

电潜泵系统原理及使用维护

左延祺
吴九辅 编著

石油工业出版社

序 言

电潜泵(ESP)采油是现今油田非常有生命力的人工举升方法。电潜泵以其扬程高,排量大,效率高,上产量快,甚至对于一些水淹气井也可发挥作用,与其它一些采油方法相比,较为经济,有较宽的工作深度,及较广泛的容积范围。

电潜泵完成人工举升,除电潜泵本身外,还有控制设备及电缆等,其组成就是相当复杂的技术系统。而油井,井特性又是它的工作对象和环境条件。如何发挥其举升作用,应将其看成一个整体,作为一个系统来考虑,也就是本书所论述的电潜泵系统。这也是本书的观点。

电潜泵采油,提高电潜泵系统的运转率,延长井下工作时间减少提升次数,使其处于优化状态,有着巨大的经济效益,节能作用,并可作到保护油井,科学开采。充分利用资源,都具有现实和长远意义。

目前我国很多油田都在或正在使用电潜泵采油,我国引进并已系列生产电潜泵,至于指导性的书籍与资料相当缺乏,作者想以此著弥补之。

全书从系统的观点出发,分成五大章,第一章讲述电潜泵系统构成、构造、原理。第二章讲述安装与使用;第三章讲述电潜泵与油井特性的匹配与优化;第四章讲述电潜泵的保护与维修;第五章介绍世界各国,特别是有一些长期使用电潜泵的国家经验。

本书适宜油田从事采油的技术人员、设计人员、采油工作人员、电潜泵制造维护人员使用，也可作为相应专业大专院校师生参考书，供水人员的参考书。

由于电潜泵系统是一个综合交叉性的科技成果，它涉及电机、机泵、电气、自动控制、微机、地质、采油等众多技术学科，而且发展变化很大，特别是变频调速，井下检测技术，优化设计等，应用了很多种高新科学技术，当然深入掌握是有一定难度，若从系统上去掌握它会更容易些。

在此书形成中得到大港油田宫文欣副总，大港采油三厂、谢良遵、常斌二总工，罗文高工，大港采油三厂电潜泵大队长张克常高工，计量大队长宋永泰工程师等大力支持和帮助，在此深表感谢。对西安石油学院领导、专家的指导和关怀也在此一并致谢。

由于时间紧迫，加上专业水平的限制，会有很多谬误之处，敬请读者指正。

作者于西安

1997. 1

目 录

第一章 电潜泵及其系统	(1)
§ 1.1 电潜泵系统工作原理	(1)
一、泵	(1)
二、马达	(5)
三、密封段	(5)
四、电潜泵电缆	(6)
五、气体分离器	(6)
六、马达控制器	(7)
七、变压器	(9)
§ 1.2 电潜泵基本特性	(9)
一、泵机机械设计	(11)
二、泵级数	(12)
三、工作转数	(13)
四、流体特性	(14)
五、泵的选择	(17)
六、改变已安装泵的工作特性	(20)
七、地面压力	(21)
八、改变泵速	(22)
九、处于周期(间歇)生产的泵	(23)
§ 1.3 电潜泵系统的工作范围和极限	(26)
一、游离气的影响	(26)
二、温度的影响	(27)
三、粘度的影响	(28)

四、关于乳状液	(29)
五、挂泵深度	(30)
六、砂和石蜡	(30)
§ 1.4 电潜泵采油的现状与发展	(31)
一、电缆展开式电潜泵 (CAPS)	(31)
二、新型电潜泵装置系统	(34)
第二章 电潜泵的安装与使用	(47)
§ 2.1 电潜泵的选择与应用	(47)
一、电潜泵系统构造组成	(47)
二、电潜泵系统典型应用	(50)
三、基本设备的选择	(59)
四、选泵计算实例	(63)
五、影响电潜泵特性的因素	(66)
§ 2.2 电潜泵与旋转式气体分离器的最佳组合	(74)
§ 2.3 变速电潜泵在油气田开发中的应用与 设计方法	(76)
一、变速电潜泵机组的主要特点	(76)
二、VSSP 机组的下泵设计实例	(77)
三、井的 VSSP 机组运转设计	(79)
§ 2.4 电潜泵系统的安装	(86)
一、运输和装卸	(86)
二、准备工作	(89)
三、下入	(90)
四、运行	(92)
五、寻找故障	(94)
§ 2.5 电潜泵旁通装置	(94)

§ 2.6 采用装气锚的电潜泵	(96)
§ 2.7 带固定式深井压力 温度计的电潜泵	(100)
§ 2.8 单相电驱动电潜泵用于采油	(105)
§ 2.9 应用变速控制器的电潜泵	(108)
一、工作原理	(109)
二、设计细则	(113)
三、变速控制系统的选择	(118)
§ 2.10 水平井中的电潜泵	(119)
一、概述	(119)
二、用电潜泵生产的水平井	(123)
三、专用电潜泵设备	(128)
四、水平作业	(128)
§ 2.11 电潜泵的软起动	(135)
第三章 电潜泵与油井特性的匹配与优化	(145)
§ 3.1 电潜泵与油井特性的匹配	(145)
一、概述	(145)
二、设计方法	(147)
三、设计应用	(156)
§ 3.2 电潜泵抽油井的计算机模拟与优化	(161)
一、泵的设计	(162)
二、系统节点分析	(166)
三、结果分析	(173)
第四章 电潜泵的保护与维修	(176)
§ 4.1 电潜泵系统的保护	(176)
一、控制器及保护作用	(176)
二、维护停车, 操作与管理分级	(184)

§ 4.2 电潜泵的重要保护措施——清洗和测试	(185)
一、电潜泵清洗和测试	(185)
二、测量内容及方法	(200)
§ 4.3 振动对电潜泵的损害	(202)
一、保护器	(202)
二、失效与原因	(203)
三、泵的故障分析	(205)
四、振动	(206)
§ 4.4 电潜泵的磨损	(212)
一、径向磨损	(212)
二、下推力磨损	(215)
三、侵蚀磨损	(215)
四、减少磨损	(215)
第五章 各国使用电潜泵的情况与经验	(219)
§ 5.1 东 Wilmington 油田使用电潜泵 17 年的 情况回顾	(219)
一、电缆护套及尾接系统	(219)
二、控制设备元件电缆的改进	(221)
三、失效设备的分析	(223)
四、电潜泵在现场的操作程序及防护	(226)
§ 5.2 原苏联使用电潜泵的情况	(232)
§ 5.3 电潜泵井的测井经验	(235)
§ 5.4 欧洲北海蒙特罗斯油田使用电潜泵的经验	(238)
§ 5.5 印尼油田使用电潜泵的经验	(249)

第一章 电潜泵及其系统

§ 1.1 电潜泵系统工作原理

电潜泵 (ESP) 是现今油田非常有生命力的人工举升方法。在多数泵送条件下, 电潜泵系统设计和制造有显著的优点, 其应用的结果可以实现经济有效的举升。与游梁式抽油机比较, 现今的电潜泵系统具有较高的效率, 较低的每桶成本, 较宽的工作深度, 以及较广泛的容积范围。

电潜泵在油井中潜入工作。通常从生产油管吊挂在射孔层段的上面。井下部件有泵、马达、密封和电缆。还需有一个气体分离器; 井上部件有马达控制器或调速控制器、变压器和地面电缆 (图 1-1)。

该系统结构简单并且效率很高。基本上它是通过井下马达将电能转换成机械能。该机械能传到泵所处的地方, 转换成液压能。该液压能通过管道把流体压到地面。现对每个部件作简单地说明。

一、泵

离心泵由许多级泵体组件组成 (图 1-2), 每一级由一个连接到驱动轴的叶轮和一个入口口联合扩压器组成, 该扩压器把液流从一级引导到下一级 (图 1-3), 级数和其尺寸由所

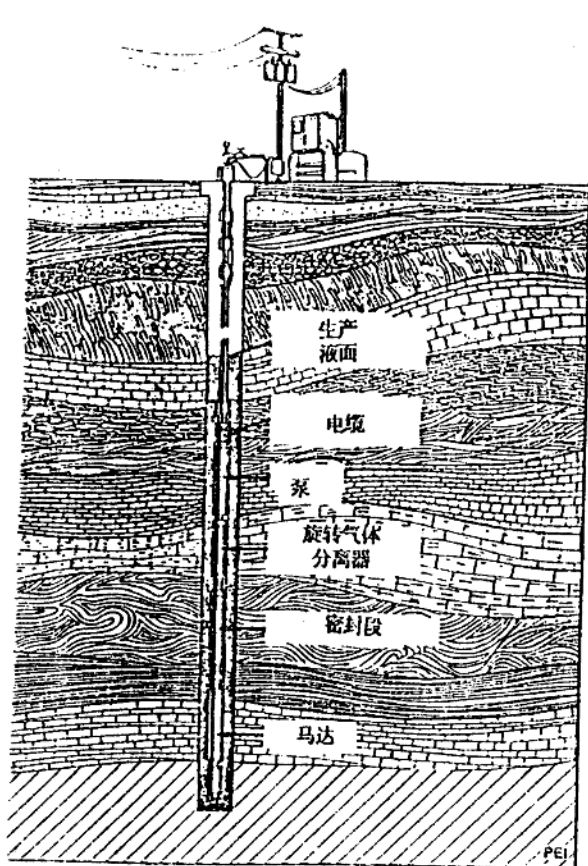


图 1-1 典型电潜泵系统安装图

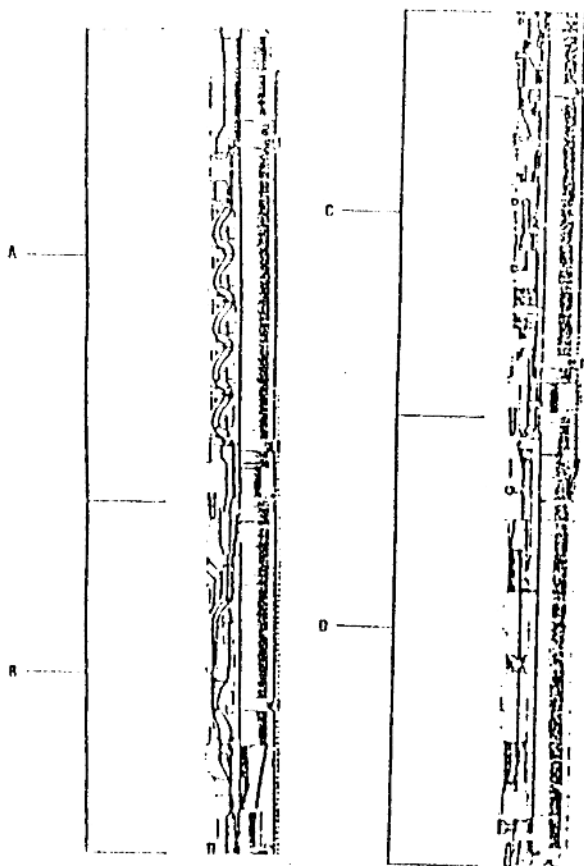


图 1-2 离心泵

A—段是电潜泵；B—段电潜泵马达；
C—段密封段；D—段旋转气体分离器

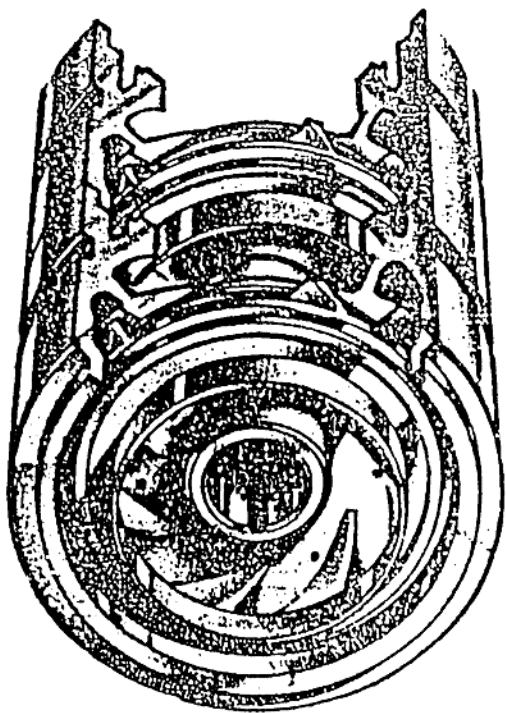


图 1-3 泵叶轮和扩压器

需举升高度和体积要求确定。

尺寸从不到 $3\frac{1}{2}$ in 到大于 10 in 之间变化。根据级数，一个单级泵体长度范围可从 40 in 到 344 in。在一些情况下，泵体可由两个、三个甚至四个连在一起，因此一个泵可以超过 75 ft (22.86 m) 长。

叶轮和扩压器通常是用耐蚀镍合金，一种专用耐腐蚀钢合金制成。正在研制用合成材料制造这些部件。

二、马达

任何泵系统都要有一个原动机。电潜泵壳体里的原动机是井底马达。它是三相鼠笼式感应电动机，功率变化从 10~750 hp, 60 Hz (或 50 Hz)，马达供电电压为 420~4200 V, 60 Hz (或 50 Hz)，(或 350 V~3500 V, 50 Hz)。马达直径为 3 $\frac{3}{4}$ in~7 $\frac{1}{4}$ in (图 1-2)。

该马达能在很长时间连续运转，在良好条件和温度下，发热量是通过吸入泵中的液流带走的。如果液流速度小于 1 ft/s, 就需要在马达上绕一个套管，使用套管时，液流在下方吸入以较高的速度流经马达，从而产生足够的热传导。

三、密封段

对于连续运转的马达也必须加以保护以防止井液损害马达的绝缘强度。该密封段就是实现该功能和其它功能的。它能调整井环状空间带和马达之间的压力。如果外部井压高于内部井压，液流将压入马达。

该密封段还考虑到高度绝缘马达油的膨胀问题。因为膨胀可导致马达升温。另外，密封段有一个止推轴承，使泵能释放施加泵轴径两端的压力。

如果井液污染了马达油，马达将发生故障。因此，该密封段通常做成几个隔室，这样就能逐级保护马达，如果前端的一个机械密封失效时 (图 1-2)，还有后面的隔室密封。

在许多有效的密封段设计中，最上面的隔室使用合成橡

胶隔板，它不仅起密封作用而且还可容纳膨胀和压缩的马达油。在这种结构中，如果合成橡胶隔板失效，第二和第三隔室来保护马达。

四、电潜泵电缆

供电系统的电流必须供给井底马达，才能驱动泵。因此，带电的电缆必须能在液流中潜水工作，液流也许是高温或高压的，而且电缆还能以最小的损失传递最大的电流。在一些井中，它必须能防腐。电缆绑在油管上，可以拼接。

电缆有圆形的和扁形的结构，以及不同缆芯尺寸规格。各种类型的铠装和绝缘层用以防护腐蚀液体和恶劣的环境条件。

电缆的选择主要根据液流的状况、井底温度和空间的限制。电缆的长度也是影响选择的条件。

五、气体分离器

许多油井产生大量的气体，它影响泵的循环，降低工作效率。为此在泵的吸入口，用增加沉没压力或安装一个气体分离器，在泵吸入以前排除游离气，就能减少离心泵吸入大量的游离气。

通用的气体分离器迅速地吸入井液并使其回流到液流中，游离气被分离，使液体进入泵的吸入口。这种方法的有效游离气率仅小于总体积的 10%。

更有效的方法是利用一个旋转气体分离器。在良好条件下，它能排除高达 90% 的游离气。乃至具有高的气油比。该旋转气体分离器由一个叶轮和一个邻接着离心分离器室的泵

级组成。该叶轮和泵级用来克服由分离器和排出口通道产生的液流阻力。该分离器隔室是一个密闭的旋转部件，象一个离心机。

较重的液体聚集在靠近外壁，而游离气集中在轴的四周表面。一个垮接的扩散器通道使较重的液体进入第一泵级而排出口使很轻的气体进入套管环孔（图 1-2）。

在地面上，电潜泵系统在井口收纳电缆、配有马达控制器或调速控制器、变压器和地面电缆（图 1-1）。这些部件除控制器都是通用件。

六、马达控制器

马达控制器主要有三个功能。第一，它装有电源开关，接通和切断电潜泵马达。第二，它显示马达过载、油井停泵、单相状态和不平衡电压。第三，它与辅助装置如压力开关、油罐液位指示器和遥控指令等一起完成起动和关车。标准的马达控制器美国用 60 Hz 运转，其它一些地区国家包括中国用 50 Hz。

控制器是根据电压、电流以及功率额定值进行选择。通用的机电和固态控制器见（图 1-4）。固态控制器连续监测马达的危险的过载电流、不平衡电流和油井停泵条件。数字逻辑线路具有较高的精度，能很好地实现控制，具有较好的可靠性能，减少维修量。

最近研制的马达控制器是可变速的调速控制器。传统的马达控制器电潜泵是一个固定速度、固定比率的泵。可变速调速控制器把电潜泵转化为可变速、可变比率的泵，即用改变频率的办法，从 30 Hz 到 90 Hz，甚至范围更大。由于每分钟转数的变化，提升液流体积也就变化。在较高的频率下，速

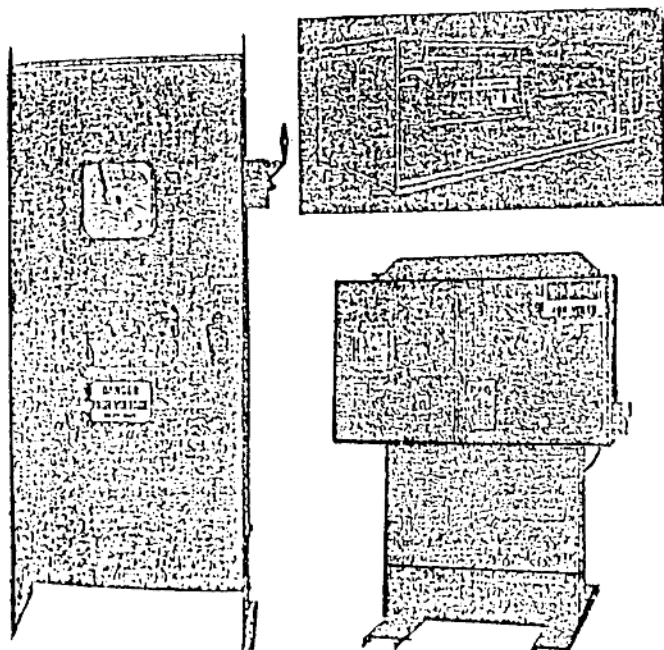


图 1-4 典型的控制器（左到右），

机电、固态和调速控制器

度较高，提升体积就大；在较低的频率下，提升体积就较小。

变频调速控制器研制成功对这些井特别有价值，即在体积、压力、GOR 和含水量变化的井，以及对不确切知道生产率的井。应用变频调速控制器，使操作者在生产上能很好地适应变化的状况。

变频高速控制器比以前还扩展了电潜泵较低和较高产能

的工作范围。另外，它提供一系列改善电潜泵性能的特点。

七、变压器

变压器把配给电压值改变到电潜泵系统所需的电压值。主要根据电源系统和地面电压和电流进行选择。地面电压由马达额定电压及井底电缆中的电压损失而定。

需要一排三个单向变压器或一台三相变压器来供给所需电压。如果使用变频调速控制器，在控制器和电潜泵部件之间需要一个附加变压器。

所以，电潜泵比仅仅一台泵造价更高。它需要一系列相匹配的部件，每种部件提供一种基本功能。最终目的是为了使任何状况的油井实现真正有效的人工举升。

§ 1.2 电潜泵基本特性

在电潜泵的应用中，对泵的要求是由两个变量确定，原油入井流动特性及沿油管 and 地面设备的流动特性。为了确定泵在所受负荷下的特性曲线，必须考虑以下四项主要特性参数：单级设计、级数、工作转速和所泵液体的特性。熟悉这些因素对于选择泵组并使之在最佳效率下工作是十分重要的，而且还将有助于在油井条件变化时评选其它替代泵。

为了了解对泵组所提出的要求，使用电潜泵系统的图示方法，对泵的负载进行直观表达更会使人明了。

泵组工作在两条曲线之间，即原油入井流动特性曲线及沿油管和地面设备的流动特性曲线之间（图 1-5）。

原油入井流动特性用一条以产量为 x 轴，井底压力为 y

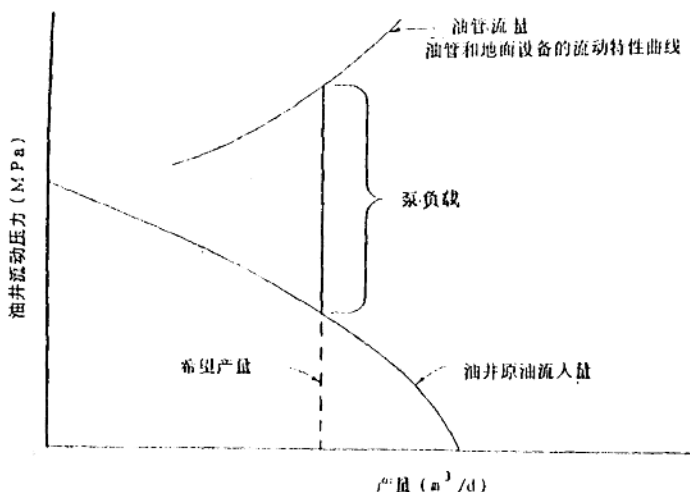


图 1-5 泵的负载

轴的曲线表达。该曲线表示产量随井底压力的变化而增减的情况。在把斜率定义为采油指数的情况下，该曲线可以简化为一条直线。或者，根据油井的实际试井数据得出的一条曲线，也可以采用 Vogel 所提出的那种表达方式。

沿油管 and 地面设备的流动特性曲线表示使液体流出油管并通过地面设备所需的压力。这一曲线可以由地面要求的条件与油管内的举升和摩擦损失诸因素综合而绘出，也可以与一个垂向流相关曲线相综合而绘出。

如果以上这两条曲线恰好在所希望的产量上相交，则油井将在此产量下自喷，而不需要使用抽油泵；反之，这两条曲线之间的差值即为泵的负载。