

剩余电流动作保护装置的运用

王 波

四川川油工程技术勘察设计有限公司, 四川 成都 610051

摘 要: 通过对 GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》与 GB 50054-2011《低压配电设计规范》的条文对比, 针对 TN、TT、IT 等低压配电系统的接地型式, 结合工程实际情况, 分析了剩余电流动作保护装置 (Residual Current Devices, RCD) 在低压配电保护中的工作原理, 提出了剩余电流动作保护装置运用范围, 总结了剩余电流动作保护装置用于线路保护的局限性和选型注意事项。剩余电流动作保护装置降低了人身触电电击事故, 利于监督线路绝缘水平和预防电气火灾, 同时对加强低压配电的管理和提高用电的安全性具有十分重要的意义。

关键词: 接触防护; 剩余电流; 接地型式; 过电流; 接地故障; 灵敏度

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2014.01.022

0 前言

随着低压用电设备特别是家用电器的广泛使用, 由触电和漏电引起的火灾等事故呈上升趋势, 客观上对保证人身安全防护和设备安全运行提出了更高要求。低压配电系统中装设剩余电流动作保护装置, 是防止直接和间接接触电击事故, 以及防止电气线路或电气设备接地故障引起电气火灾和电气设备损坏的有效技术措施, 本文侧重分析了剩余电流动作保护装置的使用范围、选用注意事项和主要参数的确定方法。

1 工作原理

剩余电流动作保护装置主要由检测元件—电流互感器、中间环节—比较器和放大器、执行元件—脱扣器、主开关及试验元件等部分组成。剩余电流动作保护装置工作原理是依据基尔霍夫电流定律, 采用电流互感器测量相线 and 中性线回路中流过的瞬时电流矢量和。正常运行时检测元件中流过的瞬时电流矢量和为 0, 保护装置不动作; 当配电线路发生接地故障或线路老化漏电流

增大时, 部分电流通过 PE 线或大地流回电源中性点, 检测元件中流过的瞬时电流矢量和不为 0, 当检测值超过整定值时, 脱扣器动作断开断路器, 切断配电回路电源。工作原理见图 1。

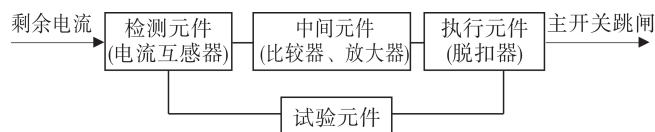


图 1 剩余电流动作保护装置工作原理

2 规范条文分析

2.1 规范条文的具体要求

剩余电流动作保护装置主要用于配电线路和 I 类电气设备的电击防护, 推荐用于直接接触触电附加防护、间接接触触电、电气火灾防护等方面。当用于间接接触触电时, 其使用范围在 GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》^[1] 和 GB 50054-2011《低压配电设计规范》^[2] 上有不同的规定。

收稿日期: 2013-04-12

作者简介: 王 波 (1983-), 男, 四川阆中人, 工程师, 学士, 主要从事油气集输系统内电气设计。

a) GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》中第 4.5 节规定:必须安装剩余电流保护装置的设备和场所:

第 4.5.1 条 末端保护

- 属于 I 类的移动式电气设备及手持式电动工具;
- 生产用的电气设备;
- 施工工地的电气机械设备;
- 安装在户外的电气装置;
- 临时用电的电气设备;
- 机关、学校、宾馆、饭店、企事业单位和住宅等

除壁挂式空调电源插座外的其他电源插座或插座回路;

- 游泳池、喷水池、浴池的电气设备;
- 安装在水中的供电线路和设备;
- 医院中可能直接接触人体的电气医用设备;
- 其他需要安装剩余电流保护装置的场所。

第 4.5.2 条 线路保护

低压配电线路根据具体情况采用二级或三级保护时,在总电源端、分支线首端或线路末端(农村集中安装电能表箱、农业生产设备的电源配电箱)安装剩余电流保护装置。

b) GB 50054-2011《低压配电设计规范》中其使用情况因配电系统的接地型式有所不同,具体规定:

第 5.2.13 TN 系统中,配电线路采用过电流脱扣器兼作间接接触防护电器时,其动作特性应符合本规范第 5.2.8 条的规定,当不符合规定时,应采用剩余电流动作保护电器。

第 5.2.18 TT 系统中,配电线路的间接接触防护的保护电器应采用剩余电流动作保护电器或过电流保护电器。

第 5.2.24 IT 系统的配电线路符合本规范第 5.2.21 条第 1 款规定时,应由过电流保护电器或剩余电流保护器切断故障回路,并应符合下列规定:

●IT 系统不配出中性导体时,保护电器动作特性应符合式(1)要求:

$$Z_c I_e \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_0 \quad (1)$$

●当 IT 系统配出中性导体时,保护电器动作特性应符合式(2)要求:

$$Z_d I_e \leq \frac{1}{2} U_0 \quad (2)$$

式中: Z_c 为包括相导体和保护导体的故障回路的阻抗, Ω ; Z_d 为包括相导体、中性导体、保护导体故障回路的阻抗, Ω ; I_e 为保证保护电器在 GB 50054-2011《低压配电设计规范》表 5.2.23 规定的时间或其他回路允许的

5 s 内切断故障回路的电流, A。

2.2 规范条文的差异与影响

GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》和 GB 50054-2011《低压配电设计规范》的差异主要体现在剩余电流动作保护装置是否必须装设, GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》要求必须装设,而 GB 50054-2011《低压配电设计规范》根据情况确定是否装设。

GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装与运行》第 4.5.1 条部分条款特别是第二、四款明显不太合理,作为易燃易爆的石油天然气行业中要求长期连续运行的机泵(一、二级负荷)配电回路并不适宜装设剩余电流动作保护装置。例如某工程中天然气增压站的电驱压缩机,作为天然气气田集输系统的动力源,属生产用的电气设备,其供电连续性要求较高,若配电回路装设剩余电流动作保护装置,在潮湿环境工况下正常泄漏电流过大,超过整定值引起开关跳闸,切断电机配电回路,引起大面积停产,将造成巨大的经济损失;又如某 LNG 液化厂的消防泵,用电负荷等级高,因长期未使用,其绝缘轻微受潮而正常泄漏电流稍大,泄漏电流超过整定值时引起开关跳闸,切断配电回路,则不能正常使用,影响火灾抢险。

2.3 实际运用情况分析

GB 50054-2011《低压配电设计规范》的规定间接接触防护可选择过电流保护电器或剩余电流保护电器,其可操作性较大,也较合理,在这里根据系统的不同接地型式进行分析。

TN 系统中单相接地故障多为金属性短路^[3],故障回路短路电流大,常采用过电流脱扣器兼作接地故障保护,当其动作特性不满足灵敏度和切断故障回路的时间要求时,应采用剩余电流动作保护装置作专门接地故障保护。

断路器动作灵敏度的判定可在具体工程中计算确定。例如图 2 是某工程水泵回路单线图,表 1 是水泵回路单相接地故障电流计算成果表,水泵回路末端发生单相接地故障时,接地故障电流 $I_d=190$ A,根据图 2 水泵回路断路器参数为 D10 A/3P,可计算瞬时过电流脱扣器整定值为 140 A($10 \sim 14 I_n$, 取 $14 I_n$),灵敏度 $k_{sen}=I_d/14I_n=190/140=1.357$,满足 GB 50054-2011《低压配电设计规范》第 6.2.4 条短路电流为过电流脱扣器整定电流 1.3 倍的要求,因此该处过电流保护电器可兼作间接接触防护电器。同时该工程水泵回路还可采取放大末端配电线路导体截面的方法提高灵敏度。

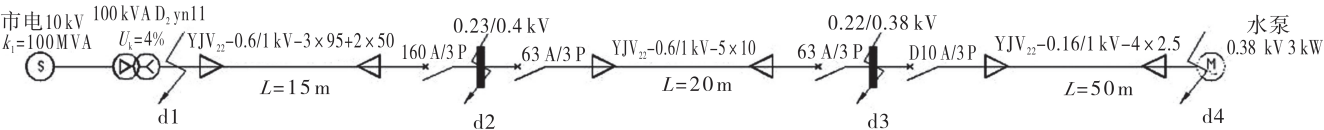


图 2 某工程水泵回路单线图

表 1 水泵回路单相接地故障电流计算成果表

短路点	相保电阻 $R_{php}/m\Omega$	相保电抗 $X_{php}/m\Omega$	相保阻抗 $Z_{php}/m\Omega$	电抗电阻 比值 X_{Σ}/R_{Σ}	冲击 系数 k_p	单相接地 故障电流 I_d/kA
d1	23.798	60.514	65.026	2.56	1.29	3.38
d2	35.858	63.304	72.755	2.34	1.26	3.02
d3	141.098	67.064	156.225	1.04	1.05	1.41
d4	1 173.098	81.564	1 175.931	0.17	1.00	0.19

TT 系统中单相接地故障多为电弧性短路，回路阻抗大，故障电流小，过电流脱扣器难以满足灵敏度要求，推荐剩余电流动作保护装置作专门接地故障保护。经计算接地故障电流满足灵敏度要求时，仍可采用过电流保护电器兼作间接接触防护电器。

IT 系统发生第一次单相接地故障时，故障电流为非故障相对地电容电流矢量和，故障电流小，故障电压低于安全电压，可不要求动作。IT 系统发生第二次单相接地故障时，将发展成为两相接地短路故障，短路电流较大，用电设备外露可导电部分若采用共用接地装置方式^[4]，其短路电流特性与 TN 系统相同，可采用过电流保护电器或剩余电流动作保护装置作接地故障保护；用电设备外露可导电部分若采用单独接地或成组地采用各自接地，其短路电流特性与 TT 系统相同，推荐采用剩余电流动作保护装置作接地故障保护。

根据 GB 50054-2011《低压配电设计规范》第 6.4 节要求，为防止因配电线路的破损或老化，发生电弧性短路，引起电气火灾，建筑物配电系统宜装设剩余电流动作保护装置。对于住宅或中小型建筑，其配电系统结构简单，正常对地泄露电流较小，可在配电设备总电源进线端设置剩余电流动作保护装置。大型建筑配电系统结构复杂，正常对地泄露电流不易确定，影响剩余动作电流整定值的确定，因此推荐在各楼层配电箱进线端设置剩余电流动作保护装置；大型建筑配电干线因截面大，单相接地故障回路阻抗较小，接地故障电流容易满足灵敏度要求，宜采用过电流保护电器兼作间接接触防护电器。

3 局限性

剩余电流动作保护装置所检测的是单相或三相相线和中性线的电流矢量和，在实际运用中有一定局限性。

- a) 不适用于低压配电系统接地型式为 TN-C 的接地系统，若需使用，须单独设置 PE 线。
- b) 对直接、间接电击防护和电气火灾防护都有较高的灵敏度，灵敏度高会有一定负面影响，当 N 线受干扰或中线流过反向杂散电流时，可能误动或拒动，设计中宜关注。

c) 不能防范由它处沿 PE 线传导来的故障电压导致的电击事故，这种事故只能靠等电位联结等措施来消除。

4 装置选用

剩余电流动作保护装置按组成元件的不同可分为电磁式和电子式，电磁式剩余电流动作保护装置的零序电流互感器的二次回路输出电压不经任何放大，直接激励剩余电流脱扣器，其动作功能与线路电压无关；电子式剩余电流动作保护装置零序电流互感器的二次回路和脱扣器之间接入一个电子放大线路，互感器二次回路的输出电压经过电子线路放大后再激励剩余电流脱扣器，其动作功能与线路电压有关。

电子式剩余电流动作保护装置的放大元件属电子器件，抗外界电磁环境干扰能力较差，易损坏、误动和拒动。某工程户外路灯配电回路使用了电子式剩余电流动作保护装置，雷雨季节开关频繁跳闸，造成路灯停电，影响正常使用，检测发现造成开关误动的原因：一是放大元件质量较差，雷雨天时精度不能保证；二是配电回路电压波形因配电回路存在高次谐波而发生畸变。另外电子式剩余电流动作保护装置是靠所在回路的故障残压提供能量来驱动剩余电流动作保护装置动作，如果残压过低能量不足，剩余电流动作保护装置就可能拒动。因此电子式剩余电流动作保护装置建议在高可靠供电要求的配电回路中慎用。

5 参数确定

额定剩余动作电流主要由电击对人体的危害程度确定，电流强度越大，危险越大。根据《工业与民用配电

设计手册》(第三版)^[5]和《钢铁企业电力设计手册》(下册)^[6]所提供数据,一般把能引起人感觉到的最小电流值称为感知阈值(约0.5 mA);人触电后能自己摆脱的最大电流称为摆脱阈值(约10 mA);在较短的时间内危及生命的最小电流称为心室纤维性颤动阈值。100 mA的电流通过人体1s,足以使人致命。因此确定剩余动作电流、动作时间等主要参数的整定值非常重要。

a) 额定剩余动作电流除游泳池、水景喷水池、水上游乐园、浴室等特定区域的电气设备应选用额定剩余动作电流为10 mA外,其余末端回路或插座回路中的额定剩余动作电流不宜大于30 mA,动作特性宜为瞬时动作型。

b) 室外局部TT系统可根据配电回路实际泄漏电流综合确定,但不应超过100 mA,动作特性宜为瞬时动作型。

c) 用于配电线路保护而设置的剩余电流动作保护装置,应考虑级间配合,其额定剩余动作电流整定值宜为100~500 mA,动作特性应具备选择性,宜为延时动作型,延时时间为0.2~0.4 s。

d) 额定剩余不动作电流的优先值为额定剩余动作电流的0.5倍,如采用其他值时应大于额定剩余动作电流的0.5倍,并应躲过配电回路正常泄漏电流的影响。

6 结论

综上所述,结合工程中用电设备的实际运行工况,GB 50054-2011《低压配电设计规范》中关于剩余电流动作保护装置使用规定相对合理,推荐优先执行。关于剩余电流动作装置类型推荐优先选用电磁式。剩余电流动作保护装置额定剩余动作电流除游泳池、浴室等环境因考虑到人体承受安全电压极限较低而采用10 mA外,其余情况可结合各自行业特点和使用功能而定。例如目前市政行业路灯为固定安装,人在接触灯杆受电击易于摆脱,其额定剩余动作电流可参考选用100 mA,若选用30 mA,因灯具防护性能不高则易漏电跳闸。

参考文献:

- [1] GB 13955-2005, 剩余电流动作保护装置安装与运行[S].
GB 13955-2005, Installation and Operation of Residual Current Operated Protective Devices [S].
- [2] GB 50054-2011, 低压配电设计规范[S].
GB 50054-2011, Code for Design of Low Voltage Electrical Installations [S].
- [3] 郑世同, 李兴明. 供配电设计和实践[J]. 天然气与石油, 2005, 23(4): 30-36.
Zheng Shitong, Li Xingming, Design and Practice of Power Supply and Distribution [J]. Natural Gas and Oil, 2005, 23(4): 30-36.
- [4] 王强, 接地装置结构特点及探讨[J]. 天然气与石油, 2005, 23(4): 37-40.
Wang Qiang. Structural Characteristics and Discussion of Grounding Device [J]. Natural Gas and Oil, 2005, 23 (4): 37-40.
- [5] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
China Aviation Industry Planning and Design Institute, Handbook of Industrial and Civil Power Distribution Design (Third Edition) [M]. Beijing: Chinese Electric Power Press, 2005.
- [6] 《钢铁企业电力设计手册》编委会, 钢铁企业电力设计手册(下册)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
Iron and Steel Enterprise Electric Design Handbook Editorial Board, Iron and Steel Enterprise Electric Power Design Handbook (The Second Volume) [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011.