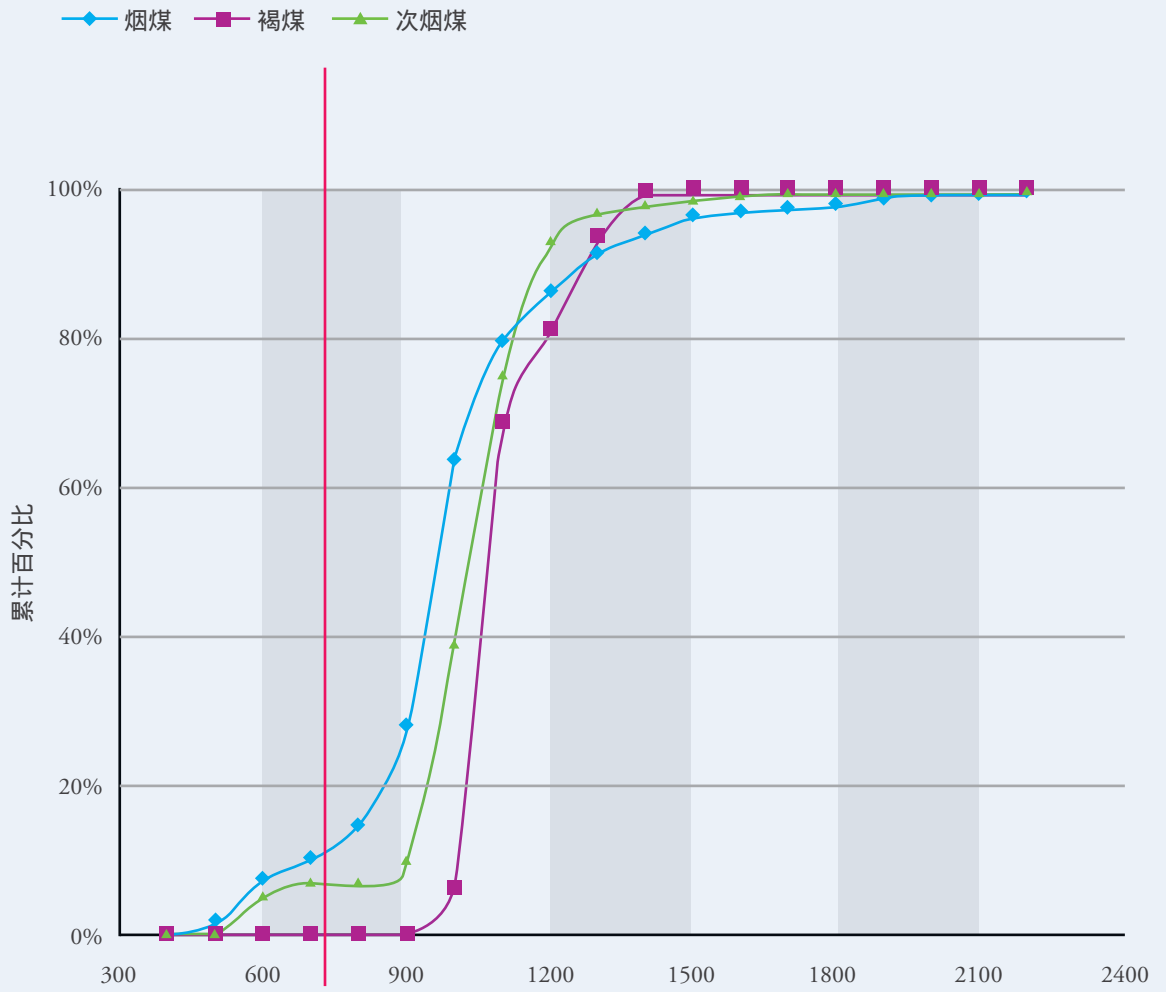
图D.3 计算小结——供电排放绩效（范围一）图示（范例）



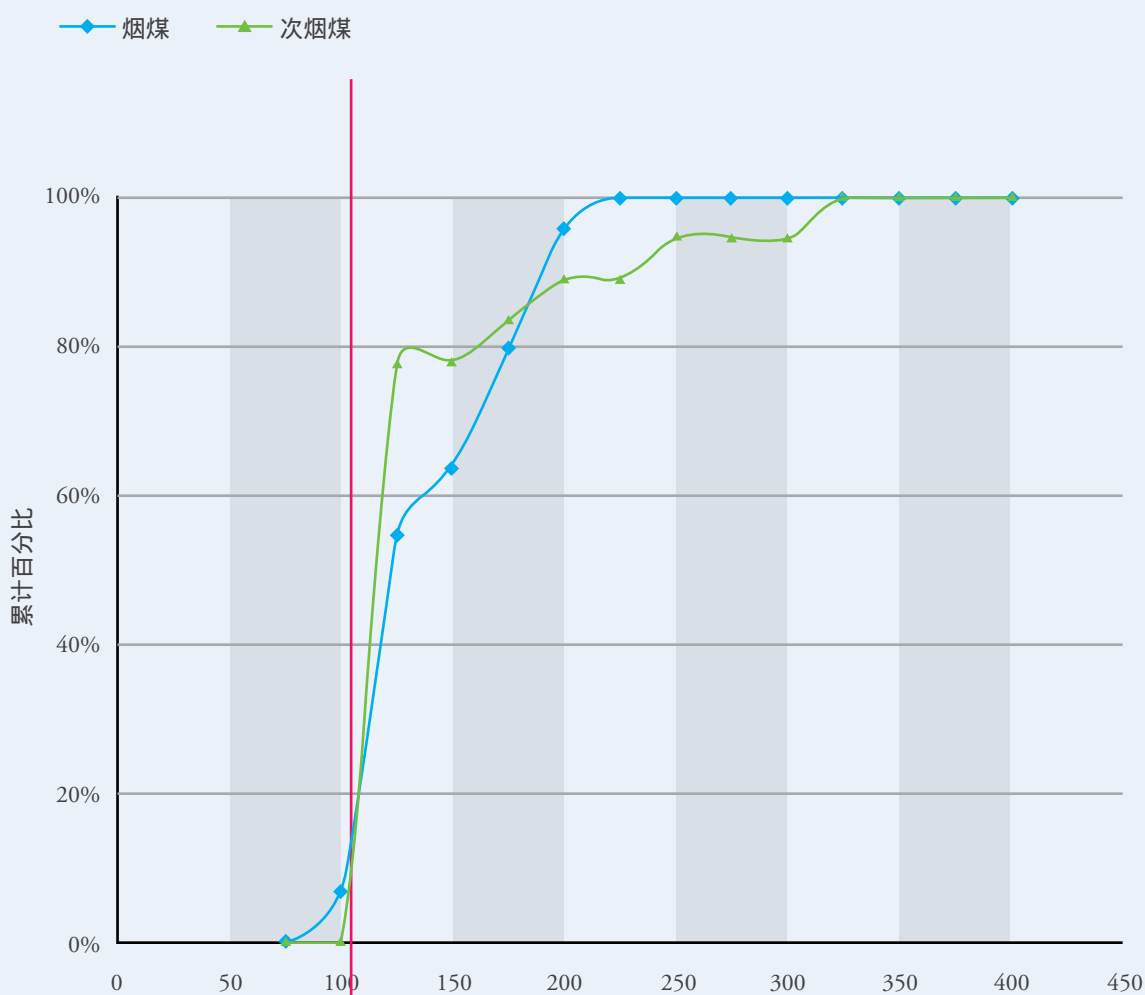
图D.4 计算小结——供热排放绩效（范围一）图示（范例）



图D.5 供电范围—CO₂排放绩效（克/千瓦时）



图D.5 供电范围—CO₂排放绩效（克/千瓦时）



附录 E

回归分析样本统计值

表E.1 挥发分

	平均值 (%)	标准方差	最大值 (%)	最小值 (%)
无烟煤	8.9	2.98	19.51	2.85
烟煤	26.51	6.47	42.68	14.22
褐煤	28.16	4.21	32.18	16.13
贫煤	13.52	1.98	21.21	10.61

表E.2 低位发热值

	平均值 兆焦/千克	标准方差	最大值 兆焦/千克	最小值 兆焦/千克
无烟煤	26.12	2.96	31.73	20.29
烟煤	24.71	4.06	31.42	9.57
褐煤	15.41	3.22	22.36	8.84
贫煤	23.74	5.30	31.67	9.46

表E.3 含碳量 (%)

	平均值 (%)	标准方差	最大值 (%)	最小值 (%)
无烟煤	70.33	7.74	84.90	53.02
烟煤	62.99	9.90	81.42	25.85
褐煤	41.98	7.84	57.35	24.16
贫煤	61.65	13.50	81.45	25.76

表E.4 各煤种有效中国样本数量

	样本量 (个)
无烟煤	52
贫煤	29
烟煤	124
褐煤	18
总计	223

术语表

■ eGRID

The Emissions & Generation Resource Integrated Database (电力资源与排放综合数据库)的缩写。详细解释见附录C。

■ 财务控制权 Financial Control

公司可以对一项业务作出财务和运营政策方面的决策以从其活动中获取经济利益。

■ 厂用电率

发电厂生产电能过程中消耗的电量占发电量的百分比。

■ 低位发热量

1千克燃料完全燃烧时放出的全部热量扣除烟气中水蒸汽的汽化潜热后的发热量，单位为兆焦/千克。

■ 二氧化碳排放绩效

燃煤(热)电厂生产或供给单位电力和/或热力的二氧化碳排放量。

■ 范围一排放 Scope 1 Emissions

公司持有或控制的排放源的排放量。例如公司持有或控制的锅炉、熔炉、车辆等产生的燃烧排放，持有或控制的工艺设备生产化学品所产生的排放。

■ 范围二排放 Scope 2 Emissions

公司消耗的外购(通过采购或以其他方式进入公司组织边界)电力、蒸汽、热力、冷气产生的温室气体排放。这部分排放由公司的活动导致，但出现在其他公司持有或控制的排放源。

■ 范围三排放 Scope 3 Emissions

核算企业除范围二之外的所有间接排放，包括价值链上游和下游的排放，参见间接排放。

■ 煤的工业分析方法 Proximate analysis for coal

按照国家标准GB/T 212—2008进行实验室分析得到煤样的挥发分、水分、灰分等数值，并可按照公式 $FC_{ad}=100-(M_{ad}+A_{ad}+V_{ad})$ 计算而得的固定碳含量。

■ 供热比

统计期内机组用于供热的热量与汽轮机热耗量的比值。

■ 股权比例法 Equity Share Approach

企业根据其在业务中的股权比例核算温室气体排放量。

■ 固定燃烧 Stationary Combustion

用于电力、热力或蒸汽生产的锅炉和涡轮机、燃油泵、燃料电池、火炬的燃烧。

■ 固体未完全燃烧热损失 q_4

锅炉灰渣可燃物造成的热量损失和中速磨煤机排出石子煤的热量损失占输入热量的百分比。

■ 灰分含量(或灰分产率)

煤样在规定条件下完全燃烧后所得残留物的含量。

■ 灰渣含碳量(包括飞灰和炉渣)

灰渣中平均碳量与燃煤灰量的百分比，单位%。公式见DL/T904—2004《火力发电厂技术经济指标计算方法》。

■ 基准年 Base Year

为了对不同时间的排放量进行有意义的比较，企业需要设置一个绩效基准点，据此比较当前的排量，这个绩效基准点称作基准年。

■ 绩效指标 Performance Index

单位活动产生的温室气体排放量。本指南中有三类绩效指标：单位发电量二氧化碳排放、单位供电量二氧化碳排放、单位供热量二氧化碳排放。

■ 间接排放 Indirect Emissions

由燃煤发电企业活动导致，但出现在其他企业持有或控制的排放源的排放。

■ 控制权法 Control Approach

对于受其控制的业务，企业核算其所有的温室气体排放量；但是，对于企业占有股权但不受企业控制的业务的温室气体排放量，企业不予核算。控制权法可以从两个角度来判断：财务控制权和运营控制权。

■ 热电联产 Combined Heat and Power Generation

既生产电能，又对用户供热的生产方式。以热电联产方式运行的火电厂称为热电厂。

■ 设施 Facility

本工具中的设施是指一家电厂或热电厂。以下是其他国家或部门对于设施的定义。虽然各个定义略有差别，但都关注设施不同部分的关联性，这种关联性可以从所有权、控制权、所从事的活动等角度来判别。

1) 美国国家环境保护局：“设施”（Facility）为在同一所有权或控制权下、位于连续或仅被公共道路或其他公共设施分割但仍旧毗邻的区域内

的、任何排放或可能排放温室气体的实体资产、工厂、建筑、结构、源头或固定设备。来源：<http://www.ccdsupport.com/confluence/pages/viewpage.action?pagelD=91553877>

2) 欧盟排放权交易体系：设施（Installation）为开展一个或多个附录1活动的固定技术单元，以及与这些附录1活动有技术性关联并对排放产生影响的场内其他直接相关活动。来源：DIRECTIVE 2009/29/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009.

3) 澳大利亚国家温室气体和能源报告法案2007（National Greenhouse and Energy Reporting Act 2007）：设施（Facility）为涉及温室气体排放、能源生产或消耗的一个或一系列活动（包括附属活动）；当这些活动由单个企业实施并符合有关规定，或者被温室气体和能源数据管理官员认可，可被视为一个设施。澳大利亚的定义更侧重于活动。来源：<http://www.comlaw.gov.au/Details/C2007A00175>

■ 湿法脱硫

脱硫系统位于除尘器之后、烟道的末端，脱硫过程在溶液中进行，吸附剂和脱硫产物均为湿态，是目前大型燃煤电站主要采用的烟气脱硫方式。

■ 含碳量 Carbon Content

燃料碳含量是指单位燃料中所含的总碳量。

■ 碳排放权交易 CO₂ Emissions Trading

碳排放权交易是为促进全球温室气体减排，减少全球二氧化碳排放所采用的市场机制，即把二氧化碳排放权作为一种商品，从而形成了二氧化碳排放权的交易，简称碳交易。

■ 温室气体 Greenhouse Gas

就本指南而言，温室气体是《京都议定书》列出的六种气体：二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫(SF₆)。

■ 温室气体核算体系 Greenhouse Gas Protocol

温室气体核算体系是由世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会共同召集，由企业、政府、非政府组织、学术机构和其他机构参与开发的一系列标准、指南和工具，其宗旨是制定国际上广泛认可的温室气体核算与报告准则。温室气体核算体系提供不同层面的温室气体核算标准和计算工具，包括企业组织层面、项目层面、产品层面和企业价值链层面。需要从各个渠道搜集不同温室气体排放的信息，并找到这些排放相对应的企业活动和部门。

■ 温室气体排放清单 Greenhouse Gas Emissions Inventory

一个机构温室气体排放量和排放源的量化报告。

■ 温室气体排放因子 Greenhouse Gas Emissions Factor

每一单位的活动水平（如每吨煤或每度电）所对应的温室气体排放量，例如“吨CO₂排放量/吨原煤”。

■ 温室气体排放源 Greenhouse Gas Emissions Source

向大气释放温室气体的有形装置或者过程，如固定燃烧和脱硫工艺过程。

■ 移动源燃烧 Mobile Emissions Source

公司自有或控制的交通工具运输原料、产品、废弃物和雇员等产生的燃烧。

■ 煤的元素分析方法 Ultimate analysis for coal

根据国家标准GB/T 476—2001《煤的元素分析方法》在实验室进行煤样检测，可得到煤样的碳、氢、氧、氮、硫等元素的含量。

■ 运营边界 Operational Boundary

确定报告企业持有或控制的业务纳入直接排放还是间接排放的边界。一家企业可据此确定哪些业务和排放源导致直接排放，而哪些应当计入其业务导致的间接排放量。

■ 运营控制权 Operational Control

企业享有提出和执行一项业务的运营政策的完全权力。

■ 直接排放 Direct Emissions

企业直接持有或控制的排放源所产生的排放。所有的直接排放均被归为范围一排放。

■ 组织边界 Organizational Boundary

确定报告企业持有或控制的业务是否纳入排放清单的边界，它取决于采用的边界界定方法（股权比例法或控制权法）。

参考文献

The Climate Registry. June 2009. "Electric Power Sector Protocol for the Voluntary Reporting Program." Annex I to the General Reporting Protocol." Available at http://www.theclimateregistry.org/downloads/2009/05/Electric-Power-Sector-Protocol_v1.0.pdf

Code of Federal Regulations (U.S.), Title 40, Protection of Environment, Pt. 98 Mandatory Reporting of Greenhouse Gases, National Archives and Records Administration, Office of the Federal Register

Code of Federal Regulations (U.S.), Title 40, Protection of Environment, Pt. 75. Continuous Emissions Monitoring. National Archives and Records Administration, Office of the Federal Register

E.H. Pechan & Associates, Inc. Dec 2010. The Emissions & Generation Resource Integrated Database for 2010 (eGRID2010) Technical Support Document.

European Commission. 2007/589/EC: Commission Decision of 18 July 2007 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council. Available at <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32007D0589:EN:NOT>

International Energy Agency. CO2 Emissions from Fuel Combustion (2012 Edition), Paris: IEA 2012.

The Office of Legislative Drafting and Publishing, Attorney-General's Department, Canberra (Australian). 2008. National Greenhouse and Energy Reporting (Measurement) Determination 2008. Available at <http://www.comlaw.gov.au/Details/F2012C00472>

WRI/WBCSD GHG Protocol. "Allocation of Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant." Available from <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>. Washington DC: World Resources Institute 2006

WRI/WBCSD GHG Protocol. "Calculation Tool for Direct Emissions from Stationary Combustion, Version 3.0." available at http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Stationary_Combustion_Guidance_final.pdf. Washington DC: World Resources Institute 2005

WRI/WBCSD GHG Protocol. "GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition), available from www.ghgprotocol.org. Washington DC: World Resources Institute 2004

中国电力企业联合会. 电力工业统计资料汇编2010. 中国电力工业协会 2011

冯俊凯编著. 锅炉原理及计算 (第三版). 第二章: 燃料及其燃烧产物. 科学出版社 2003

中华人民共和国国家发展和改革委员会应对气候变化司. 2011年5月. 省级温室气体清单编制指南 (试行)

国家温室气体清单计划编写, 编辑: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. 和 Tanabe K. 2006年IPCC国家温室气体清单指南. 日本全球环境战略研究所 2006

中华人民共和国国务院新闻办公室. 2011年11月. 中国应对气候变化的政策与行动 (2011). http://www.gov.cn/jrzq/2011-11/22/content_2000047.htm

韩文科等. 中国2020年温室气体控制目标的实现路径与对策. 北京: 中国发展出版社 2012

李春燕, 刘东滨. 两种煤质分析指标的关联方程组研究. 中国煤田地质 2004.

石丽娜, 石晓宇, 邢德山等. 燃煤电厂温室气体排放量统计监测方法研究 (内部报告). 中国电力企业联合会与世界资源研究所 2011

石晓宇, 张雯. 燃煤固定燃烧二氧化碳排放量化方法国际经验研究 (内部报告). 世界资源研究所 2012

石晓宇, 朱晶晶, 李琦. 基于工业分析结果推算煤炭的碳元素含量 (内部报告). 世界资源研究所 2012

宋然平、杨抒、孙森. 能源消耗引起的温室气体排放计算工具指南 (2.0版). 北京: 世界资源研究所 2012.
<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>

宋然平、朱晶晶、侯萍等. 准确核算每一吨排放: 企业外购电力温室气体排放因子解析. 北京: 世界资源研究所 2013.

涂华, 陈亚飞, 陈文敏. 利用固定碳计算中国无烟煤的含碳量. 煤炭科学技术. 2003.31(12): 98~100.

于瑞生, 伦国瑞. 利用煤的热值和工业分析数据计算煤中个主要元素含量. 华东电力. 1996.3 (33)

赵虹, 沈利, 杨建国, 杨丽蓉. 利用煤的工业分析计算元素分析的 DE-SVM 模型. 煤炭学报. 2010.

赵新法, 李仲谨. 煤元素分析指标计算数学模型的建立与应用. 煤质技术 2006.



注释

¹ 中国电力企业联合会，2011。

² 国际能源署，2012。

³ China Electricity Council, 2011。

⁴ IEA, 2012

⁵ 能源发展“十二五”规划。 http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/23/content_2318554.htm

⁶ 2009年中国确定了到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%的行动目标；2011年制定实施《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》，确立了2011年至2015年间碳排放强度降低17%的约束性目标。

⁷ 2011年11月，国家正式明确在北京、上海、天津、重庆、湖北、广东和深圳开展碳排放交易试点。

⁸ 国务院关于印发“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知，国发〔2011〕41号
http://www.gov.cn/zwggk/2012-01/13/content_2043645.htm

⁹ 定义见术语表。

¹⁰ 国家能源局授权中电联开发行标。

¹¹ 表格来源：The Climate Registry, *Electric Power Sector Protocol for the Voluntary Reporting Program, June 2009, Version 1.0*。原表格经修改、调整并添加了其他内容。
来源：<http://www.theclimateregistry.org/resources/protocols/electric-power-sector-protocol/>

¹² 宋然平、朱晶晶、侯萍等.准确核算每一吨排放：企业外购电力温室气体排放因子解析. 工作论文. 北京：世界资源研究所 2013。

¹³ 宋然平等，2012

¹⁴ 工具中的宏用来控制部分工作表、表格的显示，也用来增加行。

¹⁵ 2012年年底的“统计计算方法”版本，增加了劣质无烟煤，成为五分法，但鉴于回归分析数据不区分劣质无烟煤，回归分析保留四分法。其他部分采用五分法。

¹⁶ 专家咨询显示，尽管电厂可能从多个甚至几十个或上百个煤矿进煤，但从煤种大类讲，一般电厂用煤比较单一、稳定。考虑到少数电厂可能在某些时期，受煤炭供给紧张等影响，在使用锅炉设计煤种的同时，也烧其他煤种。根据专家经验，本工具通过区分主要煤种和次要煤种，方便用户同时最多输入两类煤炭的数据。

¹⁷ 确切地说，并非所有电厂排放绩效的最小值，而是最小排放绩效所在区间的低端阈值。

¹⁸ 同上，确切地说，并非所有电厂排放绩效的最大值，而是最大排放绩效所在区间的高端阈值。

¹⁹ eGRID 2012版；来源：<http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/egrid/index.html>

²⁰ 即机组、电厂、全国、国际。当数据为实测或设计的机组特定数据时，我们称之为“机组数据”，如某锅炉的固体未完全燃烧热损失（ q_4 ）设计值。当数据为国际范围的数据时，我们称之为“国际数据”，如《2006年IPCC国家温室气体清单指南》的分煤种排放因子默认值。因此，数据分为机组数据、电厂数据、全国数据、国际数据。

²¹ 如果再结合煤炭质量数据种类（工业分析数据与元素分析数值），至少可以有9种方法。为了避免方法体系过于复杂，同时考虑到实用性（绝大多数电厂不做元素分析，不掌握含碳量数据），工具在方法分类上没有考虑煤炭质量数据种类这一维度，而是在工具的初始“电厂基本情况”工作表，由用户通过选择煤炭质量数据类型，来体现这一维度，实现对后续计算的控制。即控制在“方法二”到“方法五”的计算中，究竟是使用元素分析的含碳量值，还是使用其他煤炭质量数据推算的含碳量值。

²² 煤炭灰分，即灰分含量或灰分产率。

²³ 电力行业标准DL/T904—2004《火力发电厂技术经济指标计算方法》对灰渣平均含碳量有明确定义。本工具沿用行业定义，不对灰渣的测量和计算作详细讨论，其计算式参见上述行业标准。另外，上海市发展和改革委员会2012年12发布《上海市电力、热力生产业温室气体排放核算与报告方法（试行）》，表明炉渣和飞灰含碳量可采用可燃物含量值，相关监测方法需遵循DL/T 567.6—1995《飞灰和炉渣可燃物测定方法》。进行排放量报告时，电厂可说明如何获得灰渣平均含碳量。

²⁴ 即灰渣可燃物造成的热损失。

²⁵ GB/T10180—2003《工业锅炉热工性能试验规程》中提供了计算固体未完全燃烧热损失相关指标的监测方法。

²⁶ 中华人民共和国电力行业标准DL/T 904—2004《火力发电厂技术经济指标计算方法》，2004年12月14日发布，2005年6月1日实施。

²⁷ 《省级温室气体清单编制指南（试行）》指出，能源生产、加工、转换部门燃煤设备碳氧化率的范围为90%~98%，其中发电锅炉的碳氧化率平均达到98%左右，极少数发电锅炉碳氧化率低于90%。

²⁸ GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》，其中对广西壮族自治区、重庆市、四川省和贵州省执行不同限值。

²⁹ 碳酸钙脱硫的基本过程如下：将石灰石粉加水制成浆液作为吸收剂，泵入吸收塔与烟气充分接触混合，烟气中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙，以及从塔下部鼓入的空气进行氧化反应生成硫酸钙，硫酸钙达到一定饱和度后，结晶形成二水石膏。石膏浆液在吸收塔排出后，经浓缩、脱水，含水量降至10%以下，最后用输送机送至石膏贮仓堆放。脱硫后的烟气经除雾器除去雾滴，再经过换热器加热升温后，由烟囱排入大气。不同电厂的具体设备和流程可能与上述描述有所区别。

³⁰ 通过对热电厂工作人员的访谈，我们了解到，部分新建电厂在运行初期可能存在供汽不足或不稳定的情况，会从外部设施购买电力或蒸汽用于电力生产。

³¹ 电力排放因子取值来自“准确核算每一吨排放：企业外购电力温室气体排放因子解析”。

³² 热力排放因子取值来自世界资源研究所温室气体核算体系“能源消耗引起的温室气体排放计算工具2.0版”。

³³ 其中，2012年的排放因子由于尚不能获得基础数据（电网数据，能源年鉴数据），暂时使用2011年的排放因子数值。

³⁴ 不区分主要煤炭和次要煤炭，按所消耗的吨数直接相加。

³⁵ 中国的测量标准为GB/T 476—2001《煤的元素分析方法》。

³⁶ <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1196/>

³⁷ 据了解，电厂日常操作中测定空干基高位发热量，然后转换成收到基低位数值进行记录。收到基低位发热量的数据较接近锅炉真实工况。工具选用收到基数据还因为统计分析显示，收到基和空干基两种推算，不存在显著统计差异。

³⁸ WoCQI数据库（版本1.1）共有328个来自中国的煤炭样品，产地包括北京、广东、江苏、安徽、重庆、福建、甘肃、贵州、河北、四川等26个省、直辖市或自治区。根据煤样的数据完整性和用途（仅选择用于燃煤电厂的样本），筛选出223个样本用于含碳量推算模型开发。

³⁹ 从收到基数据转换而来。

⁴⁰ 原数据库提供收到基高位发热量，我们参考GB/T 213—2008《煤的发热量测定方法》，应用如下公式，将收到基高位发热量转换成收到基低位发热量：

$$Q_{net,v,ar} = (Q_{gr,v,ad} - 206H_{ad}) \times (100 - M_t) / (100 - M_{ad}) - 23M_t$$

其中，

$$Q_{gr,v,ad} = Q_{gr,ar} \times (100 - M_{ad}) / (100 - M_t)$$

$$H_{ad} = H_{ar} \times (100 - M_{ad}) / (100 - M_t)$$

$Q_{net,v,ar}$ 为煤的收到基恒容低位发热量，单位为焦耳每克（J/g）；

$Q_{gr,v,ad}$ 为煤的空气干燥基恒容高位发热量，单位为焦耳每克（J/g）；

$Q_{gr,ar}$ 为煤的收到基恒容高位发热量，单位为焦耳每克（J/g）；

M_t 为煤的收到基全水分的质量分数，%；

M_{ad} 为煤的空气干燥基水分的质量分数，%；

H_{ad} 为煤的空气干燥基的质量分数，%；

H_{ar} 为煤的收到基的质量分数，%；

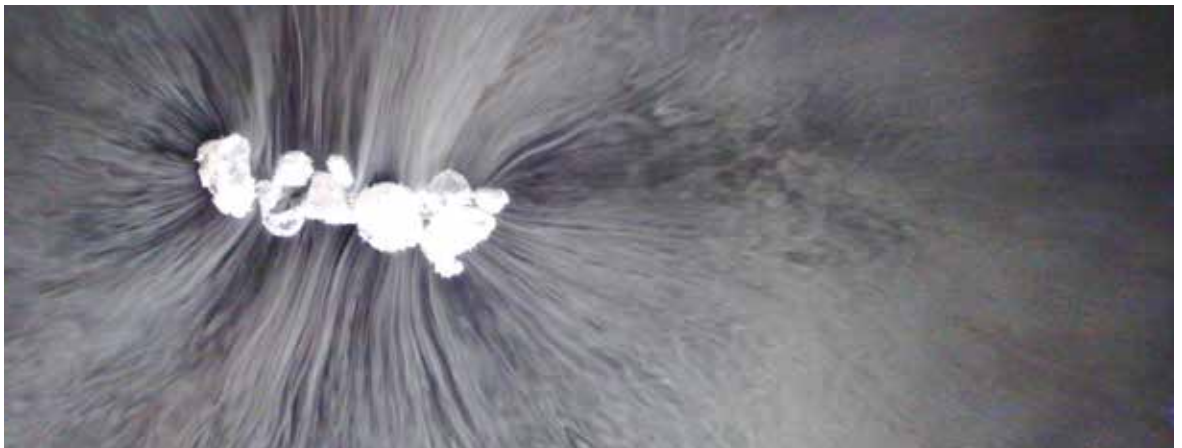
206 为对应于空气干燥煤样中每1%氢的汽化热校正值（恒容），单位为焦耳每克（J/g）；

23 为对应于收到基煤中每1%水分的汽化热校正值（恒容），单位为焦耳每克（J/g）。

⁴¹ 尽管如此，因为中国无烟煤分布较广，灰分变化大，而含碳量变化范围较窄。所以当在无烟煤矿区层面进行分析时，灰分的差异对含碳量的影响又会体现出来，这就解释了涂华等的无烟煤分矿区分析中为什么将灰分作为自变量。

⁴² 计算在软件R2.15.1中完成。

⁴³ 推算误差与应变量同单位，取百分比的数字部分；而非相对推算误差（相对推算误差是指推算值和实际值之差与实际值的比值）。



⁴⁴ 中国热电联产市场评估, 2001.

http://www.efchina.org/csepupfiles/report/2006102695218386.4341169734712.pdf/Cogen_Report_CN.pdf

⁴⁵ 就以下两种情形，eGRID对某些电厂排放数据作了调整：该电厂为热电联产；该电厂燃烧生物质燃料，包括生物燃气（例如垃圾、甲烷、沼气等）。eGRID的排放先针对生物质燃料进行调整（即将生物质燃料的排放量排除在外，按0计），汇总至电厂级别，然后再针对热电联产进行调整。电厂文件中的所有排放绩效基于调整后的排放、净供电量和调整后的热输入。排放量数据仅针对来自电力生产的排放，也就是说，eGRID调整后的数据仅包括电力生产过程排放，不包括热电联产厂（向外部用户）供热的排放。在eGRID2010中，仅电厂层面数据包含未调整排放数据，可用于计算供热排放。

⁴⁶ 即synthetic coal。

⁴⁷ 样本中也剔除了异常值。

⁴⁸ 也可选择第二选项，混合煤样测指标。因本范例仅提供一种煤种数据，选第一或第二选项，对计算无影响。



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE



世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的非盈利性环境资源智库，致力于开展为保护环境和改善民生寻求实际解决方案的研究活动。

世界资源研究所理事会成员来自世界多个发达与发展中国家具有影响力的资深学者、企业家、前政要、社会活动家和NGO代表；研究所的200多名雇员来自30多个国家，在全球50多个国家与400多个合作伙伴共同开展工作。中国办公室成立于2008年，是世界资源研究所成立的第一家海外办公室。

温室气体核算体系

温室气体核算体系（Greenhouse Gas Protocol）是目前国际上政府和企业最常用的温室气体核算工具。该体系是由世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会历时十多年，参考全球商业、政府和环保组织的意见，共同开发而成的。该体系为世界上各种温室气体标准和项目提供了核算框架，为国际标准化组织、澳大利亚的温室气体报告项目、碳披露计划、气候登记处等多个机构和组织使用。世界资源研究所致力于推广温室气体核算体系标准和工具的应用，以帮助政府和企业设计和执行更有效的项目、政策和措施来应对气候变化。



PHOTO CREDITS

.....

COVER	Flicker/Todd Klassy	PAGE 43	Flicker/harryzy
PAGE 1	Flicker/Larry	PAGE 48	Flicker/Wavy1
PAGE 2	Flicker/Ed McGowan	PAGE 49	Flicker/Wolfgang Schlegl
PAGE 5	Flicker/John K. Goodman	PAGE 50	Flicker/Junior Henry
PAGE 14	Flicker/mav_at	PAGE 67	Flicker/Todd Klassy
PAGE 21	Flicker/Vincent Parsons	PAGE 74	Flicker/Gaetan Lee
PAGE 42	Flicker/Tunyee YAP	COVER 3	Flicker/harryzy

设计

张 焜

校对

石晓宇
朱晶晶





温室气体核算体系
GREENHOUSE
GAS PROTOCOL

温室气体核算体系为制定可持续气候战略提供基础，推动企业和组织向更高效、更有益的方向发展。温室气体核算体系标准是最为广泛使用的测量、管理、报告温室气体排放量的核算工具。

www.ghgprotocol.org



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

中国办公室

北京市朝阳区朝外大街乙6号, 朝外SOHO A座902室 (100020)

电话: 86 10 5900 2566

传真: 86 10 5900 2577

www.wri.org.cn

www.wri.org