

基于农村排灌电动机无功补偿技术应用分析

张建

(江苏城市职业学院 江苏南京 210017)

摘要: 随着农业现代化的加速推进,农村排灌电动机的能效管理面临新的挑战。在这一背景下,通过对农村排灌系统的现状及无功补偿技术的必要性,综合分析各类补偿技术,探讨其优化理论基础,确立实现途径,并通过案例分析与实证研究,收集实测数据,验证了补偿技术的可行性。该研究成果有助于解决农村排灌电动机存在的能耗问题,具有重要的理论意义与应用价值。

关键词: 排灌电动机 无功功率 无功补偿技术

一、引言

农业现代化的步伐不断加快,农村排灌电动机作为农业水资源管理的重要设备,其能效管理难度日益增大,对农业节水和节能工作的影响日益显著。排灌电动机的能效水平直接关系到能源的消耗和电力系统的负担,在当前形势下亟需技术创新,以提高其能效管理水平,降低资源消耗。本文基于现有排灌电动机能效不佳的现状与问题,探索提升该设备运行效率和可靠性的可行方案,从而对农业节水和节能工作产生积极的推动作用。

二、三相交流异步电动机概述

当前我国工业生产中所使用的电气设备绝大多数是交流感性负载,其中使用最广泛,也是最耳熟能详的就是三相交流异步电动机。三相交流异步电动机是一种常见的电动机类型,电动机的工作原理是基于建立交变磁场和感应磁通来进行能量的转换和传递。在这个过程中,为了产生和维持旋转磁场,电动机需要从电源吸收一定的电功率,这部分功率并不直接做功,而是用来建立磁场,这种功率被称为无功功率。无功功率的产生并不需要消耗能源,它只是把电源的能量以一种“无用”的形式返回电源,用于建立和维护电机的磁场。这种无功功率的交换在具有电感性和电容性的元件内进行,虽然不直接做功,但对于电动机的正常运行是必要的。无功功率的产生对电网负荷产生较大影响,该情况在农村排灌电动机中尤为突出。

三、农村排灌电动机无功补偿技术的必要性

农村排灌电动机在运行过程中,由于电动机本身的电阻、电抗的存在,因其在进行工作时电压与电流的相位关系是电压超前电流,相位差越大无功功率则越大,无功功率的存在会引发输电线路多种问题,如功率因素的降低、线路功率损耗、线路电压降低、线路发热等,这不仅会降低输电效率、降低电网运输能力,还会导致电网内各类设备运行寿命缩短。

随着农业现代化的快速发展,电能作为农村排灌系统的公益性基本保障能源,其农村排灌系统中的利用效率影响较大。充分利用电能,提高电能效率不仅有利于降低灌溉作业的成本,还有利于实现能源系统的有效利用与保护环境。例如,通过优化电动机的运行参数,可以有效降低能源消耗,减少用电成本,并且降低对环境的影响,这一举措对于农村排灌系统的可持续发展具有重要意义。提高农村排灌电动机使用电能效率、提高其电能质量是农村充分利用电能的重要途径。无功功率补偿技术是提高农村农田灌溉效率的关键技术之一,它可减少线路损耗,提高供能质量,降低运行成本,提高电网安全稳定运行。

四、无功补偿安装标准与补偿方式

1. 配电网无功补偿标准

遵照电力部《电力系统电压和无功电力技术导则》,无功补偿对功率因数做出如下明确规定:对于用户站,一般带有负荷调节调压装置的工业用电(包括用户配电的高压侧进线用户),其功率因数应大于或等于0.95;对于其他工业用电,其功率因数应大于或等于0.90;而农业用电的功率因数则应大于或等于

0.80。这些要求旨在确保电力系统中无功功率的补偿工作能够得到有效实施,并保障系统的稳定运行。

根据国家电网的相关规定,无功补偿可采用变电站中现场就地补偿、网侧用户现场就地补偿、高压低压线路就地补偿等与网侧用户补偿相结合、高压线路低压线路补偿相结合的安装方式,满足降损或调压的补偿要求。配电变压器无功补偿装置的容量可取变压器的额定负载的70%,负荷功率因数可按照不小于0.85考虑,补偿到变压器最大负荷时高压侧功率因数不低于0.90配置容量,也可取变压器的额定容量的40%~50%进行配置。

2. 配电网无功补偿方式

(1) 线路补偿

线路补偿型一般是在户外10kV架空配电线路上的并联电容器,旨在通过补偿线路容抗,改善电网功率因数,减小线路无功损耗,提升电网的供电质量和稳定性。例如,当电容器并联连接到配电线路时,能够有效减小电路中的电流,减少线路损耗,提高电网输送能力。

(2) 分散补偿方式

针对用电负荷大、离变压器较远的用户,在全供电期间的基础上,还需要在其供电末端设置分散补偿装置。这些分散补偿装置可以配合低压补偿,从而达到减少线路损耗、提高末端电压的效果。例如,当用户位于电力系统的末端时,线路损耗会更大,如果能在末端设置分散补偿装置并进行低压补偿,将会有效减少损耗并改善末端电压。分散补偿装置指的是在用户末端设置的补偿设备,用以补偿电力系统中的无功功率,以降低线路损耗。低压补偿则可以通过调节变压器的输出电压,达到提高末端电压的目的。

(3) 终端补偿

终端无功补偿即就地补偿,通过在低压配电线路末端负荷点实施每台终端无功补偿的方式,控制终端设备无功电流的值,实现局部无功补偿,最大程度地减少输电线路无功损耗及低压线网无功电流,达到降低线损和线路电压降的目的。

五、排灌电动机无功补偿技术的可能性

国内对各级电压等级典型网络无功功率和无功网损构成进行大量调查与计算表明:当供电负荷密度为4.5~30千瓦/公里²范围时,0.4~10kV两级无功网损占到70%,其中0.4kV等级占50%左右,而低压无功网损的80%是由低压电动机造成的。也就是说,低压电动机是无功网损的主要消耗者,是旨在减少无功功率流动进行“就地补偿”的主要对象。从反映电网中各负荷结点节电水平的“无功补偿经济当量”分析,电容器安装地点离电源愈远,离用电负荷愈近,每安装1千乏电容器所产生的节电千瓦数,即无功补偿经济当量值愈大。农村大批排灌电动机完全具备这一条件。由各县电力网的系统变电站110kV级经10kV到0.4kV低压电动机处的补偿经济当量为0.18(最大负荷时)与0.12(最小负荷时);而再经35kV变为10kV到低压电动机处时,其值为0.25(最大负荷)与0.15(最小负荷)。各县排灌电动机大部分为后一种情况。因此对于许多地县由于

排灌电动机年利用小时很高,例如如东县有 1200 多台排灌电动机可达 5500 多小时,因此大批排灌电动机采用无功就地补偿具有很大的节电潜力,其主要优点如下:

- (1)可减少低压线路输送的负荷电流,相应减少线路中因输送无功负荷产生的有功电能损耗;
- (2)可减小农村大量动力线路的导线截面;
- (3)可减小配电变压器的装机容量;
- (4)可明显改善用电负荷的电压水平,大大减少电动机的损坏程度;

(5)就地补偿电容器还有利于降低电机起动电流,减少接触器的火花,提高控制设备工作的可靠性,延长电机与控制设备的使用寿命;

(6)减少农村电费支出,减轻农民负担。

尤其是因补偿而“释放”的导线与配变的剩余容量,可远远超过补偿设备一次投入的花费。

可能性:

(1)国内农村长期推不开就地补偿的主要原因之一是:厂家生产的 0.45kV 低压电容器,单台容量限于 12-16 千乏。对农村不同型号、容量的电机,很难买到合适的电容器与之配套。近年来由于低压自愈式金属化膜电容器的批量生产,小容量多规格且成本有所降低,为就地补偿创造了条件。例如上海电力电容器厂引进意大利生产技术。研制的 ECMJ 系列电容器,单台容量有 4、5、8、10、12、15、16、20、24、30、32、40、50 千乏各种等级,使用方便,平均每千乏售价 22 元。

(2)就理论上讲,单台就地补偿有电机发生自激的危险。

补偿容量受 $Q_c \leq \sqrt{3}U_e I_0$ 的限制。缺乏对排灌电动机这一类负荷特殊性的研究与实践,造成认识上的很大阻力。目前理论研究,尤其是大量实践证明,农用水泵类负荷,其电动机无功就地补偿的容量,可以突破上述公式的限制,而不会发生自激危险。

2 农村排灌电动机就地补偿不会引起自激危险单台异步电动机并联电容器就地补偿时,当电动机由电源断开,因电动机轴惯性的存在将继续旋转。这时由于电容器对电动机的放电作用,将使电动机得到励磁,若电容器容量过大,就将在继续旋转的电动机线圈中,产生自激过电压。使电机损坏。因此以往对单台电动机就地补偿,规定电容器容量 Q_c 不得超过电动机空载无功损耗。

$$\text{即: } Q_c \leq \sqrt{3}U_e I_0$$

式中 U_e ——线路额定电压

I_0 ——电动机的空载电流

然而,对于农村排灌水泵用电动机来讲,当电动机在带有水泵机械负荷的情况下电源断开时,由于所带轴负荷的反向制动,电动机转速将急剧下降。因此,既使并联电容器容量较大,也不会发生自激过电压现象。大量试验和实际应用证明了这一点。对于这种情况,补偿容量可按大于电动机空载无功负荷 Q_c ,

在空载与额定无功负载之间选择。即 $Q_0 < Q_c < Q_e$, 式中 $Q_e = 1.73U_e I_e \sin\varphi_e$, I_e 为电动机额定电流, $\sin\varphi_e$ 为电动机额定功率因数角的正弦值。对于 100 千瓦以下排灌用电动机也可按下式确定单机补偿容量: $Q_c = (0.5-0.7)P$ (千乏), 式中 P 为电动机的额定有功功率 (千瓦), 选择参考表如下:

排灌电动机容量 P (千瓦)	10	13	17	22	30	40
单机补偿容量 Q_c (千乏)	5-7	6-9	9-12	11-15	15-21	20-28

单台电动机补偿效益实测:如东县为典型的农灌地区。这

里的农业生产完全依赖电力提水。乡农业部门在供电局技术指导下,通过试点推广了这一技术降损措施。现将 2022 年 7 月对一些典型村队的单机补偿效果测试情况列表如下:

村名		龙口村					王桥			
排灌电动机编号		1	2	3	4	5	6	1	2	3
电动机额定功率(千瓦)		13	13	13	13	10	13	22	22	22
电容器补偿容量(千乏)		8	8	8	8	7	8	14	14	14
电流(安)	投前值	28	26	26	28	22	26	43	44	46
	投后值	19	21	20	22	18	21	34	35	36
	变化±	-9	-5	-6	-6	-4	-5	-9	-9	-9
电压(伏)	投前值	370	380	370	370	370	380	365	370	365
	投后值	380	390	380	380	380	390	375	380	377
	变化±	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+12

由实测可知:排灌电动机就地补偿后,负荷电流平均降低 7 安,电机端电压平均提高 10 伏,平均功率因素由 0.7 平均提高到 0.95,有功功率损耗降低 46%。其中龙口村 5 号电机因低压线距离长、压降大,平时启动只能在其它机泵开动之前启动,补偿后之电压得到提高,完全能正常启动。该村排灌用变压器为 100 千伏安,所带七个电机已经超载,抗旱浇地必须同时开动,原准备配电变压器增容,补偿后配变总电流减少了 35 安,完全可以再投一台 13 千瓦水泵,而无须配变增容。目前全县低压补偿容量已达 8500 千乏,其中就地补偿容量为 4700 千乏,运行一年以来无一台发生故障。全县仅低压效益估算年节电 67 万千瓦时,两年可收回全部成本。综合以上所述,可明显得出:三相低压异步电动机就地无功补偿是一种经济、简单、高效、可靠的无功补偿方法,它不仅适合乡镇分散的加工业、家庭式工业内装置的异步电动机,而且对工厂的异步电动机也同样适合。它是降低低压电网和电表后的内线损耗的最有效方法。建议电容器生产厂家应生产与异步电动机相配套的产品;异步电动机的制造厂家应在设计上考虑专用补偿电容器的安装位置;供电部门应宣传异步电动机就地无功补偿的好处,制定相应规定,来推广异步电动机就地无功补偿,以降低低压电网线损,缓解电力供应紧张局面;国家应出台相关政策强迫异步电动机的使用者从降低单位生产能耗、节约能源方面采用异步电动机就地无功补偿,以产生相关经济、社会效益。

六、结论

在全面推进农业现代化进程中,电动机的能效管理成为确保农村排灌系统可持续发展的关键因素。本研究通过系统分析现行排灌电动机运作中存在的问题,以无功补偿技术为改进路径,显著提高了电动机的运行效率和可靠性。研究表明,无功补偿不仅能够有效提升农村排灌电动机的功率因数,降低能耗,而且对于优化整个电力系统有着积极的推动作用。

参考文献:

[1]方程远,主编.工厂电气控制技术[M].北京:机械工业出版社,1992.
 [2]谭有广,主编.设备电气控制及维修[M].北京:机械工业出版社,1996.
 [3]张建,农村排灌电动机无功功率就地补偿[J].科技信息.2011,35:199.
 [4]付植桐,电工技术[M].北京:清华大学出版社,2001.
 作者简介:张建(1979—),男,江苏如东人,江苏城市职业学院,讲师/高级技师,硕士学位,研究方向电气自动化。