



低碳电力技术基础——第02讲

电力行业碳排放基本概念与排放源识别

——教材 第2.1、1.3、1.4节

康重庆

清华大学电机系

cqkang@tsinghua.edu.cn



目录



- 与碳排放相关的概念
- 电力行业碳排放相关概念
- 电力行业全生命周期碳排放分析
- 电力行业碳排放的识别
- 发电侧碳排放现状与发展





与碳排放相关的概念



你觉得碳排放中的“碳”指什么？

- ☐ A 煤炭
- ☐ B 二氧化碳
- ☒ C 温室气体
- ☐ D 还需要进一步学习

提交

与碳排放相关的概念



- 碳排放：

- 碳排放是关于温室气体排放的总称或简称。温室气体中最主要的气体是二氧化碳，因此用碳（Carbon）一词作为代表。可以简单地将“碳排放”理解为“二氧化碳排放”，但实际上代表所有温室气体排放。

- 碳排放量（累计：总碳排放量、碳排放总量）：

- 一般是指碳排放的质量（ kgCO_2 ，吨 CO_2 ，亿吨 CO_2 ...）。

- 例如：

某个生产过程导致的碳排放量；
某种个人活动导致的碳排放量；
不同行业累加的碳排放量；
不同区域累加的碳排放量；
某段时间累积的碳排放量。

与碳排放相关的概念



● 能量的计量单位

- 标准煤亦称煤当量 (coal equivalent) , 是统计中用于计量能量的单位。每千克标准煤的热值为7000 kcal (千卡、大卡) 。
- 国外也采用油当量 (oil equivalent) 进行统计, IEA规定每千克标准油热值为10000 kcal, 与标准煤的换算系数为1.429。
- 能源统计时将不同品种、不同含量的能源按各自不同的热值换算成相应的标准煤或标准油。
- 标准煤与油当量、焦耳 (J) 、卡路里 (Cal) 、英热单位 (Btu) 等能量单位仅存在定义上的差异, 其间可互相换算。



与碳排放相关的概念



• 各类能量单位间的换算关系

To:	TJ	Gcal	Mtoe	Mbtu	GWh	Mtce
From:	国际单位制（法语：Système International d'Unités 符号：SI）					
TJ	1					3.4123×10^{-5}
Gcal	4.1868×10^{-3}					1.4290×10^{-7}
Mtoe	4.1868×10^4					1.429
MBtu	1.0551×10^{-3}					3.5997×10^{-8}
GWh	3.6					1.2283×10^{-4}
Mtce	29306					1



Btu: 英热单位
等于1055焦耳

热量单位，约
等于所需的热能

与碳排放相关的概念



- (碳)排放系数，也称(碳)排放因子

又可分为产品(碳)排放系数和燃料(碳)排放系数

- **产品(碳)排放系数(因子)**：指在正常技术经济和管理条件下，生产单位产品所排放温室气体数量的统计平均值。

产品数量



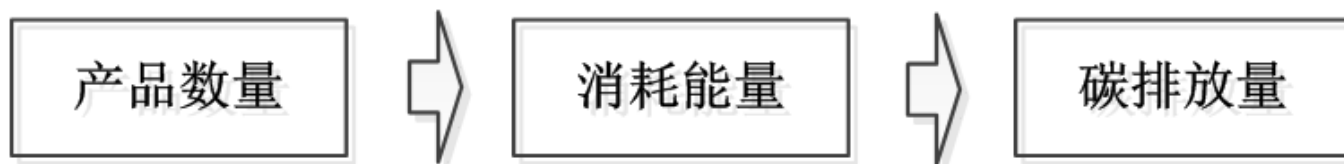
碳排放量

- 该指标常用于数据缺乏情况下的大致估算，对小规模分散企业估算碳排放量具有高效率、低成本的优点。
- 对不同技术水平、生产状况和能源使用情况，产品排放系数存在很大差异，使用产品排放系数具有很大的测算不确定性。
 - 钢铁冶炼：不同钢铁企业；
 - 某产品来自附近工厂，另一产品来自长途运输的工厂。

与碳排放相关的概念



● 燃料(碳)排放系数(因子)



- 是指每一种能源燃烧或使用过程中单位能源所产生的碳排放数量。
- 一般在使用过程中，根据 IPCC 的假定， 可以认为某种能源的碳排放系数是不变的。
- 燃料的碳排放因子需根据该种燃料所含有的各种化学成分进行分析计算得到，主要有两种表示方式。

与碳排放相关的概念



● 燃料(碳)排放系数(因子)

- **单位质量（或体积）燃料燃烧产生的碳排放量**（ EF_M ），一般以 kgCO_2/kg 或 kgCO_2/L （ m^3 ）为单位(固态/液态、气态)。
- **燃料释放单位能量值的碳排放量**（ EF_E ），一般以 kgCO_2/TJ 为单位。
- 两者间根据燃料燃烧的热值（单位质量燃料完全燃烧产生的热量，一般以 kcal/kg 为单位，符号为 q ）进行换算。

● 换算方法：

$$EF_M = EF_E \cdot \frac{4186.8}{10^{12}} \cdot q$$

单位换算系数，
TJ与kcal换算





你认为下面哪个选项正确？

A

热值 q 越高的燃料，其碳排放因子 EF_M 通常越大，因为其含碳量越密集

B

热值 q 越低的燃料，其碳排放因子 EF_M 通常越大，因为燃烧产生同样热量所需要的燃料越多

提交

与碳排放相关的概念



- IPCC统计公布的各类常用燃料的碳排放因子（固定源）

燃料名称	碳排放因子 (kgCO ₂ /TJ)	燃料热值 (kcal/kg)	碳排放因子 (kgCO ₂ /kg)
燃料煤	94600	6400	2.53
无烟煤	98300	7500	3.09
次烟煤	96100	4933	1.98
焦煤	94600	6800	2.69
焦炭	107000	7000	3.14
褐煤	101000	3989	1.69

与碳排放相关的概念



- IPCC统计公布的各类常用燃料的碳排放因子（固定源）

燃料名称	碳排放因子 (kgCO ₂ /TJ)	燃料热值 (kcal/m ³)	碳排放因子 (kgCO ₂ /m ³)
液化天然气 (LNG)	64200	9900	2.66
液化石油气 (LPG)	63100	6635	1.75
天然气	56100	8900	2.09
焦炉煤气	44400	5000	0.93



电力行业碳排放相关概念

电力行业碳排放相关概念



- 发电侧碳排放量

- 机组发电过程产生的碳排放总量，单位为kgCO₂

- 发电碳排放强度

- 定义：强度=碳排放量/电量 $e = \frac{E}{G}$
- 机组生产单位电量的碳排放量，单位为kgCO₂/kWh
- 与发电所用燃料和发电效率直接相关

平时简单说“碳排放是多少……”？

电力行业碳排放相关概念



- 不同统计维度的发电碳排放强度
 - 系统碳排放强度 = 系统碳排放量 / 系统总电量
 - 主要取决于系统电源结构与电力生产结构
 - 火电碳排放强度 = 火电碳排放量 / 火电总电量
 - 取决于火电机组类型与运行状态



同一个电力系统，这两个指标的大小关系能判断吗？

电力行业碳排放相关概念



- 火力发电碳排放强度

- 不同类型火电机组间（燃煤、燃油、燃气），碳排放强度存在差异

- 燃料层面—— EF_E

- 燃料煤：94600 kgCO₂/TJ
- 柴油：74100 kgCO₂/TJ
- 常用燃气：64200 kgCO₂/TJ

- 燃料排放因子：燃料煤 > 燃料油（柴油） > 常用燃气（天然气）

燃煤电厂与燃气电厂，相对清洁？

电力行业碳排放相关概念



- 火力发电碳排放强度
 - 不同类型火电机组间（燃煤、燃油、燃气），碳排放强度存在差异
 - 机组层面——我国各类燃机参考热效率
 - 燃煤机组（蒸汽轮机）：37%
 - 燃油机组（柴油机）：39%
 - 燃气机组（联合循环）：47%
 - 热效率：燃气机组 > 燃油机组 > 燃煤机组

电力行业碳排放相关概念



- 火电发电碳排放强度

- 因发电技术和燃料特性的差异，各类燃料发电碳排放强度存在较大差异，根据IEA提供的全球平均统计数据：
 - 煤炭发电：0.830~0.940 kgCO₂/kWh
 - 燃油发电：0.610~0.650 kgCO₂/kWh
 - 燃气发电：0.370~0.390 kgCO₂/kWh
- 基本上，煤炭发电的碳排放强度显著高于其他燃料。

具体计算方法将在下一讲详述

电力行业碳排放相关概念



● 对比

- 2007年投运的华能玉环电厂，2台1000MW超超临界发电机组（锅炉主汽压26.25MPa、蒸汽温度600℃）发电效率可达45.4%，碳排放强度784gCO₂/kWh
- 对于单机50MW以下的小火电机组，碳排放强度高达1245gCO₂/kWh

电力行业碳排放相关概念

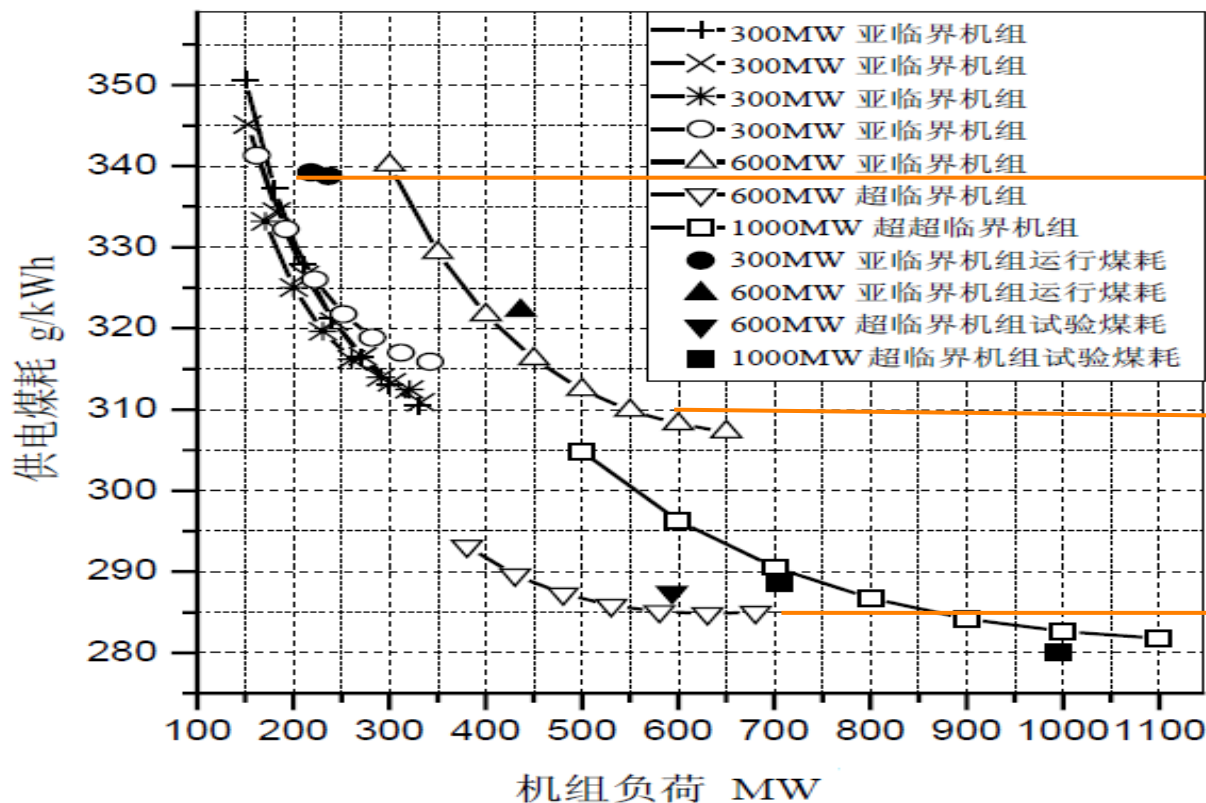


- 碳排放强度的影响因素
 - 对同一台燃煤机组，运行状态不同（出力水平），碳排放强度也存在差异。
 - 机组供电煤耗随负荷的变化特性主要由汽轮机热耗率和厂用电率决定；在相同负荷率下，负荷曲线对供电煤耗也有影响。

电力行业碳排放相关概念



煤耗曲线与碳排放强度



0.929kgCO₂/kWh

0.850kgCO₂/kWh

0.788kgCO₂/kWh



电力行业全生命周期碳排放分析

识别碳排放源的基础

电力行业全生命周期碳排放分析



- 全生命周期评价定义

(Life Cycle Assessment, 即LCA)

- 国际标准化组织 (ISO14040, 1997) : 对产品或服务系统整个生命周期中, 与产品或服务系统功能直接相关的环境影响、物质和能源的投入产出进行汇集和测定的一套系统方法。
- LCA本质是检查、识别和评估一种材料、过程、产品或系统在其整个生命周期中的环境影响和经济性。

电力行业全生命周期碳排放分析



- 产品的生命周期评价——从摇篮到坟墓
 - 一种产品从原材料开采，经过原料加工、产品制造、产品包装、运输和销售，然后由消费者使用、回用和维修，最终再循环或作为废弃物处理和处置，整个过程称为生命周期。
 - 对整个过程检查如何减少或消除废物的方法，即生命周期评价。

电力行业全生命周期碳排放分析



● 产品的生命周期评价——从摇篮到坟墓

- Kayanma 对胡萝卜和西红柿生命周期中温室气体的排放进行了研究。结果表明，从瑞典的现有生产和消费模式看，消费1公斤西红柿对气候产生的影响大约比消费等量的胡萝卜高10倍。该研究成果能为消费者、商店经理、生态标志发放机构、非政府组织、生产者等所利用，分析食物生命周期中对环境的影响，并实施适当的技术监测，鉴定对环境有显著影响的消费模式，找出替代性消费模式。

电力行业全生命周期碳排放分析

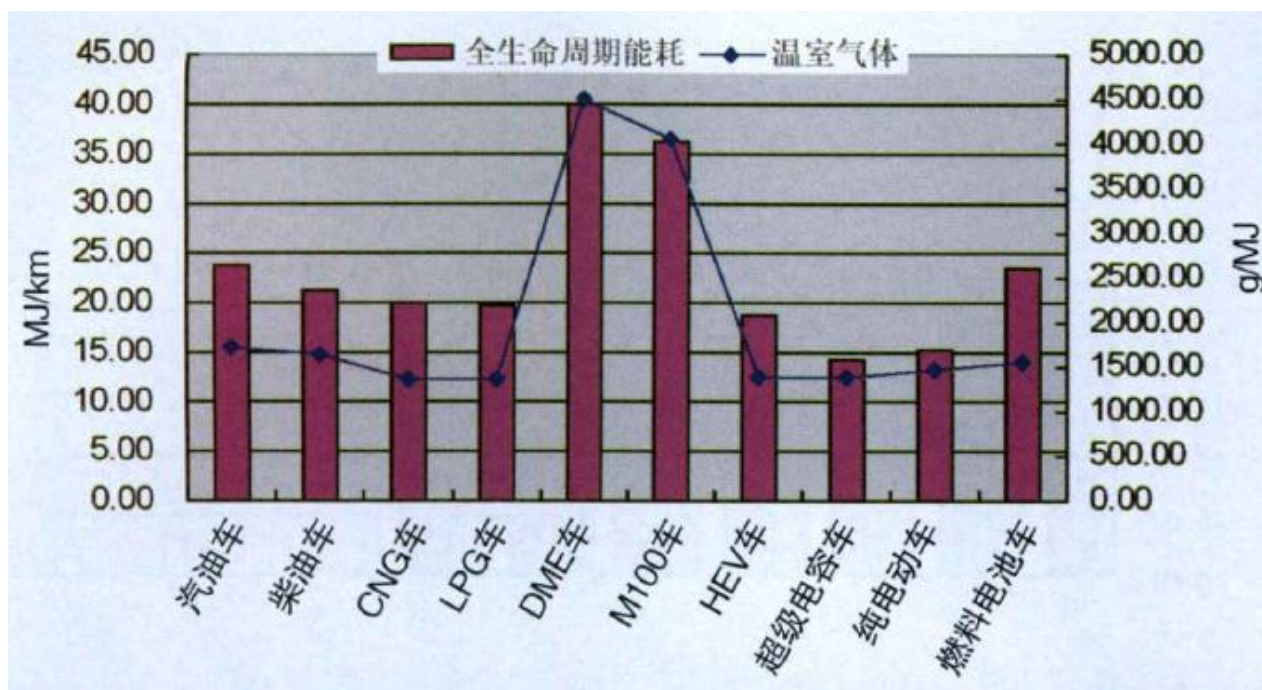


- 单纯的末端控制和生产过程控制，往往是解决了局部的环境问题，而却给其它地方带来更大的环境问题。
 - 英国Drax发电厂是一个以煤炭为燃料的功率为4000MW的发电厂，它每秒燃烧大约产生430kg的碳，产生17kg的SO₂（2%）含量。为了治理大气污染，采用了湿石灰/石膏工艺除去SO₂，效率可达90%，因此每年可减少482400t的SO₂排放。但是采用全生命周期评估后发现，如果考虑原材料提取、生产和运输过程的环境负载和生产过程中的能耗，则在整个生命周期将**反而多产生900t的SO₂**。此外，每年多排放8200t的碳酸钙。

电力行业全生命周期碳排放分析



- 产品的生命周期评价——我国目前的研究示例
 - 车用燃料的全生命周期污染物排放



对各类车用燃料进行从矿井 (well) 到加油机 (pump) 再到车轮 (wheel) 的全生命周期各类污染物分析。

DME: 煤制二甲醚
M100: 煤制甲醇
HEV: 混合动力
CNG: 压缩天然气
LPG: 液化石油气

电力行业全生命周期碳排放分析



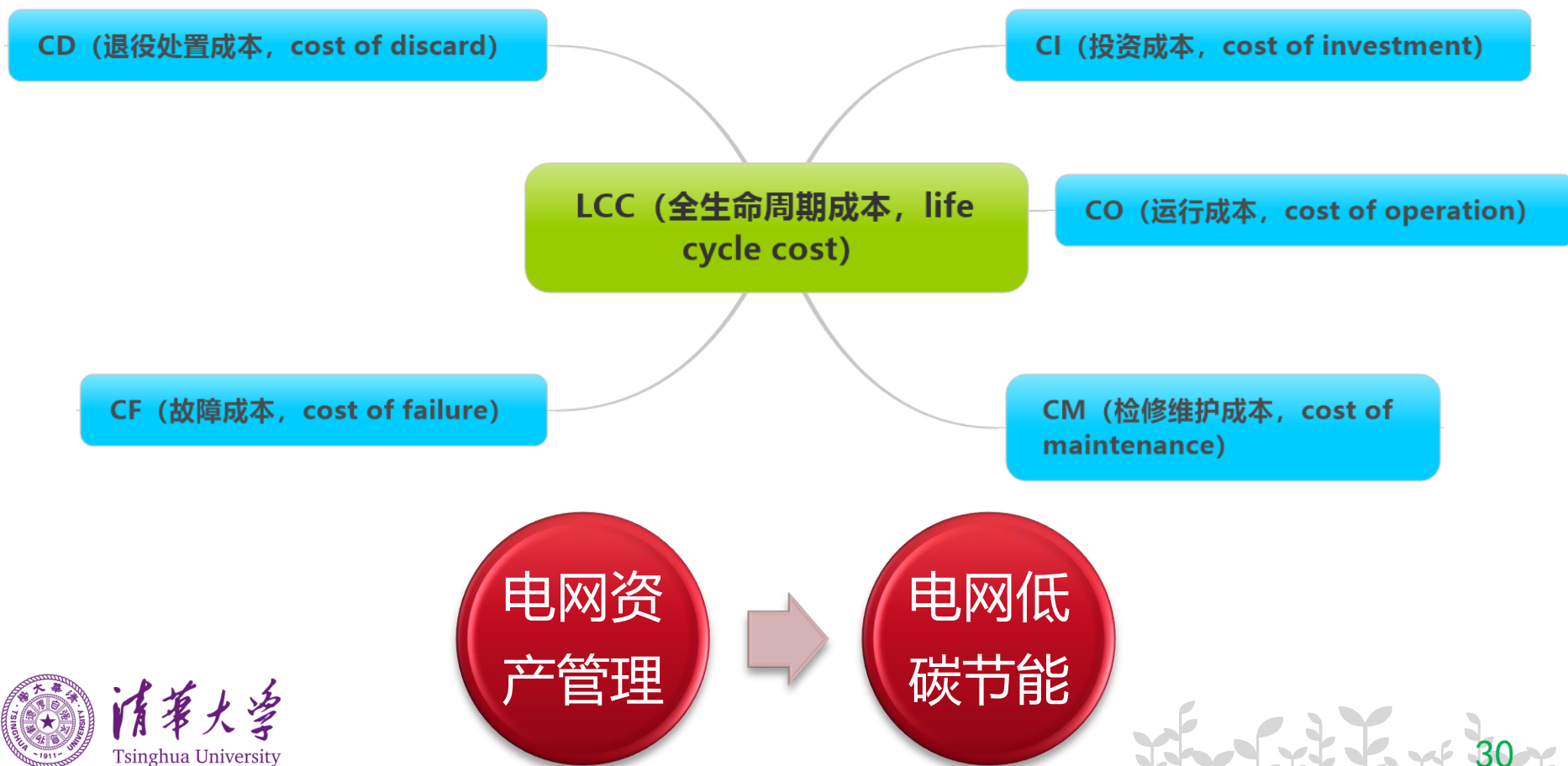
- 电力行业的全生命周期评价
 - 电力行业属于资产密集型行业，涉及到大量基础设施的生产、建设、运行维护与报废。
 - 我国电力行业相关的研究主要面向电力企业全生命周期的资产管理。
 - 存在交叉学科的研究（电动汽车）。



电力行业全生命周期碳排放分析



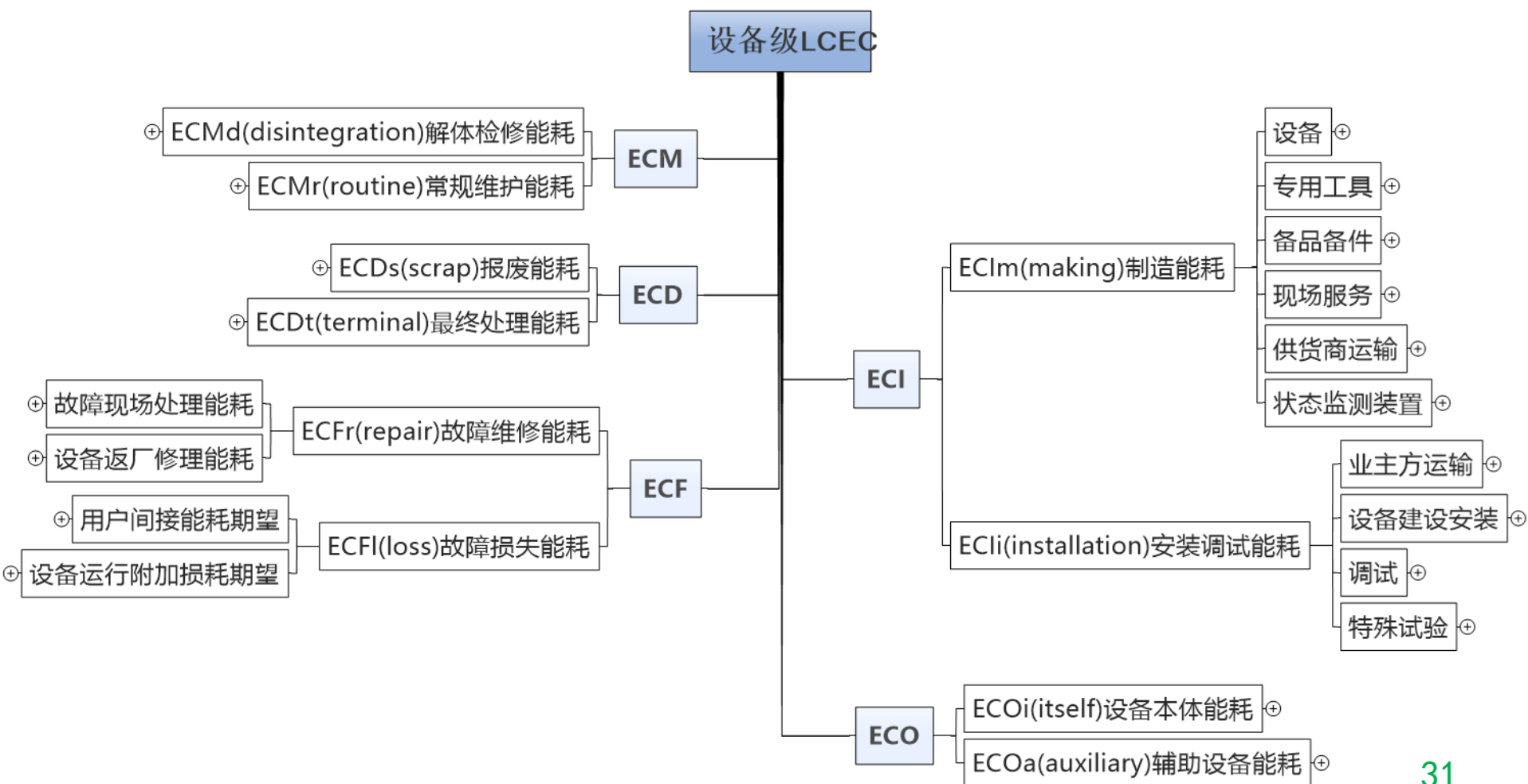
● 全生命周期成本管理



电力行业全生命周期碳排放分析



全生命周期分析模型初步



电力行业全生命周期碳排放分析



- 电力行业碳排放

- 全生命周期分析给出的启示：

- ✓ 抓住主要来源？

- ✓ 哪些比较容易量化？

碳足迹

Carbon Footprint

- 碳足迹：是指特定对象在一定时间内直接或间接导致的温室气体排放量和清除量之和，以二氧化碳当量表示。
- 特定对象可以是个体、组织、国家、产品等。
- 碳足迹可以用来反映人类活动对环境的影响，为实现温室气体减排提供参考。



清华大学
Tsinghua University

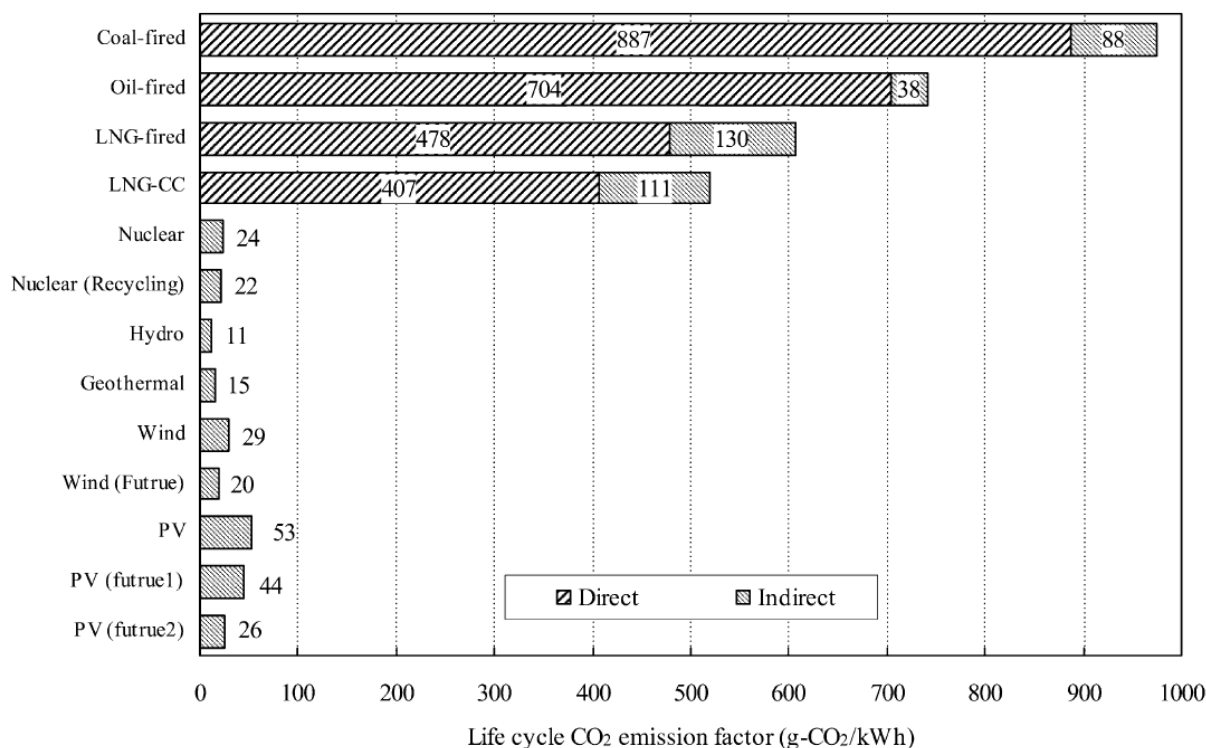
EITab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



电力行业全生命周期碳排放分析



- 电力行业的全生命周期评价
 - 国外针对各类发电环节技术的研究成果



非火力发电技术“几乎”不存在电力生产的直接碳排放，但是全生命周期环节仍有排放。



电力行业全生命周期碳排放分析



- 电力行业碳排放
 - 相比火电因消耗化石燃料产生的碳排放量，电力行业其它电源的全生命周期碳排放体量很小。
 - 对电力生产环节而言，火力发电厂的化石能源消耗是碳排放的主要来源。
 - 后期的计算分析以火电厂碳排放为主。



电力行业碳排放的识别



清华大学
Tsinghua University

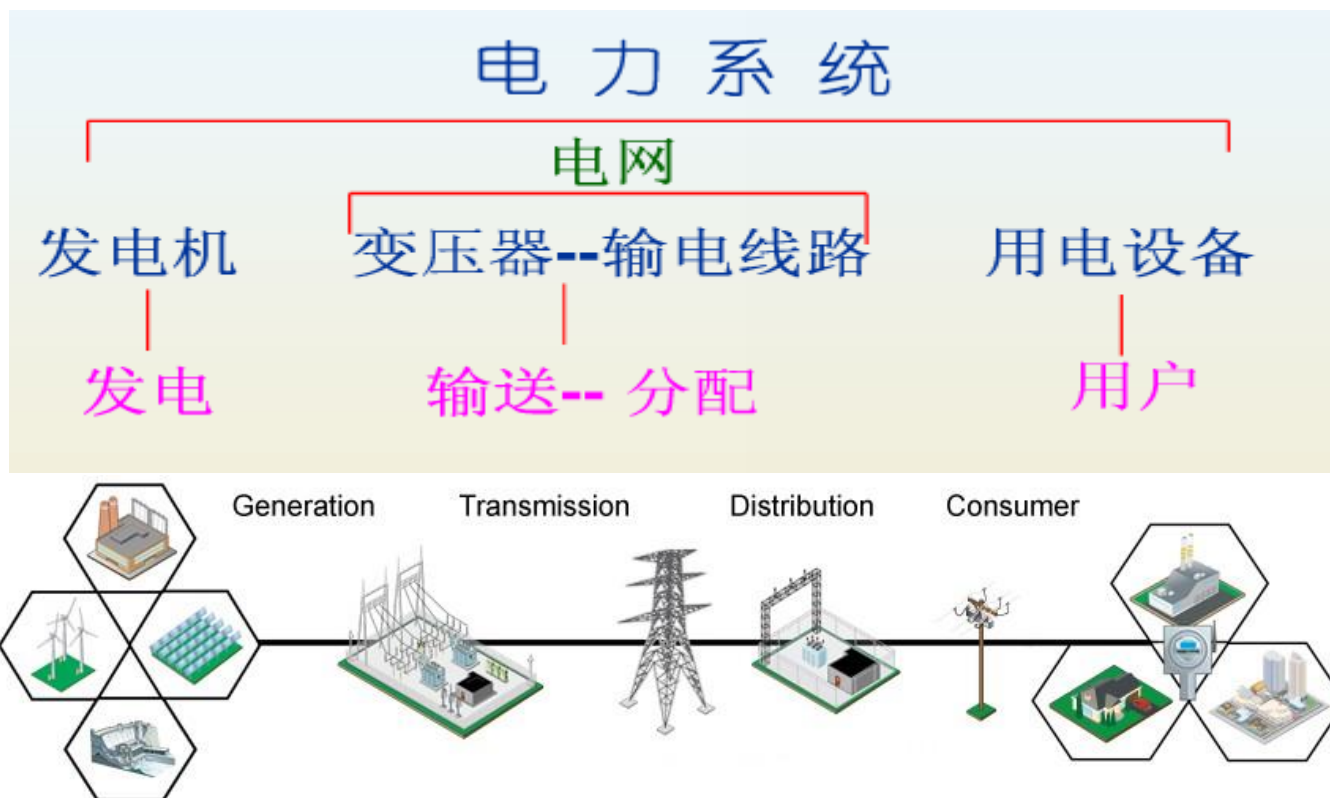
EI Lab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



认识电力系统



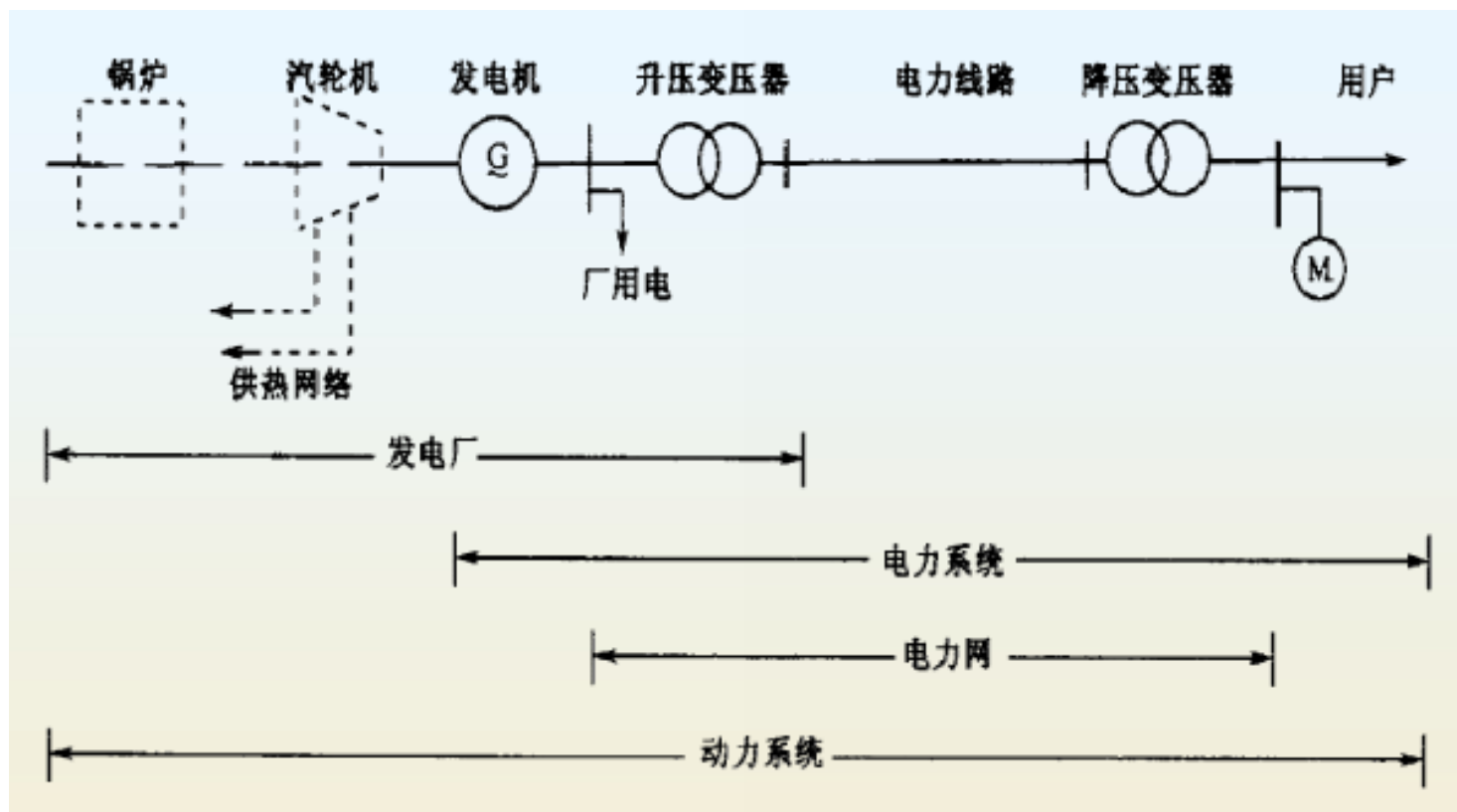
• 电力系统概述



认识电力系统



- 电力系统概述（火电）



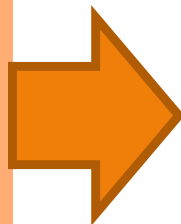
电力行业全生命周期碳排放分析



运行阶段

前期:

- ✓ 规划
- ✓ 制造
- ✓ 建设



- 发电环节的碳排放, 因发电厂类型而异:

- ✓ 火力发电厂
- ✓ 水电厂
- ✓ 核电站
- ✓ 风电厂
- ✓ 太阳能 (光伏) 电站
- ✓ 生物质能电站
- ✓ 抽水蓄能电站

- 输配电环节的碳排放:

- ✓ 网损对应的碳排放
- ✓ SF₆排放



后期:

- ✓ 退役
- ✓ 报废



清华大学
Tsinghua University

EITab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组

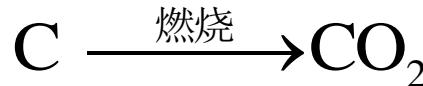


电力行业碳排放识别

- 火力发电——碳排放“主力军”

- 排放来源：

- 化石燃料开采——开采过程释放甲烷
- 化石燃料运输——额外的燃料消耗（柴油，汽油，电……）
- 化石燃料燃烧——直接排放



一台600MW燃煤机组，
平均每年“吃掉”近
140万吨燃料煤，需要
近成百列重载火车运输
(0.5-2.0万吨)。



电力行业碳排放识别



- 水力发电——“无形”排放源

- 排放来源：

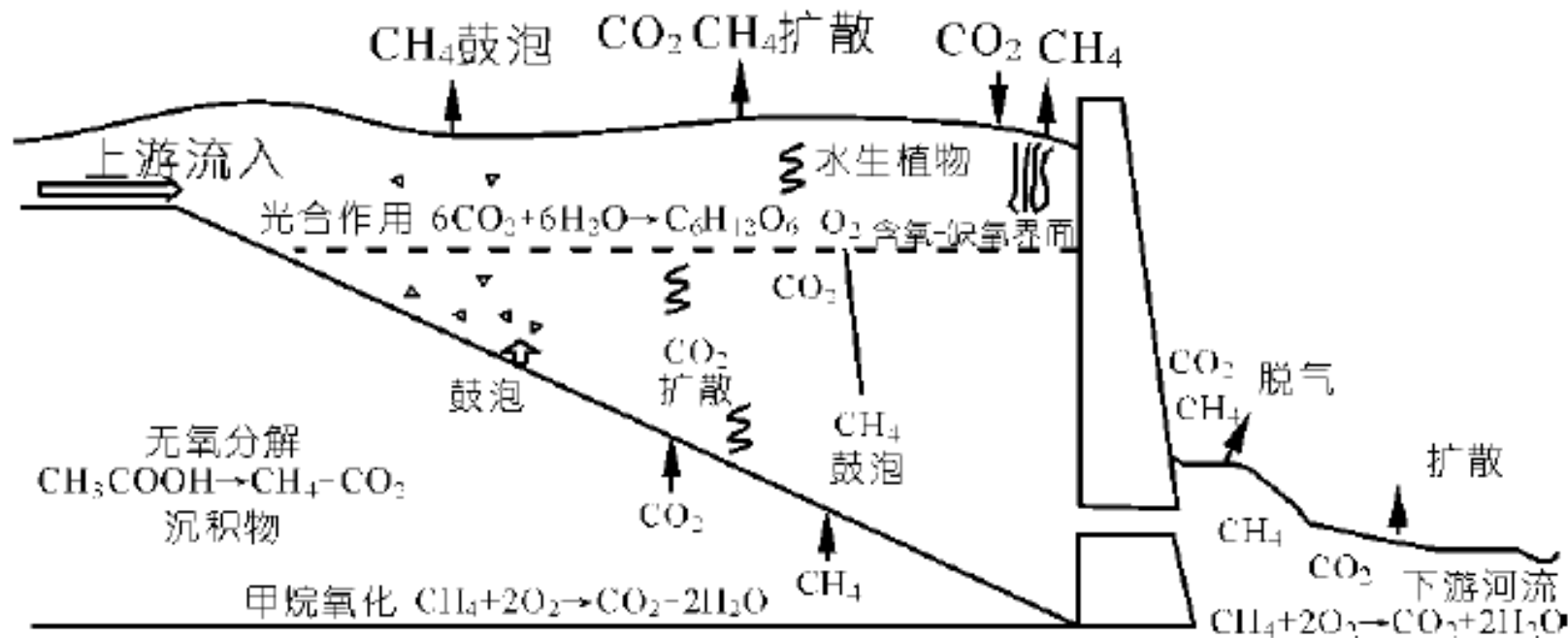
- 水库蓄水——水中好氧微生物的分解产生 CO_2
 - 水库蓄水——水中产甲烷菌活动/消落带植被腐烂产生 CH_4
 - 全球水库每年排放约7000万吨 CH_4 和1亿吨 CO_2
 - 因此水电含有的碳排放强度附加值相当于燃煤发电的约1/40

电力行业碳排放识别



• 水力发电——“无形”排放源

◦ 排放来源：



电力行业碳排放识别



- 核能发电——非可再生低碳电源

- 排放来源：

- 铀矿开采提炼

- 矿山消耗

- 冶炼消耗

- 铀提炼、浓缩、元件生产

- 原材料消耗（如钢材、陶瓷）

- 能源消耗（如电能、煤炭）



电力行业碳排放识别



- 核能发电——非可再生低碳电源

- 排放来源：

- 电站建设——建材生产/能源消耗

- 乏燃料后处理

- 处理厂建设

- 乏燃料处理必需品（如硝酸）的生产

- 核废料

- 运行生产过程中需要自备火电以维持核电厂正常运转。

- 核电厂生产总附加排放强度小于水电

乏燃料又称辐照核燃料，是经受过辐射照射、使用过的核燃料，由核电站的核反应堆产生。这种燃料的铀含量降低，无法继续维持核反应，所以叫乏燃料。乏核燃料中包含大量的放射性元素，因此具有放射性，如果不加以妥善处理，会严重影响环境与接触它们的人的健康。

电力行业碳排放识别



- 风力发电——典型的可再生能源

依靠自然力（风）进行生产，蕴藏量无限

排放来源：

发电设备的生产制造（风力发电机）



清华大学
Tsinghua University

EITab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



电力行业碳排放识别



• 太阳能（光伏）发电——典型的可再生能源

依靠自然力（光）进行生产，蕴藏量无限

排放来源：

发电设备的生产制造（多晶硅太阳能板）



中国多晶硅：背不完的黑锅

2014-06-13 00:09:00 来源：OFweek 太阳能光伏网

我要分享 ▾ 评论 投稿 订阅

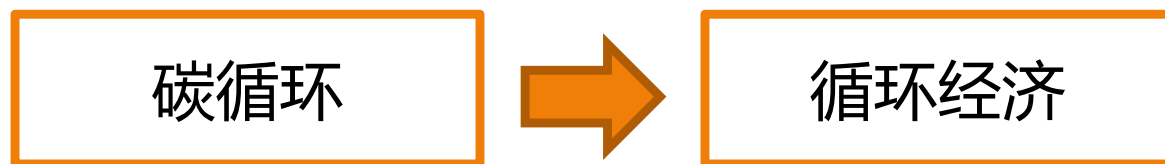
导读：关于光伏发电的环保问题，一直是业界争论的焦点，导致这一论调的基点正是上游材料多晶硅。有人说，光伏发电虽然是零污染、零排放的，但光伏产业的上游，多晶硅制造与生产是高污染和高耗能的。所以，光伏行业与多晶硅这莫名的黑锅由此而来，一句话，因为多晶硅生产不是环保行业，所以光伏产业也根本不是绿色环保产业。

电力行业碳排放识别



● 生物质能发电

- 生物质能依靠燃烧能源作物或农业废物（秸秆、稻壳）获取能量来发电，秸秆、稻壳等废弃物即使不使用在腐化过程中同样会释放温室气体，作物燃烧过程中释放的碳排放在作物生产过程中通过光合作用重新固定，不产生额外的碳排放
- 排放来源
 - 种植燃料作物时的土地使用（毁林）



国家发改委为了规范生物质发电行业有序发展，规定：方圆100公里以内不得新建第二个生物质发电厂，这主要针对北方农林生物质资源丰富的农业大省平原地区；对于南方地区，尤其丘陵地形、物流不便的区域，这个限制范围扩大到150公里范围内不得有二个同类型电厂。（发展中的问题：王骏）



电力行业碳排放识别



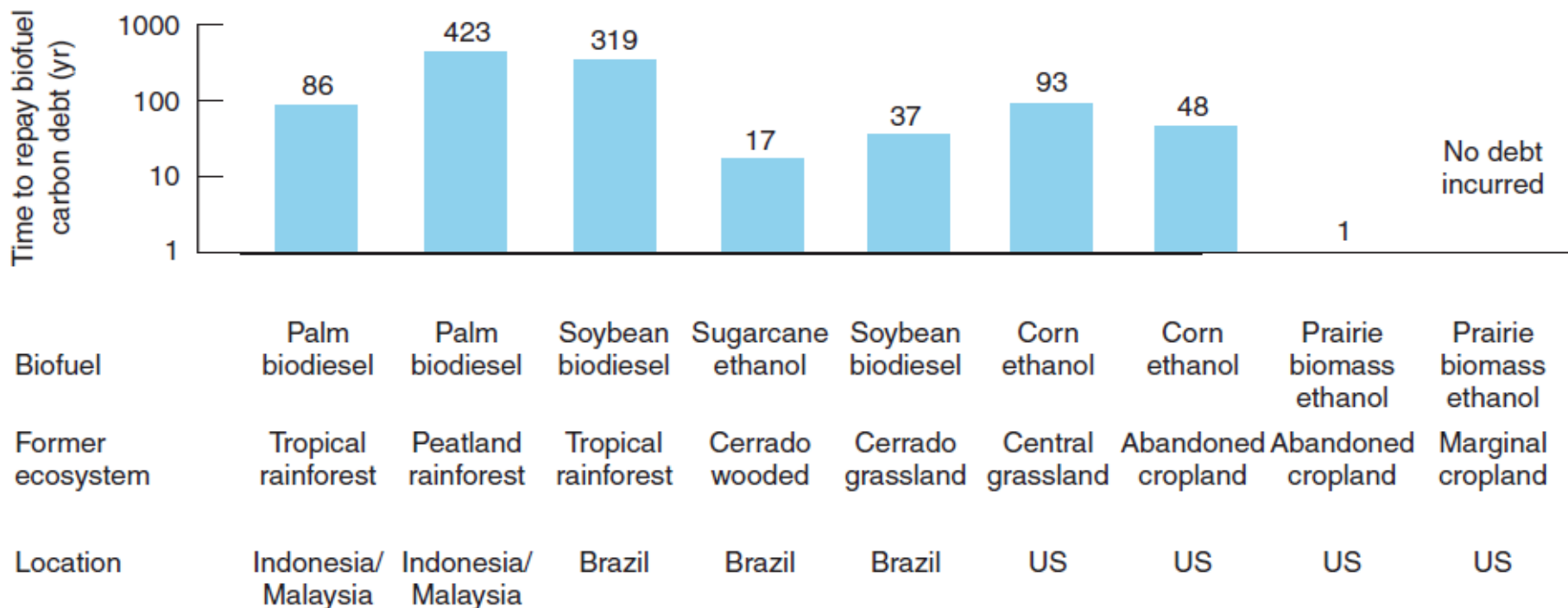
- 碳负债的偿还：
 - 因前期建设产生的能耗与材料消费对应的碳排放，成为碳负债（Carbon Debt），在建成后依靠产生的低碳或零碳电能实现化石能源节约以进行碳负债的偿还
 - 碳负债的偿还周期
 - 风力发电机——约一个月
 - 太阳能电池板——约两年

电力行业碳排放识别



● 碳负债的偿还：

- 对生物质能而言，情况稍复杂：偿还周期取决于燃料作物的类型和土地原有的状态，还和地理环境相关



电力行业碳排放识别



- 抽水蓄能——虚拟碳排放源
 - 特殊类型的水电
 - 抽水蓄能的特点
 - 平均效率：抽四发三（75%）
 - 本身不能额外发电
 - 排放来源
 - 抽蓄过程中的损耗（需考虑损耗电能类型）

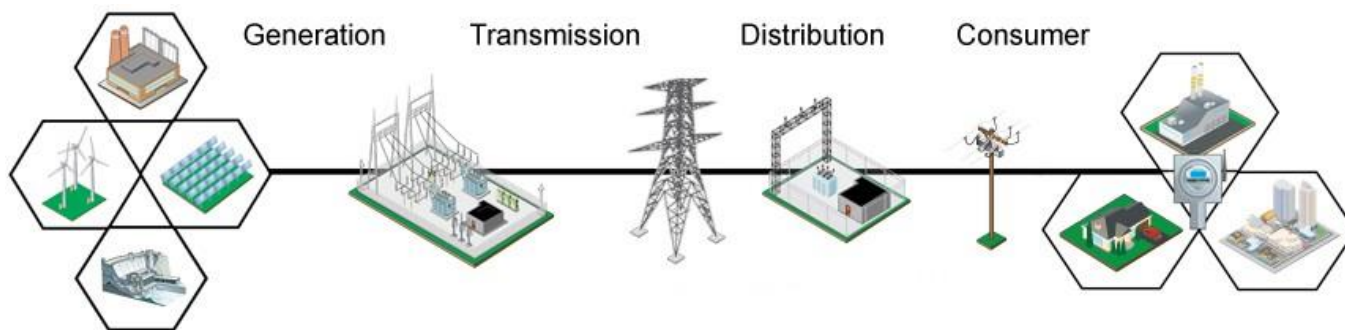
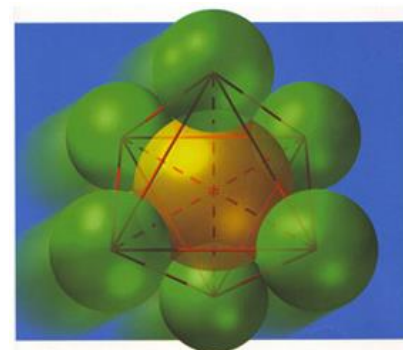


电力行业碳排放识别



- 整体来讲，电力传输环节自身的碳排放主要来自两大方面：

- 电力传输损耗
- 六氟化硫气体泄漏





- 电力传输损耗

- 电能在传输过程中伴随着一定的损耗，损耗电量与上网电量的比值称为综合网损率（简称网损率）。尽管在电能传输的过程中，损耗的产生并未伴随直接碳排放，却等价于在发电侧额外消耗了一部分能源，对于以化石燃料为主的电力能源基地就会产生实际的碳排放。

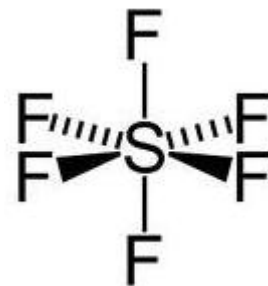
电力行业碳排放识别



• 六氟化硫排放分析

◦ 六氟化硫概述

- 因具有优良的绝缘强度和灭弧性能，兼之出众的稳定性，六氟化硫气体被广泛应用于电力开关（断路器）中。
- 全球每年生产的大约 8500t 六氟化硫（SF₆）气体中，约有一半以上用于电力工业。而在电力工业中，高压开关设备约占用气量的 80% 以上。
- 同时，六氟化硫气体也是电力传输环节所特有的低碳不良因素。



电力行业碳排放识别



SF₆的替代品

- N₂/SF₆混合气体

在SF₆含量很低的情况下，该混合气体也具有良好的绝缘性能。只需适当提高压力45%~70%就可达到纯SF₆气体的绝缘强度，而且SF₆的用量及其漏气率将减少约70%~85%。

- C-C₄F₈及其混合气体

无色、无味、不可燃气体，温室效应是SF₆的三分之一。纯净气体在均匀电场下的绝缘强度是SF₆气体的1.18~1.25倍左右。缺点是价格比较昂贵，是SF₆气体的十倍左右。

- G3气体

由ABB和3M公司合作开发的环保气体。具有很高的绝缘强度，且温室效应值比SF₆小98%，这一新技术将率先应用于瑞士苏黎世奥尔里克的一个变电站。

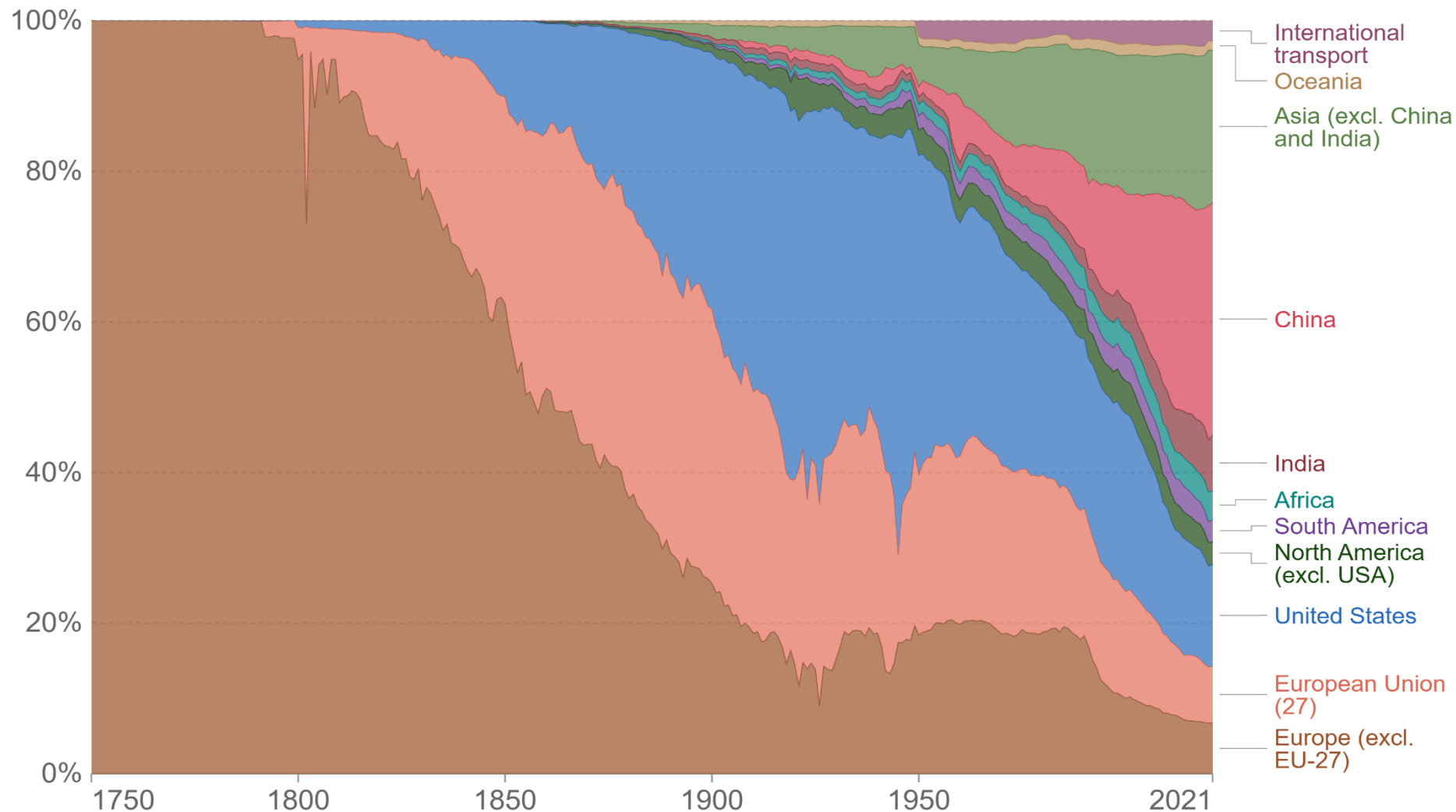




发电侧碳排放现状与发展

Annual CO₂ emissions by world region

This measures fossil fuel and industry emissions¹. Land use change is not included.



Source: Global Carbon Budget (2022)

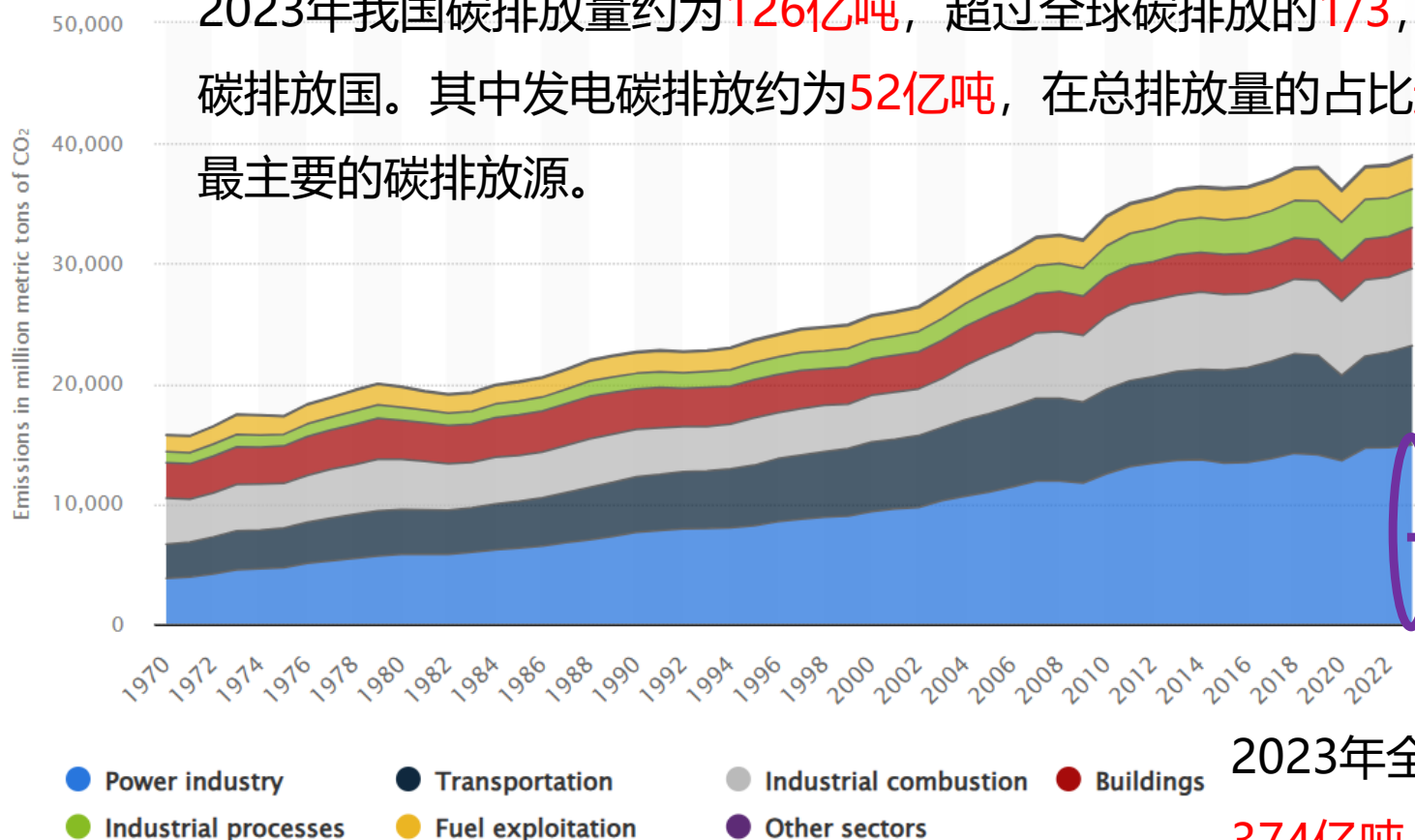
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

现状分析



2023年我国碳排放量约为**126亿吨**，超过全球碳排放的**1/3**，是全球最大的碳排放国。其中发电碳排放约为**52亿吨**，在总排放量的占比**超过四成**，是最主要的碳排放源。



2023年全球碳排放约为**374亿吨**，其中电力碳排放**约占四成**。

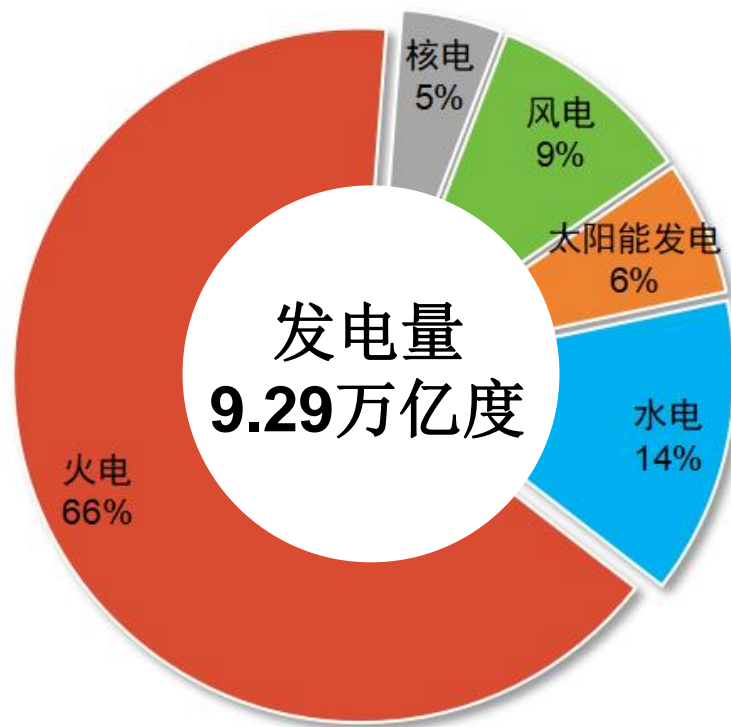
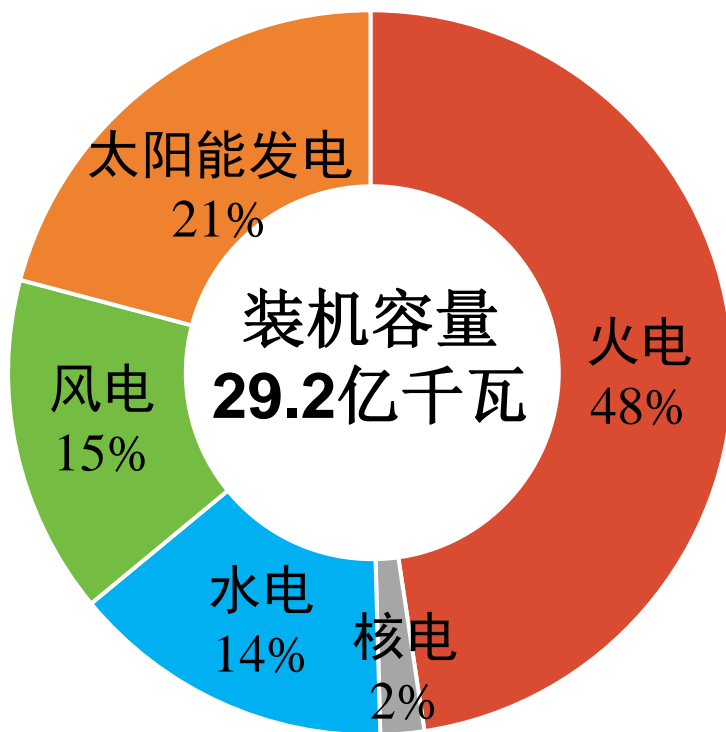


清华大学
Tsinghua University

EILab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组



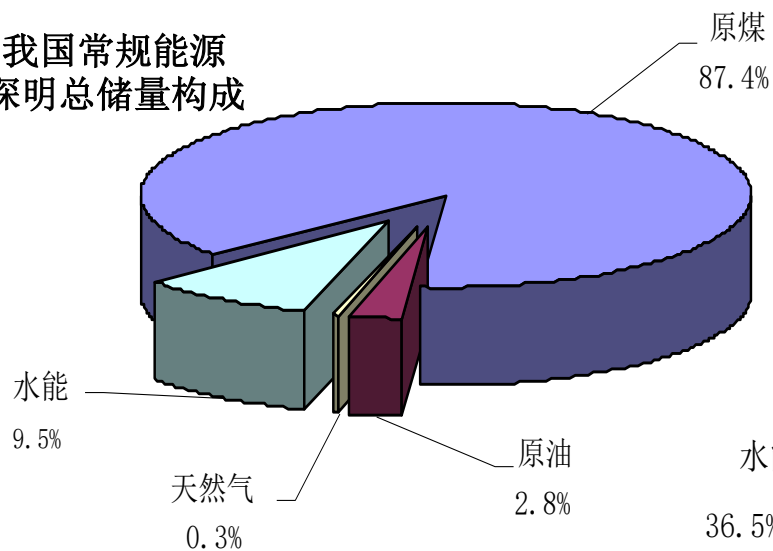
2023年我国各类电源发电装机和发电量结构



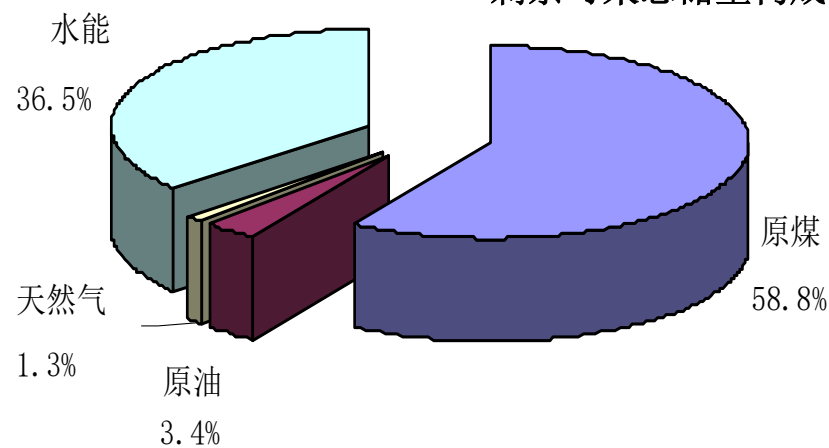
现状分析



我国常规能源
探明总储量构成



我国常规能源
剩余可采总储量构成





◦ 碳锁定现象

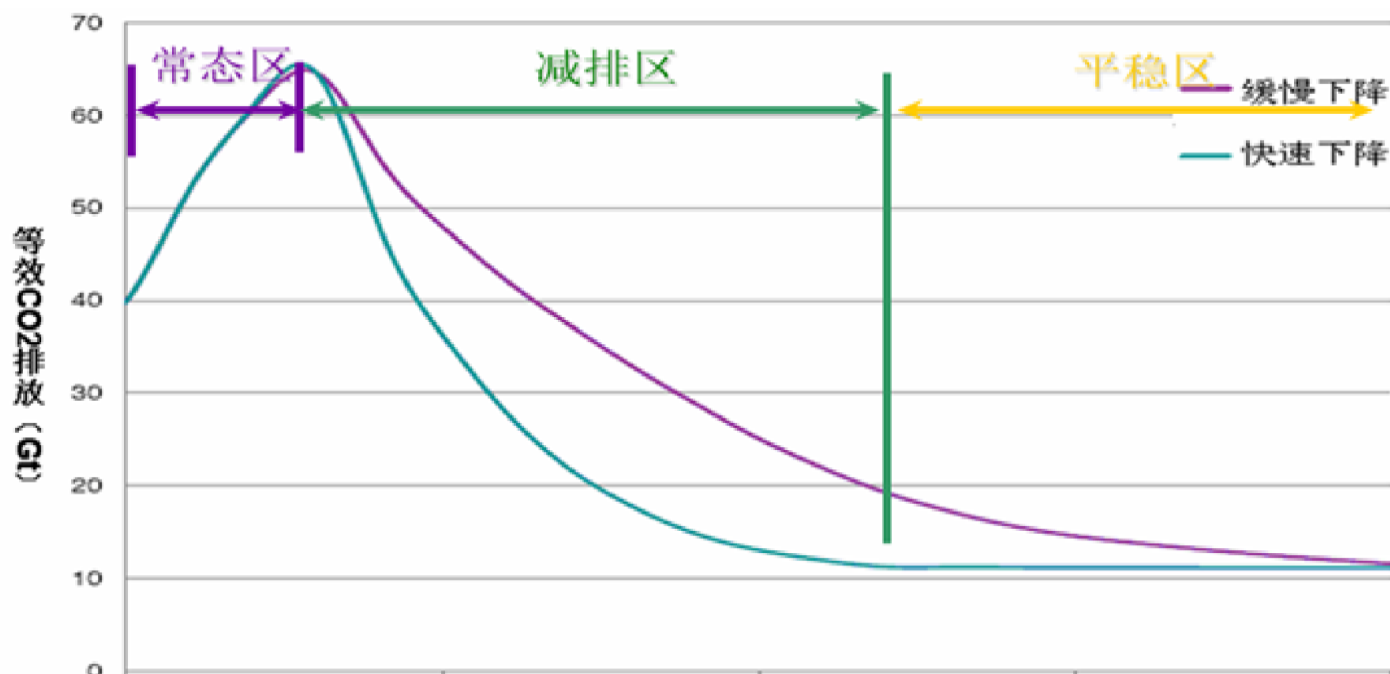
- 发展中国家工业化过程建成的生产设施具备资本密集度高、排放强度大、使用寿命长等特点，一旦装备了低效率、高排放的技术，其高排放的特性将在很长时间内被锁定，否则将导致巨大的重置成本。
- 我国近年来投产的大规模的火电机组，将在未来数十年体现出显著的“锁定”现象。

某一电力系统，包括火电和风电两类电源，其中火电的平均碳排放强度为 $0.85 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ 。那么该电力系统中，单位网损对应的碳排放——

- ☒ A 小于 $0.85 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$
- ☐ B 等于 $0.85 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$
- ☐ C 大于 $0.85 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$
- ☐ D 不确定

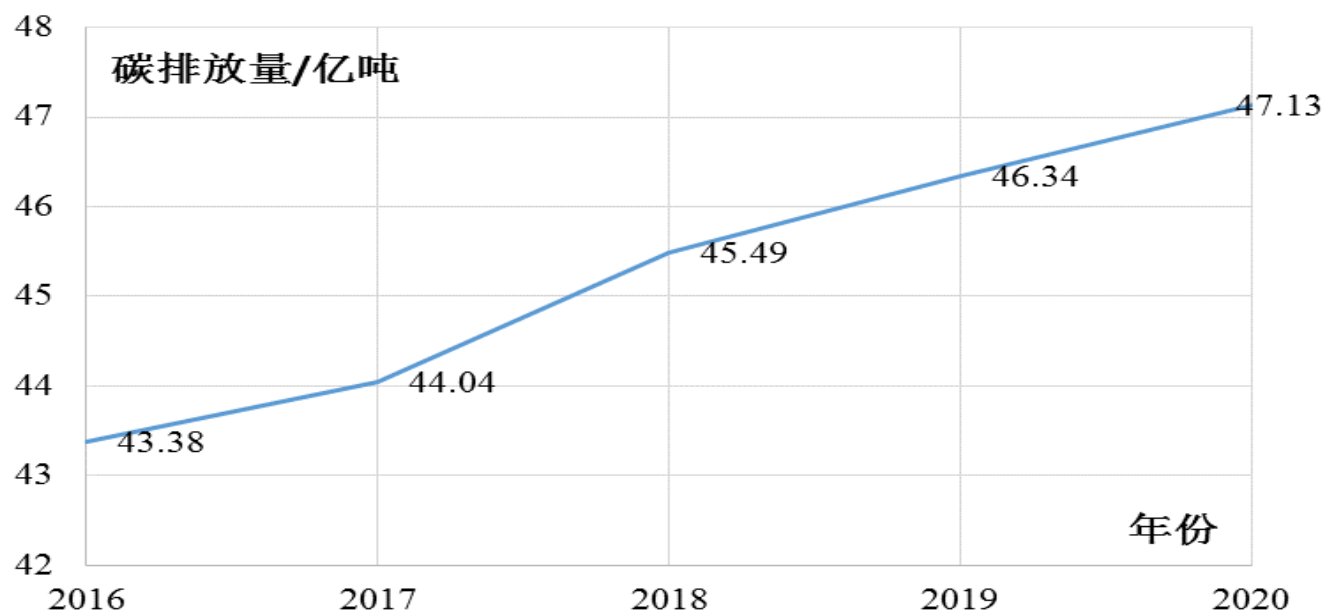


- 排放总量（上升阶段→平稳阶段→下降阶段）
 - 在碳锁定效应下，我国电力行业的低碳发展形势尚不容乐观。





- 全国电力行业碳排放总量预测（上升阶段→平稳阶段→下降阶段）
 - 我国电力行业目前仍处于上升阶段



发展分析

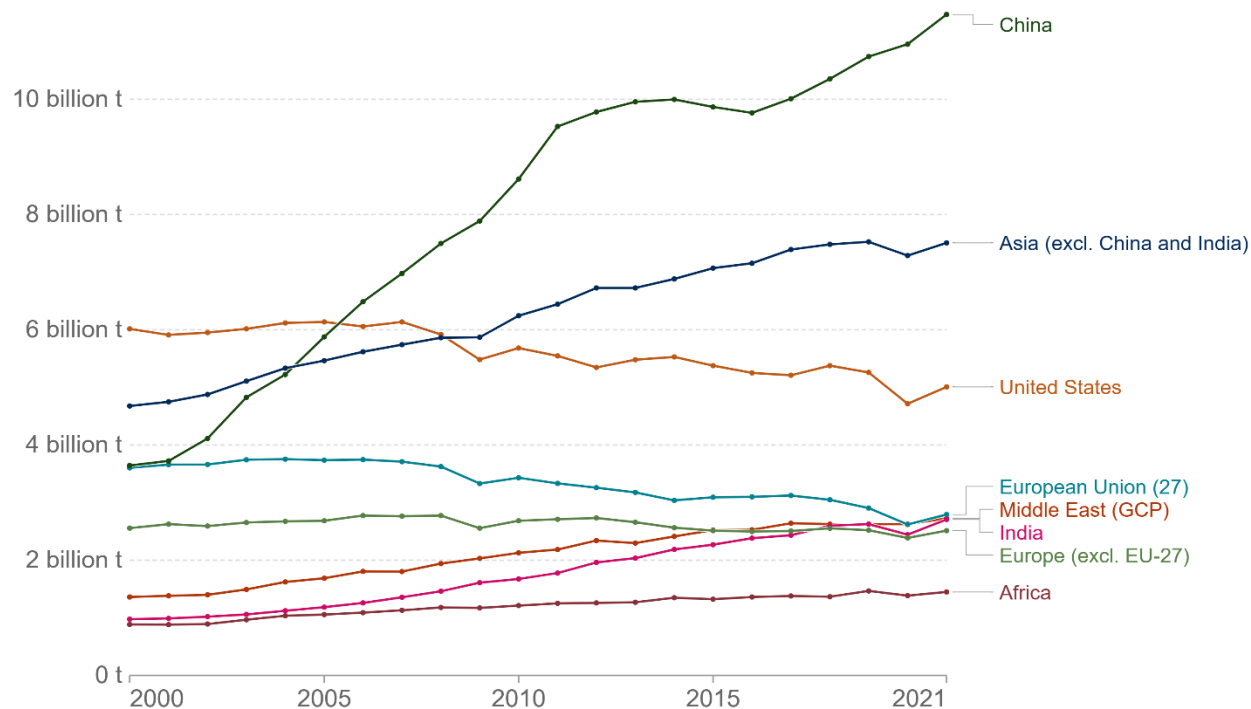


- 排放总量（上升阶段→平稳阶段→下降阶段）
 - 西方部分国家全社会排放已经开始进入总量下降阶段

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land use change is not included.

Our World
in Data



2000~2021年部分国家（地区）
CO₂年排放量



Source: Global Carbon Budget (2022)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

清华大学电机系·智慧能源课题组



实证分析



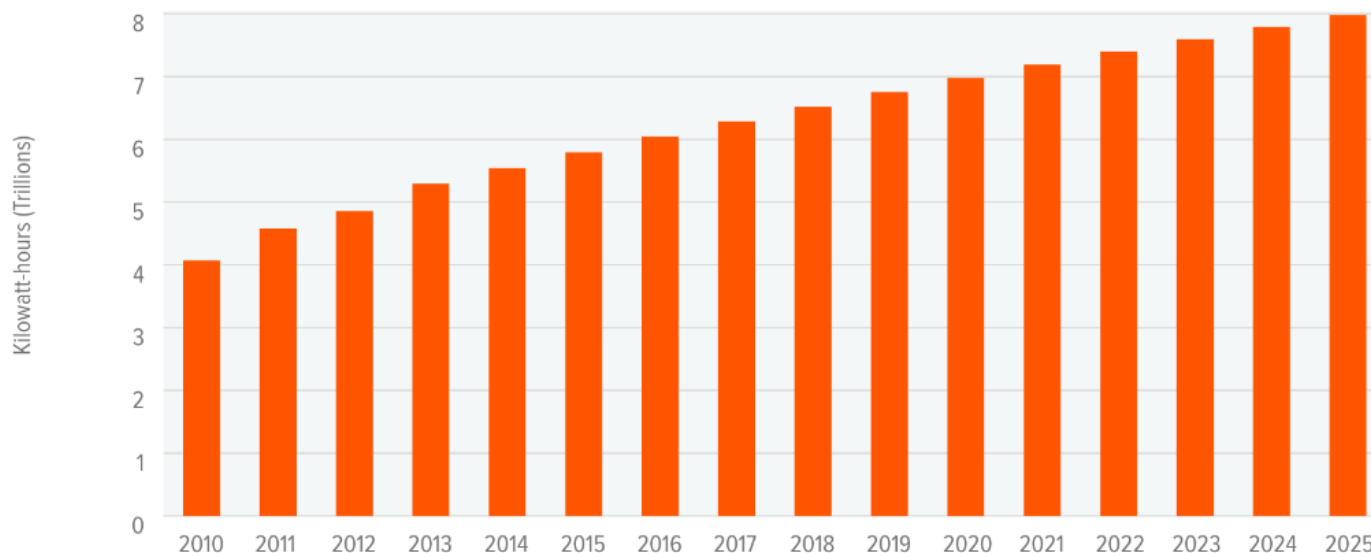
- 增长速度

- 中国用电量仍在增长

仍处于增长阶段!

ELECTRICITY CONSUMPTION FORECAST IN CHINA 2010-2025

Source: Statista, World Bank as of May 2021.



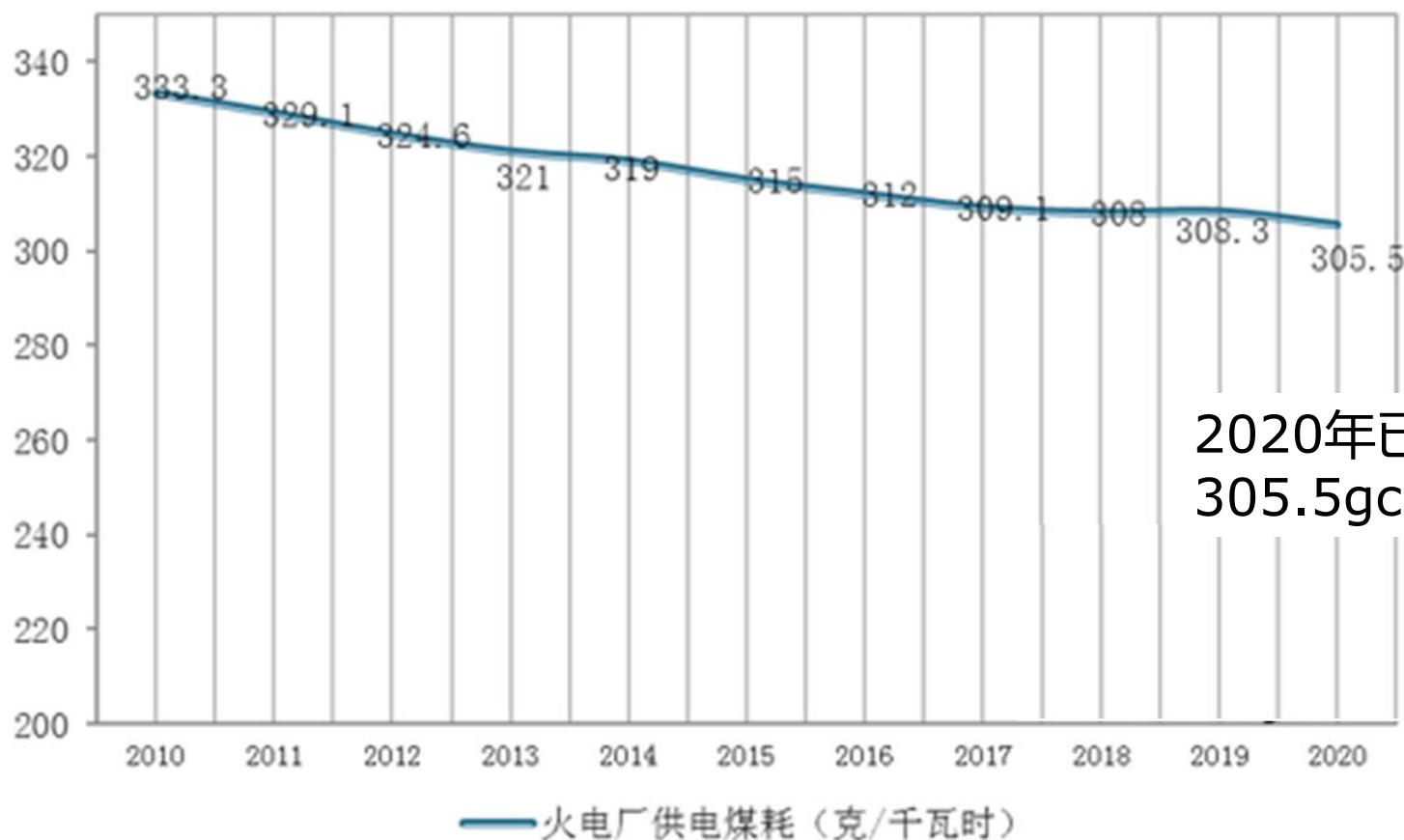
清华大学
Tsinghua University

EILab
Energy Intelligence Laboratory
清华大学电机系·智慧能源课题组





- 碳排放强度
 - 全国火电供电煤耗——下降明显



发展分析

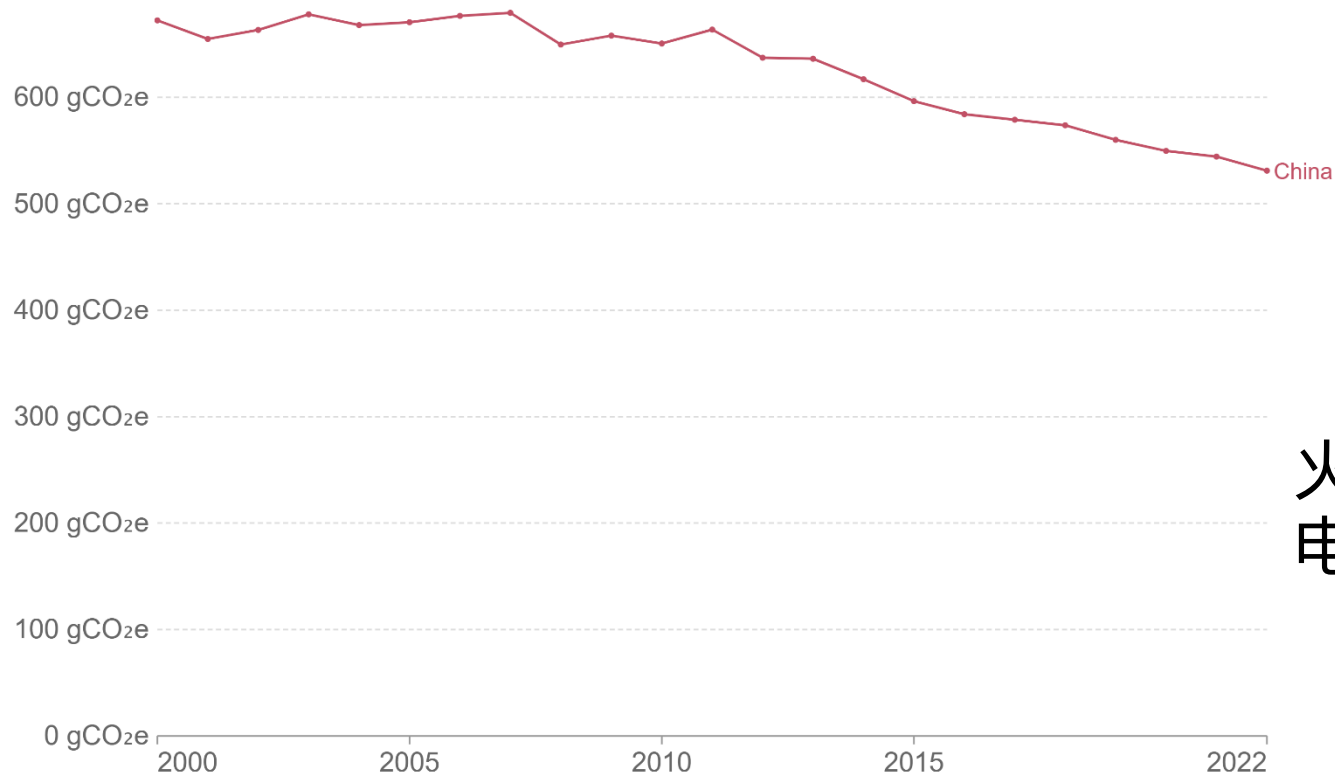


● 碳排放强度：下降明显

Carbon intensity of electricity, 2000 to 2022

Carbon intensity is measured in grams of carbon dioxide-equivalents¹ emitted per kilowatt-hour of electricity.

Our World
in Data



火电效率提高
电源结构改善



Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy
OurWorldInData.org/energy • CC BY



关于我国电力碳排放的几个判断



- 中国要发展
 - 经济发展、需求上涨是推动电力碳排放快速上升的最根本原因
 - 不同的经济发展阶段，不可一概而论
- 中国必须用煤？
- 中国的技术已经很先进
 - 火力发电技术，输电技术

目录



- 与碳排放相关的概念
- 电力行业碳排放相关概念
- 电力行业全生命周期碳排放分析
- 电力行业碳排放的识别
- 发电侧碳排放现状与发展

电力行业全生命周期碳排放分析



● 有兴趣的同学可参考以下材料：

- [1] 刘晓惠, 胡山鹰, 金涌. 民用天然气和电的全生命周期分析及评价. 能源及环境, 2010, (16): 21-23.
- [2] 欧训民, 张希良, 常世彦. 多种新能源公交车能耗与主要污染物排放全生命周期对比分析. 汽车与配件, 2005, (52): 16-20.
- [3] 欧训民, 张希良, 覃一宁, 等. 未来煤电驱动电动汽车的全生命周期分析. 煤炭学报, 2010, 35(1): 169-172.
- [4] Hondo H. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case[J]. Energy, 2005, 30(11-12): 2042-2056.
- [5] Weisser D. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies[J]. Energy, 2007, 32(9): 1543-1559.

思考题



- 你对气候变化的认识?
 - “低碳生活，由我做起”，请反思我们日常可以通过什么样的举动降低碳排放量?
 - 请思考，我们可以通过什么样的方法，降低清华大学整体的碳排放水平?
 - “碳足迹”，请估算一下自己每天/月/年的碳排放量。
-
- 大致分析光伏产业的耗能与污染?
 - 判断：如果火电碳排放强度降低，则全系统的碳排放量一定减少。
 - 大致思考一下，电力行业的低碳化途径?

下节课的开头几分钟讨论!

