

胡博仲 主编 宫柯 程子健 副主编

磁技术在采油 生产中的应用

N

S



石油工业出版社

北京)

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书共分六章二十节,介绍了石油与水的磁化效应现象和在石油矿场上的磁防蜡、降粘、磁增注、磁防垢的应用实例,可供油田采油工程技术人员参考,也可供采油、注水岗位工人培训使用。

磁技术在采油生产中的应用

胡博仲 主编

宫 柯 程子健 副主编

*

石油工业出版社出版

(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 $5\frac{3}{4}$ 印张 1 插页 147 千字 印 1-1500

1993 年 3 月北京第 1 版 1993 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0877-7 / TE · 819

定价: 5.20 元

序 言

强磁技术是一种高新、高效的应用技术。我国是世界上稀土永磁材料最丰富的国家，发展强磁应用技术在我国具有非常有利的条件和广阔前景。

强磁技术在我国油田上工业性应用是八十年代初在大庆油田开始的。目前已推广到各油田，应用井数已超过 14400 口，取得了良好的技术效果和经济效益。

大庆油田近十年来，在加强应用机理研究的同时，不断扩大应用领域和应用规模。从防蜡发展到降粘，从防垢发展到增注，从采油发展到集输，从解决井筒技术问题，发展到提高采收率。应用规模从百口井发展到上万口井，形成了配套的生产能力。与此同时，大庆油田还与中国科学院金属研究所、物理研究所、化学研究所合作，大力加强应用机理研究。在油田建立了磁处理器检测中心，使磁技术的应用向深度和广度发展。大庆在应用中积累的经验是可贵的，其作法是其他油田可借鉴的。

为了进一步推动磁技术的发展，使之在石油行业形成更大的生产力，大庆油田根据丰富的实践编写了《磁技术在采油生产中的应用》一书，着重介绍了石油与水的磁化效应；磁化效应的参数优选；磁处理装置的设计与安装；采油井磁防蜡与降阻输油；注水井磁增注；油田集输系统磁防垢等内容。书中资料丰富，具有较强的可读性和借鉴作用，特推荐给油田开发部门作为参考书籍。

中国石油天然气总公司开发生产局

罗英俊

11.17.

编 者 的 话

半个世纪以来，石油与水的磁化效应现象不断的被人们发现，早在 60 年代初期苏联就有了在石油矿场上应用磁防蜡、磁增注和磁防垢的文献报导，美国和日本等国家也发表了许多关于这一技术的专利。但磁技术在我国各个油田采油生产中的应用却是近几年的事。1985 年大庆油田首先进行了磁防蜡的矿场试验并取得了成功，接着又开展了磁增注的应用研究和迅速推广。目前磁技术不仅在大庆油田得到了广泛应用，而且在全国其它油田也见到明显效果。为促进磁技术的深入研究和合理使用，本文将大庆油田广大采油工作者的研究试验成果汇编成书，以便交流和普及磁技术的应用知识，提高应用效果。由于目前对磁化效应的机理人们还正在探讨，所以本文对各种磁化效应的本质原因未加论述，石油和水本身是一个复杂的体系，它们对磁场的反应并不十分敏感，加之，众多环境的影响因素给研究带来一定的难度。况且，部分磁技术应用的成功经验并不一定能代表客观规律，本书所列举的实例，也仅能说明磁技术在某种条件下的应用效果，这一点是必须提及的。

磁技术在大庆油田的应用有几年的时间，经验尚不丰富，再加上作者本人的水平所限，汇编过程中，肯定会有许多错误和不周之处，请读者批评指正。

本书在编写过程中得到了大庆石油管理局科委、采油工艺研究所、油田勘探开发研究院、油田建设设计研究院和各采油厂有关同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中由大庆石油管理局采油工艺研究所程子健，油田建设设计研究院朱林，油田勘探开发研究院丁连技，采油一厂李丽秀、朱明和，采油二厂蒋秀兰，采油三厂高国寅、林

雅斌，采油四厂戚国才、张万斯，采油六厂莫忠强，采油七厂王玉普、王明学等同志提供了大量的室内研究资料和现场应用实例，由宫柯同志进行整理汇编，经程子健、房巨亮同志校核和制图，最后由胡傅仲同志审阅定稿。

作者

1990年5月

目 录

第一章 石油与水的磁化效应	(1)
第一节 石油的磁化效应	(1)
第二节 油田注入水的磁化效应	(14)
第三节 磁化水对驱油效率的影响	(23)
第二章 磁化效应的参数优选	(31)
第一节 磁参数优选模拟试验装置	(31)
第二节 磁防蜡、降粘参数优选	(34)
第三节 磁增注参数优选	(44)
第三章 磁处理装置的设计与安装	(49)
第一节 磁性材料	(49)
第二节 磁处理装置设计	(57)
第三节 磁处理装置的安装	(65)
第四节 磁处理装置的质量检测	(68)
第四章 采油井磁防蜡与降阻输油	(75)
第一节 采油井磁防蜡概述	(75)
第二节 萨中油田磁防蜡应用研究及效果	(77)
第三节 杏北油田磁防蜡应用研究及效果	(87)
第四节 磁减阻输油	(92)
第五章 注水井磁增注	(106)
第一节 磁增注试验区	(106)
第二节 萨中油田磁增注	(137)
第三节 喇嘛甸油田磁增注管理方法与效果分析	(145)
第四节 内装外磁式增注器在萨北油田的应用	(151)
第五节 萨南油田磁增注应用效果	(154)
第六章 油田集输系统磁防垢	(158)

第一节	磁防垢现象研究	(158)
第二节	北Ⅱ东四号集油站磁防垢	(164)
第三节	磁防垢效果简介	(171)

第一章 石油与水的磁化效应

第一节 石油的磁化效应

在各油田的采油生产过程中习惯上将石油称为原油，为研究原油经磁场处理后是否产生磁效应，改善原油的流动特性，在大庆油田建设设计研究院工艺室建立了专门的模拟实验研究室，摸索原油经磁场处理后的防蜡、降粘和降凝的规律。

一、实验仪器和实验方法

1. 实验仪器和模拟装置

原油磁处理采用了 DCT10 型电磁铁和永磁体磁化器，磁场强度测试采用了 SM-1 型特斯拉计。原油粘度的测定采用 NCS-2 型超声波粘度计，原油凝固点的测定采用 GB10-75 型凝固点测定仪，原油结蜡量测试在专门设计的模拟装置上进行，其流程见图 1-1，原油 DSC 曲线的测试采用了美国产的 P-E 差式扫描量热计，磁处理前后原油的蜡晶形貌采用偏光显微照相及电视录像进行观察。

2. 实验方法

由于实验主要是研究原油在磁处理前后被测参数的变化，所以实验均采用对比测试的方法，即把一份油样分成两部分，一部分进行磁处理，另一部分不进行磁处理，分别进行测试。通过对油样磁处理前后的测试数据对比，研究其不同条件下的变化规律。实验过程中每份油样只用一次，避免了重复用样带来的误差。由于不同油田的原油性质差异很大，所以模拟实验的结果往往会出现多极值关系，本节所引用的实验结果是使用大庆油田萨南地区油样做的模拟实验，其原油的物理性质见表 1-1。

二、原油磁处理后的物性变化

1. 磁场对原油粘度的影响

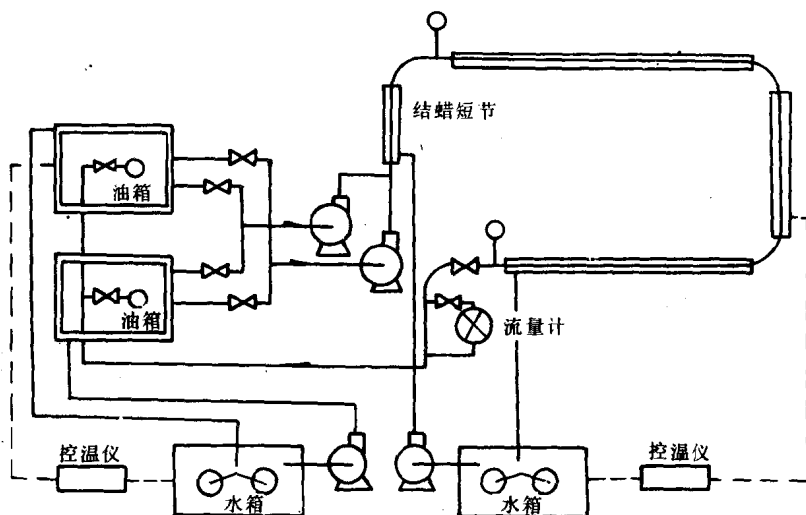


图 1-1 管道结蜡模拟装置流程图

表 1-1 萨南原油物性表

项目	含蜡量 (%)	含沥青质 (%)	碳渣 (%)	含胶质 (%)	含硫 (%)	凝固点 (℃)
数据	21.8	1.5	2.7	14.5	0.114	32

不同含水量的油样经模拟实验装置处理后，测定了在不同温度 and 不同磁感应强度下的粘度变化量。

(1) 磁处理温度与降粘的关系

在恒定温度下，测定了磁处理前后原油的粘度变化值，并计算出原油的降粘率，得到了磁处理温度与原油降粘率的关系曲线，见图 1-2。

$$\text{降粘率} = (1 - \text{磁化原油粘度} / \text{未磁化原油粘度}) \times 100\%$$

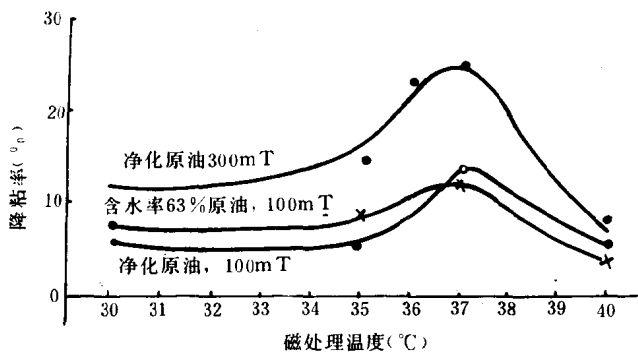


图 1-2 磁处理温度与原油降粘率的关系

实验表明，含水原油和净化原油在温度为 35–40℃ 之间时经 100–300mT 磁场处理有较明显的降粘效果，实验的最佳磁处理温度为 37℃。

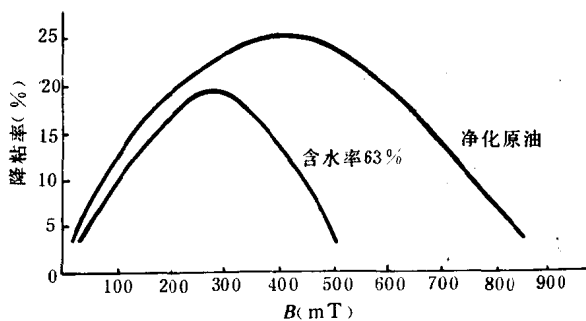


图 1-3 磁感应强度与原油降粘率的关系

(2) 磁感应强度与降粘的关系

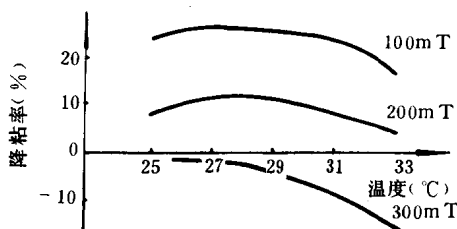


图 1-4 含水 84%原油
的磁化降粘率曲线

通过对不同磁感应强度处理的原油粘度与未经磁场处理的原油粘度对比测试,得到了原油降粘率随磁感应强度的变化关系。实验结果表明,磁处理温度在30-40℃范围内,无论是含水原油还是净化原油,其降粘率与磁感应强度的变化趋势大致相

同,图 1-3 是磁处理温度为 37℃ 时磁感应强度与原油降粘率的关系曲线。原油降粘率起初随磁感应强度的增大而上升,经一峰值后,降粘率又随磁感应强度的增大而下降,具体的变化关系随原油含水率的不同而异,但总的趋势是随着原油含水率的降低降粘率逐渐增大。

(3) 原油含水率与磁感应强度的关系

原油在管道内流动时是一个连续降温的过程,实验按照一定的温度把相同的两筒油样同时进行恒温后,一个经磁场处理,一个不经磁场处理,然后连续降温测定其降粘率的变化值,图 1-4、图 1-5 和图 1-6 是磁处理温度为 37℃ 时,不同含水

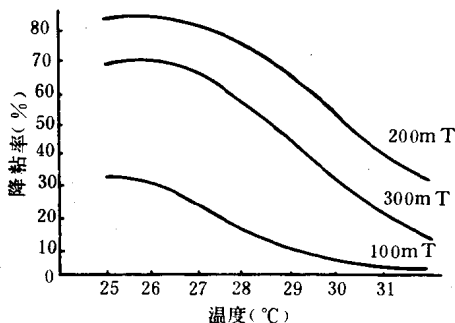


图 1-5 含水 47%原油
的磁化降粘率曲线

原油的降粘率随油温下降的变化关系。可以看出,磁感应强度为

100–300mT，含水为 84%原油的降粘率随磁感应强度的增大而减小。含水为 30%原油的降粘率随磁感应强度的增大而增大，对含水为 47%的原油进行磁处理时，适宜的磁感应强度为 200mT。图 1-7 是含水率为 90%、70%、63%和 15%的原油在不同磁感应强度下的降粘率曲线。这一特征表明，随着原油含水率的降低，提高降粘率应适当增加磁感应强度。

综合上述模拟研究结果，磁降粘的适宜温度为 35–40℃，磁感应强度随原油含水率的不同而异，当含水大于 70%的原油进行磁处理时，磁感应强度为 100mT 效果较好；含水率在 70–30%范围内时，适宜的磁感应强度为 200mT；含水率小于 30%时，磁感应强度以 300mT 为宜。一般来说，原油磁处理时的降粘效果随着原油含水率的上升而减小，随磁处理后的原油温度的降低而增大。这些现象表明，磁处理能有效地降低低含水率原油在管输中的摩阻。

2. 磁场对原油凝固点的影响

通过对含水率不同的原油磁处理模拟实验，发现磁感应强度和梯度对原油凝固点有影响，测试结果表明磁处理后可以使原油的凝固点下降。

(1) 磁感应强度与降凝的关系

采用了磁处理油样和未经磁处理油样

相对比的测试方法，测定了不同磁处理条件下原油的凝固点。图 1-8 是磁处理温度为 35℃时，含水率不同的原油降凝与磁感应强度关系曲线。可以看出，原油凝固点的降低程度与磁感应强度

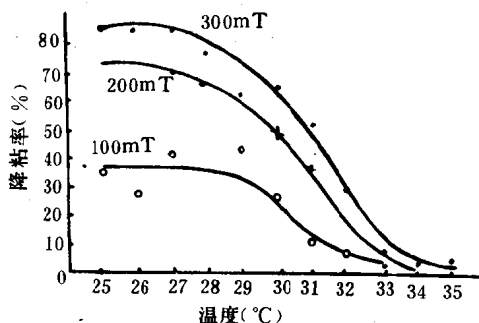


图 1-6 含水 30%原油
的磁化降粘率曲线

和原油含水率有关，起初随磁感应强度的增加原油降凝幅度增大，经一峰值后又随磁感应强度的增加降凝幅度减小。模拟实验反应磁感应强度在 450—650mT 范围内能取得较好的降凝效果，净化原油磁处理降凝效果比含水原油明显，最大可以使原油凝固点下降 3℃。

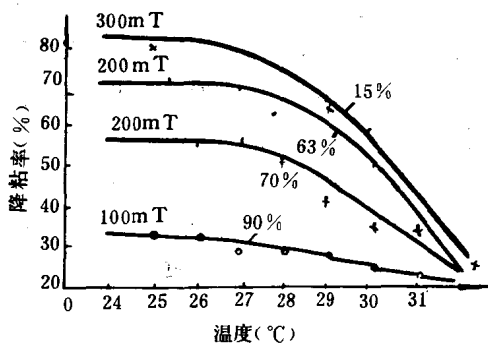


图 1-7 含水不同的原油在不同磁场强度下的降粘曲线

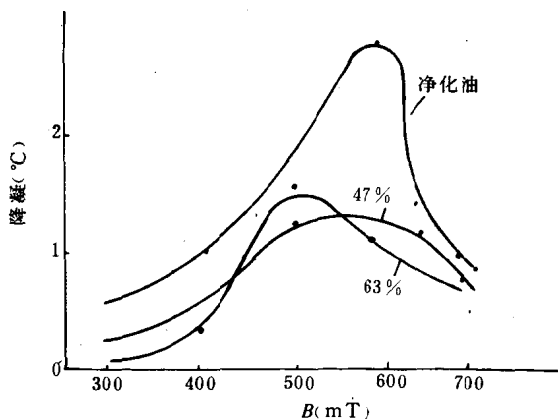


图 1-8 磁感应强度与降凝关系曲线

(2) 磁场对原油凝固点的影响

为了研究磁场对原油凝固点的影响,通过模拟实验测试了含水率为 63% 的原油经非均匀的磁场和均匀的磁场处理后的凝固点。实验采用的两种磁场的磁感应强度峰值相等,磁处理时的温度为 40℃。由表 1-2 的实验可以看出,原油经非均匀磁场和均匀磁场处理后其降凝效果相近,说明磁处理所产生的降凝效果主要是磁感应强度的作用。

表 1-2 磁处理前后原油凝固点测试数据

组别	磁处理 方式	流 速 ($\times 10^{-2}\text{m/s}$)	凝固点, $^{\circ}\text{C}$			降凝 ($^{\circ}\text{C}$)	备注
			1	2	平均		
1	未磁化	1.14	34.5	34.0	34.25	1.25	经非均匀 磁场处理
	磁化		33.2	32.8	33.0		
2	未磁化	1.43	34.5	35.0	34.75	1.70	
	磁化		33.1	33.0	33.05		
3	未磁化	0.63	34.5	34.7	34.6	1.35	
	磁化		33.4	33.1	33.25		
4	未磁化	1.43	34.5	34.0	34.25	1.75	
	磁化		32.5	32.5	32.5		
5	未磁化	0	34.5	34.5	34.5	1.6	
	磁化		32.8	33.0	32.9		
6	未磁化	0	34.5	34.4	34.45	1.75	
	磁化		33.2	32.8	32.7		

3. 磁场对原油结蜡的影响

实验采用含水率为 63% 的含水油样，经模拟实验装置进行磁处理防蜡效果实验，测试了在不同磁感应强度下原油的 DSC 曲线，并对油样经磁处理前后的蜡晶形貌进行了显微观测。

(1) 防蜡实验方法和效果

在管道模拟装置上使原油以一定温度进行 1.5 小时的循环，管壁外套用低于油温 2°C 的水进行循环冷却，使管壁内外的温差保持恒定，致使原油在管壁上结蜡，对实验用的结蜡短节采用加热称重法测得结蜡量，即把结蜡短节在 40°C 的条件下恒温 2 小时，去掉粘附在管壁上的原油，然后继续升温，烘下结在管壁上的蜡并称重。

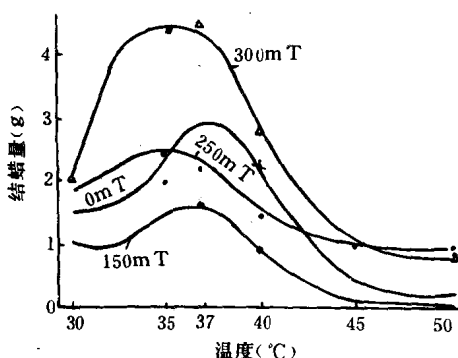


图 1-9 磁处理前后原油结蜡量与油温的关系曲线

图 1-9 是经不同磁场处理的油样和未经磁场处理的油样结蜡量与油温关系曲线。由此可看出，磁处理前原油管道的结蜡程度与油温有关，当油温在 37°C 附近为结蜡高峰点，油温低于 37°C 时结蜡量随着油温的上升而增加，油温超过 37°C 时结蜡量随着油温上升而减少。经不同磁感应强度磁化器处理的原油在不同温度下的结蜡量与未经磁处理的对比，发现在温度为 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的范围内，磁感应强度峰值为 150mT 的磁化器有较好的防蜡效

果，在结蜡高峰点防蜡率为 47%。

$$\text{防蜡率} = (1 - \text{磁处理后结蜡量} / \text{未磁处理结蜡量}) \times 100\%$$

磁感应强度峰值为 250mT 的磁化器只在 35–42℃ 油温之间使原油结蜡减少，而在小于 35℃ 或大于 42℃ 反而使管道结蜡增多；在实验温度的范围内，磁感应强度峰值为 300mT 的磁化器都表现为原油结蜡增加。图 1-10 是油温分别在 37℃、40℃ 的情况下磁化器中心的最大磁感应强度与原油结蜡量的关系。

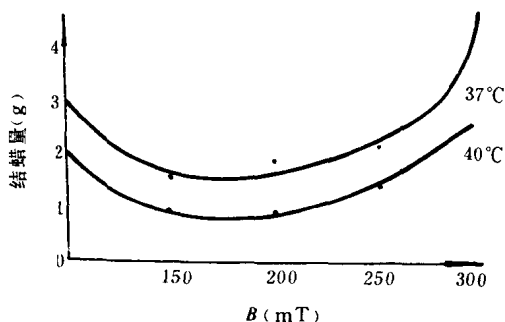


图 1-10 磁感应强度与原油结蜡量的关系

(2) 磁感应强度与原油析蜡峰点的关系

将原油恒温在 60℃，然后按 3℃ / min 连续降温，测量了原油的 DSC 曲线，实验结果见图 1-11。原油在降温过程中在 42–35℃ 范围内，出现一大的放热峰，反映了随着温度的降低，原油中的石蜡按分子量由大到小依次析出和结晶，并在 38℃ 附近为原油析蜡高峰点，这与原油在管道中结蜡的高峰点基本对应。

用同样的方法测试了经不同磁感应强度磁场处理的原油在降温过程中的 DSC 曲线，得到了磁感应强度与原油析蜡峰点的关

系, 见图 1-12。磁处理后使原油析蜡峰点发生了变化, 其变化与磁感应强度呈非线性关系, 在 100–250mT 范围内, 析蜡峰点下降较为明显, 其最低发生在磁场强度为 200mT 的条件下。

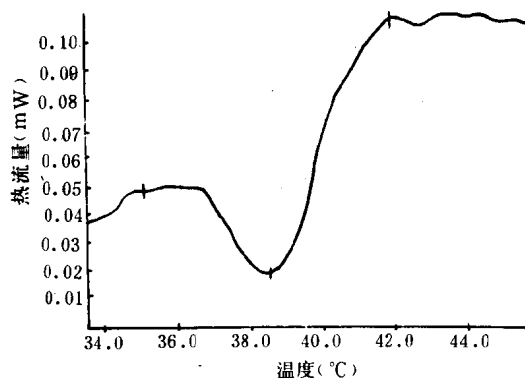


图 1-11 含蜡原油降温过程的 DSC 曲线

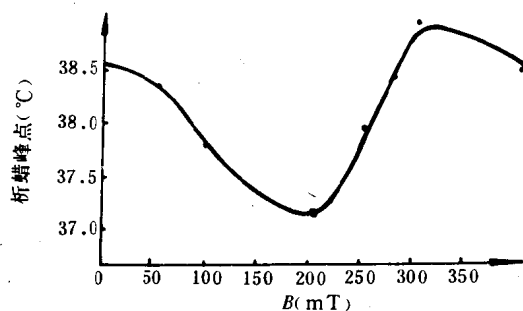


图 1-12 磁感应强度与原油析蜡峰点的关系

(3) 磁处理前后原油蜡晶显微观察

将原油在加热至 60℃ 恒温后, 在磁感应强度为 200mT 的条件下, 分别做磁处理原油和未处理原油在连续降温过程中的显微