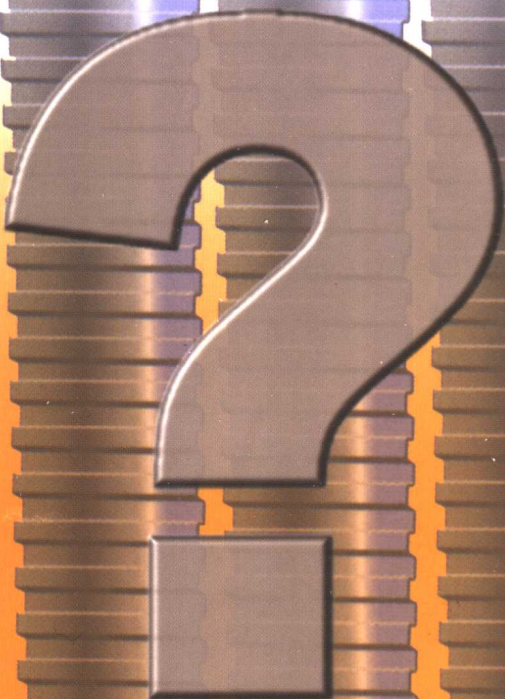


螺杆泵采油技术 问答

齐振林 主编

刘合 曹刚 鲁明延 副主编



石油工业出版社

螺杆泵采油技术问答

齐振林 主编

刘 合 曹 刚 鲁明延 副主编

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

螺杆泵采油技术问答/齐振林主编.

北京:石油工业出版社,2002.10

ISBN 7-5021-3975-3

I. 螺…

II. 齐…

III. 螺杆泵-石油开采-问答

IV. TE933-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 078887 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 4.375 印张 116 千字 印 1—1000

2002 年 10 月北京第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3975-3/TE·2859

定价: 15.00 元

主 编：齐振林

副主编：刘 合 曹 刚 鲁明延

编 委：刘桂玲 郑学成 张明毅

钱朝慧 窦春梅 徐桂艳

魏忠印 张 颖 杜香芝

王劲松 杨永华 何 艳

编写人员：

第一章 齐振林 刘桂玲 郑学成 张明毅

第二章 刘 合 鲁明延 钱朝慧 窦春梅

第三章 徐桂艳 魏忠印 张 颖 杜香芝

第四章 曹 刚 王劲松 杨永华 何 艳

前 言

自从 20 世纪 80 年代,美国的 Robbins & Myers 公司首次将螺杆泵技术应用于人工举升领域以来,短短的 20 年中,螺杆泵已经迅速发展成一种通用的人工举升方式,并且得到越来越多的油田技术人员的青睐。截至 2001 年,全球在用的螺杆泵井大约有 50000 口,其中,约 20000 口集中在加拿大,其余分散在世界各地油田。我国从 20 世纪 80 年代中期引进螺杆泵,先后在大庆、辽河油田进行了矿场试验。目前全国有十多家螺杆泵生产厂家,几十种规格的螺杆泵产品。

大庆油田经过近 20 年的实践,研制开发了十多种规格的螺杆泵、地面驱动装置、专用抽油杆、杆管扶正装置、防反转装置、井下锚定装置等系列产品,同时开发了空心转子螺杆泵采油、无油管螺杆泵采油、等壁厚定子螺杆泵、金属定子螺杆泵等新工艺,多项工艺技术居同行业领先水平。由于坚持对主体及配套工艺技术的综合开发,螺杆泵采油技术在大庆油田取得了良好的效果。截至 2001 年 12 月底,大庆油田在用螺杆泵井达到 373 口。平均检泵周期达到 500d,最长运转时间超过 1000d。

实践表明,每一项新技术都和传统技术之间存在巨大的差异,革命性的创新技术更是如此,要充分发挥新技术的优势,一方面要对技术本身进行改进和完善,使之适应实际情况;另一方面还要更新使用者的知识技能,提高使用者的应用水平。螺杆泵采油技术是人工举升工艺中的一项革命性的新技术,和常规游梁抽油机相比,它没有了复杂的四连杆机构和巨大的基座,装机功率大大降低,因此耗电量大幅度下降;它的工作载荷非常平稳,泵效比抽油机高 10~20 个百分点;它的日常维护工作量和费用远低于抽油机,地面噪音和震动小,适合于在市区和农田使用;

螺杆泵还适用于稠油开采和含砂井开采。另一方面，螺杆泵的使用维护与抽油机也有着很大不同。例如，螺杆泵必须保证合理沉没度，如果供液不足造成泵抽空会烧毁定子橡胶，但如果及时调参就可避免事故发生；另外，使用正扣油管的螺杆泵必须安装防反转装置，而且要进行油管锚定，否则会造成杆管脱落；虽然螺杆泵的清蜡周期比抽油机长，但是如果不及时清蜡，也会发生蜡堵甚至引起杆断。使用者对传统的采油技术和管理方法的依赖是造成新技术难以迅速推广的重要原因之一，因此，操作人员必须充分了解螺杆泵采油的技术特点，并建立一套有别于传统油井的管理办法，使螺杆泵采油技术的诸多优势得以充分发挥。

本书就是基于以上的原因而编写的。全书采用问答的形式，分四个部分对螺杆泵的工作原理、安装与维护、性能检测和当前螺杆泵采油的前沿技术等方面进行了系统的介绍。这些问题重点介绍基本概念、现场操作方法和生产中遇到的问题，语言简洁通俗，并附了丰富的图表，直观生动。

相信本书的出版对促进螺杆泵采油技术的推广应用会起到积极的作用，希望本书能成为油田广大技术人员的有力助手。

编者

2002.9

目 录

第一章 螺杆泵采油系统的组成与原理	(1)
第一节 螺杆泵的工作原理和结构组成.....	(1)
第二节 地面驱动装置	(40)
第三节 抽油杆	(62)
第四节 配套工具	(71)
第二章 螺杆泵井的作业施工与日常管理维护	(75)
第一节 螺杆泵井的作业施工	(75)
第二节 螺杆泵井的维护管理	(85)
第三节 螺杆泵井的测试技术	(91)
第四节 螺杆泵井的诊断技术	(96)
第三章 质量检测与监控	(103)
第一节 水力特性检测.....	(103)
第二节 驱动装置检测.....	(106)
第三节 定子橡胶检测.....	(111)
第四节 抽油杆检测.....	(115)
第五节 电控箱检测.....	(117)
第四章 其他螺杆泵采油技术	(121)
第一节 空心转子螺杆泵采油技术.....	(121)
第二节 无油管螺杆泵采油技术.....	(124)
第三节 等壁厚定子螺杆泵采油技术.....	(127)
第四节 金属定子螺杆泵.....	(128)
第五节 双螺纹螺杆泵.....	(130)
第六节 潜油螺杆泵.....	(131)

第一章 螺杆泵采油系统的组成与原理

第一节 螺杆泵的工作原理和结构组成

1. 什么叫螺杆泵？螺杆泵的英文名称是什么？

答：螺杆泵又叫渐进容积式泵，由定子和转子组成，两者的螺旋状过盈配合形成连续密封的腔体，通过转子的旋转运动实现对介质的传输。英文中有 3 种表达方式，即：

1) Progressing Cavity Pump 或 Progressive Cavity Pump，渐进容积式泵；

2) Moryno Pump，莫尔泵；

3) Screw Pump，螺杆泵。

2. 螺杆泵是由谁发明的？

答：螺杆泵是法国人 René Moineau 于 20 世纪 20 年代末发明的。因此，螺杆泵也称为莫尔泵（译音）。

3. 除了人工举升以外，螺杆泵还在那些领域得到应用？

答：螺杆泵在化工、煤炭、烟草、水利、污水处理、食品、钻井等领域都有广泛的应用。

4. 螺杆泵用于石油行业最早是在什么时候？由哪个公司最早采用于人工举升领域？我国是什么时候开始引进螺杆泵采油系统？

答：螺杆泵在 20 世纪 50 年代开始应用于钻井。20 世纪 80 年代由美国的 Robbins & Myers 公司开始应用于人工举升领域。大庆油田于 1986 年从美国引进了 3 台螺杆泵，并在采油三厂开展了现场试验。

5. 螺杆泵采油系统由哪几部分组成？

答：可分为地面和井下两大部分。地面部分包括：驱动头和

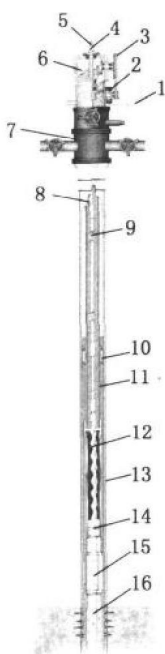


图 1-1-1 螺杆泵采油示意图

1—电控箱；2—电机；3—皮带；4—方卡子；5—光杆；6—减速箱；7—专用井口；8—抽油杆；9—抽油杆扶正器；10—油管扶正器；11—油管；12—螺杆泵；13—套管；14—定位销；15—防脱装置；16—筛管

控制柜。井下部分包括：井下泵、抽油杆、油管、配套工具（如锚定装置、扶正器）等。见图 1-1-1。

6. 目前现场应用的螺杆泵采油系统有哪几种？

答：根据不同的分类标准可以将螺杆泵采油系统分为不同的类型。

按驱动装置的位置不同，螺杆泵可分为地面驱动螺杆泵和井下驱动螺杆泵（即潜油螺杆泵）两大类。

根据传动形式不同，地面驱动螺杆泵又可分为皮带传动和直接传动两种型式。

根据使用的原动机（即发动机）的不同，地面驱动螺杆泵还可分为电动机驱动，液力驱动，柴油机驱动，气动驱动等方式。

潜油螺杆泵按照驱动方式又可分为电机驱动和液压驱动两种。

另外，也可根据井下泵的类型进行分类。

如按定子与转子的头数比，螺杆泵可分为单头螺杆泵（简称单头泵）和多头螺杆泵（简称多头泵）两种。按照定子、转子的结构和材料的不同又可分为空心转子螺杆泵，等壁厚螺杆泵，金属定子螺杆泵和双螺纹螺杆泵等。

目前国际上现场应用较多的是地面驱动螺杆泵，国内各大油田大多采用地面电机驱动的单螺杆泵。本书主要介绍地面驱动单螺杆泵采油系统。

7. 井下单螺杆泵由哪几部分组成？

答：井下单螺杆泵由定子和转子组成，见图 1-1-2。定子

由钢制外套和橡胶衬套组成，转子由合金钢的棒料经过精车、镀铬并抛光加工而成。转子有实心转子和实心转子两种。

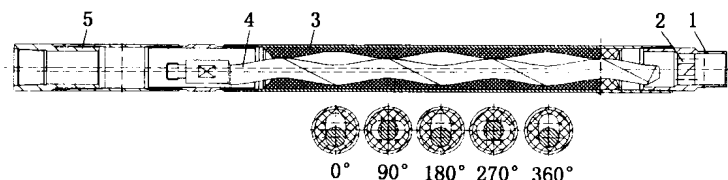


图 1-1-2 螺杆泵构成

1—下接头；2—限位销；3—定子；4—转子；5—上接头

螺杆泵定子是用丁腈橡胶衬套浇铸粘接在钢体外套内而形成的。定子内表面呈双螺旋曲面，与转子外表面相配合。

8. 螺杆泵有哪些结构参数？分别是如何定义的？

答：螺杆泵的结构参数包括：转子偏心距、转子小径、转子大径、定子小径、定子大径、定子导程、转子导程、定转子过盈等，见图 1-1-3、图 1-1-4。分别定义如下：

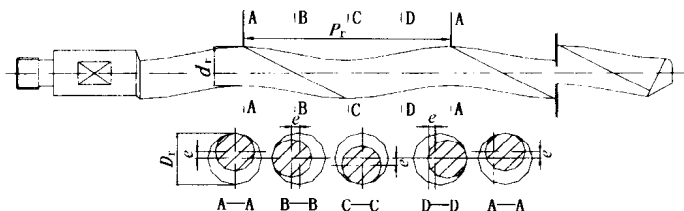


图 1-1-3 转子

转子偏心距——转子的横截面的几何中心到转子轴线的距离称为转子的偏心距，用符号 e 表示。

转子小径——转子的横界面的直径称为转子小径，也称转子的公称直径，用符号 d_r 表示。

转子大径——转子在轴线方向上的投影是一个直径为 D_r 的圆，直径 D_r 称为转子大径。

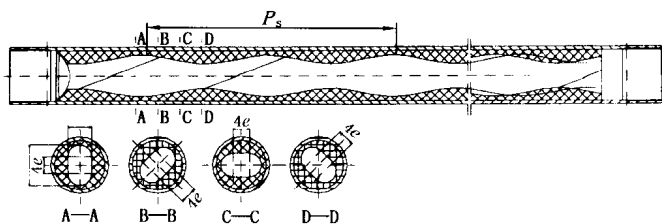


图 1-1-4 定子

定子小径——与定子内凸起相切圆周的直径称为定子小径，用符号 d_s 表示。

定子大径——与定子外凸起相切圆周的直径称为定子大径，用符号 D_s 表示。

定子导程——定子螺旋线凸起的脊部转过 360° 在轴线方向走过的距离，用符号 P_s 表示。

转子导程——转子螺旋线凸起的脊部转过 360° 在轴线方向走过的距离，用符号 P_r 表示。

定转子过盈——定子、转子之间的径向配合，用符号 δ 表示。

9. 螺杆泵是如何工作的？

答：如图 1-1-5 所示，螺杆泵在工作时，沿着泵体在定子衬套双螺旋面与转子单螺旋面间形成多个密封腔室，随着转子的转动，密封腔由吸入端沿轴向朝排出端推移，直至消失。随着密封腔室的不断形成、推移和消失，介质在吸入端与排出端之间压差的作用下被吸入，并被推挤到排出端，压力不断升高，流量均匀，在推移过程中，实现机械能和液体动能的相互转化。

10. 螺杆泵的规格型号是如何规定的？举例说明。

答：螺杆泵表示方法及符号意义如下。

例如 KGLB500-14 为空心转子螺杆泵，每转排量 500mL，级数 14；又如 GLB(2:3)120-27 为多头螺杆泵，定子、转子头数比为 2:3，每转排量 120mL，级数 27。

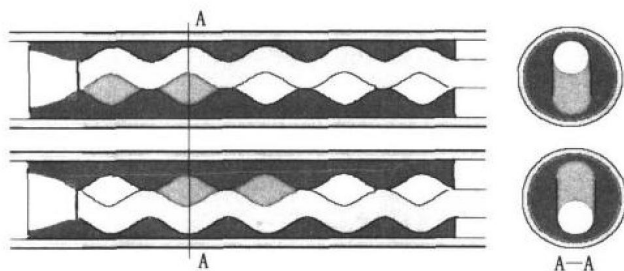
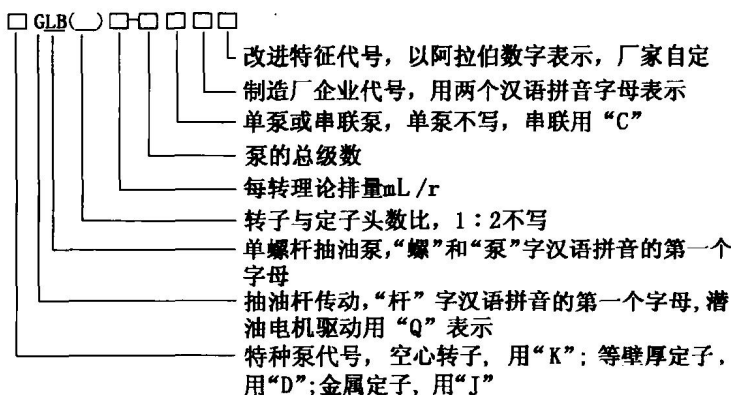


图 1-1-5 螺杆泵密封腔室输送液体示意图

11. 为什么加工螺杆泵时对定子、转子表面的光洁度要求很高?

答: 定子、转子表面加工的光洁度很高, 目的主要有:

- 1) 减少定子、转子间摩擦阻力, 从而降低橡胶磨损, 减少功率损失, 同时延长泵的使用寿命;
- 2) 保证定子、转子过盈配合适中, 使得密封良好, 减少漏失量, 从而保证较高的泵效。

12. 定子、转子的直线度对泵性能有何影响?

答: 定子、转子的直线度对螺杆泵的使用效果和寿命有直接影响。当定子、转子直线度不合格时, 泵工作时定子、转子之间的过盈配合不一致, 在直线度不好的部分, 定子、转子受力不均匀, 定子橡胶严重变形, 从而增大定子、转子摩擦扭矩, 使得直

线度不好的部分定子橡胶磨损加剧，降低了泵的整体使用寿命。定子、转子直线度不好的具体表现为泵的扭矩偏大，并有波动，运转振动加剧，泵密封性能变差。

13. 螺杆泵的理论排量如何计算？泵效如何计算？

答：在螺杆泵的设计制造时，是根据螺杆泵的结构参数计算，公式如下：

$$Q = 5760eDTn$$

式中 Q ——螺杆泵理论排量， m^3/d ；

e ——转子偏心距， m ；

D ——转子直径， m ；

T ——定子导程， m ；

n ——转子转速， r/min 。

现场中，根据选用泵的型号可计算出理论排量，公式如下：

$$Q = 1440qn$$

式中 Q ——螺杆泵理论排量， m^3/d ；

q ——螺杆泵每转排量， mL/r ；

n ——转子转速， r/min 。

泵效计算公式：

$$\eta = Q'/Q \times 100\%$$

式中 η ——泵效，%；

Q' ——螺杆泵实际排量， m^3/d ；

Q ——螺杆泵理论量排量， m^3/d 。

14. 螺杆泵定子衬套一般采用什么材料制造？请简述各种材料的特点。

答：螺杆泵定子衬套通常采用耐油的丁腈橡胶，根据不同的要求，设计不同的橡胶配方。目前常用的丁腈橡胶的配方主要有三种，如表 1-1-1 所示。

15. 螺杆泵采油系统和其他人工举升方式相比，有哪些优点？

答：螺杆泵与其他采油方式相比，具有以下优点：

表 1-1-1 常用的丁腈橡胶的配方

中高丙烯腈 (ACN) 丁腈橡胶	具有较好的耐油性, 可用于原油比重大于 0.887 的条件, 还可用于高含水条件, 具有较好的耐磨性和机械性能。适应温度最高 93.3℃, 适应含 CO ₂ 的流体
过高丙烯腈 (ACN) 丁腈橡胶	具有非常好的耐油溶性, 可用在原油比重 0.887~0.835 的条件下使用; 它的机械性能、耐磨性能很好, 耐温可达 107℃
高饱和丁腈 (HSN) 超高丙烯腈橡胶	具有非常高的丙烯腈含量, 同过高丙烯腈相比, 耐芳香烃的溶胀性较差, 但机械性能、耐磨性最好。耐温可达 135℃, 耐硫化氢和硫化铁性能也较好

1) 一次性投资少。与电动潜油泵、水力活塞泵和游梁式(链条式)抽油机相比, 螺杆泵的结构简单, 一次性投资最低。

2) 泵效高, 节能效果好, 维护费用低。由于螺杆泵工作时负载稳定, 机械损失小, 泵效可达 90%, 是现有机械采油设备中能耗最小、效率最高的机种之一。

3) 占地面积小。螺杆泵的地面装置简单, 安装方便。

4) 适合稠油开采。一般说来, 螺杆泵适合于粘度为 8000mPa·s 以下的原油开采, 因此多数稠油井都可应用。

5) 适应高含砂井。理论上, 螺杆泵可输送含砂量达 80% 的砂浆, 在原油中含砂量达 40% 的情况下也可正常生产(砂埋情况除外)。

6) 适应高含气井。螺杆泵不会发生气锁, 因此较适合于油气混输, 但井下泵入口的游离气会影响容积效率。

7) 适合于海上油田丛式井组和水平井。螺杆泵可下在斜直井段, 而且设备占地面积小, 因此适合于海上采油。

16. 地面驱动螺杆泵的结构和有杆泵抽油系统(如游梁式抽油机)相比有哪些异同点?

答: 1) 相同点:

(1) 两者的基本结构相似。都是由地面驱动装置、抽油杆、油管 and 井下泵等部分组成。

(2) 两者都是通过抽油杆将动力传递给井下泵, 通过油管将

采出液举升到地面。

2) 不同点:

(1) 螺杆泵的地面装置大大简化, 减速箱直接和光杆相连, 驱动杆柱旋转; 而抽油机是通过减速箱和四连杆机构将动力传递给光杆, 地面设备庞大复杂, 能量损失大。

(2) 螺杆泵井一般都安装井下锚定装置和防反转装置, 抽油机井油管一般不锚定, 也不需使用防反转装置。

(3) 螺杆泵井一般都必须安装抽油杆扶正器, 防止磨油管; 抽油机井一般只在定向井、水平井等特殊井况中安装抽油杆扶正器。

17. 为什么说螺杆泵是一种经济节能的机采方式?

答: 1) 螺杆泵节能方面有以下特点:

(1) 容积效率高。

与有杆泵相比, 螺杆泵的结构简单, 没有阀件, 运动部件少, 运行平稳, 采出液流量稳定, 因此, 容积效率高。

(2) 地面设备能量损失少。

与抽油机相比, 螺杆泵的地面设备简单, 降低了电机载荷, 因此, 地面设备的能量损失少。

(3) 机械损失少。

与有杆泵抽油相比, 螺杆泵运行时负载稳定, 没有惯性载荷, 因此减少了机械损失。因此, 螺杆泵是一种节能的机采方式。

2) 螺杆泵在经济方面有以下特点:

(1) 一次性投入费用低。

螺杆泵的地面设备简单, 成本低, 电机功率小, 一次性投入大大低于抽油机和电潜泵。

(2) 日常运行费用低。

由于螺杆泵的系统效率高, 电机装机功率大大低于抽油机, 因此, 系统的耗电少, 运行费用低。

(3) 日常维护费用低。

螺杆泵系统的地面设备简单, 维护的工作量和费用大大低于其他机采方式。因此说, 螺杆泵是一种经济节能的机采方式。

18. 为什么说螺杆泵是一种环保的举升方式？

答：这是因为螺杆泵的以下特点决定的：

1) 占地面积小。

螺杆泵的地面设备简单、体积小，对环境的视觉影响不大，适合在生活区和农田等环境中使用。

2) 运行噪音低。

螺杆泵运行时的噪音比抽油机等机械采油方式低，对环境影响小。

3) 井口泄漏少。

由于采用了机械密封和油杯式密封结构，目前螺杆泵的井口泄漏问题基本得到解决。

19. 螺杆泵在采油中的使用主要受哪些条件限制？

答：螺杆泵在应用中主要受以下方面的限制：

1) 排量范围：目前螺杆泵的最大排量一般低于 $400\text{m}^3/\text{d}$ 。虽然目前正在寻找提高螺杆泵排量的途径，但暂时还没有彻底的解决办法。

2) 扬程范围：螺杆泵的扬程主要受杆柱强度的限制，因为螺杆泵的杆柱同时承受拉力和扭矩，因此，杆柱的抗扭强度比抽油机要求更高，抗拉强度和抽油机相同甚至稍低。另外，泵的加工工艺也限制了螺杆泵的扬程。由于加工长度的限制，螺杆泵的定子和转子无法无限制地加长。

3) 工作温度范围：螺杆泵的工作温度主要受定子橡胶的耐温性影响。

4) 应用条件的灵活性。

(1) 原油物性的影响：不同的橡胶配方对不同的原油物性适应性也不同。这主要是原油中烃的组分对橡胶性能的影响不同造成的。

(2) H_2S 的影响： H_2S 含量高会使得橡胶变硬、变脆，降低定子的使用寿命。

(3) 措施中的化学药剂的影响：在采用的增产措施中使用的

化学药剂对定子橡胶也会有影响。因此，在采用化学措施时，应先了解定子橡胶对药剂的适应性，是否会产生溶胀的趋势。

5) 管理经验的限制：由于螺杆泵在采油工艺中应用的时间较短，无论是用户还是生产厂家都不能保证具有足够的管理经验。许多工作需要在实践中进一步总结和摸索，这也是限制螺杆泵应用的一条重要因素。

6) 产品回收利用价值的限制：虽然螺杆泵的一次性投资少，但是由于定子材料采用的是不可回收的橡胶，因此，随着检泵次数的增加，运行成本增加的幅度会很大。

20. 提高螺杆泵排量范围的途径有哪些？目前存在什么问题？

答：提高螺杆泵排量范围的途径有以下几个方面：

1) 扩大转速范围。

扩大排量范围最直接的方法就是提高转速范围的上限。但会增加杆柱的载荷，杆柱的受力状况恶劣，同时也会加剧定子、转子的磨损和杆柱对油管的磨损；另外，防反转装置的性能指标也需进一步提高，因此提高转速受杆柱的强度、定子、转子的耐磨性能以及油管防磨技术的限制。

2) 提高结构参数（如增大转子偏心距、定子导程等）。

根据螺杆泵理论排量计算公式，增大转子偏心距能够提高排量。但是，增大偏心距会增大转子截面直径，泵径需要增加，但井下的空间是有限的，靠提高偏心距来增加泵排量的幅度是有限的；而且，增大转子偏心距会增大定子、转子和抽油杆的工作扭矩。

3) 增加泵的头数。

多头泵能在不增加转子截面积的前提下提高泵排量，这是提高螺杆泵排量的一条有效途径，但提高的幅度也是有一定限制的。

4) 使用电潜螺杆泵。

电潜螺杆泵与电动潜油泵结构相似，其优点是由于可以大幅度提高转速，因此排量可达到很高，还减少了抽油杆柱。但是，当前定子橡胶的疲劳温升和耐磨性能，限制了转速的提高幅度；另