

关于单柱单臂垂直伸缩式隔离开关动触头钳夹装置的研究

江海, 曾翔

(新东北电气集团隔离开关有限公司, 沈阳 110027)

摘要: 单柱单臂垂直伸缩式隔离开关是近年来国内厂家在参照国外相关产品的基础上研制开发的隔离开关, 其设计先进、结构合理, 具有外观简洁、性能优良、占地面积小、维修周期长等优点, 对于丰富隔离开关品种, 满足用户的不同需要具有重要作用。此种形式的隔离开关在研制试验过程中出现了动触片张开角度过小、触头接触压力过大、操作杆上的滚轮易损等现象, 为了探究出现问题的原因并找到解决办法, 笔者通过理论计算与实际结果对照, 对这些现象进行了研究, 并针对性地提出了在安装调试过程中应注意的问题, 其中理论计算的结果希望对有关的设计者也能提供一些参考或帮助。

关键词: 单柱单臂垂直伸缩式隔离开关; 触头接触压力; 操作杆行程; 动触头夹紧力装置; 设计计算分析
中图分类号: TM56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)04-0077-05

Research on the Moving Contact Clamp Device of Single Column Vertical Telescopic Type Disconnecter

JIANG Hai, ZENG Xiang

(New Northeast Electric Group Disconnecter Co., Ltd., Shenyang 110027, China)

Abstract: Single column vertical telescopic disconnecter is developed by the domestic manufacturers based on the reference to the related foreign products in recent years. It has advanced design, reasonable structure, advantages of simple appearance, excellent performance, small footprint, long repair cycle. This type disconnecter has an important role to meet the different needs of users. Some problems appeared during manufacturing such as the open angle of the moving contact is too small, the contact touching pressure is too big, the rolling wheel on the operating bar is easy to damage, and so on. This paper makes some investigations on the above issues, and some countermeasures are suggested for installation of such disconnecter which may be helpful to designers.

Key words: single column vertical telescopic disconnecter; contact touching pressure; operating bar stroke; moving contact clamp device; design and calculation

0 引言

随着中国电力事业的迅猛发展, 敞开式高压隔离开关的需求量在不断的增加, 电力部门的用户对隔离开关的品种规格的多样化也有了更高的要求, 单臂单臂垂直伸缩式结构的隔离开关由此也应运而生, 这种形式的隔离开关以其简洁的外观、维护周期长等优点, 近年来在我国的输变电路中得到了广泛的采用^[1-6]。笔者所在的公司从 2003 年就开始研发这种形式的隔离开关, 据不完全统计目前已有近千组产品运行在国内的输变电路中。

1 本形式隔离开关的基本结构及动作原理

其结构见图 1, 主要包括底座部分、下导电管部分、关节部分、上导电管部分和静触头部分组成。其动作原理为: 当合闸时, 拐臂带动连杆运动, 使下导电管抬起, 通过下导电管内的齿轮, 齿条装置使上导电管一起运动, 当合闸到一定位置时, 上操作管上的滚轮与齿轮支座上端的斜面接触, 随着合闸动作的继续, 上操作管被向上顶起, 使动触片合拢, 直到最后夹紧; 当分闸时, 拐臂带动连杆反向运动, 使下导电管下降, 通过下导电管内的齿轮, 齿条装置使上导电管一起运动, 当分闸到一定位置时, 上操作管上的

收稿日期: 2013-11-17; 修回日期: 2013-12-20

滚轮与齿轮支座上端的斜面脱离接触, 动触片在复位弹簧的作用下松开, 与静触头脱离, 直至最后分闸动作完成^[7-15]。

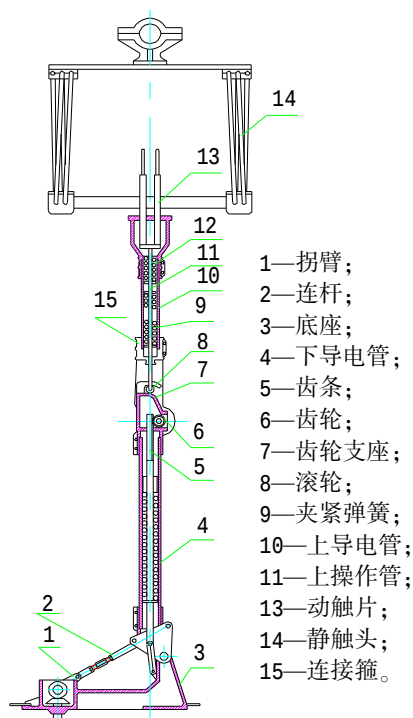


图 1 单柱单臂垂直伸缩式隔离开关结构示意图

Fig. 1 Diagram of single column vertical telescopic type disconnector structure

2 动触片最大张开角度及上操作管行程的计算

在此产品研制试验过程中, 发现有以下几个方面的问题:

- 1) 动触片的张开角度较小, 实测在 $13^\circ \sim 14^\circ$ 左右, 不适合在钳夹范围的要求大的场合使用;
- 2) 操作杆上的小滚轮在操作试验过程中经常容易损坏, 最终造成接触压力的降低;
- 3) 动触片夹紧时所获得的触头压力比理论计算值大很多。

为了对以上问题有一个清楚的认识, 在这里通过一些理论计算, 并将计算结果与实际情况作一比较, 来分析问题产生的原因^[16-20]。

2.1 动触片最大张开角度的计算

动触头结构图见图 2。从图 2 可以看出, 动触片的运动过程为: 当上操作管向上顶起时, 使连板 CE 和 DE 向两端张开, 由于 A、B 为固定点, 则使动触片绕 A、B 两点旋转, 动触片在 A、B 两点以上的部分向内并拢夹紧, 当上操作管向下运动时, 连板 CE 和 DE 绕 E 点向内并拢, 使动触片绕 A、B 两点旋转张开。

通过分析可以看到, 在上操作管向下运动过程

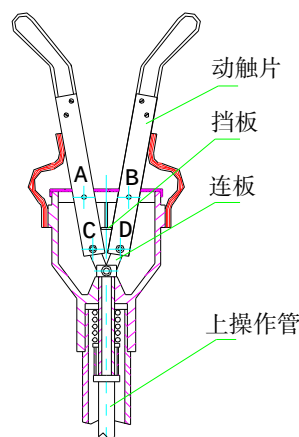


图 2 动触头结构图

Fig. 2 Diagram of moving contact structure

中, 当动触片 AC、BD 运动到与挡板接触时, 由于挡板的限位作用, 此时两动触片的张开角度为满足规定的挡板装配尺寸的最大值。

由此可以画出计算简图, 见图 3, 参照设计尺寸得到: $AM=16 \text{ mm}$; $NG=15 \text{ mm}$; $AF=48 \text{ mm}$; $FG=97 \text{ mm}$ 。

所以 $AN = \sqrt{(AF-NG)^2 + FG^2} = \sqrt{(48-15)^2 + 97^2} = 102.5 \text{ mm}$ 。

由 $\sin \beta = \frac{AM}{AN} = \frac{16}{102.5} = 0.16$ 得 $\beta = 9.2^\circ$ 。由 $\sin \gamma = \frac{AF-NG}{AN} =$

$\frac{48-15}{102.5} = 0.32$ 得 $\gamma = 18.7^\circ$ 。从而得到 $\alpha = 2 \cdot (\gamma - \beta) = 2 \times$

$(18.7 - 9.2) = 19^\circ$, 即动触片在满足挡板现有装配尺寸时的最大张开角度为 19° 。

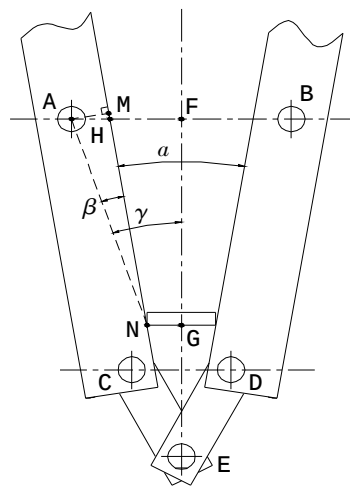


图 3 动触片计算简图 1

Fig. 3 Calculation sketch of the moving contact 1

2.2 操作杆行程的计算

上操作管的行程可分为两个部分, 一部分为使动触片并拢所走的行程, 另一部分为使动触片夹紧所需的夹紧弹簧的压缩行程, 其中夹紧弹簧的压缩行程已由设计尺寸保证为 10 mm , 因此, 只要知道使动触片并拢这部分的行程, 二者之和, 即为上操作管的最大行程。

从分析可知, 图 3 所示情况应为分闸时的极限位置, 只要求出此时 E 点到 AB 连线的距离, 再求出动触片并拢时 E 点到 AB 连线的距离, 则其差值即为使动触片并拢所需的理论行程。

动触片计算简图 2 见图 4, 设在分闸极限位置时, E 点到 AB 连线的距离为 EF, 已知 $\alpha=19^\circ$, $HC=6.5\text{ mm}$, $AH=120\text{ mm}$, $AF=48\text{ mm}$, $CE=46\text{ mm}$, 所以由 $\tan\beta=HC/AH=6.5/120=0.054$ 可得 $\beta=3.1^\circ$ 。从而得到: $\gamma=(90-\frac{\alpha}{2})-\beta=(90-\frac{19}{2})-3.1=77.4^\circ$; $AC=\sqrt{AH^2+HC^2}=\sqrt{120^2+6.5^2}=120.2\text{ mm}$; $FG=AC\cdot\sin\gamma=120.2\times\sin 77.4=117.3\text{ mm}$; $CD=2\cdot(Af-AC\cdot\cos\gamma)=2\times(48-120.2\times\cos 77.4)=436\text{ mm}$; $EG=\sqrt{CE^2-(\frac{CD}{2})^2}=\sqrt{46^2-(\frac{436}{2})^2}=40.5\text{ mm}$; $EF=FG+EG=117.3+40.5=157.8\text{ mm}$ 。

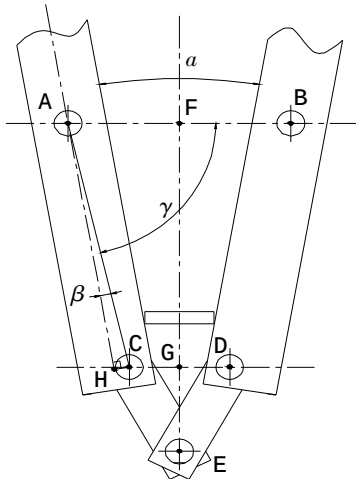


图 4 动触片计算简图 2

Fig. 4 Calculation sketch of the moving contact 2

动触片并拢时的情况见图 5。由图 5 可以看出, 此时 E 点到 AB 连线的距离为 E 到 CD 连线的距离 EG 与 AH 长度的和。已知 $AH=120\text{ mm}$, $Af=48\text{ mm}$, $CE=46\text{ mm}$, $HC=6.5\text{ mm}$, 则 $CG=Af-HC=48-6.5=41.5\text{ mm}$, $EG=\sqrt{CE^2-CG^2}=\sqrt{46^2-41.5^2}=19.8\text{ mm}$ 。因此 $Ef=EG+AH=19.8+120=139.8\text{ mm}$ 。设使动触片并拢的行程为 L_1 , 则 $L_1=EF-Ef=157.8-139.8=18\text{ mm}$ 。设操作杆的最大理论行程为 L , 则 $L=L_1+10=18+10=28\text{ mm}$ 。

3 触头接触压力的计算

与触头压力有关的结构见图 6, 由图 6 中可以看出, 动触片夹紧时, 触头压力只与复位弹簧和夹紧弹簧产生的力有关, 复位弹簧在动触片并拢过程中被压缩, 它对上操作管产生一向下的作用力 F_2 , 而夹紧弹簧在动触片并拢后压缩, 使动触片夹紧, 它对上操作管产生一向上的作用力 F_1 , 因此, 上操作管

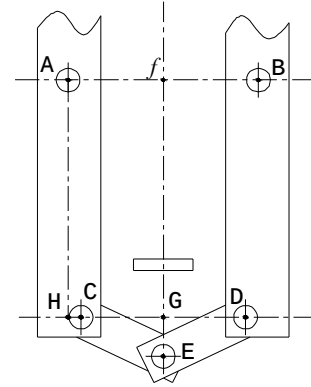


图 5 动触片计算简图 3

Fig. 5 Calculation sketch of the moving contact 3

向上的作用力即为 F_1 与 F_2 的差值。

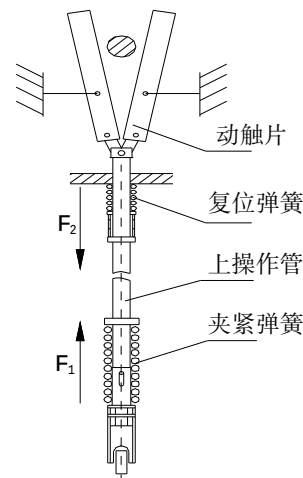


图 6 触头压力分析图

Fig. 6 Diagram of contact pressure analysis

前面已讨论过, 使动触片并拢所需的行程为 18 mm , 也即合闸后, 复位弹簧的压缩量为 18 mm , 加上复位弹簧的预压缩量 10 mm , 则合闸后复位弹簧的总压缩量为 $10+18=28\text{ mm}$ 。

已知复位弹簧的有关参数为: 有效圈数 $n=9$; 弹簧钢丝线径 $d=3.5\text{ mm}$; 切变模量 $G=73\ 000\text{ N/mm}^2$; 弹簧中径 $D=31.5\text{ mm}$ 。所以复位弹簧产生的作用力为 $F_2=28\times\frac{Gd^4}{8D^3n}=28\times\frac{73\ 000\times 3.5^4}{8\times 31.5^3\times 9}=136\text{ N}$ 。

对于夹紧弹簧来说, 其使动触片夹紧的压缩量已由设计尺寸保证为最大 10 mm , 加上装配时的预压缩量为 35 mm , 则合闸终了后, 夹紧弹簧的总压缩量为 $10+35=45\text{ mm}$ 。

已知夹紧弹簧的有关参数为: 有效圈数 $n=32$; 弹簧钢丝线径 $d=8\text{ mm}$; 切变模量 $G=80\ 000\text{ N/mm}^2$; 弹簧中径 $D=35\text{ mm}$ 。所以夹紧弹簧产生的作用力 $F_1=45\times\frac{Gd^4}{8D^3n}=45\times\frac{80\ 000\times 8^4}{8\times 35^3\times 32}=1\ 343\text{ N}$ 。

动触片部分的受力分析见图 7, 其中 F 即为 F_1

与 F_2 的差值, $F=F_1-F_2=1\,343-136=1\,207\text{ N}$ 。

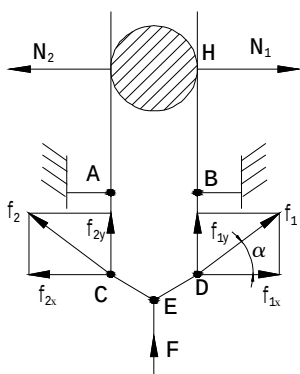


图 7 动触片受力分析简图

Fig. 7 Diagram of moving contact force analysis

由前面的计算结果可知,在此情况下, E 点到 CD 连线的距离为 19.8 mm, 而 $DE=CE=46\text{ mm}$, 则 $\sin\alpha=19.8/46=0.43$, $\alpha=25.5^\circ$ 。

采用正交分解法,根据力的平衡条件可知 F 等于 f_1 与 f_2 在 y 方向上的分量之和, 即 $F=f_1\cdot\sin\alpha+f_2\cdot\sin\alpha$ 。因为 $f_1=f_2$, 则 $F=2f_1\cdot\sin\alpha$, 所以 $f_1=f_2=F/(2\sin\alpha)=1\,207/(2\times\sin 25.5)=1\,402\text{ N}$ 。由此可求出 f_1 与 f_2 在 x 方向上的分量 $f_{1x}=f_{2x}=f_1\cdot\cos\alpha=1\,402\times\cos 25.5=1\,265\text{ N}$ 。设动触片与静触头接触点 H 到 B 点的长度为 L , 根据力矩平衡条件得到: $N_1\cdot L=f_{1x}\cdot BD$ 。已知 $f_{1x}=1\,265\text{ N}$, $BD=120\text{ mm}$, 则一对触头产生的接触压力 $N_1=N_2=(1\,265\times 120)/L=151\,800/L\text{ N}$ 。据此可以算出当 L 取不同值时接触压力的大小, 其结果见表 1。

表 1 接触压力计算结果

Tab. 1 the calculation results of contact pressure

L/mm	N_1/N	L/mm	N_1/N
70	2 169	270	562
100	1 518	300	506
130	1 168	330	460
160	949	360	422
190	799	390	389
210	723	410	370
240	633	440	345

4 动触片强度分析

动触片采用 T2-Y 铜材, 按验收条件要求其抗拉强度 $\geq 275\text{ MPa}$, 名义屈服强度 $\geq 200\text{ MPa}$, 对动触片建立实体模型, 运用以上计算所得工况条件, 对动触片进行强度分析。

动触片强度分析结果见图 8。从所得结果看, 最大应力 92.6 MPa, 安全系数 2.2, 满足强度要求。

模型名称: 动触杆

算例名称: 算例 1

图解类型: 静态 节应力 应力 1

变形比例: 4

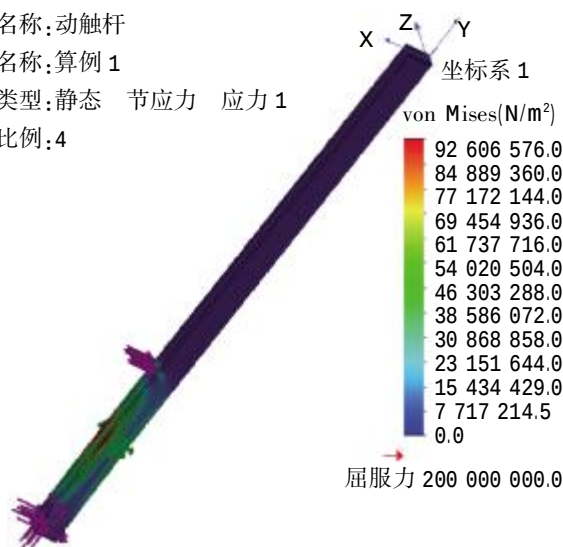


图 8 动触片强度分析结果

Fig. 8 Diagram of moving contact strength analysis results

5 结论

通过将以上计算结果与实际情况对照分析得出如下结论:

1) 动触片的最大张开角度应为 19° , 考虑到各种阻力的影响, 其实际张开角度应比此值略小, 现在动触片张开角度过小是由于固定于动触片上的导电带的弹性力所致;

2) 上操作管的最大行程应为 28 mm, 而实测值为 35 mm (测量方法为在分闸位置时, 用人工将动触片张开至挡板的限位最大角度, 测出此时上操作管伸出关节处连接箍的长度, 然后将产品操作至合闸终了位置, 再测出此时上操作管伸出连接箍的长度, 取两次测量的差值), 由于上操作管的行程过大, 使其在完成正常行程后仍被上顶, 使有关部件产生形变, 不仅造成触头压力大大超过正常值, 也使操作杆上的滚轮经常损坏。

针对以上分析结果, 采取以下措施来解决问题:

1) 将导电带在安装前校成一定形状, 减少其对动触片的作用力;

2) 规定上导电管部分的长度, 使上操作管的行程在合理范围内。

参考文献:

- [1] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
Editorial Committee of Mechanical Design Handbook. Mechanical design handbook[M]. Beijing: Mechanical Engineering Press, 2004.
- [2] 北京钢铁学院. 机械零件[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981.

- Beijing Iron and Steel Institute. Machine part[M]. Beijing: Beijing People's Education Press, 1981.
- [3] 邱宣怀. 机械设计[M]. 第四版. 北京: 北京高等教育出版社, 1997.
- QIU Xuanhuai. Mechanical design[M]. The 4rd Edition. Beijing: Higher Education Press, 1997.
- [4] 汪曾翔, 魏光英, 刘祥至. 弹簧设计手册[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1986.
- WANG Zhengxiang, WEI Guangying, LIU Xiangzhi. Spring design handbook [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 1986.
- [5] 钟振蛟. 谈户外高压隔离开关的技术发展和结构演变[J]. 高压开关行业通讯, 1997(7): 47-50.
- ZHONG Zhenjiao. Outdoor high-voltage isolation switch on the technical development and structural evolution [J]. High-voltage Switch Industry Newsletter, 1997(7): 47-50.
- [6] 丁昌国. 隔离开关存在问题及改进措施[J]. 吉林电力, 2004(6): 55-56.
- DING Changguo. Problems existing in disconnecting switch and its improvement[J]. Jilin Electric Power, 2004(6): 55-56.
- [7] 蔡春源. 机电液设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- CAI Chunyuan. Electro-hydraulic design manual[M]. Beijing: China Machine Press, 1997.
- [8] 林 莘. 现代高压电器技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- LIN Xin. Modern high voltage apparatus technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [9] 西安交通大学材料力学教研室. 材料力学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979.
- Edited by Mechanics of Materials Teaching and Research Section of Xi'an Jiaotong University. Mechanics of materials[M]. Beijing: People's Education Press, 1979.
- [10] 钟振蛟. 国产高压交流隔离开关的发展和向特高压的跨越[J]. 高压电器, 2007, 43(4): 265-268.
- ZHONG Zhenjiao. The development of domestic HV AC disconnector and across to UHV[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(4): 265-268.
- [11] 梁方建, 张道乾. GW5-110 型隔离开关触头发热缺陷分析及检修处理[J]. 高压电器, 2008, 44(1): 188-190.
- LIANG Fangjian, ZHANG Daoqian. Reason analysis and maintenance for overheat faults of type GW5-110 disconnector contact [J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(1): 188-190.
- [12] 朱茂桃, 熊梦锦, 何志刚, 等. 钢板弹簧疲劳分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(3): 149-152.
- ZHU Maotao, XIONG Mengjin, HE Zhigang et al. Fating analysis for leaf spring [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2006, 37(3): 149-152.
- [13] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 第 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- LI Bin. SF₆ high-voltage apparatus design[M]. The 3rd Edition. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [14] 林 莘, 何柏娜, 徐建源. 自力型触头的设计与计算[J]. 高电压技术, 2008, 34(4): 828-830.
- LIN Xin, HE Baina, XU Jianyuan. Design and computation of self-elastic contact [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(4): 828-830.
- [15] 苏德达, 李忆莲. 弹簧的失效分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- SU Deda, LI Yilian. The failure analysis of the spring[M]. Beijing: China Machine Press, 1988.
- [16] GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制标准的共用技术要求[S]. 2011.
- GB/T 11022—2011 Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards[S]. 2011.
- [17] GB 1985—2004 高压交流隔离开关和接地开关[S]. 2004.
- GB 1985—2004 High-voltage alternating-current disconnectors and earthing switches[S]. 2004.
- [18] 刘鸿文. 材料力学[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- LIU Hongwen. Mechanis of materials [M]. The 3rd Edition. Beijing: Higher Education Press, 1992.
- [19] 苑 舜, 崔文军. 高压隔离开关设计与改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- YUAN Shun, CUI Wenjun. High-voltage disconnectors design and transformation[M]. Beijing: China Eelectric Power Press, 2007.
- [20] 胡红光. 隔离开关触头结构与发热原因分析[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 72.
- HU Hongguang. The structure of disconnector contact and reason of overheat accident[J]. High Voltage Engineering 2001, 27(5): 72.
- 江 海(1955—), 男, 高级工程师, 从事隔离开关的设计、工艺及技术管理工作。

版权声明:

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我编辑部上述声明。

《高压电器》编辑部