倪维斗：中国煤炭清洁高效利用之路

能源和环境是当今人类面临的两大问题，倪维斗，这位清华大学教授、中国工程院院士在公开发表的演讲--《中国煤炭清洁高效利用之路》中提出:未来，单一技术和技术组合难以解决能源困局，系统整合和战略规划才是关键。

倪维斗教授在2017国际工程科技发展战略高端论坛上发表演讲

煤炭的贡献不可忽视

以煤为主是符合我国资源禀赋的不可变化的事实，其他替代能源只能是辅助能源，而不能成为主力。

中国的发展，尤其是改革开放以来巨大的进步，煤起了巨大的作用。而今，由于环境的影响，尤其是PM2.5雾霾的污染，人们把罪魁祸首指向煤的利用，当年的功臣被妖魔化，变成老鼠过街人人喊打，变成飞鸟尽，良弓藏，狡兔死，走狗烹。把屁股板全打在煤身上，实际上这是很冤枉的，不能真正解决问题。

我国这么多的人口，都希望过现代化的生活，社会要不断发展，技术在不断进步，能源需求越来越大，2016年我国能源消耗总量已达43.6亿吨标准煤，在我国缺油、少气的资源条件下，靠什么能源来满足?

除煤炭外，其他能源潜力不大

天然气

现在很多人把希望寄托在天然气身上，中俄燃气(中国和俄罗斯的天然气合作供应协议)380亿立方米，相当于2700万吨标准煤；我国的天然气储量为3600亿立方米，相当于2.6亿吨标准煤，已是极限。目前天然气的用量是煤的1/20，远期来看，天然气的用量仍将只是煤的1/15。

核电

2016年的装机量是3364万千瓦，年发电量为2133亿千瓦时，占全部发电总量的3.5%。规划2020年装机5800万千瓦，到2030年装机1.2亿千瓦，发电8000亿千瓦时，折合来看是1亿标准煤。铀资源的贫乏，100万千瓦机组建堆时首次要339吨铀，每年还要补充15吨铀235和铀238，铀进口依存度已超过90%。核电不能成为我国能源发展主要方式，只能是补充方式。

水电

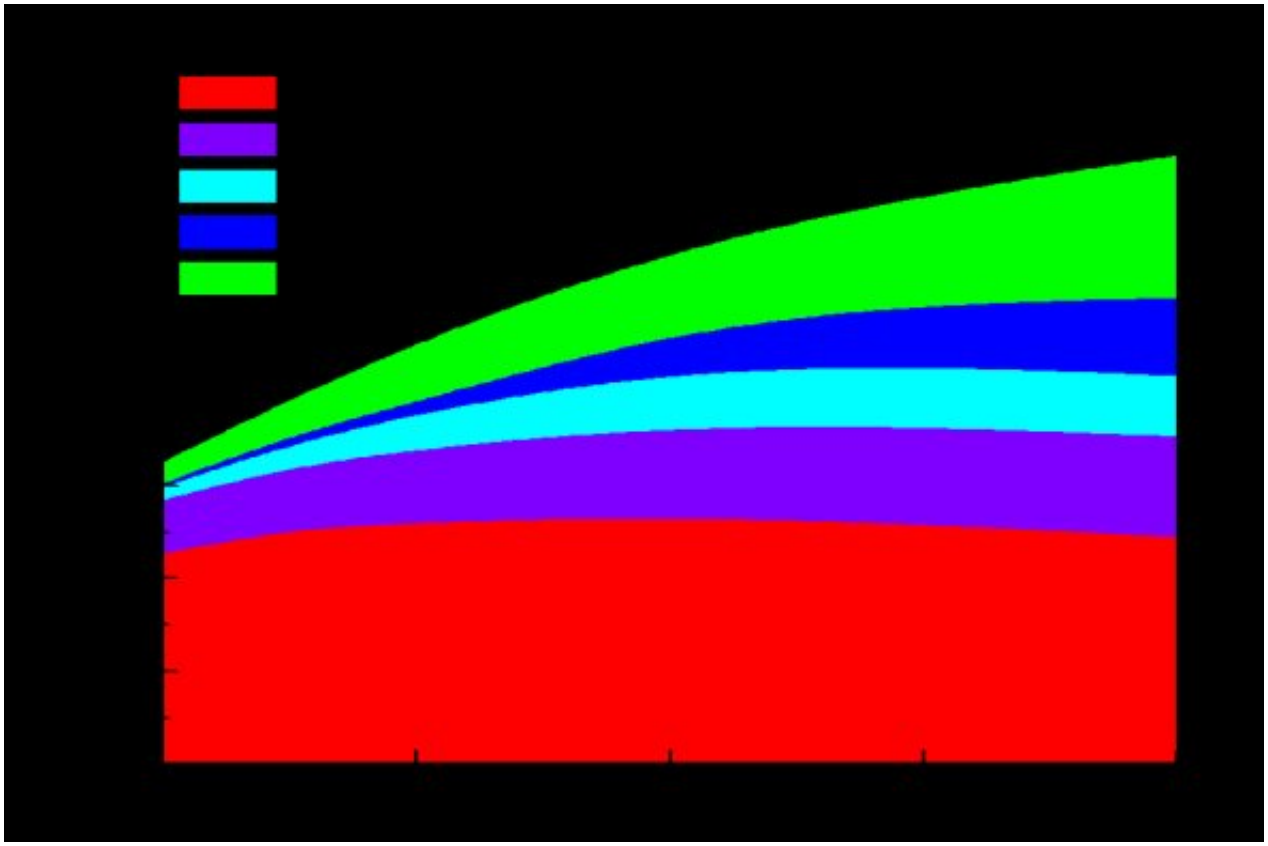
来看水电，7亿千瓦的理论蕴藏量装机，技术可开发不到5.5亿千瓦，而经济可开发4亿千瓦。2016年发电量1.19万亿千瓦时，相当于约2.15亿吨标准煤。水电装机容量已达3.32亿千瓦，开发度已达到了75%，剩下的1亿千瓦中包含有雅鲁藏布江的蕴藏量，实际开发方面存在国际问题。水能只占全世界按人口平均的25%，风电、太阳能只占能源消费总量的几个百点。

天然气、核电、水电、风电、太阳能等发电量加起来≈7.0亿吨标准煤，这相比2016年我国40多亿煤的能源消耗，是

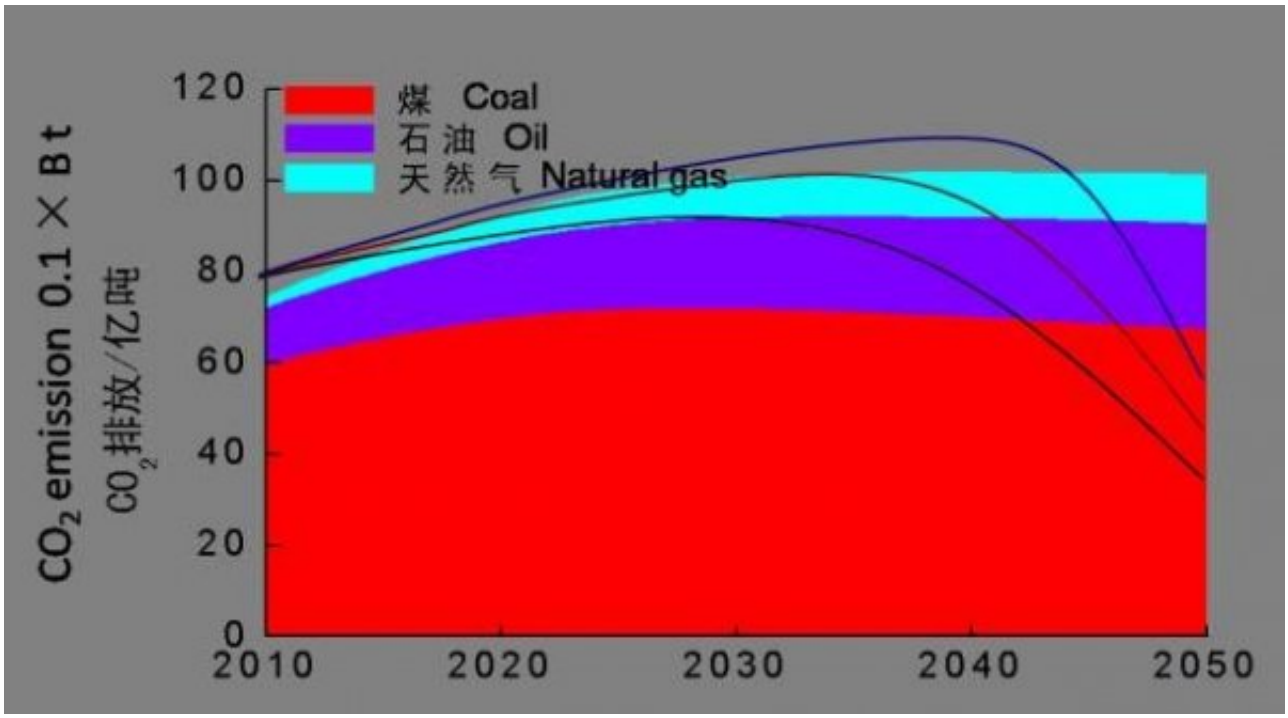
个小数。山西内蒙一带的几千亿吨煤才是我国能源的根本保障。

能源和环境形势严峻

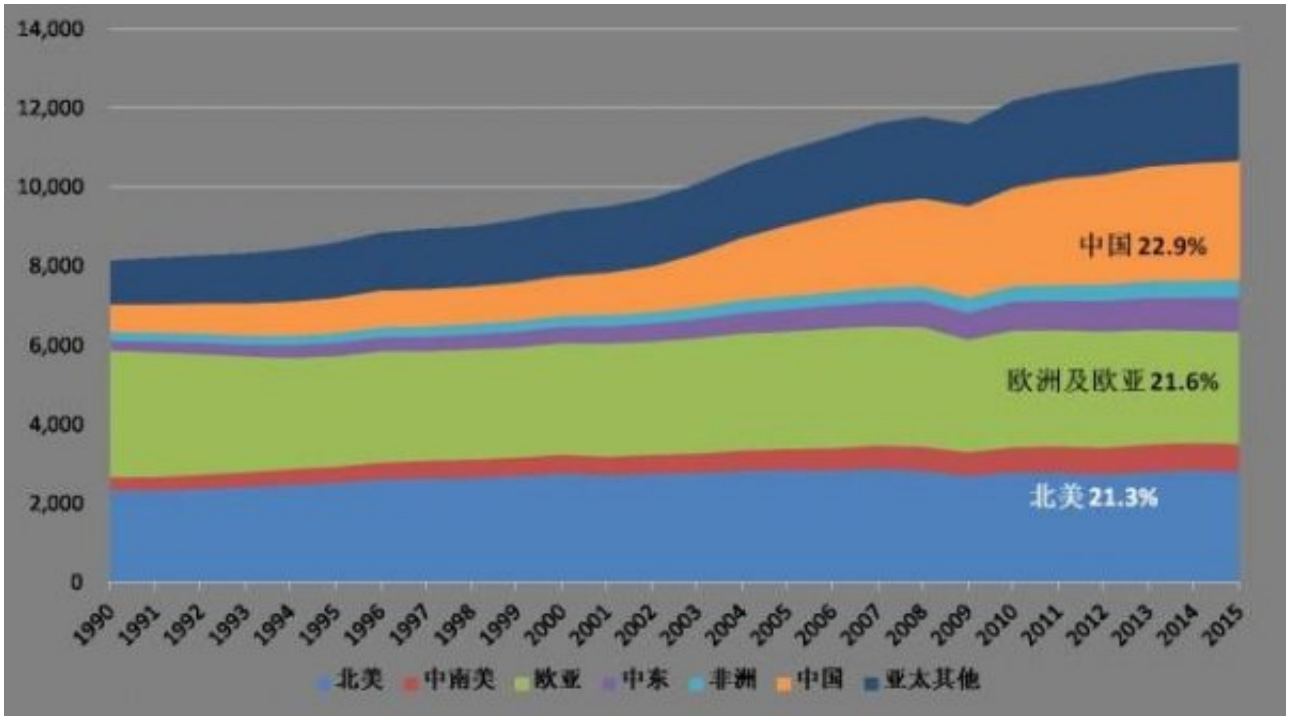
中国能源系统根本特点:以煤为主，人口多。2010－2050年预测累计煤炭消费≈1000*108 tce，煤仍是主力能源。2014年我国人均能源消费量约为3.1 tce/a，远低于美、德、法、日等国，预计2030年我国人均能源消费量4 tce/a(预计人口14亿)。(tce/a:每年标准当量煤)



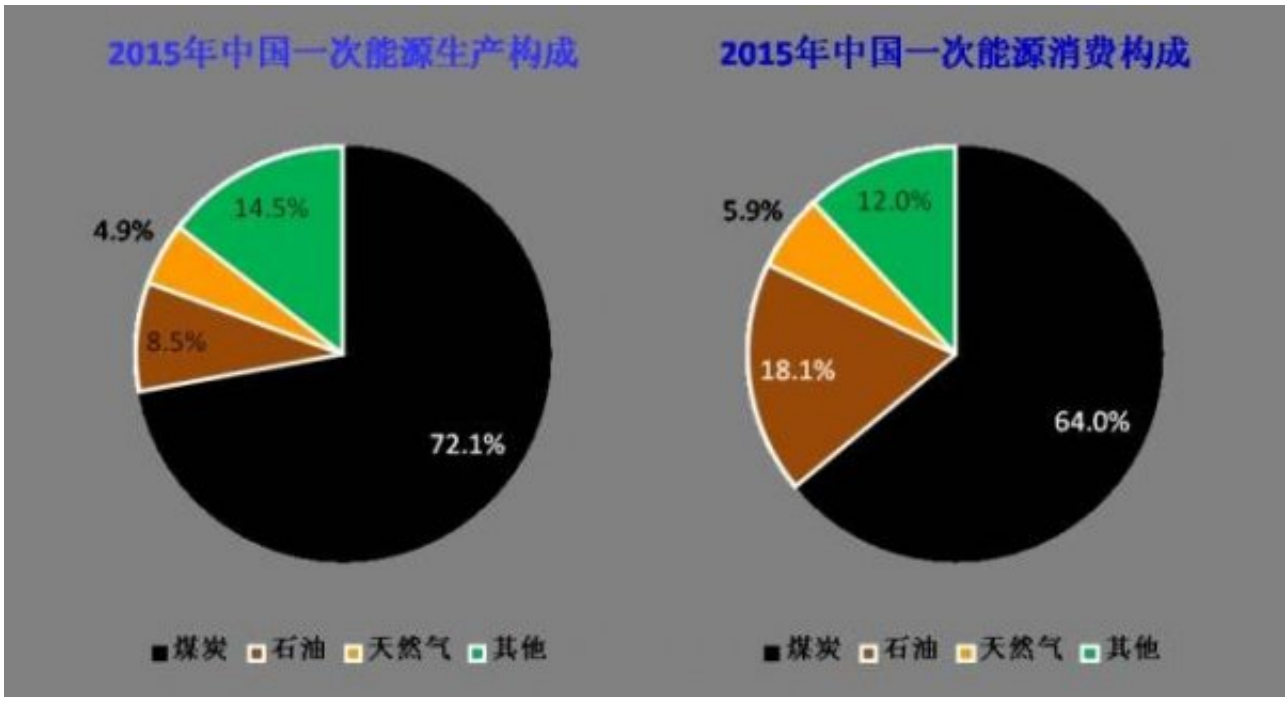
我国在2030年后大幅度减排CO_2主要还是靠煤的清洁低碳利用!



我国一次能源消费占全球能源消费的22.9%。2015年，全球能耗是1990年的1.6倍，而中国已经是1990年的4.4倍。2015年一次能源对外依存度15.8%，其中原油61.7%，天然气30.1%，煤炭4.9%。



中国能源生产和消费结构:以煤为主!



我国能源系统亟待解决两大问题

1、传统发展方式难以为继

以高耗能、尤其耗煤为主换取发展，造成严重的生态环境影响；由于技术路径锁定效应(行为习惯、思想意识、体制机制、基础设施、既有产能)，这种方式仍有较大的惯性。

2、新的发展方式尚未形成

油气的发展面临国内资源不足和国际价格波动等问题，受到一定限制；核和可再生能源发展困难重重，供应过剩(弃风弃光等)、电网接纳、经济性等；节能面临缺乏投资、环保意识不强、基础设施和产能锁定等一系列挑战。

能源系统将较长时间处于新旧发展方式并行的发展状态，推进能源系统的革命对整个社会的创新(体制、意识、技术、基础设施等)提出了巨大挑战。

单一技术和技术组合难以解决能源困局，如何通过权衡取舍，精心组合和安排这些手段，以求系统性、最佳地解决问题--系统整合和战略规划。在煤的利用上做文章，走煤的清洁、高效、低碳利用之路。

煤炭清洁高效转化如何实现?

1.先进的燃煤发电技术

一是采用先进的燃煤发电技术，进一步提高能效，减少排放。如:上海外高桥第三发电厂。

该厂当前的实际运行性能，在全年平均负荷率为75%~81%的条件下，其实际全年平均供电煤耗(包括脱硫和脱硝)276gce/kWh，折算到额定负荷下的供电煤耗为264gce/kWh，全年平均实际供电效率(包括脱硫和脱硝)为44.5%，折算至额定负
荷工况，则供
电效率应为46.5%。而2015年
全国发电平均煤耗318gce/kWh。排放浓度:粉尘排放7.55m
g/m^3；二氧化硫17.7mg/m^3；氮氧化物15.19mg/m^3，已经达到了气体燃料的排放指标。

对比原世界运行效率最高的丹麦Nordjylland电厂3号411MW两次再热、低温海水冷却机组，2009年供电煤耗(不含供热)286.08gce/kWh(净效率42.93%)，平均发电负荷率89%。折合75%负荷率下的供电煤耗288.48gce/kWh。应该说，我国的燃煤发电技术是走在世界前列的。

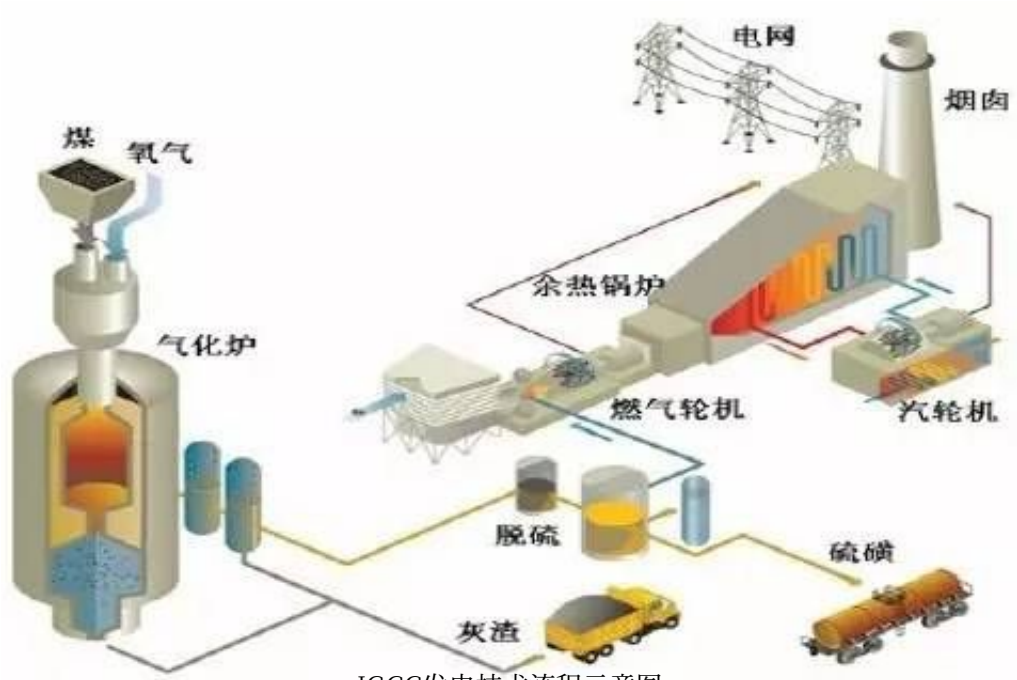
但减排的根本问题是CO_2的捕捉与处理，这是上海外高桥第三发电厂模式所不能处理的问题。

2.整体煤气化联合循环 IGCC

IGCC即整体煤气化联合循环(Integrated Gasification Combined
Cycle)，是将煤气化技术和联合循环相结合的动力系统。华能公司在天津建成了一套200MW级的IGCC电站。

华能天津IGCC电站示范项目(已投运)鸟瞰图

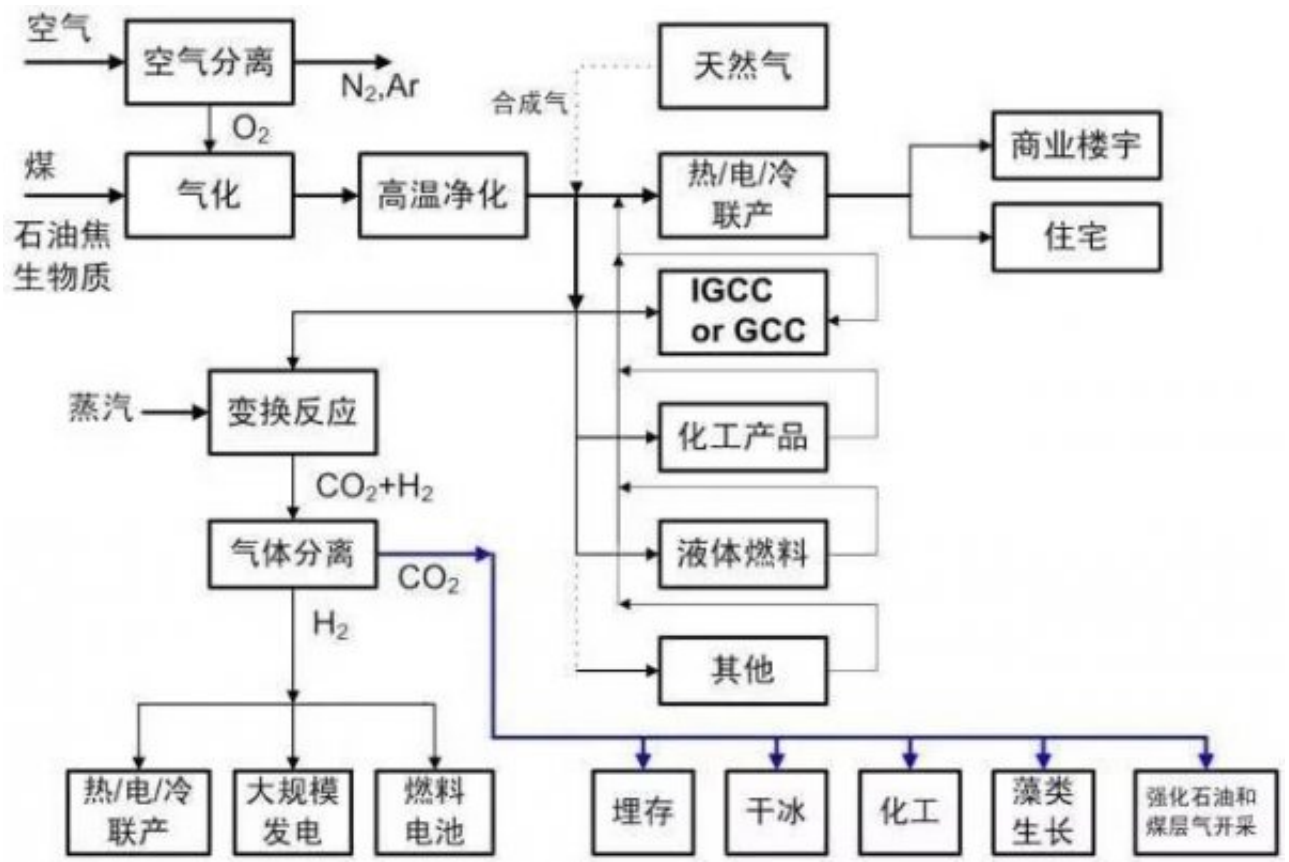
IGCC技术把洁净的煤气化技术与高效的燃气——蒸汽联合循环发电系统结合起来，既有高发电效率，又有极好的环保性能，是一种有发展前景的洁净煤发电技术。IGCC系统的供电效率为41%，捕捉CO2较容易，但由于单位装机投资较大，所以，以气化为基础的IGCC只用于发电在经济上有较大问题，暂不适合推广。



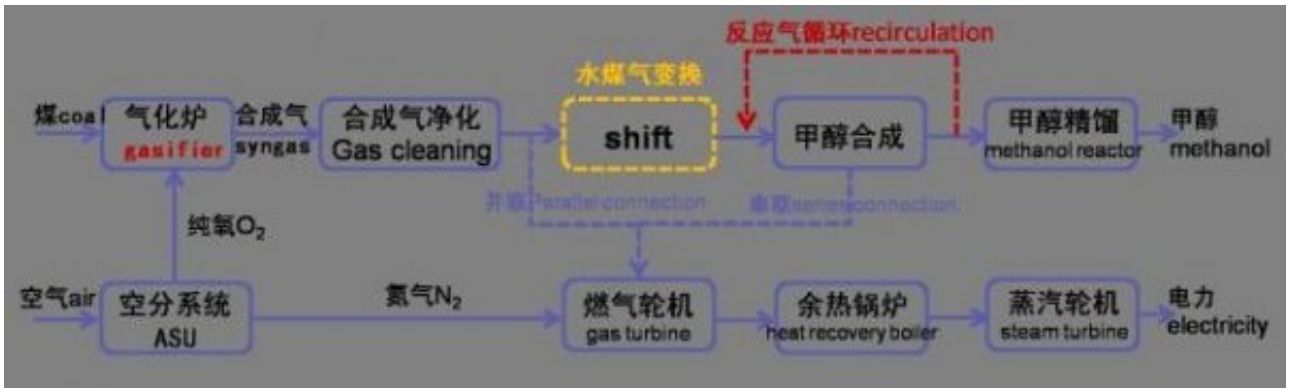
IGCC发电技术流程示意图

3.煤基多联产能源系统技术

煤基多联产是指利用从单一的设备(气化炉)中产生的"合成气"(主要成分为$CO+H_2$)，来进行跨行业、跨部门的生产，以得到多种具有高附加值的化工产品、液体燃料(甲醇、F-T合成燃料、二甲醇、城市煤气、氢气)、以及用于工艺过程的热和进行发电等。

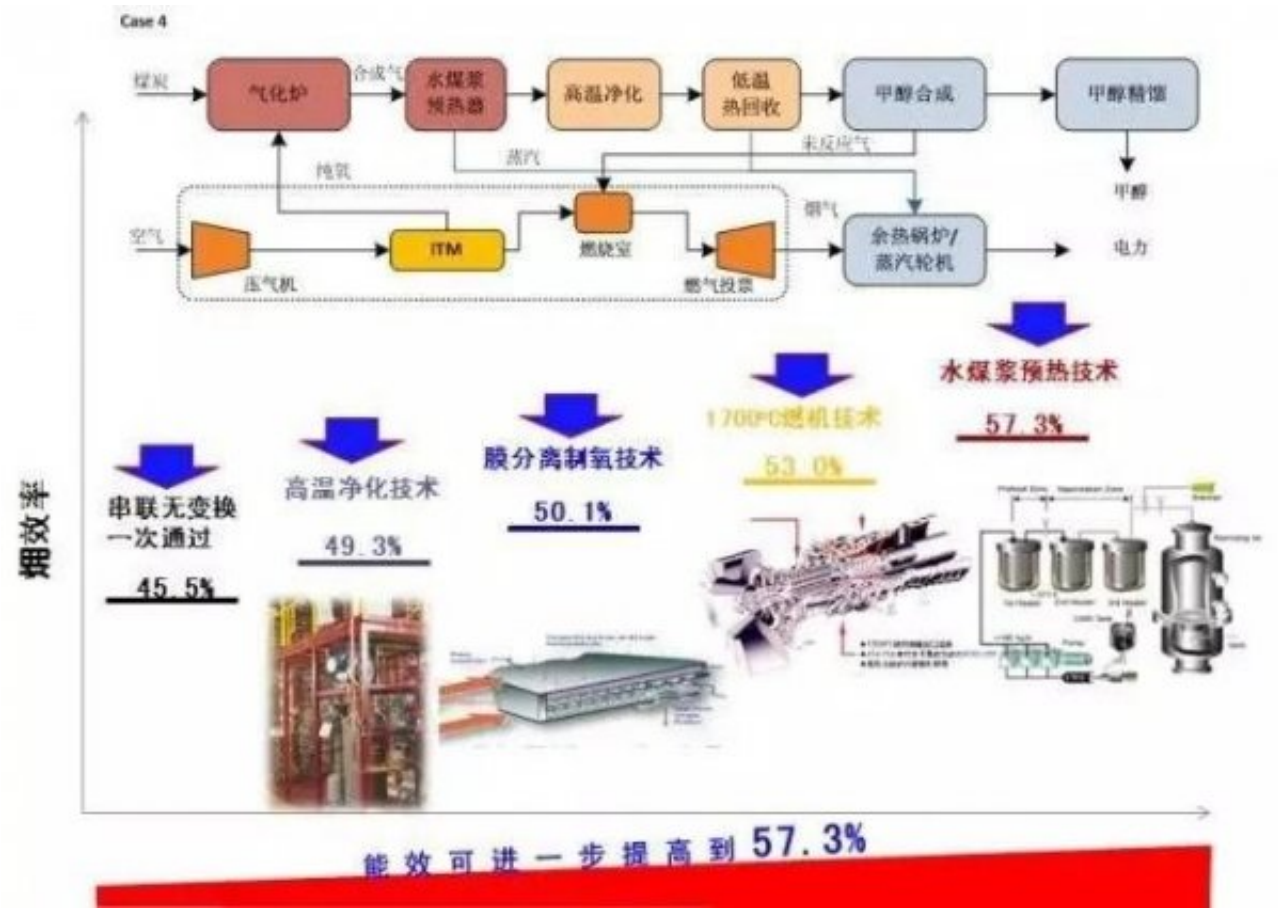


多联产可以实现煤炭的多维度梯级利用，其应用过程相互耦合，实现能量流、物质流等总体优化。做到了氢碳比合理优化利用，尽量减少"无谓"的化学放热过程，并实现热量的梯级利用、压力潜力和物质的充分利用。



另外，电力与化工在运行中可起相互调峰的作用。通过过程集成，联产系统可以在能量利用上获得收益。与单产系统相比，并联系统中获得的节煤收益甚微；而串联系统的节煤效果显著，特别是串联无变换系统，节煤率能够达到8%。

此外，伴随单元技术进步，如高温合成气净化、离子膜分离制氧、1700摄氏度燃气轮机及水煤浆预热等技术，多联产能效可以进一步地提升。



多联产是综合解决我国能源问题的重要方案。

1、有助于缓解能源总量要求

联合生产多种产品，效率提高可以减少总量需求；采用高硫煤拓展了煤炭资源的利用。

2、有助于缓解液体燃料短缺

可以大规模地生产甲醇、二甲醚、F-T合成油和氢等替代燃料，缓解石油进口压力。

3、彻底解决燃煤污染问题

完全消除常规燃煤污染物排放，重金属等痕量污染物脱除更经济。用甲醇来采暖、小锅炉、窑炉，可大幅度减少散煤燃烧。

4、有助于解决快速城市化引起的小城镇和农村洁净能源问题

为具有天然气管道的城镇提供城市煤气，煤制DME可以作为LPG的补充或替代物，很可能是小城镇尤其是住宅高度分散的农村地区的重要解决方案。

5、满足未来减排CO_2的需要

煤气化系统可以以较小的成本捕捉CO_2。在煤的清洁高效利用方面电化共轨有很大潜力，是煤炭发展的重要方向。

总之，依托最先进的节能和环保技术，煤炭完全可以更清洁，与环境更友好，更符合科学可持续发展的理念，我们应重新审视对煤电的认识，放心地在城市建设真正的绿色煤电。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/news/117857.html