

三段式电流保护在煤矿供电系统中的应用效能研究

李星辰

(安徽省亳州煤业有限公司信湖煤矿, 安徽 亳州 233600)

摘要 为解决煤矿供电系统短路故障切除不及时、停电范围扩大、设备损坏等问题, 保障井下生产安全, 本文研究三段式电流保护(电流速断保护、限时电流速断保护、定时限过流保护)在煤矿供电系统中的作用、应用流程及实际效果。通过在某矿井应用测试, 证明该保护系统可将短路故障切除时间缩短, 降低越级跳闸发生率和设备故障率。结果表明, 三段式电流保护可实现故障快速切除、分级防护, 有效保障煤矿供电系统安全稳定运行, 为煤矿供电安全提供技术参考。

关键词 三段式电流保护; 煤矿供电系统; 短路故障; 分级保护; 设备防护

中图分类号: TM771

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.003

0 引言

煤矿供电系统是井下生产的“生命线”, 其安全稳定直接关系到作业人员的人身安全与生产连续性。井下环境恶劣, 电网易发生短路、过载等故障, 传统保护方式存在动作滞后、选择性差等问题, 易引发越级跳闸、设备烧毁等事故。目前, 三段式电流保护因结构简单、可靠性高、调试方便, 已广泛应用于煤矿供电系统, 但在实际应用中仍存在配置不规范、动作定值整定不合理等问题, 影响保护效果。因此, 深入研究三段式电流保护在煤矿供电系统中的作用及规范应用, 解决实际运行中的技术难题, 对提升煤矿供电安全性、降低事故发生率具有重要意义。

1 三段式电流保护原理

三段式电流保护由电流速断保护(I段)、限时电流速断保护(II段)、定时限过流保护(III段)串联组成, 三者协同工作, 遵循“阶梯式”保护逻辑, 兼顾速动性、选择性与可靠性, 通过电流定值与动作时限的分级设置, 实现故障的精准定位与快速切除(见图1)^[1]。电流速断保护作为主保护, 动作电流按躲过线路末端最大三相短路电流整定, 可靠系数取 1.1 ~ 1.2, 动作时限近似为 0 s, 仅保护线路近端 70% ~ 80% 范围, 可快速切除近端严重短路故障。限时电流速断保护作为 I 段的近后备, 动作电流大于下一条线路 I 段动作电流, 动作时限设为 0.3 ~ 0.5 s, 可保护线路

全长, 并延伸至下一条线路首端一小部分, 弥补 I 段保护盲区^[2]。定时限过流保护作为远后备, 动作电流按躲过线路最大负荷电流整定, 动作时限按阶梯原则设置, 从负荷侧到电源侧逐级增加 0.5 s, 可保护本线路及相邻线路全长, 作为系统最后一道安全防线。

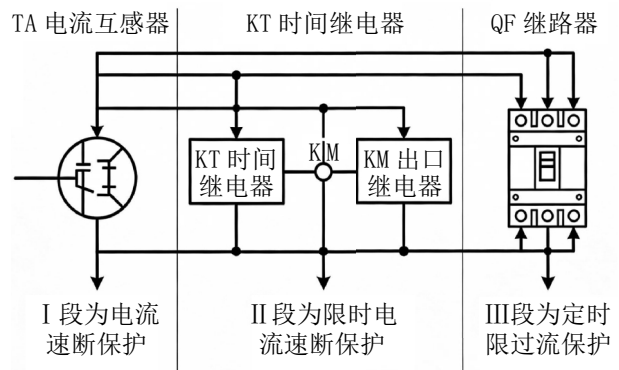


图 1 三段式电流保护原理

2 三段式电流保护在煤矿供电系统中的作用

2.1 快速切除短路故障, 保障供电安全稳定

煤矿井下供电线路多为电缆敷设, 空间狭窄、环境潮湿, 易因电缆破损、绝缘老化、设备漏电等引发短路故障, 短路电流瞬间可达额定电流的数十倍, 若不能快速切除, 会导致电缆起火、设备爆炸, 甚至引发瓦斯爆炸等严重安全事故^[3]。三段式电流保护通过 I 段无时限动作与 II 段限时动作的协同, 可实现短路

作者简介: 李星辰(1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 三段式电流保护。

故障的快速响应与切除,有效遏制事故扩大。当井下高压配电线路近端发生短路时,电流速断保护瞬间检测到电流超过整定定值,无需延时,立即发出跳闸指令,将故障切除时间控制在0.1 s以内,避免短路电流长时间作用于线路和设备。当故障发生在线路末端时,I段保护未启动,限时电流速断保护在0.3~0.5 s内动作,确保故障在最短时间内切除。该保护系统可有效避免保护误动,通过精准的电流定值整定,躲过电动机自起电流和正常负荷波动,确保井下通风、排水、提升等关键设备持续稳定运行,为煤矿生产提供不间断供电保障。

2.2 分级动作保护,减少停电波及范围

煤矿供电系统采用多级辐射状供电模式,从地面变电所到井下中央变电所、采区变电所,再到工作面配电点,分级供电、层层衔接,若某一级线路发生故障,若保护动作无选择性,易引发越级跳闸,导致大面积停电,影响整个矿井的正常生产^[4]。三段式电流保护通过分级动作逻辑,严格遵循“故障点就近切除”原则,可有效减少停电波及范围,保障非故障区域正常供电。通过动作电流与动作时限的阶梯式配置,上级保护的时限大于下级保护,上级保护的电流大于下级保护,确保故障发生时,仅故障所在级别的保护动作,切除故障线路,非故障区域不受影响。例如:井下采区配电点线路发生短路时,该线路的I段或II段保护优先动作,快速切除故障,井下中央变电所、地面变电所的保护不动作,确保其他采区、井下关键系统正常供电。定时限过流保护作为远后备,仅在下级保护拒动时才动作,提升保护的选择性,避免越级跳闸现象发生。

2.3 防止故障扩大,保护井下电气设备

煤矿井下电气设备投资大、维修难度高,且长期处于潮湿、多尘、腐蚀性环境中,绝缘性能易下降,若发生短路故障后不能及时切除,短路电流产生的高温、电动力会损坏设备绕组、外壳,甚至导致设备报废,增加生产成本^[5]。三段式电流保护通过快速切除故障、分级后备防护,可有效防止故障扩大,延长井下电气设备使用寿命。当线路发生短路时,I段、II段保护快速动作,切断故障电流,避免短路电流长时间作用于变压器、断路器、电缆等设备,减少设备绝缘损坏、绕组烧毁等情况发生。定时限过流保护作为后备保护,不仅可保护本线路设备,还可保护相邻线路设备,当相邻线路保护拒动时,III段保护延时动作,切除故障,防止故障蔓延至其他设备。三段式电流保护可通过精

准整定动作电流,避免过负荷电流长期作用于设备,防止设备因过热老化,延长设备使用寿命。

3 三段式电流保护在煤矿供电系统中的应用

3.1 井下高压配电线路主保护配置

井下高压配电线路(6 kV、10 kV)主保护采用三段式电流保护配置,工作人员需现场测量线路长度、电缆型号、额定电流,计算线路末端最大三相短路电流、最大负荷电流,确定电流互感器变比,通常为600/5、1 000/5^[6]。I段动作电流需严格按躲过线路末端最大短路电流进行整定,结合煤矿井下电缆敷设特点,充分考虑短路电流的暂态分量与稳态分量叠加影响,确保在线路近端发生短路故障时,能够瞬时动作切断故障线路,避免故障扩大蔓延至井下其他配电区域,保障供电系统核心设备安全。II段动作电流按躲过下一条线路I段动作电流整定,兼顾上下级保护的选择性配合,合理预留动作电流裕度,防止出现保护误动、拒动现象,确保故障发生时能够精准定位故障线路,实现分级分段保护,减少故障影响范围。III段动作电流按躲过线路最大负荷电流整定,结合煤矿井下设备启停规律、负荷波动特性,综合考量电机启动电流、季节性负荷变化等因素,设定合理的整定数值,避免正常负荷运行时保护装置误动作,在线路发生过载或轻微短路故障时,延时动作切断故障。将整定好的定值输入保护装置,模拟短路故障,测试I段、II段、III段保护动作的准确性和及时性,调整定值直至满足要求。投运后定期检查保护装置运行状态,每月校验一次定值,每季度进行一次故障模拟测试,确保保护装置正常工作。

3.2 矿井变电所进出线分级保护

矿井变电所进出线(地面35 kV进线、井下6 kV出线)采用三段式电流保护分级配置。工作人员需将变电所进线、出线按供电等级分为一级(进线)、二级(主出线)、三级(分支出线),明确各级保护的优先级^[7]。进线I段动作电流大于所有出线I段动作电流,动作时限设为0 s;进线II段动作电流大于所有出线II段动作电流,动作时限设为0.9 s;进线III段动作电流大于所有出线III段动作电流,动作时限设为2.0 s。将各级保护装置与断路器、电流互感器正确连接,检查接线准确性,避免接线错误导致保护拒动、误动。模拟某一出线短路故障,测试该出线保护优先动作,进线保护不动作;模拟出线保护拒动,测试进线III段保护延时动作,确保分级保护协同可靠。每日

检查进出线保护装置指示灯、显示屏状态，每周检查接线端子紧固情况，及时处理设备异常。

3.3 煤矿低压供电系统后备保护

煤矿低压供电系统以短路保护和过载保护为主，三段式电流保护作为后备保护配置。工作人员需选用适配低压系统的三段式电流保护装置，确保额定电流、动作精度符合低压供电要求^[8]。I 段动作电流按躲过低压线路末端最大短路电流整定，动作时限设为 0 s，主要保护低压电缆近端故障；II 段动作电流按躲过电动机自起电流整定，动作时限设为 0.3 s，保护低压线路全长；III 段动作电流按躲过低压系统最大负荷电流整定，动作时限设为 1.0 s，作为低压系统后备保护，兼顾过载保护功能。将保护装置安装在低压馈电开关内，正确连接电流互感器、断路器，确保接线牢固、绝缘良好^[9]。模拟低压线路短路、过载故障，测试保

护装置动作准确性，调整定值至合理范围，投运后定期对保护装置进行校验，每半年进行一次全面调试，及时发现并处理定值漂移、设备老化等问题，确保后备保护可靠发挥作用。

4 效果分析

为验证三段式电流保护在煤矿供电系统中的应用效果，选取某年产 180 万吨煤与瓦斯突出矿井作为测试对象，该矿井采用多级辐射状供电模式，井下共分 4 级供电，此前采用传统继电保护，存在越级跳闸、故障切除滞后等问题，设备故障率较高。本次应用三段式电流保护系统，按上述应用流程完成高压线路主保护、变电所进出线分级保护、低压系统后备保护的配置与调试，运行周期为 6 个月，对比应用前后的供电系统运行指标（见表 1）。

表 1 三段式电流保护应用前后供电系统运行指标

运行指标	应用前（6 个月）	应用后（6 个月）	改善幅度
短路故障切除平均时间（s）	1.8	0.35	79.4%
越级跳闸次数（次）	12	0	100%
电气设备故障率（%）	8.5	2.72	68.0%
供电中断时长（h）	42.6	9.37	78.0%

由表 1 可知，应用前 6 个月，短路故障切除平均时间为 1.8 s，越级跳闸 12 次，电气设备故障率 8.5%，供电中断时长 42.6 h，设备维修成本 38.2 万元；应用后 6 个月，对应指标分别优化为 0.35 s、0 次、2.72%、9.37 h、17.19 万元，改善幅度依次达 79.4%、100%、68.0%、78.0%、55.0%。结论表明，三段式电流保护的应用可快速缩短故障切除时间，杜绝越级跳闸，降低设备故障率与维修成本，减少供电中断时长，有效提升煤矿供电系统可靠性与安全性。

5 结束语

三段式电流保护通过 I 段、II 段、III 段的协同配合，实现煤矿供电系统故障的快速切除、分级防护与后备保障，解决传统保护方式存在的动作滞后、选择性差、故障扩大等问题。其在井下高压线路、变电所进出线、低压系统中的规范应用，可提升供电系统可靠性，减少设备损坏与停电损失，保障煤矿井下生产安全。

参考文献：

[1] 张猛, 邱惠, 赵一萌, 等. 含多光伏配电网的分区三段式电流保护方案[J]. 自动化与仪表, 2025, 40(04): 11-15, 108.

[2] 汪中霞. 基于 MATLAB/Simulink 配电网三段式电流保护的建模与仿真分析[J]. 电工技术, 2025(13): 172-175.
 [3] 赖淞林, 贾红芳, 罗炳标, 等. 基于 Simulink 的三相模拟三相三段式电流保护系统建模及实验分析[J]. 机电信息, 2024(04): 16-19, 23.
 [4] 戴志辉, 刘钧溢, 柳梅元, 等. 适用于 IIDG 接入的配网电流保护改进方案研究[J]. 太阳能学报, 2025, 46(06): 367-375.
 [5] 成亚伟. 配电网不平衡电流继电保护的自发补偿及仿真分析[J]. 微型电脑应用, 2025, 41(11): 305-308.
 [6] 于成澳, 高湛军, 刘朝, 等. 基于自适应制动补偿系数的有源配电网电流纵联差动保护[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(17): 1-14.
 [7] 张政伟, 陈谦, 牛应灏, 等. 基于实时生成定值的高比例新能源电网自适应电流保护[J]. 电力建设, 2024, 45(02): 137-146.
 [8] 李小波, 赵海, 戚祎, 等. 一种具有高温保护的三段式充电控制电路[J]. 半导体技术, 2024, 49(05): 492-498, 504.
 [9] 翁汉珺, 樊荣, 饶丹青, 等. 分布式能源脱网和其本身特性改变对线路限时电流速断保护的影响及对策[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(10): 33-40.