

甲酸盐完井液技术

滕学清 杨向同 徐同台 等编著



石油工业出版社

石油工业出版社

甲酸盐完井液技术

滕学清 杨向同 徐同台 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了甲酸盐的化学性质与溶解性能、甲酸盐盐水溶液的物理性能、油田气体对甲酸盐盐水性能的影响、油田液体对甲酸盐盐水性能的影响、完井液处理剂对甲酸盐盐水性能的影响、甲酸盐盐水对金属性能的影响、甲酸盐井壁稳定性、甲酸盐盐水对储层渗透率的影响、甲酸盐盐水对有关材料的性能影响及甲酸盐完井液的应用等。

本书为从事钻(完)井液技术人员进行甲酸盐钻(完)井液研究与现场应用提供理论与实践依据,既可作为技术手册,亦可作为钻(完)井技术人员了解相关甲酸盐钻(完)井液技术知识的培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

甲酸盐完井液技术/滕学清等编著.

北京:石油工业出版社,2016.11

ISBN 978-7-5183-1601-4

I. 甲…

II. 滕…

III. 完井液-研究

IV. TE257

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274646 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523535 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:22.75

字数:580 千字

定价:180.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

随着石油工业的不断发展,钻井和完井面临的问题也在不断变化。现在钻井、完井中遇到了更多的高温高压环境、水平井、长延伸钻井、小井眼井、页岩油气井、油气储层保护、管材腐蚀、环境保护和安全生产等一系列新问题。这些问题需要钻(完)井液技术有新的发展。20 世纪 80 年代初期,壳牌公司开始研究甲酸盐钻(完)井液,采用甲酸钠、甲酸钾,成功地作为打开油层的钻井液、完井液、修井液和悬浮液使用,其最高密度达到 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 。为了将该项技术应用于高温高压井,该公司进一步进行研究表明,可采用甲酸铯或甲酸钾钻(完)井液。甲酸铯钻(完)井液最高密度可加重到 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。此突破使配制高密度的无固相甲酸盐盐水钻井液成为可能。1996 年底,卡博特公司在加拿大马尼托巴省 TNACO 矿建立了大规模铯提炼工厂,使甲酸盐在高温高压油气井勘探开发中的应用成为现实。

甲酸盐在钻(完)井作业中的应用表明:甲酸盐钻(完)井液具有减轻对油气层的伤害,有助于新油气田的发现、油井产量与油田采收率的提高,减少井下复杂情况,提高钻(完)井速度、缩短钻(完)井周期,防止管材腐蚀,具有最佳的环保和安全特性等优点。尽管该钻(完)井液成本较高,但总的经济效益是可行的,加上甲酸盐钻(完)井液回收再利用技术的研发成功,该类钻(完)井液已在国内外推广应用,证实该钻(完)井液十分适合上述具有挑战性问题的解决。

为了使广大技术人员更好地掌握甲酸盐物理化学性质和甲酸盐完井液技术,塔里木油田公司与北京石大胡杨石油科技发展有限公司对国内外甲酸盐钻(完)井液研究成果进行了综合研究分析,并结合国内情况,对甲酸盐钻(完)井液所使用的处理剂及配方进行了大量的实验研究工作,在此基础上编著了《甲酸盐完井液技术》。

本书共分十章。第一章由刘洪涛、耿娇娇、何剑锋、赵忠举、刘国宝编写;第二章由滕学清、赵忠举、耿海龙、刘雨晴、巴旦、蒋绍宾编写;第三章由杨向同、周长所、李家学、杨洁、杨忠武、赵忠举编写;第四章由滕学清、张瑞芳、张雪松、徐同台、杨玉增、方艳编写;第五章由刘会锋、肖伟伟、冯学谦、马昭华编写;第六章由谢俊峰、徐同台、单锋、肖伟伟、赵荣怀编写;第七章由张伟、周长所、滕学清、徐同台、周玉、万效国编写;第八章由杨向同、耿娇娇、周鹏遥、彭芳芳、齐凤林、张国臣编写;第九章由杨向同、赵忠举、吴长涛、刘雨晴、李雪超编写;第十章由谢俊峰、徐同台、李岩、张瑞芳、张宏博、赵忠举编写。全书由滕学清、徐同台、杨向同审定。

本书在编写过程中得到了卡博特特种液体公司的支持与帮助,得到该公司许可,书中部分内容引自该公司《甲酸盐技术手册》(2015 年版本),在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中可能会出现一些不妥之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 甲酸盐的化学性质与溶解性能	(1)
第一节 甲酸盐的化学性质	(1)
第二节 甲酸盐溶解性能	(3)
参考文献	(34)
第二章 甲酸盐盐水溶液的物理性能	(35)
第一节 甲酸盐盐水活度	(35)
第二节 甲酸盐盐水的沸点和汽化压力	(39)
第三节 甲酸盐盐水黏度和结晶温度	(43)
第四节 甲酸盐盐水的 pH 值和缓冲 pH 值	(65)
第五节 甲酸盐水热传导系数、比热容和热稳定性	(76)
第六节 甲酸盐盐水电阻率、含氢指数、声速和放射性	(92)
第七节 甲酸盐盐水可压缩性和热膨胀系数	(103)
第八节 甲酸盐盐水润滑性	(115)
第九节 甲酸盐盐水生物毒性	(119)
参考文献	(123)
第三章 油田气体对甲酸盐盐水性能的影响	(126)
第一节 二氧化碳对甲酸盐盐水性能的影响	(126)
第二节 硫化氢对甲酸盐盐水性能的影响	(129)
第三节 氧对甲酸盐盐水性能的影响	(130)
第四节 甲烷对甲酸盐盐水性能的影响	(131)
第五节 气体在甲酸盐盐水中的扩散	(134)
参考文献	(138)
第四章 油田液体对甲酸盐盐水性能的影响	(139)
第一节 甲酸盐盐水之间性能的相互影响	(139)
第二节 卤族盐水对甲酸盐盐水性能的影响	(140)
第三节 海水对甲酸盐盐水性能的影响	(142)
第四节 地层水对甲酸盐盐水性能的影响	(143)
第五节 水基完井液对甲酸盐盐水性能的影响	(144)
第六节 油基和合成基完井液对甲酸盐盐水性能的影响	(147)
第七节 隔离液对甲酸盐盐水的性能影响	(149)

第五章 甲酸盐完井液处理剂	(151)
第一节 增黏剂	(151)
第二节 降滤失剂	(170)
第三节 封堵剂	(189)
第四节 加重剂	(194)
第五节 其他类处理剂	(196)
参考文献	(201)
第六章 甲酸盐盐水对金属性能的影响	(202)
第一节 腐蚀的类型及耐腐蚀合金钢	(202)
第二节 甲酸盐盐水对金属的腐蚀	(204)
第三节 被二氧化碳污染的甲酸盐盐水的腐蚀性	(206)
第四节 被硫化氢污染的甲酸盐盐水的腐蚀性	(215)
第五节 被氧污染的甲酸盐盐水的腐蚀性	(221)
第六节 金属材料在甲酸盐盐水中的氢脆	(224)
第七节 甲酸盐盐水对国内油田高温高压井所用管材的腐蚀	(227)
第八节 甲酸盐盐水腐蚀室内试验与现场防腐蚀注意事项	(242)
第九节 甲酸盐盐水现场使用情况	(244)
参考文献	(248)
第七章 甲酸盐盐水对泥页岩井壁稳定性的影响	(250)
第一节 泥页岩井壁失稳机理	(250)
第二节 甲酸盐盐水稳定泥页岩的作用机理	(254)
第三节 甲酸盐盐水稳定泥页岩的实验研究	(259)
第四节 使用甲酸盐稳定泥页岩的现场实例	(266)
参考文献	(268)
第八章 甲酸盐对储层渗透率的影响	(270)
第一节 地层伤害机理及甲酸盐的应用	(270)
第二节 用甲酸盐进行注入实验的储层条件	(271)
第三节 地层水与甲酸盐盐水的相容性试验	(275)
第四节 甲酸盐盐水与其他高密度盐水的对比	(277)
第五节 甲酸盐盐水钻井液与固相加重钻井液的对比	(279)
第六节 甲酸盐盐水钻井液和完井液现场应用实例	(283)
第七节 用甲酸盐钻井和完井液的现场生产数据分析	(288)
参考文献	(289)

第九章 甲酸盐盐水对有关材料性能的影响 (291)

 第一节 甲酸盐盐水对合成橡胶材料性能的影响 (291)

 第二节 甲酸盐盐水对其他材料性能的影响 (301)

 参考文献 (303)

第十章 甲酸盐完井液的应用 (304)

 第一节 甲酸盐的生产工艺与质量要求 (304)

 第二节 甲酸盐完井液 (308)

 第三节 甲酸盐水配制、储存、运输及回收与再生 (328)

 参考文献 (334)

附录 A 甲酸钠质量检测方法 (335)

附录 B 甲酸钾质量检测方法 (340)

附录 C 甲酸盐完井液腐蚀性能评价方法 (345)

附录 D 单位换算表 (356)

第一章 甲酸盐的化学性质与溶解性能

甲酸是脂肪族羧酸,分子式 HCOOH 。它是 1671 年 J. Wray 从红蚂蚁中首先发现的,所以又称蚁酸。1855 年 M. Berthlot 发现碱金属氢氧化物羧基化反应可制备甲酸盐,并首次用氢氧化钠和一氧化碳制成甲酸钠。甲酸盐种类很多,油田常用的甲酸盐有甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯,其化学组成与分子结构有所不同。

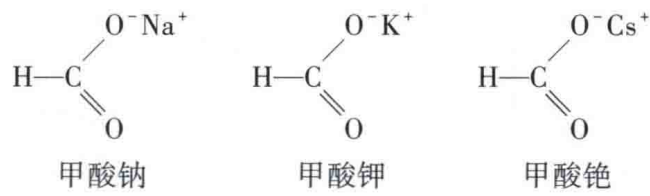
甲酸盐易溶于水,甲酸盐盐水是甲酸的碱金属盐类的水溶液,溶解后具有较高的密度和较低的结晶温度。

本章将论述油田常用的三种甲酸盐的化学性质与溶解性能。

第一节 甲酸盐的化学性质

一、化学组成

甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯,其分子式如下:



甲酸盐易溶于水,表 1-1-1 给出了上述 3 种甲酸盐的基本性质。

表 1-1-1 甲酸钠、甲酸钾、甲酸铯的基本性质

盐水	分子式	分子质量 g/mol	20℃ (68°F) 溶解度		溶液密度	
			mol/L	% (质量分数)	g/cm ³	lb/gal
甲酸钠	HCOONa	68.01	9.1	46.8	1.33	11.1
甲酸钾	HCOOK	84.12	14.5	76.8	1.59	13.2
甲酸铯	HCOOCs	177.92	—	—	2.3	19.2
甲酸铯水化物	HCOOCs · H ₂ O	195.94	10.7	83	2.3	19.2
甲酸离子	HCOO ⁻	45.02	—	—	—	—

可以看出,甲酸的碱金属盐类溶解后形成的甲酸盐盐水具有较高的密度,满足在钻井和完井作业中所需的各种密度(图 1-1-1)。

碱金属阳离子 (Na^+ , K^+ , Cs^+) 都是单价离子,不仅与生物高聚物等常用钻井液处理剂

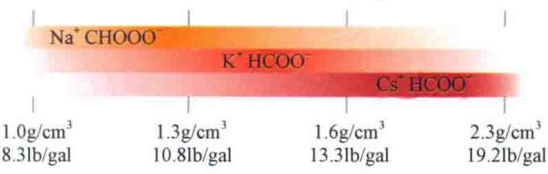


图 1-1-1 甲酸盐盐水密度分布范围

具有良好的相容性,同时与地层水接触不产生任何沉淀物,具有不伤害储层的特点。

甲酸阴离子是一种抗氧化剂,该离子含有还原性基团,可以快速清除自由的氢氧基团,抑制聚合物的氧化降解,有效保护各种处理剂,使其可在高温下稳定地发挥作用;同时,甲酸根离子具有强亲水性,是少数几种水结构形成剂之一,它的这种特性能够大幅度地提高聚合物的转变温度,可以使溶解的高分子聚合物在高温下更加有序、坚韧和稳定。抗氧化特性和水结构化特性的结合,使甲酸盐可以极大地提高普通钻井液用聚合物的热稳定极限。例如,常用的黄原胶增黏剂,溶于甲酸盐盐水后可在高达 180°C 的温度下稳定 16h,明显高于在其他盐水中的稳定性;通过加入其他的抗氧化剂和除氧剂,可以使其热稳定性提高到 204°C [1]。

二、分子结构

卡博特公司委托英国 Warwick 大学化学系进行了甲酸盐晶体结构的研究,得出以下认识。

1. 单一甲酸盐的分子结构

图 1-1-2 所示为甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯晶体结构的三轴平面图。可以看出,3 种甲酸盐的晶格结构随着分子中阳离子体积的增大而发生明显变化;从图中还可以看出阳离子大小的影响:钠比较小,可以填充在甲酸根离子之间;钾和铯比较大,强迫甲酸盐的层面分开。

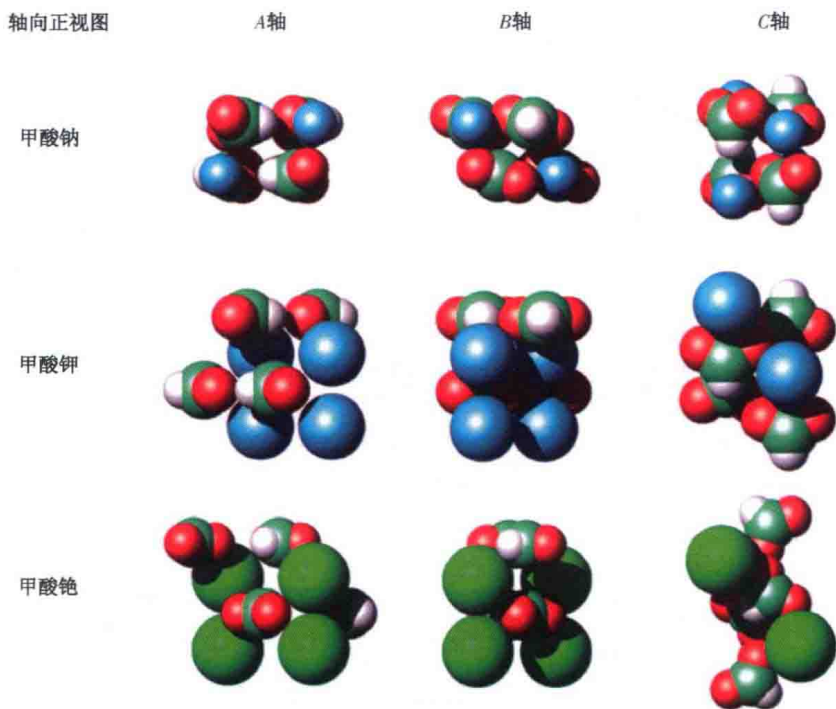


图 1-1-2 甲酸钠、甲酸钾、甲酸铯晶体结构的三轴平面图

甲酸根离子中,淡绿色球表示 C,红色球表示 O,白色球表示 H;

Na^+ 和 K^+ 用蓝色球表示; Cs^+ 用大绿球表示

甲酸钠:钠离子小到可以填充在平面内甲酸盐离子间的间隙中。

甲酸钾:钾离子太大,不能进入甲酸盐离子间的间隙中,而是在平面内,平面内甲酸根离子形成类似氢键的键结。

甲酸铯:与甲酸钾的结构类似,较大尺寸的铯离子破坏了甲酸盐离子的堆积。没有发现类似氢键的键结。

3种甲酸盐晶格中,甲酸盐离子都堆叠在平行平面内;由于钾离子和铯离子体积大,甲酸钾和甲酸铯晶格中的甲酸盐离子晶面是分开的。

2. 混合盐的分子结构

(1)甲酸钠与甲酸铯的混合物。研究成果表明,甲酸钠和甲酸铯混合物可形成二元双重体,钠嵌在甲酸盐层面内,铯嵌在层面中间。在饱和溶液中,这种双重体最先析出。市场上出售的甲酸铯盐水中含有钠(用来制造甲酸铯的铯榴矿中约含1%~2%的钠),钠也是油田用甲酸盐中普遍存在的杂质。图1-1-3所示的是甲酸钠和甲酸铯双重体的晶体结构的三轴平面图,从图中可以看出,第一视角下晶体结构与单一甲酸钠和甲酸铯非常类似,钠嵌在甲酸盐层面中,铯则嵌在它们中间。

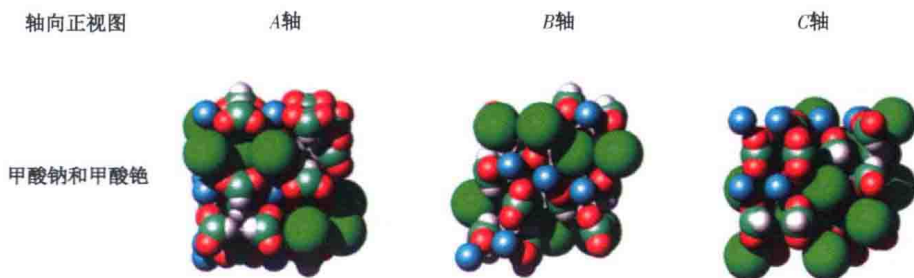


图1-1-3 甲酸钠和甲酸铯双重体晶体结构的三轴平面图

甲酸根离子中,淡绿色球表示C,红色球表示O,白色球表示H;

Na^+ 和 K^+ 用蓝色球表示; Cs^+ 用大绿球表示

(2)甲酸钾与甲酸铯的混合物。在甲酸铯盐水中加入钾离子,会使结构变得更不紧凑。

第二节 甲酸盐溶解性能

一、甲酸盐盐水的密度

甲酸盐极易溶于水,能够产生高密度盐水。3种常见的甲酸盐(甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯)中,甲酸铯的质量溶解度最大(83%),甲酸钾的摩尔溶解度最大(14mol/L)。甲酸钾和甲酸铯混合后能够产生高摩尔浓度的混合液,能够满足不同钻井液及完井液密度的需要。

1. 常见单一甲酸盐盐水密度

甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯盐水在15.6℃条件下,其密度与浓度、密度与摩尔浓度的关系如图1-2-1和图1-2-2所示。由图可知,利用甲酸铯能够得到更高密度的甲酸盐盐水,利用甲酸钾能够得到更高摩尔浓度(离子)的甲酸盐盐水。

研究表明,不同甲酸盐溶解的质量分数与形成的盐水密度可以通过回归方程表示,具体见表1-2-1。

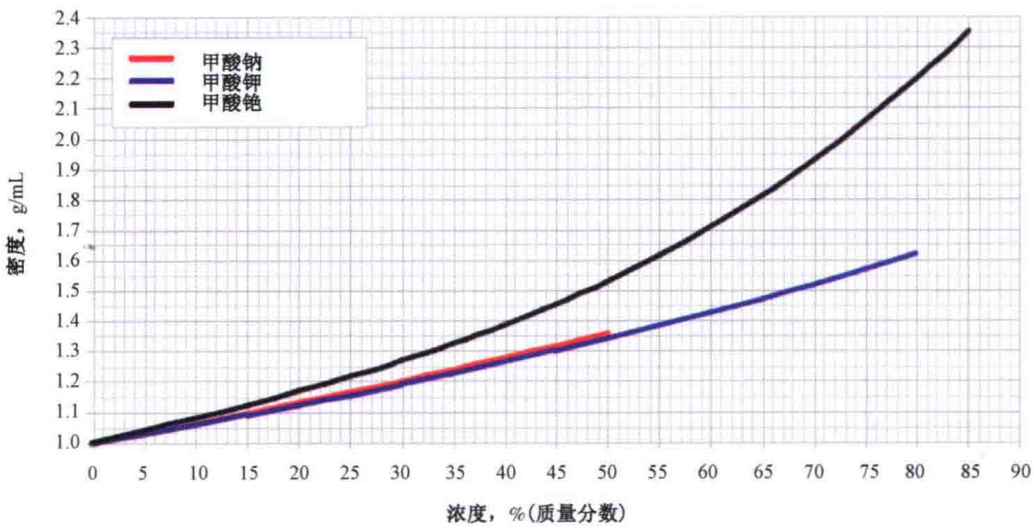


图 1-2-1 15.6℃ 温度条件下甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯盐水密度与浓度关系曲线

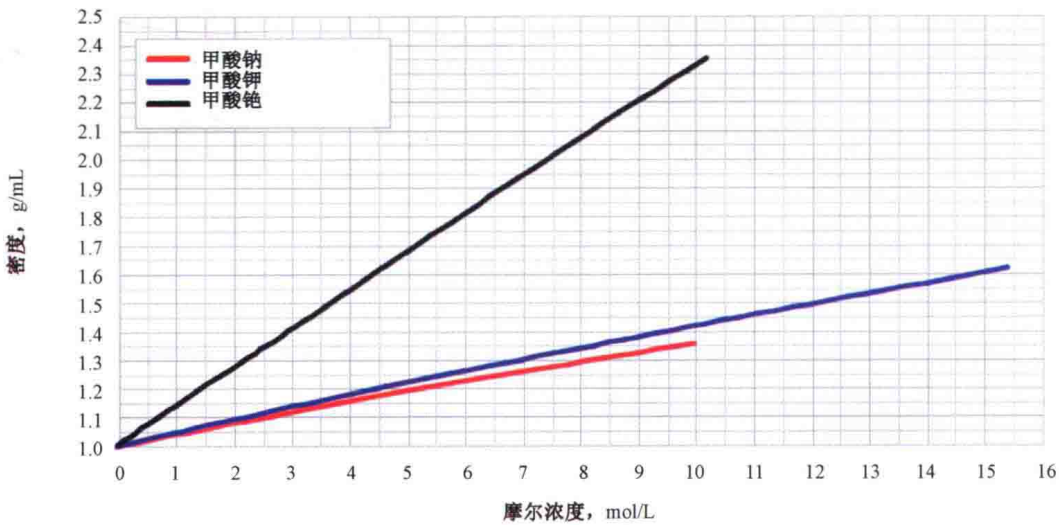


图 1-2-2 15.6℃ 温度条件下时甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯盐水密度与摩尔浓度关系曲线

表 1-2-1 甲酸盐溶解质量分数与盐水密度关系式

回归方程	甲酸钠	甲酸钾	甲酸铯
	$m_1 = A\rho^2 + B\rho + C \quad (1-2-1)$	$m_2 = A\rho^3 + B\rho^2 + C\rho + D \quad (1-2-2)$	$m_3 = (A + B\rho)(1 + C\rho + D\rho^2) \quad (1-2-3)$
A	-63.32226	30.94023	-2416.02
B	288.2608	-186.242	2418.206
C	-224.796	454.5065	16.73794
D		-299.048	-0.31469

注： ρ —密度， g/cm^3 ； m_1, m_2, m_3 —分别为甲酸钠、甲酸钾和甲酸铯的质量分数。

根据表 1-2-1 中的关系式，利用下列方程即可编制出不同甲酸盐盐水的配置表。
 用液态原料配制 1m^3 的甲酸盐盐水：

$$V_{\text{stock}} = \frac{m_{\text{req}} \rho_{\text{req}} \times 1000}{m_{\text{stock}} \rho_{\text{stock}}} \tag{1-2-4}$$

$$V_{\text{water}} = \frac{1000\rho_{\text{req}} - V_{\text{stock}} \rho_{\text{stock}}}{0.999} \tag{1-2-5}$$

用甲酸盐粉末配制 1m³的甲酸盐盐水：

$$W_{\text{power}} = \frac{m_{\text{req}} \rho_{\text{req}} \times 1000}{m_{\text{power}}} \tag{1-2-6}$$

$$V_{\text{water}} = \frac{\rho_{\text{req}} \times 1000 - W_{\text{power}}}{0.999} \tag{1-2-7}$$

式中 V_{stock} ——所需要原料盐水的体积,L;
 V_{water} ——所需水的体积,L;
 m_{req} ——新盐水中甲酸盐的质量分数[式(1-2-1)至式(1-2-3)];
 m_{stock} ——原料盐水中甲酸盐的质量分数[式(1-2-1)至式(1-2-3)];
 m_{power} ——粉末甲酸盐的质量分数;
 ρ_{req} ——新盐水所需密度,g/cm³;
 ρ_{stock} ——原料盐水密度,g/cm³;
 W_{stock} ——原料盐水质量,kg;
 W_{power} ——粉末的质量,kg。

1) 甲酸钠盐水配制表

根据原料甲酸钠盐水密度、所需甲酸钠盐水密度以及原料甲酸钠盐水和所需盐水甲酸钠含量[由式(1-2-1)计算得出],利用式(1-2-1)、式(1-2-4)以及式(1-2-7),即可计算得到并编制出不同密度甲酸钠盐水的配置表。

表 1-2-2 为甲酸钠盐水配制表(使用含水量为 0.3% 的甲酸钠粉末配制)。

表 1-2-2 甲酸钠盐水配制表

密度 g/cm ³	甲酸钠含量			用甲酸钠粉末(含水 0.3%)配制 1m ³ 盐水	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	甲酸钠粉末用量 kg	水用量 L
0.999	0.0	0.00	0.0	0.0	1000.0
1.000	0.1	0.02	0.0	1.4	999.6
1.010	1.8	0.26	0.5	17.8	993.2
1.020	3.3	0.50	0.9	34.3	986.7
1.030	4.9	0.75	1.4	51.0	980.0
1.040	6.5	0.99	1.8	67.9	973.1
1.050	8.1	1.25	2.3	84.9	966.0
1.060	9.6	1.50	2.7	102.2	958.8

续表

密度 g/cm ³	甲酸钠含量			用甲酸钠粉末(含水0.3%)配制1m ³ 盐水	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	甲酸钠粉末用量 kg	水用量 L
1.070	11.1	1.75	3.2	119.6	951.3
1.080	12.7	2.01	3.7	137.2	943.7
1.090	14.2	2.27	4.2	155.0	936.0
1.100	15.7	2.53	4.7	172.9	928.0
1.110	17.2	2.80	5.2	191.0	919.9
1.120	18.6	3.07	5.7	209.2	911.7
1.130	20.1	3.34	6.2	227.6	903.3
1.140	21.5	3.61	6.8	246.2	894.7
1.150	23.0	3.88	7.3	264.8	886.0
1.160	24.4	4.16	7.9	283.7	877.2
1.170	25.8	4.44	8.4	302.6	868.2
1.180	27.2	4.72	9.0	321.7	859.1
1.190	28.6	5.00	9.6	340.9	849.9
1.200	29.9	5.28	10.2	360.3	840.6
1.210	31.3	5.57	10.8	379.7	831.1
1.220	32.6	5.85	11.4	399.3	821.5
1.230	34.0	6.14	12.0	419.0	811.8
1.240	35.3	6.43	12.6	438.8	802.0
1.250	36.6	6.73	13.3	458.7	792.1
1.260	37.9	7.02	13.9	478.8	782.0
1.270	39.2	7.31	14.6	498.9	771.9
1.280	40.4	7.61	15.2	519.1	761.7
1.290	41.7	7.91	15.9	539.4	751.4
1.300	42.9	8.21	16.6	559.7	741.0
1.310	44.2	8.51	17.3	580.2	730.5
1.320	45.4	8.81	18.0	600.8	720.0
1.330	46.6	9.11	18.8	621.4	709.3
1.340	47.8	9.41	19.5	642.1	698.6
1.350	49.0	9.72	20.3	662.8	687.9
1.360	50.1	10.02	21.0	683.7	677.0

2) 甲酸钾盐水配制表

根据原料甲酸钾盐水密度、所需甲酸钾盐水密度以及原料盐水和所需盐水甲酸钾含量[由式(1-2-2)计算得出],利用式(1-2-2)、式(1-2-4)以及式(1-2-7),即可计算得

— 6 —

到并编制出不同密度甲酸钾盐水的配制表。

表 1-2-3 列出使用密度为 1.57g/cm³ 的标准甲酸钾盐水、密度为 1.54g/cm³ 的较稀释甲酸钾盐水以及含水量为 0.3% 的甲酸盐粉末编制而成的甲酸钾盐水的配制表。

表 1-2-3 甲酸钾盐水配制表

密度 g/cm ³	甲酸钾含量			用 1.57g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用 1.54g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用甲酸钾粉末(含水 0.3%) 配制 1m ³ 盐水	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	盐水用量 L	水用量 L	盐水用量 L	水用量 L	甲酸钾粉末用量 kg	水用量 L
0.999	0	0	0	0	1000.0	0	1000.0	0	1000.0
1	0.16	0.02	0.03	1.3	998.9	1.4	998.8	1.6	999.4
1.01	1.9	0.23	0.41	16.2	985.5	17.2	984.5	19.2	991.8
1.02	3.62	0.44	0.8	31.3	971.9	33.2	969.9	37	984
1.03	5.32	0.65	1.19	46.4	958.1	49.3	955.1	55	976
1.04	7	0.87	1.59	61.7	944.1	65.5	940.1	73.1	967.9
1.05	8.67	1.08	1.99	77.1	929.9	81.9	924.8	91.3	959.7
1.06	10.32	1.3	2.4	92.6	915.5	98.4	909.4	109.7	951.2
1.07	11.95	1.52	2.82	108.3	900.9	115	893.8	128.2	942.7
1.08	13.56	1.74	3.25	124.1	886.1	131.7	878	146.9	934
1.09	15.16	1.96	3.69	140	871.1	148.6	862	165.7	925.2
1.1	16.74	2.19	4.13	156	856	165.6	845.8	184.7	916.2
1.11	18.3	2.42	4.58	172.1	840.7	182.7	829.5	203.8	907.2
1.12	19.85	2.64	5.04	188.3	825.2	199.9	813	223	897.9
1.13	21.38	2.87	5.5	204.6	809.6	217.2	796.3	242.3	888.6
1.14	22.89	3.1	5.98	221	793.8	234.7	779.4	261.7	879.2
1.15	25.1	3.45	6.7	245.5	770.1	260.7	754.1	290.7	864.9
1.16	25.87	3.57	6.95	254.2	761.7	269.9	745.2	301	859.9
1.17	27.33	3.8	7.46	270.9	745.5	287.6	727.8	320.8	850.1
1.18	28.78	4.04	7.97	287.7	729.1	305.4	710.3	340.7	840.2
1.19	30.22	4.27	8.49	304.6	712.5	323.4	692.7	360.7	830.2
1.2	31.64	4.51	9.02	321.6	695.8	341.4	674.9	380.8	820
1.21	33.04	4.75	9.56	338.6	679	359.6	656.9	401	809.8
1.22	34.43	4.99	10.11	355.8	662	377.8	638.9	421.3	799.5
1.23	35.81	5.24	10.67	373.1	645	396.1	620.7	441.7	789.1
1.24	37.17	5.48	11.24	390.4	627.7	414.5	602.3	462.3	778.5
1.25	38.51	5.72	11.83	407.8	610.4	433	583.8	482.9	767.9
1.26	39.85	5.97	12.42	425.3	592.9	451.5	565.2	503.6	757.2
1.27	41.16	6.21	13.03	442.8	575.3	470.2	546.5	524.4	746.4

续表

密度 g/cm ³	甲酸钾含量			用 1.57g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用 1.54g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用甲酸钾粉末(含水 0.3%) 配制 1m ³ 盐水	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	盐水用量 L	水用量 L	盐水用量 L	水用量 L	甲酸钾粉末用量 kg	水用量 L
1.28	42.47	6.46	13.65	460.5	557.6	488.9	527.7	545.2	735.5
1.29	43.76	6.71	14.28	478.2	539.8	507.7	508.7	566.2	724.5
1.3	45.04	6.96	14.93	495.9	521.9	526.6	489.6	587.3	713.5
1.31	46.3	7.21	15.59	513.8	503.9	545.5	470.4	608.4	702.3
1.32	47.55	7.46	16.26	531.7	485.7	564.5	451.1	629.6	691.1
1.33	48.79	7.72	16.95	549.7	467.4	583.6	431.6	650.9	679.8
1.34	50.02	7.97	17.65	567.8	449.1	602.8	412.1	672.3	668.4
1.35	51.24	8.22	18.37	585.9	430.6	622	392.4	693.8	656.9
1.36	52.44	8.48	19.1	604.1	412	641.4	372.7	715.3	645.4
1.37	53.63	8.73	19.85	622.3	393.3	660.7	352.8	736.9	633.7
1.38	54.81	8.99	20.62	640.6	374.6	680.2	332.8	758.6	622
1.39	55.97	9.25	21.4	659	355.7	699.7	312.8	780.4	610.3
1.4	57.13	9.51	22.2	677.5	336.7	719.3	292.6	802.2	598.4
1.41	58.27	9.77	23.02	696	317.7	738.9	272.3	824.1	586.5
1.42	59.4	10.03	23.86	714.5	298.5	758.6	252	846.1	574.5
1.43	60.53	10.29	24.72	733.1	279.2	778.4	231.5	868.1	562.4
1.44	61.64	10.55	25.6	751.8	259.9	798.2	210.9	890.3	550.3
1.45	62.74	10.81	26.5	770.6	240.4	818.1	190.3	912.4	538.1
1.46	63.83	11.08	27.43	789.4	220.9	838.1	169.5	934.7	525.8
1.47	64.91	11.34	28.38	808.2	201.3	858.1	148.6	957	513.5
1.48	65.98	11.61	29.35	827.1	181.6	878.2	127.7	979.4	501.1
1.49	67.04	11.88	30.34	846.1	161.8	898.3	106.6	1001.90	488.6
1.5	68.09	12.14	31.37	865.2	141.9	918.6	85.5	1024.40	476
1.51	69.13	12.41	32.42	884.2	121.9	938.8	64.3	1047.10	463.4
1.52	70.17	12.68	33.5	903.4	101.8	959.2	42.9	1069.70	450.7
1.53	71.19	12.95	34.61	922.6	81.6	979.5	21.5	1092.50	438
1.54	72.2	13.22	35.75	941.9	61.3	1000.0	0	1115.30	425.1
1.55	73.21	13.49	36.92	961.2	41			1138.20	412.3
1.56	74.21	13.76	38.13	980.6	20.5			1161.10	399.3
1.57	75.2	14.04	39.37	1000.0	0			1184.10	386.3
1.58	76.18	14.31	40.65					1207.20	373.2
1.59	77.15	14.58	41.97					1230.40	360

续表

密度 g/cm ³	甲酸钾含量			用 1.57g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用 1.54g/cm ³ 甲酸钾盐水 配制 1m ³ 盐水		用甲酸钾粉末(含水 0.3%) 配制 1m ³ 盐水	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	盐水用量 L	水用量 L	盐水用量 L	水用量 L	甲酸钾粉末用量 kg	水用量 L
1.6	78.12	14.86	43.33					1253.60	346.7
1.61	79.07	15.13	44.73					1276.90	333.4
1.62	80.02	15.41	46.18					1300.30	320
1.63	80.97	15.69	47.67					1323.70	306.6
1.64	81.9	15.97	49.22					1347.20	293
1.65	82.83	16.25	50.82					1370.80	279.4

3) 甲酸铯盐水配制表

单一的甲酸铯盐水并不常用,其仅在需要高密度钴(完)井液的情况下才使用。表 1-2-4 所示为根据不同密度甲酸铯盐水以及甲酸铯粉末(密度为 3.19g/cm³,含水量约为 0.3%)而编制的甲酸铯盐水配制表。

表 1-2-4 甲酸铯盐水配制表

密度 g/cm ³	甲酸铯含量			配制 1m ³ (使用 2.20g/cm ³ 储存甲酸铯盐水)		配制 1m ³ (使用 2.30g/cm ³ 储存甲酸铯盐水)		配制 1m ³ (使用含水量 0.3%的甲酸铯粉末)	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	甲酸铯盐水用量 L	水用量 L	甲酸铯盐水用量 L	水用量 L	甲酸铯粉末用量 kg	水用量 L
1.75	61.92	6.09	14.13	615.64	395.99	566.55	447.39	1086.80	663.9
1.76	62.41	6.17	14.39	624.07	387.42	574.31	439.52	1101.70	659
1.77	62.89	6.26	14.65	632.52	378.84	582.08	431.64	1116.60	654.1
1.78	63.38	6.34	14.91	640.96	370.25	589.85	423.76	1131.50	649.2
1.79	63.85	6.42	15.17	649.41	361.65	597.63	415.86	1146.40	644.2
1.8	64.33	6.51	15.44	657.87	353.04	605.42	407.95	1161.30	639.3
1.81	64.79	6.59	15.71	666.33	344.41	613.2	400.03	1176.30	634.4
1.82	65.26	6.68	15.98	674.8	335.78	620.99	392.11	1191.20	629.4
1.83	65.71	6.76	16.25	683.27	327.13	628.79	384.17	1206.20	624.4
1.84	66.17	6.84	16.53	691.75	318.47	636.59	376.22	1221.10	619.5
1.85	66.62	6.93	16.81	700.23	309.81	644.4	368.26	1236.10	614.5
1.86	67.06	7.01	17.09	708.72	301.13	652.21	360.29	1251.10	609.5
1.87	67.5	7.09	17.38	717.21	292.44	660.02	352.31	1266.10	604.5
1.88	67.94	7.18	17.67	725.7	283.74	667.84	344.32	1281.10	599.5
1.89	68.37	7.26	17.96	734.2	275.03	675.66	336.32	1296.10	594.5
1.9	68.8	7.35	18.25	742.71	266.31	683.49	328.31	1311.10	589.5

续表

密度 g/cm ³	甲酸盐含量			配制 1m ³ (使用 2.20g/cm ³ 储存甲酸盐盐水)		配制 1m ³ (使用 2.30g/cm ³ 储存甲酸盐盐水)		配制 1m ³ (使用含水量 0.3% 的甲酸盐粉末)	
	质量分数 %	摩尔浓度 mol/L	摩尔分数 %	甲酸盐盐水量 L	水用量 L	甲酸盐盐水量 L	水用量 L	甲酸盐粉末用量 kg	水用量 L
1.91	69.22	7.43	18.55	751.22	257.58	691.32	320.29	1326.10	584.5
1.92	69.64	7.52	18.85	759.73	248.84	699.15	312.26	1341.20	579.4
1.93	70.06	7.6	19.15	768.25	240.08	707	304.22	1356.20	574.4
1.94	70.47	7.68	19.46	776.78	231.32	714.84	296.17	1371.20	569.3
1.95	70.88	7.77	19.77	785.31	222.55	722.69	288.1	1386.30	564.3
1.96	71.28	7.85	20.09	793.84	213.77	730.54	280.03	1401.40	559.2
1.97	71.68	7.94	20.4	802.38	204.98	738.4	271.95	1416.40	554.1
1.98	72.08	8.02	20.72	810.92	196.17	746.26	263.86	1431.50	549
1.99	72.48	8.11	21.05	819.47	187.36	754.13	255.77	1446.60	543.9
2	72.87	8.19	21.38	828.02	178.54	762	247.66	1461.70	538.8
2.01	73.25	8.28	21.71	836.58	169.7	769.87	239.54	1476.80	533.7
2.02	73.64	8.36	22.05	845.14	160.86	777.75	231.41	1491.90	528.6
2.03	74.02	8.44	22.39	853.7	152.01	785.63	223.27	1507.00	523.5
2.04	74.39	8.53	22.73	862.27	143.14	793.52	215.12	1522.20	518.4
2.05	74.77	8.61	23.08	870.85	134.27	801.41	206.97	1537.30	513.2
2.06	75.14	8.7	23.43	879.43	125.39	809.3	198.8	1552.40	508.1
2.07	75.5	8.78	23.78	888.01	116.49	817.2	190.62	1567.60	502.9
2.08	75.87	8.87	24.14	896.6	107.59	825.11	182.44	1582.80	497.7
2.09	76.23	8.95	24.51	905.19	98.68	833.01	174.24	1597.90	492.6
2.1	76.58	9.04	24.88	913.79	89.76	840.93	166.04	1613.10	487.4
2.11	76.94	9.12	25.25	922.39	80.82	848.84	157.82	1628.30	482.2
2.12	77.29	9.21	25.63	931	71.88	856.76	149.6	1643.50	477
2.13	77.64	9.29	26.01	939.61	62.93	864.69	141.37	1658.70	471.8
2.14	77.98	9.38	26.4	948.22	53.97	872.61	133.12	1673.90	466.6
2.15	78.33	9.46	26.79	956.84	45	880.54	124.87	1689.10	461.4
2.16	78.67	9.55	27.19	965.46	36.02	888.48	116.61	1704.30	456.1
2.17	79	9.64	27.59	974.09	27.03	896.42	108.34	1719.60	450.9
2.18	79.34	9.72	28	982.72	18.03	904.36	100.06	1734.80	445.7
2.19	79.67	9.81	28.41	991.36	9.02	912.31	91.77	1750.00	440.4
2.2	80	9.89	28.83	1000.0	0	920.26	83.48	1765.30	435.1
2.21	80.33	9.98	29.25			928.22	75.17	1780.60	429.9
2.22	80.65	10.06	29.68			936.18	66.85	1795.80	424.6