水力压裂增水技术在青海卤盐矿开采中的试验

李小杰, 叶成明, 李炳平, 冯建月
(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,河北 保定 071051)

摘要:针对青海大盐滩地下钾盐矿开采难题,尝试利用水力压裂技术增加卤水井单井产能。从水力压裂技术原理、压裂井布置、压裂与座封段确定、器具安装、压裂施工、抽水试验等方面介绍了卤矿区水力压裂试验。试验结果表明,4 眼试验井平均增产 559.25%,获得良好的压裂增产效果。首次将水力压裂技术引入到了卤矿区盐田增产领域,填补了国内卤盐矿井压裂增产的技术空白。

关键词:水力压裂;卤水井;开采;增产
中图分类号:TD871^{+}.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672 - 7428(2015)11 - 0012 - 03

Experiment of Hydraulic Fracturing Water Increase Technology Applied to Exploitation of Potash Salt Mine in Qinghai/*LI Xiao-jie*, *YE Cheng-ming*, *LI Bing-ping*, *FENG Jian-yue* (Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

Abstract: According to the difficulties of underground potash salt mining in Qinghai salt flats, the hydraulic fracturing technology was tried to use for increasing the single well yield. The paper introduces the hydraulic fracturing test about the technical principles, fracturing wells arrangement, determination of fracturing section and setting site, installation of ground equipments, fracturing operation and pumping test. The test results show that the stimulation effect is good with average increasing yield up to 559.25% for 4 wells. The hydraulic fracturing technology is introduced into the stimulation field of halogen salt mine in China for the first time, which fills a domestic gap in this field.

Key words: hydraulic fracturing; brine well; exploitation; production increasing

我国是一个钾盐资源严重缺乏的国家,钾肥供需矛盾十分突出。据中国无机盐工业协会钾盐(肥)行业分会数据统计,2014 年,我国钾盐行业总产能达到 1075 万 t(以 KCl 计)。KCl 全年进口量约 1000 万 t,行业自给率仅为 51.8%。随着钾盐供需矛盾的日益突出,钾盐的勘探与开发愈发引起重视。柴达木盆地是中国最大的钾盐矿基地,这里分布着察尔汗、马海、冷湖滨地等多个国内大型钾盐开采和钾肥生产公司。由于地质条件的差异,该地区钾盐开采方式和难度各不相同。有些矿区地下卤水源源不断,而有些矿区地下卤水开采困难。有些井,初期开采卤水量大,随着开采时间的增加,采卤量慢慢变小,甚至枯竭。还有些相邻不过 5 m 的 2 口采卤井,一口井采卤量很大,另一口井却没有一点卤水。

针对青海冷湖大盐滩地区钾盐开采难度变大、卤水枯竭等问题,笔者与冷湖滨地钾肥公司合作,在大盐滩矿区实施了水力压裂开采地下卤矿的试验,取得了一定进展。

1　试验目的

大盐滩矿区富含钾、钠、镁、锂、硼等多种资源,已探明钾盐资源储量 3.55 亿 t(按 K_2SO_4 当量计),其中卤水含硫酸钾 1.47 亿 t,杂卤石含硫酸钾 2.08 亿 t,总储量位列世界前列。随着对大盐滩钾盐卤水矿床的持续开采,采卤过程中出现了卤水产量和质量下降的现象。为提高冷湖大盐滩矿区卤水井产能,探索和积累大盐滩钾盐矿区卤水井水力压裂增产基础数据,验证水力压裂增产效果,在大盐滩钾盐矿区实施采卤井水力压裂增产先导试验。

2　水力压裂原理

卤矿井水力压裂技术,是利用高压泵泵入高压流体经地表管汇、管路流程和井内压裂器具压入井内,以超过地层吸液能力的排量向地层内注入的高压流体达到或超过地层应力和地层的抗张强度时,岩层起裂并形成裂缝,不断注入的高压流体使裂缝扩展并向四周延伸,将地层内的裂隙构造贯通,提高目的层的

收稿日期:2015 - 05 - 22; **修回日期**:2015 - 10 - 18
基金项目:国土资源部公益性行业科研专项"浅层地下水多层多参数监测技术研发与示范"(编号:201411083 - 02)
作者简介:李小杰,男,汉族,1979 年,高级工程师,主要从事水文地质环境地质钻探技术研究工作,河北省保定市七一中路 1305 号,lixiaojie212@163.com。

汇流与导流能力,达到卤矿增产的目的。参见图 1。

3　水力压裂试验

3.1　压裂井布置

本次完成压裂试验井 4 眼,井号分别为 QH－1 井、QH－2 井、QH－3 井、QH－4 井,井位布置见图 2。QH－2 井、QH－3 井、QH－4 井呈三角形布局,线距 192、192、300 m,QH－1 井与 QH－2 井相邻,间距 200 m。

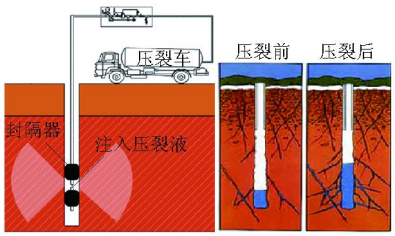

图 1　水力压裂原理图

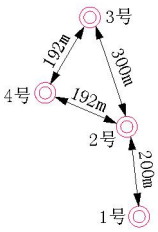

图 2　井位布置图

3.2　压裂与座封段确定

压裂段与座封段根据钻探出水情况与物探测井资料,确定在矿井 70 m 以浅选择地层不完整或有出水的井(孔)段作为压裂井段;地层较完整、井壁光滑、井径变化较小的井段作为座封段。第一压裂井段 8～22 m,第二压裂井段 34～48 m,第三压裂井段 50～64 m。根据实际情况,本次卤水井压裂增产试验在 QH－1 井进行了 2 个压裂段次压裂;QH－2、QH－4 井各进行了 3 个段次的压裂;QH－3 井进行了 1 个压裂段次压裂。

3.3　地表设备与井内压裂器具安装

试验井采用单管路顶液、特制阀定压开启的双座封压裂工艺。地表设备安装时,将压裂泵与远程控制箱连接,管路－管汇－管路与高压水龙头连接。地表压裂设备流程安装连接,各阀门、接头的连接要可靠,压裂前进行循环试压,确保系统安全、无泄漏。见图 3。

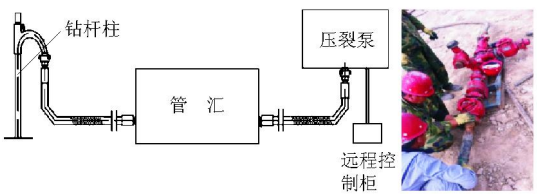

图 3　压裂管路连接

井内压裂器具安装时,按下入深度测量管柱并排序,依次下入底堵→下封隔器→钻杆→定压开启阀→卸荷阀→钻杆→上封隔器→钻杆。压裂器具下井前要检查钻杆、各种压裂器具是否正常,丝扣是否完好,封隔器的胶筒表面有无破损,下入的管柱丝扣要采取密封措施。图 4 为下入压裂器具现场。

图 4　下入井内压裂器具

3.4　压裂

地表系统流程准备工作完成后,在压裂前进行泵循环和试压,检验地表设备与管路系统是否正常,检查工作包括压裂设备的工作性能和泵的上水情况是否良好,管汇是否畅通;水源供应与辅助工作。所有工作就绪后,开泵供水,将压裂液泵入井内的管路中,进而压入地层,同时观察系统压力的变化及地层起裂压力和流体延伸的压力值,并作相应记录。起始压裂 1 MPa 左右,破裂压裂 4 MPa 左右。当系统压力无变化时,再换挡开大泵量,将设计的压入液量全部压完,即第一段次压裂作业结束。现场压裂作业见图 5。

图 5　压裂作业

打开管汇卸荷阀卸荷,使系统压力恢复正常,将井内压裂器具与钻杆安全提出。再将压裂器具并重新组合进行第二压裂段次压裂,重复以上工序,直至完成该井的压裂工作。

试验井压裂作业情况如下。

(1)QH－1 井:根据测井曲线和钻探揭露含水层情况,确定压裂段。第一段 34～48 m(45～46 m

为出水段);第二段 44 ~ 56 m(52 ~ 53 m 为出水段)。采用卤水压裂液,总压水量 344 m^3。

(2)QH - 2 井:依据测井结果确定第一段 8 ~ 22 m(12 ~ 15 m 为出水段);第二段 34 ~ 48 m(45 ~ 46 m 为出水段);第三段 50 ~ 64 m(52 ~ 53 m 为出水段)。采用淡水 + 卤水压裂液,总压水量 506 m^3。

(3)QH - 3 井:依据测井结果确定第一压裂段 8 ~ 22 m;第二段 34 ~ 48 m;第三段 50 ~ 64 m;该井由于采用淡水压裂,造成水溶井壁岩层,使井径扩大,导致封隔器压爆。仅完成第三段压裂,总压水量 236 m^3。

(4)QH - 4 井:依据测井结果确定第一压裂段 8 ~ 22 m;第二段 34 ~ 48 m;第三段 50 ~ 64 m;采用卤水压裂,本井总压水量 700 m^3。

3.5 抽水试验

为评价压裂效果,按有关规程规范,在压裂前后和每次压裂后进行抽水试验。试验采用 200QJ - 108 型潜水电泵作抽水机具,用水位计测定井内动水位,量筒量测流量。抽水试验见图 6。

压裂前

压裂后

图 6 压裂前后单井抽出卤水量

4 试验效果

卤水井水力压裂增产试验数据见表 1。

在对 QH - 2 压裂过程中,观测 QH - 1 井(相距 200 m)水位,进行第一压裂段次时,QH - 1 井水位上升 90 cm;压裂第二段次时,QH - 1 井水位上升 100 cm;压裂第三段次时,QH - 1 井水位上升 30 cm,证明压裂裂缝由 QH - 2 延伸至 QH - 1 井。

表 1 水力压裂增产试验数据

井号	压裂段次	压入液量/m^3	压裂效果评价卤水产量/($m^3 \cdot h^{-1}$)		
			压裂前	压裂后	增加/%
QH - 1	2	344	3.50	25.10	617
QH - 2	3	506	32.10	70.00	118
QH - 3	1	236	5.30	72.30	1264
QH - 4	3	700	17.51	59.26	238

注:表中压裂前和压裂后卤水井的出水量均为抽水稳定后的数据。

5 结论

(1)首次将水力压裂技术引入到了卤矿盐田增产领域,应用该技术,可有效提高卤矿井的产量,为我国今后合理开发流体型矿产资源提供了一种新的技术方法。填补了国内卤盐矿井压裂增产的技术空白。

(2)采用单管路顶液、特制阀定压开启的双座封压裂工艺,满足矿井开采的压裂增产技术要求。应用该压裂工艺,可以实现局部井段、多井段裸孔水力压裂,应用该压裂工艺完全满足卤矿资源的规模开采和量产,是一种新型的增产技术工艺,为今后大规模开采盐矿资源提供了一种新技术途径。

(3)通过本次压裂增产试验,压裂效果最低的井增产量也达到了 118%,效果最好的单井卤水产量由压裂前的 5.3 m^3/h 增至 72.3 m^3/h,增加 1264%,4 眼井平均增产 559.25%,获得良好的压裂增产效果,达到了项目预期的试验目的。

参考文献:

[1] 李浩. 罗布泊钾盐项目进展及开发状况[J]. 无机化工信息,2004,(3):35 - 36.

[2] 史云庆. 中国市场钾肥供应现状分析[J]. 中国贸易救济,2013,(2):21 - 23.

[3] 王炳铨,贺孟清. 2008 首届世界钾盐大会综述[J]. 化工矿产地质,2008,(3):177 - 180.

[4] 叶丽君. 中国钾盐工业现状及前景展望[C]//首届世界钾盐大会论文集. 上海:中国无机盐工业协会,2008.

[5] 青海省地质矿产勘查院. 青海省冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩钾矿床详查报告[R]. 2002.

[6] 青海省柴达木综合地质勘查大队. 青海省冷湖镇昆特依钾矿田普查报告[R]. 1990.

[7] 李炳平,叶成明,解伟,等. 基岩水井水力压裂增水工艺研究[C]//第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社,2011:202 - 208.

[8] 解伟,叶成明,李炳平,等. 基岩水井水力压裂技术研究报告[R]. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2010.

[9] 李炳平,叶成明,解伟,等. 基岩水井增水技术研究项目续作评估报告[R]. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2012.

[10] 王鸿勋. 水力压裂原理[M]. 北京:石油工业出版社,1987.

[11] J. L. Gidley. 水力压裂技术新发展[M]. 北京:石油工业出版社,1995.