

电力设备的五防连锁实现方式

卢金权

长园电力技术有限公司 广东珠海 519000

【摘要】本文深入探讨了电力设备的五防连锁机制及其重要性，详细阐述了防误操作的五个方面，即防止误分、误合断路器；防止带负荷拉、合隔离开关；防止带电挂接地线或合接地刀闸；防止带接地线或接地刀闸合闸；防止误入带电间隔。分析了不同类型电力设备，如断路器、隔离开关、接地刀闸等在五防连锁中的作用与要求，介绍了基于机械闭锁、电气闭锁、微机防误闭锁等多种实现方式的原理、特点及应用场景，通过实际案例展示其应用效果，并对未来五防连锁技术的发展趋势进行展望，旨在为提高电力系统运行的安全性与可靠性提供参考。

【关键词】电力设备；五防连锁；机械闭锁；电气闭锁；微机防误闭锁

1 引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施，其安全稳定运行关乎国计民生。电力设备在运行、操作过程中，一旦发生误操作，极有可能引发严重的电气事故，如短路、停电、设备损坏甚至危及人员生命安全等。为了有效避免这些误操作行为，电力设备的五防连锁机制应运而生，并成为保障电力系统安全生产的关键手段。通过对电力设备设置合理且可靠的五防连锁，能够从根本上降低误操作发生的概率，确保电力设备的正确操作顺序和运行状态，提高整个电力系统的安全性及可靠性。因此，深入研究电力设备的五防连锁实现方式具有重大的现实意义。

2 电力设备五防连锁概述

2.1 五防的具体内容

2.1.1 防止误分、误合断路器

断路器是电力系统中用于切断和接通电路的重要设备，在正常运行及故障情况下起着关键的控制作用。误分、误合断路器可能导致正在运行的设备停电，影响供电可靠性，或者使故障设备不能及时切除，扩大事故范围。例如在正常供电过程中，若误操作使断路器断开，会造成不必要的停电，影响用户用电；而在故障发生时，若未能及时合断路器切除故障线路，故障电流将持续存在，可能损坏更多设备。

2.1.2 防止带负荷拉、合隔离开关

隔离开关主要用于隔离电源、倒闸操作等，其结构特点决定了它不能带负荷操作。带负荷拉、合隔离开关会产生电弧，瞬间释放巨大能量，极易烧毁隔离开关，甚至引发相间短路等严重事故，进而破坏电力系统的稳定运行，使大面积停电的风险显著增加。

2.1.3 防止带电挂接地线或合接地刀闸

在设备停电检修时，为确保检修人员的安全，需要在停电设备上挂接地线或合上接地刀闸，使其处于接地状态，避免设备意外带电造成触电危险。但如果在设备仍带电的

情况下进行此项操作，相当于人为制造了接地短路，会引发强大的短路电流，对设备和电网造成严重冲击，同时也会对操作人员的安全构成直接威胁。

2.1.4 防止带接地线或接地刀闸合闸

当设备带有接地线或接地刀闸处于接地状态时，意味着设备处于接地短路的潜在危险状态。若此时合闸送电，同样会引发短路事故，不仅会损坏设备，还可能导致整个供电区域停电，影响众多用户的正常用电，并且会造成电网运行的混乱。

2.1.5 防止误入带电间隔

在变电站等电力场所，存在着众多不同电压等级、不同运行状态的间隔，如开关柜间隔等。如果工作人员误进入带电间隔，极易遭受触电伤害，这是对人身安全的重大威胁。所以必须采取有效措施防止工作人员在不知情的情况下进入带电区域进行操作或检修等活动。

2.2 五防连锁的重要性

电力设备的五防连锁是保障电力系统安全稳定运行的核心防线之一。从电力系统的运行角度来看，误操作的发生往往具有突然性和不可预测性，但通过实施五防连锁，能够在操作环节进行严格把关，确保每一步操作都符合安全规范，避免因人为疏忽、误判等原因导致的事故。从设备保护方面而言，防止误操作可以有效延长设备的使用寿命，减少因短路、电弧等异常情况对设备造成的损坏，降低设备维修成本和更换频率。对于人员安全来说，五防连锁机制能够最大程度地降低操作人员在工作过程中面临的触电、烧伤等危险，保障他们的生命健康，同时也有助于提升工作人员的操作规范性和安全意识。

3 电力设备在五防连锁中的作用与要求

3.1 断路器

3.1.1 作用

断路器在五防连锁中承担着关键的控制功能，它的正确分合闸状态是保障电力系统正常运行和故障隔离的基础。

例如在需要停电检修时，按照正确的操作顺序，先通过断路器切断电路电流，然后才能进行后续隔离开关等的操作；而在恢复供电时，也是在其他相关设备处于安全状态后，由断路器进行合闸操作来恢复电路连通。

3.1.2 要求

断路器本身应具备可靠的分合闸操作机构，其操作回路需要有相应的闭锁功能，防止在不符合操作条件下进行误分合闸。比如只有当操作指令满足一定的电气逻辑关系，如无故障信号、相关隔离开关位置正确等条件时，才能执行分合闸动作。同时，断路器的状态信号（分合闸位置）要能准确反馈到五防连锁系统中，以便整个系统对后续操作进行准确判断和控制。

3.2 隔离开关

3.2.1 作用

隔离开关主要用于隔离电源，在停电检修时形成明显的断开点，保证检修人员的安全；在倒闸操作中，配合断路器等设备改变电路的运行方式。在五防连锁体系中，它的操作顺序和状态与断路器等密切相关，是防止带负荷拉合隔离开关这一误操作的关键环节。

3.2.2 要求

隔离开关的操作机构应具备防止误操作的机械结构，例如采用带锁止装置的操作把手，只有在满足相应条件（如断路器已断开、无负荷电流等）时，才能转动操作把手进行操作。并且其位置状态（分闸、合闸）要能实时反馈到五防连锁系统，与其他设备的状态信号共同构成完整的操作逻辑判断依据。

3.3 接地刀闸与接地线

3.3.1 作用

接地刀闸和接地线都是用于在设备停电检修时保障设备处于接地状态，将设备上可能残留的电荷导入大地，防止设备意外带电危及人员安全。它们在五防连锁中是确保在正确的停电状态下进行接地操作以及防止带接地状态合闸的重要保障。

3.3.2 要求

接地刀闸的操作需要与设备的停电状态紧密关联，只有当设备确实停电且相关断路器、隔离开关等处于正确位置时，才允许操作接地刀闸合闸。接地线的挂设同样要有严格的操作流程和安全措施，并且要能被五防连锁系统监测到其挂设状态，避免在接地未拆除的情况下进行合闸送电等误操作。

3.4 开关柜等间隔设备

3.4.1 作用

开关柜等间隔设备是将各种电力设备集中安装并进行防护的装置，它划分了不同的运行区域，在防止工作人员误入带电间隔方面起着关键作用。例如通过柜门的闭锁、间隔间的隔离等措施，确保只有在停电且符合安全条件的间

隔才能进入进行操作或检修。

3.4.2 要求

间隔设备应具备可靠的门锁和闭锁装置，这些装置要与设备的运行状态（带电、停电）相联动。比如当间隔内设备带电时，柜门应处于可靠闭锁状态，无法打开；而在设备停电且完成相关安全操作后，通过正确的解锁流程才能打开柜门进入间隔，同时其状态信息也要反馈到五防连锁系统中，便于整体监控和管理。

4 电力设备五防连锁的实现方式

4.1 机械闭锁

4.1.1 原理

机械闭锁是利用机械结构的相互制约关系来实现五防连锁功能。它通过在不同电力设备之间设置机械连杆、锁扣、挡块等部件，使设备的操作顺序和状态相互关联。例如在断路器和隔离开关之间，采用机械连杆将断路器的操作机构与隔离开关的操作把手相连，只有当断路器处于分闸状态时，机械连杆才会解锁隔离开关的操作把手，允许进行隔离开关的分合闸操作；反之，若断路器处于合闸状态，隔离开关的操作把手会被机械结构锁住，无法进行操作，从而防止带负荷拉合隔离开关的误操作。

4.1.2 特点

机械闭锁的优点在于其可靠性高，它不依赖于电气信号、电源等外部条件，只要机械结构正常，就能稳定发挥闭锁作用。而且结构相对简单直观，便于维护和检修人员理解和操作。然而，它也存在一定局限性，比如机械结构的安装和调整要求较高，如果安装不当可能导致闭锁失效；同时，其灵活性较差，对于复杂的电气系统和较多设备之间的连锁关系，实现起来较为困难，并且一旦机械部件出现磨损、变形等情况，可能影响闭锁效果。

4.2 电气闭锁

4.2.1 原理

电气闭锁是依据电气设备的电气信号（如开关的分合闸位置信号、电压信号、电流信号等）以及电气回路的逻辑关系来实现五防连锁。它通过在操作回路中串联或并联相关的电气元件（如继电器、接触器等）以及接入设备的状态信号，构建起符合五防要求的逻辑电路。例如，要防止带负荷拉合隔离开关，就可以将隔离开关的操作回路与断路器的辅助触点（反映断路器分合闸状态）进行串联，只有当断路器处于分闸状态，其辅助触点闭合，隔离开关的操作回路才接通，允许进行操作，否则操作回路被断开，无法操作隔离开关。

4.2.2 特点

电气闭锁具有较好的灵活性，可以方便地实现复杂的连锁逻辑关系，适用于设备较多、电气接线复杂的电力系统。它能够实时根据设备的实际运行状态调整闭锁功能，并且可以与自动化监控系统等进行较好的集成，实现远程

控制和监测。但电气闭锁依赖于电源、电气元件的可靠性，如果电源故障、电气元件损坏等情况发生，可能导致闭锁失效；同时，其电气回路的设计和调试需要专业的电气技术人员，要求相对较高，且后期维护也需要具备一定的电气知识和技能。

4.3 微机防误闭锁

4.3.1 原理

微机防误闭锁系统是基于计算机技术、数据库技术以及通信技术构建的智能化防误闭锁方式。它以计算机软件为核心，预先将电力设备的操作规则、五防逻辑等信息存储在数据库中，通过采集现场电力设备的实时状态信息（如通过传感器、智能终端等获取开关位置、刀闸状态等），然后利用软件算法进行逻辑判断，判断当前操作是否符合五防要求。如果符合，则通过解锁装置（如电子锁等）对相应设备进行解锁操作，允许进行；如果不符合，则发出告警信息，阻止操作。例如，当操作人员在微机防误闭锁系统的操作界面上输入要对某一隔离开关进行合闸操作的指令后，系统会首先查询当前断路器的状态、相关接地刀闸状态等信息，依据存储的五防逻辑进行判断，若断路器处于合闸状态，系统会立即提示操作违规，并阻止向隔离开关操作机构发送合闸信号。

4.3.2 特点

微机防误闭锁具有高度的智能化和自动化特点，能够实现复杂、精确的五防逻辑判断，并且可以通过人机界面方便地进行操作票的生成、模拟预演等功能，大大提高了操作的准确性和规范性。它还具备很强的扩展性，可以方便地与变电站的自动化系统、调度系统等进行数据交互和集成，实现全方位的监控和管理。不过，微机防误闭锁系统依赖于计算机硬件、软件以及通信网络的稳定性，如果出现系统死机、通信故障等问题，可能影响其正常运行；同时，其初始投资成本相对较高，需要专业的技术人员进行维护和管理。

5 电力设备五防连锁实现方式的案例分析

5.1 案例背景

以某地区一座 110kV 变电站为例，该变电站承担着周边多个工业园区和居民区的供电任务，站内包含多台主变压器、进出线间隔、母线设备等，电力设备众多，操作较为频繁，对五防连锁的可靠性要求极高。

5.2 具体实现方式

5.2.1 机械闭锁应用

在开关柜内，对于断路器和隔离开关、接地刀闸之间采用了机械闭锁方式。通过机械连杆将断路器的操作机构与隔离开关、接地刀闸的操作把手进行连接，实现了基本的操作顺序闭锁。例如，当断路器处于合闸状态时，隔离开关的操作把手被机械锁住，无法进行拉合操作；只有当断路器分闸后，机械连杆解锁，才能操作隔离开关。同时，

接地刀闸与隔离开关之间也有类似的机械闭锁，确保在隔离开关合闸时，接地刀闸无法合闸，防止了带电挂接地线的误操作。

5.2.2 电气闭锁应用

在变电站的母线联络开关、主变压器各侧开关等设备之间，运用电气闭锁来实现更复杂的连锁关系。通过接入各开关的分合闸位置信号、电压互感器的电压信号等，构建了电气闭锁回路。比如，在进行母线倒闸操作时，只有当母联断路器处于分闸状态且两侧母线电压平衡时，才允许操作相应的隔离开关进行母线切换，避免了因母线电压差等原因导致的带负荷拉合隔离开关的误操作。同时，电气闭锁回路还与变电站的综合自动化系统相连接，实现了远程监控和操作闭锁功能，操作人员在监控后台进行操作时，系统会根据电气闭锁逻辑判断操作是否可行，若不可行则禁止操作并发出告警信息。

5.2.3 微机防误闭锁应用

整个变电站配置了一套微机防误闭锁系统，该系统通过通信网络与各电力设备的智能终端、传感器等相连，实时采集设备的状态信息。在进行倒闸操作前，操作人员需要在微机防误闭锁系统的操作界面上进行模拟预演，输入操作步骤，系统会依据预先设定的五防逻辑进行判断，如果操作步骤符合要求，系统会生成正确的操作票，并通过电子锁对相应设备进行解锁，允许操作人员到现场进行实际操作；如果模拟预演中出现不符合五防要求的操作，系统会立即提示错误原因，操作人员需要修改操作步骤重新进行模拟。此外，微机防误闭锁系统还具备操作记录查询、统计分析等功能，方便变电站管理人员对操作情况进行监管和分析，不断优化操作流程。

5.3 应用效果

通过多种五防连锁实现方式的综合应用，该 110kV 变电站在多年的运行过程中，有效避免了误操作事故的发生，保障了电力设备的安全稳定运行。据统计，在未实施完善的五防连锁之前，每年因人为误操作导致的设备故障、停电次数约为 3 - 4 次；而在采用上述五防连锁措施后，近 5 年来仅发生过 1 次因通信故障导致微机防误闭锁系统短暂失效，但由于机械闭锁和电气闭锁仍起作用，未造成实际的误操作事故，大大提高了变电站的供电可靠性和安全性，为周边用户提供了稳定的电力供应。

参考文献：

[1]程康桥.《五防连锁在10kV、35kV开关柜遥控操作中的应用》.

[2]毛一帆.《闭锁与连锁系列1——五防连锁》.

[3]段新辉,高新华.《变电站在线式五防技术与应用》.

作者简介：

卢金权(1994.12-),男,汉族,广东珠海,助理工程师,大学本科,研究方向:电网设备。