



国家能源集团
CHN ENERGY

创新引领电力高质量发展

Innovation leads high-quality development
of electric power

朱法华 教授、博导

Zhu Fahua Pro./ Ph.D supervisor

国家能源集团

Chn Energy

首席科学家

Cheif Scientist

俄罗斯自然科学院

外籍院士

Russian Academy of Natural Sciences Foreign Academician

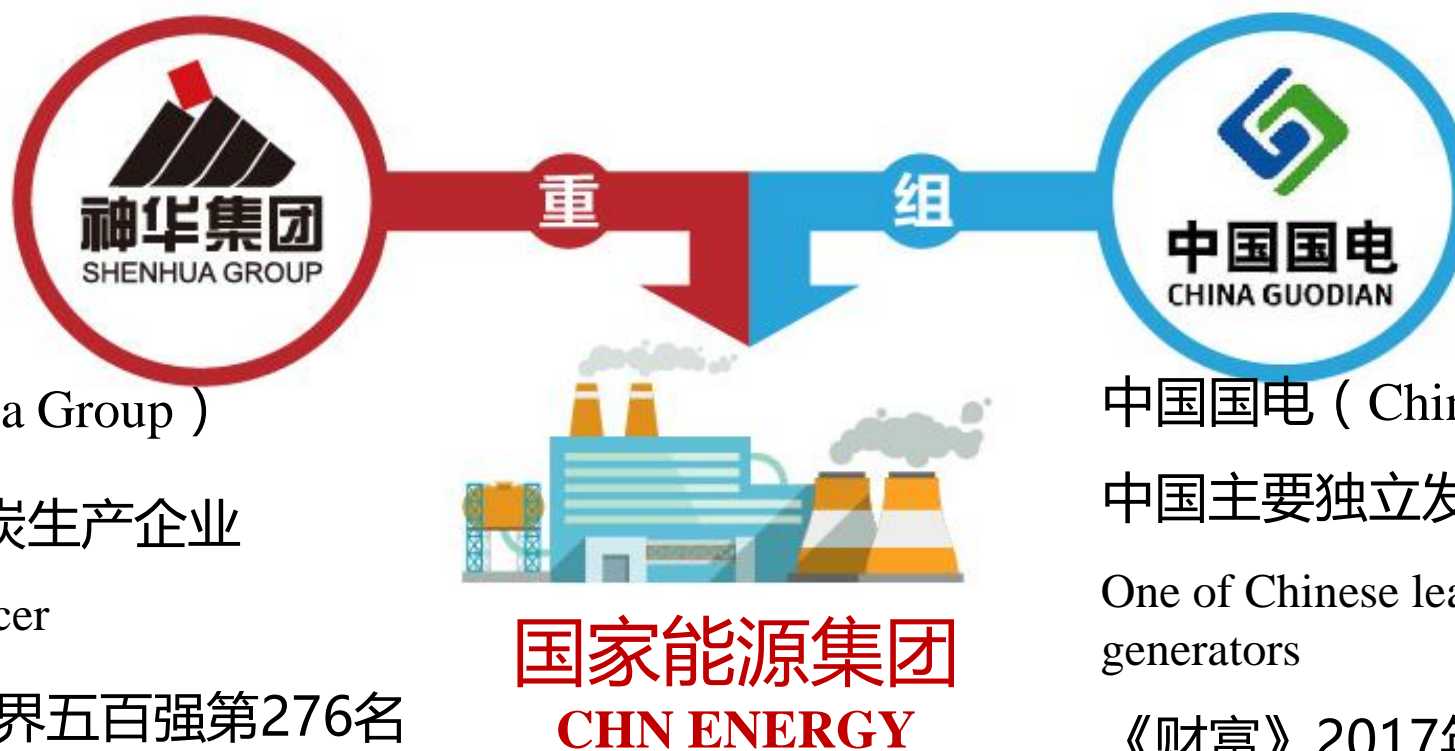
创新
innovation

高质量
H-quality

发展
development

2017-11-28中国国电集团与神华集团合并重组为国家能源投资集团有限责任公司

(简称国家能源集团) In 2017, China Guodian Corporation and Shenhua Group Co., Ltd. were merged and reorganized into CHN ENERGY Investment Group Co.,LTD. (short for CHN ENERGY).



神华集团 (Shenhua Group)

中国排名首位的煤炭生产企业

Chinese top coal producer

《财富》2017年世界五百强第276名

中国国电 (China Guodian)

中国主要独立发电商之一

One of Chinese leading independent power generators

《财富》2017年世界五百强第397名

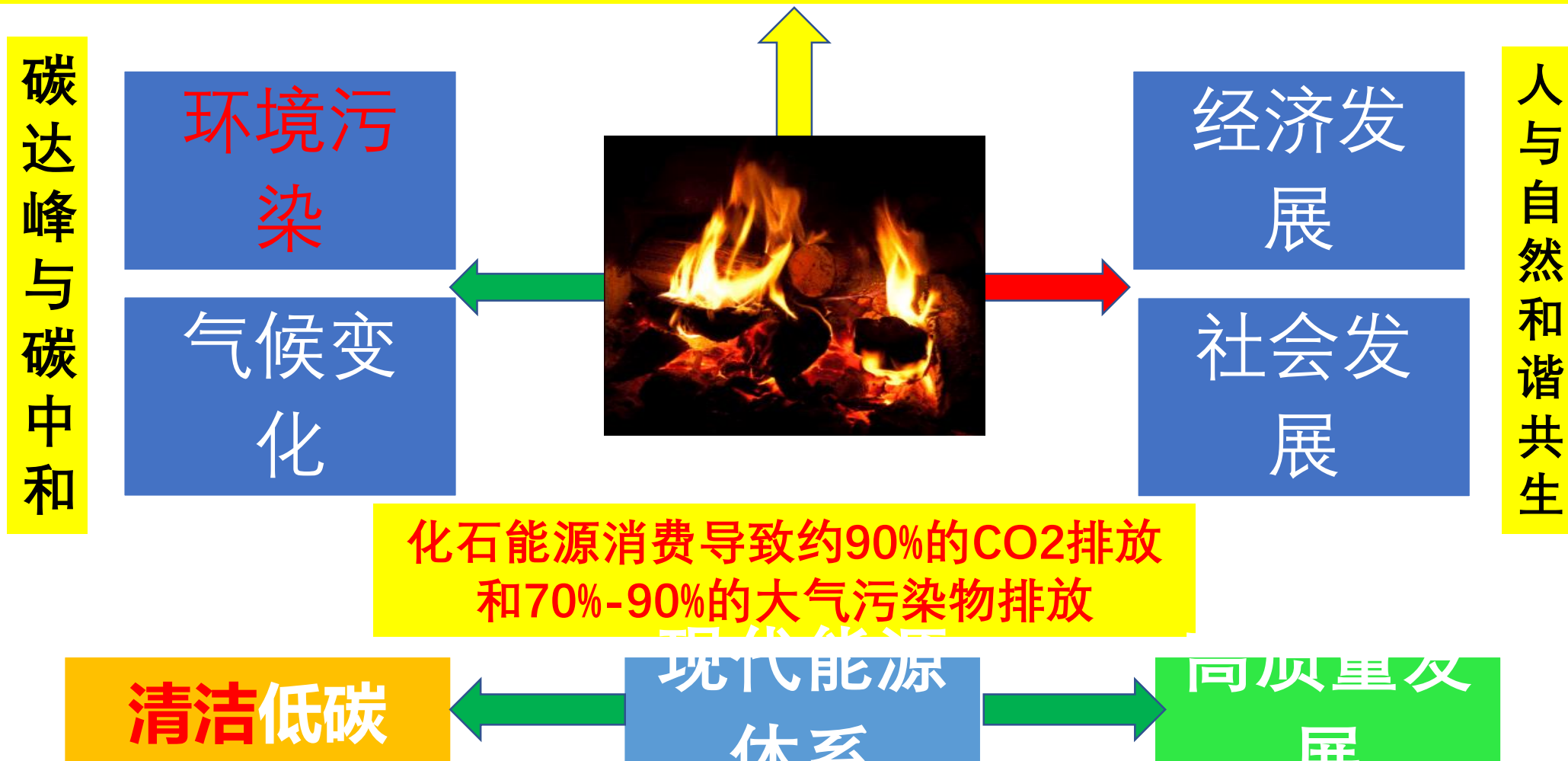
世界最大的综合性能源集团，2023年世界500强排名76位 (ranked at 85th of Fortune Global 500 in 2023)

朱法华 教授



- 俄罗斯自然科学院 外籍院士
- 国务院政府特殊津贴 专家
- 国家能源集团 首席科学家
- 全国重点实验室 主任
- 生态环境部重点实验室 主任
- 南京信息工程大学双碳院 院长
- 《电力科技与环保》期刊 主编
- 南京大学紫金全兴 杰出校友

表象是环境问题，核心是**能源**问题，本质是发展问题



目 录

1

电力**清洁**发展

Clean development of
electric power

2

电力**低碳**发展

Low-carbon development
of electric power

3

高质量**发展展望**

Prospects for H-quality
development

PART 01



电力**清洁**发展

Clean development of
electric power

中国电力发展4个阶段 (4 stages)



国家能源集团
CHN ENERGY

1987年突破1亿，用了**105**年；

It took 105 years to reach 100 million in 1987

1995年突破2亿，用**8**年时间；

It took 8 years to reach 200 million in 1995

2000年突破3亿，用**5**年时间；

It took 5 years to reach **300 million in 2000**

2011年突破**10**个亿，超过美国

It exceeded 1 billion in 2011, surpassing the U.S.

蹒跚
起步

185

(1882-1949)

艰苦
创业

5712

(1950-1978)

蓬勃
发展

35657

(1979-2002)

创造
辉煌

256000

(2003-2022)

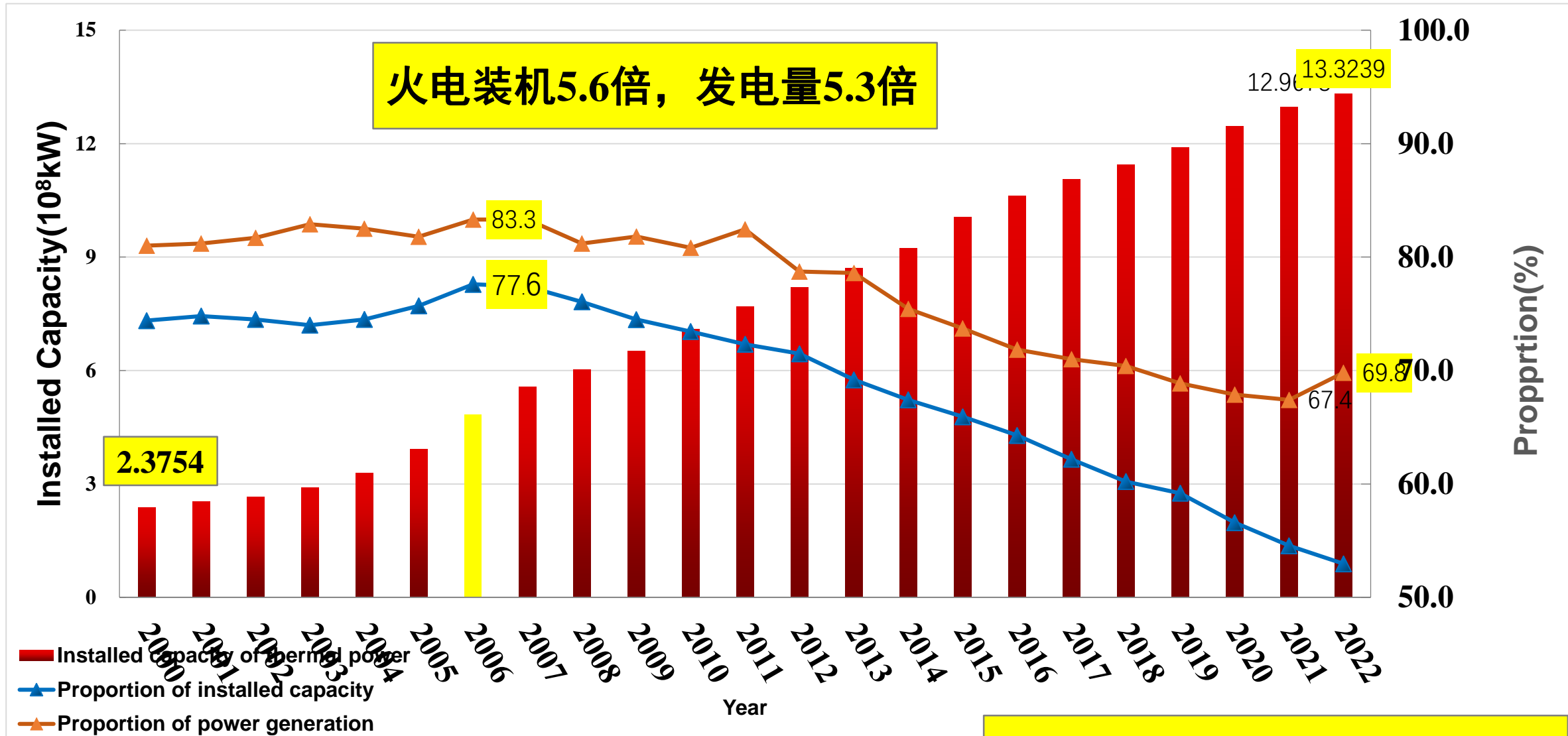
1994年2月大亚湾核电站1号机组投运
Daya Bay Nuclear PP, unit 1 operated

中国电力发展4个阶段（4 stages）



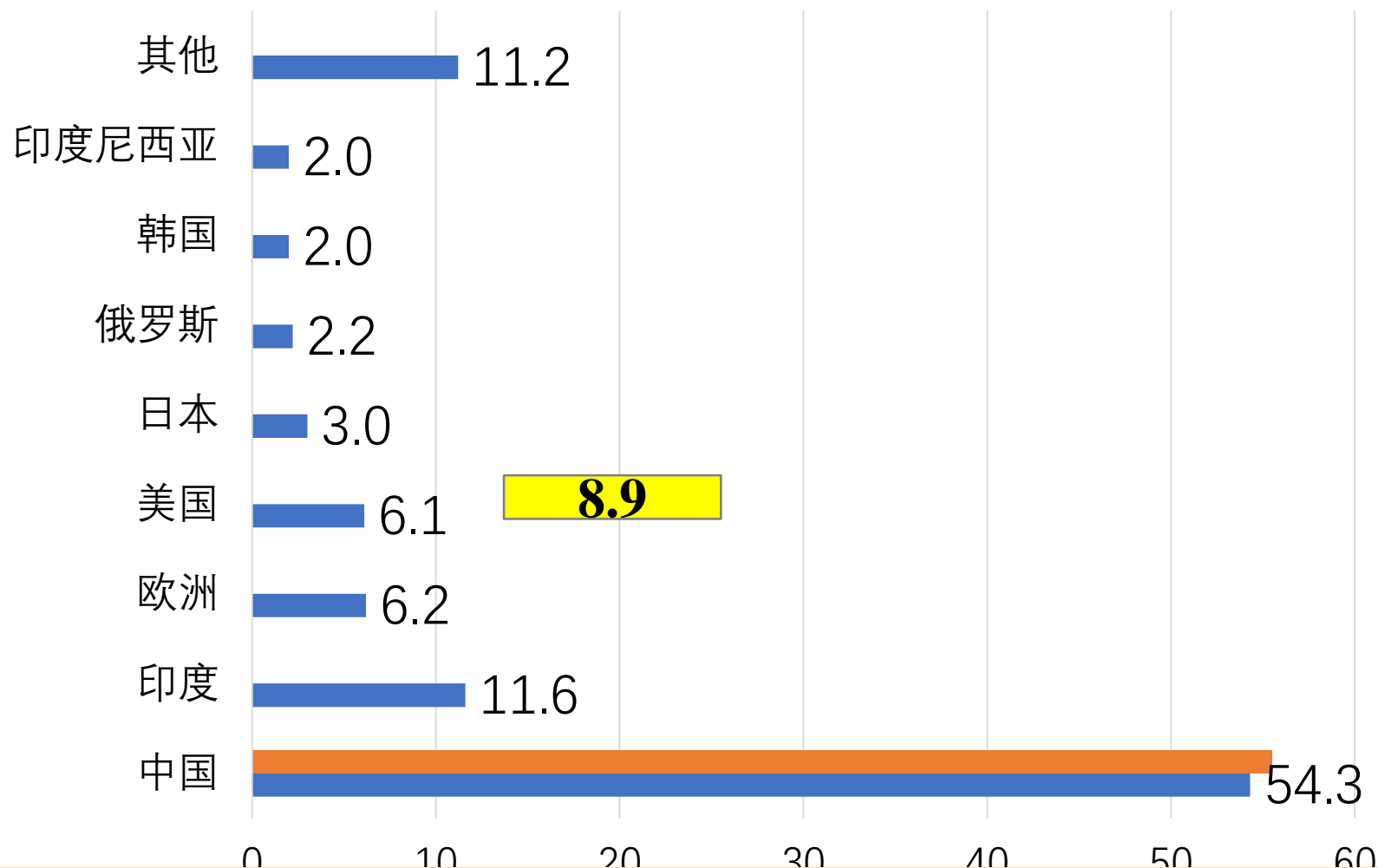
阶段	蹒跚起步 67年	艰苦创业 28年	蓬勃发展 23年	创造辉煌 19年
时间	1882年-1949年	1950年-1978年	1979年-2002年	2003年-2022年
装机容量/万 kW	184.86	5172	35657	256405
位居世界	第21位	第8位	第2位	第1位（2011年起）
年均增长率/%	—	12.6	7.9	10.4

来源：《电力科技与环保》2013（5）



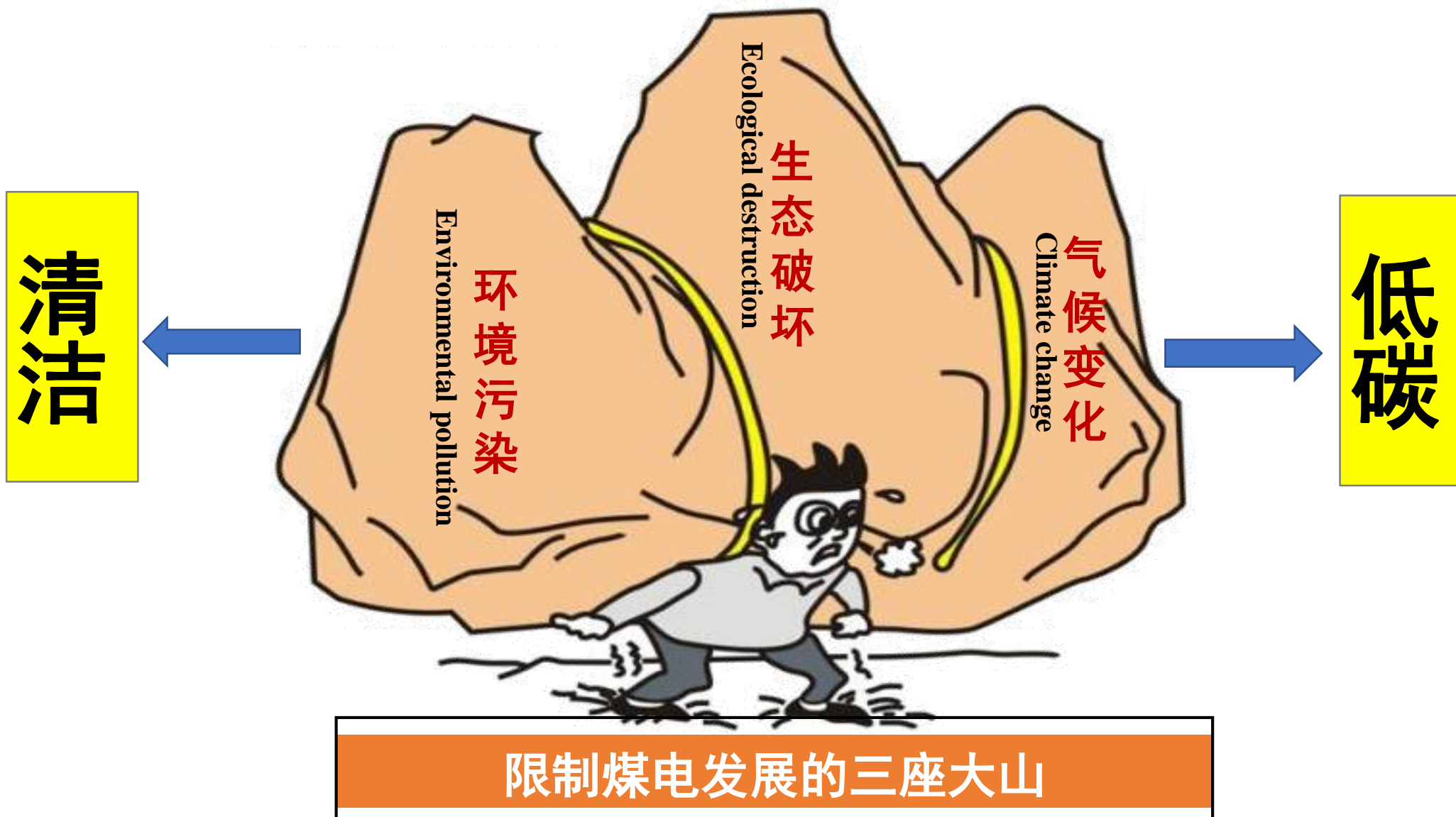
来源：《电力科技与环保》2013（5）

中国的电煤消费 (Coal consumption)



2020年中国煤炭消费量占世界总量的55.5% (Chinese coal consumption accounted for 55.5 percent of the world's total consumption in 2020)

中国大陆煤炭消费40.5亿吨，占世界54.3%；**电煤消费量211123万吨，占中国52.1%。**



Three mountains to limit the development of coal power



来源：《电力科技与环保》2013（5）

3个时代7个阶段(seven stages of three eras)

无标准阶段

《工业“三废”排放试行标准》
GBJ4-1973

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-1996

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-2003

超低排放阶段
2014年

阶段
1

阶段
2

阶段
3

阶段
4

阶段
5

阶段
6

阶段
7

(1882—1972年)

《燃煤电厂大气污染物标准》
GB13223-1991

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-2011

无标准

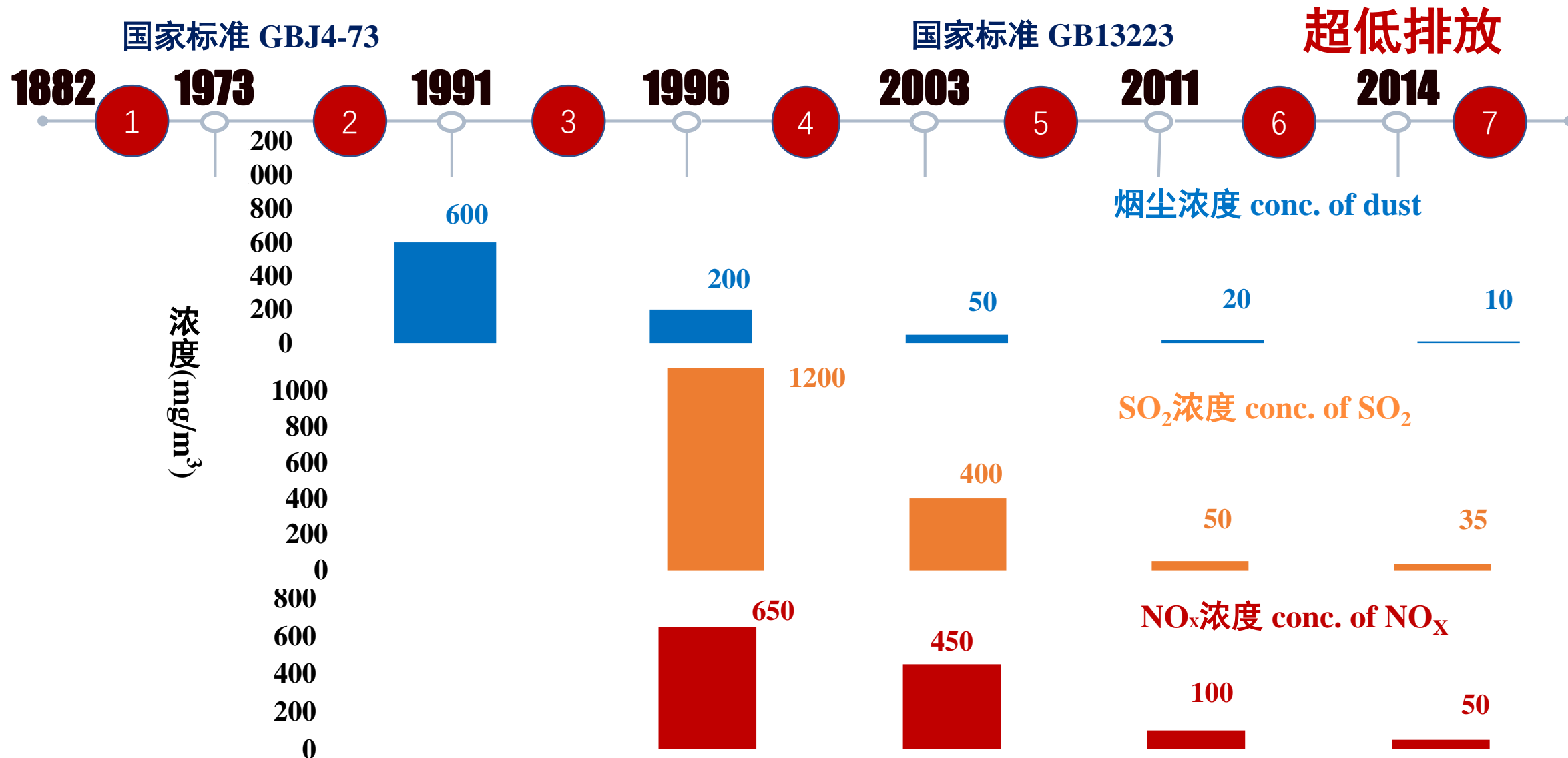
有标准

严格标准

标准最严限值的演变(minimum limit)



国家能源集团
CHN ENERGY





中国环境科学出版社2002，解振华局长作序



史上最严的排放标准——催生了超低排放
The strictest emission standard in history -
- resulting in ultra-low emissions



专家推动—首次定义超低排放

(Expert push)

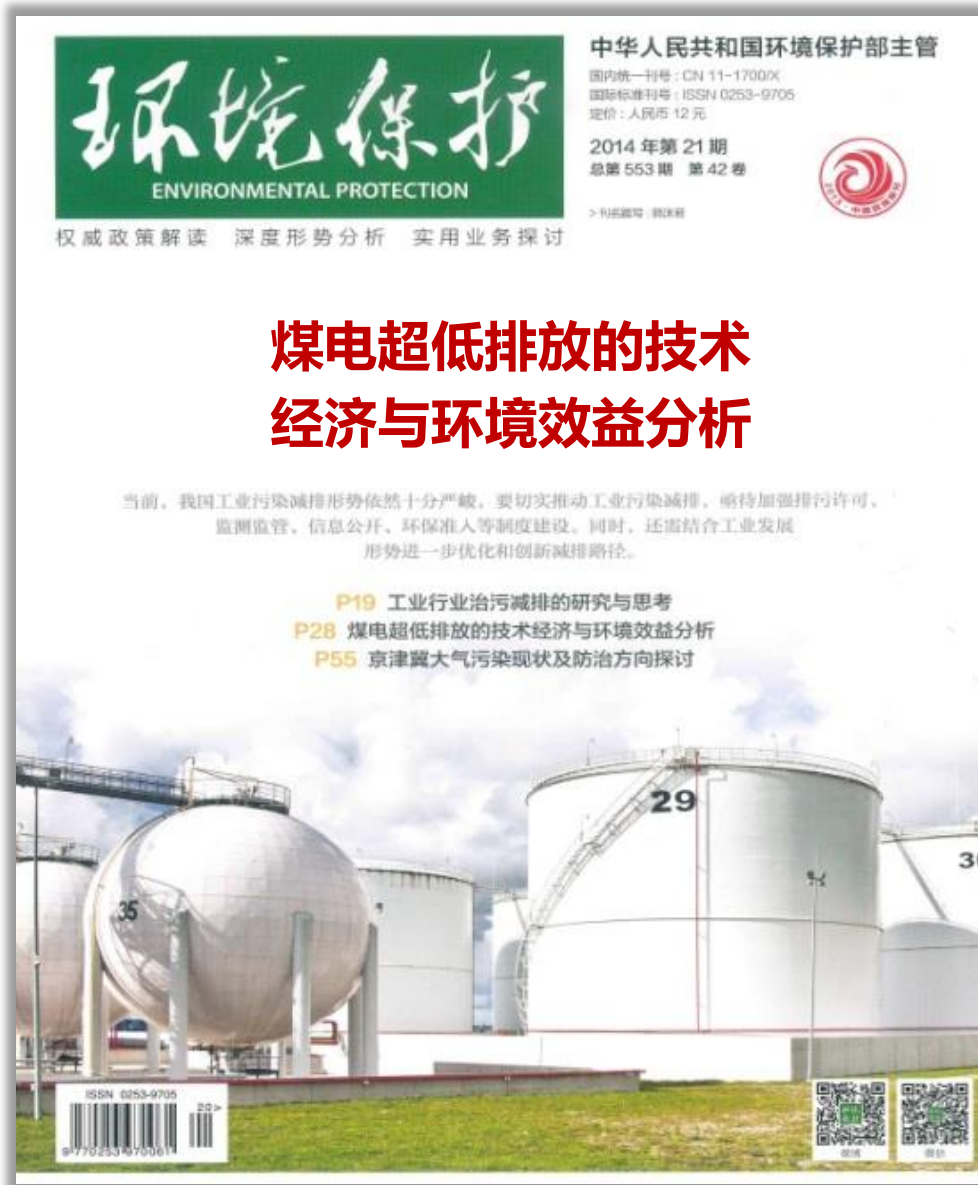


国家能源集团
CHN ENERGY

□ 在《环境保护》上发表封面文章，**首次**定义了超低排放，并得到国家认可 (**ULE is defined for the first time**)

被引**160**次、下载**2639**次

本刊由环保部部长赠阅至党和国家领导人，各省省委书记、省长、分管环保工作的副省长，各部委领导，各央企主要负责人等决策群体



超低排放定义和排放限值比较

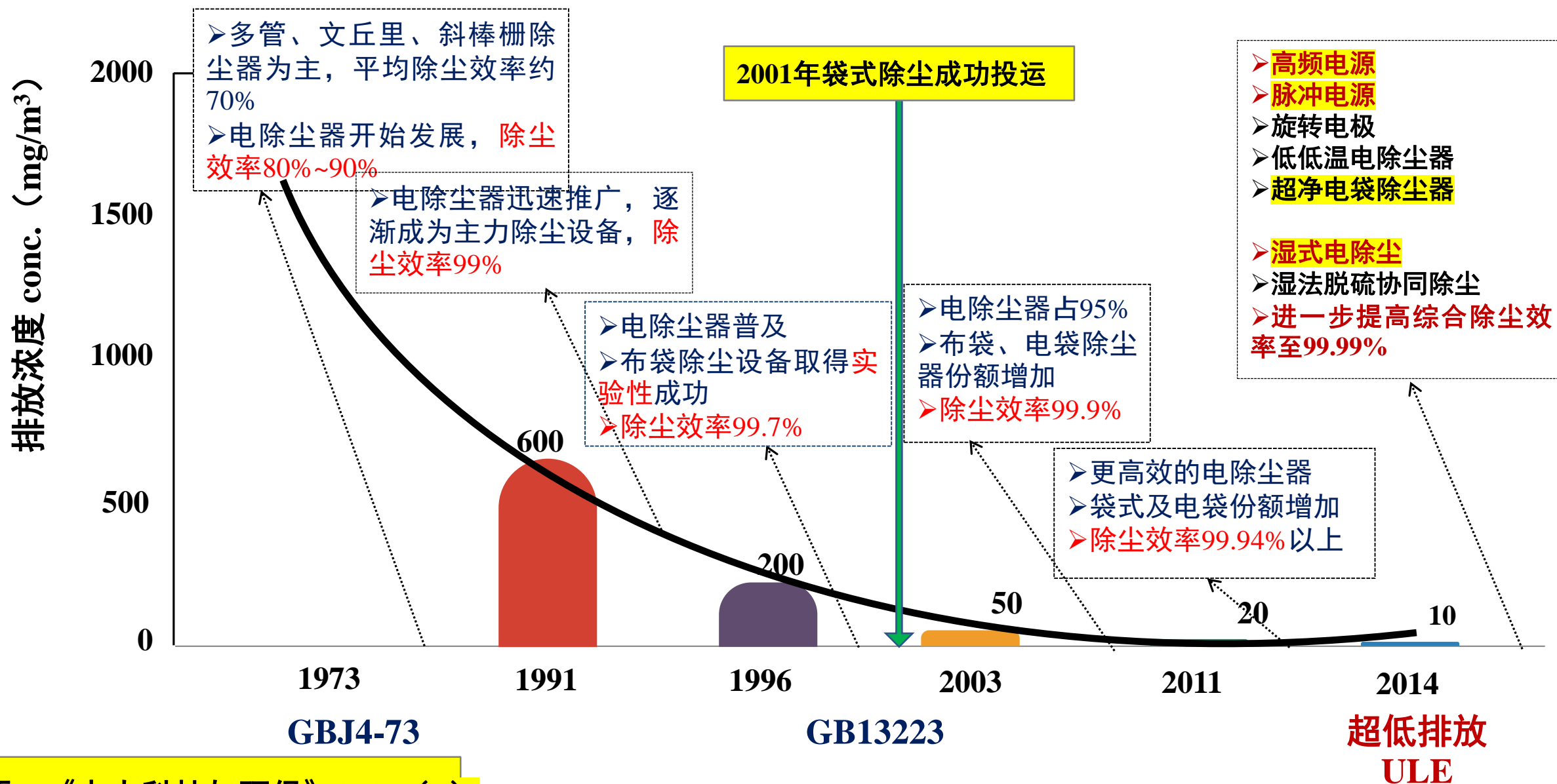
● 超低排放定义(Ultra-low emission(ULE) definition)

燃煤电厂采用多种污染物高效协同集成系统的脱除技术，使其大气污染物排放浓度基本符合燃气机组排放限值，即烟尘不超过 10 mg/m^3 、二氧化硫不超过 35 mg/m^3 、氮氧化物不超过 50 mg/m^3 。

● 主要燃煤国家煤电大气污染排放最严标准限值比较(Comparison of the strictest standard limits)

国家		烟尘*	SO ₂	NO _x
中国	发改能源 [2014]2093	10	35	50
美国	2005年2月28日至 2011年5月3日	0.015 lb/MBtu (耗煤量热值排放)	0.15 lb/MBtu (耗煤量热值排放)	0.11 lb/MBtu (耗煤量热值排放)
	折算结果	18.5	185	135
	2011年5月3日及 以后新建、扩建	0.090 lb/MWh (发电排放，最高除尘效率99.9%)	1.0 lb/MWh (发电排放，最高脱硫效率97%)	0.70 lb/MWh (发电排放)
	折算结果	12.3	136.1	95.3
德国		20	200	200
日本		50	200	200
澳大利亚		100	200	460

注*：美国标准中指的是颗粒物(PM)。单位： mg/m^3 。





国家重点新产品 证书

项目名称: HF-01节能提效型电除尘器高频电源

项目编号: 2012GR467002

承担单位: 南京国电环保设备有限公司

发证时间: 二〇一二年五月
有效期: 三年

批准机关: 科学技术部



SM201504223

江苏名牌产品证书

JIANGSU FAMOUS BRAND CERTIFICATE

南京国电环保科技有限公司

你单位生产的下列产品被江苏省名牌战略推进委员会授予江苏名牌产品称号, 特发此证。

产品名称: NEPT南环牌

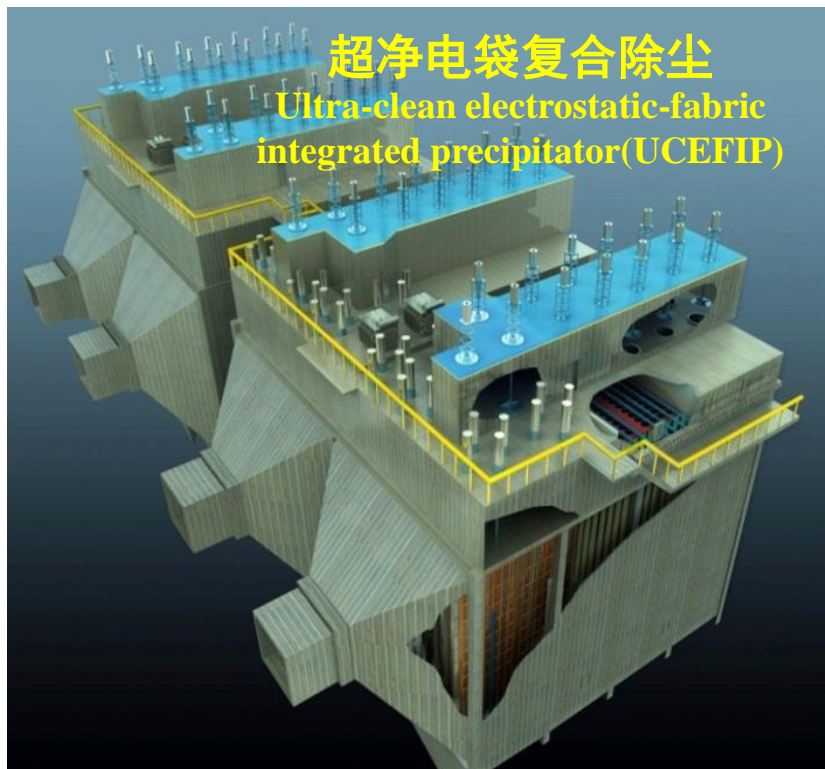
电除尘器用高频高压整流电源

有效期: 二〇一五年十二月至二〇一八年十二月

The following product produced by your company have been affirmed as Jiangsu Famous Brand by Jiangsu Promotion Commission for Famous Brand strategy. The certificate is hereby issued.



江苏省名牌战略推进委员会
二〇一五年十二月

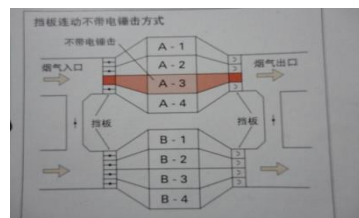
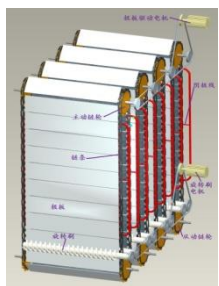
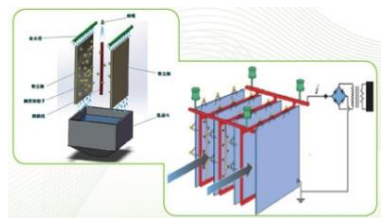
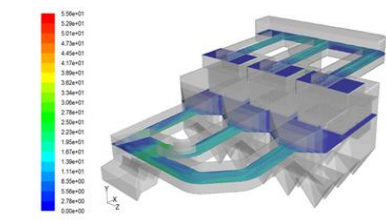


- 建成世界最大(the biggest UCEFIP project in the world)**1030MW级超净电袋复合除尘工程**——河南平顶山
- 出口土耳其、柬埔寨、塔吉克斯坦等多个国家，出口总装机**8710MW**



- 建成了世界最大(the biggest electrostatic precipitator project using high frequency+pulse power supply in the world)**1000MW级高频+脉冲电源供电的电除尘工程**——谏壁电厂
- 出口印度、土耳其等国家

除尘技术突破 (Dust removal technology breakthrough)



迳流式ESP

袋式除尘

湿式电除尘

超净电袋

移动电极

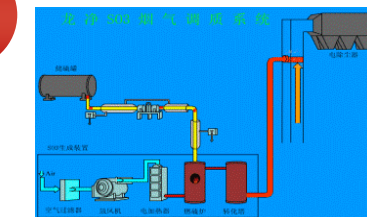
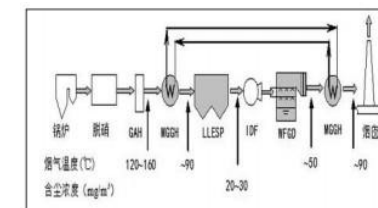
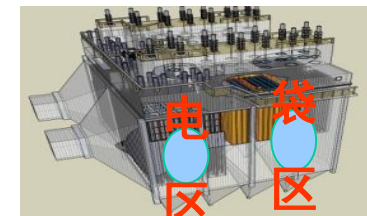
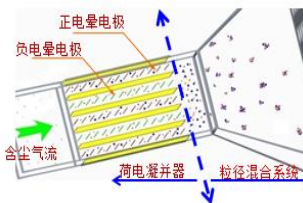
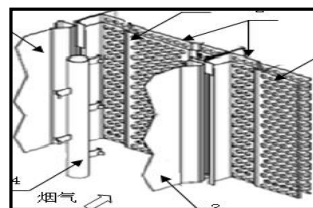
低低温除尘

隔断、关断气流振打

烟气调质

电凝聚

电源技术





HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2028—2013

电除尘工程通用技术规范

General technical specification for electrostatic precipitation
engineering

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2013—3—29 发布

2013—7—1 实施

环 境 保 护 部 发布

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2039-2014

火电厂除尘工程技术规范

Technical specifications for dedusting engineering of thermal power plants

(发布稿)

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

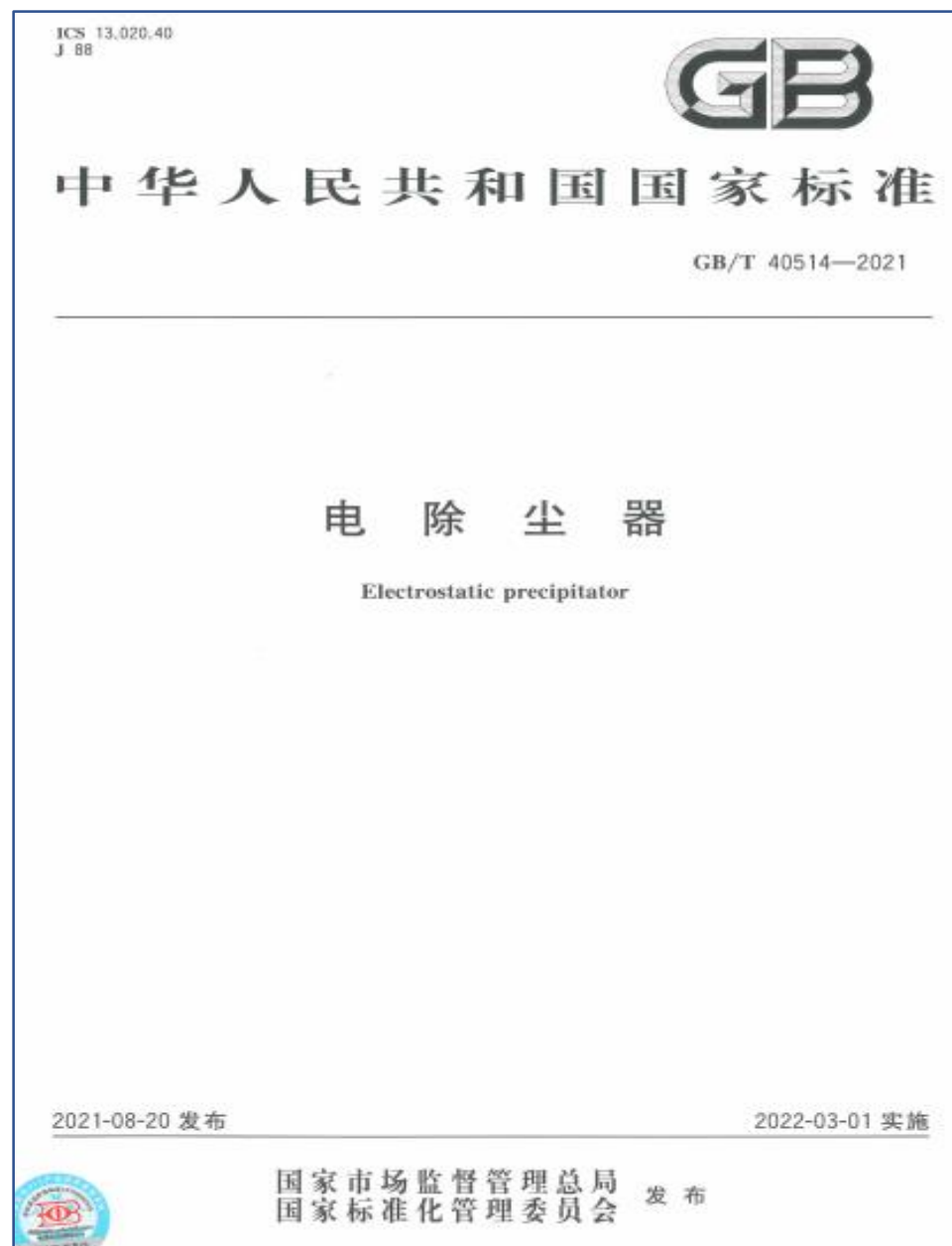
2014-06-10 发布

2014-09-01 实施

环 境 保 护 部 发布

6.1.2 可用率应为100%

6.5.1.3 比集尘面积, 30/110; 20/130

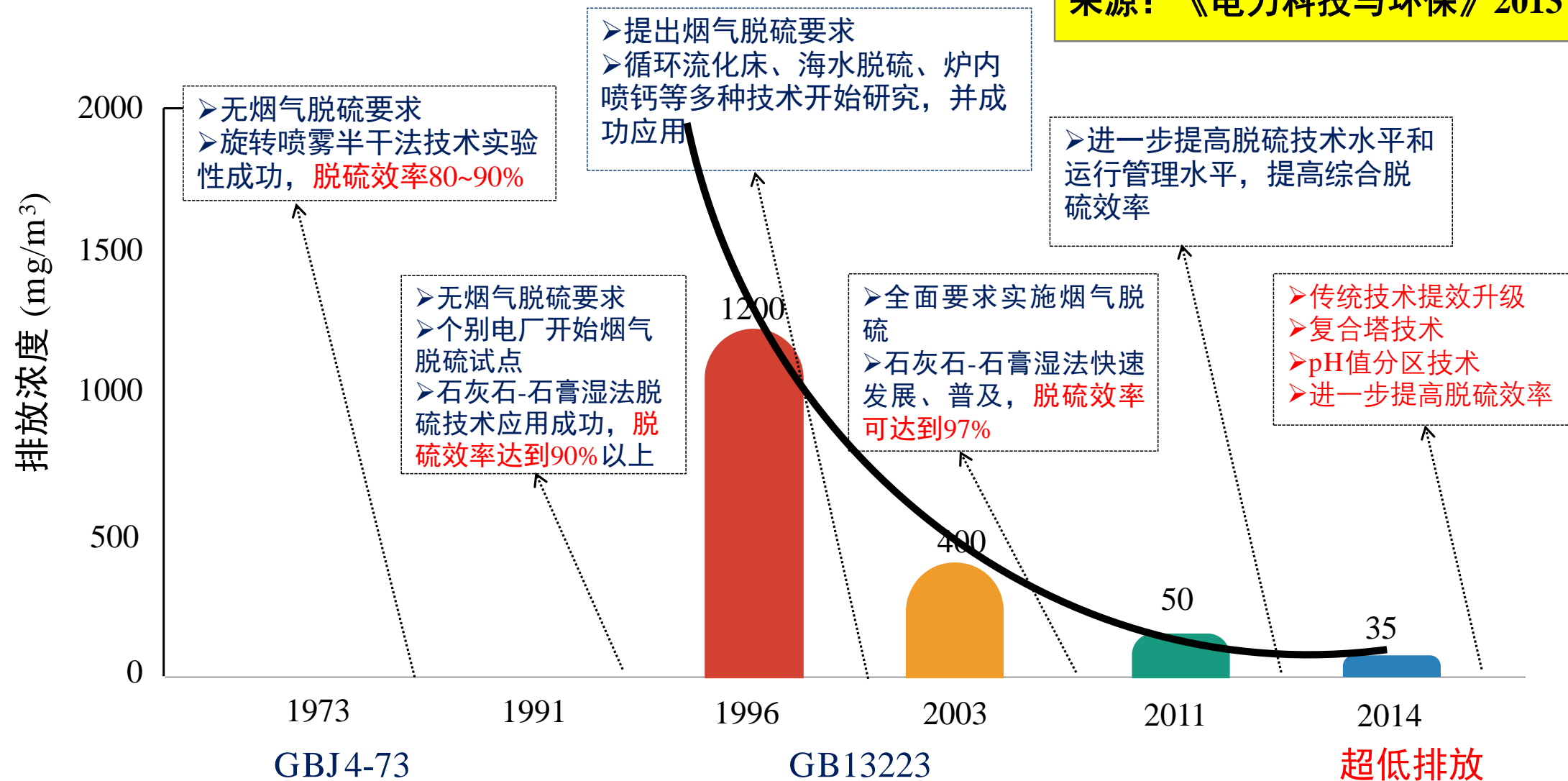


SO₂治理技术发展 Development of SO₂ control technology

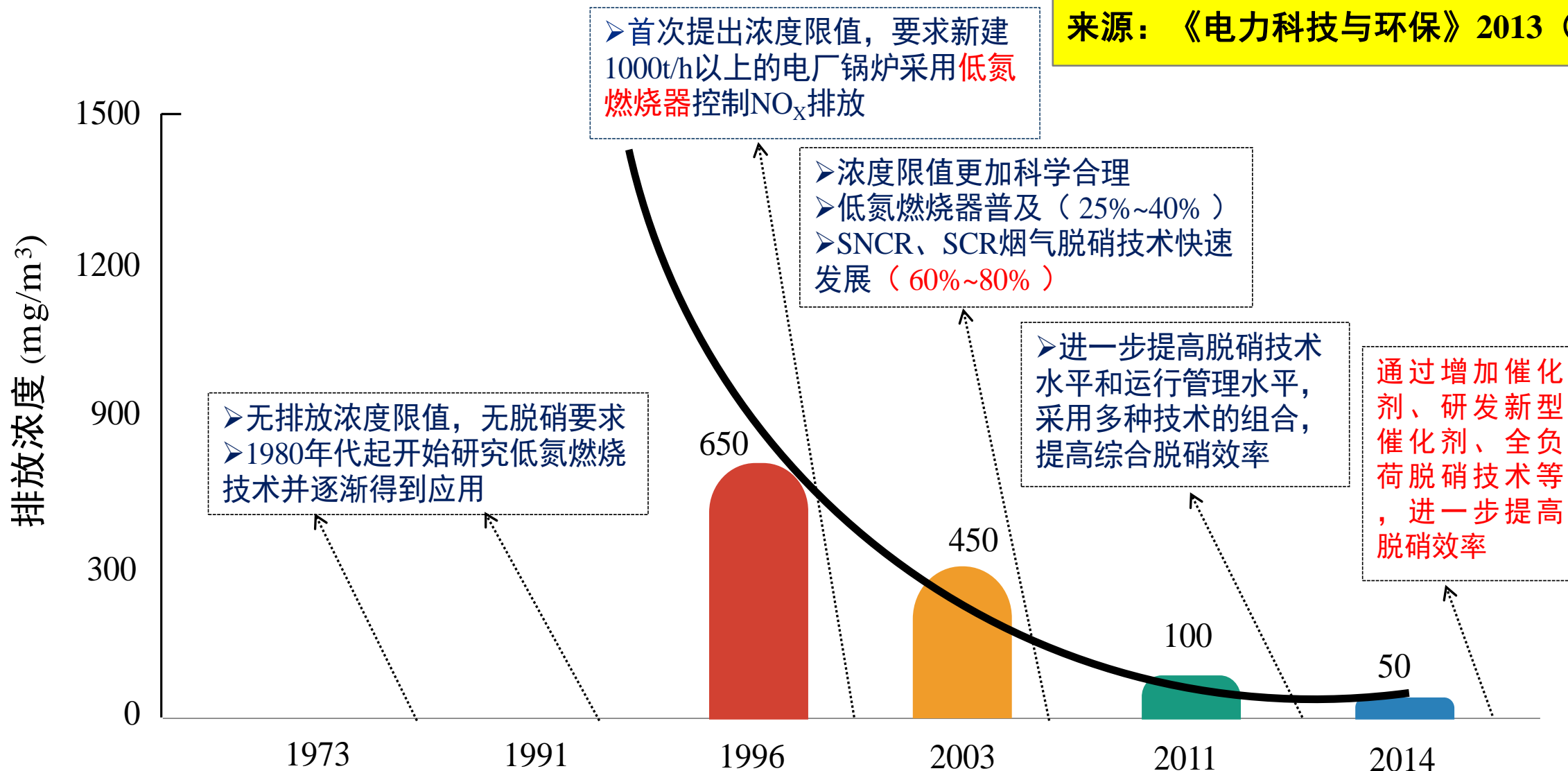


国家能源集团
CHN ENERGY

来源：《电力科技与环保》2013（5）



来源：《电力科技与环保》2013（5）



多污染物控制—主流WESP技术

Multiple pollution control -- mainstream WESP technology

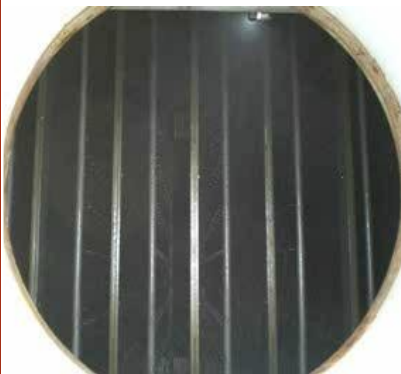


国家能源集团
CHN ENERGY

金属极板 (Metal plate) WESP

国外燃煤电厂
主流技术
(三菱、日立、
巴威、阿尔斯通)

菲达、南源、龙净...
国华舟山电厂、浙能嘉华电厂...



金属极板 (316L)

导电玻璃钢 (Conductive glass steel) WESP

电除雾器，在冶金、
化工行业应用较多

西安热工院、南京通用、
宜兴化工...
华能黄台电厂、包头希望铝业...



导电玻璃钢

柔性极板 (Flexible plate) WESP

美国俄亥俄大学最
早提出，转让给美
国南方环保公司，
国外业绩很少

山大能源、国电南环院...
益阳电厂、荃阳电厂...



非金属柔性极板

发展出迳流式WESP(developed a direct flow of WESP)

对超低排放技术的认识

中国能源报、中国环境报等权威媒体多次对项目成果进行报道。

2016 年中国环境报优秀理论文章名

为进一步提高环保政策研究和理论创新水平,调动社会各界研究探索环保理论的积极性,中国环境报社从2012年开始在相关单位的大力支持下组织开展了中国环境报优秀理论文章评选活动。在2012年—2015年优秀理论文章评选的基础上,本报开展了2016年度优秀理论文章的评选活动。由环境保护部直属研究院所领导和专家组成评审委员会,对刊登于2016年中国环境报重点版的理论文章进行评定。现将评选出的84篇优秀理论文章名单公布如下。

加强环境分区管治 推进主体功能区建设
美国规划环评给我们哪些启示?
以生命共同体理念保护山水林田湖
环保督察要查事督人

“一带一路”建设的绿色化战略

《南山—平陆生态走廊》的理论思考

超低排放是环保史上的重大技术突破

“双碳”目标下我国环境政策与政策实施之思考

电力电缆不提倡“以铝代铜”

加强新能源汽车电池回收的八大对策

加快制定并严守环境质量底线

推动环境质量约束性指标落地生根

实施绿色供应链管理意义重大

大气污染防治法修订要用五剂药方

推动绿色发展取得新突破

借鉴国际经验推进我国排污许可制度改革

以供给侧结构性改革共享发展

完善生态保护补偿机制实现互利共赢平衡

加强空间管理 控制富营养污染

生态文明建设评价考核要落实党政同责

绿色金融模式的五种特征

“十三五”规划:引领绿色革命

浙江排污许可制度改革试点初探

厘顺各层级权责不足怎么解决?

理顺各自权责 推动垂直管理

长鞭在手缚苍龙

环境污染强限制从试点到全面推进还有多远?

谨防地方环境立法权偏差

推动污染源环境管理向精细化发展

促进“十三五”有色金属行业绿色发展

陈雯 孙伟

耿海清

赵建军 博海

刘国才

周国梅

赵建豪 杨博

朱法华

张军

谷树忠 吴昊 李维明 强真

周宏章

张惠远

吴舜泽

周国梅 石峰 范晓嵩

刘传义

范必

吴悦娟 叶维丽

钟茂初

李忠青

魏昌华 孙勤芳 朱琳

常纪文

刘瀚斌

胡敬刚

叶维丽 卢琛莹

潘晓霞

沈浩 徐亦钢

潘丽香

夏光

周正来

刘长兴

宋晓晖 蒋来春 雷宇

党积国

叠叠之下,市县环保局该如何转变?

西部地区如何应对监测社会化挑战?

从经济学看环境保护的底线思维

风险管控思路应贯穿场地修复全过程

将信用评价与政策政策有机融合

推动供给侧改革 改善环境质量

规范环评企业参与需关注哪些问题?

在供给侧改革中全面融入环保要素

小农生产污染治理技术为何不需痛?

资源环境生态红线要划得实守得住

完善政策推进供给侧结构性改革

生态文明理论创新新研究的三个维度

加快推进长江经济带绿色转型发展

土壤污染防治应厘清几个问题

破解“老赖”难题要靠信用机制

环保设施向公众开放应常态化

着力推进区域危险废物联防联控

核安全独立监管应遵循哪些原则?

生态文明建设与马克思主义中国化的新发展

加强环境保护与供给侧结构性改革

长江经济带环境保护供需空间需求

将排污许可作为深化环保改革的重要载体

德国智慧城市建设的经验及启示

自然保护区发展要适时调整边界

落实经济责任先明确法律责任

将生态环保作为经济转型发展主要内容

环境立法需关注的经济环境问题

发挥绿色金融杠杆作用

罗岳平 鞠昌华 骆芳

胡家忠

李志青

王兴润

贺震

周宏春

张震欢 姜栋栋

周国梅

吕盛扬

高吉喜

孙炳彦

郑庆治

李天威 王兴杰 任景明

王占朝 史常艳

罗岳平 潘海峰 曾欢欣

贺震

贺震

沃飞 徐亦钢

王树国

常纪文

潘丽香

王刚

郭伊均

杨晓蔚

陶思明

贺震

李佐军 魏云 周健奇

赵西君 黄顺魁

李志青

李志青

试论生态文明入宪的必要性

无害化是固体废物管理的根本目的

绿色发展需要产业良策

发展绿色金融需建立三大机制

发挥好环境保护责任配置作用

垂直管理改革的逻辑与任务

垂直改革试点体现的环境治理理念

构建长效机制促进贫困地区绿色发展

加快形成分工协作的环境管理体制

直面问题加快环保基础设施建设

谨防乡镇污水处理厂吃不饱消化不良

环境政策费用效益分析有何挑战?

推行环境排污责任清单制

环保参与需要制度约束

环评改革要落实“三线一单”硬约束

深入认识氨氮污染防治

绿色供应链促进重大地区互联互通

环保垂直制度改革应统筹四种关系

厘清美国乡村污染治理的基本逻辑

中国污染物排放峰值的预测与预测

准确把握“十三五”环保规划定位和基本特征

提升规模之路经济带城市绿色增长效率

雾霾治理必须创新思维和体系

重构环境影响评价技术为体系

雾霾治理必须创新思维和体系

如何通过垂直改革提升基层环保治理能力?

关于环保垂直管理制度改革的思考

常纪文

刘建国

李志青

张承惠

王伟

任勇

常纪文

王勇 俞海

董敏峰 李俊

张恒

王欣

王金南 蒋沙

程耀 马国雷

卢亚男 张雷

秦昌波 吴景

李春元

王兴杰 王占

李天威 任晋

罗岳平 刘芳

黄义川 戴雪

范晓嵩 张平

耿晓磊 耿平

常纪文

俞海 王勇

吴舜泽

赵越

孔令辉 戴义

常纪文

吴舜泽

陈华勋

国电环境保护研究院院长朱法华:

火电治污应注重系统间协同

■本报记者 卢彬

《中国能源报》(2017年07月24日 第12版)

7月19日,由中国电机工程学会热电专业委员会主办的“燃煤电厂超低排放经验总结交流研讨会”在合肥召开。会议期间,国电环境保护研究院院长朱法华对环保部日前发布的《火电厂污染防治可行技术指南》进行了解读,并提出火电行业环保改造应遵循“因煤制宜,因炉制宜,因地制宜,统筹协调,兼顾发展”的原则。

朱法华表示,《指南》作为标准首次发布,是一份指导性文件,并非强制性要求。他表示:“凡是收入《指南》里的技术,都有一定的适用条件和范围,企业可以根据自身减排目标与经济性考量,自行选择适合的技术,实现超低排放。”

以石灰石-石膏湿法脱硫为例,《指南》为处于不同SO₂入口浓度范围的火电厂推荐了不同的技术;路线。

超低排放是中国发展战略抉择

朱法华

超低排放自提出以来就受到广泛关注。我国为什么要实施超低排放?超低排放技术,经济是否可行?具有怎样的环境效益?业界围绕这些问题展开了一系列讨论。笔者认为,超低排放是环保史上最重要的技术突破,对经济发展超低排放势在必行,对经济发展具有重要意义。

为什么要实施超低排放?

据国家生态文明建设战略要求,环境质量只能改善不能退化。考虑到我国的环境污染总量巨大,改善大气环境除了严格管控手段之外,还需实施超低排放,实现减排目标。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

2006年,国内第一个百万千瓦超超临界机组投产,标志着我国火电行业进入超超临界时代。2015年,我国火电行业超超临界机组装机容量达到1.2亿千瓦,占全部火电装机容量的50%以上。

此外,火电行业超超临界机组装机容量达到1.2亿千瓦,占全部火电装机容量的50%以上。2015年,我国火电行业超超临界机组装机容量达到1.2亿千瓦,占全部火电装机容量的50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

从全球来看,“十三五”期间,我国燃煤电厂主要污染物排放总量将下降20%以上,其中二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘等排放量将下降50%以上。

中国环境报 责编:郭婷 电话:(010)67118620 传真:(010)67113772 星期二 2016/02/23

超低排放是环保史上的重大技术突破

朱法华

编者按

环境保护部等3部委2015年12月11日联合下发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》提出,到2020年,全国所有具备改造

环境开发的以旋流耦合为主的脱硫除尘一体化技术,福建净开开发的一塔双区技术等,均是自主研发技术,工程应用效果处于国际领先水平。系统集成各种先进技术,统筹考虑

喷淋层)就可达到99%以上的脱硫效率,而不是靠增加喷淋层、增加液气比,增加能耗来提高脱硫效率。当然也不排除少数电厂由于不了解超低排放技术,采用措施不当的方法去实现

Opinion 观点 03
E-mail:bjp@china.com

中华人民共和国环境保护行业标准

火电厂烟气排放连续监测技术规范

HJ/T 75-2001

Technical norm for continuous emissions monitoring
of flue gas emitted from thermal power plants

1 范围

本标准适用于以固体、液体、气体化石为燃料的火电厂固定式烟气排放连续监测系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 HJ/T 75-2001 的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新的版本。凡是未注日期的引用文件，其最新的版本适用于本标准。

GB 13223 火电厂大气污染物排放标准

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

HJ/T 47-1999 烟气采样器技术条件

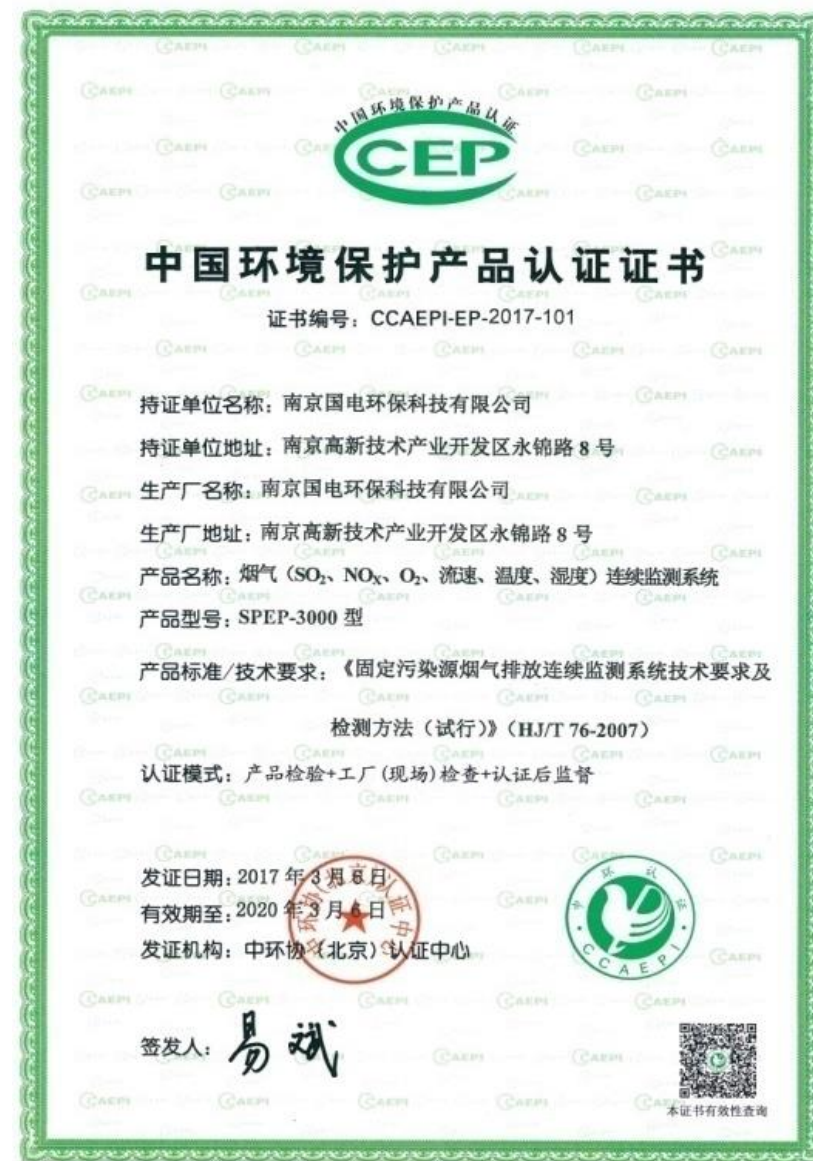
HJ/T 48-1999 烟尘采样器技术条件

监测技术的发展



国家能源集团
CHN ENERGY

SO ₂ /NO _x	ROSEMOUNT	ABB	本产品
检测下限ppm	0.7	1.5	0.4
零点漂移F.S./7d	±2%	±1%	±1%
量程漂移F.S./7d	±2%	±1%	±1%
线性误差F.S.	±2%	±1%	±1%





您当前位置: 首页 > 正文

首用国产监测仪 燃煤电厂装上“千里眼”

发布时间: 2018-11-09

来源: 科技日报

大 中 小



燃煤污染 截图(Alt + A) 监测 秀成果

近日,记者获悉,“燃煤污染物超低排放监测仪器关键技术研发及产业化”项目组开发出系列监测仪器,填补了国内空白,打破了国外仪器的技术和市场垄断,使国产超低排放监测仪器首次在燃煤电厂应用。

“由于国内没能突破相关核心技术,导致该类仪器的技术被国外垄断。”项目负责人、国电环境保护研究院院长、国家环境保护大气物理模拟与污染控制重点实验室主任朱法华介绍,该项目的研究人员攻克了技术瓶颈,实现了仪器监测的重要指标优于国外同类仪器的目标,推动了我国紫外光谱法监测超低浓度污染物技术的进步。

1. 《火电厂烟气排放**连续监测**技术规范》 HJ/T75-2001
2. 《火电厂环境监测技术规范》 DL/T414-2004
3. 《火电厂环境监测技术规范》 DL/T414-2012
4. 《火电厂环境监测技术规范》 DL/T414-2022
5. 《火电厂烟气中**细颗粒物**测试技术规范 重量法》 DL/T1520-2016
6. 《电除尘器 性能测试方法》 GB/T 13931—2017。
7. 《烟气湿法脱硫用石灰石粉反应速率的测定》 DL/T943-2005
8. 《便携式烟气**逃逸氨**测量系统技术要求》 DL/T1916-2018
9. 《火电厂低浓度颗粒物测试技术规范 重量法》 DL/T1915-2018
10. 《火电厂烟气中SO₃测试 控制冷凝法》 DL/T1990-2019
11. 《燃煤锅炉飞灰中氨含量的测定 分光光度法》 DL/T1984-2019

■ 除尘与脱硫相互影响

Mutual influence between dust removal and desulfurization

■ 除尘与脱硝相互影响

Mutual influence between dust removal and denitration

■ 脱硝与脱硫相互影响

Mutual influence between denitration and desulfurization

除尘、脱硫、脱硝对排放的影响

Influence of dust removal, desulfurization and denitration on emissions





HJ-BAT-001

环境保护技术文件

燃煤电厂污染防治最佳可行技术指南 (试行)

Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention and Control
for Coal-fired Power Plant Industry (on Trial)

环境保护部

2010年2月

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2301-2017

火电厂污染防治可行技术指南

Guideline on available technologies of pollution prevention
and control for thermal power plant

(发布稿)

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2017-05-21 发布

2017-06-01 实施

环 境 保 护 部 发 布

火电厂污染防治可行技术指南



国家能源集团
CHN ENERGY

Guideline on best available technologies prevention
and control for thermal power plant

(HJ-2301-2017)

■项目承担单位共9家

烟气除尘
Dust removal

龙净环保
菲达环保

低氮燃烧与烟气脱硝

Low-nitrogen combustion + flue gas denitration

浙江大学

烟气脱硫

Flue gas desulfurization

国电龙源
清新环境
顾问集团
龙净环保

噪声处理

Noise treatment

北京市劳保所

固体废物

Solid waste

环保部评估中心

同时负责：工艺过程污染控制技术、
超低排放技术路线、
汞污染防治、
水污染防治等内容编制

国电环境保护研究院

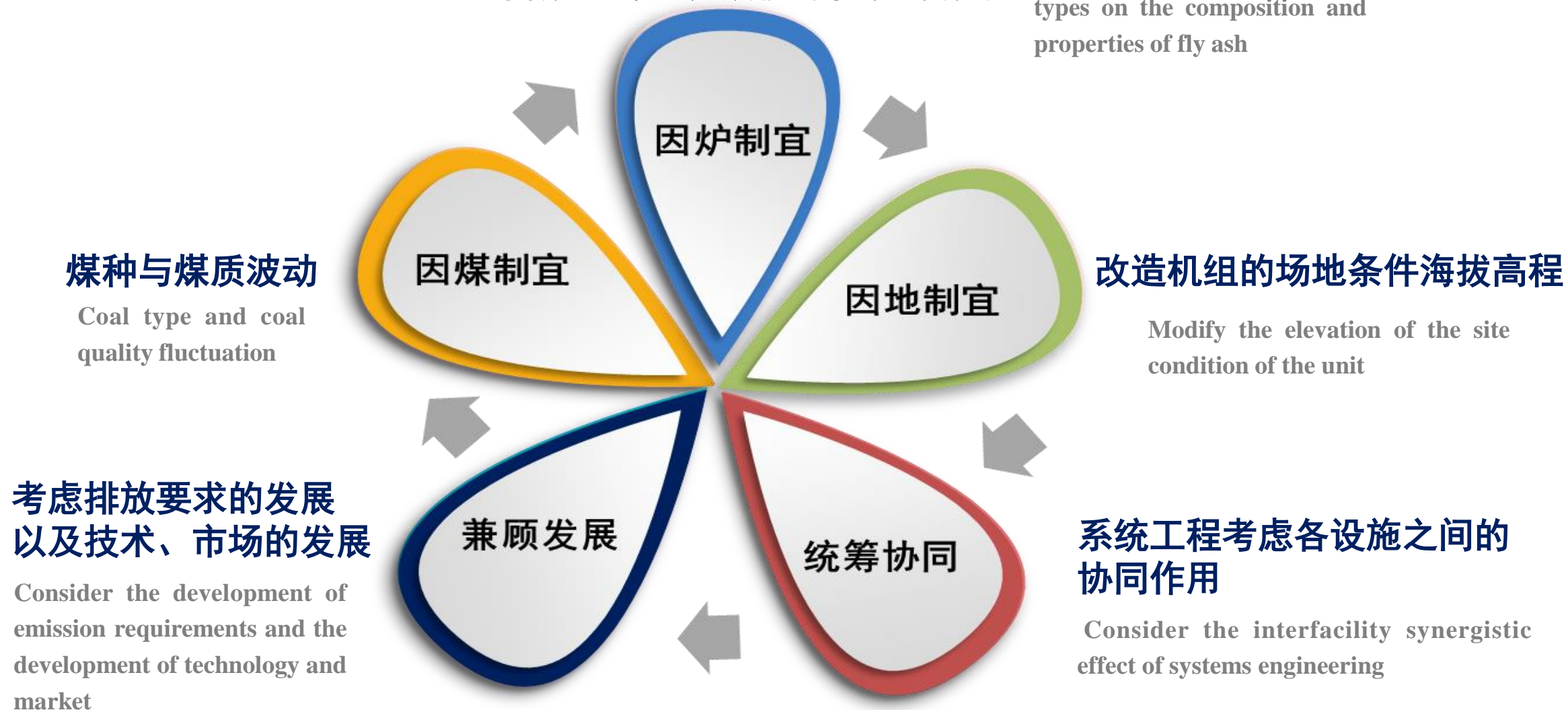
牵头组织、协调

超低排放技术路线的基本原则

Basic principle of ULE technology route

不同炉型对飞灰成份与性质的影响

Effects of different furnace types on the composition and properties of fly ash



中国环境报

CHINA ENVIRONMENT NEWS

电话: (010)67116884 传真: (010)67114048 E-mail: chanjing9999@sina.com

环境保护部印发《火电厂污染防治可行技术指南》

推动火电行业污染防治升级改造

◆本报记者郭薇

环境保护部于近日首次以国家环境保护标准发布了《火电厂污染防治可行技术指南》(HJ2301-2017),以期进一步落实排污许可制度,加强和规范火电厂烟气、水、噪声、固体废物污染防治,改善环境质量,推动火电行业污染防治措施升级改造与技术进步。日前,环境保护部科技标准司有关负责人就这一技术指南的相关问题以及如何理解、贯彻这一技术指南,接受了记者采访。

记者:请介绍一下制定《火电厂污染防治可行技术指南》的必要性和背景情况。

答:本《技术指南》制定的必要性主要体现在“环境改善的要求、火电发展的要求、技术进步的要求、环境管理的要求”4个方面。

一是环境改善的要求。随着我国工业化和城市化进程加快,空气污染



火电厂污染防治 技术手册

朱法华 等 著

中国电力出版社2017年，
黄润秋部长作序

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

荣誉证书

朱法华同志：

您著的《火电厂污染防治技术手册》
(ISBN 978-7-5198-0755-9) 入选第二批全国
环境保护优秀培训教材。

特发此证，以资鼓励。


中华人民共和国环境保护部
2018年2月1日

全流程的标准体系 (Standard system)



国家能源集团
CHN ENERGY

来源：《电力科技与环保》2013（5）

第1部最先进的国家排放标准

排放标准
(1 项)

火电厂大气污染物排放标准 (GB13223-2011)

明确治理目标

Clear governance objectives

第1部以标准发布的污染防治可行技术指南

技术指南
(2 项)

火电厂污染防治可行技术指南 (HJ 2301 -2017)

指明实施路线

Specify implementation route

第1部工业行业超低排放烟气治理工程技术规范

工程规范
(59 项)

燃煤电厂超低排放烟气治理工程技术规范 (HJ2053 -2018)

规定建设要求

Specified construction requirements

第1部固定污染源中PM_{2.5}监测标准

性能检测
(24 项)

火电厂烟气细颗粒物(PM_{2.5})测试技术规范 (DL/T1520-2016)

验证工程效果

Verificate engineering effect

第1部工业行业环保设施运行管理、状态评价技术标准

运行管理
(27 项)

火电厂烟气治理设施运行管理技术规范 (HJ 2040 -2014)

指导高效运行

Guide efficient operation

全流程技术标准体系

2分技术, 3分设备, 5分管理(20% for technologies, 30% for equipment, 50% for managements)



超低排放“教父”朱法华：构建技术标准体系至关重要

Zhu Fahua, "Godfather" of ULE: It is very important to build a technology standards system.

CPTV 中能传媒视频

超低排放的应用 (Application of ULE)



国家能源集团
CHN ENERGY

● By the end of 2016

4.4×10^8 kW

Completed ULE retrofit

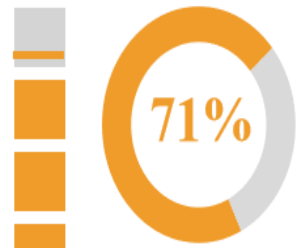


accounted for the national coal power unit capacity

● By the end of 2017

7×10^8 kW

Completed ULE retrofit



accounted for the national coal power unit capacity

● By the end of 2018

8.1×10^8 kW

Completed ULE retrofit

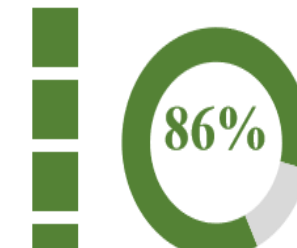


accounted for the national coal power unit capacity

● By the end of 2019

8.9×10^8 kW

Completed ULE retrofit

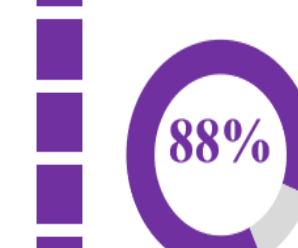


accounted for the national coal power unit capacity

● By the end of 2020

9.5×10^8 kW

Completed ULE retrofit

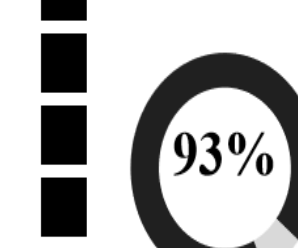


accounted for the national coal power unit capacity

● By the end of 2021

10.0×10^8 kW

Completed ULE retrofit

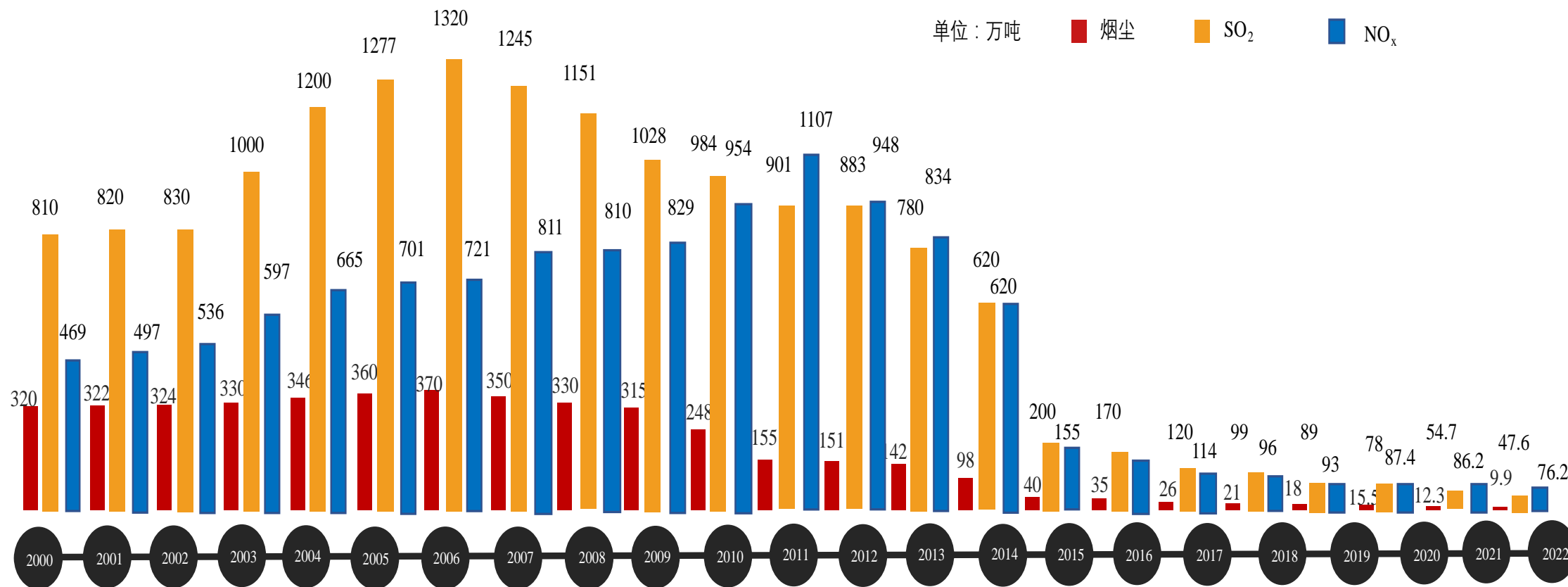


accounted for the national coal power unit capacity

The percentage of completed ULE retrofit was increased year by year and it reached to 93.5% by the end of 2022.

超低排放技术的应用效果(Application effect)

来源：《电力科技与环保》2013（5）



2022年中国火电发电量是2006年的2.5倍，但火电行业烟尘和SO₂排放量分别下降了97.3%和96.4%。2011年火电行业NO_x达到峰值1107万t，与2011年的峰值相比下降了93.1%

超低排放的实施效果(Implementation effect of ULE)

煤电超低排放改造的贡献，
在长三角地区达到24%，
在珠三角地区达到23%，
在京津冀地区达到10%



十年来，以北京为代表的中国大气污染治理取得了历史性突破，北京的PM_{2.5}年均浓度从89下降到35以下，被联合国称为**北京奇迹**

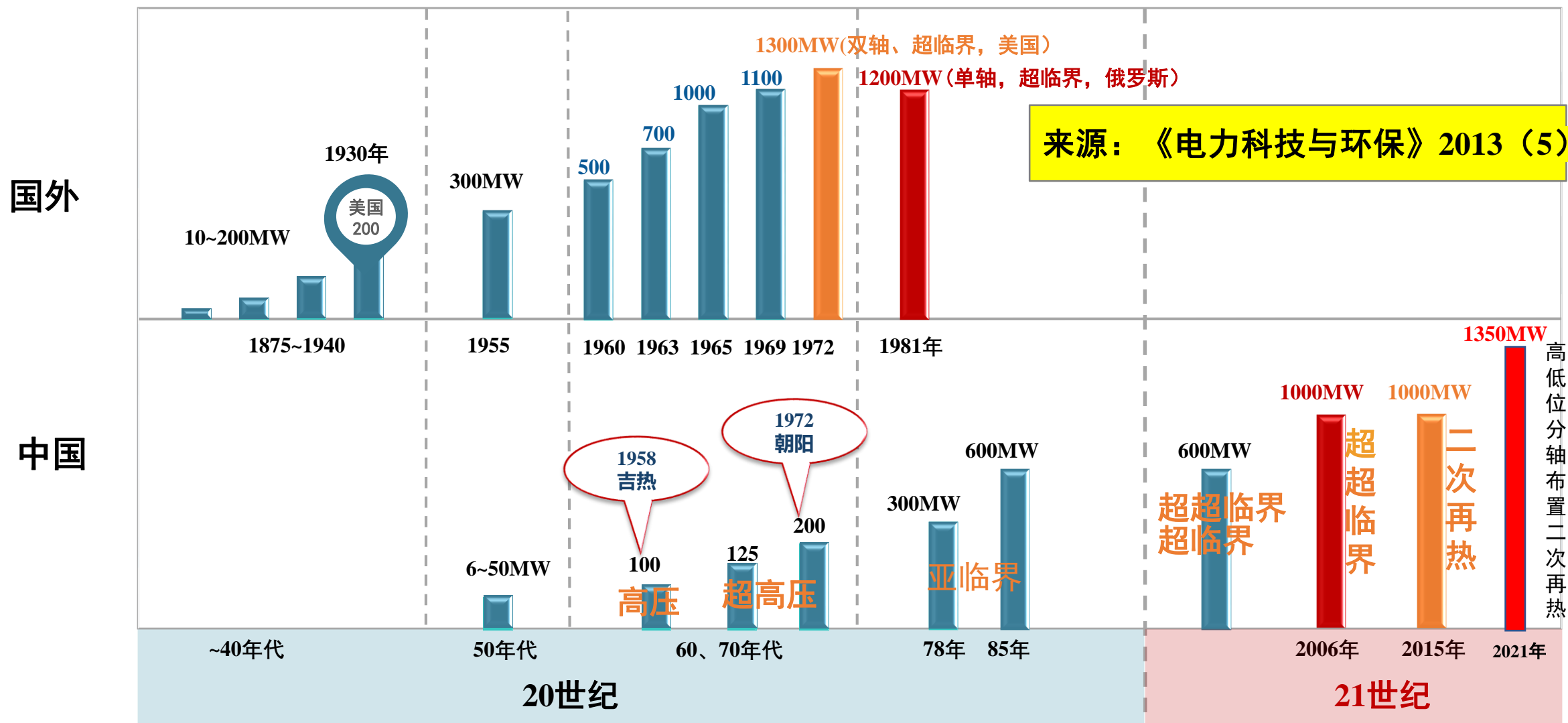
PART 02



电力**低碳**发展

Low-carbon development of
electric power

中国与国外单机容量对比(capacity)



20世纪中外在发电技术方面，差距20-50年左右，21世纪中国已超越

中国与国外蒸汽参数指标对比

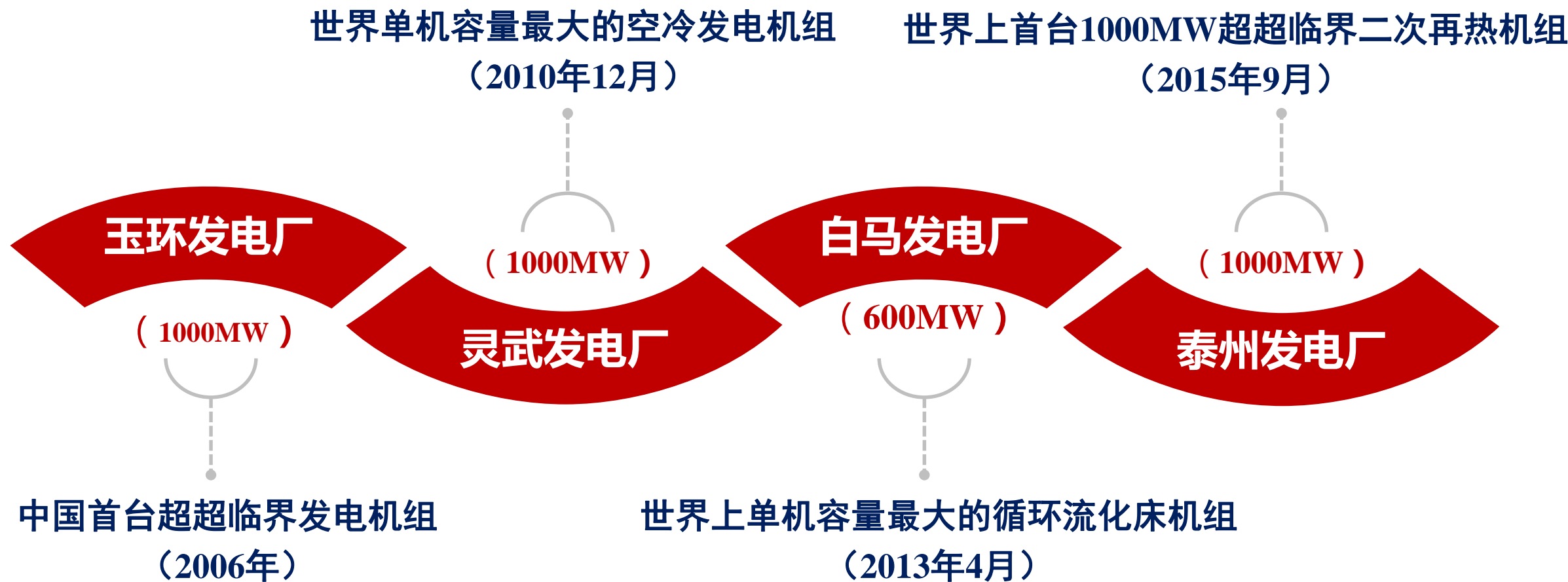
时间 (Time)	国外 (Foreign)	中国 (China)
20世纪初	低压 (1.28MPa/200~300℃)	<div>美国埃迪斯顿 (Eddystone) 1#机组 325MW 因高温材料问题降低到 31MPa/610/560/560℃运行</div>
20世纪30年代	中压 (2.84MPa/400℃) 高压 (8.6MPa/490℃)	
20世纪40年代初	超高压 (13.7MPa/500℃) 欧美 亚临界 (15.9MPa/500℃) 欧美	
20世纪50年代	超临界 (24MPa/540~560℃) 美国 超超临界 (≥27MPa/≥580℃) 美国	中压 (3.43MPa/435℃) 高压 (8.83MPa/535℃)
20世纪60年代 (1960年)	超超临界二次再热 (34.5MPa/650/566/566℃) 美国	超高压 (12.75MPa/535℃/535℃)
20世纪70年代	超临界机组	
20世纪80年代	超临界机组	
20世纪90年代	超超临界机组快速发展	亚临界 (16.6MPa/537℃/537℃)
21世纪	水的临界点：压力 22.12MPa、温度374.15℃	超临界 (24.2MPa/566℃/566℃)
		超超临界 (25MPa~27MPa/600℃/600℃) ✓26.25Mpa/600℃/600℃ (2006年,玉环发电厂,1000MW) ✓27MPa/600℃/600℃ (2008年,外高桥三期,1000MW)
		超超临界二次再热 ✓28MPa/600/620℃ (2014年安徽集田电厂, 660MW) ✓31MPa/600/610/610℃ (2015年江苏泰州电厂,1000MW)

2000年1-2月欧洲煤电技术的考察



国家能源集团
CHN ENERGY

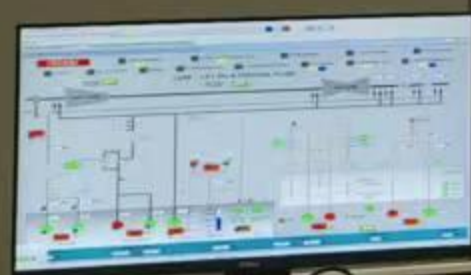




2021年12月世界单机容量最大135万kW、供电煤耗最低**251**的安徽平山电厂投运

国内试验单位				国外试验单位		
负荷率	供电煤耗率	供电效率		负荷率	供电煤耗率	供电效率
/	g/kWh	/		/	g/kWh	/
100%	249.31	49.27%		100%	248.78	49.37%
75%	252.76	48.60%		75%	251.73	48.80%
65%	255.07	48.16%		65%	254.95	48.18%
50%	264.21	46.49%		50%	262.44	46.80%
供电效率 =			3600			
			供电煤耗率(kg/kWh) × 标煤热值(kJ/kg)			

6 kPa 高位机转速 2999 rpm 高位机功率 339.6 MW 机组功率 695.5 MW 03/26/23 主汽压力 18.60 MPa 一再压力 4.65 MPa 二再压力 18.60 MPa
8 kPa 低位机转速 3000 rpm 低位机功率 355.8 MW 电网频率 49.97 Hz 08:38:53 主汽温度 618.3 °C 一再温度 610.1 °C 二再温度 570.0 °C



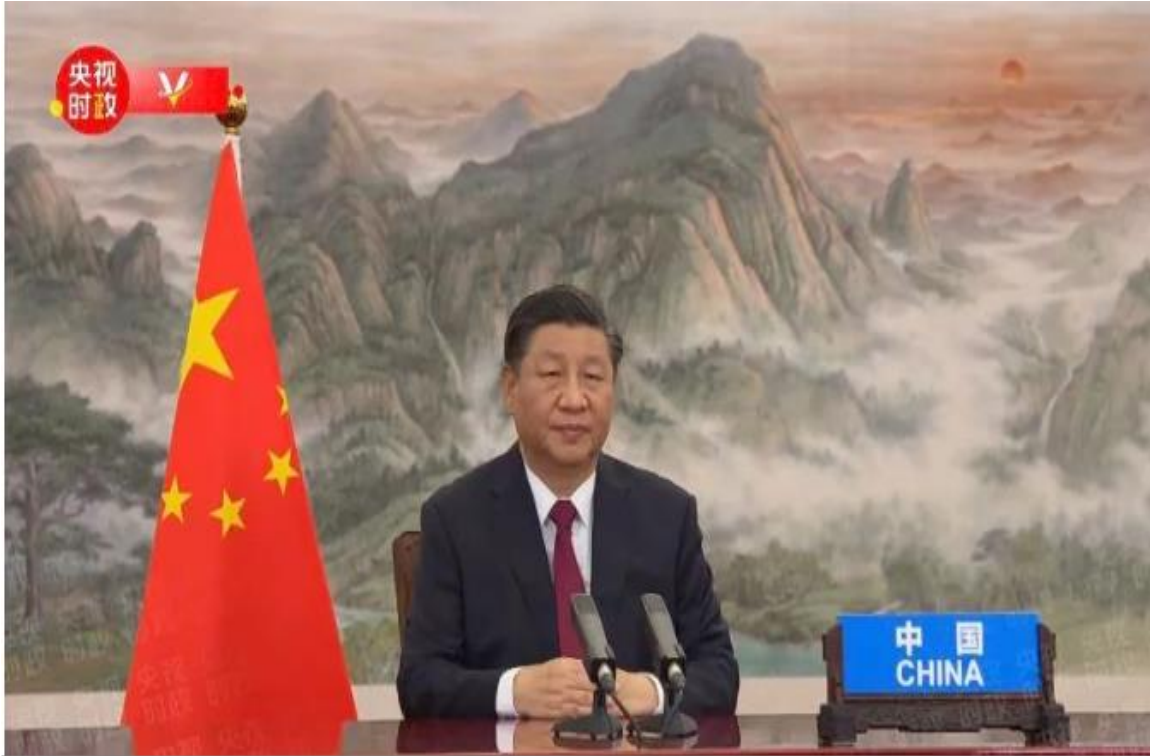
国家示范项目“135万千瓦高低位分轴布置二次再热超超临界机组”
院士专家参访团

申能安徽淮北发电基地·20230326



左起排二：秦超，王立群，姜铁骝，祁海鹰，武海，徐鸿，周怀春，冯丽萍
排一：冯义军，孙锐，张秀龙，朱法华，冯伟忠，武强，毛健雄，余贻鑫，薛禹胜，余永林，张岭

节能--落后机组的淘汰elimilate



Unity action to create a better future
——Speech at the first phase of the
16th G20 Summit

Over the past 10 years, **120 million kW** of backward installed capacity of coal-fired power has been **eliminated**.

过去10年淘汰1.2亿千瓦煤电落后装机

2021年10月30日，中华人民共和国主席习近平在二十国集团领导人第十六次峰会第一阶段会议上的讲话

煤电机组的节能途径Energy saving

- 提高蒸汽初参数
 - 700℃超超临界
- 二次再热
- 高低位布置
- 管道系统优化
- 外置蒸汽冷却器
- 低温省煤器
 - 锅炉排烟余热回收利用
- 锅炉本体受热面及风机改造
- 锅炉运行优化调整
- 空气预热器密封改造
- 加强管道和阀门保温
- 电厂照明节能方法
- 汽轮机通流部分改造
- 汽轮机间隙调整及汽封改造
- 汽机主汽滤网结构型式优化研究
- 汽轮机阀门管理优化
- 汽轮机冷端系统改进及运行优化
- 凝汽式汽轮机供热改造
- 热力及疏水系统改进
- 高压除氧器乏汽回收
- 凝结水泵变频改造
- 取较深海水作为电厂冷却水
- 电除尘器改造及运行优化
 - 电除尘器高频电源改造
- 脱硫、脱硝系统运行优化

中华人民共和国国家发展和改革委员会

感谢信

国家能源集团：

为积极推进电力体制改革，加快构建新型电力系统，提高我国电力供应保障能力，科学谋划电源建设，优化能源结构和煤炭清洁高效利用，根据委领导要求，我局组建了电力中长期交易、电力供需形势分析和保供能力建设专班，会同能源局组建了应急备用和调峰电源能力建设、煤电机组改造升级工作专班，开展集中工作。

贵公司积极响应，选派电力产业管理部冯卫强、刘雁宾，科学技术研究院有限公司王双童、马庆中、汪建平同志参加工作专班，对我局工作给予充分支持，为我局研判全国电力供需形势、组织电力中长期交易落地、推进应急备用和调峰电源能力建设等工作提供重要支撑，相关工作得到我委领导的多次批示和表扬。

为此，对贵公司的大力支持及相关同志的辛勤付出表示由衷感谢！新的一年，希望你们对我局工作继续给予大力支持，为我国电力行业高质量发展作出更大贡献，也祝愿贵公司各项工作取得更大成绩！

国家发展和改革委员会经济运行调节局

2021年12月27日

□国家发改委组建了应急备用和调峰电源能力建设、煤电机组改造升级工作专班

□我院多位同志参加工作专班

□相关工作得到国家发改委领导的多次批示和表扬

《全国煤电机组改造升级实施方案》

（一）**开展汽轮机通流改造**。进一步提升煤电机组能效水平，重点针对服役时间较长、通流效率低、热耗高的 60 万千瓦及以下等级亚临界、超临界机组，推广采用汽轮机通流部分改造技术，因厂制宜开展综合性、系统性节能改造，改造后供电煤耗力争达到同类型机组先进水平。

（二）**开展锅炉和汽轮机冷端余热深度利用改造**。大力推广煤电机组冷端优化和烟气余热深度利用技术。鼓励采取成熟适用的改造措施，提高机组运行真空，提升节能提效水平。鼓励现役机组应用烟气余热深度利用技术。

（三）**开展煤电机组能量梯级利用改造**。鼓励有条件的机组结合实际情况对锅炉尾部烟气余热利用系统与锅炉本体烟风系统、汽机热力系统等进行系统集成优化。

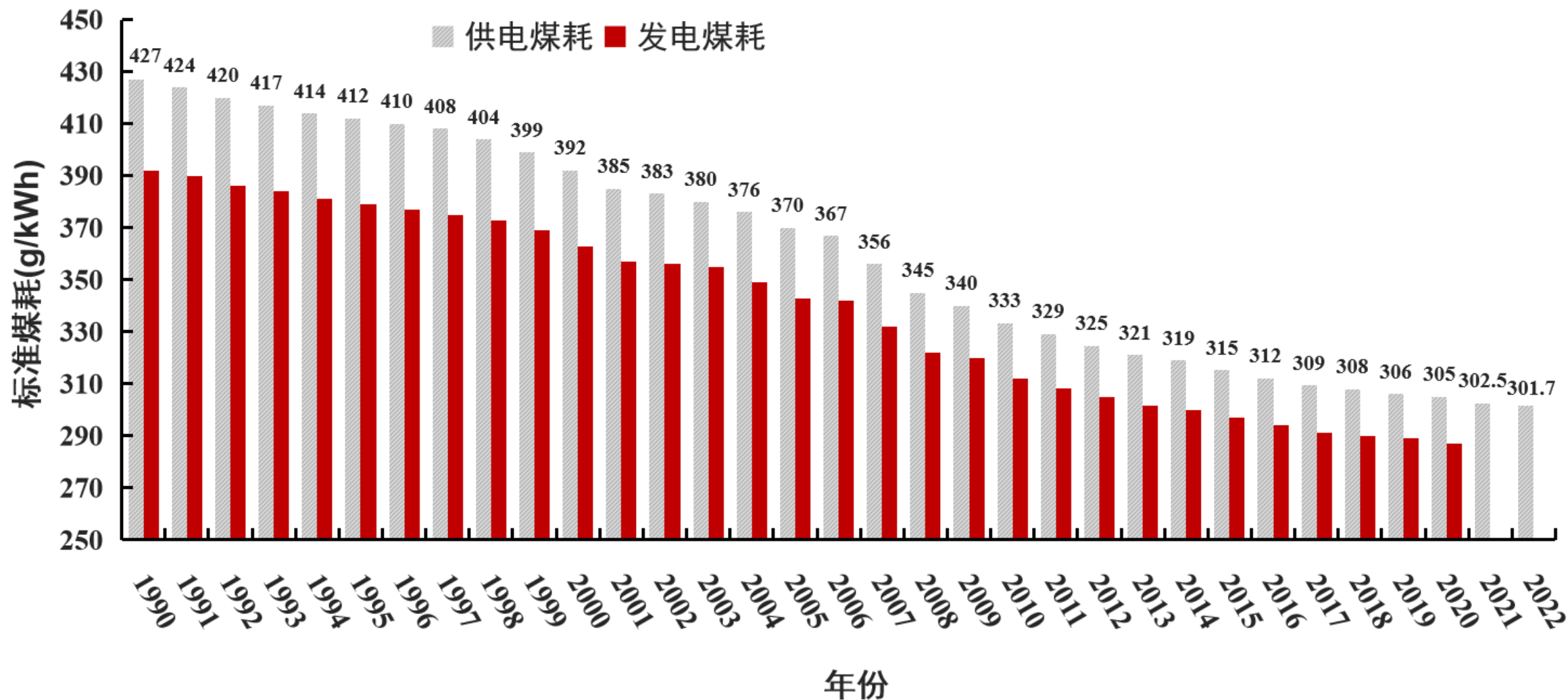
（四）**探索高温亚临界综合升级改造**。探索创新煤电机组节能改造技术，及时总结高温亚临界综合升级改造示范项目先进经验，适时向全国推广应用。梳理排查具备改造条件的亚临界煤电机组，统筹衔接上下游设备供应能力和电力电量供需平衡，科学制定改造实施方案，有序推进高温亚临界综合升级改造。

（五）**推动煤电机组清洁化利用**。新建燃煤发电机组应同步建设先进高效的脱硫、脱硝和除尘设施，确保满足最低技术出力以上全负荷范围达到超低排放要求。支持有条件的发电企业同步开展大气污染物协同脱除，减少二氧化硫、汞、砷等污染物排放。对于环保约束条件较严格的区域，鼓励新建机组实现适度优于超低排放限值的水平。

全国供电煤耗持续下降



国家能源集团
CHN ENERGY



指标 ◆	2019年 ◆	2018年 ◆	2017年 ◆	2016年 ◆	2015年 ◆
煤炭查明资源储量(亿吨)	17182.6	17085.7	16666.7	15980.0	15663.1
石油查明资源储量(亿吨)	35.5	35.7	35.4	35.0	35.0
天然气查明资源储量(亿立方米)	59665.8	57936.0	55221.0	54365.5	51939.5
煤层气查明资源储量(亿立方米)	3040.7	3046.3	3025.4	3344.0	3062.5
页岩气查明资源储量(亿立方米)	3841.8	2160.2	1982.9	1224.1	1301.8

煤炭消费量 (亿吨)	40.19	39.74	39.14	38.88	
原油消费量 (亿吨)	6.73	6.30	5.94	5.71	
天然气消费量 (亿立方米)	3059.68	2817.09	2393.69	2078.06	

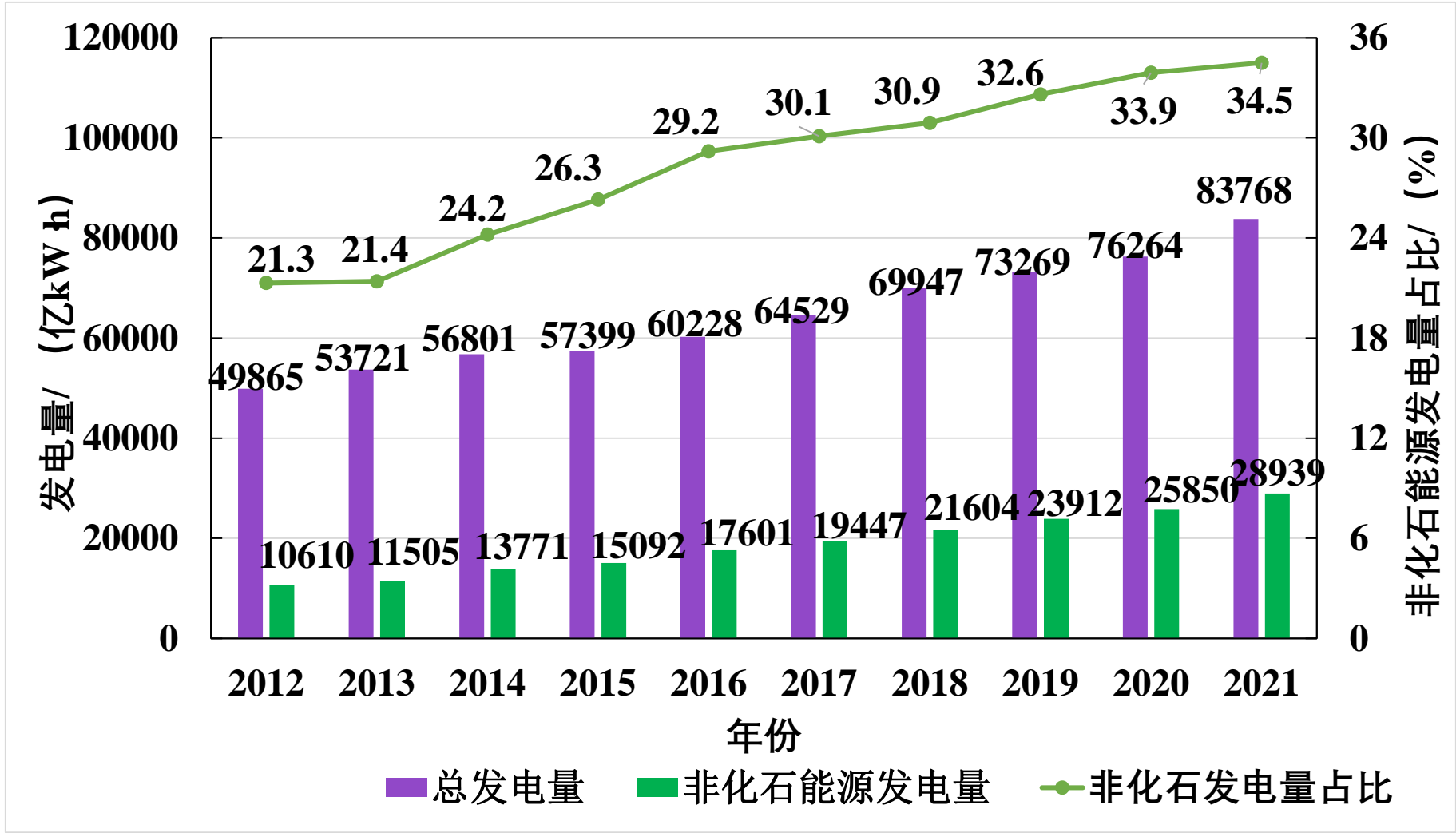
立足国情：富煤、贫油5、少气15

2012-2021年全国发电装机容量--非化石能源Non-fossil fuels

类型	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	增长
火电	81968	87009	93232	100050	106094	111009	114408	118957	124517	129678	58.2%
水电	24947	28044	30486	31953	33207	34411	35259	35804	37016	39092	56.7%
核电	1257	1466	2008	2717	3364	3582	4466	4874	4989	5326	323.7%
风电	6142	7652	9657	13075	14747	16400	18427	20915	28153	32848	434.8%
太阳能发电	341	1589	2486	4318	7631	13042	17433	20418	25343	30656	8890.0%
总容量	114655	125760	137869	152113	165043	178444	189993	200968	220018	237600	107.2%
非化石容量	32687	38751	44637	52063	58949	67435	75585	82011	95501	107922	230.2%
非化石占比(%)	28.5	30.8	32.4	34.2	35.7	37.8	39.8	40.8	43.4	45.4	16.9

风电并网容量连续12年位居世界第一，光伏并网容量连续7年位居世界第一

2012-2021年全国发电量--非化石能源Non-fossil fuels



非化石能源发电量占比从21.3%提高到34.5%，提高了13.2个百分点

2022年可**再生能源**情况Renewable energy

- 新增风电3763万千瓦，太阳能发电 8741万千瓦，生物质发电334万千瓦，常规水电1507万千瓦，
- 新增可再生能源发电容量14345万千瓦，加抽水蓄能共1.52亿千瓦， **占全国新增发电容量的76.2%**
- **可再生能源发电总容量达到12.13亿千瓦，占比47.3%，较2021年提高2.5个百分点。**
- 风电3.65亿千瓦，太阳能发电3.93亿千瓦，生物质发电0.41亿千瓦，常规水电3.68亿千瓦。抽水蓄能0.45亿千瓦

2022年中国可再生能源发电减排CO₂约22.6亿吨，出口**风电光伏**产品减排CO₂约5.73亿吨，合计占全球同期可再生能源减排总量的41%

中国与G7国家发电装机对比（2022年）

Comparisons



国家能源集团
CHN ENERGY

发电技术 (Power generation technology)		中国 CHN	G7总和 The sum of G7	美国 US	日本 Japan	英国 Britain	德国 Germany	法国 France	意大利 Italy	加拿大 Canada
化石能源发电总计 Total fossil energy power generation	装机 Installed capacity	128947	115097	72445	18485	4504	8858	1739	5717	3349
	占比 Proportion	50.3%	49.3%	60.7%	51.6%	41.3%	35.0%	11.9%	46.9%	21.8%
非化石能源发电总计 Total non-fossil energy power generation	装机 Installed capacity	127458	118354	46825	17348	6693	16452	12874	6460	12002
	占比 Proportion	49.7%	50.7%	39.3%	48.4%	58.7%	65.0%	88.1%	53.1%	78.2%
可再生能源发电总计 Total renewable energy generation	装机 Installed capacity	120564	95557	37096	13934	5502	15373	6674	6383	10595
	占比 Proportion	47.0%	40.9%	31.1%	38.9%	50.5%	60.7%	45.7%	52.4%	69.0%
装机总计 Total power generation		256405	233450	119270	35833	10897	25310	14613	12177	15351

来源：电信息，2023年4月15日，国际可再生能源署

中国与G7国家发电装机对比（2022年）

Comparisons



国家能源集团
CHN ENERGY

发电技术 (Power generation technology)	中国 CHN	G7总和 The sum of G7	美国 US	日本 Japan	英国	德国 Germany	法国 France	意大利 Italy	加拿大 Canada
煤电(Coal power)	112305	26692	19917	5715	536	0	0	0	525
油电（Oil power）	181	6142	2698	2711	132	0	0	0	600
气电（Gas power）	12268	63410	49830	7878	3478	0	0	0	2224
其他化石能源 (The other fossil energy)	4193	18853	0	2182	358	8858	1738	5717	0
核电（Nuclear power）	5553	21959	9477	3308	819	811	6140	0	1403

中国太阳能发电、风电、水电、垃圾发电装机容量远超G7总和

Installed capacities of solar power, wind power, hydropower and garbage power in China are great larger than the sum of the G7

来源：电信息，2023年4月15日，国际可再生能源署

PART 03



高质量发展展望

Prospects for H-quality
development



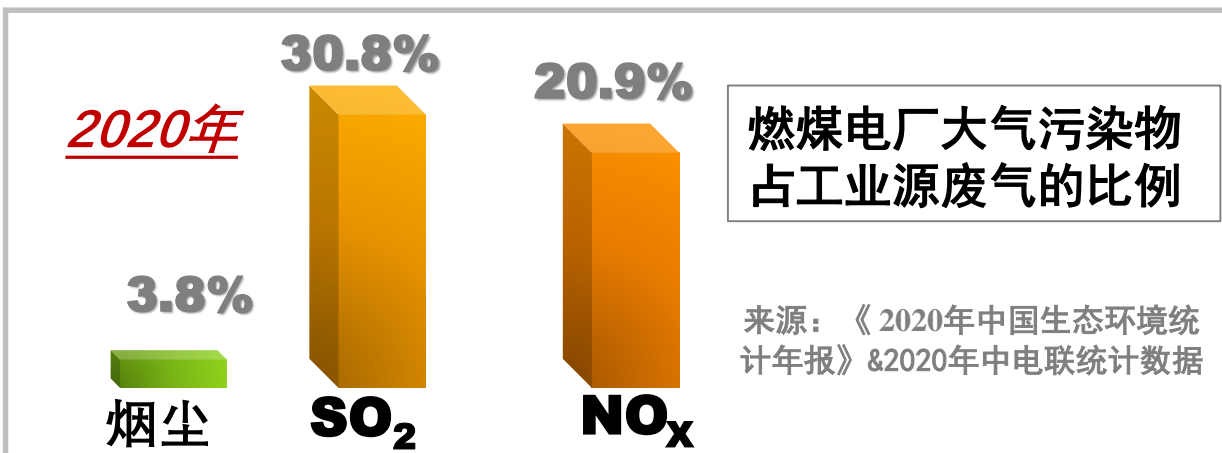
污染物	取值时间	2005 AQG	2021 AQG	NOTE
PM _{2.5} , µg/m ³	Annual	10	5	↓
	24-hour ^a	25	15	↓
PM ₁₀ , µg/m ³	Annual	20	15	↓
	24-hour ^a	50	45	↓
O ₃ , µg/m ³	Peak season ^b	—	60	NEW
	8-hour ^a	100	100	→
NO ₂ , µg/m ³	Annual	40	10	↓
	24-hour ^a	—	25	NEW
SO ₂ , µg/m ³	24-hour ^a	20	40	↑
CO, mg/m ³	24-hour ^a	—	4	NEW

35到25下降29% ; **35到15下降57%** ; 35到10下降**71%** ; 35到5下降86%

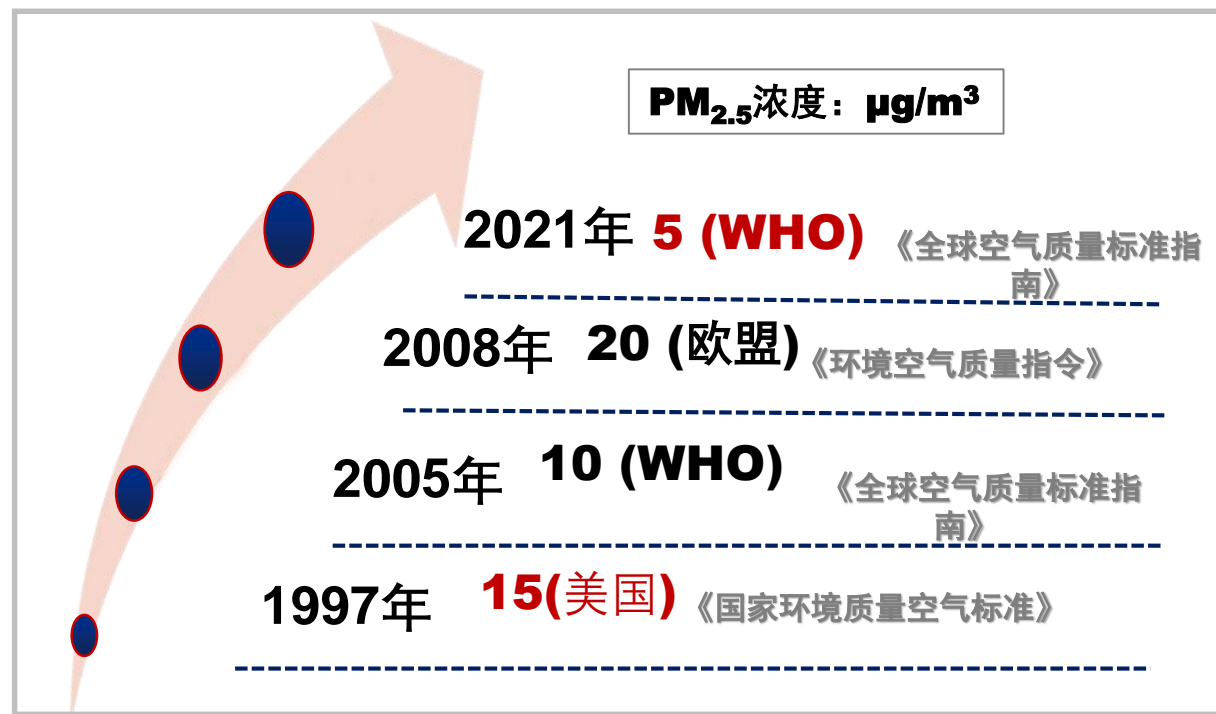
◆ 中国环境空气PM_{2.5}标准



◆ 燃煤电厂污染物排放占比



◆ 国外环境空气PM_{2.5}标准



假定2035年中国15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,中美相差38年

全球部分国家PM2.5年均浓度

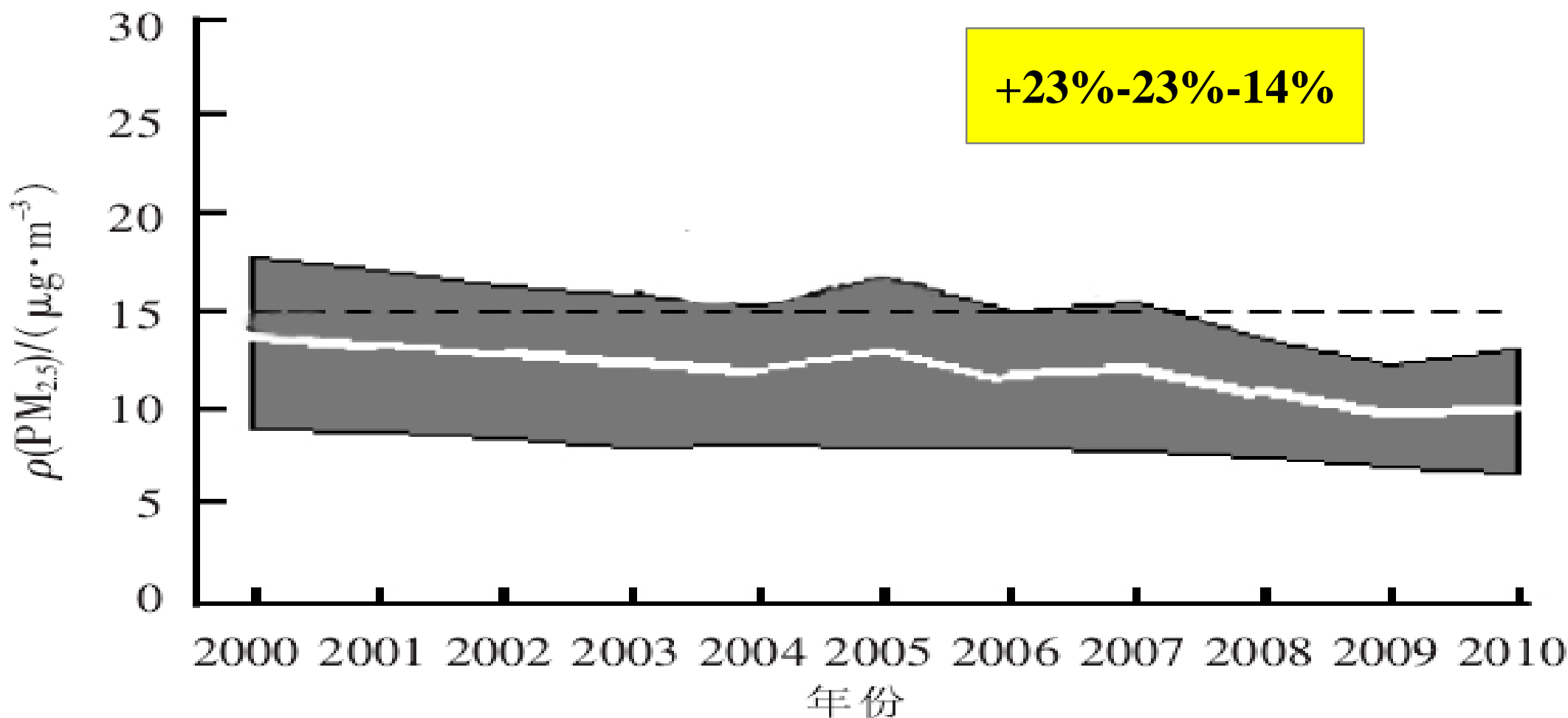


国家能源集团
CHN ENERGY

国家	2019年	2018年	2017年	2016年	2015年
美国	7	8	8	8	8
日本	11	11	12	13	13
英国	10	10	10	10	11
德国	11	12	12	12	13
法国	10	11	11	11	12
意大利	14	16	16	16	17
加拿大	6	7	7	6	7
俄罗斯	9	9	8	9	9
澳大利 亚	9	7	7	7	7
巴西	11	11	15	12	12
中国	38	41	47	48	52

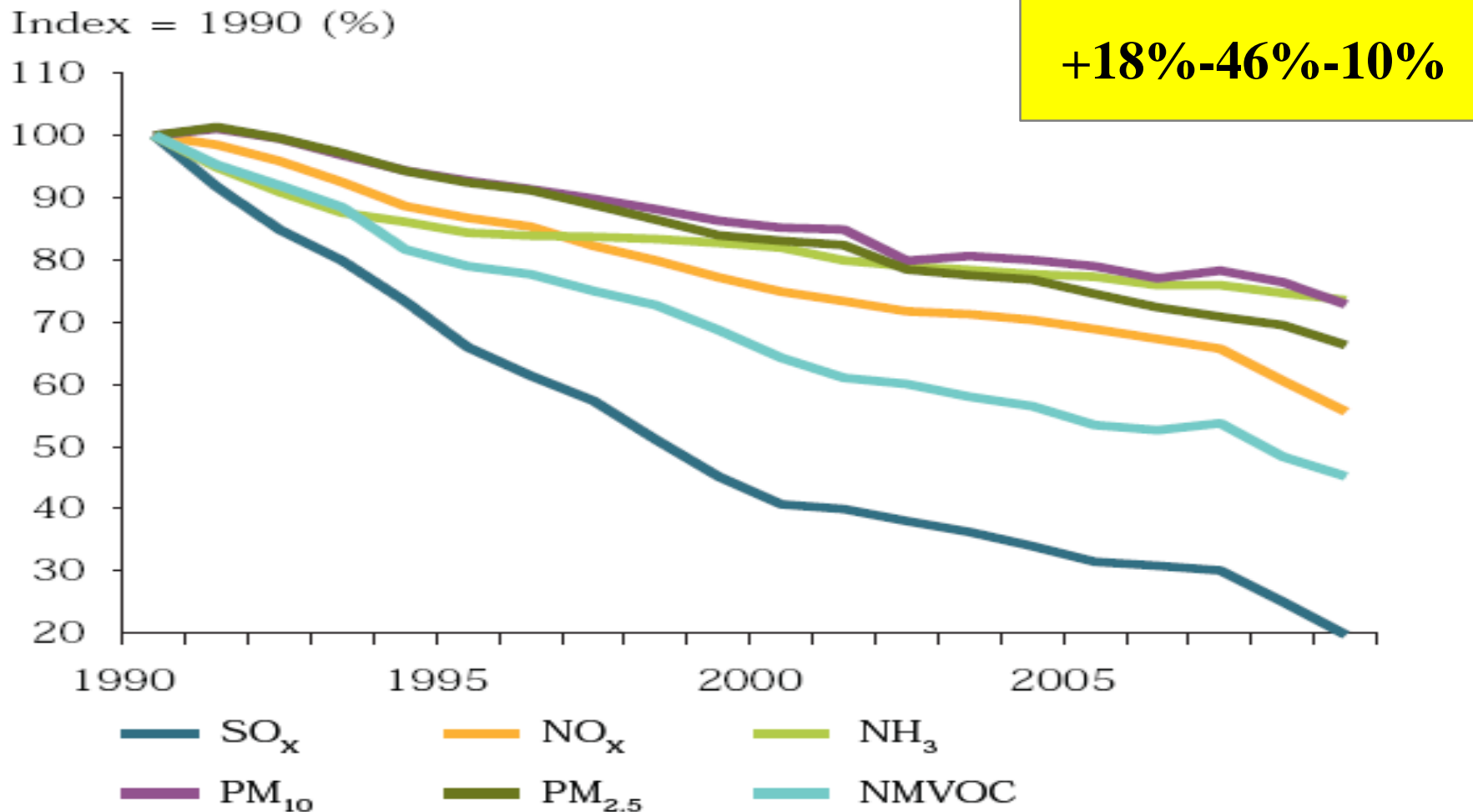
美国污染物减排与PM_{2.5}的关系 reduce

美国2010年的排放与2000年相比，PM₁₀削减了50%，SO_x削减了50%，NO_x削减了41%，VOC了削减35%，最终导致PM_{2.5}年均地面浓度削减了**27%**。



欧经区污染物减排与PM_{2.5}的关系

在欧洲经济区（EEA）的32个地区内，2009年的排放与1990年相比，PM₁₀排放削减了16%，PM_{2.5}排放削减21%，SO_x削减了80%，NO_x削减了44%，VOC削减了55%，NH₃削减了26%，最终导致环境空气PM_{2.5}削减了**34%**，PM₁₀削减了**27%**



2035年煤电大气污染物的减排需求



国家能源集团
CHN ENERGY



57+ (10-30⁺)

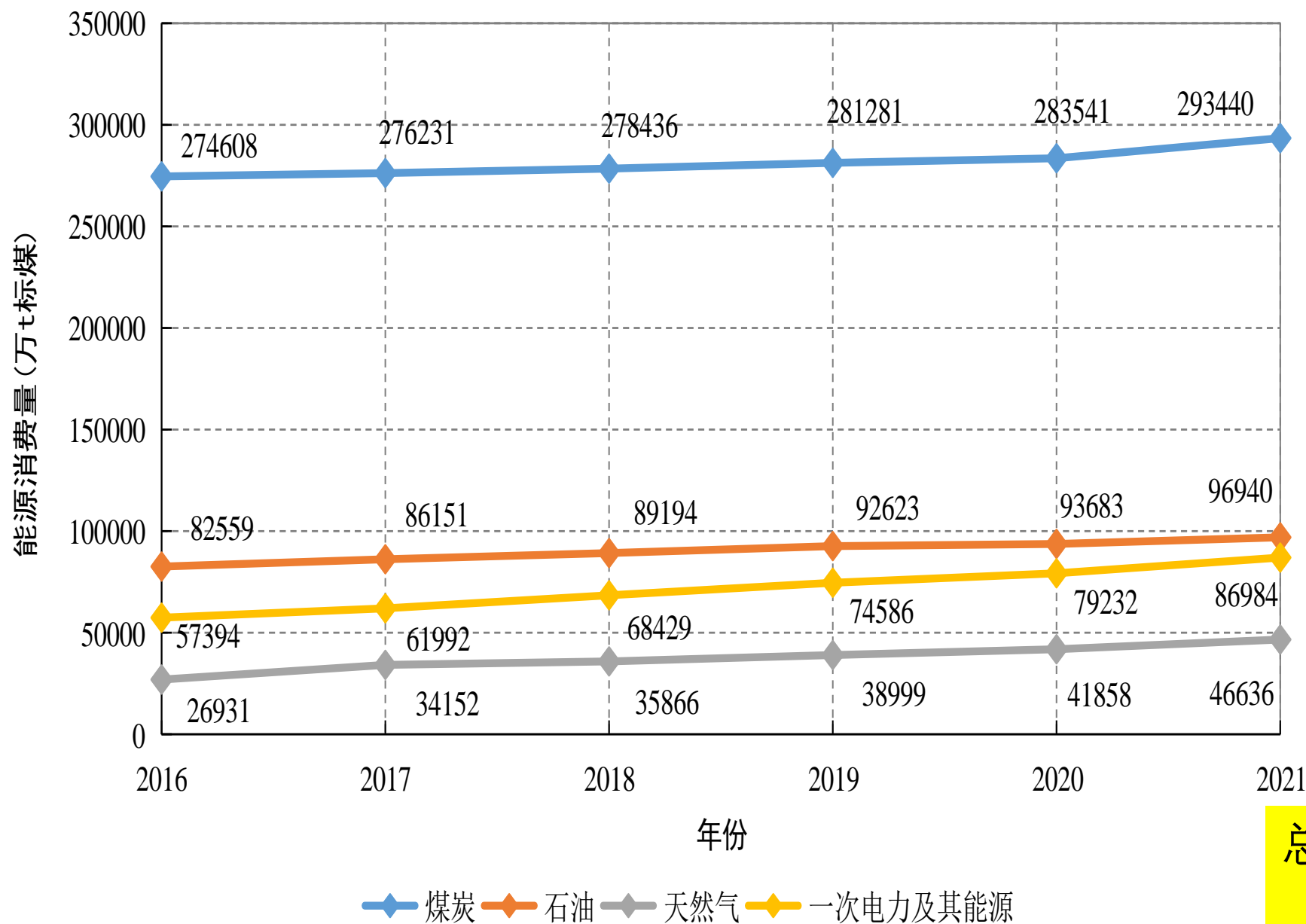
71 + (10-30)

超净排放
super-clean

中国能源消费情况



国家能源集团
CHN ENERGY



煤炭增长
18832

石油增长
14381
非化石能源
增长29590

天然气增长
19705

总量52.4亿吨,
煤炭占56%

污染物排放展望outlook of emissions

加快淘汰落后产能，规范燃煤自备电厂运行。淘汰3000万千瓦煤电机组

表6 超低排放煤电机组容量占比与单位发电量污染物排放强度

项目	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2025年预测	2030年预测
容量占比/%	49	71	80	86	88	95	100
烟尘排放量/[g/(kW·h)]	0.08	0.06	0.04	0.038	0.032	0.015	0.009
二氧化硫排放量/[g/(kW·h)]	0.39	0.26	0.20	0.187	0.160	0.092	0.075
氮氧化物排放量/[g/(kW·h)]	0.36	0.25	0.21	0.195	0.179	0.137	0.105

Emission intensity continues to decline

污染物排放展望 outlook of emissions

	2020年	2025年		2030年	
	排放量	排放量	下降	排放量	下降
烟尘	15.5	8.3	46%	4.7	70%
SO2	78.0	51.0	35%	39.0	50%
NOx	87.4	76.0	13%	54.6	38%

燃煤电厂大气污染物排放标准仍需进一步严格

发改运行【2021】1519号，10月（火）

《全国煤电机组改造升级实施方案》

- “十四五”实现煤电机组灵活制造规模1.5亿kW
- 2021年全国火电容量129678万kW
- 两者之和即2025年火电容量，144678万kW
- “十四五”新增容量 $5161+15000=20161$ 万kW
- “十五五”新增容量按“十五五”的30%预测，6048万kW
- 2030年火电容量 $144678+6048=150726$ 万kW

发改能源【2022】210号，1月（水、核）

《“十四五”现代能源体系规划》

- “十四五”淘汰煤电3000万kW，预测新增生物质能发电装机容量3000万kW
- 2025年常规水电达到3.8亿kW
- 2025年核电运行容量7000万kW
- 2025年抽水蓄能装机容量6200万kW以上，在建6000万kW

2030年水电发展

- 到2020年，常规水电装机容量将达3.5亿kW，其中东部地区(京津冀、山东、上海、江苏、浙江、广东等)开发总规模达到3520万kW，约占全国的10%，水力资源基本开发完毕。中部地区(安徽、江西、湖南、湖北等)开发总规模达到6150万kW，开发程度达到90%以上。西部地区总规模为2.54亿kW，约占全国的72.5%，其开发程度达到54%，其中广西、重庆、贵州等省市开发基本完毕，四川、云南、青海、西藏还有较大开发潜力
- 到2030年，常规水电装机容量将达**4.3亿kW**，其中东部地区3550万kW，中部地区6800万kW，西部地区总规模为3.26亿kW，其开发程度达到69%，**四川、云南、青海的水电开发基本结束**，西藏水电还有较大开发潜力

孙志禹等《清洁能源蓝皮书 国际清洁能源产业发展报告（2018）



2030年中国核电发展

- ◆ 中国核电发展中心、国网能源研究院发布《我国核电发展规划研究》
- ◆ 2030年核电发展规模达到**1.31亿千瓦**，发电量占比达到**10.0%**



2030年抽水蓄能发展



《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035年）》

□ 2030年抽水蓄能投产规模将达到12200万kW

发改能源【2022】210号，1月（风、光）

《“十四五”现代能源体系规划》

- 全面推进风电和太阳能发电大规模开发
- 加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点
- 积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用
- 鼓励建设海上风电基地，推进海上漂浮风电、漂浮光伏
- ✓ 2021年新增风电4695万kW，均匀增长2025年51628万kW
- ✓ 2021年新增光伏5313万kW，均匀增长2025年51908万kW
- ✓ “十五五”新增容量按“十四五”的1.1倍考虑

2030年发电装机容量预测（capacity prediction）

指标index	2020年	2025年	2030年	增长
发电装机容量	220018	302414	385607	75.3%
其中：火电thermol	124517	144678	150726	21.0%
水电hydro	33867	38000	43000	27.0%
核电nuclear	4989	7000	13100	162.6%
风电wind	28153	51628	77451	175.1%
太阳能发电solar	25343	51908	81130	220.1%
抽水蓄能pumped s.	3149	6200	12200	287.4%
新型储能new type s.		3000	8000	166.7%

2025年装机容量与《规划》吻合，2030年非化石装机占比60.9%

全国发电量展望electricity generation

Index	2020	2025	2030
Total power generation(10^8 kW·h)	76264	91170	102811
Thermal power generation(10^8 kW·h)	51770	55474	51966
Hydropower generation(10^8 kW·h)	13553	13748	15557
Nuclear power generation(10^8 kW·h)	3662	5268	9859
Wind power generation(10^8 kW·h)	4665	10207	15312
solar power generation(10^8 kW·h)	2611	6473	10117
Non-fossil energy power generation(10^8 kW·h)	25850	35696	50845
Proportion of non-fossil energy power generation (%)	33.9	39.2	49.5

碳中和时中国电力行业生产(不包括储能)与CO₂排放

--- 《电力科技与环保》2021，第3期

发电类型	装机容量（ 亿kW）	年利用小时 （h）	发电量（ 亿kW.h）	CO ₂ 排放强度 （g/kW.h）	CO ₂ 排放量（ 亿t）
风电与太阳能	50	1500	75000	24	1.80
核电	2	7000	14000	12.8	0.18
水电	4.3	3600	15480	3.2	0.05
余热、余压、余 气	0.5	3000	1500	0	0
生物质	1.2	3000	3600	0	0
气电	1	3000	3000	375.2	1.12
煤电	5.3	3000	15900	758.7	12.06
合计	64.3	—	128480	—	15.21

非化石能源为主 + 储能

火电调节与后备

电力装机容量预计可达64.3亿kW，非化石能源发电装机容量占比90.2%，发电量占比85.3%。电力行业排放CO₂将从超过47亿t下降至15.21亿t，其中火电行业排放13.18亿t



2023年10月22日中国工程院在合肥发布29个重大问题（科学、**工程9**、产业）

- 1 如何实现在原子、电子本征尺度上的微观动力学实时、实空间成像？
- 2 如何解决稀土基体中痕量杂质的高效分离难题，突破高纯稀土材料工程化制备技术及装备？
- 3 **适用于新型电力系统的长周期储能方式是什么？**

媒体报道的朱法华部分观点



2022-01-18	科技日报	科技力量推动新能源一路高歌猛进
2022-03-09	中国电力报	“双碳”目标下的煤电：怎么立？怎么破？
2022-03-29	中国电力报	清洁低碳转型路径更加明确
2022-04-18	中国能源报	煤电“三改”联动需求迫切
2022-04-29	中国能源报	钱来啦！煤电三改缺钱的企业点进来
2022-05-13	中国环境报	减污降碳≠煤电消亡：更灵活、更节能才是出路
2022-05-20	中国电力报	五问煤电三改联动
2022-06-06	中国能源报	国内首个省级双碳平台项目来了
2022-11-07	中国环境报	碳中和时还有煤电吗？
2023-01-31	中国电业与能源	煤电在碳中和目标实现中的机遇与挑战
2023-04-17	河南科协	院士专家把脉建言“碳路”中原绿色发展
2023-10-19	石家庄广播电视	俄罗斯自科院外籍院士朱法华参会并提出建议

清洁发展：进入21世纪，中国火电发电量增长4.3倍，但各种大气污染物却比峰值下降了93.1%-97.3%，单位发电量污染物排放全球领先。

低碳发电：2022年中国发电装机容量超过G7国家的总和，建成了世界上单机容量最大、供电煤耗最低的燃煤发电机组。可再生能源发电容量超过G7国家的总和，风电、光伏累计发电容量及新投产容量连续多年世界第一。

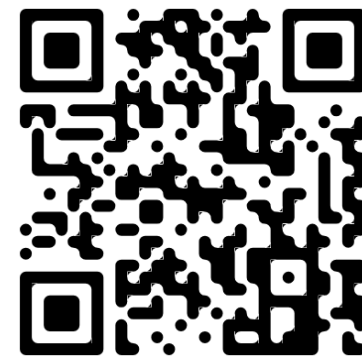
发展展望：燃煤电厂大气污染物排放要求仍面临加严的压力；碳中和时中国人均用电量约1万千瓦时，非化石能源装机占比将超过90%，在长期储能技术取得重大突破以前，煤电需要为新能源发展“**开路**”。



国家能源集团
CHN ENERGY

Thank you

- (1) 中国燃煤电厂大气污染治理历程与展望[J]. 电力科技与环保, 2023, 39(5):371-384.
- (2) 煤电在碳中和目标实现中的机遇与挑战[J]. 电力科技与环保, 2022, 38(2): 79-86.
- (3) 中国电力行业碳达峰碳中和的发展路径研究[J]. 电力科技与环保, 2021, 37(3): 9-16.
- (4) 电力行业减污降碳发展状况及目标展望[J]. 环境保护, 2022, 50(10): 15-20.



zhufahua@vip.sina.com

2023.11