

[石油石化]

高压变频调速和斩波内馈调速技术在油田注水系统应用

文/大庆油田第二采油厂规划设计研究所 姚 杰

油田注水是采油的主要措施之一，对注水系统的节能研究和改造具有很重要的意义。分析了高压变频调速技术、斩波内馈节能技术，介绍了系统节能原理，并应用该技术对注水站进行了改造，解决了注水泵泵效低、泵管压差大和单耗高等问题，节能效果明显，取得了良好的经济效益。

注水开发是目前国内油田稳定原油产量最基础的技术手段，油田注水系统主要由注水电动机、注水泵、泵出口调节阀、注水管网及注水井等构成。系统的总能耗除了注入地层的有效能量外主要消耗在上述的系统构成中，其中电动机和注水泵的损耗将近一半，其中注水泵的损耗占20%左右。随着原油含水率的增高和提高采收率的需要，部分油田注水量每年以将近30%的速度增长，耗电量也急剧增加，因此注水节能对节约生产成本、提高生产效率和经济效益具有重大意义。

在注水系统优化中，注水泵运行于高效工作区是整个注水系统优化运行和节能降耗的关键。目前国内大部分注水系统的运行主要是依靠注水管理人员的水平和经验来实施，由于高压注水泵站采用的均是多级高压离心泵增压注水，其高效工作区很狭窄。当注水工况发生变化时，由于得不到及时调整，致使注水泵偏离高效区工作，注水管网效率低，注水单耗高。

从目前技术来看，要连续调节注水泵的流量、压力等运行参数，而且使注水泵保持在高效区运行，实现系统的优化节能，单靠管网的优化和控制阀门的节流方法具有一定的局限性，只有采用调速运行才能达到最佳状态。针对注水系统存在的问题，目前在高压大功率类负载的电动机

调速中应用最为广泛的两种调速方式是：高压变频调速和斩波内馈调速。通过调整注水泵的运行状态，有效地降低甚至消除注水泵出口节流损失，同时应用系统最优控制理论，调整注水站的注水泵运行参数，能够实现系统能量损失最小，从而使整个注水系统高效运行。

注水系统现状分析

单耗较高的注水泵普遍存在泵额定流量大，实际注水量小，流量匹配系数（注水量/泵额定流量）偏低的问题。聚南1#注、聚南5#注的系统压差较大，单耗较高，节能潜力较大，初步选择安装调速装置。聚南5#注水站有多级离心注水泵8台，其中2#注水泵效率较低，单耗较高，泵管压差较大高达1.2 MPa；聚南1#注有多级离心注水泵6台，其中5#、6#注水泵效率较低，单耗较高，管压差较大高达1.6 MPa，节能潜力较大，如表1所示。

节能技术分析

1. 应用情况

目前油田采用的注水泵调速装置主要有高压变频调速技术、斩波内馈节能技术两种。

（1）注水泵高压变频调速技术

2003年在南#注水站应用高压变频器，该装

表1 无调速措施且单耗较高注水站注水泵运行现状表

站名	泵号	所属系统	型号	泵压/MPa	管压/MPa	泵管压差/MPa	流量/(m ³ /h)	电动机效率(%)	泵效(%)	单耗/(kW·h/m ³)
聚南1#注	5#	聚驱	DF250-150×11	17.7	16.6	1.1	228	96	70.9	7.1
聚南1#注	6#	聚驱	DF155-170×10	17.1	15.5	1.6	175	96	67.6	7.3
聚南2#注	2#	聚驱	DF300-150×11	15.91	14.8	1.11	211	96	54.2	7.3
聚南3#注	7#	聚驱	DFW200-160×11	16.4	16	0.4	232	96	66.4	7.1
南4#注	4#	水驱	DF300-150×11	16	15.5	0.5	197	96	63.4	7
聚南5#注	2#	聚驱	DFW400-160×11	17.5	16.3	1.2	329.4	96.6	69.6	6.8

置自2003年3月投运至今,运行状态良好。南#注的注水站压力由安装前的17.04 MPa下降到15.5 MPa,频率由50 Hz下降到45.2 Hz,注水单耗由7.820 kW·h/m³下降到6.561 kW·h/m³,下降了16%,平均日节电1.14×10⁴ kW·h,投资回收期2.5年。另外,该产品还独家采用水冷技术,很好地解决了其他同类产品存在的散热问题,室外温度25℃时,室内仅为15℃,且还可通过冷却水阀门进一步调整。

(2) 注水泵斩波内馈节能技术

在北#注安装一台斩波内馈节能装置,并于2015年10月投入运行。据调研,设备投运前后各2个月的能耗情况对比,投运前2#泵注水单耗为6.28 kW·h/m³,投运后注水单耗下降至5.16 kW·h/m³。2018年12月,对该设备进行了完善,安装一套自动调速装置,实现泵管压差的闭环运行,注水单耗进一步降低至5.05 kW·h/m³。

根据节能监测中心提供的节能监测报告,注水单耗安装前后下降为1.23 kW·h/m³,2#泵每天出口水量为8 200 m³,按注水泵年运行300天考虑,该设备可年节电302.58万kW·h,节约电费192.74万元/年。设备投运期间碳刷为正常磨损耗材,平均每3 000 h更换一组,价格为5.64万元,按每年运行300天考虑,年需消耗2.4组碳刷,成本为11.28万元/年,投资回收周期约为3.1年。

2. 节能原理

(1) 高压变频调速技术

对于风机和泵类负载,由流体力学知识可知,其输出的功率与其转速的三次方成正比,所以当其转速减小时,其能耗也随着转速以三次方的速率下降,因此节能效果非常明显。高压变频调速的原理通过晶闸管对输入电流和电压导通角的控制来调节输出电源频率,实现电动机变速运行,从而控制注水泵转速,调节注水泵流量。注水系统采用闭环控制时,可实现出口流量和压力按照生产需要的工况调节,泵出口阀门可开至最大,使泵管压差为零,实现节能的目的。高压

变频适用于流量不稳定,系统变化频繁且幅度较大的注水系统,能够满足聚驱注水系统不同开发阶段的不同需求,管理简单,操作方便,节电效果明显。随着电力电子技术、微电子技术及控制理论的发展,高压变频调速技术已被广泛地应用到电动机控制领域。高压大功率变频器(kV, MW级)已在大容量风机、高压水泵等电动机上应用。

(2) 斩波内馈节能技术

斩波内馈调速技术是一种将调速电动机的部分转子功率(即电转差功率)移出来,以电能的形式反馈给电动机内部的调节绕组的特殊调速方式,是转子电磁功率控制的调速。电动机调速时,转子的部分功率通过电传导馈入反馈绕组,如果忽略损耗,反馈绕组所获得的功率与转子被移出的功率相等。由于转子的部分功率被移出,故转化的机械功率减小,因此电动机转速下降。这样,转子被移出的功率越大,反馈绕组的功率就越大,而机械功率就越小,转速就低;当反馈绕组功率为零时,机械功率几乎和转子功率相等,电动机转速最高。

3. 结构对比

高压变频调速系统适用于普通感应式交流异步电动机。高压变频器串接在电源和电动机之间,高压变频器的功率大于电动机的功率;内馈斩波调速系统适用于特殊绕线式电动机,斩波控制器接在转子和内馈绕组之间,控制器功率小于电动机功率。高压变频器调速系统控制的电动机维护量少;内馈斩波调速系统控制的电动机维护量较多,由于是绕线式电动机,具有滑环且需定期更换碳刷。

高压变频器维护强度低,设备投资相对较低,可采用一拖二方式控制2台注水泵,使用灵活,可以根据需求进行迁建,满足不同时期的生产需求。

斩波内馈技术相对节电率高,发热量低,无须加装水冷机组进行制冷或大容量制冷散热空调,但需要将笼式电动机更换为绕线式电动机,定期更换碳刷。在产能建设新建注水泵时,配套

安装斩波内馈节能装置，与改造比可不需更换电动机，能够进一步降低投资，如表2所示。

节能经济分析

为探索多种调速技术的适应性，深入挖掘节能潜力，根据两种技术的特点，选择两座注水站，开展技术论证。

1. 注水泵高压变频调速技术

聚南1#注水站注水泵实施高压变频调速技

术可消除泵管压差1.60 MPa，单耗与泵压成正比，根据理论计算压差每降低1 MPa，单耗约降低0.3 kW·h/m³，安装后预计聚南1#注水站注水泵可消除泵管压差1.60 MPa，预计注水单耗降低0.42 kW·h/m³，注水泵效提高1%则降低注水单耗约0.07 kW·h/m³，预计泵效提高到节能评价价值70%，提高泵效2.4%，预计注水单耗降低0.17 kW·h/m³，共计单耗降低0.59 kW·h/m³，预计年节电86.36×104 kW·h，节约电费55.01万元。

表2 调速措施对比表

比较内容	高压变频调速	内馈斩波调速
原理	控制定子。控制输入电流和电压导通角来调节输出电源频率，实现电动机变速运行	控制转子。将电动机的部分转子功率（即电转差功率），以电能的形式反馈给内部的调节绕组，调节转速
机械特性	平行直线	平行直线
控制方式	移相	斩波
功率因数	0.9	0.9
效率(%)	95	98
谐波(%)	2	4
起动情况	能软起动	能软起动
使用电动机	所有交流电起机	专用绕线电动机
改造电动机	不需要改造电动机	需要改造电动机
定期更换集电环和电刷	没用电刷和电刷	需要定期更换集电环和电刷
后期维护	后期维护量小	后期维护量较大
可移动性	搬迁工作量小	搬迁工作量较大

依据经济效益评价分析相关标准分析计算，项目在整个生产期内增量投资回收期为4.3年，单项投资回收期小于生产期10年，高于行业规定标准，在经济上是可行的，如表3所示。

2. 注水泵斩波内馈节能技术

聚南5#注水站2#注水泵安装斩波内馈节能装置后预计将消除该站聚驱深度水系统泵管压差1.2 MPa，单耗与泵压成正比，根据理论计算压差每降低1 MPa，理论计算预计注水单耗降低0.3 kW·h/m³。预计注水

泵效将提高到规定的节能评价价值78%，预计泵效将提高到节能评价价值78%，注水泵效提高6%，理论计算通过提高泵效预计注水单耗降低0.42 kW·h/m³。理论计算该站聚驱深度水系统注水泵安装斩波内馈节能装置后注水单耗降低0.72 kW·h/m³，年节电131.6×104 kW·h，节约电费84.8万元。设备投运期间，电刷为磨损耗材，按平均每3 000 h更换一组，每年运行300天考虑，年需消耗2.4个碳刷，成本为11.28万元/年，合计年节约费用73.5万元。

表3 注水泵高压变频建设工程节能效果预测表

项目名称	项目总投资/(万元)	节电/万kW·h	节支/万元	投资回收期/年
注水泵高压变频调速技术	238.09	86.36	55.01	4.3

依据经济效益评价分析相关标准分析计算，项目在整个生产期内增量投资回收期为5.1年，单

项投资回收期小于生产期10年，高于行业规定标准，在经济上是可行的，如表4所示。

表4 注水泵斩波内馈节能装置建设工程节能效果预测表

项目名称	项目总投资/万元	节电/万kW·h	节支/万元	投资回收期/年
注水泵斩波内馈节能技术	377.59	131.6	73.5	5.1

结束语

综上所述，采取科学的管理手段和经济、合理的技术措施，可以有效地控制注水泵泵管压差，提高注水泵效，降低注水单耗，节约电能，降

低生产成本，只要在生产实践中综合运用，因地制宜，就会得到很好的社会效益和经济效益。EA

(收稿日期：2019.10.11)

(编辑：朱金凤)