

电力装备

ELECTRIC POWER EQUIPMENT



2025 6

许昌开普电气研究院有限公司

速度 / 微笑 / 帮助客户成功

S tandard
标准中心：
产品标准权威起草单位、发布中心

M agazine
学术期刊：
国际知名检索、中文核心学术期刊

A ssociation
行业协会：
电器企业名家交流共享、咨询平台

T esting
检测认证：
国际化、专业化智能电器检测认证
实验室

C alibrate
校 准：仪器校准、仪表校对

许昌开普电气研究院有限公司

公众号：电力王国

 中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会 编印

准印证号：河南省连续性内部资料（豫）LK401009 内部资料·免费交流

数字化设备校准的最佳选择

开普校准

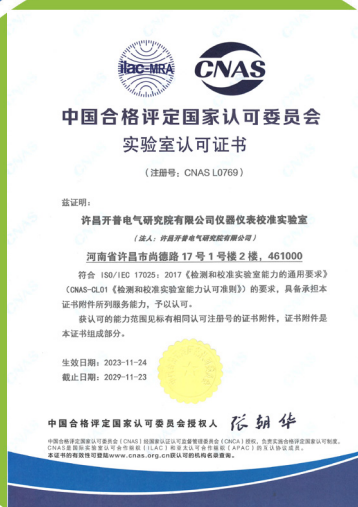
许昌开普电气研究院有限公司仪器仪表校准实验室（原许昌继电器研究所仪器仪表校准实验室）是中国合格评定国家认可委员会 (CNAS) 授权认可的第三方校准机构，是中国机械工业联合会认定的机械工业第二十一计量测试中心站（许昌）。

开普校准实验室作为第三方实验室，始终坚持“速度、微笑、帮助客户成功”的服务理念，致力于研究电工领域仪器仪表及电力测试设备的国际最前沿校准技术和校准方法，为电工领域仪器仪表及电力测试设备提供权威的校准方案与校准服务。



实验室资质

- ▶ 中国合格评定国家认可委员会实验室认可证书（注册号：CNAS L0769）
- ▶ 中国机械工业联合会机构认定资质证书（机量〔2023〕21号）



速度

微笑

帮助客户成功



数字校准能力

- ▶ 研制了行业标准 NB/T 11216-2023 《智能变电站数字信号试验装置校准规范》，解决了长期困扰行业发展的数字化设备无法溯源问题，为数字式继电保护测试装置、合并单元测试仪、网络报文分析仪等数字式设备的校准提供了标准依据。
- ▶ 填补了数字化设备、数字信号装置国内校准方法空白。
- ▶ 创新了校准方法：理论溯源、时标溯源、算法溯源。
- ▶ 对幅值、相位的校准：根据被测波形特征，在本地生成标准波形。逐点比较，实时分析被测波形与标准波形之间的幅值和相位误差（有效值、瞬时值两个层面）。
- ▶ 针对采样间隔、延迟、时间测量和控制等的校准：借助 ns 级时间戳能力，高精度记录和还原数字波形，设定动作时间，统计和分析各特征量误差。
- ▶ 针对采样率、频率、直流分量、谐波等的校准：利用标准推荐的典型算法，计算并提取被测信号的频率、直流分量、谐波等特征量，计算误差。



采样率



离散度



采样延时



幅值、相位



频率、谐波



时间测量



时间控制



数字误差测量



A/D 误差测量

电力装备
ELECTRIC POWER EQUIPMENT 2025 6

许昌开普电气研究院有限公司
速度 / 微笑 / 帮助客户成功

S tandard
标准中心：
产品标准领域起草单位、发布中心

M agazine
学术期刊：
国际知名杂志、中文核心期刊

A ssociation
行业协会：
电器企业名家交流共享、营销平台

T esting
检测认证：
国际化、专业化智能电器检测认证
实验室

C alibrate
校准：继电保护、仪表校对

许昌开普电气研究院有限公司
公众号：电力王招

中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会 编印
准印证号：河南省连续性内部资料（豫）LK401009 内部资料·免费交流

许昌开普电气研究院有限公司仪器仪表校准实验室
机械工业第二十一计量测试中心站（许昌）

电 话：0374-3216563、3215879
E-Mail: kpjz@dlwg.net
地 址：河南省许昌市尚德路 17 号
邮 编：461000
网 址：www.dlwg.net

名誉理事长

许昌开普检测研究院股份有限公司 姚致清

理事长

北京四方继保自动化股份有限公司 刘志超

常务副理事长

许昌开普电气研究院有限公司 杨慧霞

副理事长

上海思源弘瑞自动化有限公司 张少波

长园科技集团股份有限公司 徐成斌

南京南瑞继保电气有限公司 赵希才

国电南京自动化股份有限公司 杨乘胜

河南许继继保电气自动化有限公司 王攀峰

积成电子股份有限公司 王良

东方电子股份有限公司 徐刚

江苏金智科技股份有限公司 郭伟

河南森源电气股份有限公司 赵中亭

北京清能继控科技集团有限公司 胡家为

上海华建电力设备股份有限公司 王晓辉

重庆新世杰电气股份有限公司 孙小江

石家庄科林电气股份有限公司 陈贺

理事

南京国电南自电网自动化有限公司 陈琦

安科瑞电气股份有限公司 方严

西门子电力自动化有限公司 赵吉生

施耐德电气(中国)有限公司上海分公司 张著韬

厦门ABB电力设备有限公司 李燕

山东科汇电力自动化股份有限公司 王敬华

南京磐能电力科技股份有限公司 徐斌

南京电研电力自动化股份有限公司 关继勇

深圳市英可瑞科技股份有限公司 刘文锋

武汉中元华电科技股份有限公司 卢春明

南京因泰莱电器股份有限公司 雷沛

上海科梁信息工程股份有限公司 邹毅军

上海置恒电气有限公司 姚毅

珠海万力达电气技术股份有限公司 庞嘉恒

钛能科技股份有限公司 金启超

山东元星电子有限公司 李安虎

哈尔滨光宇电气自动化有限公司 马安平

广东昂立电气自动化有限公司 周勇

湖北天瑞电子股份有限公司 何斌

河北北恒电气科技有限公司 刘永猛

河南四达电力设备股份有限公司 务孔永

南宏电力科技有限公司 丁凌云

珠海优特电力科技股份有限公司 刘粤海

上海德创电器电子有限公司 张大庆

南京三门湾电器有限公司 陈泽桥

北京北斗银河科技有限公司 毕见广

浙江晨露电力科技有限公司 程宗泽

成都工百利自动化设备有限公司 黄华林

新乡市新电电力科技有限公司 霍舜

河南东海电气有限公司 郭延胜

名誉理事

许昌开普电气研究院有限公司 李志勇

河北北恒电气科技有限公司 田建军

秘书长

许昌开普电气研究院有限公司 耿要强

副秘书长

北京四方继保自动化股份有限公司 钱华东

上海思源弘瑞自动化有限公司 沈军

南京南瑞继保电气有限公司 须雷

长园科技集团股份有限公司 侯林

积成电子股份有限公司 周文俊

北京清能继控科技集团有限公司 梁馨玉

· 电力装备 ·

2025年第6期
总第146期

行业资讯

- 01 保护与控制能源行业标准专家委员会一届四次会议暨能源行业标准审查会顺利召开
- 02 两项国家标准化指导性技术文件起草工作组会议顺利召开
- 03 四项团体标准起草工作组会议顺利召开
- 04 2025年度河南省工程系列电气电子电力专业高级职称评审工作顺利完成
- 05 2025年标准立项评审会在许昌召开
- 06 2025年度全省人才评价开发工作业务培训班在郑州开班

本期关注

- 07 第九届中国电动汽车充换电与驱动系统学术研讨会成功召开

技术交流

- 11 继电器触点性能检验方法浅析
- 14 《GBT 14598.26—2025 量度继电器和保护装置 第26部分：电磁兼容要求》新标准分析与研究
- 21 基于恒定功率法的射频电磁场均匀域校准
- 25 一种非金属材料的灼热丝能力验证结果分析
- 28 储能变流器低电压穿越性能检测指标研究

会员风采

- 32 积成电子荣获中国机械工业科技进步二等奖
- 33 万力达电气获评国家级专精特新“重点小巨人”企业

Contents

- 34 四方股份“自主可控直流控制保护系统”通过技术鉴定
- 35 惜辰电子 | 光伏储能高压电源模块助力全球清洁能源转型
- 36 南瑞继保 | 500 千伏有源谐振型直流断路器顺利通过型式试验

电力动态

- 37 构建实时数据驱动的风电可靠性管理体系
- 39 国家能源局发展规划司 | 加快建设新型能源体系

市场分析

- 43 全球能源价格走势分析报告
- 49 未来五年，中国碳市场怎么走？

本期专题

- 55 中国“一带一路”能源投资报告

征集码头

- 64 项目征集



主管单位：许昌开普电气研究院有限公司
主办单位：中国电器工业协会
继电保护及自动化设备分会

编辑：《电力装备》编辑部
网站支持：电力王国 www.dlwg.net
中国电力培训网 www.ceptc.com
公众号：电力王国 微信号：dlwg-china

主编：杨慧霞
副主编：耿要强
执行主编：赵鑫涛
责任编辑：王雯煜

标准研究中心：胡晓静 0374-3212604
行业发展部：胡韵华 0374-3212155
组织联络部：陈勇 0374-3212554
杂志编辑部：赵鑫涛 0374-3212252
地址：河南省许昌市尚德路 17 号
邮编：461000
E-mail: xintaozh@dlwg.net

编印单位：中国电器工业协会
继电保护及自动化设备分会
发送对象：本系统
印刷单位：河南瑞之光印刷股份有限公司
印刷日期：双月 25 日
印刷数量：1000 册



编读往来

《电力装备》(ELECTRIC POWER EQUIPMENT) 是中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会主办的内部资料性出版物,旨在为广大电力用户、电力设备制造企业、零部件配套企业以及所有涉及电力系统领域的客户提供信息交流和技术应用的平台。《电力装备》以“传递电力信息,寻求企业共赢”为理念,立足继电保护及电力自动化行业,面向电力系统,关注和传递电力装备企业和电力行业信息,内容涉及电力系统中各个领域,聚焦行业热点新闻、专题报道行业细分产业状况、深度分析电力市场、关注企业动态、提供产品信息、交流电力设备运行维护经验和技能。为了更好地服务企业,满足用户需求,我们不断创新,力争以全新的思路、独特的办刊风格为业界提供一本耳目一新的杂志,信息更丰富、内容更专业。

发行范围:

★电力用户:①电力设计院(所);②电力建设工程公司;③电力建设研究院;④电力勘测设计院(所);⑤水利水电工程局;⑥各供电企业、电力公司;⑦电力实验研究院(所);⑧全国供电系统各单位总工办;⑨各网省公司总工办、生技处、系统室、电调中心、基建处等;⑩送变电公司总工办及技术部门等;

★电力设备制造企业:全国生产继电器、继电保护、电动机保护与控制、无功补偿、开关柜、厂站自动化、调度自动化、配网自动化、交直流电源等智能化设备的制造企业;

★配套制造企业:测试设备、端子、互感器等配套设备的制造企业;

★政府机关、全国电力专家及相关院校师生。

免费索阅

准印证号:河南省连续性内部资料【许昌】022号

双月25日出版

为了及时准确地给您赠送杂志,为您提供服务,请您仔细填写您的相关信息,传真或邮寄至本刊。

姓名: _____

单位: _____

电话: _____

E-mail: _____

联系地址: _____

索阅电话: 0374-3212252

地址: 河南省许昌市尚德路17号

许昌开普电气研究院有限公司

邮编: 461000

E-mail: xintaozh@dlwg.net

公众号: 电力王国

微信号: dlwg-china



保护与控制能源行业标准专家委员会一届四次会议暨能源行业标准审查会顺利召开

(全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会)

关键词：一届四次；标准审查会

2025年11月27日，保护与控制能源行业标准专家委员会一届四次会议暨能源行业标准审查会在许昌顺利召开，标委会委员（代表）及有关部门的专家共68人参加了会议。



标委会主任委员、许昌开普检测研究院股份有限公司总经理李亚萍正高致欢迎辞。标委会秘书处专责初阳作了标委会2025年度工作总结及2026年度工作计划的报告。

TC154副主任委员秦红霞正高和专委会副秘书长刘宏君正高主持审查了四项能源行业标准送审稿：

- 1) 《继电保护及安全自动装置压板在线监视技术规范》；
- 2) 《柔性直流输电耗能装置控制保护技术导则》；
- 3) 《直流融冰装置控制与保护设备技术规范》；
- 4) 《无线测温装置技术要求》。

标准起草工作组代表认真汇报了标准送审稿的内容要点，全体委员审议并通过了该四项能源行业标准送审稿，并提出了一些修改意见和建议。会议决定，由标准起草工作组根据审查意见对标准送审稿进一步修改完善后提交秘书处，秘书处发全体委员再次确认后，按能源行业标准有关管理程序提交报批。

在与会委员和专家共同努力下，本次会议顺利完成了各项议程。标委会也将根据本次会议精神，认真做好下一步工作，开启新的工作篇章。

两项国家标准化指导性技术文件起草工作组会议顺利召开

(全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会)

关键词：起草工作组会议；指导性技术文件

近日，全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会秘书处（许昌开普电气研究院有限公司）在广州分别组织召开了国家标准化指导性技术文件《抽水蓄能双馈变速发电电动机变压器组继电保护技术导则》和《新能源场站逆变器继电保护信息技术规范》的起草工作组会议。会议汇聚了来自国网、南网、行业核心企业、权威检测机构、高校等的多位业内资深专家。



标准牵头起草单位详细介绍了标准草案稿的技术内容，与会专家对标准草案稿进行了全面而深入的讨论，针对主要技术内容提出了诸多宝贵的意见和建议。经过充分地交流与探讨，大家达成了共识，明确了标准草案稿的技术性和编辑性修改方向，为确保标准的科学性和实用性奠定了坚实基础。

会议决定，由标准牵头起草单位根据与会专家的意见和建议尽快修改标准草案稿并提交至秘书处。

四项团体标准起草工作组会议顺利召开

(中电协控制保护设备标准化专业委员会)

关键词：继电保护；团体标准

近日，中电协控制保护设备标准化专业委员会秘书处（许昌开普电气研究院有限公司）在许昌、西双版纳分别组织召开了团体标准《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 继电保护装置》起草工作组会议与团体标准《继电保护外部信息子站 第1部分：设备技术规范》、《继电保护外部信息子站 第2部分：信息模型规范》和《继电保护外部信息子站 第3部分：设备检测规范》的起草工作组第二次会议。会议汇聚了来自国网、南网、行业核心企业、权威检测机构的多位业内资深专家。



标准牵头起草单位详细介绍了四项团体标准草案稿的技术内容，与会专家对标准草案稿进行了全面而深入的讨论，针对主要技术内容提出了诸多宝贵的意见和建议。经过充分地交流与探讨，大家达成了共识，明确了标准草案稿的技术性和编辑性修改方向，为确保标准的科学性和实用性奠定了坚实基础。

会议决定，由标准牵头起草单位根据与会专家的意见和建议尽快修改标准草案稿并提交至秘书处。

2025 年度河南省工程系列电气电子电力专业 高级职称评审工作顺利完成

(河南省电器工业协会)

关键词：职称评审；电气电子电力专业

2025 年 12 月 2 日~5 日,河南省电器工业协会在许昌组织召开了 2025 年度河南省工程系列电气、电子和电力专业高级职称评审会议,省人社厅领导、评审委员会委员以及协会领导共 19 人出席了本次会议。协会常务副会长杨慧霞致欢迎词。协会秘书长耿要强主持会议,宣读了 2025 年度河南省工程系列电气电子电力专业高级职称评审委员会组成方案,并向大会通报了职称申报情况以及评审工作安排。



省人社厅人才评价开发处一级调研员王建军出席会议,并为评审专家颁发了聘任证书;同时要求评委会严格落实高级职称评审工作的评审原则、评审标准和评审程序,各评议小组要切实履责,严守评审纪律,做到公平公正、标准统一,确保评审工作的规范性和权威性。

在为期四天的职称评审工作中,各评议小组秉持着“科学、公平、公正”的原则,认真审查系统内提交的申报材料,对参评人员的现场答辩表现进行量化评分。评委会认真听取各评议小组的工作汇报,在充分讨论和审议的基础上,对本次高级职称评审申报人员进行投票表决,并将评审通过人员名单上报省人社厅批准确认。

2025 年度河南省工程系列电气电子电力专业高级职称评审工作在省人社厅领导的指导以及协会的统筹部署下有序平稳地开展,取得了圆满成功。

2025 年标准立项评审会在许昌召开

(全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会)

关键词：立项评审；健全标准体系

2025 年 12 月 12 日，全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会（SAC/TC154）在许昌组织召开了 2025 年标准立项评审会，由标委会委员和业内资深专家组成的评审专家组对申报项目进行了评审。



会议由标委会秘书长胡晓静正高主持，共评审了 19 项标准申报项目。各申报单位汇报人对标准申报项目的立项背景，必要性，可行性以及适用范围，主要技术内容等情况进行了介绍。

评审专家组听取了项目汇报，经过质询、答辩、讨论与投票表决，形成了评审结论。标委会秘书处将根据评审结果，对通过评审且符合申报条件的标准项目，按国家标准、行业标准、团体标准等类别，向上级标准化主管部门推荐。

质量提升，标准先行！全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会秘书处常年开展标准项目征集工作，任何单位和个人均可根据需求向标委会秘书处提出国家标准和能源行业标准计划项目提案。标委会秘书处每年组织标委会委员和行业专家开展 1~2 次标准立项评审会，坚持“协商一致、共同遵循”的标准化工作原则，适时对标准体系、标准布局、标准的适用性及拟立项标准项目进行研讨，力求健全标准体系、服务行业发展。

2025 年度全省人才评价开发工作业务培训班在郑州开班

(河南省电器工业协会)

关键词：职称评审政策；工作业务培训班

10月28日至30日，2025年全省人才评价开发工作业务培训班在郑州成功举办。省人社厅党组书记、厅长丁同民出席开班仪式并作重要讲话，省人社厅党组成员、副厅长杨昆锋通报了2025年度全省职称评审委员会评估工作情况。



开班仪式由河南省人力资源和社会保障厅二级巡视员余耀武主持。各地（市）人社局职称工作分管领导和业务负责人，承办全省中高级职称评审委员会的省直有关单位、企业、行业协会（学会）业务负责人近300人参加。

开班仪式上，协会秘书长耿要强代表河南省工程系列电气电子电力高级职称评审委员会上台作交流发言。培训期间，省人社厅人才评价开发处各位授课老师分别围绕适应新时期职称工作岗位、全面落实职称评审管理规定、工程系列职称评审政策、中小学教师中高级职称评审政策等内容进行了主题培训和答疑。同时，利用培训期间晚上的时间，还结合职称评审工作实际分组进行了讨论。参训学员纷纷表示，这次培训班举办的非常及时，意义重大，机会难得，收获颇丰。

协会自获批组建高评会以来，认真落实省委省政府、人社厅人才政策，在加强公共服务平台建设、职称申报培训以及人才队伍培养等方面做出积极探索。未来，协会将继续站在服务全省经济社会发展、推动电气电子电力行业高质量发展的高度，贯彻落实好省人社厅关于人才评价开发工作的决策部署，增强做好职称评审工作的责任感和使命感，始终把公平、公正、公开原则贯穿于职称申报评审工作的全过程、各环节，确保评审工作圆满完成，为推动全省电气电子电力行业健康发展贡献力量。

第九届中国电动汽车充换电与驱动系统学术研讨会成功召开

(信息来源：“电力系统保护与控制”微信公众号)

关键词：第九届；电动汽车

在新型电力系统加速建设的时代背景下，电动汽车作为兼具可控负荷和移动储能双重特性的灵活性资源，正承载起服务百万车主、保障电网安全稳定运行的历史使命。

10月31日至11月2日，由中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会主办，许昌开普电气研究院有限公司、许昌学院电气工程学院、《电力系统保护与控制》杂志社、《智慧电力》编辑部承办，许昌开普检测研究院股份有限公司、国家电动汽车充换电系统质量检验检测中心协办的第九届中国电动汽车充换电与驱动系统学术研讨会在魏都许昌隆重召开。



本届研讨会紧扣时代脉搏，从“大功率充电技术安全应用”和“车网互动技术柔性灵活”两方面展开深入交流，探索大功率充电、电动汽车 V2G 技术与新型电力系统的协同发展路径，旨在架起电网与电动汽车之间良性互动的桥梁，确保充换电设施健康有序发展，推动电动汽车从“用电终端”向“系统调节资源”的转型升级。来自全国电力公司、电动汽车企业、高等院校、科研院所等充换电领域的 200 余位专家和代表齐聚一堂，共襄盛会。

1 大会开幕——凝聚共识，启幕新章

1.1 领导致辞

11月1日，大会在庄严热烈的氛围中拉开帷幕。中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会常务副主任委员、许昌开普检测研究院股份有限公司姚致清董事长致辞，对各位领导和专家的到来表示诚挚欢迎，并简要介绍了中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会及其秘书处挂靠单位开普电气研究院有限公司对于行业发展的支撑作用。

许昌学院电气工程学院方如举院长致辞，简要介绍了院校特色与学科发展成就，并预祝本届会议取得圆满成功。

中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会韩万林秘书长主持大会开幕式。



1.2 优秀论文表彰



本届会议对收到的投稿论文进行初审筛选、专家书面评审、现场论文答辩及专家现场评审，从理论创新性、实践指导性、行业价值性等多维度综合考量，审定评选出7篇优秀论文。开幕式上，中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会韩万林秘书长宣读优秀论文表彰决定，中国电工技术学会电动汽车充换电系统与试验专业委员会常务副主任委员、许昌开普检测研究院股份有限公司姚致清董事长为优秀论文作者颁发荣誉证书。

优秀论文颁奖不仅是对学术成果与实践价值的高度认可，更是对行业创新活力的有力激发，将激励更多科研人员、学者与行业从业者深耕充换电领域，为电动汽车产业高质量发展汇聚智慧力量。

2 主题报告——群英荟萃，激荡思维

主题报告环节作为大会核心，汇聚19位业内顶尖专家与学术领袖，呈现了一场高密度、高质量的思想盛宴。报告深度聚焦行业前沿，既有对充换电领域技术成果的总结与交流，又有对行业未来发展的探索与谋划，内容覆盖车网互动、V2G规模化应用、超充安全、光储充一体化、电池管理、标准认证等关键领域，贯穿政策、标准、技术、应用与商业模式全产业链条。

国电南瑞科技股份有限公司用电技术分公司副总经理张浩主持第一天上午主题报告、上海电力大学教授赵晋斌主持第一天下午主题报告，三峡大学教授程杉主持第二天上午主题报告。





国家电网有限公司电动汽车充换电技术首席专家、国网电科院资深专家倪峰作《车网互动规模化应用的关键技术研究》报告。国网江苏省电力有限公司二级专家、国网江苏电科院技术总监袁晓冬作《面向新型电力系统的车桩网协同互动关键技术与实践》报告。中国质量认证中心新能源认证部充电桩部负责人范学铭高级工程师作《电动汽车充电设备 3C 认证制度解读及大功率充电产品的技术发展趋势》报告。

四川能信科技股份有限公司董事长、广东新型储能国家研究院车网互动产业技术中心主任李卫阳作《车网互动多场景运营与可持续发展探讨》报告。上海交通大学电气学院副院长黎灿兵教授作《锂电池安全监测气体传感器及模组》报告。许昌开普检测研究院股份有限公司副总经理贺春作《能源互联·信息互通·社会互动：赋能美好生活》报告。

清华大学长聘教授胡泽春作《大规模电动汽车与电网聚合互动技术》报告。国网智慧车联网技术有限公司一级专家陈晓楠作《新能源汽车与新型电力系统融合发展研究与展望》报告。南方电网电动汽车服务有限公司车网应用产品创新中心副总经理葛静作《基于云边协同控制的车网互动解决方案》报告。

许继电气股份有限公司一级专家陈天锦作《高性价比 V2X 多端口能量交互装置解决方案》报告。特来电新能源股份有限公司副总裁穆晓鹏作《充电网的车网互动价值思考与实践》报告。山东积成智通新能源有限公司总经理王林先作《基于微型能量路由器的 V2G 系统设计与应用》报告。阳光电源股份有限公司充电事业部解决方案总监王军作《大功率充电快速普及背景下的光储充一体化解决方案》

报告。

天津大学教授穆云飞作《电力交通融合视角下的充电设施网络优化规划方法研究》报告。重庆大学教授张谦作《新型充电站规划及其低碳经济调度策略》报告。四川大学教授向月作《促进清洁能源消纳的车网互动交易与定价策略》报告。

北京交通大学教授孙丙香作《抑制析锂的锂离子电池组优化充电研究》报告。郑州大学副教授吕娜伟作《基于动态阻抗的电动汽车充电状态实时感知》报告。华北电力大学博士陆家悦作《融合数据驱动的规模化电动汽车支撑系统调频关键技术》报告。

大会报告环节充分打通“产学研用”创新链条，既针对新能源消纳、系统平衡、安全防护等行业痛点提供技术储备，又为电动汽车转型提供实践参考，为我国能源电力绿色低碳转型与“双碳”目标实现注入关键动能，让每一位参会代表都成为产业升级的积极参与者。

当报告进入互动环节，现场气氛更趋热烈。与会专家和代表展开深度对话，问答之间，观点交锋，思想交融，智慧的火花在持续的交流中频频迸发，一次次将全场学术热情推向新的高峰。

3 展览展示——产学融合，链接未来

会议间歇，精心布置的企业展览展示区人流如织，成为“学术+产业”双向奔赴的活力现场。许继电气股份有限公司、许昌开普检测研究院股份有限公司、积成电子股份有限公司、特来电新能源股份有限公司、阳光电源股份有限公司等行业翘楚齐聚于此，通过图文展示、现场讲解等方式集中呈现了大功率充电、智能检测、光储充一体化及零碳能源系统等前沿领域的技术与产品成果。代表们畅游其中，精准对接产业链上下游，围绕技术难点、场景应用及合作模式展开务实探讨。学术思想与产业实践在此深度交融，创新智慧与市场需求在此同频共振，有效实现了“学术引领”与“产业落地”的协同赋能。



4 大会结语——九载耕耘，再谱华章

九载同行襄盛举，智汇论电谱新篇。本届会议不仅系统总结了充换电领域的技术进展与实践经验，更清晰指明了未来发展的核心方向——即加快构建安全高效的大功率充电网络、推动车网互动从试点示范走向规模化商用、深化电动汽车与新型电力系统的融合发展，为我国电动汽车产业高质量发展注入了强劲动力。

作为会议承办单位，杂志社始终以服务行业技术创新与产学研用融合为己任。未来，杂志社将继续秉持理论与实践相结合的宗旨，充分发挥桥梁与平台作用，为构建高质量充电基础设施体系、助力国家“双碳”战略目标实现贡献智慧与力量。

继电器触点性能检验方法浅析

智少俊, 李嘉, 范艳峰

(许昌开普检测研究院股份有限公司, 河南许昌, 461000)

摘要: 继电器作为电力系统继电保护装置的执行单元, 其触点性能直接决定继电保护系统的可靠性与动作准确性。GB/T 14598.2《量度继电器和保护装置 第1部分: 通用要求》作为继电保护产品型式试验与出厂检验的核心标准, 明确了触点性能的基础要求与检验框架。本文以该标准为核心依据, 详细阐述触点性能的主要内容与检验方法, 深入探讨触点性能检验的必要性, 助力提升电力系统继电保护装置的整体可靠性。

关键词: 继电器; 继电保护装置; 触点性能; 检验方法

0 引言

在电力系统中, 继电保护装置是保障电网安全运行的“第一道防线”, 其核心功能是实时监测电力设备运行状态, 当发生故障时迅速切断故障回路, 避免事故扩大。继电器作为继电保护装置的执行机构, 通过触点的通断实现控制信号的传递与回路的切换。若触点性能失效, 可能导致继电保护装置“拒动”或“误动”, 轻则造成设备损坏, 重则引发大面积停电事故, 直接威胁电网安全与社会生产生活秩序^[1]。

当前, 部分电力设备生产企业在触点性能检验中存在“重结果、轻过程”的现象, 部分继电器虽短期满足通断要求, 但长期运行后触点性能可能会快速衰减, 从而埋下安全隐患^[2]。因此, 基于 GB/T 14598.2 标准要求, 系统梳理触点性能检验方法, 明确检验核心内容与重要性, 对规范检验流程、提升继电保护产品质量具有重要的现实意义。

1 继电器触点性能的基本概念

触点性能是衡量继电器、接触器等电控制器件核心功能的关键指标, 指其触点在规定条件下实现电路通断、传递信号或电能时, 所表现出的可靠性、稳定性与耐久性等综合特性, 直接决定电控制器件及其关联设备(如继电保护装置)的运行安全与效率。

触点性能与继电器整体结构(如传动机构、励磁线圈)、使用场景(如继电保护、工业控制)息

息相关。例如, 在继电保护场景中, 触点需频繁响应故障信号, 对“动作速度”要求更严格; 而在工业控制场景中, 触点可能长期处于闭合状态, 对“接触稳定性”要求更严格^{[3][4]}。因此, 触点性能需结合具体应用场景, 适配相应的功能需求, 进行综合考量。

2 基于 GB/T 14598.2 的触点性能检验主要内容与试验方法

结合触点性能的基本概念与 GB/T 14598.2 中对于触点性能的技术要求, 触点性能检验内容可细分为“机械性能”、“电性能”、“环境性能”三大类, 任何一类检验均需围绕触点性能的核心属性与参数开展, 确保检验结果的准确性与可靠性。

2.1 机械性能检验

机械性能检验包括触点的机械寿命与机械强度, 主要验证触点在无负载条件下的通断能力与结构稳定性, 对触点性能机械层面的耐久性与可靠性进行评估。

2.1.1 机械寿命检验

进行触点的机械寿命检验时, 控制触点进行空载通断操作, 通断频率通常为 10~30 次/分钟, 检验过程中应实时监视触点的通断情况, 直至完成规定机械寿命次数(1 万~10 万次)。完成规定通断次数后, 触点应无粘连、断裂等机械损坏现象, 且检验过程中触点应通断正常; 测试触点的动作时间,

应符合原技术条件要求。

2.1.2 机械强度检验

机械强度检验包括振动检验、冲击检验与碰撞检验，主要验证触点在外力作用下的机械结构稳定性。机械强度检验采用电动振动试验设备，按照规定的加速度与频率范围等参数，对样品的不同轴向施加规定的机械外力，检验后检查触点是否位移、变形等机械损坏现象；测试触点的动作时间，应符合原技术条件要求。

2.2 电性能检验

电性能检验是触点性能检验的核心项目，包括触点的电寿命、触点电流与短时允许闭合电流，主要验证触点在待电条件下的通断可靠性与抗电弧侵蚀能力，对触点性能电气层面的耐久性与可靠性进行评估，模拟继电保护实际带载工况。

2.2.1 电寿命检验

进行触点的电寿命检验时，触点的接通容量为 1000W，断开容量为 30W，负载为直流有感负荷且时间常数为 $L/R=40\text{ms}$ 。控制触点进行带载通断操作，通断频率通常为 5~20 次/分钟，检验过程中应实时监控触点的通断情况，直至完成规定电寿命次数（1000~1 万次）。完成规定通断次数后，触点应无粘连、断裂等机械损坏现象，且检验过程中触点通断正常；测试触点的动作时间，应符合原技术条件要求。

检验所需的直流有感负荷可用直流电源、变阻器与可调电感搭建而成：

$$R = \frac{U}{P}$$

式中：

R 表示电阻，单位为 Ω ；

U 表示电压，单位为 V，通常采用 DC220V；

P 表示功率，单位为 W。

$$L = \tau \times R$$

式中：

L 表示电感，单位为 H；

τ 表示时间常数，单位为 ms，规定为 40ms；

R 表示电阻，单位为 Ω 。

通过上述两个公式，可以分别得出搭建该直流有感负荷所需的电阻与电感幅值。

2.2.2 触点电流与短时允许闭合电流

触点电流检验针对的是触点对流过触点稳态电流的承载能力，该试验通过施加稳态电流（通常为 DC5A），触点应无过热现象且稳定闭合。检验后测试触点的动作时间，应符合原技术条件要求。

短时允许闭合电流检验针对的是触点在短时大电流下的承载与闭合能力，该试验通过施加短时大电流（通常为 DC30A），检验触点是否能可靠闭合并载流，持续规定时间后切断，并重复试验 10 次（占空比为接通 200ms，断开 15s）。检验后测试触点的动作时间，应符合原技术条件要求。

2.3 环境性能检验

环境性能检验包括高低温试验与湿热试验，主要验证触点在不同环境条件下的性能稳定性，对触点性能环境层面的稳定性与可靠性进行评估。

试验设备为高低温试验箱与湿热试验箱，分别检验触点在不同温度、湿度条件下的动作时间，确保触点在极端温度及高湿环境下的性能的稳定。

3 触点性能检验的必要性

3.1 规避提前失效风险，降低运维成本

继电器触点的“提前失效”是电力系统运维中的常见问题，其根源多为触点性能不达标导致的。这类问题在产品出厂时未显现，但在实际运行中会很快暴露。通过触点性能检验，可在产品出厂前筛选出性能不合格的个体，规避失效风险，减少现场运维的人力与物力成本，降低因设备故障导致的停电损失，这是触点性能检验最直接的经济价值。

3.2 保障电力系统的安全稳定运行

若触点性能失效，可能导致两种严重后果：一是“拒动”，发生故障时触点无法可靠动作，故障无法及时切除；二是“误动”，正常运行时触点意外动作，造成不必要的停电等。通过触点性能检验，可确保继电器触点在故障时准确动作，避免“拒动”和“误动”现象的发生，为电力系统的安全稳定运行提供保障，这也是触点性能检验的核心目标。

4 总结

总而言之，触点性能作为继电保护产品可靠性、动作准确性与使用寿命的决定性因素，其重要性不

容忽视。触点性能检验通过对触点的机械性能、电性能、环境性能进行检验,充分验证了触点的可靠性、稳定性与耐久性,在满足标准要求的同时,对于规避早期失效风险和保障电力系统安全稳定运行也有着非常重要的作用。

参考文献

- [1] 吴蓓,钟泽章.《继电保护和自动装置通用技术条件》新标准解读[J].中国电力,2014,47(10).
- [2] 李嘉.一种基于GB/T 14598.1与GB/T 14598.2的继电器触点寿命试验设备[J].自动化与仪器仪表,2023(11).
- [3] GB/T 14598.2—2011 量度继电器和保护装置 第1部分[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [4] GB/T 14598.1—2002 电气继电器 第23部分 触点性能[S].北京:中国标准出版社,2002.

作者简介

智少俊(1993-),男,工程师,本科,主要研究方向为智能电网、电力系统自动化、继电保护及测试。

李嘉(1984-),男,高级工程师,硕士,主要研究方向为智能电网、电力系统自动化、继电保护及测试。

范艳峰(1985-),男,高级工程师,硕士,主要研究方向为智能电网、电力系统自动化、继电保护及测试。

《GBT 14598.26—2025 量度继电器和保护装置 第26部分： 电磁兼容要求》新标准分析与研究

李涵，杨兴超

(许昌开普检测研究院股份有限公司，河南许昌，461000)

摘要：阐述了继电器和保护装置在保障电力系统安全运行方面的重要作用，介绍了继电保护装置的分类，以及不同种类继电保护装置在电力系统中所处的位置。分析了国家标准《GBT 14598.26—2025 量度继电器和保护装置 第26部分：电磁兼容要求》所含电磁兼容测试项目及试验等级。对比了新旧标准中电磁兼容试验项目之间的差异，详细描述了标准中电磁兼容试验项目的测试要求、试验方法及验收准则。最后，通过在测试过程中遇到的实际案例，总结出对发射类试验项目提出了整改意见和建议。

关键词：继电器和保护装置；分类；电磁兼容；测试；发射；整改

0 引言

电力系统的可靠性关乎国家经济和社会稳定，经济、可靠、持续为用户供电是电力系统的首要任务。随着我国“双碳”战略的提出，电力系统有了新的发展态势^[1]。目前，新能源的并网容量不断增加，同时电力电子化特征更加明显，愈加复杂的系统架构和工作状况，给电力系统的可靠运行带来了更大的挑战。

继电保护装置通过监测电力系统的运行参数，及时发现可能的故障情况，并对故障情况迅速做出响应，将故障影响降至最低，保障了电网的供电质量。继电保护装置作为电力系统的重要组成部分，其核心任务是快速、准确、可靠地检测电力系统中的故障（如短路、接地）或异常运行状态（如过负荷、过电压、低频率），并自动发出指令使断路器跳闸，将故障设备从系统中隔离，从而最大限度地保证系统其余部分的安全稳定运行，防止设备损坏和事故扩大，其性能和可靠性关乎电力系统的稳定运行^[2]。在电网实际运行过程中，继电保护装置可能会受到时间、环境等各种因素的影响，从而导致性能下降甚至失效。因此对继电保护装置的性能进行评估，对保障电力系统的稳定运行至关重要。针对继电保护装置，国家出台了多项标准对其进行各方面的性能检测。继电保护装置一般具有保护、测

量、通信等功能。产品的检测内容包括功能、电气性能和电磁兼容等多方面。

GBT 14598.26 主要规定了继电保护装置的电磁兼容性能。电力系统运行过程中会受到雷击、电场、磁场、高频开关切换、静电等各种电磁骚扰的影响，并且继电保护装置本身也会对工作环境造成影响，针对这些影响，GBT 14598.26—2025 对原标准中的通信端口进行了重新定义，区分为信号/控制端口和有线网络端口，并对有线网络端口的传导发射限值作出了规定，并且增加了 3/10/30MH 震荡波测试，对射频电磁场辐射抗扰度、静电放电抗扰度、工频磁场抗扰度、射频场感应的传导骚扰抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度等项目进行了修改和补充。

本文主要分析了 GBT 14598.26—2025 中所含电磁兼容测试项目、试验等级、试验要求、试验方法以及验收准则。并针对发射测试项目中发射值超标的问题给出了有效的整改方案。

1 继电保护装置的分类

继电保护装置的分类方式多种多样，一般按照被保护对象进行分类^[3]：

1.1 发电机保护

保护发电机本体及其励磁系统。主要保护类型：纵联差动保护（定子绕组相间短路）、横联差动保

护（定子绕组匝间短路）、定子接地保护、转子接地保护、失磁保护、失步保护、逆功率保护、过电压保护、过负荷保护、低频保护、过励磁保护、非全相运行保护等。

1.2 变压器保护

保护电力变压器。主要保护类型：纵联差动保护（主保护，反应内部短路）、瓦斯保护（主保护，反应内部严重故障和油面降低）、电流速断保护、过电流保护、零序电流保护（反应接地故障）、过负荷保护、过励磁保护、温度保护、压力释放保护等。

1.3 母线保护

保护变电站或发电厂内的母线。主要保护类型：母线差动保护（主保护，高灵敏度）、电流比相式母线保护、断路器失灵保护的后备等。

1.4 线路保护

保护输电线路和配电线路，主要保护类型：

根据原理：电流保护（过流、速断、方向过流）、距离保护（阻抗保护）、纵联保护（高频保护、光纤差动保护-全线速动主保护）、零序电流/方向保护（接地故障）。

根据范围：主保护（全线速动）、后备保护（近后备-本断路器拒动时由相邻保护动作；远后备-本线路保护或断路器拒动时由相邻线路保护动作）。

1.5 电动机保护

保护大型电动机。主要保护类型：差动保护（高压大容量）、电流速断保护、过负荷保护、堵转保护、低电压保护、单相运行保护、接地保护、温度保护等。

1.6 电容器保护

保护无功补偿电容器组。主要保护类型：过电流保护、过电压保护、低电压保护、不平衡保护（电压不平衡、电流不平衡、中性点不平衡电流/电压）、谐波过负荷保护等。

1.7 电抗器保护

保护限流电抗器或并联电抗器。主要保护类型：电流速断保护、过电流保护、过负荷保护、差动保

护（大型）、瓦斯保护（油浸式）、温度保护等。

2 继电保护装置在电力系统中的位置

继电保护装置属于电力系统的二次系统，但它与一次系统紧密相连，扮演着“免疫系统”和“最后防线”的关键角色^[4]。其位置体现在以下几个方面：

安装位置：主要安装在变电站、发电厂的控制室或二次设备室内。保护装置通常安装在标准的继电保护屏柜或控制柜中。

装置的电流、电压输入端子通过电缆连接到电流互感器(CT)和电压互感器(PT)的二次侧。CT/PT安装在一次设备（断路器、变压器、母线、线路等）附近，将一次大电流/高电压按比例转换为适合二次设备使用的小电流/低电压。

装置的跳闸、合闸输出端子通过电缆连接到相应断路器的操作机构（跳闸线圈、合闸线圈）。

装置的信号输出端子连接到信号系统（光字牌、报警器、监控系统）。

装置通过通信接口（串口、以太网、光纤）连接到站控层网络或远方调度中心，实现信息交互和远方监控。

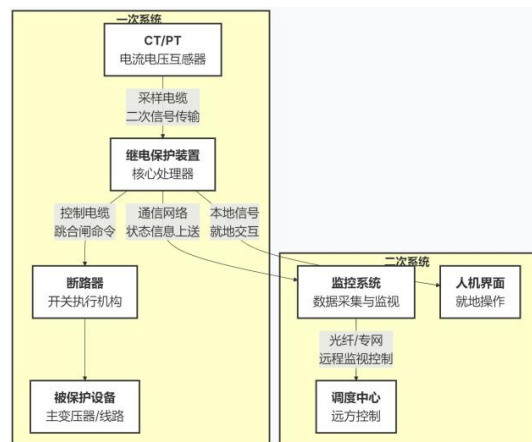


图1 继电保护装置架构图

继电保护装置是故障检测与隔离的核心，是连接一次系统与二次系统的桥梁，是保障系统稳定性的关键环节，是自动化系统的基础信息源，是智能电网的重要组成部分。

3 试验要求

继电保护装置的电磁兼容性能要求，分为发射和抗扰度两个方面，设备应该满足标准规定的发射限值，并且应该能承受标准规定的传导、辐射以及

静电放电电磁骚扰的影响,在标准规定的范围内,设备无损坏并能正常工作,各项功能、性能指标满足相关要求。

标准中电磁兼容试验项目包括:发射试验包括外壳端口辐射发射试验、交流和直流辅助电源端口、有线网络端口传导发射试验。抗扰度试验包括射频电磁场辐射抗扰度试验、静电放电抗扰度试验、射频场感应的传导骚扰抗扰度试验、电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、阻尼振荡波抗扰度试验、浪涌抗扰度试验、工频抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、交流和直流电压暂降试验、交流和直流电压中断试验、直流电源中的交流分量(纹波)试验、直流电源缓降/缓升试验。

具体试验方法按照 GB/T 17626 中的有关规定执行,设备各项性能指标满足标准规定要求。

下面列出了标准中测试项目的具体要求,并对新旧标准中的差异进行了对比。

3.1 发射

下表中列出了发射类项目及要求。其中,新标准中增加了有线网络端口传导发射试验。

表 1 发射类试验项目及试验要求

序号	试验项目	试验要求
1	交流和直流辅助电源端口传导发射试验	满足 CISPR32:2015 中 CLASSA 要求
2	有线网络端口传导发射试验	满足 CISPR32:2015 中 CLASSA 要求

3.2 射频电磁场辐射抗扰度

扫频参数:

试验频率范围: 80-6000MHz

试验场强(调制前): 10V/m(80MHz-2700MHz)、3V/m(2700MHz-6GHz)

调幅: 80%AM(1kHz)

频率步长: ≤1%(先前频率值)

点频参数:

试验点频率: 409±2.05MHz、446±2.23

MHz、462±2.31MHz、710±3.55MHz、836±4.18MHz、850±4.25MHz、900±4.50MHz、1732±8.66MHz、1750±8.75MHz、1880±9.40

MHz、1950±9.75MHz、2535±12.68MHz

试验场强(调制前): 10V/m

调幅: 80%AM(1kHz)

其中新标准中增加 1000MHz-1400MHz、2700MHz-6GHz 扫频,旧版标准中 80MHz、160MHz、380MHz、1850MHz、2150MHz 点频取消。

终端应能承受 DL/T 721—2024 中规定的试验等级为 4 级的静电放电抗扰度试验,接触放电试验电压为±2kV、±4kV、±6kV、±8kV,空气放电试验电压为±2kV、±4kV、±8kV、±15kV。

3.3 静电放电抗扰度

A 类环境:

接触放电: ±2kV、±4kV、±6kV、±8kV

空气放电: ±2kV、±4kV、±8kV、±15kV

B 类环境:

接触放电: ±2kV、±4kV、±6kV

空气放电: ±2kV、±4kV、±8kV

旧版标准中没有对环境类型做出区分,只规定了 B 类环境对应等级。

3.4 工频磁场抗扰度

A 类环境:

持续: 100A/m(有效值)

1s-3s: 1000A/m(有效值)

B 类环境:

持续: 30A/m(有效值)

1s-3s: 300A/m(有效值)

旧版标准中没有对环境类型做出区分,只规定了 B 类环境对应等级。

3.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度

扫频参数:

试验频率范围: 0.15-80MHz

试验等级(调制前): 10V(有效值)

调幅: 80%AM(1kHz)

频率步长: ≤1%(先前频率值)

点频参数:

试验点频率: 27±0.135MHz

试验等级(调制前): 10V/m

源阻抗: 150Ω

调幅: 80%AM(1kHz)

取消旧版标准中 68MHz 点频

3.6 电快速瞬变脉冲群抗扰度

A 类环境: $\pm 4\text{kV}$ (峰值)

B 类环境: $\pm 2\text{kV}$ (峰值)

重复频率: 5kHz 、 100kHz

源阻抗: 50Ω

新版标准中增加 100kHz 重复频率、并且提高了通信端口的测试等级。

3.7 阻尼振荡波抗扰度

电压震荡频率: 1MHz 、 100kHz

试验等级:

差模: 1kV (峰值)

共模: 2.5kV (峰值)

A 类环境:

电压震荡频率: $3/10/30\text{MHz}$

试验等级:

共模: 2kV (峰值)

对于信号/控制端口和有线网络端口试验等级:

共模: 1kV (峰值)

A 类环境:

电压震荡频率: $3/10/30\text{MHz}$

试验等级:

共模: 2kV (峰值)

新版标准中增加 100kHz 振荡频率,并且对于 A 类电磁环境增加 $3/10/30\text{MHz}$ 震荡频率。

3.8 浪涌抗扰度

源阻抗: 2Ω

辅助电源端口试验等级:

线对线:

A 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$

B 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$

耦合电阻: 0Ω

耦合电容: $18\mu\text{F}$

线对地:

A 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$ 、 $\pm 4\text{kV}$

B 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$

耦合电阻: 10Ω

耦合电容: $9\mu\text{F}$

信号/控制端口和有线网络端口试验等级:

线对线:

线对地:

A 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$ 、 $\pm 4\text{kV}$

B 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$

输入和输出端口试验等级:

线对线:

A 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$

B 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$

耦合电阻: 40Ω

耦合电容: $0.5\mu\text{F}$

线对地:

A 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$ 、 $\pm 4\text{kV}$

B 类环境: $\pm 0.5\text{kV}$ 、 $\pm 1\text{kV}$ 、 $\pm 2\text{kV}$

耦合电阻: 40Ω

耦合电容: $0.5\mu\text{F}$

3.9 工频抗扰度

A 级:

差模试验电压: 150V (有效值)

耦合电阻: 100Ω

耦合电容: $0.1\mu\text{F}$

共模试验电压: 300V (有效值)

耦合电阻: 220Ω

耦合电容: $0.47\mu\text{F}$

B 级:

差模试验电压: 100V (有效值)

耦合电阻: 100Ω

耦合电容: $0.047\mu\text{F}$

共模试验电压: 300V (有效值)

耦合电阻: 220Ω

耦合电容: $0.47\mu\text{F}$

3.10 交流和直流电压暂降抗扰度

试验等级: 0% (剩余电压)

持续时间:

交流: $0.5-25$ 周期

交流: $10-1000\text{ms}$

试验等级: 40% (剩余电压)

持续时间:

交流: $10/12$ 周期

交流: 200ms

试验等级: 70% (剩余电压)

持续时间:

交流: $25/30$ 周期

交流: 500ms

3.11 交流和直流电压中断抗扰度

试验等级：0%（剩余电压）
持续时间：
交流：250/300 周期
交流：5s

3.12 直流电源输入端口纹波抗扰度

试验等级：15%额定直流电压
试验频率 100/120Hz 正弦波

3.13 直流电源输入端口缓降/缓升抗扰度

缓降历时：60s
电源关断 5min
缓升历时：60s

4 验收准则

表 2 准则 A 验收条件

功能	验收条件
保护	试验中和试验后，在规定限值内性能正常
命令与控制	试验中和试验后，在规定限值内性能正常
测量	试验期间没有性能下降
模拟量输出	试验期间没有性能下降
人机接口和可视报警	试验期间没有性能下降或功能丧失，储存数据不丢失
数据通信	误码率可能增加，但传输数据不丢失
开关量输入、开关量输出和输出触点	试验期间不允许有不需要的状态改变

表 3 准则 B 验收条件

功能	验收条件
保护	试验中和试验后，在规定限值内性能正常
命令与控制	试验中和试验后，在规定限值内性能正常
测量	试验期间暂时性能下降，试验后自行恢复，储存数据不丢失
模拟量输出	试验期间暂时性能下降，试验后自行恢复，储存数据不丢失
人机接口和可视报警	试验期间暂时性能下降或功能丧失，试验后自行恢复，储存数据不丢失

数据通信	误码率可能增加，但传输数据不丢失
开关量输入、开关量输出和输出触点	试验期间不允许有不需要的状态改变

表 4 准则 C 验收条件

功能	验收条件
保护	暂时功能丧失，功能可自行恢复，应无误动作出现
命令与控制	暂时功能丧失，功能可自行恢复，应无误动作出现
测量	暂时丧失功能，功能可自行恢复
模拟量输出	暂时丧失功能，功能可自行恢复
人机接口和可视报警	暂时丧失功能，功能可自行恢复
数据通信	暂时丧失功能，功能可自行恢复，可能丢失传输数据
开关量输入、开关量输出和输出触点	暂时丧失功能，功能可自行恢复。配置保护功能的输出触点应依据保护功能的验收准则

新版标准中增加开关量输入、开关量输出和输出触点功能验收准则。

5 整改方案

5.1 传导发射整改方法

对于传导发射限值超标问题^[5]，一般可以从以下两点着手整改。

1) 增加滤波电容

在线路和地之间增加接地电容，相当于为高频噪声提供了一个极低阻抗的泄放路径，让噪声在非常小的局部环路（芯片→电容→地→芯片）内循环，而不是通过阻抗更高的电源网络，从而降低发射值。

电容通常和电感配合构成滤波电路^[6]，在电源的输入端口（如 AC-DC 转换器的输入端、DC-DC 转换器的输入/输出端），通常会使用 π 型（C-L-C）、LC 型等滤波器。

差模滤波：抑制在火线（L）和零线（N）之间传输的噪声。电容（通常是 X 电容）为差模噪声提供在两线之间的旁路。

共模滤波：抑制在火线（L）/零线（N）与地（G）之间同相位传输的噪声。电容（通常是 Y 电

容)为共模噪声提供到地的泄放路径。

在实际应用过程中,如果是超标的频率范围较窄,可以通过超标频率计算出对应的电容容值,从而选择出合适的滤波电容。如果超标频率范围带宽较宽,可以选择不同容值的滤波电容并联使用,以拓宽滤波频段。

2) 增加磁环

磁环的作用原理基于阻抗,对直流和低频电流(如电源 50/60Hz),磁环呈现的阻抗非常低,几乎是透明的,因此不会影响设备的正常工作。对高频噪声电流(MHz 级别),磁环的感抗($X_L=2\pi fL$)会随着频率升高而急剧增加,表现为一个高阻抗元件。磁环可以阻碍噪声电流的传播路径。消耗噪声能量(以热的形式散发,但通常很微弱)。反射一部分噪声能量回噪声源。本质上,磁环在导线上充当了一个低通滤波器:让低频有用的信号/电源通过,而阻挡高频无用的噪声。

磁环的使用效果很大程度上取决于使用方法:

位置: 尽量靠近噪声源(即电缆的出入口)。例如,套在设备电源接口的根部,而不是电缆的中间。

绕圈数: 将电缆在磁环上绕一圈,感量会增加为原来的 4 倍。绕的圈数越多,对低频段的抑制效果越好。但圈数过多会引入寄生电容和损耗,对极高频的效果可能反而下降,通常绕 1-3 圈为宜。

磁环材质: 不同配方(锰锌、镍锌)的铁氧体适用于不同的频率范围。镍锌磁环和非晶磁环更适合抑制更高的频率(如 $>10\text{MHz}$),而锰锌磁环在较低频率(如 $<10\text{MHz}$)有更好的吸收特性。

电缆类型: 磁环主要抑制共模噪声(线缆上的电流同向流动)。它是解决共模传导发射问题的利器。

5.2 辐射发射整改方法

对于辐射发射超标整改措施^[7],所有工作都要围绕以下三要素展开:

抑制源头: 减少噪声的产生和输出。

切断路径: 阻止噪声传播到天线。

破坏天线: 使天线的辐射效率变差。

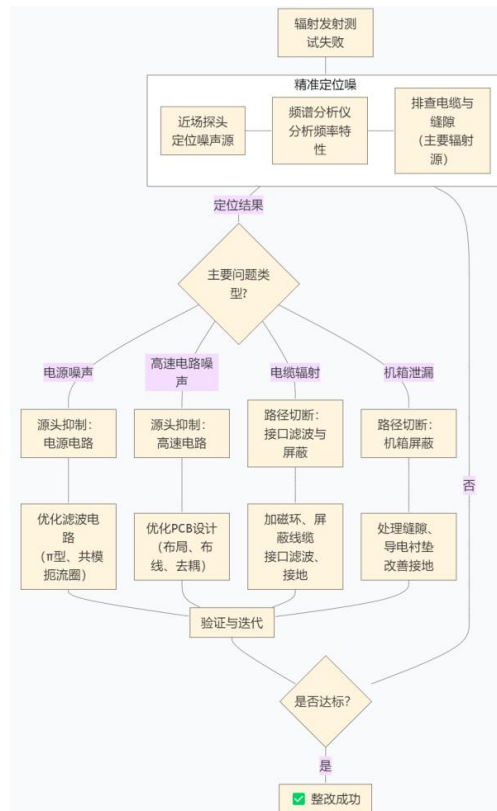


图 2 辐射发射整改思路图

对于抑制发射源头的方法^[8],一般在产品设计时就考虑进去,这里不做过多赘述。下面主要讨论一些在实际测试过程中,比较立竿见影的整改方法。

1) 电缆处理

电缆在辐射发射测试中是效率最高的天线,在天线理论中,只要天线长度超过对应半波长的整数倍就会形成有效发射,处理方法一般如下:

增加磁环: 在 I/O 线、电源线上套镍锌铁氧体磁环,尤其对抑制 30MHz~300MHz 的共模噪声非常有效。可多绕几圈增加电感量。

使用屏蔽电缆: 使用带编织网的屏蔽线缆,并确保屏蔽层 360° 端接到金属机壳上。避免“猪尾巴”式连接,否则高频屏蔽效能会急剧下降。

接口滤波: 在电缆进出 PCB 的端口处设置滤波电路,如 π 型滤波(电感+电容)、共模扼流圈、TVS 管等。

2) 机箱屏蔽

导电衬垫: 在机箱上下盖、显示窗等结合处使用导电泡棉、金属指簧、铍铜簧片等,填充缝隙,保证导电连续性。

通风孔处理: 使用金属丝网或导电布贴在通风

孔内侧，或使用波导窗（高于截止频率的电磁波无法通过）。

显示窗处理：在玻璃或塑料窗口内侧贴导电屏蔽膜（ITO膜或金属网格），并将其四周良好接地。

内部隔离：对噪声特别大的模块（如开关电源）增加金属屏蔽罩^[8]，并将其焊接到PCB的地平面上。

3) 破坏天线

电缆布局：避免电缆靠近噪声源（如电感、晶振）或穿过缝隙区域。将电缆紧贴金属机壳走线，可以耦合掉部分共模电流。

缩短电缆：天线长度与波长 λ 有关（如 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ ）。缩短电缆长度可以改变其谐振频率，避免在测试频点产生高效辐射。

6 小结

电力系统现场充斥着各种电磁干扰（如开关操作、雷击、高压设备产生的磁场等）。所以要确保保护装置在真实恶劣的电磁环境中能不误动、不拒动，准确切除故障。

继电保护装置是电网的“安全卫士”。其误动或拒动可能导致大面积停电。新标准通过更全面、严格的电磁兼容要求，筑牢电网安全运行的底层基础。新标准修改采用IEC 60255-26:2023国际标准，助力国产保护设备更好满足国际市场需求，对国内企业参与全球竞争、推广“中国制造”的高端电力装备有利。并且为保护装置提供了统一、权威的电磁兼容测试方法和判据，规范了市场秩序，使设备选型、入网检测、质量监督有据可依。

《GBT 14598.26—2025 量度继电器和保护装置 第26部分：电磁兼容要求》新标准的实施，是电力行业继电保护领域的一项重要进步。它响应了电网发展对设备可靠性提出的更高要求，顺应了技术发展和国际接轨的趋势。

参考文献

- [1] 袁超南. 继电保护技术在智能电网中的应用[J]. 光源与照明, 2024, (12):165-167.
- [2] 许尧, 马欢, 许岳鹏, 等. 智能变电站继电保护智能运维系统自动配置技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(11):160-168.
- [3] 王韶亮. 考虑大规模光伏接入的配电网保护方案研究[D]. 北京交通大学, 2024.
- [4] 戴志辉, 杨鑫, 耿宏贤, 等. 基于电力物联网的继电保护定值智能运维系统研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(06):50-58.
- [5] 徐一明, 段建东, 孙红鹏, 等. 多电飞机系统传导电磁干扰交互作用机理分析及建模[J]. 电机与控制学报, 2024, 28(07):1-12.
- [6] 王伟新, 舒俊华, 睢宁宁, 等. AC/DC通信电源模块远场电磁辐射发射预测研究[J]. 电源学报, 2024, 22(05):44-51.
- [7] 阎照文. 集成电路电磁兼容性分析方法及展望[J]. 安全与电磁兼容, 2024, (06):9-21.
- [8] 刘勇, 付振, 王思喆, 等. 考虑短路暂态影响的EMI滤波器共模电感设计方法研究[J/OL]. 电源学报, 1-9[2025-08-29].

作者简介

李涵（1998-），男，工程师，硕士，主要研究方向为电磁兼容测试与研究。

杨兴超（1979-），男，正高级工程师，本科，主要研究方向为电磁兼容测试与研究。

基于恒定功率法的射频电磁场均匀域校准

李祎博¹, 陈光华², 刘家豪²

(1. 许昌开普检测研究院股份有限公司, 河南许昌, 461000; 2. 珠海开普检测技术有限公司, 广东珠海, 519000)

摘要: 射频电磁场辐射抗扰度测试是电磁兼容测试中常见的项目, 该测试用来评估并确保电子电气设备在复杂的射频电磁环境中能够可靠、安全地工作, 场均匀域校准是进行射频辐射抗扰度测试中的前提。本文针对试验室测试时常用的试验等级和试验频率, 采用恒定功率法对 3m 法电波暗室场地进行了场均匀域校准。结果表明, 该方法的可以有效满足校准要求, 对电波暗室的校准提供了一定的参考作用。

关键词: 射频电磁场; 电磁兼容; 场均匀域; 校准; 电波暗室

0 引言

随着现代电子信息技术的高度发展, 各类电子和电气设备被广泛的应用到工业、医疗和消费电子领域, 现代社会已经进入一个由复杂电磁环境包裹的时代。电子、电气设备在实际的运行环境中不可避免的受到来自外界的射频信号的干扰, 处在复杂电磁环境中的设备如果对外界射频信号的抗干扰能力不足, 就可能造成设备的功能或性能暂时降低或丧失, 从而影响整个系统运行的安全性和稳定性^[1-2]。

为确保电子设备在复杂电磁环境中的可靠与安全运行, 抗射频电磁场干扰设计与测试已成为产品研发中不可或缺的核心环节。通过在试验室的电波暗室中建立射频电磁场抗扰度测试环境, 可以模拟设备在复杂电磁环境中的运行^[3-4]。为了确保测试环境的可靠性, 标准要求测试环境必须具有一定的场均匀性, 若测试区域内场分布不均匀, 则会导致被测设备在不同位置承受的场强差异过大, 从而使试验结果的重复性与可靠性降低, 甚至出现试验结果判别出现差异。通过场均匀域 (uniform field area, UFA) 校准, 建立试验场强和功率之间的映射关系, 在正式试验时, 功率放大器通过这种映射关系输出相应的前向功率即可在试验室中产生与之对应的场强。因此, UFA 校准成为辐射抗扰度试验开始前的必要步骤^[5-6]。

1 场均匀域校准

场校准的目的是为确保 EUT 周围的场充分均

匀, 以保证试验结果的有效性。UFA 是一个场的假想的垂直平面, 在该平面中场的变化足够小。在校准过程中, 要求测试装置和设备有产生这样的一个场的的能力。同时, 得到一个产生抗扰度测试所要求的场强的设置的数据库。场校准对所有的单个面可以全部被 UFA 覆盖的受试设备 (equipment under test, EUT) 都是有效的。场校准在无 EUT 的场地上进行, 在该过程中, UFA 的场强和输出给天线前向功率的关系是确定的。在测试的过程中, 前向功率通过这个确定的关系和目标场强计算出来。只要测试布置不发生改变, 该校准是一直有效的。

UFA 的尺寸至少为 1.5m × 1.5m, 下端距离地面的高度为 0.8m, 以确保在抗扰度测试的过程中, EUT 的面应被 UFA 完全覆盖。将 UFA 分割成间距为 0.5m 的一系列小格, 在每个测试频点, 所有栅格点中有 75% 的点测得的场强幅值为标称值 0-6dB 范围内的值即认为该场是均匀的。建立的 UFA 平面如图 1 所示。

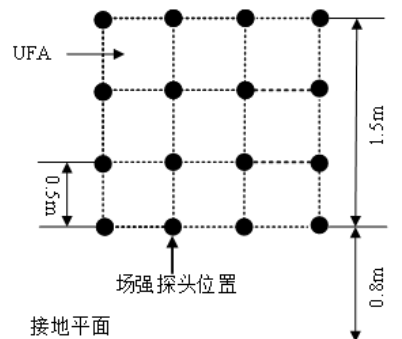


图 1 UFA 平面示意图

2 恒定功率法的校准步骤

采用恒定功率法校准时水平和垂直极化方向的电平设置程序如下：

1.将场强探头置于栅格中 16 个点中的任意一点上（如图 1），将信号发生器输出的频率调至试验频率范围的下限频率；

2.调节发射天线的正向功率，使所得场强等于电平设置场强，记录正向功率及场强读数；

3.以当前频率的%为最大增量来增加频率；

4.重复步骤 2 和 3，直至下一频率超过试验频率范围的上限频率。最后在此上限频率处重复步骤 2；

5.将场强探头移至栅格的另一点，在每一频率点采用上述步骤 1-4，并记录步骤 2 的场强和所施加的正向功率值；

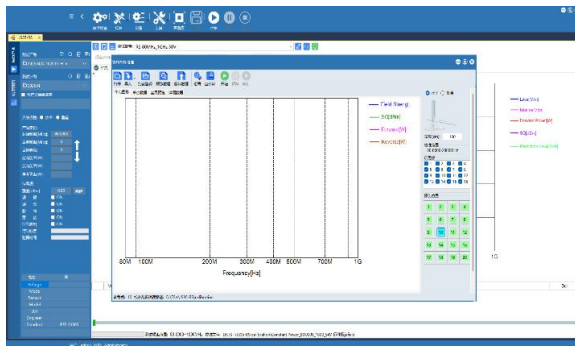
6.对每一个栅格点重复步骤 5；

在每一个频率点上将场强读数按升序排列。先选择任一点的场强值作为参考值，计算所有其他点相对于该点的偏差，从场强的最小读数开始检查，向上至少应有 11 个点的读数在最小读数的 0dB~+6dB 的容差范围内，如果至少有 12 个点的读数在 6dB 范围内则停止检查程序，从这些读数中找出最小场强的点作为参考点，计算出建立该参考点场强所需的正向功率值。

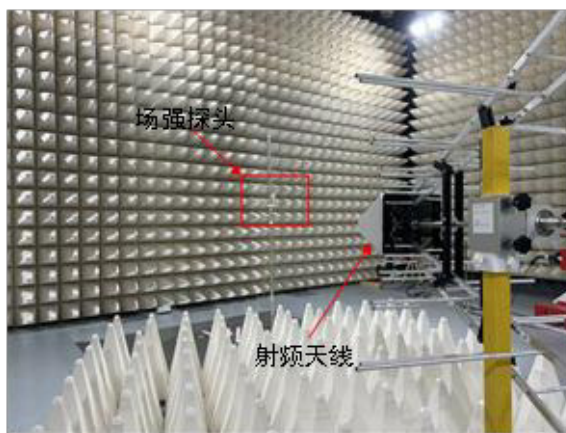
对电波暗室进行场的校准，应使用未调制的载波分别对水平和垂直极化方向进行校准。由于试验时采用 80%调制深度的 1kHz 正弦波幅度调制，为了确保功率放大器可以响应信号的调制且在测试过程中不会达到饱和，校准用的场强应至少为将要施加给 EUT 场强的 1.8 倍。

3 恒定功率法校准结果

在试验室中搭建了校准系统所需的软硬件配置，系统的主要由对数周期射频天线及线缆、场强探头、信号源、功率放大器和定向耦合器、射频开关、功率计及控制软件等组成。



a) 上位机控制软件



b) 射频天线及场强探头



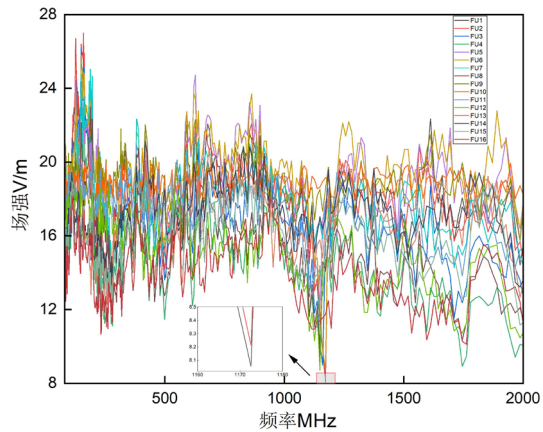
c) 信号源、功率放大器及定向耦合器、射频开关

图 2 场均匀域校准系统组成

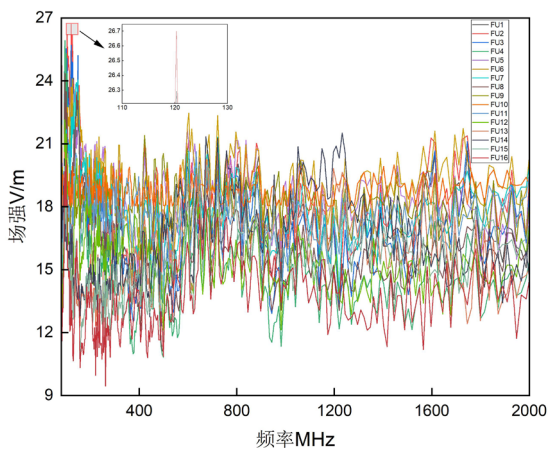
在进行校准时，信号源产生一个低功率且带有指定调制的射频信号，通过射频线缆输出给功率放大器，经功率放大器放大后通过定向耦合器一路传递至射频天线产生相应的测试场强，另一路经过衰减后传递至功率计，用于校准过程中前向功率和反向功率的实时监测，射频开关用于不同频段时功放的切换控制。

结合试验室实际测试中常用的测试等级及测试

频段需求,校准频段选择 80MHz-2GHz,校准场强为 18V,测试距离为 3m。采用恒定功率法进行校准,UFA 平面中 16 个点在天线水平和垂直极化方向上实测的场强值如图 3 所示。



a) 水平方向



b) 垂直方向

图 3 UFA 平面各点处实测场强值

从 UFA 平面各点的场强实测值可以看出,其中在水平方向上 1172.58MHz 时和垂直方向 125.18MHz 时实测场强值出现了整个校准区间的最大偏差。根据恒定功率法的校准流程,选择其中一点为参考点,在相应的频率点下 16 个点的场强实测值及相对偏差分别如表 1 和表 2 所示:

表 1 水平方向最大偏差对比表

序号	场强 V/m	相对偏差 dB	是否满足
1	8.054	-3.27	否
2	8.214	-3.09	否
3	8.818	-2.45	否
4	11.738	0	是
5	14.07	+1.57	是
6	14.67	+1.92	是

7	14.71	+1.96	是
8	15.899	+2.64	是
9	16.008	+2.70	是
10	16.774	+3.09	是
11	17.021	+3.23	是
12	17.608	+3.50	是
13	17.735	+3.56	是
14	17.854	+3.62	是
15	18.554	+3.99	是
16	19.156	+4.26	是

表 2 垂直方向最大偏差对比表

序号	场强 V/m	相对偏差 dB	是否满足
1	11.885	0	是
2	14.094	+1.46	是
3	15.308	+2.2	是
4	16.225	+2.71	是
5	16.337	+2.77	是
6	17.968	+3.61	是
7	19.52	+4.32	是
8	19.547	+4.33	是
9	20.108	+4.56	是
10	22.303	+5.46	是
11	22.924	+5.70	是
12	23.449	+5.90	是
13	23.659	+5.99	是
14	24.865	+6.42	否
15	25.282	+6.56	否
16	25.427	+6.60	否

经计算两个频率点所有校准点相对于参考点的偏差,均满足至少应有 11 个点的读数在最小读数的 0dB~+6dB 的容差范围内,该点的场均匀性满足校准的要求。因此,在所有频段各点位均满足恒定功率法对于场均匀性的要求。

4 总结

本文对射频电磁场均匀域校准的方法-恒定功率法进行了解读,基于此种方法搭建了校准环境的软硬件配置,在试验室的电波暗室内对 80M-2GHz 频率上进行了场强值为 18V/m 的校准,同时选取了各个方向上偏离较大的频率点进行了相对偏差计算。结果表明该方法可以满足电波暗室均匀域校准的要求,对电波暗室的校准提供了一定的参考作用。

参考文献

- [1] 唐波, 张楠, 齐道坤, 等. 共享铁塔基站天线对在线监测设备的电磁干扰及防护[J]. 高电压技术, 2020, 46(12):4365-4375.
- [2] 刘杰, 雷剑梅, 陈旭, 等. 智能汽车网联性能暗室测试方法研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2020, 34(09):91-97.
- [3] 王巍, 郝丹, 马轲瀛, 等. 射频电磁场辐射抗扰度中场强探头和功率放大器的校准方法讨论[J]. 中国测试, 2022, 48(S1):108-110.
- [4] 周碧红, 石雷兵, 韩志强. 电能表射频电磁场辐射抗扰度试验案例分析[J]. 电测与仪表, 2021, 58(08):190-193.
- [5] 董奇峰. 电波暗室场地均匀性测试系统的研究[D]. 北京工业大学, 2017.
- [6] 林辰正, 高成, 黄姣英. 浅析集成电路辐射抗扰度测试方法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(14):51-58.

作者简介

李祎博(1995-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电气、电子类产品的电磁兼容试验与研究。

陈光华(1987-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电气、电子类产品的试验与研究。

刘家豪(2000-), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向为电气、电子类产品的电磁兼容试验工作。

一种非金属材料的灼热丝能力验证结果分析

李清文, 张亚磊, 刘政杭

(许昌开普检测研究院股份有限公司, 河南许昌, 461000)

摘要: 能力验证的参与是确保实验室检测准确性, 提升技术能力, 满足标准, 促进国际互认, 管理风险, 增强市场竞争力和客户信任。灼热丝试验是一种评估电工电子产品材料在高温条件下的着火风险和耐热性能的测试方法。其目的在于预防电气火灾, 确保产品符合安全标准, 为产品设计和改进提供数据支持, 以及进行质量控制。此外, 该试验还有助于进行风险评估, 提高消费者对产品安全性的信心。通过模拟电气设备可能遇到的高温情况, 灼热丝试验能够有效地评估材料的可燃性和耐热性能, 从而保障产品的安全性和可靠性。

关键词: 灼热丝; 能力验证; 可燃性和耐热性

0 引言

在电工电子产品领域, 非金属材料的安全性至关重要, 因为它们直接影响产品的可靠性和安全性。灼热丝试验作为评估这些材料在高温条件下性能的关键方法, 对于预防电气火灾和确保产品符合安全标准具有重要作用。然而, 不同实验室的测试结果可能存在差异, 这就需要通过能力验证来确保检测的准确性和一致性。本研究旨在通过分析非金属材料灼热丝试验的能力验证结果, 评估实验室的检测能力, 并提出改进建议, 以提高试验的准确性和可靠性。研究还将探讨如何利用这些试验结果来指导产品设计和改进, 以及进行有效的质量控制。通过这项研究, 我们期望为提高电工电子产品的安全性提供科学依据, 并为实验室检测提供改进方向。

1 灼热丝试验概述

1.1 灼热丝试验的基本原理

模拟电气设备或组件在过载或短路等故障条件下可能遇到的高温环境。该试验通过电流加热的金属丝(灼热丝)达到试验要求温度后, 以一定压力和角度接触测试样品表面, 评估材料的可燃性和耐热性能。试验的关键参数包括灼热丝的温度、接触时间、施加的压力以及灼热丝的移动速度。

1.2 试验方法和步骤

(1) 准备工作

确认试验环境条件满足相关标准要求; 检测仪器的确认, 确保仪器处于良好的工作状态; 样品检查, 确认样品良好, 尺寸和形状符合规定要求。

(2) 样品安放

将样品安放在试验台上, 使用与样品匹配的夹持装置固定样品。

(3) 参数设置

根据试验要求, 确认所需的加热温度值, 缓慢施加电流, 保持一定的温度变化曲线, 到达试验温度。

(4) 试验启动

启动试验仪器, 确保仪器稳定后, 开始记录燃烧数据及试验过程。

(5) 温度观察

灼热丝试验中, 温度控制和测量至关重要。试验前需校准温度传感器, 确保测量精度。试验过程中, 实时监测并记录灼热丝温度, 包括达到设定温度的时间和温度波动。此外, 评估温度对材料燃烧行为的影响, 如燃烧持续时间和滴落物情况, 以确保试验结果的可靠性。这些步骤对于获得准确、可靠的试验数据至关重要。

1.3 试验条件和参数设置

灼热丝试验的成功依赖于精确的试验条件和参数设置。首先, 试验环境需符合标准要求, 包括适宜的温度、湿度和通风条件。其次, 灼热丝温度应根据材料特性和安全标准设定, 如 650℃, 并确保

加热速率适当,使温度均匀上升。接触时间通常设定为 30 秒,以评估材料的燃烧行为。样品的尺寸和形状也应符合试验标准,以保证试验的可重复性。最后,试验过程中的所有参数,包括温度、接触时间和样品反应,都需详细记录并分析,以准确评估材料的燃烧特性。

2 非金属材料灼热丝能力验证的实施

2.1 能力验证样块的简介

此次能力验证样品为正方形塑料片 1 片,尺寸为:60mm×60mm×3mm(长×宽×厚)。样品分正反面,正面无标识,反面印有标识。如图 1 所示。

收到样品后,首先检查包装完好,拆封后,核验快递包装中物件是否齐全,然后检查样品外观质量应无划痕及损伤,样品表面涂覆的颜色应均匀一致,确保试验结果的可靠性及准确性。



图 1 试验样品图

2.2 能力验证项目介绍

本项目要求实验室对样品进行 650℃灼热丝试验,并上报样品是否通过灼热丝试验。

2.3 测试要求

(1) 在试验前,请将试验样品在温度 23℃±2℃,相对湿度 45%~55%的大气环境下放置至少 24h^[1]。

(2) 试验环境条件:在环境温度 15℃~35℃,相对湿度≤75%的实验室环境下进行试验;

(3) 在 650℃^[2]下进行灼热丝试验。

2.4 试验设备

灼热丝的测试设备有两套,一套为测试设备,一套为备用(验证)设备,如表 1 所示。

表 1 测试设备

序号	设备名称	设备型号	备注
1	灼热丝试验仪	HK-ZRS	测试设备
2	灼热丝试验仪	ZRS-2	备用(验证)设备

2.5 试验设备的校准和验证

试验设备的校准和验证试验设备的校准和验证是确保设备测量结果准确可靠、满足试验要求的重要手段。校准是通过一系列操作,确定测量设备的示值与标准值之间的关系,调整设备以确保其测量值准确。验证则是通过提供客观证据,确认设备在实际使用中能够满足特定的性能要求和标准规范。校准和验证的目的校准和验证的主要目的是确保试验设备的测量结果准确可靠,符合相关标准和规范的要求。这不仅有助于提高试验结果的有效性和可靠性,还能增强社会对试验设备的信任。此外,校准和验证还能发现设备的潜在问题,及时进行调整和修复,提高设备的可靠性和稳定性,确保其在实际使用中能够满足特定的性能要求。本次使用设备均由第三方计量单位进行校准,使用符合标准要求,按照每 12 个月进行一次计量校准,并通过相关验证来确定设备。

2.6 注意事项

选择合适的校准机构:选择具有资质和经验的校准机构进行设备校准,确保校准结果的准确性和可靠性。

保存校准和验证记录:妥善保存校准和验证记录,以便在需要时进行追溯和审核。

及时处理异常情况:在校准和验证过程中,如果发现设备存在异常,应及时处理。必要时,暂停设备使用,直至问题解决。

通过定期的校准和验证,可以确保试验设备的测量结果准确可靠,满足试验要求,从而保障试验结果的有效性和可靠性。这对于提高产品质量、保障公共安全和促进国际贸易等方面都具有重要意义。

3 能力验证结果分析

3.1 最终测试结果统计

经过对仪器设备及人员操作、环境温度的验证及确认,最终试验结果为通过灼热丝试验(650℃)。

3.2 结果的统计分析和评估

分析本次灼热丝能力验证试验过程中的不确定分量有如下几条:

- (1) 人员计时所引入的不确定度分量;
- (2) 仪器的不确定度,由试验温度引入的不确定度分量。

3.3 试验结果的解释和讨论

本次热丝试验结果显示样品成功通过 650℃ 的测试,验证了其在高温条件下的性能。试验过程中,对仪器设备、人员操作和环境温度进行了严格验证,确保了结果的准确性。然而,试验结果的统计分析和评估指出了两个主要的不确定度来源:人员计时误差和仪器误差。这些不确定度可能影响结果的精确度,因此需要进一步量化评估其影响,并提出改进建议以提高试验的可靠性。讨论强调了减少不确定度的重要性,建议通过提高仪器精度、优化试验流程和加强人员培训来改进试验方法。此外,基于当前试验结果和不确定度分析,提出了进一步研究的建议,以全面评估样品性能。总的来说,虽然样品通过了试验,但为了提高结果的可信度,仍需对试验方法进行持续的优化和改进。

4 能力验证结果的应用

4.1 对实验室检测能力的提升

能力验证结果的应用不仅确保检测质量符合标准,还能通过发现问题促进技术改进和人员培训,提高检测的准确性和效率。此外,能力验证有助于设备校准和流程优化,增强客户信任并满足合规性要求。通过定期的能力验证,实验室能够持续改进,适应新的检测要求和技术发展。这些活动共同作用,不仅提高了实验室的内部管理水平,也增强了其市场竞争力,确保了实验室在不断变化的检测环境中保持领先地位。简而言之,能力验证是实验室质量控制和持续改进的关键环节。

4.2 对质量控制和风险评估的贡献

能力验证结果通过确保检测结果的准确性和可靠性,帮助实验室监控和优化检测过程,实现持续改进。能力验证有助于识别和量化检测过程中的不确定性和潜在误差,为风险评估提供数据支持,从而降低因检测错误导致的业务风险。此外,能力验

证还有助于实验室满足行业法规和标准,提升客户和监管机构的信任度,增强实验室的信誉。通过避免因错误检测导致的资源浪费,能力验证还有助于降低实验室的运营成本,实现资源优化。总之,能力验证结果对于提高实验室的检测质量和风险管理能力具有重要意义。

5 结论

灼热丝试验的结果直接影响到产品在实际使用中的安全性,如防止火灾风险,以及产品的长期可靠性。这些试验结果还有助于产品满足安全标准和法规要求,避免可能的法律责任。

对于未来的研究方向,建议包括方法改进以提高试验的精确度和可重复性,开发新的试验方法来评估新材料的高温性能,以及鼓励跨学科合作以全面理解材料性能。此外,开发更先进的风险评估模型和加强相关人员的教育和培训也是必要的,这将有助于更好地利用试验数据进行产品安全评估,并提高对灼热丝试验重要性的认识和操作技能。通过这些措施,可以进一步提高非金属材料灼热丝试验的质量和效果,从而更好地保障产品的安全性和可靠性。

参考文献

- [1] GBT 5169.10—2017 电工电子产品着火危险试验第 10 部分:灼热丝/热丝基本试验方法灼热丝装置和通用试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [2] GBT 5169.11—2017 电工电子产品着火危险试验第 11 部分:灼热丝/热丝基本试验方法成品的灼热丝可燃性试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

作者简介

李清文(1993-),男,工程师,本科,主要研究方向为电工电子产品安全、环境、可靠性试验研究。

张亚磊(1996-),男,工程师,本科,主要研究方向为电工电子产品安全、环境、可靠性试验研究。

刘政杭(2002-),男,工程师,本科,主要研究方向为电工电子产品安全、环境、可靠性试验研究。

储能变流器低电压穿越性能检测指标研究

魏于凯, 范书豪, 陈卓

(许昌开普检测研究院股份有限公司, 河南许昌, 461000)

摘要: 随着可再生能源的快速发展, 储能变流器(PCS)在电力系统中的应用日益广泛。低电压穿越(LVRT)能力是储能变流器在电网故障时保持稳定运行的关键性能指标。本文针对储能变流器低电压穿越性能检测进行了研究。首先, 分析了低电压穿越性能检测的重要性及其在电力系统中的应用背景。其次, 建立了一个低电压穿越性能检测指标体系, 包括响应时间、调节时间、功率控制偏差、功率恢复速率等指标。接着, 详细阐述了检测指标的计算方法和评估标准, 并进行了相应的检测实验。通过实验验证, 所提出的检测指标能够有效评估储能变流器的低电压穿越性能。最后, 对检测结果进行了分析。本研究为提高储能变流器在电力系统中的可靠稳定运行提供了理论依据和实践指导。

关键词: 储能变流器; 性能指标; 检测方法

0 引言

随着光伏与储能系统的广泛应用, 其低电压穿越性能成为保障电网稳定运行的关键因素。在当今能源转型的大背景下, 光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式, 得到了迅速发展。而储能系统的引入, 不仅可以提高光伏发电的稳定性和可靠性, 还能在电网出现故障时提供一定的支撑作用^[1-3]。因此, 本文开发了一种评估储能变流器低电压穿越性能的评估方法, 对不同变流器的低电压穿越性能进行了量化对比分析。

低电压穿越是指在当电力系统中出现电压跌落时, 风力发电机组、光伏电站等新能源发电设备能够不脱网运行, 必要时甚至可向电网提供一定的无功功率支持电网恢复^[4-5]。储能变流器的低电压穿越性能测试主要涉及以下几个关键指标:

- 1) 电压跌落深度和持续时间: 一般选取电网电压跌落的幅值和持续时间特征量来判断电网电压的跌落。跌落幅值是指跌落后电压有效值和额定电压有效值之比, 持续时间是指跌落开始到结束之间的时间。不同的并网标准对跌落幅值和持续时间的要求可能不同。
- 2) 无功电流支撑能力: 在低电压穿越过程中, 储能系统需要向电网提供一定的无功功率

支持, 以帮助电网恢复电压。因此, 无功电流支撑能力是一个重要的测试指标。

- 3) 功率输出稳定性: 在低电压穿越过程中, 储能系统的功率输出应保持相对稳定, 以避免对电网造成二次冲击。
- 4) 响应时间: 系统对电压跌落的响应时间应尽可能短, 以提高系统的稳定性和可靠性。

通过对这些关键指标的测试和分析, 可以评估储能变流器的低电压穿越性能, 为系统的设计、优化和运行提供参考。同时, 也可以为相关标准的制定和完善提供依据。

1 检测指标

低电压穿越可分三相对称故障和不对称故障, 测试分轻载、重载测试^[6-7]。一般重载功率为额定功率 P_N 的0.8倍, 轻载功率为 $0.3P_N$ 。通常情况下, 三相对称故障是构网型储能系统的主要工况, 因此以三相对称故障测试为主。故障穿越电压跌落点可选取额定电压 U_N 的0%、20%、40%、60%和80%, 跌落时间可以按照图1曲线要求选取。

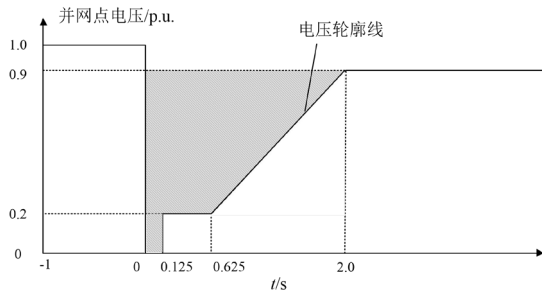


图1 低电压穿越曲线

在电压跌落期间，变流器需具有动态无功功率支撑能力，动态无功电流增量需满足下式：

$$\Delta I = K \times (C - U_i) \times I_N \quad (0 \leq U_i \leq C)$$

式中：K 为比例系数，可取范围 1.5~3；C 为常数，不同额定电压取值不同； U_i 为变流器交流端口实际电压与额定电压比值； I_N 为系统额定输出电流。

计算动态无功电流的响应时间 T_r^i 、调节时间 T_c^i 和输入控制偏差 Δ_i ：

$$\Delta_i = \left| \frac{I_0 + \Delta I}{I_N} - 1 \right| \times 100\%$$

式中， I_0 为变流器在电压跌落前正常运行时的电流有效值。

另外，还要变流器有功功率在故障清除后能快速恢复，自故障清除时刻开始，储能变流器需以一定的功率变化率 v_p 恢复至故障前的值：

$$v_p = \left| \frac{P_0}{P_N \cdot T_s} \right| \times 100\%$$

式中，为电网故障清除时变流器的有功恢复至故障前值的持续时间。

2 评估方法

依据上一节检测指标可知，在基于不同工况下或对不同储能型号设备进行测试得到性能参数之后，指标结果存在差异性。并且由于各指标之间存在竞争关系且量纲的不统一，在对性能评估时，需要对其归一化并赋权处理。因此可利用熵权法(Entropy Weight Method, EWM)，EWM 是基于信息熵的概念，通过计算每个指标的信息熵和权重，来确定各个指标的重要程度^[8]。

熵权法步骤如下：

- 1) 首先构建评价矩阵，其中 m 为评价方案个数，n 为评价指标个数；
- 2) 对评价矩阵归一化处理，使用 EWM 计算评价指标的权重：

$$\begin{cases} E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij} \ln(x_{ij})}{\sum_{i=1}^m x_{ij} \ln(x_{ij})} \\ w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{i=1}^n (1 - E_j)} \end{cases}$$

式中， x_{ij} 为第 i 个评价方案的第 j 个指标值； E_j 为第 j 个指标的信息熵； w_j 为第 j 个指标的权重。重新构造加权的标准化评价矩阵。

3 实验验证

利用某 A 厂家生产的额定功率 2.5MW，额定电压 800V 储能变流器的测试波形作为样本。采集样本数据时需固定采样率，防止数据传输和存储过程中的丢失或损坏。在导出波形数据时，软件系统可以剔除异常值并处理缺失数据。除此之外，还要求检测的环境条件，温度、湿度和气压应在标准规定范围内。

固定储能变流器为放电模式，选取轻载时的低电压穿越测试。另外尽可能减少测量误差，还需对变流器进行重复性测试，分析测试指标结果。

轻载 $0.3 P_N$ 时变流器设备低电压穿越至 $0\% U_N$ 测试波形如下图 2 所示。

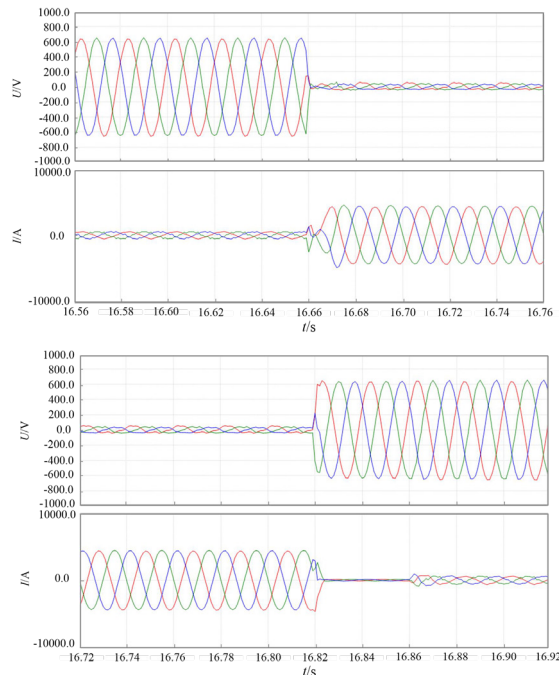


图2 故障前后电压、电流瞬时值

在图 2 中显示了电网故障前后设备并网点的电压、电流瞬时值变化情况。在开始时，设备以 $0.3 P_N$ 的有功功率稳定运行，在大概 16.66s 时，设置电网电压跌落至 0 附近，跌落持续时间 0.125s，在此期

间设备进行低电压穿越,并发出动态无功功率支撑。无功动态电流响应情况见图3,图中 I^+ 、 I^- 和 I^0 分别为电流正序、负序、零序分量。具体设备发出无功电流的响应时间、调节时间、功率控制精度及故障结束后设备的有功恢复速率如表1所示。

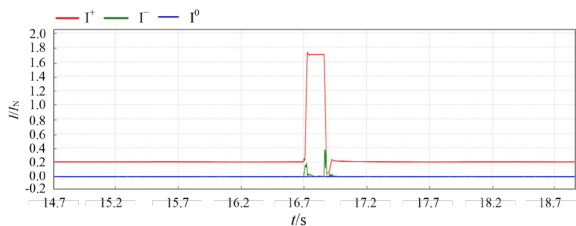


图3 无功电流动态响应

表1 测试结果

参数	响应时间 /ms	调节时间 /ms	控制精度 /%	有功恢复速 率%P _N /s
结果	20	25	7.08	1565

4 性能对比

为证明评估方法的通用性,选用另外3个厂家生产的构网储能系统进行测试,编号分别为B、C、D,对共4种型号的储能变流器进行评估。4种型号的储能额定电压、额定功率等级见表2。其中A、B属于同类型,与C、D相比属于不同类型;C、D属于额定电压相同但功率等级不同。

表2 储能变流器额定参数

厂家	额定电压/V	额定功率/kW
A	800	2500
B	800	2500
C	690	2200
D	690	2000

使用EWM对低电压穿越0%、20%、40%、60%和80%不同穿越深度的分项指标分配权重并综合计算。

经EWM归一化处理后最终得出4个厂家在性能评估指标中4项子指标对比情况,如表3所示。

表3 性能指标结果

厂家	响应时间	调节时间	控制偏差	有功恢复速率
A	0.2587	0.2605	0.2476	0.2462
B	0.2472	0.2785	0.2392	0.5513
C	0.2443	0.2371	0.2954	0.0917
D	0.2498	0.2240	0.2177	0.1109

根据表3指标数据可以直观看出,C的响应时间最短,为0.2443。这表明C的系统在检测到电压跌落时能够迅速做出反应。B和D的响应时间也较短,分别为0.2472和0.2498;A的响应时间相对较长,为0.2587。D的调节时间最短,为0.224,这说明D的系统在响应后能够快速恢复稳定状态。C的调节时间也较短,为0.2371;A和B的调节时间相对较长,分别为0.2605和0.2785。

D的控制偏差最小,为0.2177。这意味着D的系统在低电压穿越过程中能够更准确地控制输出。B的控制偏差也较小,为0.2392;A的控制偏差为0.2476,处于中等水平;C的控制偏差最大,为0.2954。C的有功恢复速率最慢,为0.0917。这可能会影响系统在低电压穿越后对电网的支撑能力。A和D的有功恢复速率较为接近,分别为0.2462和0.1109。B的有功恢复速率最快,为0.5513。

综上,D在响应时间、调节时间和控制偏差方面表现较为出色,但有功恢复速率相对较慢。C在响应时间和调节时间方面具有一定优势,但控制偏差较大且有功恢复速率最慢。B的有功恢复速率最快,但调节时间较长且控制偏差相对较大。A在各项指标中表现较为均衡,没有明显的优势或劣势。

通过对四家厂家的低电压穿越测试性能指标进行对比分析,可以看出不同厂家的产品在不同方面具有各自的特点。用户在选择产品时,应根据实际需求综合考虑响应时间、调节时间、控制偏差和有功恢复速率等指标,以选择最适合自己的储能逆变器。

5 结论

本文通过建立储能变流器低电压穿越性能的评价指标,为储能变流器的性能评估提供了一种标准化的评价框架。

在指标中,响应时间和调节时间反映了储能变流器在面对电网电压跌落时的快速响应能力和稳定调节能力。较短的响应时间意味着储能变流器能够迅速感知到电压变化并做出相应动作。调节时间则体现了储能变流器在恢复稳定运行过程中的速度和精度。功率控制偏差反映了储能变流器在低电压穿越过程中对输出功率的控制精度,较小的功率控制偏差可以保证系统在故障期间仍能有效地为电网提供支持,避免因功率波动过大而对电网造成二次伤害。功率恢复速率则决定了储能变流器在电网电压

恢复后重新输出功率的速度，较高的功率恢复速率可以使系统更快地恢复到正常运行状态，减少因故障导致的停电时间和经济损失。

综上所述，该评价指标的应用，能够从多个维度揭示变流器低电压穿越性能的潜在不足，指导制造商针对产品性能的不足进行优化，为推动储能变流器技术的应用和发展提供了有力支撑。

参考文献

- [1] 张智刚, 康重庆. 碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8): 2806-2819.
- [2] UNRUH P, NUSCHKEE M, STRAU P, et al. Overview on grid-forming inverter control methods[J]. Energies, 2020,13(10):1-21.
- [3] 谢小荣, 马宁嘉, 刘威, 等. 新型电力系统中储能应用功能的综述与展望[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(1): 158-168.
- [4] 符杨, 陈禹瑾, 季亮, 等. 考虑功率解耦的构网型逆变器的低电压穿越控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(15):1-13.

- [5] 金阳忻, 徐习东. 直流配电网低电压穿越能力研究[J]. 电网技术, 2023, 47(12): 5108-5120.
- [6] GB/T 34120—2023 储能变流器检测技术规程[S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2023.
- [7] GB/T 34133—2023 电化学储能系统储能变流器技术要求[S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2023.
- [8] 胡润泽, 吕世轩, 张灿, 等. 基于状态熵权和双轨制 TOPSIS 的电能质量实时综合评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(23):102-114.

作者简介

魏于凯（1997- ），男，硕士，主要研究方向为光伏与储能在电力系统中的应用开发研究、检测工作。

范书豪（1992- ），男，硕士，主要研究方向为从事光伏与储能在电力系统中的应用开发研究、检测工作。

陈卓（1978- ），男，高级工程师，硕士，主要研究方向为光伏、储能等新能源发电设备以及电动汽车充换电设备检测方法及相关标准研究。

积成电子荣获中国机械工业科技进步二等奖

(会员单位：积成电子股份有限公司)

关键词：科技进步二等奖；国内外先进技术

近日，在中国机械工业联合会、中国机械工程学会联合主办的“机械工业科学技术奖”评选中，积成电子申报的“高渗透率分布式光伏配电网灵活性资源集群智能调控关键技术及应用”项目荣获科技进步二等奖，标志着积成电子在大规模分布式电源接入、高比例绿电消纳、可调节资源集群动态聚合、高渗透率配电网灵活调节及主配微协同控制等核心领域，已达到国内外先进水平。



作为积成电子深耕新型电力系统领域的重要成果，该获奖项目精准攻克了分布式光伏高比例接入带来的电压越限、潮流返送、保护失配及消纳受限等行业共性难题；创新性提出“云-边-端”协同的灵活性资源集群智能调控整体解决方案，通过构建多时间尺度动态聚合与自律控制模型，实现了海量分布式资源的秒级可观、可测、可调、可控；在此基础上研发的配网灵活性资源聚合调控系统，可支持虚拟电厂、台区微网、分布式储能、柔性负荷等多元资源的统一接入与协同优化，有效保障了高渗透光伏配电网的安全、高效、经济运行，助力大规模绿电就地消纳。

目前，该获奖技术成果已成功落地应用于国家电网、南方电网、内蒙古电力、新疆建设兵团等多个重点区域的电力系统升级项目中，显著提升了当地电网的安全稳定运行水平、经济运营效益及绿色发展成色，为新型有源配电网的数字化、智能化转型提供了坚实的技术支撑与实践范例。

万力达电气获评国家级专精特新“重点小巨人”企业

(会员单位：珠海万力达电气技术股份有限公司)

关键词：国家级专精特新；重点小巨人

近日，国家工业和信息化部公布名单中，珠海万力达电气技术股份有限公司成功通过第四批国家专精特新“小巨人”企业复核，并同步获评国家新一轮第二批“重点小巨人”企业称号。



此次“双料”的获得，是对万力达电气“十一载”深耕智能供配电领域，坚持自主创新、引领技术发展的认可，更是驱动发展的硬核引擎。站在新的发展节点，万力达电气正式启动实施“三新一强”战略，将荣誉转化为发展动能，聚焦“面向供配电系统的智慧感知、运维及防御体系技术研究及产业化”主航道。

- 1) 攻坚新技术：集中优势资源，全力攻坚 8 项国内领先技术，包括基于电力鸿蒙系统的故障隔离技术（实现配电网故障“毫秒级”定位与隔离）等技术，解决行业“卡脖子”难题。
- 2) 开发新产品：紧密围绕市场需求，规划推出 5 项创新产品。其中，采用自主可控芯片、实现 100%国产化的配电终端已进入关键阶段，在确保高性能的同时兼具高性价比，有望成为未来业绩增长的重要引擎。
- 3) 强化配套力：公司深知产业链责任，已与南方电网等企业建立稳固合作。未来将持续深化协同，强化产业链协同创新，提供更优质的配套产品与服务，致力于保障产业链的稳定与高效运行。

万力达电气将以此为契机，坚定不移推进“三新一强”战略落地，持续深耕智能供配电领域，努力向“行业领军企业”目标稳步迈进。我们期待与更多伙伴携手，共同推动行业技术进步。

四方股份“自主可控直流控制保护系统”通过技术鉴定

(会员单位：北京四方继保自动化股份有限公司)

关键词：自主可控；国际领先

11月22日，由中国电机工程学会组织的四方股份2025“自主可控直流控制保护系统”技术鉴定会在北京顺利召开。技术鉴定委员会由来自国家电网公司、南方电网公司、发电集团、高等院校、科研院所、设计院等十余位国内直流输电领域知名专家组成，委员们听取了项目汇报，审阅了相关资料，经质询和讨论，认为项目成果整体处于国际领先水平，成果创新性突出，具有良好的社会、经济效益和推广应用前景。



四方股份基于多年直流控制保护系统研发及工程应用经验，通过技术攻关，开展了高实时性高可靠性自主可控直流控制保护装置软硬件平台、直流构网控制与宽频振荡抑制、超长距离直流线路保护、数智化远程运维等关键技术研究 and 产品开发。控制保护装置100%采用自主可控软硬件，通过了型式试验、动模试验以及创新技术的现场应用。技术创新成果可有效提升直流控制保护的快速响应能力，保障直流控制保护的可靠性，提高直流控保系统的远程运维效率和运维质量，满足新型电力系统发展对直流控制保护的新需求，为产品在特高压直流输电、海上风电柔直送出、区域电网柔性互联等领域全面推广奠定坚实基础。

“创新铸就四方，梦想点亮未来”，四方股份聚焦国家能源转型和新型电力系统建设需求，坚持技术引领、创新发展的经营理念，不断前行。未来，四方股份将继续以“让电力更安全、更智能、更高效、更清洁”为使命，为建设新型电力系统、保障国家能源安全贡献力量。

惜辰电子|光伏储能高压电源模块助力全球清洁能源转型

(会员单位：上海惜辰电子科技有限公司)

关键词：清洁能源转型；“双碳”战略

随着全球能源结构加速向可再生能源转型，光伏储能系统对电源模块的安全性、耐候性及能效提出更高要求。上海惜辰电子凭借十五年电源领域深耕经验，推出 ACSB350-24 系列工业级高压电源模块，以卓越性能通过 UL、CE 等权威认证，为光伏逆变、储能电站等场景提供高可靠性解决方案。



模块支持 250-1500VDC 超宽输入范围，独特的自适应设计可在 1500V 高压下稳定输出 24V/12.5A 功率，峰值功率达 350W，同时还具备输入欠压、输出过流、短路自恢复等多重保护机制，故障切断时间在 30ms 内，完美适配 SVG、BMS 等高负荷工业系统需求。模块采用工业级元器件与自然冷却结构，能够-40℃至+70℃宽温域持续高效运行，同时智能温控系统能够实现 55℃以上自动降温，从而保障设备长寿命。

ACSB350-24 系列满足 GB/T 14598.14 中的静电放电 III 级抗扰度要求，并通过了全球安全科学领导者 UL 的认证（UL 1741:2021 Ed.3+R:23Oct2024），覆盖 55 项核心指标，验证其符合北美分布式能源设备安全规范，兼具全球电网兼容性。

在“双碳”战略驱动下，储能系统安全成为新能源产业发展的关键，上海惜辰电子科技有限公司推出的 XC 系列高压电源模块，以创新技术突破行业瓶颈，打造储能系统安全基石，重新定义储能设备安全标准。

南瑞继保 | 500 千伏有源谐振型直流断路器顺利通过型式试验

(会员单位：南京南瑞继保电气有限公司)

关键词：型式试验；自主研发

12月12日，南瑞继保自主研发的世界首套500千伏/25千安/3毫秒有源谐振型直流断路器顺利通过型式试验。相较传统混合式直流断路器，该直流断路器无水冷、占地小、经济性更优。该装备将为新能源大规模直流并网与跨区域高效输送提供更加可靠、经济、灵活的解决方案。



基于有源谐振直流开断技术，南瑞继保创新性提出具有完全自主知识产权的拓扑结构，研制了500千伏直流断路器样机：额定开断电流25千安，全电流分断时间小于3毫秒，且具备可靠重合闸功能。相较于混合式直流断路器，功率半导体器件用量减少90%，大幅降低设备成本。由于采用自然冷却设计，运维工作量大幅降低，可靠性进一步提升。另外占地面积较混合式产品减少50%，可积木式调整，满足200千伏、400千伏、500千伏等不同电压等级应用需求。

南瑞继保始终秉承“解决问题就是创新”的文化理念，经过多年的技术积累和产品研发，目前已形成了涵盖1.5~800千伏电压、0~50千安电流范围内的直流开断全套解决方案。未来，公司将持续发挥多专业融合创新优势，不断引领全球直流开断技术迭代升级，为构建安全、高效、绿色的新型电力系统提供强有力的装备支撑。

构建实时数据驱动的风电可靠性管理体系

(信息来源：中国电力报)

关键词：风电可靠性管理；数字化

在能源革命深入推进、新型电力系统加速构建的背景下，风电已成为推动我国能源绿色低碳转型的重要电源。然而，随着风电机组数量的快速增长、装备类型多样及运维模式存在区域差异，设备可靠性水平呈现出波动性强、受外部影响大、演化机制复杂的特征。当前，行业普遍采用的“人工填报+事后统计”可靠性管理模式，与大规模新能源并网条件下对系统安全性、灵活性和可控性的要求不匹配，难以支撑风电从规模扩张向高质量发展跃升。因此，构建实时数据驱动的风电可靠性管理体系，既是技术进步的必然方向，也是新型电力系统发展阶段提升治理能力现代化的重要内容，更是保障我国高比例可再生能源安全可控接入的关键课题。

1 风电可靠性管理呈现新特征

风电可靠性问题具有系统性、动态性和耦合性等典型特征，当前呈现出三个方面的新变化。

首先，可靠性管理的重心正在从单机管理向系统安全延伸。在高比例新能源并网背景下，风电机组出力的不确定性开始对区域电网稳定性、备用容量安排和调峰能力形成实质性影响。风电机组的可靠性不再只是场站内部的运维指标，而是直接关系系统运行的整体安全性。其次，可靠性治理思路正从故障记录向状态认知转变。传统管理模式侧重记录故障事件，难以把握设备运行状态的连续性和演化规律。随着风电机组数字化程度不断提高，实时数据能够更全面地反映设备性能偏离、运行行为异常及早期隐患，使可靠性治理从关注结果转向关注过程。再次，可靠性治理正从静态统计向动态预测迈进。事后统计模式滞后性强，难以对设备退化趋势做出及时响应。通过实时数据与智能算法的结合，可以实现趋势

预测、故障概率估计和风险预警，将可靠性治理从被动响应推向主动干预与前瞻性治理。

这些变化表明，以实时数据为核心构建新型可靠性管理体系，是风电行业发展的内在需求和必然趋势。

2 实时数据成为风电可靠性管理关键抓手

实时数据在风电可靠性管理中的作用已从辅助信息转变为核心驱动力，其价值体现在三个方面。

首先，实时性赋予可靠性治理前瞻能力。多源数据对机组运行状态的连续监测能够迅速识别性能偏移与异常行为，为早期发现风险提供条件，突破了传统统计方法的滞后性。其次，多维性赋予可靠性治理系统性分析能力。现代风电机组的数据包括机械、电气、控制策略、气象环境等多个维度，使可靠性管理能够从单因子分析转向多因子耦合分析，更真实地反映设备运行本质。最后，连续性赋予可靠性治理动态性。设备行为的长期观测为退化建模、趋势预测和寿命评估提供丰富数据，使可靠性治理实现从静态评价向动态管理的跃升。

因此，实时数据不仅是传统体系的技术补充，更是支撑新型可靠性管理体系构建的基础资源，也是重要的数据资产。

基于新型电力系统建设需求，可以从治理对象、治理工具和治理机制三个维度构建实时数据驱动的风电可靠性管理体系。

2.1 治理对象

以全生命周期和系统视角重塑可靠性边界。在新体系中，治理对象不再局限于故障事件，而是覆盖机组运行的整个生命周期和系统运行的

整体影响。机组健康状态是核心治理内容，通过实时数据可揭示关键部件的性能退化轨迹与演化规律。机组运行行为反映参数偏移、功率异常等特征，是发现隐性缺陷的重要依据。随着风电在电力系统中的渗透率提高，机组行为对区域电网的系统耦合效应也需纳入治理范畴。此外，面对极端气象风险增多的趋势，设备对恶劣环境的适应性和韧性也应成为可靠性治理的重要内容。由此，可靠性治理的边界实现了从设备点状管理向系统性、全链条治理的拓展。

2.2 治理工具

基于实时数据构建四类核心能力。实时数据为风电可靠性治理提供了全新的工具体系。状态感知能力使管理者能够利用气象等多源数据对机组状态进行持续监测。异常识别能力通过特征提取、阈值判断与智能算法相结合，识别运行偏差和潜在故障。健康评价能力通过构建多源数据因子，对机组可靠性进行量化分级，支撑差异化运维策略。趋势预测能力利用机器学习方法，对关键部件故障概率进行预测，使运维管理从被动响应转向主动预控。这四类能力共同构成实时数据驱动的技术基础，使可靠性治理向智能化方向迈进。

2.3 治理机制

形成“评价—预警—检修—反馈”的动态闭环。依托实时数据，风电可靠性管理可以形成贯穿设备全生命周期的动态闭环机制。评价环节基于健康评分体系刻画机组综合状态；预警环节通过趋势分析提前识别关键部件退化风险；检修环节根据可靠性等级实施差异化策略，实现资源优化配置；反馈环节将检修结果反向输入模型，促进健康评价和趋势预测的持续优化。闭环机制使治理体系具备自学习能力，推动可靠性管理持续进化。

3 多方面同步推进确保系统安全

从行业治理角度看，构建实时数据驱动的风电可靠性管理体系需要在标准化、智能化、平台

化和协同化方面同步推进。

首先，必须建立统一的数据治理体系。目前行业故障事件仍主要依赖人工填报，数据口径不一导致跨区域、跨机型比较难以实现。因此，应尽快构建涵盖事件编码、故障分类、数据字段和质量评价等内容的统一数据标准，实现数据的可比性与可追溯性。

其次，应推动数据获取方式从“填报”向“直采”转型。依托机组实时监测系统 and 数据接口，实现事件自动识别、运行状态自动记录和关键指标自动提取，提高可靠性数据的真实性和时效性，真正实现“用数据说话”。

再次，应建设行业级风电可靠性分析平台，通过数据汇聚、模型计算和知识图谱构建，实现跨风场对标分析、机组健康状态监测、故障趋势预测和运维策略生成，推动可靠性管理从企业层面的“局部治理”走向行业层面的“整体治理”。

最后，应构建贯通设备全生命周期的协同质量提升机制。制造企业可利用运行数据优化设计与材料选型，运维机构可依据退化规律优化检修策略，投资主体可依据可靠性评价优化选型决策，推动行业形成从设计、制造到运行、检修的系统性质量提升闭环。

风电可靠性管理正在经历从“事后统计”向“实时治理”、从“经验驱动”向“数据驱动”、从“设备管理”向“系统治理”的深刻变革。实时数据驱动的可靠性管理体系将显著提升设备运行稳定性和系统安全性，为高比例可再生能源发展的安全可控提供重要支撑。这不仅是行业技术路线的变化，更是新型电力系统治理理念的重大转变。

建立科学、系统、可持续的可靠性治理体系，不仅具有现实必要性，更关乎未来电力系统的安全底座与产业竞争力。面向“十五五”，风电行业应以更高的标准、更强的能力和更开放的协同机制，加快构建实时数据驱动的可靠性管理体系，为我国能源安全和绿色发展战略贡献力量。

国家能源局发展规划司 | 加快建设新型能源体系

(信息来源：国家能源局)

关键词：十五五光伏；新型能源体系

能源是国民经济的命脉，关系国计民生和国家安全。新时代以来，在习近平总书记提出的“四个革命、一个合作”能源安全新战略指引下，我国走出了一条具有中国特色的能源高质量发展道路，有力支撑中国式现代化迈出坚实步伐。“十五五”时期是基本实现社会主义现代化夯实基础、全面发力的关键时期，党的二十届四中全会对新型能源体系和能源强国建设作出顶层部署，提出一系列新任务、新要求、新思路，为“十五五”能源发展提供了根本遵循和行动纲领。

1 准确把握新型能源体系建设的原则要求

加快建设新型能源体系，建设能源强国是今后一个时期能源高质量发展的中心任务。必须深刻领会习近平总书记有关重要论述和党的二十届四中全会任务部署，系统总结近年来能源发展实践经验，在工作中把握好以下原则要求。

坚持党对能源工作的全面领导。党的二十届四中全会强调，“把党的领导贯穿经济社会发展各方面全过程”。能源是经济社会发展的重要物质基础和动力源泉，新时代的能源发展，始终在党的领导下坚定前行。当前，世界百年变局加速演进、大国博弈复杂激烈，能源成为战略竞争焦点。新征程上，必须坚持党对能源工作的全面领导，充分发挥党的政治优势、组织优势、制度优势，确保能源事业始终保持正确发展方向，确保能源战线在党的旗帜下步调一致向前进，为新型能源体系和能源强国建设提供根本保证。

坚持人民至上理念。能源供应关系到广大人民群众衣食住行各个方面，民生用能水平是衡量现代化程度的重要标准。习近平总书记多次强调要做好煤电油气等重要民生商品保供稳价工作。党的二十届四中全会提出，“注重在发展中保障和改

善民生”“让现代化建设成果更多更公平惠及全体人民”。当前，我国城乡区域能源发展尚不均衡，人民用能需求已经从“有没有”向“好不好”转变。新征程上，必须深入践行能源为民的理念，提升多样化、高质量能源供给能力，全面提高能源服务保障水平，不断满足人民日益增长的清洁化、低碳化、高效化、智能化用能新需求。

坚持把能源饭碗端在自己手里。习近平总书记强调，“能源保障和安全事关国计民生，是须臾不可忽视的‘国之大事’”。党的二十届四中全会明确要求“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上”。能源作为支撑保障，饭碗必须牢牢端在自己手里。当前，全球能源版图深刻演变，围绕资源权、通道权和市场权的竞争日趋激烈，我国能源安全保障面临需求刚性增长、供给存在制约等多重挑战。新征程上，必须从国家发展和安全的战略高度，审时度势、借势而为，立足我国能源资源禀赋，增强能源产供储销体系韧性，以国内能源供应的稳定性应对形势变化的不确定性。

坚持绿色低碳发展导向。习近平总书记强调，“加快经济社会发展全面绿色转型”“以碳达峰碳中和为牵引，协同推进降碳、减污、扩绿、增长”。能源活动占全部碳排放的80%以上，是推进美丽中国建设和实现碳达峰目标的主战场。党的二十届四中全会明确要求“推动煤炭和石油消费达峰”。“十五五”能源消费增量将主要依靠非化石能源满足，能源结构和系统形态将发生深刻变革。新征程上，必须处理好供给与消费、新能源与传统能源、当前与长远、全局与局部等关系，先立后破推进化石能源安全可靠有序替代，持续提高新能源供给比重，支撑引领经济社会发展全面绿色转型。

坚持创新是第一动力。习近平总书记指出：“中国式现代化要靠科技现代化作支撑，实现高质量发展要靠科技创新培育新动能。”党的二十届四中全会强调“抓住新一轮科技革命和产业变革历史机遇”。当前，能源科技创新进入密集活跃期，世界主要国家围绕能源产业链自主可控加强科技战略布局，谁在创新上先行一步，就能拥有引领发展的主动权。我国能源科技创新正处于并跑为主、部分领跑的关键阶段。新征程上，必须继续做好创新这篇大文章，牢牢把握能源科技创新规律，推动科技创新和产业创新深度融合，因地制宜发展能源新质生产力，抢占能源科技发展制高点。

坚持深化能源体制改革。习近平总书记指出，“‘看不见的手’和‘看得见的手’都要用好”。党的二十届四中全会进一步强调，“充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，更好发挥政府作用”。经过多年发展，我国能源治理体系更加成熟定型，能源体制改革“四梁八柱”基本建立。但与此同时，随着全国统一大市场建设深入推进，电力、油气等体制改革进入“深水区”，适应新型能源体系的治理方式和市场机制还有待建立健全。新征程上，必须坚持目标导向和问题导向相结合，以改革的思维和办法破解发展难题，科学设计政策机制和改革路径，不断提升能源治理效能。

2 全面认识“十四五”时期能源发展实践和成效

“十四五”时期，我国着力推动能源高质量发展，统筹能源安全保障和绿色低碳转型，能源生产能力大幅提升，非化石能源实现跃升式发展，能源改革创新迈出新步伐，国际合作开创新局面，建设新型能源体系的基础持续夯实。

加强能源保障能力建设，能源供应更足、韧性更强。“十四五”时期，我们深入践行总体国家安全观，推动形成煤、油、气、核、可再生能源共同驱动的能源供应体系，提升能源体系弹性韧性和安全运行水平。能源生产总量达到约 50 亿吨标准煤、比 10 年前增长近 40%，占全球的

1/5 以上，能源自给率稳定保持在 80% 以上；全国年发电量超过 10 万亿千瓦时，占全球的 1/3 左右。横跨东西、纵贯南北、连通海外的能源基础设施网络更加完善，西电东送能力达到 3.4 亿千瓦，长输油气管道里程超过 19 万公里，带动中西部地区资源优势加快转化为发展优势，为经济大省挑大梁提供了坚实的能源保障。加强民生用能服务保障，建成全球最大的电动汽车充电网络，每 5 辆车就有 2 个充电桩，“获得电力”成为我国供电服务的金字招牌，有力应对极端天气等自然灾害、最快速度恢复能源供应，14 亿多人的能源安全得到有效保障。

加快能源结构调整，绿色低碳转型实现跃升发展。“十四五”时期，我们深入践行绿色发展理念，协同推进能源生产消费绿色低碳转型，扩大清洁能源供给，加强能源节约高效利用，推动能源结构持续优化。构建起全球最大、发展最快的可再生能源体系，风电光伏每年新增装机先后突破 1 亿、2 亿、3 亿千瓦关口，新能源装机历史性超过火电，非化石能源消费量实现翻番增长，占能源消费总量比重达到 20% 左右，煤炭消费比重平均每年减少约 1 个百分点，这“一增一减”大大提升了经济发展的“含绿量”。能源消费清洁低碳水平大幅提升，终端用能电气化比重达到 30% 左右、位居世界前列，油品质量实现由国三到国六标准“三连升”，煤电、石化、钢铁等行业能效水平达到世界领先。

强化能源科技创新，产业链现代化水平显著提升。“十四五”时期，我们坚持把创新作为引领能源发展的第一动力，统筹推进能源技术装备“补短板”和“锻长板”，推动创新成果不断转化为现实生产力。能源重大技术装备不断取得新突破，产业链自主化现代化水平持续提升。形成具有完全自主知识产权的华龙一号、国和一号等三代核电技术，全球首座高温气冷堆示范工程投入商运。特高压输电技术装备指标连创世界纪录，页岩气实现规模化商业开发，页岩油开发取得显著进展。新能源形成完备的全产业链制造体系，技术装备领跑全球，新能源专利数占全球四成以上，光伏转换效率、海上风电单机容量等不断刷

新世界纪录，新型储能规模跃居世界第一，能源新质生产力加快培育壮大。

完善能源市场体系和政策机制，能源发展动能持续增强。“十四五”时期，我们坚持有效市场和有为政府相结合，深化能源重点领域和关键环节改革，持续增强能源发展动力和活力。能源法颁布实施，煤炭法、电力法、可再生能源法修订稳步推进。全国统一电力市场加快建设。绿证制度不断健全，我国绿证走向国际、得到 RE100 全面认可。“X+1+X”油气市场体系不断完善，全国性、区域性和地方煤炭交易平台加快建设。煤电、新能源全面入市，全部工商业用户进入市场。市场活力充分激发，电力市场注册经营主体比 2020 年增长 4 倍以上，民营企业成为推动能源转型发展的重要力量。

扩大高水平对外开放，能源国际合作全面提升。“十四五”时期，我们秉持人类命运共同体理念，增强国内国际两个市场两种资源联动效应，推动建立公平公正、均衡普惠的全球能源治理体系。巩固拓展海外能源资源保障能力，深化与中亚—俄罗斯、中东、非洲、美洲和亚太油气合作，投运中俄东线等油气管道，西北、东北、西南和海上四大能源进口通道更加稳固。深度参与国际能源治理变革，与 100 多个国家和地区开展绿色能源合作，一大批标志性工程和惠民生的“小而美”项目落地生根，我国出口的风电光伏产品 5 年来累计为其他国家减少碳排放约 41 亿吨。打造“一带一路”能源合作伙伴关系、全球清洁能源合作伙伴关系两大主场外交机制，能源国际合作格局不断完善。

3 科学谋划“十五五”新型能源体系建设任务举措

党的二十届四中全会明确“十五五”要初步建成清洁低碳安全高效的新型能源体系。“十五五”能源发展将深入践行能源安全新战略，以安全充裕为前提、经济可行为基础、科技创新为引领、体制改革为动力，加快建设新型能源体系，建设能源强国，为确保基本实现社会主义现代化取得决定性进展提供坚强能源支撑。

优化能源资源基地等空间布局。适应我国能源资源与能源消费分布特征，优化能源开发和流向，加快建设新型能源基础设施。统筹非化石能源基地建设和分布式发展，建设“三北”风电光伏基地、西南水风光一体化基地、沿海核电与海上风电基地，大力发展分布式能源。夯实化石能源基地稳产增产基础，增强五大煤炭基地弹性生产规模，推动重点盆地、重点海域油气产能接续。推动能源开发与用能产业协同布局，统筹“西电西用”与“西电东送”，加强新能源开发和用能产业集成融合发展，引导产业向清洁能源富集区域合理布局。优化能源骨干通道布局，统筹优化跨省跨区电力流向，加强煤炭集疏运体系建设，巩固拓展油气四大进口战略通道。

加快能源绿色低碳转型。坚持风光水核等多能并举，统筹就地消纳和外送，推动风电、光伏发电更大规模平稳发展，持续提高新能源供给比重，推进水风光一体化开发，积极安全有序发展核电，推动 2030 年非化石能源占能源消费总量比重达到 25% 左右。着力构建新型电力系统，加快智能电网和微电网建设，打造主配微协同的新型电网平台，全面提升源、网、荷各环节灵活调节能力，积极发展绿电直连等新模式，提升电力系统对新能源的消纳、配置和调控能力。推动能源消费绿色化低碳化，提高终端用电电气化水平，扩大绿电利用规模，大力推进工业、建筑、交通等重点领域节能降碳，因地制宜推广清洁低碳供热方式。

建设坚强韧性能源供应链。筑牢能源战略安全底线，持续提升油气勘探开发力度，推动国内原油产量长期稳定，天然气保持增储上产态势。建立健全高效协同的能源储备体系，科学合理确定能源储备的种类、规模和方式。加强煤制油气产能和技术储备。夯实能源转型安全基础，增强煤炭供应弹性，深入推进煤炭清洁高效利用。全面提升电力系统互补互济和安全韧性水平，推动煤电由基础保障性电源转为支撑调节性电源，科学布局抽水蓄能，大力发展新型储能。加强新能源关键矿产资源供给。加强能源应急安全管控，健全能源安全风险监测预警体系，完善分层级分

领域应急预案，确保极端情况下能源供应安全。

加快能源高水平科技自立自强。面向新型能源体系建设重大需求，一方面，大力提升能源科技创新“硬实力”。聚焦非化石能源大规模高比例开发和化石能源清洁高效利用，加强先进核电、光热发电、海洋能、柔性直流输电、非常规油气等技术攻关和装备研发。前瞻布局氢能、可控核聚变等未来能源技术和产业。巩固拓展新能源等产业优势，培育壮大“人工智能+能源”等新产业新赛道。另一方面，加快推进能源科技创新“软建设”。健全能源产业链协同创新机制，加强能源领域国家战略科技力量建设，强化企业创新主体地位，激发民营企业创新活力，支持多种新模式新业态发展，推动科技创新与产业创新深度融合。

加强能源高质量发展制度保障。夯实法治基础，完善能源法配套法规体系，加快电力法、煤炭法、可再生能源法等制修订。激发改革活力，建设全国统一电力市场体系，深化中长期、现货、辅助服务、容量交易市场建设，支持多种新型主体参与电力市场。优化油气管网运行调度机制，推动现代化煤炭市场体系建设。深化能源价格市场化改革，完善主要由供需决定的市场价格形成机制，优化自然垄断环节政府定价机制。形成政策合力，推进能源领域新型标准体系建设，健全科学高效的能源监管体系。加强能源开发和重大基础设施建设用地用海等要素保障，建立健全绿色能源消费促进政策机制。

构建能源国际合作新格局。持续深化能源国际合作，着力维护全球能源产业链供应链安全稳定。构建能源转型共赢合作新模式，推动与周边国家和地区电力互联互通。积极开展新能源产业链国际合作，加强能源技术和标准体系国际对接，提升我国绿证国际认可度。高质量打造重大能源标志性工程，围绕风电、光伏、氢能、储能等重点领域，建设一批“小而美”项目。深度参与全球能源治理，以高质量共建“一带一路”为实践平台，持续推动区域能源合作平台落地见效，主动参与能源多边机制合作，高质量开展能源主场外交，促进全球能源可持续发展，助力构建公平公正、开放包容、合作共赢的国际经济秩序。

全球能源价格走势分析报告

(信息来源: 中能传媒研究院)

关键词: 原油; 天然气

1 国际能源市场价格

国际原油市场: 11月, 美国政府停摆时长刷新历史纪录, 沙特下调12月原油官价, 美国原油库存大幅累库, 俄乌地缘局势缓和预期上升, 引发市场对需求疲软的担忧, 国际油价下跌; 但“欧佩克+”计划暂停增产, 欧美对俄罗斯制裁收紧, 俄乌局势仍存不稳定性等因素限制油价跌幅。截至11月26日, WTI、布伦特原油期货价格分别收于58.65美元/桶、63.13美元/桶, 月环比分别下降4.34%、3.79%。

国际天然气市场: 11月, 全球天然气市场价格涨跌互现。美国LNG出口量高位运行, 推动天然气价格强势上涨; 欧洲、东北亚大部分地区气温下降, 天然气需求预期走强, 但在库存高位、替代能源发电表现强劲、欧亚之间资源竞争效应偏弱的交替影响下, 全球天然气价格呈现震荡下跌态势。截至11月26日, 美国Henry Hub天然气主力合约收于4.618美元/百万英热单位, 月环比上涨16.82%; TTF天然气期货主力合约收于29.368欧元/兆瓦时, 月环比下降6.47%; 普氏日韩LNG(JKM)期货价格收于11.115美元/百万英热单位, 月环比下降0.04%。

国际煤炭市场: 11月, 国际煤价小幅震荡上涨。上旬, 降温及供暖需求推动亚太、欧洲地区电厂积极为供暖季做准备, 煤炭需求增加, 澳大利亚、欧洲和南非煤炭期货价格普涨。中下旬, 采购节奏有所放缓, 煤炭价格偏弱运行。截至11月26日, 澳大利亚纽卡斯尔港煤炭期货价格报收于111.15美元/吨, 月环比上涨6.62%; 南非理查兹港煤炭期货价格报收于85美元/吨, 月环比上涨4.87%; 欧洲三港煤炭期货价格报收于96.15美元/吨, 月环比上涨4.06%。

2 原油市场

2.1 全球原油市场价格震荡下行

11月, 美国政府停摆时长刷新历史纪录, 市场对宏观经济前景担忧加剧, 沙特下调12月原油官价, 美国原油库存大幅累库, 美国重启俄乌和谈, 俄乌地缘局势缓和预期上升, 引发市场对需求疲软的担忧, 国际油价下跌; 但“欧佩克+”决定明年第一季度暂停增产、美国对俄罗斯制裁效果不断显现、俄乌局势仍存不稳定性等因素限制油价跌幅。

11月2日, “欧佩克+”举行月度会议, 承担自愿减产的8个“欧佩克+”成员国决定将12月产量目标上调13.7万桶/日, 延续了10月和11月实施的渐进式增产模式。但另一方面, 因对供应过剩的担忧加剧, “欧佩克+”决定放缓夺回市场份额的计划, 在明年第一季度暂停增产。分析认为, “欧佩克+”此举既是对疲弱市场的妥协, 也是在俄罗斯制裁影响不明朗情况下的策略性等待, 这一决定在一定程度上缓和了市场对供应快速增加的担忧情绪。“欧佩克+”暂停增产消息公布后, 原油价格快速上涨, 布伦特原油价格一度升至65美元/桶以上。

11月4日至6日, 受美国政府停摆时长刷新历史纪录、美国原油库存大幅累库、沙特阿拉伯下调其12月对亚洲的原油官方售价等因素影响, 市场对需求疲软和供应过剩的担忧加剧, 国际原油价格连续3个交易日下跌, WTI原油期货价格下调至60美元/桶以下。

11月6日, 沙特国有石油公司沙特阿美将12月面向亚洲市场的原油价格下调至11个月以来的最低水平。沙特阿美将基准阿拉伯轻质原油价格下调1.2美元/桶, 将阿拉伯中质和重质原油

价格均下调 1.4 美元/桶，将阿拉伯超轻质原油价格下调 1.2 美元/桶。

11 月 9 日，美国媒体报道，美国国会参议院已就结束联邦政府停摆达成一致。根据协议，国会将为农业部、退伍军人事务部及国会本身通过全年拨款，并将其他机构的拨款期限延长至 1 月 30 日。法案内容包括为被迫休假的政府人员补发工资、恢复向州和地方政府拨付此前扣留的联邦资金，并召回在停摆期间遭解雇的机构员工。此次停摆危机的化解，最直接的影响是预计将有约 1 万亿美元的资金从美国财政部普通账户(TGA)回流至经济体系，为市场注入大规模流动性。消息发布后，美国股指期货应声飙升，美国石油需求预期提振，抵消了市场对全球供应增长的担忧，国际原油价格连续 2 个交易日小幅反弹。

与此同时，美国对俄罗斯制裁效果不断显现。在美国制裁压力下，俄罗斯卢克石油公司的国际业务正面临严峻挑战。该公司海外资产总估值超过 200 亿美元，其中持有伊拉克南部巨型油田西古尔纳-2 号 75% 的股份，该油田原油日产量超过 40 万桶。目前，卢克石油已宣布该伊拉克油田遭遇不可抗力。伊拉克政府方面表示，受美国近期对卢克石油实施制裁的影响，伊方已无法继续与这家在伊拉克油田中持股巨大的俄罗斯企业开展合作。受此影响，国际原油价格涨幅扩大。11 月 11 日，WTI 原油期货价格收于 61.04 美元/桶，涨幅达 1.51%；布伦特原油期货价格收于 65.16 美元/桶，涨幅 1.72%。

11 月 12 日，欧佩克在其发布的最新月报中表示，由于美国产量超出预期，且欧佩克自身也增加供应，全球石油市场在第三季度已由短缺转为过剩，供应每天超出需求约 50 万桶。欧佩克将本季度“欧佩克+”以外国家的供应预估上调了 89 万桶/日，其中超过一半来自美国。报告还显示，“欧佩克+”上季度的原油产量已高于市场平衡所需的水平。10 月，欧佩克整体原油产量仅小幅增加 3.3 万桶/日，达到 2846 万桶/日，增产主要来自沙特阿拉伯、伊拉克和科威特。“欧佩克+”成员国的总产量则下降了 7.3 万桶/日，至 4302 万桶/日。尽管“欧佩克+”同意在 2026

年第一季度暂停进一步增产，但全球市场或将持续面临供应过剩风险。

欧佩克罕见的悲观预期、美国原油库存持续攀升、期货市场出现“期货升水”（远期价格高于近期价格）等多重反映全球原油供过于求的信号引发市场剧烈反应，11 月 12 日，WTI 原油期货价格收于 58.49 美元/桶，日跌幅高达 4.23%，布伦特原油期货价格收于 62.71 美元/桶，日跌幅达 3.76%。

11 月 13 日，国际能源署(IEA)发布的最新月度报告显示，全球石油市场平衡态势正逐渐被打破，一方面全球石油供应稳步增长，另一方面全球石油需求增幅却降至历史平均水平以下。受“欧佩克+”减产影响，全球石油供应量在 10 月暂缓了持续攀升势头，环比下降 44 万桶/日至 1.082 亿桶/日，多国一系列计划内的油田维护作业和意外停产限制了产能。尽管如此，当前全球石油总产量仍较今年 1 月份大幅增长了 620 万桶/日，非“欧佩克+”与“欧佩克+”产油国各自贡献半数增量。预计 2025 年全球石油供应增长 310 万桶/日，达到年均 1.063 亿桶/日，2026 年将再增长 250 万桶/日至 1.087 亿桶/日，其中非“欧佩克+”产油国在 2025 年将贡献 170 万桶/日的增量，2026 年将贡献 120 万桶/日的增量。沙特阿拉伯在今年 1 月至 10 月期间将石油产量提高了近 150 万桶/日，与其调升后的产量配额基本保持一致。相比之下，俄罗斯同期产量仅增长了 12 万桶/日，美西方对俄罗斯能源出口的制裁措施与恶化的经营环境制约了俄罗斯石油的增长空间。此外，IEA 强调，美国 10 月对俄罗斯石油巨头的制裁可能对全球石油市场产生迄今为止最深远的影响。虽然俄罗斯海运原油出口仍保持高位，但俄罗斯石油公司和卢克石油公司全球价值链的解体将会带来远远超出俄罗斯国界的风险。受此影响，国际原油价格止跌微涨。13 日，WTI 原油期货价格收于 58.69 美元/桶，日跌幅 0.34%，布伦特原油期货价格收于 63.01 美元/桶，日跌幅达 0.3%。

随后，俄罗斯能源供应的不确定性支撑 WTI 原油价格在 59~61 美元/桶之间震荡。

11月14日，俄罗斯在黑海沿岸的重要港口城市——新罗西斯克的“舍斯哈里斯”转运综合体油库，遭到乌克兰无人机攻击，俄罗斯石油管道运输公司（Transneft）暂停管道输送，港口原油出口中断。作为俄罗斯原油出口的重要通道，新罗西斯克港日均处理约220万桶原油，约占该国出口总量的五分之一。市场对俄罗斯原油供应的担忧加剧，国际油价继续上涨，WTI原油价格突破60美元/桶。但随着17日新罗西斯克出口枢纽恢复装船作业，国际原油价格再次下跌。11月17日，特朗普公开表示支持共和党提出的新制裁法案。该法案旨在对任何与俄罗斯保持商业往来的国家实施严厉的二次制裁（对购买俄罗斯能源的国家征收高达500%的关税，包括石油、天然气和铀等），这被视为特朗普第二任期内对俄罗斯政策的一个升级。市场担忧欧美对俄罗斯的经济制裁将进一步收紧，WTI原油价格再次突破60美元/桶。

11月下旬，美国积极推动并重启俄乌和谈，提出新的和平方案，俄乌地缘局势缓和预期上升，叠加美联储12月降息预期降温，市场对需求前景担忧加剧，国际原油价格下跌。

截至11月26日，WTI、布伦特原油期货价格分别收于58.65美元/桶、63.13美元/桶，月环比分别下降4.34%、3.79%，相较于2024年同期的68.77美元/桶、72.81美元/桶，分别下降14.72%、13.29%。

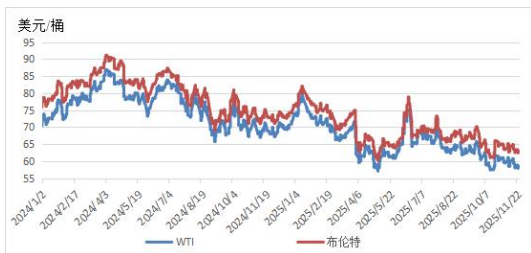


图1 WTI和布伦特原油价格走势

2.2 国内原油生产保持增长，进口同比增长8.2%

10月，规上工业原油产量1800万吨，同比增长1.3%，增速比9月份放缓2.8个百分点；日均产量58.1万吨。10月，我国原油进口量为4836万吨，同比增长8.2%。

1—10月，规上工业原油产量18064万吨，同比增长1.7%。前10个月，我国原油累计进口量为47100万吨，同比增长3.1%。

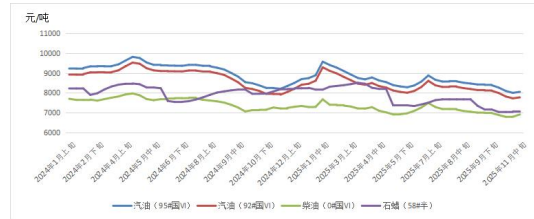


图2 全国石油市场价格变化情况

3 天然气市场

3.1 全球天然气市场价格跌涨互现

11月，美国天然气价格震荡上行。受初冬寒流侵扰影响，美国多州气温大幅下降，采暖需求预期表现强劲。虽然美国本土天然气产量创纪录，且库存量远超预期大幅增长，但随着飓风影响逐渐削弱，得克萨斯州自由港LNG工厂即将恢复全面运营，美国LNG出口量持续维持高位，截至11月中旬，美国LNG工厂原料气流量已超过10月份记录。受多重利好因素影响，美国Henry Hub天然气价格强势上涨至4.6美元/百万英热单位以上，为2024年以来最高水平。

国际能源署(IEA)发布的《2025年世界能源展望》报告预计，到2030年，将有年产能约3000亿立方米的LNG出口设施投入运营，全球LNG供应量将增长50%。IEA执行董事比罗尔表示，全球能源市场即将迎来“一波大规模液化天然气(LNG)供应”，供应激增将重塑全球能源市场格局。受美国、加拿大新建液化项目投产和卡塔尔北部气田扩建项目启动影响，预计2026年全球LNG供应量将增长10%。

截至11月26日，美国Henry Hub天然气主力合约收于4.618美元/百万英热单位，月环比上涨16.82%，相较于2024年同期的3.47美元/百万英热单位，上涨33.08%。

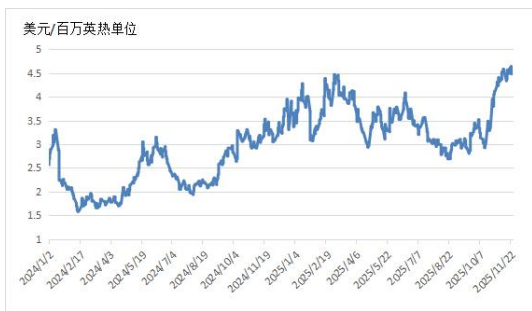


图3 美国 Henry Hub 天然气价格走势

11月，欧洲天然气价格震荡下跌。初冬临近，西北欧多数地区气温下降，采暖和发电需求增长。欧洲最主要的两个供应源——LNG及北海管道气供应充足，地下储气库进入提气周期，带动天然气供应总量上升，叠加可再生能源发电的强势补充，市场对于供应偏紧的担忧缓解。此外，东北亚地区现货采买需求不及市场预期，欧亚之间资源竞争效应偏弱。综合影响下，TTF天然气期货价格震荡下跌至31欧元/兆瓦时左右，并维持在年内低位窄幅震荡。虽然美国部分LNG出口终端因电力故障中断运行，尼日利亚供应风险上升，英国计划自2026年分阶段禁止其国内企业为俄罗斯LNG出口提供航运和保险等服务，挪威Kollsnes意外停产，这些信息短暂提振市场氛围，欧洲天然气价格小幅回调。然而，受进口LNG持续保持强劲增长、美国施压后市场预期俄乌和平谈判前景乐观、欧洲碳价逼近年内高点等因素影响，TTF天然气期货价格震荡下行至30欧元/兆瓦时，为2024年6月以来最低水平。

截至11月26日，TTF天然气期货主力合约收于29.368欧元/兆瓦时，月环比下降6.47%，相较2024年同期的47.216欧元/兆瓦时，下降37.80%。



图4 欧洲 TTF 天然气价格走势

11月，东北亚天然气价格震荡上行。11月上旬，东北亚地区气温较为温和，且主要消费国天然气库存维持较高水平，采暖需求不振，叠加欧洲天然气市场表现低迷，东北亚LNG期货价格窄幅震荡。11月中下旬，澳洲Ichthys LNG出口项目因故意外检修，叠加区内主要消费国气温继续下降，采暖需求提升，东北亚LNG期货价格快速上涨，11月20日，普氏日韩LNG（JKM）期货价格收于11.705美元/百万英热单位，相较于月初上涨4.97%。

截至11月26日，普氏日韩LNG（JKM）期货价格收于11.115美元/百万英热单位，月环比下降0.04%，相较2024年同期的14.94美元/百万英热单位，下降25.60%。



图5 普氏日韩 LNG (JKM) 价格走势

3.2 国内天然气生产增速放缓，进口同比下降6.1%

10月，规上工业天然气产量221亿立方米，同比增长5.9%，增速比9月份放缓3.5个百分点；日均产量7.1亿立方米。10月，我国进口天然气978万吨，同比下降6.1%。

1—10月，规上工业天然气产量2170亿立方米，同比增长6.3%。前10个月，我国累计进口天然气10260万吨，同比下降6.2%。

据国家发展改革委公布的《2025年9月份全国天然气运行快报》，2025年9月，全国天然气表观消费量331.9亿立方米，同比下降1.6%。1—9月，全国天然气表观消费量3177.5亿立方米，同比下降0.2%。



图6 全国天然气市场价格变化情况

4 煤炭市场

4.1 全球煤炭市场价格整体呈现上涨态势

11月，国际煤炭价格小幅震荡上涨。11月上旬，东北亚地区持续降温，中日韩煤炭需求增加，然而澳大利亚煤炭供应受到运营和物流因素的双重制约，叠加纽卡斯尔港的拥堵问题，使得市场资源尤其是高卡煤供应缩量，从而对价格形成支撑，澳大利亚煤炭期货价格快速从10月末的104.1美元/吨左右上涨至11月4日的110.85美元/吨，涨幅达6.48%。欧洲市场方面，随着北半球冬季的临近，欧洲地区电厂积极为供暖季做准备，而今年冬季可能偏冷的预期，更是增加了补库需求，欧洲三港煤炭期货价格快速上涨至97美元/吨以上。南非市场方面，由于主要买家印度港口及电厂库存充足，煤炭需求依然疲软，部分南非煤供应商尝试将货源转向越南等其他市场，叠加欧洲煤炭价格走强，带动理查兹港煤炭期货价格随之上调。11月5日，南非理查兹港煤炭期货价格上涨至87.15美元/吨，相较于10月末的81.05美元/吨，涨幅达7.4%。

11月中下旬，恶劣天气影响煤炭主产区生产、港口运输存在不确定性，共同导致澳大利亚煤炭供应维持偏紧态势。与此同时，东北亚地区终端用户需求继续增加，但其采购节奏有所放缓，澳大利亚煤炭期货价格涨幅收窄，基本维持在111美元/吨左右震荡。欧洲地区供应充裕且廉价的天然气对燃煤发电形成了强大的替代，而风力发电强劲进一步挤压了燃煤发电的空间，共同导致煤炭需求表现疲软。在此背景下，欧洲电力企业对煤炭的采购需求下降，欧洲三港煤炭期货价格小幅下调，维持在96美元/吨左右弱稳运行。虽然

来自韩国等亚洲国家的采购需求为南非煤价提供了支撑，但受欧洲整体煤炭需求疲软影响，南非理查兹港煤炭期货维持在85美元/吨左右偏弱运行。

截至11月26日，澳大利亚纽卡斯尔港煤炭期货价格报收于111.15美元/吨，月环比上涨6.62%，相较于2024年同期的141美元/吨，下降21.17%；南非理查兹港煤炭期货价格报收于85美元/吨，月环比上涨4.87%，相较于2024年同期的111.75美元/吨，下降23.94%；欧洲三港煤炭期货价格报收于96.15美元/吨，月环比上涨4.06%，相较于2024年同期的121.65美元/吨，下降20.96%。



图7 国际煤炭期货价格走势

国际能源署（IEA）在其最新版的《世界能源展望2025》中称，由于可再生能源、核能和天然气等替代能源快速扩张，全球煤炭消费量预计将在2030年左右达到峰值，随后稳步下降。到2035年，全球煤炭消费量可能从2024年的60.9亿吨标准煤下降8%~20%，其中大部分煤炭消费削减将来自电力行业。此外，随着发电用煤需求减弱，IEA预计，到2035年全球动力煤产量可能比2024年下降10%~25%。

据俄罗斯联邦统计局数据，2025年9月，俄罗斯煤炭产量为3450万吨，同比下降1.1%，环比增长9.0%。2025年1—9月，俄罗斯煤炭产量累计为3.14亿吨，与去年同期基本持平，微增0.1%。俄罗斯能源部预计，2025年俄罗斯煤炭产量将保持2024年的水平（4.435亿吨）。价格指数中心的数据显示，2025年9月，俄罗斯出口煤炭1710万吨，这是自今年4月以来最低的月度出口量，环比8月份减少5%，但与2024年9月相比，出口量增长了22%。俄罗斯能源部的数据

显示, 2025 年前 9 个月, 俄罗斯煤炭出口量累计约为 1.57 亿吨, 同比增长 5.5%。预计到 2025 年年底, 全年煤炭出口量将达到 2.04 亿吨至 2.05 亿吨。

美国能源信息署 (EIA) 数据显示, 2025 年 9 月, 美国煤炭产量为 4545.9 万短吨, 同比减少 0.6%, 环比下降 6.6%。1—9 月, 美国煤炭产量累计为 4.08 亿短吨 (合 3.7 亿吨), 比去年同期增长 6.1%。出口方面, 受美国挑起的贸易战影响, 美国煤炭出口量大幅下降。根据 EIA 数据, 2025 年 1—9 月, 美国煤炭出口量与去年同期相比下降了 14%。针对美国今年以来频繁出台的畸高关税, 中国先后采取反制措施, 受这一系列政策影响, 2025 年 5 月后中国从美国进口的煤炭量几乎归零。虽然中国仅占美国煤炭出口量的大约十分之一, 但对美国的整体煤炭出口下降产生了明显影响。

印度煤炭部数据显示, 2025 年 9 月, 印度煤炭总产量 (包括褐煤) 为 7095 万吨, 同比下降 1.8%。其中, 褐煤产量为 278 万吨, 同比下降 17.0%。2025 年 1—9 月, 印度全国煤炭总产量 (包括褐煤) 为 8.026 亿吨, 较去年同期微增 0.1%。煤炭进口方面, 据印度商工部数据, 2025 年 9 月, 印度煤和煤焦进口量为 1821.39 万吨, 同比减少 2.5%, 环比下降 5.9%。2025 年 1—9 月, 印度煤和煤焦进口量累计为 1.92 亿吨, 较上年同期下降 1.0%。

南非海关统计数据显示, 2025 年 9 月, 南非煤炭出口量为 619.5 万吨, 同比增加 7.9%, 环比增长 18.7%。2025 年 1—9 月, 南非煤炭出口量累计为 5219.3 万吨, 比去年同期增长 1.9%。

印度尼西亚能源和矿产资源部 (ESDM) 数据显示, 2025 年 1—9 月, 煤炭产量达到 5.85 亿吨, 较去年同期下降 7.47%。ESDM 预计, 到 2025 年年底印尼煤炭产量仅达到约 7.5 亿吨, 比 2024 年的 8.36 亿吨减少近 1 亿吨。据印度尼西亚国家统计局数据, 2025 年 9 月, 印尼煤炭出口量为 4554.98 万吨, 同比减少 4.6%, 环比下降 7.4%。2025 年 1—9 月, 印尼煤炭 (包括褐煤) 出口量累计为 3.7561 亿吨, 比上年同期减少 2794.3 万

吨, 同比下降 7.3%。全球宏观经济形势的不确定性, 导致中国和印度等国家的煤炭进口需求减少, ESDM 预测, 2025 年印尼煤炭出口量将比去年出口的 5.55 亿吨减少约 3000 万吨。

4.2 国内煤炭生产保持较高水平, 进口同比下降 9.7%

10 月, 规上工业原煤产量 4.1 亿吨, 同比下降 2.3%; 日均产量 1312 万吨。10 月, 我国进口煤及褐煤 4174 万吨, 同比下降 9.7%。

1—10 月, 规上工业原煤产量 39.7 亿吨, 同比增长 1.5%。前 10 个月, 我国累计进口煤及褐煤 38762 万吨, 同比下降 11.0%。

11 月, 寒潮来袭, 我国气温将自北向南陆续下跌, 下游电厂日耗不断提升, 电厂刚性采购需求有所增加。国内煤炭供应方面, 考虑到 2025 年度中央安全生产考核巡查正在进行中, 且将持续到 11 月底, 因此预计短期内产地煤炭供应增量空间或受限。库存方面, 截至目前, 北方九港煤炭库存存在 2500 万吨左右, 同比降幅达到 10%。且随着电厂主动补库的需求持续释放, 而矿方向港口的发运也将增加, 预计短期内北港库存提升进程或将较为缓慢。综合来看, 短期内, 煤炭市场利多因素较多, 对煤炭价格形成支撑。截至 11 月 19 日, “CCTD 环渤海动力煤现货参考价” 5500 大卡、5000 大卡、4500 大卡三个规格品价格分别收于 831、736、641 元/吨, 月环比分别上涨 11.10%、11.85%、11.87%。

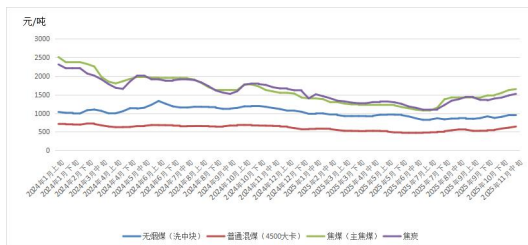


图 8 全国煤炭市场价格变化情况

未来五年，中国碳市场怎么走？

(信息来源：能源新媒)

关键词：碳市场；碳达峰

2025 年是中国碳市场制度演进的关键节点。随着“十五五”规划启动，全国碳市场正从以政策约束为主的初期运行阶段，转向以价格信号和市场配置效率为核心的深度运行阶段。中共中央办公厅、国务院办公厅《关于推进绿色低碳转型加强全国碳市场建设的意见》及配套政策，明确了未来五年碳市场由“建制度”转向“强功能”的主线。

在此背景下，碳市场不再只是履约工具，而开始成为影响企业投资决策、产业结构调整 and 跨境竞争力的重要变量。基于 2025 年 9 月全国碳市场运行数据、最新政策框架及市场实践，本文系统梳理中国碳市场的现实状态、关键驱动与阶段性走势，分析未来五年的核心变化路径及潜在风险，为市场参与主体提供可操作的判断参考。

1 市场现状：规模扩容与结构优化的双重突破

当前，全国碳市场已度过制度搭建和规则磨合阶段，进入以交易稳定性、覆盖规模和金融参与度为主要特征的深化期。从实际运行看，市场价格形成机制逐步清晰，交易规模稳步放大，碳资产的金融属性开始显现，为后续行业扩容和制度升级奠定了基础。

1.1 交易表现：长期调剂为主，短期分歧扩大

交易结构凸显减排工具本质，以大宗协议交易为核心。2025 年 9 月 3 日，全国碳排放配额（CEA）价格围绕 68.69-68.91 元/吨窄幅震荡，收盘价 68.76 元/吨，较开盘价微涨 0.01%；当日总成交量 307.25 万吨，成交额 1.99 亿元，其中大宗协议交易占比 80.76%（成交均价 63.75 元/吨），挂牌协议交易占比 19.24%（成交均价 68.36

元/吨），反映市场核心功能聚焦企业长期配额调剂。

近期走势呈现“价跌量增”特征：2025 年 8 月 CEA 综合价格从月初 72.43 元/吨跌至月末 69.23 元/吨，单月跌幅 4.39%，跌破 70 元/吨整数关口，但日均成交量 55.26 万吨，较 7 月增长 9%，显示市场对当前价格区间的分歧逐步扩大。复旦大学可持续发展研究中心预测，2025 年 9 月 CEA 中间价为 70.42 元/吨，买入预期 68.46 元/吨、卖出预期 72.38 元/吨，短期市场情绪偏谨慎。

1.2 规模与结构：覆盖范围扩容，有偿分配提速

截至 2025 年，全国碳市场配额总量预计突破 110 亿吨，历经首轮关键扩围后，钢铁、水泥、铝冶炼三大行业正式纳入配额管理，重点排放单位增至约 3700 家，覆盖排放量达 80 亿吨，管控全国 60%以上碳排放；后续将分阶段推进扩容，2026 年前完成化工、石化行业纳入准备，2027 年实现民航、造纸行业入场，最终形成覆盖八大工业行业、超 8500 家企业的格局，管控全国 75% 的二氧化碳排放。2025 年现货交易额预计达 800-1000 亿元，较 2023 年增长约 3.5 倍。

配额分配机制从“全免费”向“免费+有偿”加速过渡，逐步增强配额稀缺性。碳金融创新同步发力，截至 2025 年三季度，商业银行碳质押融资余额突破 600 亿元；券商碳市场做市业务日均交易量稳定在 30 万吨以上；广东、湖北等试点地区 2023 年碳配额质押、碳远期合约等工具累计融资 87 亿元，同比增长 215%，市场流动性持续改善。

2 发展趋势：从单一市场到多元协同的全面升级

未来五年，中国碳市场的演进不再局限于规模扩张，而将更多体现在结构优化和功能升级上。从单一履约市场，逐步转向覆盖更广、工具更多、联动更强的综合性碳定价体系，成为推动工业减排和资源配置的重要基础设施。

2.1 覆盖范围阶梯式扩容，实现工业领域全面覆盖

碳市场扩容将以明确时间表分阶段推进，其核心目标是实现对主要工业排放源的系统性覆盖。从行业结构看，市场将从发电行业为主，扩展至钢铁、水泥、电解铝、化工、石化、民航和造纸等高排放领域，逐步形成覆盖八大工业行业的统一市场。

在排放种类上，配额管理也将由单一二氧化碳向甲烷等非二氧化碳温室气体延伸，更贴合不同行业的排放特征。这一变化意味着，全国碳市场将从“重点行业管控工具”，升级为具有系统约束力的工业减排基础制度。

2.2 市场结构二元化发展，配额与自愿市场协同发力

全国碳市场将逐步形成“强制配额市场与自愿减排市场并行”的二元结构。配额市场承担总量控制与履约约束功能，自愿减排市场则通过CCER为企业提供更具弹性的减排补充路径。

随着方法学体系不断完善，林业碳汇、湿地修复、分布式能源等项目将成为CCER的重点方向，其应用场景也将从配额抵销，扩展至绿色供应链管理、大型活动碳中和和公共机构碳核算等领域。地方碳普惠实践的积累，为自愿市场培育了更广泛的参与基础，也为全国层面的制度设计提供了现实样本。

2.3 金融属性逐步增强，市场活力持续提升

政策将“提升市场活力”作为核心任务，碳金融创新路径清晰。交易产品方面，稳慎推进碳

质押、碳回购等基础产品落地，规范发展碳基金、碳期货等衍生工具，预计2030年前碳金融衍生品市场规模将形成“期货+期权+掉期”的完整产品矩阵；交易主体方面，银行、保险、基金等金融机构逐步纳入交易体系，非履约主体与自然人有序入场，形成“履约企业+金融机构+社会主体”的多元参与格局。上海环境能源交易所数据显示，2025年三季度碳配额成交量同比增长45%，印证了扩围对市场活力的激发作用。

2.4 数字化转型加速，监管能力全面升级

应对大规模市场管理需求，数字化成为核心支撑。政策要求建设“全链条、数字化、智能化”的管理系统、注册登记系统和交易系统，强化数据安全与服务功能。核算层面向“自动监测法”转型，实施重点排放单位关键参数月度存证制度；监管层面综合运用大数据、区块链、物联网等技术，建立数据质量全过程监管体系。目前生态环境部已完成全国碳市场管理平台升级，可实现对跨行业企业的实时监测与风险预警，为大规模市场监管提供技术保障。

3 核心驱动：政策引领与市场赋能的双重动力

碳市场进入提质阶段，既依赖政策持续释放制度确定性，也取决于市场机制能否形成真实的减排激励。未来五年，政策约束、行业扩容、金融参与、技术进步和国际压力将共同作用，推动碳市场由“被动履约”向“主动定价”转变。

3.1 政策顶层设计提供刚性支撑

党中央、国务院的统筹部署确立了碳市场的基本定位与发展路径。《关于推进绿色低碳转型加强全国碳市场建设的意见》明确中长期目标：2027年基本覆盖工业领域主要排放行业，2030年建成以配额总量控制为基础、“免费+有偿”分配结合的全中国碳市场。生态环境部提出“从强度控制转向总量控制”，同步加强地方试点监督，明确不再新建地方/区域碳市场，加速全国统一市场构建，形成稳定政策预期。同时，“配额分配

-数据核算-核查清缴-监管执法”的全流程制度体系逐步完善，为市场规范运行提供保障。

3.2 行业扩容重塑市场供需格局

行业扩容是未来五年影响碳市场供需结构的关键变量。按照既定规划，钢铁、水泥、电解铝等行业在 2026 年全面纳入后，年度受控排放量将一次性增加约 30 亿吨，全国碳市场的规模边界被显著拉大；到 2027 年，工业领域高排放行业将基本实现全覆盖。

不同行业之间边际减排成本差异明显，扩容将直接引入跨行业成本比较机制，推动企业在更大范围内优化碳资产配置。这一过程不仅有助于提升市场流动性，也将促使碳价逐步反映真实减排成本。与此同时，新纳入行业排放强度高、产业链长、区域分布广，客观上要求碳市场从“单一行业调节工具”升级为覆盖更广的系统性减排机制。

3.3 市场机制激发内生减排动力

随着市场规则不断完善，碳市场的内生激励机制开始显现。配额分配方式的调整，是其中最具有决定性的变化。有偿分配比例逐步提高，使配额不再被视为“制度性福利”，而成为具有明确成本的生产要素，企业减排决策开始直接受到碳价约束。

与此同时，碳金融工具的引入正在改变市场运行方式。衍生品的逐步推出，有助于提升价格发现效率和风险管理能力，吸引更多非履约主体参与交易。CCER 市场则通过为林业碳汇、甲烷利用等项目提供收益来源，形成“减排—交易—再投入”的正向循环，为高成本减排行业提供缓冲空间。

3.4 技术创新破解发展瓶颈

技术进步是支撑碳市场有效运行的重要基础。一方面，监测与核算技术持续升级。卫星遥感、无人机巡查等手段的应用，使排放监测由事后核查向全过程监管延伸，为大规模市场运行提供了技术条件。

另一方面，数据治理能力明显增强。区块链技术在碳资产溯源中的应用，提高了排放数据和交易记录的可信度，降低了人为干预空间。价格信号的逐步强化，也在引导资本向低碳技术研发集中，CCUS 等关键技术投入持续增长，技术进步与市场机制开始形成相互强化的关系。

3.5 国际联动倒逼市场升级

国际碳定价机制的加速发展，为中国碳市场提供了外部参照和现实压力。欧盟碳边境调节机制（CBAM）全面实施后，钢铁、铝业等出口导向型行业的碳成本显性上升，碳资产管理逐渐从合规问题转变为竞争问题。

在此背景下，国内碳市场的制度完善和价格有效性愈发重要。跨境碳资产交易试点的推进，为区域性碳定价机制探索了路径。政策层面明确提出提升 CCER 的国际认可度，也意味着未来中国碳市场将在规则对接、标准互认等方面，逐步参与全球碳市场体系建设。

4 分阶段走势：阶梯式增长的三大周期

在政策节奏与市场机制共同作用下，2025—2030 年全国碳市场价格运行将呈现明显的阶段性特征。整体来看，碳价不太可能线性上升，而更可能经历“震荡筑底—中枢抬升—加速上行”的阶梯式演进过程，不同阶段的主导因素存在显著差异。

4.1 短期（2025Q4-2026）：震荡筑底，寻找平衡

价格区间为 60-75 元/吨，核心特征是政策过渡期调整与行业扩容前适应性准备。2025 年四季度进入传统履约周期，企业集中采购或带动价格小幅回升，9-10 月工业淡季导致火电、钢铁等行业产量回落，配额需求阶段性减弱，抑制价格上行。2026 年行业扩容细则将主导市场情绪，初期或出现短暂调整，但 60 元/吨附近支撑较强；随着新增行业企业入场，2026 年现货交易额有望突破 1200 亿元。

4.2 中期（2027-2028）：稳步抬升，中枢上移

价格区间为 80-120 元/吨，核心逻辑是总量控制显效与有偿分配推动稀缺性显性化。2027 年总量控制机制全面实施、有偿分配的实施，从根源上重塑供需；电力、钢铁、建材等行业全面纳入后，配额真实需求充分释放，据生态环境部规划研究院预测，2028 年碳价有望突破 100 元/吨。同时，2027 年碳期货等衍生品推出后，金融交易占比将从当前 10% 提升至 30% 以上，价格发现功能增强；CCER 机制完善形成配额与自愿减排量协同交易格局，缓解部分行业减排压力。

4.3 长期（2029-2030）：加速上行，对标国际

价格区间为 120-180 元/吨，核心驱动是总量持续收紧与国际对标压力显现。2029-2030 年碳市场进入成熟阶段，配额总量将按“双碳”目标逐年缩减（参考欧盟 1.74% 年缩减幅度），稀缺性进一步加剧；钢铁短流程、水泥替代燃料等硬指标倒逼企业购买高价配额。国际层面，IMF 建议 2030 年全球平均碳价达 85 美元/吨（约 600 元人民币），虽国内碳价难以完全对标，但追赶趋势明确；叠加碳捕集封存（CCUS）等技术仍维持 380 元/吨的较高成本，将共同支撑碳价加速上行。

5 市场结构演变：多元化、完善化与一体化

随着市场规模扩大和制度成熟，全国碳市场的结构正在发生深层变化。未来五年，交易主体、产品体系和区域格局将同步调整，市场运行逻辑将从以履约为中心，逐步转向以价格和配置效率为核心，整体形态向成熟碳市场靠拢。

5.1 交易主体：从“控排为主”到“多元参与”

市场参与者将从当前以控排企业为主，逐步形成“控排企业+金融机构+投资基金”的格局。政策支持银行、证券、基金等机构通过碳质押、碳基金、做市业务入场；专业碳资产管理机构快速发展，央企、地方国企与民企竞争合作形成新

生态；国际碳资产管理公司加速布局，带来先进经验，推动市场专业化水平提升。同时，自然人将通过碳普惠机制有序参与自愿市场，激发社会减排热情。

5.2 产品体系：从“现货主导”到“多层次衍生”

产品矩阵将从现货交易为主，逐步丰富为“现货+衍生品”体系。2026-2027 年碳期货正式推出后，期权、掉期等衍生品将陆续上线；碳指数基金、碳资产证券化等创新产品为投资者提供更多配置选择。CCER 与配额协同发展，绿色能源、碳捕集、林业碳汇等领域的 CCER 项目成为焦点，形成与配额市场互补的格局，拓展市场功能边界。

5.3 区域布局：从“试点分散”到“全国统一”

地方碳试点将按政策逐步退出，全国统一市场进一步巩固，消除区域价格差异与交易壁垒（此前湖北、上海试点碳价曾低于全国均价 10%-15% 左右，整合后差异将逐步消除）。长三角、粤港澳大湾区等区域将探索跨省碳排放核算与碳资产流动机制，形成区域协同减排格局，提升全国统一碳价的代表性与权威性，避免市场分割与资源错配。

6 风险与情景：不确定性下的市场展望

尽管中长期趋势较为清晰，但在政策执行、经济周期和国际环境等多重不确定因素影响下，碳市场运行仍面临阶段性波动风险。不同情景下，碳价路径可能出现明显分化，有必要对潜在风险保持足够审慎。

6.1 五大核心风险

政策执行风险：配额调整、有偿分配比例落地不及预期，或地方试点退出节奏变动，将直接影响市场信心；

经济周期风险：制造业萎缩减少配额需求，经济过热推高碳排放，双向波动增加市场预测难度；

数据质量风险：碳排放数据造假若未有效遏

制，将破坏市场信用基础，影响配额分配公平性；

国际联动风险：国际贸易摩擦可能阻断碳市场国际化，欧盟 CBAM 实施力度变化将差异化影响出口企业；

技术替代风险：可再生能源成本快速下降或突破性减排技术出现，可能降低碳市场减排压力。

6.2 三类情景预测

情景类型	2030 年碳价 (元/吨)	核心假设
乐观情景	突破 200	2026 年提前纳入高耗能行业，2027 年有偿分配比例超 10%，国际碳价联动强。
中性情景	120-180	政策按时间表推进，碳金融有序推出，市场平稳转型。
悲观情景	低于 120	行业扩容延迟，经济下行压力大，国际联动受阻。

7 技术支撑：筑牢市场健康发展的技术基石

技术体系是保障碳市场长期稳定运行的底座。未来五年，技术进步的重点不在于单点突破，而在于形成覆盖数据、交易和减排全过程的协同支撑体系。

7.1 全流程数据质量管控：区块链+物联网+AI

推广区块链碳资产溯源，将排放数据、配额分配、交易记录上链存证，从源头解决造假问题；推动重点企业安装物联网监测设备（如 CEMS 系统），实现碳排放实时采集、自动传输；利用 AI 优化核算模型，结合行业工艺参数校验数据合理性，保障配额分配公平，为市场运行奠定可信基础。

7.2 碳金融创新赋能：大数据+风险监控

整合交易数据、减排成本、宏观指标，构建大数据模型，为碳期货等衍生品定价提供科学依据；搭建实时风险监控平台，设定价格波动阈值（如乐观情景下波动率 $\leq 15\%$ ），预警异常交易；用区块链实现碳质押、回购的资产确权，支撑碳金融规模有序扩张。

7.3 低碳技术协同：CCER+绿电溯源

推动 CCER 技术升级，通过材料创新、工艺优化将 CCUS 成本从 380 元/吨进一步压减；开发绿电消纳溯源系统，精准核算企业绿电使用量，确保绿电抵扣配额的真实性；用 AI 优化钢铁短流程、水泥替代燃料工艺，降低单位碳排放强度，形成技术减排与市场机制的协同效应。

7.4 全国统一技术平台：云计算+分布式架构

升级交易系统，支撑跨区域、多主体高效交易，消除“价格洼地”；增设市场运行分析模块，实时统计供需数据，为政策调整提供数据支撑，提升全国统一市场的运行效率与调控精准度。

8 实践路径与主体建议

在政策确定性和市场成长性并存的背景下，碳市场参与主体需要从合规视角转向战略视角，通过提前布局，在风险可控的前提下把握制度红利。

8.1 四大实践路径

夯实数据与制度基础：完善行业核算标准体系，建立“企业自审-第三方核查-政府监管”三级核查体系，健全各参与方权责边界，提升市场公信力；

深化市场机制创新：优先推出碳质押、碳回购等基础碳金融产品，适时试点碳期货，稳步引入多元交易主体，激发市场内生活力；

强化区域与行业协同：建立配额跨区域调剂机制，组建行业联盟制定专项减排方案，规范地方试点创新试验功能，形成政策合力；

推进国际合作接轨：参与国际碳市场标准制定，推动 CCER 与国际主流自愿减排标准互认，深化国家间碳市场合作，帮助企业应对国际碳壁垒。

8.2 针对性主体建议

控排企业：将碳资产纳入战略规划，密切关注 2026 年行业扩容细则、2027 年有偿分配比例

调整；建立碳资产台账，灵活运用碳金融工具对冲价格风险；提前布局绿电、CCER 项目，构建多元化减排路径。

金融机构：扩大碳质押融资规模，强化做市业务能力；推出碳指数基金等创新产品，参与碳金融基础设施建设；2027 年后重点布局碳期货相关风险管理业务，把握衍生品市场机遇。

出口企业（钢铁、铝业）：建立全链条碳成本核算体系，提前储备配额与 CCER；优化供应链低碳水平，将碳成本纳入定价策略，主动应对欧盟 CBAM 等国际碳边境调节机制冲击。

投资者：中长期配置碳指数基金、碳资产证券化产品；重点关注绿电运营、CCUS、碳监测（MRV）、区块链碳溯源等领域的投资机会，分享市场成长红利。

9 结语

2025-2030 年是中国碳市场从“量的积累”向“质的飞跃”转型的关键五年。在政策刚性引领与市场内生驱动的双重作用下，碳市场将逐步实现覆盖范围全面化、制度设计精细化、金融属性多元化、监管能力智能化的发展目标。面对行业扩围带来的管理挑战、碳价波动的风险防控、国际接轨的复杂要求，市场参与者需把握政策节奏，依托技术赋能，在风险防控中捕捉机遇。通过夯实基础、创新机制、协同治理、开放合作，中国碳市场将不仅成为推动经济绿色转型的核心工具，更将为全球气候治理贡献“中国方案”，为 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和目标的实现提供坚实支撑。

中国“一带一路”能源投资报告

(信息来源：中能传媒研究院)

关键词：一带一路；绿色发展

共建“一带一路”倡议提出十余年来，已成为推动全球发展的重要国际合作平台。在共建“一带一路”倡议下，中国精准对接全球发展需求，不断加快海外投资步伐，在能源等领域展现出强劲动力。当前，“一带一路”能源投资正经历战略性升级，从传统的资源开发向涵盖技术创新、产能合作、绿色发展的全产业链协同模式转型。2025年上半年中国在共建“一带一路”合作中的能源投资再创历史新高，在总投资中占比达35%，凸显出能源合作在“一带一路”建设中的支撑作用。

1 “一带一路”投资合作空间广阔

自2013年共建“一带一路”倡议提出以来，秉持共商共建共享原则，中国与共建“一带一路”国家的投资合作持续走深走实，成为推动全球经济复苏、促进国际产能协同的重要引擎。在全球经济格局深刻调整、跨国投资波动起伏的背景下，“一带一路”投资凭借稳健增长态势和高质量发展成色，展现出强大的韧性与活力，为世界经济增长注入新的动能。

据商务部公布的数据，2025年上半年中国对外直接投资呈现“回稳、质升”的良好态势，其中对共建“一带一路”国家非金融类直接投资达189亿美元，同比增长20.7%。从更长周期维度观察，2021年至2025年上半年，中国与共建国家双向投资规模已突破2400亿美元，其中中国对外投资超1600亿美元，共建国家对华投资超800亿美元，各领域合作日益深化，形成互利共赢的投资生态。

另据复旦大学绿色金融研究中心发布的《中国“一带一路”投资报告（2025年上半年）》，2025年上半年中国与共建“一带一路”国家签署

的建设合同项目总额达662亿美元，产业投资项目总额达571亿美元，合计1240亿美元，较2024年同期近乎翻倍。值得关注的是，仅今年上半年投资额已略超2024年全年1220亿美元的总规模，彰显出投资增长的强劲动力。截至2025年上半年，中国自共建“一带一路”倡议提出以来的累计合作项目金额已突破1.3万亿美元，其中建设合同金额7750亿美元，投资项目金额5330亿美元，持续刷新的投资规模印证了共建“一带一路”倡议巨大的合作潜力。

在“一带一路”投资的多元版图中，能源领域始终占据重要地位，是连接各国发展需求、推动全球能源转型的重要力量。公开资料显示，“一带一路”开启12年来，能源资源开发领域投资占总投资的40%左右，始终是投资规模最大、合作最活跃的领域之一。2025年中国在共建“一带一路”合作中的能源投资再创历史新高，复旦大学绿色金融研究中心的报告显示，2025年上半年中国对共建“一带一路”国家1240亿美元的投资中，能源领域斩获440亿美元，占比达35%，稳居各投资领域首位。英国《金融时报》援引该报告指出，2025年中国在“一带一路”能源领域的参与度达到倡议启动以来的最高水平，凸显出能源合作在“一带一路”建设中的支撑作用。

近年来，中国在“一带一路”能源领域的投资呈现出传统油气与新能源协同发展的鲜明特点。在巩固传统油气领域合作基础的同时，中国企业加大对风光、氢储、智慧能源等领域的布局力度，形成多元互补、协同发展的能源投资体系。这一系列布局标志着中国对共建“一带一路”国家的能源投资正实现战略性升级，从过去单一的资源开采、工程建设模式，向涵盖技术研发、产能建设、创新生态构建的全产业链协同模式转型，

构建起技术+资本+工程+运营的一体化合作体系。在具体实践中，中国企业通过产业集群出海、本地化产能建设等方式，不仅推动先进能源技术装备和标准“走出去”，更助力共建国家搭建完整的能源产业体系，在有效推动共建国家能源结构转型和产业发展的同时，为全球能源安全、能源转型、能源可及性提升及气候变化应对等全球性问题提供切实可行的中国方案。

中国与共建“一带一路”国家持续深化绿色基建、绿色能源、绿色交通等领域合作，绿色能源合作已成为共建“一带一路”国家深化合作的亮点。中国搭建与东盟、阿盟、非盟、中东欧、上海合作组织、亚太经济合作组织等6大区域的能源合作平台，与34个国家建立了“一带一路”能源合作伙伴关系，与100多个国家和地区开展绿色能源项目合作。中国与共建国家在绿色能源领域的投资与合作，成为推动全球绿色低碳转型的重要力量。

英国伦敦经济与商业研究中心的预测显示，到2040年，共建“一带一路”倡议预计将推动全球GDP每年增加7.1万亿美元，其中大部分收益来自基础设施改善与全球贸易畅通，而能源基础设施投资正是核心支撑。随着全球能源转型进程加速，共建国家对清洁能源、能源互联互通的需求将持续攀升，为“一带一路”能源投资开辟更广阔的增长空间。

2 “一带一路”能源投资增长强劲

在全球能源转型与地缘政治格局深度调整的背景下，近年来中国对共建“一带一路”国家的能源投资总量持续攀升，投资结构动态优化。其中，化石能源投资继续发挥其保障能源安全的基石作用，可再生能源投资已成为推动能源转型的新兴主导力量，而电网投资则构建起区域互联互通的关键支撑。

2.1 可再生能源投资保持快速增长科学防范 远离肿瘤威胁

随着全球能源转型进程加速，中国在共建“一带一路”国家的可再生能源投资已进入规模

化、高质量发展阶段。自2021年中国宣布不再新建煤电项目后，海外能源投资重心持续向绿色能源领域倾斜，推动共建国家能源结构转型。波士顿大学全球发展政策中心最新分析显示，2022—2023年，中国对共建“一带一路”国家风电和太阳能投资首次超过煤炭投资，标志着能源投资结构转型，可再生能源领域已成为主导方向。

行业咨询机构伍德麦肯兹发布的报告进一步印证这一趋势。2024年中国企业在全球140余个共建“一带一路”国家累计安装发电项目装机容量达24吉瓦，创下共建“一带一路”倡议启动以来的年度最高纪录；其中太阳能项目新增装机约8吉瓦，占全年新增装机总量的三分之一。从长期维度看，截至2024年底，中国企业在共建“一带一路”国家已完成电力项目总装机156吉瓦，其中70%的装机容量集中于亚洲地区，15%分布在非洲地区。

进入2025年，“一带一路”可再生能源投资增长势头进一步巩固。据复旦大学绿色金融研究中心《中国“一带一路”投资报告（2025年上半年）》，2025年上半年2025年中国与共建国家的绿色能源合作规模再创新高，风电、太阳能及垃圾发电项目金额达97亿美元，新增装机容量约为11.9吉瓦。与此同时，以新能源汽车、锂电池、光伏产品为代表的“新三样”产品，在共建国家市场渗透率快速提升，为可再生能源项目落地提供了产业链配套支撑。

国际环保机构绿色和平海外可再生能源数据库的统计数据则更为详实，截至2025年6月30日，中国央企已在全球47个国家投资359个风电和光伏项目机组，其中风电机组238个，装机容量为29880.62兆瓦，光伏机组121个，装机容量为29450.11兆瓦，合计装机总容量59330.73兆瓦。上述数据涵盖官宣、在建和已运营三种状态的项目。与去年同期数据相比，在短短一年内，中国央企全球投资版图新增8个国家：罗马尼亚、黑山、老挝、阿塞拜疆、柬埔寨、吉尔吉斯斯坦、菲律宾和赞比亚。2024—2025年间，各央企官宣新增投资14841.1兆瓦，占现有装机总容量的25%，投资力度明显加大。

从区域分布来看，中国央企海外可再生能源投资按装机容量排序，依次集中在南美洲、亚洲、欧洲、大洋洲、北美洲及非洲。其中，南美洲是风电投资核心区域，总装机达 11827.14 兆瓦；亚洲则是光伏投资重点市场，总装机 13650.56 兆瓦，且近年来投资占比持续提升。特别是在两届中国—中亚峰会达成绿色合作共识后，以哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦为代表的中亚国家成为投资热点，中国能建投资建设的乌兹别克斯坦 1 吉瓦光伏项目，作为 2023 年首届中国—中亚峰会重要成果，不仅是中国企业在中亚地区落地的首个大型新能源项目，更是“一带一路”框架下中国在中亚投资的最大单体新能源项目，为区域能源转型提供了标杆案例。

从参与企业来看，越来越多的中国企业加速布局可再生能源板块，加大海外风电和光伏项目投资。其中，中广核、国家电投、三峡集团凭借成熟的国际化运营经验，持续领跑海外新能源项目投资；国家电网、南方电网则通过电网业务+新能源资产收购的双路径，加速拓展海外新能源市场；中国电建、中国能建依托强大的工程建设能力，以投资—建设—运营一体化模式大力开拓海外新能源项目；晶科能源、隆基绿能、远景能源、金风科技等产业链企业，也逐步从设备供应向项目开发延伸，形成全链条参与能力。

从项目规模来看，早期中国企业的海外可再生能源项目，多是几兆瓦或几十兆瓦规模的单体小型电站。而在全球能源转型提速、技术创新不断突破且成本稳步下降的背景下，当前已形成数百兆瓦乃至吉瓦级的大型项目格局。光储一体化、风光储融合等新型项目形态同步加速涌现，据不完全统计，近 3 年新宣布的项目里，6 个已明确配套储能设施。这些转变表明，中国企业已从单纯的能源工程建设方，逐步成长为助力投资国能源转型、参与全球绿色治理的深度参与者。

2.2 化石能源投资仍占据重要地位

尽管全球可再生能源发展势头迅猛，但当前全球能源消费仍以化石能源为主导，“一带一路”能源投资中，石油、天然气等化石能源凭借其在

能源安全保障、工业化能源供给中的重要性，仍占据重要地位。2024 年的数据显示，中国主要油气企业在共建“一带一路”国家的权益储量规模可观，其中中国石油在伊拉克、哈萨克斯坦、巴西等国的海外油气项目中，拥有约 1.06 亿吨油当量权益；中国海油在圭亚那、巴西等区域的权益达 3400 万吨油当量；中国石化在安哥拉、巴西等地也持有 3300 万吨油当量权益。

除“三桶油”等央企外，中曼石油、安东油田、杰瑞股份、洲际油气、中国联合能源等民营企业也积极拓展海外油气业务，通过斩获油气区块合作协议，成为保障国家能源安全的重要补充力量。这类海外布局的价值远超单纯的资源获取：一方面，助力中国油企深度参与国际油气市场竞争，抢占优质资源储备，提升全球资源配置能力；另一方面，通过拓展多元化进口渠道，有效降低中国石油综合对外采买度，对冲地缘政治风险，为国家能源安全构建起坚实的海外屏障。

进入 2025 年，中国企业海外油气拓展步伐进一步加快，实现数量扩容、质量提升的双重突破。据不完全统计，2025 年以来，“三桶油”已在哈萨克斯坦、阿尔及利亚、伊拉克、巴西、印度尼西亚等国成功签署 8 个油气区块合同，涉及 10 余个油气区块。其中不乏资源潜力突出的优质项目，如预估储量达 96 亿桶石油或 71.8 万亿立方英尺天然气的印度尼西亚 Gaca 区块，以及潜在资源量达 5 亿桶油当量的哈萨克斯坦别列佐夫斯基区块。

从区域分布来看，“三桶油”在中亚、北非、东南亚、拉美等“一带一路”热点区域的投资表现尤为亮眼。在中亚，2025 年 6 月第二届中国—中亚产业与投资合作论坛期间，中国石油率先与哈萨克斯坦签署四项关键协议，内容涵盖奇姆肯特炼厂扩建、阿克纠宾尿素项目，以及阿克纠宾州“Northern-1”区块的地下勘探计划。中国石化与哈萨克斯坦国家石油天然气公司达成别列佐夫斯基区块联合作业协议。该区块位于里海盆地北翼，盐下层构造中蕴藏着地质资源量达 5 亿吨油当量的前景油气藏。同月，中国海油全资子公司与哈萨克斯坦能源部、哈萨克斯坦国家石油

天然气公司签署 Zhylyoi 区块油气勘探与生产合同。资料显示，该区域潜在石油资源量或超 1.85 亿吨。自 1997 年中国石油中标阿克乔宾油田开发项目以来，中哈能源合作已从单一项目延伸至全产业链，参与企业持续扩容，成为“一带一路”能源合作的典范。在北非，2025 年，中国石化与阿尔及利亚签订 HBAN 区块、GEG 合作协议（Guern El Guessa II）及 HOA 协议（包括 HBH 和 EB 区块），其中 HBAN 区块未来峰值产能预计可达 100 万吨/年油当量，将进一步强化中国与北非地区的能源合作纽带。在东南亚，2025 年 4 月，包括中国海油在内的 8 家企业联合体成功竞得印度尼西亚西巴布亚的 Gaea 和 Gaea II 区块。据印尼官方数据，这两个区块储量潜力巨大——Gaea 区块预估储量为 96 亿桶石油或 71.8 万亿立方英尺天然气，Gaea II 区块则拥有 85 亿桶石油或 35.1 万亿立方英尺天然气，项目的实施将为区域能源供应提供重要支撑。在拉美，中国石油于 2025 年 6 月通过与雪佛龙组成竞标联合体，成功拿下巴西 9 个亚马逊河口盆地油气田区块，标志着中国能源企业在拉美油气勘探领域再获战略性重大突破，进一步完善了全球油气资源布局。

更值得关注的是，中国在共建“一带一路”国家的化石能源投资正逐步从单纯的资源开发向全产业链协同转变。以尼日利亚 Ogidigbon 天然气产业园为例，该项目单笔交易金额达 200 亿美元，创下 2025 年以来能源领域单笔投资纪录。项目不仅涵盖天然气开采环节，还整合了加工、储运及综合利用等全链条业务，形成开采—加工—消费的闭环。这种模式既能提升资源国的能源附加值，推动当地产业升级，又能帮助中国企业积累国际能源市场全链条运营经验，从而实现双方的互利共赢。这一趋势表明，即便在可再生能源快速发展的背景下，中国与共建“一带一路”国家在化石能源领域，尤其是相对清洁的天然气领域的合作仍具有较强韧性，既满足东道国工业化进程中的能源需求，也充分发挥中国企业在传统能源领域的技术、资金与运营优势，为中国油气企业“走出去”构建可持续的核心动力。

2.3 电网投资强化基础设施支撑

电网投资作为“一带一路”能源投资的重要组成部分，是中国电力技术和标准、装备和管理经验输出的重要载体，电网投资规模与建设质量直接决定共建国家能源供应的稳定性与可持续性。近年来，中国企业在共建国家的电网投资覆盖了骨干网架升级、跨国互联通道、智能电网建设等多个领域，形成了以特高压技术为核心，多层次、多区域的电网互联互通格局。

从参与主体看，国家电网和南方电网作为龙头企业，引领了中国电网技术的海外输出。国家电网已在 51 个国家开展业务，投资运营 10 个国家和地区的 13 个骨干能源网项目，境外资产规模达 3200 亿元人民币。标志性项目中，巴西美丽山特高压直流输电项目全长 2539 公里，是目前世界距离最长的±800 千伏特高压工程，年输送清洁水电可满足 2200 万巴西家庭的用电需求，被誉为“电力高速公路”。南方电网同样加速海外电网布局，重点聚焦东南亚、南亚区域。截至 2024 年底，南方电网国际业务从周边区域延伸到全球 8 个国家和地区，直接参控股境外重大能源电力项目 12 个。在澜湄区域，南方电网公司建成 16 回 110 千伏及以上跨境输电线路，分别与越南、缅甸、老挝电网互联。截至 2025 年 8 月底，南方电网累计与周边国家实现电力互济近 800 亿千瓦时，其中 90% 以上为水电、光伏等清洁能源。

从区域互联趋势来看，电网投资从单点项目向网络协同升级，区域电网互联互通成效显著，尤以中国—东盟合作最为突出。根据第七届东亚峰会清洁能源论坛发布的数据，中国与东盟已建成 16 条 110 千伏及以上互联输电线路，双方开展电力贸易跨境电力互济超 750 亿千瓦时，其中绿电占比超过 90%。据水电水利规划设计总院统计，目前中国和东盟双方合作的电源电网项目数超 190 个，总投资额突破 920 亿美元。《2026—2030 年东盟能源合作行动计划》提出东盟在 2030 年可再生能源装机占比将提升到 45% 的目标，未来 5 年，东盟可再生能源装机的增量空间为 105

吉瓦。电网互联与储能、智能电网等领域将成为中国和东盟区域的合作新热点。此外，电网投资的触角已延伸至中亚、拉美及中东地区。在乌兹别克斯坦，中国企业与当地合作建设的 Sarimay-Murantau 500 千伏输电线路长约 230 公里，旨在提升该国电网可靠性并促进可再生能源消纳。在拉美，中国企业在乌拉圭总承包的 500 千伏输变电环网闭合项目，将助力该国打造全国性电能调配网络，提升清洁能源利用率。在智利，中企参与筹建的该国首条高压直流输电线路，建成后将成为智利电压等级最高、输电距离最长的输电项目。

中国特高压输电技术已成为“一带一路”电网投资的核心竞争力，其远距离、大容量、低损耗的优势，有效解决了众多国家能源“发得出、送得走、用得上”的难题。巴西美丽山项目全面采用中国标准和设备，被巴西矿业和能源部长评价为“改变了巴西能源地理”。此外，中国电网企业输出的不仅是技术和设备，更包括成熟的运营管理经验和金融支持，形成了“技术+资金+管理”的全方位输出模式，为共建国家构建了韧性强、抗风险能力高的现代化能源体系。

3 “一带一路”能源投资特点分析

“一带一路”能源投资在十余年的实践中，已形成体系成熟、路径清晰、风险可控的鲜明特点。融资渠道构建起政策性金融、开发性金融、商业金融与股权投资基金协同的多层次体系；投资主体呈现出央国企与民企“双轮驱动”、分工协作的共赢格局；为应对复杂国际环境，资源支持型融资、产业链协同金融等创新模式不断涌现；而庞大的投资规模与贸易往来，正强力助推人民币国际化进程，形成产业与金融互动的良性生态。

3.1 融资体系：构建多层次、全周期金融支撑格局

自共建“一带一路”倡议提出以来，由政策性银行、商业银行、多边金融机构、专项投资基金及地方基金等逐步构建起的多元化、多层次融资格局，为“一带一路”能源合作提供强有力的、

可持续的资金保障，成为推动共建国家能源转型和经济发展的力量。

在“一带一路”能源投资中，政策性银行凭借其资金规模大、期限长、利率优惠等特点，在支持重大战略性项目方面发挥了不可替代的作用。其中，国家开发银行作为服务高质量共建“一带一路”的主力银行，积极支持包括绿色、科技创新在内的重点领域合作。例如，该行在 2025 年 3 月完成向巴西东北部新能源送出 ±800 千伏特高压直流输电项目的最新一笔贷款发放，用于支持购置相关大型设备。该项目将新建 1468 公里输电线路，建成后可将巴西东北部和北部的风电、太阳能发电和水电等清洁能源汇集输送，满足巴西首都联邦区等核心地区约 1200 万人口的用电需求。截至 2025 年 9 月底，国家开发银行国际业务已覆盖 118 个共建“一带一路”国家，“十四五”以来围绕服务高质量共建“一带一路”已发放贷款超 7800 亿元等值人民币。中国进出口银行作为另一大主力融资行，聚焦于基础设施、产业投资等领域，支持一批具有显著经济和社会效益的重大能源项目，如其在沙特阿拉伯支持的一个大型油气田开发和电站一体化项目，不仅为当地带来稳定的电力供应，还显著提升就业和税收。10 余年间，中国进出口银行贷款项目累计拉动投资超 4000 亿美元，带动贸易超 2 万亿美元。目前，中国进出口银行“一带一路”贷款余额已超过 2 万亿元人民币，为促进共建国家的经济发展和民生改善提供了坚实的金融支持。

商业银行在“一带一路”能源投资中扮演重要角色。其中，中国银行作为跨境金融服务的主渠道，2024 年取得显著成效，其迪拜分行与沙特国际电力和水务公司落地了首笔支持乌兹别克斯坦塔什干光伏储能项目的人民币贷款合作，这也成为中东企业的首笔人民币贷款。同年 7 月，中国银行作为独家全球协调行，成功为沙特国家电力公司牵头筹组了 20 亿美元银团贷款项目。此外，中国银行还通过发行可持续发展债券支持可再生能源项目，例如在 2024 年 6 月，其境外分支机构同步发行了全球首批共建“一带一路”可持续发展债券，规模合计 9.4 亿美元等值，募

集资金全部用于东南亚、中亚、欧洲和拉美等区域共计 13 个共建“一带一路”国家的可再生能源等项目。民生银行上海自贸试验区分行充分利用自贸区跨境政策和 FT 账户优势，为“一带一路”项目提供包括项目贷款、出口买方信贷、国际银团贷款等在内的多元化资金支持。截至 2024 年三季度末，该分行“一带一路”相关贷款余额已近 300 亿元。兴业银行则专注于跨境绿色金融，例如其合肥分行在 2024 年为安徽一家上市公司开立了 2.09 亿美元涉外保函，助力其与沙特公司成功签约 7.8 吉瓦时储能项目。

除了传统的银行信贷，丝路基金、亚洲基础设施投资银行等多边金融机构，以及各类专项投资基金，正以股权投资、联合融资等灵活方式，为“一带一路”能源投资注入新的活力。其中，丝路基金作为中国为共建“一带一路”倡议专门设立的中长期开发投资基金，主要以股权投资为主，直接投资占比超过 80%，领域覆盖互联互通、产能合作及能源资源开发。2024 年 11 月，丝路基金与阿联酋阿布扎比未来能源公司马斯达尔（Masdar）签署谅解备忘录，计划向其在共建“一带一路”国家的可再生能源项目投资高达 28 亿美元。目前，丝路基金管理着超过 7 吉瓦的可再生能源投资组合。截至 2025 年初，丝路基金已累计承诺投资超过 260 亿美元，覆盖近 120 个项目。亚洲基础设施投资银行等多边开发银行，则为“一带一路”大量基础设施建设项目提供融资支持，成为传统多边金融机构的有益补充。专项投资基金方面，中非发展基金作为中国第一支专注于非洲投资的股权基金，总规模达 100 亿美元，截至 2025 年 5 月底，中非发展基金已累计对 39 个非洲国家投资决策超过 86 亿美元，撬动中国企业对非投融资超 328 亿美元，涉及基础设施、产能合作等非洲发展亟需的重点领域以及数字创新、绿色发展等新兴领域。中国—东盟投资合作基金则主要投资于东盟地区的基础设施、能源和自然资源等领域。此外，地方性基金如江苏“一带一路”投资基金等，也在支持省内企业开展国际产能合作方面发挥了积极作用。

3.2 投资主体：形成央民协同、优势互补的共赢格局

自共建“一带一路”倡议提出以来，中国企业的对外投资步伐显著加快，参与主体日益多元，投资规模持续扩大。在这一进程中，央企与民营企业逐步形成分工协作、优势互补的共赢格局，共同推动“一带一路”能源合作向纵深发展。

在“一带一路”能源投资中，央企凭借其在大项目管理、资金实力和全产业链整合方面的显著优势，继续承担着重大能源基础设施项目的投资建设和运营。这些项目往往涉及能源勘探开发、电力设施建设、跨境电网互联等全产业链环节，投资规模大、建设周期长、技术要求高。值得关注的是，央企的角色正在经历深刻转型——从传统的工程承包商逐步升级为长期战略投资者。如国家电网的国际化发展，该公司已在巴西、菲律宾、葡萄牙等七个国家和地区投资运营骨干能源网，累计境外投资达 195 亿美元，权益资产高达 600 亿美元。同样，三峡集团作为葡萄牙电力公司第一大股东，其境外资产规模超过 1100 亿元人民币，境外可控和权益装机容量近 1700 万千瓦，展现了深度参与全球能源治理的实力。国家电投则通过全资拥有澳大利亚太平洋水电公司、特拉格风电公司和巴西圣西芒水电公司，在海外清洁能源市场建立了稳固阵地。2025 年上半年的数据显示，国有企业在建设合同领域依然保持绝对主导地位。中国化学工程集团以 39.3% 的份额位居第一，主要得益于尼日利亚天然气工业园项目；中国电建以 10.1% 的份额排名第二，中信集团、中国建筑、中国能源建设集团等大型央企紧随其后。这些企业凭借强大的融资能力、丰富的国际工程经验和政府支持，在大型基础设施建设项目中发挥重要作用。

与央企形成鲜明对比而又相辅相成的是，民营企业在“一带一路”能源合作中的作用日益增强，凭借其敏锐的市场洞察力、灵活的经营机制和技术创新能力，逐步发展成为“一带一路”投资的重要力量，特别是在可再生能源、绿色氢能等新兴领域表现尤为活跃。2025 年上半年的数

据显示，“一带一路”投资排名前三的民营企业——东方希望集团、信发集团和隆基绿能，投资领域均涉及能源资源类。其中，东方希望集团在哈萨克斯坦的120亿美元铝业一体化项目，一期工程将建设年产200万吨的氧化铝厂和年产100万吨的电解铝厂，同时配套可再生能源发电设施，为整个产业链提供绿色电力保障。隆基绿能在尼日利亚开展的绿色氢能开发项目，总投资76亿欧元，规划年产120万吨绿氢衍生物。这些项目，是中国新能源技术在全球范围内的拓展与商业化应用，反映出中国民营企业作为技术创新的引领者在全球地位的持续提升，也表明这些企业已经积累了在复杂经济环境和多样化治理结构中成功运营的宝贵经验。

3.3 融资模式：以灵活创新应对复杂环境与风险

传统的融资模式主要依靠政策性银行贷款、商业银行贷款和出口信用保险等支持，随着国际环境日渐复杂、项目规模不断扩大，海外能源项目投资面临的政治、市场等风险显著上升，为应对这一挑战，中国企业积极主导融资结构设计，推动形成多种灵活、高效且风险可控的创新融资机制。这些模式不仅保障项目在复杂环境下顺利推进，也为中国标准与技术“走出去”构筑坚实的金融防线。

联合运营与利润分成模式已成为中国与资源国开展深度合作的典型路径。近年来，中国油气企业逐步从单纯投资转向联合运营，与东道国国家石油公司组建联合作业体，共担风险、共享运营主导权。例如，在哈萨克斯坦的多个油气项目中，中国企业以联合作业者身份深度参与，改变了以往单纯权益收购的被动局面，显著增强了中方在项目管理与利润分配中的话语权。

资源支持型融资将未来资源收益转化为当前建设资金，有效缓释主权信用风险。该模式下，中方金融机构与工程承包商联合提供贷款，东道国政府提供主权担保，并以未来能源资源收益作为还款保障。如尼日利亚奥吉迪本天然气产业园项目，在该项目中，由中方提供融资与技术，尼方则以未来油气收益作为担保，在保障中方资金

安全的同时，破解了当地基础设施建设融资难题。

产业链协同金融通过整合上下游环节，系统性降低整体融资风险。在关键矿产领域，中方企业不仅获取资源，更帮助东道国建立完整工业体系。如哈萨克斯坦铝业合作项目，该项目覆盖了从铝土矿开采到电解铝生产的全产业链，中方提供技术设备并共享国际市场渠道，东道国提供资源与政策支持，最终按股权比例分配收益，在降低投资风险的同时实现产业协同增值。

基于项目现金流的无追索权融资在大型可再生能源项目中日益受到青睐。该模式以项目自身资产和未来收益作为还款来源，不依赖母公司担保，以此实现风险隔离。如乌兹别克斯坦1吉瓦光伏项目，该项目贷款金额约33亿元人民币，创新采用无追索权融资模式，由中国出口信用保险公司全额承保、中资银行银团全额人民币贷款，形成风险共担的“投融共生体”，双方在项目周期中协同应对各类风险，提升决策效率与执行质量，推动项目全周期品质提升。

绿色金融体系的完善为应对全球能源转型风险提供工具支撑。通过绿色信贷、债券与基金等工具，中国系统化支持共建“一带一路”国家可再生能源项目。丝路基金等机构将ESG标准纳入投资决策，遵循国际绿色金融准则，为项目应对气候变化相关风险提供市场化解决方案。

这些创新显著提升了“一带一路”能源投资的风险抵御能力。随着国际环境持续演变，融资模式将进一步向市场化、国际化方向演进，通过银团贷款、联合融资等机制吸引全球资本参与，共同构建更具韧性的“一带一路”能源投融资新生态。

3.4 投资币种：以能源投资为锚点助推人民币国际化

“一带一路”沿线规模巨大的能源投资与贸易，为人民币在能源这一关键大宗商品领域的应用提供了历史性机遇。近年来，人民币国际化在“一带一路”能源合作中取得显著突破，正从贸易结算向项目融资、价值链整合乃至金融生态构建等深层次、多维度拓展，形成产业引领金融、

金融赋能产业的良性循环。

在能源贸易结算环节，人民币计价与结算正从试点走向规模化，逐步打破传统以美元主导的贸易格局。根据中国海关总署及俄罗斯央行数据，2023年中俄双边贸易额中已有超过90%改用本币结算，其中人民币占据主要份额，俄罗斯央行与俄财政部也将其作为外汇储备的核心资产。与此同时，中国与沙特、阿联酋、卡塔尔等海湾产油国的合作也取得突破。2024年，沙特在持续增加人民币外汇储备的同时，更在对华部分石油交易中直接接受人民币付款。这一趋势得到金融基础设施的有力支撑，截至2024年，中资银行在海合会国家已设立14家分支机构，为当地油气贸易商提供涵盖信用证、贴现及流动资金贷款的全周期人民币金融服务。

在能源项目融资领域，人民币展现出独特的成本与稳定性优势。中方提供的开发性金融贷款以及在境内外发行的“一带一路”主题债券，优先采用人民币作为融资币种。这不仅发挥了中资银行的资金规模优势，更有效规避了汇率波动给项目带来的财务风险。这一模式在中亚的天然气项目、东南亚的智能电网建设以及南亚的光伏电站中被广泛采用，推动人民币在项目融资、EPC工程总包结算以及设备供应链支付等实体环节深度渗透，为人民币国际化构筑了坚实的项目基础。

值得关注的是，金融科技的引入为人民币跨境使用开辟了新的路径。数字货币结算与区块链溯源等技术的应用，极大地提升了跨境资源交易的透明度、安全性与效率数字。例如，阿联酋央行与中国人民银行于2023年签署了全球首个本币互换协议下的数字货币合作备忘录，双方积极探索利用数字人民币进行能源贸易结算。这一创新不仅是技术升级，其深层意义在于通过提升交易效率与透明度、降低对传统结算系统的依赖，为形成以人民币计价的大宗商品定价体系奠定基础，从而在全球能源金融格局中争取更大的话语权。

“一带一路”能源投资与合作已成为人民币国际化的重要实践场景。这种能源与金融的产融

协同，通过降低汇率风险优化项目成本，并通过资金链牵引产业链与供应链的跨国整合，为共建国家创造资源增值共享、风险共担的合作模式，为中长期能源投资提供更为稳定和自主的金融环境。

4 “一带一路”能源投资前景展望

随着全球能源格局深刻变革与共建“一带一路”倡议进入高质量发展新阶段，中国对共建“一带一路”国家的能源投资正沿着绿色化转型、普惠化延伸、智能化升级、系统化防控的脉络深度演进。中国正以产业链优势、技术创新活力与包容性合作理念，推动“一带一路”能源合作成为全球能源转型的“稳定器”与共同发展的“连接器”，为构建区域能源共同体注入持久动能。

4.1 投资重心向低碳领域倾斜

中国在光伏、风电等领域的技术创新与成本优势，为全球能源转型提供了强大动力。随着能源转型加速推进，“一带一路”能源合作更多侧重于风电、光伏等新能源项目。2025年9月初，上海合作组织天津峰会期间，中方提出，未来5年将同上合组织其他国家一道实施新增“千万千瓦光伏”和“千万千瓦风电”项目。这一承诺体现了中国在绿色能源领域的雄心。一方面，中国光伏、风电等绿色能源技术已达到全球先进水平，同时已构建起从核心零部件生产到整体系统集成、从项目开发到运营维护的完整绿色能源产业链，有能力为共建“一带一路”国家提供覆盖全生命周期的一体化解决方案。另一方面，合作充分尊重东道国资源禀赋与发展需求，且中国提供的绿色能源方案成本可控，更契合发展中国家的经济承受能力，能够加速绿色能源技术的普及推广。世界经济论坛近日援引国际可再生能源署发布的报告称，全球绿色产能需求保持快速增长态势。为进一步实现绿色转型目标，至2030年前，全球可再生能源装机容量每年需增长16.6%，特别是众多发展中国家对新能源产品的潜在需求巨大。伍德麦肯兹预计，未来10年，共建“一带一路”倡议下，巴基斯坦、印尼、越南、沙特

和马来西亚这 5 大市场的风光发电装机量将增至 120 吉瓦，需要投资 730 亿美元。在共建“一带一路”国家中，预计沙特的需求最高，太阳能和风能装机容量将分别达到 41 吉瓦和 13 吉瓦。未来，绿色低碳领域将成为“一带一路”能源投资无可争议的增长引擎。

4.2 投资项目注重普惠化深耕

国际能源署报告显示，2025 年全球仍有约 7.3 亿人无法获得电力供应，同时气候风险持续加剧，能源转型与国际合作迫在眉睫。共建“一带一路”倡议下，中国企业正以项目惠民、技术赋能、民生联动的模式，推动能源合作从基建输出向发展赋能升级。这种模式为发展中国家提供了成本可控、因地制宜的能源发展方案，通过建立南南合作技术转移网络，覆盖东盟、南亚、阿拉伯、中亚、中东欧、非洲及拉美国家，为发展中国家提供技术追赶和产业升级机会，形成从能源建设到就业增收再到能力提升的良性循环。如中企在南非的德阿风电项目、在哈萨克斯坦的多斯特克风电场项目等，这些项目在解决当地电力短缺问题的同时，还通过人才培养、民生配套等举措带动当地发展。未来，能源投资将更强调耐心资本投入，其中大项目引领能源升级、小项目破解民生痛点，通过技术、人才和管理经验共享，培育东道国本土能源产业，真正实现“授人以渔”的包容性增长。

4.3 效能提升依靠科技创新驱动

技术创新正成为“一带一路”能源投资的核心竞争力，数字化与智能化技术的深度融合，推动能源项目从传统基建向智慧生态跨越。国际能源署在其 2025 年 4 月发布的《能源与人工智能》报告中指出，AI 已成为能源行业效率提升的关键工具，其在勘探优化、电网平衡、运维预测等领域的应用可降低成本 15%~30%，延长资产寿命超 20%。当前，中国企业已将人工智能、大数据

技术广泛应用于海外项目，如华为为东南亚智能电网提供的 AI 调度系统、金风科技的风电 AI 运维平台，均实现了显著的效能提升。在技术创新层面，中国在光伏高效电池、风电大型机组、长时储能等领域持续突破，为特殊环境下的能源项目提供了定制化解决方案，已在多个国际大型工程项目中得到验证。同时，中国新能源标准国际化进程将加速推进，随着光伏逆变器、风电变桨系统等核心设备标准被更多的共建国家采用，区域设备兼容与互联互通水平将大幅提升。此外，随着数字孪生、区块链等技术的应用，能源项目全流程溯源与监管将实现全覆盖，进一步保障投资安全与运营效率。

4.4 风险治理覆盖全生命周期

随着“一带一路”能源投资的规模和复杂性不断提升，其所面临的政治、经济、法律、社会、环境等各类风险也日益凸显。面对复杂多变的国际环境，“一带一路”能源投资将更加重视系统性风险防控，着力构建覆盖项目全生命周期的风险管理体系。在实践中，中国企业已经积累了丰富的经验，形成了行之有效的风险管理机制，包括在项目前期进行详尽的可行性研究和尽职调查，充分识别和评估各类风险，在项目建设和运营过程中建立健全的内部控制和合规管理体系，确保项目运作符合当地法律法规和国际标准等。更重要的是，风险管理正从传统的、单一的项目层面，转向更加系统化、网络化的治理模式，这需要政府间协商、管理层协调、参与方协同，打造全方位的风险治理韧性网络能力，以保障重大能源项目在可控环境中实施，并具有“止损”能力。通过强化对各类风险的识别与管理，并利用多元化的金融工具和合作结构来分散风险，才能确保每一个重大投资项目都能可持续地运营下去，实现长久的商业成功与发展效益，共同构建韧性强、抗风险能力高的区域能源共同体。

国家标准、行业标准、团体标准计划项目征集（全年有效）

标准立项原则和重点：结合电力系统技术发展和工程应用的市场需求，针对符合国家产业政策方向、符合本领域技术发展方向，或有国家重大项目重大工程支撑的重点领域，提出新标准制定项目建议，重点关注智能电网、节能减排、智能制造、新能源、配电网、能源互联网等重点领域。

欢迎行业企业根据专业技术发展情况，结合实际工作需求，提出电力系统保护与控制设备方面的国家标准、行业标准、团体标准立项建议。相关申报材料（标准项目建议书/任务书和标准草案稿）请发送到标委会秘书处（E-mail: bwh@dlwg.net），秘书处将组织专家评审后择优申报。

联系方式：胡晓静，0374-3212604；18637469630

科技成果评价（鉴定）项目征集（全年有效）

项目申报原则和重点：项目应符合行业技术发展趋势，具有较高的技术创新性或在现有技术基础上有显著改进，技术层面成熟可靠，完成技术研发并经过实际应用验证，具有良好的推广应用前景，重点关注智能电网、新能源、环保技术、智能制造与自动化、新型电气设备与材料、电力系统保护与控制、设备检测与试验技术等重点领域。

申请鉴定项目要求已完成、不存在权属争议且技术资料齐全，项目申请人应为科技成果完成单位或个人。相关申报材料请发送到秘书处（E-mail: yaoqiangg@dlwg.net），随时申报、随时受理，欢迎各相关企业咨询申报。

联系方式：耿要强，0374-3213582；13837472026

ART-304——数字信号检测/校准装置

ART-304为电力系统数字信号提供检测/校准解决方案:作为数字信号校准源,可开展数字化数字信号精度校准;作为测试仪的测试仪,可开展数字化继保测试仪的型式试验、专项检测和到货验收;作为测试仪,可开展数字化设备的研发调试、型式试验、出厂验收和现场验收。ART-304操作简单,支持测试案例编辑和自动执行,适用于检测/校准机构、电科院、高校和制造企业等相关单位。



信号千万个，溯数字之“源”，实时校准
精准第一条，测试仪之“父”，闭环检测

ART-304 适用对象

- 1) 电力系统数字信号 (FT3/SV/GOOSE)
- 2) 数字化继电保护测试仪
- 3) 手持式继电保护测试仪
- 4) 数模一体继电保护测试仪
- 5) 合并单元测试仪
- 6) 数字化继电保护及自动化设备

ART-304 技术特征

<h3>高精度模拟量采集</h3> <p>支持多路交/直流电压、电流和小信号采集,精度满足0.05级,采样率可达50kHz。</p>	<h3>纳秒级精确时间戳</h3> <p>纳秒级精确时间戳,高精度记录和还原数字信号,实时分析和校准数字报文特性,如:采样率、采样间隔、采样延迟、同步性等。</p>	<h3>数字量误差设定</h3> <p>灵活模拟各种数字量误差,包括:有效值、瞬时值精度、采样同步精度、频率和谐波变化以及丢帧、错序、波形畸变、延时异常等。</p>	<h3>A/D误差设定</h3> <p>基于高精度模拟量采集、精确时间戳和高精度数字量发送,可按需设定模拟量和数字量之间任意通道的幅值误差(精度$\leq 0.05\%$)和相位误差(精度< 0.01分)。</p>
<h3>动作时间设定</h3> <p>基于动作事件及精确时间戳,高精度设定动作时间(设定范围1ms~100s,其中:SV/GOOSE延迟设定误差小于50ns,硬开出延迟设定误差小于50us)。</p>	<h3>时间源模拟</h3> <p>具备IGRI-B时间同步信号输出能力,支持IGRI-B信号的微秒级调整,可模拟同步信号的偏移、抖动和闰秒。</p>	<h3>网络风暴模拟</h3> <p>支持SCD导入和报文回放,可模拟订阅报文、非订阅报文、广播报文等各种工况下的网络风暴。</p>	<h3>案例编辑及自动测试</h3> <p>具备案例编辑模块,可根据测试对象的特点,编辑测试案例,支持测试案例的序列化保存和自动执行(包括结果自动判定)。</p>



地址: 河南省许昌市尚德路 17 号
 咨询电话: 0374-3212841
 邮编: 461000 网址: <http://www.ketop.cn>

KETOP 开普
 许昌开普检测研究院股份有限公司

电力系统保护与控制

Power System Protection and Control

《电力系统保护与控制》杂志社以“品牌策划”为核心，以“速度、微笑、帮助客户成功”为服务宗旨，为客户提供包括 EI 期刊广告、会议会展服务、微信公众号策划运维、视频制作、网络营销、活动策划等一体化宣传方案，为客户量身定制 360 度营销策略。



杂志 MAGAZINE

《电力系统保护与控制》
《Protection and Control of Modern Power Systems》



网站 WEBSITE

电力系统保护与控制网站



微信 WECHAT

电力系统保护与控制公众号
电力系统保护与控制视频号



会议 MEETING

中国智能电网学术研讨会
电动汽车充换电与驱动系统学术研讨会



2025 年广告一体化征订开始啦!

品牌专线 : 0374-3360297 0374-3218661
E-Mail: zzskhfwb@vip.163.com
联系人 : 张娴 186-9735-6652



微信公众号



微信视频号