

低压电器智能测试技术研究

程武山

(上海工程技术大学, 上海 201620)

摘 要: 介绍了国内外低压电器测试技术的发展情况, 以及“低压断路器智能测试系统”和“NT 低压熔断器流水线”中的新技术, 从而对低压电器的智能测试技术做一些探索, 最后对被测对象变形轨迹的不确定性提出了模糊控制和遗传神经网络组合控制的方法, 应用广泛, 效果显著。

关键词: 低压电器; 测试; 自动化; 智能化

中图分类号: TM 52; TM 506 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-5531(2010)21-0041-05



程武山 (1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为低压电器智能测试技术和智能控制技术。

Research of Intelligent Testing Technology for Low Voltage Apparatus

CHENG Wushan

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: The development of test technology for low voltage apparatus was introduced, the new technology in the intelligent test and control system of low voltage circuit breaker was also introduced, and the automatic line of NT low voltage fuse was also introduced. The intelligence of the test was explored. Finally, aiming at the uncertainty of deformation path, combining fuzzy control and genetic neural network method was presented, and had effect and wide application effectively and wide application.

Key words: low voltage apparatus; test; automation; intelligent

0 引言

低压电器元件的质量将直接影响到低压电力系统以及控制系统的可靠运行。而低压电器在线测试技术又直接影响了低压电器质量的稳定性、一致性。近年来, 低压电器智能测试技术的研究与开发是国内外众多科研工作者所追求的更高目标。

1 国内外低压电器测试技术现状

1.1 低压电器的测试

低压电器的测试项目主要有一般检查、电压降测定、温升测试实验、绝缘电阻和耐压测试、额定接通和分解能力测试、短路接通和分断能力测试、短时耐受电流能力测试、动作特性测试、寿命测试、抗扰度测试等。低压电器测试的设备和试验方法与高压电器测试有很多相似之处, 世界一些国家的低压电器测试大多附设在高压电器试验站内, 高、低压电器测试可共用试验电源, 国内多

数为独立的低压电器试验站, 利用电网通过变压器作为测试电源。

1.2 国内外低压电器测试技术

国外学者主要倾向于对低压电器现场故障诊断系统的研究, 如美国 MutiAmp 公司研制成的一种结构轻巧的低压断路器测试装置, 该装置能模拟过载, 对额定电流及以下的塑壳式断路器和电动机过载继电器的延时特性进行测试; 测试瞬时脱扣元件时, 输出电流可达到 5 kA。国外将电子技术应用于电器试验的参数测量中开始于 20 世纪 80 年代, 主要采用瞬态波形记录仪, 将被测信号经 A/D 转换器采集后变成数字量, 经过存储并通过相应接口传送给计算机, 经计算机处理后不仅可显示并打印被测信号的波形, 而且直接显示各测试参数的数值, 由于对信号进行采集的频率足够高, 因此, 还可以测量并显示触头断开时所产生的过电压信号。电器试验参数采集与处理系统 (也可称为瞬态波形记录仪) 在国外已形成产品的有美国 NICOLET 公司的 BE256 系列以及荷兰

Bakker 公司的产品,但其价格都很昂贵(约 15 ~ 20 万美元)^[1]。

国内在断路器寿命测试装置的研究方面作了一些工作。文献[2]中设计了一种用于作断路器在主回路空载情况下,电动操作机构和脱扣机构(包括分励脱扣器和欠压脱扣器)的动作可靠性试验的试验装置。文献[3]中提出了一套塑壳断路器动作试验装置的设计方案。

另外,国内很多智能型的测试装置主要采用以 PC 机或微控制器等硬件为基础,加上一定的可编程控制来实现测试装置的自动化与智能化。

文献[4]中采用自上向下的设计方法,用单片机作为系统的主要控制部件,实现对整个电路的测试信号控制、数据运算处理、键盘扫描和控制液晶显示器(LCD)的显示输出等。

文献[5]中以国产多种断路器为研究试验对象,选用工控机、伺服系统、高速数据采集卡和光电开关等硬件,设计了一套断路器寿命自动测试装置。使用 Labview 软件,采用多进程技术设计了针对不同型号产品自动寻找基准位置、按照指定要求自动完成寿命试验过程、数据库存储查询及打印等多功能的图形用户操作界面(GUI),并进行了安全提示和产品保护设计。对断路器的机械寿命和电寿命提供可靠的评估。

文献[6]中通过对电磁继电器工作原理的分析,针对继电器测试器的功能需求以及现在市场上测试方案的缺陷分析,提出了以 ARM 微控制器为核心,辅以步进自适应算法的智能测试系统的设计思路。

文献[7]中设计了一种以气动操作机构驱动断路器手柄的方式实现对断路器的合、分闸操作的试验装置。该装置实现了一种“软”操作,但试验过程中无触头状态监测功能。

河北工业大学所研制的“电器试验数据高速采集与处理系统”是国内低压电器测试技术发展的一个突破,该系统能够实现对瞬时低压电器的电气特性参数的采集与处理,并获取相关的试验参数,为中国低压电器的生产制造提供了数据依据基础^[7]。

随着光、电、磁等科学技术的发展,CCD、光纤阵列、光谱以及磁等非接触式现代测量技术也已经应用到电弧参数尤其是微观参数的测试中,文

献[8-11]中光纤测试装置对开关电弧运动进行了研究,通过图像处理模拟电弧运动整体形态;可将电弧电流、电压等过程与电弧运动同步模拟;在每根光纤的顶端加装非均匀介质纤维透镜以提高测试精度。文献[12]中利用吸收光谱测量了空气开关电弧等离子体中的铜、银和铁原子的浓度,并得到了电子温度。这些现代测试技术对开关电弧的研究提供有利的技术支撑。

1.3 低压电器测试新技术

通过众多学者的探索与研究,近年来,低压电器的智能测试新技术不断涌现。如电弧故障断路器的智能化检测技术,该技术依靠对正常电弧与电路故障电弧之间的检测、对比,实现对电流故障的在线监测,并能够实现断路器的瞬时保护及联网控制功能,有力的提升了目前低压电器测试技术的水平。其他正在发展和研究中的新型智能测试技术还有耦合感应式接触器智能测试技术、早起电流智能测试技术等,这些低压电器智能测试技术的发展,有力地推动了低压电器智能测试技术的发展和应^[13]。

上海工程技术大学项目“低压断路器智能测控系统”利用人工智能技术对脱扣器的材质和受热应力变形的随机性和不确定性进行预测推理分析,为测试系统提供前馈量;利用激光图像定位技术和六自由度机械手的柔性调整机理实现螺钉和螺帽的差补调整,从而保证全过程的快速准确的测试。这种热态在线测试方法不仅缩短测试时间(节能降耗),而且可成倍地提高测试精度。

2 低压断路器智能测控系统

国内虽然少数自动化设备厂家已开发出一些半自动化或自动化测试装置,但在测试功能上基本以静态为主,未能达到对电器产品的机械及电气性能的综合检验,且基本采用一对一的基于 PC 的数据采集系统,很难对集机械运动、电气控制、仪表调节和计算机运算为一体的低压断路器产品进行综合测试。

文献[14]中采用微机技术实现对继电器测试数据的有效采集与处理,使用高精度定时器 Z_Timer 实现对继电器输出动作时间的测试,另外引进公共数据模块实现系统的稳定性和可靠性。但其只是完成了某些手工测试无法完成的测试功

能,达到了自动化测试的目标。

文献[15]中采用 PC + PLC 的架构进行自动接线,实现继电保护装置的现场测试,通过共享数据库,降低了对现场操作人员的技术要求,提高了继电保护测试工作的效率,保证了检验结果的可靠性。

文献[16]中介绍了一种以工控机为核心的电磁电压继电器智能测试系统,该系统将模拟、数字电子技术与计算机技术相结合,完成了对电磁电压继电器相关参数的自动测试。

低压断路器智能测控系统^[17-18]是集计算机技术、智能控制技术、检测技术为一体控制系统,实现低压断路器双金属片(热脱扣器)的电流过载测控功能,解决了传统工艺中由于手工调节的随机性大、质量难以控制的问题,其极大程度提高产品测试精度与生产效率,以适应低压电器市场的高需求。该系统控制结构如图1所示。其中,下位机 PLC 程序控制由步进电机、磁栅位移式传感器组成的控制单元实现对步进电机的闭环控制,很好地解决螺钉螺母调整机构中步进电机定位关键技术问题;下位机采用 WinCC 模块化组态系统仿真,极大增强监控功能。

通过反复调试,低压断路器智能测控系统运行稳定、高效。目前,该系统已在现场得到应用,显著提高低压断路器产品检测精度、效率。

3 智能测试技术的未来方向

目前,低压电器研究主要集中在弱人工智能上,国内外出现很多自动化、智能化的测试技术,但是对强智能化的研究于应用还很少。强人工智能观点认为,有可能制造出真正能推理(Reason-

ing)和解决问题(Problem Solving)的智能机器,并且这样的机器将被认为是有知觉的,有自我意识的。低压断路器的过载保护方式是采用双金属片保护,而影响测试精度的主要就是双金属片。然而,金属片本身的材质、加工质量、以及装配和工件测试过程中都会产生误差,但是要想在最后的测试系统中消除这些误差很难。不同温度下对断路器脱扣器脱扣时间如图2所示。

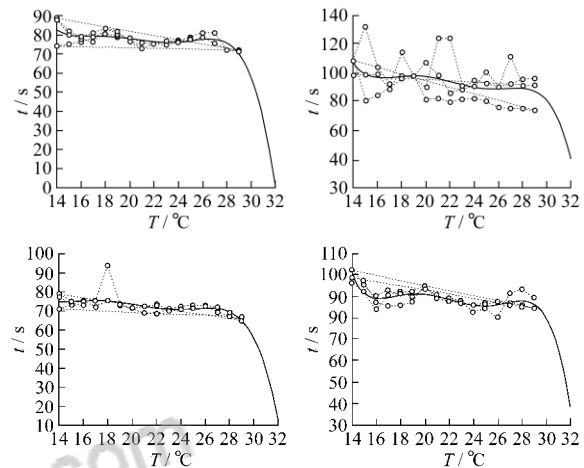


图2 不同温度下脱扣器的脱扣时间

本断路器测试试验数据来源于某厂一次性批量生产的同种型号的断路器。从中可以看出数据离散率很大,拟合性差,说明在断路器生产到测试系统过程中产生的随机误差不可避免,采用一般测试技术无法解决这样的误差问题。

被测对象(如双金属片)在测试过程中的变形轨迹具有不确定性,给测试带来很大的困难,采用模糊控制和遗传神经网络可以很好的解决这种不确定性并且满足特殊功能要求,做到智能化。

组合模糊控制器(FC)分别实现三维空间差补跟踪,其隶属函数的权值由遗传神经网络实时预测并加以调节如图3所示。

图3中: ρ, S, μ, δ 分别为被测对象的材质、形态、电流值、安装位置偏差值; $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1, \Delta \phi_1, \Delta \theta_1$ 分别为空间位置和内外柔轴角度的不确定参数; $\Delta 2, \Delta y_2, \Delta z_2, \phi_2, \Delta \theta_2$ 分别为空间位置和内外柔轴角度的控制器输出量; $\Delta x_3, \Delta y_3, \Delta z_3, \Delta \phi_3, \Delta \theta_3$ 分别为空间位置和内外柔轴角度的 GNN 的调节量; $x_1, y_1, z_1, \phi_1, \theta_1$ 分别为空间位置和内外柔轴角度的综合控制量; $x_2, y_2, z_2, \phi_2, \theta_2$ 分别为空间

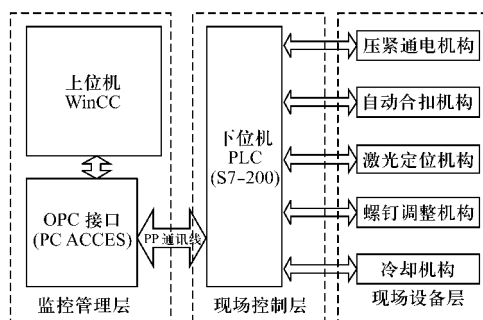


图1 系统结构图

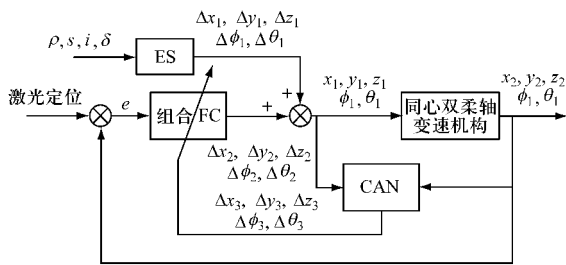


图3 控制流程图

位置和内外柔轴角度的被控对象的输出量。

其模糊控制器 (FC) 采用准滑模模态模糊控制方法,以消除位置跟踪系统的边界抖振影响,其误差控制为下式:

$$C = e + A_1 e + A_2 e^{\alpha/\beta}$$

式中: $e = s - s_d$; A_1, A_2 为柔性伺服系统的参数矩阵,根据双金属片变形特性取二维矩阵; α, β 为滑模吸引子转换参数。

在初始大偏差时,起主导作用的滑模引子是 $A_1 e$ 项,当误差较小时 ($< \Delta$, 其中 Δ 小于阈值),系统主导滑模吸引子为 $A_2 e^{\alpha/\beta}$ 项。隶属函数取等宽可变的高斯函数,权域取 7 个误差变量 (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB)。该控制方式具有较好的位置跟踪和转矩跟踪特性。将准滑模模态算法与模糊控制有机的结合起来,取得了创新型成果,该成果成功的应用在 SKF 炉电极控制中,取得了很好的经济效益和社会效益,已成功申请了两项国家发明专利和一项上海市优秀发明奖一等奖^[19-20]。

其遗传神经网络 (GNN) 模型结构为 10 - 20 - 5 (如图 4 所示),被控对象的输入和输出作为 GNN 的输入 $\Delta x_3, \Delta y_3, \Delta z_3, \Delta \phi_3, \Delta \theta_3$ 作为 GNN 的输出。隶属函数选取高斯型函数,采用遗传算法的选择 (select)、交叉 (crossover) 和变异 (mutation) 来优化神经网络的权值和阈值,并利用自适应调整交叉率 (P_c) 和变异率 (P_m) 来获取全局最优。

该遗传神经网络的输出值分别动态修正组合模糊控制器的隶属函数的权值,以实现机构的快速无轴向附加力的跟踪。对一些不确定变量和因素用专家推理机制来构建前馈通道,应用领域专家的经验知识,建立基于产生式规则的知识库,设计以正向推理和不确定性推理为基础的推理机,

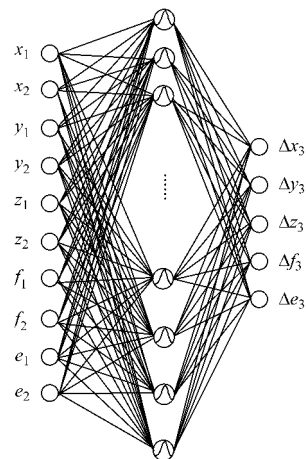


图4 GNN 结构图

融合专一性排序和阈值排序的冲突消解策略,以实现不确定性变量提前预测 (离线) 与模糊神经网络 (在线) 复合控制模式,该控制作用可实现柔性机构在无轴向附加力的跟踪,该成果已运用在“烧结点在生产制造过程的智能控制系统”中,并获得一项国家发明专利和上海市科技进步奖。强智能测试技术对解决随机误差等重要技术难题提供了一种可行的解决方案,强自动化、强智能化为必然发展趋势^[21-22]。

4 结 语

低压电器智能测试技术为低压电器的可靠性评估与可靠性认定工作提供了重要的保证,对减少电力系统的故障有重要的作用。因此,研究与发展低压电器智能测试技术具有十分重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 陆俭国. 低压电器实验技术及检测技术 [J]. 电工技术杂志, 2003 (11): 6-9.
- [2] 朱云祥, 刘炳彰, 黄奇峰, 等. 低压断路器可靠性验证试验装置 [J]. 低压电器, 2000 (2): 45-48.
- [3] 李靖, 赵毅君, 贺湘琰, 等. 低压断路器特性试验装置设计 [J]. 机床电器, 2001 (1): 13-15.
- [4] 刘江林. 时间继电器智能测试仪研究 [D]. 西华大学硕士学位论文, 2008.
- [5] 周松, 曲兴华, 张福民, 等. 断路器机械磨合试验台测试方法及软件设计 [J]. 传感器技术学报, 2007 (4): 949-952.
- [6] 冯晓, 郝进明, 李应白. 基于步进自适应算法的继电器智能测试系统 [J]. 中国科技信息, 2009 (4):

- 142-143.
- [7] 黄升宇. 塑料外壳式断路器寿命试验装置[J]. 低压电器, 1998(1): 51-52.
- [8] LI Xingwen, CHEN Degui, DAI Ruicheng, *et al.* Study of the influence of arc ignition position on arc motion in low voltage circuit breaker [J]. IEEE Trans on Plasma Sci, 2007, 35 (2): 491-497.
- [9] CHEN Degui, DAI Ruicheng, LI Xingwen. Experimental investigation on the arc motion with different configurations of quenching chamber in AC contactor [J]. IEICE Trans on Electronics, 2006, E892C (8): 1201-1205.
- [10] LI Xingwen, CHEN Degui, LIU Hongwu, *et al.* A novel optical fiber measurement system of arc motion in molded case circuit breakers [J]. IEICE Trans on Electronics, 2004, E872C (8): 1329-1336.
- [11] MCBRIDE J W, PECHRACH K, WEAVER P M. Arc motion and gas flow in current limiting circuit breakers operating with a low contact switching velocity [J]. IEEE Trans on Comp Pack Tech, 2002, 25 (3): 427-433.
- [12] HONG D, SANDOLACHE G, BAUCH IRE J, *et al.* A new optical technique for investigations of low voltage circuit breakers [J]. IEEE Trans on Plasma Sci, 2005, 33 (2): 976-981.
- [13] 孙鉴, 梁永春. 低压电器故障诊断及检测技术方法研究[J]. 中国新技术新产品, 2009(10): 140.
- [14] 胡振民, 刘晓薇. 继电器微机测试系统的设计与研究[J]. 华东交通大学学报, 2003(5): 71-73.
- [15] 张丽娟, 宗国萍. 继电保护装置智能测试系统的软件设计[J]. 微计算机信息, 2009(41): 312-314.
- [16] 彭江波, 陈少克. 一种电磁电压继电器自动检测系统的研制[J]. 2008(5): 139-140.
- [17] 司海立, 程武山, 董林等. 塑料外壳式断路器智能测试系统[J]. 低压电器, 2008(19): 55-58.
- [18] 董林, 程武山, 李如甲, 等. 低压断路器智能测控系统的设计与实现. 微计算机信息, 2009, 25 (10-1): 53-55.
- [19] CHENG Wushan. Intelligent control of the complex technology process based on adaptive pattern clustering and feature map [J]. Journal of Mathematical Problems in Engineering, 2008(6): 256-263.
- [20] CHEN Shengchieh, TSAI Chuenjinn. An axial flow cyclone to remove nanoparticles at low pressure conditions [J]. Journal of Nanoparticle Research, 2007 (9): 71-83.
- [21] Berbic N, nuhanovic A, Madzarevic V. Analysis of the Insulated Power-grid Transient Behavior after Faulted Phase Tripping [C]//Electrotechnical Conference, 2004.
- [22] Tanggawelu J B, Mukerjee R N, Ariffin A E. Ferroresonance studies in malaysian utilities distribution network [C]// Power Engineering Society General Meeting. New York, 2001.

收稿日期: 2009-10-31

(上接第 24 页)

表 2 分闸机械特性测试数据

分闸时间 /ms	分闸速度 /(m·s ⁻¹)	分闸线圈 电流/A	触头开距 /mm	触头超程 /mm
22.1	1.01	2.31	11.2	2.8

4 结 语

在对真空断路器机械特性及在线监测参数进行分析的基础上,设计了一种新型的网络式的 VCB 在线监测系统。经试验证明,该系统不论是动态响应特性还是测试精度,都能够满足真空断路器在线监测的要求。

参 考 文 献

- [1] 杜彦明, 顾霓鸿. 国内配电开关设备现状及事故情

况[J]. 电网技术, 2002, 26(2): 70-76.

- [2] 苑舜著. 高压开关设备状态监测与诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [3] SHAOHUA MA, JIMEI WANG. An approach for intelligent detection and fault diagnosis of vacuum circuit breakers [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9: 226-229.
- [4] 胡文平, 尹项根, 张哲, 等. 电气设备在线监测技术的研究和发展[J]. 华北电力技术, 2003(2): 23-26.
- [5] 李娟, 焦邵华. 基于 DSP 的高压断路器状态在线监测装置[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(8): 44-46.
- [6] 赵怀军, 马鹏, 傅卫平, 等. 基于 DSP 的断路器机械特性检测装置[J]. 高压电器, 2006, 42(5): 382-384.

收稿日期: 2010-07-28



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. PCP泵优快测试技术研究及现场应用](#)
- [2. 北京地铁全段启用“智能视频分析技术”系统](#)
- [3. NS与尚德合作开发“智能太阳能电池”技术](#)
- [4. 智能视频监控技术与应用](#)
- [5. INSIGNIS海拉智能信号灯系统](#)
- [6. 对汽车智能安全技术的认识](#)
- [7. Avaya推出突破性智能在线状态技术](#)
- [8. CAPP技术的发展及其在低压电器领域的应用](#)
- [9. 万和人机互动智能热水器斩获“技术与设计创新奖”](#)
- [10. 云电子狗\(云狗\)时代来临,九迪易购扛鼎前行](#)
- [11. 综合自动化通信通道智能测试原理及应用](#)
- [12. 浅谈智能建筑的建筑设计要点](#)
- [13. 英特尔发下一代技术Ivy Bridge](#)
- [14. 国家电网公司启动农村智能配电网试点工程配套关键技术应用研究](#)
- [15. 比大?还得比效果!——智能手机屏幕专项测试](#)
- [16. 赋能技术创建智能国度 尖端科技展会抢尽风头——亚洲通信展2014、企业资讯科技展2014和亚洲广播展2014圆满落幕](#)

- [17. 全芯革命 英特尔第五代酷睿携实感技术面市](#)
- [18. PCP泵优快测试技术研究及现场应用](#)
- [19. 低压电器智能测试技术研究](#)
- [20. 智能建筑中电气施工技术的探讨](#)
- [21. 智能电网的概念、关键技术及其在我国的前景](#)
- [22. 跨越酷尚城市 再树技术标杆](#)
- [23. 伦敦测试智能红绿灯:过街行人越多 绿灯放行越久](#)
- [24. 指点江山,激扬文字——金山打字2003产品初评](#)
- [25. 智能自动化仪表信号产生与测试仪的研制](#)
- [26. 基于LabVIEW的智能低压电器测试技术](#)
- [27. 飞天诚信荣获科技部技术创新基金支持](#)
- [28. 浅谈智能搜索引擎技术及其发展趋势](#)
- [29. 育儿生意](#)
- [30. “智能配电网信息交换关键技术研究”等2项目通过成果鉴定](#)
- [31. 大数据服务大众or飘在云端?](#)
- [32. 你的本本智能了吗?](#)
- [33. 如何打造终极技术之家智能灯光](#)
- [34. 智能微电网集成关键技术研发及其产业化项目通过验收](#)
- [35. 德国测试智能充电站适用各类电动汽车](#)
- [36. 天地伟业 \(TIANDY\) 行业化智能管理平台专注需求集成先进技术Easy7综合管理平台系统](#)
- [37. 斑马技术推出Mobility DNA套件,助力企业实现下一代智能连接](#)
- [38. 建筑电器新技术的分析](#)
- [39. 基于51单片机的温室测试系统的设计与实现](#)
- [40. 顺压电器试验中的过振荡频率及其系数的测试](#)
- [41. 低压电器产品认证中电磁兼容问题](#)
- [42. “三维联动” 打造智能旗舰 “新状元” 引领学习机人性化革命](#)
- [43. 国家电网公司启动 “农村智能配电网试点工程配套关键技术应用研究” 项目](#)
- [44. 三星NX300微单数码相机专题测试智能新兵](#)
- [45. 应用JL-SB自动全智能声波仪监测混凝土质量完整性技术](#)
- [46. 机场安防系统中的智能视频分析技术](#)
- [47. 济南智能配网主站完成第1次" 三遥" 测试](#)
- [48. 一款智能血糖仪的技术与人性](#)
- [49. 第四代MSTP再现智能之美](#)
- [50. 一种智能电阻测试仪的设计开发](#)