

大功率低压电机供电用变压器的选择与探讨

郁 乐

许继变压器有限公司, 河南 许昌 461000

[摘要]大功率低压电机供电所使用的变压器,其科学合理的选型对于电力系统的安全稳定运行以及能效经济性有着极为重要的影响。文中全面且细致地探讨了诸如变压器容量匹配情况、电压等级的选择事宜、短路阻抗的具体确定等方面关键参数的分析办法,同时对能效标准、经济运行所处的区间、冷却采用的方式以及全生命周期成本评估等关乎运行经济性的诸多因素展开深入剖析,并且详尽阐述了安装所处的环境状况、保护方面的配置情况以及状态监测等相关运行维护方面的要点,以此为大功率低压电机供电用变压器的合理选择以及优化运行给予相应的理论依据与实践方面的指导。

[关键词]大功率低压电机; 供电变压器; 容量选择; 能效分析; 经济运行

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17701

中图分类号: TM412

文献标识码: A

Selection and Exploration on Transformers for High-power Low-voltage Motor Power Supply

YU Le

Xuji Transformer Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: The scientific and reasonable selection of transformers used for high-power low-voltage motor power supply has a significant impact on the safe and stable operation of the power system, as well as energy efficiency and economy. The article comprehensively and meticulously explores the analysis methods of key parameters such as transformer capacity matching, voltage level selection, and specific determination of short-circuit impedance. At the same time, it deeply analyzes many factors related to operational economy, such as energy efficiency standards, the range of economic operation, the cooling method used, and the assessment of the full life cycle cost. It also elaborates on the environmental conditions of installation, the configuration of protection, and the key points of operation and maintenance related to status monitoring. This provides theoretical basis and practical guidance for the rational selection and optimized operation of transformers for high-power low-voltage motor power supply.

Keywords: high-power low-voltage motor; power supply transformer; capacity selection; energy efficiency analysis; economic operation

工业电力系统里面,变压器属于电能转换的关键设备,其选型是否科学合理,会对整个系统的稳定且高效的运行产生直接的影响,在大功率低压电机供电的场景下,变压器选型得综合考量负载特性、能效经济性、安装环境以及运行维护等诸多方面的因素,随着节能变压器产品不断地进行开发, S11、S13、S15 等新型节能变压器接连出现,其中 S13 型变压器凭借出色的性能效率以及安全稳定性,已经获得了广泛的应用。科学选型实际上是一个追求全生命周期成本最优解的决策流程,精准匹配的变压器系统能够节省运行成本,而且还能生产线的扩张预留出动能空间。

1 变压器选型的基本要求

变压器选型需综合考量诸多方面,若忽视了其中的任意单一因素,那么就极有可能出现运行方面的各类问题以及潜在隐患。负荷的精准测算构成了选型工作所要遵循的基础,这就要求把所有设备的额定功率都统计起来,并且要区分清楚连续运行和间歇负载这两种不同的特性,与通常情况下使用的系数会取 0.6~0.8 这样的范围,对于负载率而言,一般建议将其控制在 85% 以下。就好比当实际负荷达到 2000kVA 的时候,那么选择 2500kVA 的变压器是比较适宜的做法。就某机械厂而言,其选用的是

3150kVA 的变压器,然而经过实测发现,其实际负荷仅仅只有 1800kVA,如此一来,该厂每年就会多支付高达 7 万元的空载损耗费用。这个案例能够十分有力地说明科学合理地进行选型工作的重要意义所在。

负载特性对变压器适配方案有着决定性的影响。整流设备要想抵抗谐波干扰,就需要选用高阻抗变压器;大功率电机群在面临启动冲击的时候,其变压器容量得放大 15% 才行;精密仪器车间为了稳定电压,就得配置有载调压装置^[1]。把能效等级优先这一原则当作基本遵循是很有必要的。就拿新国标来说,一级能效的 SCB18 型变压器和三级能效的 SCB13 型相比,其空载损耗要低 40%。以 2500kVA 的变压器来估算的话,一级能效每年能节省的电费可是超过 10 万元的。

物理空间适配性常常会被忽视,然而它的重要性却不言而喻,在选型的时候要提前对尺寸重量参数加以规划,要去测量变压器室门的尺寸,要核查厂区的转弯半径,要确认配电室楼板的荷载每平方米不低于 10t。在认证方面,需要有 ISO9001 认证、国家能效标识以及 CQC 认证,其中关键测试报告尤其是突发短路承受能力试验和温升试验必须要严格审查,户外安装则要求防护等级达到 IP54

以上。

2 关键参数分析与选择

2.1 容量匹配与负载特性

容量匹配在变压器选择方面属于极为关键的环节,它和运行效率以及经济性有着紧密的关联。依照电力工程设计手册所给出的内容来看,在为平稳负荷供电的时候,单台变压器的负荷率往往会被设定在 85%左右这样一个程度。其容量具体能够通过将用电设备的总容量与同时率相乘之后,再把所得结果除以功率因数和效率二者乘积的方式来加以计算得出。大功率电机在启动之时所出现的电流冲击情况属于极为关键的因素。通常来讲,电动机的启动电流能够达到其额定电流的 4~7 倍之多。就直接启动这一方式而言,电动机的最大容量最好不要超出变压器容量的 30%。对于 355kW 的电机来讲,适宜选用 630kVA 的变压器与之搭配。该变压器的额定输出电流为 907.2A,倘若再考虑到效率大致处于 0.8~0.9 这样的范围,那么其实际输出电流就会是 816.48A,如此一来便可以充分满足 355kW 电机在工作期间的各项需求了。

2.2 电压等级与调压方式

电压等级的匹配属于基础方面的要求,要依据电网所处的电压状况以及用户的实际需求来确定初级电压与次级电压的具体数值。低压三相四线制系统能够同时满足电力供应以及照明用电的需求,具备一定的经济性与实用性。当存在特殊电压转换方面的需求,比如要把 156V 的低压电源转换成 400V、415V 或者 380V 这样的更高电压时,那就得去选用专用的升压变压器了^[2]。电压波动范围可作为调压方式选择的依据,GB12325-90 规定 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$,分接开关一般采用 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 的调压范围来适应电压波动,新能源系统如光伏发电、储能系统输出低压直流电需升压至 400V 以上时,高频开关电源方案具备体积小、效率超过 98%、支持 100V-200V 宽输入电压等优势。

2.3 短路阻抗与动稳定能力

短路阻抗 U_k 的百分比能够对变压器的抗短路能力起到衡量作用,它会对系统的短路电流水平以及设备的动稳定能力产生直接影响,如表 1 所示在相关标准中,6%~10%这一标准值是针对 35kV 以下的变压器来适用的,而 12%~15%的标准值则是适用于 110kV 及以上的变压器的。当短路阻抗比较高的时候,这有利于对短路电流加以限制,然而却会使电压调整率变得较差;反之,当短路阻抗较低时,虽然能够提高运行效率,但是会致使短路电流有所增大,此时就需要去校验断路器的分断能力了。动稳定能力是对变压器承受突发短路时的机械强度以及热稳定性进行的一种考验,必须要依靠突发短路承受能力试验来加以验证。绕组连接组别的选择和短路阻抗还有动稳定能力是相关的,Dyn11 连接组别所具备的抗谐波能力是比较强的,因此它适用于商业以及数据中心这样的场合;而

Yyn0 连接组别的成本相对较低,所以它适用于工业普通的负荷情况。

表 1 关键参数选择方案

参数类型	选择方案	技术要求	适用场景
容量匹配	负荷率 85%标准	同时率 0.7, 功率因数 0.8~0.9	平稳负荷供电
电压等级	三相四线制	分接开关 $\pm 5\%$ 至 $\pm 10\%$ 调压	电力和照明混合
短路阻抗	6%~10%	根据系统短路电流匹配	35kV 以下变压器
绕组连接	Dyn11 或 Yyn0	Dyn11 抗谐波强, Yyn0 成本低	商业或工业负荷

3 能效与运行经济性分析

3.1 损耗特性与能效标准

变压器的能效等级在很大程度上决定了其运行过程中的损耗情况以及长期的经济性表现。就新国标而言,一级能效的 SCB18 型变压器和三级能效的 SCB13 型相比,其空载损耗要低 40%。优质的变压器,其效率得达到 95% 以上才行,在那种需要长期运行的场景下,还得配置散热片、风扇或者强制风冷这样的结构,以此来确保温度上升能够处于可控的状态。电力变压器在负荷特别大的时候,能耗有可能会超过 30%,所以说,要想办法选择合适的变压器,进而减少电力的消耗,这一点显得格外重要。能效标准遵循 IEC 60076 或 GB 20052 要求,高效变压器虽价格较高,但长期运行电费更低,需按总拥有成本 TOC 法评估。变压器空载损耗占全年电费 15%~30%,必须重视空载损耗问题。高效变压器的高可靠性改善了内部部件,延长了使用寿命,减少了占地面积。

3.2 负载率与经济运行区间

负载率影响运行经济性。测量负荷低于 50%时应更换低功率变换器,负荷超过额定功率必须立即更换大型电力转换器。用电负荷应为额定功率 75%~90%。建议负载率控制在 85%以下,实际负荷 2000kVA 时选择 2500kVA 变压器。按 2500kVA 变压器估算,一级能效年省电费超 10 万元。选择容量时需考虑后期扩容需求,预留 10%~15%余量。

3.3 冷却方式与温升控制

冷却方式选择取决于变压器容量和工作环境,250kVA 变压器可选自然风冷或强制风冷方式,空间有限且环境温度高时宜选带风扇干式变压器。长期运行场景需配置散热片、风扇或强制风冷结构确保温升可控。干式变压器全密封设计具有免维护和寿命超 30 年优点;油浸式变压器价格低但维护成本高,需定期油检和滤油。温升控制关系绝缘寿命和运行可靠性,绝缘等级至少 H 级,耐高温 155℃。户外安装需 IP54 以上防护等级^[3]。环境温度超 40℃时应选耐高温绝缘材料如 H 级干式变压器。沿海地区需选防腐涂层或不锈钢外壳抵抗盐雾腐蚀。高海拔地区超 1000m 时需降容使用,每升高 100m,

容量降低 1%。

3.4 全生命周期成本评估

全生命周期成本评估属于较为科学的方法,它在考量方面并非仅仅着眼于初始购置成本,而是将运行能耗、维护费用以及处置成本等都纳入其中。如表 2 所示,就油浸式变压器而言,其价格相对较低,然而维护成本却颇高;与之相比,干式变压器的价格要高出 30%~50%,不过其无需维护,并且使用寿命能够超过 30 年。以 2500kVA 的变压器为例来加以估算,一级能效相较于三级能效每年能够节省的电费额度超过 10 万元,这无疑充分彰显出了高效变压器所具备的经济方面的优势。初始成本和运行成本务必要达成平衡状态。高效变压器尽管其价格处于相对较高的水平,然而从长远的运行情况来看,其产生的电费却是更低的。所以对于这种情况,是需要依据 TOC 法来展开相应的评估工作的。在科学地开展选型工作时,所秉持的目标是要追求在整个生命周期当中成本能够达到最优的解决方案。只有那种经过精准匹配之后的变压器系统,一方面可以实现节省电费的良好效果,另一方面还能够为后续产线的扩张事宜留出一定的空间。在选择变压器容量的时候,同样还需要充分考虑到后期可能会存在的扩容方面的需求情况。如果在相关操作过程中没有预先留出大约 10%~15%的余量的话,那么这将会对产线的扩展起到一定的制约作用。

表 2 全生命周期成本分析

成本类型	油浸式变压器	干式变压器
初始购置成本	较低	高 30%~50%
运行能耗成本	较高	较低
维护保养成本	较高	低
故障维修成本	中等	中等
处置回收成本	较高	较低

4 安装与运行维护要点

4.1 安装环境与散热条件

安装环境以及散热条件这两方面的情况,会对运行寿命以及可靠性产生直接的影响。变压器自身的体积是比较大的,所以一般情况下是需要借助大型起重机来完成吊装工作的。在布置的时候,变压器横向距离墙体要保持在 700~800mm 这样的范围之内,而门的距离则要控制在 800~1000mm 之间,以此来确保后续操作维护有足够的空间。在安装的过程中,两电线杆之间的距离应当设定为 2.5m,台架和地面之间的距离要达到 2.7m,并且平面的坡度不能够超过 1%。城乡存在差异,所以选择台区位置要慎重考虑,在城市当中,电路的极限电压能够达到 4%,并且不会超过 150m,在市区甚至可以达到 250m,在农村地区选型的时候,应当依据低容量、点密度以及短半径的原则来进行,在户外进行安装的时候,需要达到 IP54 以上的防护等级,当处于高海拔地区,

高度超过 1000m 的时候,每上升 100m,容量就会降低 1%,如果环境温度超过 40℃,那么就应该选择 H 级干式变压器。

4.2 保护配置与故障防御

保护配置可以说是安全运行的第一道防线,在高低压侧需要安装熔断器来保障电路的安全,熔断器之间的距离要大于 50cm,并且机柜需要在 0.1s 之内给出安全方面的保障,避雷器是用来防御雷电过电压的,其中无间隙绝缘避雷器能够起到稳定保护的作用,而且具有良好的耐电性,在安装避雷器的时候,其与变压器端盖的距离不能超过 50 厘米。避雷器的安装能够有效减少雷电所带来的影响,进而避免线路以及变压器出现损坏情况,安装低压避雷器可以起到防止侧雷电波与反变换波渗透的作用。接地装置必须满足相关要求,接地电阻要依据接地容量来加以选择。变压器壳体不可以被固定死或者进行焊接处理,而是应当采用螺栓接地的方式,如此一来便于后续的维修操作^[4]。接地设备的地下部分,其水平垂直材料规格均需符合相应的要求。

4.3 状态监测与预防性维护

状态监测以及预防性维护能够提升设备的运行可靠性,同时还能延长其使用寿命。低压 JP 机柜在 10kV 区域有着广泛的运用,其中 JP 的容量务必要和低压变压器的容量相互匹配,在安装的时候要保证牢固,其倾斜的程度不能超过支架长度的 1%。在安装的过程中一定要确保引线连接是完整的,绝缘子要保持清洁,低压电缆的绝缘必须要可靠,并且要将 JP 门关好,以此来防止出现泄漏或者短路的情况。定期开展负载测试属于预防性维护当中极为重要的一个环节,在采购相关设备之前,应当要求供应商给出负载测试方面的报告,以此来对输出电压的精度以及温升的数据加以验证。要挑选那些能够给予技术调试支持,并且在保修期限内可提供免费维护服务的品牌,通过这样的方式能够降低运维方面所存在的风险。电动机在启动的时候,其电流往往会达到额定电流的 4~7 倍,所以在进行选型操作之时,务必要充分考虑到这一冲击情况。对于采用直接启动方式的电动机而言,它的最大容量通常不宜超出变压器容量的 30%。而状态监测以及预防性维护工作,则需要建立起较为完善的有关技术档案以及相应的管理制度。

5 结束语

大功率低压电机供电变压器的选型需综合考量容量匹配、电压等级和短路阻抗等关键技术参数,同时兼顾能效经济性、运行可靠性与全生命周期成本。建议将负荷率控制在 75%至 90%的经济运行区间。选型时应重点考虑大功率电机启动电流冲击问题,推荐采用软启动或变频启动的方式以降低冲击的影响。高效变压器虽初始投资较高,但长期运行更具经济性。安装维护方面要

确保良好的散热条件、完善的保护配置和有效的状态监测。未来发展趋势是开发集成状态监测、故障诊断与能效管理功能的智能化变压器系统，为电力系统高效运行提供技术支持。

[参考文献]

- [1]李海龙,杜江.基于混合特征选择和 IBSLO-KELM 的变压器故障诊断方法[J].广东电力,2025,38(6):68-78.
- [2]李禹彤.高效节能型变压器设计与性能分析[J].电力设备管理,2025(13):251-253.
- [3]妮鹿菲尔·毛吾田.水电站电气设备运行维护与故障检修研究[J].光源与照明,2023(1):156-158.
- [4]范兴财.基于仿真分析高海拔机械联动断路器相间传动的设计探讨[J].技术与市场,2024,31(10):9-15.

作者简介：郁乐（1988.7—），毕业院校：郑州大学，所学专业：通信工程，当前就职单位：许继变压器有限公司，职务：员工，职称级别：助理工程师。