附件：

《陕北侏罗纪煤田浅埋深1.1-1.3m坚硬薄煤层智能化开采关键技术研究与示范》项目公示材料

**项目名称：**陕北侏罗纪煤田浅埋深1.1-1.3m坚硬薄煤层智能化开采关键技术研究与示范

**主要完成人：**南海云、侯 刚、魏希杰、赵三星、王彪谋、马海林、张金虎、陈 印、朱 军

**主要完成单位：**陕西能源凉水井矿业有限责任公司

天地科技股份有限公司

陕西能源投资股份有限公司

**提名单位：**陕西投资集团有限公司

**项目简介：**

薄煤层资源在我国分布广泛，陕北侏罗纪煤田煤质优、探明储量1349.4亿吨，其中薄煤层资源约占总储量的20%，硬度f3左右，煤层厚度在1.1m左右。随着矿区内主采煤层的日益减少，平均煤厚约1.1m的4-3、4-4薄煤层资源开采成为各矿井亟需面对的现实问题。陕北侏罗纪煤田薄煤层工作面受限于工作空间狭小，煤层坚硬f3以上等难题，大功率设备布置及自动化实施难度高，现有装备不能实现高产高效智能化开采，项目实施前智能化坚硬薄煤层开采成套技术与装备一直是空白。

项目针对陕北侏罗纪1.1-1.3m浅埋深、坚硬薄煤层开采难题，深入研究了矿压显现规律与支护成套技术；研发了高能积比大落差柔性配套技术、一种高刚度耦合支护技术、多数据系统融合智能联动系统。研制了半悬机身及全悬截割系统大功率薄煤层采煤机、高刚度耦合液压支架、矮槽帮长运距重叠侧卸薄煤层输送机、精小化电液控制设备等，构建了坚硬薄煤层综采核心技术体系，形成了陕北侏罗纪煤田1.1-1.3m坚硬薄煤层智能化综采成套技术与装备。2020年5月11日，陕西省煤炭学会邀请王双明、马宏伟、符周兴、张大伟、赵书明、毛明仓、孙战勇等著名科学家组成鉴定委员会，对本项目进行了科技成果鉴定，鉴定委员会认为本项目研究成果在1.1-1.3m坚硬薄煤层综采成套技术与装备方面达到国际领先水平。本项目取得了以下主要创新成果：

1.创新了工作面设备高能积比时空协同及巷道端头大落差柔性系统配套方式、工艺及成套技术。构建了端头大落差柔性系统模型，能积比达到402，满足巷道与工作面1.4m以上大落差需求，实现1.1-1.3m坚硬薄煤层的安全高效开采。

2.创新研发了1.1-1.3m坚硬薄煤层智能化成套设备。采煤机采用半悬机身、全悬截割矮机身结构，机身高度759mm，装机功率1050kW，最大牵引速度14.5m/min；高刚度抗动载液压支架，工作阻力9000kN，采用防冲击大伸缩比立柱，高强度薄板结构；矮机身、重叠侧卸的刮板输送机，其装机功率3\*400KW；研发了薄煤层精小化电液控制装置。

3.开发了适用于薄煤层的记忆截割、自动精准找直、智能负荷控制、有线无线双网通信、多数据融合联动、设备远程故诊断和全生命周期管理的薄煤层智能化监测监控系统，实现工作面内无人操作有人巡视的常态化开采模式。

研究成果在凉水井煤矿431301工作面已投入运行，设备及系统运行稳定可靠，达到了年产煤炭81.3万吨/年的能力，具备300m工作面长度13万吨/年的能力，薄煤层开采后增加产值7444万元。项目成功实施，为我国坚硬薄煤层开采研制成功了成套安全高效智能化开采技术和装备，为薄煤层煤炭资源回收取得了成功工艺和管理理经验，项目成果填补了坚硬薄煤层安全高效开采技术的空白。经济效益和社会效益显著。

项目研究申请发明专利21项，获得发明专利20项，实用新型专利14项，发表论文7篇，发布国家标准。

**客观评价：**

1.陕西投资集团有限公司组织有关专家对项目成果进行验收，专家组认为项目研究方法科学，技术路线合理，完成了项目任务书规定的内容和指标，同意通过验收。

2.陕西省煤炭学会组织有关专家组成鉴定委员会对该项目进行科技成果鉴定。鉴定委员会一致认为项目研究方法科学、技术路线合理，研究成果总体达到国际先进水平，在1.1-1.3m坚硬薄煤层综采成套技术与装备方面达到国际领先水平，同意通过鉴定。

3.委托煤炭信息研究院对成果进行查新，经过国内外文献对比，结论为：3项创新性成果，除本课题研究人员的研究成果外，国内外未见有与本课题查新点综合研究内容相同的有关陕北侏罗纪煤田浅埋深1.1-1.3m坚硬薄煤层智能化开采关键技术研究与示范的文献报道。

**应用情况：**

该项目推广应用前景广阔，主要表现在以下几个方面：

1.从社会效益的角度来说，该项目具有示范和引领作用。

陕北侏罗纪煤田浅埋深薄煤层智能化开采关键技术在431301工作面的成功应用，避免了国家薄煤层煤炭资源的浪费；通过对薄煤层工作面的智能化建设，可将工人从狭小、恶劣的工作环境中解放出来，减轻了劳动强度，提高了生产效率，社会意义重大。

该项目的成功实施解决了陕北地区薄煤层回采难度大等问题，为陕北地区薄煤层开采的工艺方法和工作面设备选型配套提供了借鉴，对整个陕蒙等地区的薄煤层开采具有示范和引领作用。

2.从经济效益的角度来说，该项目实施后取得了显著的经济效益。

（1）431301薄煤层智能化工作面建设项目的实施使工作面设备之间的协作性更加紧密，工业性试验期间，工作面累计推采长度625米，累计生产原煤205818吨，单日最高产量约2890吨；同时将工作面实际作业人员由初期的12人减少至7人，每年可节约人工成本约96万元。

（2）经济效益分析

经济效益分析仅对比实行薄煤层智能化开采前后凉水井矿业公司产值，吨煤综合价按361.67元/吨计算。

实行薄煤层智能化开采前公司年度产值7474183\*361.67= 270318万元。

实行薄煤层智能化开采后公司年度产值7680000\*361.67

=277762万元。

增加产值：277762-270318=7444万元。

3.该项目的推广应用前景广阔。

后续将根据180m首采工作面情况，考虑将工作面延长至240m、300m进行超长工作面设备及系统的智能开采，根据配套能力验算，工作面采量可达到150-180万吨。为陕北地区薄煤层开采的工艺方法和工作面设备选型配套提供了借鉴，对整个陕蒙等地区的薄煤层开采具有示范和引领作用。

**主要知识产权表准规范等目录：**

1.主要论文专著目录

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文专著名称** | **刊名** | **发表**  **时间** | **第一作者** | **主要作者** | **备注** |
| 1 | 薄煤层超大伸缩比强力 液压支架设计 | 煤矿机械 | 2019 | 南海云 | 南海云,张金虎,王彪谋 |  |
| 2 | 坚硬薄煤层智能化开采成套关键技术及装备研究 | 煤矿开采 | 2018 | 王彪谋 | 王彪谋,侯 刚, 张金虎,南海云 |  |
| 3 | 矿用液压支架综合工况 评价模型研究 | 工矿自动化 | 2019 | 侯 刚 | 侯刚 |  |
| 4 | 两柱掩护式液压支架内外加载支护对比试验研究 | 煤炭科学技术 | 2019 | 张德生 | 张德生,任怀伟,何 明 |  |
| 5 | 大功率较薄煤层采煤机的关键技术研究 | 煤炭科学技术 | 2020 | 翟雨生 | 翟雨生,乐南更,魏 升 |  |
| 6 | 半悬式薄煤层采煤机 应用研究 | 煤矿机械 | 2019 | 乐南更 | 乐南更 |  |
| 7 | 较薄煤层采煤机装载效果分析与辅助装载技术 | 煤矿机电 | 2019 | 章立强 | 章立强,盛永林 |  |

2.主要知识产权证明目录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权具体名称** | **授权号** | **备注** |
| 1 | 一种薄煤层采煤机用集成阀组 | ZL201610785967.4 |  |
| 2 | 薄煤层采煤机用双向调高阀组 | ZL201720950362.6 |  |
| 3 | 大功率薄煤层采煤机悬臂式截割装置 | ZL201410392308.5 |  |
| 4 | 薄煤层采煤机及其滑槽式挡煤机构 | ZL201420382049.3 |  |
| 5 | 薄煤层采煤机牵引与摇臂的连接结构 | ZL201610832502.X |  |
| 6 | 抗冲击型薄煤层采煤机行星机构及其加工方法 | ZL201610778064.3 |  |
| 7 | 超大伸缩比薄煤层液压支架 | ZL200910242710.4 |  |
| 8 | 一种用于综采工作面围岩自适应支护的液压支架智能控制方法 | ZL201810067427.1 |  |
| 9 | 薄煤层液压支架顶梁细长主筋坡口热切割方法 | ZL201710139400.4 |  |
| 10 | 一种煤矿井下采煤工作面用自适应智能刮板输送机 | ZL201410519721.3 |  |
| 11 | 煤矿井下工作面刮板输送机智能调速的方法 | ZL201410519505.9 |  |
| 12 | 新型薄煤层重叠侧卸式结构 | ZL201410024831.2 |  |
| 13 | 本质安全型灯 | ZL201210181955.2 |  |
| 14 | 测量缆和测量系统 | ZL201210553440.0 |  |
| 15 | 掩护支架 | ZL200810134778.6 |  |
| 16 | 井下作业定位系统 | 201510062280.3 |  |
| 17 | 反冲洗高压过滤站 | ZL201110043434.6 |  |
| 18 | 矿用智能型乳化液泵站 | ZL200610068517X |  |
| 19 | 一种高压截至/排污球芯阀门 | ZL201110044596.1 |  |
| 20 | 自动反冲洗回液过滤器 | ZL201110043326.9 |  |
| 21 | 自动反冲洗吸液过滤器 | ZL201110043950.9 |  |
| 22 | 自动排污阀 | ZL201110044483.1 |  |
| 23 | 力矩式防爆高压自动阀 | ZL201820454929.5 |  |
| 24 | 乳化液泵用活塞复合密封机构 | ZL201820454926.1 |  |
| 25 | 乳化液泵用外置式风冷散热器 | ZL201820454928.0 |  |
| 26 | 反冲洗高压过滤站 | ZL201120045406.3 |  |
| 27 | 高压止回阀 | ZL201120045408.2 |  |
| 28 | 矿用乳化液浓度在线监控系统 | ZL200620088097.7 |  |
| 29 | 矿用智能型乳化液泵站 | ZL200620088098.1 |  |
| 30 | 一种高压截止/排污球芯阀门 | ZL201120046546.2 |  |
| 31 | 自动反冲洗回液过滤器 | ZL201120045466.5 |  |
| 32 | 自动反冲洗吸液过滤器 | ZL201120046782.4 |  |
| 33 | 自动排污阀 | ZL201120045834.6 |  |
| 34 | 防爆箱（智能矿用隔爆乳液泵站用） |  |  |
| 35 | 矿用智能型乳化液泵站 | ZL200610068517.X |  |

**主要完成人情况**

**主要完成人员名单**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓名** | **性别** | **出生年月** | **技术职称** | **文化程度(学位)** | **工作单位** | **对成果创造性贡献** |
| 1 | 南海云 | 男 | 196011 | 高级工程师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 项目负责 |
| 2 | 侯 刚 | 男 | 198202 | 副研究员 | 研究生 | 天地科技股份有限公司 | 智能控制研发 |
| 3 | 魏希杰 | 男 | 198802 | 工程师 | 研究生 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 项目指导 |
| 4 | 赵三星 | 男 | 196610 | 高级工程师 | 本科 | 陕能股份煤业分公司 | 项目指导 |
| 5 | 王彪谋 | 男 | 196301 | 研究员 | 研究生 | 天地科技股份有限公司 | 总体配套、组织实施 |
| 6 | 马海林 | 男 | 196912 | 高级工程师 | 大专 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 理论指导 |
| 7 | 张金虎 | 男 | 198601 | 副研究员 | 博士 | 天地科技股份有限公司 | 开采工艺研究 |
| 8 | 陈 印 | 男 | 197010 | 高级工程师 | 本科 | 陕能股份煤业分公司 | 项目指导 |
| 9 | 朱 军 | 男 | 196701 | 研究员 | 研究生 | 天地科技股份有限公司 | 液压支架设计 |
| 10 | 别韩亮 | 男 | 198312 | 高级经济师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 项目参与 |
| 11 | 霍 乐 | 男 | 198802 | 工程师 | 研究生 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 现场实施 |
| 12 | 郝春阳 | 男 | 198711 | 助理工程师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 现场实施 |
| 13 | 刘林岗 | 男 | 196601 | 高级工程师 | 本科 | 陕能股份煤业分公司 | 项目指导 |
| 14 | 敬 毅 | 男 | 198707 | 工程师 | 研究生 | 陕能股份煤业分公司 | 项目参与 |
| 15 | 赵 瑶 | 男 | 198710 | 工程师 | 研究生 | 陕能股份煤业分公司 | 项目参与 |
| 16 | 王 平 | 男 | 198512 | 工程师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 现场实施 |
| 17 | 周延宁 | 男 | 198603 | 工程师 | 研究生 | 陕能股份煤业分公司 | 项目参与 |
| 18 | 崔 鹏 | 男 | 198706 | 工程师 | 研究生 | 陕能股份煤业分公司 | 项目管理 |
| 19 | 陈 赞 | 男 | 198305 | 工程师 | 研究生 | 陕能股份煤业分公司 | 项目管理 |
| 20 | 崔家栋 | 男 | 198811 | 经济师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 现场实施 |
| 21 | 高红伟 | 男 | 198303 | 工程师 | 本科 | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司 | 现场实施 |
| 22 | 张德生 | 男 | 198212 | 研究员 | 博士 | 天地科技股份有限公司 | 模型及算法研究 |
| 23 | 翟雨生 | 男 | 198409 | 研究员 | 博士 | 天地科技股份有限公司上海分公司 | 采煤机研发 |
| 24 | 刘益添 | 男 | 198405 | 工程师 | 本科 | 宁夏天地重型装备科技有限公司 | 刮板运输机研发 |

**主要完成单位及创新推广贡献：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **完成单位** | **主要贡献** | **备注** |
| 1 | 第一完成单位  （陕西能源凉水井矿业有限责任公司） | 陕西能源凉水井矿业有限责任公司：提供天地科技股份有限公司所需煤层地质等情况以及需要的全部技术文件和资料；组织审定技术方案及主要参数设计；负责现场测试的组织管理；参与技术总结报告编写。 |  |
| 2 | 第二完成单位  （天地科技股份有限公司） | 天地科技股份有限公司：负责矿井地质条件煤层赋存情况等调研，进行工作设备高能积比时空协同及端头大落差柔性系统配套方式、工艺及成套技术研究、研发了半悬机身、全悬截割结构的采煤机；研发了高刚度抗动载液压支架；长运距、大运力、矮槽帮、重叠侧卸的刮板机；研发薄煤层智能化精小化控制装置。研发了基于自动找直、记忆截割、智能负荷控制、无线覆盖通信网络、多数据融合联动的薄煤层智能控制系统；参加井下工业性试验；整理分析资料、编写研究报告；编写技术总结报告。 |  |
| 3 | 第三完成单位  （陕西能源投资股份有限公司） | 陕西能源投资股份有限公司：全面负责项目实施，负责按进度向陕西能源凉水井矿业有限责任公司和天地科技股份有限公司支付项目实施的费用；负责调配一定的人力与设备。 |  |

**完成人合作关系说明：**

项目主要完成人9人，分别为陕西能源凉水井矿业有限责任公司、天地科技股份有限公司、陕西能源投资股份有限公司3家单位相关技术人员组成。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **合作成果** | **合作方式** | **合作者项目排名** | **备注** |
| 1 | 薄煤层超大伸缩比强力液压支架设计 | 论文合著 | 南海云1、张金虎2、王彪谋3 |  |

《烟塔合一蒙皮内置大型钢结构数字化间冷系统研发与应用》

项目公示材料

**项目名称：**烟塔合一蒙皮内置大型钢结构数字化间冷系统研发与应用

**主要完成人：**彭磊、刘国银、马明、谭厚章、余喆、王小良、杨富鑫

**主要完成单位：**陕西能源麟北发电有限公司、双良节能系统股份有限公司、西安交通大学

**提名单位：**陕西投资集团有限公司

**提名奖等：三**等奖及以上

**项目简介**

随着发电机组单机容量的增大，钢筋混凝土结构冷却塔的局限性逐渐突出，如施工受冬季低温制约、施工周期长、受地材供应影响大、三废排放多等。高大的双曲面外形使得钢筋混凝土冷却塔的施工工艺复杂，服役期满拆除后的混凝土固体废物再利用率极低、环保性能差。与混凝土冷却塔相比，钢结构冷却塔的优势明显：强度高、柔韧性好、抗震性能优良、自重轻、对地基处理要求低，且生产与装配式施工符合当前建筑工业化趋势，效率高，大大缩短建设周期。同时，钢材属于绿色建筑材料，回收利用率高、环保性能好。

间接空冷系统烟塔合一技术简化了火电机组的烟气系统，减少了设备投资，节约占地，具有良好的经济性。目前，国内外尚无应用于烟塔合一间接空冷系统的钢结构塔。国内外大型钢结构冷却塔均采用铝蒙皮外置、钢结构内置的结构体系，若应用于烟塔合一间接空冷系统，塔内烟气会腐蚀钢塔主结构，影响安全。同时，间接空冷系统按分扇区控制。现用铂电阻温度元件、总线型温度传感器作为基本测量元件的温度场监控系统，逐点安装，工程巨大，后期维护、维修成本高，易受电磁干扰，并且仅是对间接空冷的部分表面温度进行监视，不参与控制。基于安全考虑，冬季出水温度均控制在较高值，不利于节能降耗。

针对上述问题，项目团队对钢结构间冷系统在塔型、结构安全、冷却性能、防腐及智能控制等方面开展了系统研究，在国内外首次开发了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术，提出了四边角钢格构式构件的等代方法，解决了直筒-锥段型钢结构间冷塔快速建模分析的难题，并首次研发了基于光栅光纤技术的大型间冷塔温度场智能化监测控制系统，针对冬季大风及低温工况，实现系统精确化控制及防冻，降低了运行背压。

项目在国内外首次研发了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术，具有投资低、防腐性能好、抗震性能优良、施工周期短、三废排放少、材料可回收等特点，开发了钢结构间接空冷系统结构关键技术、钢结构间接空冷系统冷却技术、钢结构间冷塔防腐技术、温度场与钢塔健康智能监测控制技术。相关研究成果为国内外燃煤机组钢结构间冷塔的安全、环保、稳定和高效运行提供了技术支持和工程应用范例。

1.研发了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术。在国外钢结构冷却塔主要塔型研究的基础上，针对腐蚀性的烟气环境，创造性地提出：直筒-锥段外置加强环、蒙皮内置的结构型式。钢结构排烟间冷塔的金属蒙皮内置，使得烟气与主体钢结构相互隔离，减少二者的接触可能，降低了烟气中残留的腐蚀性介质对钢结构主体的腐蚀可能。

2.开发了钢结构间接空冷塔防腐技术。为了解决烟气对钢结构的腐蚀问题，研究不同涂层对钢结构防腐的耐久性，开展防腐性能对比和涂层的基本性能对比研究。对比分析热喷锌、冷喷锌和富锌涂料的防腐性能，对涂层的基本性能进行分析。开展了塔筒蒙皮结构防腐研究，在考虑温变、形变影响，防护层破坏、安装破损等条件下，对不同防护层在腐蚀情况下进行测试研究。开展了防腐性能测试和基本性能测试比较研究，结合微观分析、性能表征，分析了粉末静电喷涂和氟碳树脂漆喷涂对蒙皮防腐影响。基于研究成果，针对麟北电厂当地环境及烟塔合一条件，获得了防腐方案，满足了钢结构间冷塔长期使用寿命要求。

3.开发了钢结构间接空冷塔结构关键技术。通过钢结构冷却塔刚性模型测压试验，获得了各个风向角下表面压力分布；研究了钢塔在风荷载下的动力响应，获得风振系数、风压分布系数等关键参数。提出了箱型薄壁单元等效代换四边角钢格构式构件方法，解决了直筒-锥段型钢结构间冷塔快速建模分析的难题。对有限元悬臂梁模型进行分析和校核，利用箱型薄壁单元建立了直筒-锥段型钢结构冷却塔有限元模型，对结构整体稳定性进行了分析，保证了钢塔的安全运行。

4.开发了钢结构间接空冷塔冷却性能技术。基于试验平台，开展了散热器传热性能与阻力特性研究，获得了迎面风速与不同管内流速平均传热系数、空气侧折算换热系数、空气侧阻力的关系、获得了空气侧努塞尔数与雷诺数关系。开展了冷却系统顺、逆向交叉流性能对比研究，获得顺逆向交叉流进水与出水温度分布、两种换热方式迎风侧水流程水温降规律。开展了数值模拟研究，分析温度场、流场的影响因素，获得了钢结构间冷塔最优设计方案，实现了系统的安全、经济运行。

5.研发了钢结构间接空冷塔温度场与健康智能化监测控制系统。基于光栅阵列传感技术，研究了散热器温度场分布的数据监测技术，并对温度场数据进行分析。研究了温度场在线控制策略，建立了算法型，输出控制系数，使每个组、每个区的温度场均衡，实现智能控制。基于光栅监测技术，分析了结构的受力特性及其在结构服役期间的变化；研究了结构关键部位的构件与节点的应变/应力情况，分析了钢结构应力情况，确保了结构的安全性；研究了不同部位温度变化，监测并分析了太阳照射对结构构件温度的影响；开展了钢塔塔身内外风压的研究，获得了塔周外壁及内壁布设风压监测数据，分析了风压分布数据及对塔健康的影响，确保钢结构间冷塔的安全。

**主要创新性成果**

1.在国内外首次开发了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术，解决了烟气对钢结构的腐蚀问题，并进行了工程示范。

2.提出了四边角钢格构式构件的等代方法，解决了直筒-锥段型钢结构间冷塔快速建模分析的难题；通过引入轴力负刚度，考虑层与层之间的相互支援及面外环状加强桁架刚度需求，构建了基于整体抗侧刚度的钢结构间冷塔稳定设计方法，保证了地震、大风等多种工况下结构的安全性和可靠性。

3.首次开发了基于光栅光纤技术的大型间冷塔温度场智能化监测控制系统，针对冬季大风及低温工况，实现系统精确化控制及防冻，降低了运行背压；运用阵列光栅应力应变监测技术，开发了钢塔健康监测系统，保证了钢塔的安全运行。

**客观评价**

1. **陕西省机械工程学会鉴定意见**

2021年4月10日，陕西省机械工程学会组织国内有关专家在西安对陕西能源麟北发电有限公司、西安交通大学、双良节能系统股份有限公司、建研科技股份有限公司共同完成的《烟塔合一蒙皮内置大型钢结构数字化间冷系统研发与应用》项目进行了成果鉴定，与会专家听取了项目组的汇报，审阅了相关资料，经质询与讨论后，形成如下意见：

1.提交的资料完整规范，符合科技成果鉴定要求。

2.陕西能源麟北发电有限公司等4家单位联合研发的国内外首套主钢架外置、蒙皮内置的新型钢结构排烟冷却塔，解决了钢结构冷却塔在烟塔合一技术应用中的防腐问题，实现钢结构冷却塔技术在烟塔合一间冷系统的应用示范，节约了投资；开发了钢塔温度场智能控制系统，实现冬季的防冻及安全运行，降低了机组运行背压，节省供电煤耗；开发了钢塔健康监测智能控制系统，实现了钢塔运行中应力、变形等关键参数的在线监测，为钢塔的安全运行及控制提供决策和技术支持。

3.项目主要技术创新点

（1）在国内外首次开发了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术，解决了烟气对钢结构的腐蚀问题，并进行了工程示范。

（2）提出了四边角钢格构式构件的等代方法，解决了直筒-锥段型钢结构间冷塔快速建模分析的难题；通过引入轴力负刚度，考虑层与层之间的相互支援及面外环状加强桁架刚度需求，构建了基于整体抗侧刚度的钢结构间冷塔稳定设计方法，保证了地震、大风等多种工况下结构的安全性和可靠性。

（3）首次开发了基于光栅光纤技术的大型间冷塔温度场智能化监测控制系统，针对冬季大风及低温工况，实现系统精确化控制及防冻，降低了运行背压；运用阵列光栅应力应变监测技术，开发了钢塔健康监测系统，保证了钢塔的安全运行。

该技术降低了建设投资，提高了机组冬季运行的经济性及安全性，具有防腐性能好、抗震性能优良、施工周期短、三废排放少、材料可回收等特点。通过示范及推广应用，产生了显著的经济效益和社会效益，为今后国内外钢结构间冷系统的投资及运行提供了依据。

综上所述，鉴定委员会一致评价，该项目研究成果达到国际先进水平。

1. **教育部科技查新工作站（Z08）查新报告**

2021年4月，委托教育部科技查新工作站(Z08)对成果进行查新。查新点如下：

1.针对腐蚀性烟气环境，在国内外首次开发了加强环外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术，并进行了工程示范。该技术投资低、防腐性能好、抗震性能优良、施工周期短、三废排放少、材料可回收。

2.首次开发了基于光栅光纤技术的大型间冷塔温度场智能化监测控制系统，针对大风或冬季低温工况，实现系统精确化控制，在340 MW负荷时降低机组背压1.28 kPa。运用阵列光栅应力应变监测系统，在线监测钢结构塔运行阶段应力、变形数据等关键参数，为钢塔的安全运行提供决策支持。

3.采用四边角钢格构式构件的等代方法，解决了直筒-锥段型钢结构间冷塔快速建模分析的难题；通过引入轴力负刚度，考虑层与层之间的相互支援及面外环状加强桁架刚度需求，构建了基于整体抗侧刚度的钢结构间冷塔稳定设计方法，保证了在地震、大风等多种工况下结构的安全性和可靠性。

查新结论如下：

在国内外公开发表的中外文文献中，除本课题组前期成果外，与本项目查新点完全相同的未见报道。

**应用情况**

项目提出的主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔技术及温度场与钢结构健康智能监测控制技术，国内外首次在大型燃煤机组进行应用，实现了机组的安全、环保与经济运行，获得了显著的经济效益和社会效益，具有重大的推广应用价值。

目前，项目主要研究单位已将大型火电机组钢结构间冷塔推广至华能宁夏大坝电厂四期工程2×660MW机组、内蒙古能源发电投资集团有限公司锡林浩特热电公司2×350MW机组和新疆信友奇台电厂2×660MW机组等燃煤机组，累计节省初投资6071万元，新增利润30824万元，创造了显著的经济效益。

**主要知识产权**

本项目共授权发明专利2项，实用新型专利5项，论文2篇，软件著作权1项。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **专利类型** | **申请号** | **名 称** |
| 1 | 实用新型专利 | 2019219199797 | 一种新型结构布置的钢结构间冷塔 |
| 2 | 发明专利 | ZL201110232953.7 | 自然通风与机力通风相组合的干式冷却塔 |
| 3 | 论文 | 全面腐蚀控制，第34卷11期1-6页 | 冷喷锌与热镀锌防腐性能的对比试验研究 |
| 4 | 实用新型专利 | ZL201520001577.4 | 设置旁通风门的自然通风干式冷却塔 |
| 5 | 论文 | 工业建筑，第49卷第743-748页 | 大型钢结构冷却塔的发展与应用研究 |
| 6 | 发明专利 | ZL201210570034.5 | 一种换热器 |
| 7 | 实用新型专利 | ZL201821231683.1 | 一种四边角钢格构式构件 |
| 8 | 实用新型专利 | ZL201721818575.X | 具有排烟功能的钢结构间冷塔 |
| 9 | 实用新型专利 | ZL201821230593.0 | 一种钢结构间接空冷塔结构连接节点 |
| 10 | 软件著作权 | 2019SR0299359 | 间冷塔辅助校核程序软件 |

**完成人合作关系说明**

完成人刘国银、余喆为双良节能系统股份有限公司员工，与第一完成人共同承担陕西投资集团有限公司（陕西能源麟北发电有限公司系陕西投资集团有限公司下属单位）科技项目《大型火电厂钢结构排烟间接空冷塔研发与工程示范》的工作，参与烟塔合一全钢结构塔间冷系统与智能化监测系统的设计、研发及工程示范建设等工作，研究空冷塔温度场的监控系统及健康监测系统，负责技术应用推广。

完成人马明目前工作单位为建研科技股份有限公司，在钢结构间冷塔结构体系研究与设计方面做出了贡献。研究了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔结构设计问题，提出了四边角钢格构式构件的等代方法，构建了基于整体抗侧刚度的钢结构间冷塔稳定设计方法，研究了高大空间薄壳结构的施工方法，提出了施工过程安全性控制的分析方法，保证了空冷塔结构的可实施性。

完成人谭厚章和杨富鑫分别为西安交通大学教授、副教授，与第一完成人共同承担陕西投资集团有限公司科技项目《大型火电厂钢结构排烟间接空冷塔研发与工程示范》的工作，为本项目的研发及工程应用提供技术支持，负责组织并协调本项目整体研究的开展。对钢结构间冷塔防腐开展研究，参与现场温度场智能监测控制系统调试及性能试验，针对大风或冬季低温工况，投运智能监测控制系统，降低运行背压，节能煤耗。

完成人王小良是陕西能源麟北发电有限公司员工，与第一完成人共同负责陕西投资集团有限公司科技项目《大型火电厂钢结构排烟间接空冷塔研发与工程示范》的工作。从2016年起，对钢结构进行稳定性设计及分析，参与开发了一套间接空冷系统温度场监控智能控制系统，降低运行背压，节能煤耗，并保证机组在冬季各种排汽负荷及极端气温下散热器管束不结冰、不冻坏，实现安全、经济运行。

**主要完成人和主要完成单位情况及贡献**

**主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目排名** | **姓名** | **技术职称** | **工作单位**  **/完成单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 彭磊 | 高级工程师 | 陕西华山创业有限公司/陕西能源麟北发电有限公司 | 主持本项目的技术研发及工程示范。为降低钢结构间冷塔的腐蚀，提出了骨架外露、蒙皮内置的新型钢结构排烟冷却塔技术路线，提出了间冷塔冷喷锌的防腐方案，解决了钢结构冷却塔在烟塔合一技术应用中的防腐问题，实现钢结构冷却塔技术在烟塔合一间冷系统的应用示范，降低了烟塔合一间接空冷系统的投资。对“四、主要科技创新”中第1条、第2条做出贡献。 |
| 2 | 刘国银 |  | 双良节能系统股份有限公司 | 参与项目的总体方案规划及确定，负责技术应用推广。对钢结构间接空冷系统的研发及工程应用做出贡献。对“四、主要科技创新”中第1条做出贡献。 |
| 3 | 马 明 | 教授高级工程师 | 双良节能系统股份有限公司/建研科技股份有限公司 | 研究了主钢架外置、蒙皮内置的直筒-锥段钢结构排烟间冷塔结构设计问题，解决了烟气对钢结构的腐蚀问题，并进行了工程示范。提出了四边角钢格构式构件的等代方法，构建了基于整体抗侧刚度的钢结构间冷塔稳定设计方法，研究了高大空间薄壳结构的施工方法，提出了施工过程安全性控制的分析方法，保证了空冷塔结构的可实施性。对“四、主要科技创新”中第1条、第2条做出贡献。 |
| 4 | 谭厚章 | 教授 | 西安交通大学 | 负责项目可行性分析及技术方案的制定，研究空冷塔换热性能及智能监控，参与金属表面施加涂层对结构的保护研究。对“四、主要科技创新”中第1条、第3条做出贡献。 |
| 5 | 余 喆 | 工程师 | 双良节能系统股份有限公司 | 参与总体方案的制订、负责总体方案的设计，确定钢结构塔的工艺尺寸，对空冷塔的冷却性能进行研究，负责技术应用及推广。对“四、主要科技创新”中第1条、第3条做出贡献。 |
| 6 | 王小良 | 工程师 | 陕西能源麟北发电有限公司 | 与第一完成人一起负责烟塔合一蒙皮内置钢结构间冷塔技术的研发及工程示范，对钢塔结构进行研究。对“四、主要科技创新”中第1条、第2条做出贡献。 |
| 7 | 杨富鑫 | 副教授 | 西安交通大学 | 参与项目可行性分析及技术方案的制定，在钢结构间冷塔防腐研究、智能监测控制系统调试及性能试验方面做出贡献。对“四、主要科技创新”中第1条、第3条做出贡献。 |

**主要完成单位情况及创新推广贡献**

**主要完成单位情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **项目排名** | **完成单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 陕西 能源 麟北 发电 有限 公司 | 陕西能源麟北发电有限公司是本项目的第一完成单位，提供科技项目的研发费用，组织领导本项目研发的所有工作。从2016年开始本项目研究工作，在麟北电厂间冷塔上开展试验，投资对研发成果进行工程施工，建设完成世界首例具有排烟功能的钢结构间冷塔。公司执行董事、总经理彭磊是本项目的第一完成人，领导本项目的研发工作，是本项目的首倡者和项目负责人，领导麟北电厂成立专业团队进行技术攻关，并与西安交通大学、双良节能系统股份有限公司和建研科技股份有限公司进行技术合作，共同研究钢结构烟塔合一间接空冷塔技术。  2015年12月，对钢结构间接空冷系统实施的可行性进行初步论证，确认实施该项目的工程难点；2016年3月，通过论证，确定蒙皮内置的钢结构间冷塔技术路线；2017年4月，为降低钢结构间冷塔内腐蚀气氛，确定半干法脱硫系统；2016年5月，基于研究并召开钢结构间冷塔防腐专题论证会，确定了间冷塔冷喷锌的防腐方案；2016年10月，完成钢结构间冷塔风洞试验。 |
| 2 | 双良 节能 系统 股份 有限 公司 | 负责烟塔合一全钢结构塔间冷系统与智能化监测系统的设计、研发与工程示范等工作。在结构设计中创造性的采用了铝板内置、钢结构加强环外置的设计，有效保证了冷却塔的安全与使用寿命，减少了塔内空气阻力，提高了冷却效率。对全过程弹塑性非线性稳定进行了分析，保证了结构在地震等特殊情况下的持续工作能力。 |
| 3 | 西安 交通 大学 | 为本项目的研发及工程应用提供技术支持，组织并协调本项目整体研究的开展。负责钢结构间冷塔的整体技术方案，参与钢结构间冷塔的防腐方案及研究。参与现场温度场智能监测控制系统调试及性能试验，针对大风或冬季低温工况，投运智能监测控制系统，降低运行背压，节能煤耗。负责研究工作的归纳总结及凝练，负责项目的工作报告、技术研究报告、运行报告、经济效益报告、性能测试报告等。 |

《大变比特高压外送高硫煤间冷发电关键技术研究与应用》

项目公示材料

**项目名称：**大变比特高压外送高硫煤间冷发电关键技术研究与应用

**主要完成人：**吴智乾、袁小宁、王栋、邓双辉、叶锋、李会利、孟丽坤、郑烨、程锐

**主要完成单位：**陕西能源赵石畔煤电有限公司

西安交通大学

首航高科能源技术股份有限公司

西安西电变压器有限责任公司

**提名单位：**陕西投资集团有限公司

**提名奖等：**二等奖及以上

**项目简介**

陕能赵石畔煤电一体化项目雷龙湾电厂(2×1000MW)工程一期建设规模为2台1000MW高效超超临界间接空冷燃煤发电机组，作为“陕北榆横-山东潍坊”1000kV特高压输电优选后的三个电源项目之一，将为陕北地区电力外送提供电源保证。电厂厂址位于陕北煤炭基地腹地的榆林市横山县境内，横山地区受蒙古高压和大陆低压槽的控制，呈现强烈的大陆性气候，极端最高气温40.4℃，极端最低气温为-29.0℃，最大风速为25.7m/s，相应风压为0.47kN/m2。电厂紧邻陕西投资集团公司所属的陕北侏罗纪煤田榆横矿区（南区）赵石畔井田，采用煤电一体化建设模式，燃煤由皮带直接输送进厂，可以实现资源就地转化，变输煤为输电。按每台机组年有效利用5500小时计算，电厂一期两台机组年发电量110亿千瓦时，可就地转化煤炭400余万吨，预计年产值30多亿元。《大变比特高压外送高硫煤间冷发电关键技术研究与应用》项目通过“1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”、“高硫煤百万机组低氮燃烧模式下的水冷壁防腐技术”、“百万机组间接空冷冷却技术”、“百万机组非金属材料余热利用技术”等四项技术的研发与实施，代表着国内同类型同规模火力发电机组的先进水平。本项目的实施取得了多个国内甚至国际第一，最大限度实现了电厂的安全、环保与经济运行，获得了巨大的经济效益和社会效益。**主要创新性成果**

1.提出了一种针对27kV/1000kV的大变比特高压大容量变压器的漏磁控制技术，对高阻抗、大容量变压器漏磁屏蔽结构进行了优化。

2.在1000MW超超临界机组锅炉高壁温、强腐蚀气氛下开展了水冷壁管涂层复合材料的研究及工艺开发，并进行了示范应用，获得了不同负荷下的水冷壁管腐蚀速率。

3.开展了超大型六排管间接空冷冷却技术的系列研究，解决了防风、防冻等复杂极端气象条件下的运行问题，并在全国首台1000MW超超临界机组上应用，保障了大型机组的安全、可靠与经济运行。

4.开发了以耐腐蚀氟塑料薄壁小管径组成的余热换热系统，可使换热器长期运行在酸露点以下，余热回收量大。

**客观评价**

2020年5月25日，陕西省机械工程学会组织有关专家，对陕西能源赵石畔煤电有限公司主持完成的《大变比特高压外送高硫煤间冷发电关键技术研究与应用》项目进行科技成果鉴定。鉴定委员会审阅了项目鉴定资料，听取了项目负责人汇报，经质询讨论，形成意见如下：

1．提交的资料完整规范，数据可信，符合科技成果鉴定要求。

2．该项目系统研发了“1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”、“高硫煤百万机组低氮燃烧模式下的水冷壁防腐技术”、“百万机组六排管间接空冷冷却技术”、“百万机组非金属材料余热利用技术”四项技术成果，并进行了工程示范。

3.项目主要技术创新点

（1）创新集成了大电流双层螺旋式绕组技术、漏磁及局部过热控制技术、特高压变压器主纵绝缘优化设计及过电压抑制等关键技术，首次开发应用了可抗全电压冲击的27kV/1000kV大变比特高压外送变压器，保证了发电系统稳定性和安全性。

（2）针对燃用高硫煤1000MW超超临界机组锅炉水冷壁高壁温、强腐蚀问题，通过实验室研究获得了不同工艺及喷涂材料的水冷壁管腐蚀速率，开发了不同管壁涂层材料防腐工艺，解决了百万机组高硫煤高温腐蚀难题。

（3）开发了百万机组六排管间接空冷冷却成套技术，强化了换热效果，降低了系统阻力及厂用电率，减少了空冷塔占地及工程造价，并在国内外1000MW超超临界机组上首次应用。

（4）开发了耐腐蚀氟塑料薄壁小管径百万机组烟气余热回收系统，彻底解决了烟气低温腐蚀问题，通过优化不同季节余热利用方式，降低了机组热耗，且节水效果显著。

综上所述，该项目研究成果为企业创造623277.05万元经济效益，减少了环境污染，并在国内同类机组有重要的推广应用价值，为今后我国乃至世界上燃用高硫煤百万机组的安全、环保和经济运行提供工程指导和运行示范。

鉴定委员会一致评价，该项目研究成果达到国际领先水平。

**应用情况**

项目技术在陕西投资集团有限公司赵石畔煤电一体化项目雷龙湾电厂2×1000MW机组上得到了应用。2018年6月至2021年3月，研究成果还在清水川、铜川照金、渭河、麟北等电厂得到应用，累计新增利润623277.05万元。

**主要知识产权**

本项目共授权发明专利2项，实用新型专利3项，SCI录取英文论文2篇，中文录取论文3篇。以上内容信息如下所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **类型** | **名称** |
| 1 | 发明专利 | 一种用于电站百万机组间接空冷系统的换热器 |
| 2 | 发明专利 | 一种单相电力变压器的铁心结构 |
| 3 | 实用新型 | 一种可调节冷却三角预安装架支撑 |
| 4 | 实用新型 | 一种单相变压器油箱漏磁屏蔽结构 |
| 5 | 实用新型 | 一种火力发电厂燃用高硫煤烟气余热利用系统 |
| 6 | SCI论文 | A typical super-heater tube leakage and high temperature corrosion mechanism investigation in a 260 t/h circulated fluidized boiler |
| 7 | SCI论文 | Investigation on high temperature corrosion of water-cooled wall tubes at a 300 MW boiler |
| 8 | 中文论文 | 电站锅炉水冷壁高温腐蚀成因与对策研究 |
| 9 | 中文论文 | 燃用高硫煤电站锅炉烟气余热利用系统应用分析 |
| 10 | 中文论文 | 特高压出线装置机械性能的研究 |

# 完成人合作关系说明

项目主要完成人9人，分别有陕西能源赵石畔煤电有限公司、首航高科能源技术股份有限公司、西安交通大学、西安西电变压器有限责任公司、西北电力设计院有限公司、陕西投资集团有限公司、陕西投资集团创新技术研究院有限公司7家单位相关技术人员组成。

完成人吴智乾、王栋、程锐是陕西能源赵石畔煤电有限公司员工，与第一完成人吴智乾一起进行1000MW高硫煤超超临界间接空冷机组关键技术研究及工程示范的主体工作，从2016年起，在陕西能源赵石畔煤电有限公司两台1000MW机组上系统地发展 “1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”、“高硫煤百万机组低氮燃烧模式下的水冷壁防腐技术”、“百万机组六排管间接空冷冷却技术”、“百万机组非金属材料余热利用技术”等四项关键技术的技术研发、组织协调、示范等相关工作，本项目的完成为今后我国乃至世界上燃用高硫煤百万机组的安全、环保、稳定和高效运行提供工程指导意义和运行范例。本项目成果在赵石畔电厂运行稳定，取得了巨大的经济效益和社会效益，具有良好的示范效应和推广意义。

完成人李会利为首航高科能源技术股份有限公司高级工程师。首航与赵石畔公司签订有技术服务合同，对开展空冷散热器的比选研究、间接空冷系统的优化计算、间冷塔的结构优化、最佳的间冷塔机构优化设计方案确定及百万机组超大型六排管间接空冷冷却技术工程实施等做出了贡献。

完成人邓双辉为西安交通大学能源与动力工程学院助理研究员，与赵石畔公司签订有技术服务合同，对本项目的研发进行整体策划和技术支持，负责和参与实施前后工业性试验，对百万机组间冷塔换热器的性能计算、经济性分析等进行核算，参与项目技术方案的制定。

完成人孟丽坤为西安西电变压器有限责任公司高级工程师。西电与赵石畔公司签订有技术服务合同，孟丽坤对分析大变比特高压变压器的结构形式、与普通电力变压器的异同点、不同容量输电工程中特高压变压器的特点；大变比特高压变压器特征谐波分布特点及其振动机理，变压器绕组振动状态与绕组机械状态关系及1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术工程实施等做出了贡献。

完成人郑烨为西北电力设计院有限公司设计员。西北院与赵石畔公司签订有技术服务合同，郑烨对换热器材料腐蚀特性的试验研究、常用烟气换热器的设置方案分析比较，针对百万机组余热利用的最优方案选取及高硫煤百万机组余热利用系统设备实施等做出了贡献。

完成人袁小宁为陕西投资集团有限公司员工，该公司为赵石畔公司的控股母公司，完成人叶锋为陕西投资集团创新技术研究院有限公司员工。袁小宁、叶锋为本项目提供总体技术咨询、组织协调工作、间冷塔设备布置规划优化设计、施工安装方案优化等做出了贡献。

**主要完成人和主要完成单位情况及贡献**

详见下表。

**主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目排名** | **姓名** | **行政职务** | **技术职称** | **工作单位**  **/完成单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 吴智乾 | 副总经理 | 高级工程师 | 陕西能源赵石畔煤电有限公司 | 本项目首倡者和第一完成人，主持本项目的技术研发、工业示范等工作。工作中主导了水冷壁防腐涂层材料选取、先进间接空冷冷却换热器设计、百万机组余热利用换热器材料选择、大变比特高压变压器系统设计等方案的研究。对“主要创新性成果”中第1条~第4条做出创造性贡献。 |
| 2 | 袁小宁 | 董事长 | 高级工程师 | 陕西投资集团有限公司 | 为本项目提供总体技术咨询，组织协调本项目的整体技术研究工作。研究中主要负责电厂水冷壁防腐经济性，余热利用技术开发方面的工作。对“主要创新性成果”中第1条和第3条做出创造性贡献。 |
| 3 | 王栋 | 董事长 | 高级工程师 | 陕西能源赵石畔煤电有限公司 | 本项目的工程和技术总负责，制定本项目的总体技术路线，分析制定了锅炉受热面高温腐蚀预防护方案和防护涂层；提出了百万机组先进间接空冷冷却技术的方法，确定了烟气换热器的最优设置方案；精细分析了百万机组高电压/高变比系统及利用技术。对“主要创新性成果”中第1条~第4条做出创造性贡献。 |
| 4 | 邓双辉 | 无 | 助理  研究员 | 西安交通大学 | 负责项目锅炉受热面高温腐蚀机理和实验研究，实施前后工业性试验，参与项目可行性研究和技术方案的制定。对“主要创新性成果”中第1条做出创造性贡献。 |
| 5 | 叶锋 | 副总经理 | 高级工程师 | 陕西投资集团创新技术研究院有限公司 | 负责本项目百万机组先进间接空冷冷却技术的设计与研究，包括空冷散热器材质与管型研发、散热器结构特性与换热性能关系、换热器经济性计算等工作。对“主要创新性成果”中第2条和3第条做出创造性贡献。 |
| 6 | 李会利 | 总工程师 | 高级工程师 | 首航高科能源技术股份有限公司 | 开展了空冷散热器的比选研究，获得了最佳的空冷散热器材质与管型，提出了最佳的六排管换热器间冷塔机构优化设计方案，并进行了间冷塔经济性分析。对“主要创新性成果”中第2条做出创造性贡献。 |
| 7 | 孟丽坤 | 总监 | 高级工程师 | 西安西电变压器有限责任公司 | 分析大变比特高压变压器的结构形式，研究了变压器绕组振动状态与绕组机械状态的变化规律，研发了1200MVA/1000kV大变比特高压变压器。对“主要创新性成果”中第4条做出创造性贡献。 |
| 8 | 郑烨 | 无 | 教授级工程师 | 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 | 研究了几种余热利用设备的常用金属换热器材料腐蚀特性，分析比较了常用烟气换热器的设置方案，制定了针对本项目的余热利用的最优方案。对“主要创新性成果”中第3条做出创造性贡献。 |
| 9 | 程锐 | 无 | 工程师 | 陕西能源赵石畔煤电有限公司 | 负责水冷壁防腐和间接空冷冷却的设计工作，包括水冷壁防腐材料的特性实验、防腐涂层的选择、空冷散热器的比选研究、间冷塔换热器管型设计等工作。对“主要创新性成果”中第1条、第2条和第4条做出创造性贡献。 |

**主要完成单位情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **项目排名** | **完成 单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 陕西能源赵石畔煤电有限公司 | 主要负责该项目技术方案指定，项目的规划，项目的组织和实施，低氮燃烧模式下的水冷壁防腐及百万机组余热利用技术的研究技术工作，并为项目研发提供了全部经费。主要有：  （1）水冷壁腐蚀及防腐资料收集、调研分析；对现有的涂层进行筛选，选择几种涂层进行高温腐蚀性能试验；根据试验结果进行优化，制备新的不同的防高温腐蚀涂层；对新制备的涂层进行性能试验；对炉内燃烧工况进行研究分析，分析水冷壁易发生腐蚀的区域，确定防护范围和面积；防高温腐蚀涂层制备的经济性分析；研究机组运行中水冷壁和涂层正常工况运行状态下的现场验证方法和途径；形成完整的锅炉水冷壁高温腐蚀预防护研究报告。  （2）开展了机组性能考核试验、锅炉水冷壁高温腐蚀防护试验、机组间接空冷系统性能考核试验报告、机组凝汽器及冷端优化性能试验报告、机组汽动给水泵组性能考核试验报告、机组汽轮机性能考核试验、机组凝结水泵性能试验等现场试验和分析工作，为百万机组高硫煤超超临界间接空冷机组关键技术研究及工程应用提供了真实可靠的数据。  （3）完成了对冲式燃烧锅炉高温腐蚀机理、腐蚀形式以及腐蚀影响因素的研究分析，总结归纳出对冲燃烧锅炉水冷壁易发生高温腐蚀的区域，并提出针对陕西能源赵石畔煤电有限公司雷龙湾电厂1000MW机组锅炉的水冷壁高温腐蚀喷涂防护及工作量建议。  （4）设计煤种煤中硫在燃煤锅炉中的全生命周期迁徙特性。  （5）开展几种余热利用设备的常用金属换热器材料腐蚀特性研究。  （6）开展预防低温腐蚀的措施调研工作，包括合理选择烟气换热器元件材料、运行调整等。 |
| 2 | 西安交通大学 | 为本项目提供总体技术咨询，组织协调本项目的整体技术研究工作。主要有：  （1）制定了高硫煤百万机组间接空冷技术利用方案，对赵石畔公司两台1000MW机组的间接空冷系统进行整体匹配。  （2）参与现场的机组性能考核试验和优化试验，包括机组性能考核试验、锅炉水冷壁高温腐蚀防护试验等。  （3）负责技术资料管理等工作，组织编写与本项目相关的技术研究报告、工作报告、运行报告、经济相应报告等。 |
| 3 | 首航高科能源技术股份有限公司 | 在本项目中主要百万机组先进间接空冷冷却技术的研究开发工作，主要有：  （1）开展空冷散热器的比选研究。  （2）对间接空冷系统进行优化计算。  （3）间冷塔结构优化。  （4）提出最佳的间冷塔机构优化设计方案。 |
| 4 | 西安西电变压器有限责任公司 | 在本项目中主要负责大变比特高压变压器利用技术的研究开发工作，主要有：  （1）分析大变比特高压变压器的结构形式、与普通电力变压器的异同点、不同容量输电工程中特高压变压器的特点。  （2）根据大变比特高压变压器的特征谐波分布特点对其振动机理进行研究，研究变压器绕组振动状态与绕组机械状态的关系。 |

《808nm 600W半导体激光器芯片技术研究》

项目公示材料

**项目名称：**808nm 600W半导体激光器芯片技术研究

**主要完成人：**李青民、孙丞、任占强、李波、仇伯仓、李喜荣、

苗宏周、杨欢、李伟

**主要完成单位：**西安立芯光电科技有限公司

**提名单位：**陕西投资集团有限公司

**提名奖等：**二等奖及以上

**项目简介**

半导体激光器作为一个世界前沿的研究方向，其发展涉及到国家战略层面。半导体激光器以其转换效率高、寿命长、体积小、质量轻、可靠性高、能直接调制及易与其他半导体器件集成等特点，被广泛应用于军事、工业、航空、航天等关系国家竞争力的关键领域。半导体激光器在军事上的应用主要包括：配备半导体激光器的高能激光武器，可用于各种近程导弹防御拦截；激光制导，使导弹在激光射束中飞行直至摧毁目标，半导体激光制导多用于地－空导弹、空－空导弹、地－地导弹等；激光测距，主要用于反坦克武器以及航空、航天等领域；激光雷达，用于监测目标，对来袭目标精确定位以及对直升飞机和巡航导弹的地形跟踪等。其中制导和测距等应用以高功率脉冲半导体激光器为主，波长集中在904 nm 波长附近，近年来有向长波长发展的趋势。

随着半导体激光器结构优化技术、材料外延生长技术、腔面钝化技术和封装技术的发展和进步，半导体激光器的功率、可靠性和转换效率都得到了迅速提高，在国际范围内受到了高度的关注和重视，世界激光大国正在以惊人的速度和隐秘的举措发展军用激光，占领航空、航天、航海、信息等领域。以美国为例，国防部、宇航局、各军兵种以及国家实验室等20 多个部门都在为武器装备研制高功率半导体激光器，因而一直保持世界领先地位。2009年1月美国陆军测试了雷锡恩公司的激光演示系统,它的功率达到了50千瓦，雷锡恩公司计划用它代替海军的密集阵系统和陆军的陆基密集阵系统。2009年6月雷锡恩公司进行了海军激光器项目的陆上射击测试，为战舰提供对小型飞机和小艇的防御能力，在中国湖靶场的三次试验中击落了共计5架无人机,验证了其攻击能力。美国在2010年1月实现了半导体激光器泵浦固体激光器105千瓦的输出，达到了第三阶段被视为武器级高能激光门槛的100千瓦功率目标,预示着半导体激光器泵浦固体激光器距离实际的激光武器又近了一步。诺斯罗普•格鲁曼公司105千瓦功率的激光器由7个15千瓦的FireStrike激光模组组成。根据相关资料说明, FireStrike激光模组能达到光束质量达1.5倍衍射极限15千瓦的光功率输出；启动快，从停机到全功率输出只需要0.5秒；可靠性好,其激光输出时间只受到输入能量和冷却系统的时间限制。比之传统化学激光器,走向小型化模块化和通用化的超过100千瓦固体激光器,己经对化学激光器构成了竞争压力,未来可集成在从陆军高能激光器技术演示到海军战舰自身防御以及海空军的先进攻击无人机与战斗机上。

目前，国内半导体激光器芯片供不应求，特别是高端激光器芯片基本依赖进口。国内虽有几家拥有MOCVD外延生长设备的科研院所仅可以小批量地生产低功率（如单管4W、CW巴条40W、QCW100W以下）的激光器芯片满足自用，没有形成商业化批量生产能力，更不具备高端激光器芯片的生产能力。

随着半导体激光器芯片性能的不断提高，在国防领域的应用也越来越多，国内的相关军事装备制造单位，包括四川绵阳的中国工程物理研究院第十研究所、河北石家庄的中国电子科技集团公司第十三研究所、重庆的中国电子科技集团公司第四十四研究所等，对该类半导体激光器芯片的需求量也在持续增加，但是由于国外的高功率半导体激光器芯片对国内实行禁运，仅出售部分低功率芯片给国内，并且交货数量和周期均无法得到保证，使得国内军用激光器在研发速度、性能指标、集成度、可靠性等方面，明显逊色于国外同类产品。

综上所述，提高半导体激光器的输出功率，实现小尺寸、质量轻、可扩展性和兼容性，提高与其他技术可集成性，提高半导体激光器在特殊应用环境下的寿命和可靠性等仍然是在军事领域应用的半导体激光器未来的发展趋势。国内外市场对该类半导体激光器芯片的需求旺盛，而我国半导体激光器的研制和生产技术与国际相比，还有一定的差距。

本项目通过对808nm准连续600W半导体激光器芯片关键技术的研究，获得808nm准连续系列激光器芯片的核心技术，解决808nm准连续系列激光器芯片在产品化中的关键问题，推动采用高功率半导体激光器芯片泵浦的固体激光器发展，进而推动相关千瓦级高功率激光武器的发展，改善国外相关产品长期禁运导致国内军用激光武器技术发展缓慢的窘境。

**主要创新性成果**

1.外延结构升级，808nm 300W和808nm 600W巴条多数在高温条件下使用，针对高温条件使用，对外延结构进行了升级。通过在808nm 10W单管上进行高温特性验证，在芯片的斜率效率和转换效率等基本参数保持不变的情况下，高温特性得到较大的提升。

2.对器件寿命起到关键作用的设备进行升级，其中残余气体分析仪（Residual gas analyzer，RGA）可以监控镀膜过程中残余气体的成分和含量，通过器件可靠性与残余气体成分的相关性，采用实验方法，减少影响芯片可靠性的残余气体，从而提高芯片的可靠性。目前已经完成RGA的升级，并已经应用在808nm 10W单管、808nm 300W巴条和808nm 600W巴条等高端芯片的研发制造中。

3.关于腔面镀膜工艺优化方面，通过RGA的升级，芯片的腔面损伤阈值COMD得到突破性的进展，芯片的腔面的功率密度从升级前的10MW/cm2提高到了14.23MW/cm2，该性能与芯片可靠性是正相关的，从而也表明在该镀膜工艺条件下生产和研发的产品的可靠性得到了大大的提升。

客观评价

2019年3月27日，陕西投资集团组织有关专家，对西安立芯光电科技有限公司主持完成的《808nm 600W半导体激光器芯片技术研究》项目进行会议验收，并进行了科技成果鉴定。鉴定委员会审阅了项目鉴定资料，听取了项目负责人汇报，经质询讨论，形成意见如下：

1.提交的资料完整规范，数据可信，符合科技成果鉴定要求。

2.该项目系统研发了“808nm激光器结构升级”、“腔面镀膜设备环境RGA监控技术”、“高可靠性高损伤阈值腔面镀膜技术”三项技术成果，并进行了技术应用。

3.项目主要技术创新点

（1）外延结构升级，808nm 300W和808nm 600W巴条多数在高温条件下使用，针对高温条件使用，对外延结构进行了升级。通过在808nm 10W单管上进行高温特性验证，在芯片的斜率效率和转换效率等基本参数保持不变的情况下，高温特性得到较大的提升。

（2）对器件寿命起到关键作用的设备进行升级，其中残余气体分析仪（Residual gas analyzer，RGA）可以监控镀膜过程中残余气体的成分和含量，通过器件可靠性与残余气体成分的相关性，采用实验方法，减少影响芯片可靠性的残余气体，从而提高芯片的可靠性。目前已经完成RGA的升级，并已经应用在808nm 10W单管、808nm 300W巴条和808nm 600W巴条等高端芯片的研发制造中。

（3）关于腔面镀膜工艺优化方面，通过RGA的升级，芯片的腔面损伤阈值COMD得到突破性的进展，芯片的腔面的功率密度从升级前的10MW/cm2提高到了14.23MW/cm2，该性能与芯片可靠性是正相关的，从而也表明在该镀膜工艺条件下生产和研发的产品的可靠性得到了大大的提升。

综上所述，公司自有技术研发并生产了808nm 300W和808nm 600W半导体激光芯片。其中808nm 300W产品在50°C高温下衰减率从15.6%降低到9.9%，达到国外商品化产品同等水平， 600W产品已获得客户初步认可，并在继续验证。本项目实现了高功率半导体激光芯片的国产化，给我国整个激光行业带来革命性的变革，将会极大的促进我国该行业的快速良性发展。

应用情况

项目技术已经用于西安立芯光电科技有限公司的808nm高功率芯片产品，2018年至2021年，实现销售收入659.75万元，带动公司整体产品性能提升，提升公司整体产能。

# 主要知识产权

本项目共授权发明专利5项，实用新型专利5项。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **专利类型** | **申请号** | **名 称** |
| 1 | 发明 | 201511024095.1 | 一种用于适应背面减薄的晶圆金属镀层结构以及工装 |
| 2 | 发明 | 201511023964.9 | 一种改善SiNx在GaAs晶圆上粘附性的方法 |
| 3 | 发明 | 201610192007.7 | 一种用于光刻涂胶工艺手动定位晶圆的辅助工具及其定位方法 |
| 4 | 发明 | 201610874047.X | 一种用于激光芯片制造中平边补偿对准的光刻方法 |
| 5 | 发明 | 201711191957.9 | 一种用于晶圆光刻的高精度对准方法 |
| 6 | 实用新型 | 201721615931.8 | 一种高功率半导体激光器巴条 |
| 7 | 实用新型 | 201721617828.7 | 一种用于半导体芯片加电测试的探针装置 |
| 8 | 实用新型 | 201822235268.X | 一种高功率准连续半导体激光器芯片 |
| 9 | 实用新型 | 201822189854.5 | 一种用于半导体激光器侧腔面镀膜的夹具 |
| 10 | 实用新型 | 201822237468.9 | 一种用于湿法有机清洗工艺固定晶圆的装置 |

# 完成人合作关系说明

项目主要完成人9人，均为西安立芯光电科技有限公司的职工，是公司研发团队的核心成员，已进行了长期合作，共同完成“808nm 600W半导体激光器芯片技术研究”项目。李青民作为项目负责人负责统筹整个项目的进行，负责完成课题设计、监督实施、技术指导并结题，孙丞、任占强、李波参与项目实施、并结题；仇伯仓、李喜荣、苗宏周、杨欢、李伟参与课题实施。

# 主要完成人和主要完成单位情况及贡献

**主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目排名** | **姓名** | **技术 职称** | **工作单位**  **/完成单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 李青民 | 高级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 本项目第一完成人，主持本项目的技术研发、产品应用等工作。主要负责器件制备、测试表征、性能优化和研发报告等工作；系统的建立了器件寿命推算模型，对器件的寿命进行了系统的评估，并对影响器件寿命的主要因素进行系统评价和优化；针对主要影响器件寿命的关键因素—腔面镀膜进行了系统的优化，使器件的寿命达到商业化标准并接近国外领先水平。对“主要创新性成果”中第1条~第3条做出创造性贡献。 |
| 2 | 孙丞 | 中级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 本项目的工程和技术总负责，制定本项目的总体技术路线，负责器件的设计、测试等，分析研发了偏振测试系统，对器件的偏振态进行测试与仿真。对“主要创新性成果”中第1条~第3条做出创造性贡献。 |
| 3 | 任占强 | 中级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 负责芯片核心工艺的研发，成功提升腔面镀膜工艺和器件可靠性。搭建芯片测试及老化平台，并且建立了一整套的从芯片检测、封装、测试、老化及器件失效分析的全部流程。对“主要创新性成果”中第1条做出创造性贡献。 |
| 4 | 李波 | 正高级工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 成功搭建芯片测试及老化平台，并且建立了一整套的从芯片检测、封装、测试、老化及器件失效分析的全部流程。对“主要创新性成果”中第1条做出创造性贡献。 |
| 5 | 仇伯仓 | 研 究 员 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 主要负责器件结构设计、材料生长指导，同时担任项目的技术顾问等工作。对“主要创新性成果”中第2条和3第条做出创造性贡献。 |
| 6 | 李喜荣 | 中级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 针对主要影响器件寿命的关键因素—腔面镀膜进行了系统的优化，参与项目可行性研究和技术方案的制定。对“主要创新性成果”中第2条做出创造性贡献。 |
| 7 | 苗宏周 | 高级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 主要负责Fab管理及生产技术指导，同时合作完成了相关专利的申请。对“主要创新性成果”中第2条做出创造性贡献。 |
| 8 | 杨欢 | 中级 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 主要负责技术调研、技术开发及技术材料编制，同时合作完成了相关专利的申请。对“主要创新性成果”中第3条做出创造性贡献。 |
| 9 | 李伟 | 助理 工程师 | 西安立芯 光电科技 有限公司 | 参与项目工艺技术及夹具研发；对“主要创新性成果”中第4条做出创造性贡献。 |

# 主要完成单位情况及创新推广贡献

**主要完成单位情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **项目排名** | **完成单位** | **对项目的贡献** |
| 1 | 西安立芯光电科技有限公司 | 主要负责该项目技术方案指定，项目的规划，项目的组织和实施808nm 600W半导体激光器芯片技术技术的研发与应用工作，并为项目研发提供了全部经费。主要有：  （1）外延结构升级，808nm 300W和808nm 600W巴条多数在高温条件下使用，针对高温条件使用，对外延结构进行了升级。通过在808nm 10W单管上进行高温特性验证，在芯片的斜率效率和转换效率等基本参数保持不变的情况下，高温特性得到较大的提升。  （2）对器件寿命起到关键作用的设备进行升级，其中残余气体分析仪（Residual gas analyzer，RGA）可以监控镀膜过程中残余气体的成分和含量，通过器件可靠性与残余气体成分的相关性，采用实验方法，减少影响芯片可靠性的残余气体，从而提高芯片的可靠性。目前已经完成RGA的升级，并已经应用在808nm 10W单管、808nm 300W巴条和808nm 600W巴条等高端芯片的研发制造中。  （3）关于腔面镀膜工艺优化方面，通过RGA的升级，芯片的腔面损伤阈值COMD得到突破性的进展，芯片的腔面的功率密度从升级前的10MW/cm2提高到了14.23MW/cm2，该性能与芯片可靠性是正相关的，从而也表明在该镀膜工艺条件下生产和研发的产品的可靠性得到了大大的提升。 |