

[配水泵机组]

净配水厂中配水泵机组电压等级选择

文/李亚东¹ 王智²

1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司；2. 北京市自来水集团有限责任公司基建工程管理分公司

市政净配水厂中配水泵机组是核心的运行设备，其供电电压的选择合理性，决定前期和今后投资、运维的优劣。通过多年设计案例及市场调研，重点从不同电压等级下水泵机组的配电控制元器件投资、附属配置投资、对供电系统的影响和设备能耗等几个方面进行分析对比。最终，给出不同配水泵机组功率采用何种供电电压等级的推荐方案。

依据多年设计案例及市场调研，本文重点从不同电压等级下水泵机组的配电控制元器件投资、附属配置投资、对供电系统的影响和设备能耗等几个方面进行分析对比。最终，给出不同配水泵机组功率采用何种供电电压等级的推荐方案。

电气系统设计中供电电压等级的选取

在市政供水行业中，净配水厂随着净水处理和供水规模的增加，其用电负荷会相应增大。但最终通过变配电后净水厂设备配电的电压等级会落在10 kV、6 kV、660 V和220 V/380 V几种电压上。

目前，国内净配水厂的供电电压等级基本由10 kV和220 V/380 V两级组成。如此，不仅可以降低水厂供配电系统的故障率，同时减轻水厂电气工作人员的维护工作量，提供工作效率。

配水泵机组容量及运行方式的选择

配水泵机组容量和数量的选择通常需要考虑外管网调度需求的压力、净水后清水池常规液位、高日系数、高时系数、配水规模（水厂处理规模）以及不同的配水工况所确定。通常折算到配套电动机的功率在37~1 800 kW之间。

而考虑供水量会随季节、时间变化，因此，配

水泵机组多采用以变频调速为主，定速运行为辅的搭配方式运行。

配水泵机组的电压等级选择

净配水厂的供电电压等级基本由10 kV和220 V/380 V两级组成。

目前，国内外电动机生产厂家在380 V电压等级下主要生产的小型异步电动机额定容量为0~400 kW，在10 kV电压等级下主要生产的中型异步电动机额定容量为220~3000 kW及以上。

综上所述，异步电动机额定容量在220~400 kW之间时，其供电电压等级可在380 V和10 kV两者之间进行选择。虽然依据相关规范和手册推荐异步电动机额定容量在200 kW及以上时供电电压等级优选10 kV，但仍然需要通过经济技术比较后确定。

配水泵机组电压等级的优选分析

1. 配水泵机组及其配电控制元件技术经济分析

1.1 低压0.4 kV供电条件下配水泵机组配电控制元件

0.4 kV配水泵标准设计时，由水厂中配水泵房旁变配电室内的低压0.4 kV系统提供电源。考虑其电动机额定容量在220~400 kW之间，因此，定速

运行时采用软启动方式进行启动,启动完成后由软启动器内部的旁路接触器切换至旁路定速运行,调速运行时由0.4 kV低压变频器采用变频启动、变频调速运行。图1为0.4 kV配水泵机组配电、控制接线的2种标准接线方案。

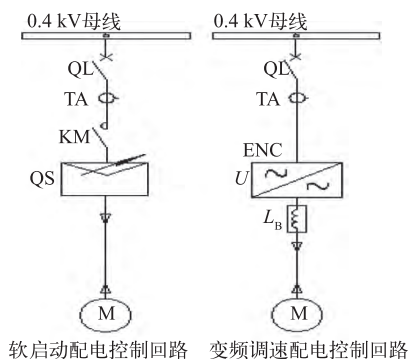


图1 0.4 kV水泵机组配电、控制接线方案

综上所述,满足0.4 kV配水泵机组的配电、控制和保护需要涉及到0.4 kV系统、0.4 kV断路器、电流互感器、接触器、0.4 kV软启动器或变频器、必要的二次控制元件(转换开关、中间继电器等)和低压电缆等元件及设备。

1.2 高压10 kV供电条件下配水泵机组配电控制元件

10 kV配水泵标准设计时,由水厂中配水泵房旁变配电室内的高压10 kV系统提供电源。考虑其电动机额定容量在220~400 kW之间,相对于10 kV系统而言其额定容量较小,因此,定速运行时采用直接方式进行启动、定速运行,调速运行时由0.4 kV低压变频器采用变频启动、变频调速运行。图2为10 kV配水泵机组配电、控制接线的2种标准接线方案。

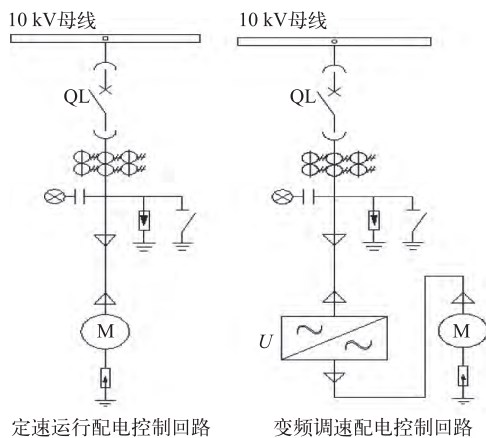


图2 10 kV水泵机组配电、控制接线方案

综上所述,满足10 kV配水泵机组的配电、控制和保护需要涉及到10 kV系统、10 kV断路器、综合保护装置、电流互感器、过电压保护器、接地开关、变频器、必要的二次控制元件(转换开关、中间继电器等)和高压电缆等元件及设备。

另外,针对0.4 kV供水泵机组在定速运行时,需考虑其无功补偿的电能质量问题,在变频调速运行时由于0.4 kV低压变频器谐波含量较高,需考虑其有源滤波的电能质量问题,同时还需考虑10 kV/0.4 kV变压器的增容。针对10 kV供水泵机组在定速运行时需考虑其无功补偿问题,在变频调速运行时由于10 kV中压变频器谐波含量很小,无须考虑其有源滤波的电能质量问题。

1.3 投资费用比较

投资费用在水厂建设初期,是技术经济考核的重要内容。由配电及控制元器件内容可知:

1) 满足10 kV配水泵机组的配电、控制和保护需要涉及到10 kV系统、10 kV断路器、综合保护装置、电流互感器、过电压保护器、接地开关、10 kV变频器、10 kV电容器无功补偿装置、必要的二次控制元件和高压电缆等元件及设备。

2) 满足0.4 kV配水泵机组的配电、控制和保护需要涉及到0.4 kV系统、0.4 kV断路器、0.4 kV交流接触器、电流互感器、变频器、0.4 kV电容器无功补偿装置、有源滤波装置、必要的二次控制元件和低压电缆等元件及设备。

3) 按目前市场询价,以一台280 kW配水泵机组为例。

1.3.1 定速运行条件下:

0.4 kV的定速配水泵机组,完成配电、控制和保护所需的电气元件(含软启动器、柜体等),加之配套0.4 kV电容器、变压器增容、0.4 kV系统增容和配电电缆(按100 m考虑)等因素,同时考虑虑配水泵机组费用,总投资约83万元。

10 kV的定速配水泵机组,完成配电、控制和保护所需的电气元件(含柜体)。加之配套10 kV电容器、配电电缆(按100 m考虑)等因素,同时考虑虑配水泵机组费用,总投资约80万元。

因此,定速配水泵机组选择10 kV电压等级供电较0.4 kV电压等级供电在配电控制元件上增加投资约3万元。

1.3.2 调速运行条件

0.4 kV的调速配水泵机组,完成配电、控制和保护所需的电气元件(含变频器、柜体),加之配套0.4 kV有源滤波装置,变压器增容、0.4 kV系统增容和配电电缆(按100 m考虑)等因素,同时考虑调速配水泵机组费用,总投资约92万元。

10 kV的调速配水泵机组,完成配电、控制和保护所需的电气元件(含柜体);加之配套10 kV变频器和配电电缆(按100 m考虑),同时考虑调速配水泵机组费用,总投资约113万元。

因此,调速配水泵机组选择10 kV电压等级供电较0.4 kV电压等级供电在配电控制元件上增加投资约21万元。

1.3.3 结论

无论是定速配水泵机组还是调速配水泵机组,随着配水泵机组容量的增加,其设备及配电控制电气元件的一次投资价格差逐渐减小,使用10 kV配水泵机组优势才逐渐体现。

2. 附属配置费用(土建、暖通)分析

不同电压等级下各设备的尺寸、前后操作及维护距离有所不同,其占地面积也会产生差异;变频运行条件下通风散热方式即冷却系统也有所差别。

2.1 0.4 kV配水泵机组

若为0.4 kV的定速配水泵机组,正常方式下软启动柜置于变配电室内,其占地面积为自身柜体与前后操作及维护空间之和,约为 2.8 m^2 。0.4 kV电容器补偿装置与系统集中补偿统一设置。该方式下设备散热忽略不计。

若为0.4 kV的调速配水泵机组,正常方式下变频器柜置于变配电室内,其占地面积为自身柜体与前后操作及维护空间之和,约为 2.8 m^2 。由于变频器的效率问题,会向配电室散热。

以一台280 kW配水泵机组为例,其制冷耗电功率约为: $P \times \eta / 3 = 280 \times (1 - 0.97) / 3 = 2.8\text{ kW}$ 。

2.2 10 kV配水泵机组

10 kV的定速配水泵机组,正常方式下电动机配电控制柜与10 kV配电柜并排布置于高压配电室内,其占地面积为自身柜体与前后操作及维护空间之和,约为 3.6 m^2 。同理,10 kV电容器补偿装置占地面积约为 3.8 m^2 。

10 kV的调速配水泵机组,10 kV变频装置占地

面积为自身柜体与前后操作及维护空间之和,约为 1.9 m^2 。

近年来,高压变频装置的散热主要采用风冷(向室外散热)、散热风机能耗已考虑在变频装置整体效率里,室内可不考虑散热。

2.3 投资费用

不同电压等级下其配电控制设备附属土建及暖通投资:配水泵机组在定速运行工况下,配电控制设备附属土建及暖通投资基本持平,在调速运行工况下,配电控制设备附属土建占地面积要大,土建及暖通投资10 kV电压等级略高于0.4 kV电压等级。

3. 配水泵机组启动对供电系统的影响

3.1 变频运行条件下

由于变频器具有平滑启动特性,电动机在变频器启动时较为平稳,因此无论是10 kV还是0.4 kV的配水泵机组在启动时对其供电系统产生影响很小。

电动机在定速直接启动时由于启动电流较大,一般为电动机额定电流的5~8倍,采用软启动器进行启动时其启动电流亦为电动机额定电流的2~3倍。因此,定速电动机启动时会造成系统电压下降,系统电压的下降会对其他对电压要求较高的用电设备有所影响。

3.2 定速运行条件下

0.4 kV电动机启动时的电压下降分析如下。

电动机启动时0.4 kV母线电压下降相对值为

$$\Delta u_{\text{stm}} = S_{\text{st}} / (S_{\text{km}} + Q_f + S_{\text{st}}) \quad (1)$$

式中, Δu_{stm} 为电动机启动时母线电压下降相对值; S_{km} 为母线短路容量, MV·A; Q_f 为预接负荷的无功功率, Mvar; S_{st} 为电动机启动时启动回路的额定输入容量, MV·A。

以280 kW配水泵机组,配置1 250 kV·A变压器采用软启动,经计算启动压降约为3.1%。

3.3 0.4 kV电动机启动时的电压下降分析及结论

可知不同容量水泵机组,匹配不同变压器容量下电动机软启动时0.4 kV母线电压下降相对值均小于5%。

综上所述,大功率水泵机组,在采用软启动器启动时配电母线上的电压暂降满足国家规范要求,不会对配电系统上其他负荷造成影响。

4. 设备节能分析

4.1 异步电动机效率分析

同一品牌、同一额定功率和额定输出功率下，通常380 V电动机效率高于10 kV电动机效率1%~3%，若要求10 kV电动机效率达到380 V电动机效率则需增加投资费用。

380 V电动机虽然效率更高，但考虑配电变压器带来的损耗后，整体效率差别不大。

4.2 变频器效率技术经济分析

以目前市场上占有量较高的ABB、施耐德和西门子等主流品牌为例，其0.4 kV低压变频器，其效率在额定负载时均可达到98%，考虑配电变压器损耗占比后的综合损耗任可达到97%。10 kV高压变频器，其整机效率（含输入变压器）在额定负载时均可达到97%。

由上述分析可知，变频运行时两种电压等级的效率相当。

5. 优选综合分析结果

通过以上对配电控制元器件投资、附属配置费用分析、对供电系统的影响和设备能耗等内容进行分析对比，配水泵机组额定容量在220~400 kW之间时，其供电电压等级选用380 V和10 kV两者之间的差别见表1。

表1 380 V和10 kV两者之间差别

	运行方式	定速运行	变频调速运行	比较结果更优
比较项		0.4 kV较10 kV电压等级节约费用	0.4 kV较10 kV电压等级节约费用	
配电控制元器件投资费用/万元	220 kW	-2.6	-28.2	0.4 kV 优
	250 kW	-2	-25.3	0.4 kV 优
	280 kW	3.1	-20.9	0.4 kV 优
	315 kW	22.2	-0.5	10 kV 优
	355 kW	29.6	8.4	10 kV 优
	400 kW	43.5	22.5	10 kV 优
附属配置投资费用/万元	220~400 kW	-0.32	-6.72	0.4 kV 优
对供电系统的影响	220~400 kW	均满足要求	均满足要求	-
设备能耗	220~400 kW	约1%	相当	10 kV 优

通常为保证供水可靠性及运行的灵活性，净配水厂配水泵机组均设置多台。由表1可知：①在初期投资时280 kW及以下配水泵机组采用0.4 kV电压等级供电更为经济合理，315 kW及以上配水泵机组采用10 kV电压等级供电更为经济合理；②节能方面，无论功率大小，定速运行时10 kV电压等级供电更为节能，变频运行节能效果相当。

因此，在常规设计条件下，以设备目前市场价格为基准，280 kW及以下的配水泵机组推荐选用0.4 kV供电电压等级，315 kW及以上的配水泵机组推荐选用10 kV供电电压等级。

某些工程中，用地面积较为紧张时，考虑低压供电方案占地较小，在配电变压器额定容量允许范围内，315 kW、355 kW配水泵机组也可采用0.4 kV供电电压等级，此时投资会有所增加。

结束语

本文针对净配水厂中配水泵机组在不同的功率下，采用0.4 kV和10 kV供电电压等级下，在配电控制元器件投资、附属配置费用分析、对供电系统的影响和设备能耗等几方面进行分析对比，得出相关推荐方案。该方案可以为设计单位、建设单位和运营单位提供参考，参考时 also 需结合工程实际特点以及设备市场情况，综合分析，最终选择最优方案。EA

（收稿日期：2025-01-19）