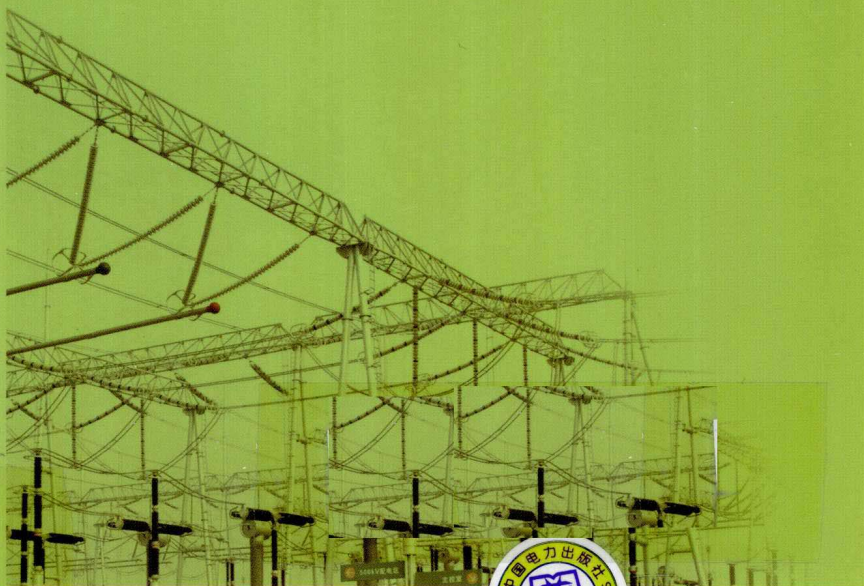


广东电网公司电力科学研究院 段新辉 高新华 主编

变电站在线式 五防技术与应用



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

变电站在线式 五防技术与应用

广东电网公司电力科学研究院 段新辉 高新华 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书结合广东电网公司 110kV 变电站在线式五防技术应用实例,全面介绍了变电站在线式五防技术与应用。全书共分十章,主要内容
包括概述、常规五防技术介绍、在线式五防技术特征、在线式五防通
信技术、在线式五防系统设计、站控层在线式五防技术、间隔层在线
式五防技术、过程层在线式五防技术、在线式五防技术应用案例、变
电站五防技术展望。

本书可供电力系统变电站相关技术人员参考使用,也可供电力院
校相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电站在线式五防技术与应用/段新辉,高新华主编. —北京:
中国电力出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-5123-1099-5

I. ①变… II. ①段… ②高… III. ①变电所-安全技术
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 222409 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 12 月第一版 2010 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 6.75 印张 98 千字

印数 0001—3000 册 定价 15.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《变电站在线式五防技术与应用》

编 委 会

主 编 段新辉 高新华

副主编 胡志广 谭 喆 丘冠新 赵永发

梁晓兵 陈炯聪 禰文健 余南华

参 编 张 玲 邹国惠 伍尚星 黄 曙

周克林 陈 辉 杨颖安 曾瑞江

马 凯 曾伟峰 曹丽娟 李 宇

王志林 张晓文 任建文 宋占岭

前 言

变电站是电力系统的重要组成部分，担负着变换电压等级，投入、切除负荷等重要任务，其可靠稳定运行直接关系到电网的安全，防止误操作是运行人员防止事故的关键。防止误操作的技术措施主要是应用机械结构和电气原理对设备的操动机构进行强制闭锁，即五防闭锁技术。随着电力系统的发展，五防闭锁技术也不断更新，国内先后出现了机械闭锁、机械程序闭锁、电气闭锁、微机五防、一体化五防、在线式五防等技术。

近几年，数字化变电站的出现给对变电站的防误操作提出了许多新要求，而传统的微机五防和在线式五防已无法满足数字化变电站对防误闭锁的全部要求。依托数字化变电站监控系统和数字化变电站的通信网络，一种新型在线式五防应运而生，它将一体化五防技术、在线式五防技术、数字化变电站通信技术有机结合。本书结合广东电网公司在110kV变电站首次应用该在线式五防系统实例，全面介绍了变电站在线式五防技术与应用。

本书由广东电网公司组织相关技术人员编写而成，段新辉、高新华担任主编。在编写过程中，广东电网公司、广东电网公司电力科学研究院、广东电网公司珠海供电局、北京四方继保自动化股份有限公司、华北电力大学等单位给予了大力支持。同时，在编写过程中，还参阅了有关参考文献、行业及企业标准、运行规程、技术说明书等。在此，对以上单位及有关作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2010年10月

目 录

前言

 第一章 概述.....	1
第一节 五防技术发展历程.....	1
第二节 五防技术新要求.....	3
第三节 在线式五防技术.....	4
 第二章 常规五防技术介绍.....	6
第一节 机械闭锁.....	6
第二节 机械程序闭锁.....	7
第三节 电气闭锁.....	7
第四节 微机五防.....	8
第五节 一体化五防	11
第六节 在线式独立五防	12
第七节 常规五防技术总结	13
 第三章 在线式五防技术特征	16
第一节 实时化信息交互	16
第二节 一体化监控检测	18
第三节 智能化逻辑判断	19
第四节 便捷化操作方式	24
第五节 标准化开放扩展	25
 第四章 在线式五防通信技术	26
第一节 DL/T 860 通信标准体系	26

第二节	在线式五防通信选择	28
第三节	MMS 机制	30
第四节	GOOSE 机制	35
第五节	在线式五防系统通信网络实现	39

第五章 在线式五防系统设计 40

第一节	总体架构	40
第二节	正常操作流程设计	42
第三节	故障应对方式设计	44
第四节	互换性、互操作设计	44
第五节	闭锁回路设计	45

第六章 站控层在线式五防技术 47

第一节	站控层在线式五防技术要求	47
第二节	站控层在线式五防监控系统	49
第三节	站控层在线式五防技术实现	52
第四节	站控层可靠性设计	63

第七章 间隔层在线式五防技术 65

第一节	总体介绍	65
第二节	五防闭锁节点	66
第三节	五防逻辑	67
第四节	测控装置的可编程逻辑功能	69
第五节	五防解锁	71
第六节	间隔层全站实时五防	71

第八章 过程层在线式五防技术 73

第一节	电气联锁	73
第二节	在线式五防接线设计	74
第三节	专用锁具	76

第四节 隔离开关电机电源远方控制	78
------------------------	----

 第九章 在线式五防技术应用案例	79
--	----

第一节 110kV A 变电站在线式五防系统简介	79
--------------------------------	----

第二节 110kV A 变电站在线式五防技术应用	79
--------------------------------	----

第三节 110kV B 变电站在线式五防系统简介	86
--------------------------------	----

第四节 110kV B 变电站在线式五防技术应用	87
--------------------------------	----

第五节 110kV A 变电站与 110kV B 变电站方案比较	91
--	----

 第十章 变电站五防技术展望	94
--	----

第一节 成为智能化变电站的基本要求	94
-------------------------	----

第二节 实现智能电网广域环境下网络防误	94
---------------------------	----

 参考文献	97
---	----

第一章

概 述

电力系统的电气设备误操作是威胁电力系统安全运行的频发性事故，它可能导致大面积停电、电力设备损坏、系统振荡瓦解，甚至发生人身伤亡事故。为了有效防止电气设备误操作引发的人身和重大设备事故，原水利电力部于1980年将防止电气设备误操作事故列为电力生产急需解决的重大技术问题发布，1990年提出了电气设备五防的要求，并以法规形式（能源安保〔1990〕1110号文）规定了电气设备防止误操作的管理、运行、设计和使用的原则。自此电力部门要求高压带电设备必须安装防误闭锁装置，以达到五防要求，即：

- （1）防止误分、误合断路器。
- （2）防止带负荷误分、误合隔离开关。
- （3）防止带电挂接地线或合接地开关。
- （4）防止带地线或接地开关合断路器或隔离开关。
- （5）防止误入带电间隔。

第一节 五防技术发展历程

防止电气设备误操作是一个复杂的综合性问题，因为各种电气设备的操作都需要人的干预，安全操作不仅与设备本身的可靠性有关，更受到操作者的技术水平、心理素质和现场熟悉程度的影响，所以尽管一直强调电力系统安全操作规程，但人为事故却时有发生，为此电力部门不得不采取一些防止误操作措施来避免误操作发生。

防止误操作的措施包括管理措施和技术措施，是人们长期经验的积累和总结。操作票制度、工作票制度和岗位责任制度等属于管理措施，对应的技术措

施主要是应用机械结构和电气原理对设备的操动机构进行强制闭锁，即五防闭锁技术。

随着电力系统的发展，五防闭锁技术也不断更新，国内先后出现了机械闭锁、机械程序闭锁、电气闭锁、微机五防、一体化五防、在线式五防等技术。

最初的防误操作采用机械闭锁方式实现，因其简单可靠、易于实现，作为最基本的闭锁方式一直被电力系统采用，但这种闭锁仅限于在设备集中的间隔内采用，无法实现跨间隔的闭锁。

为了扩大闭锁范围，机械程序闭锁技术被引入。程序锁在操作过程中有钥匙的传递和钥匙数量变化的辅助动作，符合操作票中限定开锁条件的操作顺序的要求，与操作票中规定的行走路线完全一致，容易为操作人员所接受。但由于结构复杂，易卡塞，延长了操作时间而不受操作人员的喜爱，目前只在规模较小的变电站中有一些应用。随着自动化技术在变电站的应用，机械程序闭锁技术逐步被微机五防技术代替。

电气闭锁技术是对电控设备有效的闭锁方式，早期的电气闭锁技术是通过设计合理的电气接线达到联锁操作的目的，但由于其接线复杂、维护工作量大、灵活性差等原因很难作为全站闭锁方案而实施，目前，电气闭锁技术经常与微机五防技术或在线式五防技术配合使用。

微机五防技术的出现，使变电站的防误闭锁实现了跨越式发展，它与电气闭锁、机械闭锁技术结合，构成了变电站较为完备的五防系统。

一体化五防技术是微机五防的特殊表现形式，它将五防软件集成到监控后台软件中，通过共享数据库和图形系统，提高了五防的可靠性和可维护性。

在线式五防技术的应用早于微机五防技术，它有许多微机五防技术无法比拟的优势，但早期的在线式五防系统施工复杂、不利于后期维护，推广应用受到了限制。

数字化变电站给五防系统提出了许多新要求，而传统的微机五防技术和在线式五防技术，已无法满足数字化变电站对防误闭锁的全部要求。依托数字化变电站监控系统和数字化变电站的通信网络，一种新型的在线式五防技术应运而生，它将一体化五防技术、在线式五防技术、数字化变电站通信技术有机结合，完全适应数字化变电站对五防的技术要求。

国外的电力系统,没有微机五防技术和在线式五防技术,也没有五防的概念,通常采用电气联锁和监控后台软件闭锁的方式,达到防误操作的目的。电气联锁实现对组合电器和开关柜内的操作闭锁,无法实现跨间隔的闭锁。监控后台软件可实现对全站的逻辑闭锁,用于对遥控操作的逻辑联锁。

第二节 五防技术新要求

随着计算机技术、电子技术、通信技术、信号处理技术等新技术的应用,变电站自动化经历了从无到有、从初级阶段到高级阶段的发展过程。近几年,数字化变电站的出现使变电站自动化技术产生了质的飞跃,数字化变电站采用的新技术为防误闭锁提供了许多新思路、新手段,也对变电站的防误操作提出了更高的要求。

(1) 在线实时判断,实现完整的五防功能。五防主机应实时监控操作票的执行进度,实时监视一次设备的操作情况,一旦发生违反五防规则的操作,五防系统应对设备的操作强制闭锁并发出告警信息。本步操作完成后,检测到设备状态变位才释放下一步操作,从根本上杜绝“走空程”。

(2) 多层次防误操作网络,提高系统的可靠性。可以全面地实现变电站站控层、间隔层、过程层的三层防误操作。三层次五防同时工作,当站控层五防失效时,间隔层五防仍能实现全站五防。

(3) 采用在线式五防专用锁具实现对临时地桩、网门等手动操作设备的在线监控,避免监控死角,实现五防技术性能的全面提升。

(4) 支持多任务并行操作,增加操作的灵活性。后台监控系统的实时性和五防软件的智能性有机融合支持多任务并发执行,增加了操作的灵活性。

(5) 简化操作步骤,缩短操作时间。省去了电脑钥匙,无需核对电脑钥匙的对应状态,避免了在主控室与开关场之间的多次往返操作,减轻了操作负担,提高了操作效率,缩短了操作时间,特别可为单人操作提供简明的技术保障。

(6) 采用开放式设计,便于更新与扩展。采用数字化变电站通用的 DL/T 860《变电站通信网络和系统》标准,只要支持 MMS 和 GOOSE 的装置都可

接入到本防误系统，从而使系统具备更好的互操作性，在系统扩建的时候也可方便扩展。

第三节 在线式五防技术

将一体化五防技术与在线式五防技术结合，采用一体化五防技术的软件和测控网络，将监控系统的测控单元兼作控制器，控制闭锁继电器的分、合和智能电磁锁的解、闭锁，形成了一个多层次、高可靠性的新型在线式五防系统。在线式五防有如下特点：

(1) 将一体化五防系统与在线式五防系统有机融合，实现在线防误操作功能。目前微机防误操作闭锁系统与变电站自动化系统通常采用有缝连接的方式，暴露出的主要问题是工程量大、维护难、不易扩展、图形与数据相互独立等问题。一体化五防子系统与变电站自动化系统一体化配置，实现了图形和数据库的共享，但无法实时获取手动设备（如网门、临时地桩）的位置信息，仅仅在操作预演时进行五防逻辑判断，不能真正意义上实现全程的实时闭锁功能，还存在“走空程”的风险，同时还未脱离微机五防系统所必备的电脑钥匙，增加许多操作及维护的复杂性。变电站内的防误操作系统在线化就是要使防误闭锁实现远程在线操作，通过可靠的软件编程和硬件设计，彻底避免因为人为因素及非实时连接而造成的误操作事故，同时彻底脱离手持电脑钥匙，大大简化了五防的实现及应用方式。

(2) 在监控后台进行图形开票，开票的设备包括可遥控的断路器、隔离开关、隔离开关电源空气开关，以及不可遥控的网门、地线设备。人员操作的地点包括监控后台的遥控操作、测控屏的操作、就地端子箱刀闸的操作、网门地线的操作。凡纳入闭锁范围内的所有设备，只有当前设备可以操作，其他均处于闭锁状态，不能操作。需要特别说明的是，由于实现了对隔离开关动力电源的遥控操作，一切投退该电源的操作项均可以实现远方人工遥控或自动操作，也可以根本实现集控端对隔离开关的全遥控操作，彻底改变了过去由操作人员频繁往返于场地控制室投退电源的繁琐操作项目。

(3) 在线式五防系统能实时进行五防逻辑判断和操作票顺序判断。在操作

过程中，在线式五防系统如果判断当前操作的五防逻辑不满足，立即断开当前设备的五防节点，闭锁当前操作。

(4) 在线式五防通信与监控系统网络一体化，无需再构建在线式五防专用网络，节省了组网的成本和工作量。

(5) 多层次防误。构建了站控层、间隔层、过程层由上至下的三级防误体系，其中，间隔层与站控层均实现了全站范围内的逻辑闭锁。

(6) 电气强制闭锁。在各设备电气控制回路串联由五防逻辑软件控制的基于本间隔的五防闭锁节点，实现了远方、就地操作的电气强制闭锁。

(7) 间隔层实现了全站五防。间隔层主要设备为测控单元，测控单元内置对本间隔设备操作的闭锁逻辑。测控单元之间通过网络通信实现了对一次设备位置信息的共享，通过测控单元内部的逻辑判别，从而实现了间隔层的全站五防。

(8) 更好的可扩展性和互操作性。在线式五防系统取消了电脑钥匙和相关锁具，后台监控系统和间隔层设备按照 DL/T 860 标准构建，实现了不同厂家的测控装置和在线式五防专用锁具的即插即用，具有可扩展性和互操作性，符合数字化变电站技术发展要求。

(9) 全站测控单元形成分布式控制器。以前出现过的在线式五防系统均采用专门的控制器实现对五防闭锁继电器和电磁锁的控制，一旦控制器故障，可能会造成全站五防失效，同时专用控制器需要独立采集信号，独立组网大大增加了系统复杂性。

新型在线式五防系统由分布在各个间隔内的测控单元控制本间隔的五防闭锁继电器和电磁锁。某个间隔测控单元故障，不会影响其他间隔的五防功能，不会导致全站五防失效，与监控系统的设备、信息、控制功能共享，简约高效。

第二章

常规五防技术介绍

自 1980 年原水利电力部提出在电力系统中要防止五种恶性电气误操作事故，倡导采用五防技术措施以来，在国内防误闭锁领域先后出现了机械闭锁、机械程序闭锁、电气闭锁、微机五防、一体化五防、在线式五防等技术。这些闭锁方式在电力系统防止误操作工作中发挥了积极作用，经过长期的使用和运行考验，各种传统闭锁方式的优缺点也均已充分显示。

第一节 机械闭锁

在五防系统发展的初级阶段，低压开关柜、手车柜等电气设备的闭锁通常采用机械闭锁形式，即通过在操作部位之间用相互制约和联动的机械结构来达到先后动作的闭锁要求，如图 2-1 所示。

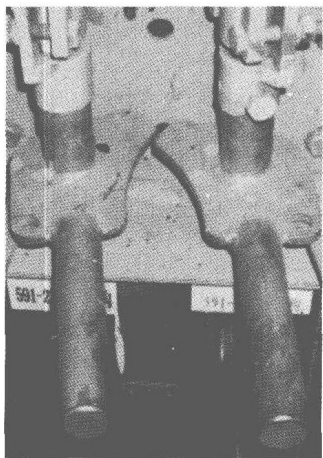


图 2-1 机械闭锁

单个断路器间隔内，利用机械连杆、凸形滑块直接传动和闭锁限位销的默契配合来达到断路器、隔离开关和前后网门的闭锁。机械闭锁能检测断路器、隔离开关或网门的“分”、“合”位置。机械闭锁无需使用钥匙等辅助工具，即可实现按操作顺序闭锁。当现场操作错误时，机械闭锁可实现自动强制闭锁，阻止误操作的发生。机械闭锁可实现正向和反向的闭锁要求，加之闭锁直观、强度高、维护工作量小、操作方便等优点，受到操作人员的欢迎。然而，机械闭锁只能在开关柜内部机械动作部件之间应用，对开关柜

之间或开关柜与外部配电设备之间的联锁则无法实现。其局限性可见一斑。目前部分组合电气设备内部仍保留机械闭锁形式，再结合其他闭锁方式，以达到五防的全部要求。

第二节 机械程序闭锁

机械程序闭锁是在机械闭锁的基础上发展起来的，其原理是根据现场一次设备的操作顺序，制造出符合现场操作的程序锁，用钥匙随操作程序传递或置换而达到先后开锁操作的要求。每把锁上有两个钥匙孔，一个用于开本锁，一个用于插下一步操作设备的锁具的钥匙，如图 2-2 所示。

对电气设备进行实际操作时，必须按照预先设定的顺序进行，否则钥匙将无法取下来，从而阻止下一步的操作。程序锁本身程序的设定，可有效防止人为因素的误操作。

但机械程序闭锁完全依赖硬件手段，造成装置复杂程度高，操作繁琐，增加了操作时间和操作强度，不适合在大型变电站中使用。另外户外运行环境恶劣造成了锁具的寿命不长，需经常更换，增加了维护工作量。目前，一些年代久、规模小、接线方式简单的变电站，仍沿用这种闭锁方式。

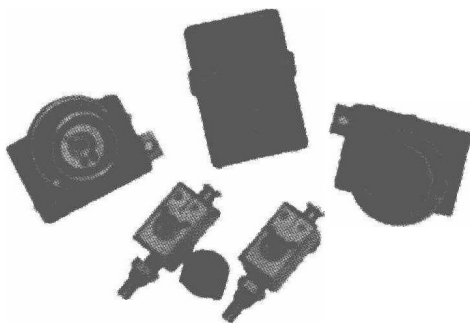


图 2-2 机械程序闭锁

第三节 电气闭锁

电气闭锁是一种现场电气联锁技术，利用控制电缆将断路器、隔离开关、接地开关的辅助触点组成逻辑电路，串入设备的闭锁回路中，用于接通或断开操作对象的电源而实现对操作的强制闭锁，如图 2-3 所示。图 2-3 中将断路器的位置动断触点串到隔离开关的控制回路中，只有当断路器处于断开位置时，隔离开关的控制回路才能导通进行操作，从而达到“防止带负荷误分、误合隔

离开关”的目的。

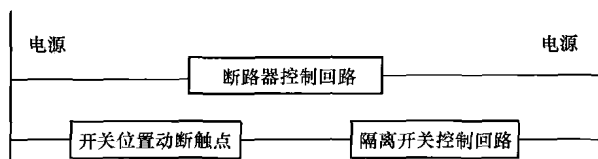


图 2-3 电气闭锁

电气闭锁通常只对断路器、隔离开关、接地开关进行闭锁，而对误入带电间隔、带电挂接地线的误操作，很难强制闭锁。此外，这种闭锁方式需要接入大量的控制电缆，对于间隔多、闭锁逻辑复杂的变电站，电缆用量庞大，施工调试时间长，同时不利于变电站的扩建和维护。

电气闭锁的优点是操作方便，没有辅助动作，但是在安装使用中也存在以下几个突出的问题：

(1) 一般来说电磁锁单独使用时，只有解锁功能没有反向闭锁功能，需要和电气联锁电路配合使用才能具有正反向闭锁功能。

(2) 作为闭锁元件的电磁锁，结构复杂，电磁线圈在户外易受潮霉坏，绝缘性能降低，增加了直流系统的故障率。

(3) 需要串入辅助触点。根据运行经验，辅助触点容易产生接触不良而影响动作的可靠性。

第四节 微机五防

随着电子技术和计算机在电力系统的应用，出现了微机五防系统，如图 2-4 所示。

早期的微机五防系统由模拟屏、电脑钥匙、防误控制器、电编码锁、机械编码锁等部分组成。防误控制器安装在模拟屏上，内装每个设备的五防闭锁逻辑；电编码锁串联到电气设备的操作回路中；机械编码锁安装在手动操动机构上，防止对手动机构的随意操作。执行操作时，先在模拟屏上进行模拟预演，预演过程中控制器对模拟操作进行五防逻辑判断，符合逻辑的预演进行记录，不符合逻辑的预演则有错误提示或灯光报警。所有操作都预演成功后，模拟屏

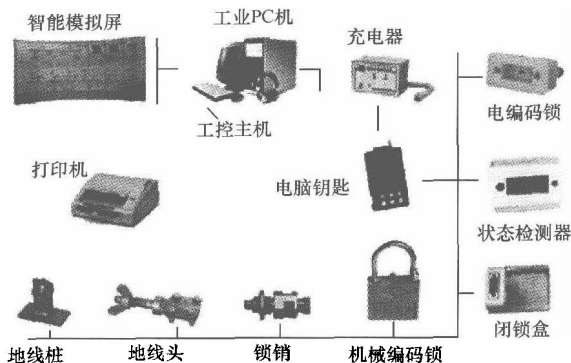


图 2-4 微机五防系统示意图

根据预演顺序生成可执行的操作票，并将操作票传入电脑钥匙中。操作人员根据电脑钥匙保存的操作序列，对设备进行逐个的解锁操作。

电脑钥匙执行每项操作时，先采集编码锁的编码，判断是否与操作对象对应的编码锁一致，若一致则电脑钥匙的内部机构允许对编码锁解锁操作，否则电脑钥匙无法对编码锁进行解锁操作并有报警提示。操作结束后，电脑钥匙将操作记录回传到模拟屏。

随着操作票专家系统的应用，出现了一种新的防误闭锁系统——现代微机五防系统。它将操作票专家系统与微机防误有机结合，实现了操作票生成与五防闭锁的一体化。现代微机五防系统具有独立的图形界面，可显示一次设备的接线图；具有独立的数据库，可存储一次设备的操作逻辑、典型操作票、历史数据等。操作票可自动生成，也可通过图形开票的方式生成。预演成功的操作票可传到电脑钥匙，进行现场操作。

与早期的防误闭锁系统相比，微机五防闭锁系统具有以下优点：

(1) 实现了与监控后台的通信。模拟屏或专家系统需要的一次设备的信息由监控后台采集，通过串口或以太网传给五防系统，供五防开票或模拟操作时进行逻辑判断。监控后台对设备遥控操作时，先通过串口或以太网向五防系统发送遥控请求信息，得到“允许操作”指令后，再实施遥控操作。遥控成功后，监控后台将遥信变位信息及时发送给五防机，五防机再决定是否可进行后续操作。

(2) 软件功能强大。凭借计算机强大的软件功能，将防误闭锁逻辑关系软