

# The Preparation and Laboratory Evaluation of Inhibitor for Gelled Acid at 160°C

Xinyong Li, Yongshou Li, Kebo Jiao\*

Research Institute of Petroleum Engineering, Northwest Petroleum Branch, SINOPEC, Urumqi Xinjiang  
Email: \*18727985@qq.com

Received: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2020; accepted: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2020; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Based on the study of the action mechanism and Synthesis process of mannich base inhibitors, five mannich base inhibitors with good acid solubility and compatibility with gelled acid were synthesized in the laboratory, and the suitable main inhibitors were optimized and compounded by the static corrosion test under atmospheric pressure and the dynamic corrosion test under high temperature and pressure. By discussing the function and mechanism of synergists, the types of synergists were subdivided scientifically, and were compounded with the main inhibitor. Finally, CH-160 inhibitor for gelled acid at 160°C was obtained. The results showed that the dynamic corrosion rate at 160°C was only 24.56 g/(m<sup>2</sup>·h) in 20% hydrochloric acid and 54.90 g/(m<sup>2</sup>·h) in 20% hydrochloric gelled acid. The experimental results show that the developed CH-160 inhibitor for gelled acid at 160°C has excellent corrosion inhibition efficiency in 20% hydrochloric acid and gelled acid, and can meet the requirements of the first grade product of 160°C acidizing inhibitor in industry standard SY/T 5405-1996.

## Keywords

Ultra-High Temperature, Inhibitor, Acidification, Mannich Base, Gelled Acid, Synergist

---

\*通信作者。

# 160℃冻胶酸用缓蚀剂的研制及室内评价

李新勇, 李永寿, 焦克波\*

中石化西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆 乌鲁木齐

Email: \*18727985@qq.com

收稿日期: 2020年3月2日; 录用日期: 2020年4月2日; 发布日期: 2020年6月15日

## 摘要

通过对曼尼希碱类缓蚀剂作用机理及合成工艺的研究, 室内合成了五种酸溶性能良好且与冻胶酸配伍的曼尼希碱类缓蚀剂, 采用常压静态腐蚀试验及高温高压动态腐蚀试验优选并复配出合适的缓蚀主剂。通过对增效剂的作用及作用机理的讨论, 科学地细分增效剂种类, 并与缓蚀主剂进行多元复配, 最终得到160℃冻胶酸用缓蚀剂——CH-160。缓蚀剂性能评价实验结果: 160℃下, 在20%盐酸介质中动态腐蚀速率仅为24.56 g/(m<sup>2</sup>·h), 在20%盐酸配置的冻胶酸介质中动态腐蚀速率仅为54.90 g/(m<sup>2</sup>·h)。实验结果表明研制的CH-160缓蚀剂在盐酸介质及冻胶酸介质中均有优良的缓蚀效果, 可满足SY/T 5405-1996中160℃酸化缓蚀剂一级品的要求。

## 关键词

超高温, 缓蚀剂, 酸化, 曼尼希碱, 冻胶酸, 增效剂

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

油气井开采过程中, 常常需要通过酸化提高采收率[1]。但是在酸化施工中, 酸的注入可能造成油气井管材和井下金属设备的表面坑蚀、氢脆和失重腐蚀, 有时还可能导致井下管材突发性破裂事故, 造成严重经济损失, 同时被酸溶蚀的金属铁离子又可能对地层造成伤害, 所以为了防止酸液对油管、套管等设备的腐蚀, 在酸液中添加缓蚀剂是必不可少的防腐措施[2]。

顺北油田位于新疆塔里木盆地中西部, 为碳酸盐岩储层。储层以缝洞为主, 缝洞发育规模及形态不确定性大, 非均质性极强, 基质渗透率低, 储层平均埋藏深度超过 7300 m, 井底温度高达 160℃~220℃。随着该区块的大力开发, 酸化措施量逐年增加, 对酸液体系缓蚀性能也提出了更高的要求。据文献报道, 国内外正在大力开发和研究高温酸化缓蚀剂, 有记载的耐温达到 150℃的缓蚀剂以及增效剂就多达 50 余种[3] [4] [5] [6] [7], 这些缓蚀剂主要是利用现有原料, 如胺类、季铵盐类及炔醇类缓蚀剂改性或复配而成, 以期达到耐高温的目的。但是由于毒性较大、成本高及性能不稳定等问题, 大大限制了高温缓蚀剂的推广, 尤其是这些高温缓蚀剂大多是在盐酸和土酸溶液中应用, 而在冻胶酸方面应用的品种紧缺, 不能满足现有的高温酸压技术要求。针对该现状, 本文开发出了 160℃冻胶酸用缓蚀剂——CH-160, 并对其缓蚀性能进行了综合评价。CH-160 缓蚀剂采用与冻胶酸配伍性良好的复配型曼尼希碱类缓蚀剂

CH-160M 为缓蚀主剂，并在此基础上，与多种增效剂按照一定比例进行多元复配，最终形成了低成本、低毒性且缓蚀效果优良的超高温酸化缓蚀剂。CH-160 缓蚀剂具有良好的酸溶性，而且与常用的冻胶酸有较好的配伍性，不会出现沉淀、分层或影响交联等问题，能很好的满足超高温井深度酸化施工的要求。

## 2. 研制思路及缓蚀机理

### 2.1. 缓蚀主剂

曼尼希碱类缓蚀剂具有耐高温，缓蚀效果优异等特点，近来被广泛应用于高温或超高温酸化缓蚀剂中。目前，普遍认同的曼尼希碱及曼尼希碱衍生物缓蚀剂机理为吸附机理[8]。一方面曼尼希碱与其它缓蚀剂复配，分子结构中含有非极性基团，疏水能力强，与曼尼希碱交织成链状或网状，在金属表面形成一道完整、致密的吸附层膜，使腐蚀难以进行。另一方面，曼尼希碱及其衍生物类缓蚀剂中含有极性基团，如羰基、季铵盐的  $N^+$  等在金属表面形成吸附，而形成的单分子层吸附膜会使原本由金属表面和金属腐蚀界面的电荷状态构成的双电层结构改变，即“负催化效应”，从而降低腐蚀速率。

### 2.2. 缓蚀增效剂

某些添加剂的作用不同于缓蚀剂，但它们可提高缓蚀剂的效率，这类添加剂称为缓蚀增效剂。将这些添加剂加到含有缓蚀剂的配方中既可大幅度提高缓蚀剂的效率和使用温度，又降低了超高温缓蚀剂成本。文献资料表明[9]，常用的增效剂有：无机物和有机物。如炔醇、氯化亚铜、碘化亚铜、碘化钾、三氯化铈、五氯化铈、三氟化铈、五氟化铈、三氧化二铈、五氧化二铈、酒石酸铈钠、焦铈酸钠、焦铈酸钾或它们的混合物、甲酸、甲酰胺等。本文从中筛选了与曼尼希碱类缓蚀剂可能会产生协同作用且配伍性良好的缓蚀增效剂，将这些增效剂按照不同类别与缓蚀主剂进行多元复配，以期得到最优的增效剂配方。增效剂分类如下：

1) 炔醇类增效剂：炔键可以与腐蚀过程中的新生氢发生加氢反应，叁键被还原成双键，并在金属表面发生聚合。炔醇在金属表面可形成沉积膜，缓蚀剂则在金属表面形成吸附膜，这样在金属表面则可以形成致密的多层保护膜，提高缓蚀剂的缓蚀性能。常用的炔醇类物质如丙炔醇、丁炔二醇等。

2) 脂肪酸类增效剂：缓蚀剂中极性基团在较高温度时能与脂肪酸反应，反应物吸附在金属材料表面，形成一种多中心、多层次的吸附保护膜。

3) 卤素类增效剂：卤素离子及其他阴离子也与缓蚀剂主体有较好的协同作用。卤素离子及活性无机离子首先在金属基体表面发生吸附，活性无机离子-金属偶极的负端朝向溶液起架桥作用，有利于有机阳离子的吸附，从而显著降低金属基体的腐蚀速率。

4) 金属类增效剂：一些金属类增效剂可与酸在金属表明生成沉淀膜与有机缓蚀剂产生协同作用。

## 3. 实验部分

### 3.1. 试剂与仪器

主要试剂：盐酸、异丙醇、苯乙酮、丙酮、环己酮、甲醛、多聚甲醛、乙醛、苯甲醛、苯甲胺、卞胺、环己胺、丙炔醇、甲酸、氯化亚铜、三氧化二铈均为分析纯；炔醇衍生物 A、炔醇衍生物 B、羧酸衍生物、酒石酸溶液均为自制。

主要仪器：静态挂片腐蚀测定仪(按行业标准自制)、高温高压动态腐蚀仪(按行业标准订制，南通设备)、合成装置(配有电热套、温度计、回流冷凝器和搅拌装置的三颈烧瓶，自制)、高温高压反应釜(容积 100 ml，耐工作压力 8 MPa，工作温度 400℃ 以下，按要求定制)、标准 N80 钢片、JJ-1 精密增力电动搅拌器、HH-4 型 A 电热恒温水浴锅、MP1100B 电子天平、ZDHW 型调温电热套、游标卡尺(精度 0.02 mm)、

CS202 电热保温干燥箱。

### 3.2. 曼尼希碱的合成

将一定量的有机胺和异丙醇放入自制合成装置中，同时滴加盐酸，然后按一定比例加入醛和有机酮，加热到一定温度下，搅拌反应一定时间。停止加热后，再加入一定量分散剂，搅拌冷却至室温，即得到曼尼希碱(见图 1)。由于曼尼希反应所选用的反应物均为反应活性较高的物质，导致了反应产物的复杂性，给产物的分离及纯化带来一定的困难；从另一角度考虑，反应副产物同时也具有一定的缓蚀作用，故反应产物可不经处理直接进行缓蚀效果评价[10]。

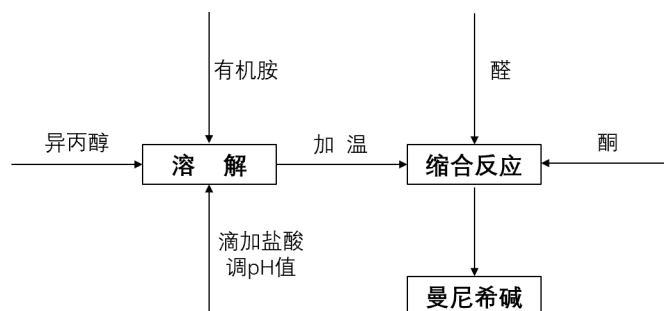


Figure 1. Synthesis process of mannich base inhibitors  
图 1. 曼尼希碱类缓蚀剂合成工艺图

### 3.3. 性能评价实验方法

缓蚀剂的性能评价方法均采用 SY/T 5405-1996《酸化用缓蚀剂性能试验方法及评价指标》中的评价方法，具体的评价指标参见不同温度下的具体要求。90℃静态腐蚀速率评价方法采用静态失重法，试验条件均为：温度 90℃，在常压下，反应时间 4 h，钢片类型 N80；160℃高温高压动态腐蚀速率评价方法采用高温高压动态失重法，实验条件均为：温度 160℃，压力 16 MPa，搅拌速度 60 r/min，反应时间 4 h，钢片类型 N80。

缓蚀剂的评价指标均按照标准 SY/T 5405-1996 中的评价指标进行评价。

## 4. 实验结果与讨论

### 4.1. 160℃冻胶酸用缓蚀主剂——CH-160M 的研制

本实验选用不同醛、酮、胺为原料，采用图 1 所示合成工艺，室内共合成出十八种曼尼希碱，并从中优选出五种酸溶性良好且与冻胶酸配伍的曼尼希碱作为缓蚀主剂的优选目标群，编号为曼尼希碱 101、104、110 以及双曼尼希碱 201、202。

#### 4.1.1. 不同曼尼希碱对腐蚀速率的影响

采用 90℃静态腐蚀速率及 160℃动态腐蚀速率测定试验考察不同曼尼希碱对腐蚀速率的影响，试验结果见表 1。从表 1 可以看出，缓蚀效果最好的为双曼尼希碱 201，其次为曼尼希碱 101 和双曼尼希碱 202。曼尼希碱 101 和双曼尼希碱 202 性能相当，出于成本考虑选择价格更低的曼尼希碱 101。最终优选出的曼尼希碱编号为曼尼希碱 101 和双曼尼希碱 201。

#### 4.1.2. 曼尼希碱复配比例对腐蚀速率的影响

双曼尼希碱的成本较高，为了降低缓蚀剂成本，本文将双曼尼希碱 201 与曼尼希碱 101 复配使用。

采用 90℃静态腐蚀速率及 160℃动态腐蚀速率测定试验考察按不同比例复配后的曼尼希碱对腐蚀速率的影响, 试验结果见表 2。从表 2 可以看出, 曼尼希碱 101 与双曼尼希碱 201 复配使用, 缓蚀效果明显优于单独使用, 其中 201 复配占比越大, 缓蚀性能越优。当 201 的占比超过 40%时, 腐蚀速率降低幅度不大, 出于成本考虑双曼尼希碱 201 占比为 40%。160℃冻胶酸用缓蚀主剂——CH-160M 配方确定为: 60%曼尼希碱 101 + 40%双曼尼希碱 201。

**Table 1.** The effect of different mannich bases on corrosion rate

**表 1.** 不同曼尼希碱对腐蚀速率的影响

编号	90℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)	160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)
	加量 1%	加量 4%
曼尼希碱 101	11.68	299.25
曼尼希碱 104	10.83	508.34
曼尼希碱 110	12.78	585.25
双曼尼希碱 201	9.53	210.24
双曼尼希碱 202	7.92	263.25

**Table 2.** The effect of mannich bases compound proportion on corrosion rate

**表 2.** 曼尼希碱复配比例对腐蚀速率的影响

编号	曼尼希碱 101	双曼尼希碱 201	90℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)	160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)
	占比	占比	加量 1%	加量 4%
1	100%	0	11.68	299.25
2	80%	20%	9.32	205.87
3	60%	40%	8.46	182.35
4	40%	60%	8.28	179.89
5	20%	80%	8.77	175.29
6	0	100%	9.53	210.24

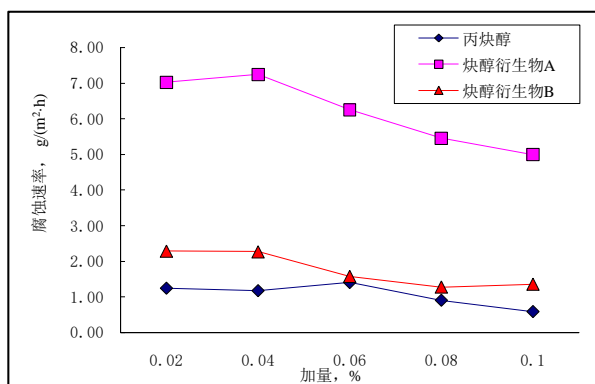
以单曼尼希碱与双曼尼希碱复配组成的 CH-160M 缓蚀主剂单独使用仍无法满足三级缓蚀剂行业标准的要求, 因此需要与其他添加剂复配, 产生协同效应, 从而达到降低腐蚀速率的目的。

## 4.2. 160℃冻胶酸用缓蚀增效剂——CH-160Z 的研制

### 4.2.1. 增效剂一元复配——炔醇类增效剂对腐蚀速率的影响

采用 90℃静态腐蚀速率测定试验考察炔醇类增效剂与 CH-160M 复配后对腐蚀速率的影响, 其中, CH-160M 加量为 1%, 试验结果见图 2。从图 2 可以看出, 添加炔醇类增效剂, 90℃静态腐蚀速率明显降低, 其中丙炔醇及炔醇衍生物 B 效果较好。考虑到丙炔醇的毒性、价格及运输等因素, 将丙炔醇与炔醇衍生物 B 配合使用。

采用 160℃高温高压动态腐蚀速率测定试验考察炔醇类增效剂复配比例及加量对腐蚀速率的影响, 其中, CH-160M 加量为 2%, 试验结果见表 3。从表 3 可以看出, 丙炔醇高温缓蚀效果明显优于炔醇衍生物 B, 但炔醇衍生物 B 是一种化工中间体, 价格远远低于丙炔醇, 且属环保型, 与丙炔醇复配使用可以明显增强炔醇衍生物 B 的缓蚀效果, 因此, 选择 20%丙炔醇 + 80%炔醇衍生物 B 作为炔醇类增效剂复配结果。从表 3 还可看出, 随着炔醇类增效剂用量增加, 高温腐蚀速率逐渐变小, 当加量大于 0.15%时, 高温腐蚀速率变化不明显, 因此, 确定炔醇类增效剂加量为 0.15%。



**Figure 2.** Comparison of alkynol synergists in corrosion inhibition effects (90°C, 4 h)

**图 2.** 炔醇类增效剂缓蚀效果对比图(90°C, 4 h)

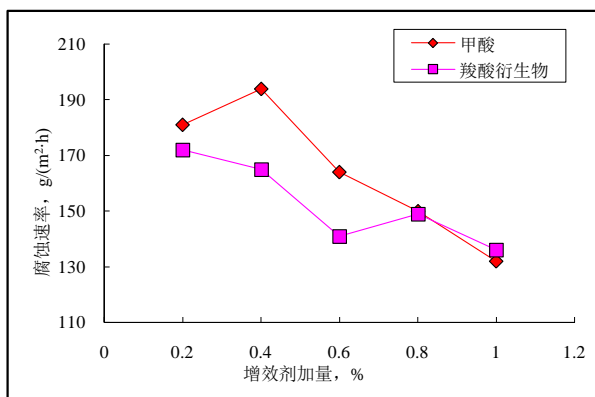
**Table 3.** The effect of alkynol synergists' compound proportion and dosage on corrosion rate (160°C, 16 MPa, 4 h)

**表 3.** 炔醇类增效剂复配比例及加量对腐蚀速率的影响(160°C, 16 MPa, 4 h)

编号	丙炔醇		炔醇衍生物 B		160°C 腐蚀速率 g/(m²·h)		
	占比	占比	加量 0.05%	加量 0.1%	加量 0.15%	加量 0.2%	加量 0.25%
1	100%	0	220.87	197.89	150.89	156.58	148.98
2	80%	20%	245.87	240.89	180.55	176.47	167.35
3	60%	40%	259.76	290.56	179.90	183.26	158.96
4	40%	60%	296.32	285.46	178.67	189.22	169.89
5	20%	80%	285.78	283.08	188.65	182.47	172.98
6	0	100%	345.65	306.98	267.46	230.27	222.87

#### 4.2.2. 增效剂二元复配——脂肪酸类增效剂对腐蚀速率的影响

采用 160°C 高温高压动态腐蚀速率测定试验考察脂肪酸类增效剂对腐蚀速率的影响, 其中, CH-160M 加量为 2%, 炔醇类增效剂加量为 0.15%。试验结果见图 3。从图 3 可以看出, 在脂肪酸类增效剂中, 当加量小时, 羧酸衍生物参与复配效果优于甲酸; 当加量变大后, 甲酸参与复配效果优于羧酸衍生物。但甲酸加量大, 使用存在不安全因素, 所以, 采用羧酸衍生物, 其用量确定为 0.6%。



**Figure 3.** Comparison of fatty acid synergists in corrosion inhibition effects (160°C, 16 MPa, 4 h)

**图 3.** 脂肪酸类增效剂缓蚀效果对比图(160°C, 16 MPa, 4 h)

#### 4.2.3. 增效剂三元复配——卤素类增效剂对腐蚀速率的影响

采用 160℃高温高压动态腐蚀速率测定试验考察卤素类增效剂对腐蚀速率的影响,其中,CH-160M 加量为 2%,炔醇类增效剂加量为 0.15%,脂肪酸类增效剂加量为 0.6%,试验结果见表 4。从表 4 可以看出,随着碘化钾加量的增加,腐蚀速率逐渐降低。因此,将碘化钾用做超高温酸化缓蚀剂的增效剂之一,其用量确定为 0.2%。

**Table 4.** The effect of halogens synergist's dosage on corrosion rate (160℃, 16 MPa, 4 h)

**表 4.** 卤素类增效剂的加量对腐蚀速率的影响(160℃, 16 MPa, 4 h)

编号	卤素类增效剂		160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)			
	种类	加量 0.05%	加量 0.10%	加量 0.15%	加量 0.20%	加量 0.25%
1	碘化钾	154.63	137.27	122.47	95.83	100.58

#### 4.2.4. 增效剂四元复配——金属类增效剂对腐蚀速率的影响

采用 160℃高温高压动态腐蚀速率测定试验考察金属类增效剂对腐蚀速率的影响,其中,CH-160M 加量为 2%,炔醇类增效剂加量为 0.15%,脂肪酸类增效剂加量为 0.6%,卤素类增效剂加量为 0.2%,试验结果见表 5 及表 6。从表 5、表 6 可以看出,随着金属类增效剂加量的增加,腐蚀速率逐渐降低,其中氯化亚铜的缓蚀效果不佳,三氧化二锑的缓蚀效果明显,但三氧化二锑水中溶解度非常低,只有 0.002 g/100g 水。因此,将三氧化二锑与氯化亚铜复配使用,确定氯化亚铜加量为 0.1%,降低三氧化二锑的用量。

**Table 5.** The effect of cuprous chloride's dosage on corrosion rate (160℃, 16 MPa, 4 h)

**表 5.** 氯化亚铜的加量对腐蚀速率的影响(160℃, 16 MPa, 4 h)

编号	金属类增效剂		160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)			
	种类	加量 0.05%	加量 0.10%	加量 0.15%	加量 0.20%	加量 0.25%
1	氯化亚铜	120.47	104.06	100.88	93.47	99.54

**Table 6.** The effect of antimony trioxide's dosage on corrosion rate (160℃, 16 MPa, 4 h)

**表 6.** 三氧化二锑的加量对腐蚀速率的影响(160℃, 16 MPa, 4 h)

编号	金属类增效剂		160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)			
	种类	加量 0.005%	加量 0.01%	加量 0.015%	加量 0.02%	加量 0.025%
1	三氧化二锑	80.89	68.89	66.37	65.57	60.85

采用 160℃高温高压动态腐蚀速率测定试验考察金属类增效剂的复配对腐蚀速率的影响,其中,CH-160M 加量为 2%,炔醇类增效剂加量为 0.15%,脂肪酸类增效剂加量为 0.6%,卤素类增效剂加量为 0.2%,氯化亚铜加量为 0.1%。试验结果见表 7。从表 7 可以看出,氯化亚铜与三氧化二锑复配使用后动态腐蚀速率明显降低,考虑三氧化二锑的溶解度低,氯化亚铜加量为 0.1%,三氧化二锑加量为 0.0005%。

**Table 7.** The effect of compounding of metal synergists on corrosion rate (160℃,16 MPa,4 h)

**表 7.** 金属类增效剂的复配对腐蚀速率的影响(160℃,16 MPa,4 h)

编号	金属类增效剂		160℃腐蚀速率 g/(m <sup>2</sup> ·h)			
	种类	加量 0.00025%	加量 0.0005%	加量 0.0010%	加量 0.0015%	加量 0.0020%
1	三氧化二锑	94.06	48.54	44.98	40.57	40.85

#### 4.2.5. CH-160Z 缓蚀增效剂

将筛选出的增效剂与溶剂混合，配方为：1.5% 丙炔醇 + 6% 炔醇衍生物 + 30% 羧酸衍生物 + 10% 碘化钾 + 5% 氯化亚铜 + 0.025% 三氧化二锑，观察产品的状态，发现黑色不溶物，实验表明该不溶物为三氧化二锑。因此，将三氧化二锑先溶于热酒石酸溶液当中，再加入到增效剂中，观察产品状态，产品稳定，不析出，得到 160℃ 冻胶酸用缓蚀增效剂 CH-160Z，加量为 2%。

### 4.3. 160℃ 冻胶酸用缓蚀剂——CH-160 性能评价

#### 4.3.1. 配伍性能评价

参考石油天然气行业标准 SY/T 5405-1996《酸化用缓蚀剂性能试验方法及评价指标》中溶解分散性能测试方法评价 CH-160 缓蚀剂与酸液体系的配伍性。分别观察常温条件下 8 h、24 h、48 h 及 72 h，CH-160 在 20% 盐酸及 20% 盐酸配置的冻胶酸中的分散性(CH-160M 和 CH-160Z 加量均为 2%)，试验结果见表 8。从表 8 可以看出，CH-160 缓蚀剂在 20% 盐酸及冻胶酸中均有较好的溶解分散性和良好的配伍性。

**Table 8.** Compatibility of CH-160 inhibitor in acid solution systems

**表 8.** CH-160 缓蚀剂在酸液体系中的配伍性能

时间	溶解分散性	
	20% 盐酸	20% 盐酸配置的冻胶酸
8 h	溶液均一，无沉淀	溶液均一，无沉淀，无局部交联或提前交联现象发生
24 h	溶液均一，无沉淀	溶液均一，无沉淀，无局部交联或提前交联现象发生
48 h	溶液均一，无沉淀	溶液均一，无沉淀，无局部交联或提前交联现象发生
72 h	溶液均一，无沉淀	溶液均一，无沉淀，无局部交联或提前交联现象发生

#### 4.3.2. 缓蚀性能评价

参考石油天然气行业标准 SY/T 5405-1996《酸化用缓蚀剂性能试验方法及评价指标》中缓蚀率测试方法，评价 CH-160 缓蚀剂在 20% 盐酸及 20% 盐酸配置的冻胶酸体系中的缓蚀性能，试验结果见表 9。从表 9 可以看出，CH-160 缓蚀剂在盐酸及冻胶酸介质中均有优良的缓蚀效果，可满足石油天然气行业标准中 160℃ 酸化缓蚀剂一级品的要求。

**Table 9.** Corrosion inhibition of CH-160 inhibitor in acid solution systems

**表 9.** CH-160 缓蚀剂在酸液体系中的缓蚀性能

项目	90℃, 4 h		160℃, 16 MPa, 4 h		
	20% 盐酸	20% 盐酸配置的冻胶酸	20% 盐酸	20% 盐酸配置的冻胶酸	
腐蚀速率 $g/(m^2 \cdot h)$	空白酸	1498.14	1624.18	1986.26	2036.38
	CH-160 缓蚀剂	0.936	1.248	24.56	54.90
缓蚀率, %	99.9	99.9	98.8	97.3	

## 5. 结论

1) CH-160M 缓蚀主剂采用单、双曼尼希碱复配而成，改变了以往仅用单一曼尼希碱做缓蚀剂主体的思路，使得缓蚀剂主体抗温及缓蚀性能明显增强。

2) CH-160Z 缓蚀增效剂采用多元复配，通过不同基团的协同作用使缓蚀剂的缓蚀效果达到最优，既降低了超高温缓蚀剂成本，又增强了缓蚀剂的缓蚀效果。



3) CH-160 缓蚀剂在 20% 盐酸介质和 20% 盐酸配置的冻胶酸介质中都具有较好的酸分散性能, 配伍性良好。

4) CH-160 缓蚀剂, 在 20% 盐酸介质中 160℃ 动态腐蚀速率仅为 24.56 g/(m<sup>2</sup>·h), 在 20% 盐酸配置的冻胶酸介质中 160℃ 动态腐蚀速率仅为 54.90 g/(m<sup>2</sup>·h), 符合行业标准中 160℃ 酸化缓蚀剂一级品的要求。

5) CH-160 缓蚀剂解决了与冻胶酸配伍性问题, 它的研制将为超高温井深度酸化提供安全保障。

## 基金项目

本项目由“顺北一区采输关键技术研究与应用”(编号: P18022)资助。

## 参考文献

- [1] 姜红金. 高温缓速酸解堵技术研究与应用[J]. 断块油气田, 2005(4): 78-79.
- [2] 张太亮, 张报, 莫军, 等. 新型复合酸化缓蚀剂的研究[J]. 中外能源, 2007(2): 60-63.
- [3] 高建村, 冯丽. 新型耐高温油气田酸化缓蚀剂的合成与评价[J]. 新疆石油天然气, 2007(2): 47-52.
- [4] 刘兴重, 强敏. 用精萘合成油井高温酸化缓蚀剂[J]. 燃料与化工, 2001(5): 251-252.
- [5] 何雁, 黄志宇, 冯英, 等. 一种高温酸化缓蚀剂的合成及其性能研究[J]. 西南石油学院学报, 2001(5): 61-63.
- [6] 白丽莉. 高温酸化缓蚀剂的合成及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [7] 崔福员, 桑军元, 王云云, 等. 油田高温酸化缓蚀剂研究进展[J]. 石油化工应用, 2016, 35(10): 2-3.
- [8] 阮宜平. 强酸中曼尼希碱型复配缓蚀剂对 A3 碳钢的缓蚀机理及缓蚀稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2009.
- [9] 王英, 曹祖宾, 孙微微, 等. 缓蚀剂的分类和发展方向[J]. 全面腐蚀控制, 2009(2): 24-26.
- [10] 王江, 张卫. 曼尼希碱的缓蚀行为和缓蚀机理[J]. 精细石油化工, 2001(7): 19-22.