高海拔地区复杂地形上百兆瓦级大型光伏电站建设关键技术研发及应用

**一、项目基本情况**

**项目名称：**高海拔地区复杂地形上百兆瓦级大型光伏电站建设关键技术研发及应用

**主要完成人：**李文光，李光明，栾石林，董俊，马启坤，陈祥，杨新华，杨春寿，蒋阿华，张晓泳，汪玉华，亢若谷

**主要完成单位：**云南冶金云芯硅材股份有限公司、云南冶金新能源股份有限公司、中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司、天合光能股份有限公司

**二、项目简介**

项目围绕高海拔复杂地形石漠化土地上建设百兆瓦级大型光伏电站在成本、系统效率、出力预测、运营管理、环境影响等方面存在的问题，通过以下措施，实现降低建设成本，提高发电效率、出力预测精度及运营管理能力，减少水土流失和改善生态环境：

（1）通过对高海拔地区喀斯特地貌复杂地形石漠化区域大型光伏电站的方阵布置、系统容配比、方阵间距、支架、安装方法等各设计子项进行集成创新优化，开发了光伏施工图设计软件、山地光伏支架和结构件，减少了方阵占地、设备和材料用量，延长了发电时长，提高工程施工效率和质量，进而实现降低建设成本，提高发电效率。

（2）基于高精度数值天气预报数据、实测气象数据、电站运行数据，应用支持向量机SVM和BP神经网络等多种算法建立预测模型，对模型训练样本数据按天气进行分类、筛选、卡尔曼滤波处理，在消除奇异数据确保训练样本数据充足性、稳定可信、随机性的同时提高了模型泛化能力。采用网格搜索和交叉验证（CV）相结合的方法寻找模型中惩罚因子C和核参数g的最优值，并用历史同时刻最值对预测值进行修正，进一步提高模型预测精度。

（3）以本地综合自动化监控系统、光伏阵列监控系统为基础，基于云计算技术跨越多平台操作系统构建云端智能监控管理系统，部署了数据采集传输、存储、运算分析、展示查询等服务器，提高了电站运营管理水平。

（4）利用坐标解析法建立数学模型找到设备布置的最优位置，利用PVsyst软件模拟分析了光伏方阵内光照分布、阴影对系统失配的影响、组件离地高度对发电量的影响。通过采用静态控制和动态识别技提高系统匹配性，土建工程设计地表扰动小，建立监测点，对电站范围内的水土流失和生态环境进行长期监测。

项目技术成果自2014年逐步应用于建水南庄300MW石漠化复杂地形山地光伏电站中，电站实现连续稳定、高效率、安全可靠的长期运行，整体技术达到国内先进水平，其中建设成本降至7.46元/W（2015年），节约投资54,435.48万元，系统效率超82.5%，超短期、短期出力预测月平均均方误差分别达到5.03%、14.72%，高于标准（NB/T 32011-2013）和电网考核要求，技术指标达到国内领先水平。截止2018年3月底已累计发电99,812.68kW·h、销售收入82,349.40万元、创税11,965.29万元，累计节约标煤32.9万吨、减排CO2 86.3万吨等。较未建设光伏电站前，水土流失量降低了40%，草本层盖度和林草植被覆盖率分别提高至80%和37.24%，取得了良好的经济、环境和社会效益。

本项目已获软件著作权1项，授权实用新型专利5项，申请发明专利4项，发表学术论文10篇，企业技术标准2项。

**三、候选人对项目的贡献情况**

**第一候选人 李文光：**项目总负责人，负责整个项目研发的资源保障，包括组建技术研发项目小组、资金投入、协调相关部门和合作单位。负责项目技术研发和成果推广应用全过程，对本项目的技术创新有创造性贡献。负责组织项目总体策划、项目实施、技术总结、验收及鉴定等工作，对项目研究的进度和质量负责，研发成果中是1篇学术论文的第四完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第二候选人　李光明：**项目技术负责人，负责整个项目总体策划、技术指导，组织制定项目研发技术路线、实施方案、实施目标。负责本项目光伏系统设计集成、系统建模及模拟分析、复杂地形山地光伏支架及安装结构件开发、光伏出力预测、智能运营、环境监测等技术研发活动，对本项目的技术创新有创造性贡献。负责技术成果在建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站工程项目中的推广应用，负责项目设计优化、施工技术管理，制定施工方案、技术总结、试验、调试、试生产及生产运营分析。研发成果中是4项实用新型专利和3项发明专利的第一完成人、1项实用新型专利的第五完成人、1篇学术论文的第二完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第三候选人　栾石林：**项目实施主要负责人，负责项目实施全过程，参与本项目光伏系统设计集成、复杂地形山地光伏支架及结构件开发、智能运营、环境监测等技术研发活动。负责技术成果在建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站工程项目中的全面实施，组织施工、技术总结、试验、调试、试生产、生产运营及管理。研发成果中是1篇学术论文的第一完成人、1项实用新型专利的第二完成人、2项实用新型专利和2项发明专利的第三完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第四候选人　董俊：**项目实施技术顾问，参与项目实施全过程，负责项目总体策划、项目实施、项目验收和鉴定工作，负责审定技术路线、实施方案、施工技术方案等，解答技术难题，对项目中发现的技术难题组织论证。研发成果中是2项企业标注的主要起草人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第五候选人 马启坤：**项目实施协调主要负责人，负责项目协调实施全过程，技术指导，解决现场技术难题，负责项目总体策划、项目实施、项目验收和鉴定工作，组织协调研究人员的职责分配，协助项目总负责人开展项目管理及成果转化应用工作，对本项目的全面实施和技术化推广应用作出了巨大贡献。

**第六候选人　陈祥：**项目研究工作负责人，负责本项目光伏系统设计集成技术、系统建模及模拟分析、光伏施工图设计软件开发等技术研发活动，对本项目的技术创新有创造性贡献。参与技术成果在建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站工程项目中的推广应用，项目设计总负责人，负责项目勘测、可行研究、设计、理论计算分析、试验、技术总结等工作。研发成果中1项软件著作权和1项发明专利的第一完成人、3篇学术论文的第一完成人、2篇学术论文的第二完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献 。

**第七候选人　杨新华：**项目现场实施负责人，参与项目实施全过程，负责项目实施、验收、鉴定、技术推广应用等工作，协调项目实施过程中的各种问题。对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第八候选人　蒋阿华：**项目研究工作负责人，参与本项目光伏系统设计集成技术、复杂地形山地光伏支架及结构件开发、智能运营技术、施工技术等研发活动，对本项目的技术创新有创造性贡献。参与技术成果在建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站工程项目中的推广应用，工程实施过程中优化支架结构、试验、制定施工方案、施工现场技术指导、资料收集、整理、总结等工作。研发成果中是1项实用新型专利的第一完成人、1项实用新型专利和1项发明专利的第二完成人、1项实用新型专利第三完人、1项实用新型专利和1项发明专利的第五完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第九候选人　杨春寿：**项目现场实施负责人，参与项目实施全过程，负责项目实施、验收、鉴定、技术推广应用等工作，协调项目实施过程中的各种问题。对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第十候选人　张晓泳：**项目现场实施负责人，参与项目实施全过程，负责项目实施、验收、鉴定、技术推广应用等工作，协调项目实施过程中的各种问题。对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第十一候选人　汪玉华：**项目成果转化工程设计负责人，技术指导，参与本项目光伏系统设计集成技术、系统建模及模拟分析、光伏施工图设计软件开发等技术研发活动，对本项目的技术创新有创造性贡献。参与技术成果在建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站工程项目中的推广应用，指导完成项目勘测、可行研究、设计、工程建设等工作。研发成果中2篇论文的第一完成人、1项软件著作权和3篇论文的第二完成人，对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**第十二候选人　亢若谷：**项目现场实施负责人，参与项目实施全过程，负责项目实施、验收、鉴定、技术推广应用等工作，协调项目实施过程中的各种问题。对本项目的全面实施和技术推广应用作出了巨大贡献。

**四、候选单位对项目的贡献情况**

**第一候选单位 云南冶金云芯硅材股份有限公司：**项目承担单位，全面负责项目的立项、调研、实施、技术总结、项目验收和鉴定工作，全过程参与项目研究、策划，组织消化吸收相关技术，制定技术路线、实施目标，负责项目实施资金筹措、过程监管、与相关部门和合作单位的沟通协调，全面落实研发经费、人员，组织协调任务分工，为本项目研究的全面开展创造了有利条件，保障了项目研究的顺利完成，推动项目技术成果转化推广应用，取得了良好的经济效益和社会效益。

**第二候选单位 云南冶金新能源股份有限公司：**项目合作单位，负责本项目中光伏出力预测、智能运营和环境监测、山地光伏支架及安装结构件、系统建模及模拟分析、环境监测等关键技术的研发、试验、成果转化工作。是技术成果应用工程项目——建水南庄300MW复杂地形山地的承建单位，负责了光伏电站项目的调研、可研评估、立项、设计优化、施工方案优化、工程建设、调试、试生产、生产运营及评估工作。项目第二完成人李光明作为本项目技术负责人全过程参与项目研发和成果转化，对成果的形成及推广应用起到了积极的推动和促进作用。

**第三候选单位 中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司：**项目合作单位，负责本项目光伏系统各设计子项的集成创新优化、光伏方阵施工图设计软件、系统匹配性、系统建模与模拟分析等关键技术研发和成果推广应用工作。是成果应用工程项目——建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站的设计单位和施工单位，负责光伏电站项目的勘测、可行研究、初步设计、施工图设计、工程施工等工作，项目成果第六完成人陈祥为本项目技术负责人全过程参与项目研发和成果转化，对成果的形成及推广应用起到了积极的推动和促进作用。

**第二候选单位 天合光能股份有限公司：**项目合作单位，负责对本项目研究技术支持，负责技术成果应用工程项目——建水南庄300MW复杂地形山地光伏电站项目的设技术支持、工程建管理和协调管理工作。

五、获得知识产权情况

**五、获得知识产权情况**

1、软件著作权

[1] 光伏电站光伏方阵施工图设计软件，软件登记号：2014SR152571

2、实用新型专利

[1] 一种用于复杂地形的可调节光伏支架，专利号：ZL201621492439.1

[2] 光伏支架立柱或桩基础标高调节件，专利号：ZL201720115098.4

[3] 复杂地形光伏方阵桩位调整结构，专利号：ZL201620047386.6

[4] 光伏组件内压式安装装置，专利号：ZL2 01620286977.9

[5] 倾斜屋面防水型光伏组件安装装置，专利号：ZL201621157740.7

3、发明专利

[1] 一种光伏电站容量超配系数计算方法，专利号：ZL201610599140.4

[2] 光伏支架立柱或桩基础标高调节件及施工方法，专利申请号：ZL201710067866.8

[3] 一种用于复杂地形的可调节光伏支架，专利申请号：201611261582.4

[4] 倾斜屋面防水型光伏组件安装装置，专利申请号：ZL21610933314.6

3、企业标准

[1]《高海拔复杂地形光伏发电站设计规范》，标准号：ZY LJ 3009-2014

[2]《高海拔复杂地形光伏发电站施工规范》，标准号：ZY LJ 3008-2014

5、技术论文

[1] 太阳能山地光伏电站优化设计研究[J].云南师范大学学报（自然科学版），2014，34(05):25-31

[2] 不同纬度下光伏电站阴影的影响与分析[J].[太阳能](http://kns.cnki.net/kns/NaviBridge.aspx?bt=1&DBCode=CJFD&BaseID=TYNZ&UnitCode=&NaviLink=%e5%a4%aa%e9%98%b3%e8%83%bd)，2015，(03):28-31

[3] 光伏电站阵列内电缆损耗分析[J].[云南电力技术](http://kns.cnki.net/kns/NaviBridge.aspx?bt=1&DBCode=CJFD&BaseID=YNDJ&UnitCode=&NaviLink=%e4%ba%91%e5%8d%97%e7%94%b5%e5%8a%9b%e6%8a%80%e6%9c%af)，2015，43(05):27-28

[4] 基于运行数据的光伏电站阴影分析[J].[云南电力技术](http://kns.cnki.net/kns/NaviBridge.aspx?bt=1&DBCode=CJFD&BaseID=YNDJ&UnitCode=&NaviLink=%e4%ba%91%e5%8d%97%e7%94%b5%e5%8a%9b%e6%8a%80%e6%9c%af)，2015,43(04):1-2

[5] 基于MATLAB的太阳能资源分析[J].电力设备，2015，(1):391-392

[6] 基于历史数据的光伏电站发电量技术分析[J].电力设备，2015，(12):258-259

**七．项目曾获科技奖励情况**

[1] 《光伏电站光伏方阵施工图设计软件》获云南省第二届职工技术创新成果二等奖