

[变频器]

某水厂变频器故障分析及选型优化

文/上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 刘卓宏

某水厂一期工程建成投运至今4年，厂房内设置有4台低压变频器，但多次出现故障停运事件。本次二期工程需新增3台280 kW水泵电动机。现结合一期工程的运行现状，对厂房内变频器的故障跳闸原因进行分析，高低压变频器选型进行比选，进而对本次电动机变频设备的选型进行优化设计。

变频器的正确选用对于机械设备电控系统的正常运行是至关重要的。选择变频器，首先要根据项目的实际情况出发，在一定的功率范围内合理选择变频器电压等级，同时按照设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度准确度、启动转矩和使用环境的要求，决定选用何种控制方式和防护等级的变频器。

按电压等级划分，变频器可分为低压变频器、中压变频器和高压变频器。低压变频器应用最为广泛，技术成熟、成本低且易维护是其得到大量应用的主要原因。中高压变频器不像低压变频器那样具有成熟一致的主电路结构，而是限于功率器件耐压和高压使用条件的矛盾，国内外各个生产厂商采用不同的功率器件和不同的主电路结构，以适应不同的电压等级和各类负载的要求。高压、中压和低压变频器的工作原理相同，只是主回路应用的电力电子元件的耐压等级不同，或高电压采用串联低压元件的方式，而低压大电流采用并联小电流元件的方式组装。本文中对于变频器的工作原理不再详细赘述，仅针对实际工程案例中遇到的特定使用场合对中低压变频器进行比选分析。

变频器故障分析

经与水厂运营单位沟通后分析，变频器发生故障主要由三方面原因引起。

1. 电网波动引起变频器停机

变频器故障跳闸时，电网失压时间非常短，均没有超过1 s。

针对本情况，调研了市场上几家主流品牌（AB、富士电机和东芝三菱TMEIC）的中高压变频器产品，以及几家（施耐德、ABB和丹佛斯）低压变频器产品，主流的变频器产品均具备失电跨越功能，对于电网电压的波动具有较强的适应性，在电网电压瞬间失电，时间在1 s内时，变频设备均可通过降容输出，甚至满载输出，来避免电网电压波动造成的变频器停机故障，减少不必要的系统停机事故。经现场踏勘，厂房内现在使用的变频器型号为ACS800（ABB低压变频器），所用型号具备失电跨越的功能。

2. 变频器选型有误

一般变频器的选择包括型式选择和容量选择两个方面，选择的原则是：首先能保证可靠的实现工艺要求，其次是较好的性能价格比。变频器的选型要根据负载特性进行。对于风机、水泵类等平方转矩，低速下负载转矩较小，通常可选择专用或普通功能性通用变频器。对于恒转矩类负载或有较高静态转速准确度要求的机械设备应选用具有转矩控制功能的高功能型通用变频器，这种通用变频器低速转矩、静态机械特性硬度大，不怕负载冲击。为了实现大调速比的恒转矩调

速,常采用加大变频器容量的方法。对于要求准确度高、动态性能好及速度响应快的生产机械,应采用矢量控制或直接转矩控制型变频器。

容量方面,大多数通用变频器标出了额定电流、可配用电动机功率和额定容量三个参数,其中后两项,变频器厂商通常是依据本国或本公司生产的标准电动机给出的,不能确切表达变频器实际的带负载能力,只有额定电流是一个能反映变频器负载能力的关键参数。因此,以电动机的额定电流不超过变频器的额定电流为依据是选择变频器容量的基本原则,电动机的额定功率只能作为参考。

据水厂运营单位反馈,厂房内现有2台水泵电动机,功率分别为160 kW、280 kW。根据资料显示,本工程电动机额定电流分别为347 A、637 A。而所配置的低压变频器容量分别为160 kW、315 kW,变频器输出电流分别为290 A、602 A。因此,变频器运行容量接近极限。

而针对此项目的实际情况,很显然由于变频器容量选择不当引起的设备故障。设计人员在施工图的设计过程中,往往是根据工艺提交的设备功率进行变频器容量的选择,由于不同电动机生产厂商的设备特性、效率等不尽相同,导致额定电流大小不一,因此会出现上述所选变频器额定电流小于其所带载额定电流情况的发生。

3. 变频器过热引起变频器停机

本项目变频器在柜体内布置,变频器柜布置于厂房内,柜体利用其柜顶及底部散热风机循环通风,厂房利用屋面轴流风机进行通风散热,据水厂管理人员反馈,夏天厂房内运行设备较多,整体通风条件不佳,当变频器内部温度达到70℃以上时,变频器会出现故障跳闸。据与变频器厂家ABB沟通,其低压变频器实验室内的最高工作温度为60℃。

选择变频器时,应充分考虑工作环境对变频器的影响。①温度对变频器的影响:变频器的使用环境温度一般适用在-10~40℃,环境温度若高于40℃时候,每升高1℃,变频器应降额5%使用。环境温度每升高10℃,则变频器寿命减半,所以环境温度及变频器散热的问题一定要解决好。②湿度对变频器的影响:变频器在湿度低于90%的环境中工作,空气的相对湿度≤90%,无结露。湿度太高且湿度变化较大时,变频器内部易出现结露现象,其绝缘性能就会大大降低,甚至可能引起短路事故。必要时,必须在柜体中增加干燥器和加热

器。③海拔的影响:变频器安装在海拔1000m以下可以输出额定功率;海拔超过1000m,其输出功率会下降。④粉尘对变频器的影响。

本工程变频器柜体并非布置于空间封闭的单独变频器室内,而是布置在空间较大,层高较高的厂房内,本身的通风散热条件欠佳,且变频器柜体并非为ABB厂家原装柜体,而是由动力箱柜厂家制作后组装而成,因此,柜体配置的通风措施未按照变频器实际热损耗及通风量进行考虑,导致柜体散热效果不理想。变频器的额定容量及电流仅指温度在40℃时,无过载情况下的工作电流,过高温(50℃以下)时需要以1%/1℃降容使用。在设计人员原先的方案中,在厂房内配置了空调系统。但是由于厂房空间的限制,空调系统在大型开放场所内无法起到很好的制冷降温效果,因此,建设单位最终取消了空调设备。恶劣的工作环境也是导致变频器发生故障的重要原因之一。

变频器电压等级比选

根据水厂现有4台低压变频器近5年的实际使用情况,无论是今后变频器维保工作,还是对于水厂工艺生产流程的保障,均存在较大的隐患。基于以上原因,水厂运营单位提出,对厂房内下阶段工程新装的3台280 kW电动机以及现状2台280 kW、2台160 kW电动机所配置的变频调速装置,进行方案比选及优化设计。

250~355 kW是变频器电压选择的临界功率,中低压变频器均可选择,本文以下内容即针对本工程,从技术、经济和工程合理性等方面,对中低压变频器进行比选,比选内容如下。

(1) 技术比较

技术比较如表1所示。

(2) 经济比较

根据现有资料及相关规范,进行计算论证,结果如表2所示。考虑到一期工程变频器容量选择问题,二期工程时对现有变频器予以更换。

结论:工程投资高压比低压高出800万~900万元。后期运行费用,低压比高压每年多15万元左右。但先期投资800万~900万元的资金还有年利息约30万~40万元。

故从工程投资角度比较,就本工程而言,方案一低压供电优于方案二高压供电。

(3) 工程实施合理性比较

本工程一期工程实施时,厂房内4台变频器电

表1

比较项	380 V ACQ580	6 kV ACS580 MV
使用范围	0.75~500 kW	200~5 600 kW
可靠性	高	低
拓扑结构	统一	不统一
脉冲数	6或12	30
系统效率（发热量）	98%（2%）	96%（2%+2%）
运行环境温度	0~40℃（超过40℃可降容使用）	0~40℃
空间要求	小（参考柜体尺寸600 mm×600 mm×2 000 mm）	大（参考柜体尺寸4 930 mm×1 100 mm×2 123 mm）
电网电压波动耐受	具备失电跨越功能，对于电网电压的波动具有良好的适应性	具备失电跨越功能，对于电网电压的波动具有较强的适应性
自动重起	失电后重上电，可自动重起，并追踪至设定频率	无
对环境的要求	低	高
冷却方式	空冷式，柜体配置变速冷却风机	空调冷却，驱动装置布置在电气室内
运行管理	低压操作，简单，风险低	高压操作，复杂，且高压变频装置配套的外围设备较多，故障概率较低压变频器高，风险高
维护检修	维修更换成本低，耗时周期短	电动机和变频器装置均为高压设备，维护检修难度高，维修更换成本较高，耗时周期长

表2

工程投资	方案一（380 V供电）	方案二（6 kV供电）	差额/万元
高压开关柜	0（变频器低压电源引自一期低配系统预留馈线回路）	17台×10万元/台=170万元	+170
继保监控	0	12台×2万元/台=24万元	+24
低压开关柜	新增2台：2台×7万元/台=14万元	0	-14
变压器	6/0.4 kV，1 600 kV·A 变压器 2台×35万/台=70万	利旧不更换	-70
水泵变频器	新增7台低压变频器： 国产：6~10万/台 进口：13万元~15万元/台	新增7台中压变频器： 国产：30万~35万元/台 进口：55万~60万元/台	国产：+175 进口：+315
水泵电缆	2(YJV-1 kV 4×150+1×70) 360元/m×1 400 m=50.4万元	YJV-6 kV 3×70 180元/米×700 m=12.6万元	-38
水泵电动机	新增3台水泵电动机： 50万元/台×3台=150万元	新增7台水泵电动机： 85万元/台×7台=595万元	+445
土建面积	新建变频器室面积50 m ² ，高、低压配电间均可 利旧 50 m ² ×3 000元/m ² =15万元	变频器室面积210 m ² ，高配间80 m ² ，低配间70 m ² (210+80+70) m ² ×3 000元/m ² =108万元	+93
通风散热	变频器发热量按照功率3.5%估算，共计约55 kW。电缆发热量3 kW；仅需配置空调系统	变频器发热量按照功率3.5%估算，共计约55 kW。电缆发热量0.005 kW；变压器发热量6 kW；功率单位移相变压器发热量根据厂家不同另计，估算5 kW×7。 除配置空调系统外，每个变频器柜顶需配置独立通往室外的风管及配套风扇	+2
总投资合计差额（高压供电较低压需增加）：国产：787万元 进口：927万元			
年运行费用	方案一（380 V供电）	方案二（6 kV供电）	差额（万/年）
电缆年电能损耗	电缆电阻0.145 Ω/km，100 m 水泵额定电流637 A，双拼电缆，单根载流量321 A $P=2\times[I^2R]=2\times[321\times321\times0.145\times0.1]=2.9\text{ kW}$ $W=PT=2.9\times8\ 760\text{ h}=2.5\text{ 万kW}\cdot\text{h}$ 2.5×(5用2备)=12万kW·h/年 12万kW·h×0.8元/(kW·h)=9.6万元/年	电缆电阻0.31 Ω/km，100 m 水泵额定电流31 A $P=I^2R=0.03\text{ kW}$ $W=PT=0.03\times8\ 760\text{ h}=0.26\text{ 万kW}\cdot\text{h}$ 5用2备=0.13万kW·h/年 0.13万kW·h×0.8元/(kW·h)=0.1万元/年	-9.5
变压器年电能损耗	$\Delta P_0\approx P_0+P_i\times0.75\times0.75$ =2 450+10 240×0.75×0.75=8.2 kW $W=2\times PT=2\times8.2\times8\ 760=14.3\text{ 万kW}\cdot\text{h}$ 14.3万kW·h×0.8元/(kW·h)=11.4万元/年	$\Delta P_0\approx P_0+P_i\times0.75\times0.75$ =1 520+6 070×0.75×0.75=4.9 kW $W=2\times PT=2\times4.9\times8\ 760=8.5\text{ 万kW}\cdot\text{h}$ 8.5万kW·h×0.8元/(kW·h)=6.8万元/年	-4.6
年装机费	1 600 kW×2×(30元/(kV·A)×月)×12月=115万元/年	(800 kW×2+315 kW×5)×(30元/(kV·A)×月)×12月=114万元/年	-1
年运行费用合计差额（低压供电较高压需增加）：-15.1万元/年			

源均引自反冲洗泵房低配中心,并预留了本期实施时新增3台变频器的电源及安装空间,同时考虑远期低压负荷增加时更换变压器,低压母排截面积在一期工程时即按远期容量选取。现状提升泵房内设备布置如图1所示。

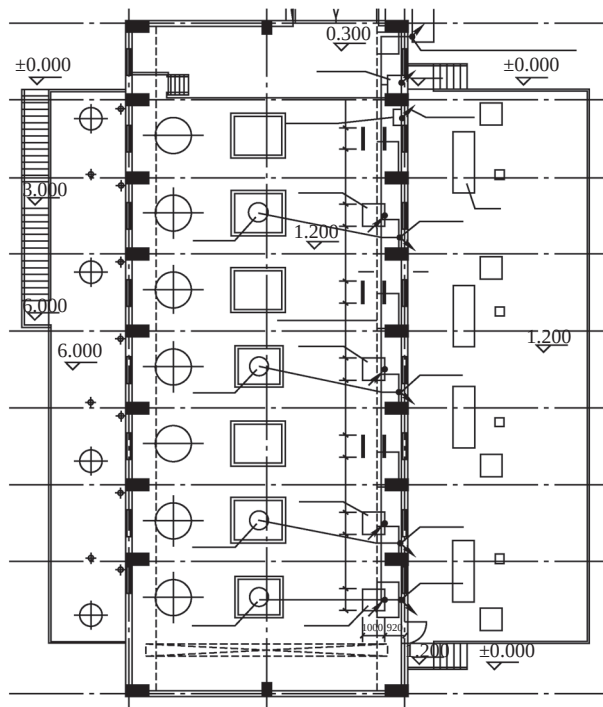


图1 提升泵房内设备布置

方案一采用低压变频器,可考虑将新增变频器放置在泵房内,变频器电源引自现状配电系统。对于现状配电系统及泵房内部土建改造较小,工程实施难度小,工期短,对水厂供水基本不影响。

方案二采用6 kV变频器,由于通风量很大,对环境的要求很高,不推荐设置在泵房中,需要设置在封闭的配电间内。因此,考虑在提升泵房侧新建6 kV变电所(包含6 kV配电间、6 kV变频器室和低压配电间等)一座,尺寸为30 m×8 m。如图2所示。

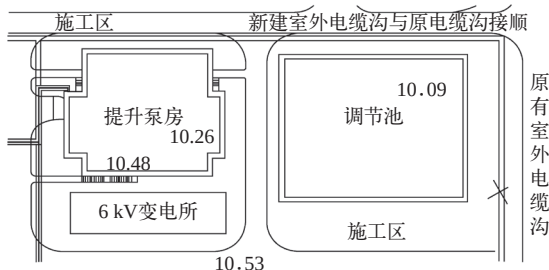


图2 新建变电所

因此,方案二对现状配电系统不可利旧,无论对于系统及土建两方面均需新建。工程实施难度较大,工期长,对水厂供水具有一定影响。

经综合比较,现阶段推荐采用方案一,即采用0.4 kV变频器,但仍需对变频器的电气设计进行优化。

优化设计

1) 一期工程采用ABB ACS800系列变频器,已属高端变频器,许多功能尚未在一期工程中得到应用。要求ABB厂家到现场,根据之前的故障记录,就电网波动问题重新对变频器进行整定设置。

2) 对柜体进行改造,由变频器厂家根据实际通风及散热量重新设计。建议泵房内增加操作隔间,隔间内布置变频器,增加空调系统,外机置于池上。同时对现状进行改造。如图3所示。

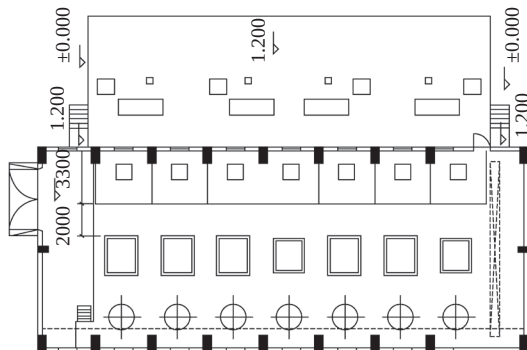


图3 改造后设置

3) 本工程二期新增变频器需结合电动机额定电流进行选型,并充分考虑变频器的工作温度,要求变频器在温度升高降容输出时不影响正常运行。

结束语

在市政工程类项目中普遍应用的变频调速装置,因其内部元器件对工作环境较为敏感,设计人员在变频器选择配置时,应考虑设备的散热通风措施,建议设置独立封闭的变频器室。同时应考虑变频器与电动机的参数匹配,避免变频器过载运行。而对于变频器电压等级的选择,应从建设方的需求,当地电网情况,运行工况,工程投资,以及先期工程配电系统衔接等多方面考虑,合理选型。EA

(收稿日期: 2019.11.10)

(编辑: 朱金凤)