

# 变频调速渣浆泵的电压选择

韩 亮

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 对于特定功率段的变频器,既可以采用低压(380 V)也可以采用中压(10 kV),如何选择应进行技术经济比较。本文以实际工程为例,通过比较两种电压的初始投资费用和运行费用,根据综合费用最优的原则选择变频器电压。

[关键词] 380 V 变频器; 10 kV 变频器; 电压选择

[中图分类号] TM921.51

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)01-0078-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.01.019

## 0 前言

随着电力电子技术的发展以及市场应用的广泛,电力电子器件的成本逐渐降低,ROBICON 原理的完美无谐波高压变频器产品国产化已成熟,质量和性能均可以和进口产品相媲美,而且价格优势明显,打破了进口品牌的垄断地位、拉低了这些品牌的价格<sup>[3]</sup>,同时也扩展了高压变频器的使用范围。之前由于进口品牌高压变频器价格太高,国产产品又不太成熟,对于一些中小功率的应用,如 250 kW 以上场合,只能选用低压变频器,而目前对于这些功率范围,采用高压变频器的成本并不比低压变频器高太多,也就是说高压变频器的应用范围更大了。

某选矿厂磨浮车间改造工程新增 1 台 280 kW 渣浆泵,要求变频调速,根据目前的变频器技术水平和应用的成熟度,结合磨浮车间的现有电压等级,新增渣浆泵变频器可以采用 380 V 或 10 kV,技术应用角度均已成熟,因此需要比较两种不同电压方案的费用情况,以确定哪种电压更合适。

费用可比范围主要是初始设备投资以及后期运行费用,初始设备投资主要包括变频器、变压器、开关柜、电缆、电动机等,后期运行费用主要包括电缆

线路损耗、变频器及变压器损耗等。由于现有配电室空间足够使用,因此尽管两种电压对应的电气设备占地面积不同,但在初始投资对比中未考虑建筑费用的差别。

## 1 车间配电设施现状

磨浮车间现有配电室包含 10 kV 配电站及 10 kV/0.4 kV 变电所;10 kV 配电站一座,10 kV 为单母线接线,双回路 10 kV 电源进线,一回路使用另一回路备用,为本车间 10 kV/0.4 kV 变电所的两台变压器、车间高压电动机提供 10 kV 电源;10 kV/0.4 kV 变电所一座,两台 10 kV/0.4 kV 干式变压器,380 V 母线为单母线分段接线,分段开关为框架式断路器,由该两段 380 V 母线为车间低压用电设备供电。

(1)磨浮车间 10 kV 配电站的双回路 10 kV 进线为电缆线路,分别引自矿山 110 kV 总降压变电所的 10 kV 甲母线和乙母线,两回路电缆型号均为 YJV<sub>22</sub>-8.7/10 kV 3×185 mm<sup>2</sup>,主要沿厂区综合管架上的电缆桥架敷设,线路长度约 490 m。配电站安装 10 kV 中置式金属铠装开关柜 11 台,其中进线柜 2 台、母线避雷器及电压互感器柜 1 台、50 kVA 所用变压器柜 1 台、出线柜 7 台,断路器柜均配置 630 A 25 kA 固封式真空断路器及微机综合保护装置,配电站按高压柜双排布置设计,现有的 10 kV 开关柜采用单排布置,两端各有 3 个备用位置,另有一排共 17 个备用柜的位置。目前该配电站总负荷约 3 800 kVA,10 kV 进线电流约 220 A。配电站直流电源采用智能型免维护铅酸蓄电池电源系统,DC220V

[收稿日期] 2021-09-02

[作者简介] 韩亮(1981—),男,河北衡水人,高级工程师,硕士,主要从事非煤矿山电气设计工作。

[引用格式] 韩亮.变频调速渣浆泵的电压选择[J].有色设备,2022,36(1):78-81.

65 Ah, 配套 AC220V 5 kVA 逆变电源一套, 主要为高压开关柜提供直流操作电源、控制电源, 尚有多个直流备用出线回路。

本次改造工程新增 1 台 280 kW 渣浆泵, 现有进线柜断路器额定电流、电流互感器变比等均满足扩容后使用, 且预留有多个备用位置, 可用于安装新增的高压开关柜以及变频器。

(2) 磨浮车间 10 kV/0.4 kV 变电所安装 1 000 kVA 变压器 2 台, 10 kV 电源均引自本车间 10 kV 配电站, 安装抽出式低压配电柜 17 台, 采用双排面对面布置, 其中进线柜 2 台、母联柜 1 台、补偿柜 2 台, 其他均为出线柜, 备用柜位置 7 个。出线柜尚有多个备用出线回路, 其中 400 A 出线回路 2 个、250 A 出线回路 1 个, 其余均为 100 A 及以下出线回路。变电所现有总负荷约 1 680 kVA, 其中 1# 变压器约 780 kVA, 2# 变压器约 900 kVA。

本次改造工程新增 1 台 280 kW 渣浆泵, 若采用 380 V 电压等级, 由于现有两台变压器均接近满载运行, 无法增加 380 V 用电负荷, 因此需要更换变压器, 但低压柜备用位置较多, 可以根据需要增加配电柜。

## 2 380 V 变频器方案

380 V 低压变频器具有统一的拓扑结构, 主要

表 1 380 V 变频器方案主要设备及费用

名称	规格参数	数量	参考单价 <sup>(1)</sup>	费用/万元	备注
变压器	SCB11-10 kV/0.4 kV 1 600 kVA	1 台	18 万元	18	替换现有
低压进线柜	GGD 系列	1 台	3 万元	3	替换现有
低压出线柜	GGD 系列	1 台	2 万元	2	
变频器	400 V 280 kW	1 套	8 万元	8	
有源滤波柜	400 V 100A	1 台	5 万元	5	
电缆	BPYJV-0.6/1 kV 3 × 150 + 3 × 25 mm <sup>2</sup>	180 m	443 元	8	2 × 90 m
电动机	380 V 280 kW	1 台	9 万元	9	变频型
合计				53	

注: 设备单价采用同时期国产设备报价

## 3 10 kV 变频器方案

不同于低压变频器, 高压变频器没有统一的拓扑结构。根据分类方式不同有以下几种类型<sup>[3-4]</sup>。

采用交-直-交方式, 根据分类方式不同有以下几种类型<sup>[3-4]</sup>:

(1) 根据拖动负载的机械特性可以分为: 恒转矩负载、恒功率负载、风机泵类负载;

(2) 根据整流方式可分为: 6 脉冲整流、12 脉冲整流、有源前端整流, 主要区别是对电网侧的谐波污染不同;

对于本工程的应用场合, 采用 6 脉冲整流风机泵类通用性变频器即可, 同时需要配套有源滤波装置。本方案需要为渣浆泵配套 380 V 电动机, 新增一台 380 V 280 kW 变频器实现渣浆泵的调速运行。考虑到现有 10 kV/0.4 kV 变电所的 2 台变压器都已经接近满载, 该方案需要更换其中一台变压器, 结合变电所实际负荷情况, 将 1 000 kVA 2# 变压器拆除, 新装一台 1 600 kVA 干式变压器, 配套更换现有 2# 变压器低压侧进线柜, 新增 1 台出线柜用于为 280 kW 变频器供电。由于采用了 6 脉波通用型变频器, 为了保证低压配电系统的谐波限值, 还需增加 1 台有源滤波器柜。

该方案可比范围内主要设备有: 1 台 10 kV/0.4 kV 1 600 kVA 干式变压器、2 台低压配电柜、1 台有源滤波柜、1 台 380 V 280 kW 鼠笼式异步电动机以及配套的低压电缆, 参数及费用如表 1 所示。

(1) 根据电压变换方式可以分为: 高-低-高型、高-高型。ROBICON 原理高压变频器即高-高型;

(2) 根据主电路结构不同可以分为: 交-交变频、交-直-交变频;

(3)根据电平数不同可以分为:三电平、五电平、多电平。ROBICON 原理即多电平。三电平高压变频器受制于元器件的耐压不足,目前还做不到 10 kV 电压等级的应用,且价格昂贵,代表品牌为 ABB 和西门子。

串联多电平式高压变频器的输入侧为降压移相变压器,采用 18 脉冲以上的整流方式,输入侧波形好,网侧功率因数高,对电网侧的谐波污染小,输出侧采用多电平移相技术,波形接近正弦波,可用于普通异步电机<sup>[4]</sup>;功率元件采用与低压变频器相同的 IGBT,技术成熟。但由于移相变压器的存在,这种变频器体积较大。

本工程需要对渣浆泵实现变频调速控制,10 kV

变频器方案采用串联多电平式高压变频器的高-高方案,变频器输入输出均为 10 kV,需要为渣浆泵配套 10 kV 高压电动机。该方案接线简单,仅需一路 10 kV 电源即可,结合配电站现状,在 10 kV 配电室新增 1 台 KYN28A-12 型高压开关柜与现有 7# 高压柜并柜安装、新增 1 套串联多电平 10 kV 高压变频器装置安装在现有单排高压柜的对面,由于采用了无谐波的串联多电平式高压变频器,该方案不需要设置谐波治理装置。

该方案可比范围内主要设备有:1 台 10 kV 高压开关柜、1 套 10 kV 高压变频器、1 台 10 kV 280 kW 鼠笼式异步电动机以及配套的高压电缆,参数及费用详见表 2。

表 2 10 kV 变频器方案主要设备及费用

名称	规格参数	数量	参考单价 <sup>(1)</sup>	费用(万元)	备注
高压开关柜	KYN28A-12 630 A/25 kA	1 台	5 万元	5	
变频器	10 kV 280 kW	1 套	22 万元	22	含移相变压器
电缆	YJV-8.7/10 kV 3×70 mm <sup>2</sup>	100 米	249 元	2.5	工程最小截面
电动机	10 kV 280 kW	1 台	11 万元	11	
合计				40.5	

(1)设备单价采用同时期国产设备报价

## 4 两种方案的对比分析

(1)设备投资费用对比

380 V 变频器方案和 10 kV 变频器方案可比范围内的总投资费用分别为 53 万元、40.5 万元。可以看出采用 380 V 的低压方案并无成本优势,反而比 10 kV 方案投资大,即使不考虑更换 1 600 kVA 变压器的费用,380 V 方案也仅比高压方案节省投资 5.5 万元。

(2)电能损耗对比

两种方案的电能损耗主要包括变压器(或高压变频器内置移相变压器)损耗、变频器开关器件(IGBT)损耗、电缆损耗、电动机损耗。鉴于 10 kV 变频器为串联多电平型式,内置一台具有多个二次绕组的移相变压器,而且开关器件(IGBT)同 380 V 变频器类似、10 kV 280 kW 电动机的效率同 380 V 接近,因此视为两种方案下的变压器损耗、开关器件(IGBT)损耗以及电动机损耗等同(实际情况是低压方案的上述损耗略高),两种方案的电能损耗主要

对比电缆损耗。

本工程渣浆泵使用 280 kW 四极电动机,380 V 和 10 kV 的额定电流分别为 514 A、19.87 A;150 mm<sup>2</sup>铜芯电缆每千米电阻 0.117 Ω、70 mm<sup>2</sup>铜芯电缆每千米电阻 0.251 Ω<sup>[1-2]</sup>,两种方案的电能损耗计算如下:

380 V 方案: $\Delta P = 3I^2R = 3(514 \text{ A})^2 \times (0.117 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.09 \text{ km} \times 0.5) = 4.173 \text{ kW}$

10 kV 方案: $\Delta P = 3I^2R = 3(19.87 \text{ A})^2 \times (0.251 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.1 \text{ km}) = 0.030 \text{ kW}$

本工程的综合电价为 0.6 元/kWh,车间接最大负荷小时数约 6 200 h,两种方案电缆损耗的年费用相差:

$(4.173 - 0.030) \text{ kW} \times 6 200 \text{ h} \times 0.6 \text{ 元/kWh} = 15 412 \text{ 元}$ 。

通过对两种方案的投资费用和运行费用(电能损耗)比较可以看出,按照设备投资和运行费用最低的原则,本工程新增渣浆泵应采用 10 kV 变频方案。

## 5 结论

变频器电压的选择应该在技术方案成熟、满足工艺要求的基础上进行经济性分析比较,选择投资费用和运行费用较低的方案。

针对本文所述实例,新增 280 kW 渣浆泵采用 10 kV 变频方案比 380 V 既节省投资又节省运行费用,考虑到本工程的特殊性(380 V 方案需要增加一台 1 600 kVA 变压器替换现有变压器),对于其他工程如何选择仍需要具体分析,但是从建设绿色节能矿山的角度出发,节能降耗应该是首先考虑的因素,考虑到国产的串联多电平式高压变频器技术日趋成

熟、价格越来越低,因此即使 10 kV 变频方案投资稍高,也应作为优先考虑的方案。

### [参考文献]

- [1] 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). 中国电力出版社,2005.
- [2] 《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). 冶金工业出版社,1996.
- [3] 徐海等. 变频器原理及应用(第2版). 清华大学出版社,2017.
- [4] 周海波,熊巍,等. 交流电机调速及变频器技术. 中国电力出版社,2015.

## Voltage Selection for Slurry Pump complete with VSD

HAN Liang

**Abstract:** For frequency converters in a specific power segment, either low voltage (380 V) or medium voltage (10 kV) can be used. As to how to make the selection, a techno-economic comparison shall be conducted. In this paper, actual project is taken as an example, and by comparing the initial capital cost and operating cost of two different voltages, the converter voltage is selected according to the principle of optimal comprehensive estimated costs.

**Key words:** 380 V frequency converter; 10 kV frequency converter; voltage selection



(上接第 72 页)

## Development and Application of Portable Shaft Vibration Acquisition and Analysis System

DUAN Zheng-hua, SHI Jia-wei, PENG Jun-chao, YE Chun-xiang

**Abstract:** This paper introduces the development process of the portable shaft vibration acquisition and analysis system, and uses the developed system to acquire the vibration signals of the eddy current displacement sensors to analyze and diagnose the faults of fan among other equipment.

**Key words:** portable; shaft vibration; signal acquisition; vibration analysis

