

电动机保护器的发展与展望

黄凯 刘向军

(福州大学电气工程与自动化学院, 福州 350116)

摘要 本文介绍了三相异步电动机几种常见的故障及其故障特征，并阐述了传统机械式电动机保护装置、模拟电子式电动机保护装置、以及微机型智能电动机保护装置的原理、应用及优缺点等。最后结合实际情况对电动机保护器的发展提出展望。

关键词：三相异步电动机；故障；电动机保护器

The Development and Prospect of Motor Protector

Huang Kai Liu Xiangjun

(Electrical Engineering and Automation Institute of Fuzhou University, Fuzhou 350116)

Abstract Described the common fault of three-phase asynchronous motor, summarized the principles, applications, advantages and disadvantages of the traditional mechanical motor protection devices, analog electronic motor protection devices, microprocessor-based intelligent motor protection device. Finally, combined with the actual situation, prospected the development of motor protector.

Keywords: three-phase asynchronous motor; fault; motor protector

三相异步电动机是将电能转化为机械能的设备，应用领域广、性能好、结构简单、运行可靠、价格便宜，在不断发展的工农业生产中占据着重要的地位^[1]。由于工农业生产的需要，对三相异步电动机稳定性、灵敏性、安全性等性能的要求都较高，而在实际的生产环境中，由于设备老化、电网波动、外部环境及负载变化等因素的存在，通常会影响电动机的性能，造成电动机的不正常运行，这不仅会造成电动机的损坏，也可能会影响到正常的生产进程，甚至威胁到人的生命，造成巨大的损失。

据相关不完全统计，我国使用的三相电动机至少为 6500 万台，其消耗的电量至少大于全国所消耗电量的 75%^[2-3]，而每年烧损的电动机至少为 20 万台次，可想而知，每年因电动机烧损而造成的损失巨大，因此，电动机的保护尤为重要^[4]。

电动机保护设备的主要作用是在电动机或线路发生故障时，可靠动作，从而将电动机与电源切开，使电动机停止工作，以减轻故障带来的危害，防止事故继续蔓延，保护电动机及相关设备，以便于工作人员进行检修排查，迅速恢复生产，减轻事故造成的损失。随着工农业的快速发展，电动机的使用量越来越多，电动机工作的稳定性、安全性、灵敏

性等受到越来越多的重视，因此，对电动机保护器性能的要求也越来越高。

本文简要介绍了三相异步电动机几种经常发生的故障，对电动机的传统机械式保护装置、模拟电子式保护装置、以及微机型智能保护装置的原理、应用及其优缺点进行了介绍。另外，对电动机保护装置的发展前景进行了阐述。

1 三相异步电动机的常见故障

致使电动机烧损的原因较多，其中，大部分是电动机的工作状态异常引起的。电动机正常工作时，其电压、电流和温度等参数都会在额定的范围之内。若电动机发生故障，其电压、电流、温度等参数将超出额定值，进而烧毁电动机^[6]。

电动机的故障分为对称故障和不对称故障两大类^[7]。电动机的对称故障有堵转、过载、过电压等故障，其特点是发生故障时，电动机三相基本处于对称状态，但故障电流、电压增大，使得电动机由于热效应发生故障，因此，可以以电流、电压的大小作为对称故障的特征量。其中，过载指电动机实际工作功率超过电动机的额定功率，一般而言，过载倍数较低时，电动机仍可以工作一段时间，其保

护特性为反时限保护，过载保护的方法很多，有热继电器保护法、直接测温法、利用反时限过载数学模型^[8]保护等，国外许多微机式电动机保护装置采用反时限方式实现过载保护，如 ABB、BBC 等公司的产品。堵转是指电动机由于机械故障、负载太大等因素，使得转子不能正常运转，阻碍电动机正常工作，全电压情况下出现堵转时，电流将快速上升，造成生产事故^[9]。过电压指主线路电压高于规定值，易使电动机烧毁。电动机的不对称故障主要有三相不平衡、断相等故障。这类故障发生时，三相电流不对称。三相不平衡的程度用三相电流最大差值与三相平均电流的比值来表征^[10]。断相是指电动机任意一相断电或低于断相保护设定值^[11]。

电动机故障不同，其故障特征量的变化情况也不尽相同，电动机保护器根据不同故障的特征量进行故障判断，对电动机进行保护。当特征量超出正常工作范围时，电动机保护装置做出相应动作，使得主线路断开，从而使电动机停止运行，防止电动机因发生故障而烧毁，引发生产事故。因此，为了能及时、正确、有效地完成保护功能，保护装置应符合选择性、快速性、灵敏性和可靠性 4 个要求。

2 传统机械式保护装置

建国早期，电动机的保护一般以熔断器、双金属片热继电器、电动机保护用自动开关、电磁型继电器等机械式保护装置为主^[12-13]。

熔断器是最古老的保护电器，其工作原理是当电流大于一定值时，熔断器熔体将因为自身的热量而熔断，以此断开回路，使得电动机停止运行。熔断器安装简便，价格低廉，但其功能少，在电动机发生的过载等故障时，无法起到保护作用。另外，将熔断器用于保护三相异步电动机时，若其中一相的熔断器因电流过大而断开，则会导致三相异步电动机发生断相，引发一系列事故。

热继电器在电动机保护上的应用具有较长的历史。这种保护产品有 JR36 系列、T 系列及 3UA 系列热继电器保护器。它的工作原理是基于双金属片热效应：双金属片由一对金属片整合而成，二者膨胀系数相异。当电流流过，发生的热效应会使得双金属片向膨胀系数较小的一边弯曲，电流值与弯曲程度成正比。当电流大于整定电流值大小一定的倍数时，就会使脱扣装置动作，继而将主电路断开，实现其保护功能。热继电器电动机保护器具有结构

简单、操作方便、价格低廉等优点，并具备反时限特性。因此，被广泛应用于电动机过载保护。但是，热继电器应用于电动机保护领域仍然具有一定局限性：①热继电器的保护特性具有一定程度的分散性，其稳定性较低，易受到周围环境因素的影响，如对环境温度、机械振动等有较大的要求；②可重复性较差，对于电动机频繁起动、重载起动、多次短时过载等情况，起不到较好的保护作用；③其功能较为单一，不能对电机起动过程中的故障、短路故障等进行有效保护。当电动机存在轻微过载时，绕组产生的热积累导致温度过高，但其无法直接检测电动机绕组的温度，故对这种情况也无法进行有效保护^[14]。因此，随着科学技术的发展，热继电器逐渐无法满足实际生产应用中对继电保护越来越高的要求。

电动机保护用自动开关可单独用于电动机的短路等保护，但在工农业生产中，常将其与热继电器相结合作为电动机保护装置，热继电器用于过载保护，而电动机保护用自动开关用于短路保护。这样不仅增加了保护性能，也增强了保护的可靠性，不会再因某一相熔断器的熔断而导致三相电动机的断相运行。可将电动机保护用自动开关分为一般型自动开关和瞬时分断型自动开关。一般型自动开关作为低压电路保护开关，具有延时脱扣功能，但对于容量很小的电动机，一般型自动开关与过载保护继电器的动作特性曲线往往不会交叉，瞬时分断型自动开关没有这样的弊端，但不具有延时脱扣功能，只在发生较大的过电流时才进行分断。另外，由于这种保护方案的过载保护仍使用热继电器，因此，存在与单独使用热继电器作为过载保护设备相同的一些弊端^[15]。

电磁型继电器利用电磁感应原理工作，当线圈电流增加，使得电磁力大于弹簧力时，继电器动作。电磁型继电器多应用于电流保护中^[16]，一般与主回路串联使用，通过判断电流的大小来对电动机进行保护。当电动机出现短路等故障时，大电流流过电磁型继电器线圈，产生很大的电磁力，使得继电器动作，断开回路，对电动机进行保护。电磁型继电器运行较为可靠，但其保护灵敏度较低，若动作值与动作时间未合理匹配，则会导致保护误动作，引发一系列故障。

3 模拟电子式保护装置

在 20 世纪 70 年代，半导体元件急速发展，产

生许多采用电力电子元件和中小规模集成电路组成的模拟电子式保护装置，其保护功能较为齐全，包括缺相、过载、三相不平衡、过电压等保护功能，如电子式电动机综合保护装置、电子式温度继电器等。

电子式电动机综合保护装置由模拟电子器件构成，没有因机械造成的误差，动作迅速，灵敏度高，使用时间长，耐振动，易整定。

电子式温度继电器使用埋在绕组内的温度传感器与相应的电子装置对绕组温度进行采集。温度传感器温度系数大、灵敏度高、体积小，具有明显的开关特性，可直接根据电动机内部的温度进行故障判断与保护，因此保护器性能也得到了一定提高。但由于温度传感器有一定热惯性，故存在保护延后现象。

尽管模拟电子式电动机保护装置的性能大大优于传统机械式电动机保护装置，但其仍存在一些无法克服的缺陷，这些缺点总结如下^[17-19]：

1) 精度不高。首先，采用电力电子元器件组成的模拟电子线路无法改善电流互感器的非线性度，因此，其采样精度不高。另外，用于整定的电位器线性度影响着整定的精度、操作者的整定误差也会对整定精度造成一定影响，因此，其整定精度不高。

2) 调试困难、工作可靠性不高。模拟电子式保护装置由许多电子元器件集合而成，其中的每一个元件对保护装置的性能都有重大影响，而且，各元器件之间具有繁杂的连线，易受到电磁、温度等干扰。因此，调试困难，工作可靠性也受到影响。

3) 功能不够完善。随着生产要求的提高，对电动机保护装置的要求也逐渐提高，单纯使用电力电子元器件组成的模拟电子线路无法实现诸如在线监测、参数记录、实时通信等功能。

社会的发展使得工农业生产中对电动机保护器的要求提高，因此，模拟电子式电动机保护装置的许多局限性越发凸显，常因选用元件不当、线路设计不合理等原因造成保护器的拒动或者误动，逐渐无法满足社会发展的需求。

4 微机型智能保护装置

20世纪80年代以来，电动机保护不断朝着智能化方向发展，至今，国外许多电器公司推出了多款以微机型智能保护装置，如德国的3UBI系列继电器、日本的QA系列继电器、美国ABB公司的

SPEM继电器等。单片机具有很强的计算、分析、逻辑判断等能力，智能电动机保护器以单片机作为核心进行电压、电流采样，通过单片机对电压电流互感器的非线性度进行校正，并对电压电流有效值进行计算，很大程度上降低了波形畸变对采样精度的影响，提高了采样和整定精度。另外，通过程序编写，同一硬件电路可以实现不同的保护功能，不易受环境因素影响，具有体积小、价格低等优势，集保护、遥测、通信和遥控等功能为一体，功能齐，性能好，具有很高的性价比^[20-21]。

微机型智能保护装置主要有以下几大类^[22]：

1) 高性价比电动机保护器。这种保护器满足电动机基本保护要求，尽可能降低成本，具有很高的性价比。

2) 高性能电动机保护器。该类型保护器成本比高性价比电动机保护器高，但具有更完善的故障保护性能。保护特性更为可靠，并且具有反时限过载保护、延时等功能。

3) 智能多功能电动机保护器。该类型保护器在上述第二种保护器的基础上，增加了开关量输入模块、显示模块、通信模块等模块^[23]，使保护器的功能更加强大，具有良好的人机操作界面、操作简便、自动化程度高等优点^[24]，甚至可以通过互联网等技术实现远程监控^[25]。

4) 电动机全套保护器。这种保护器将多个温度传感器埋于电动机绕组中，实时对绕组温度进行直接测量，以温度判断电动机的工作状态。具有很强的适用性，应用范围广，可对电动机、发电机、变压器等进行保护。

近些年，微机型智能电动机保护装置发展迅速，其保护的可靠性、灵敏性、安全性得到了大幅度提升，同时，其功能也日益完善，具有广阔的应用和发展前景。

5 电动机保护器的发展前景

随着科技水平的发展，工农业生产也朝着智能化发展，电动机的使用更为广泛。因此，对电动机保护器的性能要求也更为严苛。至今，我国市场上大部分电动机保护器存在较多缺陷，比如保护功能少、稳定性和可靠性差、人机界面不友好等，因此，使用这些电动机保护器不能在电动机发生故障时及时有效地对设备进行保护，造成重大的事故和经济损失，而国外一些电动机保护装置虽然具有较高性

能，但价格昂贵，难以在中小型工农业生产中得到广泛推广，因此，对智能电动机保护器的研究尤为重要^[26]。今后，智能电动机保护器依然是我国电动机保护的重要发展方向，主要有以下几点^[26-28]：

1) 进一步发展并完善电动机保护的相关理论，分析故障特性，使得保护器有明确的故障保护判据。

2) 进一步发展并完善智能电动机保护装置的保护功能，使其保护特性与规范的要求相吻合，具有较宽且连续可调的整定范围、具有高的运行稳定性和可靠性。

3) 进一步发展与应用现代电子、通信等技术，实现电动机保护器在线监测、故障诊断、网络化等功能，向多功能化发展。

4) 进一步朝重量轻、体积小、价格便宜、集成化等方向发展优势。

5) 进一步朝接线简单、安装、使用及维护方便等方向发展。

6) 进一步发展基于频谱分析的感应电动机故障诊断技术。

6 结论

本文简要介绍了电动机常见的几种故障及其故障特征，对不同时期、不同电动机保护装置的原理、应用及特点进行阐述，大体介绍了电动机保护装置的发展。最后，本文结合实际，总结归纳了电动机保护器的发展前景，具有一定参考意义。

参考文献

- [1] 姜南. 智能电机保护器的设计与实现[J]. 科学大众: 科学教育, 2013(12): 176-177.
- [2] Protection G M. IEEE Std C37[Z]. 2000: 30-35.
- [3] Kostenko M. L[Z]. 1996: 45-46.
- [4] 段爱萍. 智能型电动机保护器[J]. 山西焦煤科技, 2005, 4(10): 8-11.
- [5] 韦周余. 电动机故障分析及处理方法[J]. 科技信息, 2013(13): 114-115.
- [6] 蔡甫寒, 周挺巧. GT—JDG 型电子式电动机保护器的设计思想[J]. 电气时代, 2001(8): 25-26.
- [7] 张兆东. 电动机智能保护装置的研究[J]. 江西科学, 2009, 27(2): 277-282.
- [8] 厉伟, 杨永峰. 基于单时间常数电动机热过载保护的改进模型[J]. 电器工业, 2013(12): 68-70.
- [9] 李斌. 三相交流电动机保护与监控系统设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [10] 魏国莲, 林成全. GSD2 可通信电动机保护器[J]. 机械研究与应用, 2013, 26(2): 135-137.
- [11] JB/T 10736—2007. 低压电动机保护器[S].
- [12] 野口昌介[日]. 电动机使用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [13] 吕洪波. 对微机保护使用现状的几点思考[J]. 继电器, 2003, 31(6): 85-86.
- [14] 曾萍, 胡景泰, 覃大华. 电动机保护器的发展与应用[J]. 电世界, 2005, 46(6): 1-4.
- [15] 山本和俊, 浜中三贵也, 孙流芳. 电动机保护用自动开关及其电子化[J]. 电器与能效管理技术, 1984(1).
- [16] 钟捷芳. 继电保护中电磁式电流继电器的选型与应用[J]. 建材技术与应用, 2012(4): 19-20.
- [17] 李田. 基于 ARMLPC2136 的智能电动机保护器的研究与实现[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.
- [18] 张玲达. 基于 Modbus 和 ARM7 的多功能电机保护器的设计[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
- [19] 鲁冠华. 基于单片机控制的电动机保护器设计[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [20] 贺新星, 孟波. 一种基于单片机的矿用自动监测电动机保护控制器[J]. 煤矿机电, 2015(3): 42-44.
- [21] 佟为明, 赵志衡. 一种微机式电动机综合保护器的研制[J]. 低压电器, 2003(3): 20-23.
- [22] 吴功祥, 鲍光海, 郑昕. 系列化智能电动机保护器[J]. 上海电器技术, 2005(1): 49-53.
- [23] 冯星辉, 张修太, 翟亚芳. 智能型低压电动机保护装置的研究与设计[J]. 电子器件, 2015(3): 671-675.
- [24] 郑月节, 陈江, 李海全, 等. 智能电动机保护器自动检测系统设计[J]. 低压电器, 2013(22): 45-49.
- [25] 陈庆协. 基于 LabVIEW 的电动机控制保护器远程监控结构系统设计与分析[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2014(21): 32-33.
- [26] 张文涛. 基于对称分量法的电动机综合保护器[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- [27] 黄媛. 基于 Modbus 通讯协议的电动机保护器的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [28] 任彦海. 智能电动机保护器的设计[D]. 天津: 河北工业大学, 2012.

作者简介

黄 凯 (1991-), 男, 福建省福鼎市人, 在读研究生, 主要研究方向为智能电器及其在线监测。