

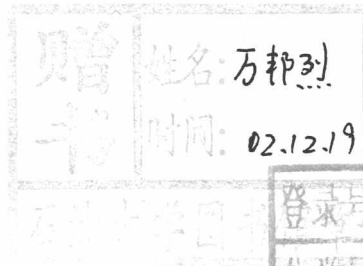


举采油技术



万邦烈 编著
石油大学出版社





登录号	184974
分类号	TE 355.3
种次号	002

气举采油技术

(高等学校博士学科点专项科研基金资助项目)

万邦烈 编著



石油大学 0189801

石油大学出版社

184974

图书在版编目(CIP)数据

气举采油技术/万邦烈编著. —东营:石油大学出版社,
2000.5

ISBN 7-5636-1360-9

I. 气… II. 万… III. 气举采油-技术 IV. TE355.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 30936 号

气举采油技术

万邦烈 编著

责任编辑:文章代 黄齐松

封面设计:傅荣治

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257062)

网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱:upcpres@sunctr.hdpu.edu.cn

印刷者:石油大学印刷厂

发行者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本:850×1168 1/32 印张:7.75 字数:199千字

版 次:2000年5月第1版第1次印刷

印 数:1—500册

定 价:12.00元



石油大学 0189801

内 容 提 要

本书系统地论述了气举采油法的基本工作原理、类型及工艺特点,气举阀及井下腔室的结构及工作原理,气举采油设计计算的理论基础及实用计算方法,气举井系统工作的优化及配气调节系统,间歇气举采油技术,井内气举采油技术,气举井工作的研究及分析以及提高气举采油效率的措施等问题,为气举采油装置的设计计算和选择使用提供科学依据,同时也为气举综合系统工况的分析和故障诊断提供可靠工具。

本书可作为油田工程专业和油田机械专业的工程技术人员和科研工作人员的工作用书,也可供石油院校有关专业的师生教学参考用。

目 录

绪 论	(1)
第一章 气举采油法的基本工作原理、类型、工艺特点 及应用范围	(5)
第一节 气举采油法的基本工作原理	(5)
第二节 气举采油法的类型及工艺特点	(8)
第三节 气举采油法的应用范围及优缺点	(20)
第二章 气举阀及井下腔室	(24)
第一节 气举阀类型及工作原理	(24)
第二节 气举阀的典型结构	(34)
第三节 井下腔室的结构及工作原理	(41)
第三章 气举采油设计计算的理论基础	(46)
第一节 油管柱中气液混合物运动的水动力计算原理 及计算步骤	(46)
第二节 油管柱中气液混合物运动的水动力计算方法	(56)
第三节 气-油-水混合物运动的计算特点	(80)
第四章 气举采油的设计计算	(84)
第一节 气举采油的设计计算任务及原始资料的准备	(84)
第二节 气举采油装置的分析算法	(86)
第三节 气举采油装置的图解-分析算法	(91)
第四节 气举采油的设计计算和工况分析的应用软件 系统	(116)
第五章 气举井系统工作的优化	(126)
第一节 气举井系统工作的优化准则及分析	(126)
第二节 气举井系统工作优化的新方法	(133)
第三节 气举井注气工作压力的合理利用问题	(136)

第六章	气举井的注气量分配及调节系统·····	(142)
第七章	间歇气举采油技术·····	(147)
第一节	间歇气举采油的基本原理及工况分析·····	(147)
第二节	间歇气举采油装置的类型及工艺特点·····	(150)
第三节	间歇气举采油装置的设计计算·····	(162)
第八章	气举井工作的研究及分析·····	(178)
第一节	气举井工作的研究·····	(178)
第二节	气举井的完井和起动以及事故用关井系统·····	(188)
第三节	复杂油井条件下气举采油的特点·····	(192)
第四节	气举采油装置的典型故障、排除措施及故障 诊断方法·····	(195)
第九章	井内气举采油技术·····	(205)
第一节	当气层位于油层上方时的井内气举采油技术 ·····	(205)
第二节	当气层位于油层下方时的井内气举采油技术 ·····	(210)
第三节	井内气举开采油井工作的模拟·····	(224)
第十章	关于提高气举采油效率问题的研究·····	(228)
第一节	气举采油效率的确定·····	(228)
第二节	提高气举采油效率的措施·····	(233)
参考文献	·····	(239)

绪 论

气举采油法是一种重要的机械采油法。它的特点是利用压缩气体的能量,将原油从井底沿举升管柱(油管柱)提升到地面。

气举采油法的第一次实际应用是在 1864 年,在美国宾夕弗尼亚州油田,用压缩空气作为工作介质。当时由于气举井的井底压力低和采油指数小,所以效果不好而被停用。直到 1897 年,气举(空气举)采油法才在俄国阿塞尔拜疆油田重新得到应用,并取得了良好的效果。1901 年,在美国德克萨斯州油田的个别油井中,气举采油法也得到了恢复。

20 世纪 30 年代,在苏联,气举采油法被认为是一种很有效的机械采油法,在巴库、格罗兹内和依辛贝姆等油田都得到了广泛的应用。但是,随着该地区的油藏衰竭和地层压力下降,气举井的产量减少和采油成本递增,使得 40 年代初,在苏联油田上开始了从气举采油法到泵法(抽油法)的过渡。据统计,从 1940 年到 1968 年近 30 年间,苏联的气举采油法长期以来得不到发展,气举采油量下降 1 倍,它在原油总产量中的比重下降了约 20 倍。与此同时,在 40 年代和 50 年代,苏联大力发展了有杆泵抽油和电潜泵抽油。其主要原因是由于当时苏联气举法所采用的设备陈旧,技术水平低,加以高压气田未开发,气源不足,经常用空气作为工作介质,因此气举法的效率很低,从而被生产所淘汰。从 1969 年开始,苏联石油工业部又采取大力推广气举采油的方针。这是因为利用了现代科学技术的新成就,使得气举法比抽油法具有许多突出的优点,而这些优点在一般经济分析中是估计不到的,但是大大地提高了气举法的技术经济指标。曾对苏联不同油区的 7 个油田进行对比计算表明,当用现代技术装备的气举法时,由于增加采油量和降低单位

投资,使每吨原油成本比抽油法下降 11%到 30%。

目前,气举采油技术在俄国的大多数油区都得到了应用。全俄采液量的 15.3%是由气举法开采的,仅次于电潜泵法而占第二位。全俄半数以上的气举井集中在西西伯利亚油区,如秋明石油天然气管理总局的机械采油量的 1/3 是用气举法开采的,今后在该地区,气举法的发展仍然占优先地位。统计资料表明,俄国的气举法基本上用于高产井的开采,气举井的最高产液量达 1 430 t/d;气举井中油管柱的下放深度达 2 000~3 500 m;气举井的修理间隔期最长达 1 982 d。

在美国,不论从生产井数还是从原油产量的比重来看,气举法仅次于有杆泵法,在机械采油法中占第二位。全美的气举井数约占机械采油井数的 11.2%,而气举采油量却占整个机械采油量的 2/5 左右。这是因为在美国有大量的中等产量和高产量井是用气举法开采的,如德克萨斯、路易西安娜和加利福尼亚等高产油田中气举法都得到了广泛应用。统计资料表明,在美国高产井停喷后,优先采用气举法开采。美国气举井的最高产液量达 8 000 t/d,气举井中油管柱的最大下放深度达 3 660 m。当产液量大于 400 t/d 时,可用油、套管间的环形空间作为气液混合物的举升通道。气举井单井在一年中的平均修理次数仅为 0.095 次,比抽油井低 7~8 倍。

应该指出,不论在俄国、还是在美国油田上,与连续气举法应用的同时,间歇气举法也得到了推广。特别是随着低产能油层的大量投产以及与井深加大有关的产液含气量和温度的增加等因素的影响加剧,间歇气举的井数还有增加的趋势。这一点,也为加拿大、墨西哥和委内瑞拉等国的油田实践所证实。

我国自 20 世纪 80 年代开始,在辽河、中原油田相继采用了气举采油技术,都取得了良好的效果。辽河兴隆台油田利用该地区油气比高和存在高压气层的有利条件,在 1983 年就有 50 多口油井采用了无压缩机连续气举法,取得了明显的增油和节电效益。辽河

牛居油田从 1985 年开始,已有 45 口气举井投产。与抽油机井相比较,平均单井日增油量达 3 倍左右。辽河欢喜岭油田于 1984~1985 年间先后在 7 口井上采用了间歇气举技术——柱塞气举法,平均单井增产约 5~20 t/d。

中原油田自 1983 年开始气举采油工艺试验以来,就有 60 多口气举井正常工作。几年来,中原油田研制成功了新型气举阀和气举阀投捞工具,应用 CAMCO 公司图解法、压力平衡设计法和有关计算机软件对气举井进行连续气举管柱设计,都取得了明显的经济效益。如中原文东油田,针对该油田的油层埋藏深(2 800 ~ 3 100 m)、气油比高(一般在 200~500 m³/t 范围内)、地层水矿化度高[(30~35)×10⁴ ppm]和处于高含水期等特点,从 1990 年开始,以气举采油法作为主要采油方式。在两年多时间内,不但形成了较大的气举采油生产规模(气举井 70 口,年产油 30 余万 t),而且在气举采油工艺技术上有了新的发展。平均单井增液量为 19 t/d,气举井正常工作率(开井率)达 85%以上,检阀周期为 270 d 左右。1986 年以来,中原油田还在 6 口井中进行了间歇气举采油试验,都取得了较好的效果。

新疆塔里木地区的轮南油田,针对油层超深、单井产量高、地层水矿化度高、密度大以及气源稳定等特点,自 1991 年决定采用气举采油法以来,已建成了压气站 1 座,有 21 口气举井投产,而且生产正常,同时压缩机的进气全部来自产出液分离的伴生气。目前正在进行压气站二期工程的建设工作,将有更多的气举井投产。

气举技术还是天然气田排水采气的一种有效的工艺技术。如四川威远气田的威 93 井,采用连续气举 8 天 10 小时后,就突变为具有工业价值的高产气井。

总之,气举采油法作为一种重要的机械采油法,在我国油田上,在气举设备的合理选择、气举工况的正确计算以及配套工艺技术的应用等方面都已积累了相当丰富的实践经验。这一切为进一步推广气举采油技术创造了极为有利的条件。

应该指出,为了全面实施“开发西部”的我国石油和天然气的发展战略,针对西部油区的油井深度大、产量变化范围宽、地质矿藏多样以及地形复杂、气候恶劣(沙漠地区)等特点,如何正确选择机械采油方法和设备以及优化其操作参数已成为刻不容缓的任务。与抽油法相比较,气举采油法由于存在一系列优点,如能适应深井、高产量和复杂的地形和油井开采条件,能保证很长的油井修理间隔期(平均约 2~4 年),能简化油井工作的自动化控制和缩减操作人员等,对于开发西部油田和海上油田来说,具有巨大的吸引力和生命力。

目前,国内外普遍认为,压缩机气举法的主要缺点是基建投资高,操作费用也较高,同时从能量利用率的角度来看,气举法的效率较低。

综合的分析表明,压缩机气举法的主要缺点的产生与气举采油装备性能参数的选择密切相关。为了扩大气举采油法的应用范围,同时也为我国西部地区实际应用深井气举采油法提供可靠的理论依据,石油大学(华东)机电工程系“气举采油技术和装备”课题组承担了高等学校博士学科点专项科研基金资助项目“深井气举采油装备工作理论及性能参数的优选研究”。其研究成果不仅为深井气举采油装备的设计计算和选择使用提供科学依据,同时也为深井气举综合系统工况的分析和故障诊断提供有力的工具。

第一章 气举采油法的基本工作原理、类型、工艺特点及应用范围

第一节 气举采油法的基本工作原理

气举装置实际上是由两条通道组成的：一条通道是从上往下，向井下注入高压气体（天然气或空气）；另一条通道，则从下往上，向井口举升气液混合物。如图 1-1 所示的气举装置简图中，向井下放入同心布置的两排管子。在外层管和中心管之间的环形空间中，往井下注入高压气体，而沿中心管内部向井口举升油气混合物。中心管一般称为举升管或油管。

当非工作状态时，管中和井中的液面将位在同一水平面上，此水平面称为

静液面，如图 1-1(a) 所示。设 L_c 为井深， L_t 为举升管或油管的下放深度， H_{st} 为静液面离井口的距离， ρ_l 为井中液体密度， g 为重力加速度，那么，井中静液面高度的液柱对井底所产生的压力就等于地层压力 p_{st} ，它由下式计算：

$$p_{st} = (L_c - H_{st})\rho_l g \quad (1-1)$$

现在，沿图 1-1(b) 所示的同心管之间的环形空间往井下注入

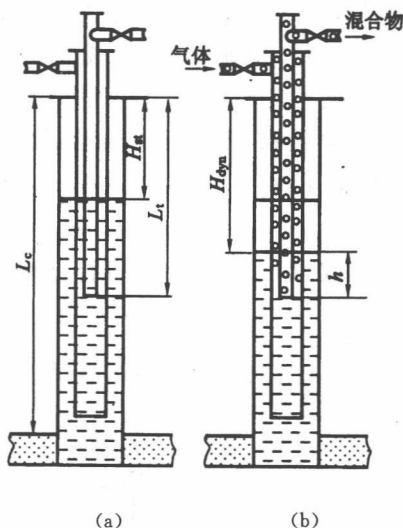


图 1-1 气举装置简图

高压气体,注入气首先必须把位于环形通道中的全部液体挤出,才能进入举升管或油管,并与管中液体相混合,形成气液混合物。这种混合物的密度将大大低于液体的初始密度,因此,油管中的液面将逐渐上升。进入油管的气体越多,形成的气液混合物的密度就越小,被举升的高度就越大。气液混合物的举升高度同样取决于油管在液体中的沉没度,一般用 h 表示。假如沉没度 h 很小的话,那么注入气有可能突破小液柱,直接沿油管冲到井口,实际上不携带出任何液体。

因此,气举采油法的基本工作原理就是将油管柱中的液体充以气体,以减小其平均密度;当向油管柱连续给气时,充气液体便可举升到井口并输送到地面集油站。

当气举装置工作时,在油井的管外空间中将建立如图 1-1(b)所示的新液面,该液面称为动液面。设动液面离井口的距离用 H_{dyn} 来表示,则与它相应的井底压力或井底流压 p_{wf} 为

$$p_{\text{wf}} = (L_c - H_{\text{dyn}}) \rho_l g \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可得出静液面 H_{st} 和动液面 H_{dyn} 的计算式:

$$H_{\text{st}} = L_c - \frac{p_{\text{st}}}{\rho_l g} \quad (1-3)$$

$$H_{\text{dyn}} = L_c - \frac{p_{\text{wf}}}{\rho_l g} \quad (1-4)$$

在气举装置的设计计算中,经常用到下列一些概念:沉没度、举液高度和相对沉没度。

沉没度——油井工作时,与油管柱管鞋处压力 p_{sh} 相应的脱气液柱的高度,即

$$h = p_{\text{sh}} / \rho_l g \quad (1-5)$$

举液高度——油井工作时,从动液面到井口的距离 H_{dyn} ;或等于

$$H_{\text{dyn}} = L_c - h \quad (1-6)$$

式中 L_t ——油管柱的下放深度。

相对沉没度——沉没度对油管柱全长的比值,即

$$h_r = \frac{h}{L_t} \quad (1-7)$$

在油田实际中,一般根据注气点的气体工作压力来计算相对沉没度。由给定的气体工作压力 p_g 用下式来确定相对沉没度:

$$h_r = \frac{p_g}{\rho_1 g L_t} \quad (1-8)$$

图 1-2 中给出另一种型式的气举装置简图。该装置主要由油管柱、气举阀、井下腔室和封隔器等组成。油管柱装有井下腔室,在井下腔室中配置气举阀(起动气举阀和工作气举阀)。整个油管柱用封隔器安装在生产套管柱中。上述简图排除了注入气体对液体向油井流入的影响以及在一系列情况下(如液体强腐蚀性)避免了地层液与生产套管柱的接触。与此同时,还减少了由油管柱重量产生的拉伸载荷。如图 1-2 所示,压缩气体沿注气管线经气嘴进入环形空间,再经工作气举阀注入油管柱。起动气举阀是用来降低气举井的起动压力,可取消增压压缩机和增压管汇。在油管柱中,地层液和注入气

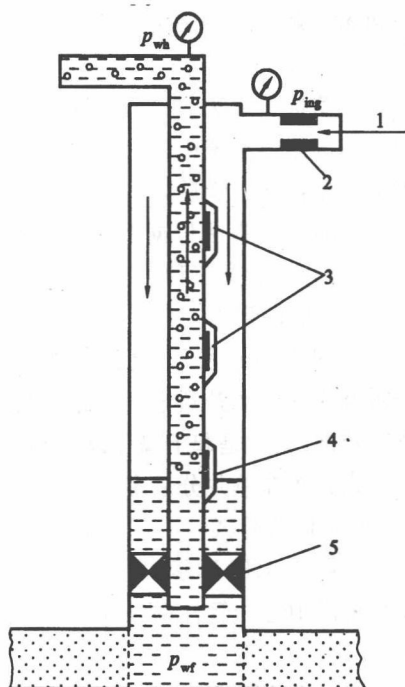


图 1-2 气举装置简图

- 1—注入气体;2—气嘴;3—起动气举阀;
4—工作气举阀;5—封隔器

形成气液混合物,举升到地面。

第二节 气举采油法的类型及工艺特点

气举法分为两类:连续气举法和间歇气举法。前者用在开采高产井、深井、超深井、斜井和方向井,以及井底压力较大的油井,而后者用在开采低产井或地层能量低的油井。

一、连续气举法

根据压缩气体的来源不同,连续气举法又可分为压缩机气举法和无压缩机气举法两种。

1. 压缩机气举法

压缩机气举法的高压气源来自专门的压缩机或压缩机站。在闭式气举循环系统中,由分离器出来的部分天然气,在本身压力作用下经净化和干燥后,再由专用管线回到压缩机入口。

压缩机气举法根据下井的管数、管的相互布置和高压气体的流向不同,一般有三种方案:

(1) 平行管式

如图 1-3(a)所示,高压气体由较小直径管子注入,而气液混合物沿油管柱举升到地面。此方案的优点是起动压力较低和气举效率较高。缺点是起下操作复杂和生产套管空间利用得不合理。平行管式方案在单井分采多油层时用得较多。

(2) 同心管式

如图 1-3(b)所示,高压气体由同心管的环形空间注入,气液混合物沿中心油管柱举升到地面。此方案仅用在单井分采多油层时。

(3) 单排管式

如图 1-3(c)所示,高压气体由生产套管和油管的环形空间注入,气液混合物沿油管柱举升到地面。在油管柱下部可以装气举阀(起动阀和工作阀)和封隔器。此方案的气举效率较高,耗气量较

小,但起动压力较大,不宜用在地层压力低的油井。对于大产量井,也可以使高压气体由油管柱注入,气液混合物沿环形空间举升。此方案的气举效率较低,耗气量较大,但起动压力较小,适宜于从大深度井举升大量液体。

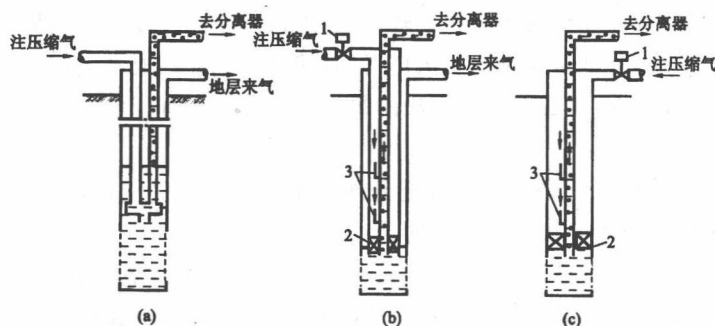


图 1-3 压缩机气举方案

1—注气自动调节器;2—封隔器;3—气举阀

压缩机气举法所采用的新型压缩机应由气体发动机驱动,具有单独的闭式液体-空气冷却系统,不需外界供水,装有必需的自动装置进行集中控制。同时新型压缩机的基础要小,不需建造大厂房,便于拆装和搬运,还要维护简便和工作寿命长。这样,一方面可显著提高气举效率,另一方面可大大降低压缩机站建造的基本投资。气举法的井下设备很简单,和自喷法的区别,只要装上起动阀和工作阀即可。现在,井下气举阀的更换也很方便,用不着起下油管柱。所以,就井下设备来说,气举法比任何一种抽油法的结构都简单,工作都可靠。

气举法的工作原理和自喷法相似,只是在油管柱中气液混合物的流态有所不同。气举法的举升工况由下列 4 个参数来确定:压缩气体的比耗量;油管(或举升管)柱直径;油管柱在动液面下的相对沉没度和井口回压。利用上述 4 个参数的不同组合就可在给定的举液高度下获得不同的产量。

压缩机气举法的产量调节范围很广,一般产量上限很高,下限

有一定限制。而且产量调节在技术上很容易实现,只要局部或集中调节压缩气体流量即可。

2. 无压缩机气举法

无压缩机气举法的高压气源直接来自油井中气层、气井或输气管线。和压缩机气举法相比较,无压缩机气举法可以显著地提高气举效率,降低基建投资和操作费用,使每吨原油的成本大幅度下降。计算表明,无压缩机气举法的每吨原油成本比有杆泵法降低好几倍。

无压缩机气举法可以最充分地利用地层天然气能量,但是需要采取一系列方法来解决新的采油工艺问题:

① 共同布置气井和油井:首先要进行仔细的经济核算,证实油层和气层、石油和天然气构造共同开发是合理的。再编制相应的石油和天然气构造的开发和开采设计方案,特别是当天然气构造中贮气量不大时它的开采是否满足气举要求需慎重考虑。实践证明,石油和天然气构造间距离远达几十公里,它们的共同开采在经济上也是合理的。

② 保证天然气(具有一定压力和体积流量)能连续地送到油井。

③ 保证伴生气和天然气都能完全利用。

④ 保证供气的净化条件。

⑤ 保证供气不能产生水化物条件。

无压缩机气举法一般有两种方案:井外来气方案和井内来气方案(即井内气举法)。

(1) 井外来气方案

该方案适用于下列情况:在油井附近有气井,可利用气井中天然气到油井中举升原油;油田附近通过输气管线,可利用部分天然气到油井中举油。井外来气方案如图 1-4(a)、(b)所示。在图 1-4(a)中,天然气从气井直接送到油井或者先进配气装置再到单独油井。当气举井数量多时,为了减小管线消耗量,可先将天然气引入

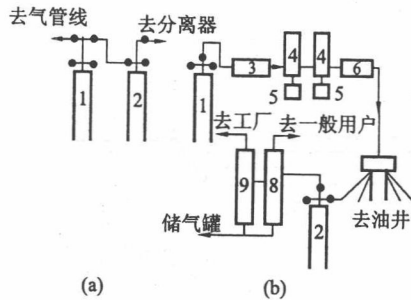


图 1-4 无压缩机气举法的井外来气方案

- 1—气井；2—油井；3—开式火燃加热炉；4—筒式分离器；
5—冷凝液收集器；6—无焰红外线加热炉；7—配气装置；
8—第一级气体分离器；9—第二级气体分离器

中心配气站，再分向单独配气点。在图 1-4(b)中，天然气先由气井引向开式火燃加热炉（假如天然气温度低于 25°C ），然后依次经过两个筒式分离器以去除冷凝液，出来的天然气又经过无焰红外线加热炉，加热到 $30\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，再进入配气装置，送到油井。在该图中，气体喷嘴装在天然气净化和加热后的配气装置中，因此排除了形成水化物的可能性。

(2) 井内来气方案(即井内气举法)

该方案适用于井筒穿过油层同时又穿过气层的情况。实际上，许多油-气田都可采用这种方案。图 1-5(a)、(b)、(c)、(d)、(e)中给出井内来气方案简图。

在图 1-5(a)中，气层位在油层上方。这时，向井内下放单排油管柱，在油、气两层间装封隔器。沿油管柱举升原油，沿环形空间出天然气，通过装在油管柱上的气举阀使部分天然气进入油管柱，进行举升原油工作。调节环形空间的井口回压和气举阀就可调节一定压力下的气举给气量。

在图 1-5(b)中，气层位在油层下方。这时，原油沿环形空间举升，而天然气沿油管柱出来，部分天然气从油管柱经气举阀进入环