

粉煤灰复合低密度水泥浆体系研究

刘庆旺 陈金秋  
(大庆石油学院石油工程学院,大庆 163318)

**摘 要** 为满足低压易漏失井对低密度水泥浆提出的要求,研制出一套密度范围在  $1.40\text{ g/cm}^3 - 1.55\text{ g/cm}^3$  的粉煤灰复合低密度水泥浆体系。当降失水剂加量为 11%,缓凝剂加量为 0.05%,激发剂加量为 1%,该水泥浆体系抗压强度大于 18 MPa,滤失量小于 50 mL,初始稠度低,稠化时间可调,综合性能良好。

**关键词** 固井 低密度水泥浆 抗压强度 粉煤灰

**中图法分类号** TE256.7; **文献标志码** B

随着油田勘探开发的不断深入,漏失井、复杂井、长封固段井的数量日益增多,为了确保固井质量,减少对油气层的污染,必须降低水泥浆密度,保证水泥浆的各项性能。目前常用的低密度水泥浆多为漂珠体系,但漂珠在一定的压力易破碎,致使水泥浆不稳定<sup>[1]</sup>。以改性粉煤灰为主要外掺料,合理应用紧密堆积理论和颗粒级配技术,研制出一套密度在  $1.40\text{ g/cm}^3 - 1.55\text{ g/cm}^3$  范围的粉煤灰复合低密度水泥浆体系,为油田的勘探开发提供了有效的技术支持。

1 实验材料

G 级水泥;改性粉煤灰:主要成分是  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等,密度  $(2.0 - 2.5)\text{ g/cm}^3$ ,平均粒径  $40\text{ }\mu\text{m}$ ,比表面积  $(2\,500 - 5\,000)\text{ m}^2/\text{g}$ ;微硅:主要成分  $\text{SiO}_2$  含量 90% 以上,平均粒径  $0.15\text{ }\mu\text{m}$ ,密度  $(2.10 - 2.60)\text{ g/cm}^3$ ,比表面积  $(15 - 25)\text{ m}^2/\text{g}$ ;微细水泥:粒径在  $(1 - 10)\text{ }\mu\text{m}$  之间,比表面积大于  $3\,000\text{ cm}^2/\text{g}$ ;纳米  $\text{SiO}_2$ ;外加剂:降失水剂 FLA—1,缓凝剂 RTD—1,激发剂 AYW—1 和 AYW—2(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院提供)。

2 粉煤灰复合低密度水泥浆外加剂的优选

2.1 粉煤灰复合低密度水泥浆基本配方

应用紧密堆积原理和颗粒级配技术<sup>[2]</sup>,并考虑各种外掺料在低密度水泥浆体系中的物化性能,确定粉煤灰复合低密度水泥浆体系中各种固相材料的最优加量配比。不同密度粉煤灰复合水泥浆的最优加量配比见表 1。

表 1 不同密度粉煤灰复合水泥浆基本配方实验

| 密度/<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 微细<br>水泥/g | 改性粉<br>煤灰/g | 微硅<br>/g | 纳米<br>材料/g | G 级<br>水泥/g |
|--------------------------------------------|------------|-------------|----------|------------|-------------|
| 1.40                                       | 215        | 600         | 185      | 25         | 500         |
| 1.45                                       | 125        | 350         | 100      | 25         | 500         |
| 1.50                                       | 105        | 310         | 85       | 25         | 500         |
| 1.55                                       | 85         | 245         | 70       | 25         | 500         |

2.2 降失水剂 FLA—1 加量的确定

降失水剂 FLA—1 是一种聚酰胺类的四元共聚物,具有很好的抗酸、抗碱及热稳定性。FLA—1 不仅能够控制水泥浆的滤失量,而且,由于其自身具有较高的黏稠度,能够确保粉煤灰复合低密度水泥浆体系的沉降稳定性。不同加量的 FLA—1 对水泥浆滤失量的影响见表 2。

2010 年 5 月 6 日收到  
第一作者简介:刘庆旺(1964—),男,教授,研究方向:石油工程。

表 2 不同加量的降失水剂滤失实验

| 水泥浆密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 降失水剂<br>加量/% | 滤失量/[mL·(30 min <sup>-1</sup> )] |      |
|---------------------------------|--------------|----------------------------------|------|
|                                 |              | 90℃                              | 120℃ |
| 1.45                            | 8            | 69                               | 84   |
|                                 | 10           | 40                               | 46   |
|                                 | 12           | 36                               | 44   |
| 1.55                            | 8            | 55                               | 67   |
|                                 | 10           | 39                               | 44   |
|                                 | 12           | 32                               | 42   |

由表 2 可见:要保证水泥浆滤失量低于 50 mL,降失水剂的加量不能低于 10%。

2.3 缓凝剂 RTD—1 加量的确定

缓凝剂 RTD—1 能够有效延长或维持水泥浆处于液态和可泵性的时间。该缓凝剂在不同温度区间都具有缓凝作用,与降失水剂配伍使用时有很好的相容性,不影响水泥浆稠度、静切力、强度发展等性能,还具有抗污染、无毒、无味等优点。不同加量的 RTD—1 在不同循环温度下稠化时间的变化见表 3。

表 3 不同加量的缓凝剂稠化实验

| 缓凝剂加量/% | 稠化时间/[min·(100Bc) <sup>-1</sup> ] |      |      |      |
|---------|-----------------------------------|------|------|------|
|         | 90℃                               | 100℃ | 110℃ | 120℃ |
| 0       | 166                               | 147  | 125  | 98   |
| 0.05    | 231                               | 196  | 170  | —    |
| 0.10    | —                                 | 225  | 189  | 167  |
| 0.15    | —                                 | 255  | 228  | 207  |
| 0.20    | —                                 | —    | 276  | 249  |
| 0.25    | —                                 | —    | —    | 290  |

由表 3 可见:缓凝剂 RTD—1 对该低密度水泥浆有较好的缓凝效果,不同循环温度下稠化时间可调,且随着缓凝剂加量的增加,稠化时间也延长,过渡时间较短。

2.4 激发剂加量的确定

从化学方式对粉煤灰的活性进行激发,促进胶凝材料水化反应程度,使其能够在较低的温度下生成具有增强作用的水化产物。应用 AYW—1 和 AYW—2 共同作为体系的激发剂,加量分别为 0.9% 和 0.12%,其对水泥石强度影响如表 4 所示。

表 4 AYW—1 和 AYW—2 共同作用影响实验

| 加量/%  |       | 流动度/cm | 水泥石抗压强度/MPa<br>(常压×48 h) |      |      |
|-------|-------|--------|--------------------------|------|------|
|       |       |        | 常温                       | 38℃  | 60℃  |
| AYV—1 | AYV—2 |        |                          |      |      |
| 0.9   | 0.12  | 22.5   | 11.8                     | 13.7 | 15.5 |

注:加量为占体系固相质量百分含量,降失水剂加量为 10%。

3 粉煤灰复合低密度水泥浆体系性能评价

3.1 粉煤灰复合低密度水泥浆体系基本性能

配制不同密度的水泥浆,实验条件为 90℃×48 h×20.7 MPa,降失水剂加量为 11%,缓凝剂加量为 0.05%,激发剂加量为 1%。新型复合粉煤灰低密度水泥浆体系的基本性能见表 5。

表 5 不同密度水泥浆各项基本性能

| 密度/<br>(g·<br>cm <sup>-3</sup> ) | 流动度<br>/cm | 游离液<br>/mL | 初稠<br>/Bc | 抗压<br>强度<br>/MPa | 稠化时间/<br>[min·<br>(100Bc <sup>-1</sup> )] | 滤失量/<br>[mL·<br>(30 min) <sup>-1</sup> ] |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1.40                             | 22.5       | 0          | 12        | 18.1             | 205                                       | 46                                       |
| 1.45                             | 23.0       | 0          | 11        | 19.3             | 191                                       | 44                                       |
| 1.50                             | 23.0       | 0          | 11        | 21.2             | 173                                       | 40                                       |
| 1.55                             | 23.5       | 0          | 9         | 22.6             | 166                                       | 38                                       |

由表 5 可见,不同密度水泥浆抗压强度均超过 18 MPa,滤矢量都在 50 mL 以内,初始稠度低,稠化时间可调,综合性能良好。

3.2 耐温性能

粉煤灰复合低密度水泥浆体系中富含 SiO<sub>2</sub>,组分中的 CaO/SiO<sub>2</sub> 摩尔数接近于 1,改善了水泥石的耐温性能,具有良好的抗高温衰退性。实验养护压力为 20.7 MPa,降失水剂加量为 11%,激发剂加量为 1%,缓凝剂 90℃加量为 0.05%,120℃、150℃加量为 0.2%。不同温度、不同养护龄期的水泥石抗压强度实验如表 6 所示。

表 6 不同温度、不同养护龄期水泥石强度实验

| 密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 抗压强度/MPa |      |      |      |      |      |
|------------------------------|----------|------|------|------|------|------|
|                              | 90℃      |      | 120℃ |      | 150℃ |      |
|                              | 48 h     | 7 d  | 48 h | 7 d  | 48 h | 7 d  |
| 1.40                         | 18.1     | 19.7 | 19.7 | 21.6 | 20.9 | 23.7 |
| 1.45                         | 19.3     | 20.5 | 20.9 | 22.1 | 21.8 | 24.8 |
| 1.50                         | 21.2     | 23.6 | 24.3 | 25.1 | 25.4 | 26.1 |
| 1.55                         | 22.6     | 25.5 | 27.1 | 28.2 | 29.1 | 29.9 |

综合性能,各项性能能够满足固井施工的要求。

## 4 结 论

(1) 应用紧密堆积理论和颗粒级配技术,使水泥、改性粉煤灰、微硅、微细水泥、纳米材料五种胶凝材料达到最优配比,确定了一套密度在  $1.40\text{ g/cm}^3$ — $1.55\text{ g/cm}^3$  范围的粉煤灰复合低密度水泥浆体系。

(2) 粉煤灰复合低密度水泥浆体系具有良好的

## 参 考 文 献

- 1 刘德平. 漂珠低密度水泥固井技术研究. 天然气工业, 1997; 17 (3): 51—55
- 2 黄柏宗. 紧密堆积理论优化的固井材料和工艺体系. 钻井液与完井液, 2001; 18 (6): 1—8

## Study of Fly Ash Composite Low-density Cement Slurry System

LIU Qing-wang, CHEN Jin-qiu

(Petroleum Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] To meet the requirements of low-density cement slurry for low leakage easily wells, a set of fly ash composite low-density cement slurry system which the density range in  $1.40\text{ g/cm}^3$ — $1.55\text{ g/cm}^3$  is developed. When fluid loss additive 11%, retarder dosing amount for 0.05% and activator for 1%, the compressive strength of the fly ash composite low-density cement slurry system is over 18 MPa, and the water filter can be controlled with in 50 mL, initial low viscosity, thickening time adjustable, comprehensive performance is good.

[Key words] cementing low-density cement slurry compressive strength fly ash

(上接第 5253 页)

## Relationship between Compressive Strength and Elasticity Modulus of Cement Stone under Monopodium Stress

ZHANG Jing-fu, LIN Bo, WANG Xun, WANG Zhao-jun

(Petroleum Engineering Institute Northeast Petroleum University, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] Using high temperature-high pressure maintenance vessels and compression testing equipment *etc.*, stress-strain curves of oilwell cement systems were tested. Influent law of temperature and additives on the compressive strength and elasticity modulus of oilwell cement stone were analyzed. The problem for establishing relationship model between strength and elasticity modulus were researched. The following conclusions are obtained: there are sensible elastic deformation and brittle failure feature in the oilwell cement under monopodium stress conditions. At the beginning, the compressive strength and elasticity modulus of cement stones increase with the increase of temperature. After the temperature after rises a certain value, the compressive strength and elasticity modulus reduce when the temperature continue to be increased. Compressive strength and elasticity modulus of every slurries increase with the increase of curing time. Dispersing agent, filtrate reducer and latex can decline compressive strength and elasticity modulus of the cement stone, but high early agent, expanding agent can upgrade them. Silica sand can also upgrade them at high temperatures. The relationship model between strength and elasticity modulus can be established by using adopting data regression analysis method. Using tested compressive strength, the model established in this paper can be used to estimate cement elasticity modulus of cement stone.

[Key words] oilwell cement compressive strength elasticity modulus model