

碳纤维增强油井水泥石的力学性能

李明^{*1,2}, 杨雨佳¹, 郭小阳²

(1. 西南石油大学 材料科学与工程学院, 成都 610500; 2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610500)

摘要: 油井水泥石在井下易脆裂, 造成油井层间封隔失效, 进而影响油井开采。为了解决这一问题, 需要对水泥石进行降脆增韧。首先, 考察了甲基纤维素和羧甲基纤维素对碳纤维的分散效果; 然后, 研究了碳纤维对油井水泥石抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度的影响, 并模拟井下环境测试了水泥石单轴和三轴应力-应变曲线; 最后, 使用扫描电子显微镜对碳纤维增强水泥石的微观形貌进行观察, 探讨碳纤维对水泥石的增韧机制。结果表明: 0.2wt%的羧甲基纤维素溶液可有效分散碳纤维; 养护 28 d 后, 0.3wt%碳纤维增强水泥石的抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度较纯水泥石的分别提高 8.6%、31.5%和 52.4%, 三轴直接加载条件下, 其弹性模量较纯水泥石的低 49.5%; 经过分散的碳纤维在水泥石中乱向分布, 形成三维网络结构, 通过桥联、剥离及拔出耗能作用增强水泥石。研究结果为解决油井水泥石易脆裂的问题提供了理论参考。

关键词: 碳纤维增强油井水泥石; 力学性能; 抗拉强度; 弹性模量; 增韧机制

中图分类号: TE256 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3851(2015)03-0782-07

固井是一种将套管下入井眼, 并在井眼和套管之间充填水泥浆的技术。凝固后的水泥石为套管提供保护和支撑, 封隔油、气、水层以阻止地层间流体互窜, 为油气分层开采创造条件。油井水泥属硅酸盐水泥, 具有抗拉强度低、抗冲击强度差和易脆性开裂的缺点, 加之水泥石在井下受射孔、压裂、开采等作业和地下岩层复杂作用力的影响, 易产生微裂缝而导致其力学完整性失效, 轻则造成气窜和环空带压, 重则导致油气井报废。

对水泥石进行增强有助于保证其力学完整性。油井水泥石增强剂主要可分为晶须类和纤维类, 纤维类主要包括聚丙烯纤维、碳纤维、聚酯纤维和石棉纤维等。其中, 聚丙烯腈 (Polyacrylonitrile, PAN) 基碳纤维耐温性良好, 且少量的碳纤维就可明显提高水泥基材料的强度并抑制裂纹的扩展^[1-5]。但是, 由于碳纤维表面活性基团少, 不易被水润湿, 所以碳纤维在水泥浆中难以均匀分散, 影响了碳纤维在固井领域中的应用^[6-8]。目前, 提高碳纤维分散性的方法除了臭氧处理、强氧化剂表面处理、硅烷偶联剂处理、超声波分散和化学气相沉积

处理外, 还可使用甲基纤维素 (Methylcellulose, MC)、羧甲基纤维素 (Carboxymethylcellulose, CMC) 和羟乙基纤维素 (Hydroxyethyl Cellulose, HEC) 等作为分散剂对碳纤维进行分散处理^[9-11]。由于固井注水泥主要是在野外作业, 故要求施工工艺简单。使用纤维素对碳纤维进行分散处理不仅工艺简单、成本较低, 且纤维素也易于获得。笔者分别采用 MC 和 CMC 对碳纤维进行分散处理, 研究二者对碳纤维分散性的影响, 考察经分散处理的碳纤维对水泥石力学性能的影响, 并探讨碳纤维对油井水泥石的增强机制。

1 实验材料、仪器及方法

1.1 实验材料

所用的实验材料包括: G 级油井水泥 (四川嘉华公司); 分散剂、降失水剂、CMC、MC (成都科龙试剂公司); 消泡剂 (成都川锋公司); PAN 碳纤维 (大连兴科碳纤维公司)。PAN 碳纤维长度为 0.8~1.5 mm, 直径为 6~8 μm , 碳纤维的拉伸强度大于 3 300 MPa, 弹性模量为 220 GPa。

收稿日期: 2014-06-16; 录用日期: 2014-08-27; 网络出版时间: 2014-10-10 13:52

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/doi/10.13801/j.cnki.fhclxb.20141010.002.html

基金项目: 中国石油集团公司科学研究与技术开发项目 (2014A-4212)

通讯作者: 李明, 博士, 讲师, 研究方向为固井材料与固井工程。 E-mail: swpulm@126.com

引用格式: 李明, 杨雨佳, 郭小阳. 碳纤维增强油井水泥石的力学性能[J]. 复合材料学报, 2015, 32(3): 782-788. Li M, Yang Y J, Guo X Y. Mechanical properties of carbon fiber reinforced oil well cement composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(3): 782-788.

1.2 实验仪器

所用的实验仪器包括: 2100Q 型浊度计(美国 Hach 公司)、YA-300 型电子液压试验机(北京海智科技开发中心)、PKZ-5000 电动抗折试验机(无锡建仪仪器机械有限公司)、RTR-1000 型三轴岩石力学测试系统(美国 GCTS 公司)、JSM-6490LV 型扫描电子显微镜(日本 JEOL 公司)和 DKS-II 型岩心孔渗联测仪(常州市易用科技有限公司)。

1.3 实验方法

分别采用 MC 和 CMC 作为分散剂对碳纤维进行分散。首先, 配制 MC 或 CMC 的浓度分别为

0.10wt%、0.15wt%、0.20wt%、0.25wt% 和 0.30wt% 的分散剂溶液, 然后加入碳纤维并用搅拌机充分搅拌形成匀质溶液, 用浊度计测定溶液的浊度。在碳纤维质量分数相同的情况下, 溶液浊度越大表明碳纤维分散越好。

制备碳纤维增强水泥石试样时, 按照设定的质量比将 MC 或 CMC 溶于清水中, 再加入碳纤维并用变速搅拌器搅拌 30 min, 制成碳纤维分散溶液, 按照 GB/T 19139—2012《油井水泥试验方法》^[12] 制备水泥浆。不同碳纤维掺量试样的编号及水泥浆配方如表 1 所示。

表 1 不同碳纤维掺量试样的编号及水泥浆配方

Table 1 Number and slurry components of specimens with different carbon fiber contents

					wt%
Number	Content of matrix		Content of additive		
	Cement	Carbon fiber	CMC	Water	Fluid loss agent
P ₀	100.0	0	0.2	0.43	2
P ₁	100.0	0	0	0.43	2
C ₁	99.9	0.1	0.2	0.43	2
C ₂	99.8	0.2	0.2	0.43	2
C ₃	99.7	0.3	0.2	0.43	2
C ₄	99.6	0.4	0.2	0.43	2
C ₅	99.5	0.5	0.2	0.43	2

水泥浆流动度测试按照 GB/T 8077—2012《混凝土外加剂匀质性试验方法》^[13] 进行, 水平放置玻璃板(尺寸为 400 mm×400 mm×5 mm), 用湿布擦拭玻璃板和截锥圆模(上口直径为 36 mm, 下口直径为 60 mm, 高度为 60 mm, 内壁光滑无接缝), 使其表面润湿而不带水渍。将水泥浆迅速倒入圆模中后, 将圆模垂直提起, 任水泥浆流动 30 s, 用直尺量取流淌部分的最大直径作为流动度。

抗压强度模具的尺寸为 50.8 mm×50.8 mm×50.8 mm, 抗折强度三联模的尺寸为 40.0 mm×40.0 mm×160.0 mm, 抗拉强度模具的尺寸为 50.0 mm×25.0 mm。纯水泥石和碳纤维增强水泥石试样均在 90 ℃、21 MPa 条件下进行水浴养护。

用电子液压试验机测定水泥石抗压强度和劈裂抗拉强度; 用电动抗折试验机测定其抗折强度; 按照 GB/T 50266—2013《工程岩体试验方法标准》^[14], 用三轴岩石力学测试系统测定水泥石的单轴和三轴应力-应变曲线, 采用两点法计算直线斜率, 得到水泥石在弹性变形阶段的弹性模量; 用扫描电子显微镜观察碳纤维的微观形貌、在水泥石中的分散情况及水泥石受力断裂后的断面形貌; 用孔

渗联测仪测定碳纤维增强水泥石的孔隙度和渗透率。

油井水泥石与普通水泥基材料的使用环境不同, 其在井下受地层温度、压力以及地应力变化的影响^[15-16]。因此, 模拟了水泥石井下工况, 测定了养护 28 d 的试样 P₁ 和试样 C₃ 在单轴应力(围压为 0, 温度为 90 ℃, 加载速率为 2 kN/min)和三轴应力(围压为 7.0 MPa, 温度为 90 ℃, 加载速率为 2 kN/min)直接加载方式下的应力-应变曲线。

2 结果与讨论

2.1 分散剂种类及碳纤维掺量对碳纤维溶液浊度的影响

不同碳纤维掺量的碳纤维/MC 溶液和碳纤维/CMC 溶液的浊度如图 1 所示。可见, 碳纤维掺量为 0.1wt%、0.2wt% 和 0.3wt% 时, 碳纤维/CMC 溶液的浊度均大于碳纤维/MC 溶液的, 由此可知 CMC 比 MC 的分散效果更好; 碳纤维/CMC 溶液浓度为 0.2wt% 时, 分散效果较佳。因此选定 CMC 为碳纤维分散剂, 碳纤维的浓度为 0.2wt%。CMC 对碳纤维分散效果较好的原因在于其分子链上极性

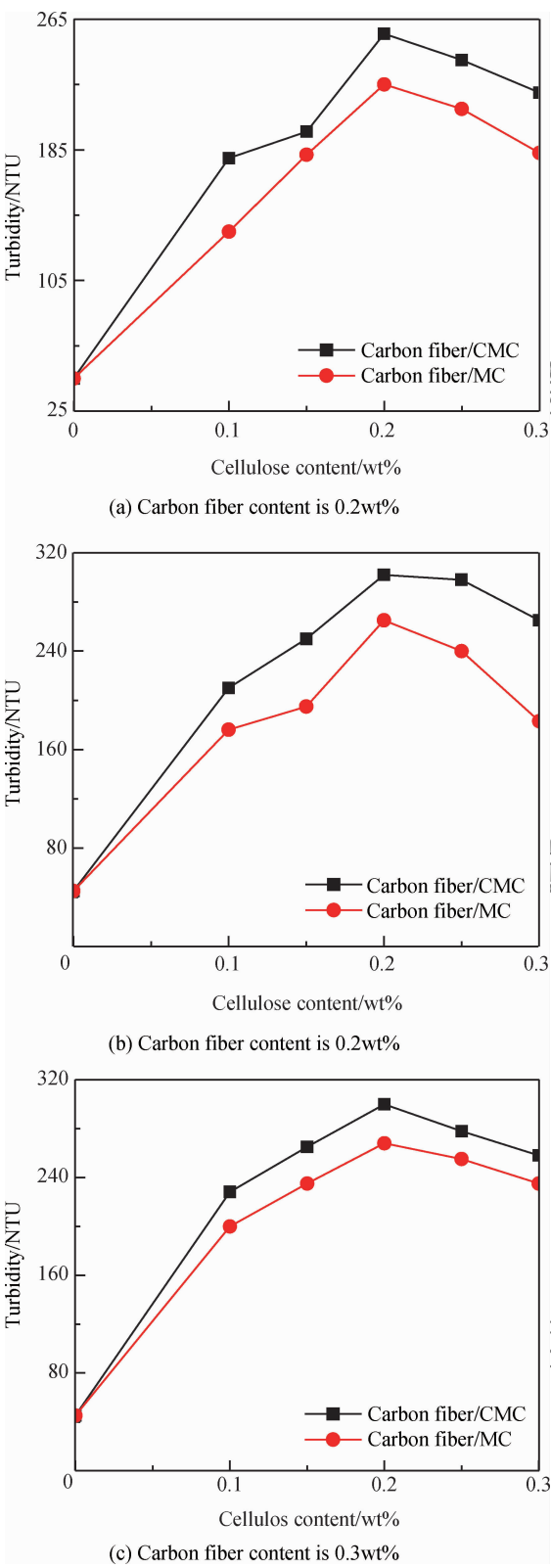


图 1 不同碳纤维掺量的碳纤维/MC 溶液和碳纤维/CMC 溶液的浊度

Fig. 1 Turbidities of solutions of carbon fibers/MC and carbon fiber/CMC with different carbon fiber contents

基团数量较 MC 的多,能与碳纤维之间形成更多氢键;同时,相同浓度的 CMC 水溶液黏度更大,易于将碳纤维包覆形成“囊包”;此外,CMC 包裹于碳纤维表面后,在固-液界面上产生的正吸附强于 MC 的,更强的吸附作用使分散剂与分散介质吸附在一起的效果更好,从而分散效果更好^[9, 11, 17]。

2.2 碳纤维掺量对水泥浆应用性能的影响

将碳纤维掺入水泥浆会降低水泥浆的流动性,随着碳纤维掺量的增大,水泥浆流动度降低。由于油井注水泥施工采用泵注,水泥浆流动度一般不得低于 18 cm。为确定碳纤维的合理掺量,进行了碳纤维水泥浆流动度实验。

碳纤维掺量对水泥浆流动度的影响如图 2 所示。可见,当碳纤维掺量超过 0.3wt% 时,水泥浆流动度低于 18 cm,不满足固井施工要求。因此碳纤维掺量应不高于 0.3wt%。

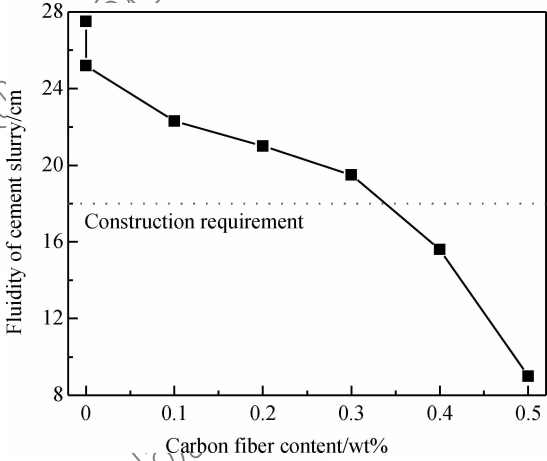


图 2 碳纤维掺量对水泥浆流动度的影响

Fig. 2 Effects of carbon fiber content on fluidity of cement slurry

不同碳纤维掺量的水泥浆的应用性能如表 2 所示。可见,碳纤维的掺入有利于减少水泥浆的游离液和失水量,提高了水泥浆的沉降稳定性;同时,碳纤维的加入对水泥浆的稠化时间无明显影响。实验结果说明碳纤维水泥浆的应用性能良好。

2.3 碳纤维增强水泥石的力学性能

图 3 为不同碳纤维掺量的水泥石的力学性能。可见,碳纤维增强水泥石试样的 1 d 抗压强度略低于试样 P₁ 的,但 1 d 和 3 d 抗折和劈裂抗拉强度均高于试样 P₁ 的。当养护时间超过 7 d 时,碳纤维增强水泥石的力学性能随碳纤维掺量的增加而明显提高。其中,试样 C₃ 的 14 d 和 28 d 抗压、抗折和劈裂抗拉强度较试样 P₁ 的分别提高了

表 2 不同碳纤维掺量的水泥浆的应用性能

Table 2 Application properties of slurries with different carbon fiber contents

Number	Density/(g · cm ⁻³)	Fluid loss/mL	Fluidity/cm	Free fluid/%	Thickening time/min
P ₁	1.90	20	25.2	0.1	260
C ₁	1.90	18	22.3	0	235
C ₂	1.90	17	21.0	0	241
C ₃	1.90	16	19.5	0	244

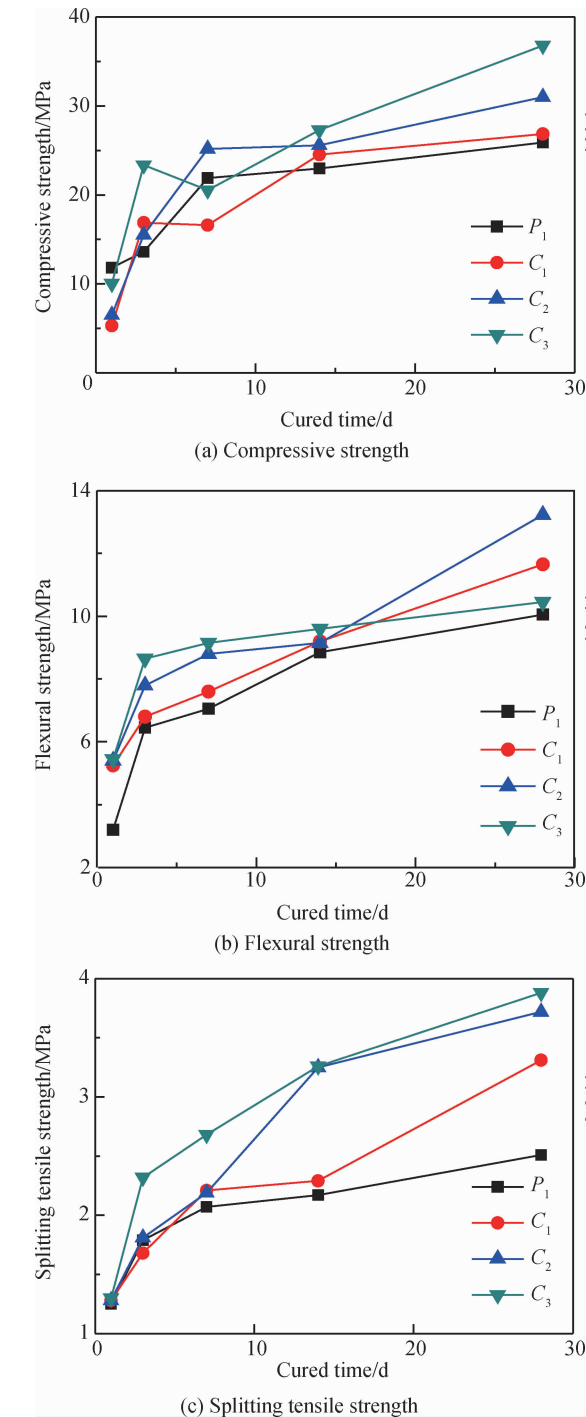


图 3 不同碳纤维掺量的水泥石的力学性能

Fig. 3 Mechanical properties of cement composites with different carbon fiber contents

11.1%、12.3%、22.4%、41.7% 以及 31.5%、52.4%。实验结果表明,碳纤维增强水泥石的力学性能较试样 P₁ 的有显著提高,碳纤维对水泥石起到了增强作用。

2.4 碳纤维增强水泥石的应力-应变曲线

图 4 为养护 28 d 后,试样 P₁ 和试样 C₃ 的应力-应变曲线。由图 4(a)可见,在单轴应力-应变实验中,试样 P₁ 和试样 C₃ 的应力-应变曲线有所差异;在同等载荷下,试样 C₃ 的轴向应变变量大于试样 P₁ 的。由于低应力作用下水泥石处于弹性变形阶段,应力-应变曲线近似为直线,可通过计算

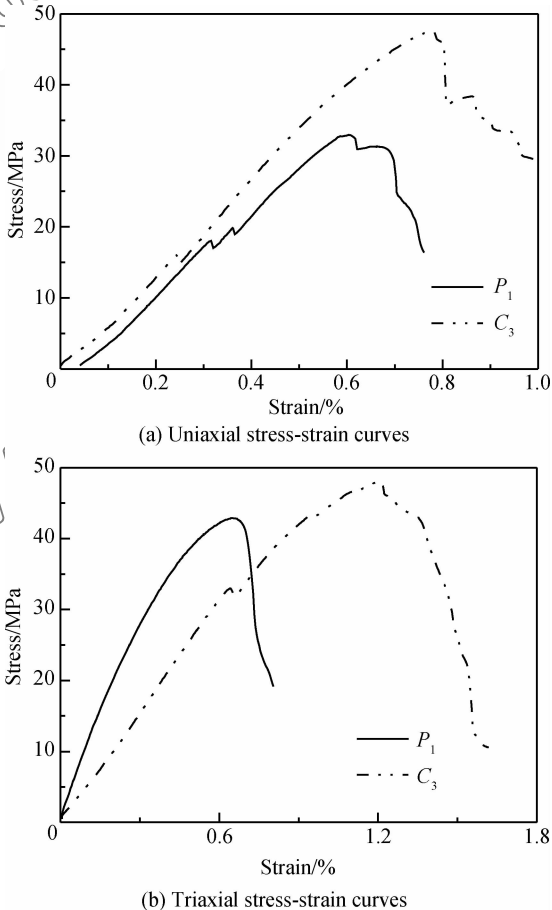


图 4 试样 P₁ 和试样 C₃ 的应力-应变曲线

Fig. 4 Stress-strain curves of Specimen P₁ and Specimen C₃

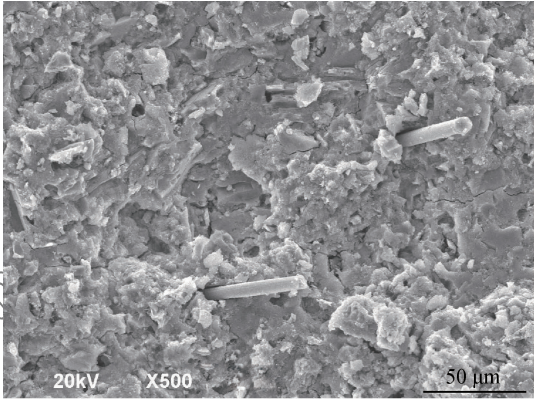
得到试样 C_3 的弹性模量为 5.70 GPa, 较试样 P_1 的弹性模量(5.87 GPa)降低了 3.0%。

三轴应力直接加载方式更符合水泥石在井下的受力情况。由图 4(b)的三轴应力-应变曲线可知, 在同等应力作用下, 试样 C_3 的轴向应变远大于试样 P_1 的。由计算可知, 试样 C_3 的抗压强度(47.2 MPa)较试样 P_1 的提高了 6.07%, 弹性模量(5.22 GPa)较试样 P_1 的降低了 49.5%。结果表明, 碳纤维对水泥石起到了增强作用, 能有效降低水泥石的弹性模量。

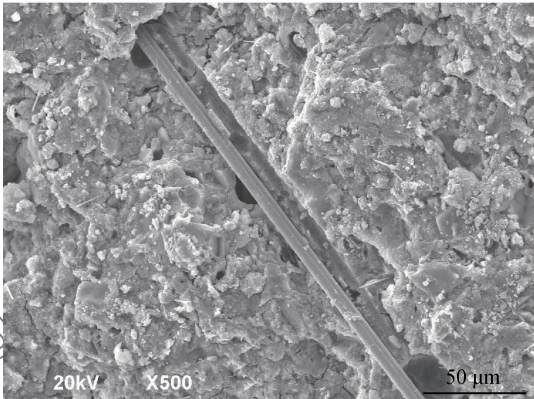
2.5 碳纤维增强水泥石的微观形貌

碳纤维及试样 C_3 的 SEM 照片如图 5 所示。图 5(a)为碳纤维的 SEM 照片, 可见碳纤维表面光滑, 直径属于微米级别; 图 5(b)为试样 C_3 的 SEM 照片, 可见经过分散处理的碳纤维掺入水泥后, 杂乱分散于水泥石中。

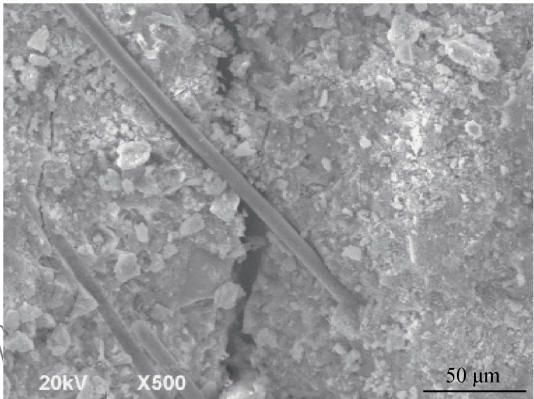
图 6 为试样 C_3 断裂面上碳纤维的 SEM 照片。由图 6(a)和图 6(b)可知, 碳纤维增强水泥石在外力作用下发生断裂时, 若裂纹发展方向与碳纤维垂



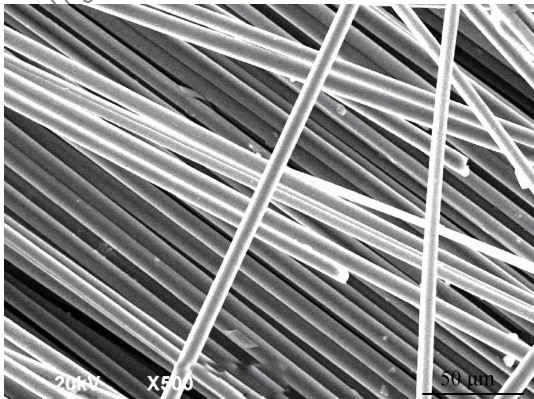
(a) Pulling-out



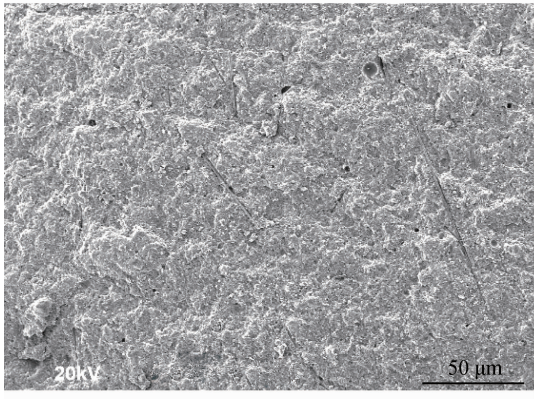
(b) Peel



(c) Bridge



(a) Carbon fibers



(b) Specimen C_3

图 5 碳纤维及试样 C_3 的 SEM 照片

Fig. 5 SEM photographs of carbon fibers and Specimen C_3

图 6 试样 C_3 断裂面上碳纤维的 SEM 照片
Fig. 6 SEM photographs of carbon fibers in specimen C_3 fractured surfaces

直, 则碳纤维从水泥石中拔出并剥离。由于碳纤维与水泥基体的摩擦作用, 裂纹进一步发展的能量被部分耗散, 宏观表现为碳纤维增强水泥石力学性能提高^[18-21]。由图 6(c)可知, 当裂纹穿过碳纤维时, 通过碳纤维在水泥石中的桥连作用, 碳纤维能在尖端将裂纹进行桥接, 存在闭合应力。这在一定程度上阻止了裂纹的继续扩展, 提高了水泥石的力学

性能。

2.6 碳纤维增强水泥石的渗透率和孔隙度

养护 28 d 后, 不同碳纤维掺量的水泥石的渗透率和孔隙度如表 3 所示。结果表明, 随碳纤维掺量的增加, 水泥石的渗透率和孔隙度均逐渐降低。其原因可能是分散处理过的碳纤维加入到水泥中后形成了乱向分布的纤维网, 有效限制了微裂纹的产生及扩展, 减少了微裂纹的数量和尺寸, 从而降低了水泥石的渗透率和孔隙度。

表 3 不同碳纤维掺量的水泥石的渗透率和孔隙度
Table 3 Permeability and void ratio of cement composites with different carbon fiber contents

Number	Permeability	Void ratio
P ₁	0.253 30	0.837 83
C ₁	0.029 66	0.830 70
C ₂	0.025 45	0.830 24
C ₃	0.022 81	0.829 63

3 结 论

(1) 羧甲基纤维素能有效分散碳纤维, 但对水泥浆的流动性有一定的影响。当羧甲基纤维素掺量为 0.2wt%、碳纤维掺量控制在 0.3wt% 以下时, 既能保证碳纤维的分散性, 又能使水泥浆具有良好的流动性。

(2) 掺有碳纤维的水泥浆应用性能良好, 流动度满足施工要求, 沉降稳定性较纯水泥浆有所提高, 碳纤维掺量对水泥浆的稠化时间无明显影响。

(3) 碳纤维能显著增强水泥石的力学性能, 当碳纤维的掺量为 0.3wt% 时, 水泥石的 28 d 抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度较纯水泥石的分别提高了 8.6%、31.5% 和 52.4%, 弹性模量较纯水泥石的降低了 49.5%。

(4) 碳纤维通过纤维的桥联作用控制微裂纹的产生和扩展, 以纤维拔出的方式耗能, 显著提高了水泥石的力学性能。

(5) 碳纤维能有效抑制水泥石中微裂纹的产生和扩展, 从而降低水泥石的渗透率和孔隙度。

参考文献:

[1] Eethar T D, Mahyuddin R. High strength characteristics of cement mortar reinforced with hybrid fibres[J]. Construction and Building Materials, 2011, 25(5): 2240-2247.
[2] Cao M L, Wei J Q. Microstructure and mechanical properties of CaCO₃ whisker-reinforced cement[J]. Journal of Wuhan

University of Technology: Material Science Edition, 2011, 26(5): 1004-1009.
[3] Banthia N, Nandakumer N. Crack growth resistance of hybrid fiber reinforced cement composites[J]. Cement & Concrete Composites, 2003, 25(1): 3-9.
[4] Zhang C, Cao M L. Mechanical properties of calcium carbonate whisker-reinforced high-strength cement mortar[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2012, 28(3): 331-336.
[5] Hua Y F, Zhang L T, Cheng L F, et al. Microstructure and mechanical properties of SiC_p/SiC and SiC_w/SiC composites by CVI[J]. Journal of Materials Science, 2010, 45(2): 392-398.
[6] Gao X, Song Y J, Wang X D, et al. Mechanical properties of compound modification carbon fiber reinforced thermoplastic polyimide[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2009, 26(3): 50-54 (in Chinese).
高鑫, 宋艳江, 王晓东, 等. 复合处理碳纤维增强聚酰亚胺复合材料力学性能[J]. 复合材料学报, 2009, 26(3): 50-54.
[7] Liu X, Wang R G, Liu W B, et al. Microwave absorbing properties of composites reinforced by irregular carbon fiber [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2009, 26(2): 94-100 (in Chinese).
刘新, 王荣国, 刘文博, 等. 异形截面碳纤维复合材料的吸波性能[J]. 复合材料学报, 2009, 26(2): 94-100.
[8] Fu Y Q, Yu L M, Han C S, et al. Effects of surface modification on the microstructure of vapor grown carbon fiber[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2009, 26(5): 100-104 (in Chinese).
傅雅琴, 俞来明, 韩春磊, 等. 表面改性处理对气相生长碳纤维的微观结构影响[J]. 复合材料学报, 2009, 26(5): 100-104.
[9] Fu H L, Huang Y D, Liu L. Atom force microscope study on inter phase character of carbon fiber/polyarylacetylene composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2005, 22(6): 85-90 (in Chinese).
傅宏俊, 黄玉东, 刘丽. 碳纤维/聚芳基乙炔复合材料界面特性的原子力显微镜研究[J]. 复合材料学报, 2005, 22(6): 85-90.
[10] Zhang F S, Hu L G. Study of carbon fiber surface modification by electropolymerization[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1997, 14(2): 12-16 (in Chinese).
张复盛, 胡卢广. 碳纤维表面的电聚合改性研究[J]. 复合材料学报, 1997, 14(2): 12-16.
[11] Qian J S, Xie C B, Xing H J, et al. Effect of polycarboxylate superplasticizer on dispersion of carbon fiber in cement-based material[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 16(3): 2389-2392 (in Chinese).
钱觉时, 谢从波, 邢海娟, 等. 聚羧酸减水剂对水泥基材料

- 中碳纤维分散性的影响[J]. 功能材料, 2013, 16(3): 2389-2392.
- [12] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 19139—2012 Oil well cement test method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013 (in Chinese).
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 19139—2012 油井水泥试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [13] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 8077—2012 Concrete admixture homogeneity test method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012 (in Chinese).
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 8077—2012 混凝土外加剂匀质性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [14] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB/T 50266—2013 Standard for test method of engineering rock mass [S]. Beijing: China Planning Press, 2013 (in Chinese).
中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50266—2013 工程岩体试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [15] Wojanowicz A K, Smith J R, Manowski W M, et al. Top cement pulsation for prevention of flow after cementing, [R]. Baton Rouge: Louisiana State University, 2000.
- [16] Cao M L, Zhang C, Wei J Q. Microscopic reinforcement for cement based composite materials [J]. Construction and Building Materials, 2013, 40(2): 14-25.
- [17] Mustafa S, Yaman O I. Hybrid fiber reinforced self compacting concrete with a high volume coarse fly ash[J]. Construction and Building Material, 2007, 21(1): 150-156.
- [18] Faber K T, Evans A G. Crack deflection processes — I. Theory[J]. Acta Metallurgica, 1983, 31(4): 565-576.
- [19] Chen E F, Chen D. The development of whisker-reinforced polymer composites mechanisms[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2006, 22(2): 20-24.
- [20] Li Z Y, Guo X Y, Han L, et al. Research on mechanism of increasing flexibility and decreasing brittleness of cement sheath in oil well[J]. Acta Petroleum Sinica, 2007, 28(4): 126-129 (in Chinese).
李早元, 郭小阳, 韩林, 等. 胶乳对水泥石三轴力学形变能力的作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 126-129.
- [21] Yao X, Fan S L, Wu Y C, et al. Study and application of toughness-enhancing fiber material for the cement used for well cementing [J]. Journal of Xi'an Shiyou University, 2005, 20(2): 39-42 (in Chinese).
姚晓, 樊松林, 吴叶成, 等. 油井水泥纤维增韧材料的研究与应用[J]. 西安石油大学学报, 2005, 20(2): 39-42.

Mechanical properties of carbon fiber reinforced oil well cement composites

LI Ming^{1,2}, YANG Yujia¹, GUO Xiaoyang²

- (1. School of Material Science and Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Oil well cement composites are apt to embrittlement crack downhole, and that will lead to the failure of interlaminar packers of oil well, then effect the exploitation of oil well. In order to solve this problem, it is necessary to reduce the brittleness and increase the toughness of oil well cement composites. Firstly, the dispersancy effectiveness of methylcellulose and carboxymethylcellulose toward carbon fibers were investigated. Then, the effects of carbon fibers on the compressive strength, flexible strength and splitting tensile strength of oil well cement composites were investigated, and the uniaxial and triaxial stress-strain curves of cement composites were measured under the simulated downhole environment. Finally, the microtopographies of carbon fiber reinforced oil well cement composites were observed by scanning electron microscope and the toughening mechanism of carbon fibers toward cement composites was discussed. The results demonstrate that 0.2wt% carboxymethylcellulose solution can disperse carbon fibers effectively. After cured for 28 d, the compressive strength, flexible strength and splitting tensile strength of 0.3wt% carbon fiber reinforced cement composites increase by 8.6%, 31.5% and 52.4%, respectively, under the condition of triaxial direct loading, the elastic modulus reduces by 49.5% comparing with the pure cement composites. The dispersed carbon fibers distribute in cement composites disorderly, form the three-dimensional network structures and toughing cement composites by the energy-dissipation effects of bridging, peel and pulling-out. The conclusions provide theoretical reference to solve the problem of brittleness of oil well cement composites.

Keywords: carbon fiber reinforced oil well cement composites; mechanical properties; tensile strength; elastic modulus; toughening mechanism