

涌水含气地层封孔材料的设计及野外试验

杨翔^{1,2}, 郭威^{1,2}, 马银龙^{1,2}, 王元^{1,2}, 张鹏宇^{1,2}, 曲莉莉^{1,2}

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室, 吉林 长春 130026)

摘要: 常规素水泥浆封孔材料不能完全满足涌水含气特殊地层条件的封孔要求。以水泥砂浆为研究对象, 通过正交实验, 设计了水泥砂浆的配比, 得到了适用于涌水含气地层的封孔材料配方, 达到了钻探对封孔质量的技术要求。在室内实验的基础上, 结合通地 1 井具体地层条件, 根据不同井段的封孔质量要求, 采用相应封孔材料配方进行了野外应用试验。结果表明, 所设计的封孔材料配方能够满足涌水含气地层的封孔质量要求。

关键词: 涌水地层; 含气地层; 封孔材料; 通地 1 井

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)09-0012-04

Design and Field Test of Sealing Material for the Water Gushing and Gas Bearing Formations/YANG Xiang^{1,2}, GUO Wei^{1,2}, MA Yin-long^{1,2}, WANG Yuan^{1,2}, ZHANG Peng-yu^{1,2}, QU Li-li^{1,2} (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Key Lab of Drilling and Exploitation Technology in Complex Conditions of Ministry of Natural Resources, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: The conventional plain cement sealing material cannot fully meet the sealing requirements of the special geological formation with water gushing and gas bearing. Taking the sealing cement mortar as the research object, the proportion of cement mortar was designed by orthogonal experiment, the formula of the sealing material suitable for the water gushing and gas-bearing formation was obtained, and the technical requirements for borehole sealing quality are obtained. On the basis of laboratory experiments and combined with the specific formation conditions of Tongdi well - 1, the field application tests were carried out with the corresponding sealing material formula according to the sealing quality requirements of different well sections. The results show that the designed sealing material formula can meet the requirements of borehole sealing quality in the water gushing and gas-bearing formation.

Key words: water gushing formation; gas-bearing stratum; sealing material; Tongdi well - 1

封孔作为钻探工作六大质量指标之一, 是钻探作业结束后的一项重要工作。通地 1 井封孔时在 0~17 m 井段遇到了涌水、涌气的复杂地层条件, 导致了钻孔封闭困难。普通封孔水泥材料在井下有水的环境中固化时间长, 早期强度低。在涌水含气地层条件下, 为满足钻孔施工质量要求, 封孔用水泥砂浆要能够快速封堵涌水、涌气的地层。封孔用水泥砂浆需要保持一定的流态进入钻孔环空, 在水流与气体冲蚀条件下到达预定尾椎并快速凝固, 以达封闭钻孔的目的。

1 封孔材料设计与水泥外加剂作用效果

以钻井工程中广泛应用的水泥基封孔材料为研究对象, 通过加入添加剂对封孔水泥砂浆进行改性处理, 以期获得在涌水、涌气地层条件下具有不同凝

结时间的封孔用水泥砂浆, 从而能够满足不同钻孔深度的封孔需求。

为使水泥砂浆满足涌水含气地层封孔质量要求, 以现有封孔水泥砂浆为基础, 参考固井水泥, 在水泥砂浆中加入红星 1 型速凝剂与早强剂三乙醇胺, 改善封孔水泥砂浆性能。速凝剂可以缩短水泥候凝时间。水泥速凝剂中的铝酸钠、碳酸钠在碱性溶液中迅速与水泥中的石膏反应形成硫酸钠, 使石膏丧失其原有的缓凝作用, 从而导致铝酸三钙矿物迅速水化, 并在溶液中析出其水化产物晶体, 致使水泥砂浆迅速凝结。红星 1 型速凝剂能够使水泥在 1 h 产生强度, 1 d 强度可提高 2~3 倍, 28 d 强度为未掺加速凝剂水泥的 80%~90%。早强剂三乙醇胺是一种络合剂, 在水泥水化的碱性溶液中, 能与 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 等离子形成较稳定的络离子, 这种络离

收稿日期: 2018-02-01; 修回日期: 2018-07-10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“通化地区地质调查井工程”(编号: 12120115001701-5)

作者简介: 杨翔, 男, 汉族, 1995 年生, 吉林大学在读硕士研究生, 地质工程专业, 主要从事天然气水合物钻采技术研究工作, 吉林省长春市西民主大街 938 号, 1499194016@qq.com。

子与水泥的水化物作用生成溶解度很小的络盐并析出,有利于早期骨架的形成,从而使混凝土早期强度提高。三乙醇胺能够将水泥早期强度提高 50%,28 d 强度不变或稍有提高。

2 材料配方的正交试验

为解决涌水含气地层封孔困难的问题,通过正交试验方法,确定使用封孔材料的配合比,为实际封孔施工提供理论依据。

2.1 试验材料

基于现有水泥砂浆的研究,确定水灰比、灰砂比、速凝剂添加量与三乙醇胺的加量作为影响水泥砂浆凝结时间的四个因素,总结现有对于水泥砂浆凝结时间的研究,确定各个因素所选取的水平。试验采用普通硅酸盐 425 水泥,选用标准砂,红星 1 型速凝剂,三乙醇胺。试验设备选用电子天平(精度为 0.01 g)。设计正交实验,因素水平见表 1,以水泥砂浆的凝结时间作为评价标准。

表 1 水泥砂浆湿态凝结时间影响因素水平

序号	水灰比	速凝剂加量/%	灰砂比	三乙醇胺加量/%
1	0.45	3	1:1	0.3
2	0.50	5	1:2	0.5
3	0.60	6	1:3	1.0

2.2 试验过程

试验采用 425 水泥,质量为 150 g,按照正交试验表进行试验:(1)精确称量各组分量;(2)将水

泥、砂放入搅拌容器中,搅拌 2 min,使原料充分搅拌均匀;(3)加入水、速凝剂和三乙醇胺,充分搅拌 2 min,搅拌完成后,将一定量的水泥砂浆放入水中候凝;(4)记录水泥砂浆凝结时间。

试验结果如表 2 所示。

表 2 封孔水泥凝结时间正交实验

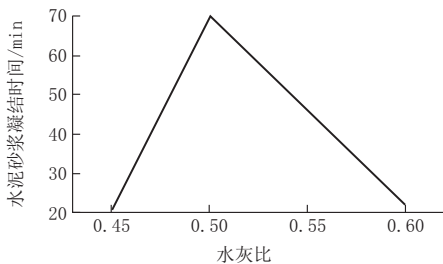
组别	水灰比	速凝剂加量/%	灰砂比	三乙醇胺加量/%	凝结时间/min
1	0.45	3	1:1	0.3	0
2	0.45	5	1:2	0.5	20
3	0.45	6	1:3	1.0	42
4	0.50	3	1:2	1.0	50
5	0.50	5	1:1	0.3	72
6	0.50	6	1:3	0.5	88
7	0.60	3	1:3	0.5	27
8	0.60	5	1:1	1.0	21
9	0.60	6	1:2	0.3	17

2.3 试验结果分析

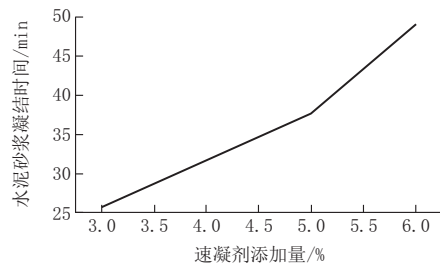
对实验结果进行直观分析。由分析结果可知,对封孔水泥砂浆凝结时间的影响程度由大到小依次为水灰比、速凝剂加量、灰砂比、三乙醇胺加量,分析结果如表 3 所示。各因素对水泥砂浆影响如图 1 所示。

表 3 封孔水泥浆凝结时间正交实验分析

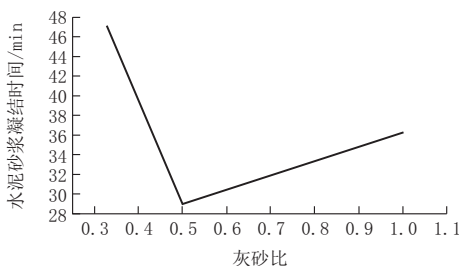
均值	水灰比	速凝剂加量/%	灰砂比	三乙醇胺加量/%
均值 1	20.667	25.667	36.333	29.667
均值 2	70.000	37.667	29.000	45.000
均值 3	21.667	49.000	47.000	37.667
极差	49.333	23.333	18.000	15.333



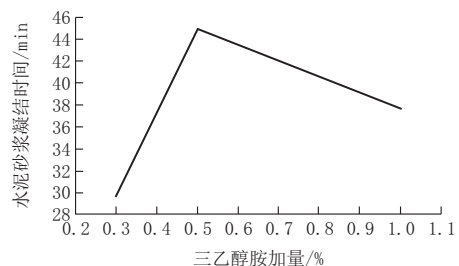
(a) 水灰比



(b) 速凝剂添加量(质量百分比)



(c) 灰砂比



(d) 三乙醇胺加量

图 1 各因素对水泥砂浆凝结时间的影响

对试验数据进行方差分析。方差分析能够在直观分析的基础上检验因素对于结果的影响程度,见表4。由方差分析可以判断影响结果的主要因素与次要因素。给定显著性水平 $\alpha=0.1$,方差分析结果显示,水灰比的变化对结果的影响十分显著。

表4 水泥砂浆凝结时间方差分析

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
水灰比	4867.556	2	12.122	9.000	*
速凝剂加量	749.556	2	1.867	9.000	
灰砂比	544.222	2	1.355	9.000	
三乙醇胺加量	401.556	2	1.000	9.000	
误差	401.560	2			

注:“F比”指因素水平引起的平均偏差平方和与误差的平均偏差平方和的比值。“F临界值”可通过查找F检验的临界值得知。

根据试验数据,在试验中水灰比、灰砂比、速凝剂加量和三乙醇胺加量的范围内以及试验条件下,拟合出封孔水泥砂浆凝结时间与水灰比、速凝剂加量、灰砂比和三乙醇胺加量的函数。函数表达式为:

$$Y = 35.063 - 63.333A + 768.292B - 6.552C + 541.070D$$

式中:Y——封孔水泥砂浆凝结时间, min; A——水灰比; B——速凝剂加量, %; C——灰砂比; D——三乙醇胺加量, %。

3 通地1井封孔野外实验

通地1井位于吉林省通化市大倒木村,基岩段全取心,钻遇岩层主要为泥岩、粉砂岩,岩石成岩性差,硬度低,且极易破碎。通地1井施工过程中,钻孔涌水、涌气现象严重,难以封堵,如图2所示。



图2 钻进过程中钻孔涌水涌气

3.1 封孔材料配比设计

在涌水含气复杂地层条件下,封孔用水泥砂浆需保持一定的流态进入钻孔环空,在水流冲刷条件下到达预定位置并快速凝固,同时需要具有一定的早期强度,以实现止水、止气的目的。通地1井上部

0~17 m井段地层涌水含气情况严重,为使封孔水泥砂浆能够快速封堵地层,并且满足钻孔施工质量要求,0~5 m井段与5~17 m井段需采用不同凝结时间水泥砂浆。根据钻孔结构,如图3所示,以及钻孔涌水量,综合考虑通地1井现场施工条件,结合室内试验结果,选用的封孔水泥砂浆成分如下。

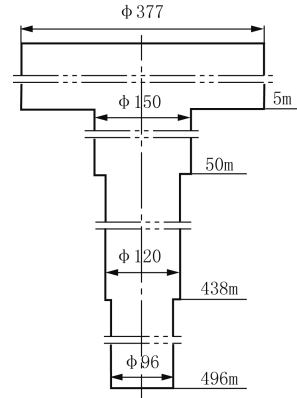


图3 通地1井钻孔结构示意图

0~5 m井段,钻孔直径为300 mm,水泥砂浆成分配比为:水灰比1:2、速凝剂3%、灰砂比1:2、三乙醇胺1%,即4号水泥砂浆,其强度可以达到38.3 MPa;

5~17 m井段,钻孔直径为156 mm,水泥砂浆成分配比为:水灰比1:2、速凝剂5%、灰砂比1:1、三乙醇胺0.3%,即5号水泥砂浆,其强度可以达到36.1 MPa。

0~17 m井段封孔结构如图4所示。

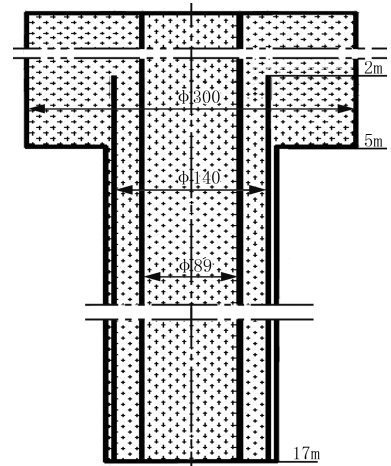


图4 通地1井上部封孔结构示意图

3.2 封孔施工

根据通地1井0~17 m井段涌水、涌气情况,考虑选用水泥砂浆流动性、凝结时间、固结时间,采用水泵灌注法进行灌注。具体施工过程如下。

(1)处理井口,将井口上方杂物铲除,操作过程中须注意在井口部分做防落物措施,防止杂物掉入孔内。

(2)按照 5 号水泥砂浆配比称量多组(3 组及以上)材料,搅拌时可两组相继进行,即一组搅拌完成未浇灌前另一组开始搅拌,保证灌入水泥砂浆不间断。浇灌过程中根据设计用量,以实际井口返水及水泥砂浆液面情况决定停止灌注时间。

(3)在(2)操作过程中,按照 4 号水泥砂浆配比称量好多组(3 组及以上)材料,在 5 号水泥砂浆灌注停止后,重复(2)的浇灌过程,封住井口。

(4)水泥砂浆灌注完成后,钻孔被封住。此时,用电焊将孔口管焊接同规格的管材,使孔口管向上延伸约 0.2 m,同时将预先制好两块半圆环拼板将孔口管和中心 $\varnothing 89$ mm 套管焊死。

(5)最后用 4 号水泥砂浆在封隔管的周围浇筑,并制作终孔标识。

(6)待封孔完成约 2 h 后观察封孔效果。

3.3 封孔效果

通地 1 井封孔施工结束后,钻孔内不再涌水涌气。封孔水泥砂浆在水流及气体冲蚀条件下到达预定位置并快速凝固,并且具有一定的强度,达到止气、止水的目的。通过透孔取样对封孔质量进行评价。通地 1 井封闭段水泥结构较好,符合钻孔施工质量要求。

4 结论

(1)通过向水泥砂浆中加入适量的红星 1 型速凝剂和三乙醇胺,能够控制水泥砂浆在涌水涌气环境下的凝结时间,这一水泥砂浆体系适合作为涌水、含气地层封孔材料,并能满足钻孔施工质量要求,为涌水含气地层封孔材料设计提供方案。

(2)由试验结果分析可知,对封孔水泥砂浆凝结时间的影响程度由大到小依次为水灰比、速凝剂加量、灰砂比、三乙醇胺加量,通过控制水灰比以及速凝剂加量这些关键因素,可以得到满足实际使用的水泥砂浆配方体系,为封孔材料试验配比设计提供指导。

(3)通地 1 井野外封孔试验证明水泥砂浆中加入速凝剂和三乙醇胺这一水泥砂浆体系适合作为涌水、含气复杂地层的封孔材料。

参考文献:

- [1] 鄢泰宁,陈宝义,等.岩土钻掘工艺学[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014:348-354.
- [2] 代志旭,郭明功.本煤层瓦斯压力测定新技术研究[J].煤炭科学技术,2011,39(2):46-50.
- [3] 翟果红,蒋承林,王法凯.基于高压注浆与胶囊压力黏液封孔技术的瓦斯测压[J].煤炭科学技术,2012,38(5):47-49,53.
- [4] 翟成,向贤伟,余旭,等.瓦斯抽采钻孔柔性膏体封孔材料封孔性能研究[J].中国矿业大学学报,2013,42(6):982-988.
- [5] 王永安,赵耀江.瓦斯抽放钻孔封孔方法的改进[J].山西煤炭,2006,26(3):24-25.
- [6] 黄鑫业,蒋承林.本煤层瓦斯抽采钻孔带压封孔技术研究[J].煤炭科学技术,2011,39(10):45-48.
- [7] 徐龙仓.提高煤层气抽采钻孔封孔效果研究与应用[J].中国煤层气,2008,5(1):23-25.
- [8] 刘广北,李书田,张宏军.新型封孔材料在煤矿探放水中的应用[J].Coal,2010,19(1):50-52.
- [9] 郝志勇.材料复合技术及其在钻孔密封中的应用研究[D].中国徐州:中国矿业大学,2010.
- [10] 郭德勇,杨雄,单智勇,等.煤层深孔聚能爆破封孔技术[J].北京科技大学学报,2011,33(7):785-789.
- [11] 刘瑞江,张业旺,闻崇炜,等.正交实验设计和分析方法研究[J].试验技术与管理,2010,(9):52-55.
- [12] 郑楚国,江岸,朱玉芳.基于正交设计法的混凝土配合比实验研究[J].城市建设理论,2014,(21):4902-4903.
- [13] 孙文标,李红行,董新照,等.注浆封孔材料的性能及其膨胀机理研究[J].有色金属(矿山部分),2010,62(6):73-77.
- [14] 齐锦霞,刘娟红,高超,等.缓凝型冻结孔封孔材料研究[J].建井技术,2012,33(5):33-36.
- [15] 周仕明,丁士东,马开华.中国石化固井技术进展[C]//2012年固井技术研讨会论文集.北京:石油工业出版社,2012.
- [16] 安少辉,刘爱萍,邹建龙,等.川渝地区复杂深井固井技术[C]//2010年固井技术研讨会论文集.北京:石油工业出版社,2010.
- [17] 丁士东,桑来玉,周仕明.中国石化复杂地层深井超深井固井技术[C]//2008年全国固井技术研讨会论文集.北京:石油工业出版社,2008.
- [18] 齐奉忠,刘硕琼,袁进平,等. Research on the Prevention and Remedial Measures of Sustained Casing Pressure in Complicated Gas Wells[C]//Technical Papers for 2010 CNPC International Wellbore Technology Seminar.北京:石油工业出版社,2010.
- [19] 齐奉忠,刘硕琼,杨成颖,等.BP 墨西哥湾井喷漏油事件给深井固井作业的启示[J].石油科技论坛,2011,30(5):45-48.
- [20] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [21] 葛勇土.木工工程材料学[M].北京:中国建材工业出版社,2007.
- [22] 龙广成,孙振平.新型高性能水泥基灌浆材料的研究[J].新型建筑材料,2005,(3):32-34.
- [23] 尹洪峰,等.复合材料及其应用[M].陕西西安:陕西科学技术出版社,2003.
- [24] 邢林.高水速凝固化材料充填技术的应用与效果[J].金属矿山,2001,(7):1-4,13.
- [25] 赵喜忠.隧道喷射混凝土抗冻耐久性试验研究[D].陕西西安:长安大学,2011.
- [26] 湖南大学,天津大学,等.土木工程材料[M].中国建筑工业出版社,2014:91-94.