

# Application prospect of energy saving submersible pump in groundwater sealed cavern reservoir engineering

Yaguang Wang<sup>1</sup> Lei Si<sup>2</sup> Guang Yang<sup>3</sup> Bin Wang<sup>4</sup>

1. Petrochina Pipeline Materials and Equipment Co.,Ltd., Langfang City, Hebei Province, 065000
2. First Branch of China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China
3. Fourth Branch of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China
4. Hebei North China Petroleum Engineering Construction Co.,Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

## Abstract

This study examines the application of ——fracture water pumps, a key component in China's first batch of large-scale underground petroleum storage reservoirs, along with the mainstream energy-saving submersible pumps and their advantages across various industries. The research compares the power efficiency between conventional submersible pumps and rare-earth permanent magnet fracturing pumps, analyzes the implementation status of ordinary submersible pumps in underground caverns, and discusses the necessity of adopting energy-efficient submersible pumps. Furthermore, it explores the feasibility of implementing these pumps in petroleum water-sealed cavern systems.

## Keywords

energy saving submersible pump; groundwater; cave sealing project

# 节能潜水泵在地下水封洞库工程中的应用前景

王亚广<sup>1</sup> 司磊<sup>2</sup> 杨光<sup>3</sup> 王斌<sup>4</sup>

1. 中油管道物资装备有限公司，中国·河北 廊坊 065000
2. 中国石油管道局工程有限公司第一分公司，中国·河北 廊坊 065000
3. 中国石油管道局工程有限公司第四分公司，中国·河北 廊坊 065000
4. 河北华北石油工程建设有限公司，中国·河北 任丘 062550

## 摘要

结合我国第一批投入建设的大规模地下石油储备库，总结了地下水封洞库主要设备之一——裂隙水泵的应用，主流节能潜水泵的形式与优势，节能潜水泵在其他行业的应用情况。研究了其他行业普通潜水泵和稀土永磁裂隙水泵节电能力对比，地下洞库中普通潜水泵应用情况及使用节能潜水泵的必要性，浅谈在地下石油水封洞库应用节能潜水泵的可行性。

## 关键词

节能潜水泵；地下水；封洞库工程

## 1 引言

为保障国家能源安全，地下石油水封洞库（以下简称洞库）已成为战略石油储备的主要方式 (An et al. 2022)。洞库是一种安全、节约成本的储备方式，随石油对进口依赖程度的不断增大，需重视洞库技术的研发，随着我国第一批洞库陆续建成投产，进一步总结洞库设备采购应用管理特点，保证洞库的功能稳定及进一步优化节能变得十分必要。

**【作者简介】**王亚广（1979-），男，中国河北唐县人，本科，工程师，从事物资采购管理研究。

## 2 地下石油水封洞库及所需裂隙水泵特点

洞库是在低于地下水位的岩体中挖掘形成的洞室，利用地下水压力形成地下水封，在岩洞内储存原油。与传统的地上储油罐相比具有更加安全、经济、环保等优点。

储油洞室一般处于地下 50 米以下，注入石油后，周围会存在一定油、水压力差，在任一相同水平面上，地下水静压力大于洞内油压，这样洞内石油就储存在封闭的压力场中。在水压的作用下，岩体中的裂隙水不断流入洞室，而石油不会从裂隙中泄漏。流入洞内的水沿洞壁汇集到底部形成水垫层，因油比水轻、且不相混，油品始终漂浮在水垫层上。通过油水介面检测仪监视其液位，待水位达到一定高度，使用洞内的裂隙水泵将水排出洞外进行处理。因洞室距地面高差较大，且长时间运行，对裂隙水泵的性能、质量及节能要

求极高，因此，洞库工程裂隙水泵的节能对工程建设及运行有着极为重要的影响 (Li et al. 2017)。

### 3 目前市场主流节能潜水电泵形式与优势

#### 3.1 主流节能潜水电泵的形式

主流的潜水电泵主要以以下几种形式达到节能效果。

##### 3.1.1 提升效率

潜水电泵包括泵体、电机及控制系统。从节能角度，国内外泵体设计还未出现技术突破，不同的主流泵体在效率上均遵循国标，差异小。因此，要提升效率，只能靠车削叶轮直径来降低泵体扬程，这种所谓节能是通过降低扬水高度实现，只适用于水位稳定及原选型有较大设计余量情况 (Rakibuzzaman et al. 2024)。但牺牲的是生产弹性，一旦水位下降，这种节能改造无法提供更高扬程，容易使生产陷入混乱，这种节能措施并不稳妥。

##### 3.1.2 单纯的使用变频器

拖动三相异步电机潜水电泵。这种情况在原有泵选型具有较大设计余量时，通过变频降速有效降低泵体扬程，达到节电目的，当水位上升，再适当提高转速，以保证生产稳定。不足是变频电机在低速时效率大幅降低，如果选型没有较大设计余量，节能效果有限。

##### 3.1.3 提高电动机效率

既然泵的效率始终不能提高，那么一旦能提高电机效率，便能带来一场革命性的节能措施。稀土永磁潜水电泵的出现，使原有电机的效率增加 10-20 个百分点，有效提高节电能力，加之变频驱动，便解决了以上两种节能局限性问题。稀土永磁电机的效率曲线不同于异步电机，永磁电机始终处于高效状态，因此即便水位波动，变频永磁潜水电泵可适当调整电机转速，以适应不同工况，始终处于节能状态 (Beck et al. 2018)。

#### 3.2 稀土永磁潜水电泵优势

依据以上三种情况，稀土永磁潜水电泵具有明显优势和可实施性。

稀土永磁潜水电泵有结构简单，体积小、效率高、功率因数高等优点。已在冶金、陶瓷、橡胶、石油等行业的中、低压电动机中获得业绩，并积累了设计和运行经验。

稀土材料防腐措施。在永磁体片表面设置镀镍层及环氧涂层，可减缓氧化过程，提高永磁体片在水中的寿命。同时外表面电泳涂层作为又一道屏障，寿命可达 30 年以上。

对定、转子矽钢片开槽重新设计，可以提高磁通及槽满率。

提高了矽钢片牌号，降低铁损。矽钢片的好坏取决于材质，提高牌号后定转子性能提升 7%~10%。

工作频率设置 100 Hz，使用变频驱动，采用先进的富士变频器，利用变频软启动，使启动电流从 0 开始，最大值不超过额定电流，延长寿命，节省维修费用。

现有的潜水电泵是三相异步电机，转子转速一般比定子旋转磁场转速低 2~5%，转速差降低了电机的效率，同时

为转子维持电磁场需消耗大量电能，增加使用成本；设备生产方面，电机铁芯长成本高，定转子易变形、铁耗大、设备性能不稳定。

该项目针对上述问题，提供一种高效节能的潜水电机。相比普通三相异步潜水电机，稀土永磁潜水电机有以下优势：

**高效率：**以 30 kW 电机为例，普通电机效率在 80% 左右，永磁电机效率可达 93% 以上。

**高功率因数：**以 30 kW 电机为例，普通电机效率普遍在 0.83 左右，永磁电机效率可达 0.95 以上 (Sulistyanto et al. 2021)。

**转速更高及转速控制精确：**由于转差率，三相异步电机转速与同步转速有些差距，永磁同步潜水电机的转速与同步转速一致，经变频调速后，可以达到更精确的转速控制。

**强过载能力：**永磁同步潜水电机负载能力可达 0-120%，且高效区更宽泛。

**大功率密度：**更小的体积可以产生更大的功率。

**运行更稳定：**运行期间电机转速始终不变，不会出现丢转现象。

#### 3.3 稀土永磁潜水电泵在其他工程应用情况

案例 1：山西某供排水集团五水厂 13# 井深井潜水电泵型号 200QJ50-130，配套 30 kW 异步电机，运行流量约 63 m<sup>3</sup>/h，该设备于 2020 年 1 月进行节能改造，使用永磁同步潜水电机代替异步电机（泵型号不变），改造后水泵流量 63 m<sup>3</sup>/h。下图为节能改造前后深井潜水电泵取水千吨耗电量统计，经节能改造后，2020 年及 2021 年永磁同步潜水电机的千吨水耗电量平均为 309.47，较 2019 年 1 月异步电机千吨水耗电量降低了 63.6%，较 2020 年 1 月异步电机千吨水耗电量降低了 39.4%。



图 1 节能改造前后深井潜水电泵取水千吨耗电量

#### 案例 2：大同某供排水集团城北二水厂 11# 井

深井潜水电泵型号 200QJ50-156，配套 37 kW 异步电机，运行流量约 51 m<sup>3</sup>/h，该设备于 2020 年 10 月进行节能改造，使用永磁同步潜水电机代替异步电机（泵型号不变），改造后水泵流量 50.5 m<sup>3</sup>/h。下图为节能改造前后深井潜水电泵取水千吨耗电量统计，经节能改造后，2020 年 10 月至 2021 年 10 月永磁同步潜水电机千吨水耗电量平均值为 650.21，较 2020 年 1 月异步电机千吨水耗电量降低了 12%，较 2020

年 8 月异步电机千吨水耗电量降低了 23%。

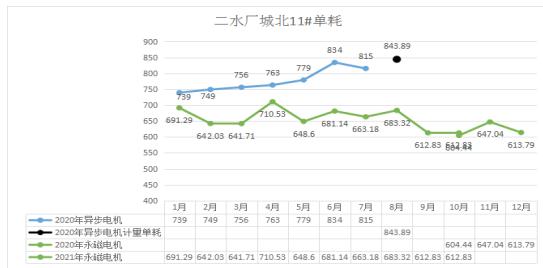


图 2 节能改造前后深井潜水泵取千吨水耗电量

由以上案例可以得出以下结论：用户工况条件及改造前后千吨水耗电量都是变化的，证实了稀土永磁潜水电泵的节电能力，节能效果可观。计量对比须在同一工况下（尽可能缩短计量对比时间，保证工况近似一致），这样能准确描述更换电机带来的节电效能。

## 4 节能潜水泵在地下石油水封洞库中的应用前景

国家二期地下洞库共四座，2018 年完成建设，以某 300 万方库容储库的运行情况考虑，该储库运行超过 3 年，使用普通潜水泵排水，流量约  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 140 m，配套电机功率 45 kw，每天运行约 22 h\* 台，电费按 1 元 / 度考虑，单台潜水泵每天耗电  $45 \times 22 = 990 \text{ kWh}$ ，每年电费支出接近 36.5 万元。

### 4.2 洞库使用节能潜水泵的必要性

2020 年 5 月 29 日，国家市场监督管理总局发布《GB 18613-2020 电动机能效限定值及能效等级》，对电机能效限定值及能效等级提出新的要求。目前，推出新版电机能效标准时机已基本成熟，主要原因如下：

一是 IEC 国际标准对功率范围的扩大以及 IE5 具体能效指标的提出，为我国将中小电机和小功率电机能效标准整合奠定了基础，使得我国新标准可以将 IE3 定为 3 级能效的低标准，保证我国电机能效标准与国际标准一致，有利于我国企业参与国际竞争；

二是我国将 IE2 作为电机生产的低能效标准已有八年，应淘汰 IE2 电机，强制实施 IE3；

三是发达国家已将电机低能效限定值设为 IE3 水平，为我国新标准制定提供了标准建设前瞻；

四是国家多年来实施电机能效提升计划、绿色制造体系建设，将 IE3、IE4 电机列入国家节能机电产品、节能产品认证、政府采购等目录，将 IE5 电机列入能效之星目录，鼓励众多骨干企业进行高效电机研发、生产及推广，奠定了技术、装备、工艺、市场基础。

### 4.3 洞库应用物联网稀土永磁潜水电泵的可行性

#### 4.3.1 经济效益

以 300 万方库容储库为例，通过节能电机能效提升改造，

按节能 25% 计算，每台每年节约电费  $36.5 \times 25\% = 9.125$  万元，目前国内已有四座建成的大型地下洞库，同时三期工程洞库正在加紧建设，四期工程已提上日程。目前新开工建设洞库储量已达 600 万方，加上规划中的扩建工程，后续单个洞库储量可能达 800 万方，以现有普通潜水泵运行情况，洞库每台潜水泵的年电费支出有望节约 30 万元以上，对运营企业节费效果明显，从全国范围看，为国家节约的电费成本极为可观。

#### 4.3.2 节能提升改造空间

洞库所用潜水泵材质多为双相不锈钢，电机要求整体防爆。稀土永磁潜水电泵在水行业一般使用碳钢材质，电机不需防爆。两种泵结构基本一致，洞库所用的裂隙水泵制造标准为 API，高于普通潜水泵 GB/T2816-2002 标准，所用电机执行标准基本一致。

可以利用原有泵机组，只对电机和控制系统进行更换，改为稀土永磁电机。

如条件允许，可对整个泵机组（含电机）、控制系统进行更换，改为稀土永磁水泵，泵材质为双相不锈钢。电机整体防爆一般在原电机外增加壳体，对外壳整体进行抗冲击测试和耐压测试。

## 5 结语

文章对稀土永磁电泵在地下石油水封洞库的应用进行了探讨，希望在未来工程建设过程中，能在潜水泵和潜油泵节能上给予重视，同时对石油化工企业电机节能技术加大研究，有效促进石油化工企业绿色发展，助力我国经济建设高质量发展。

### 参考文献

- [1] An, Y., Yan, E.C., Li, X.M., and Huang, S.P. 2022. Optimizing Method of Main Caverns in Large Underground Water-Sealed Storage Caverns. Geotechnical and Geological Engineering. 40(3): 1281-1293.
- [2] Beck, M., Sperlich, A., Blank, R., Meyer, E., Binz, R., and Ernst, M. 2018. Increasing Energy Efficiency in Water Collection Systems by Submersible PMSM Well Pumps. Water. 10(10).
- [3] Li, Z.Q., Xue, Y.G., Qiu, D.H., Xu, Z.H., Zhang, X.L., Zhou, B.H., and Wang, X.T. 2017. AHP-Ideal Point Model for Large Underground Petroleum Storage Site Selection: An Engineering Application. Sustainability. 9(12).
- [4] Rakibuzzaman, M., Suh, S.H., Roh, H.W., Song, K.H., Song, K.C., and Zhou, L. 2024. Hydraulic Performance Optimization of a Submersible Drainage Pump. COMPUTATION. 12(1).
- [5] Sulistyanto, D., Oetomo, H.K., Pramadika, H., Ziad, Z., Putra, Y.N.H., and Iop. 2021. [1][6]Comparison of Permanent Magnetic Motor and Induction Motor on power efficiency in Electric Submersible Pump. In 5TH ANNUAL APPLIED SCIENCE AND ENGINEERING CONFERENCE (AASEC 2020).