

工业和信息化部节能与综合利用司指导

中国工业节能与清洁生产协会主办

2021年6月第3期（总第58期）



INDUSTRIAL ENERGY
CONSERVATION AND CLEANER PRODUCTION
倡导绿色工业 服务节能减排

工业节能与清洁生产

INDUSTRIAL ENERGY CONSERVATION AND CLEANER PRODUCTION

010000111100101001000000010000111111001001010101010010

0100001111001010010000000100001111

“单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备
及应用”技术成果鉴定会圆满完成





中国工业节能与清洁生产协会（以下简称协会）是经国务院批准、工业和信息化部业务指导、民政部登记注册、中央和国家机关工委党建管理的国家级行业协会。协会秉承为工业企业服务、为节能减排事业服务的使命，致力于成为中国在节能减排、环境保护与清洁生产领域最具公信力、影响力和带动力的行业组织。协会目前拥有包括中央企业、世界 500 强、民营科技型企业、科研机构等单位在内的会员企业 800 多家，覆盖节能、环保、钢铁、建材、能源、电力等众多领域。协会拥有由两院院士和在行业领域具有较高知名度、较深科研水平、较强管理经验的学术带头人、技术负责人和项目管理人组成的 500 多人的专家顾问团队，形成了咨询研究、会展论坛、技术推广、科技标准、业务培训、国际交流、信息服务、项目申报等核心业务。协会的目标是努力把协会办成政府在节能环保领域的智囊和参谋助手，成为行业技术标准的制定者和引领者，成为技术成果转化的推动者和实践者，成为真正能为会员解决问题、提供支持帮助的服务能手，积极发挥政府和企业之间的桥梁与纽带作用。



卷首语

积极搭建合作共赢平台 为“30·60”双碳目标贡献力量

最近，碳达峰、碳中和成为网络热词和社会关注热点。碳达峰、碳中和是指二氧化碳排放由快到慢不断攀升、到达年增长率为零的拐点后持续下降的过程，直到碳排放量与碳清除量相抵，实现碳中和。

我国高度重视推动碳达峰、碳中和目标的实现。自 2020 年 9 月以来，习近平总书记先后多次在重要国际场合就“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”做出庄严承诺，这一重大气候政策的宣示擘画出中国实现“30·60”目标的时间表和路线图，展现了我国在应对气候变化领域的负责任态度和高效行动力，彰显出我国积极参与国际治理、并以坚定信心和实际行动推动构建人类命运共同体的磅礴力量和大国担当。

在随后的中央经济工作会、中央全面深化改革委员会、中央财经委员会、中央政治局集体学习等会议上，习近平总书记进一步做出重要指示，指出实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的社会经济系统性变革，要纳入生态文明建设的整体布局，需要全民族的共识和全社会的行动，须拿出抓铁有痕、踏石留印的劲头，推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上。

后疫情时代绿色复苏已成为越来越多国家的共识，绿色低碳发展将为未来合作共生带来更多机遇和动力。我们中国工业节能与清洁生产协会作为国家及行业协会，将以此为契机，紧跟国际绿色复苏动向、紧扣国家政策方向，紧贴企业需求、技术创新、绿色金融，深入解读国家政策法规，研讨亟待解决的热点难点痛点问题，推动更多机构、更多业界同仁共同参与，共同探索产融政策、技术路线与商业模式，为政府决策以及行业企业发展提供权威参考，为推动经济社会发展全面绿色转型增智赋能，为实现中国“30·60”双碳目标贡献力量。



目录

Contents

CHINA INDUSTRIAL ENERGY CONSERVATION
AND CLEANER PRODUCTION ASSOCIATION

工业节能与清洁生产
2021年6月第3期 (总第58期)

特别报道

- 03 “单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备及应用”技术成果鉴定会圆满完成

要闻

部委动态

- 04 节能与综合利用司部署工业节能与绿色标准研究工作
- 04 节能与综合利用司组织研讨工业企业和园区绿色微电网建设思路
- 05 节能与综合利用司组织召开工业低碳行动方案研讨会
- 05 节能与综合利用司开展工业节能与绿色发展重点工作调研

省市动态

- 06 贵州组织召开固体废物污染环境防治法宣贯会
- 07 萍乡市工业资源综合利用的典型做法和经验

会员动态

- 08 东方电气集团与中国能建签订战略合作协议

- 09 直面挑战 突破瓶颈 施耐德电气：以数字化储能电气系统，助力源网储荷协调发展
- 09 中国节能与生态环境部政研中心签署战略合作协议

产业报道

- 10 雷茨空气悬浮离心风机系统 - 雷茨智能装备（广东）有限公司
- 12 工业节能之余热回收利用 - 洛阳利尔功能材料有限公司
- 16 压缩空气系统节能技术和综合能源智慧管理系统 - 中竞同创能源环境科技集团股份有限公司
- 19 清洁高效铜电解新技术 - 阳谷祥光铜业有限公司
- 22 重庆气矿节能技术应用 - 中石油西南油气田分公司重庆气矿
- 25 超高效三相永磁同步电动机在工业领域应用方案 - 安徽明腾永磁机电设备有限公司
- 28 让每一台电机都装上节能的翅膀 - 瑞昌市森奥达科技有限公司

研究

- 31 碳达峰、碳中和背景下电气化对钢铁工业节能低碳与清洁生产影响的研究 - 冶金工业规划研究院

“单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备及应用”技术成果鉴定会圆满完成

本刊讯 (记者 高雅) 2021年6月4日，中国工业节能与清洁生产协会（以下简称“协会”）在北京组织召开了由必奥新能源科技有限公司（以下简称“必奥公司”）研发的“单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备及应用”技术成果鉴定会。中国工程院院士周守为，农业农村部原总农艺师、中国合作经济学会会长孙中华，中国石油化工集团有限公司副总工程师王子宗，农业农村部沼气科学研究所总工程师邓良伟，中节能生态产品发展研究中心副总经理袁宝荣，中国农业大学生物质工程中心副主任董仁杰，河北省农业科技发展中心研究员赵凯出席会议，并组成了本次鉴定专家委员会，周守为院士担任专家委员会主任。

十二届全国政协委员、中国工业节能与清洁生产协会会长王小康致辞指出，协会是为企业开展科技服务和科技成果应用转化的服务者和推动者，有义务和责任积极支持服务绿色低碳的技术创新发展，推动工业绿色低碳先进技术、产品和装备的市场应用推广，进而引导企业加强核心关键技术研发，提升节能环保装备技术水平，加大先进实用新技术的推广力度，促进工业的绿色低碳发展。

周守为院士主持了鉴定会议，必奥公司详细介绍了“单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备及应用”项目的工艺技术、高效菌群、管理模式等方面的创新性，以及项目的经济、社会、环境效益，分析了应用推广领域的前景。农业农村部沼气科学研究所质检中心有关专家介绍了现场检测、取样分析的情况：容积2500 m³的单体发酵装置容积产气率可达6.1m³/m³·d，原料挥发性固体（VS）产气率达0.605m³/kg，产气效率高；沼液营养指标（总养分）、卫生指标、重金属指标所检参数均符合NY/T 2596-2014《沼肥》标准要求；以沼渣为原料生产的有机肥料符合NY

525-2012《有机肥料》标准要求，施用安全有效。鉴定工作组汇报了该项科技成果查新情况：经中国化工信息中心国内外范围的检索查证未见相同的研究成果公开报道，本项目具有新颖性。

专家委员会认真审阅材料、听取汇报，与项目组进行了质询、答疑，经讨论，专家委员会一致认为必奥公司在技术上不断创新，成功研发了单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术与装备，以黄秸秆为原料，经厌氧发酵生产生物天然气、有机肥料等产品，实现废弃物资源循环利用，解决了针对农作物单一黄秸秆处理这一行业难题，同时通过几年的商业运营，项目具有良好的环境效益、社会效益、经济效益，对我国2060年农作物秸秆综合循环利用实现碳中和目标具有积极的贡献，保守估计单个标准化项目每年可减排35万吨二氧化碳。

专家一致同意“单一黄秸秆干式横向塞流生物发酵成套技术装备及应用”通过技术成果鉴定，认为该成果整体处于国际先进水平，黄秸秆沼气发酵容积产气率处于国际领先水平，建议加快该项目成果的推广应用。



鉴定会现场

部委动态

节能与综合利用司部署工业节能与绿色标准研究工作

本刊讯 为充分发挥标准的规范引领作用，健全工业节能与绿色发展标准体系，做好 2021 年工业节能与绿色标准研究项目征集工作，2021 年 4 月 26 日，节能与综合利用司在北京组织召开工业节能与绿色标准研究项目工作会，部标准化委托机构、部标准化工作组和有关标准化技术委员会、研究机构等参加会议。

各部标准化委托机构、部标准化工作组分别汇报了工业节能

与绿色标准研究项目进展和标准体系建设情况。节能与综合利用司负责同志介绍了 2021 年工业节能与绿色标准研究项目征集有关要求，强调突出需求导向，聚焦重点行业领域，加强基础研究，提出各领域重点研究项目清单计划，加快标准制修订进度，统筹推进标准宣贯。（工信部网站）

节能与综合利用司组织研讨工业企业和园区绿色微电网建设思路

本刊讯 为研讨推进建设工业企业和园区绿色微电网思路，促进进一步提升工业能源利用效率和可再生能源利用比例，2021 年 4 月 27 日，节能与综合利用司在北京召开工业企业和园区绿色微电网建设座谈会，来自行业协会、研究机构和有关企业的专家和代表参加会议。

会议围绕工业企业和园区绿色微电网建设的目标方向、技术

路线、商业运行模式以及难点堵点等进行了交流讨论。节能与综合利用司负责同志介绍了工业企业和园区绿色微电网建设有关工作思路，强调要聚焦优化工业领域能源结构、提升能源利用效率和提高可再生能源利用比例，通过建设微电网实现分布式可再生能源、余能余热利用、储能装置、能源信息化管控等系统集成，促进工业节能与绿色发展。（工信部网站）

节能与综合利用司组织召开工业低碳行动方案研讨会

本刊讯 为加快推进工业领域碳达峰碳中和相关工作，编制好工业低碳行动方案，2021 年 5 月 21 日，工业和信息化部节能与综合利用司在京召开工业低碳行动方案研讨会，听取有关方面对方案的意见和建议，北京市经济和信息化局、天津市工业和信息化局、中国钢铁工业协会、中国社会科学院、中国建材集团等 18 家单位的专家参加会议。

参会专家分析了当前工业领域碳排放现状及存在的问题，围

绕构建低碳工业体系、提升工业用能低碳化水平、实施绿色制造工程、研发推广低碳工艺技术、重点行业低碳发展路径等进行了交流讨论。下一步，工业和信息化部将深入贯彻党中央、国务院关于碳达峰碳中和工作的决策部署，进一步强化顶层设计，做好工业领域碳达峰碳中和工作，加快推进工业绿色低碳转型。

（工信部网站）

节能与综合利用司开展工业节能与绿色发展重点工作调研

本刊讯 2021 年 5 月 25 日至 26 日，工业和信息化部节能与综合利用司有关负责同志带队赴广东调研绿色微电网、高效变压器等节能与绿色技术发展与应用情况。调研组调研了易事特集团有限公司、广东海鸿电气有限公司、南网综合能源服务公司等节

能装备制造、节能服务企业，以及东莞松山湖综合能源站、广州电信环市西数据中心综合节能改造项目等，围绕绿色微电网和高效变压器等节能与绿色技术发展与应用现状、存在的问题和困难等，与有关企业进行座谈。（工信部网站）

省市动态

贵州组织召开固体废物污染环境防治法宣贯会

本刊讯 本刊讯 2021 年 3 月 25 日，贵州省工业和信息化厅在贵阳市组织开展固体废物污染环境防治法宣贯会。贵州省工业和信息化厅、税务局、生态环境厅以及各市州工业和信息化主管部门负责同志，中国环境科学研究院等机构及相关企业代表参加会议。工业和信息化部节能与综合利用司尤勇副司长出席会议。

尤勇介绍了固体废物污染环境防治法出台的重大意义，分析了当前工业固废减量化资源化面临的新形势和新问题，并结合法定职责提出了下一步工作举措。强调要深入贯彻习近平生态文明

思想，强化责任担当，认真履行法定职责，建立上下一体的固废法贯彻落实协同推进机制，做好固体废物污染环境防治法的贯彻实施，切实推动工业绿色高质量发展。

会上，中国环境科学研究院专家对固体废物污染环境防治法进行了解读。贵州省政府有关部门、行业协会、有关企业等围绕工业固废减量化资源化管理政策、技术标准、产业实践等方面进行了交流分享。（工信部网站）

萍乡市工业资源综合利用的典型做法和经验

本刊讯 萍乡市加快建设工业资源综合利用基地，大力推广应用工业废弃物综合利用技术和装备，积极探索工业资源综合利用产业发展的有效途径，不断提高工业资源综合利用水平。

（一）大力发展废瓷综合利用。萍乡市作为全国首批海绵城市建设试点，充分发挥工业陶瓷主产区的特点，大力推广应用废瓷生产透水砖、渗水混凝土等技术，培育了一批以龙发实业股份有限公司为标杆的骨干企业，生产的产品不仅在本地海绵中被大量使用，还远销全国各地。目前萍乡市共完成 6 个项目片区 166 个项目建设。

（二）加快推进工业固废回收利用。积极引导企业加强冶炼、煤矸石等固废集中专业化管理。萍乡萍钢安源钢铁有限公司生产过程产生的转炉钢渣、高炉水渣、除尘灰、氧化铁皮、副产石膏等综合利用率均达到 100%。联达冶金回收利用钢渣生产透水砖和渗水混凝土系列产品，生产矿渣超细粉，应用于装配式建筑、

高铁轨道板、超高强度桥梁等工程建设。煤矸石产砖企业采用双极真空挤砖机挤出成型，一次码烧工艺技术，在提升生产效率的同时不但能够节能降耗，而且还能起到保护环境的良好效果。

（三）推动传统水泥行业绿色升级。萍乡市通过引导企业产生的粉煤灰、炉渣等固废经合理掺入可以改善水泥性能，该技术近年来被广泛地应用于本地水泥生产行业。通过将废弃物循环利用过程融入绿色技术，打造水泥绿色制造模式，既能代替粘土节约自然资源降低水泥生产成本，又能使产生的粉煤灰、炉渣全部实现综合利用。

目前，萍乡市共有资源综合利用企业 167 家，其中利用煤矸石企业 86 家、粉煤灰企业 18 家、冶炼废渣企业 14 家、废陶瓷企业 45 家、燃煤炉渣企业 8 家，其它企业 19 家。2020 年一般工业固废综合利用量为 1289.9 万吨，综合利用率达到 89.2%。（工信部网站）

会员动态

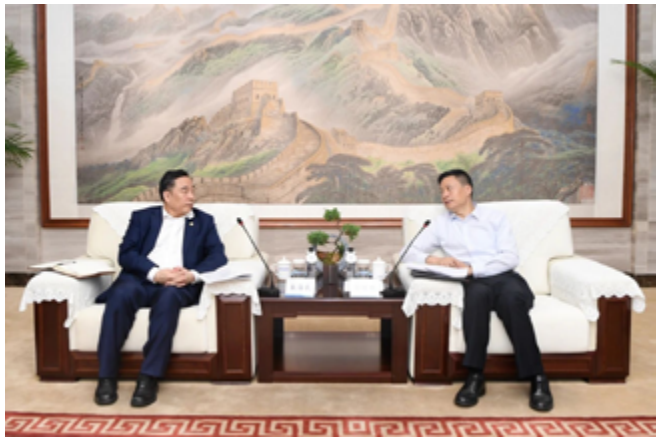
东方电气集团与中国能建签订战略合作协议

本刊讯 5月29日，中国东方电气集团有限公司与中国能源建设集团有限公司在蓉签订战略合作协议。东方电气集团党组书记、董事长俞培根，中国能建党委书记、董事长宋海良共同见证签字仪式。东方电气集团党组成员、副总经理张彦军，中国能建党委常委、副总经理吴春利代表双方签字。



双方表示将立足新发展阶段，贯彻落实新发展理念，融入新发展格局，积极践行“四个革命、一个合作”能源安全新战略，发挥产业链上下游优势，在清洁低碳能源项目开发建设、设备成套服务、新能源资源获取、科技创新、环保和新兴产业、金融投资、国际合作、信息共享等方面开展全方位、多领域合作，共同推动

我国绿色能源发展迈上新台阶，全力以赴服务国家“碳达峰、碳中和”目标的实现。



签约仪式前，双方进行了座谈交流。

俞培根介绍了东方电气集团生产经营、十四五规划和新能源产业发展等方面的情况，对中国能建长期以来给予的支持和帮助表达感谢，对双方进一步开展深入务实合作，推动能源建设项目落地，在打造原创技术策源地、现代产业链链长等方面实现互补和联合表达了期待。同时表示东方电气集团将继续发挥自身创新优势，加快推动绿色低碳清洁能源技术开发，助力双方做强做优做大，携手助推我国能源行业转型发展和装备制造产业链升级。

宋海良对东方电气集团长期以来的关心和支持表示感谢，介绍了中国能建经营管理和十四五规划等有关情况，表示双方在科技创新、一体化项目等方面具有很强的互补性，拥有良好的合作基础和长期的合作友谊，期待以本次战略合作为契机，开展更广泛、更深层次、更高效的务实合作，携手抓住能源革命和高质量发展带来的历史机遇，共同迎接“碳达峰、碳中和”目标的重大挑战，打造央企合作的标杆和典范。（东方电气）

直面挑战 突破瓶颈 施耐德电气：以数字化储能电气系统，助力源网储荷协调发展

本刊讯 近日，为探讨“双碳”目标给储能市场带来的新变化、能源转型发展新格局给储能行业带来的影响以及储能价值市场机制建设的推动。中国化学与物理电源行业协会储能应用分会（以下简称“储能分会”）在杭州举办了“坚守储能安全底线，推动产业创新发展”为主题的“第十一届中国国际储能大会”。作为全球能源管理与储能领域数字化转型的领导者，施耐德电气受邀参与了本次活动。

在本次活动中，施耐德电气凭借着在赋能储能行业发展方面所取得的积极成果，入选储能分会副理事长单位并荣获了“2021年度中国储能产业最具影响力企业”奖项。与此同时，施耐德电气能源管理低压业务行业市场负责人赵天意被任命为储能分会副理事长、施耐德电气能源管理低压业务行业应用与创新总监张翼

被任命为储能分会技术委员会委员。这一系列殊荣和任命不仅是行业协会对施耐德电气行业领先地位的认可，也是施耐德电气在储能行业技术先进性和理念前瞻性的最佳体现。

截至2020年底，我国新能源发电装机容量已占到全国发电总容量的41%。随着我国“双碳”目标的提出以及国家能源转型发展新格局的形成，这一比例还将继续提升。在此背景下，储能作为支撑源网储荷协调发展的关键技术，其发展质量将直接影响到我国未来能源、工业、经济等多个领域的发展。由于储能系统应用场景涵盖“发、输、配、用”多个环节，面临着能流多向、操作频繁、长期投资、安全要求高等多重挑战，如何在保证电力设备和系统安全性的基础之上，增强储能设施全生命周期可靠性、提升管理效率，优化投资回报率，是目前行业最亟需解决的问题。（施耐德电气）

中国节能与生态环境部政研中心签署战略合作协议

本刊讯 5月31日下午，中国节能环保集团有限公司与生态环境部环境与经济政策研究中心（以下简称“政研中心”）在节能大厦签署了战略合作协议。集团公司党委副书记、总经理余红辉，政研中心党委书记、主任钱勇共同见证签约。

余红辉表示，中国节能是践行国家“生态优先、绿色发展”政策的主力军和实现“双碳”目标的重要力量，希望与政研中心加强合作，共同践行习近平生态文明思想，深入贯彻绿色发展理念，遵循“产研合作、优势互补、相互促进”原则，积极发挥各自优势，建立长效合作机制。

钱勇表示，政研中心将充分发挥国家生态环境保护宏观决策

及管理支持方面的相关作用，共享专家资源，与中国节能共同致力于推动生态环境领域综合政策研究等领域能力的提升。（中国节能）



雷茨空气悬浮离心风机系统

雷茨智能装备（广东）有限公司

企业简介

雷茨智能装备（广东）有限公司（以下简称“雷茨”，原名东莞锐天机电科技有限公司）成立于 2011 年，是专注节能风机研发、生产、销售的国家高新技术企业，已经为世界 500 强在内的全球数千家企业提供超过 10000 套以上的节能风机系统解决方案。

雷茨立足工业 4.0 的大趋势，旗下“雷茨”系列空气悬浮高速离心风机、磁悬浮高速风机和“探索者”系列风机等产品，传

承德国节能风机核心技术，从研发到生产全流程高精尖质量品控，成为全球中高端客户的风机全案设计供应商和全生命周期服务商。雷茨风机在世界各国被广泛用于污水处理曝气、鼓风干燥、表面处理、食品医药、酒水饮料、汽车工业、电子半导体、气力输送等行业。2020 年，德国 RAETTS GmbH 与东莞市锐天机电科技有限公司合作，正式在中国成立子公司——雷茨悬浮科技（广东）有限公司，开启了雷茨的亚太地区全新事业版图。

雷茨空气悬浮离心风机技术情况

雷茨空气悬浮离心风机是一种全新概念的风机，它融合空气悬浮轴承技术、超高效永磁同步电机、航空铝合金叶轮、世界独创电机冷却技术、二级空气压缩技术等五大核心科技，开创了超高效率、低噪音、低能耗的风机产品新纪元。因为没有物理摩擦，长期无需维修保养，寿命可达半永久。

（一）技术优势

1、超高效率

三元流涡轮设计，风机效率高达 87%，转速是 40,000-50,000 转 / 分（传统罗茨风机只有 55~60%，转速为 1,000-2,000 转 / 分），稀土永磁高速电机效率高达 96%（普通电机效率只有 89%），国家一级能效 IE4 级别，刷新了行业新顶点。

2、半永久寿命

空气悬浮轴承，无需油膏润滑，只是单纯的空气输送，使用寿命可达半永久。采用世界独创电机冷却技术，在任何条件下都可以保障发动机的输出效率，降低发动机温度。没有轴承控制器，没有接近传感器，接线简单，故障率低，寿命长。

3、超低噪音

由于没有机械性摩擦，无机械性震动，它的噪音控制在 75 分贝以内，而传统风机的噪音大于 100 分贝，国家对噪音污染的管控越来越严格，雷茨的诞生也为企业在环保上大大提高了竞争力。

4、超高性价比

永磁电机的效率高达 95%-96%，经实际使用案例测算，雷

茨空气悬浮离心鼓风机对比罗茨风机能够节约 35%，一年就可以收回投资成本。节能就是创造价值！例如一台 100KW/H 的电机，一年可以节约 100KW/Hx35%x24 小时 x365 天≈ 30.6 万度电，工业用电按 1 元 / 度，一年可以节省 30 万元。

（二）应用领域

广泛应用于污水 / 废水处理工程（污水水输送空气 /GRIT、

BACKWASH 反冲洗领域）、原材料加压输送（粉磨或颗粒状原材料输送）、食品及药品处理工程（简化物及饮食类、药品等输送 / 制造）、金属处理工程（贴 / 非铁输送及散热处理、污泥干化处理）火力发电【煤炭粉磨 /FY-ASH、燃料气体输送（OXIDATION）】、水泥行业、化工行业、半导体行业酿造行业、生物制药行业、发酵行业、造纸行业、纺织印染行业等。

雷茨空气悬浮离心风机应用案例

河北雪川食品有限公司（以下简称“雪川食品”）始创于 2012 年，位于河北张家口市，是集马铃薯研发、种植、生产、加工、储运、营销为一体的马铃薯全产业链企业。公司注重环境保护，工厂的废弃物处理采用生物发酵技术，年处理废弃物 3 万吨，生产 680 万立方沼气，用于生产供热替代燃煤 6500 吨。年生产沼渣有机肥 1.2 万吨，沼液有机肥 20 万吨。

项目改造前，雪川食品采用两台 75kW 和一台 55kW 罗茨风机进行鼓风曝气污水处理，经过雷茨技术人员现场计算后，决定选用两台 110kW 空气悬浮离心风机替代原有罗茨风机。

改造前采用罗茨风机，总运行功率约 190kW，改造后采用雷

茨空气悬浮风机，总运行功率控制在 160kW，全年不间断开启，每年省电约 25 万度。传统罗茨风机的效率在 50%-85%，雷茨空气悬浮风机的效率在 97% 及以上，雷茨风机具有超高效率超低节能特点。

经过改造，在完全满足原有气力输送系统需求的状况下，雷茨空气悬浮风机实现了大幅度的节能效果，同时节约大量的人工维护成本，机房噪音降低到 75 分贝，符合最新环保部门要求的噪音排风标准。大大降低了工厂的运营成本，为企业在市场竞争中取得更大的优势。

小结

雷茨把客户的难点痛点作为产品研发的主要方向，并将为客户创造价值和提升客户的核心竞争力放在第一位，从而实现雷茨的可持续发展。雷茨自成立至今，为德国、韩国、西班牙、意大

利等全球客户提供超过 10000+ 套的风刀系统及风机问题解决方案，每年为用户节约电费超过 50 亿元以上。



工业节能之余热回收利用

洛阳利尔功能材料有限公司

洛阳利尔功能材料有限公司（以下简称“洛阳利尔”）是北京利尔高温材料股份有限公司投资建设的全资子公司，位于河南省洛阳市伊川产业集聚区东园。公司主营业务为年产 40 万吨高纯耐火原料及系列制品，主要生产应用于建材、有色冶金、煤化工、钢铁冶金等高温行业的氧化铝复合材料、高纯活性氧化铝微粉、高效节能不定形（含散装料和预制件）耐火材料、功能性透气元件、

RH 炉成套装置以及煤化工用高级热陶瓷制品等。

洛阳利尔自成立之初就将环保理念、绿色发展理念和智能化制造理念融入生产管理全过程中，积极采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，开展节能设计和技术改造，于 2020 年入选国家第五批绿色制造名单。公司在工业节能，尤其是余热回收利用方面卓越成效。

☑ 窑炉余热利用

洛阳利尔设有主要生产高效节能不定形散状料和预制件耐火材料产品的高效节能车间。公司在设计之初就引入余热利用方案，如将隧道窑烧成工序产生的余热引入高纯氧化铝微粉产品砖坯干燥工序加热系统，将高温隧道窑产生的余热引入机压定型制品（包括 RH 砖、RH 浸渍管、铝镁碳砖和煤化工用定型耐火制品）养护、干燥工序加热系统，将干燥工序产生的余热引入预制件产品养护工序加热系统。

以制取高纯氧化铝微粉为例，洛阳利尔采用国内最先进的“均化 + 制坯 + 隧道窑烧成”的生产工艺，该生产工艺与传统的“匣钵 + 粉体 + 隧道窑烧成”或者“粉体 + 回转窑煅烧”的生产工艺相比，

在产能上有显著优势。公司的主要煅烧装备是目前国内氧化铝微粉生产厂家中产能最大的隧道窑之一，其产能是国内其他类型隧道窑产能的 2 倍。最先进的生产工艺和最出色的装备提高了煅烧过程中的转相率，大大降低了成品中氧化钠等杂质含量，保障了高纯氧化铝微粉的优异质量。值得指出的是，公司还采用了先进的自动控制系统、烧嘴燃烧系统、隧道窑节能保温系统等，可充分利用隧道窑烧成工序产生的余热干燥高纯氧化铝微粉产品砖坯，有效降低了天然气能耗量，经计算，公司吨产品天然气消耗是其他生产厂家的 70% 左右。



干燥窑及排烟管路



干燥窑排烟管道将余热送往养护窑

图 1：高效节能车间干燥窑余热利用



冷却带抽热风管进入风机进风管



冷却窑预热引入干燥窑进风主管道

图 2：高纯微粉车间隧道窑余热利用



隧道窑排烟管道将余热分送至高铬砖干燥窑及 RH 浸渍管干燥窑



隧道窑余热输送至 RH 浸渍管养护及干燥窑管道

图 3：机压定型制品车间余热利用

☑ 空压机余热回收利用

空压机余热利用是通过换热器与螺杆空压机油路连接，实现油 - 水换热，从而达到水温升高，同时冷却油路利于空压机散热。洛阳利尔针对生产过程中空压机存在的余热余能的浪费现象，积极实施空压机余热回收利用项目，建立了一套完善的能源综合利用方案，既为公司员工生产提供洗澡用热水，又减少了冷却器风机的工作时间，降低了空压机的耗电量，进而延长了空压机的使用寿命。据统计，公司空压机余热回收利用项目每年可节省电

52.416 万度，折合标煤 68.42 吨标煤。

（一）空压机的工作原理

螺杆式空气压缩机的工作过程分为吸气、密封及输送、压缩、排气四个过程。当螺杆在壳体内转动时，螺杆与壳体的齿沟相互啮合，空气由进气口吸入，同时也吸入机油。齿沟啮合面转动时将吸入的油气密封并向排气口输送，在输送过程中齿沟啮合间隙逐渐变小，油气受到压缩。当齿沟啮合面旋转至壳体排气口时，

较高压力的油气混合气体排出机体。

当空压机连续运行时，压缩机主体和机油温度都会升高。空压机机油在空压机系统中不仅起润滑、防锈、清洁、密封和缓冲等作用，还起到冷却的作用。当机油温度达到一定程度时（如80℃），风机开始运行，用以降低主机工作温度。风机运行一段时间，机油温度下降，当机油温度低于75℃时风机停转。

空气压缩机输入的电能用于通过强烈的压缩将原动机的部分机械能转化成气体的压力能，这一过程在生产高压空气的同时排放大量压缩热，这部分热蓄积在机油、油气和机体上，被风机带走并排放到环境中。其中，机油及油气带走的热量约为75%，压缩空气带走的热量约为10%，空压机机体带走的热量约为5%，不可回收的电能消耗约为10%。

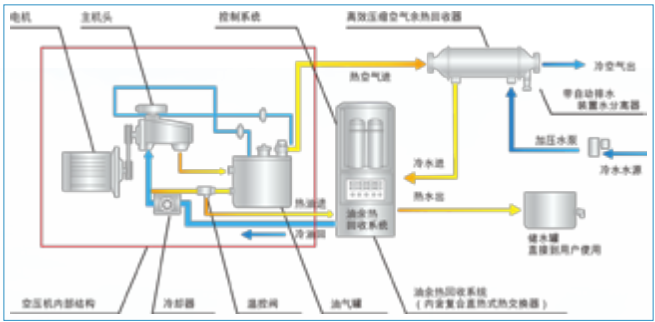


图 4：空气压缩工作原理图及能量回收利用原理图

（二）空压机余热利用方案

空压机排出机体的油气混合物温度一般高达80℃-95℃。如果热量不能及时排出，会对设备造成严重的损坏，影响产气效率，达到油温上限时还会造成保护性停机。因此，空压机需同时配置风冷或水冷系统进行降温。这个强制降温的过程，实际上也是能量浪费的过程。余热利用实施改造不但可以最大限度地回收能量，减少能耗，还能提高空压机的产气效率，延长空压机设备寿命。

1、空压机余热回收利用方案设计

空压机余热回收主要通过在原有油路管道中接入换热器的途径来实现。洛阳利尔通过在空压机机油冷却回路上加装三通电动

阀，将机油管路引出，即将空气压缩机的机油冷却装置外置，将原风冷系统改造为水冷系统。为了提高安全系数，原风冷系统继续保留，作为备用冷却系统。经油气分离后，分离出的高温气直接通往原有的气冷却系统，分离出的高温油则经温度感应器检测温度。若高温油温度低于76℃则不用进行热交换，直接通过过滤器通往油路循环系统；若高温油温度高于76℃，则需进行热交换后再进入油路循环系统。系统设置了保温水箱和储水箱分别作为供水水箱和用户水箱。除此之外，为了优化空压机余热回收利用系统，洛阳利尔设置了正常和紧急处理两种工作模式，制定了水质和防冻等一系列保证措施。

众所周知，水冷的效果优于风冷的效果，因此项目改造后不但不会影响空压机的正常工作，而且可以延长空压机运行寿命，减少机油消耗量和设备维护量。与此同时，水冷系统换热得到的中温水，可以作为洗澡水或其他生活热水，从而实现余热资源的回收利用。

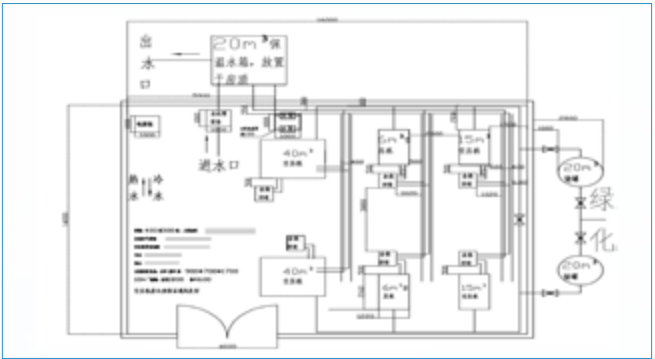


图 5：空压机余热回收利用系统示意图

2、效果评估

洛阳利尔空压机余热回收利用项目中，空压机余热回收率最低可达空压机负载功率的65%，回收效率为80%，回收的热能全部用来制取40℃-60℃热水。按空压机每天运行10小时计算，洛阳利尔空压机余热回收利用项目每年可节约103.90万度电，节省72.73万元费用。

图 6：空压机余热回收利用系统示意图

供热方式	燃煤锅炉	天然气锅炉	蒸汽加热	电锅炉	空气源热泵	空压机热泵
燃料种类	煤	天然气	蒸汽	电	电	无
环境污染	非常严重	无	不太严重	无	破坏臭氧	无
危险性	有	比较危险	比较危险	有	无	无
燃值	4300 kCal/kg	8500 kCal/kg	66 万 kCal/ 吨	860 kCal/KWH	860 kCal/KWH	800 kCal/KWH
平均热效率	64%	90%	82%	95%	350%	---
燃料单价	0.92 元 /kg	3.3 元 /M3	220 元 / 吨	0.8 元 /kg	0.8 元 /kg	无
吨热水耗料	16.35kg	5.88M3	0.082	55.085KWH	14.95KWH	无
吨燃料费用	15.1 元	19.4 元	18.2 元	44.00 元	11.96 元	无
人工费用	有	有	有	无	无	无
设备寿命	5-8 年	5-8 年	5-8 年	12-15 年	12-15 年	12-15 年

☑ 电熔炉烟气余热利用

（一）电熔炉烟气余热利用方案

洛阳利尔生产车间有两台3600KVA电熔炉，熔炼温度高达2000度以上，有大量余热可进行回收利用。为充分利用电熔炉生产过程中烟气热量，公司排布换热器，将电炉的余热引入到高效节能车间，用以预制件产品的养护及干燥。项目共投资99万元。

（二）效果评估

洛阳利尔有高效节能预制件养护窑3台、干燥窑4台，每天

工作时间为12h。3台养护窑每天天然气用量合计为298.8 m³，4台干燥窑每天天然气用量合计为588m³。改造后，养护窑和干燥窑全部采用电熔炉烟气余热供能，按照每立方米天然气3元、全年工作330个工作日计算，每年可节约87.8万元成本，1.13年即可收回投资成本，经济效益明显。

压缩空气系统节能技术和综合能源智慧管理系统

中竞同创能源环境科技集团股份有限公司

企业简介

中竞同创能源环境科技集团股份有限公司（简称“中竞集团”）是能源与环境可持续发展综合服务提供商，是国家高新技术企业，是国家发展改革委、工业和信息化部首批备案的节能服务公司，是国家工业和信息化部节能诊断服务机构、国家节能中心节能专家库成员单位、国家节能中心全国节能先进典型单位、国家工信部绿色制造系统解决方案供应商，是第一批全国工业领域电力需求侧管理服务机构，是北京市发展改革委节能减排和应对气候变化领域业务支撑单位；始终致力于节能、环保、新能源、应急管理四大业务领域，业务涵盖咨询服务、技术服务、产品服务、托管运营服务四大板块，为客户提供高

技术情况

（一）压缩空气系统节能技术原理及工艺

目前我国电机能效比发达国家低 3%-5%，但电机系统能效低于发达国家 10%-35%，由此可见，当前我国工业压缩空气领域节能侧重点依然在“单机优化”和“局部优化”，系统节能还未成为主流，节能空间巨大。在此背景下，中竞集团率先将北欧先进的压缩空气系统节能服务理念引入国内，并结合我国工业企业实际情况进行协同创新，将“大数据分析+云计算”技术引入压缩空气系统节能领域，从技术和管理两方面进行“精细化节能+持续化改进”，在 CDA(Compress Dry Air) 系统整体节能的同时为企业实现可持续的节能降耗并制定长期优化策略，帮助企业管理者降低运营成本，实现和保持节能效益最大化。此外，将“大数据”应用于工业领域，对于行业数据的积累和分析具有重要意义。目前该技术在国内处于领先地位。

经过整体 GreenCDA 服务流程，通常可为压缩空气系统实现年节电率 10%-35%。目前市场现有的空压机节能技术通常仍为传统方式，即“单机”优化或“单元”优化，采用系统节能方式提供整体节能服务的企业较少，该模式可谓是“互联网+”模式

品质、可信赖与系统化的综合能源服务。

中竞集团凭借自主创新、协同创新、融合创新三大技术体系，不断研发节能产品和技术，已成功引进数项欧洲先进节能技术并取得了 50 余项专利和软件著作权，起草和编制了 31 项国家、地方及行业标准，获得全国节能先进典型单位、太阳能中温热利用技术大会“技术创新奖”等多项荣誉，承建项目荣获北京市“节能减排全民行动教育示范基地”、“首都蓝天行动科技示范工程”称号、“能效领跑者节约型公共机构示范单位”“北京市绿色制造示范单位”“四川省首批绿色制造示范单位”等。



图 1：GreenCDA 智慧系统架构图

在工业节能领域的创新尝试，在国内同行业处领先地位。

（二）“能源大脑”——综合能源智慧管理系统技术原理及工艺

1、技术原理

“能源大脑”是基于大数据支持下的综合能源智慧管理系统，采用自动化、信息化技术和自上而下的顶层设计，对用能单位能源的购入存储、加工转换、输送分配、终端使用环节实施动态监测、统计、分析、控制和管理，实现能耗数字化、管理动态化、数据可视化、节能指标化的节能降耗管控一体化系统。

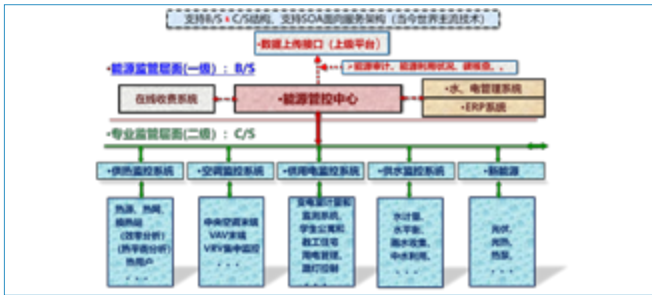


图 2：能源大脑服务构架

2、技术功能

能源管理：通过采集、监测和控制，实现能耗统计分析、对

标管理、预警报警、费用管理、考核公示、能耗报表、定额管理、设备管理、数据上报等功能，满足用能精细化管理要求，实现各级平台互联互通。

运行监控：对重点用能系统、区域和主要用能设备，采用智能化手段，根据节能控制策略自动调节用能系统参数进行节能优化控制。

智慧运维：通过多种方式对能耗数据、运行参数和环境参数进行实时采集，实现对用能单位的能源利用状况实时监测。

安全报警：运用 720°视频监控、图像识别、语音处理的技术实现安全报警功能，保证系统安全稳定运行。

应用案例分析

（一）压缩空气系统节能技术应用案例—北京京东方光电科技有限公司

本项目应用单位为北京京东方光电科技有限公司（以下简称“北京京东方光电科技”），北京京东方光电科技是国家级第四批绿色示范工厂，位于北京经济技术开发区的京东方显示科技园，是京东方科技集团股份有限公司下属子公司，是目前中国大陆唯一完整掌握 TFT-LCD 核心技术的本土企业。北京京东方光电科技始终坚持“绿色工厂”的发展理念，在提高能效、降低排放、节约资源等方面持续改进，通过严格的管理措施，对能源、水资源、“三废”排放进行有效管控，将可持续发展的理念融入工厂建设过程。

项目改造前，北京京东方光电科技压缩空气系统存在缺乏单独能源的计量及监控系统，空压机站房负压过大、系统缓冲能力不足、干燥机设备配置、控制模式不合理等状况。

通过安装 GreenCDA-Platform 智慧管理云平台对客户压缩空气整个系统的能效现状进行精确诊断，发现系统具有一系列运行不合理的问题，针对这些问题提出了对应的优化改造措施并分阶段进行实施，具体改造内容包括改善空压机站房通风系统、干燥机冷却气采用氮气冷替代、加装干燥机露点控制系统、安装 ES360 控制系统、缓冲系统优化、加装远程监控系统等。经改造，用能单位压缩空气系统得到了全面优化与提升，实现了系统运行数据的实时在线监测与分析，用能状况优化与远程监控。项目年平均节能率达 19%，年节约耗电量 695 万度，取得了良好的经济效益与社会效益。

（二）“能源大脑”技术应用案例—北京宝沃汽车有限公司

本项目应用单位为北京宝沃汽车有限公司（以下简称“北京宝沃”），北京宝沃是国家级第四批绿色示范工厂，北京宝沃在制造环节积极构建绿色制造体系，推动生产技术的绿色转型升级。根据加工工艺的不同，对数控加工中心的轴、泵、伺服电机进行智能精益配置，减少制造过程中的能源消耗，同时延长了系统的使用寿命，保证整车生产的绿色制造。通过应用基于数字化节能设备技术，以及智能化控制相关参数，宝沃汽车的制造过程能耗大大低于国家和地方政府规定的能耗指标。

中竞集团项目团队经过深入的现场调研，结合北京宝沃汽车有限公司生产能源管理业务需求，分析厂区的能源结构、生产系统、监测现状，发现生产系统存在数据独立存放，数据无法实时共享，形成了“信息孤岛”，缺乏对能源系统信息统一分析管理等问题，设计定制化的“能源大脑”——综合能源智慧管理系统，实现能效精细化管理、智慧化分析，提高能源管理效率，解决实时生产过程中能效分析、生产数据和能耗数据脱节的痛点，发现节能降耗的盲点，为领导节能决策提供有力的数据支持。

项目团队随后根据目前现状的分析给出“能源大脑”——综合能源智慧管理系统的建设方案，首先完善生产线能源计量体系，在关键位置更换高精度的能源计量表；建立能源数据监测系统，实现生产计量数据共享，建立能效监管可视化平台实现用能数据精细计量、用能数据实时采集、用能数据可视化管理，并根据其业务需求定制化设计新功能，大数据分析，让数据“慧”说话。

“能源大脑”——综合能源智慧管理系统建设完成运行后，能源管理处负责人反馈，自从平台运行以来厂区的能效精细化管理看得见，同时也提高了管理者和工人的工作效率；这套系统通过大数据对能源消耗的规律进行分析，挖掘节能空间，并通过集

✉ 小结

北京京东方光电科技有限公司使用了中竞集团的压缩空气系统节能技术，压缩空气系统节能项目经过系统监测、数据分析、系统节能改造实施、评价及效益分享四个阶段的滚动实施，项目年平均节能率达 19%，年节约耗电量 695 万度。此外，即时、详细的监测系统为精细化运营提供了可视化的管理工具，使系统智能化水平获得提升，节约了大量日常运营的人力，且智慧控制系统的预测、报警、自调整功能极大地提高了系统运行的安全系数。经过持续不断的优化，确保了节能效益的稳定提升。该项目已入选北京市发改委组织评选的《北京市 2018 年节能低碳技术产品推荐目录应用案例》，具有良好的示范意义。

控系统对设备进行控制，达到了节能降耗的目的；同时通过这套系统我们还提升了过程管理的透明度，树立了节能意识，有效地杜绝了能源浪费，为节能决策提供了数据支撑。

应用于北京宝沃的“能源大脑”——综合能源智慧管理系统是具有“绿色发展”示范意义的，其功能定位“能源管理、运行监控、智慧运维、安全报警”充分体现了结合工厂的工艺流程和能源管理需求，通过运用 5G、AI、大数据、物联网、云计算等新技术、新产品，从智慧节能出发，通过对能耗数据的分析管理，实现提高能源利用效率、降低能源消耗水平并与对整个系统化的能源系统能效效果进行监测、诊断和评价，查找能源系统存在的问题和浪费的原因，提出整改建议和改进措施，进一步发挥平台自身的节能管理的职能，对生产企业实现了节能降耗，增效提质的目标。

清洁高效铜电解新技术

阳谷祥光铜业有限公司

目前，国内大型铜冶炼企业普遍采用的永久不锈钢铜电解工艺可使电流密度达到 280-320A/m²。若进一步提高铜电解槽的生产能力，则需更高的电流效率和电流密度。阳谷祥光铜业有限公

✉ 技术介绍

金属电解过程中，金属析出的量遵循法拉第定律，在已有设备参数条件下，即一定的电积面积条件下，要想提高电析出的铜量，只有提高电流密度。当其他条件一定时，降低扩散层厚度是提高电流密度的唯一途径，其最有效的方法就是提高电解槽内电解液的流动速度。祥光铜业在追求高产能、高品质的基础上，更加注重清洁、高效、环保、节能，研发出了一种清洁高效的铜电解新技术——平行流电解技术，它可实现 420A/m² 高电流密度下的铜电解生产，可大幅提高产品产量率、降低产品的能耗。

该技术电解液的循环通过一种特殊的供液装置——平行流装置（PFD）来实现。整套 PFD 由进液装置、分流装置、定距装置三部分组成。进液装置的箱体呈扁平状，箱体上部的挂耳可将 PFD 固定在电解槽侧壁上。分流装置上分布有一定数量的喷嘴，能够很好地起到稳压分流的作用，且出液喷嘴的位置和尺寸进行了特殊设计，能够保证新电解液均匀稳定在极板的两侧平行、自然向上流动。在阴极铜析出的地方，新电解液直接作用于阴极板

司（以下简称“祥光铜业”）电解二期采用清洁高效的铜电解新技术，在同样 720 个电解槽的情况下，该工艺电流密度能够达到 385-420A/m²，常规电解相比，阴极铜产能可提高 50%。

面，骨胶、硫脲、盐酸等添加剂也直接随电解液导入阴极。电解液的平行流动不仅可以减少旁通流量，也使得电解槽内电解液的成分和温度分布更加均匀。同时，利用变频式循环泵直接给电解槽供液，可实现电解液的快速流动。电解液的流动速度加快，可有效地减小扩散层的厚度，进而实现电流密度的大幅提升和产能的提高。

需要指出的是，电解液的高速流动可能会导致阳极附近阳极泥的沉降出现问题，进而导致阴极上出现结瘤、树枝状结晶等，因此，电解液入口位置的选取和阴阳极板的定位选择十分关键。而平行流装置上特殊设计的三角模块和出液喷嘴对极板的排距起到很好的定位作用。出液喷嘴位于三角模块下部，阴极固定在每两个喷嘴之间，以保证阴极板和出液喷嘴之间相对位置的准确。出液喷嘴的独特设计与阴阳极板的精准定位，使得采用平行流电解给液很好地解决了阳极泥沉降的问题，而且还能够保证阴极铜的产品质量。

✉ 工艺参数设计与配置

（一）工艺参数

祥光铜业电解二期采用清洁高效的平行流电解技术组织生产，该系统工艺设计参数如表 1 所示。

表 1 平行流电解系统工艺设计参数		
名称	单位	指标
阴极铜产量	kt/a	250~300
年工作日	d/a	350
电流密度	A/m ²	385~420
电流效率	%	98
残极率	%	14~16

槽时利用率	%	93
电解槽数量	个	720
阳极尺寸	mm	960 x 100
阴极尺寸	mm	1010 x 1029
同心极间距	mm	100
沉积面积	m ²	1.0393
电解液循环量	L/(min · cell)	79~100
阳极周期	d	15~16
阴极周期	d	5/6/5 或 5/5/5
槽电压	v	0.3~0.5

(二) 车间配置

公司电解二期车间有两个系统。两个系统的配置、部署完全对称，机组位于两个系统之间。电解槽总数量 720 个，每 4 组为一个系列，共分八个系列 32 组。每个系统各四个系列 16 组，每组 22 槽或 23 槽，每两组由 1 台短路开关控制。车间配置两套剥片机组，一套阳极加工机组，一套残极加工机组，两台电解行车。

☑ 电解新技术攻关

由于电解二期引进新的铜电解技术，投产初期，从工艺管控、现场操作到设备运行都存在一定问题，但随着后续生产技术人员进行不断摸索与技术攻关，新工艺生产运行逐步顺利，产品质量保持稳定。

(一) 装槽技术攻关

平行流电解新技术下，电解槽内的 PFD 装置替代了常规电解的进液底管，出装槽作业时不能再沿用常规电解原有的装槽操作，需对电解装槽作业进行相应的调整和优化。工艺人员经过不断摸索与实践，总结出了一种新的铜电解装槽作业技术。装槽作业时，首先对 PFD 的状况进行检查，主要是查看喷嘴、三角模块与箱体的完好情况。然后对绝缘板、PFD 装置与电解槽的相对位置进行校正与调整。最后是阳极板与阴极板的装槽定位，先利用 PFD 的定距装置辅助进行定位，再人工进行精细调整。

上述作业可确保装槽后每块阴极和阳极两侧都有一个喷嘴与之对应，进而保证阴阳极之间的电解液能够快速循环更新。

(二) 电流密度攻关

前文已经提到，电流密度的提高主要通过降低扩散层的厚度来实现，而降低扩散层厚度的有效措施是提高阴阳极板之间电解液的流量。为此，针对电解液流量、电解液成分等关键工艺参数进行了试验。

1、摸索最佳的电解液流量与给液方式

分别对不同区间的单槽流量进行了试验摸索，最终确定了电解槽的电解液流量在 75-100L/min。同时，去掉高位槽，配备变频式循环泵。生产过程中，变频泵和电解槽给液之间设定了压力连锁，使电解液流量得到精准控制。平行流下部侧面出液、上部两端回液的方式可使电解槽内电解液迅速更新。上述调整与改变，既能够满足高电流密度铜电解过程对电解液流量的需求，又能够

其中，每套剥片机组配备 5 个机械臂替代了传统的链条运输。

另外，针对电解液的脱铜脱杂，车间净液系统还配套设计了一次脱铜和二次脱铜工序，一次脱铜工序有 10 个电解槽，二次脱铜工序有 90 个电解槽。净液系统能保持电解液中铜、酸与杂质浓度的平衡，确保了电解主系统的稳定与生产工艺的顺利运行。

使阴极铜产品质量得到保证。

2、设计新型液位调节器

随着电解液循环量的加大，电解槽两端电解液溢流时会出现回液不畅、向外喷溅的问题，对周围的备件造成腐蚀，也给现场安全环保带来问题。针对该问题，设计了一种新型液位调节器。该液位器分 A、B 两部分，两者配套使用，不仅可解决电解液回液不畅、向四周喷溅的问题，还可对电解槽液位进行有效调节，避免阴极铜液位线处容易出现的上口粒子问题。

3、摸索工艺控制

(1) 电解液成分的控制。随着电流密度升高，电解液中铜、酸浓度也需要实时调整。实际生产中，采取了高铜、低酸的工艺技术控制，含铜 48-56g/L、含酸 160-185g/L，氯离子 40-60mg/L。另外，尽可能将电解液中的杂质含量稳定在低限，电解液密度控制在 1.23G/cm³ 左右。

(2) 添加剂的加入。及时关注阴极铜的析出情况，根据铜质量情况对骨胶、硫脲等添加剂进行及时调整。配置一套专门设计的自动控制系统，添加剂可进行 24 小时连续、自动添加。同时，通过隔板将循环槽内部空间隔为 12 部分。每部分上下联通，有利于电解液的流动，进一步确保骨胶、硫脲的稳定添加。

(三) 电流效率攻关

为保证高电流密度铜电解时的阴极铜产品质量与电流效率，从以下几方面着手进行改进与提高。

1、提高阳极板的质量

从源头抓起，提高氧化还原终点判断的准确性；及时关注风管压力和流量的调控；加强对铜模、溜槽、电子秤等设备的维护；严格控制浇铸前的铜液温度和浇铸速度。上述措施有效解决了阳极板薄厚不均、超重超轻、毛刺、背筋、蜂窝、上部裂纹等问题，

为电解工序提供保障。

2、提高出装槽操作精度

加大操作人员的工艺培训力度，确保每位员工都掌握电解装槽技术。每天作业时给员工划分具体任务，每一槽责任到人，进而约束作业人员的工艺操作，提高员工的责任心。同时，加大检查力度，制定车间、工段、班组三级检查方案，每一级都有专人负责进行检查。以上措施，确保了装槽操作精度，进而稳定阴极铜的质量，提高阴极铜电流效率。

3、严控电解液的澄清度

出槽时，电解槽下部浆液进行两次压滤过滤，然后再通过净化过滤器进行处理。净化过滤器独特的过滤系统和处理能力能够有效保证溶液的澄清度，符合高电流密度电解条件。

4、加强日常工艺管控

严控电解工艺参数；及时排除板面粒子；加强对槽电压的检测；及时清洗极间触点；定期检查电解槽、绝缘板的绝缘性能；及时维修更换导电不良、板面弯曲、变形的阴极板；及时调整净液系统的脱铜脱杂，稳定铜、酸及砷锑铋等杂质成分。上述各项措施的实施，稳定了电解生产的顺利进行，确保了阴极铜产品质

☑ 工艺指标比较

祥光铜业电解系统主要工艺指标与常规电解主要工艺指标情况如表 2 所示，由于电解槽电压偏高，祥光铜业电解新技术阴极铜的交流电耗比常规电解的电耗高，但其蒸汽消耗几乎为零，所以电解综合能耗比常规电解工艺下降了 30% 以上，在产能、效率等方面的优势很明显。在同等建设规模的基础上，平行流电解新技术较常规工艺产能提高 50% 以上，电流效率稳定在 99.5% 以上，实现电流密度和电解产能的大幅提高。另外，由于出槽周期明显缩短，产品周转快，大幅提高了资金周转率。

☑ 结论

经过不断探索与攻关，祥光铜业电解二期采用的平行流技术工艺设备运行稳定，各项工艺指标均达到或优于设计水平，在世界同行业内均处于领先水平，标志着中国和世界的铜电解精炼工

量及各项指标的达成。

(四) 环保技术攻关

祥光铜业在研发新的电解技术时，就考虑到高效节能与清洁生产问题。围绕该问题，主要从以下几方面进行了攻关。

1、酸雾净化处理

采用密闭抽风净化、碱液喷淋等措施处理循环槽、上清液槽、浓密机、阳极泥储槽等各电解液储槽产生的酸雾，喷淋碱液的 pH 进行 24 小时连续检测，碱液的自动添加与 pH 检测设定连锁。酸雾处理后达标排放，处理后的酸雾排放检测值远低于环保要求标准值（20mg/m³）。上述措施的实施，有效地改善了现场作业环境，避免了车间周围区域环境的污染。

2、废水无外排处理

相对来讲，电解液系统为一个闭路系统。为使电解液成分均匀、稳定，则需保持电解液系统的平衡与稳定。因此，酸雾净化产生的废水、暖通冷凝水等生产废水需要进行开路处理。随着近几年生产的不断优化，电解产生的所有废水可全部在系统内消化，不再进行开路处理，做到了电解废水零排放和废水的回收利用。

表 2 主要工艺指标对			
名称	单位	常规电解	常规电解
电解槽数量	个	720	720
阴极铜产量	kt/a	200	250~300
电流密度	A/m²	260~320	385~420
阴极周期	d	10~11	5~6
电流效率	%	96.5~98.5	99.3~99.6
残极率	%	15	13
蒸汽	t/t	0.35	0
槽电压	v	0.2~0.4	0.3~0.5
交流电耗	kWh/t	380~405	440~495

重庆气矿节能技术应用

中石油西南油气田分公司重庆气矿

中国石油西南油气田分公司重庆气矿（以下简称“重庆气矿”）是主要从事四川盆地东部地区天然气开发、集输、地面建设、天然气营销的专业化单位，拥有各类生产场站 587 座，天然气集输管道 4043.33km，增压机组 109 台，脱水装置 30 套，变压器

347 台。重庆气矿消耗的能源主要为天然气和电能，其中天然气占比达 95% 以上。随着气田压力持续下降，生产综合能耗逐年增加，节能形势日益严峻，有必要对节能技术应用现状进行分析，为持续推进节能工作提供思路。

气田开发中的常用节能技术

（一）重点用能设备节能技术

气田开发中主要用能设备包括压缩机、加热炉、泵类设备等。其中，压缩机是消耗天然气最多的设备，加热炉次之；泵类设备是最主要的用电设备，配套的变压器和线路本身也会耗电。

1、燃气压缩机节能技术

增压开采是气田后期主要的增产措施之一，其核心设备是燃气压缩机。重庆气矿大量使用的压缩机负荷过低，燃料气消耗率高。通过调整机组运行参数提高机组负荷率是燃气压缩机最直接的节能措施。通过优化点火提前角、调整空燃比等也可以达到节能的目的。

2、加热炉节能技术

单井采气保温所用水套炉和脱水站重沸器都属于加热炉。加热炉节气技术分三类，一是调整运行参数，提高加热炉负荷率；二是减少热损失，通过合理控制尾气温度，降低表面温度，配置最佳空燃比；三是优化加热炉盘管结构，减慢结垢速度，强化传热，提高热效率。

3、泵类设备节能技术

通过变频器改变电机工作电源频率进而控制交流电动机的转速，可以将泵类设备调整到最佳运行状态。为变负载运行或长期轻负载运行的回注泵、转水泵等泵类设备增加变频器，在气田开发中具有大量的应用实际，并取得了较好的节电效果。工业领域电机用电量约占工业用电量的 75%，淘汰低效率电机，使用高效

电机，同样的工况条件下将节约用电量。

（二）系统节能技术

气田开发系统节能技术主要包括集输系统节能技术、供配电系统和新能源利用技术。

1、集输系统节能技术

气田开发集输系统包括的压缩机、加热炉、泵类设备都涉及到运行效率低下的问题。通过集输系统的整体节能分析，将多个气田的天然气集中处理，可以增加压缩机、重沸器及循环泵等设备的负荷，提高运行效率，进而达到节能的目的。集输系统还可以通过以井下节流器充分利用天然气自身能量，就地利用压力过低的天然气等方式降低耗能。

2、供配电系统节能技术

供配电系统本身需要耗能，减少系统中变压器耗能和线路耗能，是减少系统耗能的主要途径。可以通过优化变压器容量，使用无功补偿装置，以及接入农网等方式，实现供配电系统节能。

3、可再生能源利用

以可再生能源代替化石能源，可以起到同样的环保效果。一方面可以利用太阳能光伏发电，其原理是利用压差发电装置管道内流动介质的压力驱动叶轮旋转发电；另一方面可以利用增压机烟气余热，大型锅炉、加热炉余热。二者的使用均能够减少气田开发系统过程中化石能源的使用。

重庆气矿节能技术应用情况及效果分析

（一）重庆气矿节能技术应用情况

“十二五”以来，重庆气矿广泛开展井站优化简化，增压、脱水运行优化等方面的工作，同时大量应用了闪蒸气利用、节能机泵、板式换热器、变频器、节能灯具、井下节流器、压差发电应用等 7 个方面的技术设备。特别是近 5 年来，重庆气矿通过分析各个气田的系统节能潜力，优化运行增压脱水设备，提高了机

组负荷率，减少了机组的燃料气消耗。确保了重庆气矿在气田压力和产量下降的情况下，完成能耗 KPI 指标和节能量指标。

2014 年到 2018 年五年间，重庆气矿共开展节能项目 31 个。如表 1 所示，五年来公司共计节约电量 7.75×10⁴kW.h，节约天然气 539.43×10⁴m³，节能量达 77230 吨标煤，全面完成节能量指标。

表 1 重庆气矿 2014-2018 年节能项目能耗指标完成情况

序号	指标	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	合计
1	节能项目数量（个）	11	7	4	5	4	31
2	年贡献节能量（吨标煤）	1730	1818	1685	991	1006	7230
3	年节电实物量（10 ⁴ kW.h）	0	7.65	0.07	0.03	0	7.75
4	年节电实物量（10 ⁴ m ³ ）	127.69	134.79	126.71	74.55	75.69	539.43

如表 2 所示，重庆气矿 2014 年电单耗为 28kW.h/10⁴m³，2018 年上升至 47kW.h/10⁴m³；燃料气单耗从 2014 年 135m³/10⁴m³ 上升到 2015 年的 142 m³/10⁴m³。2016 年开始，重庆气矿产量指标

下调，关闭了部分低压低产井和间歇生产井，2018 年燃料气单耗下降到 122 m³/10⁴m³。

表 2 重庆气矿 2014-2018 年电、气单耗指标完成情况

序号	指标	单位	2014 年		2015 年		2016 年		2017 年		2018 年	
			指标	实际	指标	实际	指标	实际	指标	实际	指标	实际
1	电单耗	kW.h/10 ⁴ m ³	36	28	45	34	50.4	40	48.75	43	55	47
2	气单耗	m ³ /10 ⁴ m ³	151	135	190	142	188.3	137	156.4	121	141	122

（二）节能技术应用案例

1、优化运行多气田增压系统

重庆气矿卧龙河片区设有卧南、卧北和黄葛三座增压站，承担增压片区石炭系、阳新、嘉陵江三个气藏来气。随着北区嘉陵江气藏气井压力不断降低，三个增压站机组负荷率逐渐降低，燃料气消耗率增高，运行不经济。2016 年 1 月，重庆气矿将原卧北、黄葛两座增压站处理的部分气量导入卧南增压站，同时卧南增压站对阳新、嘉陵江气田来气进行混采后增压。一年节约燃料气 52.7878×10⁴m³，节能效果良好。

2、优化运行增压站压缩机组

重庆气矿沙罐坪增压站对沙罐坪单井来气进行增压，站内有 ZTY310 整体式压缩机组 3 台，RTY330MH120×95 分体式压缩

机组 1 台。随着开发后期产量递减，每台机组的负荷率大幅度降低，燃料气消耗率逐渐升高。2017 年 1 月，沙罐坪增压站开始运行一台机组，其余机组作为备用机组。经过一年的运行，气田开发正常进行，生产平稳。一年内沙罐坪增压站共计节约燃料气 7.7908×10⁴m³，节能效果良好。

3、应用高效节能机泵

重庆气矿福成寨脱水站主要对福成寨气田来气和西河口气田部分来气进行脱水，站内有两台 5.5kW 的大功率循环水转水泵。由于天然气处理量减少，三甘醇循环量降低，对应冷却水的循环量也降低，用较高功率的机泵存在着大马拉小车现象。2014 年 6 月，重庆气矿将一台 5.5kW 泵更换为 2.2kW 的高效节能机泵，一年内节约电量 1.2672×10⁴kW.h。

4、应用太阳能发电技术

重庆气矿七桥站是一座具有集、输、脱功能的大站，月用电量 1.5×10⁴kW.h；天东 29 井也是一座具有采、集、输、脱功能的大站，站月月用电量 0.85×10⁴kW.h。两座脱水站原生活用电及生产用电均为外购电，2013 年，重庆气矿在两个井站分别安装了 99 块太阳能光伏板。一年内天东 29 井和七桥中心站太阳能发

电量分别为 1.6028×10⁴kW.h 和 1.5459×10⁴kW.h。

重庆气矿近 5 年的节能实践表明，气矿节能主要由优化增压机组运行数量和参数实现，其它节能新技术应用节能量较少。这主要是因为气田开发过程中场站分散，大型节能先进技术没有实现条件，而小规模节能技术应用一般较难取得可观节能量。

重庆气矿节能管理面临的困难及出路

（一）节能管理形势严峻

1、指标考核形势日益严峻

重庆气矿的电单耗指标逐年增大，如图 1 所示，从 2014 年 28×10kW.h/10⁴m³ 上升到 2018 年 47×10kW.h/10⁴m³，年平均增长率达到了 17%。如果天然气产量持续下降，将可能出现指标超标的风险。同样的，产量和压力降低也将直接导致增压机组的燃料气消耗率增加，随着地方政府下达的指标日趋严格，气矿同样面临着气单耗指标超标的风险。

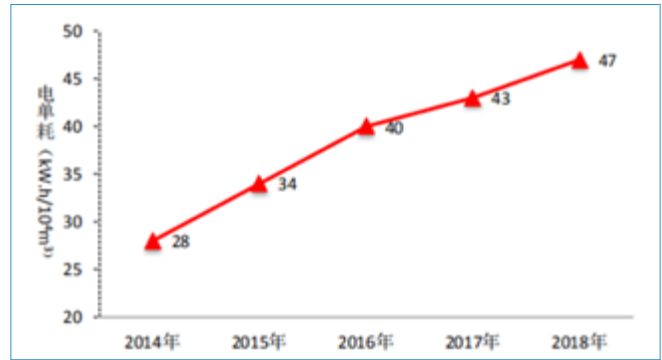


图 1：重庆气矿 2014-2018 年用电单耗统计图

气矿各场站经过“十二五”“十三五”来的持续优化，设备运行调整，在保证正常生产的情况下，场站设备继续优化的可能性较小，技措项目的实施困难加大。

2、大型节能项目投资难度大

气矿用能单元分散，587 座生产场站用能不均衡、分散性强。大型余热利用项目等存在着资金投入大、用量小、投资回报率低的特点。近年来重庆气矿对沙坪场余热利用开展了可行性分析，但截至目前市场上没有一家单位愿意采用 EPC 模式进行投资，导

致大量余热未能有效利用。

3、重点用能设备节能管理不到位

各单位的重点用能设备如压缩机的工况随气田生产的调整而产生变化，但目前重点用能设备节能监测频率约为 3-5 年一次，未能提供设备实时节能运行的技术支撑。加之井站员工的专业技术水平有限，对重点用能设备的绩效参数控制不到位，设备长期处于低效率运行状态，严重制约着节能工作的开展。

（二）节能技术应用思路

1、开展地面集输系统优化调整

根据气田的生产情况开展跨气田节能分析和系统节能监测。气矿管网密集，加之增压、脱水等场站齐全，为系统节能管理提供了良好的基础条件，可开展集输系统调整、工艺优化简化、天然气就地利用等工作，以达到节能减排效果。同时，可将节能技术应用融入项目设计中，从建设环节统筹部署节能工作。

2、开展重点用能设备节能技术应用科研攻关

目前，重庆气矿正开展稀薄燃烧技术。企业将大力开展先进技术应用科研项目，使新技术能适应设备本身的实际情况。同时，开展区域性的技术改造科研项目研究，降低市场资金进入门槛，使 EPC 得以小型化、区域化开展。

3、打造气矿能耗在线监测系统

重庆气矿目前的节能监测方式为人工监测，效率低，优化调整作用滞后。将利用气矿信息化覆盖网络，结合环境节能监测系统的数据处理中心，建立重点用能设备在线监测系统。在此基础上，通过大数据处理，形成气田开发节能技术中心，为气矿强化能源日常监控管理、提升能源管理精细化水平、开展能源审计、能效对标、节能改造等提供支撑服务，切实提升气矿气田开发过程中的节能管理水平。

超高效三相永磁同步电动机在工业领域应用方案

安徽明腾永磁机电设备有限公司

公司基本情况

安徽明腾永磁机电设备有限公司成立于 2007 年 10 月 18 日，注册资金 1.2 亿元人民币，是集永磁同步电动机研发、制造、销售及服务于一体的现代化高新技术企业。公司位于安徽省合肥市双凤经济开发区，占地 55 亩，建筑面积 3 万余平方米，是国内从 380V-10kV 规格最齐全、技术最先进的永磁同步电动机龙头企业之一。

公司拥有一支 40 人的永磁同步电动机专业研发团队，与高校、研究单位及大型国有企业等建立了长期合作关系。公司获得了 43 项国家专利和两项软件著作权，其中发明专利 5 项，实用新型专利 38 项。是“全国机电能效提升产业联盟”理事单位和“电动机与系统节能技术创新产业联盟”副理事长单位，负责起草了 GB30253-2013《永磁同步电动机能效限定值及能效等级》、

GB T27744-2011《超高效三相永磁同步电动机技术条件（机座号 132 ~ 280）》、JB T12681-2016《TYCKK 系列（IP44）高压永磁同步电动机技术条件》等 28 部永磁同步电动机相关国家和行业标准。公司产品通过中国质量认证中心节能认证，达 1 级能效，入围 2019 年工信部“能效之星”产品目录和第五批绿色设计产品名单。公司目前已形成年产 200 万千瓦以上超高效永磁同步电动机的生产能力。

公司始终坚持自主创新，秉承“一流产品、一流管理、一流服务、一流品牌”的企业方针，竭诚为全社会奉献“高效率、高功率因数、低运行电流、低温升、宽经济运行范围、高节电回报”的超高效节能永磁同步电动机，为节能减排做出应有的贡献。

永磁同步电动机在工业领域应用方案

（一）应用现状

据统计测算，我国电动机耗电量约占全社会总用电量的 64%，工业用电量的 75%，绝大部分电能被电动机消耗（引自《电动机能效提升计划（2013-2015）》）。从在用电动机的能效水平来看，绝大部分是 Y 系列、Y2 系列等国家明令淘汰的高能耗电动机，我国电动机效率平均水平比国外低 3-5 个百分点；从电动机系统看，单机匹配不合理、调节方式落后，电动机系统运行效率比国外先进水平低 10-20 个百分点。

风机、泵、压缩机、搅拌机等设备中使用的多为 Y2、Y3、YE2 等系列低效异步电动机，普遍存在能耗较高，能源利用率不高的问题，有着较大的节能降耗需求，以异步电动机改造永磁电动机的前景非常可观。

（二）技术方案

1、常规转速负载

对于工业领域中的常规转速负载，如风机、泵类、空压机、

破碎机等，所用电动机多为异步电动机，均可替换为永磁同步电动机。可采取三种方式进行改造。

（1）直接替换。对于轻负载的设备，可以将异步电动机更换为通用型自启动永磁同步电动机 +（VF 控制变频器）。永磁电动机启动时间短，对系统冲击较大，一般需要配套锻钢材质联轴器，或使用液力耦合器、磁力耦合器。

（2）如原异步电动机配套有变频器，自启动永磁同步电动机可以利用原有变频器，实现“软启动”。

（3）将“异步电动机 +（V F 变频器）”改为“变频专用永磁同步电动机 + 矢量变频器”，如原系统配套有适合永磁电动机使用的矢量变频器，可以利旧。此方案中永磁电动机无需增加起动机，成本可以降低，效率、控制性能也可以进一步提高。

此外，永磁同步电动机应用在新建项目可根据负载的机械特性选用永磁同步电动机，并根据永磁同步电动机总功率配置供电系统。新建项目采用永磁同步电动机，从整个工程造价来看，虽

然电机成本有所增加,但是由于永磁同步电动机电流大幅度降低,配套电缆型号、变压器型号也会减小,全面选择永磁同步电动机还无需无功补偿器,可实现工程总造价下降、系统能耗大幅降低的目标。

2、低转速负载

对于工业领域中的低转速负载,如磨机、皮带机、搅拌机、提升机、抽油机、柱塞泵等,其原驱动系统均采用异步电动机+减速机构的模式驱动,主要存在以下问题。

- (1) 起动电流大,对电网、设备冲击大。
- (2) 启动转矩小,电动机选配系数大,大马拉小车。
- (3) 异步电动机自身效率低,减速器也存在效率损失,综合效率低。
- (4) “异步电动机+减速机构”的驱动方式传动链长,存在着维护频繁、漏油等系列问题,严重影响生产成本与效益。

该类负载除常规负载三种改造方案外,还可以有下面改造方案:将原驱动系统改为“低速直驱永磁同步电动机+矢量变频器”的永磁同步电动机直驱系统。永磁同步电动机直驱系统由低速大扭矩永磁直驱电动机与永磁电动机专用变频器组成,通过变频器的矢量控制功能满足低速设备的运行要求。该系统取代原(变频器)

☑ 永磁同步电动机在工业领域应用的应用案例

风机、泵、空压机、皮带机、浮选机、磨机、搅拌机、提升机等是工业领域的通用负载,也用电量最大的装备,占总用电量60%左右。公司永磁电动机在各领域的风机、泵、空压机、皮带机、浮选机、磨机、搅拌机、提升机等负载均有应用。

(一) 磨机

球磨机传统的动力配置为异步电机通过皮带传动及齿轮减速机等装置,减速增矩,从而驱动球磨机转动,如下图:



+ 通用异步电动机 + (液耦) + 减速机构,永磁同步电动机直接与负载连接,简化了传动链,通过永磁电动机的高效率和传动系统效率的提升实现系统的节能;同时,取消了液力耦合器和减速机,消除了其在运行过程中易出现的机械故障及漏油问题。该方案有以下特点:缩短传动链,不存在漏油和加油的问题,机械故障率低,可靠性高。

- (1) 根据设备情况进行定制化电磁设计电磁、结构设计,能够直接满足负载需要的转速和转矩要求。
- (2) 启动电流小,温升低,杜绝了退磁风险。
- (3) 省去了变速箱、液力耦合器的传动效率损失,系统具有较高的效率,高效节能。结构简单、运行噪声小,日常维护费用低。
- (4) 转子部分具有特殊支撑结构,可以实现现场更换轴承,省去了返厂所需的物流成本,节省维修时间,更好地保障用户的生产可靠性。
- (5) 采用永磁同步电动机直驱系统,可以解决“大马拉小车”的问题,即满足了了原系统宽负载区间运行的要求,又能提升系统综合效率,高效节能。
- (6) 采用矢量变频器控制,调速范围 0-100%,电动机起动性能好,运行稳定,可以减小与实际负载功率的选配系数。

1、工业领域磨机原驱动系统主要存在以下问题

- (1) 正常中载起车,沉罐时重载起车。为了解决球磨机的起车问题,工业上常用选型配置,异步电机选型偏大,实际运行时存在“大马拉小车”现象,异步电机长期工作于低负载的低效率状态。
- (2) 负载周期性波动。球磨机内部研磨体和研磨物的周期性抛落,造成负载周期性波动。异步电机的机械特性和负载特性曲线交点,决定了其转速的波动,异步电机一直处于加速减速的状态,造成电机的额外损耗,研磨效果也不如匀速的研磨效果。
- (3) 起动电流大,对电网、设备冲击大。
- (4) 异步电动机自身效率低,减速器也存在效率损失,综合效率低。
- (5) “异步电动机+减速机构”的驱动方式传动链长,存在着维护频繁、漏油等系列问题,严重影响生产成本与效益。

2、应用案例

TYZD400-16 110kW 380V 186rpm 风冷,2017年某黄金矿业股份有限公司球磨机配套,现已交付用户使用,现场反映良好。

该系统原来由一台132kW异步电动机驱动,通过减速机减速,驱动球磨机小齿轮,再通过筒体自带的大齿轮啮合,驱动球磨机筒体转动。该驱动系统效率较低,电机和减速机噪音大,故障率较高,故用户有改造需求。

我公司根据客户需要,在考察实际工况后,进行定制设计,将电机进行降功率设计,功率选型为110kW。取消原系统的异步电动机和减速机,改为风冷的永磁直驱电机,直接驱动球磨机小齿轮,改造后电机运行稳定,2017年至今,一直运行良好。



(二) 皮带机

皮带机传统的动力配置为异步电机通过齿轮减速机,减速增矩,从而驱动传动滚筒旋转,带动皮带机运行。

1、皮带机的工况特性

- (1) 正常工况轻载起车,但存在皮带压料起车的重载工况。
- (2) 皮带运行时存在弹性滑动,匀速加载和匀速运行有利于延长皮带使用寿命。

2、技术方案

将原异步电动机驱动系统改造成永磁同步电动机驱动系统,有以下四种改造方案:

- (1) 直接替换,将异步机更换为同规格可自启动永磁同步电动机。
- (2) 将“异步电动机+(VF变频器)”改为“变频永磁同步电动机+矢量变频器”。

(3) 将“异步电动机+减速机”改为“低速直驱永磁同步电动机+变频器”。

(4) 将“异步电动机+减速机+转动滚筒”改为“永磁直驱电动滚筒”。

针对皮带机的特点,公司近期研发了皮带机专用的矿用隔爆型三相永磁同步电动滚筒,对于皮带机,还可以将“异步电动机+减速机+转动滚筒”改为“永磁直驱电动滚筒”。

该方案取代了原来的异步电动机+减速机+滚筒的驱动模式,利用永磁同步电动机可以设计成多极结构的特点,将输送机的驱动滚筒与永磁同步电动机融为一体,设计成外转子的永磁直驱电动滚筒。永磁同步电动滚筒直接驱动皮带,无任何中间传动环节,不仅提高了系统可靠性,提高了效率,降低了故障率,而且还简化了皮带机的驱动系统,缩小了皮带机头的外形尺寸。

3、应用案例

TYZD710-20 315kW 6kV 76rpm、TYZD500-32 160kW 380V 95rpm,2017年某天煤业股份有限公司皮带机配套,现已交付用户使用,现场反映良好。

该项目两台皮带,高压低压各一台。原系统组成都为异步电机通过减速机,减速增矩,进而带动传动滚筒,驱动皮带机运行。由于减速机的故障率较高,对煤矿生产的稳定性影响较大,而该系统的生产任务较重,故用户有改造高可靠性永磁直驱系统的需求。

我公司根据客户要求,设计对应原电压系统的永磁直驱电机,去除原异步电机和减速机,提高系统效率,提升系统的运行稳定性。该项目2017年改造至今,一直运行平稳可靠,故用户2019年有追加了一台450kW 6kV 60rpm的电机,该项目也已完成改造。



让每一台电机都装上节能的翅膀

瑞昌市森奥达科技有限公司

技术背景

随着全球经济发展模式从传统模式向循环经济模式转变，发展循环经济成为全球趋势。再制造是循环经济的重要内容之一。早在 2005 年，国务院颁发的 21、22 号文件就指出，国家将“支持废旧机电产品再制造”。《中华人民共和国循环经济促进法》第 40 条指出：“国家支持企业开展机动车零部件、工程机械、机床等产品的再制造”，为此国家发展和改革委员会、工业和信息化部都在积极推进再制造的有关工作。在此背景下，森奥达公司团队通过十多年的艰苦努力和科研攻关，针对我国目前低效电机达 80%、系统运行效率较国外低 10% 以上的实际，自主研发了一系列新型磁钢和磁阻材料，形成了具有自主知识产权的转子永磁化再制造和电机整体节能系统再制造的成套关键工艺技术，已

获授权发明专利 5 项、实用新型专利 35 项，填补国内相关领域工艺技术空白，并已成功实现产业化发展。



图 1：废旧电机再制造市场巨大

技术原理

通过将永磁体植入转子，消除励磁电流，消除转子损耗，磁场相互作用，最后达到一个节能降耗、提高效率的目的。经过再制造之后的电机运行电流会有明显下降，因为旧的异步电机需要通过励磁电流产生旋转磁场，而经过永磁化再制造后，转子自带磁场，不需要通过励磁电流。运行电流下降不仅可以将电机能耗降低，同时电机运行温度，电机运行噪音都有明显降低。电机及部件寿命得以延长，线路损耗及变压器损耗降低。且经过我司再制造后的永磁电机不需要配备专用变频器，客户现场已有的旧变

频器也可以进行通用，而市场上的新永磁电机需要配备专用的永磁同步变频器才能正常启动运行。

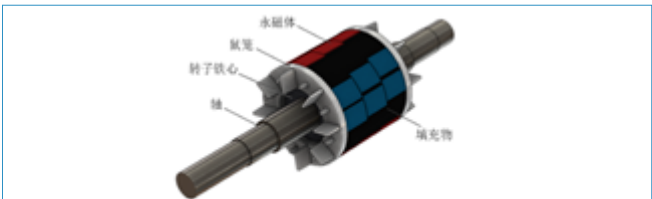


图 2：三相异步电机转子改为永磁电机结构设计示意图

技术创新点

1、电机永磁化再制造仿真设计平台建设

根据原电机的运行工况给出改造永磁同步电机的设计指标，选择相应的永磁体布置结构，调用建立的常规异步电机的几何模型库及常用材料磁化及机械特性数据库，实现再制造永磁同步电机参数建模，通过场路模型及智能算法对电磁性能进行优化设计，然后导入有限元仿真软件，根据设计指标进行电磁、结构、温升、

退磁等进行仿真分析，形成仿真分析报告，指导电机再制造的设计。

2、磁钢、磁阻新材料设计开发

针对传统磁钢材料内阻环流大，运行过程中产生的温度高，导致电机运行可靠性低，损耗高的问题，在传统钕铁硼材料中添加高阻非金属材料，通过新材料配方设计、材料复合方法优化和磁钢定制工艺研究，开发用于高效永磁电机再制造的新型磁钢材



图 3：仿真平台软件流程图

料，减少磁钢的内阻环流，降低钕铁硼磁钢在电机运行中产生的温度，提高磁钢运行的可靠性，降低能耗。针对传统钕铁硼磁阻材料磁导率低，不利于转子磁场纯正正弦波的形成的问题，在钕铁硼磁阻材料基础上，添加珍珠粉、铁粉、树脂等材料，设计开发新型磁阻材料，充分利用转子与定子间的气隙磁场，实现转子磁场纯正正弦波的形成和有效控制。通过以上低能耗绿色新材料设计研发，为高效永磁电机核心零件再制造提供材料基础。

技术优势

当前大多数企业淘汰高能耗三相异步电机采用新的高效节能三相异步电机和三相永磁同步电机作替换，导致企业更换成本高；旧电机作废品处理，造成资源浪费，能源消耗以及环境二次污染，同时异步电机固有的技术缺点还未消除。本产品解决三相异步电机能耗问题，资源再利用问题，又提高了电机运行特性，具有高效率，高功率因素，启动扭矩大等技术优势。

这一技术有效实现我国电机能效提升和资源循环利用两大瓶颈问题的突破：一方面，我国现有 28 亿千瓦的低效电机急需进行能效提升；另一方面，如果将这些低效电机全部更换为新的高效电机，将消耗大量的铜铁资源，同时造成大量的污染排放，而更换下来的旧电机又要进行二次熔炼，又将造成二次污染排放。公

3、转子再制造结构优化设计

高效永磁电机再制造的核心是实现异步电机转子的永磁化再制造。在转子设计的基础上，研究转子数控加工技术工艺，实现转子的尺寸和精度控制。应用新型永磁磁钢材料，开展转子和磁钢复合结构设计，研究磁钢的交替排列秩序、磁阻材料和非导金属材料对磁场的影响规律，达到永磁磁场与定子磁场的纯正弦波波形同步，解决电机内部产生退磁磁场这一制约永磁电机使用寿命及效率的核心瓶颈问题。

4、浸漆工艺优化

原生产工艺采用开放式的漆缸浸漆方式，改造升级为真空式环保浸漆方式，减少有害物质排放，提高浸漆质量及效率。

5、喷漆工艺优化

原生产工艺采用的是人工手持喷漆，效率低又污染环境，改造升级为无污染水淋喷漆工艺，达到环保节能目的。

瑞昌市森奥达科技有限公司现已攻克老旧电机非标和个性化再制造技术工艺难题，从手工作业到以“标准化、规模化”的生产形式，针对不同机型所需工效、工时、工艺等要素制定规范，实现了规模化流水生产线。制定了电机再制造零部件评价标准，已经实现零部件检测和评价标准化。公司从单一的制造型企业到服务型制造业的发展进程中，以再制造为生产主体，通过整合产业链上下游生产与服务资源，全面实现电机绿色再制造产品供应链管理。

司团队研发的旧电机永磁化再制造技术，可以使旧电机 80% 以上的部件得到再利用，而且再制造电机可以达到国家一级能效，且使用寿命性能大于或等于新品，真正实现电机能效提升和资源循环利用“双赢”，为促进循环经济发展，实现绿色制造贡献应有的力量。

经过永磁化再制造电动机的效率符合 GB 30253-2013《永磁同步电动机能效限定值及能效等级》国家一级或二级能效标准，再制造后综合节电率大于 10%，功率因数大于 0.95。相对新品高效电机实现节能 2 ~ 3%。电机永磁化再制造技术应用于旧电机的改造升级，再制造过程可使电机产品节材 80%，节能 60%，降低对环境的负面影响 50% 以上，废旧电机的旧件利用率达到 90% 以上。

技术应用

自2010年至今,产品广泛应用于纺织、陶瓷建材、钢铁、矿山、化工、油田等行业的电机能效提升,再制造的永磁高效电机销售总量达到500万千瓦。公司坚持“创新发展,循环节能,绿色制造,永磁高效”的发展理念,为国家高新科技企业,江西省科技型中小企业、江西省专精特新企业及江西省守合同重信用企业。公司通ISO9001:2008质量管理体系认证、ISO14001:2015环境管理体系认证及知识产权管理体系三重认证,并于2018年成立院士工作站,2019年成立江西省电机永磁化再制造工程研究中心,

且与中科院建立了紧密合作关系,得到院士专家和同行业的充分肯定。公司团队完成的“旧电机永磁化再制造技术”,被确认为国家科技成果,该技术已达到国内领先水平。目前,电机永磁化再制造技术已在东鹏陶瓷、大庆油田、美的电器、长城汽车、东风汽车、淮北矿业、亚东水泥、理文化工等企业应用,近3年累计再制造永磁电机100余万千瓦,实现直接经济效益2.05亿元,节电率均达到10%以上,为企业节约用电5.76亿度、节省电费4.03亿元。

技术成果

公司产品达到国家能效一级标准,被国家工信部列入“再制造产品目录(2016年第67号文)”、“国家工业节能技术装备推荐目录(2017年第50号文)”、“国家工业节能技术应用指南与案例(2017年第50号文)”、“国家工业节能技术装备推荐目录(2019年第55号文)”、以及“节能机电设备(产品)推荐目录(第七批)”,为江西省“工业节能产品”“广东省优质节能技术(产品)”,目前已取得了三十余项自主专利,参与完成两项国家标准“GB/T 37654-2019”、“GB/T 37674-2019”。2019年,公司技术及申报产品荣登中央二套《创业英雄汇》舞台并参与全国创新创业总决赛获优秀企业称号。2020年公司系列产品列入国家绿色制造目录,为国家绿色设计产品,技术及产品均进入《国家工业节能技术装备推荐目录(2020)》及《“能效之星”

产品目录(2020)》及经国家四部委评选的《绿色技术目录(2020)》。同年,公司被评为中国产学研合作创新示范企业且获得2020年中国产学研合作创新与促进奖-产学研合作创新成果奖二等奖。

目前公司已承担4项省级项目1项国家级项目,其中“电机永磁化再制造绿色设计平台建设项目”获批工信部工业转型升级项目立项资助,立项总经费1.53亿元。项目完成后将进一步完善企业软硬件设施,吸引更多的高智人才落户企业;加大对各行业电机设备节电的研究,为企业开展个性化节能技术服务,积极应用新技术、新材料,建立电机永磁化再制造可复制的智能化示范生产线,形成从低压电机到中高压电机永磁化再制造的升级转变,为全面、快速推广应用电机再制造技术奠定良好的基础。

另附公司厂貌及宣传页:



碳达峰、碳中和背景下电气化对钢铁工业节能低碳与清洁生产影响的研究

冶金工业规划研究院 — 何培育、史君杰、王涵

电气化内涵及意义

为积极应对全球气候变化,促进人类文明进步,我国向全世界郑重承诺了“碳达峰”、“碳中和”时间和目标,在此背景下,加快实现新兴电气化,是降低化石能源消耗、降低油气对外依存度的重要战略选择。碳达峰、碳中和背景下的电气化包含清洁低碳电气化、深度广泛电气化、装备先进电气化、智能互动电气化等。电气化将加速能源向清洁低碳转型,推动清洁能源成为主导能源,

重构能源体系结构巨变。供需端将形成“新能源电力生产低碳化+能源清洁生产电气化”为特征,推动全社会以电为中心的高度电气化水平跃升,带动工业革命大量的技术进步和创新,带动人类对美好生活的实现,交通出行、采暖脱碳、绿色建筑等方面也将向“节能、低碳、清洁”目标迈进。

电气化对“碳中和”的贡献

(一) 电气化发展政策优势

“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期,我国以促进新能源发展为突破口,赋予了“深化电力体制改革”新要求和新任务,首次明确了新能源在未来电力系统当中的主体地位,强调了构建新型电力系统的重要性。

2021年2月国家发改委、国家能源局、财政部、中国人民银行、银保监会五部门联合发布《关于引导加大金融支持力度 促进风电和光伏发电等行业健康有序发展的通知》,对促进风电和光伏发电发展给予强有力的政策金融支持。

2021年3月30日,国务院新闻办公室举行新闻发布会,强调指出,“十四五”期间,可再生能源发展将进入一个新阶段,

到“十四五”末将呈现以下特征:一是大规模发展,可再生能源的发电装机占我国电力总装机的比例将超过50%。二是高比例发展,预计可再生能源在全社会用电量增量中的比重将达到2/3左右,在一次能源消费增量中的比重将超过50%,成为能源电力消费增量的主体。三是市场化发展,从2021年开始风电、光伏将摆脱对财政补贴的依赖,实现市场化发展、竞争化发展。四是高质量发展,通过加快构建以新能源为主体的新型电力系统提升新能源消纳和存储能力。

国家《可再生能源法》确立了顶层设计,确保可再生能源绿电应发尽发,全额保量保价消纳。将可再生能源保障性收购政策执行情况和可再生能源电力消纳责任纳入对地方政府、电网公司

的考核范围。我国已在新能源领域建立起全球优势。

（二）电气化现状与发展前景

1、发展现状

2019 年中国陆上风电、太阳能光伏、水电累计装机规模分别占全球总量的 34%、35%、27%，均居全球第一。从 2018 年起弃风、弃光现象逐年快速好转，截至 2020 年底风电利用率已经达到 97%，光伏利用率达到 98%；可再生能源发电装机总规模达到 9.34 亿千瓦，占国内总装机的比重达到 42.4%，发电量达到 22000 亿千瓦时，占全社会用电量的比重达到 29.5%。目前，全球风电装机已达到 743 吉瓦，减少了超过 11 亿吨的二氧化碳排放。中国得益于技术创新和规模效应，风电扮演着举足轻重的角色，并将在未来愈发重要，已经成为全球最大的风电市场。

2、发展前景

我国电气化技术装备已形成较为完备的可再生能源产业体系。水电领域具备全球最大的百万千瓦水轮机组自主设计制造能力，特高坝和大型地下洞室设计施工能力均居世界领先水平。低风速风电技术位居世界前列，国内风电装机 90% 以上采用国产风机，10 兆瓦海上风机开始试验运行。光伏发电技术快速更新迭代，多次刷新电池转换效率世界纪录，光伏产业占据全球主导地位，光伏组件全球排名前十的企业中我国占据 7 家。根据麦肯锡测算，我国在新能源领域的表现远超美国，在所有行业对比中位列第一。

全产业链集成制造有力推动了风电、光伏发电成本持续下降，近 10 年来陆上风电和光伏发电项目单位千瓦平均造价分别下降 30% 和 80% 左右，光伏从政策支持到单位发电成本竞争能力持续提升，在煤炭资源价格上涨、碳减排双重压力下，进一步推动风能、太阳能等新能源发电进入规模化倍速发展，“十四五”期间总体规划风电装机 290GW，为可再生能源新模式、新业态蓬勃发展注入强大动力。

（三）我国新能源需求发展趋势

根据国网能源研究院的研究成果，到 2050 年，煤炭发电占比大幅下降至 6%，风光发电上升为主力，合计占比 66%，气电、水电、核电等次优能源占比维持在 28% 左右，此外生物质发电占比约 6%。整体趋势可概括为，煤炭发电持续削减、风光发电持续扩张、次优能源发电稳定支持。风光发电装机占比的提升对电网稳定运行提出了更高要求，储能装机配比有望占发电侧总装机的 20%，成为电力系统中不可或缺的组成部分，煤炭机组成为调峰，有助于提升中国能源独立性。发电结构的不断低碳优化，单位发电量的二氧化碳排放因子显著下降，发展新能源成为清洁生产降低碳排放的第一驱动力。能源供给侧向绿色电力转变，促进需求侧的脱碳首先向着终端电气化选择。研究成果表示，终端电气化率在 2050 年达到 50% 以上，其中工业、建筑、交通部门分别达到 55%、65%、35%。随着新能源绿电在全国各地的全面发展，我们也要关注以省为单位的执行电价将会重新调整。

订研究，以适应二氧化碳减排核算过程需要。

（三）企业自发电再认识

1、钢铁工业煤气发电贡献

“十四五”前，钢铁企业在用能结构上，均在向“多买煤，少买电”不用天然气方向发展。钢铁企业二氧化碳排放量主要是体现在高炉燃料比和烧结加入固定碳量，其碳素燃烧有 60% 转化为各种煤气，提高企业煤气回收利用转换为电力，可大大减少外购电，提高企业经济效益。利用煤气发电并没有提高钢铁企业的二氧化碳外排量。因为电力大部分是由火力发电所获得的，钢铁企业利用煤气发电减少外购电，也体现出对社会二氧化碳的减排贡献。

2、碳足迹对煤气发电再认识

生命周期评价（LCA）产品的碳足迹，必须对原材料提取到最后废物处置的所有阶段的生命周期内的碳排放进行全面、准确的量化。钢铁能源结构煤炭占 90% 以上，其 60% 转化为各种煤气，利用煤气发电的效率在 40% 左右，从全生命周期仍有 60% 以碳排放及温室效应产生且难以回收利用，煤 - 煤气 - 电的能源转变模式对碳排放的影响应予以再认识。

在煤炭发电持续削减、风光发电等新能源持续扩张、电力向低碳绿色转型深刻变化格局下，顺应新能源低碳电力价格环比下降的外部条件，今后将会导致企业的用能结构向“多买绿电，少买煤碳、少缴碳税”发展。“十四五”前倡导企业向“多买煤，

少买电”发展的技术路线，需要转变思想观念完成商业模式创新，研究调整技术路线，分析有利于的企业相应的能源流与碳排放流对应的策略。

3、煤气综合利用研究

“十四五”发展电炉钢短流程产能将大幅提高，煤气量有所减少，但煤气的综合利用尤为重要。

一是利用高炉煤气提高高炉热风是廉价的能源。热风是用 45% 的高炉煤气热值燃烧换来的，高炉风温提高 100℃，可以降低燃料比 15 -20kg/t，与工业发达国家相比我们热风温度相差 100℃左右。提高风温降低燃料比有较高的经济效益；钢铁各生产工序，烧结、炼铁、石灰窑、轧钢均需要大量煤气使用。可以考虑轧钢加热炉利用混合煤气加热；原材料废钢预热，北方地区利用混合煤气对物料进行解冻；企业与城市规划融合，热电联产以提高煤气利用效率；大型工业园区各行业间规划融合，提高对煤气资源综合利用等。

二是通过焦炉煤气制氢，自动化程度高，能够提高企业二次能源利用效率。氢能冶金，即利用氢气替代部分或全部的煤或焦炭，经济效益好。高炉冶炼煤气循环利用，转炉煤气制燃料乙醇，钢化联产以高炉、焦炉、转炉煤气为原料来生产化工产品，实现固碳。

现场调研煤气（不考虑发电）综合利用在生产各环节应用可以达到 85% 以上。煤气最大效益综合利用还有很长的路要走，需要继续深入全面的研究。

🔍 电气化对钢铁节能低碳、清洁生产影响的研究

（一）钢铁行业碳排放的差距

钢铁行业作为仅次于发电行业的高碳排放行业，面临着碳减排的巨大压力。近两年来，全球多国的钢铁企业纷纷宣布了各自的减碳目标，钢铁行业由此加速进入“绿色低碳转型时代”。2020 年我国粗钢产量高达 10.65 亿吨，占全球粗钢产量的比重超过 57%。碳排放占全球钢铁工业碳排放总量的 60% 以上，占全国碳排放总量 15%。目前，我国电炉短流程炼钢仅占 10%，长流程占比高达 90%，高炉 - 转炉流程特点决定了能源结构是以煤炭和焦炭为主，占比例达 90%，电只占总能耗 10%。

传统高炉 - 转炉流程生产 1 吨钢，约排放 2 吨二氧化碳，纯废钢电炉流程生产 1 吨钢约排放二氧化碳 600 千克，目前已完成碳达峰的西方工业发达国家钢铁生产中长流程的吨钢二氧化碳

排放量为 1.7 吨左右，短流程的电炉生产时吨钢二氧化碳排放量为 400 千克。结合国内钢铁现状，2025 年钢铁要完成碳达峰目标，不是提升碳达峰值，而是现在就需要加大削峰力度，为完成 2060 “碳中和”打下坚实基础。

（二）碳排放核算问题探讨

碳素燃烧是产生二氧化碳的主要来源。碳素消耗与碳排放发生在钢铁生产的全过程，碳核算不仅要以企业法人边界为主体的核算，而且要细分到工序各环节碳足迹核算。目前一些企业能源平衡表和物料消耗表，对工序碳足迹缺少数据支撑；吨钢能耗电力因子采用当量值，二氧化碳排放计算中电力因子为等价值，数据存在较大差异。因此，碳核算会出现能源平衡表能耗指标与二氧化碳排放指标不对应情况，这种局面应进行修



(四) 钢铁短流程的发展趋势

发展短流程钢铁生产有利于节能与清洁生产，减少二氧化碳排放，这是全世界钢铁界的共识。近年全世界电炉钢比例在 28% 左右，中国以外世界其他国家平均电炉钢比例接近 50%，美国在 65% 以上，欧盟 40% 以上，韩国 30% 以上，日本 25% 左右，中国电炉钢比例在 10% 左右。但据世界钢铁协会预测，中国通过 20 年钢铁产能快速发展，根据钢铁产品生命周期法，未来废钢资源量将出现大幅增长，预计到 2030 年我国废钢资源量将达到 5 亿吨左右。新能源电气化发展为短流程提供优厚的供电条件，预测到 2030 年钢铁行业电能占终端能源消费比重将在 2019 年基础上翻一番，达到 20%，到 2050 年将再翻一番，超过 40%。2030 年电炉钢比例有条件并希望提升到 40%，以电能供应为主

(五) 户用光伏市场

1、户用光伏市场蓬勃发展

为达成“碳达峰”“碳中和”目标，光伏行业势必要在“十四五”乃至更长远的时间段内获得大发展。这其中，户用光伏是一支不容小觑的细分力量，2020 年国内户用光伏项目已达

10.1 吉瓦，创下新高。部分用户在满足自己利用外还能上网外销。

2、钢铁行业潜力分析

钢铁行业“十三五”光伏发电占比总用电量甚微不到 1%。绿色工厂评价强调新能源应用是必要条件，带动众多企业对新能源的重视开发，宝武集团建成行业最大 400MW 光伏项目，包钢股份规划“十四五”建设 490MW 光伏发电，光伏发电占比由现状 0.21% 提升到 5.16%。这都是很好的典范。

“十四五”期间钢铁行业需要采取各种措施，突击推动光伏发电与工业建筑、工业设施融合发展。除了一般厂房屋顶，还需要不断探索和实践扩大应用范围。例如：停车场可以建造成具有安装太阳能的条件，一举两得也为停车提供优裕环境。厂区道路也可以开发利用，建造成具有安装太阳能的建筑。企业水处理场也可以利用建悬浮太阳能设施，矿山有大量土地空间可开发利用。

环保要求企业原料场全封闭，原料大棚从结构考虑基本均为弧形屋顶，难于光伏设施安装。但是，一个企业原料场总面积有几万平米、外部环境优于冶炼工序，弃之可惜。高铁站台阶梯型屋顶带自然采光结构，钢铁企业原料场宜借鉴更新提升光伏综合利用空间。

成的“钢铁行业电力需求侧管理平台技术规范”和“钢铁行业电力需求侧管理平台管理规范”已正式颁发，愿意为钢铁行业电力节能低碳与清洁生产更好的咨询服务。

结束语

电气化担当着清洁能源主战场生力军，在煤炭发电持续削减、风光发电持续扩张、电力低碳绿色转型的格局下，国家再次强调的电气化具有重要意义，影响深远。电气化需要装备先进安全，更需要技术的支撑和严谨的管理。由冶金工业规划研究院牵头完

约稿函

《工业节能与清洁生产》是由中国工业节能与清洁生产协会主办编辑，面向会员单位、相关政府部门、研究机构定向直投的内部刊物。

刊物以“倡导绿色工业，服务节能减排”为办刊宗旨，多角度透析我国工业领域节能减排的现状、问题、典型案例及未来发展前景，力图搭建工业耗能企业与节能环保企业之间沟通的桥梁，促进行业间的信息交流，增强行业间的横纵向联系。

欢迎有关单位和个人踊跃投稿。

一、投稿栏目

会员动态、会员报道、政策解读、研究

二、稿件要求

来稿请以附件 word 形式，邮件主题为《工业节能与清洁生产》稿件。

1. 宋体 5 号字体，字数不超过 5000 字；
2. 文章末尾请注明姓名、邮箱、电话、联系地址等真实有效的联系方式。

三、发行人群

各相关政府部门
各省市工业和信息化主管部门
相关行业协会、国际组织
会员单位、相关专家
科研机构、高等院校
重点用能企业、节能减排服务机构

四、联系方式

联系人：吴迪
电话：010—62242099
投稿邮箱：cieccpa@126.com
联系地址：北京市西城区平安里西大街 26 号新时代大厦 100034



倡导绿色工业 服务节能减排

中国工业节能与清洁生产协会
CHINA INDUSTRIAL ENERGY CONSERVATION AND CLEANER PRODUCTION ASSOCIATION

地址：北京市西城区平安里西大街26号新时代大厦（100034）

电话：86-10-62242099

传真：86-10-62248538

网址：www.cieccpa.org

电子邮箱：cieccpa@126.com

