



煤炭工程与技术

专题1：煤炭概述

2025年春季学期

吴微

(E-mail: weiwu_ep@xmu.edu.cn)

厦门大学管理学院中国能源政策研究院



- 课程钉钉群

14:24

5G 63



二维码邀请

2025年煤炭工程与技术

钉钉扫码加入班级



保存到手机

分享

- 助教: 周登利



● 选用教材

- [1] 贺永德. 现代煤化工技术手册（第三版）[M]. 化学工业出版社, 2020
- [2] 虞继舜. 煤化学[M]. 冶金工业出版社, 2012
- [3] 曲思建. 煤炭清洁利用与环境保护技术[M]. 科学出版社, 2019
- [4] 郭树才. 煤化工工艺学（第二版）[M]. 化学工业出版社, 2008

● 考核方式

课堂考勤：10%

作业+课堂讨论：40%

期末考试：50%



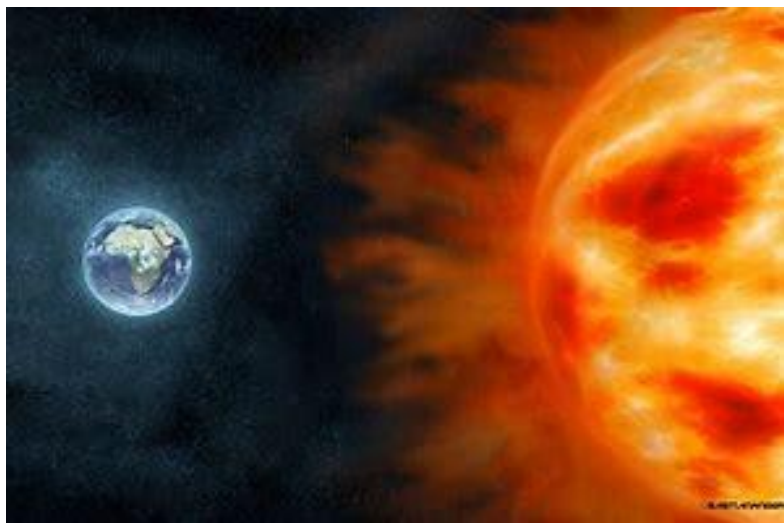
● 教学内容

- 煤炭概述
- 煤的形成、分类与性质
- 煤炭开采与洗选
- 煤的燃烧
- 煤炭低碳利用技术
- 传统煤化工技术
- 现代煤化工技术
- 煤炭与新能源协同



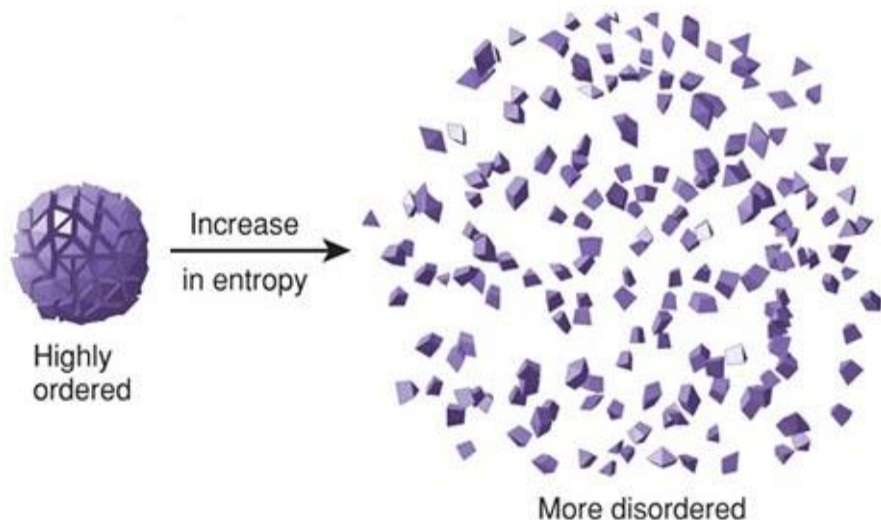
写在故事开始之前

□ 能源是什么？



- 每一天，地球从太阳接收到 1.5×10^{22} 焦耳的能量。
- 这些能量相当于**5100亿吨标准煤**燃烧所放出的热量。
- 但是每一天，地球又向宇宙释放大致相同的能量。
- 能源对地球的意义是什么？

□ 能源是什么？



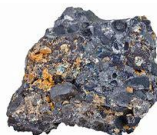
- 答案是能源给地球带来了**负熵**
- 熵是一个热力学的概念，用于衡量系统的无序程度。在自然状态下，如果没有外部能量的输入，任何系统的熵都是趋于增加的，也就是会**从有序趋于无序**。
- 地球从太阳接收到的能量，给了我们负熵来组织各种“**秩序**”。比如生态系统、环境系统以及经济系统
- **没有了能源，任何系统都将瓦解！**

□ 能源是什么？

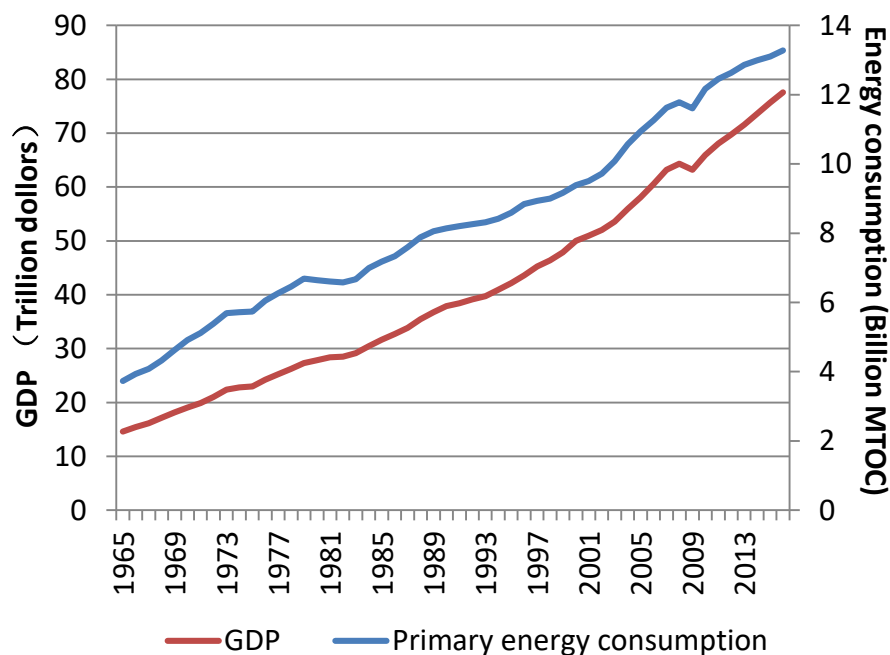
- 负熵对于理解为什么我们需要能源十分重要
- 食物带来的负熵，给了有机体活动能力
- 交通部门的负熵，给我们扩展活动范围的能力
- 生产过程中的负熵，帮助我们从原材料生产成各种制成品（从无序到有序）
- 人类经济经济发展水平越高，必然需要建立与维持更多的“秩序”（消耗更多的能源）



Energy

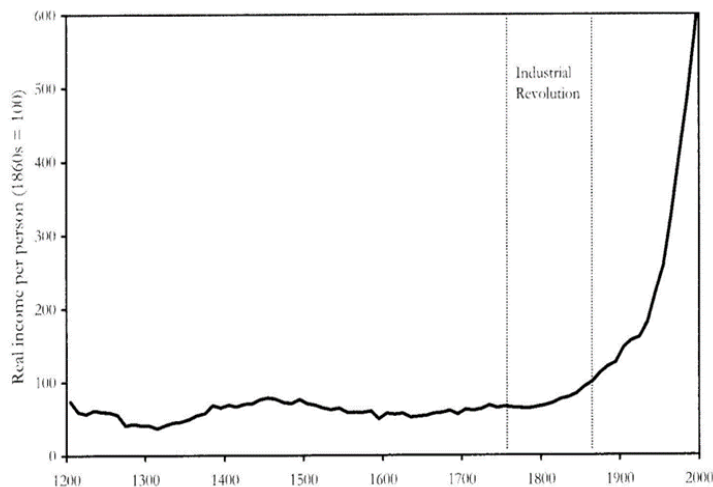


□ 能源是什么？

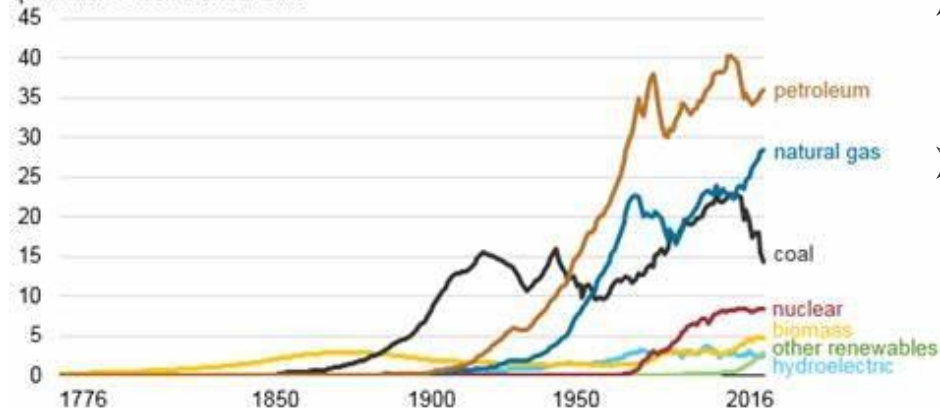


- 在过去的几十年间，全球的经济增长与能源消费基本是保持相同的变化趋势的。
- 经济的发展无法摆脱对能源消耗的依赖

跳出马尔萨斯陷阱



Energy consumption in the United States (1776-2016)
quadrillion British thermal units



- 工业革命以前，人类能够获得的“负熵”十分有限。
- 工业革命以后，随着对化石能源的掌握，“负熵”在不断增加。
- 罗默 (Romer)模型：人口数量的上升会促进长期增长
- 更多的人口，更多的科学家，更多的工程师，更多的技术创新
- 但我们技术进步的基础——能源——其实大部分还是来源于数亿年积累下来的负熵



□ 新的问题

- 气候变化



- 环境污染



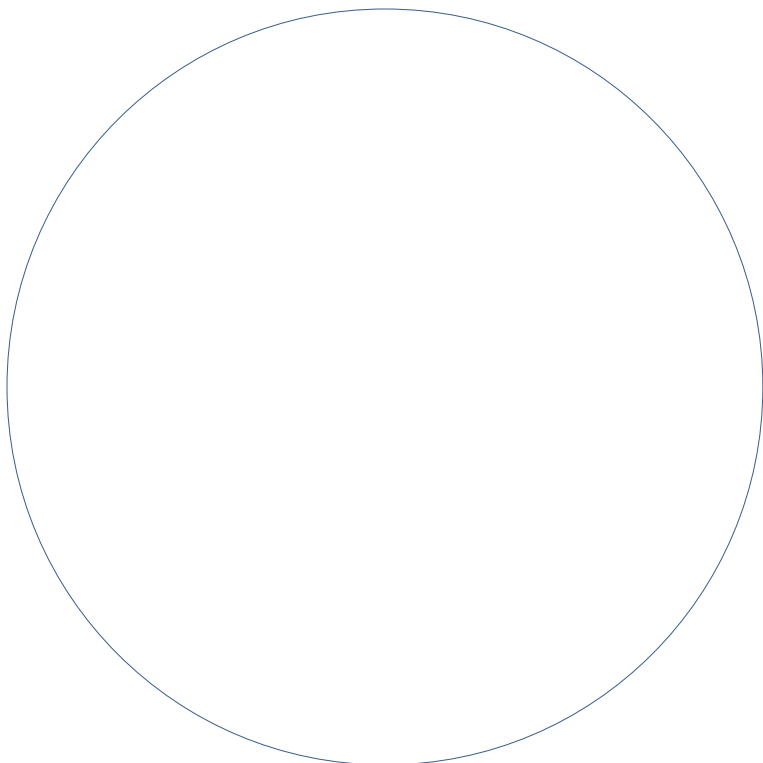


□ 像经济学家一样思考

- 社会如何做出决策？社会的目标是什么？
- 经济学是一门研究如何优化资源配置的学科
- 从经济学的角度思考能源，需要认识到人类活动面临各种约束。这些约束包括发展的权利，污染，气候变化，社会公平以及代际公平。
- 经济决策是在各种约束中找到trade-off



□ 对自然的敬畏之心



- 地球直径：12756千米
- 线条放大倍数：100倍
- 这个圆代表地球
- 99.99%的人类活动，都在这条线内进行
- 人类活动能力相对于地球何其渺小
- “地球不需要人类保护，人类要保护的只有人类自己” ——丁仲礼



煤炭资源概述



□ 煤炭资源概述

- 早在古代人类就认识到了煤炭的燃烧价值。辽宁省新乐古文化遗址（公元前6000年）中，就发现有煤工艺品，河南巩义市也发现有西汉时用煤饼炼铁的遗址。《山海经》中称煤为石涅，魏、晋时称煤为石墨或石炭。明代李时珍的《本草纲目》首次使用煤这一名称。
- 希腊和古罗马也是用煤较早的国家，希腊学者泰奥弗拉斯托斯在公元前约300年著有《石史》，其中记载有煤的性质和产地；古罗马大约在2000年前已开始用煤加热。
- 煤炭也是现代文明的基石。正是由于煤炭为工业革命提供了动力，才使人们摆脱了柴草能源的制约，冲破马尔萨斯陷阱。

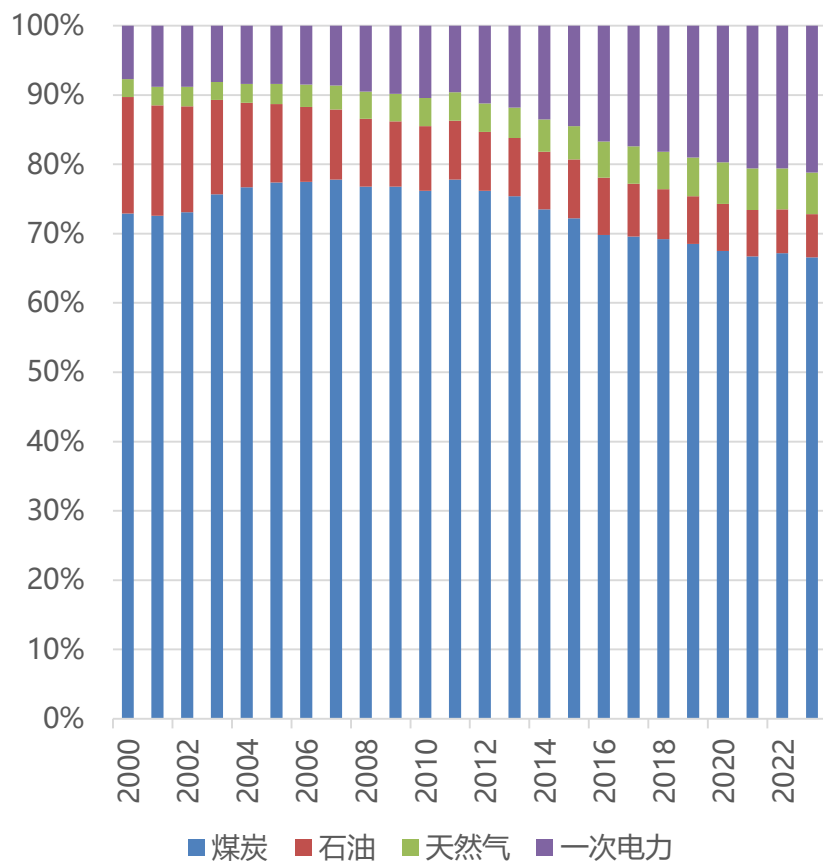
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1621839871139629180&wfr=spider&for=pc>

- 如今煤炭已经成为发电、冶金、化工、建材、民用取暖必不可少的基本能源

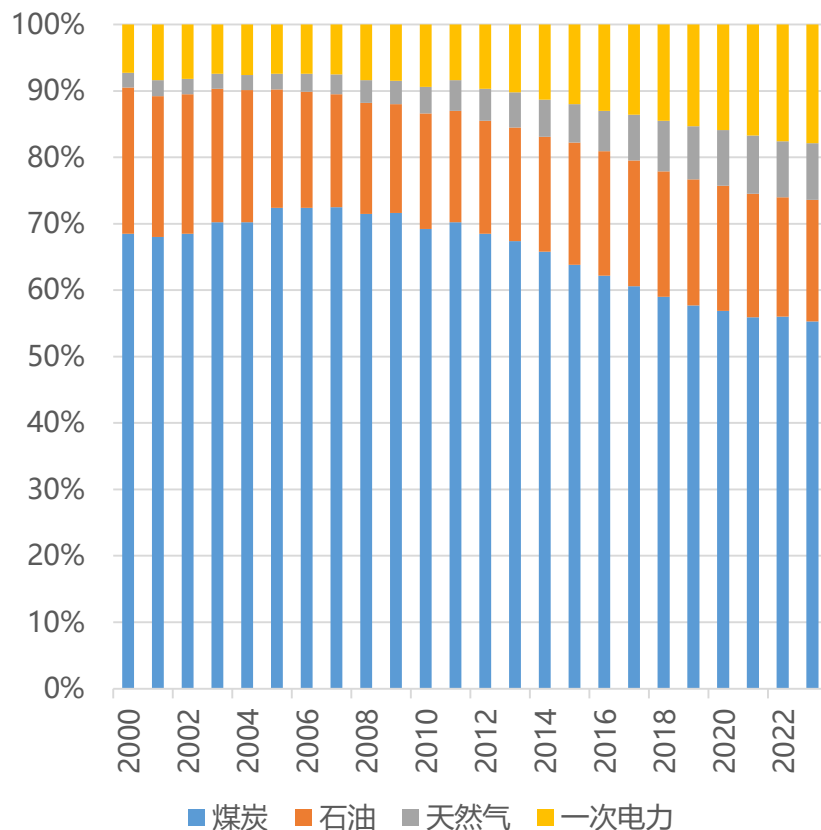


□ 煤炭在能源结构中的地位

◆ 一次能源生产结构

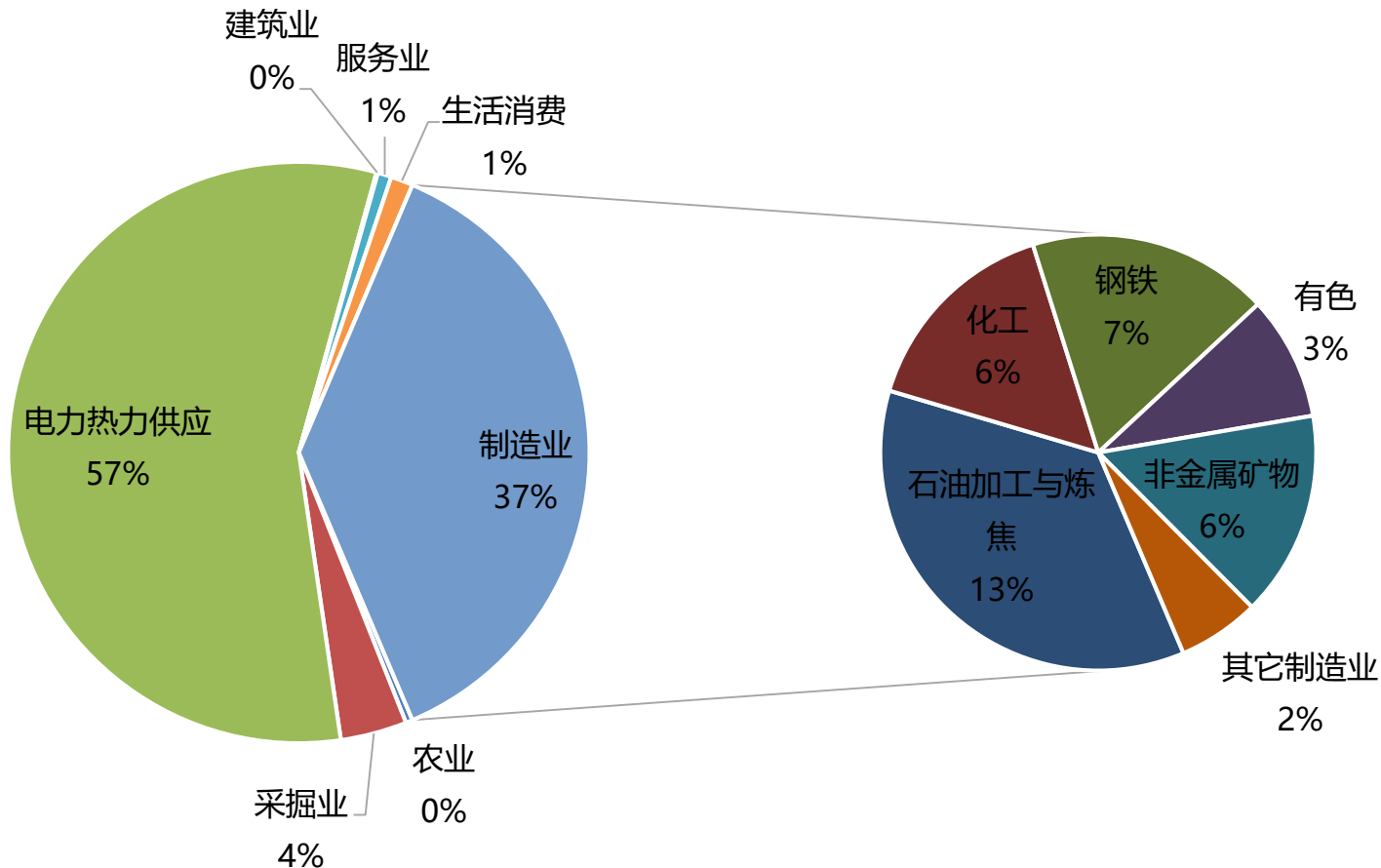


◆ 一次能源消费结构



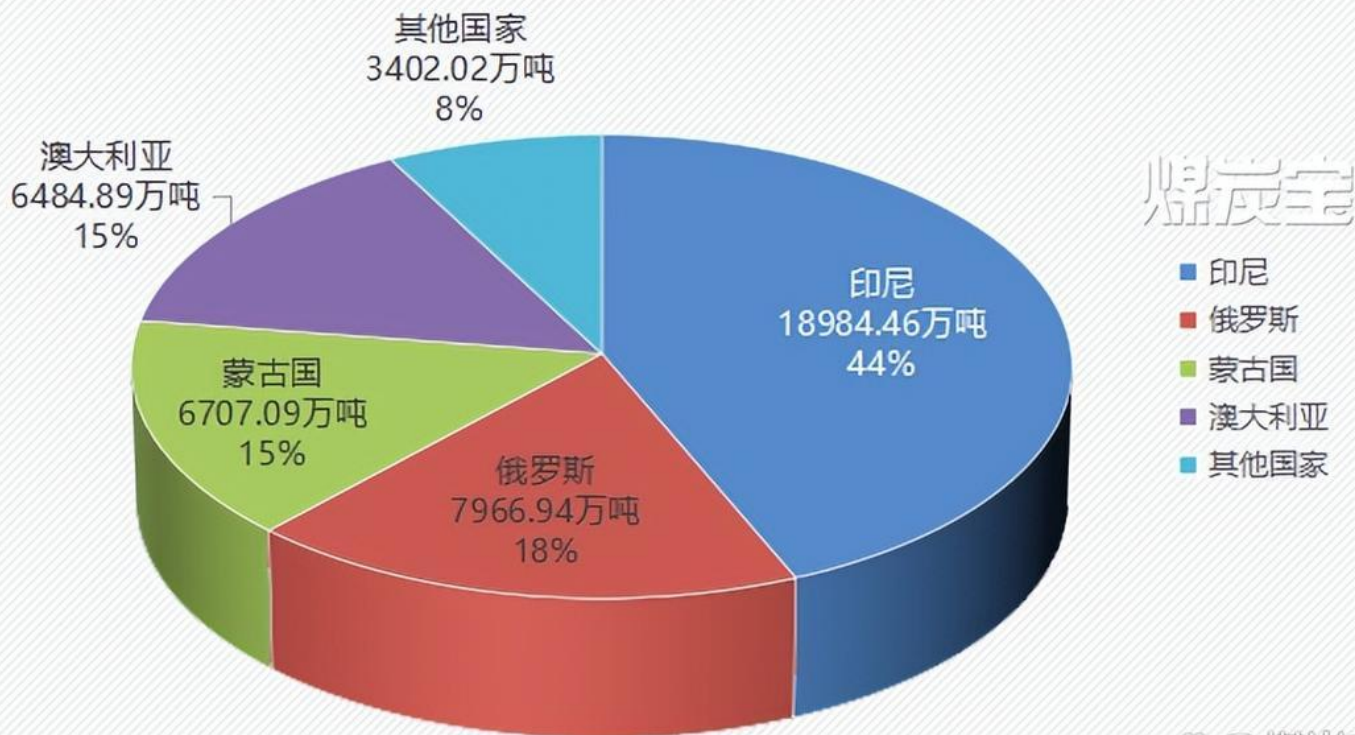


□ 2022年煤炭消费结构

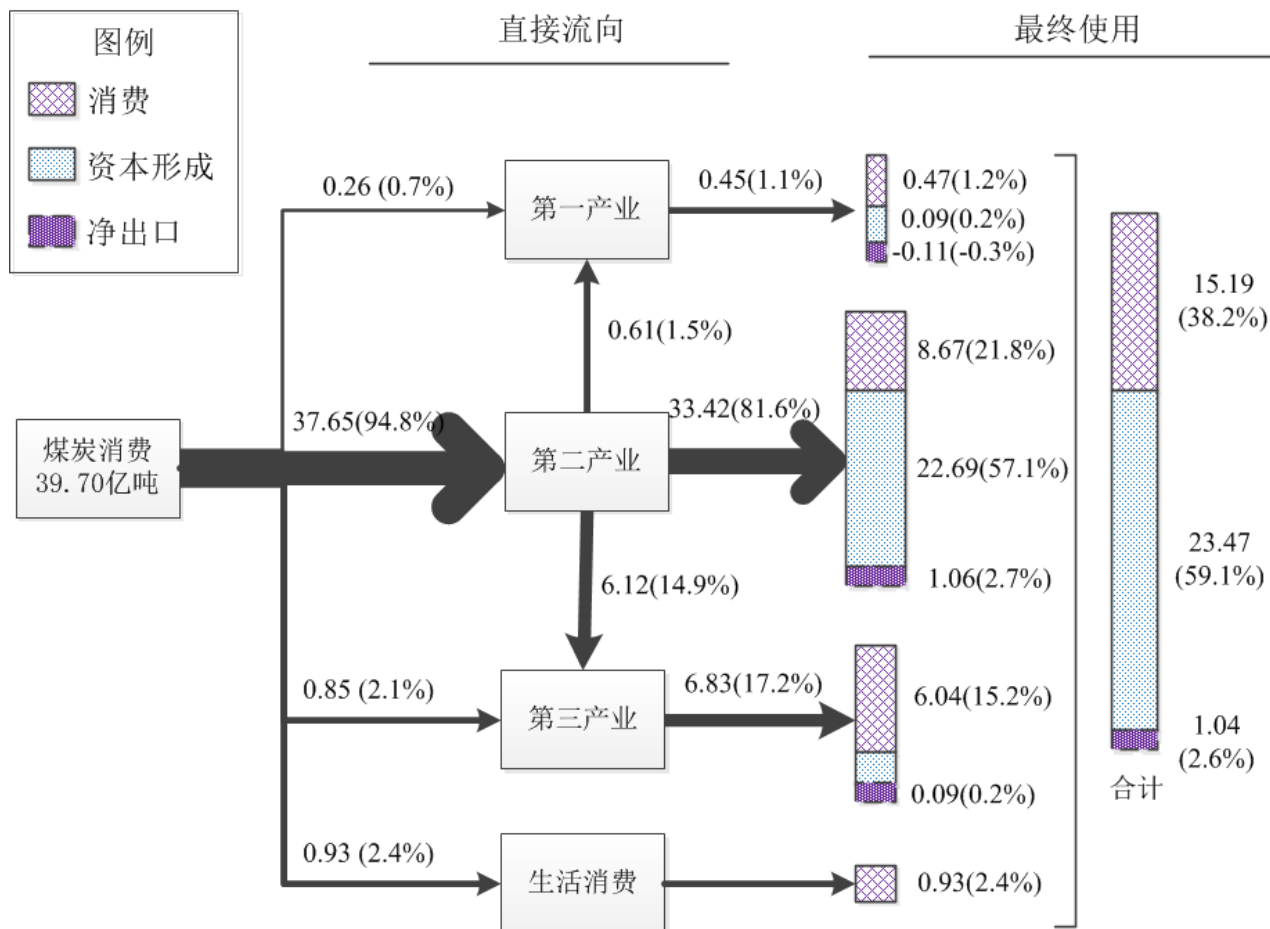


煤炭进口

2024年1-10月份我国煤炭进口国数量统计



煤炭能源流图 (2015)





中国煤炭资源储量

- 中国煤炭资源丰富，根据自然资源部新公布的2024版《中国矿产资源报告》，截至2023年底中国煤炭储量为2185.7亿吨

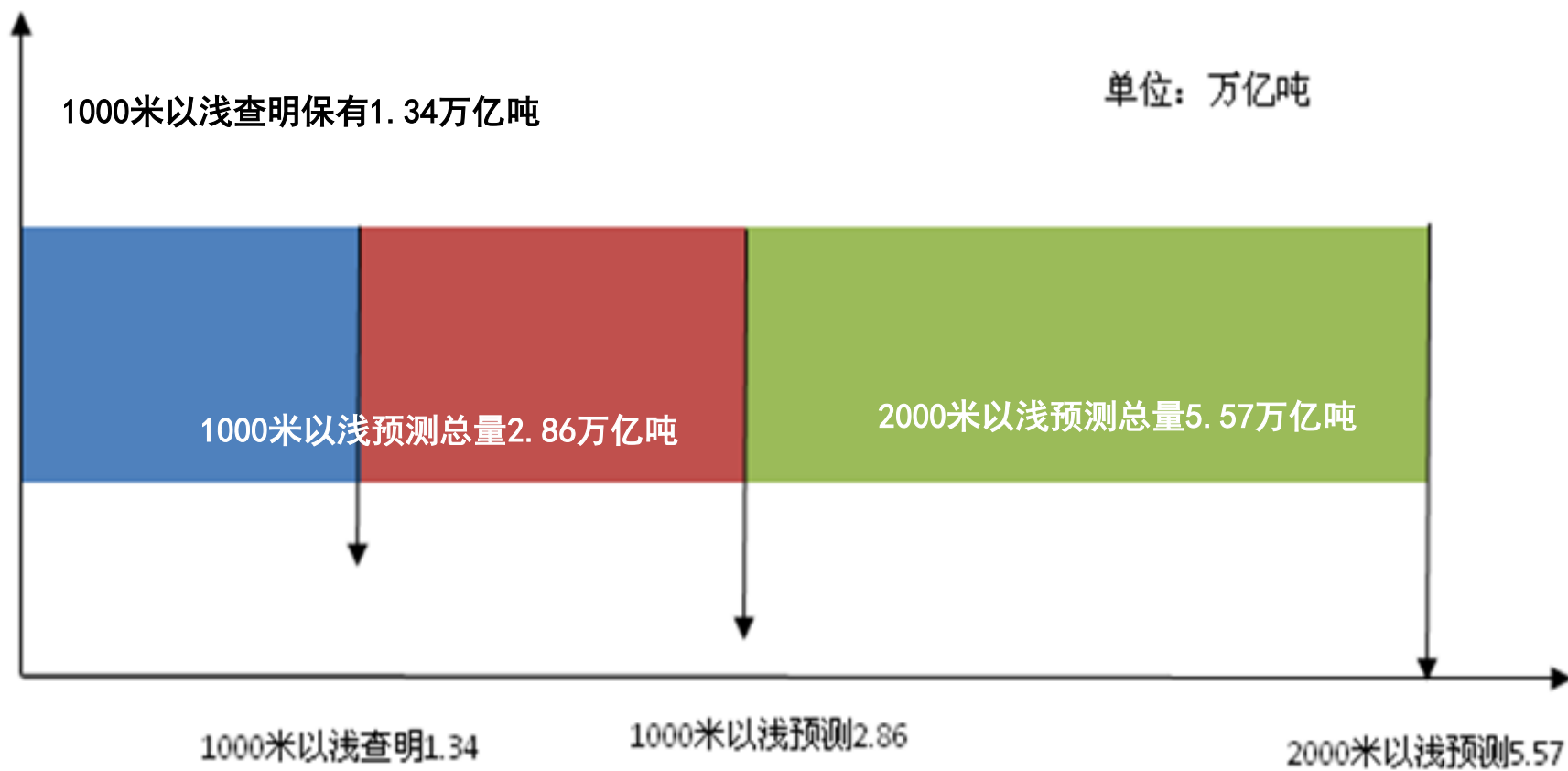
表 2-1 中国主要能源矿产储量

序 号	矿 产	单 位	2022年储量	2023年储量
1	煤 炭	亿吨	2070.12	2185.70
2	石 油	亿吨	38.06	38.51
3	天然气	亿立方米	65690.12	67424.52

注：油气（石油、天然气）储量参照国家标准《油气矿产资源储量分类》（GB/T 19492—2020），为剩余探明技术可采储量；其他矿产储量参照国家标准《固体矿产资源储量分类》（GB/T 17766—2020），为证实储量与可信储量之和，以下同。



中国煤炭资源情况



□ 各地区和部分国家煤炭证实储量统计

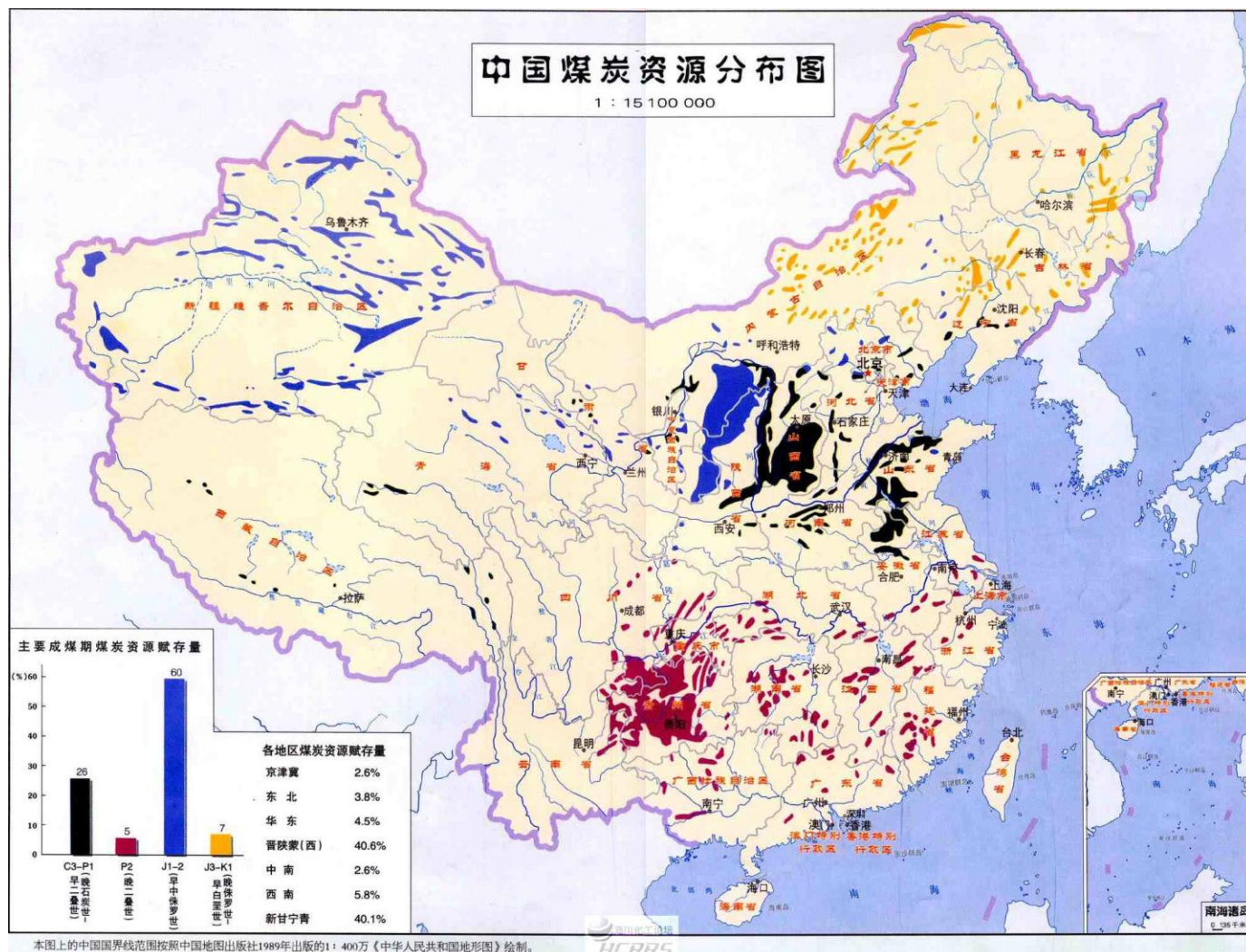
国家和地区	无烟煤与烟煤(百万吨)	次烟煤与褐煤(百万吨)	合计(百万吨)	占世界煤炭总储量比重(%)	储采比(年)
北美洲地区	225673	32339	258012	24.5	342(335)
美国	220167	30052	250219	23.7	365(357)
加拿大	4346	2236	6582	0.6	121(111)
中南美洲地区	8943	5073	14016	1.3	158(141)
哥伦比亚	4881	-	4881	0.5	58(55)
委内瑞拉	731	-	731	0.1	3239(1624)
欧洲地区	56132	78461	134593	12.8	215(159)
德国	3	36100	36103	3.4	214(206)
波兰	20542	5937	26479	2.5	216(203)
土耳其	551	10975	11526	1.1	139(115)
独联体国家	98123	90730	188853	17.9	329(397)
俄罗斯联邦	69634	90730	160364	15.2	364(391)
哈萨克斯坦	25605	0	25605	2.4	217(230)
乌兹别克斯坦	1375	0	1375	0.1	125(340)
中东和非洲地区	14354	66	14420	1.4	53(53)
南非	9893		9893	0.9	39(39)
亚太地区	331678	113210	444888	42.2	79(79)
中国	130851	7968	138819	13.2	38(39)
澳大利亚	68310	76508	144818	14.0	304(301)
印度	96468	4895	101363	9.6	132(136)
印度尼西亚	26122	10878	37000	3.5	67(49)
世界合计	734903	319879	1054782	100	132(134)
OECD国家	322234	177484	499718	47.4	291(282)
非OECD国家	412669	142395	555064	52.6	89(91)



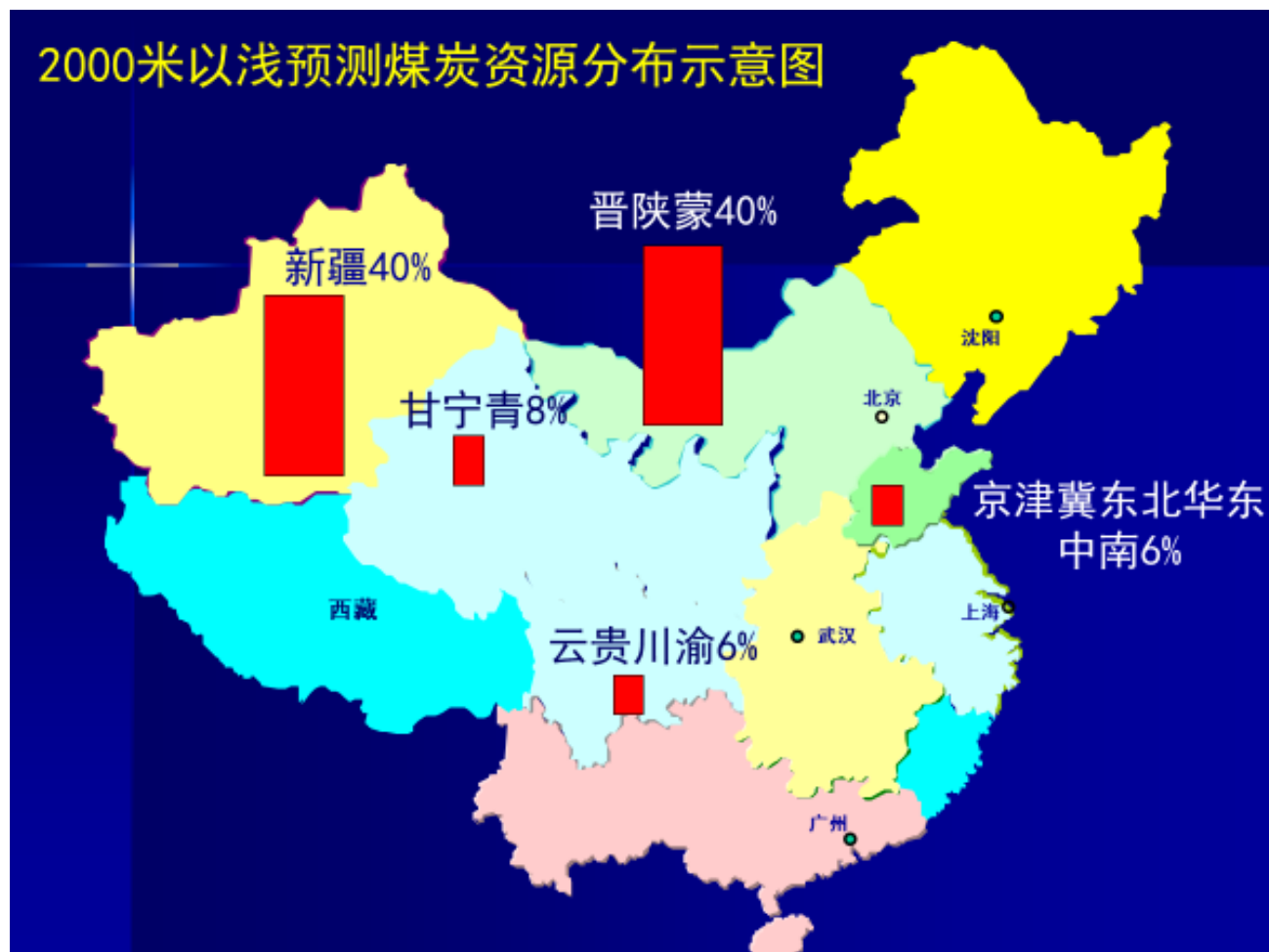
□ 中国煤炭资源分布特点

- 虽然我国是煤炭资源大国，但是资源分布极不平衡，具体呈现出“北多南少，西多东少”的格局。煤炭查明资源储量中超过90%的煤炭资源分布在昆仑山-秦岭-大别山一线以北的地区。煤炭资源分布与消费区逆向布局导致了我国西煤东运、北煤南调的客观现实。

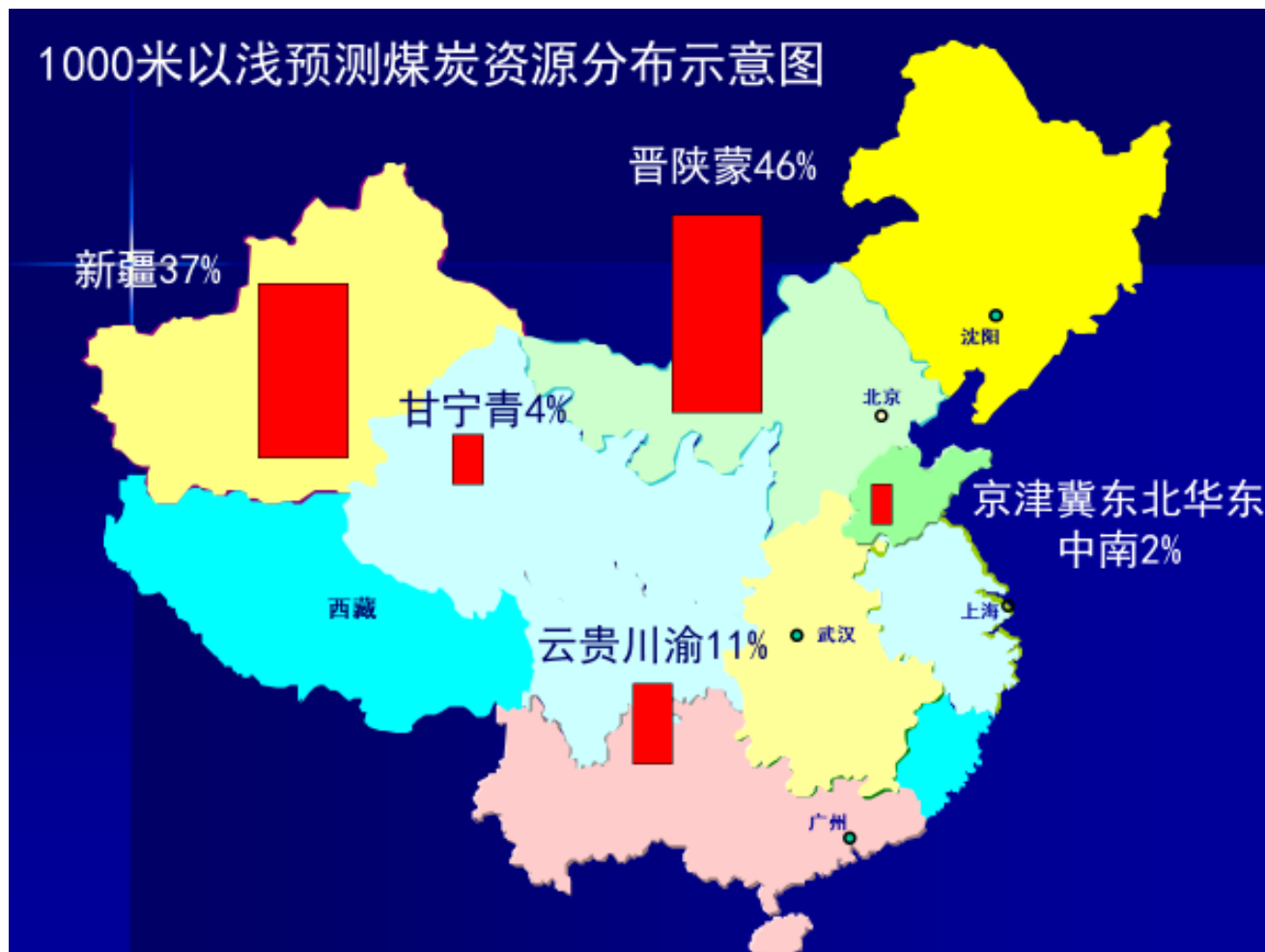
中国煤炭资源分布



中国煤炭资源分布



中国煤炭资源分布





□ 2024中国部分省份煤炭产量数据

排名	地区	2024年12月各省原煤产量			
		当月产量 万吨	当月增速 %	累计产量 万吨	累计增速 %
1	内蒙古	12061.9	11.6	129686.9	5.4
2	山西省	11252.7	-3.3	126873.8	-6.9
3	陕西省	6960.9	0.9	78003.7	2.0
4	新疆	5822.5	16.1	54077.0	17.5
5	贵州省	1354.5	3.8	14497.0	7.9
6	宁夏	895.2	9.1	10395.6	5.1
7	安徽省	892.0	-3.4	10559.6	-5.8
8	河南省	876.4	0.3	10429.0	1.4
9	云南省	753.4	-2.6	6612.2	-11.5
10	山东省	744.8	-1.9	8670.2	-0.4
11	黑龙江省	576.3	-2.6	5412.5	-21.5
12	甘肃省	533.5	4.6	6640.8	9.3
13	河北省	309.6	-20.9	4442.7	-4.1
14	辽宁省	267.8	4.5	3070.5	7.3
15	四川省	202.9	11.9	2161.9	4.2
16	湖南省	90.7	-13.9	906.2	-4.1
17	青海省	71.2	43.7	790.4	2.3
18	江苏省	66.9	32.7	923.8	13.5
19	吉林省	64.0	-21.4	867.0	-5.3
20	福建省	39.6	15.8	403.1	-0.6
21	广西	24.5	3.9	257.8	-2.9
22	江西省	12.2	-1.4	137.5	-4.0
23	湖北省	11.3	10.2	77.0	2.8



煤炭工业发展现状



□ 煤炭工业的定义

- 狭义来看，煤炭行业是指以开采煤炭资源为主的一个产业，它是国家能源的主要来源之一，也是国家经济的重要支柱之一。
- 广义的煤基能源产业以煤炭为基础，由煤炭开发、利用及转化等多个业态组成的产业体系。其中，煤炭开发主要指煤炭的开采环节，煤炭利用主要涉及发电用煤、工业用煤以及民用散煤等，煤炭转化主要是指代煤化工产业。



□ 2018年煤炭工业运行情况

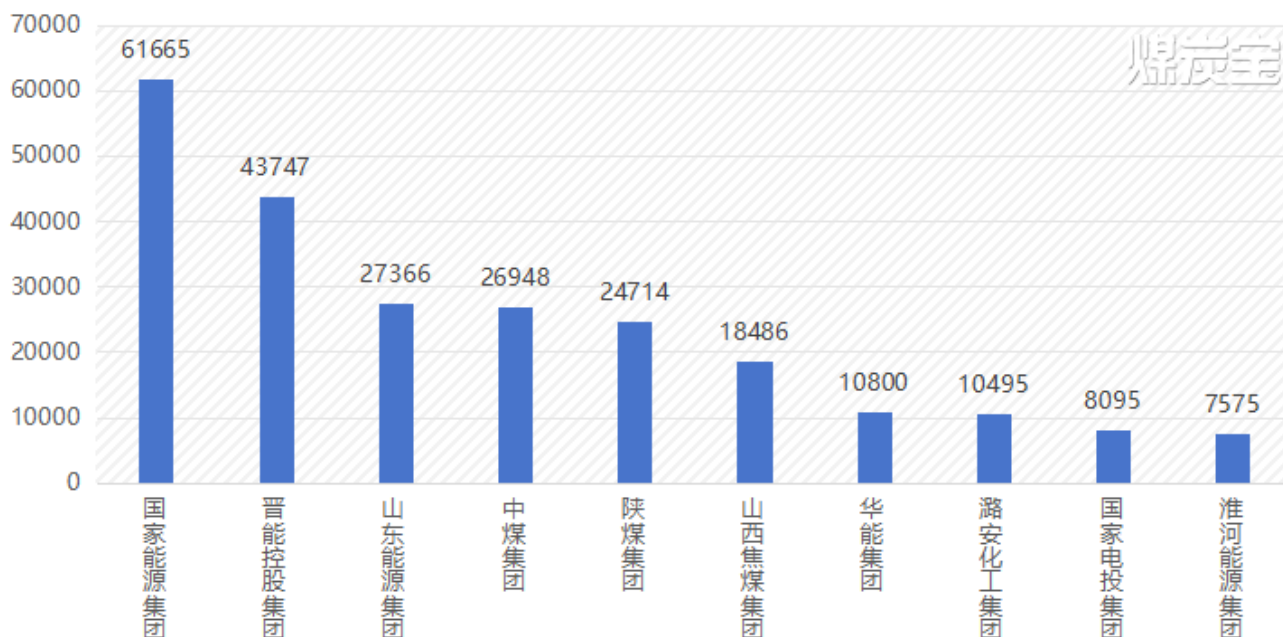
指标名称	计算单位	2018年	指标名称	计算单位	2018年
一.年末规模以上煤炭企业	个	4505	八.从业人数和工资		
二.主要产品产量			1.规模以上企业从业人员平均人数	万人	320.9
全国原煤产量(国家统计局口径)	万吨	370000	2.大型企业从业人员平均人数	万人	243.33
三.运量			3.大型企业在岗职工年平均工资	万元/人	6.9164
全国煤炭铁路运量	万吨	238100	十三.主要财务指标		
全国煤炭日均装车	车	64673	1.规模以上企业(国家统计局口径)		
全国主要港口煤炭发运量	万吨	81000	资产总额	亿元	55089
六.煤炭进出口量			负债总额	亿元	36170.9
进口量	万吨	28123.2	流动资产合计	亿元	20654.6
出口量	万吨	493.4	应收账款净额	亿元	2430.5
七.年末库存			营业收入	亿元	24645.8
煤炭企业库存	万吨	5500	营业成本	亿元	17545.2
电力企业库存	万吨	8141	利润总额(补贴后)	亿元	2888.2
重点港口库存	万吨	4243.3	资产负债率	%	65.66
秦皇岛港口库存	万吨	586			

□ 2023年主要煤炭企业产量

- 经过多年的行业整合，中国目前煤炭生产集中度较高。排名前10的煤炭企业产量占总产量51.5%，年产量千万吨以上的企业产量占比超过65%。

2023年原煤产量前十名企业

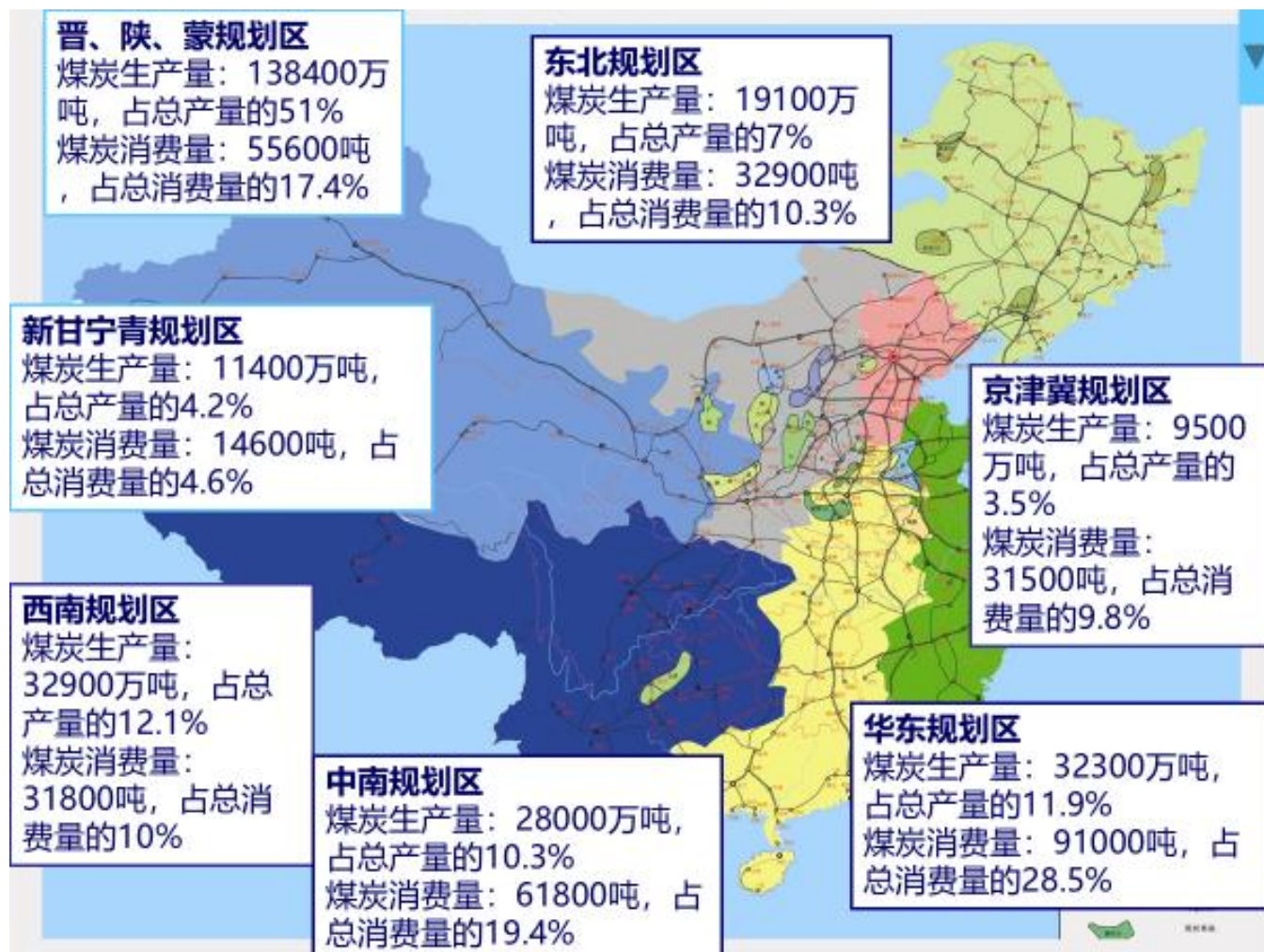
■ 产量 (万吨)



中国煤炭基地分布



中国煤炭基地分布





□ 煤基能源产业支撑国民经济发展的重要性

- **煤炭是保障能源安全稳定供应的基础。**中国庞大的能源消费量和煤炭在一次能源中的比重，决定了煤炭是保障能源安全稳定供给的基石，同时也决定了社会难以承受短期内煤炭的大规模退出所带来的冲击。2021年，煤炭占中国一次能源生产和消费的比例分别为67%和56%，在能源供应体系中发挥着“压舱石”和“稳定器”的作用。
- 煤炭作为煤电和供热的主要燃料、钢铁冶炼和化工利用的原料，以其资源可靠性和价格低廉性有力保障国民经济的高速发展。近年来，国内油气产量与快速增长的油气需求之间的缺口日益增大，油气对外依存度逐年上升。在国际政治经济形势不确定性日益增加的大环境下，中国能源安全形势不容乐观。可以预见在未来一段时期内，煤炭仍将是保障中国能源安全稳定供应的基础



□ 煤基能源产业支撑国民经济发展的重要性

- **煤电是利用现有能源基础设施的关键。** 2010-2019年中国火电电力工程建设累计投资5.26万亿元，形成了大量的先进火电机组。截至2021年，中国煤电总装机11.1亿千瓦，占全球总装机的的一半以上，其中超临界、超超临界燃煤机组占总煤电装机的44%，平均供电煤耗为302.2克标煤/千瓦时，然而这些机组平均服役年限却仅约为12年。截至2021年底，我国实现超低排放的煤电机组超过10亿千瓦、节能改造规模近9亿千瓦、灵活性改造规模超过1亿千瓦。李克强总理在2023年政府工作报告中提出超低排放机组的改造目标为0.5亿千瓦。
- **煤电机组呈现“存量、机组新、效率高”的特征。** 由于技术路径锁定效应，大量先进的煤电机组短期内难以退出。在没有经济可靠的大规模储能技术支撑的情况下，如果强行转变能源供应模式，淘汰现有能源基础设施，不仅会给相关企业造成高额的沉没成本与财务负担，更会对电力系统的安全与稳定构成威胁，并造成资源配置的无效率。因此，煤电将在短期内占据电源生产结构中的主导地位。



□ 煤基能源产业支撑国民经济发展的重要性

- **现代煤化工是煤炭清洁高效利用的有效途径。**中国以煤为主的能源生产与消费结构导致了日益增大的气候环境压力，逐年上升的油气对外依存度意味着较大的能源安全风险。这两方面因素对中国的能源结构提出了迫切要求，即中国亟需将油气供应短缺的劣势与煤炭资源相对丰富的优势融合互补，重构我国能源结构多元化局面。现代煤化工产业就是实现资源优势互补的重要手段。我国现代煤化工产业经过多年的发展，产业发展已形成一定规模。2022年煤制油、煤制气、煤制烯烃、煤制乙二醇的产能分别为921万吨/年，51亿立方米/年，1362万吨/年，478万吨/年。企业示范项目关键技术实现整体突破，工程示范取得重大成效，园区化、基地化格局初步形成。现代煤化工产业将实现煤炭的清洁高效利用进而保障能源安全。



□ 煤炭行业发展面临的挑战

- **碳约束下煤炭产业的生存空间日益缩小。**煤炭利用是我国二氧化碳排放的主要来源，因煤炭消费而排放的二氧化碳约占总排放量的60%，远高于发达国家水平。随着“2030年碳排放达峰”和“2060年碳中和”目标（下文简称“3060”目标）的提出，气候变化问题正从科学认识转变为政治承诺和具体行动，未来碳排放控制将日趋成为影响我国经济发展和能源转型的紧约束。但是，我国煤炭利用阶段的碳排放量大等问题仍然有待解决。此外，煤炭发展空间受到非化石能源挤压，增加了煤炭产业转型升级过程的被动压力。老矿城、煤炭资源型城市产业转型发展路径不清晰，就业人口安置问题凸显。随着煤炭利用引发的碳排放问题日趋严峻，如何平衡碳减排与煤炭利用间的矛盾，将是煤炭产业长期面临的问题和挑战。



□ 煤炭行业发展面临的挑战

- **碳约束下煤电产业面临功能定位和技术性的挑战。**近年来，随着可再生能源的产业化、规模化和商业化不断发展，其发电成本逐步接近传统能源，将逐渐成为我国电力供应的重要支撑。煤电亟需“转变角色”，即由传统提供电力、电量的主体性电源，向提供可靠电力、调峰调频能力的基础性电源转变，积极参与调峰、调频、调压、备用等辅助服务，提升电力系统新能源消纳能力，将更多的电力市场让渡给可再生能源。此外，煤电行业要顺应清洁化发展趋势，必须在二氧化碳全面深度控制方面主动作为。清洁低碳的能源体系目标对煤电的电源角色定位及其技术环节提出了更高要求。



□ 煤炭行业发展面临的挑战

- **碳约束下煤化工产业的环境负外部性问题日益严峻。**煤化工行业可分为传统煤化工和现代煤化工，虽然传统煤化工仍是我国煤化工行业的主体，但从发展的眼光来看，现代煤化工将逐渐成为其主流业态，因此本研究关注现代煤化工行业。碳排放以及水耗是煤化工产业发展的主要挑战。煤化工的水资源消耗问题可以通过技术升级的手段进行有效应对，而碳排放则会随着煤化工产业规模的扩大而加剧。高碳排放强度是煤化工需要克服的难题，碳排放压力带来的高额碳减排成本是现代煤化工产业发展进程中的主要阻碍。



□ 课外扩展

- 中国没有造出蒸汽机，真的是因为江南不产煤吗

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1661750185420090327&wfr=spider&for=pc>