

煤炭高效低碳利用学术沙龙 (1)

生物质耦合的未来及挑战

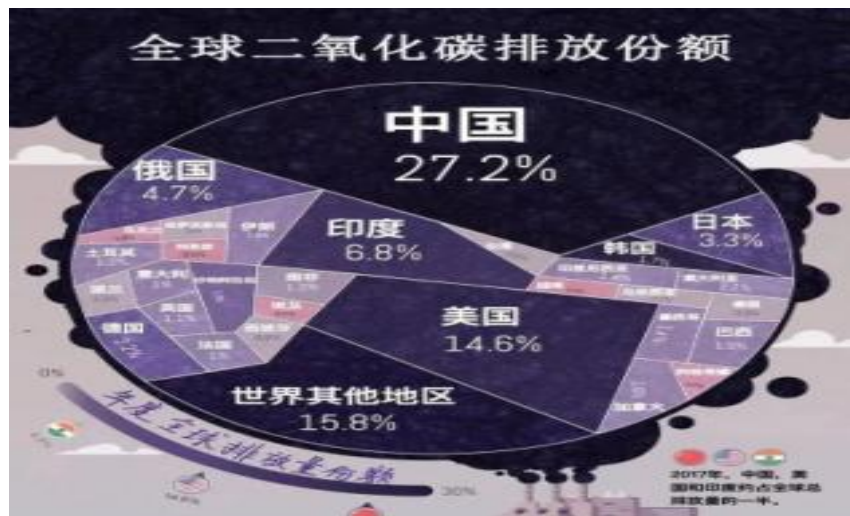
中国煤电低碳转型之路

毛健雄

清华大学 能源与动力工程系

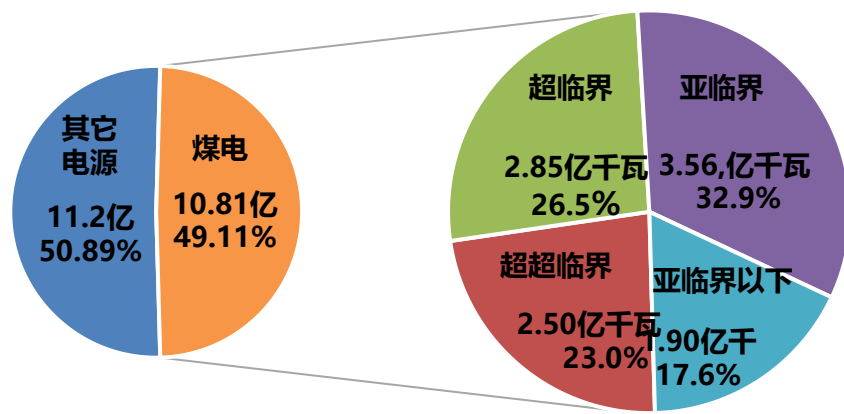
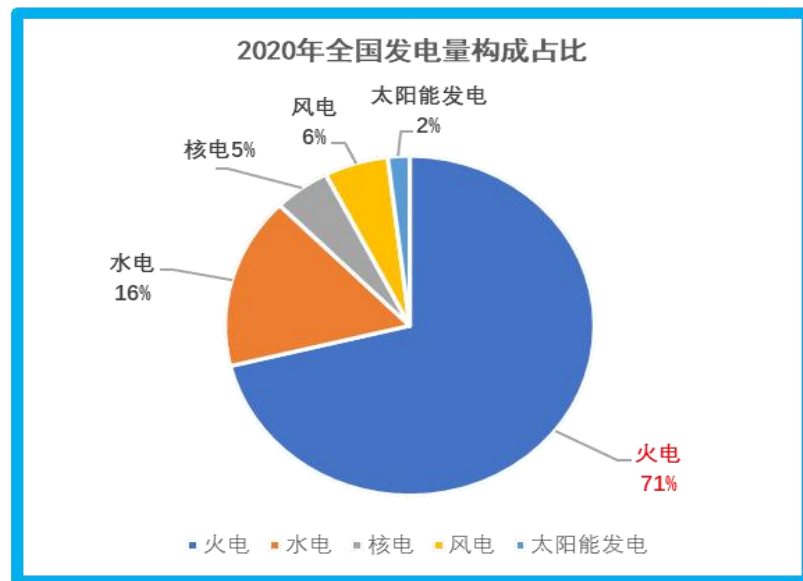
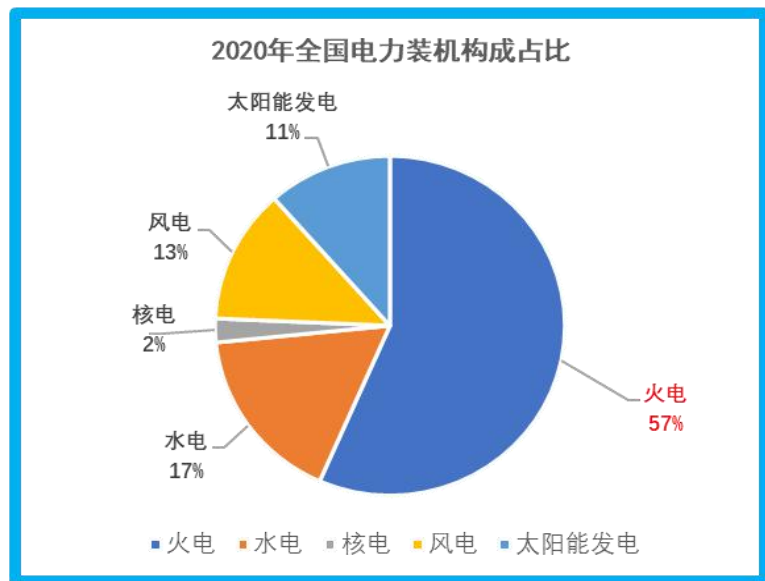
2022年4月23日

中国是世界上最大的二氧化碳排放国



2020年中国电力装机容量、发电量和煤电占比

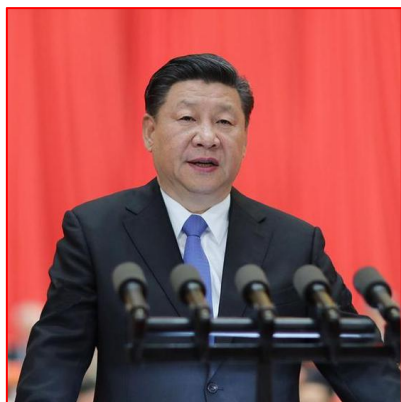
世界最大的煤电装机容量，中国最大的碳排放源



- 中国煤电装机容量世界最大，其装机容量占比约50%而发电量占比达60%以上；
- 由于火电的安全、稳定、高效及灵活的调节性能，已成为电力系统保障电力供应的优质可靠电源，火电承担着电力系统兜底保障安全和调节的不可替代的作用。
- 火电中煤电占比达90%，2020年煤电装机容量为10.81亿千瓦，其中30万千瓦以上大型机组占比82.4%，是火电低碳转型的关键。

中国煤电总装机容量10.81亿千瓦，占比49.11%

煤电如何贯彻习近平总书记关于能源革命的精神



2022年1月24日，习近平总书记在中共中央政治局集体学习时指出：推动能源革命，要立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，通盘谋划，传统能源退出必须建立在新能源可靠的替代基础上。要加大力度建设以大型风光电基地为基础、以其周边高效先进节能的煤电为支撑、以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新能源供给消纳体系。

- 这一重要精神为中国煤电的低碳转型发展指明了明确的方向：
- 1. 创新推动，采用创新先进技术大力推动煤电节能降碳改造、供热改造和灵活性改造“三改联动”，最大限度实现煤电的低碳发展；
- 2. 先立后破，不立不破。通过政策驱动充分利用边际土地种植速生、高产、优质能源植物，夯实以生物质能源替代煤炭的牢固基础，最终实现煤电的燃料替换，使生物质火电取代煤电，基本上实现煤电的零碳化；
- 3. 积极研发、示范和应用碳捕获利用封存（CCUS）技术，在可再生能源火电零碳排放的基础上，实现火电的碳负排放。
- 4. 在煤电低碳转型过程中，火电将为建设大型风光电基地保驾护航，最终实现包括生物质火电在内的以新能源为主体的新型电力系统。

煤电低碳发展实现“碳中和”三步走的路线图

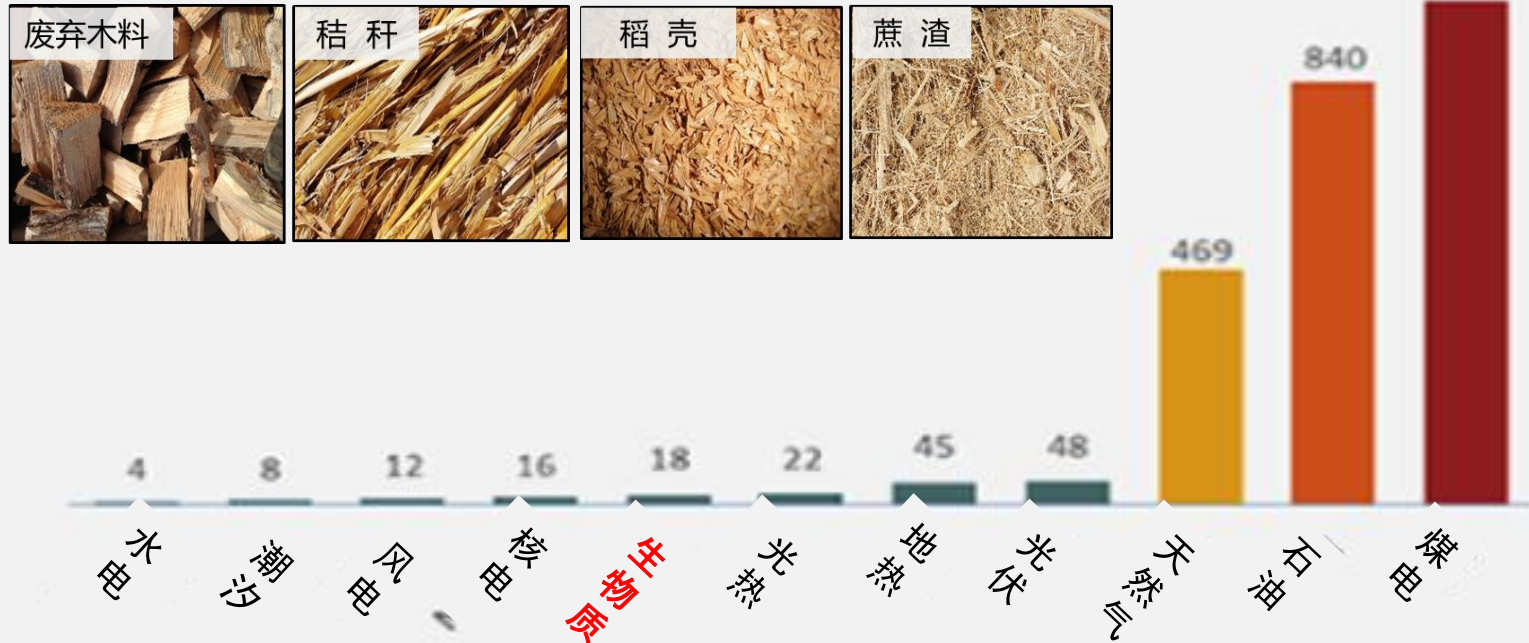
煤电是能源领域最大的碳排放源，2020年煤电总装机容量为10.81亿千瓦，占比49.11%，但是煤电的发电量占比仍然高达65%，因此，实现“双碳”目标除了大力发展风光电外，同时煤电本身的必须碳发展，建议发展的路线图是：低碳-零碳-负碳

改造现有煤电机组 (低碳)  煤与生物燃料混烧 (零碳)  生物质火电+CCUS (负碳)

- **一、改造现有在役的煤电机组。**首先淘汰落后低效率高煤耗的机组，其余的所有机组，通过政策驱动，建议有关部门像对煤电污染物排放的要求那样，制定对不同容量机组，如亚临界、超临界和超超临界具体的碳排放强度标准和灵活性低负荷性能达标的要求，并按照这一要求对机组进行升级改造，以大幅度降低供电煤耗和改善灵活性力争在“十四五”期内完成。实现在役的煤电机组的高效和低煤耗发展，**实现煤电的低碳发展，实际上是实现煤电与生物质耦合发电的基础和前提。**
- **二、大力推动在役煤电机组采用生物质燃料与煤混烧，直至生物质燃料替换。**生物质耦合发电实际上是推动煤电向可再生能源发电过渡，也是在推动风光电的加速与可靠地发展的保障，因此，制定相应政策**大力推动煤电在高效低煤耗基础上的耦合混烧生物质发电，直至实现生物质燃料替代，最终实现煤电的零碳排放。**
- **三、大力推动碳捕集利用和封存，包括生物质能的碳捕集利用和封存（CCUS和BNCCUS）技术的研发示范和应用。**在“双碳”目标推动下，根据现在研发和示范的进展，有望在2030-2045年期间逐步实现各种CCUS技术的大面积推广应用，**使全部火电实现碳的负排放。**

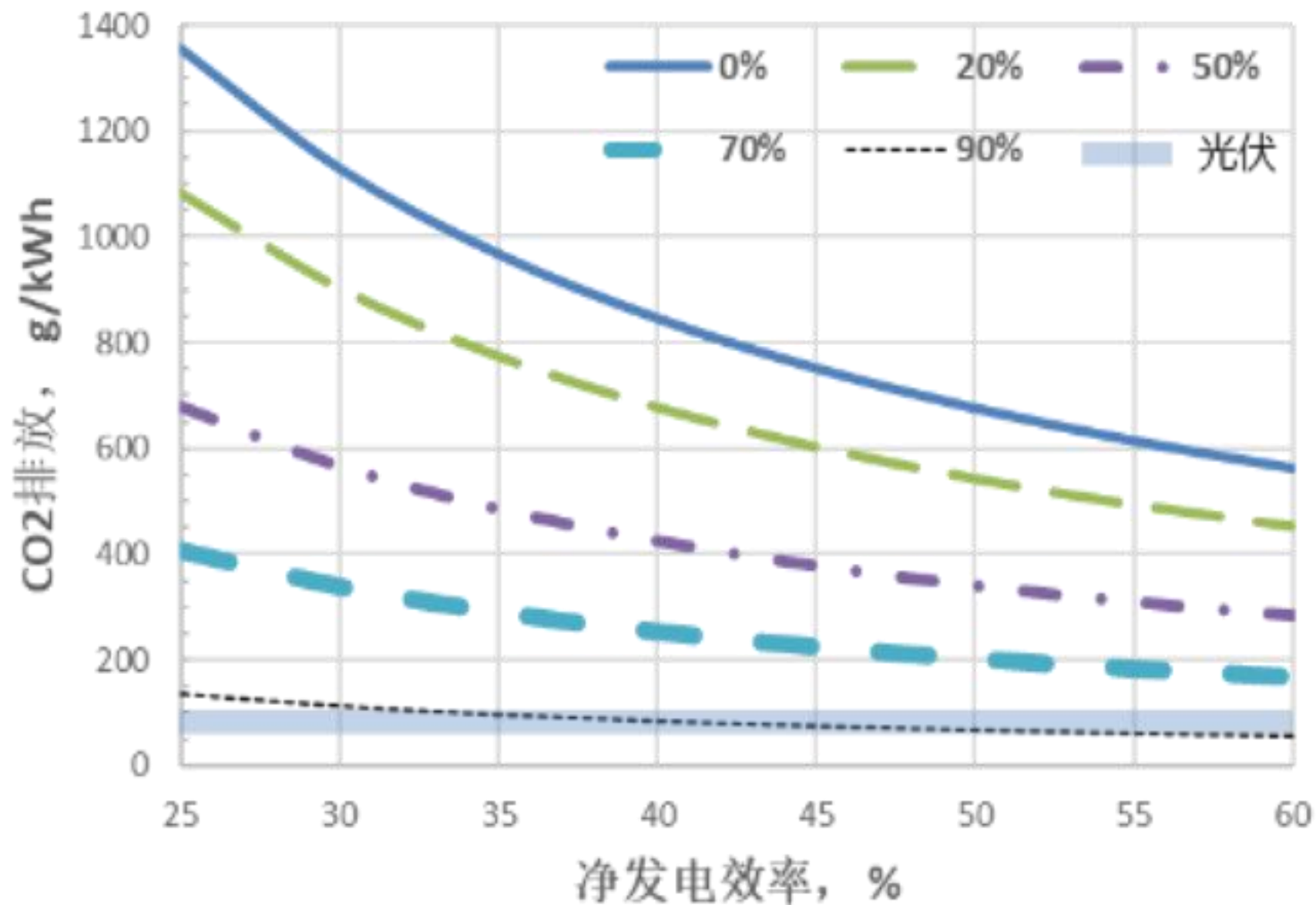
煤电的生物质耦合混烧发电就是高碳燃料向低碳燃料的发展与过渡

各种电力的碳排放强度 (gCO₂/kWh)

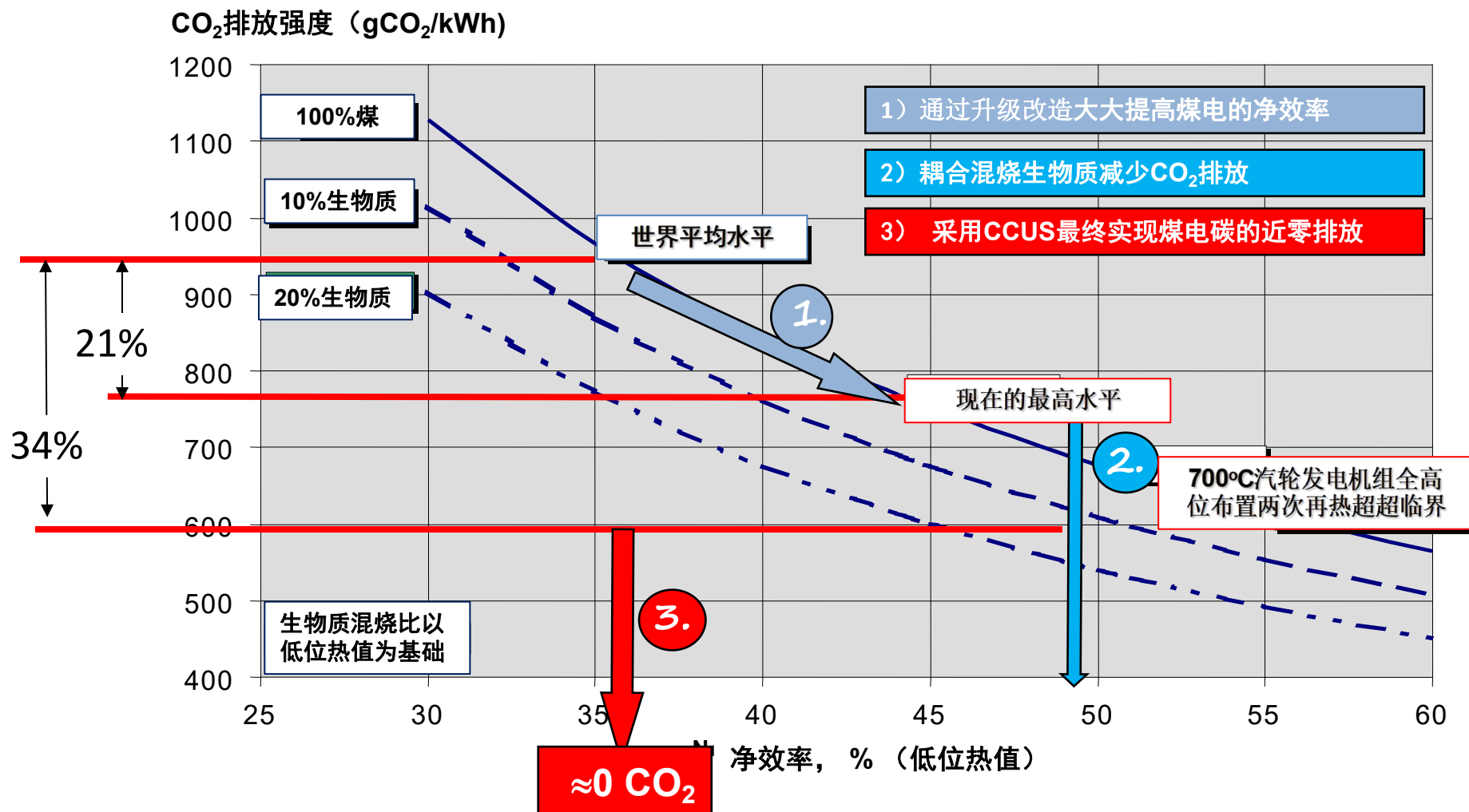


生物质在替代煤炭燃烧过程中产生的碳排放与其生长过程中吸收的二氧化碳可视为相互抵消，对环境并不新增加二氧化碳，因此，生物质能源和风光电一样都是低碳的可再生能源，煤电耦合混烧烧生物质燃料可以显著降低煤电的碳排放，煤电低碳发展之路，要先立后破，就是在提高效率降低煤耗的基础上，大力发展生物质耦合混烧，直至生物质的燃料替换，最终实现煤电的零排放乃至负排放

CO₂排放随发电效率及生物质掺混比例的变化



煤电通过降低煤耗、生物质耦合混烧发电和采用CCUS技术实现CO₂接近零排放的“三步走”技术路线和在“双碳目标”下建设先进煤电实现煤电低碳化的路线图



煤电生物质混烧发电的国际经验

- 自应对气候变化的《京都议定书》签订以来，发达国家就开始对煤电进行碳减排，其中以欧洲国家行动最积极。以英国为例，从2020年开始，在政策推动下，几乎100%的英国大型燃煤电厂，均采用生物质耦合混烧以降低碳排放，他们的主要经验是：
- **1. 政策推动是最关键的因素。**英国从一开始就制订了混烧奖励政策，包括对煤电碳减排的要求，混烧生物质的发电量实行优先上网收购、上网电价补贴和其它减免税政策：
 - (1) **“绿色”发电指标**，即规定所有发电公司必须完成一定指标的碳零排放发电量；例如2002年，英国向发电公司颁发可再生能源发电许可证ROCs (每MWh的生物质发电量证书)，并要求发电公司必须提供一定数量的ROCs，否则将面临罚款，该政策极大地激励了大型燃煤电厂开始进行生物质耦合发电。
 - (2) **混烧奖励政策**，生物质混烧份额的发电量实行高价的上网电价，优先收购和减免税策；
 - (3) **碳排放交易政策**。
- 在强有力的政策推动下，英国全部16座大型煤粉炉火电厂均改造成生物质混烧发电，总装机容量为25 366 MW，其中英国最大的Drax电厂的6台660MW燃煤机组，于2003年从5%的生物质混烧起步，至2013年第一台机组完成了100%生物质燃料替换，到2018年，**实现了4台660MW燃煤机组100%的生物质燃料替换，成为全球最大的生物质火电厂。**
- **2. 解决生物质燃料的供给**，英国政府于2001年发布了《能源作物计划(Energy Crop Scheme)》，该法案为农民种植能源作物提供补助，推动英国农民大力种能源植物，同时采用国内国际双循环解决了生物质颗粒燃料的供应问题。
- **3. 生物质耦合混烧发电主要用于大型燃煤火电厂**，其经验是从5%生物质混烧起步，在不断取得经验的基础上不断提高混烧比，同时解决了一系列生物质燃料混烧直至燃料替换的技术问题，包括生物质颗粒燃料的安全储存、输送以及制粉、燃烧器、脱硝等，最终实现了100%生物质发电。

英国装机容量最大的6台66万千瓦Drax电厂燃煤电厂 其中4台2018年完成改造为100%燃烧生物质的火电厂

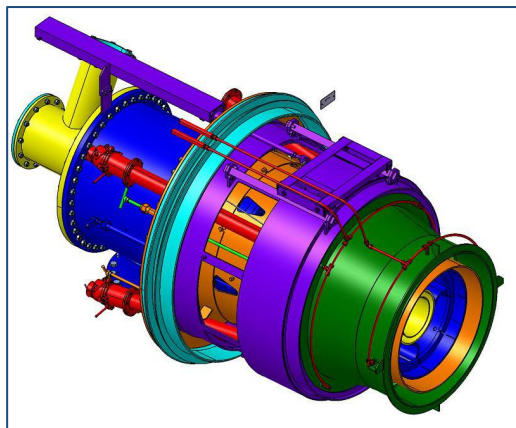
Drax电厂生物质电厂全貌



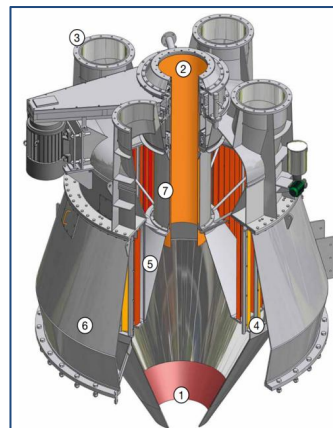
- 英国最大的火电厂，总容量为4000MWe，位于英国英格兰约克郡Selby；
- 6×660MWe前后墙 对冲煤粉燃烧锅炉
- 前3台机组1974年投运，后3台1986年投运
- 现在6台锅炉中已有 4台于2018年完成改造成有单独生物质磨制和燃烧系统的 100%燃烧生物质的生物质燃烧锅炉。



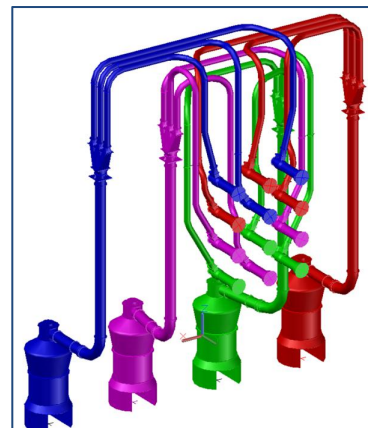
大型生物质颗粒燃料防火储仓及密封防火输送系统，每仓容量为75000吨



生物质燃料燃烧器



生物质颗粒燃料磨粉机



生物质燃料制粉系统

实现中国煤电低碳转型发展是一巨大的挑战

- 要实现3060双碳目标，必须要去煤，才能大幅度减少碳排放。现在煤炭仍然是中国能源特别是电力的主体，因此，煤电低碳转型是一个及其巨大的挑战。这就是习近平总书记指出的：“**推进碳达峰碳中和不是轻轻松松就能实现的，等不得，也急不得**”。等不得，突出说明“双碳”目标的紧迫性和重要性。**急不得**，突出说明推动和实现“双碳”目标的艰巨性和复杂性。
- “**要立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，通盘谋划，传统能源退出必须建立在新能源可靠的替代基础上。**”实现我国煤电低碳转型，要立足我电力仍然是以煤为主的现实，**一定要首先解决能够可靠替代煤炭的低碳燃料，才能实现煤电彻底的低碳转型，而唯一能够替代煤炭的低碳燃料只有生物质。**因此，**必须坚持先立后破，解决生物质燃料的大规模生产和可靠替代及可靠供应的问题。**
- 因此，要实现中国煤电的低碳转型，实现燃煤火电转型为生物质火电，正如习近平总书记指出的，**要拿出“抓铁有痕踏石留印”的劲头才能实现**。就是要**下大决心，拿出大力气，制定大政策，通过中国的土地，种出中国的低碳能源，实现把可靠安全电力的铁饭碗牢牢地拿在自己手里的大战略。**

衷心希望能够通过30年的不懈努力，通过三步走的煤电低碳转型之路，即：

- (1) **改造现有煤电机组 (低碳)**
- (2) **煤与生物燃料混烧或燃料替换 (零碳)**
- (3) **高效煤电或生物质火电+CCUS (负碳)**，最终能够实现我国煤电低碳转型的伟大目标。

结束语：中国煤电低碳转型之路

- 我国煤电低碳转型一定要建立在新能源可靠的替代基础上，也就是应先立后破，大力发展生物质火电取代煤电，最终实现煤电的零碳化转型，因此煤电升级改造+生物质混烧+碳捕集、利用和封存（CCUS）的技术路径。就是中国煤电低碳转型之路，这对我国最终实现2060碳中和具有重要战略意义。未来我国发展生物质发电应着重在以下三个方面：
 1. 制定强有力的推动煤电耦合生物质发电的能源政策。根据我国生物质资源情况及利用目标，制定更合理和强有力的国家法规政策和激励政策，如碳交易体系下减免碳税、根据耦合比例灵活性颁发发电补贴、绿证交易等，对燃煤电厂混烧生物质进行约束和支持，以更大的力度推动煤电生物质耦合混烧改造直至燃料替换。
 2. 大力推动和发展生物质燃料产业，大规模开发和推广利用边际土地种植高产速生的能源植物如“超级芦竹”等，建立农林废弃物和能源植物的一体化收、储、运和加工产业链，可将其与发展三农战略和乡村振兴相结合，同时大力发展和规范生物质燃料的加工、运输和销售，建立稳定可靠的生物质燃料的供给市场，降低生物质低原料成本，最终形成像煤炭那样的生物质燃料的生产、加工、运输和销售的产业链，这是促进生物质能最终能够取代煤炭的根本保证和重要举措；
 3. 借鉴国外大型燃煤机组进行生物质耦合混烧直至100%生物质燃料替换技术。借鉴与自主研发同时并举，掌握先进可行的生物质与煤混烧，乃至100%燃烧生物质的可靠技术，最终与风光电一起，形成可确保我国能源安全的以可再生能源为主体的低碳发电系统，从而确保实现我国在2060年前实现碳中和的战略目标。

谢谢大家