

智能远方投退电动压板的设计与应用研究

姚庆华¹, 董林会¹, 周磊¹, 王建林², 罗朝伟²

(1. 国网冀北电力有限公司唐山供电公司, 河北 唐山 063000; 2. 上海海兰电气有限公司, 上海 200136)

摘要: 为了提高压板位置监测及远方遥控投退压板的自动化水平, 对电动压板进行了深入研究, 提出一种具有双确认位置反馈和明显断开点的新型电动压板。研究说明了压板远方遥控投退和状态实时在线监测的方法及其各种应用模式, 分析了电动压板的安全可靠性。研究表明, 将传统硬压板无缝改造为兼备双确认和明显断开点的智能电动压板, 其方法新颖、可靠, 能够克服纯软压板在遥控改造中无双确认、无明显断开点的先天不足, 进一步保障了电网调控一体化操作的安全稳定性。

关键词: 智能电动压板; 遥控投退; 双确认; 明显断开点; 软压板; 调控一体化

Research on design and application of intelligent remote switching platen

YAO Qinghua¹, DONG Linhui¹, ZHOU Lei¹, WANG Jianlin², LUO Chaowei²

(1. Tangshan Power Supply Company, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Tangshan 063000, China;

2. Shanghai Hailan Electric Power Co., Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: In order to improve the automation level of monitoring and remote switching platen, this paper researches a new intelligent platen with double-confirmation location feedback and clear broken points. The methods and their various application modes of platen remote control switching and real-time online monitoring are researched and explained, and the safety and reliability of the platen are analyzed. Research shows that the method of intelligent platen replacing the traditional hard platen is novel and reliable, and can solve the disadvantages of no double-confirmation position feedback and no obvious broken point of purely soft platen in remote-control reconstruction, which further guarantees the safety and stability of integrated dispatch and control system.

Key words: intelligent platen; remote control switching; double confirmation; obvious broken point; software platen; integrated dispatch and control system

中图分类号: TM764

文章编号: 1674-3415(2015)20-0143-07

0 引言

随着变电站自动化技术的不断发展, 调度系统信息化、智能化水平已经达到了很高的程度。继电保护作为电网的重要组成部分, 虽然其本身的信息化、智能化水平很高, 但是, 压板管理方面的信息化、智能化水平则相对较低, 现有技术手段已经不能满足现场运行管理自动化的需要^[1]。为此, 由艾木恩公司发布的智能压板系统解决了压板人工投退操作全过程的在线监视问题, 在实际应用中取得良好的管理效果, 提高了继电保护运行管理的自动化程度以及保护装置运行的正确性, 提高了电网运行

的安全稳定性^[1]。另外, 文献[2-3]也分别给出了两种方法, 实现了智能组件跳闸回路的定检, 可以检测出被忘记或遗漏而没有投退的压板。然而, 仅仅实现远方压板状态监视以及压板忘投退告警还是不够的, 因为近年国家大力提倡坚强智能电网和调控一体化战略, 该战略指导方针要求变电站内所有设备均可控可测, 电力压板也需要适应潮流实现可远程遥控, 因此, 电力系统对智能远方投退压板的需求越来越迫切。本文研究出一种网络化的可远方遥控投退的电动压板如图1所示。该产品已申请中国发明专利、外观专利, 受理号: 2015101024455、2015300560102。适用于传统变电站的硬压板升级改造。

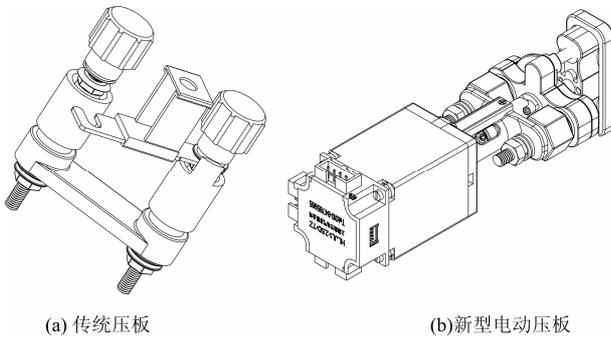


图 1 传统压板与新型电动压板

Fig. 1 Traditional platen and new intelligent platen

1 电动压板远方投退的研究现状

目前，数字化电力技术的应用在当前电力系统生产、运营过程中已经显示出不可估量的作用，而数字化电力技术的基础环节就是必须采用对各种运行设备的工况状态参数进行全实时的检测采样及跟踪的“微分”技术、数字逻辑等系列技术，为神经网络、潮流点计算提供必备的动态数据流。继电保护的微机革命又使得继电保护性能的可靠性有了很大的提高。随着控制理论和控制技术的日渐成熟，一般控制系统的I/O量和控制核心已经完全闭环，形成一个稳定的控制系统^[1]。变电站的继电保护、测控系统完全微机化以后，也完成了主要部分的闭环控制，但传统变电站由于电网运行需要，经常可能因配合施工、线路检查、保供电、运行方式调整等需要对线路的某些压板进行投退。尽管只有一项操作，运行人员却要从集控主站前往变电站进行单一的操作，浪费大量的人力物力。而每年该类效率低、浪费大的操作有很多。加之近年国家大力提倡坚强智能电网和调控一体化战略，这个问题也成为电网发展的一个技术瓶颈。为解决上述问题，自2008年以来就有人开始研究电动压板的远方投退，见参考文献[4-5]，但始终未能有效解决电机总线型网络化驱动问题，导致安装施工接线复杂，可靠性低，无法达到实用化要求。本文所研究的具有新型发明专利的电动压板能够有效解决以上问题。

2 电动远控压板的基本原理

关于智能压板的状态监视原理可参考文献[1]，使用霍尔元件进行压板投退状态检测，这里也不再赘述，限于篇幅这里将重点讲述电动远控基本原理。

2.1 电动压板的基本原理

电动压板的基本原理：使用霍尔元件非电量测

量原理，实现对压板位置的监视。使用压板控制器的CPU I/O 口控制步进电机驱动 IC，由步进电机驱动 IC 驱动步进电机带动相关机械机构，实现压板远方遥控投退。

电动压板的基本硬件原理如图 2 所示。

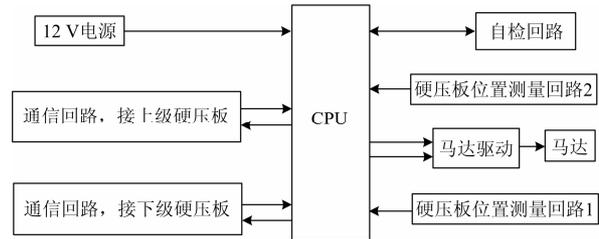


图 2 智能压板的基本硬件原理图

Fig. 2 Basic hardware diagram of intelligent platen

2.2 电动压板的可靠性

电动压板里的电机采用微型步进电机，众所周知，步进电机按照通电顺序的不同，可分为单四拍、双四拍、八拍三种脉冲编码工作方式，其通电时序与波形分别如图 3 所示。

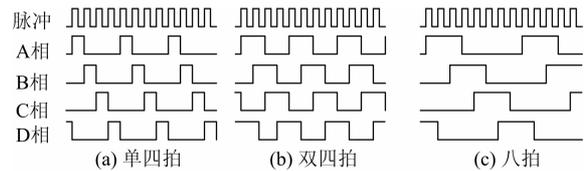


图 3 步进电机工作时序波形图

Fig. 3 Stepper motor working time-sequence waveform

这种脉冲编码驱动方式具有天然抗干扰特性，因为只有符合以上脉冲时序特性的连续波形才会驱动步进电机正转或反转。而对于干扰信号，它的波形是杂散无章的，最差的情况下也只能导致马达正转前进 0.9° 再反转后退 0.9°，原地踏步抖动而已，不会造成压板误投退。因为要投退压板至少要连续正转或连续反转五圈，也就是至少要旋转 360×5=1 800° 方能执行一次投入或退出动作，这样就需要 1 800/0.9=2 000 个如图 3 所示的编码方能驱动，而 0.9° 的旋转相对于整个压板的投退完全不起作用，因为在机械结构设计上留有较长一段行程缓冲区，这一行程缓冲区就是专用于防抖缓冲的，压板无论是投入还是退出都需要走完这段行程缓冲区方能完成投退动作，而 0.9° 的干扰转动是丝毫影响不了压板投退的，在稍后的仿真图 8 里也能明显看到在行程缓冲区里，马达在旋转，而压板的上下投退位移却能够保持不变。另外在 PCB 设计上，新型 ESD

器件、TVS 器件以及镍电容滤波的应用使得驱动电路在抗静电、抗浪涌、抗快速瞬变及脉冲群干扰方面具有卓越表现, 在强度为 4 级的静电、浪涌、快速瞬变及脉冲群干扰条件下测试均未发现有抖动、误动情况。

还有一种极端情况, 那就是驱动芯片故障损坏, 当马达驱动芯片故障损坏后会是什么状况呢? 下面将对此加以分析说明。

首先半导体器件故障损坏无非就两种情况, 芯片击穿短路和内部烧毁开路。无论是短路还是开路, 它都无法响应来自 CPU 的控制信号而输出所需宽度的脉冲功率电平来驱动马达。驱动芯片损坏后最终给到马达的驱动电平将会是持续恒定高电平或持续恒定低电平(由烧毁决定), 由于步进电机的自身特点, 凡是加到步进电机某相的持续恒定高电平只能使电机转子磁锁死, 无法旋转, 持续恒定的低电平根本就无法提供驱动电流, 更不可能驱动马达旋转, 综合起来的结论是无论何种程度的驱动芯片损坏均不会造成马达误动, 只能导致无法远方投退。当无法远方投退时只能派人检修更换或不予更换, 由人工就地手动投退即可。

软件上, 虽然通信回路的高可靠性保证了通信数据的正确性, 另外, 除了软件 CRC32 校验检查之外, 各控制指令还有文献[6]给出的方法进行双校验校核, 可确保操作正确。同时所有压板操作指令在远方调度端和本地中继器里均有详细操作日志备查, 日志掉电不丢失。

另外为了提高可靠性, 软件上还特意设置了压板自动纠错功能, 详见后续章节。

3 电动压板的可靠性设计及仿真分析

3.1 电动压板驱动电路的可靠性设计与分析

对于全桥步进电机驱动电路而言, MOS 管的驱动对其工作效果起着决定性的作用。既要考虑减少开关损耗, 又要求驱动波形较好, 即振荡小、过冲小、EMI 小。这两方面往往是互相矛盾的, 需要寻求一个平衡点, 采用单电阻限制栅极电流时满足了导通电流特性则关断特性变差, 满足了关断特性则导通电流特性又变差, 因此, 设想采用双电阻 R_{OFF} 与 R_{ON} 驱动, 如图 4。

根据 MOS 管上升沿时间计算公式:

$$t_{TURN_ON} = t_{ON} + t_{RISE} = (R_{ds(ON)_HS} + R_{ON}) \cdot \left[C_{iss(min)} \times \ln \left(\frac{U_{SOURCE}}{U_{SOURCE} - U_{GSP}} \right) + \frac{(Q_2 - Q_1)}{U_{SOURCE} - U_{GSP}} \right]$$

$$\Rightarrow (R_{ds(ON)_HS} + R_{ON}) =$$

$$\frac{t_{TURN_ON}}{\left[C_{iss(min)} \times \ln \left(\frac{U_{SOURCE}}{U_{SOURCE} - U_{GSP}} \right) + \frac{(Q_2 - Q_1)}{U_{SOURCE} - U_{GSP}} \right]} \quad (1)$$

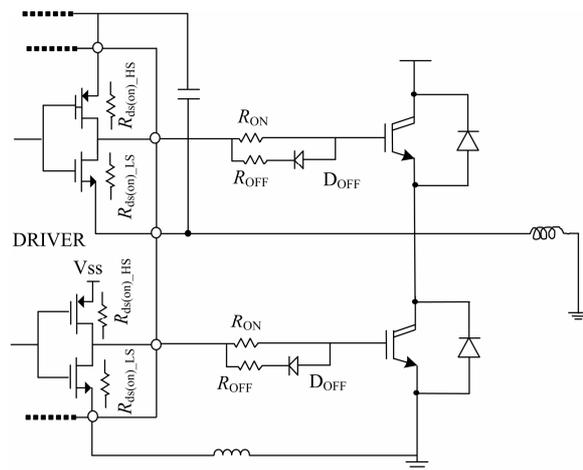


图 4 MOS 管双电阻驱动电路示意图

Fig. 4 Drive circuit schematic of MOS transistor double resistance

根据 MOS 管下降沿时间计算公式:

$$t_{TURN_OFF} = t_{OFF} + t_{FALL} = (R_{ds(ON)_LS} + R_{OFF}) \cdot$$

$$\ln \left[C_{iss(max)} \times \ln \left(\frac{U_{GS,max}}{U_{GSP}} \right) + \frac{(Q_2 - Q_1)}{U_{GSP}} \right]$$

$$\Rightarrow (R_{ds(ON)_LS} + R_{OFF}) = \quad (2)$$

$$\frac{t_{TURN_OFF}}{\left[C_{iss(max)} \times \ln \left(\frac{U_{GS,max}}{U_{GSP}} \right) + \frac{(Q_2 - Q_1)}{U_{GSP}} \right]}$$

根据选用的 MOS 管自身特性及相关应用条件, 有关参数见表 1。

表 1 MOS 管特性及应用条件列表

Table 1 List of MOS transistor characteristics and application conditions

MOS 管特性	应用条件
$C_{ISS, min}=600$ pF	$U_{SOURCE}=15$ V
$C_{ISS, max}=1$ nF	$U_{SINK}=0$ V
$U_{GSP}=6$ V	$U_{GS, max}=U_{SOURCE}$
$Q_1=7$ nC, $Q_2=25$ nC	期望的通断时间
$R_{ds(ON)_LS}=26$ Ω	$t_{TURN_ON}=350$ ns
$R_{ds(ON)_HS}=42$ Ω	$t_{TURN_OFF}=200$ ns

将表 1 参数代入式(1)和式(2)得 $R_{OFF}=25 \Omega$, $R_{ON}=110 \Omega$, 110Ω 与 25Ω 的两个驱动电阻由二极管 D_{OFF} 根据驱动电流方向轮流切换。图 5 和图 6 分别是电路改进前后实测波形图。

测试结果表明双驱动电阻轮流切换同时达到了导通特性与关断特性的最优,大大提高了驱动可靠性及 EMI 特性。

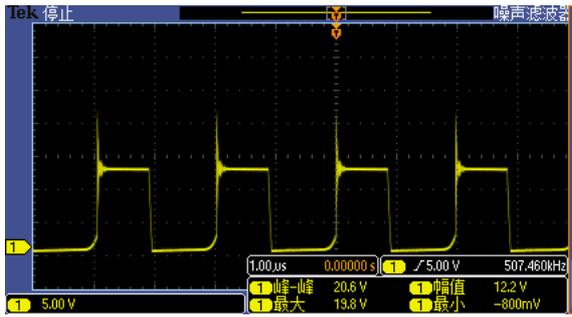


图 5 未优化的驱动电路波形图
Fig. 5 Waveform of original drive circuit

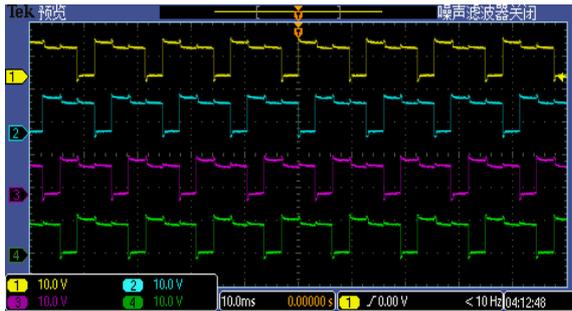


图 6 优化后的驱动波形图
Fig. 6 Waveform of optimized drive circuit

3.2 电动压板机械结构的运动仿真分析

关于机械结构仿真,研发团队运用 Creo3.0 创建了结构模型如图 7。

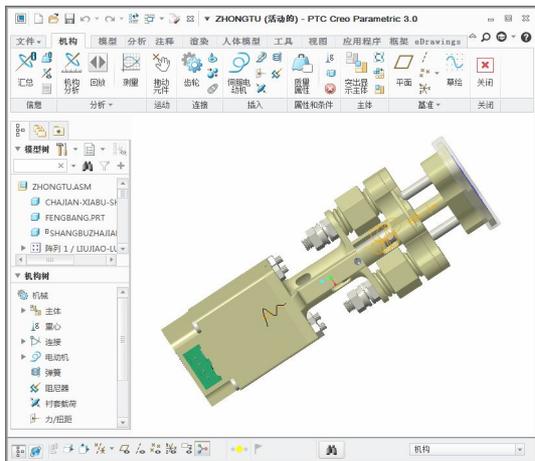


图 7 电动压板 3D 模型仿真图
Fig. 7 3D model simulation diagram of intelligent platen

设定好仿真条件,让电机反复驱动压板投退,对其位置、运动学、动态、静态、干涉等做分析仿真,保证其位置、运动学、动态、静态、干涉、摩擦力、金属疲劳等的最优设计如图 8,限于篇幅,不一一列举展开讨论。

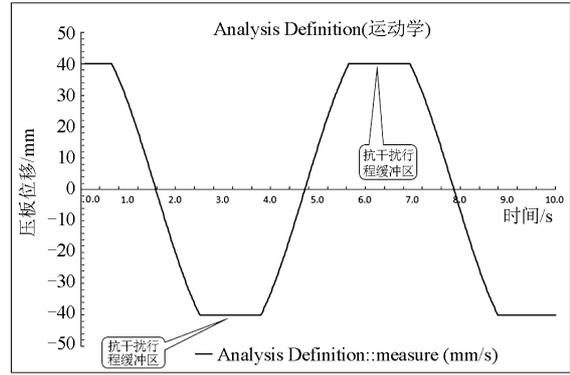


图 8 仿真结果图
Fig. 8 Simulation results diagram

机构仿真结果可以导出 MPG 格式动画视频,便于进一步分析观察,限于篇幅,动画截图从略。

4 电动压板系统的构成及功能

智能压板系统应用先进的计算机与网络通信技术、自动化技术、传感器技术,对与变电站安全有关的压板运行状态进行在线实时监视,将其通过远程通信实时上报给后台监控系统,由上位机实现对现场保护压板的实时监控及不正确状态告警。

智能压板采用 12 V 高压网络方式与中继器相连,中继器通过 RS485 网络与上位机相连;上位机的每条 RS485 总线可连接 127 个中继器,每个中继器可以连接 127 个电动压板,因此能够满足各电压等级变电站的需求。

中继器接收来自上位机的压板投退指令,再经过两个回合的指令校验与反校,确认无误,下发压板投退指令编码到压板,压板上的驱动芯片接收到指令编码并校验后执行投退指令。

与此同时,中继器将压板投退状态实时传送到后台上位机,上位机以百分比进度条形式显示当前压板投退情况。

4.1 智能压板系统原理图

智能压板系统的原理图如图 9 所示。

(1) 各压板硬件完全相同,不需要配置地址,无论多少压板,仅需四根数据总线手拉手相连即可,如图 9 所示。如果不采用上述总线制连接方法,那么每个两相四线制步进电机就需要四根线驱动,若

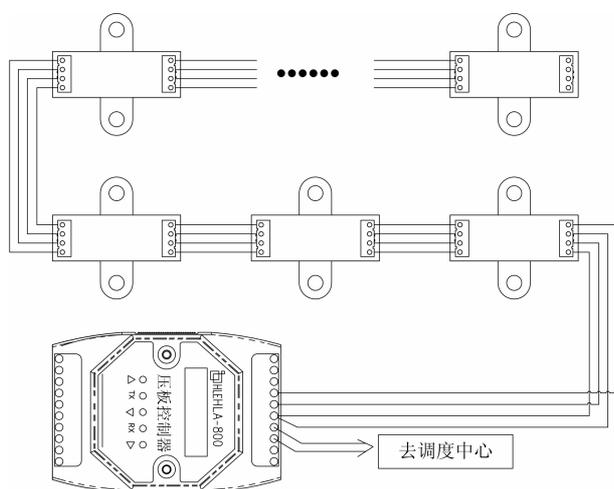


图9 智能压板系统原理图

Fig. 9 Schematic diagram of intelligent platen system

一面保护屏上装有 30 个电动压板, 每个步进电机四根线, 仅步进电机连线就需要 120 根, 其接线将相当复杂。本文创新点之一就在于将步进电机驱动网络化, 无论有多少压板, 均同时挂接在同一组四线数据总线上, 大大节约了现场布线, 提高了安全可靠。

(2) 霍尔元件无电气接触的压板投退位置检测。

(3) 双微动开关的第二原理双位置反馈, 从而实现双确认反馈。

(4) 运行中任一个压板损坏后, 原位置更换新的压板后, 将自动配置, 不必人工参与。

(5) 步进电机控制压板投退, 有多个压板需要投退时自动逐个依次投退, 避免同时投退时电源及线路过载。

(6) 微型步进电机, 驱动电流 $<200\text{ mA}$, 安全可靠。

(7) 手自一体设计, 当驱动电路故障或步进电机故障后, 无法远方遥控投退时可以就地手动操作压板投退。

4.2 系统的主要功能

系统除具备参考文献[1]所述所有功能外, 其主要功能和创新点还在于压板位置的远方遥控投退并具备自动自主纠错能力。当上位机发送并执行完压板投退指令后每个压板的投退状态指令就会固化存储在中继器里, 并依此为凭据对压板状态进行实时看管比对, 如发现压板状态发生未经许可的变化将立即一方面向后台调度端发送报警信号, 另一方面立即自主发出纠错指令, 驱动步进电机将错误的压板状态纠正回最初调度端所配置的压板状态上。因

此, 自主纠错是电动压板的又一创新点, 这是参考文献[4-5]所不具备的。

4.3 系统应用

电动压板适用于任何等级的变电站, 只要用到传统压板的地方均可使用电动压板替代。电动压板是手自一体设计, 既可以就地手动投退, 也可以远方遥控投退, 对变电站最后一个监控死角-压板进行有效监控, 有利于发展无人值守变电站^[7]。另外, 采用文献[8]所提供的调控一体化系统防误校核方法, 增强遥控可靠性, 对于进一步提高变电站自动化水平具有重大意义。

4.4 双确认实现方法

根据国网公司有关文件精神要求: 作为远方遥控设备, 必须具备双确认位置反馈。那么作为远方遥控的电动压板, 也必须具备双确认位置反馈才具有实用价值。电动压板的双位置反馈采用霍尔元件和微动开关两种既不同源也不同原理的双位置反馈, 满足了国网公司安全规范中有关双确认的技术要求, 如图 10 所示。

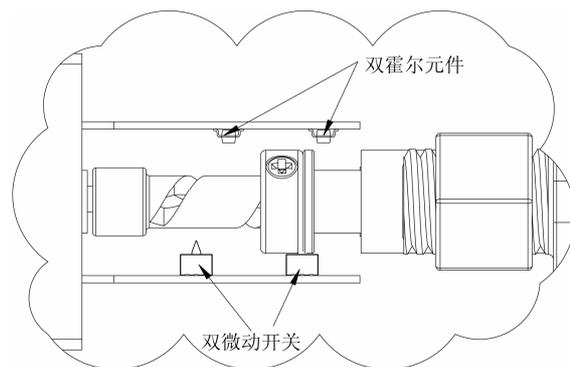


图10 双确认实现原理剖视图

Fig. 10 Schematic cutaway view of double-confirmation realization

另一个重要应用就是压板的硬改软无缝改造的应用, 下面将叙述其原理与方法。

5 压板的硬改软无缝改造

5.1 压板的硬改软需求

随着农村电网的发展以及边远乡镇企业的发展, 用户用电需求及负载负荷越来越复杂, 原来很少投退的功能压板也频繁派人投退, 费时费力, 这就提出需求, 希望这些功能硬压板能够改为软压板, 能够在远方调度端进行遥控。而完全取消硬压板改为软压就意味着违反了国网公司有关检修回路必须有明显可见断开点的安全规范, 即使不在检修回路

里的功能压板，当将它改为纯软压板后也因无法提供双确认而再次违反国网公司有关安全规范^[9]。

5.2 硬压板无缝改为软压板的应用前景

在传统定义里，软压板是指软件系统的某个功能投退，比如投入和退出某个保护和控制功能。通常以修改微机保护的软件控制字来实现。远方遥控电动压板问世后，电动压板的投退就是通过修改其软件控制字来实现投退，从而实现投入和退出某个保护和控制功能，既然也是由软件控制字来实现某个功能的投退，那么电动压板其实就是一个软压板，而且是一个兼备双确认位置反馈和物理明显断开点的增强型软压板。

硬压板(连接片)因其操作后形成的连接点与断开点的可视性而在国产保护装置中得到了最为广泛的应用^[10]，而取消传统硬压板，改为纯软压板后纯软压板无法提供明显可见断开点，也无法提供双确认位置反馈。而电动压板既可以提供明显可见断开点，又可以提供双确认投退位置反馈，还可以软件远程遥控投退。因此在传统变电站里，将传统硬压板改为电动压板，既保留了硬压板固有物理明显断开点的先天优点，又提供了双确认位置反馈，还不改变原有就地操作习惯，这种改造方法平滑无缝，新颖独特，安全可靠，有着巨大的市场应用前景。

6 低周减载系统应用

在低周减载系统里电动压板也有重大应用价值，中继器是双通信口设计，如图 11 所示。

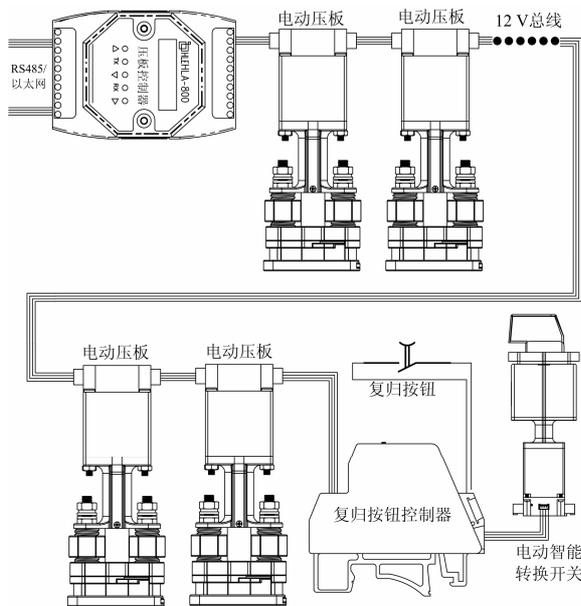


图 11 网络结构示意图

Fig. 11 Schematic diagram of network structure

一路通信口连到调度操作员站，另一路通信口连接至保护、测控或低周减载装置，低周减载装置读取压板状态，可根据压板投退状态，按功率缺额一次精确减载，从而减少切除轮次，提高效率。而调度端，当需要临时重点保护负载避免被低周减载装置切除时，仅需遥控退出相应压板即可。与此同时，在 12 V 高压数据总线上还挂接有智能复归按钮控制器，以实现保护的远程复归，挂接的电动多路转换开关实现多路转换开关的远程遥控转换，智能复归按钮与电动多路转换开关不属于本文论述范围，不再赘述。

7 结论

通过以上论述及有关技术查新证明，智能远方投退电动压板可靠性高、抗干扰性强。电动压板在智能化、网络化、可遥控等方面达到了电力行业领先水平，在电力系统的应用完全可靠、可行。

参考文献

[1] 牛志刚, 贾腾飞, 徐庆录, 等. 智能压板系统在齐齐哈尔冯屯 500 kV 变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(23): 219-245.
 NIU Zhigang, JIA Tengfei, XU Qinglu, et al. The application of intelligent platen system in Qiqihar Fengtun 500 kV substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(23): 219-245.

[2] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.
 XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.

[3] 任俊杰, 蒋岚. 电力系统继电保护压板图像识别系统[J]. 北京联合大学学报, 2004, 18(2): 60-64.
 REN Junjie, JIANG Lan. The image recognition system of relaying plate in electric power system[J]. Journal of Beijing Union University, 2004, 18(2): 60-64.

[4] 泰安慧致电子科技有限公司. 保护压板电动投退装置: 中国, 200820172129.0[P]. 2009-07-29.
 Taian Huizhi Electronic Technology Co., Ltd. Relay protective platen electric throwing device: China, 200820172129.0[P]. 2009-07-29.

[5] 上海艾木恩投资发展有限公司. 一种电动智能压板、

- 电动压板控制系统及控制方法: 中国, 201010196831.2[P]. 2011-12-14.
- Shanghai MN Investment Development Co., Ltd. An intelligent remote controlled platen and electric control system and control method: China, 201010196831.2 [P]. 2011-12-14.
- [6] 刘必晶, 徐海利, 林静怀, 等. 远动遥控的双校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 134-138.
- LIU Bijing, XU Haili, LIN Jinghui, et al. Research on double check method of remote security check[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 134-138.
- [7] 百度百科. 无人值守变电站系统[EB/OL]. [2015-05-01]. <http://baike.baidu.com/view/3007148.htm>.
- [8] 林榕, 王永红, 张会贤. 智能调控一体化系统在河北南网的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(2): 151-155.
- LIN Rong, WANG Yonghong, ZHANG Huixian. Application of integrated system of intelligent dispatch and centralized control in Hebei southern power grid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(2): 151-155.
- [9] 国家电网公司文件. 国家电网企管[2013]1650号: 国家电网公司关于印发《电力安全工作规程变电部分》、《电力安全工作规程线路部分》2项标准的通知[S].
- China State Grid Corp Documents. China State Grid Corp enterprise management [2013]1650 notice of the China State Grid Corp on issuing the 2 standards for the substation electricity safety work regulations and the power safety work regulations and the part of the electric power safety work regulations[S].
- [10] 汪洪明, 杨妮娜. 二次压板操作的安全措施与防范探讨[J]. 继电器, 2007, 35(2): 76-78.
- WANG Hongming, YANG Nina. Discussion on security and prevention of the operation of secondary pressure plate[J]. Relay, 2007, 35(2): 76-78.

收稿日期: 2015-05-04; 修回日期: 2015-09-14

作者简介:

姚庆华(1970-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护及自动化技术管理等;

董林会(1971-), 女, 工程师, 学士, 主要研究方向为电力营销与电力工业技术等;

周磊(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为继电保护技术管理等。

(编辑 张爱琴)