

常见地热井堵塞类型及处理方法

李任年

(天津市金晨祥地热水井维修服务部, 天津 300161)

摘要: 地热资源属于清洁能源, 主要通过地热井方式进行开发利用。所以, 井的质量及使用寿命将直接影响着整个供暖、温泉洗浴、种植养殖等运行费用和效能。地热井在运行过程中常会因过滤管或开采层(裂隙、岩溶等)发生堵塞, 导致出水量减少或不出水的问题。地热井堵塞类型可划分为物理堵塞、化学(细菌)堵塞。详细分析了各种堵塞类型的成因, 结合工程实例针对不同成因提出了具体的解决方法。

关键词: 地热井; 堵塞; 处理方法

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2015)10-0038-04

Common Geological Well Blockage and the Processing Methods/LI Ren-nian (Tianjin Jinchenxiang Geothermal Well Repair Service Department, Tianjin 300161, China)

Abstract: Geothermal resources is a clean energy, which is mainly exploited with geothermal well. The quality and service life of the well will directly affect the whole operation cost and efficiency of heating, spring bathing, planting and breeding. The reduced water amount even no water will occur because of the blockage in filter tubes or mining layers (fissures or karst). These blockage types can be divided into physical and chemical (bacterial) blockage. The causes of various types of blockage are analyzed in detail and the special solutions are proposed according to those different engineering cases.

Key words: geothermal well; blockage; processing method

地热井内发生堵塞是一种自然现象, 同时, 也是目前普遍存在的一个主要问题。所以, 了解地热井堵塞类型及成因, 提出相应的具体处理方法, 对高效能开发利用地热资源具有一定的现实意义。

1 地热井堵塞类型及成因

地热井常见的堵塞类型有物理堵塞、化学(细菌)堵塞。

1.1 物理堵塞

物理堵塞是堵塞物以其自然固体形态存在于水井通道造成堵塞现象。主要有: 井壁掉块, 脱落的碎石屑, 岩溶裂隙内原来次生沉积物, 残留在岩溶裂隙内的钻屑、泥浆、堵漏材料, 管壁脱落的铁锈、铁锈皮, 第三系水井中沉积的泥砂等。

(1) 井壁掉块。井壁掉块主要发生在基岩地层。井壁掉块, 原因是地层压力与井筒内压力失衡所致。

(2) 井内残留堵塞物。有钻屑、泥浆及堵漏材料等。残留物是成井洗井时没有完全洗净, 后来抽

水中, 进井水速超过了原洗井进井水速, 将其携入井内。还有的井, 射孔后防砂处理不好, 井外泥砂漏进井内。

(3) 第三系地热井的沉砂。沉砂有2种情况, 一种是颗粒较大的细砂或中砂, 另一种是细小颗粒的粉砂或粉细砂。当进井水速超限时, 将较大颗粒砂推进井内, 由于井筒断面增大上返水速变小, 不能将其携向地面, 因而沉落于井底; 细小砂粒因其在空中自由沉降速度小于冲洗液上返水速而随水返上地面。但一旦停泵, 井筒内正上升中的粉细砂失去水速托力沉于井底。

(4) 过量开采。取水量超过了井的允许开采量, 导致井壁失稳, 井壁泥皮脱落, 地层内的泥浆、钻屑及堵漏材料进入井内。如江苏扬州瘦西湖新热2井, 井深2400 m, 成井要求产出水 $47\text{ m}^3/\text{h}$, 为了再增水量, 换用 $63\text{ m}^3/\text{h}$ 大泵抽水, 抽上泥浆、泥砂将井抽坍。

(5) 铁锈皮的堵塞。铁锈皮是铁的氧化物(Fe_2O_3), 大部分产生在井内动水位以上的置泵管

收稿日期: 2015-08-25

作者简介: 李任年, 男, 汉族, 1934年生, 经理, 正高级工程师, 天津市国土房管局地热处专家评审组委员, 地质钻探专业, 天津市河东区晨阳道恋日风景小区, lirennian2009@sohu.com。

内壁、泵管内外壁及测管管壁上和长井管内壁,尤其泵管外壁和内壁产生铁锈皮量较大,如每次提下潜水泵时由于震动泵管壁不少铁锈皮脱落于井内。近几年来,由于区域静水位不断下降,加上井内出水水阻增大,综合因素导致动水位不断延深,氧化面逐渐增大,铁锈皮产生、脱落日益增多,它已逐渐上升为井的主要堵塞物。铁锈皮堵塞表现有 2 种,一是沉于井底淤埋进水井段,二是中途架桥堵住井筒通道。如北京市广渠门京热灌 4 号井出水井段被铁粉淤埋,不能出水,2010 年我们在此井吸排上铁粉约 0.6 m^3 ,如图 1 所示。架桥堵住的有:2009 年我们从天津卷烟厂 DL-01 地热井置泵管内抓捞上的置泵管和泵管脱落的铁锈皮如图 2 所示;还有绍兴道天津广电局供热地热井,架桥深在 103 m 处;河北省献县小屯地热井,架桥长近 12 m;山东省卿城市星光房地产供热井,架桥长 10 m。这些架桥铁锈皮都把井筒堵死了。



图 1 井内排出(打捞)的三价铁粉



图 2 井内打捞出的铁锈皮

1.2 化学(细菌)堵塞

化学堵塞是井水内 2 种离子经过化学反应生成的第三种不溶于水物质沉淀导致的堵塞,如有 3 价铁、硫化亚铁的沉淀,碳酸钙(水垢)的沉淀。地热井内铁细菌、硫酸盐还原菌等可造成细菌腐蚀沉淀。

(1)3 价铁及硫化亚铁沉淀。地下水中的 2 价铁经过氧化或铁细菌作用生成了 3 价铁。3 价铁不溶于水而沉淀,铁在井中呈黄红色类似泥浆胶状液体。

硫化亚铁是水中 2 价铁与水中的硫酸根,在硫酸盐还原菌作用下生成的。硫化亚铁不溶于水,呈黑色胶体,沉于井底,有臭鸡蛋味,如图 3 所示。此硫化亚铁是 2009 年于献县电热 1 号井 1820 m 吸排上来的。3 价铁、硫化亚铁以胶体态充填于地层空隙、裂隙、岩溶和井筒内。它密度大,运动粘滞系数大,阻塞着地热水流动。



图 3 井内的硫化亚铁

(2)碳酸钙(CaCO_3)水垢的沉淀。水垢是水中重碳酸钙化学还原的产物。地热井水内含有大量重碳酸钙,而重碳酸钙来原于碳酸钙加二氧化碳加水化合而成;但重碳酸钙在水中是不稳定盐类。当外因压力、温度变化时,会导致二氧化碳溢出,又还原成不溶于水的碳酸钙。实践证明,一般碳酸盐地层热水井碳酸钙沉淀是不可避免的,因为,在受高压下的地热水渗入井筒时压力降低,二氧化碳溢出产生碳酸钙,这个过程是必然发生的,故结垢是不可避免的。新近系明化镇组、馆陶组、东营组地热井水垢较多。结垢轻重与水中的含钙量成正比,山东省东营市东营组热水井钙含量 1500 mg/L ,井壁水垢厚达 7 mm。

常用的地热井结垢较轻。原因是地下热水在井筒内停留时间较短。抽水时热水进井后,还来不及反应或未完全反应,就被吸排出井外。闲置井结垢较重。

2 处理方法

2.1 简易气举反循环工艺洗井

简易气举反循环钻具是在现行双壁钻杆基础上

简化而成的新技术。气举反循环洗井与现行的气举正循环洗井相比有以下6个优点。

(1) 吸程缩小。简易气举反循环钻具是一种井下水力吸砂器,吸点在钻头上,钻头到哪,就抽吸到哪。吸砂时,钻头在砂面上吸程为零,洗含水层时吸程仅为钻头直径与井壁间环空间隙(40~50 mm)。而一般气举正循环吸砂洗井,下风管450~500 m。它的负压吸点固定在500 m。假设地热井深1500 m,含水层顶在1000 m,吸力从500 m开始延深1000 m,吸程为500 m。若吸程500 m与气举反循环吸程50 mm相比,即气举反循环的吸程仅是现用正循环吸程的万分之一。

(2) 携砂力增大。简易气举反循环钻具冲洗液上返水速成倍增高了,携砂能力增大了。我们现用气举反循环钻具平均吸排上返水速达5.36 m/s,是气举正循环同等水量下所经 $\varnothing 152$ mm井筒上返水速1.33 m/s的4倍,是7 in($\varnothing 177.8$ mm)井管内上返水速0.202 m/s的26.5倍。由于上返水速增大,原来携不动的钻屑、掉块被携上来了,如2012年于北京顺义区后沙峪顺热灌-3号井,于2840 m处吸排上粒径长30 mm、宽20 mm、厚14 mm的罕见白云岩掉块(如图4左侧所示)。



图4 井内掉块

(3) 清洗能力强。因钻头(吸头)距井壁很近,抽吸力比常规洗井抽吸力大,能从井壁上吸排出如图4右侧所示较大井壁掉块。该掉块是宁波东钱湖zk01地热水井钻头在悬空状态下于井深601~1417 m从井壁上吸排上来的掉块。

(4) 不靠井内出水。简易气举反循环钻具可从井口注水循环吸砂;而现行气举正循环排砂,离不开井内出水,若所洗含水层不能出水,气举正循环无法成立。

(5) 洗井质量上下一致。它对含水层吸洗可从上向下,或从下向上所洗之处吸排力度一样,故洗井

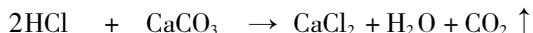
质量上下一致;而现行气举正循环负压吸抽点不能随意移动,抽吸力上天下小,洗井质量上好下差。如2011年北京大兴区采育兴热-12号井,钻井深3360 m热储为雾迷山地层,有2个含水层,凿井方担心用现行气举正循环下一含水层洗不开,采用了简易气举反循环洗井。洗后出水自喷,自喷水量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$,水温 118°C ,井口压力 0.7 MPa ,客观地反映了热储富水情况。估计2个含水层均已洗开。

(6) 洗井效果好。如2013年宁波市东钱湖新凿zk01地热井,深1808 m处为火成流纹岩地层,富水性很差,经用现行洗井方法洗井后,出水量仅有 $1.7 \text{ m}^3/\text{h}$,经采用简易气举反循环钻具洗井,出水量增大到了 $4 \text{ m}^3/\text{h}$,出水量增大了1.35倍,水温由 41°C 升到 42°C ,解决了甲方用水问题。

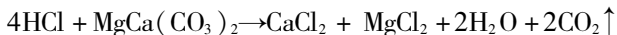
2.2 酸化处理

酸化洗井是一种化学溶蚀性洗井方法,是物理洗井后的进一步洗井措施。它将物理洗井无力解决的堵塞物,由固体转化为液体,溶蚀在残酸内,再用物理洗井将残酸排出井外。

常用酸有盐酸和土酸。盐酸是溶蚀碳酸盐堵塞物如水垢、石灰岩、白云岩、铁锈皮及碳酸盐地层的专用酸;土酸是溶蚀硅酸盐堵塞物如石英、砂岩、火成岩、泥皮及硅酸盐地层的专用酸。其代表性反应式如下:



盐酸 石灰石(水垢) 氯化钙



白云石 氯化钙 氯化镁



硫化亚铁 氯化亚铁 硫化氢(有毒气体)



铁锈 3价铁(溶在残酸内的3价铁)

上式中 CaCl_2 、 MgCl_2 、 FeCl_2 溶于水,其中3价铁溶于pH值 <1.86 的残酸内。要用好铁离子稳定剂和控制好酸化时间。

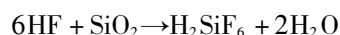
常规盐酸配方:15%~28% HCl + 2%~3% 缓蚀剂 + 1%~3% 表面活性剂 + 1%~3% 铁离子稳定剂。酸盐溶蚀率与酸的浓度有关,据有关资料介绍浓度30%的盐酸,体积溶蚀率约15%。

土酸由盐酸与氢氟酸混合而成。土酸中与硅酸盐起化合作用的是氢氟酸。硅酸盐地层堵塞物中也含钙,氢氟酸也能与钙化合,但与钙化合后生成不容

于水的氟化钙,会导致二次沉淀,故氢氟酸不能单独酸化洗井。加入盐酸的目的是先让盐酸把钙溶蚀,剩下硅质盐再由氢氟酸溶蚀。

常规土酸配方:12% HCl + 3% HF,添加剂及用量与盐酸同。

氢氟酸与硅酸盐中石英 SiO_2 反应:



氢氟酸与石英化合生成溶于水的氟硅酸 H_2SiF_6 。

土酸用量:含水层每米 $1 \sim 2 \text{ m}^3$,溶蚀率很低,体积比约1%。

酸液在溶蚀堵塞物的同时,也溶蚀地层的岩溶裂隙壁,扩大了岩溶裂隙通水断面,具有增大出水量的功能。如2005年北京市小汤山北京市园林局苗圃汤热7号地热井,洗井前已不能出水,盐酸酸化后,出水达 $102 \text{ m}^3/\text{h}$,比新井时出水量 $74 \text{ m}^3/\text{h}$ 增大了 $28 \text{ m}^3/\text{h}$,增率37.8%。

酸化可酌情分井段或分次酸化。酸化洗井液中添加剂兼有杀菌功能,无需再专门杀菌。

酸化洗井,行之有效,但酸化液对设备、工具、井管损伤较大,对空气有重度污染,若有不慎会发生井喷或酸化事故,应慎用。

2.3 对置泵管、泵管进行液体防氧化保护

对置泵管、泵管进行液体防氧化保护,减少铁锈皮发生,是目前解决铁锈皮堵塞的一种有效方法。进行液体保护的先决条件是井内不能有动水位。因过去曾有人充氮气保护,因动水位无法控制,耗氮量过大,未能如愿。1995年笔者在研究减少潜水泵抽空时,试验成功了井内负压取水,已取消了动水位,为液体保护置泵管创造了必要条件。当时,我们已成功做过清水保护试验,因那时铁锈皮问题尚未出现,故未派到用处。液体保护安装方法如下:在静水位之下,潜水泵之上,安装一个水井封隔器,隔断潜水泵上下水力联系。于封隔器上至井口注满清水。清水内含溶解氧很少可减轻其氧化程度。清水

内含溶解氧 0.8 mg/L 左右。最好用无结晶水的亚硫酸钠除去水中溶解氧,用无氧水保护。每升清水除去 1 mg/L 溶解氧,需要亚硫酸钠 7.88 mg 。图5是隔水器与潜水泵下井情况。



图5 潜水泵加封隔器

3 结语

地热水井堵塞处理乃至故障修理,是地热开发利用中一项新的工作。做好此项工作需同仁共同探索创新交流。不断提高工作能力。本文仅供参考。文中可能有片面之处请指正。

参考文献:

- [1] 李颖川. 采油工程[M]. 北京:中国石化出版社,2004.
- [2] 万仁薄. 采油工程手册[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [3] 吴奇. 井下作业工程师手册[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [4] 地质矿产部水文地质工程地质司. 水文地质钻探[M]. 北京:地质出版社,1983.
- [5] 关玉双,孟繁杰,郭学柱,等. 井下作业技术论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [6] 中国地质学会探矿工程专业委员会. 水文水井钻探学术论文[C]. 1983.
- [7] 中国地质学会探矿工程专业委员会. 探矿工程论文集[C]. 1992.
- [8] 韩国庆. 修井工程[M]. 北京:石油工业出版社,2015.
- [9] 陈家琅. 水力学[M]. 北京:石油工业出版社,1980.