

DIANQI ZUOYE ANQUAN
CAOZUO ZHIDAO

电气作业安全 操作指导

林玉岐 编



化学工业出版社

DIANQI ZUOYE ANQUAN
CAOZUO ZHIDAO

电气作业安全 操作指导

林玉岐 编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

电气作业安全操作指导/林玉岐编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 2

ISBN 978-7-122-04516-4

I. 电… II. 林… III. 电气设备-安全技术 IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 003808 号

责任编辑: 刘 哲 高墨荣
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 8¼ 字数 218 千字
2009 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着电力系统建设的快速发展，特别是近年来大型电网建设和改造工程的加快实施，电力系统容量的不断增大，供、变电站值班运行及操作工作的科技含量越来越高，这对电力系统能否安全平稳运行提出了更高、更严的要求。提高供、变电站值班员现场运行操作技术水平，增强处理供、变电设备及现场运行过程中突发事件的应变能力，规范供、变电站值班员运行操作行为成为当务之急，因此我们编写了本书。

本书是以国家电网公司《电力安全工作规程》和《安全技术规程及操作规程》为依据，结合作者长期工作经验编写而成。主要包括：电气作业的安全措施，执行倒闸操作票的步骤和方法，倒闸操作票的典型实例，带电安全作业及电气安全用具等。

本书以现场实际运行操作为主线编写，语言通俗易懂，强调了“干什么，怎么干，为什么这么干”的编写原则，其内容符合电力行业相关典型规程和电力企业现行生产运行规程。

本书适用于广大从事供变电现场运行操作人员、电力系统的工程技术人员及相关管理人员阅读学习。

本书由林玉岐编写，参加编写的还有杨恩惠、席志佳等。本书由袁志彪、沈英林、郭玉、刘勃安审核。

由于编者水平有限，书中有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年1月

目 录

第一章 电气作业的安全措施	1
第一节 安全作业的技术措施	1
一、停电	2
二、验电	4
三、装设接地线	6
四、悬挂标示牌和装设遮栏（围栏）	10
五、线路工作中使用个人保安线	12
第二节 安全作业的组织措施	12
一、工作票制度	12
二、工作查验及交底制度	18
三、工作许可制度	19
四、工作监护制度	19
五、工作间断、转移和终结制度	20
六、发电厂、变电站内检修的十步法	22
七、工作票的种类、标示牌式样	24
第二章 执行倒闸操作票	45
第一节 倒闸操作的基本概念	45
一、倒闸操作在电力系统中的作用及重要性	45
二、倒闸操作前的准备工作	47
三、变电站的基本构成及典型主接线	48
第二节 倒闸操作基本流程及要求	54
一、倒闸操作基本要求	54
二、调度命令	56
三、倒闸操作前的准备	60

四、倒闸操作票五制	61
五、倒闸操作注意事项	64
六、填写操作票及调度命令用术语	67
七、发电厂、变电所内倒闸操作十五步程序法	68
第三节 电气设备的单项操作	71
一、断路器的操作	71
二、隔离开关的操作	74
三、验电操作	81
四、接地线（接地开关）的操作	82
五、拉、合接地刀闸	84
六、分接开关的操作	85
七、熔断器的操作	87
八、保护装置的操作	90
第四节 电气设备元件的操作	97
一、高压断路器的操作	97
二、隔离开关的操作	99
三、高压熔断器的操作	104
四、跌落式熔断器的操作	105
五、直流系统的操作	106
六、低压交流系统的操作	110
七、接地器的操作	115
八、接地线的操作	116
九、电压互感器的操作	121
十、GIS 设备操作	123
第五节 继电保护及自动装置的操作	124
一、继电保护及自动装置概述	124
二、线路保护	126
三、变压器保护	131
四、母线保护	137
五、电容器保护	138

六、综合自动装置·····	138
七、自动装置·····	141
第六节 倒闸操作票的规定·····	145
一、操作票的一般规定·····	147
二、倒闸操作的技术规定·····	148
三、倒闸操作的一般规定·····	149
第三章 倒闸操作票的典型实例·····	151
第一节 线路停送电操作·····	151
一、线路倒闸操作的原则·····	151
二、倒闸操作的方法与步骤·····	153
三、线路停、送电操作应注意事项·····	161
第二节 母线停、送电操作·····	163
一、母线停、送电的操作原则·····	163
二、母线停、送电的方法与步骤·····	164
三、操作中的注意事项·····	172
第三节 变压器停、送电操作·····	174
一、变压器停、送电的操作原则·····	174
二、变压器停、送电的方法与步骤·····	177
三、变压器停、送电操作的注意事项·····	185
第四节 变电站几种接线操作实例·····	186
第四章 带电安全作业·····	209
第一节 带电安全作业的基本要求·····	209
一、带电作业·····	209
二、带电作业的一般规定·····	210
三、带电作业一般技术措施·····	211
第二节 低压带电作业·····	214
一、低压设备带电作业安全规定·····	214
二、低压线路带电作业安全规定·····	215
三、低压带电作业注意事项·····	216
第三节 带电断、接引线·····	216

一、带电断、接引线的基本原则·····	216
二、带电断、接空载线路的规定·····	217
三、带电断、接其他电气设备的规定·····	218
第四节 带电水冲洗·····	219
一、带电水冲洗的一般规定·····	219
二、带电水冲洗的常用方法·····	226
第五节 带电清扫机械作业及高架绝缘斗臂车作业·····	227
一、带电清扫机械作业·····	227
二、高架绝缘斗臂车作业·····	228
第五章 电气安全用具·····	229
第一节 绝缘安全用具·····	229
一、基本安全用具·····	230
二、辅助安全用具·····	232
第二节 携带型电压、电流指示器·····	237
一、携带型电压指示器·····	237
二、携带型电流指示器·····	240
第三节 安全防护用具·····	241
一、携带型短路接地线·····	241
二、临时遮栏·····	244
三、安全标示牌·····	244
第四节 登高用具及安全用具的试验周期和标准·····	244
一、登高用具·····	244
二、安全用具的试验周期和标准·····	246
参考文献·····	248

第一章 电气作业的安全措施

随着国家的发展，人民生活水平的不断提高，全国用电量的不断增加，电力安全生产的重要性尤为突出。

安全是电力生产的基础。如果一个发电厂、变电站经常发生事故，就不可能做到满发稳发和文明生产；如果系统经常发生事故，系统中的发电厂和变电站就不能正常运行，使电力生产和企业处于混乱状态，其结果是成本上升，效益下降。

安全用电是衡量一个国家用电水平的重要标志之一，常以用电量和触电死亡人数的比值作为衡量安全用电水平的标准。安全用电水平高的国家每耗电 20 亿千瓦时触电 1 人，而水平低的国家则每耗电 1 亿千瓦时即触电死亡 1 人，是发达国家的 20~30 倍。近 20 年来，我国的用电安全水平得到了大幅度的提高，尽管我国的用电量迅速增加，供电区域迅速扩大，但每年触电死亡人数的绝对值相对减少，特别是近年来，随着双重绝缘、电气隔离、漏电保护等防触电新技术的应用，对于减少触电事故已经取得了明显的效果。但是电网在运行中的检修，倒闸操作还需要规范，还需要认真去研究怎样才能安全、合理、稳定、经济地运行才能获得最大的经济效益。

第一节 安全作业的技术措施

保证电气作业安全的技术措施主要包括停电，验电，装设接地线，悬挂标示牌和装设遮栏等。其目的是为了在全部停电或部分停电设备上工作时，防止停电设备突然来电，工作人员由于不注

意而误碰到带电运行的设备上，以至于造成触电事故。

一、停电

进行停电应注意以下几个问题。

① 将停电工作设备可靠地脱离电源，确保有可能给停电设备送电的各方面电源均断开。由于大多情况下的厂（站）用变压器及电压互感器二次电压都能自动或手动切换，稍有疏忽，就可能通过厂（站）用变压器或电压互感器造成反送电，因此必须注意将连接在停电设备上的厂（站）用变压器、电压互感器从高压侧、低压侧断开，并在两侧悬挂“禁止合闸，有人工作！”标示牌。厂（站）用变压器和电压互感器在采取以上措施后，即可以认为无来电可能。在停电压互感器时应注意先将二次侧熔断器取下后再取一次侧熔断器。如果先取一次侧熔断器，如果二次侧有电压，就可以造成人员触电事故，因此必须要按着规程去做，先停二次侧熔断器，再停一次侧熔断器。

在进行配电线路的停电时，要特别注意倒送电问题。这必须从加强用电管理，加强对自发电和双电源用户的专业管理入手，并积极采取技术改进措施，安装反送电装置，杜绝反送电事故的发生。在拟定停电方案和检修措施时，应尽可能地采取分组、分段小范围的检修方式，将段内的所有分支或用户的分支开关和跌落式熔断器拉开，对于无法断开的分支，则应在分支上悬挂接地线。

② 断开电源，至少要有有一个明显的断开点。其目的是做到一目了然，也使得停电设备和电源之间保持一定的空气间隙，因为长空气间隙的放电电压一般是较稳定的，即使在潮湿的情况下，也能保持较高的绝缘强度。开关由于触头熔焊、机构故障、位置指示器失灵，绝缘瓷瓶损坏等原因，造成开关拒绝断开或不能完全断开，而位置指示器在断开位置，开关确在合闸位置时，这样就有可能造成错觉而造成事故的发生。因此，禁止在只有经开关断开电源的设备上工作，而必须使电源的各方面至少有一个明显的断开点。

③ 工作人员在进行邻近带电设备的工作时，正常活动范围的

距离必须大于表 1-1 的规定，当小于表 1-1 的规定而大于表 1-2 的距离时，该带电设备应同时或在工作人员和邻近带电设备之间加设安全遮栏；如果工作人员在进行工作时，与邻近带电设备正常活动范围的距离小于表 1-2 的规定，该邻近带电设备必须同时停电。

表 1-1 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的允许距离

电压等级/kV	10 及以下(13.8)	20～35	60～110	220	330	500
允许距离/m	0.70	1.00	1.5	3.00	4.00	5.00

注：表 1-1 中未列电压按高一挡电压等级的安全距离。

表 1-2 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的最小安全距离

电压等级/kV	10 及以下(13.8)	20～35	60～110	220	330
允许距离/m	0.35	0.6	1.0	1.8	2.6

对于线路工作来说，还应将有可能危及该线路停电作业，且不能采取安全措施交叉跨越、平行和同杆架设线路同时进行停电，对大电流接地系统的同杆架设线路和两线一地制同杆架设线路，当一回路停电工作时，其他回路一般应同时停电。

④ 运行中的星形接线设备（检修设备除外）的中性点，必须视为带电设备。这是因为对中性点不接地系统来说，在正常运行时，其中性点具有一定的对地电位。这个对地电位叫作中性点的位移电压，也叫作不对称电压。这一电压的产生主要是由于系统各相对地电容不对称引起的，例如由于线路导线的不对称排列，对没有架空地线的 35kV 线路来说，当导线按水平排列，线间距为 3m，则不对称电压可能达 700V 左右，把以上数值的电压引到检修设备上去，显然是很危险的，尤其是当发生单相接地故障时，中性点的对地电压可高于相电压的数值。对中性点采用消弧线圈接地系统来说，其中性点也具有一定的电位，数值的大小决定于脱谐度是否适宜和系统不对称度的大小。

即使是中性点直接接地系统的变压器，其中性点还是具有一定的电位，尤其是当发生接地故障时，其中性点电位将更高。因此，

在检修设备停电时，必须同时将和其有电气连接的其他任何运行中的星形接线设备（检修设备除外）的中性点断开，防止造成事故的发生。

⑤ 为了防止因误操作、低频动作或因校验引起的保护误动作等造成断路器或远方控制的隔离开关突然合闸而发生意外，造成人员和设备的损坏和伤亡事故，必须断开断路器的电、气、油等操作能源。对一经合闸就可能送电到停电设备的隔离开关，因此，隔离开关的操作把手必须锁住。

工作地点应停电的设备如下。

a. 检修的设备。

b. 与工作人员在进行工作正常活动范围的距离小于表 1-2 规定的设备。

c. 在 35kV 及以下设备处工作，安全距离虽大于表 1-2 的规定，但小于表 1-1 的规定，同时又无绝缘挡板，安全遮栏措施的设备。

d. 带电部分在工作人员后面、两侧、上下，且无可靠安全措施的设备。

e. 其他需要停电的设备。

f. 对难以做到与电源完全断开的检修设备，可以拆除设备与电源之间的电气连接。

g. 小车开关（抽屉式开关）应拉至试验或检修位置，应使各方面有一个明显的断开点。

二、验电

验电可以直接验证停电设备是否确无电压，也是检验停电措施的制定和执行是否正确、完善的重要手段。因为有很多因素可能导致认为已停电的设备，实际上却是带电的。如停电措施不完善或由于操作人员失误而未能将各方面的电源完全断开或实际上停电范围与计划的停电范围不相符合，设备停电后又突然来电，与停电作业线路交叉、跨越线路带电且隔离措施不完备等许多意想不到的情

况，都可能导致认为停电的设备实际上有电，所以必须在装设三相短路接地线前必须验明所检修的设备或线路各侧确无电压后，才能检修。

验电时应注意下列事项。

① 验电时，应采用相应电压等级而且合格的接触式验电器。用低于设备额定电压等级的验电器进行验电时对人体将产生威胁。反之，用高于设备额定电压等级的验电器进行验电，有可能造成错误的判断，同样也会对人体安全造成危害。因此在验电时必须使用与检修停电设备的电压相等的验电器，不能使用小于或大于停电设备电压等级的验电器。验电器还应采用合格的验电器，验证验电器是否合格完好则应先在有电的设备上进行试验，以确证验电器指示良好。无法在有电设备上进行试验时可用高压发生器等确认验电器良好。如果在木杆上、木梯上、木架上验电，验电器不接地而不能指示者，可在验电器绝缘杆尾部接上接地线，但应经过运行值班负责人或工作负责人许可后，方可进行。

② 验电时应分相逐相进行验电，对在断开位置的断路器或隔离开关上进行验电时，还应同时对两侧各相逐一验电。

③ 对电气设备容量较大的设备（如长架空线路、长电缆线路，移相电容器等），进行验电时，由于剩余电荷较多，一时不易将电荷泄放完，因此，刚停电后即进行验电，验电器仍会发亮。出现这种情况时必须经过几分钟后再进行验电，直至验电器指示无电后为止，切记不能凭经验办事，当验电器指示有电压时，想当然认为这是剩余电荷作用所致，就盲目地进行接地操作，是十分危险的，也是绝不能这样做的。

④ 35kV 及以上的电气设备，通常采用绝缘棒或零值瓷绝缘子检测器进行验电。但使用瓷绝缘子检测器进行验电时，不能光凭一片或几片瓷绝缘子无放电声即认为无电，而必须对整串绝缘子进行检验后，才能确认无电，以防开始被测瓷绝缘子原是零值瓷绝缘子而造成错误判断。同时，在验电前同样应在有电设备上进行测定瓷绝缘子检测器是否完好，以证明瓷绝缘子检测器的间隙距离是否

合适。

⑤ 信号和表计等通常可能失灵而错误指示，因此，不能光凭信号或表针的指示来判断设备是否带电，但如果信号和表针指示有电压，在未查明原因前，在未排除异常的情况下，即使验电器检测确无电压，也不允许在该设备上工作。

⑥ 高压验电时应戴绝缘手套。验电器的伸缩式绝缘棒长度应拉足，验电时手应握在手柄处，不得超过保护环，人体应与验电设备保持一定的安全距离，最小的安全距离也不能小于表 1-1。雨雪天气时不得进行户外直接验电。

⑦ 对无法进行直接验电的设备，可以进行间接验电，即检查隔离开关的机械指示位置、电器指示、仪表指示及带电显示装置指示的变化，且至少应有两人及以上指示已同时发生对应变化；若进行遥控操作，则应同时检查各类控制开关的指示状态，遥测、遥信信号及带电显示装置的指示进行间接验电。330kV 及以上的电气设备，可采用间接验电的方法进行验电。

三、装设接地线

虽然采取了一系列保证工作人员的安全措施，但仍有很多原因使停电工作的检修设备发生突然来电现象，根据对运行有关情况的分析和事故教训的总结，停电工作设备发生突然来电的原因如下。

① 由于误调度或误操作，造成对停电检修工作的设备误送电。

② 由于自发电、双电源用户（包括私拉乱接而实际变成双电源供电的用户）以及发电厂、变电站的厂（站）用变压器和电压互感器二次回路等的错误操作而造成对停电工作检修设备的倒送电。

③ 两个变电站之间的联络线，因联系不清楚另一侧误操作而造成停电工作检修设备的倒送电。

④ 附近带电设备感应的，特别是当有电线路和停电检修线路平行接近的带电线路流过单相接地短路电流（指大电流接地系统），或流过两相接地短路电流时，对停电工作检修设备的感应，使其意外地带危险电压。

⑤ 停电线路和带电线路同杆架设或交叉跨越，两者之间发生意外的接触或接近放电，而使停电工作检修设备突然来电。

⑥ 当停电的低压网络和带电的低压网络共用零线时，由于零线断开或接地不良及断线等原因，可能从零线窜入高电位而使停电检修工作的设备的低压网络带有危险电压，在某些特定的条件下，从零线窜入的高电位还可能向配电变压器的高压侧反馈。

⑦ 停电检修设备上空有雷电活动时，落雷或雷电感应使停电检修工作的设备突然来电。

⑧ 由于将发电厂、变电站接地网的高位引出，或由于将入地电流引入而使停电工作检修线路意外带有危险电压。

对突然来电的防护措施，采取的主要措施就是装设接地线。装设接地线包括合上接地刀闸和悬挂临时接地线（临时接地线又称携带型接地线）。

接地刀闸和接地线均由两部分组成：三相短接部分和集中接地部分。

装设接地线的保安作用：首先可将停电设备上剩余电荷泄入大地，同时当突然来电时（除小电流接地系统的单相突然来电外），接地线流过接地短路电流，可促使电源开关迅速跳开，消除突然来电，因此，装设接地线后可使突然来电的持续时间尽可能地缩短。装设接地线后，最主要的一个防护作用是可限制检修设备突然发生对地电位的升高，在某些情况下，还可将工作地点的对地电位限制在“地电位”。因此，装设接地线是保护检修人员，运行人员免遭突然来电的伤害的主要防护措施。

装设接地线要求如下。

① 装设接地线应由两人进行（经批准可以单人装设接地线的项目及运行人员除外）。

② 成套接地线应用有透明防护套的多股软铜线组成，其截面积不得小于 25mm^2 ，同时应满足装设地点短路电流的要求。禁止使用其他导线作为接地线或短路线。接地线应使用专用的线夹固定在导体上，严禁用缠绕的方法进行接地和短路。

③ 对于可能送电至停电线路或设备的各个方面，均应装设接地线或合上接地隔离开关，以做到从电源侧看过去，工作人员均在接地线后面，即在接地线的保护之下进行工作。当有产生危险感应电压的可能时，需视情况适当增加接地线。进行线路工作时，除了遵循以上有关原则外，至少应在每个工作班组的工作段两侧悬挂接地线，即使是单端有电源的受电线路也应在工作地段的两端分别挂接地线，线路停电工作一般应在发电厂、变电站内装设接地线（两线一地制变电站等特殊情况除外）。

④ 当检修发电厂、变电站的 10m 及以下的母线时，可以只装设一组接地线，而当检修 10m 以上的母线时，则应视连接在母线上的电源进线多少、分布情况及感应电压大小适当增设接地线的数量；在门形构架的线路侧进行停电检修时，如工作地点到接地线的距离小于 10m 时，从电源看进去工作地点虽在接地线的后面，也允许不再另装设接地线。检修部分若分为几个在电气上不相连接的部分（而分段均连接有电源进线时），则各段应分别验电并按规定分别悬挂接地线，反之，虽然在工作中可能分有几个在电气上不相连接的部分，但并非每段都有来电可能（包括感应电），则只要在各个可能来电的部分装设接地线即可，而无需每段分别挂接地线，但在工作前各段应分别验电并对地泄放剩余电荷。

⑤ 接地线和设备导体之间以及接地端和“地”之间接触应良好。因为，当发生突然来电时，短路电流流过以上接触电阻时所产生的电压降将作用在停电设备上，因此，接触不良，接触电压愈大，施加于停电设备上的对地电压越高。接触不良还可能由于短路电流流过时发热而使接地线烧毁，造成工作地点失去保护。因此，接地线和导体或接地端的夹具固定，悬挂在线路上的接地线接地端使用插入式接地棒时，接地棒在地中的插入深度不得小于 0.6m。

⑥ 在装、拆接地线的过程中，还应始终保证接地线处于良好的接地状态，以保证在装拆过程中出现突然来电时，能有效地限制接地线上的对地电位升高以确保操作人员的人身安全。因此在装设接地线时，必须先装接地端，后接导体端，拆接地线时，必须先拆

导体端，后拆接地端，连接应可靠。装拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套。人体不得碰触接地线或未接地的导线，以防止感应电触电。对于因平行或邻近带电设备导致检修设备可能产生感应电压时。应加装接地线或工作人员使用个人保安线，加装的接地线应登录在工作票上，个人保安线由工作人员自装自拆。严禁工作人员擅自移动或拆除接地线。

⑦ 高压回路上需要拆除全部或部分接地线（例如，拆除一相接地线；拆除接地线，保留短路线；将接地线全部拆除或拉开接地隔离开关）后开始进行的工作，如测量母线和电缆的绝缘电阻，测量线路参数，检查断路器（开关）触头是否同时接触等。应征得运行值班员的许可（根据调度员指令装设的接地线，应征得调度员的许可），方可进行，工作完毕后立即恢复。

⑧ 每组接地线均应编号，并存放在固定地点，存放位置亦应编号，接地线号码要与存放固定位置的号码应一致。装、拆接地线应做好记录，交接班时应交待清楚。

⑨ 装、拆接地线的位置要写清楚，要用电力系统的技术术语，装设接地线后要在接地线的明显标示的地方悬挂“此处接地”标示牌（例如在高压开关柜上悬挂），应将此开关柜的网门的前后都悬挂标示牌，以免运行值班员将地线忘记，而带接地线送电，造成人员和设备的伤亡和损坏。

图 1-1 标示了两组接地线。它的技术术语表达如下。

1 号接地线。在×××线路断路器（QF）、×××线路母线刀闸（QS）侧装设 1 号接地线一组。

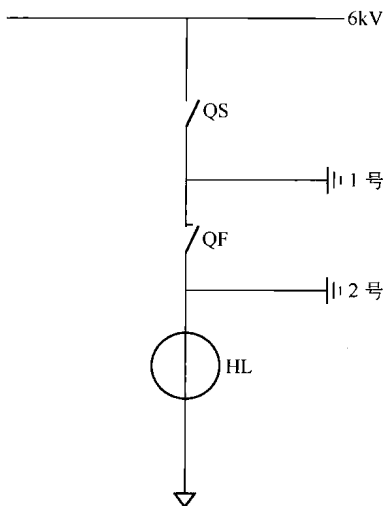


图 1-1 两组接地线