



机械行业研究

买入（维持评级）

行业专题研究报告

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002）
manzaipeng@gjzq.com.cn

分析师：倪赵义（执业 S1130524120001）
nizhaoyi@gjzq.com.cn

联系人：刘民喆
liuminzhe@gjzq.com.cn

可控核聚变专题：多技术路线共同发展，电源价值量在膨胀

电源是可控核聚变装置“生命线”，资本开支扩张有望带动订单陆续释放

- **电源是可控核聚变装置“生命线”，价值量占比高。**电源为核聚变装置磁体、加热系统以及辅助系统供电，要求容量高（100MW 级别）、耐高压（最高达 1MV）、耐大电流（100kA）、纹波小（1%-2%），相对传统工业电源研发、生产难度更高。以 ITER 为例，该托卡马克装置电源系统价值量占比约为 15%，FRC、Z 箍缩装置不需要超导磁体，且对电压、脉冲频率、充放电时间要求更高，电源价值量占比更高（Z 箍缩电源价值量占比为 50%左右）。
- **资本开支扩张有望带动电源订单陆续释放。**中核系、中科院系等在“十五五”期间密集推进托卡马克实验堆建设：Z 箍缩-聚变裂变混合堆计划 2030 年前实现聚变点火，验证 $Q>1$ ；商业公司积极布局场反位形 FRC 装置，国内星能玄光计划 2035 年建成 200MW FRC 聚变电站。多种技术路线聚变堆密集建设，有望带动多类电源订单陆续释放。

托卡马克电源核心为脉冲功率电源，关注 FRC、Z 箍缩路线带来的电容、开关需求膨胀

- **托卡马克：核心为脉冲功率电源，包括磁体电源、辅助加热电源、无功补偿及滤波系统。**1) 磁体电源：调节磁体供电，实现等离子体生成和控制；壁垒在于需实现毫秒级别实时控制，纹波小、稳定性高，并输出数十 kA 大电流。2) 辅助加热电源：辅助加热系统要求电源大容量、高电压、快速响应&保护时间短、释放能量小，脉冲阶梯调制电源（PSM）、逆变型高压电源（HVPS）能分别满足 100kV 及以下、MV 级别辅助电源的需求。3) 无功补偿及滤波系统：无功功率冲击来源于相控电源调节、失超保护、加热电源闪络，功率冲击可达 100Mvar，会威胁到聚变装置和电网的安全稳定运行，需要配套 TCR 阀、滤波电容、电抗器等组成的无功补偿及滤波系统。
- **场反位形 FRC：装置简单、成本低，有望率先开启商业化，快控开关和脉冲电容价值量在膨胀。**场反位形（FRC）是一种磁/磁惯性约束聚变技术，物理结构为直线型，无需外部加热源和环向磁场、装置简单，造价成本低和运行成本低，有望率先实现商业化。从价值量占比来看：FRC 装置不需要环向磁场线圈，且短脉冲放电特性导致磁体线圈材料多选用铜，磁体价值量占比有望较大降低（低于托卡马克的 28%）；FRC 装置需要大脉冲电源支撑等离子体加速至超音速碰撞和压缩，该装置对电源依赖程度高，价值量占比有望提升（高于托卡马克的 15%）。脉冲电容和快控开关分别承担 FRC 磁体大电流供电和时序控制的作用，均需要耐高压（高达 40kV）、耐大电流（数十 kA），两者还分别要求储能达几十 kJ 和微秒级开关时间，技术壁垒较高，为 FRC 装置电源的主要价值量环节。
- **Z 箍缩：驱动器价值量占比达 50%，快控开关和脉冲电容为核心组件。**Z 箍缩原理为依靠等离子体大电流产生向心磁场箍缩力，使等离子体压缩达聚变条件，无需超导磁体、紧凑设计成本低，核心环节为驱动器，价值量占比达 50%。Z 箍缩驱动器主要由脉冲电容和开关组成（开关控制电容充放电），核心参数要求包括脉冲频率高（0.1Hz）、脉冲电流大（数十 MA 级）、电流上升沿（百纳秒级）、储能大（百兆焦耳），能够提供满足参数需求电容和开关的供应商有望受益。

投资建议

- 我们看好可控核聚变行业在“十五五”期间资本开支进入加速释放周期，建议重点关注 FRC 装置和 Z 箍缩装置建设推进，带来电源系统价值量膨胀的机遇，脉冲电容、快控开关相关公司订单有望释放；其次关注托卡马克装置密集建设带来的磁体电源、辅助加热电源以及无功补偿及滤波系统机遇。

风险提示

- 可控核聚变实验结果不及预期、可控核聚变资本开支不及预期。



内容目录

一、电源是可控核聚变装置“生命线”，资本开支扩张有望带动订单陆续释放.....	6
1.1 托卡马克为主流，多种技术路线并行.....	6
1.2 电源系统是核聚变装置的核心部分，价值量占比高.....	8
二、托卡马克需要长脉冲运行，核心为脉冲功率电源.....	10
2.1 托卡马克脉冲功率电源由磁体电源、辅助加热电源以及无功补偿滤波等组成.....	10
2.2 磁体电源：电流大、纹波小、响应快，技术壁垒高.....	11
2.3 无功补偿及谐波抑制系统：实现电源系统与电网兼容，核聚变装置稳定运行的关键.....	13
2.4 辅助加热电源：PSM、HVPS 是辅助加热装置电源的理想选择.....	14
三、FRC、Z 箍缩路线电源价值量占比高，关注核心环节快控开关和电容.....	16
3.1 场反位形 FRC 装置进展迅速，关注开关和电容机遇.....	16
3.1.1 场反位形 FRC 装置简单、成本低，有望率先开启商业化.....	16
3.1.2 电源系统为 FRC 装置最核心的系统之一，关注快控开关和电容环节.....	18
3.2 Z 箍缩：驱动器价值量占比达 50%，脉冲电容和开关为核心组件.....	19
四、投资建议.....	22
4.1 旭光电子：深耕高压、大电流开关，有望切入 FRC、Z 箍缩电源开关.....	22
4.2 王子新材：已供应磁体电源电容，有望切入 FRC、Z 箍缩供应链.....	24
4.3 国力股份：氢闸流管核心供应商，有望切入核聚变领域.....	25
4.4 四创电子：国内雷达龙头之一，子公司华耀电子供应核聚变 PSM 电源.....	27
4.5 英杰电气：核聚变电源积累深厚，覆盖头部核聚变客户.....	29
4.6 爱科赛博：深耕电力电子，切入核聚变磁场电源、加热电源.....	31
4.7 新风光：深耕电力电子节能控制技术，切入核聚变磁场电源、加热电源.....	32
五、风险提示.....	34

图表目录

图表 1：核聚变装置按照约束原理分类为磁约束、惯性约束、磁惯性约束.....	6
图表 2：可控核聚变主要装置类型.....	6
图表 3：托卡马克为主流，仿星器、激光约束、FRC 等多路线共同发展.....	8
图表 4：可控核聚变电源要求系统容量高、耐高压、大电流、纹波小.....	8
图表 5：ITER 装置中电源、加热系统和电流驱动价值量占比合计达 15%.....	9
图表 6：中核系、中科院系等推进托卡马克、Z 箍缩路线，商业公司积极布局 FRC 路线.....	9
图表 7：电源周期式放电驱动托卡马克装置.....	10
图表 8：ITER 工作流程存在周期高功率脉冲.....	10
图表 9：ITER 电源系统包括辅助加热电源、磁体电源、无功补偿及滤波系统和低温&水冷等辅助系统电源... ..	11



图表 10:	ITER 磁体包括环向、轴向、校正、中心磁体.....	11
图表 11:	ITER 磁体电源系统组成.....	11
图表 12:	ITER 磁体电源较为复杂.....	11
图表 13:	ITER 变流器采购包组成.....	12
图表 14:	EAST 纵场电源对电流、纹波、稳定度、响应要求较高.....	13
图表 15:	ITER 各线圈电流波形要求实时控制.....	13
图表 16:	单套超导磁体电源峰值功率为平均功率十倍.....	13
图表 17:	核聚变磁体电源系统匹配相应储能电源.....	13
图表 18:	电源会带来较大的有功/无功功率冲击.....	14
图表 19:	ITER 电源无功功率冲击典型情况.....	14
图表 20:	ITER 无功补偿及谐波抑制系统配置示意图.....	14
图表 21:	辅助加热系统为托卡马克的必备系统.....	15
图表 22:	ITER 辅助加热电源切断响应时间为微秒级、负载短路时释放能量低.....	15
图表 23:	PSM 主要适用 100KV 及以下, HVPS 电源主要适用于几百千伏至兆伏的输出电压.....	16
图表 24:	PSM 主要给射频加热系统供电, HVPS 主要给 NBI 系统供电.....	16
图表 25:	FRC 等离子体示意图.....	17
图表 26:	场反位形 (FRC) 结构示意图.....	17
图表 27:	场反位形 (FRC) 结构具备内部闭合、外部开放磁力线.....	17
图表 28:	FRC 无需外部加热源和环向磁场、装置简单, 造价成本低和运行成本低.....	17
图表 29:	FRC 装置有望率先开始商业化供电.....	18
图表 30:	Helion 的 FRC 装置包括等离子体形成、加速、压缩聚变三个步骤.....	18
图表 31:	FRC 对电压、电流、响应时间、充放电时间要求更高.....	19
图表 32:	相对托卡马克路线, FRC 装置电源环节价值量占比有望增长.....	19
图表 33:	KMAX-FRC 电容要求高电压、电流、能量.....	19
图表 34:	FRC 装置开关要求高电压、大电流及长寿命.....	19
图表 35:	Z 箍缩反应包括电离、加速、箍缩、聚变步骤.....	20
图表 36:	等离子体 z 向电流产生向心“箍缩”.....	20
图表 37:	Z 箍缩聚变反应堆尺寸远小于托卡马克和惯性约束.....	20
图表 38:	中、美均在推进 Z 箍缩路线发展.....	21
图表 39:	ZAP Century (Z 箍缩) 装置示意图.....	21
图表 40:	Z 箍缩聚变裂变混合堆示意图.....	21
图表 41:	先觉聚能目标建设 60MA 驱动器.....	21
图表 42:	Z 箍缩驱动器单支路由一个开关控制两个电容.....	21
图表 43:	Z 箍缩聚变裂变混合堆中 60MA-70MA 级驱动器价值量占比约为 33%.....	22
图表 44:	旭光电子主要产品电力设备、军工以及电子材料.....	22



图表 45:	25Q1 旭光电子营收短期承压.....	22
图表 46:	25Q1 旭光电子归母净利润加速增长.....	22
图表 47:	24 年旭光电子大功率电子管收入达 0.47 亿元.....	23
图表 48:	24 年旭光电子大功率电子管收入占比为 3.0%.....	23
图表 49:	24 年真空灭弧室收入达 6.8 亿元.....	23
图表 50:	24 年旭光电子真空灭弧室毛利率降至 6.1%.....	23
图表 51:	旭光电子开关能基本满足 Z 箍缩、FRC 的开关性能需求.....	24
图表 52:	王子新材主营业务为塑料包装、军工电子、电容等.....	24
图表 53:	王子新材电容客户覆盖比亚迪、阳光电源等.....	24
图表 54:	25Q1 王子新材营收同比+36.2%.....	25
图表 55:	25Q1 王子新材归母净利润转正.....	25
图表 56:	子公司宁波新容已实现核聚变电容订单交付.....	25
图表 57:	24 年宁波新容收入规模大幅增长.....	25
图表 58:	国力股份产品主要为继电器、电路开关、电容器、速调管等.....	25
图表 59:	25Q1 国力股份营收同比+59.4%.....	26
图表 60:	25Q1 国力股份归母净利润表现较好.....	26
图表 61:	直流接触器收入占比超 50%.....	27
图表 62:	直流接触器盈利能力短期承压.....	27
图表 63:	国力股份氦闸流管电压、电流参数能基本满足 FRC、Z 箍缩开关需求.....	27
图表 64:	四创电子产品覆盖雷达、信息系统、微波短路、电源等.....	28
图表 65:	25Q1 四创电子营收短期承压.....	28
图表 66:	25Q1 四创电子归母净利润短期承压.....	28
图表 67:	24 年雷达及雷达配套收入占比超 50%.....	28
图表 68:	24 年雷达及雷达配套毛利率承压.....	28
图表 69:	四创电子持有华耀电子 90.83%股权.....	29
图表 70:	华耀电子 PSM 高压电源供应 EAST 装置.....	29
图表 71:	华耀电子 140kV PSM 电源具备高功率密度、动态响应、磁通性等优势.....	29
图表 72:	英杰电气产品主要为功率控制电源、特种电源以及新能源充电桩.....	30
图表 73:	25Q1 英杰电气收入短期承压.....	30
图表 74:	英杰电气利润短期承压.....	30
图表 75:	英杰电气核聚变电源供应中核 585 所、中科院合肥等离子所等重点客户.....	31
图表 76:	爱科赛博产品覆盖精密测试电源、特种电源以及电能质量控制设备.....	31
图表 77:	25Q1 爱科赛博营收短期承压.....	32
图表 78:	25Q1 爱科赛博利润短期承压.....	32
图表 79:	爱科赛博主要覆盖核聚变磁体电源和加热电源.....	32



图表 80: 新风光产品包括高中低压变频器、无功补偿装置、智慧储能系统等	33
图表 81: 25Q1 新风光收入达 4.0 亿元	33
图表 82: 25Q1 新风光归母净利润短期承压	33
图表 83: EAST 快控电源功能为控制等离子体位形	33
图表 84: EAST 快控电源系统框图	33
图表 85: 核聚变电源相关公司估值表	34



一、电源是可控核聚变装置“生命线”，资本开支扩张有望带动订单陆续释放

1.1 托卡马克为主流，多种技术路线并行

核聚变技术路线分为磁约束、惯性约束、磁惯性约束三大类。按照约束原理分类，核聚变可分类为磁约束、惯性约束、磁惯性约束，三类装置等离子体温度基本一致，差异在于约束时间和等离子体密度：1) 约束时间方面，磁约束>>磁惯性约束>惯性约束；2) 等离子体密度方面，惯性约束>>磁惯性约束>磁约束。

图表1：核聚变装置按照约束原理分类为磁约束、惯性约束、磁惯性约束

约束类型	工作原理	等离子体温度	约束时间级别	等离子体密度	原理图
磁约束 (MCF)	磁约束核聚变通过加热等外部手段将燃料温度提升，极高的温度使得燃料完全电离形成等离子体，采用特殊结构的磁场形式把燃料离子和大量自由电子组成的处于热核反应状态的高温等离子体约束在有限的体积内，使之受到控制地发生核聚变反应。	8keV	0.9s	10^{14} cm^{-3}	
惯性约束 (ICF)	惯性约束通常采用高能量的激光或粒子束将燃料加热和压缩为等离子体，在自身惯性作用下，等离子体在极短的时间内来不及向四周飞散，在此过程中被压缩至高温、高密度的物理状态，从而发生核聚变反应。	8keV	$6.6 \times 10^{-12} \text{ s}$	$1.4 \times 10^{25} \text{ cm}^{-3}$	
磁惯性约束 (MIF)	磁惯性约束核聚变通过惯性约束机制（如Z箍缩或激光压缩）对磁化燃料进行快速压缩，使其在极短时间内达到极高的温度和压力，从而引发核聚变反应。	8keV	$9 \times 10^{-7} \text{ s}$	10^{20} cm^{-3}	

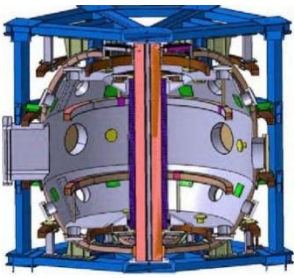
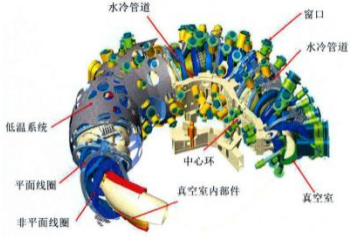
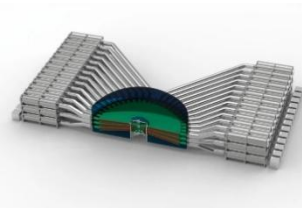
来源：《磁惯性约束聚变：通向聚变能源的新途径》，明核仪器，Magneto-Inertial Fusion，国金证券研究所

可控核聚变技术路线可细分为：1) 磁约束：托卡马克、球形托卡马克、仿星器；2) 惯性约束：激光约束、Z箍缩；3) 磁惯性约束：磁惯性约束 FRC。

图表2：可控核聚变主要装置类型

约束类型	装置类型	代表公司/装置	装置图
磁约束	托卡马克	ITER	



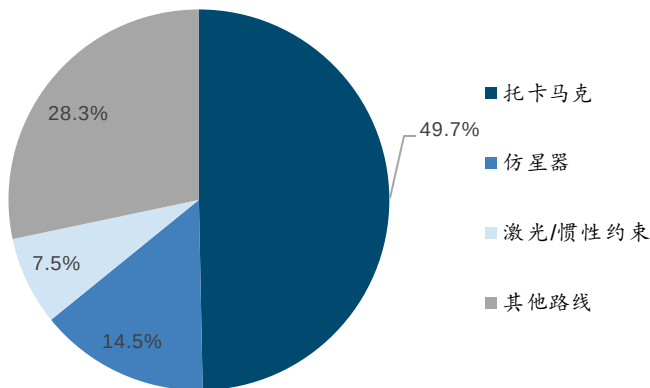
约束类型	装置类型	代表公司/装置	装置图
	球形托卡马克	NCST	
	仿星器	W7-X	
	激光约束	NIF	
惯性约束			
	Z 箍缩	ZAP	
磁惯性约束	磁惯性 FRC	Helion	

来源：现代物理知识杂志，《球形托卡马克 2.45 GHz 电子回旋共振预电离的模拟研究》，《三维磁拓扑结构条件下 W7-X 刮削层特性研究》，深科技公众号，机器之心公众号，瀚海聚能公众号，国金证券研究所

托卡马克为主流，仿星器、激光约束、FRC 等多路线共同发展。根据国际原子能机构(IAEA)发布报告《IAEA World Fusion Outlook 2024》，当前全球共有聚变装置共 159 台，其中托卡马克 79 台，占比 49.7%，仿星器 23 台，占比 14.5%，激光/惯性约束 12 台，占比 7.5%，其他路线 45 台，占比 28.3%。



图表3: 托卡马克为主流, 仿星器、激光约束、FRC 等多路线共同发展



来源:《IAEA World Fusion Outlook 2024》, 国金证券研究所

1.2 电源系统是核聚变装置的核心部分, 价值量占比高

可控核聚变电源要求系统容量高、耐高压、大电流、纹波小, 相对传统工业电源, 研发、制造难度更高。1) 功率大、容量高: 以国际热核聚变 (ITER) 为例, 电源需要给磁体系统、辅助加热系统以及辅助系统供电, 电源功率为 100MW 级别, 相当于中大型发电厂的功率。2) 耐高压和大电流: 以 ITER 为例, 磁体电源需要大电流激励磁场约束等离子体, 通常电流通流能力要求 100kA 级别; 中性束注入系统需要大电压激励离子源, 对应电源电压需求高达 1MV; 3) 纹波小: 辅助加热系统输出效率对电源电压的精度和稳定性等非常敏感, 因此要求高压电源输出纹波小。

图表4: 可控核聚变电源要求系统容量高、耐高压、大电流、纹波小

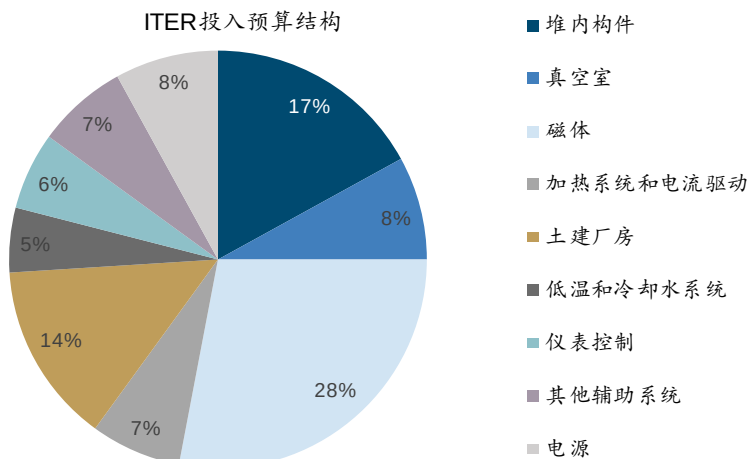
参数	传统工业电源	可控核聚变电源
系统容量	10MW 级别	100MW 级别
运行模式/响应速度	毫秒级	微秒级
器件耐压能力	10kV 级别	NBI 加热电源高达 1MV; 磁体电源为 1kV 级别
器件通流能力	1kA 级别	100KA 级别
纹波	低于 10%	1%-2%

来源:《国际聚变堆装置电源系统综述》,《100kVPSM 高压电源相关技术研究和系统实现》, 中山人民政府, 山西省建筑设计研究院有限公司, greentech-electronics,《基于 200kV/15A 逆变型直流高压电源的控制策略》, 苏州日报, 国金证券研究所

ITER 电源环节价值量占比近 15%。根据《Superconductors For Fusion: A Roadmap》, ITER 装置中电源、加热系统和电流驱动价值量占比分别为 8%、7%, 合计达 15%。



图表5: ITER 装置中电源、加热系统和电流驱动价值量占比合计达 15%



来源:《Superconductors For Fusion: A Roadmap》, 国金证券研究所

中核系、中科院系等推进托卡马克、Z 箍缩路线, 商业公司积极布局 FRC 路线。1) 托卡马克方面: 国内中核系、中科院系等积极推进托卡马克路线建设, 从目前主流机构的规划时间、投资金额来看, 多数的实验堆项目预计在“十五五”期间实现, 且单个实验堆的投资金额在几十亿元到上百亿的规模; 2) Z 箍缩路线: 先觉聚能技术路线为 Z 箍缩聚变+裂变混合堆, 计划 2030 年前实现聚变点火, 验证 $Q>1$; 3) FRC: 国内商业公司瀚海聚能、星能玄光、诺瓦聚变正积极布局 FRC 技术路线, 其中星能玄光计划 2035 年建成 200MW 聚变电站, 成本约为 10 亿元。

托卡马克装置电源价值量占比约为 15%, FRC、Z 箍缩对磁体要求大幅降低、电源要求更高, 电源价值量占比或也更高, 国内推动多个聚变路线发展, FRC、Z 箍缩等多领域的电源需求有望陆续释放。

图表6: 中核系、中科院系等推进托卡马克、Z 箍缩路线, 商业公司积极布局 FRC 路线

类型	主导机构	装置类型	装置名	状态	性质	预计完工时间	预计投资额
中核系	中核西南物理研究院	托卡马克	HL - 2A	在运	实验堆	-	-
		托卡马克	HL - 3	升级改造	实验堆	-	-
	中国核工业集团 - 联创光电	托卡马克+裂变	星火一号	规划	实验堆	2029 年	200 亿元
中科院系	中科院合肥等离子体物理研究所	托卡马克	EAST	在运	实验堆	在运	-
	中科院 - 聚变新能	托卡马克	BEST	在建	实验堆	2027 年	注册资本 145 亿元
		托卡马克	CFETR	规划	工程示范堆	2035 年	-
商业公司	能量奇点	托卡马克	洪荒 70	在运	实验堆	-	-
		托卡马克	洪荒 170	规划	实验堆	2027 年	30 亿元设备
		托卡马克	洪荒 380	规划	工程示范堆	2030-2035 年	-
	新奥集团	托卡马克	EXL - 2	规划	实验堆	2027 年	-
		托卡马克	EXL - 50U	在运	实验堆	-	-
	瀚海聚能	FRC	HHMAX-901	在建	实验堆	2028-30 年实现聚变发电	-
	诺瓦聚变	FRC	-	规划	实验堆	-	-
高校系	星能玄光	FRC	Xeonova-1	迭代	实验堆	2035 年	10 亿元左右
	华中科技大学	托卡马克	J - TEXT	在运	实验堆	-	-
	星环聚能	托卡马克	SUNIST - 2	在运	实验堆	-	-
		托卡马克	CTRFR - 1	规划	实验堆	2028 年左右	10 亿元左右



核工业九院

先觉聚能

Z 箍缩+裂变

-

规划

实验堆

2025-35 年技术集成
和功能演示

-

来源：中国工程科学，能源圈，真空聚焦，财联社，新闻联播，中国科学院，中核五公司，华尔街见闻，新奥集团，华中科技大学，科创板日报，上海科创金融研究，能见，核能号，瀚海聚能官方公众号，四川省上市公司协会，中国工程院，诺瓦聚变官方公众号，星能玄光官方公众号，国金证券研究所

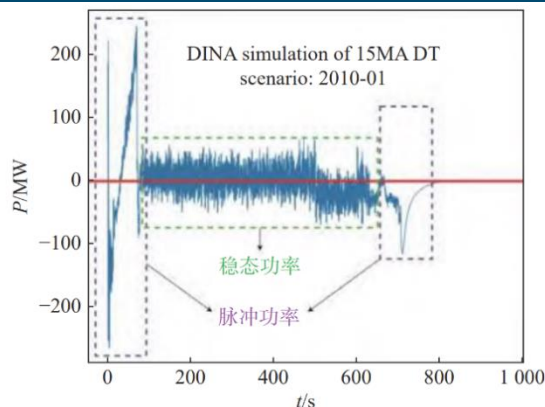
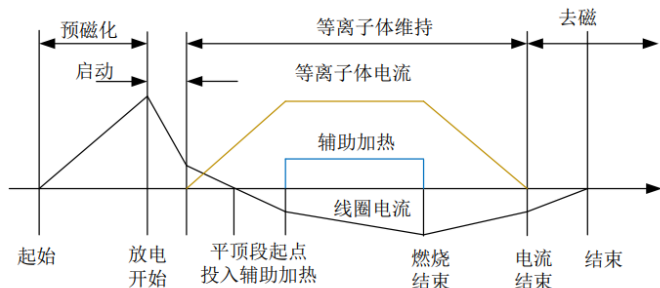
二、托卡马克需要长脉冲运行，核心为脉冲功率电源

2.1 托卡马克脉冲功率电源由磁体电源、辅助加热电源以及无功补偿滤波等组成

电源是支撑托卡马克装置等离子体形成、加热、维持，直至聚变结束的关键系统。根据，《ITER 电源系统冲击功率补偿策略研究》，国际热核聚变（ITER）核聚变整个流程包括预磁化-等离子体维持-辅助加热-电流结束，以周期模式运行。循环往复的过程中存在周期性高功率脉冲，对电源脉冲电压、电流、响应时间等要求高。

图表7：电源周期式放电驱动托卡马克装置

图表8：ITER 工作流程存在周期高功率脉冲



来源：《ITER 电源系统冲击功率补偿策略研究》，国金证券研究所

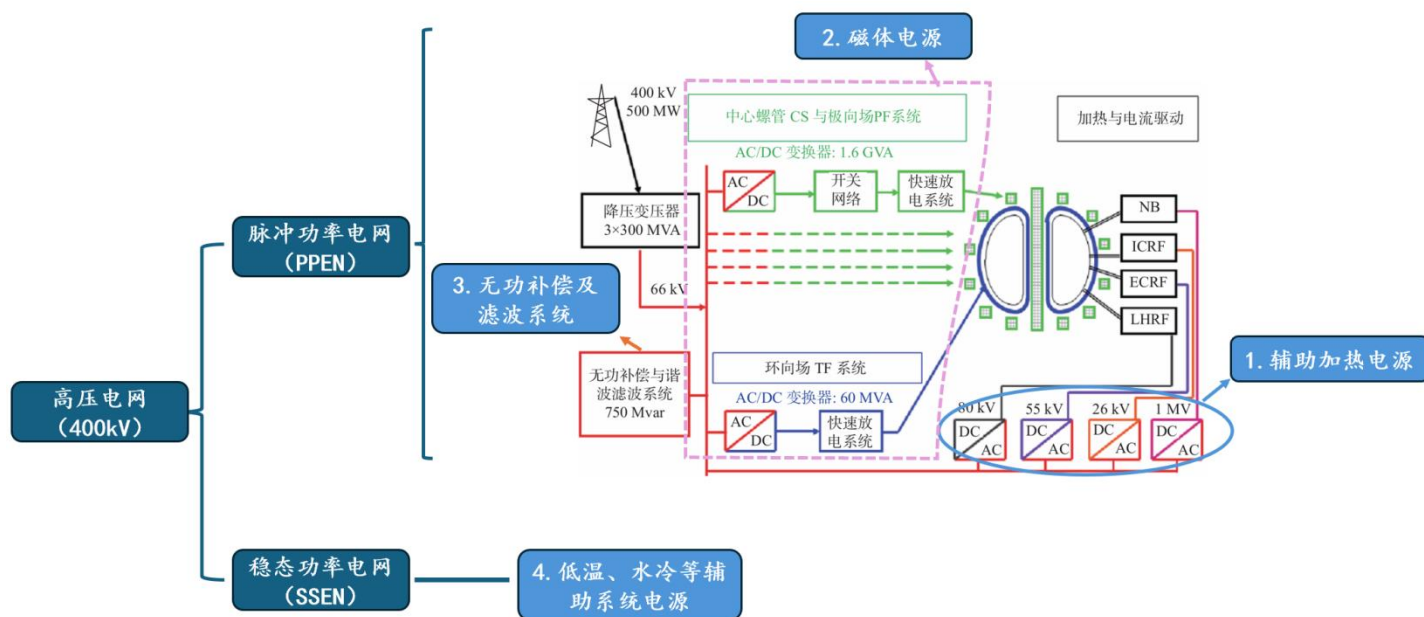
来源：《混合式新型聚变电源概念设计》，国金证券研究所

托卡马克电源系统（以 ITER 为例）包括脉冲功率电网（PPEN）、稳态功率电网（SSEN），其中 PPEN 包括磁体电源系统、辅助加热电源系统、无功补偿及滤波系统；SSEN 包括低温、水冷等辅助系统电源。

托卡马克 PPEN 电源系统拆分：1）磁体电源系统：为中心螺管 CS、环向场 TF 系统、极向场 PF 系统以及调整磁体供电；2）辅助加热电源系统：为离子回旋加热系统（ICRF）、电子回旋加热系统（ECRF）、低杂波加热系统（LHRF）以及中性束注入加热系统（NBI）供电；3）无功补偿及滤波系统：对等离子体放电过程中磁体电源和辅助加热电源产生的无功谐波进行有效的补偿和抑制，避免电网和聚变装置受到冲击。



图表9：ITER 电源系统包括辅助加热电源、磁体电源、无功补偿及滤波系统和低温&水冷等辅助系统电源



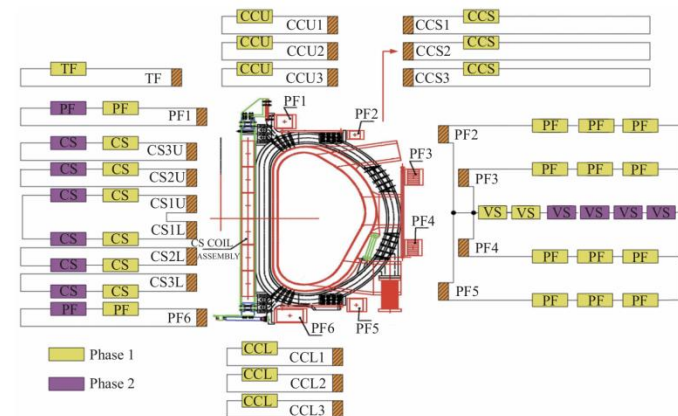
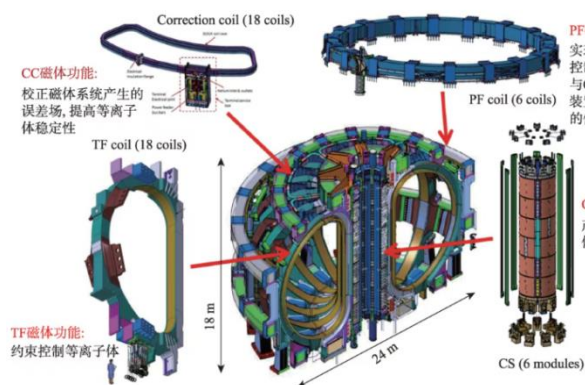
来源：《ITER 聚变装置及其电源系统》，中科院等离子体物理研究所，国金证券研究所

2.2 磁体电源：电流大、纹波小、响应快，技术壁垒高

磁体电源是激发、约束、调整等离子体的关键。托卡马克装置的磁体系统主要包括6个独立绕包模块组成的中心磁体、18个环向线圈（TF）、18个校正线圈（CC）、6个极向线圈（PF），主要作用分别为激发等离子体和位形控制、约束控制等离子体、实现等离子体平衡控制、校正误差场，而对磁体进行控制的“无形的手”就是磁场电源。

图表10：ITER 磁体包括环向、轴向、校正、中心磁体

图表11：ITER 磁体电源系统组成



来源：《超导磁体在磁约束托卡马克中的应用与展望》，国金证券研究所

来源：《ITER 聚变装置及其电源系统》，国金证券研究所

注：ITER 为国际热核聚变装置，是托卡马克型磁约束装置

注：ITER 为国际热核聚变装置，是托卡马克型磁约束装置

磁体电源主要由磁场变流单元、开关网络单元 SNU、快速放电单元 FDU、保护短路开关 PMS 组成。1) 磁体变流单元：实现交直流转换并实时控制输出大电压和波形，实现对等离子体控制；2) 开关网络单元：用于聚变装置等离子体建立以及上升，开断时间小于 100ms；3) 快速放电单元 FDU：保护磁体，迅速释放超导线圈储存的几十兆焦耳能源；4) 保护短路开关 PMS：发生短路时，迅速切断电路，不影响磁体。

图表12：ITER 磁体电源较为复杂

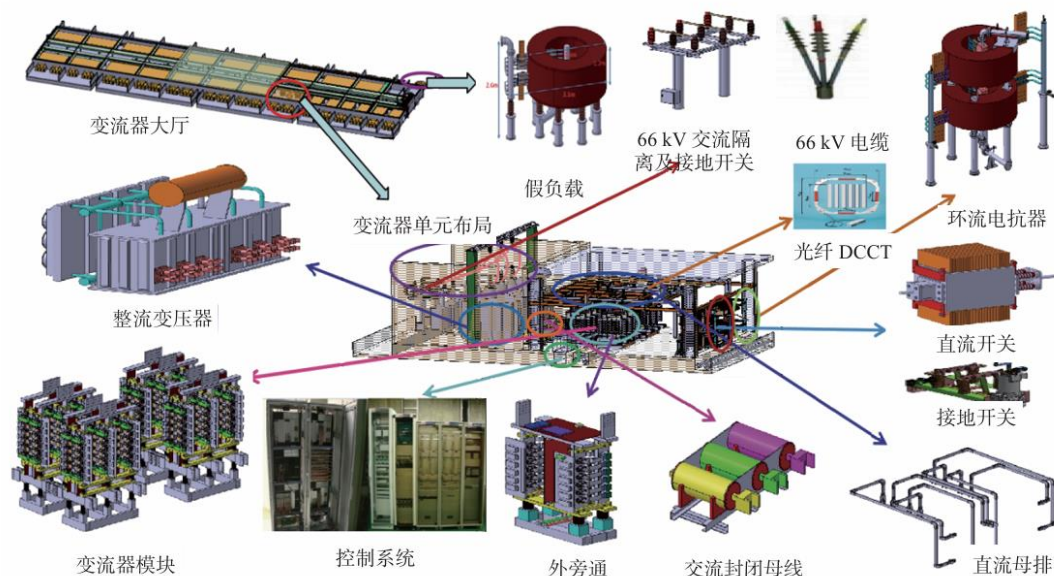
环节	额定电流 KA	额定电压 kV	电源作用
极向场 PF 变流单元	55	1.35	稳态运行：实现等离子体约束与位型控制



环节	额定电流 KA	额定电压 kV	电源作用
			脉冲运行：实现等离子体激发与快速上升
环向场 TF 变流单元	68	0.9	稳态运行：在环向场线圈激励起可控的巨大电流，与极向场线圈磁场叠加产生约束等离子体需要的螺旋磁场
中心螺线管 CS 变流单元	45	1.35	脉冲运行：驱动中央螺线管感应出启动等离子体、产生等离子体电流并在燃烧时间内保持该电流所需的大部分磁通量变化
校正线圈 CCS 变流单元	10	1	复合工况运行：驱动校正线圈补偿纵场和极向场线圈的制造误差及其接头、引线等的装配误差引起的磁场位形偏离
校正场上/下部 CCL/CCU 变流单元	10	0.2	复合工况运行：驱动校正线圈补偿纵场和极向场线圈的制造误差及其接头、引线等的装配误差引起的磁场位形偏离
垂直稳定线圈 VS 变流单元	22.5	1.35	脉冲运行：当等离子体出现垂直运动偏差，以毫秒级对等离子体垂直位移偏差快速跟踪响应，驱动垂直稳定线圈纠正等离子体位置
开关网络单元 SNU	45	20	用于聚变装置等离子体建立以及上升，开断时间小于 100ms
快速放电单元 FDU	45-68	12	保护磁体，迅速释放超导线圈储存的几十兆焦耳能源
保护短路开关 PMS	45-68	12-20	保护发生短路时，不影响磁体

来源：《ITER 主要线圈的变流器电源额定参数》，《高功率双向直流快速晶闸管开关的研究与开发及其在 HT-7U 超导托卡马克极向场电源系统中的应用》，中科院之声，能量奇点，《快控电源快速跟踪响应》，国金证券研究所

图表13：ITER 变流器采购包组成



来源：《ITER 聚变装置及电源系统》，国金证券研究所

磁体电源需要“快、稳、大电流”：1) 调节快：电压响应时间要求为毫秒级别，实现对等离子体位置、形状实时控制；2) 纹波小：EAST 纵向场电源要求纹波小于等于 0.3%；3) 大电流：超导磁体需要大电流激励出大磁场，EAST 纵场电源额定电流达 16kA，电源输出电流要求高。

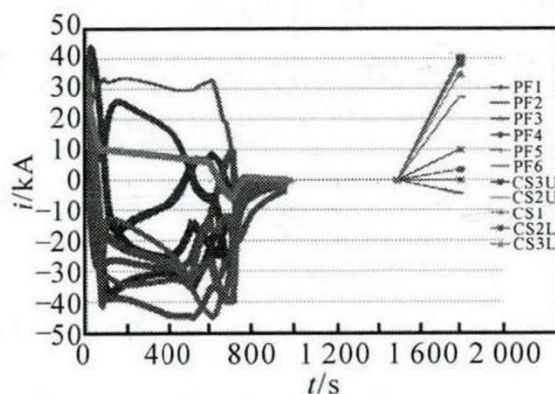


图表14: EAST 纵场电源对电流、纹波、稳定度、响应要求较高

基本参数	单位	数值
额定电压	V	20V
额定电流	kA	16KA
纹波		$\leq 0.3\%$
稳定度 / 8 小时		$\leq 0.3\%$
两组电源的电流差	kA	≤ 0.4
控制系统响应速度	KHZ	1
快速保护响应时间	mS	20
失超保护完成时间	S	100
快退磁完成时间	S	1000

来源：中科院等离子体物理研究所，国金证券研究所

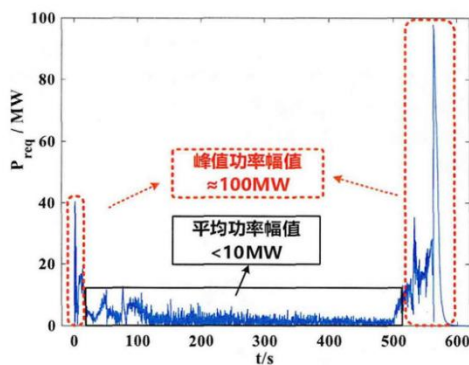
图表15: ITER 各线圈电流波形要求实时控制



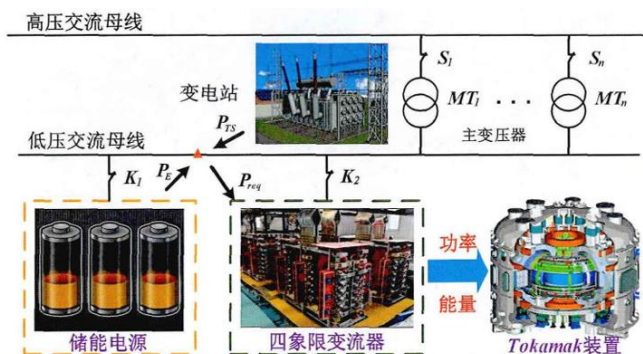
来源：《国际聚变堆 ITER 装置电源系统综述》，国金证券研究所

托卡马克需要储能电源支撑冲击功率。根据《磁约束聚变电源系统长脉冲高倍率储能关键技术研究》，单套超导磁体电源峰值功率可达 100MW，为平均功率的 10 倍以上，需要配套储能装置支撑高冲击功率。

图表16: 单套超导磁体电源峰值功率为平均功率十倍



图表17: 核聚变磁体电源系统匹配相应储能电源



来源：《磁约束聚变电源系统长脉冲高倍率储能关键技术研究》，国金证券研究所

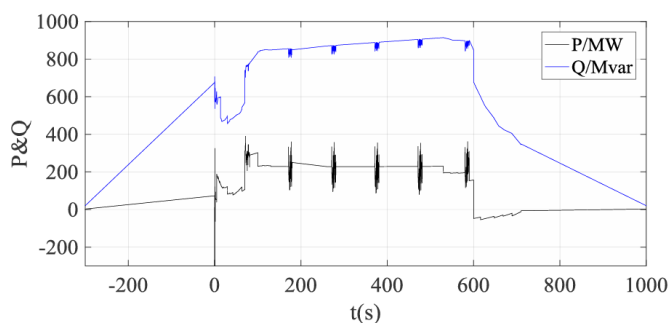
来源：《磁约束聚变电源系统长脉冲高倍率储能关键技术研究》，国金证券研究所

2.3 无功补偿及谐波抑制系统：实现电源系统与电网兼容，核聚变装置稳定运行的关键

托卡马克无功功率冲击来源于相控电源调节、失超保护、加热电源闪络，功率冲击可达 100Mvar，会威胁到聚变装置和电网的安全稳定运行。1) 相控电源调节：ITER 电源系统中包含大量基于相控晶闸管技术的变流器，其无功功率与触发角密切相关，在等离子体控制的不同阶段，部分电源直流侧电压变化巨大，触发角波动剧烈，引发无功功率的剧烈波动。例如 ITER 系统中最大的单套电源容量为 80MVA，考虑实际运行的容量要求，在 10ms 内无功功率变化最大可达 100Mvar；2) 失超保护下甩负荷：当系统出现诸如失超等严重故障时，为保护超导磁体线圈的安全，会进行甩负荷操作，即相控整流器需要在数毫秒内关断，极端情况下，无功功率将在 5ms 内从 100Mvar 变化到 0；3) 加热电源的调制及闪络：1MV 的高压电源直流侧会出现不可预期的闪络，导致系统无功功率在 5ms 内变化幅值可达 40Mvar。

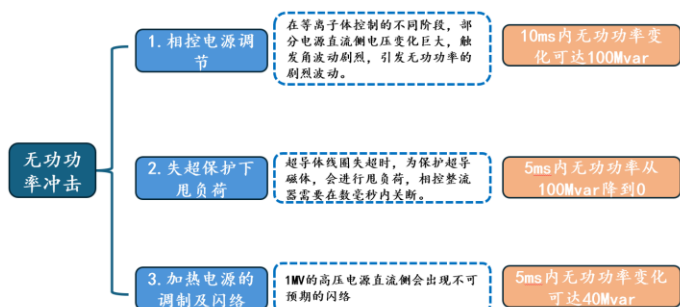


图表18：电源会带来较大的有功/无功功率冲击



来源：《ITER 电源系统冲击功率补偿策略研究》，国金证券研究所

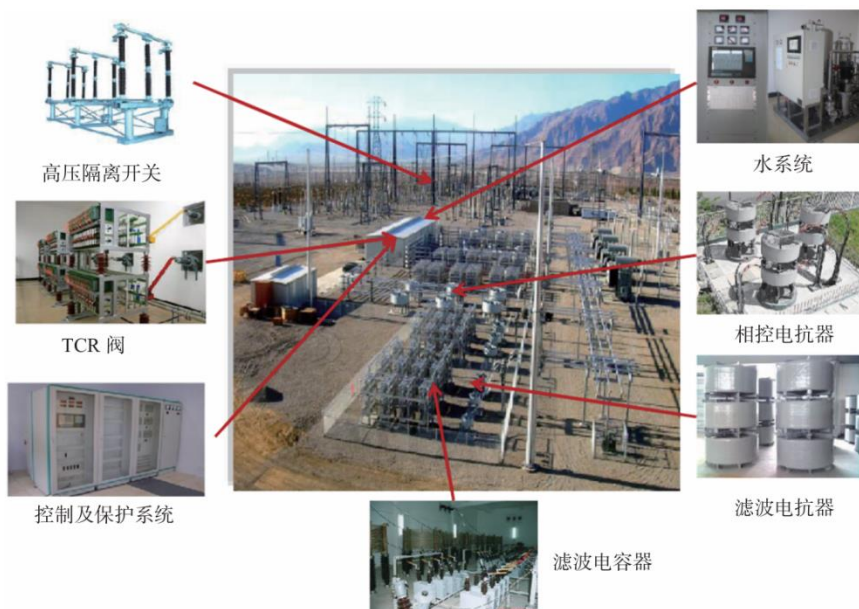
图表19：ITER 电源无功功率冲击典型情况



来源：《ITER 电源系统冲击功率补偿策略研究》，国金证券研究所

为了降低无功功率对电网、聚变装置的冲击影响，ITER 电源系统需要安装大功率无功补偿装置。

图表20：ITER 无功补偿及谐波抑制系统配置示意图



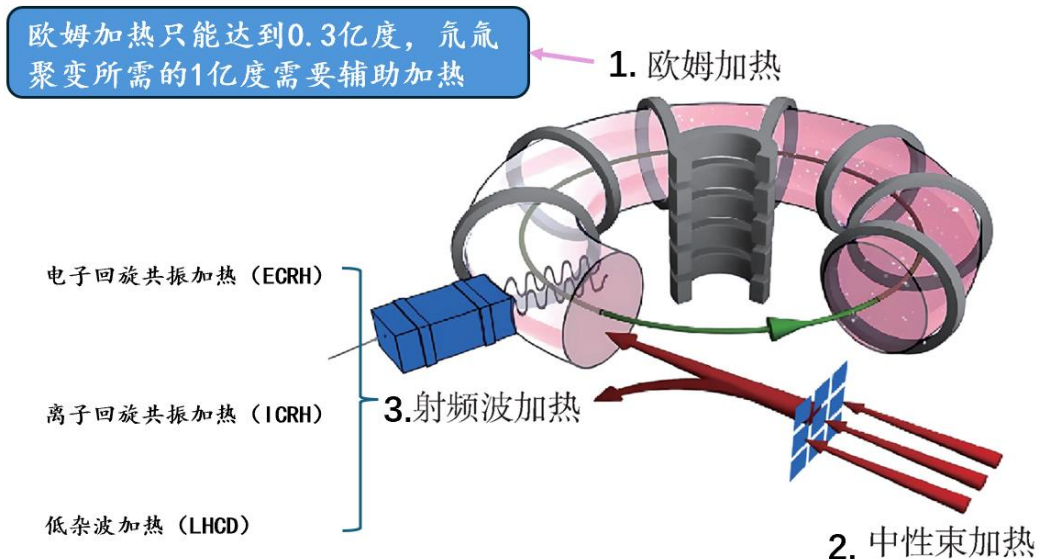
来源：《ITER 聚变装置及电源系统》，国金证券研究所

2.4 辅助加热电源：PSM、HVPS 是辅助加热装置电源的理想选择

托卡马克欧姆加热最高仅能达 0.3 亿度，需要辅助加热系统联合加热至 1 亿度。托卡马克启动加热为中心螺管提供，但不能达到聚变条件：1) 磁通时间有限：中性螺线管提供的磁通有限，等离子体感应电流维持时间有限，不能实现稳态运行（稳态运行要求非感应电流份额为 100%）；2) 加热温度低：随着加热温度升高，等离子体电阻降低，导致欧姆加热效果持续下降，最高只能加热到 0.2 亿-0.3 亿度（D-T 反应需要温度 1 亿度以上）。辅助加热系统可以提供非感应电流加热，帮助等离子体温度达到聚变反应温度条件。



图表21：辅助加热系统为托卡马克的必备系统



来源：《托卡马克高约束稳态物理的探路者——东方超环》，现代物理知识杂志，国金证券研究所

辅助加热系统要求电源大容量、高电压、快速响应&保护时间短、释放能量小：

- 大容量、高电压：ITER 聚变装置离子回旋加热系统（ICRH）、电子回旋加热系统（ECRH）以及低杂波加热系统（LHCD）所需电压 26-100kV，中性束加热系统（NBI）需要电压为 1MV 级，所需电源功率达几十兆瓦到上百兆瓦。
- 快速响应&保护时间短：微波源、离子源对电压敏感，要求电压快速可调，且易受故障导致能量冲击损坏，加热电源需要满足保护时间短（微秒级）；
- 释放能量小：电路发生故障保护时，电源对关键部件释放的能量需非常小（约几个焦耳）。

图表22：ITER 辅助加热电源切断响应时间为微秒级、负载短路时释放能量低

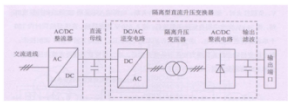
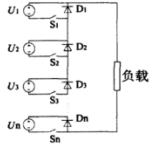
	射频波加热			中性束注入系统
	离子回旋（ICRH）加热	低混杂波（LHCD）加热	电子回旋（ECRH）加热	NBI
切断响应时间	微秒级	微秒级	微秒级	<300 μ s
最大电流	20A/170A	90A	80A	60A
负载短路时最大输送能量	10J	10J	10J	50J
电压/kV	18/27	-90	-55	1000
电源功率/MW	50	50	50	150

来源：《托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究》，国金证券研究所

脉冲阶梯调制电源（PSM）、逆变型高压电源（HVPS）能分别满足 100kV 及以下、MV 级别辅助电源的需求。根据《托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究》，PSM 单个模块输出电压在 1KV 左右，若总输出电压很高，如高达 1MW 时，需要的模块数过多；HVPS 只需要提高变压器二次侧额定电压就可获得高电压输出，更适用于几百千伏至兆伏电压需求。



图表23: PSM 主要适用 100KV 及以下, HVPS 电源主要适用于几百千伏至兆伏的输出电压

电源类型	优点	缺点	适合电压范围	示意图
逆变型高压电源 (HVPS)	1) 电源高压输出侧仅有二极管不控整流电路及输出滤波电路, 不含源器件, 控制电路全部位于低压侧, 只有主电路需要由升压变压器提供隔离, 因此其系统整体的高压绝缘更易实现。 2) 输出电压与隔离升压变压器的变比相关, 只需提高变压器二次侧额定电压即使单级逆变型直流电源模块输出很高的直流电压, 可以减少所需的模块数目。	逆变型高压直流模块因为引入全控整流及逆变电路, 其控制更为复杂, 且全控型开关管的使用大增, 系统成本更高, 可靠性相对更低。	几百千伏至兆伏	
脉冲阶梯调制电源 (PSM)	1) 每个模块可以独立控制, 控制灵活、高精度输出; 2) 移相PWM调制, 电源输出纹波频率很高, 很小的电感滤波就能降低纹波到理想数值; 3) 负载故障时, 响应时间为微秒级, 撤除闭锁信号, 即可恢复供电, 反应迅速且供应稳定性高。	通常PSM电源单个模块的输出电压都在1kV左右, 当总输出电压很高时, PSM电源所需要的模块数目将非常多, 巨大的模块数量, 会使得安装维护工作较为复杂。	100KV及以下	

来源:《托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究》, 国金证券研究所

注: PSM 为脉冲阶梯调制电源; HVPS 为逆变型高压

主流托卡马克装置中, PSM 主要给射频加热系统 (ICRH、ECRH、LHCD) 供电, HVPS 主要给 NBI 系统供电。根据《托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究》等, PSM 用于 ITER 装置 ICRH、ECRH、LHCD 供电, 以及 TCV、HL-2A、HL-3 的电子回旋加热系统供电; HVPS 用于 ITER、JET-60U、DEMO、CRAFT 装置的中性束注入加热系统供电。

图表24: PSM 主要给射频加热系统供电, HVPS 主要给 NBI 系统供电

高压电源	项目	加热系统
脉冲阶梯调制电源 (PSM)	ITER	ICRH、ECRH、LHCD
	EAST	ICRH、ECRH、LHCD、NBI
	TCV (瑞士)	ECRH
	HL-2A	ECRH
	HL-3	ECRH
逆变型高压电源 (HVPS)	ITER、JET-60U、DEMO、CRAFT	NBI

来源:《托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究》,《EAST 辅助加热高压电源系统一级课题》, 聚变产业联盟,《100kV PSM 高压电源相关技术研究和系统实现》,《HL-3 装置电子回旋长脉冲高压电源及控制系统研制》,《基于超级电容储能的 HL-3 装置中性束逆变型高压电源模块设计》, 国金证券研究所

三、FRC、Z 箍缩路线电源价值量占比高, 关注核心环节快控开关和电容

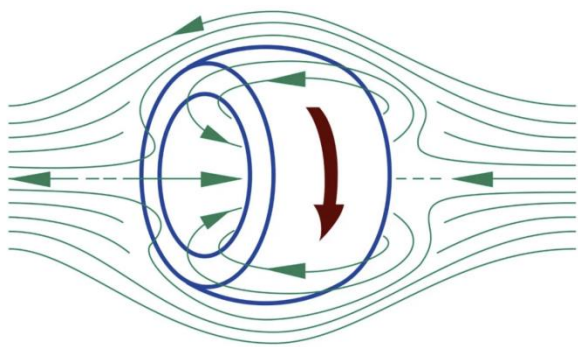
3.1 场反位形 FRC 装置进展迅速, 关注开关和电容机遇

3.1.1 场反位形 FRC 装置简单、成本低, 有望率先开启商业化

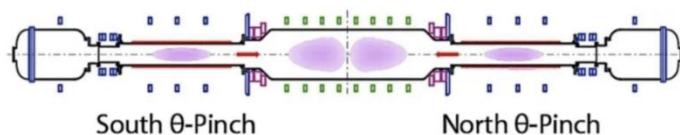
场反位形 (FRC) 是一种磁/磁惯性约束聚变技术, 物理结构为直线型。场反位形 (FRC) 结构为直线形, 原理为装置两端形成 FRC 等离子体, 并通过线圈时序通电构造出阶梯状磁场分布, 驱动等离子体向中心运输碰撞, 最后通过磁压缩 (磁惯性约束) 或中性束注入 (磁约束) 达成聚变反应。



图表25: FRC 等离子体示意图



图表26: 场反位形 (FRC) 结构示意图



来源: 星能玄光, 金证券研究所

来源: 瀚海聚能, 国金证券研究所

图表27: 场反位形 (FRC) 结构具备内部闭合、外部开放磁力线



来源: 瀚海聚能, 国金证券研究所

FRC 无需外部加热源和环向磁场、装置简单, 造价成本低和运行成本低, 有望率先实现商业化。 1) 无需外部加热源: 场反位形 (FRC) 是通过碰撞加磁压缩或碰撞加中性束注入达到聚变温度条件, 无需像托卡马克一样匹配离子回旋、电子回旋、低杂波加热等辅助加热系统; 2) 无需环向磁场: FRC 等离子体可自行产生磁约束场, 无需像托卡马克一样的庞大环向磁场线圈, 装置建造成本和运行难度有望降低; 3) 结构简洁紧凑: FRC 装置为直线型装置, 相对托卡马克, 构造简单、紧凑, 整体装置体积和成本都能有效降低。

图表28: FRC 无需外部加热源和环向磁场、装置简单, 造价成本低和运行成本低



来源: 瀚海聚能, 可控核聚变, DeepTech 深科技, 星能玄光, 国金证券研究所



场反位形 FRC 装置有望率先实现商业化供电。托卡马克方面，美国 CFS 公司进展较为领先，预计 2027 年验证 Q>1，预计 2030 年开始向谷歌商业化供电；中国 BEST 预计 27 年建成、CFETR（工程示范堆）预计 2035 年建成。场反位形 FRC 方面，美国 Helion、TAE 预计分别 2028 年向微软供电 50MW、2030 年代初推出原型电站，国内星能玄光规划 2035 年建成 200MW 聚变电站。FRC 商业化规划时间相对领先。

图表29：FRC 装置有望率先开始商业化供电

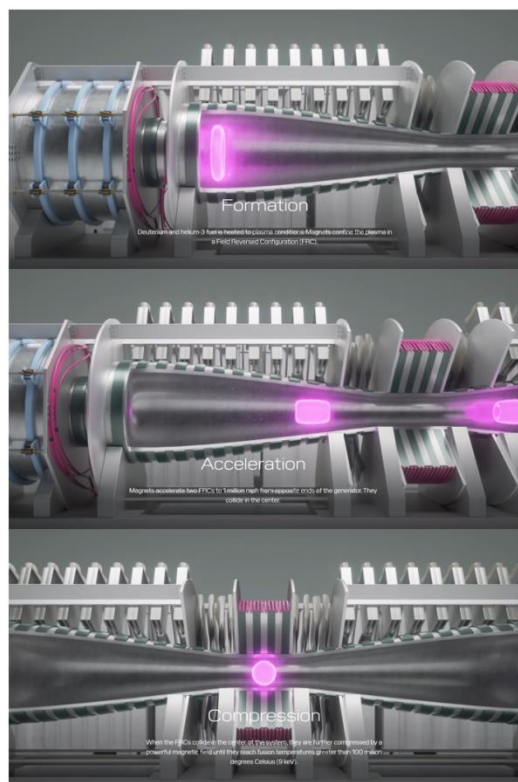
类型	国家	公司及装置名称	商业化供电或预期供电时间
托卡马克	美国	CFS/SPARC	2027 年验证 Q>1，2030 年 ARC 装置供电谷歌 200MW，设施总并网功率 400MW
	中国	BEST（紧凑型聚变实验装置）	2027 年建成并验证 Q>1，2030 年实现发电，功率 50-200MW
	中国	CFETR（工程示范堆）	2035 年建成，目标 1000MW 运行功率，Q>30
FRC	美国	Helion	2028 年向微软供电 50MW
		TAE	2030 年代初将电力并网
	中国	瀚海聚能	2028-30 年实现聚变发电
	中国	星能玄光	2035 年建成 200MW 聚变能电站

来源：可控核聚变，环球零碳，核聚变与等离子体物理，中国能源报，每经头条，大皖新闻，先进能源材料，科技导报，东四十条资本，核网，轻舟资本，元新闻，国金证券研究所

3.1.2 电源系统为 FRC 装置最核心的系统之一，关注快控开关和电容环节

FRC 装置聚变反应流程包括等离子体形成、加速、压缩聚变三个步骤。1) 等离子体形成：在装置两端通过电离气体产生等离子体；2) 等离子体加速：依靠多个线圈时序通电，将等离子体从两端加速至 100 万英里/小时的速度，并在装置中心对撞；3) 等离子体压缩：装置中间段在发生等离子碰撞时，会加强磁场（Helion Trenta 达 8T）进一步压缩等离子体达到聚变条件。

图表30：Helion 的 FRC 装置包括等离子体形成、加速、压缩聚变三个步骤



1. 等离子体形成：氘和氦-3燃料被加热至等离子体状态。磁场将等离子体限制在场反位型装置（FRC）中

2. 等离子体加速：磁场将等离子体从发电机的两端加速至每小时100万英里的速度，并在装置中心相撞

3. 等离子体压缩：当等离子体在装置中心发生碰撞时，它们会被强磁场进一步压缩，直到达到高于1亿摄氏度（9 keV）的聚变温度，发生核聚变反应输出能量

来源：Helion 官网，国金证券研究所



相对托卡马克装置，FRC 装置磁体价值量占比降低，电源系统价值量占比有望大幅提升。

1) FRC 磁体价值量占比降低：场反位形 FRC 磁场不需要类似托卡马克维持较长的约束时间，仅为 $9 \times 10^{-7} \text{s}$ ，所以 FRC 装置往往仅需铜导线磁体；其次 FRC 装置没有布置环向磁场线圈，装置磁体用量有望降低。场反位形 FRC 装置磁体价值量占比有望降低。

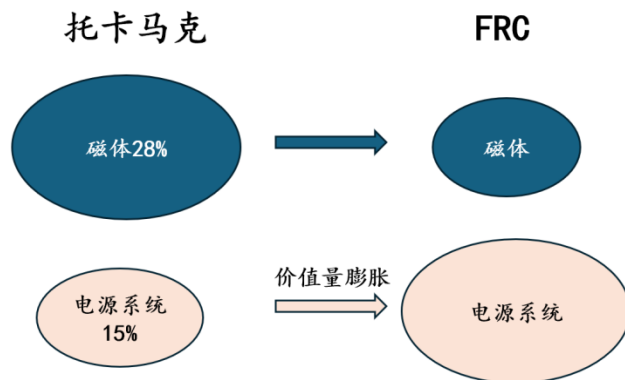
2) FRC 电源系统价值量占比有望提升：场反位形 FRC 装置要求电压为 40kV、电流为 100kA、响应时间为纳秒级别、充放电时间为几十微秒级，相对托卡马克要求均有提升，电源板块价值量占比有望提升。

图表31：FRC 对电压、电流、响应时间、充放电时间要求更高

	托卡马克	FRC
电压	1kV（线圈电源）	40kV
电流	10-68kA	数十 kA
装置功率	GW 级别	100-200MW
脉冲频率	$\geq 100\text{Hz}$ （快控电源）	每分钟数次至数十次脉冲
响应时间	$\leq 0.1\text{ms}$ （快控电源）	ns 级
充放电时间	$\leq 1\text{ms}$ 峰值响应时间	几十微秒级

来源：《ITER 聚变装置及其电源系统》，《托卡马克用大功率快速逆变电源并联研究》，《HFRC 锥形喷枪电源系统的设计与研制》，《场反位型等离子体装置的研制》，中科院之声，聚变汇，国金证券研究所

图表32：相对托卡马克路线，FRC 装置电源环节价值量占比有望增长



来源：《Superconductors for fusion: a roadmap》，《HFRC 锥形喷枪电源系统的设计与研制》，《场反位型等离子体装置的研制》，《当前核聚变技术路线与研究进展综述》，《磁惯性约束聚变：通向聚变能源的新途径》等，国金证券研究所

FRC 电源主要由电容、开关、传输线组成，脉冲电容和开关壁垒高。FRC 电源主要分为三部分，分别为储能脉冲电容、开关、传输线，其中脉冲电容、开关壁垒较高。1) 脉冲电容：FRC 电容需要耐高压（高达 40kV）、储能高（高达 80kJ）、耐大电流（数十 kA）；2) 开关：FRC 装置脉冲频率为每分钟数十次，商业化发电后开关寿命要求将提升；其次 FRC 需要电容脉冲快速放电功能，对应的高压开关需要承担几十 kV 和数十 kA 的电流冲击。引燃管、闸流管等开关具备脉冲峰值电流达上百 kA，耐压达数十 kV，具有低电感、短的击穿时间延时、稳定操作以及低电极腐蚀的优势，能基本满足 FRC 装置开关对高电压、大电流需求。

电容和开关的要求较高，且为核心充放电器件，或为价值量占比较高环节，FRC 装置批量建设有望带来脉冲电容和开关订单批量释放。

图表33：KMAX-FRC 电容要求高电压、电流、能量

参数	单位	偏置场	预电离场	主压缩场
电容器电压	kV	-20	20	40
电容器电容	μF	50×8	2×8	5×8
电容器能量	kJ	80	3.2	32
电容器电感	nH	≤ 300	≤ 50	≤ 50
电容器电阻	m Ω	≤ 100	≤ 50	≤ 50
1/4 周期	μs	77.61	4.06	6.54
峰值电流	kA	17×8	16×8	52×8
峰值磁场	Gauss	552	520	1690

来源：《场反位型等离子体装置的研制》，国金证券研究所

注：KMAX-FRC 为华中科技大学 FRC 装置名称

图表34：FRC 装置开关要求高电压、大电流及长寿命

类型	工作电压 /kV	峰值电流 /kA	电流爬升率 /kA $\cdot \mu\text{s}^{-1}$	可重复频率 /Hz	寿命
气体开关	40	300	>100	单次	10000 次
引燃管 (NL8900)	35	300	由外部电路决定	2 次/分钟	10000 次
闸流管 (TD14-150K/50H)	50	200	5000	100	良好
脉冲晶闸管	10	200	20	10	良好

来源：《紧凑环芯部加料装置用大电流高重复脉冲电源系统的研制》，国金证券研究所

3.2 Z 箍缩：驱动器价值量占比达 50%，脉冲电容和开关为核心组件

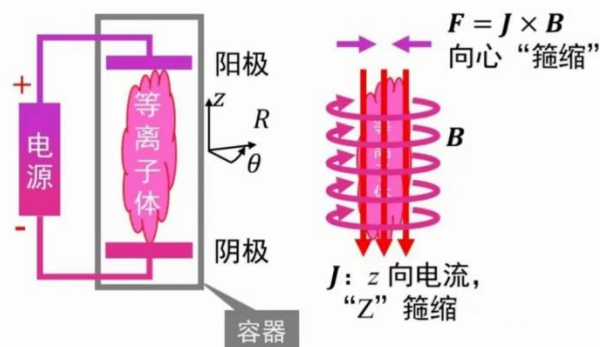
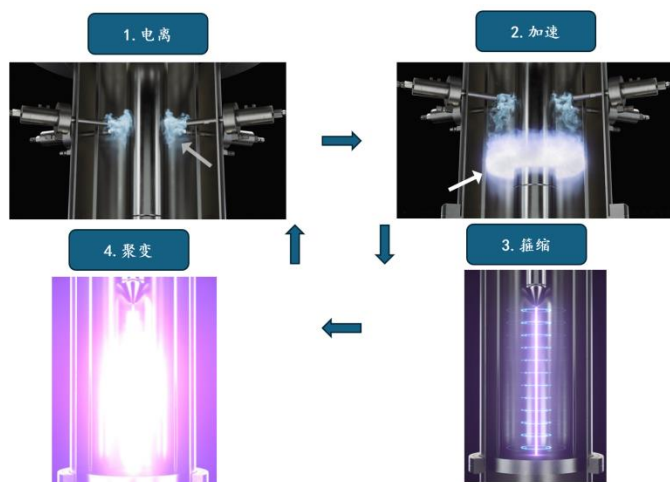
Z 箍缩装置原理为依靠等离子体大电流产生向心磁场箍缩力，使等离子体压缩达聚变条件。根据 Zap Energy 官网，Z 箍缩装置通过在千分之一秒内完成 4 个流程实现聚变：1) 电离：



一组电容释放的大电流使气体电离为等离子体；2) 加速：电磁力驱动等离子体向下加速移动；3) 箍缩：等离子体到达电极末端，z 向电流产生的磁场将等离子体向内推；4) 聚变：等离子体被箍缩至聚变所需温度，产生聚变反应。

图表35: Z 箍缩反应包括电离、加速、箍缩、聚变步骤

图表36: 等离子体 z 向电流产生向心“箍缩”



来源：ZAP Energy 官网，国金证券研究所

来源：星环聚能，国金证券研究所

Z 箍缩装置无需超导磁体、紧凑设计成本低，但对耐大电流、电极耐久性要求高。

- 无需超导磁体：不同于托卡马克这类磁约束聚变装置需要大型、昂贵的超导磁体来约束等离子体。海外领先厂商 ZAP Energy 的 Z 箍缩使用自生成的磁场，显著降低资本成本并简化反应堆设计。
- 成本优势：Z 箍缩反应堆尺寸远小于托卡马克或激光系统，这种紧凑性设计的成本比传统路线所需的资金少了几个数量级，这将会在成本上体现巨大优势。
- 高等离子体温度：2024 年 4 月，ZAP Energy 的 FuZE 设备实现了 1 - 3keV (1100 万 - 3700 万 °C) 的等离子体电子温度，标志着该设备成为达到此类条件的最简单、最小且成本最低的设备。
- 核心挑战：1) 更大的电流：体积缩小后，等离子体限制了能量输出，需要更高的电流提升能量增益；2) 电极耐久性：高电流可能导致电极熔化或侵蚀，需要坚固的材料或设计；3) 等离子体稳定性：在更高能量水平下维持剪切流稳定，是商业化的必备条件。

图表37: Z 箍缩聚变反应堆尺寸远小于托卡马克和惯性约束



来源：可控核聚变，国金证券研究所

美国 Z 箍缩聚变进展领先，先觉聚能为国内 Z 箍缩路线先行者。美国私营公司 ZAP Energy 已经建成世界首个 100kW 的重复 Z 箍缩系统，目前已实现每 10 秒发射一次等离子体脉冲，持续运行超 2 个小时，预计 2030 年代初建造首座商业发电厂。国内彭先觉院士主导 Z 箍缩聚变裂变混合堆，预计 2030 年前验证 Q>1, 2040 年进行发电演示后进入商业化推广。

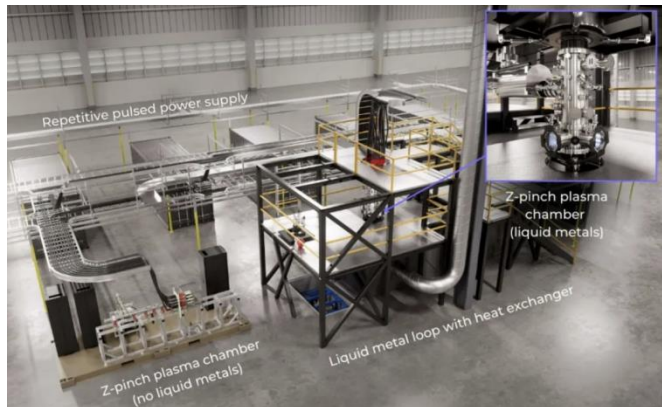


图表38：中、美均在推进Z箍缩路线发展

国家	公司	路线	进展	展望	融资额
美国	ZAP Energy	Z 箍缩	已建成世界首个 100kW 的重复 Z 箍缩系统	2030 年代初建造首座商业发电厂	3.3 亿美元
中国	先觉聚能	Z 箍缩聚变裂变混合堆	-	2030 年前验证 Q>1，2040 年进行发电演示后进入商业化推广	-

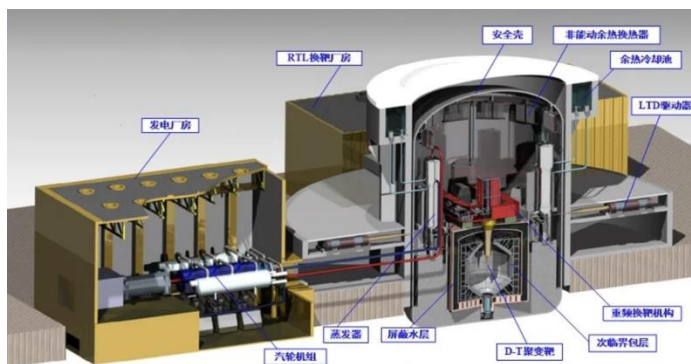
来源：可控核聚变，《聚变能源研究态势及展望》，国金证券研究所

图表39：ZAP Century（Z 箍缩）装置示意图



来源：可控核聚变，国金证券研究所

图表40：Z 箍缩聚变裂变混合堆示意图



来源：远望智库，国金证券研究所

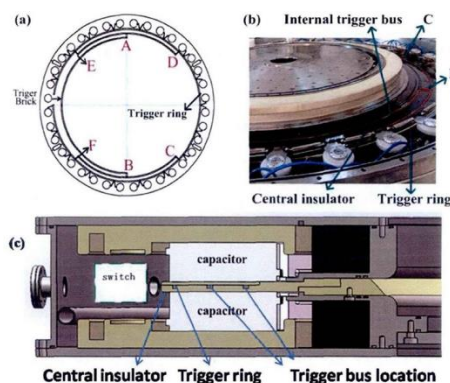
Z 箍缩驱动器要求大电流、脉冲频率高、寿命长，对电容、开关要求高。根据《中国脉冲功率科技进展简述》，LTD 驱动器是 Z 箍缩装置产生脉冲大电流的核心部件，主要由电容、开关组成。对电容、开关要求更高，核心参数要求包括脉冲频率高（0.1Hz）、脉冲电流大（数十 MA 级）、电流上升沿（百纳秒级）、储能大（百兆焦耳）。

图表41：先觉聚能目标建设 60MA 驱动器

图表42：Z 箍缩驱动器单支路由一个开关控制两个电容



来源：远望智库，国金证券研究所

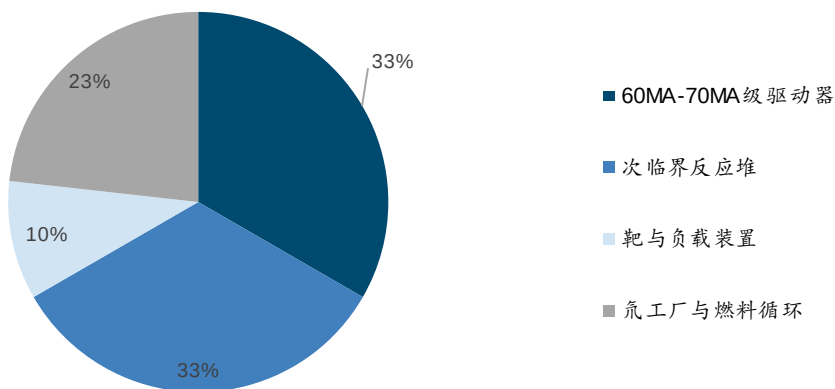


来源：《基于 LTD 技术的重频 Z 箍缩驱动器设计》，国金证券研究所

Z 箍缩聚变裂变混合堆中 60MA-70MA 级驱动器价值量占比约为 33%（不算裂变的次临界反应堆，占比达 50%），电容、开关或为主要价值量环节。根据《Z-箍缩驱动聚变-裂变混合能源堆总体概念研究》，Z-FFR 建造成本中 60-70MA 级驱动器价值量、次临界反应堆占比约为 33%、33%。其中 Z 箍缩 LTD 驱动器主要由脉冲电容、开关组成，看好先觉聚能建设推进，带动脉冲电容、开关订单释放。



图表43: Z 箍缩聚变裂变混合堆中 60MA-70MA 级驱动器价值量占比约为 33%



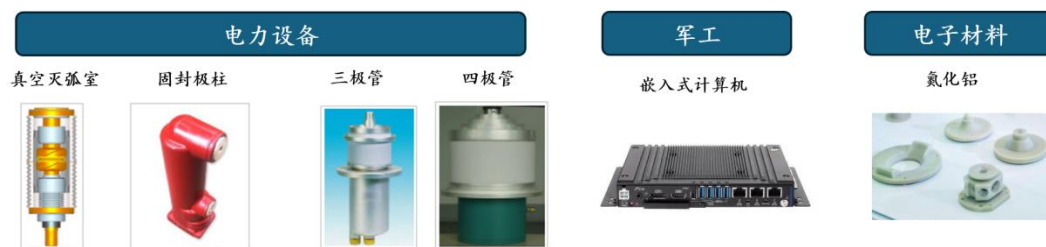
来源:《Z-箍缩驱动聚变-裂变混合能源堆总体概念研究》, 国金证券研究所

四、投资建议

4.1 旭光电子: 深耕高压、大电流开关, 有望切入 FRC、Z 箍缩电源开关

旭光电子前身为国营旭光电子管厂(779 厂), 产品主要包括电力设备、军工以及电子材料。分板块来看: 1) 电力设备板块主要产品为真空灭弧室、固封极柱、三极管、四极管等; 2) 军工板块主要产品为嵌入式计算机、精密结构件等; 3) 电子材料为氮化铝产品。

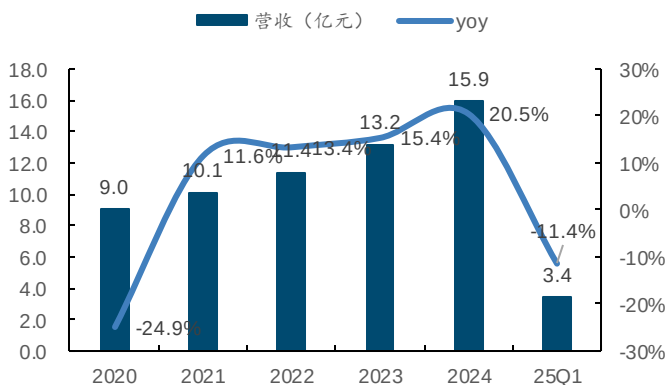
图表44: 旭光电子主要产品电力设备、军工以及电子材料



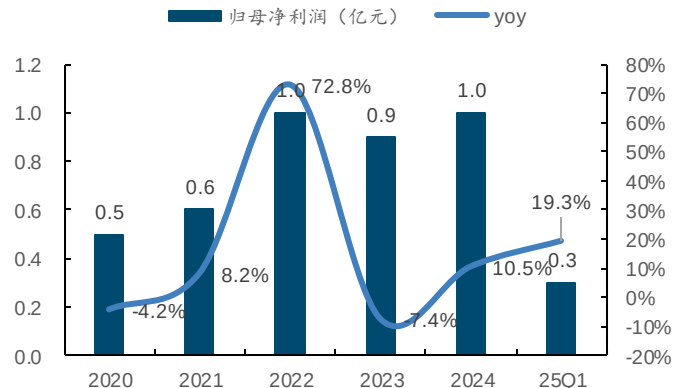
来源: 旭光电子官网, 国金证券研究所

25Q1 收入短期承压、利润加速增长。25Q1 旭光电子营收为 3.4 亿元, 同比-11.4%, 得益于旭光电子产品结构调整、费用管控, 25Q1 归母净利润为 0.3 亿元, 同比+19.3%。

图表45: 25Q1 旭光电子营收短期承压



图表46: 25Q1 旭光电子归母净利润加速增长



来源: iFinD, 国金证券研究所

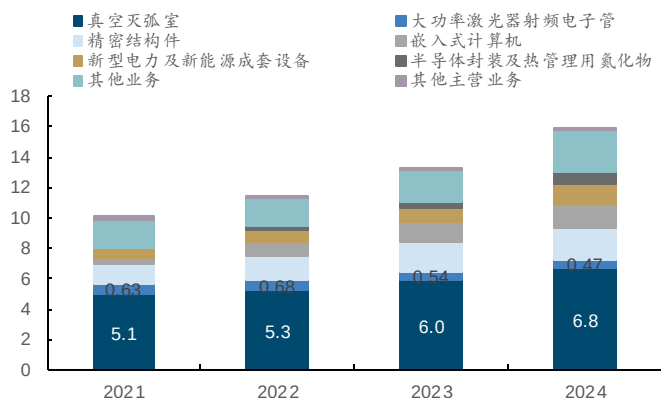
来源: iFinD, 国金证券研究所

大功率电子管占比低, 中远期提升空间大。24 年大功率电子管收入为 0.47 亿元, 收入占

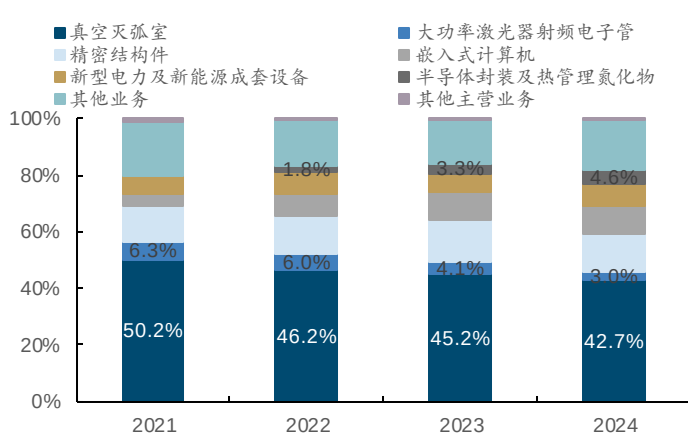


比仅 3.0%，看好核聚变、光刻、CT 领域放量带动收入规模提升。大功率电子管毛利率为 50%以上，放量有望带动公司整体利润加速扩张。

图表47：24 年旭光电子大功率电子管收入达 0.47 亿元



图表48：24 年旭光电子大功率电子管收入占比为 3.0%

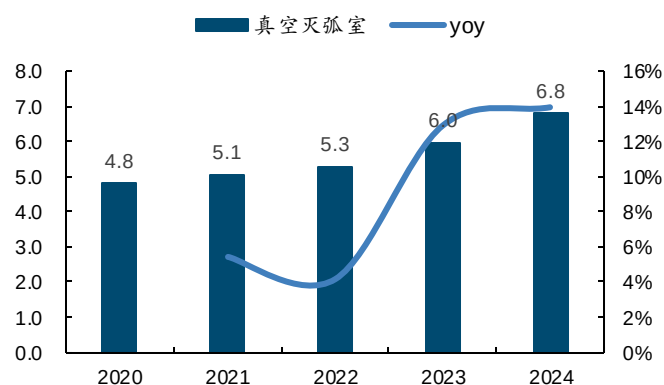


来源：Wind，国金证券研究所

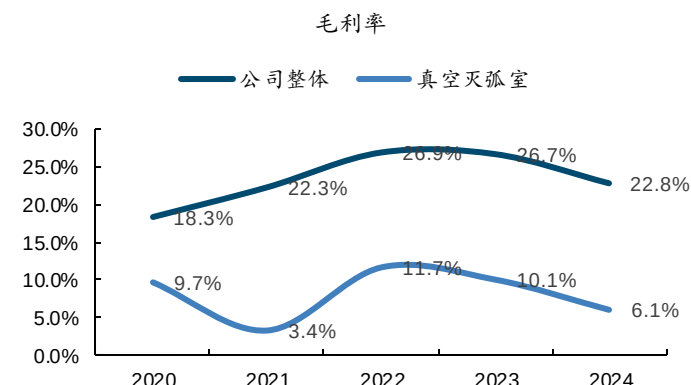
来源：Wind，国金证券研究所

24 年旭光电子真空灭弧室收入达 6.8 亿元，高压产品进展顺利。24 年旭光电子真空灭弧室销量达近 120 万只，销量扩张带动真空灭弧室收入提升至 6.8 亿元，受原材料涨价影响，毛利率短期承压。旭光电子 126kV 真空灭弧室通过多家头部客户验证并挂网运行，145kV 和 252kV 真空灭弧室完成主要功能型式试验，高压产品逐步放量有望带动该板块量利齐升。

图表49：24 年真空灭弧室收入达 6.8 亿元



图表50：24 年旭光电子真空灭弧室毛利率降至 6.1%



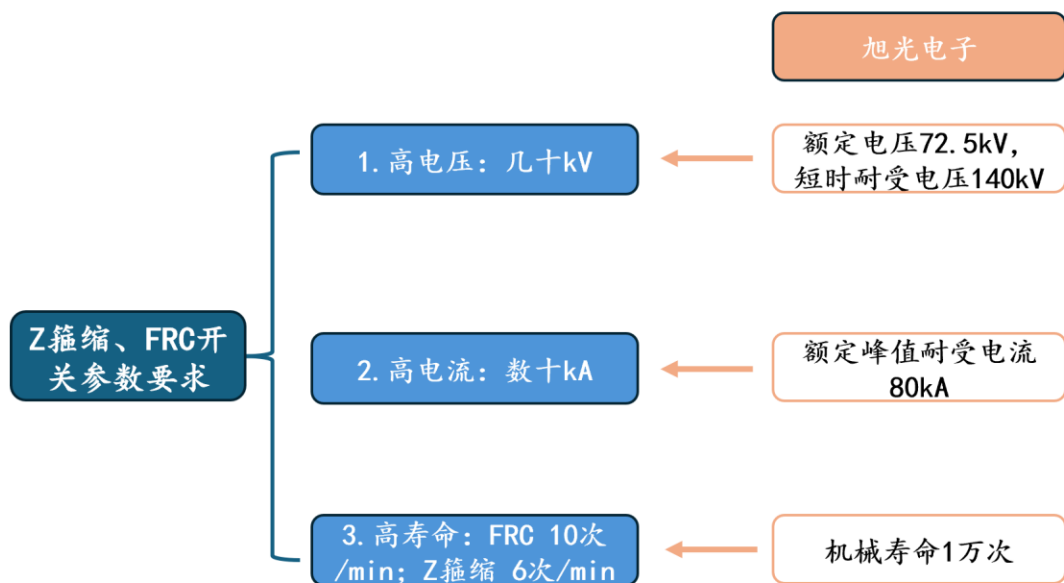
来源：Wind，国金证券研究所

来源：Wind，国金证券研究所

旭光电子开关能基本满足 Z 箍缩、FRC 的开关性能需求。根据《HFRC 锥形喷枪电源系统的设计与研制》，FRC 装置开关用于控制电容充放电，需要满足耐几十 kV 高电压、几十 kA 大电流以及高开关次数要求，旭光电子开关三项指标基本满足要求，有望切入 FRC、Z 箍缩装置供应体系。



图表51: 旭光电子开关能基本满足Z箍缩、FRC的开关性能需求



来源：旭光电子官网，可控核聚变，《场反位形等离子体装置的研制》，《HFRC锥形喷枪电源系统的设计与研制》，《基于LTD技术的重频Z箍缩驱动器设计》，国金证券研究所

4.2 王子新材：已供应磁体电源电容，有望切入FRC、Z箍缩供应链

王子新材主营业务为塑料包装、军工电子、薄膜电容，其中薄膜电容业务通过控股子公司宁波新容开展，下游包括新能源汽车、可控核聚变、医疗、轨交、家电等领域，大客户包括比亚迪、零跑汽车、阳光电源、格力、美的、GE等。

图表52: 王子新材主营业务为塑料包装、军工电子、电

图表53: 王子新材电容客户覆盖比亚迪、阳光电源等



来源：王子新材官网，公司公告，国金证券研究所

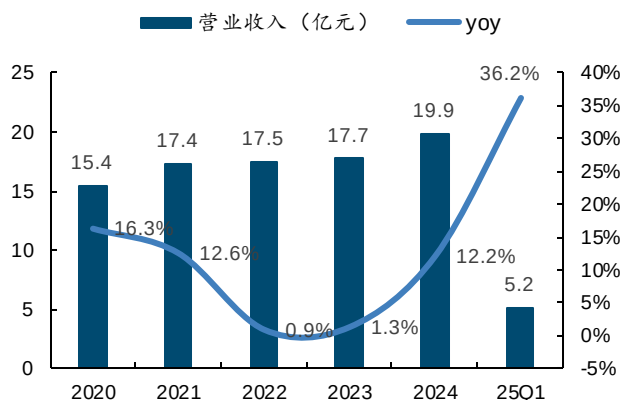


来源：王子新材公告，国金证券研究所

25Q1 王子新材营收、利润双增长，整体经营向好。随着新产能逐步投产，25Q1 王子新材营收达 5.2 亿元，同比+36.2%，营收扩张带动公司利润转正，25Q1 王子新材归母净利润达 0.08 亿元，同比+66.3%。

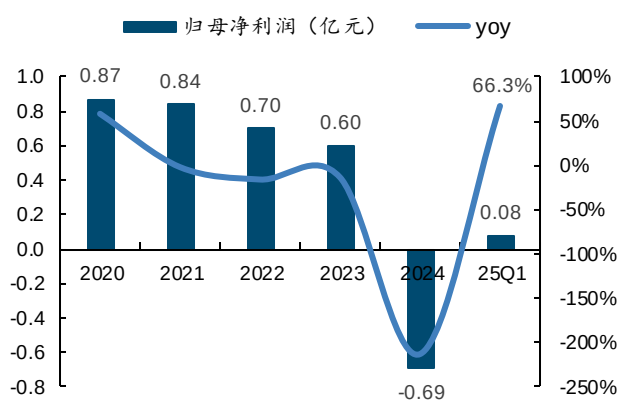


图表54: 25Q1 王子新材营收同比+36.2%



来源: iFinD, 国金证券研究所

图表55: 25Q1 王子新材归母净利润转正



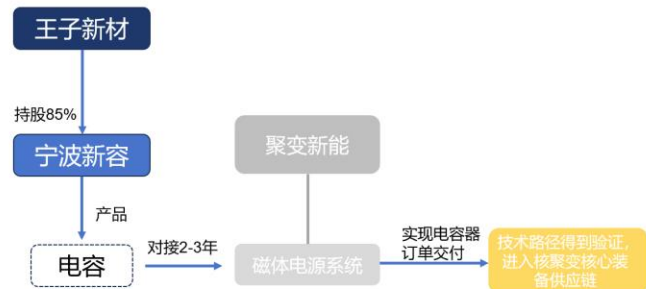
来源: iFinD, 国金证券研究所

控股子公司宁波新容实现磁体电源系统电容订单交付, 正式切入核聚变核心装备供应链。根据王子新材公告, 王子新材控股子公司宁波新容经过两年的客户对接后, 实现对聚变新能核聚变磁体电源系统电容器订单交付, 标志着宁波新容核聚变电容技术路径得到验证, 正式切入核聚变核心装备供应链。

公司核聚变领域电容有望切入 Z 箍缩和 FRC 装置, 实现价值量膨胀。Z 箍缩和 FRC 电源电容价值量占比高, 公司技术实力已获得核聚变领域认可, 有望从托卡马克磁体电源电容拓展至 Z 箍缩和 FRC 装置脉冲电容, 实现价值量膨胀。24 年宁波新容收入达 4.5 亿元, 同比+59.6%, 预计随着产能释放+核聚变需求扩张, 宁波新容有望迎来高增长。

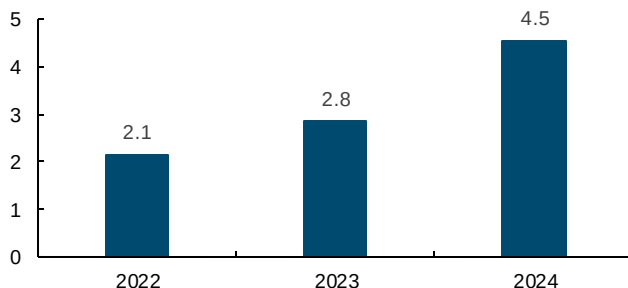
图表56: 子公司宁波新容已实现核聚变电容订单交付

图表57: 24 年宁波新容收入规模大幅增长



来源: iFinD, 公司公告, 国金证券研究所

宁波新容收入 (亿元)



来源: iFinD, 国金证券研究所

4.3 国力股份: 氢闸流管核心供应商, 有望切入核聚变领域

国力股份深耕继电器、电子管等真空器件 20 余年, 下游包括新能源汽车、充电设施等。国力股份前身为昆山国力真空电气公司, 经过 20 余年的深耕, 建立了完整的电力真空器件核心技术平台, 产品包括继电器、电路开关、电容器、大功率速调管等产品, 下游主要为新能源车、充电设施、半导体、大科学工程等。

图表58: 国力股份产品主要为继电器、电路开关、电容器、速调管等

类别	主要产品	具体介绍	应用领域
继电器	真空接触器	是一种密封的高压直流负载通断器件, 主要用于新能源汽车电池主回路控制、预充回路控制和充电控制, 解决了传统继电器不能适应新能源汽车及快速充电设备高电压的问题	新能源汽车及充电设施、航天航空及军工
	接触点组	用于生产直流接触器, 是直流接触器的核心部件	新能源汽车及充电设施
	真空继电器	是一种控制电路的重要电子真空器件, 具备处理高功率的能力, 能在高频、高压、大电流等苛刻条件下工作	航天航空及军工、半导体设备制造



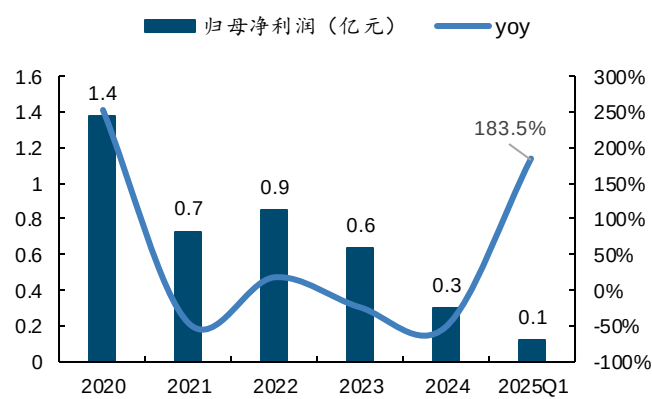
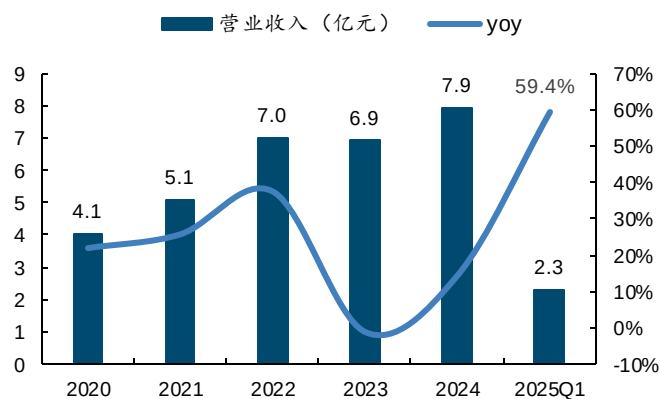
类别	主要产品	具体介绍	应用领域
电路开关	交流接触器	是一种交流电路开关器件，多用于电力开断和控制电路，承载的电流很大，带有过流或接地保护功能，可频繁的通断电路、以小电流控制大电流，主要应用于柔直输配电、高压变频及光伏逆变器等领域	光伏风能及储能、传统能源
	真空开关管	是用于真空交流开关的重要器件，借助真空优良的绝缘和熄弧性能，实现电路的关合或分断，能迅速熄弧并抑止电流，主要应用于快速保护电力线路、实现带电分闸，是交流接触器的主要组成部分	传统能源
电容器	真空电容器	是一种真空密封的高电压电容器，产品具有耐压高、承载电流大、损耗小、寿命长等特点，在发射机的电路中用于频率的调谐以及滤波，在半导体设备应用中调节容量实现高频电源与负载阻抗的匹配以获得最大功率的输出	航天航空及军工、半导体设备制造
	大功率闸流管	是一种强放电的开关器件，能够在数百纳秒的时间内接通高达数千安培的大电流，从而形成强电流脉冲，通常作为脉冲功率开关应用于加速器、激光器等设备中	安检、辐照、大科学工程
电子管	大功率磁控管	是高功率微波发生器件，能够将输入的直流高压电转化为高频、大功率微波输出到后端负载，应用于加速器系统、微波加热系统、工业辐照系统等	安检、辐照
	大功率速调管	是高功率微波放大器件，是粒子加速器的核心电子器件，具有高增益、高脉冲功率等优点，广泛应用于高能加速器、核聚变研究试验设备、航空监控雷达等国家重点领域	辐照、大科学工程

来源：国力股份公告，国金证券研究所

25Q1 国力股份营收、利润双增。根据公司投资者关系信息记录表，公司各主要业务板块的客户需求均比较乐观，防务领域的控制盒也在稳定交付，真空继电器的交付预计在今年逐步交付，订单逐步交付带动公司业绩增长，25Q1 营收达 2.3 亿元，同比+59.4%，归母净利润达 0.1 亿元，同比+183.5%。

图表59：25Q1 国力股份营收同比+59.4%

图表60：25Q1 国力股份归母净利润表现较好



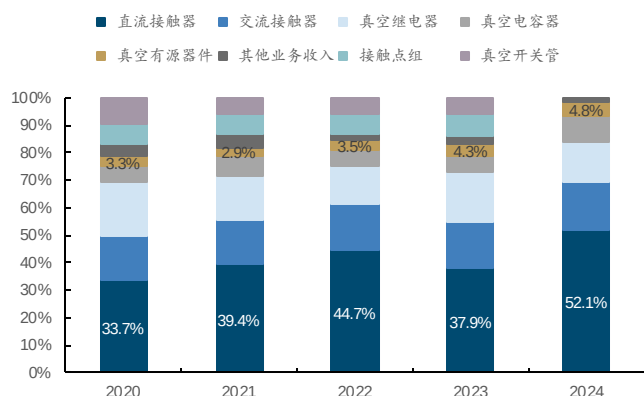
来源：iFinD，国金证券研究所

来源：iFinD，国金证券研究所

直流接触器收入占比超 50%，24 年盈利能力短期承压。国力股份 24 年直流接触器收入占比为 52.1%，占比过半，为公司最主要的产品。从盈利能力来看，24 年直流接触器毛利率为 19.5%，同比下行较大原因或为下游新能源车行业降价导致。

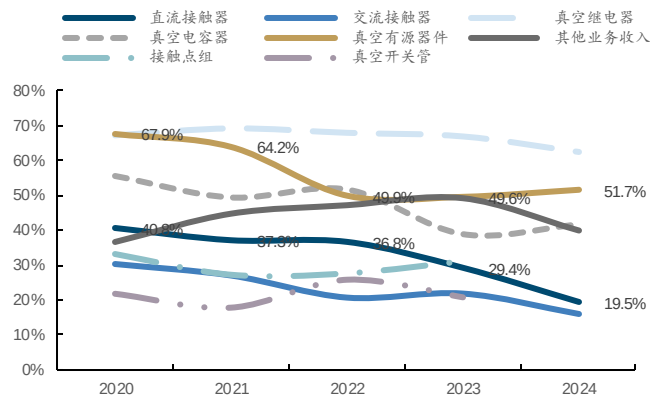


图表61：直流接触器收入占比超50%



来源：iFind，国金证券研究所

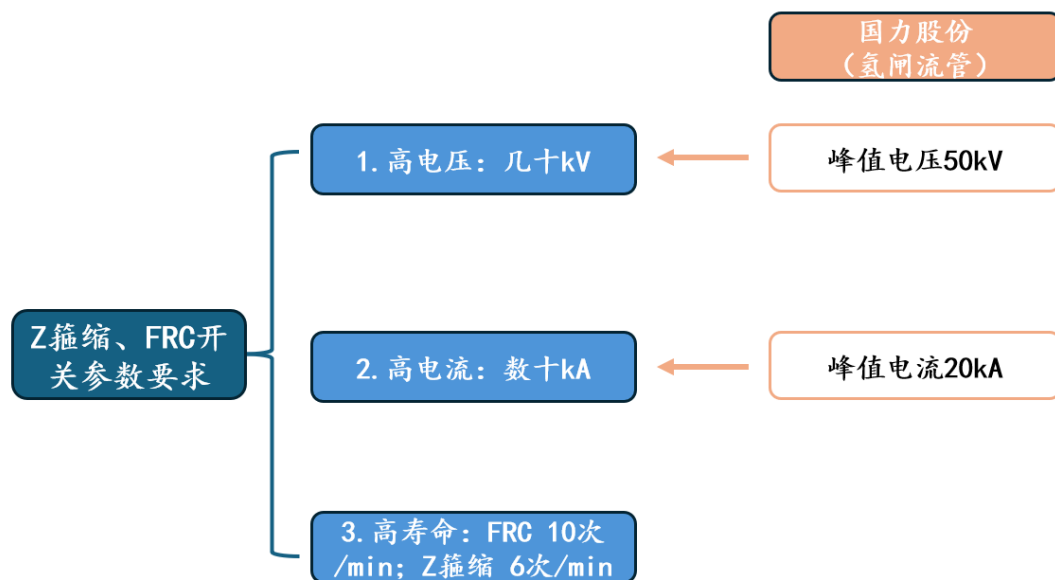
图表62：直流接触器盈利能力短期承压



来源：iFind，国金证券研究所

国力股份氦闸流管电压、电流参数能基本满足 FRC、Z 箍缩开关需求。根据国力股份官网，公司氦闸流管，峰值正向阳极电压、电流分别可达 50kV、20kA，在电压、电流方面基本满足 Z 箍缩和 FRC 开关的参数要求（寿命数据未披露），具备切入核聚变领域的技术储备。

图表63：国力股份氦闸流管电压、电流参数能基本满足 FRC、Z 箍缩开关需求



来源：国力股份官网，可控核聚变，《场反位形等离子体装置的研制》，《HFRC 锥形喷枪电源系统的设计与研制》，《基于 LTD 技术的重频 Z 箍缩驱动器设计》，国金证券研究所

4.4 四创电子：国内雷达龙头之一，子公司华耀电子供应核聚变 PSM 电源

四创电子产品覆盖雷达、信息系统、微波电路、电源等。四创电子于 2000 年由中国电子科技集团第三十八研究所发起成立，产品主要覆盖雷达、信息系统、微波电路、电源等。



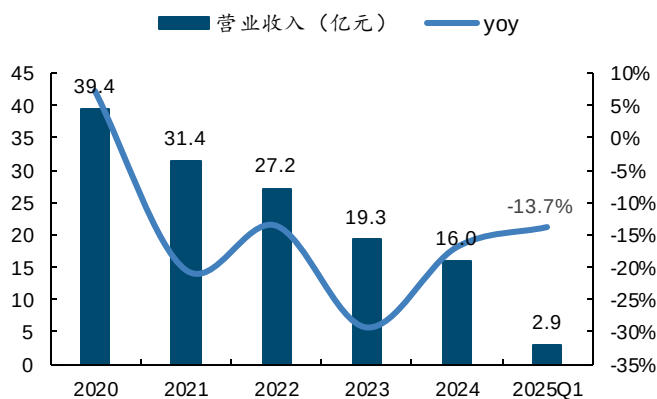
图表64：四创电子产品覆盖雷达、信息系统、微波短路、电源等



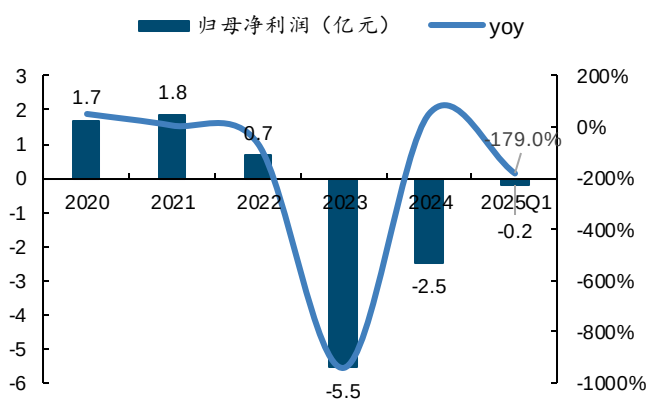
来源：四创电子官网，国金证券研究所

25Q1 四创电子短期业绩承压。部分客户需求放缓及市场竞争加剧，导致 25Q1 四创电子营收同比下行 13.7%，利润短期承压。

图表65：25Q1 四创电子营收短期承压



图表66：25Q1 四创电子归母净利润短期承压

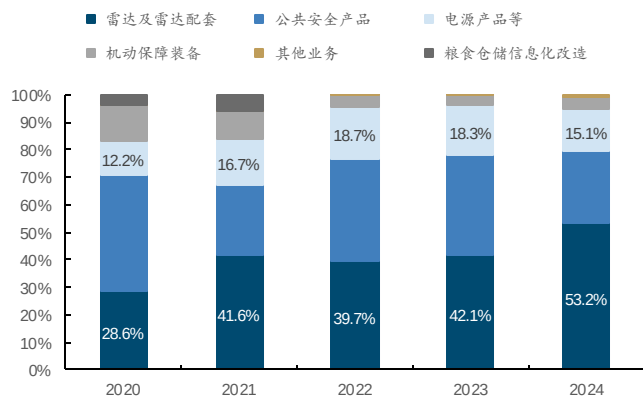


来源：iFind，国金证券研究所

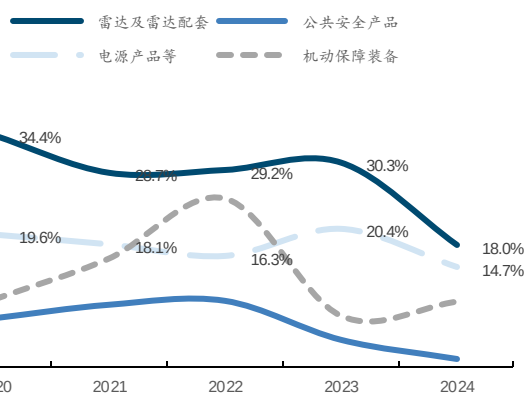
来源：iFind，国金证券研究所

24 年雷达及雷达配套收入占比超 50%，短期毛利率承压。受 24 年原材料涨价、市场竞争加剧影响，雷达及雷达配套毛利率短期承压。预计随着机场建设量提升、国产化率提升以及气象雷达覆盖率提升，四创电子业绩有望逐步修复。

图表67：24 年雷达及雷达配套收入占比超 50%



图表68：24 年雷达及雷达配套毛利率承压



来源：iFind，国金证券研究所

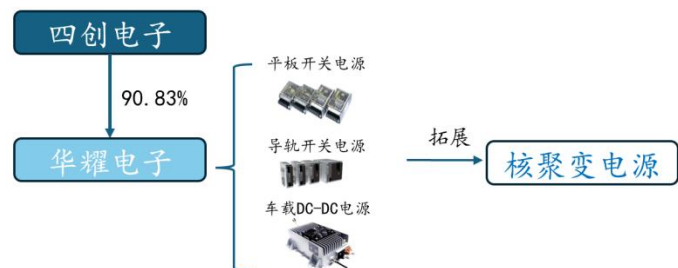
来源：iFind，国金证券研究所



持有华耀电子 90.83%股份，PSM 高压电源已批量应用于 EAST 装置的离子回旋共振加热（ICRH）系统。华耀电子 2024 年成功研制出 140kV PSM（脉冲阶梯调制）高压电源模块，实现了单个高压电源组件 1200V/100A 大功率输出，解决了高压电源领域的精度、效率和可靠性难题，其稳定运行为 EAST 的突破性实验提供了关键能量支持。

图表69：四创电子持有华耀电子 90.83%股权

图表70：华耀电子 PSM 高压电源供应 EAST 装置

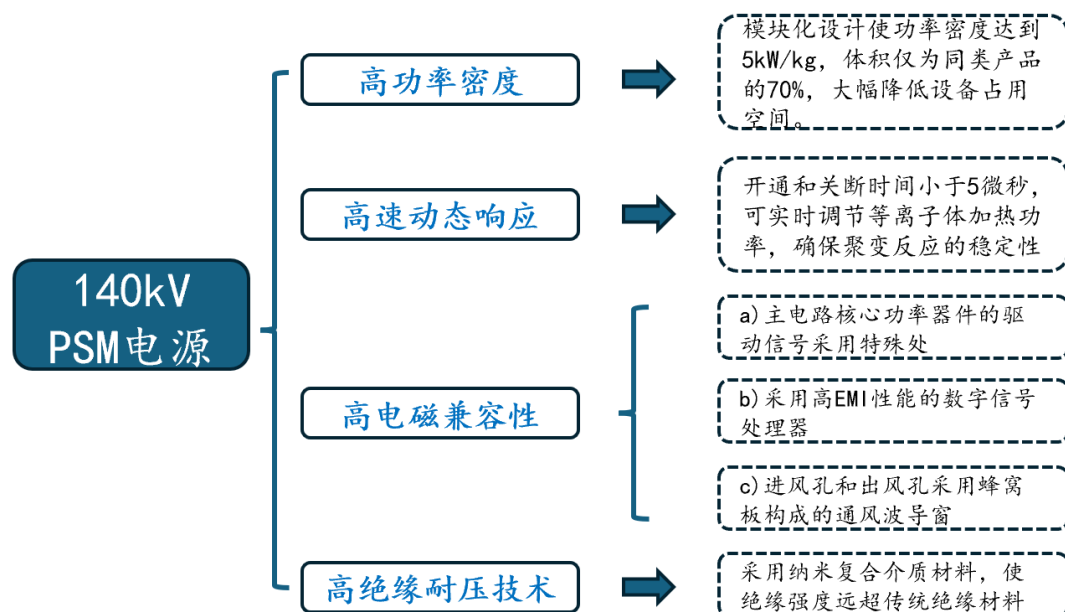


来源：iFind，国金证券研究所

来源：聚变产业联盟，国金证券研究所

华耀电子 140kV PSM 电源具备高功率密度、动态响应、磁通性等优势。华耀电子 140kV 核聚变 PSM 电源具备高功率密度、高速动态响应、高电磁兼容性和高绝缘耐压技术，解决了传统的高压电源模块存在的效率低、体积大、动态响应慢及难以满足现代聚变装置的高精度控制需求的问题。

图表71：华耀电子 140kV PSM 电源具备高功率密度、动态响应、磁通性等优势



来源：聚变产业联盟，国金证券研究所

4.5 英杰电气：核聚变电源积累深厚，覆盖头部核聚变客户

英杰电气专注工业电源，主要产品包括功率控制电源、特种电源以及新能源充电桩。1) 功率控制电源：以 MOS 管、晶闸管、IGBT 等为基础的电源功率控制器件；2) 特种电源：满足特殊用电部门对电压、电流、频率的需求，一般对电源稳定度、精度、动态响应及纹波要求更高；3) 新能源充电桩：主要为充电桩控制器、充电桩以及储能设备。



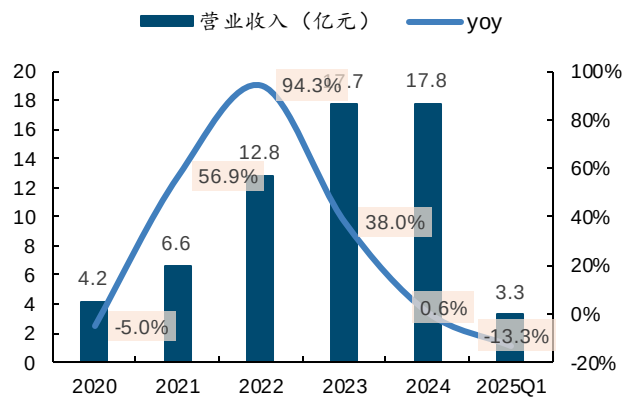
图表72：英杰电气产品主要为功率控制电源、特种电源以及新能源充电桩



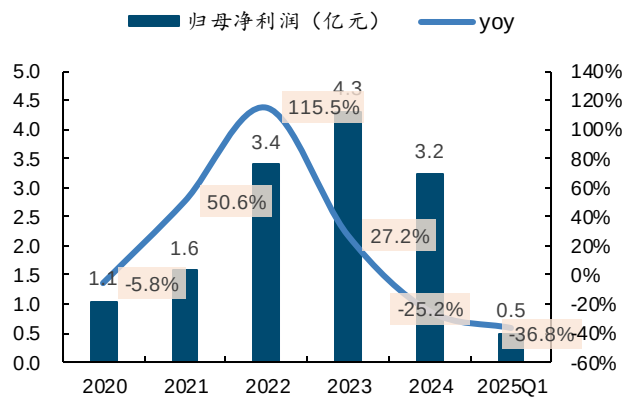
来源：英杰电气公告，国金证券研究所

25Q1 英杰电气营收、利润短期承压。25Q1 公司实现营收、归母净利润分别为 3.3 亿元、0.5 亿元，同比-13.3%、-36.8%，公司业绩短期承压，原因或是光伏周期下行导致。随着英杰电气积极拓展海外市场、半导体行业，预计业绩有望迎修复。

图表73：25Q1 英杰电气收入短期承压



图表74：英杰电气利润短期承压



来源：Wind，国金证券研究所

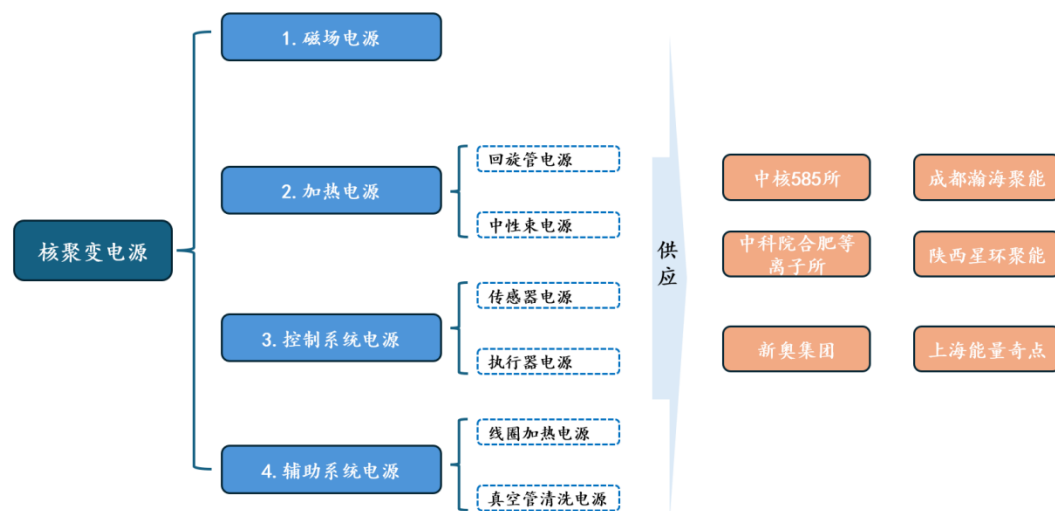
来源：Wind，国金证券研究所

英杰电气深耕特种电源多年，核聚变领域电源覆盖磁场电源、加热电源、控制系统电源以及辅助系统电源。英杰电气覆盖核聚变多个种类电源：1) 磁场电源：为装置磁场系统提供稳定电力支持；2) 加热电源：涵盖回旋管电源、中性束电源，用于等离子体加热；3) 控制系统电源：为传感器、执行器等控制模块供电；4) 辅助系统电源：包括线圈加热电源、真空管清洗电源等配套电源。

公司目前已进入核聚变多家重点客户。公司已与中心 585 所合作近 20 年，深度参与国内众多核聚变项目，为中核 585 所、中科院合肥等离子所、新奥集团、上海能量奇点、成都瀚海聚能、陕西星环聚能提供电源支持。24 年公司聚变相关电源订单突破千万元，历史累计订单已达数千万元，预计随着聚变实验堆密集建设，公司电源订单有望进一步扩张。



图表75：英杰电气核聚变电源供应中核585所、中科院合肥等离子所等重点客户



来源：英杰电气公告，国金证券研究所

4.6 爱科赛博：深耕电力电子，切入核聚变磁场电源、加热电源

爱科赛博深耕电力电子领域，主要产品包括精密测试电源、特种电源以及电能质量控制设备。1) 精密测试电源：具有高精度、高动态并能够模拟电源或负载性，用于电气电子设备测试的交直流电源及电子负载；2) 特种电源：具备高精度、高稳定或高动态等特性的，能满足特殊负载用电需求的交直流电源；3) 电能质量控制设备：用于解决供配电系统的电压与电流谐波抑制、无功补偿、三相不平衡、波动与闪变和电压暂降等问题。

图表76：爱科赛博产品覆盖精密测试电源、特种电源以及电能质量控制设备

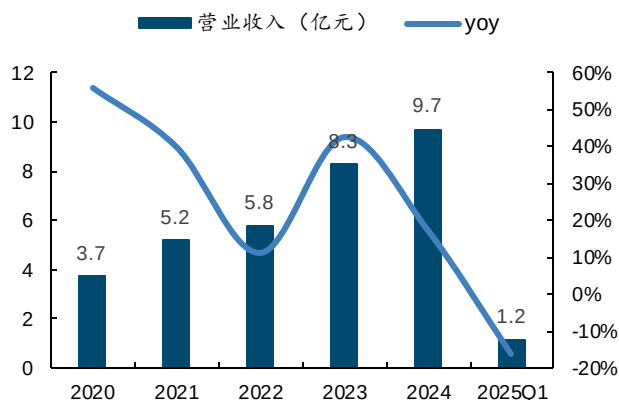


来源：爱科赛博公告，国金证券研究所

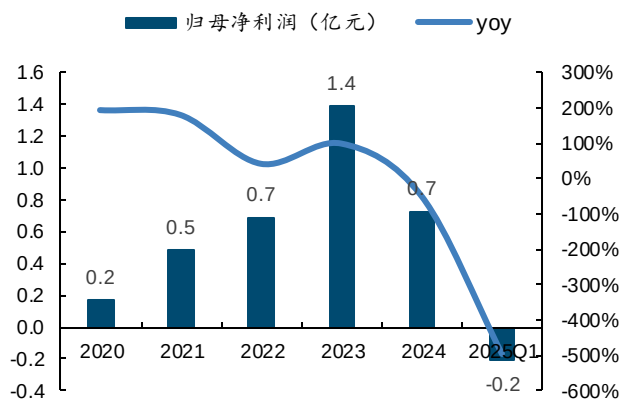
25Q1 爱科赛博业绩短期承压，合同负债位于近5年峰值。根据公司公告，25Q1 爱科赛博实现营收、归母净利润为1.2、-0.2亿元，同比-15.9%、-494.0%，业绩短期承压，原因或是25Q1 爱科赛博持续加大研发投入和市场开拓，研发费用和销售费用扩张。25Q1 爱科赛博合同负债达0.77亿元，同比+144.5%，合同负债高增表示下游需求回暖，爱科赛博业绩有望迎回暖。



图表77：25Q1 爱科赛博营收短期承压



图表78：25Q1 爱科赛博利润短期承压

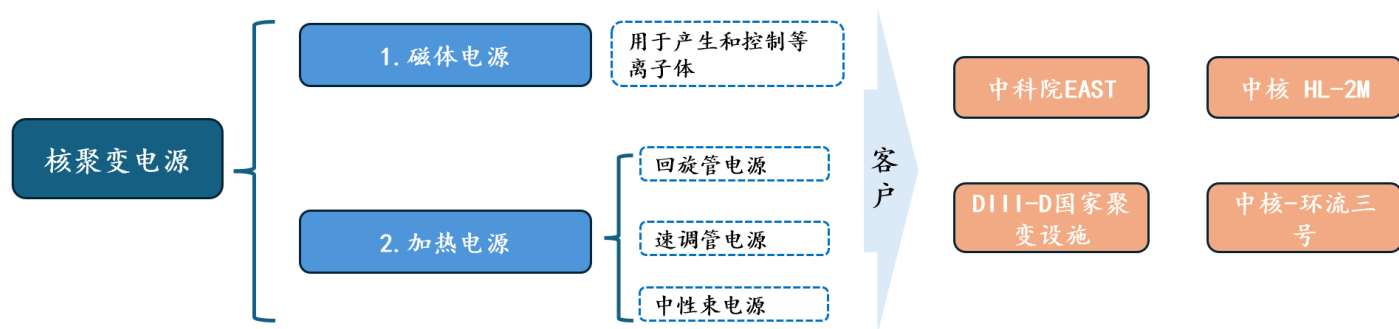


来源：iFind，国金证券研究所

来源：iFind，国金证券研究所

爱科赛博核聚变电源产品为磁体电源和辅助加热电源，客户包括中科院 EAST、中核环流系列等。根据投资者关系活动记录表，爱科赛博核聚变电源包括磁体电源和辅助加热电源，其中磁体电源用于给磁体供电，产生和控制等离子体；辅助加热电源为中性束加速级、速调管、回旋管供电，产生高功率微波，加热等离子体。

图表79：爱科赛博主要覆盖核聚变磁体电源和加热电源



来源：爱科赛博公告，国金证券研究所

4.7 新风光：深耕电力电子节能控制技术，切入核聚变磁场电源、加热电源

公司深耕大功率电力电子节能控制技术，产品包括高压动态无功补偿装置、各类高中低压变频器、智慧储能系统装置、轨道交通能量回馈装置、煤矿防爆和智能控制装备等，广泛应用于风力发电、光伏电站、新能源发电行业、轨道交通、矿业、石油、化工、冶金、市政等领域。



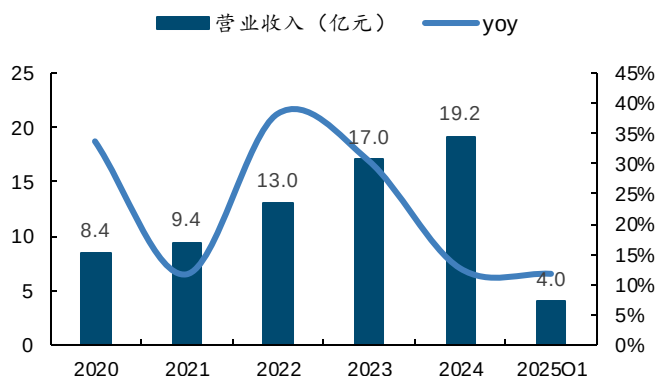
图表80: 新风光产品包括高中低压变频器、无功补偿装置、智慧储能系统等



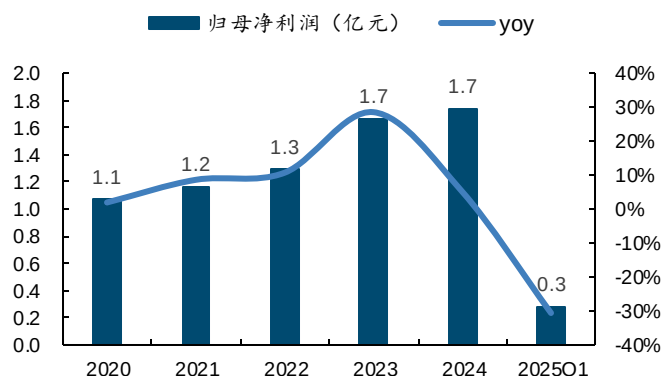
来源: 新风光公告, 国金证券研究所

25Q1 公司收入稳健增长, 利润短期承压。根据新风光公告, 25Q1 新风光实现收入、归母净利润分别为 4.0、0.3 亿元, 同比+11.8%、-30.5%, 新风光收入稳健增长, 利润端短期承压。

图表81: 25Q1 新风光收入达 4.0 亿元



图表82: 25Q1 新风光归母净利润短期承压

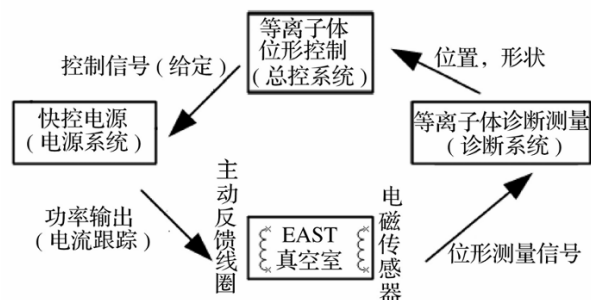


来源: Wind, 国金证券研究所

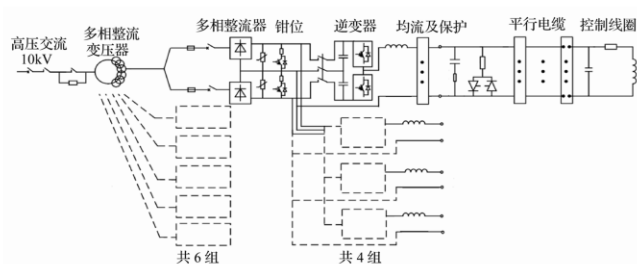
来源: Wind, 国金证券研究所

新风光等离子体快控电源供应 EAST。根据新风光公告, 新风光研发的“等离子体垂直位移快速控制电源”成功应用于中科院等离子体物理研究所承担的“国家重大科学研究项目——EAST 核聚变试验装置”, 随着国内实验堆密集建设, 具备产品积累的新风光有望争取批量订单。

图表83: EAST 快控电源功能为控制等离子体位形



图表84: EAST 快控电源系统框图



来源: 《EAST 等离子体垂直不稳定位移主动反馈控制》, 国金证券研究所

来源: 《EAST 等离子体垂直不稳定位移主动反馈控制》, 国金证券研究所

我们看好可控核聚变行业在“十五五”期间资本开支进入加速释放周期, 建议重点关注 FRC



装置和 Z 箍缩装置建设推进，带来电源系统价值量膨胀的机遇，脉冲电容、快控开关相关公司订单有望释放；其次关注托卡马克装置密集建设带来的磁体电源、辅助加热电源以及无功补偿及滤波系统机遇。关注旭光电子、王子新材、国力股份、四创电子、英杰电气、爱科赛博、新风光。

图表85：核聚变电源相关公司估值表

证券代码	股票名称	核聚变电源相关业务	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)					PE				
				2023A	2024A	2025E	2026E	2027E	2023A	2024A	2025E	2026E	2027E
600353.SH	旭光电子	开关	120.1	0.93	1.02	1.66	2.07	2.74	129.54	117.20	72.53	58.03	43.87
002735.SZ	王子新材	电容	61.9	0.60	-0.69	1.48	2.51	3.61	102.61	-	41.84	24.67	17.15
688103.SH	国力股份	氢闸流管	53.7	0.64	0.30	1.18	2.01	2.87	83.60	177.47	45.40	26.72	18.71
600990.SH	四创电子	辅助加热系统 PSM 电源	72.1	-5.53	-2.46	-0.93	0.78	1.54	-	-	-	92.39	46.80
300820.SZ	英杰电气	磁体、加热、控制系统、辅助系统电源	108.9	4.31	3.23	4.38	5.31	6.72	25.25	33.76	24.87	20.53	16.21
688719.SH	爱科赛博	磁体、加热系统电源	44.2	1.39	0.73	1.16	1.73	2.33	31.88	60.44	38.02	25.60	18.99
688663.SH	新风光	等离子体垂直位移快速控制电源	43.7	1.66	1.74	-	-	-	26.37	25.05	-	-	-

来源：iFinD，国金证券研究所 注：估值时间为 2025/07/15，旭光电子、王子新材、国力股份、四创电子、英杰电气、爱科赛博为 iFinD 一致预期，新风光暂无一致预期

五、风险提示

可控核聚变实验结果不及预期。可控核聚变当前处于工程可行性试验阶段，如果工程实验进度不及预期，行业商业化落地进程可能延后。

核聚变资本开支投入不及预期。国内核聚变实验堆的建设资金来源于国家财政、社会资本，若资金端需求不及预期，行业资本开支预计受到影响。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海

电话：021-80234211

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 5 楼

北京

电话：010-85950438

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100005

地址：北京市东城区建国门内大街 26 号

新闻大厦 8 层南侧

深圳

电话：0755-86695353

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心

18 楼 1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究