

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

10
2020

第44卷10期
Vol.44 No.10

输电线路货运索道设计及计算软件

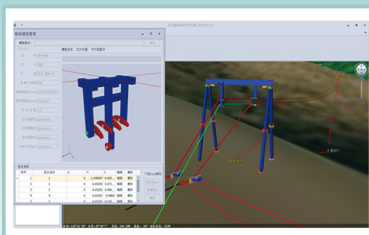
输电线路货运索道设计及计算软件由中国电力科学研究院有限公司自主开发,采用多索耦合结构精细化计算方法,实现了多承载索多跨复杂工况下货运索道的准确计算分析,结合标准化部件数据库实现了货运索道自动化选型设计,技术达到国际领先水平。中国电科院使用该软件率先成功研制100kN级超重型四索货运索道并完成工程试验,为重型货运索道的设计提供了技术支撑。该软件已在青海~河南、张北~雄安、陕北~湖北等多个特高压工程中应用,促进了输电线路货运索道的规范化,进一步提升了货运索道安全管理和技术水平,为输电线路工程中山区物资运输提供安全保障。



100kN级四索超
重型货运索道



100kN级四索超重
型货运索道-支架



输电线路货运索道设计
及计算软件功能界面



输电线路货运索道设计
及计算软件技术流程



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

单位: 中国电力科学研究院有限公司

地址: 北京清河小营东路15号

联系人: 秦剑

邮编: 100192

电话: (010) 58386056

邮箱: mechmath@126.com

ISSN 1000-3673



国家电网有限公司 主办

编辑委员会

主 任：周孝信

委 员（按姓氏笔画排序）：

丁 明 卫志农 王成山 王伟胜
王益民 王海风 韦 化 文劲宇
文福拴 艾 芊 毕天姝 吕运强
刘 健 刘广一 刘开培 刘玉田
刘明波 刘建明 汤 涌 孙华东
孙宏斌 严 正 李卫东 李亚楼
李成榕 杨胜春 肖先勇 别朝红
何正友 张东霞 张乔根 周 浩
周泽昕 段献忠 姚良忠 袁小明
徐 政 郭剑波 梅生伟 曹一家
曹均正 盛万兴 康重庆 董新洲
程浩忠 谢小荣 路书军 廖瑞金
穆 钢 鞠 平

青年委员（按姓氏笔画排序）：

丁 一 王蓓蓓 冯双磊 吕 泉
刘友波 刘敦楠 齐 波 汤 奕
孙国强 李 勇 李 斌 李卫星
李生虎 李建林 吴学智 张 宁
张 波 张志劲 陆 超 易 俊
胡 伟 胡泽春 郭庆来 涂春鸣
崔 杨 焦在滨 裴 玮 魏晓光

顾问委员会

主 任：郑健超

委 员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢 强 朱英浩
刘吉臻 汤广福 杨奇逊 严陆光
吴复立 邱爱慈 余贻鑫 汪柵生
沈国荣 宋永华 陆佑楣 陈清泉
陈维江 罗 安 郑宝森 顾国彪
唐任远 黄其励 韩祯祥 程时杰
舒印彪 薛禹胜

目 次

· 多能源电力系统互补协调调度与控制

（特约专栏主编 范越、王伟胜、谢开贵、胡伟）·

考虑能量特性差异的用户级综合能源系统混合时间尺度经济调度

..... 栗然, 孙帆, 刘会兰, 丁星, 韩怡, 严敬汝 (3615)

计及调峰主动性的风光水火储多能系统互补协调优化调度

..... 李铁, 李正文, 杨俊友, 崔岱, 王钟辉, 马坤, 胡伟 (3622)

充分发挥多能互补作用的风蓄水火协调短期优化调度方法

..... 王开艳, 罗先觉, 贾嵘, 周承文 (3631)

考虑特性分布的储能电站接入的电网多时间尺度源储荷协调调度策略

..... 金力, 房鑫炎, 蔡振华, 陈东海, 李亦凡 (3641)

考虑风电出力不确定的分布鲁棒经济调度

..... 杨策, 孙伟卿, 韩冬, 田坤鹏 (3649)

考虑复杂级联断面的多能源协调优化技术及应用

..... 褚云龙, 李秋芳, 马晓伟, 王康平, 刘鑫, 王文倬, 李征, 苏彪 (3656)

考虑预测误差与频率响应的随机优化调度

..... 徐野驰, 颜云松, 张俊芳, 曹展, 徐洪俊 (3663)

基于复杂适应系统理论的可再生能源广域互补规划方法

..... 赵书强, 索琚, 马燕峰, 董凌 (3671)

基于谈判博弈的多微网综合能源系统多目标联合优化配置

..... 李鹏, 吴迪凡, 李雨薇, 殷云星, 方晴, 陈博 (3680)

计及多能转换及光热电站参与的综合能源系统低碳优化运行

..... 董海鹰, 负轲韵, 马志程, 王定美 (3689)

基于模型预测控制的风光储黑启动功率协调策略

..... 李军徽, 尤宏飞, 李翠萍, 张世宁, 严干贵, 张佳星, 齐军 (3700)

考虑拓扑结构和运行状态的综合能源系统薄弱环节辨识

..... 胡哲晟, 王蕾, 孙可, 李宏仲, 陶淳逸 (3709)

计及新能源消纳的关联断面极限功率在线计算方法

..... 摆世彬, 张金龙, 鲍颜红, 蒙金有, 徐伟, 田志浩 (3717)

· 能源互联网 ·

基于模糊 Petri 网的能源互联网场景特征识别方法

..... 刘敦楠, 王佳妮, 华婧雯, 吴文卓, 张潜, 刘明光, 加鹤萍 (3725)

考虑多区域互联协同的分布式能源站设备配置及站间管线规划

..... 王丹, 孟政吉, 贾宏杰, 陈竟成, 张聂鹏, 张沈习, 杜炜, 陈宁 (3734)

基于近似动态规划的工业园区源-网-荷-储联合运行在线优化算法

..... 朱涛, 陈嘉俊, 段秦刚, 别佩, 陈青, 朱建全, 刘明波 (3744)

考虑风电不确定性的电-气能源系统数据驱动鲁棒优化调度

..... 周浩洁, 吴任博, 马云飞, 柳水莲 (3752)

高渗透率可再生能源集成电力系统灵活性优化调度

..... 高庆忠, 赵琰, 穆显壮, 张皓然, 张艺潇 (3761)

考虑电能共享的综合能源楼宇群分布式优化调度..... 杨昭, 艾欣 (3769)

考虑热电余量交易的微网群优化调度

..... 杜炜, 窦迅, 王镇, 王俊, 张鑫, 曾鸣 (3777)

考虑积压惩罚机制的含 BSS 微网联合系统优化调度策略

..... 崔杨, 刘柏岩, 仲悟之, 惠鑫欣, 赵钰婷 (3787)

基于深度强化学习的微能源网能量管理与优化策略研究

..... 刘俊峰, 陈剑龙, 王晓生, 曾君, 黄倩颖 (3794)

多微网系统关键技术综述..... 刘迎澍, 陈曦, 李斌, 朱介北 (3804)

面向新能源消纳的热水器负荷态势观测器模型..... 孙毅, 石墨 (3821)

电池储能参与电网一次调频的自适应综合控制策略研究

..... 吴启帆, 宋新立, 张静冉, 禹海峰, 黄家栋, 戴汉扬, 罗华伟 (3829)
考虑市场竞价与接纳的海上风电场装机容量及布局分层优化
..... 张金辉, 江岳文 (3837)

· 直流输电与直流电网 ·

新能源基地多端柔性直流汇集系统运行灵活性研究

..... 张适宜, 周明, 黄瀚燕, 黄越辉, 李庚银 (3846)
含调相机的高压直流送端换流站无功协调控制策略研究
..... 刘增训, 李晓飞, 刘建琴 (3857)

多端口电感耦合型高压直流限流断路器

..... 李国庆, 王威儒, 贺之渊, 辛业春, 谷怀广 (3866)
虚拟直流电机并联协调控制方法
..... 王勉, 唐芬, 赵宇明, 吴学智, 牛靖凯, 姜静雅 (3875)

· 电力市场 ·

非水可再生能源电力消纳责任权重划分下的全国绿证中长期跨省交易

测算分析 曲明, 丁涛, 白佳文, 贺元康, 刘瑞丰, 陈天恩 (3885)
交直流混联电网下基于 ATC 的省间交易优化出清建模
..... 曾丹, 杨争林, 冯树海, 庞博, 石飞 (3893)

基于合约订单的微电网分布式电能交易模型

..... 王毅, 赵辉辉, 侯兴哲, 孙洪亮, 郑可, 李松浓, 叶君 (3900)
考虑金融/物理合约的储能装置投资组合策略研究
..... 韩冬, 何宇婷, 孙伟卿 (3908)

增量配电放开背景下基于合作博弈的多主体投资比例优化策略

..... 孙乐平, 郭小璇, 韩帅, 吴宛璐, 戴承承 (3916)
考虑信息物理系统耦合和用户响应差异的负荷聚合商需求响应特性分析
..... 任惠, 陆海涛, 卢锦玲, 荆志朋 (3927)

· 电力系统 ·

考虑双向随机通信时滞补偿的自适应广域协调阻尼控制

..... 李培平, 曾令康, 文剑峰, 姚伟, 张巍, 艾小猛, 文劲宇 (3937)
基于 PI 控制的时滞电力系统稳定性分析
..... 肖仲平, 张天, 唐军, 成双银 (3949)

基于辅助因子两步求解算法的孤岛微电网潮流计算

..... 林立亨, 董树锋, 朱承治, 唐坤杰, 宋永华 (3955)
光伏并网逆变器输入电压低频纹波抑制方法及鲁棒参数设计
..... 沈家鹏, 秦岭, 谢少军, 侯虚虚 (3963)

基于一维空间矢量调制的多电平逆变器共模电压抑制技术研究

..... 刘锋, 吴学智, 赵宇明, 刘京斗, 张鹏, 赵亚雪, 王杰 (3972)
基于双重补偿相位检测方法在单相脉冲整流器中的应用
..... 宋智威, 黄路, 熊成林, 关振宏 (3983)

基于改进 EWT-CMPE 的高渗透率主动配电网电能质量扰动检测与分类

..... 徐艳春, 樊士荣, 谭超, 李振华, 吕密 (3991)

· 自动化 ·

基于主动探测式的柔性直流电网纵联保护

..... 宋国兵, 侯俊杰, 郭冰 (4001)
基于进相速率的调相机失磁保护研究
..... 曹虹, 周泽昕, 柳煥章, 张志, 戴飞扬, 王兴国, 杜丁香 (4011)

考虑精准负荷控制的配电网供电恢复策略

..... 霍崇辉, 王淳, 陶多才, 罗晨煜, 吴潇翔, 曹佳佳 (4020)
基于 Fréchet 距离算法的电流互感器拖尾电流识别方法
..... 李振兴, 甘涛, 陈艳霞, 翁汉珩, 李振华 (4027)

电力系统时间同步攻击研究综述

..... 钱斌, 蔡梓文, 肖勇, 张恒, 彭曙蓉, 苏盛, 曹一家 (4035)
· 广告索引 · (4046)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊

2015 和 2017 年度中国“百强报刊”

中国最具国际影响力学术期刊

中国百种杰出学术期刊

中国精品科技期刊

全国中文核心期刊

RCCSE 中国权威学术期刊

《科学文摘》(SA) 收录期刊

《文摘杂志》(AJ) 收录期刊

中国科学引文数据库 (CSCD)

中国期刊方阵双效期刊

电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第 44 卷 第 10 期 (总第 443 期)

主 管: 国家电网有限公司

主 办: 国家电网有限公司

编 辑: 中国电科院期刊中心

《电网技术》编辑部

出 版: 《电网技术》杂志社有限公司

主 编: 郭剑波

副主编: 汤 涌、康重庆、孙华东

编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543

广告部经理: 李慧东 010-82812429

发 行: 闫 嶝 010-82812465

编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982

网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>

电力系统内部电话: 91862+后四位

传 真: 010-82812980

地 址: 100192 北京清河小营东路 15 号

中国电力科学研究院有限公司内

印 刷: 北京科信印刷有限公司

北京市昌平区七北路马连店甲 6 号

总发行: 北京报刊发行局

国外发行: 中国国际图书贸易总公司

订 阅: 全国各地邮局

邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M

中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673

CN 11-2410/TM

广告经营许可证号: 京海市监广登字 20170131 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM * 1957 * M * A4 * 431 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 48 * 2020-10 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2020, Vol. 44 No. 10 (Ser. 443)

Contents

• Complementary Coordinated Dispatching and Control of Multi-energy Power System •

- Economic Dispatch With Hybrid Time-scale of User-level Integrated Energy System Considering Differences in Energy Characteristics**.....LI Ran, SUN Fan, LIU Huilan, DING Xing, HAN Yi, YAN Jingru (3615)
- Coordination and Optimal Scheduling of Multi-energy Complementary System Considering Peak Regulation Initiative**.....LI Tie, LI Zhengwen, YANG Junyou, CUI Dai, WANG Zhonghui, MA Kun, HU Wei (3622)
- Short-term Coordinated Scheduling of Wind-pumped-hydro-thermal Power System With Multi-energy Complementarities**.....WANG Kaiyan, LUO Xianjue, JIA Rong, ZHOU Chengwen (3631)
- Multiple Time-scales Source-storage-load Coordination Scheduling Strategy of Grid Connected to Energy Storage Power Station Considering Characteristic Distribution**.....JIN Li, FANG Xinyan, CAI Zhenhua, CHEN Donghai, LI Yifan (3641)
- Distributionally-robust Economic Dispatch Considering Uncertain Wind Power Output**.....YANG Ce, SUN Weiqing, HAN Dong, TIAN Kunpeng (3649)
- Technology and Application of Multi-energy Coordinative Optimization With Complex Cascade Transmission Section**.....CHU Yunlong, LI Qiufang, MA Xiaowei, WANG Kangping, LIU Xin, WANG Wenzhuo, LI Zheng, SU Biao (3656)
- Stochastic Optimal Dispatching Considering Prediction Error and Frequency Response**.....XU Yechi, YAN Yunsong, ZHANG Junfang, CAO Zhan, XU Hongjun (3663)
- Renewable Energy Wide Area Complementary Planning for Multi-energy Power System Based on Complex Adaptive System Theory**.....ZHAO Shuqiang, SUO Xun, MA Yanfeng, DONG Ling (3671)
- Multi-objective Union Optimal Configuration Strategy for Multi-microgrid Integrated Energy System Considering Bargaining Games**.....LI Peng, WU Difan, LI Yuwei, YIN Yunxing, FANG Qing, CHEN Bo (3680)
- Low-carbon Optimal Operation of Integrated Energy System Considering Multi-energy Conversion and Concentrating Solar Power Plant Participation**.....DONG Haiying, YUN Yunyun, MA Zhicheng, WANG Dingmei (3689)
- Power Coordination Strategy Based on Model Predictive Control for Black Start With PV-wind-battery System**.....LI Junhui, YOU Hongfei, LI Cuiping, ZHANG Shining, YAN Gangui, ZHANG Jiaying, QI Jun (3700)
- Weak Node Identification of Integrated Energy Systems Considering Topological Structure and Operation State**.....HU Zhesheng, WANG Lei, SUN Ke, LI Hongzhong, TAO Chunyi (3709)
- On-line Limit Power Calculation of Correlative Transmission Section Considering New Energy Consumption**.....BAI Shibin, ZHANG Jinlong, BAO Yanhong, MENG Jinyou, XU Wei, TIAN Zhihao (3717)

• Energy Internet •

- Feature Identification Method of Energy Internet Scene Based on Fuzzy Petri Net**.....LIU Dunnan, WANG Jiani, HUA Jingwen, WU Wenzhuo, ZHANG Qian, LIU Mingguang, JIA Heping (3725)
- Distributed Energy Station Equipment Configuration and Interconnected Network Planning Considering Multi-regional Interconnection and Coordination**.....WANG Dan, MENG Zhengji, JIA Hongjie, CHEN Jingcheng, ZHANG Niepeng, ZHANG Shenxi, DU Wei, CHEN Ning (3734)
- Approximate Dynamic Programming-based Online Algorithm for Combination Operation of Source-network-load-storage in the Industrial Park**.....ZHU Tao, CHEN Jiajun, DUAN Qingang, BIE Pei, CHEN Qing, ZHU Jianquan, LIU Mingbo (3744)
- A Data-driven Robust Unit Commitment Model of Integrated Electricity and Gas System Considering Wind Power Uncertainty**.....ZHOU Haojie, WU Renbo, MA Yunfei, LIU Shuilian (3752)
- Flexibility Optimal Dispatch of High-penetration Renewable Energy Integrated Power Systems**.....GAO Qingzhong, ZHAO Yan, MU Yuzhuang, ZHANG Haoran, ZHANG Yixiao (3761)
- Distributed Optimal Scheduling for Integrated Energy Building Clusters Considering Energy Sharing**.....YANG Zhao, AI Xin (3769)
- Optimal Scheduling for Microgrid Clusters Considering Heat-electricity Margin Transaction**.....DU Wei, DOU Xun, WANG Zhen, WANG Jun, ZHANG Xin, ZENG Ming (3777)
- Optimal Scheduling Strategy for Joint System With Micro-grid Containing BSS Considering Overstock Punishment Mechanism**.....CUI Yang, LIU Baiyan, ZHONG Wuzhi, HUI Xinxin, ZHAO Yuting (3787)
- Energy Management and Optimization of Multi-energy Grid Based on Deep Reinforcement Learning**.....LIU Junfeng, CHEN Jianlong, WANG Xiaosheng, ZENG Jun, HUANG Qianying (3794)
- State of Art of the Key Technologies of Multiple Microgrids System**.....LIU Yingshu, CHEN Xi, LI Bin, ZHU Jiebei (3804)
- Water Heater Load Situation Observer Model of Renewable Energy Accommodation**.....SUN Yi, SHI Mo (3821)
- Study on Self-adaptation Comprehensive Strategy of Battery Energy Storage in Primary Frequency Regulation of Power Grid**.....WU Qifan, SONG Xinli, ZHANG Jingran, YU Haifeng, HUANG Jiadong, DAI Hanyang, LUO Huawei (3829)
- Hierarchical Optimization of Installed Capacity and Layout of Offshore Wind Farm Considering Market Bidding and Acceptance**.....ZHANG Jinhui, JIANG Yuewen (3837)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

- Operational Flexibility Optimization of Renewables Generation Multi-terminal Flexible DC Collector System**.....ZHANG Shiyi, ZHOU Ming, HUANG Hanyan, HUANG Yuehui, LI Gengyin (3846)

HVDC Converter Station Reactive Power Coordinated Control Strategy With Synchronous Condenser	LIU Zengxun, LI Xiaofei, LIU Jianqin (3857)
Multi-port Inductively Coupled HVDC Current Limiting Circuit Breaker	LI Guoqing, WANG Weiru, HE Zhiyuan, XIN Yechun, GU Huaiguang (3866)
Parallel Coordinated Control Method of Virtual DC Machines	WANG Mian, TANG Fen, ZHAO Yuming, WU Xuezhi, NIU Jingkai, JIANG Jingya (3875)
• Electricity Market •	
Green Certificate Transaction Analysis in China Under Responsibility for Non-water Renewable Energy Integration Ratio	QU Ming, DING Tao, BAI Jiawen, HE Yuankang, LIU Ruifeng, CHEN Tianen (3885)
Inter-provincial Power Exchange Optimization Modeling Considering ATC Constrains of Hybrid AC/DC Power System	ZENG Dan, YANG Zhenglin, FENG Shuhai, PANG Bo, SHI Fei (3893)
Distributed Electricity Trading Model in Microgrid Based on Contract Orders	WANG Yi, ZHAO Huihui, HOU Xingzhe, SUN Hongliang, ZHENG Ke, LI Songnong, YE Jun (3900)
Research on Portfolio Strategy of Energy Storage Devices With Financial/Physical Contracts	HAN Dong, HE Yuting, SUN Weiqing (3908)
Multi-agent Investment Proportion Optimization Based on Cooperative Game Under Incremental Distribution Liberalization	SUN Leping, GUO Xiaoxuan, HAN Shuai, WU Wanlu, DAI Chengcheng (3916)
Analysis of LA Demand Response Characteristics Considering Cyber Physical System Coupling and User's Response Difference	REN Hui, LU Haitao, LU Jinling, JING Zhipeng (3927)
• Power System •	
Adaptive Wide-area Coordinated Damping Control Considering Bidirectional Random Communication Time-delay Compensation	LI Peiping, ZENG Linggang, WEN Jianfeng, YAO Wei, ZHANG Wei, AI Xiaomeng, WEN Jinyu (3937)
Stability Analysis for Power Systems With Time-delay Based on PI Control	XIAO Shenping, ZHANG Tian, TANG Jun, CHENG Shuangyin (3949)
Power Flow Calculation of Island Micro-grid Based on Auxiliary Factors Two-step Algorithm	LIN Liheng, DONG Shufeng, ZHU Chengzhi, TANG Kunjie, SONG Yonghua (3955)
Low-frequency Input Voltage Ripple Suppression and Robust Parameter Design for PV Grid-connected Inverter	SHEN Jiapeng, QIN Ling, XIE Shaojun, HOU Xuxu (3963)
Common-mode Voltage Suppression Technology of Multilevel Inverter Based on One-dimensional Space Vector Modulation	LIU Feng, WU Xuezhi, ZHAO Yuming, LIU Jingdou, ZHANG Peng, ZHAO Yaxue, WANG Jie (3972)
Model Predictive Power Control of Single-phase Pulse Rectifier Based on Double Compensation Phase Detection	SONG Zhiwei, HUANG Lu, XIONG Chenglin, GUAN Zhenhong (3983)
Power Quality Disturbance Detection and Classification in High Permeability Active Distribution Network With Improved EWT-CMPE	XU Yanchun, FAN Shirong, TAN Chao, LI Zhenhua, MI LU (3991)
• Automation •	
Pilot Protection of Flexible DC Grid Based on Active Detection	SONG Guobing, HOU Junjie, GUO Bing (4001)
New Field Loss Protection for Synchronous Condenser Based on Advancing Velocity	CAO Hong, ZHOU Zexin, LIU Huanzhang, ZHANG Zhi, DAI Feiyang, WANG Xingguo, DU Dingxiang (4011)
Restoration Strategy of Distribution Network Considering Precise Load Control	HUO Chonghui, WANG Chun, TAO Duocai, LUO Chenyu, WU Xiaoxiang, CAO Jiajia (4020)
Tail Current Recognition of Current Transformer Based on Fréchet Distance Algorithm	LI Zhenxing, GAN Tao, CHEN Yanxia, WENG Hanli, LI Zhenhua (4027)
Review on Time Synchronization Attack in Power System	QIAN Bin, CAI Ziwen, XIAO Yong, ZHANG Heng, PENG Shurong, SU Sheng, CAO Yijia (4035)

Sponsor: State Grid Corporation of China

In Cooperation with: China Electric Power Research Institute (CEPRI)

Chairman of Editorial Committee: Zhou Xiaoxin

Editor-in-Chief: Guo Jianbo

Editor and Publisher: Power System Technology Press

Associate Director of Editorial Board: Li Lanxin

Publication Number: ISSN 1000-3673

CODEN: DIJIES **Devey#:** 621.31

Address: China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

Tel/Fax: 86-10-82812980

E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn <http://www.dwjs.com.cn>

Agent of Subscriptions Abroad: China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China