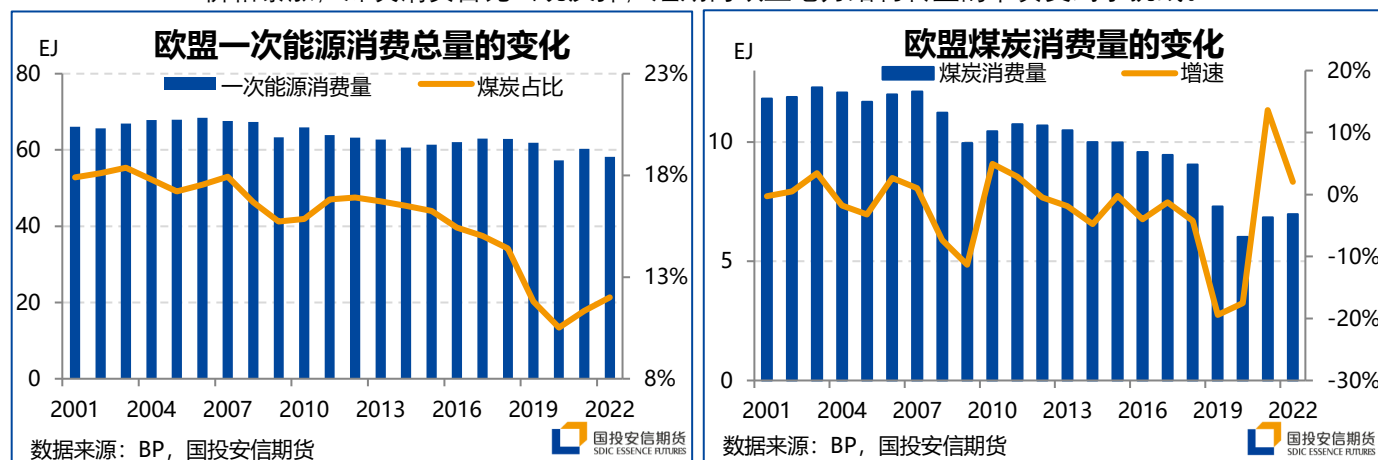


## 【能源转型&碳中和】电力系统能源转型对大宗商品的影响之一：欧洲经验

国投安信期货 李祖智

作为全球对于环保和碳排放政策推行最为积极的地区之一，欧盟也是全球电力消费结构转型中最为领先的地区，煤电退出的进度最快。从一次能源消费的角度来观察，欧盟的煤炭消费量在 2003 年便已达峰，并自 2008 年开始出现了持续下降的趋势。在 2008-2014 年，煤炭消费量下滑的主要原因是欧盟一次能源消费总量的下滑；而 2014 年之后，由于更为激进的环保政策，尽管一次能源消费总量的下滑并未加速，但煤炭消费在能源消费结构中的占比开始明显下滑，从而导致煤炭消费进一步缩减。2021 年以来，由于俄乌冲突带来天然气价格暴涨，煤炭消费占比出现反弹，短期内欧盟电力结构转型的节奏受到了挑战。



实现碳排放的减少是欧盟能源消费转型的核心驱动力，基于此目标欧盟在推动电力系统结构转型的过程中最主要的发力点是退出煤电。本文从煤电退出的角度来分析欧洲电力系统能源转型的进程，认为影响煤电退出的直接因素可以分为政府政策、短期电力市场中煤炭-天然气燃料替代和长期电力市场中新能源的冲击三个方面。下文将具体分析三个维度影响因素的具体内容和 2021-2022 年欧洲能源危机对电力系统能源转型的反馈，进而推导出这一历史进程对动力煤和天然气消费量的影响节奏。

### 一、政府政策调控

在签署了《京都议定书》、《巴黎协定》等控制碳排放的目标性文件之后，欧盟内部于 2021 年通过了《欧洲气候法》，明确 2030 年碳排放量较 1990 年减量 55% 的中期目标，和在 2050 年实现碳净零排放的长期目标。该法案实现了对于减碳目标的强制性法律约束，各成员国也相应推出了自身的气候应对法案，设立了减排目标和退煤时间表。

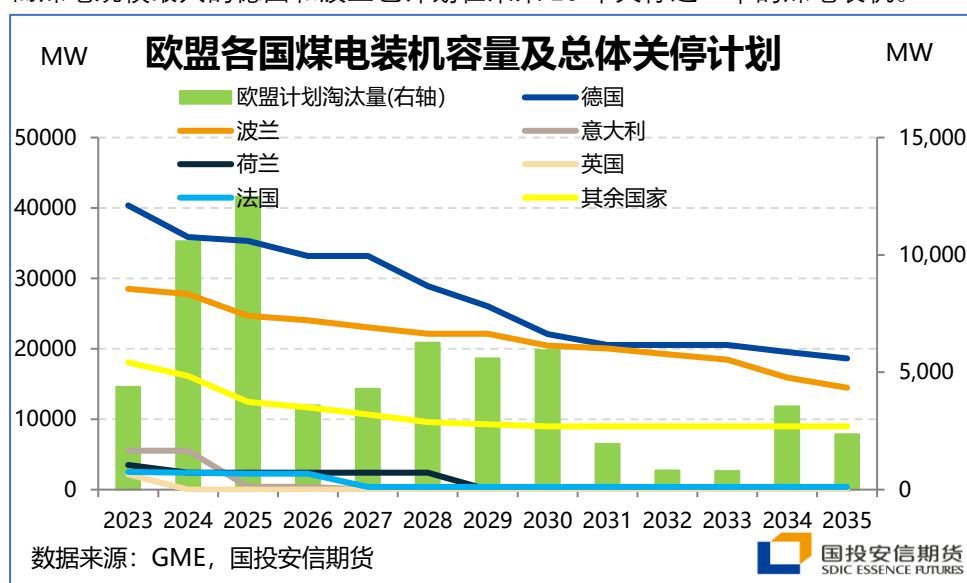
具体到煤炭领域，欧盟层面并未直接提出具体的煤炭消费削减目标，只在 2017 年提出了煤炭地区转型倡议（Initiative for coal regions in transition），致力于提供技术、资源等帮助来促进欧盟内部涉煤炭产业地区实现能源转型。对于如何退煤的具体执行方式，则由各国自身的法案来决定。以德国为例，作为欧洲大国中煤炭产量和煤电规模最大的国家，2021 年 9 月通过了《燃煤发电减少及终止法案》（简称《退煤法案》），设定了压缩煤电的进度和 2038 年完全淘汰煤电的最终目标，在方法上实行几轮招标，每轮招标中对于计划规模的煤电站在一定金额上限之下给予补偿以使其关闭。此外德国还通过了《加强煤炭地区结构调整法案》，对于国内三个主要煤矿产区提供资金推动产业转型、建立专项资金鼓励煤矿业老年员工提前退休、对煤电厂和煤矿经济依赖度高的社区进行转型补贴等。

截至 2023 年，欧盟绝大部分国家均已提出明确的退出煤电计划，其中奥地利、瑞典、葡萄牙等国已在 2021 之前完成煤电退出，其余大部分国家也计划在 2030 左右或之前完成煤电退出。德国和波兰作为目前欧盟煤电发电量前两名的大国，受影响较大因而退煤目标明显较晚，分别计划于 2038 年和 2049 年完成煤电退出。英国虽已退出了欧盟，但也在 2021 年提出在 2024 年完全退出煤电的计划，较此前隶属欧盟时公布的计划提前一年。



数据来源：European Commission，国投安信期货

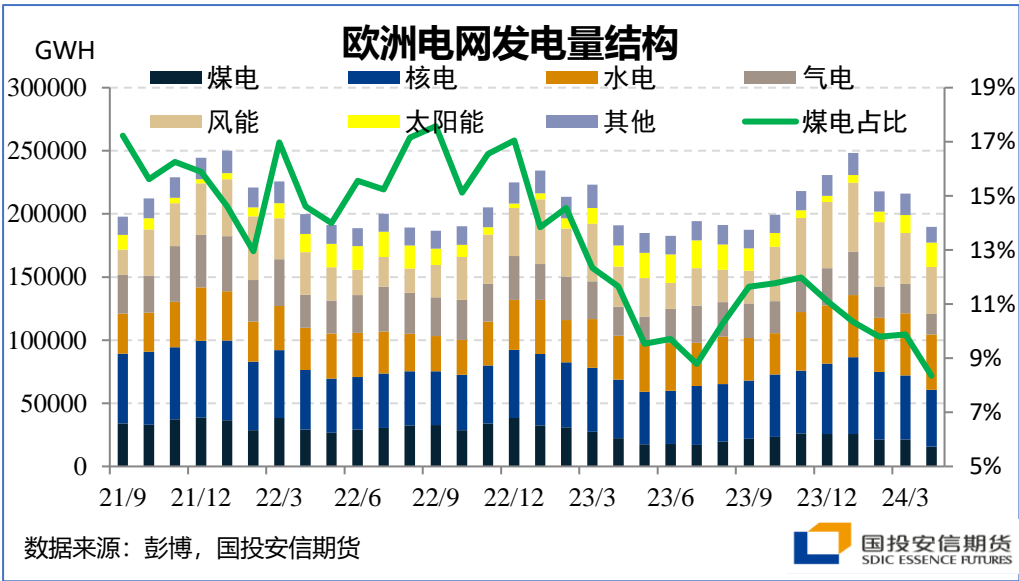
从煤电站的关停节奏来看，欧洲地区煤电机组的淘汰规模从 2012 年开始上升，并在近几年维持着相当可观的速度。截至 2024 年 1 月，从目前已经确定的煤电站关停计划来看，欧洲煤电站在近两年的淘汰规模将持续增高，并将于 2028-2030 年再度上升。可以看到在欧洲的主要国家中，至 2025 年法国、英国、荷兰和意大利等国会将剩余煤电站基本全部淘汰，而煤电规模最大的德国和波兰也计划在未来 10 年关停近一半的煤电装机。



在 2022 年 2 月俄乌冲突爆发后，欧洲面临着与俄罗斯能源脱钩和自身经济下行压力加剧的挑战，其煤炭消费转型的节奏受到了干扰。在政策方面，欧盟方面最新政策为 2022 年 5 月提出的 RePowerEU 计划，其内容包括增加天然气供应来源的多样化、建立天然气库存

目标、节约油气资源消费等内容。此外与电力市场较为直接相关的，还有加大力度投资可再生能源。在 2023 年 3 月已通过的临时决议中提出将 2030 年可再生能源占比进一步提升至 42.5%，并在之后继续投票以将目标提高至 45%；此外还计划建立欧洲太阳能产业联盟，计划太阳能装机总量到 2025 年实现 320GW 以上，到 2030 年实现近 600GW。

由于能源危机期间欧洲天然气短缺，部分国家暂缓了煤电厂关闭的节奏：德国通过法案将部分煤电厂的使用寿命延长至 2023 年 4 月；法国于 2022 年 11 月重启了一座 600MW 的煤电站；英国在 2022 年 12 月让 2 座 570MW 的煤电机组进行预热。但是从长期目标来看，**欧盟主要国家并没有推迟退煤计划表，这些重启的煤电站也多数以紧急时刻备用为主。**随着 2023 年新能源发电的好转和欧洲天然气紧张态势缓解，欧洲煤电占比再度出现明显下滑，至 2024 年 4 月，其煤电占比创历史新低，下降至 8.4%。



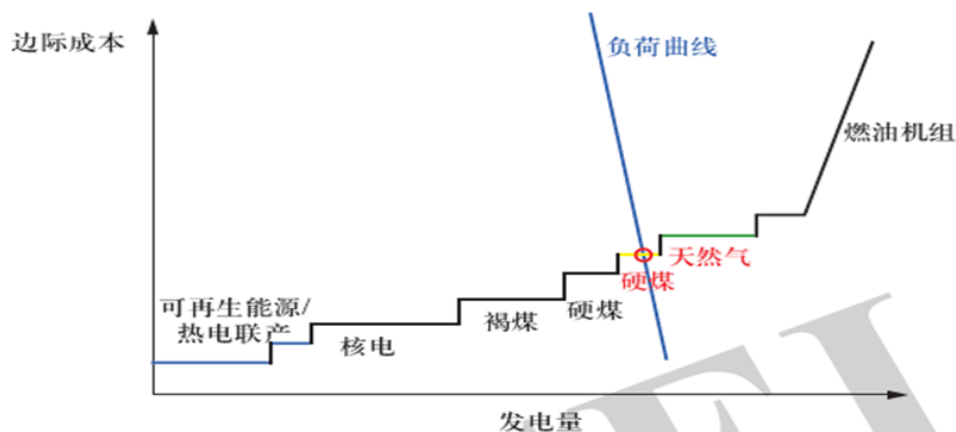
## 二、短期平衡：动力煤-天然气燃料替代

煤电的退出除了政府出于政策目标主动关停外，另一原因是碳税导致其成本高企，亏损压力使得煤电站减少维护，并在使用寿命临近后自行退出。欧盟碳市场是全球运行较早、最为成熟的市场之一，自 2005 年成立后目前已进入第四阶段（2021-2030 年）。各阶段的推进中，碳税的免费配额越来越少、纳入管辖的经济活动越来越多加之欧盟采取收储等调控措施，碳排放权价格总体持续上升，并相应推高了煤电的成本。

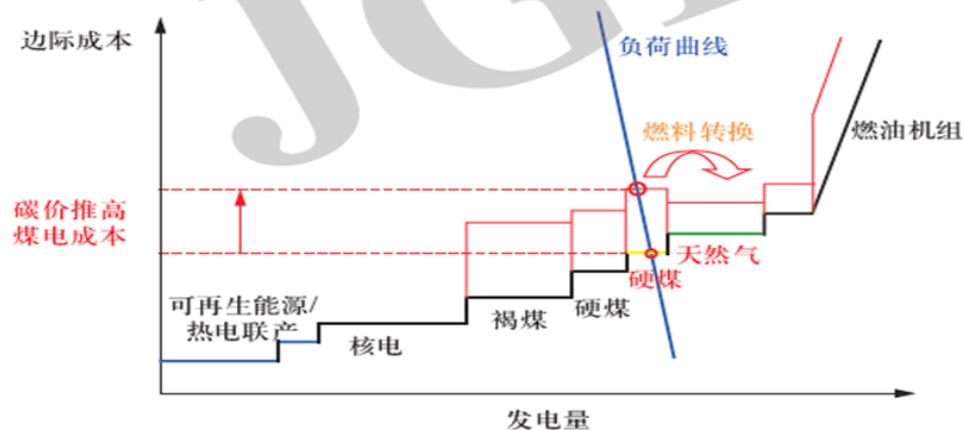
在各类型的电源中，新能源具有最好的环保优势，但其发电量受天气影响极不可控；核电与水电的碳排放量也极低，但核电的灵活性较差且欧洲各国出于安全考虑也有退核的计划，水电开发则高度受自然禀赋的影响，因此天然气发电在短期市场平衡中对煤电起到最好的替代作用。据 IEA 数据，单位百万英热的天然气燃烧释放 53.07 千克 CO<sub>2</sub>，而单位百万英热的煤炭燃烧则会释放 95.35 千克 CO<sub>2</sub>，接近前者的两倍，因此天然气是退煤过程中的核心过渡能源。

在欧洲的日前电力市场中各机组按边际成本高低进行排序，然后由当日竞拍中的最高边际成本者决定市场电价。通常情况下，天然气单位热值价格会高于煤炭，在不考虑碳税成本时煤电会较气电机组更有竞争力；加入碳排放成本后能把煤电的边际成本提升至高于气电的水平，从而实现发电量燃料从动力煤向天然气的转换，这就是碳税带来的煤电-气电替代效应。

图：碳税对欧盟电价边际决定者的影响



(a) 引入碳价前的优先次序曲线和出清机组



(b) 引入碳价后优先次序曲线和出清机组

数据来源：《欧洲碳市场推动电力减排的作用机制分析》，国投安信期货

在不考虑电厂经营成本时，发电边际成本可粗略认为是：

**边际燃料成本+对应燃料碳排放量\*碳税价格**

那么当出现：

**单位发电耗煤量\*煤价+单位煤电碳排放量\*碳税价=单位发电耗气量\*气价+单位气电碳排放量\*碳税价**

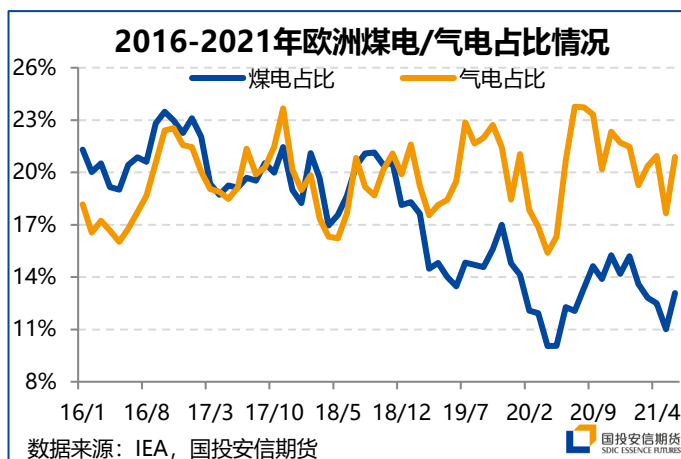
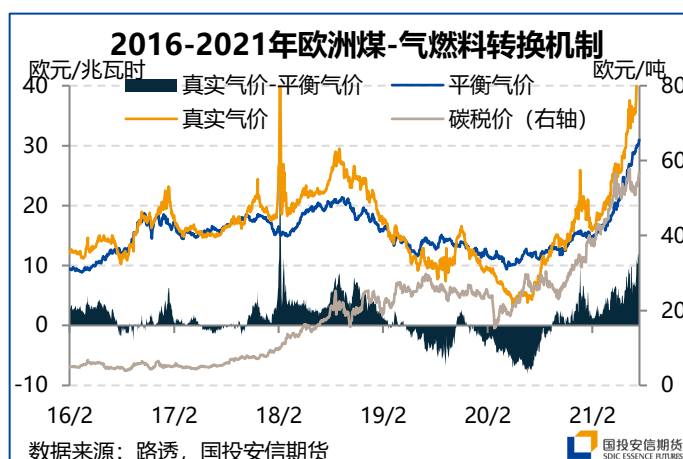
即煤电和气电边际成本相等时，我们可认为煤电与气电形成平衡。由于天然气价格有更强的季节性和波动性，我们更关注气价波动对这一平衡的影响，认为此时计算出的气价是“平衡气价”，若气价低于此“平衡气价”，会出现“煤-天然气转换”，天然气能通过市场竞争对煤炭需求形成挤出，实现在即期电力市场维持供需平衡的同时压减碳排放量的目的。

根据路透数据，假设煤电发电效率为 36%，每兆瓦时燃煤发电二氧化碳排放量为 0.34 吨；气电发电效率为 55%，每兆瓦时燃气发电二氧化碳排放量为 0.18 吨，据此我们可计算出相应的平衡气价。可以看到在 2018 年之前，碳税价格过低导致真实气价持续高于平衡气价；19 年后随着碳税价格进入高位区间，平衡气价跌幅显著小于真实气价，市场出现煤-气转换的有利区间。直到 2021 年俄欧关系紧张推动欧洲天然气价格迅速拉升，尽管碳税价格也随之上涨，但真实气价仍持续高于平衡气价。

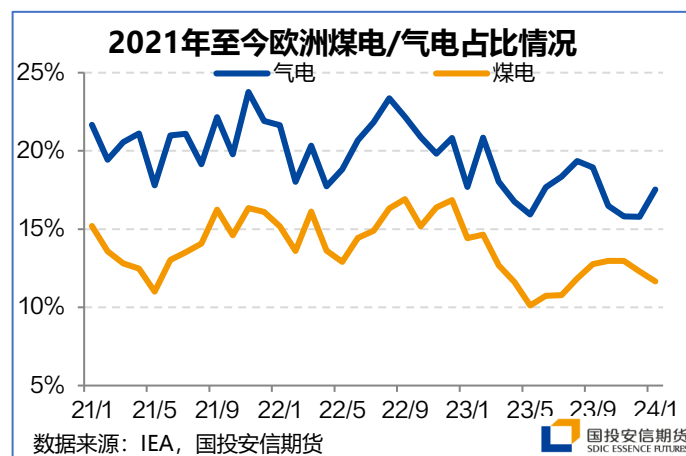
受此影响，我们可以看到 19 年之前欧洲煤电、气电占比均维持相对平稳，且年内都会在新能源低谷的冬季有所走高。但 19 年开始两者走势明显分化，煤电占比持续下降，气电



占比则稳中有升，体现了当气价回落至平衡气价之下后，动力煤-天然气转换效应的出现。



从气-煤转换方面来看，2021年下半年开始由于天然气价格飙升，气价已持续站稳在平衡气价之上，并在2022年俄乌冲突爆发后愈演愈烈，直到进入22年末随着短缺担忧的缓解价格才逐渐回落，并于2023年二季度后再度接近平衡气价。2021年煤电占比14.1%，22年上升为15.14%，而气电占比在21年和22年均稳定在20-21%。23年上半年由于新能源发电向好和欧洲经济疲软下电力总需求下滑，气电和煤电发电量均出现明显下滑。由于碳价维持高位运行且天然气需求持续受到压制，真实气价在2023年基本没有持续大幅超过平衡气价的情形，煤电占比维持趋势性下滑趋势，并在气价持续回落后，“真实-平衡价差”有转负的趋势，气电再度出现一些对煤电的替代性需求。



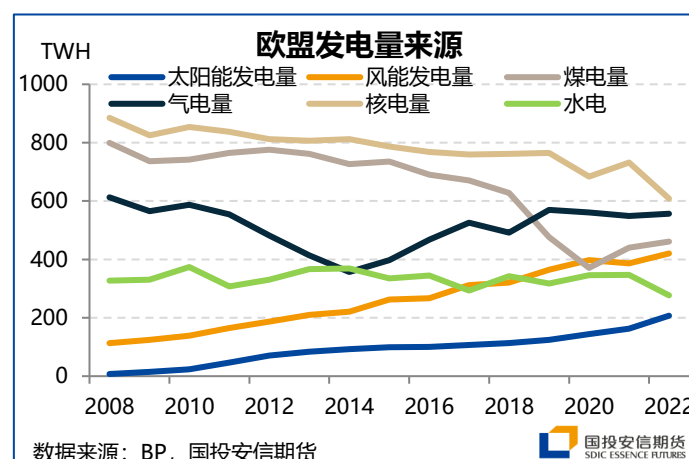
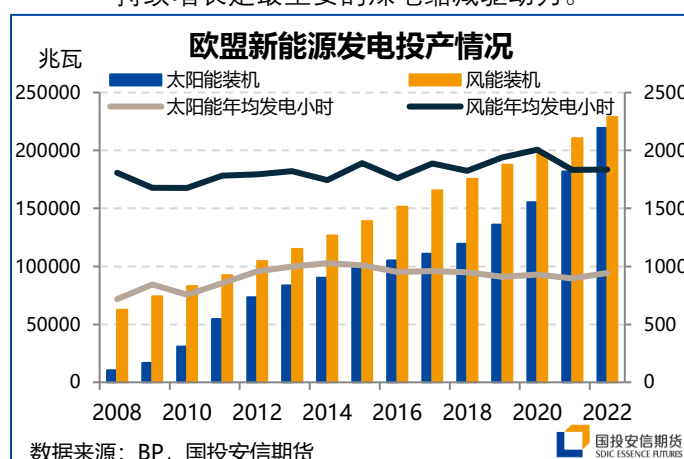
### 三、长期平衡：新能源对煤炭的挤出

欧洲水电开发较为成熟，相比2024年初13.7万兆瓦的存量，仅有2070兆瓦左右的在建项目，已无明显新增量。核电方面则各国方向不同，德国出于安全考虑有废弃核电的计划，2022年末时其现存的4290MW三座核电站在23年已如期关闭，完成退核；而欧盟核电主要大国法国及芬兰等成员国则持积极态度，其余欧盟成员在建核电项目已有2592MW，还有5632MW项目处于预建设状态，因此欧洲核电会呈现先减后增的态势，但较目前10.7万兆瓦的存量规模来看，其变化总体仍然较小。因此未来新能源发电扮演的角色会愈加重要。

欧盟最早于1997年提出要把可再生能源在能源消费总量中的占比在2010年提升至12%，之后在2018年12月通过可再生能源指令II（Renewable energy directive II）确立了在2030年将可再生能源占比提高至32%的目标，之后几年里各方不断提议进一步上修该目标，

目前最新通过的决议中 2030 年可再生能源占比目标已达到 42.5%，并将在之后的投票中最终提升为 45%。据 BP 数据，在 2022 年欧盟可再生能源在发电需求中占到了 28.5%，但在总能源消费中的占比仅为 14.8%，离该目标仍有一定差距。

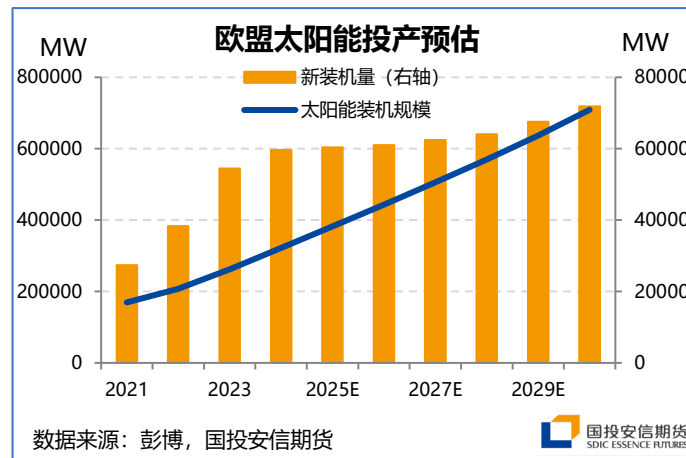
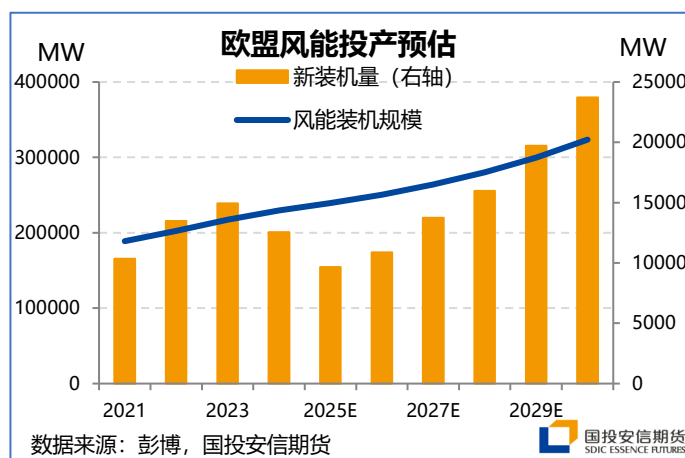
可再生能源的主体为风能和太阳能。从过去投产进度来看，欧洲风能投产速度较为稳定，太阳能投产进度则有所加快。由于自然禀赋原因，欧盟总体来看风能发电条件更好，在产能快速增长的过程中风能发电利用小时数总体维持平稳；太阳能则稳定性较差，其发电利用小时数在 2014 年达到峰值后便呈现缓慢下滑趋势。2008-2022 年欧盟总发电量减少了 187 太瓦时，其中煤电下降 338 太瓦时，而风能和太阳能则合计增长 507 太瓦时，可见新能源的持续增长是最主要的煤电缩减驱动力。



对于未来欧洲新能源的投产进度，本轮能源危机后欧盟方面的政策扶植力度继续加码，导致市场对其风光装机的增长也总体持乐观态度。在 2022 年提出的 RepowerEU 综合法案中，对太阳能提出了 2025 年总装机量 320GW、2030 年总装机量 600GW 的较高目标。

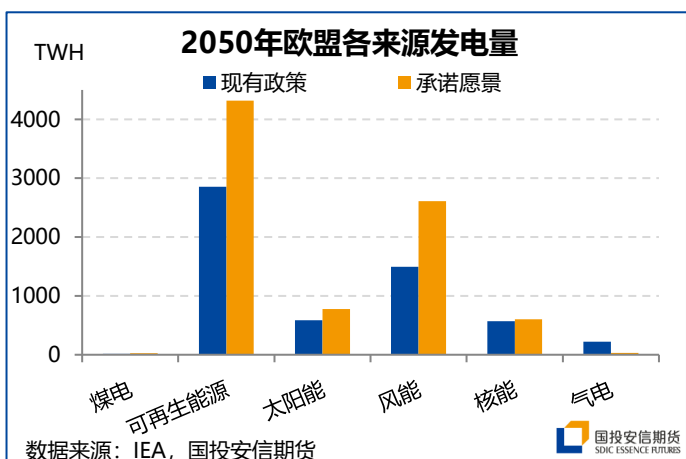
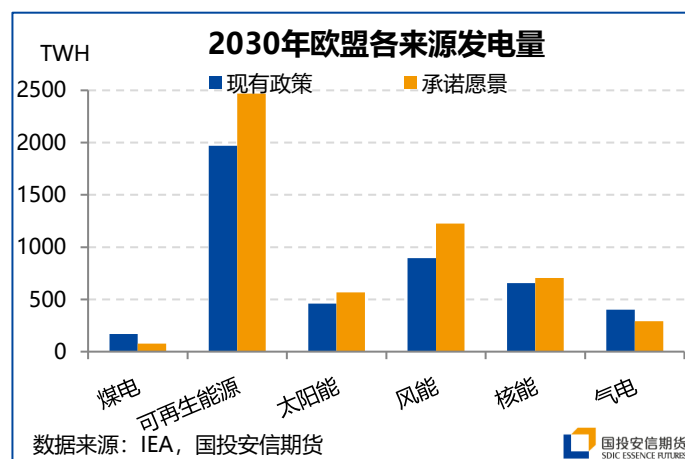
根据行业机构预测，欧盟新能源方面太阳能装机有望得到更快发展。据欧洲风电协会（Wind Europe）的展望报告，2023 年底全欧盟投产风能达到 220GW，预估 2024-2030 年在中性情景（Central Scenario）下，即考量到所有影响市场的政治经济因素下的最佳评估，全欧盟将以年均 29GW 的速度增产，共新增 200GW 风电；而另一种 2030 目标情景（2030 Targets Scenario），即为了实现 RePowerEU 在 2030 年的可再生能源占比 45% 的目标，要求更高投产量，需要欧盟以年均 33GW 的速度增产。据欧洲光伏协会（Solar Power Europe）估计，2023 年底欧洲太阳能装机已达到 263GW，对于未来的新增装机量给出了低、中、高三种情景的预测，均认为新增投产量会逐年增长，其中中性预估认为未来四年共带来 313GW 的增量，4 年总增幅高达 119%，2025 年时装机量为 398GW，高于欧盟 RepowerEU 计划的目标。

彭博基于政策、成本等方面的综合考虑，给出了未来历年欧盟风能、太阳能装机预测。预估 2025 年欧盟风能装机容量将达到 240GW，较 23 年增加 22GW；太阳能装机则能达到 382GW，较 23 年增加 120GW。预计 2023-2025 年欧洲风能及太阳能新增装机总量将达到 212GW，且太阳能在增速和规模上都将超越风能，在产能规模上成为最主要的新能源电源。



#### 四、总结与展望

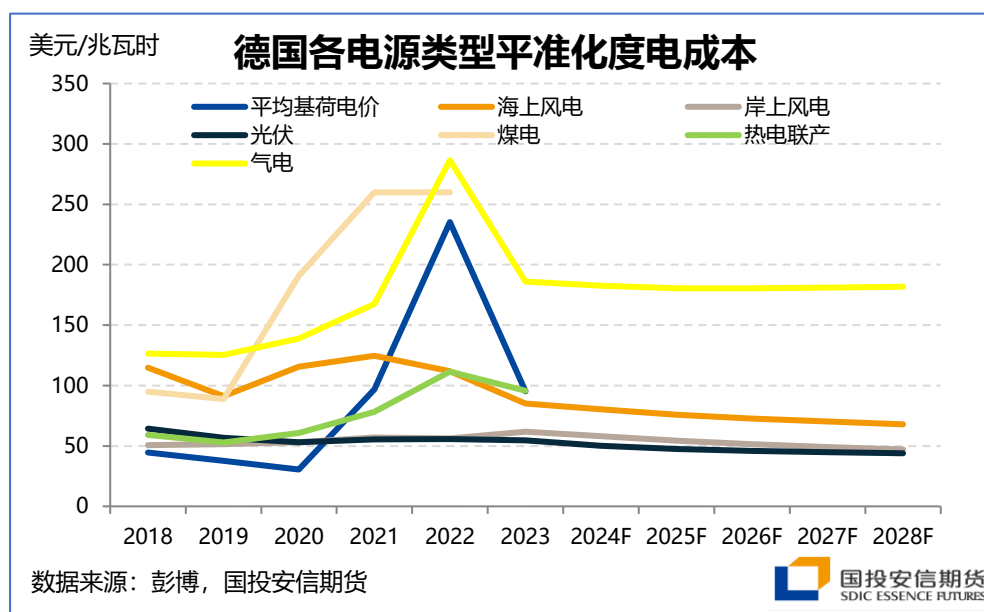
IEA 基于各地区现有政策的影响和匹配政府能源目标的承诺愿景给出了两种长期展望，就欧盟地区而言，可以看到对于 2030 年的预期中，即使在现有政策情景下煤电发电量也会从 21 年的 459 太瓦时被压缩至 168 太瓦时，仅为总发电量的 5%；而可再生能源发电量则高达 1971 太瓦时，占总发电量的 61%。而在承诺愿景中煤电需进一步压缩至 77 太瓦时，因此要完成 2050 年的碳中和目标仍要求欧盟在现有政策上继续加码。就发力点来看，在 2030 年前以对煤电的压缩为主，之后会进一步降低气电与核电的规模。



总体来看，欧盟的煤电退出采取了政府政策推动和市场自发调节等多方面举措，在 2022 年能源危机前已维持着可观的进度，除德国和波兰以外的主要国家煤电占比均已下降至偏低水平。2022 年由于天然气面临较大的短缺风险，欧盟临时放缓了煤电厂的关停节奏，煤电发电量也延续了从 2021 年开始的回升趋势。但进入 22 年末由于新能源发电好转和欧洲总用电量的明显下滑，月度数据上反映出煤电发电量再度回落，同时欧洲在应对能源危机而推出的新法案中并没有更改长期的煤电退出的目标，反而上调了可再生能源占比的目标，增强了对新能源的投资力度，长期来看将加速电力系统中新能源对煤电的挤出作用。

从成本角度来看，以德国为例，由于碳税和近年来能源危机的冲击，新能源中光伏和陆

上风电的平均度电成本已显著低于其他化石能源发电，且未来随着欧盟加大新能源制造业的投资，预计新能源的度电成本仍有下滑趋势。由于气电的调峰作用较强，且是非可再生能源中重要的过渡能源，未来会更多扮演欧盟电价边际调控者的身份。尽管未来几年随着全球 LNG 项目的大量投产，国际天然气市场有望重回买方市场，使得气电成本显著回落，但俄罗斯相对廉价管道气的退出使得气电平均成本仍难回到俄乌冲突前的水平，被推高的电价意味着新能源有望在长期维度内保持较好的利润优势。年内尺度上气候的不稳定和天然气供应波动或许仍会使欧盟化石能源发电反弹以保障能源安全，但长期的市场格局和政策推动会让欧洲新能源对煤电的替代稳健进行。



基于 IMF 对欧元区经济增长的预估，我们首先估算出欧盟总发电量未来五年的变化趋势，然后考虑风能、太阳能的投产进度和发电利用小时数的变化趋势估算出风能、太阳能的发电量，再扣除掉较为稳定的核电、水电发电量，从而得到需要由煤电和气电提供的调峰发电量。结合前文分析的煤电机组退出进度和对气价的预估，在优先考虑气电的边际调峰下，最终估算出两者未来的发电量，从而推测出未来五年的欧盟发电来源变化。

可以看到，未来风能和太阳能的大量投产会使得其成为仅次于核能的电力来源，2028 年太阳能和风能发电或分别达到 504TWH 和 648TWH，为 2022 年的 2.43 倍和 1.54 倍，太阳能的增速相对更快。两者合计发电量较 22 年水平增加 524TWH，远高于同年煤电 461TWH 的规模。核电和水电在 22 年由于法国罢工和高温影响都大幅下降，23 年水电回到历史中性水平，核电受德国退核影响 23 年仍维持低位，二者未来几年因新增机组有限而总体变化不大。

煤电和气电这些主要的化石能源发电均会受到挤压，其中煤电会自 2023 年之后再度延续能源危机前的回落态势，气电则相对维持震荡，存在先增后减的可能。即使 LNG 项目在 2025 年后大量投产使得市场趋向宽松，有望相对煤电实现更好的成本优势，但由于新能源的持续挤压，气电反弹空间也将有限，其绝对规模将会持续低于能源危机前的水平。展望 2028 年，煤电与气电合计或只占欧盟 18.5% 左右的发电量，煤电更是有望被压缩到发电总量 5% 以下的极低水平。

欧盟煤炭消费自 2007 年开始趋势性下降后，至 22 年消费规模已降至 07 年的 57.6%，退煤进程接近完成一半。在我们的预估中 2028 年时欧盟煤电会下降为 22 年的 28.8%，考虑



到欧盟煤炭消费以发电为主，意味着未来五年后欧盟煤炭总消费量有望较 22 年继续削减 70% 以上。天然气的“过渡能源”特性将会在 2024-2026 年进一步体现，2026 年的气电发电量或较 23 年增长 18.6%，此后再度开始回落，预计 2028 年时天然气的发电需求将较 22 年减少 26.4%。当可再生能源占比较高时，气候的不稳定带来的发电量波动会变大，年内可再生能源发电低谷期时调峰需求会带来较强的火电刚需。虽然煤炭消费和天然气发电消费的长期下行趋势较为稳定，个别年份由于天气因素波动导致新能源发力偏弱时，仍有可能导致煤炭和天然气消费显露弹性。

