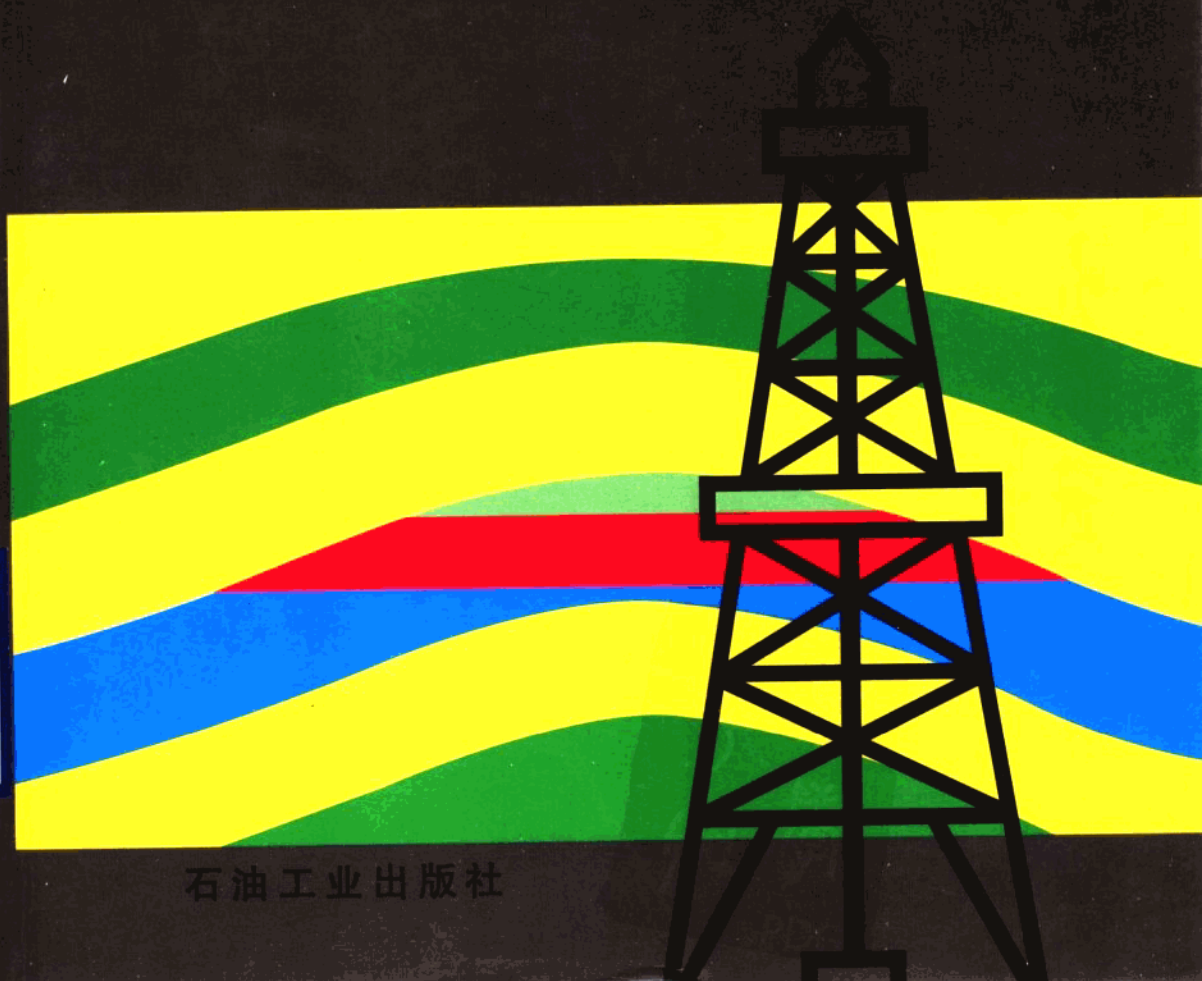


采油地面工程 (卷二)

【美】G.V. Chilingarian J.O. Robertson 著



石油工业出版社

本书的作者

- M. Y. AL - BASSAM
A. ALI AZUN
C. M. BEESON
T. A. BERTNESS
J. D. BRADY
G. V. CHILINGARIAN
D. D. COLEMAN
E. C. DONALDSON
J. P. FANARITIS
W. B. HATCHER
L. J. KEMP
S. KUMAR
J. O. ROBERTSON, JR.
K. M. SASSEEN
T. R. SIFFERMAN
J. R. SOLUM
C. THIBAUT
C. C. WRIGHT
- Getty Oil Co. , P. O. Box 1, Mina Saud, State of Kuwait
Mobil Exploration Mediterranean, Inc. , Cinnah Cad. No. 1, Cankaya,
Ankara, Turkey
Petroleum Engineering Department. University of Southern California.
Los Angeles, CA 90089 - 1211, U. S. A.
Petroleum Engineering Department, University of Southern California,
Los Angeles, CA 90089 - 1211, U. S. A. (also: Consultant, 14827 La
Cuarte Street, Whittier, CA 90605, U. S. A.)
Andersen 2000 Inc. , 306 Dividend Drive, Peachtree City, GA 30269,
U. S. A.
Petroleum Engineering Department, University of Southern California,
Los Angeles, CA 90089 - 1211, U. S. A.
Illinois State Geological Survey, 615 E. Peabody Drive, Champaign,
IL 61820, U. S. A.
Petroleum & Geology Engineering, University of Oklahoma, Norman,
OK 73019, U. S. A.
Struthers Wells Corporation, P. O. Box 8, Warren, PA 16365,
U. S. A.
Texaco U. S. A. , P. O. Bin H, Taft, CA 93268, U. S. A.
Southern California Gas Co. , Los Angeles, California
Petroleum Engineering Department, University of Southern California,
Los Angeles, CA 90089 - 1211, U. S. A.
Earth Engineering, Inc. , 4244 Live Oak Street, Cudahy, CA 90201,
U. S. A.
HTI - Superior, Inc. , P. O. Box 3908, Santa Fe Springs, CA
90670, U. S. A.
Mobil Research and Development Corporation, Box 900 Field Research
Lab, Dallas, TX 75221, U. S. A.
Solum Oil Tool Corporation, 2750 Rose Ave. , Long Beach, CA
90806, U. S. A.
Claude Thibault Int. , P. O. Box 9231, Newport Beach, CA 92658,
U. S. A.
Consulting Engineer, Calle Aldebarren 365, Fraccionamiento Benton,
Los Pinos, Tijuana, C. P. 22630, Baja California, Mexico.

译者的话

本书是采油工程方面一本较系统的专著,是国外油田不断发展的采油工艺技术经验总结。本书(卷二)共 12 章,分别由资质较深的专家撰写。资料丰富,阐述清晰,每章均附有图表、例题和练习题;重点讲述了有关油气田开发水平更新较快的油气流量测量、注水泥、压裂、酸化和砾石充填防砂等专门技术,并以较大篇幅阐述了日益扩大的注蒸汽提高采收率方法;探讨了油田开发阶段亟待解决的难题,即油气田的腐蚀与防腐、注水水质及污染控制问题。为了拓宽采油业务范围,以适应全球石油经济战略发展的需要,特别增加了海洋石油技术及油气地下储存方法。附录 A 简要介绍了石油产品试验和试样的实验技术,这是石油企业和院校有关实验操作和科研、监管人员的重要参考资料。

总之,本书对我国新老油田及不断发现的海上油田的开发均有一定的针对性和参考价值,虽然原书出版较早,但仍不失为现时我国石油界各级管理人员、工程师、有关院校师生的良师益友。本书译者虽在油田工作多年,但限于水平难免有误,恳请读者指正。

本书(卷二)的翻译分工如下:前言,第一、十、十一章由张人和译;第二章由陈端宗译;第三、七章由朱保洪译,陈文秋校;第四、六章由王宗六译,陈端宗校;第五章由王宗六译,陈端宗、张人和校;第八章由张武洪、胡晓林译,陈文秋校;第九章由倪嘉松、曾庆辉、陈永红译,张人和校;第十二章和附录 A 由曾庆辉、陈永红译,陈端宗校。

译者

2002 年 2 月

前 言

采油地面操作的第二卷是编者对第一卷的完善和扩展。第一卷论述的油田技术问题有：(1)储层流体的物理和化学性质，(2)用于流体分离和聚集的地面设备，(3)天然气和液化气，(4)油气输送，(5)自喷井系统的设计，(6)油井测试，(7)生产测井及(8)流体泵送操作。本卷系现代油田技术专论的综述，为油田经理、工程师及技术咨询提供了一个完整的参考文献。

油田地面操作第二卷从理论和实践上，详细论述了包括气体流量的测定、注水泥、压裂、酸化和砾石充填。在如今的专业化年代里，上述操作基本上属于技术服务公司的服务范畴，因此，油田工程师和石油公司的经理一般不关注地面和井下特殊操作本身的详细技术。本书所提供的综述专供石油工程师分析有关的技术问题，以便提出地面及井下特殊操作的要求，并严密监督技术服务公司的工作。

另一个对所有油田都具有经济影响的课题是油田设备的腐蚀问题。腐蚀造成长期无情的经济损失，表面上看腐蚀似乎不是显而易见的严重问题，但它可加速设备的大规模损坏，以及导致运行效率的降低，因此，必须及时搞清腐蚀的原因，并阻止腐蚀的发生或降低腐蚀速率；本书综合分析论述了油田设备腐蚀的机理，并验证了阻止和消除腐蚀的有效方法。其后，谈到了有关油田注水的水质问题。

本卷最后还包括三个专门问题，即：(1)对照陆上油田操作，提供了海洋石油技术，为那些没有海洋实践知识，想在完全不同领域一显身手的油田工程师提供一个明晰的概念；(2)污染控制普遍认为是油田管理的一个重要领域，因为①世界上很多地方城市人口扩展到油田内部或油田的附近地区，②污染控制法规的严格强化执行，使所有的工业企业都要减少污染排放；(3)最后一章论述了地下油气储存，这一问题对于必须在冬季保证燃料供应的城市来说非常重要。地下燃料储存和提取是油田生产管理的一个积极领域，它利用了整个有关油田地面操作的技术。最后，该卷也为中级和高级石油工程系的学生提供了石油产品测试和样品实验技术。

由于当今实践和发展的需要，石油技术不断更新，这部专论还为石油界的管理人员、工程师、顾问、教师和学生提供了可供长期使用的标准参考文献。

E. C. 唐纳森

美国俄克拉何马大学

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 油嘴	(1)
第二节 地层沉降	(4)
第三节 练习题和例题	(5)
附录 1. I 天然气的地球化学印迹	(6)
参考文献	(7)
第二章 流量的测量	(8)
第一节 引言	(8)
第二节 测量液体的容积式流量计	(9)
第三节 测量气体流量的容积式流量计	(14)
第四节 测量流量的其他方式	(18)
第五节 测量气体和液体质量流量的简化方程	(19)
第六节 例题和练习题	(20)
附录 2. I 孔板流量计的发展	(20)
参考文献	(36)
第三章 油井水泥和外加剂的生产、化学性质及分类	(38)
第一节 引言	(38)
第二节 油井水泥的化学组成和特性	(38)
第三节 油井水泥的分类	(39)
第四节 油井水泥的特性	(40)
第五节 油井水泥外加剂	(42)
第六节 美国以外的油井水泥标准	(44)
第七节 注水泥作业	(45)
第八节 地面和井下固井设备	(49)
参考文献	(61)
第四章 压裂	(63)
第一节 引言	(63)
第二节 选井的一般标准	(66)
第三节 水力压裂的机理	(67)
第四节 压裂液及其添加剂	(78)
第五节 水力压裂支撑剂	(84)
第六节 水力压裂用机械设备	(88)
第七节 核压裂	(93)
第八节 练习题和例题	(94)
参考文献	(96)

第五章 油井酸化	(98)
第一节 酸化在油井中的应用历史	(98)
第二节 油井酸化的目的	(99)
第三节 酸的种类	(99)
第四节 油井用酸的性能要求	(101)
第五节 碳酸盐岩油藏	(103)
第六节 砂岩油藏	(104)
第七节 酸处理分类	(105)
第八节 油井酸化添加剂	(107)
第九节 油田酸化设计	(111)
第十节 练习题和例题	(113)
参考文献	(115)
第六章 砾石充填	(117)
第一节 引言	(117)
第二节 出砂	(117)
第三节 砾石的选择	(117)
第四节 砾石充填流体	(124)
第五节 筛管或衬管的选择	(125)
第六节 砾石充填方法	(125)
第七节 斜井砾石充填	(127)
第八节 砾石充填工具和设备	(127)
第九节 砾石充填评价	(131)
第十节 其他设计要素	(131)
第十一节 设计有效砾石充填的考虑因素小结	(132)
第十二节 练习题	(132)
参考文献	(133)
第七章 注蒸汽提高采收率方法	(135)
第一节 引言	(135)
第二节 关于注蒸汽方法的一般资料	(135)
第三节 注蒸汽方法	(146)
第四节 注蒸汽工艺的新进展	(149)
第五节 注蒸汽工艺所需设备	(151)
第六节 例题	(170)
参考文献	(171)
第八章 钻井和采油过程中的腐蚀	(177)
第一节 引言	(177)
第二节 钻井和采油过程中的腐蚀介质	(177)
第三节 电化学腐蚀的必要条件	(177)
第四节 电化学腐蚀	(178)
第五节 腐蚀电化学和电动势序	(179)

第六节	腐蚀的类型	(181)
第七节	钻井和采油过程中的破裂形式	(183)
第八节	钻井液和采出液中的腐蚀物质	(185)
第九节	环境的酸碱度(pH 值)	(189)
第十节	阴极防腐	(190)
第十一节	细菌的腐蚀作用	(191)
第十二节	凝析气井的腐蚀	(192)
第十三节	腐蚀抑制剂(缓蚀剂)和钝化剂	(194)
第十四节	例题和练习题	(194)
	参考文献	(198)
第九章	注入水的水质	(200)
第一节	引言	(200)
第二节	注入水的适配性	(200)
第三节	垢类	(204)
第四节	腐蚀	(205)
第五节	用海水注水	(208)
第六节	取水部位的选择	(209)
第七节	取水口的设计	(210)
第八节	注水运行中应用的试验方法	(212)
第九节	油田注水的水源准备	(221)
第十节	溶解气的清除	(228)
第十一节	设备的讨论	(228)
第十二节	脱气设备	(231)
第十三节	练习题	(232)
	参考文献	(232)
第十章	海洋石油技术	(235)
第一节	引言	(235)
第二节	海洋石油勘探	(235)
第三节	海洋石油开采设备	(238)
第四节	水下采油系统	(253)
第五节	设计的考虑因素	(256)
第六节	海洋运输方式	(260)
第七节	练习题	(263)
	参考文献	(263)
第十一章	污染的防治	(265)
第一节	引言	(265)
第二节	水处理	(266)
第三节	污水处理的设计	(267)
第四节	化学处理	(272)
第五节	蒸汽驱排放	(273)

第六节 例题	(284)
参考文献	(285)
第十二章 油气的地下储存	(286)
第一节 引言	(286)
第二节 枯竭油气田中储存天然气	(286)
第三节 含水层中储存天然气	(287)
第四节 盐穴中天然气的储存	(287)
第五节 采掘盐穴	(293)
第六节 在核爆炸空穴中储存	(294)
第七节 练习题	(295)
参考文献	(295)
附录 A 石油产品试验和试样实验技术	(296)
参考文献	(334)

第一章 概 述

GEORGE V. CHILINGARIAN, JOHN O. ROBERTSON Jr.

and CLAUDE THIBAUT

D. D. COLEMAN(附录)

在这套两卷丛书的第一卷里,作者论述了下列问题:(1)地面生产设备的概述;(2)碳氢化合物的性质;(3)油气分离;(4)石油乳化液的化学脱水;(5)石油乳化液的电脱水;(6)注蒸汽采油;(7)天然气和液化气;(8)油气输送;(9)自喷井系统的设计;(10)试井;(11)生产测井;(12)气举;(13)柱塞气举;(14)有杆泵抽油;(15)水力活塞泵采油;(16)电动潜油泵采油。

第二卷中作者将讨论:(2)气体流量测量;(3)注水泥;(4)压裂;(5)酸化;(6)砾石充填;(7)热采;(8)腐蚀机理;(9)注水水质控制;(10)海洋石油技术;(11)污染控制和(12)油气的地下储存。另外,石油产品测试和实验技术在附录 A 中给出。

尽管在钻井前已经充分规划了完井方案,但真正的完井包括选择和使用完井液、防喷器与采油树的连接、注水泥、射孔、砾石充填等,是在油井测试之后进行,即当钻井井架仍在井口,生产套管(最后一层套管)尚未下入时测试并估算油井的油气生产能力,并根据测试结果估算油层性质,包括井底压力和温度、渗透率、原油粘度、残余油饱和度,这有助于石油工程师选择合适的特殊井完井方案。读者可参考 Craft 等(1962)和 Allen 及 Roberts(1978)对这一问题的见解。

一旦射孔通常进行中途测试(DST),如第一卷第十章所述,中途测试可在裸眼或套管中进行。

在油井生产过程中,生产测试可分阶段进行,以确定:(1)不同生产阶段所产流体的流出动态;(2)人工举升的开始时间及其在用的系统效率;(3)提高采收率(EOR)措施潜力或油田所用提高采收率的措施效果。

“采油”这个词指的是操作阶段,包括把井液(油、水、气)生产到地面,以及经油罐和管线把它们输送到炼油厂之前的处理工作。上述论述见 Allen 和 Roberts(1982)的文章,关于油气分离的问题,石油工程师们可参考 Sivalls(1977)的经典著作。

De la Mare(1985)提出了海洋油气管线技术的最新发展。

第一节 油 嘴

石油生产中易被忽略的问题是油嘴的作用。最常用的一种油嘴是井口油嘴(见图 1—1 和图 1—2)。特别是在浅海石油生产中装油嘴是一种安全措施,其油嘴(节流器)装在井底,使井下流压稍有变化(由于简单分离作用),但不影响井口油管压力(p_{if} , p_{thg} 或 THP)。一般经过油嘴的液流速度应大于声速,这样可以达到井口油管压力至少两倍于出油管线平均压力的条件。从理论上讲,井口油管压力 p_{thg} (psi)大致为:

$$p_{thg} = (GLR)^{0.5}(C)(q_1)/(d_c)^2 \quad (1-1)$$

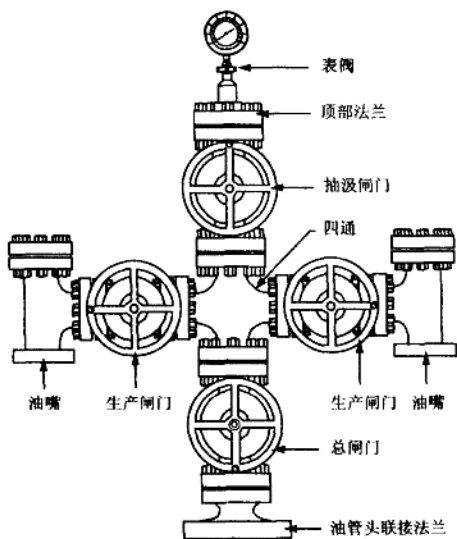


图 1-1 典型采油树上的油嘴位置

式中 GLR ——气液比, $10^6 \text{ ft}^3/\text{bbl}$;

C ——常数, 在本公式单位中约为 600;

d_c ——油嘴直径, $1/64 \text{ in}$ 。

Gilbert(1954)为加利福尼亚州的 10 个油田推导出下列公式, 即井口油管压力 (psi) 为:

$$p_{\text{ibg}} = 435 (GLR)^{0.546} (q_1) / (d_c)^{1.89} \quad (1-2)$$

由于气割、砂蚀、沥青质或杂质的沉积所引起的油嘴损坏, 可用生产数据及式(1-1)和式(1-2)加以检查。式(1-1)中 C 的取值为 600, 式(1-2)中 C 的取值为 435。

还可利用 Gilbert 的线性图解(图 1-3)确定油嘴尺寸。线性图从左图上部开始(单位是 bbl/d), 作横坐标的垂线交于已知的气液比线(单位是 $10^6 \text{ ft}^3/\text{bbl}$), 然后水平移到线性图的右图中的粗线处(油嘴尺寸为 $10/64 \text{ in}$), 再垂

直移到右图中的油嘴尺寸, 这样可在右图中得到相应的井口油管压力 $p_{\text{ibg}} (THP)$, 与式(1-1)给出的结果几乎相同。

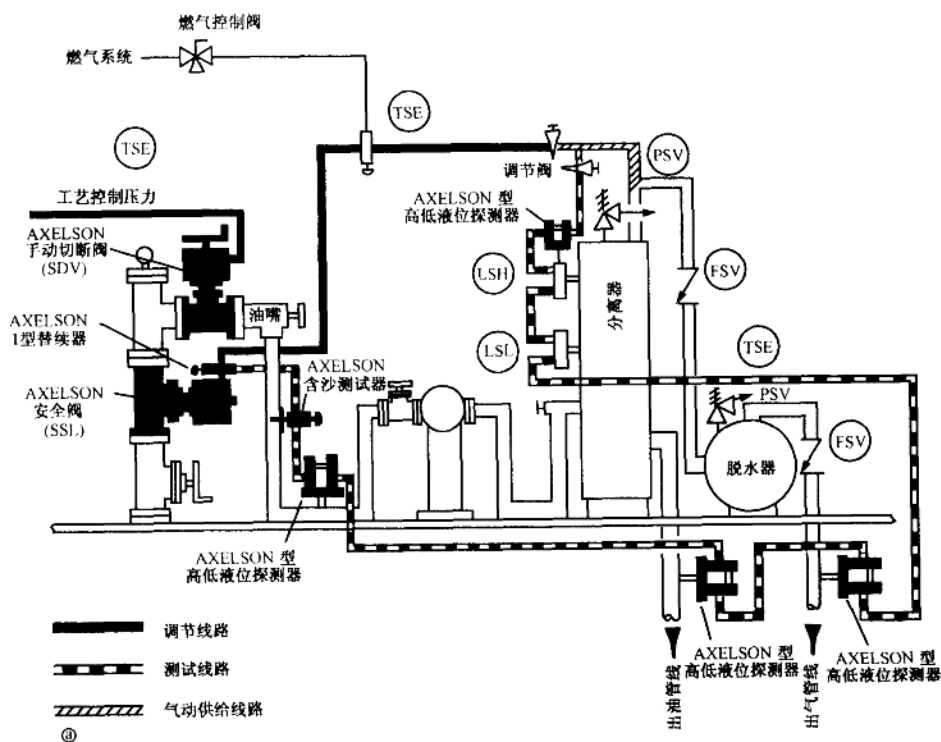
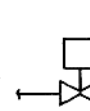
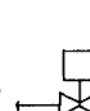
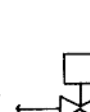


图 1-2(a) 海洋采油平台油嘴安装位置

** LSH		高液位探测器	** PSV		压力释放 (安全) 阀
** LSL		低液位探测器	** PSE		破裂膜片
** LSHL		高/低液位探测器	** TSE		易熔材料
** PSH		高压探测器	** SSV		井口安全阀
** PSL		低压探测器	** BSV		排污阀
** PSHL		高低压探测器	** SDV		截止阀
** FSV		止回阀	** TSH		高温探测器

* API14D二版, 1978. 11, API 许可使用

** API14C二版, 1978. 1, API 许可使用

图 1—2(b) 图例(API 14D, 第二版, 1978. 11)

读者可参考 Nind(1981)所著《油井采油原理》一书,该书进一步讨论了油嘴特性的处理问题,是一本采油工程师常用的藏书。

节流效应(凝析油):

焦耳—汤姆逊(节流)效应是一个不可逆的绝热过程,当高压凝析油蒸汽流经减压油嘴时,该过程就会发生。当蒸汽通过油嘴压力和温度降低时,其焓保持不变(参见 Katz 等, 1959)。这些油嘴装在高压分离器的入口处,以去除水合物。由于压力和温度的降低,在油嘴的下游易凝成水合物,其成分为: $\text{CH}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 即甲烷、乙烷、丙烷、二氧化碳与水的凝结物,它们进入分离器并落入其沉降区,而位于分离器底部的加热盘管可融化这些水合物。为了对此问题有全面的了解,读者可参考 Ikoku(1984)所著《天然气生产工程》一书。

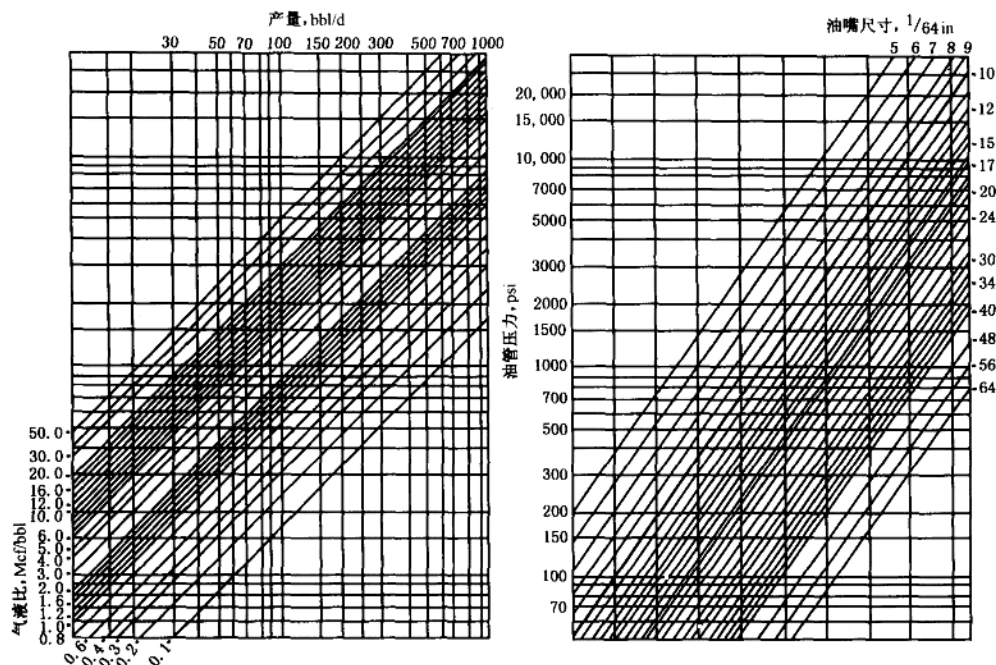


图 1—3 Gilbert 油嘴动态图(API 钻井部提供)

第二节 地层沉降

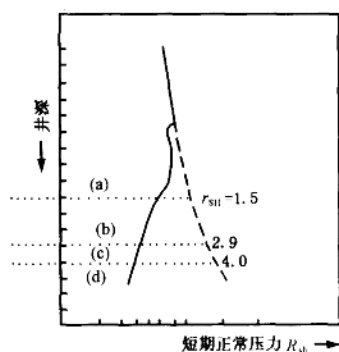


图 1—4 页岩阻力剖面图(实例)

(据 Chilingarian 等人, 1985)

- (a) $r_{sh} \leq 1.5$ 为无沉降倾向;
- (b) $r_{sh} = 1.5 \sim 2.9$ 为微沉降倾向;
- (c) $r_{sh} = 2.9 \sim 4.0$ 为强沉降倾向;
- (d) $r_{sh} \geq 4.0$ 为超沉降倾向

在许多地方随着油气的采出, 地层孔隙压力不断下降, 粒间压力增加。由于对粘土和砂岩产生挤压作用, 地面不断向下沉降, 对地面和地下设施产生严重破坏, 因此, 急需发展一种能预测地层沉降区的技术。Chilingarian 等 (1985) 提出了一种试验方法: 即页岩阻力比 $r_{sh} = [R_{sh}(\text{普通})/R_{sh}(\text{观测})]$ (见图 1—4)。此比值是欠压实的绝好指示, 它反映了未胶结砂岩与欠压实页岩的压缩性。其他也有用地层评价测井, 如声纳测井进行预测的。

在沉降研究领域, Sawabini 等 (1974) 和 Chilingarian 等 (1985) 研究了未胶结砂岩的有效孔隙体积压缩系数:

$$c_{pe} = - (1/V_{pi}) (\partial V_p / \partial p_e)_{p_i, T} \quad (1-3)$$

其值为 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ psi}^{-1}$ ($0.145 \sim 0.015 \text{ MPa}^{-1}$), 这里总体积压缩系数为:

$$c_{be} = - \frac{1}{V_{bi}} (\partial V_b / \partial p_e)_{p_i, T} \quad (1-4)$$

其值为 $5 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-5} \text{ psi}^{-1}$ ($0.07 \sim 0.0058 \text{ MPa}^{-1}$)。在 $0 \sim 400 \text{ psi}$ ($0 \sim 2.76 \text{ MPa}$) 的有效压力范围中 (这里 $p_e = p_i - p_p$, 其中 p_i 是总的地层静压力; p_p 是孔隙压力; 有效压力 p_e 有时也称为粒间应力 p_g), 有关页岩的阻力比 r_{sh} 的值为 $2 \sim 4$ 。在这一领域中还需做大量的统计

和实验研究工作,读者可参考 Pieke 和 Chilingrian(1974), Sawabini 等(1974)和 Chilingrian 与 Wolf(1975,1976)对这个问题的综述。

第三节 练习题和例题

(1)已知 $q = 150 \text{ bbl/d}$ ($23.8 \text{ m}^3/\text{d}$), $GLR = 800 \text{ ft}^3/\text{bbl}$ ($331.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$) 和 d_c (油嘴尺寸) = $16/64 \text{ in}$ (6.35 mm), 试确定油管压力 p_{tbg} (THP)。

(2)给出并讨论不同公式,以求出总体积和孔隙体积压缩系数。

(3)在双对数坐标纸上,以总压缩系数(c_b)对有效压力(p_e)作图。现给出如下表的饱和蒙脱石粘土实验数据,实验使用的是单轴压缩仪(带两个活塞的厚壁圆柱)。

压力, psi (MPa)	水分含量(净质量分数), %
1000(6.89)	50
2000(13.79)	45
5000(34.47)	37
10000(68.95)	32
30000(206.84)	22
40000(275.79)	20
60000(413.69)	18
100000(689.48)	14
190000(1310.00)	11
200000(1378.95)	8

(4)以实际数据说明在具有厚砂岩、页岩交互的沉陷地区,页岩和砂岩压缩得更多。

(5)计算填满一个圆柱状水罐[高 10 in (25.4 cm) 直径 5 in (12.7 cm), 如图 1—5 所示]所需的时间。水以 $1.25 \text{ ft}^3/\text{s}$ ($0.035 \text{ m}^3/\text{s}$) 的速度注入罐内,在罐底开有一个 3 in (645 mm) 的小孔。

解法:

$$(Q_1 - Q_2)dt = Adh$$

上式变为:

$$dt = [A_1/(Q_1 - Q_2)]dh$$

积分:

$$\int_0^t dt = \int_0^H [A_1/(Q_1 - Q_2)]dh$$

式中 t ——时间, s;

$$A_1 = (\pi/4)(5)^2 = 19.635 \text{ ft}^2;$$

$$Q_1 = 1.25 \text{ ft}^3/\text{s};$$

$$Q_2 = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{2gh} = (3/12)^2 (\pi/4) (\sqrt{2 \times 32.2 \times h}) = 0.3939 \sqrt{h};$$

$$g$$
——重力加速度, 32.2 ft/s^2 ;

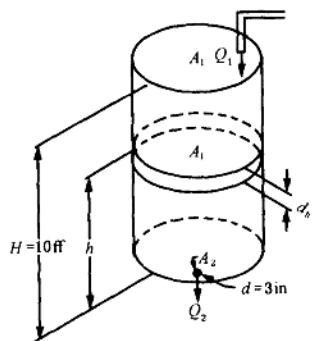


图 1—5 为解决样品问题的图示

$$H = 10 \text{ ft};$$

h ——罐底小孔上部水的高度, ft。

因此:

$$t = \int_0^{10} [19.635 / (1.25 - 0.3939 \sqrt{h})] dh = 49.845 \int_0^{10} dh / (3.173 - \sqrt{h})$$

结果, $t = 24 \text{ min } 45 \text{ s}$ 。

附录 1. I 天然气的地球化学印迹

天然气来源的区别对石油工业和一般公众都非常重要。从油气井、管线或储层来的天然气有时会给用户带来严重损失。在某些情况下,天然气有时渗到地面,甚至窜到公众用水系统,可导致险情发生;其他所谓运移来的气体实际上是地下自然产生的气体,因此,如何区别不同来源的天然气是个极其重要的问题,地球化学印迹法为辨别天然气的来源提供了一种有效的方法。

大部分具有商业价值的天然气源于埋藏的有机质的热分解。天然气的成分取决于形成它的有机质的各种作用、形成时的压力和温度,以及由于运移与其他气体接触所发生的变化。由于地层内形成天然气的多变,导致不同气源的天然气成分也有所不同,因此,地球化学印迹可用来辨别不同来源的天然气。

有时只通过气体的化学分析就可区别不同气源的天然气。这一方法比较复杂,实际上由于不同化学成分在含量、质量和溶解度方面的不同,其成分在运移过程中又会发生变化。因此,辨别不同气源天然气的更确切的方法是同位素分析(参见 Coleman 等, 1977; Fuex, 1977; Stahl, 1977 和 Schoell, 1980)。

同位素是同一元素的几种不同形态的元素,它们只是原子核内部中子数目不同,由于中子数目不同,因此质量也不相同。以碳为例,它有三种自然存在的同位素,即碳—12、碳—13 和碳—14。碳—14 是一种放射性同位素,它是由宇宙射线在大气层上部形成的。碳—14 不存在于石油天然气中,而存在于新鲜的细菌气中。氢也有三种自然存在的同位素,即氕(氢—1)、氘(氢—2)和氚(氢—3)。氕和氘是稳定的同位素,而氚则是一种宇宙射线同位素。

碳的两种稳定的同位素碳—12(^{12}C)和碳—13(^{13}C)存在于所有的有机质中,且分别具有平均 98.9% 和 1.1% 的含量。这两种同位素可进行相同的化学反应,但由于它们的质量有所差别,所以反应的速度稍有不同,结果如同它们在原生情况下一样,在反应产物中碳—12 和碳—13 的相对比例不可能绝对相同。比如,通过热催化裂解有机物质形成的甲烷,它对原来的有机物而言,碳—13 减少而碳—12 增加,甲烷一旦形成,其碳同位素的组成或 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值相对来说,不受大多数自然过程的影响,天然气中甲烷的碳同位素组成只受原生物质的性质及其形成条件的影响。不同于天然气的化学成分,同位素组成相对来说不受运移的影响(Sackett, 1968; Stahl 和 Carey, 1975; Coleman 等, 1977; Fuex, 1980; Reitsemä 等, 1981; Schoell, 1983),因此,甲烷的同位素组成提供了辨别不同来源天然气的可靠“印迹”。

Coleman 等(1977)证明了碳同位素可用来区分地层中的天然气和浅层的生物气体;但由于运移的变化,用化学分析方法不可能区分上述两种气体。在以后的研究中(Coleman, 1979, 1985),同位素分析方法被有效地用于辨别运移到油井中的天然气。最近尚未发表的研究成果表明:甲烷的碳同位素组成和甲烷的氢同位素组成也可用来辨别储层气和当地原生气。

在辨别不同来源的天然气时,必须先建立已知不同来源天然气的组分序列(如储层气和原生气),然后决定是用化学分析还是用同位素方法更好地区分这些气体来源。对来源不明的天然气可根据它们的化学或同位素组成划分成一类或其他类(或分为混合气),在有些情况下甚至可求得混合气中两种气体的混合比例。

参考文献

- Allen, T.O. and Roberts, A.P., 1978. *Production Operations: Well Completions, Workover, and Stimulation*, Vol. 1. Oil and Gas Consultants International, Tulsa, Okla. 225 pp.
- Allen, T.O. and Roberts, A.P., 1982. *Production Operations: Well Completions, Workover, and Stimulation*, Vol. 2. Oil and Gas Consultants International, Inc., Tulsa, Okla., 250 pp.
- Chilingarian, G.V. and Wolf, K.H., 1975. *Compaction of Coarse-Grained Sediments*, I (Developments in Sedimentology, 18A). Elsevier, Amsterdam, 552 pp.
- Chilingarian, G.V. and Wolf, K.H., 1976. *Compaction of Coarse-Grained Sediments*, II (Developments in Sedimentology, 18B). Elsevier, Amsterdam, 808 pp.
- Chilingarian, G.V., Yen, T.F. and Fertl, W.H., 1985. New method of predicting subsidence and subsidence-prone areas. *Energy Sources*, 8(1): 77-78.
- Coleman, D.D., 1979. *The use of isotope ratios to determine the source of natural gas above gas storage reservoirs*. Paper presented at the Am. Gas Assoc. Oper. Sect. Meet., New Orleans.
- Coleman, D.D., 1985. *Applications of geochemistry to the production, storage, and utilization of natural gas*. Paper presented at the Am. Assoc. Pet. Geol. Annu. Meet., New Orleans.
- Coleman, D.D., Meents, W.F., Liu, C.L. and Keogh, R.A., 1977. *Isotopic identification of leakage gas from underground storage reservoirs — a progress report*. Ill. State Geol. Surv. Ill. Pet., 10 pp.
- Craft, B.C., Holden, W.R. and Graves Jr., E.D., 1962. *Well Design: Drilling and Production*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 368 pp.
- Fuex, A.N., 1977. The use of stable carbon isotopes in hydrocarbon exploration. *J. Geochem. Explor.*, 7: 155-188.
- Fuex, A.N., 1980. Experimental evidence against an appreciable isotopic fractionation of methane during migration. *Phys. Chem. Earth*, 12: 725-732.
- Gilbert, W.E., 1954. Flowing and gas-lift performance. *API Drill. Prod. Pract.*, p. 126.
- Ikoku, Chi U., 1984. *Natural Gas and Production Engineering*. Wiley, New York, N.Y., 517 pp.
- Katz, D.L., Cornell, D., Kobayashi, R., Poettmann, F.H., Vary, J.A., Elenblaus, J.R. and Weinaug, C.F., 1959. *Handbook of Natural Gas Engineering*. McGraw-Hill, New York, N.Y., 802 pp.
- Mare, De la, R.F. (Editor), 1985. *Advances in Offshore Oil and Gas Pipeline Technology*. Gulf, Houston, Tex., 383 pp.
- Nind, T.E.W., 1981. *Principles of Oil Well Production*. McGraw-Hill, New York, N.Y., 2nd ed., 391 pp.
- Reitsema, R.H., Kaltenbach, A.J. and Lindberg, F.A., 1981. Source and migration of light hydrocarbons indicated by carbon isotopic ratios. *Am. Assoc. Pet. Geol.*, 65(9): 1536-1542.
- Rieke III, H.H. and Chilingarian, G.V., 1974. *Compaction of Argillaceous Sediments* (Developments in Sedimentology, 16). Elsevier, Amsterdam, 424 pp.
- Sackett, W.M., 1968. Carbon isotope composition of natural methane occurrences. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 52: 853-857.
- Sawabini, C.T., Chilingar, G.V. and Allen, D.R., 1974. Compressibility of unconsolidated arkosic oil sands. *Soc. Pet. Eng. J.*, 14(3): 132-138.
- Schoell, M., 1980. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 649-661.
- Schoell, M., 1983. Isotope techniques for tracing migration of gases in sedimentary basins. *J. Geol. Soc.*, 140(3): 415-422.
- Sivalls, C.R., 1977. *Fundamentals of Oil and Gas Separation*. Proc. Gas Cond. Conf., Univ. Oklahoma, Norman, Okla.
- Stahl, W., 1977. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration. *Chem. Geol.*, 20: 121-149.
- Stahl, W. and Carey, B.D., 1975. Source rock identification by isotope analyses of natural gases from fields in the Val Verde and Delaware basins, West Texas. *Chem. Geol.*, 16: 257-267.

第二章 流量的测量

THOMAS R. SIFFERMAN

WITH APPENDIX BY L. J. KEMP and GEORGE V. CHILINGARIAN

L. J. KEMP and GEORGE V. CHILNGARING(附录)

第一节 引言

一、流量计的主要种类

石油工业中,测试流量的仪表主要有:涡轮流量计、活塞式流量计和孔板流量计。前两种通常用作测量液体流量的典型仪表,而孔板流量计主要用于测量气体流量。不过涡轮流量计和活塞式流量计也可用于测量气体,而孔板流量计也可用于测量液体流量。

涡轮流量计测量流量(不管是瞬时流量还是累积流量)的基本原理是通过把液体流速转变为涡轮的转速来实现的。涡轮(类似于螺旋桨)在一个轴上旋转,其转速正比于流体通过流量计的线速度(或流量),涡轮的转速以脉冲的形式被计量,作为瞬时流量被记录下来,而这些脉冲信号经过累加后,给出总流量或称累积流量。

活塞式流量计的工作原理是计量液体通过流量计的“体积数”。这里所谓的“体积”是由选定的几何形状(尺寸)决定的,因此,仪器每一次计数则表示一个恒定不变的、精确的、包含在流量腔内液体的容量。孔板流量计是一种差压式装置,其通过的流量与孔板产生的压差的平方根成正比。它的结构包括一个孔板、压力测量端和孔板支承体等。传感器(或称压力测试探头或记录器)将压差转换为流量。

二、定义

为了建立一个流量计相互对比的共同基础,下面要给出流量计的精度、量程范围、重复性和线性度等概念的定义。通常,精度和线性度可以相互转换,或者说线性度可在具体的精度范围内进行估算。

1. 精度

精度是指在一定的流量范围内,流量计指示真实流量能力的标志。它定义为真实流量和测试流量之差再除以真实流量。对于 100 L/min 的流量计,全量程内 $\pm 1\%$ 的精度即表示实测流量误差在真实流量的 $\pm 1\%$ L/min 流量的范围内。换言之,真实流量为 50 L/min,则测量值应为 49~51 L/min;或实际值为 100 L/min,则测量值在 99~101 L/min 之间。另一方面,根据精度, $\pm 1\%$ 造成的流量读数偏差意味着流量计的测量误差分别为 ± 0.1 , ± 0.5 , ± 1 L/min (在实际流量为 10, 50, 100 L/min 时);或者说,实际流量为 10, 50, 100 L/min 时,其读数分别为 9.9~10.1, 49.5~50.5, 99~101 L/min 的范围内,这说明读数的百分数在仪器量程范围内将给出更好的结果(在满量程读数内,因读数都相同而例外)。

精度表示为流量满量程百分数的方法一般用于孔板流量计、电磁流量计和变截面流量计;而精度表示为实际读数的百分数通常用于容积式流量计和涡轮流量计。某些质量流量计采用两种方法的任一种,或采用两种方法的组合形式来表达其精度。

2. 量程比

量程比是一个比值,即在其精度条件下,流量计能测出的最大流量与最小流量之比,通常

以 $x:1$ 表示。这里 x 是测量的最大流量界限除以最小流量界限的商。如最大(测试)流量为 100 L/min, 而最小流量为 10 L/min, 则量程比为 10:1。对于流量计, 不仅要了解其量程比, 而且还应知道它的量程范围, 这是很重要的。某公司可能在流量计规范中列出量程比 10:1 (3~30 L/min) 的条款, 另一公司可能以其他方式表述为量程比 15:1, 流量下界为 2 L/min (即可用于 20~30 L/min 范围), 而在一个公司的描述可能更具戏剧性: 量程比为 15:1, 测量范围为 3~45 L/min。

3. 重复性

重复性是指仪表对相同的流动条件, 在一定的时间内可反复产生相同测量数据的能力。因此, 有时又称为重复性, 并通常表达为流量值之间的最大差值。重复性也可表达为全量程流量的百分数。一种仪表可能具有很好的重复性, 但其精度却很低。不过, 如果流量计在较窄的流量范围内工作, 较高的重复性可以给出实际流量很好的测量值。

4. 线性度

线性度这个指标是表示仪器的标定曲线偏离直线的程度。它通常是在某一给定的流量(范围)条件下被确定。线性度可表示为全量程流量的百分数。要注意, 其定义条件是很重要的。有时, 只有在给定的某一流量范围内, 流量计才能保证在规定的线性度界限的范围内。实际上, 流量计能有很好的线性度, 但精度很差, 这就意味着, 它的标定曲线可能是直线, 但其测量值比正确的实际值较高或较低。

第二节 测量液体的容积式流量计

各类液体的测量主要选用涡轮流量计或容积式流量计。前者容易实现自动化, 因此已使用多年。首先是在注水领域中应用; 而后者传统地被用来计量粘度变化或较高的各类液体, 如原油, 但通常不易实现自动化操作。

涡轮流量计既可用于各类液体, 也可用于气体的计量, 但主要是用于液体, 尤其是在注水领域内应用。这些仪表的精度不必要求非常高, 在多数场合大约是 1%, 但这个精度在注水工程应用时, 已经是足够了。实际上, 在多数油田矿场应用的场合, 并不需要很高的精度, 而在某些制造厂内部却是需要的。典型的涡轮流量计(图 2—1 和图 2—2)是通过把线速度和动量转化为切线推力, 进而使涡轮(或螺旋叶片)转动。

带旋转叶片的容积式流量计被广泛地用于油田分离器的原油和水的计量, 另一个主要用途是用于注水计量, 当然也采用涡轮流量计。旋转叶片式流量计是通过由旋转叶片构成的封闭空间液体容积, 随着叶片的旋转

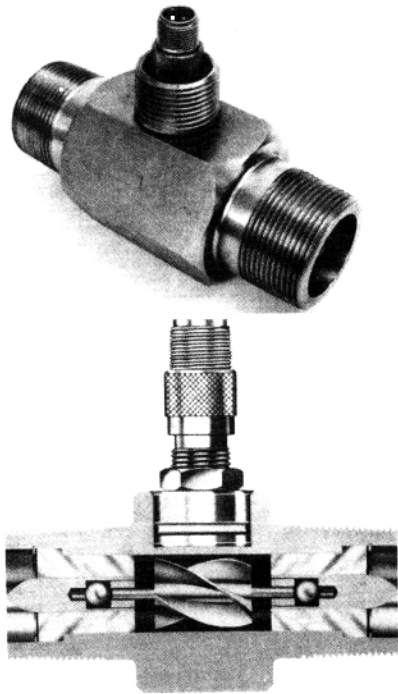


图 2—1 涡轮流量计(由 Halliburton 服务公司提供)