

葡萄提取物作为环保型降滤失剂的室内研究与评价

王倩男, 蒋官澄*, 王奕杰, 贺垠博

中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249

* 通信作者: m15600263100_1@163.com

收稿日期: 2024-02-18; 修回日期: 2024-07-11

国家自然科学基金青年科学基金项目《智能钻井液聚合物处理剂刺激响应机理与分子结构设计方法研究》(52004297) 资助

摘要 本文针对现有的天然材料降滤失剂抗温能力不足的问题, 我们寻找了一种抗高温的绿色材料—葡萄提取物(GE), 并首次评价了GE的降滤失性能及降滤失机理。首先利用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)表征了GE的结构, 热重实验(TGA)表明了其具有较好的热稳定性。随后通过中压滤失和高温高压滤失实验评价了GE在高温条件下对基浆降滤失性的影响, 并利用Zeta电位、粒径分布、扫描电镜(SEM)实验分析了GE的降滤失机理。实验结果表明, 170 °C老化 16 h后, 含有 3%GE基浆的中压(API)滤失量为 12.8 mL, 小于 15 mL, 120 °C高温高压(HTHP)滤失量为 24.0 mL, 优于常用降滤失剂羧甲基淀粉(CMS)、聚阴离子纤维素(PAC)和国外聚合物降滤失剂Driscal, 与磺酸盐共聚物(DSP-2)的降滤失效果相当。GE具有优异的降滤失性能主要通过氢键作用和静电作用强烈吸附在膨润土表面, 增加了膨润土的zeta电位绝对值, 提高了膨润土在高温下的电稳定性, 使得膨润土高温不易聚结, 减小了膨润土的粒径, 更好地促进了膨润土的分散, 且滤饼表面光滑。GE分子结构含有苯并六元杂环, 这种结构使得分子链刚性强, 在高温条件下不易发生蜷曲变形, 使其在高温 170 °C下保持了优异的降滤失性能。此外, GE的生物毒性 EC_{50} 为 133 690 mg/L, 大于 30 000 mg/L, GE的生物降解性 BOD_5/COD_{Cr} 为 32.75%, 大于 5%, 表明了它是无毒且易生物降解。

关键词 水基钻井液; 葡萄提取物; 降滤失剂; 高温; 环保

中图分类号: O62; TE39

Laboratory study and evaluation of grape extract as an environmentally friendly fluid loss reducer

WANG Qiannan, JIANG Guancheng, WANG Yijie, HE Yinbo

College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

Received: 2024-02-18; Revised: 2024-07-11

Abstract In this paper, to deal with the problem of insufficient temperature resistance of existing filter loss reduction agents for natural materials, we have searched for a green material, grape extract (GE), that is resistant to high temperatures, and evaluated the filter loss reduction performance and filter loss reduction mechanism of GE for the first time. The structure of GE was firstly characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and thermogravimetric experiments (TGA) showed that it

引用格式: 王倩男, 蒋官澄, 王奕杰, 贺垠博. 葡萄提取物作为环保型降滤失剂的室内研究与评价. 石油科学通报, 2024, 04: 617-626

WANG Qiannan, JIANG Guancheng, WANG Yijie, HE Yinbo. Laboratory study and evaluation of grape extract as an environmentally friendly fluid loss reducer. Petroleum Science Bulletin, 2024, 04: 617-626. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.04.046

had a good thermal stability. Subsequently, the effects of GE on the filter loss reduction of base slurry under high temperature conditions were evaluated by medium-pressure filtration loss and high-temperature and high-pressure filtration loss experiments, and the filter loss reduction mechanism of GE was analyzed by using zeta potential, particle size distribution, and scanning electron microscopy (SEM) experiments. The experimental results showed that after aging at 170 °C for 16 h, the medium pressure (API) filtration loss of the base slurry containing 3% GE was the smallest, 12.8 mL (less than 15 mL), and the high-temperature and high-pressure (HTHP) filtration loss at 120 °C was 24.0 mL, which was superior to those of the commonly used fluid loss controlling agent, carboxymethyl starch (CMS), polyanionic cellulose (PAC), and foreign polymer fluid loss controlling agent Driscal, and the filtration loss reduction effect of sulfonate copolymer (DSP-2) was comparable. GE has excellent performance in reducing the loss of filtration is mainly attributed to the strong adsorption on the surface of bentonite through hydrogen bonding and strong electrostatic effect, increasing the absolute value of the zeta potential of the surface of the bentonite, improving the electrical stability of bentonite at high temperatures, so that the bentonite at high temperatures is not easy to occur under the conditions of agglomeration, reducing the size of the bentonite, and better promote the dispersion of the bentonite, and the surface of the filter cake is smooth. In addition, the molecular structure of GE contains a benzene six-membered heterocyclic ring, this structure can enhance the rigidity of the molecular chain, it is not easy to curl and deform at high temperatures conditions, so that it maintains an excellent filtration loss reduction performance at high temperatures of 170 °C. At the same time, the biotoxicity EC50 of GE is 133690 mg/L, which is greater than 30000 mg/L, and the biodegradability BOD5/CODcr of GE is 32.75%, which is greater than 5%, which indicates that it is non-toxic and easily biodegradable.

Keywords water based drilling fluid; grape extract; filter loss reducer; high temperature; environmentally friendly

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.04.046

0 引言

在油气资源钻探过程中,水基钻井液滤液侵入地层易使页岩中粘土发生水化膨胀或分散,造成井筒不稳定,影响钻井效率^[1-2]。降滤失剂是水基钻井液的重要添加剂之一,其能够在井壁形成低渗透、柔韧、薄而致密的滤饼,最大限度地降低水基钻井液的滤失量^[3-4]。

目前,常用的降滤失剂主要有天然高分子及其改性产物和合成聚合物^[5-7]两大类。天然高分子类降滤失剂主要包括淀粉^[8-9]、腐植酸^[10-11]、纤维素^[12-14]等。另外,还有学者对稻壳粉^[15]、枣核粉^[16]、光甘草根^[17]、橘子皮^[18]等绿色天然材料作为钻井液环保降滤失剂进行了研究,发现它们具有一定的降滤失作用,但普遍抗温低于150 °C。这一类降滤失剂的分子中通常含有酚羟基、醇羟基、羧基、磺酸基、羰基等一种或者多种基团,分子结构大多数是线状结构,存在着线型分子链刚性不够的问题,高温环境里易发生卷曲变形,造成降滤失剂性能失效。例如,直链淀粉分子的双螺旋结构在高温条件下容易卷曲变形,加之糖苷键热稳定性差,高温易热分解,降滤失效果差^[19]。因此,增强降滤失剂分子链的刚性是提高其抗温性的关键。合成聚合物降滤失剂多数以丙烯酸、丙烯酰胺及其它功能性单体为原料合成多元聚合物,具有较好的抗温性,其归因于引入了含有苯环或者杂环基团的抗温单体等作为降滤失剂分子大侧基,增强了分子链的刚性,提

高了产品的热稳定性^[20-22]。这类降滤失剂虽在提高抗温性能上效果显著,但大多生物降解效果不理想,会对环境产生不好的影响。如今,随着国家对环境保护力度的加强和法律法规的完善,油气田现场使用的钻井液处理剂对环境保护的政策也更加严格。因此,寻找一种抗高温的绿色材料作为环保降滤失剂是至关重要的。

调研文献得知,葡萄提取物(GE)是一种从葡萄籽中提取出来的新型高效氧化物质,具有较强的抗氧化和清除自由基的能力,还有保护心脏和心血管、抗菌消炎、抗疲劳、抗衰老和防晒美白等多种作用^[23-29],故在保健品、药品以及化妆品等领域的应用日益广泛。此外,GE作为天然的饲料原料及添加剂还可应用于畜牧生产中,促进动物的生长以及提高畜产品的品质^[30]。由此可见,GE是一类具有开发潜力的植物提取物。GE中主要的有效成分是原花青素,属于天然植物多酚^[31],分子结构示意图如图1所示。GE的主要分子结构含有苯并六元杂环,这种结构使得分子链刚性强,具有较好的热稳定性。GE分子结构中含有酚羟基、羰基基团,可以与膨润土表面形成多点氢键和静电相互作用,强烈吸附于膨润土上。因此,GE有望用作降滤失剂。据我们所知,现在还没有学者将GE应用于钻井液中进行研究。基于此,本文首次通过室内实验研究了GE的降滤失性能和机理。

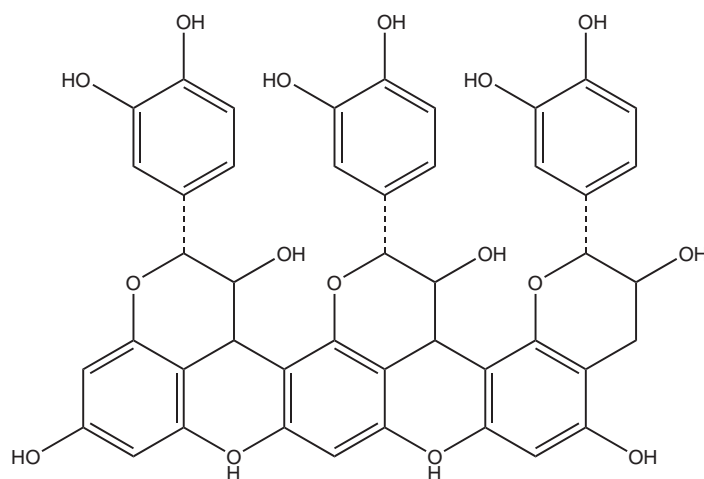


图1 葡萄提取物原花青素的基本结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the basic structure of proanthocyanidins from grape extracts

1 实验部分

1.1 材料与仪器

葡萄提取物(纯度 98%), 聚阴离子纤维素(PAC), 均为工业品; 羧甲基淀粉(CMS), 分析纯。高速搅拌机(NGJ-2)、中压滤失仪(SD3)、电子六速黏度计(ZNN-D6B)、变频高温滚子加热炉(GW300-PLC)、热重分析仪(NETZSCH STA 449 F3/F5)、冷场发射扫描电镜(SU8010)、纳米粒度及Zeta电位仪(SZ-100Z)、激光粒度分析仪(LA-960S)等。

1.2 表征方法

采用iS10 FT-IR spectrometer傅里叶变换红外光谱仪分析GE的结构; 采用德国耐驰公司NETZSCH STA 449 F3/F5热重分析仪进行热失重分析, 温度范围 25~800 °C, 测试气氛为氩, 升温速率为 10 °C/min; 采用SZ-100Z纳米粒度及Zeta电位仪测试老化前后加入GE基浆的zeta电位, 每个样品测试 3次; 采用LA-960S激光粒度分析仪测试老化前后加入GE基浆的粒径分布情况; 采用SU8010冷场发射扫描电镜观察老化前后滤饼的表面形貌。

2 结构表征

2.1 FT-IR分析

GE的红外光谱图如图2所示。在 3406 cm^{-1} 处出现了O-H键的伸缩振动峰, 2926 cm^{-1} 处的峰是由烷基中C-H键振动引起的, 1613 cm^{-1} 、1521 cm^{-1} 和

1445 cm^{-1} 波数处的峰归属于芳香族的骨架振动峰。1373 cm^{-1} 处出现了烷基的变角振动峰, 1146 cm^{-1} 处的峰是由C-O-C键的伸缩振动引起的, 1077 cm^{-1} 和 1023 cm^{-1} 处出现了C-O键的伸缩振动峰。因此, 该实验证实了GE中含有芳香环、羟基、羰基主要官能团。

2.2 TGA分析

GE的热重曲线图如图3所示。从图中可以看出, GE有4个失重阶段。第一失重阶段位于 25~190 °C 范围内, 曲线逐渐下降, 质量损失百分比为 6.1%, GE的失重源自于物理吸附水的除去; 第二个失重阶段位于 190~312 °C 范围内, 曲线急剧下降, 质量损失加重达到 16.97%, 是因为GE吸收了大量的热量开始分解

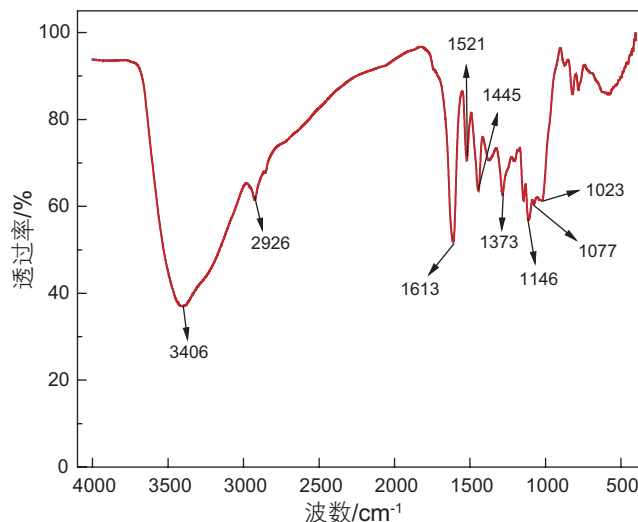


图2 GE红外光谱图

Fig. 2 GE infrared spectrum

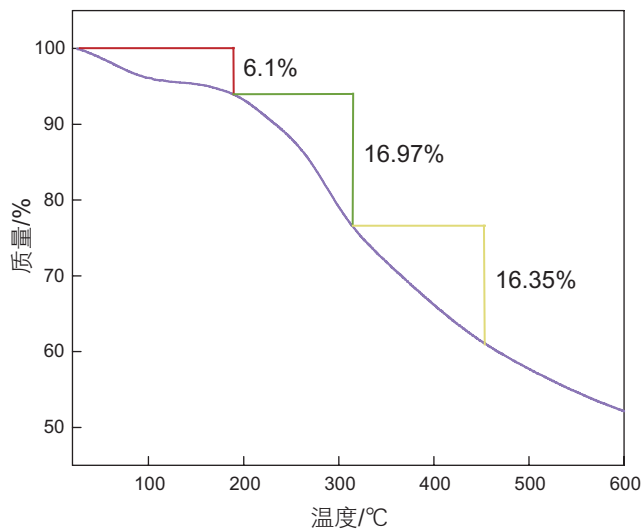


图3 GE热重图

Fig. 3 GE thermogravimetric diagram

和挥发；第三个失重阶段位于312~460℃，曲线连续下降，产品失重百分比为16.35%，这是由于GE的融化使分子结构主链和侧链断裂。在GE失重的最后阶段，曲线比较平缓，说明GE基本已经碳化，碳元素的挥发导致产品质量不断下降。由此，可以看出GE在190℃之前没有发生明显的热降解，从而说明了即使在高温环境下，GE的分子结构也不容易被破坏。因此，热重实验证实了GE具有很好的热稳定性。

表1 钻井液处理剂的生物毒性及生物降解性指标

Table 1 Biological toxicity and biodegradability indexes of drilling fluid treatment agents

生物毒性等级	发光细菌 $EC50$ /(mg/L)	生物降解性等级	(BOD/COD_{cr})/%
剧毒	< 1	难降解	< 1
重毒	[1, 100]	较难降解	[1, 5)
中毒	[101, 1000]	易降解	≥ 5
微毒	[1001, 20 000]		
无毒	> 20 000		

表2 不同浓度GE对基浆流变参数的影响

Table 1 Effects of different concentrations of GE on rheological parameters of base pulp

GE/%	170℃老化16h	AV /mPa·S	PV /mPa·S	YP /Pa	$FLAPI$ /mL
0	老化前	3.5	2	1.5	30
	老化后	1.5	1	0.5	42.4
1	老化前	3	2	1	26.4
	老化后	35	18	17	28.6
2	老化前	2.25	1.5	0.75	16.2
	老化后	34	22	12	17.4
3	老化前	2	1.5	0.5	7.6
	老化后	32.5	24	8.5	12.8

2.3 环保性能评价

为了评估GE的环境性能，根据SY/T 6788-2020《水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法》标准测量GE的 $EC50$ 、 COD 和 $BOD5$ 值，指标见表1。测试 $EC50$ 值为133 690 mg/L，大于30 000 mg/L，这表明GE是无毒的。 $BOD5$ 为 1.12×10^4 ， COD_{cr} 为 3.42×10^4 ， $BOD5/COD_{cr}$ 为32.75%，大于5%，这表明JL-BC易降解。评价结果表明，GE是无毒且易生物降解。

3 GE降滤失性能评价

3.1 GE加量的影响

取若干份400 mL的去离子水，分别加入16 g膨润土和0.8 g无水碳酸钠，配成浓度为4%的基浆，并在12 000 r/min下搅拌30 min，随后在室温条件下静置24 h使其充分水化。将不同量的GE加到已配好的基浆中，高速搅拌30 min后，利用旋转黏度计和中压滤失仪测试含不同浓度GE的基浆在170℃老化16 h前后的表观黏度(AV)、塑性黏度(PV)、动切力(YP)和API滤失量($FLAPI$)，结果见表2。从表2中可以看到，老化前后，加入GE的基浆表观黏度随GE浓度增大而减小，具有降粘效果。此外，基浆的API滤失量随着

GE浓度的增大而减小,当GE浓度为3%时,老化后的基浆API滤失量由原来的42.4 mL减小至12.8 mL,小于15 mL,满足API推荐的滤失量标准。因此,GE的最佳用量选用3%。

3.2 GE抗温能力

含3%GE基浆在不同老化温度热滚16 h后的流变参数和API滤失量的结果如表3所示。从表中可以看到,老化温度由25 °C升高至150 °C、170 °C,基浆的表观粘度随着温度升高而增大,说明了高温下基浆变得粘稠,表观粘度增大;基浆的API滤失量分别为9.1 mL和12.8 mL,增加幅度较小,且均小于15 mL。当老化温度升高至180 °C,基浆的表观粘度显著减小,基浆的API滤失量增加幅度较大,为18 mL,大于15 mL,不符合API滤失量的标准。因此,GE可抗170 °C。

3.3 与同类产品性能对比

为了进一步评价GE的降滤失性能,测试比较了在相同浓度3%、170 °C老化16 h后GE与其它抗高温滤失剂CMS、PAC、DSP-2和Driscal的API滤失量以

及HTHP滤失量(120 °C、3.5 MPa),如图4所示。加入GE、CMS、PAC、DAP-2及Driscal 5种降滤失剂后,基浆的API滤失量分别降低至12.8 mL、25.2 mL、24.6 mL、8.6 mL和14.4 mL,基浆的HTHP滤失量分别降至24 mL、70 mL、64 mL、22 mL和30 mL,说明了加入这5种降滤失剂均能改善基浆的滤失性。与CMS、PAC及Driscal相比,含有GE基浆的API滤失量和HTHP滤失量最低,且滤饼薄。含DSP-2基浆的API滤失量低于含GE基浆4.2 mL,但它们的API滤失量均小于15 mL,且HTHP滤失量仅差2 mL,相差较小,故GE的降滤失效果与DSP-2相当。因此,该实验说明了GE的降滤失性能优于CMS、PAC和Driscal,与DSP-2的降滤失性能相当。

4 机理分析

4.1 Zeta 电位

聚合物在粘土颗粒上的吸附可以增加膨润土颗粒的zeta电位,增大水化膜的排斥力,使粘土颗粒保持分散状态,进而降低滤饼的滤失量^[21-22]。因此,试验研究了GE在不同pH环境下的zeta电位以及170 °C老

表3 不同老化温度对含3%GE基浆的流变参数影响

Table 3 Effects of different aging temperatures on rheological parameters of GE base pulp containing 3%

老化温度/°C	<i>AV</i> /mPa·S	<i>PV</i> /mPa·S	<i>YP</i> /Pa	<i>FLAPI</i> /mL
25	2	1.5	0.5	7.6
150	31.5	23	8.5	9.1
170	32.5	24	8.5	12.8
180	25	15	10	18

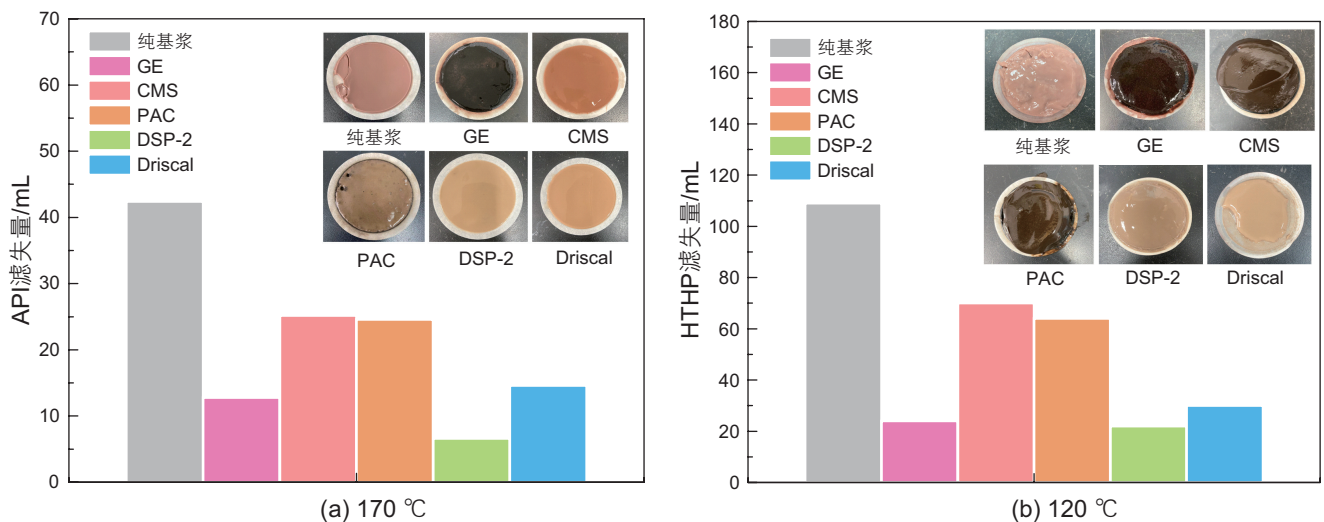


图4 不同降滤失剂对基浆滤失量的影响

Fig. 4 Effect of different filtrate reduction agents on the filtrate loss of base slurry

化 16 h 前后不同浓度 GE 对基浆 zeta 电位的影响, 结果如图 5 所示。图 5(a) 得知, 在不同 pH 环境下, GE 的 zeta 电位值多为负值。pH 为 9 时, GE 的电位值为 -34.9 mV, 带负电荷。图 5(b) 结果, 170 °C 老化前后, 基浆的 zeta 电位绝对值随 GE 浓度的增加而逐渐增大, 归因于 GE 分子含有较多的酚羟基, 在水溶液中发生电离使其带负电荷, 通过氢键作用附着在膨润土上, 增加了膨润土表面的负电荷数量, 增强了膨润土的电稳定性。不含 GE 基浆的 zeta 电位绝对值老化后显著减小, 这是因为粘土颗粒在高温下易发生聚结, 破坏了膨润土的电稳定性。相比不含 GE 基浆, 170 °C 老化前后, 含 GE 基浆的 zeta 电位绝对值的差距较小, 说明了 GE 在高温下仍然可以增加基浆的 zeta 电位, 一定程度上缓解了基浆 zeta 电位绝对值下降的趋势。另外, 含不同浓度 GE 基浆老化后 zeta 电位绝对值有所下降, 一方面与粘土颗粒在高温下聚结有关, 另一方面可能与 GE 极少部分吸附基团热降解, 导致 GE 吸附在膨润土数量有所减少有关。

4.2 粒径分布

钻井液中固相颗粒的粒度大小是影响滤饼质量和滤失量的重要因素, 因此试验研究了 170 °C 老化 16 h 前后不同浓度 GE 对基浆粒度分布的影响, 结果如图 6 所示。室温下, 基浆的粒度分布曲线随着 GE 浓度增大而逐渐左移, 表明了 GE 可以减小膨润土的粒径, 更好地促进了膨润土的分散。 170 °C 老化后, 不含 GE

基浆的粒度分布曲线显著右移, 粒径变大, 是因为高温老化破坏了膨润土的电稳定性, 发生了聚结; 相比不含 GE 基浆, 含 GE 基浆的粒度分布曲线显著左移, 粒径减小, 其归因于 GE 在高温 170 °C 下增强了膨润土的电稳定性, 使得膨润土高温下不易发生聚结, 利于膨润土更好分散。

为进一步证明 GE 的分散作用, 统计分析了 170 °C 老化 16 h 前后含不同浓度 GE 的基浆的粒度中值 D_{50} (图 6 (c))。同一温度下, 基浆的粒度中值随着 GE 浓度增大而逐渐减小。基浆粒度分布与 3 小节中滤失量的变化规律是相符的, 即 GE 浓度增加, 基浆粒径减小, 滤失量变低。因此, 该实验证实了 GE 在高温 170 °C 下能很好地减小膨润土的粒径, 促进膨润土分散, 降低基浆的滤失量。

4.3 SEM

如图 7 所示, 通过扫描电镜对加入不同浓度 GE 的基浆经 170 °C 老化 16 h 前后的 API 滤失实验所获得滤饼的表面形貌进行了观察。常温下, 未加 GE 基浆的滤饼表面相对平滑致密 (图 7(a)); 高温老化后, 膨润土脱水聚结, 滤饼表面粗糙不平, 出现许多“褶皱”, 这些褶皱层层堆积在一起, 易形成很多渗滤通道 (图 7 (a1))。老化前后, 含有 GE 基浆的滤饼表面褶皱数量均随 GE 浓度增大而逐渐减小至消失, 且表面变得更加平滑。因此, 表明了 GE 在高温 170 °C 下仍能够有效改善滤饼的质量。

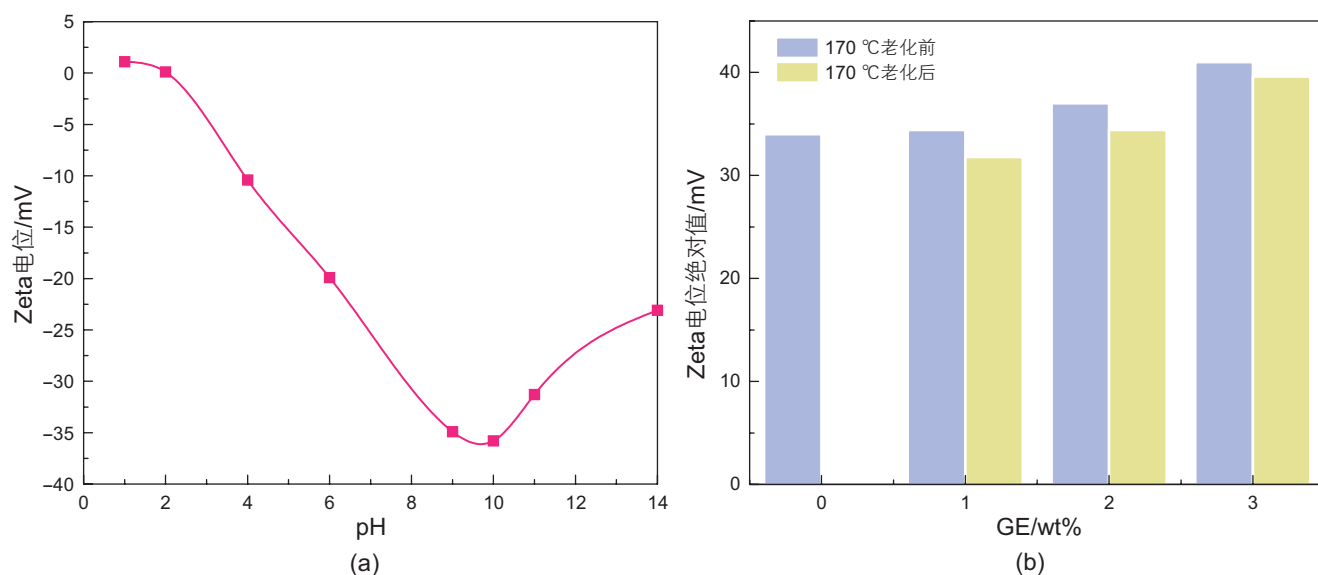


图 5 GE 在不同 pH 水溶液中的 zeta 电位 (a); 不同浓度 GE 对基浆 zeta 电位绝对值的影响 (b)

Fig. 5 Zeta potential of GE in aqueous solution with different pH (a); Effect of GE concentration on absolute value of zeta potential of base pulp (b)

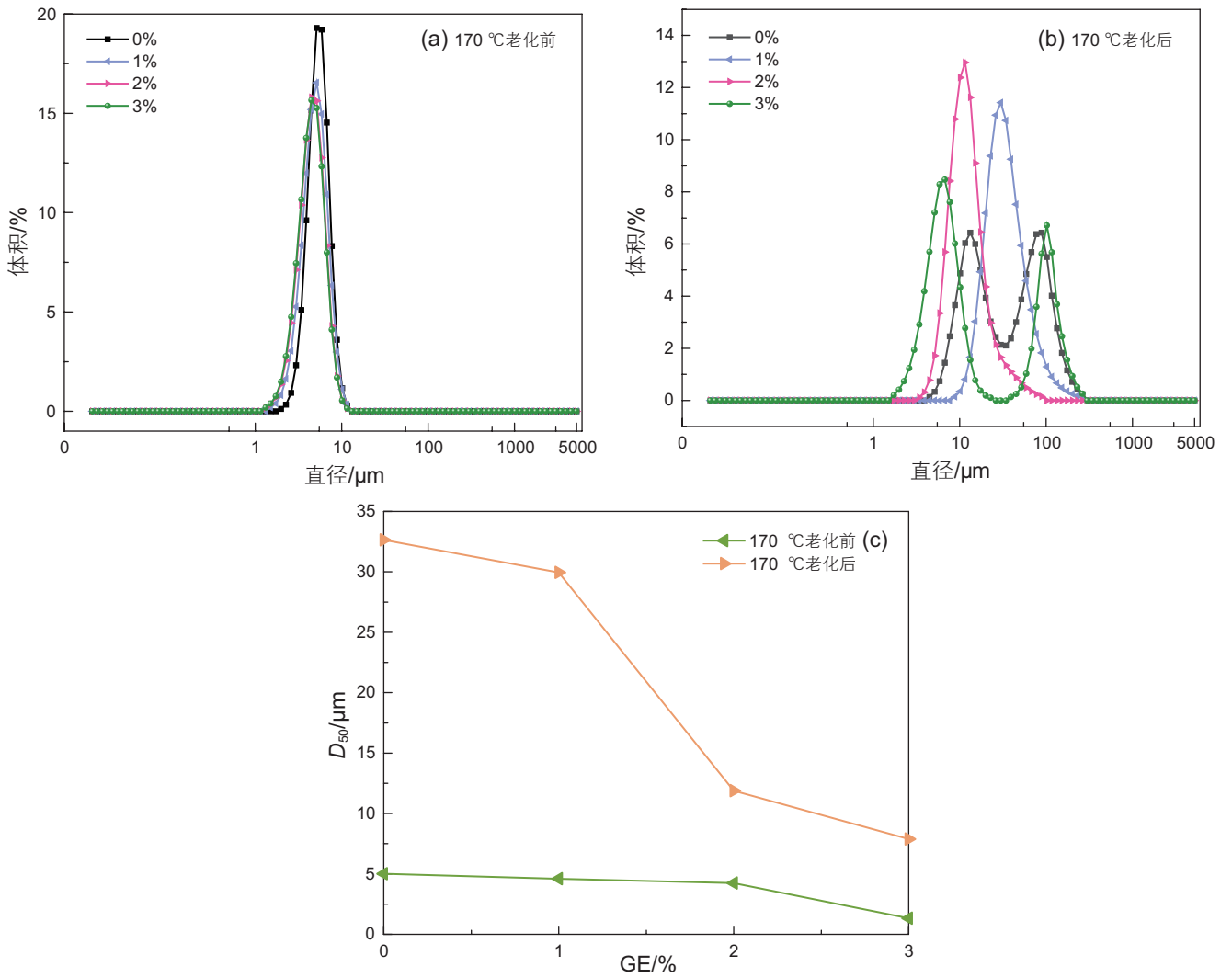


图 6 不同浓度 GE 对基浆粒度分布及 D_{50} 的影响

Fig. 6 Effect of GE concentration on particle size distribution and D_{50} of base pulp

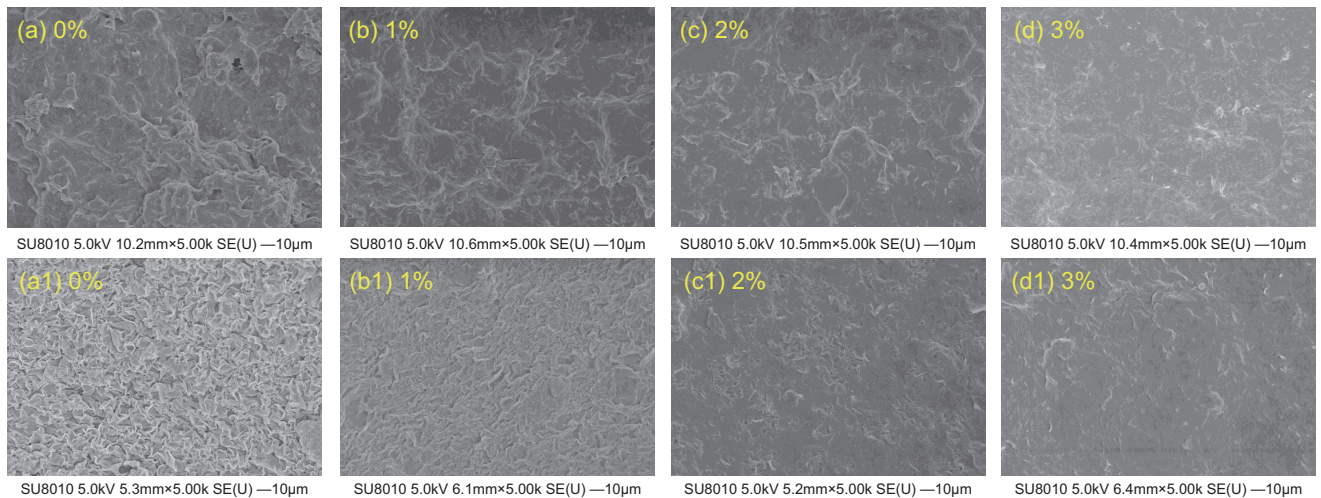


图 7 基浆中加入不同浓度 GE 热滚前后滤饼的微观形貌

Fig. 7 Microscopic morphology of filter cake before and after hot-rolling with different concentrations of GE added to the base slurry

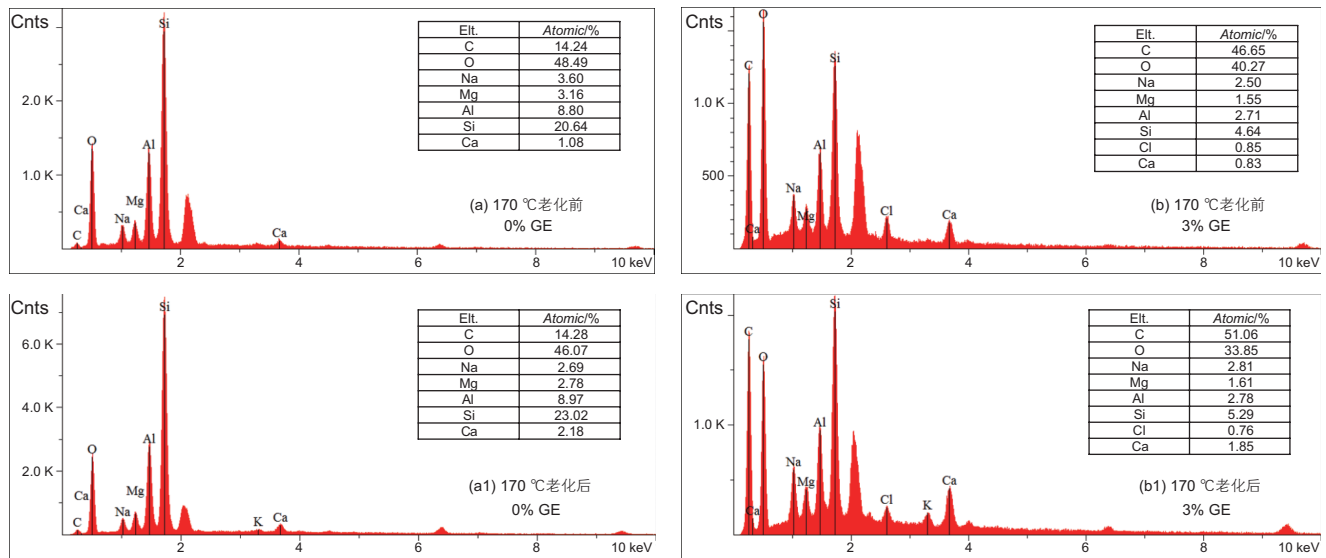


图8 基浆中加入3%GE前后滤饼的EDS分析

Fig. 8 EDS analysis of filter cake before and after adding 3%GE to the base slurry

由图8 EDS结果可知,未加GE基浆的滤饼和加入GE基浆的滤饼表面均含有碳、氧、硅、钠、镁、铝、钙等元素。图8(b)和(d)的EDS结果显示,与纯基浆相比,加入GE基浆的滤饼表面碳元素显著增加,硅元素减少,这也证实了GE与基浆的结合。

4.4 GE降滤失机理

GE分子结构中含有较多的苯并六元杂环,分子链刚性强,在高温下分子链不易发生变形,具有较好的热稳定性。另外,GE分子链上的羰基或羟基与膨润土表面的羟基形成氢键,强烈吸附于膨润土上。由于GE在pH为9环境下自身带负电荷,其吸附在膨润土上,增加了膨润土表面的负电荷,提高了膨润土在高温条件下的电稳定性,使得膨润土高温下不易聚结,减小膨润土粒径,更好地促进了膨润土的分散,

并形成了较为光滑的泥饼。总体而言,通过这些作用的协同,赋予了GE在高温下170 °C下具有优异的降滤失性能。

5 结论

(1)GE作为无毒且易生物降解的环保降滤失剂,抗温可达170 °C,具有优异的降滤失性能,降滤失效果优于CMS、PAC和Driscal。

(2)GE主要分子结构中含有许多苯并六元杂环,分子链刚性强,在高温条件下不易因过度蜷曲变形而减弱吸附的效果,有较好的抗温能力。此外,GE主要分子结构中含有酚羟基、羰基基团,通过氢键作用强烈吸附在膨润土表面,提高了粘土颗粒在高温下的分散稳定性。

参考文献

- [1] 张万栋,王爱佳,郭浩,等.抗高温高钙梳型降滤失剂的制备与应用[J].钻井液与完井液,2022,39(4):436-440.[ZHANG W D, WANG A J, GUO H, et al. Development and application of comb-like polymer filter loss reducer with high temperature and high calcium contamination resistance[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2022, 39(4): 436-440.]
- [2] 周启成,单海霞,位华,等.环保型生物质合成树脂降滤失剂[J].钻井液与完井液,2020,37(5):593-596.[ZHOU Q C, SHAN H X, WEI H, et al. A synthetic resin filter loss reducer made from environmentally friendly biomasses[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2020, 37(5): 593-596.]
- [3] 高鑫,钟汉毅,邱正松,等.钻井液用 β -环糊精聚合物微球降滤失剂的制备[J].钻井液与完井液,2021,38(1):21-26.[GAO X, ZHONG H Y, QIU Z S, et al. Preparation of microsphere β -cyclodextrin polymer filter loss reducer for drilling fluids[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021, 38(1): 21-26.]
- [4] 陈思琪,邱正松,钟汉毅,等.钻井液用淀粉微球降滤失剂的制备及性能评价[J].钻井液与完井液,2019,36(4):414-419.[CHEN S Q, QIU Z S, ZHONG H Y, et al. Preparation and performance evaluation of starch microsphere fluid loss reducer for drilling fluid [J].

- Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(4): 414–419.]
- [5] 徐运波, 蓝强, 张斌, 等. 梳型聚合物降滤失剂的合成及其在深井盐水钻井液中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(1): 33–38. [XU Y B, LAN Q, ZHANG B, et al. Synthesis and application of a comb polymer filter loss reducer in deep well saltwater drilling fluid[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(1): 33–38.]
- [6] 马喜平, 李俊辰, 周有祯, 等. 两性离子聚合物降滤失剂的合成及评价[J]. 石油化工, 2020, 49(1): 75–82. [MA X P, LI J C, ZHOU Y Z, et al. Synthesis and evaluation of zwitterionic polymer fluid loss agent[J]. Petrochemical Technology, 2020, 49(1): 75–82.]
- [7] 聂强勇, 陈仲祥, 杜仕勇, 等. 复合离子型聚合物钻井液降滤失剂的合成研究[J]. 当代化工研究, 2023, 8: 59–61. [NIE Q Y, CHEN Z X, DU S Y, et al. Study on synthesis of compound ionic polymer fluid loss reducer[J]. Modern Chemical Research, 2023, 8: 59–61.]
- [8] 单洁, 张喜文, 杨超, 等. 耐温抗盐改性淀粉钻井液降滤失剂的合成及性能研究[J]. 油田化学, 2015, 32(4): 481–484. [SHAN J, ZHANG X W, YANG C. Synthesis and performance of modified starch with heat resistance and salt tolerance[J]. Oilfield Chemistry, 2015, 32(4): 481–484.]
- [9] 魏君, 于洪江, 贺建飞, 等. 交联羧甲基淀粉降滤失剂的制备与性能评价[J]. 油田化学, 2018, 35(1): 12–15. [WEI J, YU H J, HE J F, et al. Preparation and performance evaluation of cross-linked carboxymethyl starch filtrate reducer[J]. Oilfield Chemistry, 2018, 35(1): 12–15.]
- [10] 冷文龙. 腐殖酸改性环保型降滤失剂研制及作用机理研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2020. [LENG W L. Preparation and mechanism of environmental protection fluid loss reducer modified by humic acid[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2020.]
- [11] 王中华. 钻井液用改性腐殖酸类处理剂研究与应用[J]. 油田化学, 2008, 25(4): 381–385. [WANG Z H. Researches and application of modified humic acid additives for water base drilling fluids[J]. Oilfield Chemistry, 2008, 25(4): 381–385.]
- [12] 王伟吉. 抗温环保纳米纤维素降滤失剂的研制及特性[J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(4): 421–426. [WANG W J. Development and characteristics of a high temperature environmentally friendly nanocellulose filter loss reducer[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2020, 37(4): 421–426.]
- [13] 张道明. 纳米纤维素的研制及其在钻井液中的应用研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2019. [ZHANG D M. Development of nanocellulose and its application in drilling fluid[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2019.]
- [14] 王中华. 国内天然材料改性钻井液处理剂现状分析[J]. 精细石油化工进展, 2013, 14(5): 30–35. [WANG Z H. Present situation of modified natural material additives for drilling fluid at home[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2013, 14(5): 30–35.]
- [15] OKON A N, UDOH F D, BASSEY P G. Evaluation of rice husk as fluid loss control additive in water-based drilling mud[J]. Society of Petroleum Engineers, 2014.
- [16] AMANULLAH M, RAMASAMY J, ALSUBAIE T T M, et al. Preparation and use of drilling fluids with date seed powder fluid loss additive: US201615135057[P]. 2016–10–27.
- [17] MOSLEMIZADEH A, AGHDAM S K, SHAHBAZI K, et al. A triterpenoid saponin as an environmental friendly and biodegradable clay swelling inhibitor[J]. J. Mol. Liq., 2017, 247: 269–280.
- [18] POPOOLA L T, GBADAMOSI A O. Experimental investigation of magnetized-cocos nucifera husk supported citrullus lanatus peel microparticles as loss circulation agent in water-based drilling fluids[J]. South African Journal of Chemical Engineering, 2023, 45: 73–82.
- [19] 吴鑫磊, 闫丽丽, 王立辉, 等. 环保型钻井液用降滤失剂研究进展[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(3): 8–16. [WU X L, YAN L L, WANG L H, et al. Progress in the study of environmentally friendly drilling fluid filtration reducer[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(3): 8–16.]
- [20] 王金树, 张玉平, 高树峰, 等. 聚合物型钻井液降滤失剂的合成及其性能研究[J]. 精细石油化工进展, 2024, 25(2): 1–4. [WANG J S, ZHANG Y P, GAO S F, et al. Synthesis and properties of polymer filtration reducer for drilling fluid[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2024, 25(2): 1–4.]
- [21] 罗春芝, 向欢, 章楚君, 等. 抗温抗盐乳液聚合物降滤失剂的合成与评价[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2023, 20(6): 93–102. [LUO C Z, XIANG H, ZHANG C J, et al.] Synthesis and evaluation of anti-temperature and anti-salt emulsion polymeric filtrate loss reducer[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2023, 20(6): 93–102.]
- [22] 丁伟俊, 张颖, 余维初, 等. 无黏土水基钻井液用超支化聚合物降滤失剂的合成及性能评价[J/OL]. 特种油气藏, 2024, 1–8. [DING W J, ZHANG Y, YU W C, et al. Synthesis and performance evaluation of hyperbranched polymer fluid loss reducer for clay-free water-based drilling fluid[J/OL]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2024, 1–8.]
- [23] 郭华, 武报佳, 邢慧敏, 等. 葡萄籽原花青素提取物对心肌梗死大鼠肾素-血管紧张素系统及AQP2蛋白表达的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22(1): 62–67. [GUO H, WU B J, XING H M, et al. Effect of grape seed proanthocyanidin extract on renin-angiotensin system and AQP2 protein expression in rats with myocardial infarction[J]. Chinese Journal of Integrative Medicine on Cardio-Cerebrovascular Disease, 2024, 22(1): 62–67.]
- [24] FERINGA H H H, LASKEY D A, DICKSON J E, et al. The effect of grape seed extract on cardiovascular risk markers: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2011, 11(8): 1173–1181.

- [25] PINNA C, MORAZZONI P, SALA A. Proanthocyanidins from vitis vinifera inhibit oxidative stress-induced vascular impairment in pulmonary arteries from diabetic rats[J]. *Phytomedicine*, 2017, 25: 39–44.
- [26] 蒲艳. 葡萄籽提取物的提取及其在化妆品中的应用[D]. 广州: 暨南大学, 2017. [PU Y. Extraction of grape seed extract and its application in cosmetics[D]. Guangzhou: Jinan University, 2017.]
- [27] HAN J, BRITTEN M, ST-GELAIS D, et al. Effect of polyphenolic ingredients on physical characteristics of cheese [J]. *Food Research International*, 2011, 44(1): 494–497.
- [28] AXTEN L G, WOHLERS M W, WEGRZYN T. Using phytochemicals to enhance health benefits of milk: Impact of polyphenols on flavor profile [J]. *Journal of food science*, 2008, 73(6): 122–126.
- [29] BROWN J C, HUANG G, HALEY-ZITLIN V, et al. Antibacterial effects of grape extracts on helicobacter pylori [J]. *Applied and environmental microbiology*, 2009, 75(3): 848–852.
- [30] 党文庆, 何敏敏, 曹亮亮, 等. 葡萄残渣及提取物在兔日粮中的应用研究进展[J]. *中国养兔杂志*, 2021, 3: 18–23. [DANG W Q, HE M M, CAO L L, et al. Research progress of application of grape pomace and extract in rabbit feed[J]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 2021, 3: 18–23.]
- [31] 周向辉. 葡萄籽提取物营养成分组成及其生物学功能研究进展[J]. *食品与机械*, 2023, 39(7): 228–233+240. [ZHOU X H. Research progress in nutritional composition and biological function of grape seed extracts[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(7): 228–233+240.]

(编辑 马桂霞)