

科技进步奖推荐号：2025-120-4014

项目名称	高压直流开关短路开断可靠性与智能化关键技术及应用
提名单位	河北省教育厅
项目简介	成果属动力与电气工程（电器学）学科领域。高压直流输配电以交流系统不可替代的优点，应用于新能源系统。担负新型电力系统控制和保护双重任务的核心组件缺乏、高技术参数环保型高压直流断路器缺少，技术参数远低于国际先进水平。双碳背景下，自主设计与研发具有自主知识产权的智能化环保型高压直流真空断路器保护系统需求日趋迫切。本项目通过产学研合作，将理论研究与工程关键技术突破相结合，发展了可指导工程应用的机电磁耦合系统建模方法、直流电弧理论和可靠性分析方法、换流联动关合的高压直流真空开关设计方法、串联高压直流故障可靠开断与智能模块化技术、多模块串联高压化智能化同步以及动态介质快速恢复能力增长技术。开展了环保型高压直流真空开关装备自主设计研发并实现工程应用，破解了我国环保型快速直流真空断路器自主设计与可靠性评估难题，创新性成果如下：（1）系统地发展了中频真空电弧模型、阳极斑点模型、粒子流模型、机构出力与电弧调控耦合模型、电流转移模型、“电磁热力多场耦合+中频换流+快速泄能”多场路耦合能量流模型、电压恢复模型建模方法，实现了直流电弧主动调控。（2）提出了适合直流短路开断的回路拓扑优化与参数可靠配合方案库、新方法、极限域与特征参数群组，构建了可靠换流方案库、考虑工况与介质恢复分散性的最佳控制条件与极限参数库；探究了换流系统方案与转移过程能量变化过程。提出了线路剩余能量快速吸能方法、中频电弧零区行为表征、介质恢复测量方法；找到了开断安全间隙极限、开断极限参数群与灭弧室特征参数群组。（3）摒弃传统开关设计方法，发明了新型永磁斥力快速机构机电磁系统可靠性技术，发明了新型灭弧室嵌合型触头系统磁吹结构、泄能系统“多系统可靠性协同”技术，实现了三开关联动关合的直流开断；提出了适于直流开断的快速操动机构设计方法、参数与联动开关设计方法，实现了理模数值实验与实模样机实验的互补与模型修正；提出了运动过程同步控制策略，实现了以主灭弧室故障开断、转移投入同步的操作目标。（4）提出了电磁热机多物理场精细模拟正求与反求相结合的方法，找到了高压直流开断均压条件、串联开断特征参数与表征方法。发明了中高频快速换流智能光控直流开断技术、智能模块化设计与同步控制技术、多模块串联开断冗余设计方法，实现了智能直流模块串联的动态介质恢复过程数值实验与样机系统互验。 结题 1 项国家自然科学基金重点项目和 1 项国家自然科学基金面上项目；编著 1 部；授权发明专利 32 项，实用新型专利 19 项；发表 SCI/EI 检索论文 176 篇；培养博/硕士研究生百余名。在河北、浙江、甘肃等 16 个省得到应用，新增销售额达 12.29 亿，新增利润达 2.00 亿。超高速机械开关真空灭弧室设计关键技术成果由刘吉臻、韩英铎、邱爱慈、雷清泉 4 位院士在内的 13 位业内专家鉴定认为，达到国际领先水平。本项目通过国内外查新，结论为：相关报道中未述及与本项目相关创新性研究内容。

**主要完成单位及
创新推广贡献**

第 1 完成单位河北工业大学对本项目技术创新和应用的贡献：

本项目团队依托省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，所在学科是国家、河北省、天津市“世界一流学科”，在电气工程领域内具有重要影响力。本单位在项目研究实施中给予了研究条件及人员安排等支持，使项目得以如期顺利完成。通过产教融合联合攻关，取得系列研究成果，先后完成并结题 1 项国家自然科学基金重点项目和 1 项国家自然科学基金面上项目，取得了系列创新性成果，出版编著 1 部，授权发明专利、发表 SCI/EI 检索论文、培养博硕士研究生的同时。将理论与工程实际相结合，发展了可指导工程应用的机电耦合系统建模、直流电弧理论和可靠性分析方法、换流回路联动关合的高压直流真空开关设计方法、串联高压直流故障可靠开断与智能模块化技术、多模块串联高压化智能化同步以及动态介质快速恢复能力增长技术。实现了环保型直流真空开关装备自主设计、研发与工程应用，破解了我国环保型快速直流真空断路器自主设计与可靠性评估难题。

第 2 完成单位大连理工大学对本项目技术创新和应用的贡献：

大连理工大学是教育部直属全国重点大学，是国家“211 工程”和“985 工程”重点建设高校，也是世界一流大学 A 类建设高校。本单位邹积岩教授与河北工业大学刘晓明教授、陈海工程师等合作完成了国家自然科学基金重点项目“基于智能模块技术的高压直流短路开断相关理论研究（No.51337001）”；并与本项目主要完成单位在“高压直流开关短路开断可靠性与智能化关键技术及应用”领域开展产学研合作取得系列创新性成果。提出了环保性与经济性兼顾的直流真空断路器设计方法，多断口直流真空开关模块同步控制精度提高了 1 个数量级以上；构建了直流合成试验回路，完成了三电源开断试验；实现了多断口、多模块串联同步控制与冗余设计；对直流短路开断系统拓展到更高电压等级提供了创新性技术支撑。在本项目研究实施中给予了相关科研工作条件及人员安排，使项目得以如期顺利完成。

第 3 完成单位成都旭光电子股份有限公司对本项目技术创新和应用的贡献：

与本项目团队开展产学研合作历时 10 余年，完成了超高速机械开关的基础理论、关键技术、高性能机械开关设备研制和技术标准研究工作，解决了超快速机械开关核心技术，实现了超快速机械开关从无到有的原始创新，大幅提升了我国开关装备行业企业的创新驱动力；推动了高压开关装备新产品的研制，促进了智能电网的建设；培育了自主化超快速机械开关产业链，助力我国开关电器的产业升级。实现了本项目成果在 200kV/1200A 直流断路器中的应用，并已在浙江舟山±200kV 五端柔性直流输电工程中投入运行；此外，成果应用于张北直流电网工程 535kV/3000A 超快速机械开关产品的研制；并推广应用于智能输配电、大型舰船、轨道交通等领域。2022 年至 2024 年，新增销售额 84755 万元，新增利润 13773 万元。

第 4 完成单位山东泰开高压开关有限公司对本项目技术创新和应用的贡献：

通过产教融合协同创新，积极投入新技术成果的转化与研发，多项技术处于行业领先地位。在对本项目科技创新与推广应用方面，通过产学研合作联合攻关，突破了多传感集成等多项真空柱式断路器关键技术，将真空柱上断路器相关创新成果转化并工程应用，陆续开发完成 10-35kV 电压等级系列化产品，目前已广泛应用于电力、石油、化工、冶炼、铁路、新能源发电等领域，连续多年中标量保持前列，陆续开拓了国家电网各省级公司市场，业绩快速增长，在新疆、湖北、甘肃、陕西、内蒙古、青海等十几个省份均有供货与应用业绩。2022 年至 2024 年，新增销售额 25982 万元，新增利润 3813 万元。

第 5 完成单位上海启腾电气股份有限公司对本项目技术创新和应用的贡献：

自 2018 年 2 月起，与本项目主要完成单位结成产教融合创新团队，采用了本项目提出的“盘式旋磁纵吹真空灭弧室”等发明专利技术，解决了环网柜产品小型化与可靠性、在线实时监测问题，产品在新疆、江西、河北等国家电网省级电力公司投入使用，实现了 DTU “三遥”功能与在线实时监测，保障了安全用电，在河北、新疆、甘肃、黑龙江、江西、浙江、山西、山东、江苏等均有供货与应用，区域遍布全国 10 余个省份，2020 年各类环网柜产品在国家电网中标金额居全国第 5；荣获上海市临港地区高端智能装备首台突破与示范应用专项支持。此外，本项目相关成果用于 2022 年冬奥会及冬残奥会供电保障工作中。2022 年至 2024 年，新增销售额 12154 万元，新增利润 2413 万元。

推广应用及经济
社会效益情况

统计本项目参与单位在 2022-2024 年新增销售额 12.29 亿元，新增利润 2.00 亿元，均根据销售合同和财务账目报表数据。经济效益和社会效益如下：

（1）成都旭光电子股份有限公司经济效益情况：依据 2022 年 1 月至 2024 年 12 月销售合同和财务账目计算。近三年，新增销售额累计 84755 万元（计算公式依据：新增销售额=销售量*不含税销售价格）。新增利润累计 13773 万元，采用项目净利润计算新增利润（计算公式依据：新增利润=项目产品营业收入-项目产品营业总成本+营业外收支）。新增税收累计 5344 万元（计算公式依据：新增税收=所得税+增值税+附加税+印花税）。**社会效益情况：**①实现了超高速机械开关从无到有的原创性创新，大幅提升了创新驱动能力。本项目攻克了超高速机械开关关键技术、产品开发和工程应用等系列难题，研制出开断速度最快的超高速机械开关。项目成果有力推动了超高速机械开关在智能输配电、大型舰船、轨道交通等领域多个场合的推广及应用，大幅提升了我国高端电力装备的创新力。②推动了高压电力电子装备的产品研制，促进了智能电网建设。本项目成果推动了柔性直流换流阀、统一潮流控制器、高压直流断路器等高压电力电子装备研制，并促成了高压直流断路器国际首次工程应用以及世界首个张北直流电网的建设，促进电网向灵活、可控的智能电网发展，助力我国能源战略转型。③培育了自主化超高速机械开关产业链，助力我国开关电器的产业升级。项目成果大幅提升了我国真空灭弧室、电磁斥力机构、高速控制保护等行业的设计制造水平，实现了相关核心部件完全自主化；带动了相关核心部件的试验装置建设，提升了配套产品的测试及仿真能力，推动了我国高端制造业发展和现代化产业体系建设。

（2）山东泰开高压开关有限公司经济效益情况：经济效益情况：依据 2022 年 1 月至 2024 年 12 月销售合同和财务账目计算。本项目，近三年，新增销售额 25982 万元（计算公式依据：新增销售额=销售量*不含税销售价格）。新增利润 3813 万元（计算公式依据：新增利润=项目产品营业收入-项目产品营业总成本+营业外收支）。新增税收累计 1451 万元（计算公式依据：新增税收=所得税+增值税+附加税+印花税）。**社会效益情况：**①通过本项目产学研协同创新、成果转化与推广应用，提高了真空灭弧室、操动机构以及绝缘材料等行业的制造水平，推动了新型材料在电工装备领域的应用，促进了我国配电装备的发展。②激励技术创新。基于本项目的开展，突破了多传感集成等真空柱式断路器关键技术，为我国直流配电网规划、建设、运行提供了技术支持和装备基础，为真空直流断路器的发展和应用打下了坚实理论和实践基础，推动了我国配电行业自主创新能力，社会效益显著。③该产品大量采用环保材料，环境友好度高，有助于“碳达峰、碳中和”战略目标的实现。④促进了就业以及高层次创新人才的培育。本项目的实施，产生了直接和间接的就业机会，同时给关联企业带来经济效益。此外，通过本项目的科研反哺育人、产教协同育人，为

我国开关电器行业企业培养了真空灭弧室设计、直流设备绝缘设计等方面的高端人才。 (3) 上海启腾电气股份有限公司经济效益情况：依据 2022 年 1 月至 2024 年 12 月销售合同和财务账目计算。本项目，近三年，新增销售额 12154 万元（计算公式依据：新增销售额=销售量*不含税销售价格）。新增利润 2413 万元，采用项目净利润计算新增利润，（计算公式依据：新增利润=项目产品营业收入-项目产品营业总成本+营业外收支）。新增税收 907 万元（计算公式依据：新增税收=所得税+增值税+附加税+印花税）。社会效益情况：①推动行业技术进步。为国内一二次融合成套环网箱及环网箱生产厂家提供了先进的技术，带动了国内外一二次融合成套环网箱及环网箱的技术水平提高。②一二次融合成套环网箱及环网箱，产品售价仅为普通产品 4/5，降低了产品成本。③成果应用于一二次融合成套环网箱及环网箱，使传统技术升级，兼具环保性与经济性。④本项目专利技术的实施，使企业扭亏为盈，促进和保障了上海临港地区开关行业经济有序高效运行。产教融合创新所产生的就业机会，包括直接就业机会、间接就业机会；给配套真空灭弧室、绝缘件制造、机构制造关联企业带来显著经济效益。						
代表性论文专著目录						
1.Hongchen Zhao,Xiaoming Liu,Hai Chen,Peiyuan Li.Current Distribution Reconstruction in Switching Arcs by Means of Regularization Based on GSVD [J].Inverse Problems in Science and Engineering,2021,29(3):440-456.						
2.Jiang Wentao,Liu Xiaoming,Chen Hai,Li Peiyuan,Zhang Yaqian.Topology Modeling and Transient Current Transfer Analysis of DC Hybrid Vacuum Circuit Breaker Based on SiC Module[J].Journal of Electrical Engineering & Technology,2021,16(5):2809-2816.						
3.黄翀阳,刘晓明,曹云东,陈海,李静.双断口直流真空断路器非同期开断电弧特性分析[J].中国电机工程学报,2022,42(09):3480-3490.						
主要知识产权证明目录						
1.邹积岩,陈军平,刘晓明,董恩源.真空开关技术[M].北京:机械工业出版社,2021.						
2.刘晓明,曹云东,赖增辉.盘式旋磁真空灭弧室[P].辽宁省:CN102496518B,2015-04-15.						
3.刘晓明,曹云东,赖增辉.盘型叠式旋磁真空灭弧室[P].辽宁省:CN102522256B,2015-07-15.						
4.刘晓明,曹云东,赖增辉.盘式旋磁纵吹真空灭弧室[P].辽宁省:CN102522257B,2015-07-15.						
5.刘晓明,曹云东,赖增辉.盘型叠式旋磁纵吹真空灭弧室[P].辽宁省:CN102522259B,2015-07-15.						
6.刘晓明,曹云东,赖增辉.盘型叠式旋磁横吹真空灭弧室[P].辽宁省:CN102592881B,2015-07-15.						
7.刘晓明,曹云东,李俐莹.旋气式能量分离型高压 SF ₆ 断路器及其能量分离方法[P].辽宁省:CN102364656B,2016-01-20.						
8.Hongchen Zhao,Xiaoming Liu,Hai Chen,Peiyuan Li.Current Distribution Reconstruction in Switching Arcs by Means of Regularization Based on GSVD [J].Inverse Problems in Science and Engineering,2021,29(3):440-456.						
9.Jiang Wentao,Liu Xiaoming,Chen Hai,Li Peiyuan,Zhang Yaqian.Topology Modeling and Transient Current Transfer Analysis of DC Hybrid Vacuum Circuit Breaker Based on SiC Module[J].Journal of Electrical Engineering & Technology,2021,16(5):2809-2816.						
10.黄翀阳,刘晓明,曹云东,陈海,李静.双断口直流真空断路器非同期开断电弧特性分析[J].中国电机工程学报,2022,42(09):3480-3490.						
主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）						
排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖情况
1	刘晓明	教授	河北工业大学	河北工业大	针对直流电力系统可靠稳定运行与快速保护亟需的高压直流开关短	排名第 1，曾获辽宁省科学技

				学	路开断可靠性与智能化关键技术及应用进行攻关研究,提出了换流回路联动关合真空开关非支配排序智能优化方案,探究了智能模块化串联高压直流故障开断机理,提出了中频真空电弧零区主动调控策略,通过产学研合作,解决了串联多断口真空开关动态介质恢复等关键问题。支撑主要科技创新点 1, 2, 3 和 4。	术进步二等奖“高压断路器零区电弧等离子体调控数值实验研究及应用(2010 年)”、“电弧等离子体与断路器开断动态特性研究及应用(2007 年)”。
2	陈海	工程师	河北工业大学	河北工业大学	将理论研究与工程实际相结合,提出了机电磁耦合系统建模方法、快速机构结构设计方案,以及串联高压直流故障可靠开断技术,研究了服役过程中真空断路器灭弧系统、机构系统与泄能系统之间的能量转移过程和主动调控策略,开展了多电源直流开断实验,找到了机械寿命、电寿命以及分/合闸速度带宽变化对各单元失效的影响规律。支撑主要科技创新点 1, 2, 3 和 4。	无。
3	邹积岩	教授	大连理工大学	大连理工大学	论证并确定了中频电弧调控方案、三开关联动关合方案、灭弧系统与机构系统配合方案,多断口直流真空开关模块同步控制精度提高了 1 个数量级以上。提出了基于模块串联的高压直流真空断路器设计方案;构建了直流合成试验回路,完成了三电源开断试验;实现了多断口、多模块串联同步控制与冗余设计;对直流短路开断系统拓展到更高电压等级提供了创新性技术支撑。支撑创新点 1, 2, 3 和 4。	排名第 3, 曾获中国机械工业科学技术二等奖“金属蒸气电弧等离子体调控理论及在高压 SF ₆ 断路器领域中的应用(2011 年)”。
4	陈军平	高级工程师	成都旭光电子股份有限公司	成都旭光电子股份有限公司	针对超高速机械式真空断路器灭弧室关键技术与产业化应用难题开展产学研联合攻关,完成了超高速机械开关灭弧室从无到有的原创性成果,本项目成果应用于 200kV/1200A 直流断路器,已在浙江舟山±200kV 五端柔性直流输电工程中投入运行;应用于张北直流电网工程 535kV/3000A 超快速机械开关产品的研制;并推广应用于智能输电、大型舰船、轨道交通等领域。支撑主要科技创新点 1, 2, 3 和 4。	排名第 1, 曾获成都市科技进步三等奖“72.5kV 高压环保型真空灭弧室开发与应用(2013 年)”；排名第 5, 曾获中国电力科学技术进步奖二等奖“高压电力电子装备用毫秒级机械开关研制及应用(2021 年)”。
5	宫瑞磊	高级工程师(教授级)	山东泰开高压开关有限公司	山东泰开高压开关有限公司	将产学研合作成果用于企业新产品设计与研发过程中,授权相关专利。先后主持完成了 10-35kV 系列真空柱式断路器产品开发,并广泛应用于电力、石油、化工、冶炼、铁路和新能源发电等领域,连续多年中标量保持前列。支撑创新点 2, 3 和 4。	排名第 1, 曾获中国机械工业科学技术三等奖“LW30A-800/Y6300-63 户外高压六氟化硫罐式断路器(2016 年)”；泰安市专利奖“一种双断口断路器竖直装配翻转机床(2017 年)”。
6	鲁晓东	工程师	上海启腾电气股份有限公司	上海启腾电气股份有限公司	针对一二次融合成套环网柜可靠性与智能化关键技术难题开展产学研联合攻关,获得上海市临港地区高端智能装备首台突破与示范应用专项支持;设计并实现了 DTU “三遥”功能与在线实时检测,为安全用电提供了有力保障。成果应用于国网省公司配电改造与配网新建工程,应用区域分布河北、天津等省级电力工程。支撑主要科技创新点 2, 3 和 4。	无。

7	谢文刚	工程师	山东泰开高压开关有限公司	山东泰开高压开关有限公司	参与完成了 10-35kV 系列真空柱式断路器开发。成功应用了本项目提出的直流开断可靠性分析方法以及智能化模块技术，使产品可靠性及智能化水平大大提升，突破了多传感集成技术、机构主轴滑动技术等多项技术难题。通过校企合作，为真空直流断路器的新产品研制与应用打下了坚实理论和实践基础，为本成果推广提供了范例，为其先进性验证提供了场景。支撑创新点 2，3 和 4。	无。
---	-----	-----	--------------	--------------	--	----

完成人合作关系说明

本人（河北工业大学刘晓明）作为“高压直流开关短路开断可靠性与智能化关键技术及应用”项目第一完成人，现对本项目完成人合作关系说明如下：

本项目“高压直流开关短路开断可靠性与智能化关键技术及应用”由本人作为项目负责人，与河北工业大学陈海工程师、大连理工大学邹积岩教授、成都旭光电子股份有限公司陈军平高级工程师、山东泰开高压开关有限公司宫瑞磊高级工程师（教授级）、上海启腾电气股份有限公司鲁晓东工程师、山东泰开高压开关有限公司谢文刚工程师合作完成，通过了刘吉臻院士在内的 7 位业内专家鉴定。鉴定结论为：项目成果提高了直流系统控制与保护装备的自主化设计能力，对于促进我国新型电力系统的可靠运行与智能化具有理论意义和工程应用价值，整体技术达到国际先进水平，其中直流电弧开断理论创新、装置可靠性设计方法及基于智能模块串联的高压直流开关开断控制技术达到国际领先水平。

本人作为负责人，与河北工业大学陈海工程师等合作完成国家自然科学基金面上项目“高压直流真空开断中电磁热力多场强紧耦合精细仿真及应用，No.51777136，2018-2021，经费 65 万元”，于 2022 年 3 月 29 日通过国家自然科学基金委员会结题。

本人作为合作单位负责人，与大连理工大学邹积岩教授、河北工业大学陈海工程师等合作完成国家自然科学基金重点项目“基于智能模块技术的高压直流短路开断相关理论研究，No.51337001，2014-2018，经费 330 万元”，于 2019 年 3 月 28 日通过国家自然科学基金委员会组织的专家结题验收。

在产学研合作协同创新过程中，河北工业大学、大连理工大学、成都旭光电子股份有限公司、山东泰开高压开关有限公司、上海启腾电气股份有限公司形成了校企合作关系。

①在项目研究进程中，通过产教融合，将科技创新成果转化应用，与大连理工大学邹积岩教授、成都旭光电子股份有限公司陈军平高级工程师等合作完成编著《真空开关技术》，于 2021 年 10 月由机械工业出版社公开出版发行。

②在项目研究过程中，培养了 2014 届硕士研究生谢文刚（硕士学位论文题目“高压直流 SF6 断路器电弧特性研究”，导师刘晓明），将研究成果服务于所在工作单位山东泰开高压开关有限公司新产品研制和创新研究中。自 2017 年 10 月起，山东泰开高压开关有限公司与河北工业大学刘晓明教授团队就适用于直流断路器的真空快速机械开关等产品的研制开展产学研深度合作，在相关产品开断特性分析、等效测试方法研究及智能化设计等方面，采用了本项目提出的直流开断可靠性分析方法以及智能化模块技术，缩短了产品开发周期，产品性能大幅提升。

③自 2018 年 2 月至今，上海启腾电气股份有限公司为实现环网柜产品小型化、提高产品可靠性、解决在线实时监测等问题，采用了本项目提出的“盘式旋磁纵吹真空灭弧室”等发明专利技术（第一发明人刘晓明），产品已投入使用到河北、天津等省级电力工程应用，均可靠运行。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	备注
1	项目合作	刘晓明/1；陈海/2； 邹积岩/3；陈军平/4； 宫瑞磊/5；鲁晓东/6； 谢文刚/7	2013-今	本项目“高压直流开关短路开断可靠性与智能化关键技术及应用”	通过了刘吉臻院士在内的 7 位业内专家鉴定
2	项目合作	刘晓明/1；陈海/2	2014-今	国家自然科学基金面上项目“高压直流真空开断中电磁热力多场强紧耦合精细仿真及应用”	No.51777136，2018-2021，65 万元，2022 年 3 月 29 日国家自然科学基金委员会结题

3	项目合作	刘晓明/1; 邹积岩/3; 陈海/2	2014-今	国家自然科学基金重点项目“基于智能模块技术的高压直流短路开断相关理论研究”	No.51337001, 2014-2018, 330 万元, 2019 年 3 月 28 日国家自然科学基金委员会组织专家结题验收
4	产学研合作	刘晓明/1; 邹积岩/3; 陈军平/4	2014-今	编著《真空开关技术》	2021 年 10 月机械工业出版社出版发行
5	人才培养与产学研合作	刘晓明/1; 谢文刚/7	2014-今	硕士学位论文《高压直流 SF ₆ 断路器电弧特性研究》	2014 年硕士毕业, 导师刘晓明教授
6	产学研合作	刘晓明/1; 宫瑞磊/5; 谢文刚/7	2017-今	采用本项目提出的直流开断可靠性分析方法以及智能化模块技术	直流断路器的真空快速机械开关等产品的产学研合作, 缩短了开发周期, 性能提升
7	产学研合作	刘晓明/1; 鲁晓东/6	2018-今	采用本项目提出的“盘式旋磁纵吹真空灭弧室”发明专利技术(第一发明人刘晓明)	产品投入使用到河北、天津等省级电力工程, 可靠运行