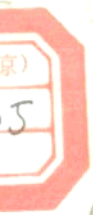


# 抽油井自动 控制和诊断

[苏]T. M. 阿里也夫

A. A. 捷尔-哈恰杜洛夫

著



石油工业出版社

登录号	· 087419
分类号	TE355.5
种次号	006

# 抽油井自动控制和诊断

[苏] T.M.阿里也夫 著  
A.A.捷尔-哈恰杜洛夫

车而中 吴士华 王显辉 译 傅鑫生 汉泽西 校



200470720

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书较系统地介绍了前苏联有杆泵抽油系统的自动控制和诊断技术，列举了成套井下诊断设备的结构和功能，讲述了判断深井泵各种故障的自动、半自动方法和抽油机井的自动保护装置和小产量井同抽的自动控制装置。书中以较大的篇幅阐述了如何用微机诊断有杆泵抽油系统的工况和效率，同时介绍了计算机软件处理测试结果以及电算技术的应用等。

本书适用于从事抽油机井的安装、调试、操作、维修及自动化管理和研究的工程技术人员学习参考。

Т.М.АЛИЕВ А.А.ТЕР-ХАЧАТУРОВ  
АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ  
И ДИАГНОСТИКА  
СКВАЖИННЫХ ШТАНГОВЫХ  
НАСОСНЫХ УСТАНОВОК  
МОСКВА "НЕДРА" 1988

抽油井自动控制和诊断

[苏] Т.М.阿里也夫 著  
А.А.捷尔-哈恰杜洛夫

牟而中 吴士华 王显辉 译 傅鑫生 汉泽西 校

石油工业出版社出版

(北京安定门内永安里一区一号楼)

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

787×1092 毫米 32 开本  $9\frac{1}{8}$  印张 201 千字 印 1-3,000

1993 年 11 月北京第 1 版 1993 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0912-9 / TE · 851

定价：8.00 元

# 目 录

1. 深井泵采油过程的自动监测 .....	( 1 )
1.1. 监测自动化问题的现状 .....	( 1 )
1.2. 自动监测和诊断系统的构成 .....	( 12 )
1.3. 深井泵装置自动高效诊断系统的函数算法 .....	( 15 )
2. 深井泵状况自动监测系统 .....	( 19 )
2.1. 遥测动力仪监控系统 .....	( 19 )
2.2. 功率监测系统 .....	( 40 )
3. 示功图自动诊断的仪器设备 .....	( 50 )
3.1. 无需预先存储信息的故障判断装置 .....	( 50 )
3.2. 根据统计-判定方法的模拟自动装置 .....	( 51 )
3.3. 根据离散信息判断深井泵设备状况的方法和仪器 .....	( 55 )
3.4. 设备工作选择诊断装置 .....	( 77 )
4. 利用电子计算机根据示功图对深井泵 设备进行技术诊断的方法 .....	( 86 )
4.1. 半自动鉴别故障方法 .....	( 86 )
4.2. 统计-判定故障确定方法 .....	( 89 )
4.3. 自动确定故障的方法 .....	( 91 )
5. 按差分曲线进行设备故障有效诊断的方法和算法 .....	( 95 )
5.1. 按示功图诊断故障的差分曲线法 .....	( 95 )
5.2. 按示功图差分曲线诊断设备算法 .....	( 98 )
5.3. 按功率图差分曲线诊断设备的算法 .....	( 110 )
5.4. 按功率图二分诊断设备算法 .....	( 113 )

<b>6. 用差分曲线法操作诊断的微处理装置</b> .....	(120)
6.1. 微处理装置结构 .....	(120)
6.2. 微处理装置输入模块 .....	(124)
6.3. 诊断信息显示装置 .....	(130)
<b>7. 按差分曲线有效诊断的微处理装置软件</b> .....	(135)
7.1. 按示功图诊断程序 .....	(135)
7.2. 功率图分析的诊断程序 .....	(162)
<b>8. 诊断微处理装置的矿场条件下试验</b> .....	(166)
8.1. 微处理装置试验方法 .....	(166)
8.2. 微处理装置试验结果 .....	(170)
8.3. 微处理装置输入模块的完善 .....	(180)
<b>9. 井下泵设备有效诊断系统单元工程设计法</b> .....	(189)
9.1. 泵装置操作诊断系统的电功率变化测量 .....	(189)
9.2. 测量信号的模拟-数字转换 .....	(191)
9.3. 动力仪测量传感器信号的数字处理 .....	(206)
<b>10. 井下泵设备控制和诊断的工业装置</b> .....	(217)
10.1. 控制装置的结构和技术特性 .....	(217)
10.2. 控制装置的工作原理和特点 .....	(219)
<b>11. 研制泵设备技术诊断硬件的新方向</b> .....	(234)
11.1. 技术诊断算法的完善 .....	(234)
11.2. 微处理机技术诊断系统的对话方式 .....	(253)
11.3. 对话系统中示功图的自动表示 .....	(254)
11.4. 按柱塞示功图诊断泵设备状态 .....	(266)
11.5. 按诊断信息自动控制低产抽油井 .....	(278)
<b>参考文献</b> .....	(285)

# 1. 深井泵采油 过程的自动监测

## 1.1. 监测自动化问题的现状

根据产液量大小和示功图（包括遥测示功图）监测深井泵技术状况的工作，目前已在石油管理局基层队进行。一旦出现故障情况，有关资料会被送到采油工程工艺服务中心。

采油工程工艺服务中心根据这些资料安排处理故障施工任务和抽油井小修、大修队编制作业流程图表（图 1.1）。根据监测（计产和测示功图）结果，在采油厂总调度中心标示出需要检修的井号。有关这些油井的资料被送到石油管理局的工程工艺中心进行处理，并根据处理结果编写修井申请书，或者在出现疑问时要求重新测示功图。根据这些资料，并考虑故障停产井修井申请书，编制作业井施工图表和修井通知书。油井统计资料、更换件预计需要量报送生产联合公司，材料申请单和统计资料成果送到生产联合公司的综合测量计算中心。

图 1.2 示出了采油厂抽油井监测和控制流程，这些井是用遥控系统和计算机装备起来的。

由一次仪表（传感器）形成的各种信号通过监测点上的设备或遥控系统的远程单元进入传输线，由控制台和信息处理机接收和处理，并输出到外部设备，同时将信息记录在采油厂总调度室内。其后，那些与经济、计划和统计有关的信息被送到石油管理局工程工艺服务中心。

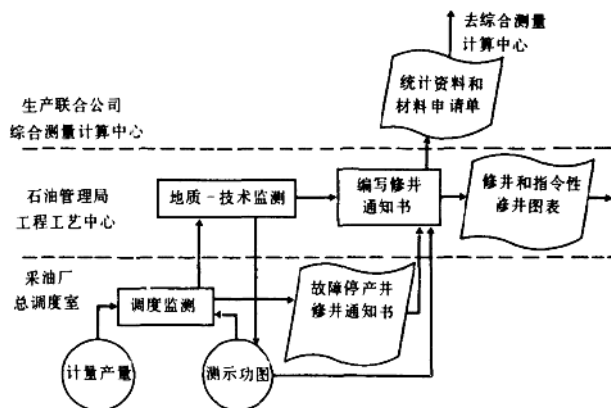


图 1.1 用于确定修井作业任务的  
资料采集和处理流程图

起调整作用的指令性信号进入工艺目标，构成了主要在采油厂总调度室，或有时在工程工艺服务中心一级的任务。对目标指令信号的传输沿执行机构的电路进行，根据传感器输出的信号，用局部控制装置对深井泵井进行局部控制。用电磁开关、带电触点式压力表和不同类型的控制盘，作为局部控制装置。

局部自动化系统保证了在紧急情况下抽油机的电动机的自动停机：当抽油杆或其接箍断脱时停机；短路或缺相时停机；组合测量装置发生故障时电动机在冲击下与带电触点式压力表断开；供电间断后抽油机逐台自动起动。

深井泵柱塞上方液柱产生的应力沿抽油杆柱向上传递，并通过光杆、平衡块、曲柄连杆机构、减速器和三角皮带传至抽油机的电动机。抽油杆悬点的应力状况包含着井下泵工作状态的信息且最逼真。因此，动力仪测试方法（测量和分析抽油杆悬点位移-应力曲线）是监测和诊断深井泵工作状况的通用方法。在原苏联，动力仪测试方法从40年代开始得到广泛应用。后来陆续发表了一些专门论述动力仪测试的理论和实际问题（其中包括示功图的处理和解释）的著作。在这些著作的

基础上，形成了直至目前仍在大多数矿场采用的示功图处理方法<sup>[1,22]</sup>。

后来，研究了与有杆深井泵构造发展、遥测示功图系统的产生、气液混合物组成对示功图形状的影响及用同一台泵同时分采两层等有关的各种示功图处理方法<sup>[11]</sup>。但是，这些研究对已采用的示功图处理方法未引起原则性改变，因为这些方法颇为复杂，难以定型，需要知道大量油井生产参数。

随着遥测示功图系统在矿场的出现，扩大了高效率监测

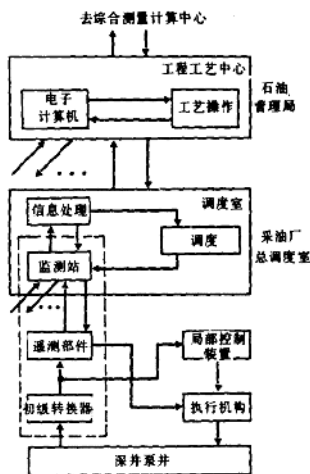


图 1.2 抽油井监测  
和信息控制系统



油井工作的可能性。第二代和第三代遥控设备 (TM-600, TM-620) 可以保证在监测站上获得 20km 范围以内油井的示功图。

监测计算遥控设备系统可以将示功图传送 60km 的距离。但是, {由于花费在遥测示功图分析工作上的时间多于其实测所用的时间, 限制了高效率监测的可能性} 另外, 人工目测分析示功图有主观性, 需要有一定的经验。

与遥测功图系统一起, 利用各种自动高效处理和解释功图方法, 可以全自动地监测下泵井的工作, 排除在判断泵设备状况时的主观性, 将工程工艺中心从手工处理示功图中解放出来, 减轻采油厂总调度室和工程工艺中心之间通信线路的负荷。在利用监测计算遥控系统, 包括有微机中央控制站或者上级监测站的情况下, 采用相应的计算法和程序, 可以压缩数据, 并减轻上级监测站与下级监测站之间通信线路的负荷, 这在脉冲编码传送情况下是很有现实意义的。

近十年来, 在自动处理示功图的方法和仪器方面进行了大量的研究工作<sup>(3, 9)</sup>。

利用示功图辅助特征 (应力传感信号频谱特征、傅立叶级数功图展开系数) 鉴定深井泵设备状况的方法不需要预先存储信息, 看来是最有前途的<sup>(2)</sup>。

已知一种试图将手工处理示功图的方法简化和定型的算法。在采用该方法时, 先确定七个特征点, 再按一定顺序对这些点的坐标作运算和逻辑处理, 便可得出关于深井泵工作状况的结论。

用这种计算方法处理示功图, 必须保存大量 (约 120 个) 单井参数, 并且要知道示功图准确的标度, 而且示功图应具有零线 (基准线)。特征点坐标用理论示功图 (理论

线)与实测示功图相重合来确定。此种处理方法原则上只适用于反映应变较小的示功图,从而使该方法的应用范围局限于浅井和冲次较小的井。

因此,上述计算方法由于需要大容量存储器和大量运算操作而不能实现快速诊断,故其应用范围是有限的。另外,该计算方法不能处理无零线和无标度的遥测示功图。

在进一步应用深井泵故障诊断系统方面,将计算的或在深井泵正常工作下得到的示功图作为标准,与测得的示功图作比较的方法是有价值的。但用计算示功图作为标准进行对比,这在使用上受到参数掌握不全的限制。

将所测示功图与修井后立即测试并储存于电子计算机中的实际正常工作示功图对比较为可靠,且易于实施。这种方法需要采集、储存和更新所有检修井的数据库(正常工作可作为标准的示功图)。

在这种方法基础上完善的示功图解释算法,可以限制要求用于储存数据库的计算机的存储容量。按照这种示功图计算方法,解释可以分为三个阶段:第一阶段,将示功图大致划分为四个基本区段,即承载段、卸载段、活塞上行段和下行段。分段的结果降低了必要的存储容量,因为不必储存示功图的数百个数值,只需储存12个数值(示功图4个区段中每一段的二次方程系数)就行了。此外,平滑示功图的各区段间差异,可以在保持必要特征的同时,使其误差减小。再次,以数学式表达示功图,简化了其处理程序。

处理的第二阶段是在对比平滑后的所测示功图和标准示功图基础上找出信息特征点,选择连接示功图拐角特征点的矢量投影作为基本特征。然后在分析近似曲线(卸载线弯曲方向、近似曲线形状、拉伸标准、压缩标准、闭合曲线相对

面积等)的基础上找出特征点。这种特征点共有 12 个,将它们以一定顺序储存在规定的单元内。

第三阶段,根据这些特征点确定故障类型,并且首先找出紧急故障。

上述方法的可靠性在很大程度上取决于特征点坐标确定的准确性,对于平行四边形示功图(即小应变示功图),颇为准确地确定这些坐标是可能的。此外,在动态示功图和平行四边形示功图情况下,对于同样故障,近似曲线的特征显然是不同的。

因此,不仅保存所有井标准示功图是必要的,而且保存各井每次故障示功图的全部特征也是必要的。

同时还有一种识别自动诊断深井泵样式的统计决策法。该方法借助于类似的自动装置实施,通过标度的线性变换将示功图记入沿应力轴走向的标准正方形中,选择位于正方形侧边上且在示功图承载线和卸载线上相应点之间的垂线长度,作为记录参数。

上述方法的特点在于,随时间展为级数的示功图函数组是在按经验抽样统计性质定义了某一质量标准后寻找出来的。统计决策法的缺点在于必须按每一组油井处理由经验抽样得到示功图,而且可辨识的示功图种类较少(总共四种)。

根据离散特征辨识深井泵设备故障的方法是利用示功图拐曲造成的特征点。同时应力传感器信号拐点数和应力传感器信号与冲程传感器信号拐点重合数,是深井泵状况基本类型的信息特征。冲程传感器信号拐点与光杆极限位置相对应。

在实施该方法时,借助于深井泵设备状况离散判断装置

作出假设：从一个特征点到另一个特征点，信号偏微商的符号是不变的。为了排除抽油杆和液柱振动的影响，将示功图预先平滑。如果抽油杆和液柱本身的振动频率在数量级上高于深井泵装置抽汲频率的话，则采用模拟滤波器将示功图形状不失真地预先展平是可能的。

该方法可应用于高效率诊断，因为不需要知道油井和深井泵的任何补充资料，包括示功图零线和标度数。但是它只能在应变较小的示功图情况下，才能保证较为可靠地确定泵设备状况。显然处理动态示功图需要完全不同的另一种方法。诊断在变化工作制度下工作的深井泵装置，需要建立和利用较完善的工作模型。这样可以将地面示功图转换为容易判明深井泵状况的井下（柱塞）示功图。

关于将抽油杆柱上的动载应力简化为按正弦曲线规律往复运动的课题首先由 J.C.列依宾宗提出并研究。其后，在 H.A.恰尔内的著作中探讨了该课题。该著作给出了用于在已知抽油杆悬点位移和应力情况下计算抽油杆任意截面位移和应力的公式，并且这些数值用谐波分析法，以傅立叶级数形式表达。

A.C.维尔诺夫斯基研究了确定作用在井下有杆泵活塞上的应力，以及根据一些仅是地面测量而不必展开相应函数为傅立叶级数的资料（它们能够以任何形式包括图表形式给定）求活塞位移和速度的方法。该方法可以同时获得沿抽油杆柱应力分布图，但是由于必须进行大量复杂的计算，该方法在自动化发展的最初几年未能获得实际应用。

A.C.维尔诺夫斯基和国外作者曾进行了深井泵装置电模型方面的研究，在这些模拟装置中利用了抽油杆柱振动过程与电路振荡之间的类比。前全苏石油科学研究院研制，并

成功地利用了可以模拟在任何条件下工作的深井泵装置工作制度的模拟计算机。但是，由于该模拟机使用较为复杂，对于监测工作和诊断深井泵故障的实际目标而言，该方法未得到应用。

莫斯科古勃金石油天然气学院为了研究抽油杆振动过程应用了Л.别尔热隆方法，并在其基础上提出了求井下数值的图解分析法。该方法得出了与用达朗倍尔-黎曼方法求解描述抽油杆运动微分方程组的A.C.维尔诺夫斯基法同样的结果。

随着电子计算机的问世和计算技术的发展，出现了根据地面测试资料运用解析方法求深井泵工作参数（包括柱塞示功图）的实际应用的可能性。在国外出版了一些用计算方法监测深井泵装置实际问题的专著。

目前国外研制了各种油矿服务系统，用于解决下述课题：

全矿采油和设备工作制度最优化；

设备故障检测；

近期油井状况预测；

修井和预检性施工最优化。

由管理人员录取的数据和从传感器及具体监测目标装置输入的资料，用作解决以上综合课题的原始资料。在解决这些课题的系统中，广泛应用了计算机技术。

技术性诊断是综合课题不可分离的部分，其重要性取决于：

减少正常井停产时间及故障设备井的工作时间；

根据分析和以往对油井技术状况的判断预测深井泵设备状况并预报深井泵设备故障的必要性<sup>(32)</sup>。

哈里伯顿公司已获专利权的油井状况技术诊断系统包括有管理井组的终端设备和中心计算机。终端设备采集必要的井组资料（总产液量、液流组成、产气量、温度和压力等），并将其传送给电子计算机，在此将获得的数据进行解释、处理并输出指令。

飞马石油公司的技术诊断系统包括抽油杆柱负载应力传感器、数据采集和从终端装置至电子计算机的电路系统。该系统具有中心处理设备和管理井组的野外计算机。野外计算机的配置应满足现场操作的需要。负载传感器在规定的瞬间检测，检测间隔取决于深井泵的工作周期。取得的资料进行实时处理与分析，其结果直接用于生产活动。为了判断深井泵的技术状况，需要对比在一个测量周期内抽油杆柱负载测量的连续数据。

纳勃拉公司研制的壳牌石油公司技术诊断装置，乃是安装在汽车上的微型计算机系统。

按照调度要求，将汽车开到井上，在那里进行示功图处理与分析。这一做法可以大大减少数据传输中产生的误差。显然该系统的顺利应用取决于油井道路状况。

该系统不仅能够用于诊断，而且可以用于使深井泵装置工作制度最优化、分析抽油杆柱应力分布、分析地面抽油机设备的工作质量以及判断深井泵设备最大可能的排量<sup>(32)</sup>。在解决诊断课题时，将地面示功图变换为井下示功图，然后根据柱塞示功图用肉眼判断深井泵设备的状况。

壳牌石油公司在有 700 多口深井泵井的地区应用了电子计算机采油控制系统。该系统可以监测深井泵设备的持续工作时间，自动测试油井工作制度，判断深井泵状况，处理和监测各种故障信号装置的工作。

每口井都装备了固定在光杆上的压力传感器和抽油机平衡块回转角传感器。每秒钟进行 12 次测量，取得的数据用电缆传输到矿场计算中心，用于绘制和复制光杆悬点示功图。计算机按照要求，根据地面示功图计算反映井底条件的柱塞示功图。分析示功图结果可以确定深井泵的充满程度，确定间抽工作制度下深井泵装置的停抽时间<sup>(33,34)</sup>。

以大量在所谓“动态”方式（地面示功图畸变用一般方法无法解释）下工作的井和装备有美国自动化采油系统计算技术装置的井下示功图计算方法，在国外（包括美国）实践中得到广泛应用。

前苏联在抽油机冲数通常为  $6 \sim 10 \text{min}^{-1}$  和平均下泵深度约 1000m 的情况下，很少遇到动态畸变的示功图。

在某些著作中，认为示功图装置传感器的检测周期为 6 ~ 16 小时是最合适的。在该检测周期情况下，将所有示功图传输到综合测量计算中心进行处理，会引起通信线路超载。所以，迫切的课题首先是研制经济上可以接受的采油厂总调度室级别的高效率诊断深井泵设备的专门装置。送往综合测量计算中心的仅限于在复杂条件下工作和大冲数深井泵装置的示功图，这些示功图转换为柱塞示功图后便可以解释。

但是为了按示功图诊断故障，必需将传感器安装在抽油机运动部件上。从这一观点出发，以抽油机电动机需要的电功率形式，引入有关深井泵设备工作的资料是可行的。在此情况下，可以取消把机械量转换为电信号的传感器，这对于尚未装备遥控机械系统的前苏联东部采油区尤其迫切。Л.Ф.库里科夫斯基和 В.О.克里契卡研究了根据功率图反映有关深井泵充满和排量系数、地面和井下深井泵设备效率等

数据的可能性。

应当指出，功率图反映了整个深井泵装置的状况，而不象示功图那样只反映其井下部分。所以功率图是深井泵局部故障防护装置原始资料的重要形式。

到目前为止，对根据功率图诊断深井泵故障可能性的研究和相应仪器的研制尚未进行。其中可能有两种方法：

一是由功率图折算的示功图进行诊断。在计算时要利用已知函数关系，且考虑平衡参数和抽油机损失；二是根据功率曲线特点直接诊断。

深井泵功能自动诊断方法的分类如图 1.3 所示。

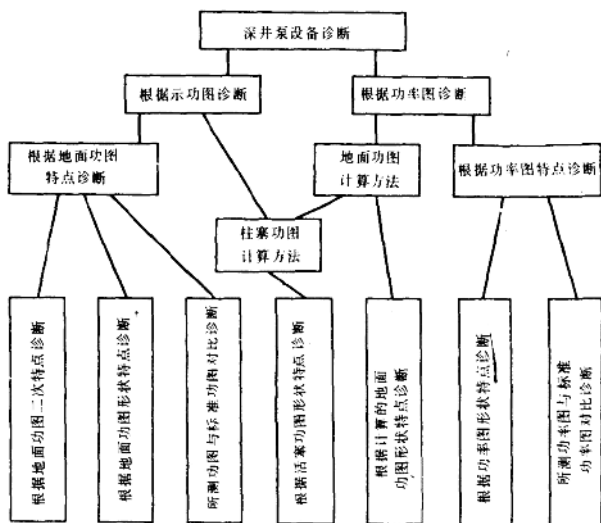


图 1.3 深井泵设备工作诊断方法分类



在其它深井泵设备监测方法中，必须提到油管动力仪测试和气压图法。油管动力仪测试可以取消抽油机运动部件上的应力传感器，而且没有深井、大冲数情况下示功图形状畸变的缺点。井口油管柱上应力的交变分量较小，为静载荷的5%~25%，这对应力传感器的性能提出较高的要求。油管动力仪测试与传统方法对比没有提供任何补充资料。测气压图可以确定泵筒入口和泵出口的压力、泵阀上的压降和漏失特点等。测压时，将深井压力计用钢丝经油管外空间下到井底。测气压图可以给测示功图补充资料，但该方法复杂、工作量大，而且不能用来高效率监测深井泵装置的工作。

## 1.2. 自动监测和诊断系统的构成

在根据示功图得出的有关深井泵设备技术状况资料的基础上，决定井下作业任务。在深井泵设备技术诊断资料的基础上，解决下列基本课题：

在紧急故障情况下及时停抽，进而测定故障部位；

在周期性高效功能诊断资料基础上，尽快诊断深井泵设备的技术状况；

根据故障停产井的资料，拟定地质-技术措施；

在诊断资料基础上，使深井泵设备工作制度最优化。

从对获得有关深井泵设备技术状况资料充分和高效的要求（考虑到诊断方法的优缺点）出发，根据原始资料的录取地点和形式，深井泵设备的监测和诊断配套设备<sup>(17)</sup>的构成（图1.4）有三个级别，并包含以下部分①：

---

①在存在通信线路情况下，监测站的数据直接传输到第二级；当没有通信线路时，则借助于机动设备从监测站收集（图中用虚线表示）。