**附件：**

**《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》**

**项目公示材料**

**项目名称：**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

**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

# 一、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。《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》项目通过“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”、“1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”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。

# 二、主要创新性成果

1.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。

2.开展了超大型6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。

3.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。

4.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。

# 三、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《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》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“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6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”、“1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”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）针对设计煤种2.46%的高含硫量以及超低NOx燃烧技术，在1000MW超超临界机组锅炉高壁温、强腐蚀气氛下开展水冷壁管涂层复合材料的研究及工艺开发，并进行示范应用，获得了不同负荷下的水冷壁管腐蚀速率。

（2）开展了超大型6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。

（3）基于燃烧高硫煤产生的高酸露点、高腐蚀的烟气气氛，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。

（4）根据特高压外送电源的现状，开发了27kV/1000kV的大变比特高压变压器，简化了升压环节、降低了损耗，提高了发电系统稳定性和安全性。提出了一种针对大变比特高压大容量变压器的漏磁控制技术，同时优化了变压器高压引线的出线方式，最大限度的减小变压器的漏磁通量。

综上所述，该项目研究成果为企业创造461618.41万元经济效益，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。

# 四、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年至2020年，研究成果在铜川照金、渭河、清水川等电厂的应用累计新增利润461618.41万元。

# 五、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。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 | 浅谈节能减耗技术在电厂锅炉运行中的应用 |
| 10 | 中文论文 | 特高压出线装置机械性能的研究 |

# 六、完成人合作关系说明

项目主要完成人9人，分别由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 “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6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”、“1200MVA/1000kV大变比特高压变压器利用技术”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6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、叶锋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，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。

# 七、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** | **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6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。 |