

# 华北平原区第三系地热井泵室管底部密封形式探讨

景 龙, 杨永明, 常林祯

(河北省地勘局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000)

**摘 要:**总结了华北平原区第三系地热井结构中泵室管底部的 3 种密封形式: 重叠挤水泥密封, 异径连接密封, 悬挂连接密封, 并对这 3 种密封形式的实用效果进行了对比分析。

**关键词:**第三系地层; 地热井; 泵室管; 密封; 重叠挤水泥密封; 异径连接密封; 悬挂连接密封

**中图分类号:** TE249    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2008)06-0023-03

华北平原区第三系热储地热资源储量丰富, 钻凿第三系热储的地热井数量逐年增加。近年来本区第三系成井结构基本定型: 上部一般为 200~300 m 左右泵室管(表套管), 规格为  $\varnothing 339$ 、 $\varnothing 273.0$ 、 $244.5$  mm 石油套管, 下部井壁管及滤水管(技术套管及筛管)均采用  $\varnothing 177.8$  mm 石油套管; 井壁管及滤水管串连, 滤水管以上采用胶皮伞止水。在井身结构设计中, 泵室管与下部井壁管的密封连接是关键技术之一, 由于该处密封结构的失效而影响管井使用的实例屡见不鲜。

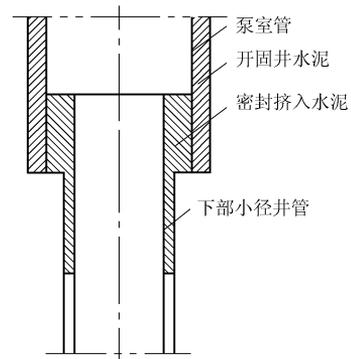


图 1 重叠挤水泥密封示意图

## 1 各种密封形式简介

总结目前华北平原区第三系地热井成井结构, 泵室管底部的密封连接形式主要有重叠挤水泥密封式、异径连接密封式、悬挂连接密封式 3 种。

### 1.1 重叠挤水泥密封

#### 1.1.1 基本原理

该形式是泵室管(表套管)与下部井管(技术套管)重叠段挤水泥密封的方式, 见图 1。施工时一开将泵室管下入, 水泥封固; 二开将下部井管下入, 下部井管与泵室管重叠 30 m 左右; 最后挤入水泥, 使水泥浆充填于重叠段环隙内实现密封。

#### 1.1.2 施工要点

(1) 实施挤水泥前封闭下部井管。为防止水泥浆在井管内下串, 在挤水泥前必须封闭下部井管。目前常用的方法有后封闭法和前封闭法。后封闭法是二开井管下至预定位置后, 接钻具下入封隔器(胶塞), 将下部井管封闭, 然后从封隔器顶部送入

水泥浆并挤入环隙中, 水泥挤入后及时提出封隔器。先封闭法是下部井管采用封隔板或预制水泥塞(可用浮力塞代替)预先封闭, 井管下入到位后直接挤入水泥。

(2) 挤水泥的有效性必须通过试压检验。挤水泥候凝 48 h 以上, 下钻具扫至环隙断面, 密封井口, 试压 3~5 MPa, 稳定时间  $\geq 10$  min。若试压失败须重新挤水泥封固, 直至满足试压要求。

### 1.2 异径连接密封

#### 1.2.1 基本原理

异径连接是将泵室管与下部井管使用异径接头连接形成整体管串一次下入, 两级井管间无薄弱点, 是理想的连接形式, 见图 2。

#### 1.2.2 施工要点

(1) 异径接头必须保证同心度, 选择比套管高级别的材质, 保证整体管串顺利到位不变形, 不宜现场割管焊接制做。

收稿日期: 2008-03-13; 改回日期: 2008-04-29

**作者简介:** 景龙(1978-), 男(汉族), 河北张家口人, 河北省地勘局第四水文工程地质大队, 探矿、水文地质专业, 从事水文地质、岩心钻探及钻井工程施工技术及管理, 河北省沧州市新华区蔡御街; 杨永明(1962-), 男(蒙古族), 内蒙古四子王旗人, 河北省地勘局第四水文工程地质大队技术负责、高级项目管理师、工程师, 探矿工程专业, 从事岩心钻探及地热钻井、水文水井工程施工管理工作, hbdkdr@sohu.com; 常林祯(1970-), 男(汉族), 河北南宫人, 河北省地勘局第四水文工程地质大队, 水文工程地质专业, 从事水文地质、岩心钻探、钻井工程施工技术及管理。

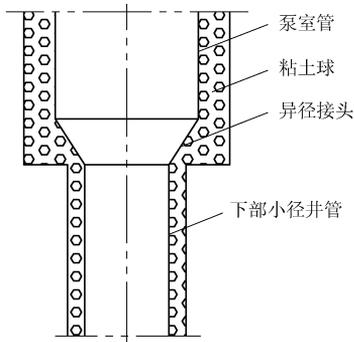


图2 异径连接密封示意图

(2)为防止上部地层坍塌,宜预先下入大口径护孔管。

(3)提高成孔质量,保证上下两级钻孔垂直、孔壁光滑,确保顺利下管。

### 1.3 悬挂连接密封

#### 1.3.1 基本原理

悬挂式连接是将下部井管悬挂于泵室管底部,依靠两级井管间的特殊结构实现密封连接。根据密封接触面材料的不同将其分成橡胶密封式与金属密封式。

橡胶密封通常做法是下泵室管时底部连接小一级的井管头收径,下部井管顶部连接大一级井管扩径头,扩径处加设胶皮坐封于变径锥面处,见图3。

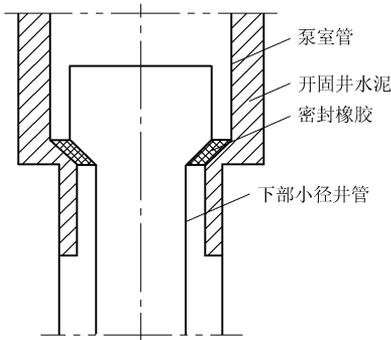


图3 悬挂连接橡胶密封示意图

金属密封是从石油钻井结构中引进过来的,通过特制的悬挂器实现。悬挂器的基本结构由内套和外套2部分组成,内外套材质均选用42CrMo高级合金钢锻造而成,该工艺可满足底部4000 m套管的悬挂强度要求。在内套的密封锥面上熔涂10 mm厚的铅质,上部车反扣,通过特制反扣接头连接钻杆入井,下端与下部井管相连。外套实质为带内锥面的短节套管,可以连接于泵室段的任何位置。密封锥面锥度一般为1:6,密封面高度<150 mm。悬挂器双套结构依靠铅质坐封于锥面上,使外套内锥面与内套外锥面配合形成密封连接。见图4。

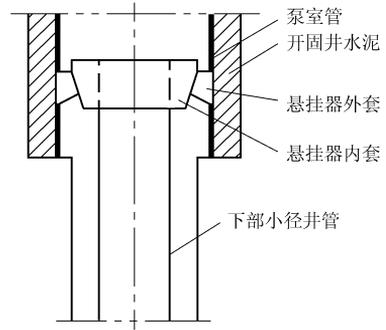


图4 悬挂连接金属密封示意图

#### 1.3.2 施工要点

(1)一开下管将收径井管或悬挂器外套连接于设计好的泵室段位置处下入,二开下管时井管顶端连接扩径井管或悬挂器内套,利用特制反丝接头接钻具送入。

(2)一开下管时收径处或悬挂器内锥面需涂黄油,且合理掌握替浆量以防止固井时水泥固结锥面。

(3)二开起下钻至井管收径或悬挂器外套位置时操作须平稳,防止锥面受损。

(4)采用悬挂密封的上下两级井管应保证一定的重叠长度,必要时亦应进行试压检验,密封失效时挤水泥补救。

(5)合理控制成孔深度,有效实现悬挂。

## 2 实用对比分析

上述3种密封形式的工艺原理不同,自然实用效果亦有差异,下面结合工程实用加以对比。

### 2.1 重叠挤水泥密封应用效果

根据兄弟单位的成井经验和我单位的施工实践,重叠挤水泥密封施工要求较高的技术水平,合理控制挤入压力和挤入量,稍不慎就会出现返工。

我单位某井队施工的肃宁县电力局地热井,成井深度2100 m左右,泵室管与下部井管采用挤水泥密封。挤水泥后未试压,管井使用2个月后水温由原来的75℃下降至50℃,水中含砂量很高。试压检验发现 $\varnothing 339.7$  mm(泵室管)与 $\varnothing 177.8$  mm(技术管)重叠处密封失效。后继续挤水泥封闭,连续挤水泥2次才试压合格。经过再次洗井除砂,水温恢复至75℃,达到水清砂净。二次处理时间达20余天,浪费成本约25万元。

我单位于2006年施工的SHR-06-3地热井,成井深度2260 m,同样采用挤水泥密封。为保护含水层,控制挤入压力,第一次挤水泥候凝3天试压失败,第二次重新封固后才试压合格,先后耽误8天。

井管重叠挤水泥的密封形式在天津地区应用较广,由于施工队伍专业性强,设备、工具齐全,密封失效的情况少见,管井使用寿命也较长。华北平原 1600~2500 m 的第三系地热井采用挤水泥密封的成井实例不多,多数采用异径连接和悬挂连接形式。

重叠挤水泥密封的优点:(1)该密封结构中泵室管就是表套管,有效封闭了上部松散层,保证施工安全;(2)泵室管管径不受限制,可满足下泵要求;(3)井管为二级下入,降低了下管的技术难度。

重叠挤水泥密封的缺点:这种密封方法工艺复杂,需要专门的工具及构件,一切在井内完成,不可控因素多,对于施工人员的操作水平要求极高;由于挤水泥时含水层已揭露,压力控制不当,高压挤入易加速泥浆对取水段砂岩的渗透而不利于洗井。

因此,这种方法不适于自流的管井中,水泥环塞不易形成。它更适合多级下管井结构的中部技术套管“戴帽”固井工艺。

## 2.2 异径连接密封应用效果

这种连接形式在 1600 m 以内的中低温地热井中应用较多,沧州市区 50% 以上的地热井(一般成井深度 1600 m 以内,水温 55℃ 左右)使用该种连接形式,应用效果较好,可以满足 50 m<sup>3</sup>/h 左右的采量要求;该种密封结构一般用于投砾井中。整体连接的管串在变径处容易产生应力集中,使该部位易变形、易腐蚀<sup>[3]</sup>。

天津市北郊某厂第三系管井由于地面沉降带动泵管下移,在变径部位处变形乃至破损,抽水时第四系泥沙及水从该处进入<sup>[4]</sup>。

永清县某供水井采用投砾成井取用第三系含水组,运行 1 年含砂量增加、水量减少,经检测为变径处断损所致<sup>[4]</sup>。虽然上述各井材质不及石油管材,但变径处所受的应力复杂而集中,易损易变形是不可忽视的。

异径连接密封的优点:这种连接形式管串一体,密封效果最好,在熟悉施工地层且能够保证成孔质量的较浅地热井(1600 m 以浅)中优先使用。

异径连接密封的缺点:(1)这种结构形式成孔质量要求高,下管难度增大,根据我单位多年地热井施工经验,该种形式井管整体长度 >2000 m;(2)异径连接井管的级差不宜太大,泵室管一般多为 Ø244.5 mm、Ø273.0 mm 规格,泵型选择受限;(3)若热水温度较高时,井管热胀明显而向上抬升(一般 30~50 cm)<sup>[2]</sup>,不利于上部井管与地层的密封,也容易在变径处产生应力集中影响管井寿命。

因此该形式在热水温度超过 65℃ 的地热井中应慎用,以减少热胀冷缩效应对异径接头及井管上部结构的影响。

## 2.3 悬挂连接密封应用效果

第三系热储埋深大的地区成井深度均在 1600 m 以深,水温达到 75℃ 以上,设计这类井的密封结构时应谨慎。从施工安全和管井寿命出发,近年来我单位多采用金属悬挂密封。

我们于 2006 年开始使用该工艺,先后完成 3 眼朔黄铁路地热井(单井成井深度 2300 m)的施工。施工中二开成井,成孔钻进安全系数提高,简单而可靠的密封工艺大大简化了施工程序,缩短了工期,减小了密封风险。经过 2 年运行,各井水温、水量、含砂量等指标未变,证明密封有效。笔者进行了市场调查,在利用这种形式密封的第三系 23 眼地热井(包括华北平原的沧州、山东、衡水、保定、天津等地)中,成井深度均在 1600~2500 m 之间,取用第三系热储,密封质量可靠,无失效情况。

橡胶密封成本低,也有施工队伍采用,在河北平原区亦有成井实例,多数使用于水温在 70℃ 以下的地热井中,密封效果较好。密封材料选择膨胀橡胶,其特性为:密度 1.40~1.47 g/cm<sup>3</sup>,拉伸强度 ≥3.5 MPa,清水浸泡链 220%,扯断伸长率 ≥450%,80℃ 不流淌,-15℃ 不发脆、不断裂<sup>[1]</sup>。但考虑地热井水质、水温的影响,在较高温度(80℃ 以上)下这种密封的寿命有待论证。

由此可见,悬挂密封除具有挤水泥密封形式的优点外还可使操作简化,密封可靠,一旦失效便于补救。金属密封较橡胶密封成本高,悬挂器须通过专门厂家加工,但金属悬挂密封适用性广,不受水温、水质影响,从地热井的长期运行安全考虑还是值得推广使用的。

## 3 结论

(1)挤水泥密封工艺的适用范围较广,若能把握好关键技术,密封质量是可靠的;但密封在井下完成,不可控因素较多,工艺复杂,施工单位应根据自身技术及装备条件适当使用。

(2)异径接头连接密封管串一体而无薄弱点,适用于正常增温热田的浅井中,根据沧州地区施工经验,在 1600 m 以浅的地热井中效果较好。对于 1600 m 以深的地热井,施工难度增加,变径部位应力集中明显而易损,因此施工单位应慎用。

(下转第 32 页)

护丝,打捞器将接近内管上端时,应放慢下降速度,反复捞取内管无效时,不得猛冲硬墩,应提钻查明原因。

(2)在提升钢丝绳打捞内管时,应注意孔口钻杆内是否有冲洗液涌出,以判断内管是否打捞上来。

(3)钻孔为干孔时不得直接投放内管,应用打捞器将内管送入孔底或开泵以最大排量向钻杆内泵入冲洗液后立即投放内管。

(4)内管未到底前不准扫孔钻进。

(5)钻杆折断后,不准下入打捞器捞取内管。

(6)内管提上后,如发现管内无岩心,应立即提钻处理。

(7)打捞器上的钢丝绳应绑结牢固,并应装安全绳,当脱卡销起过 2.5 kN 拉力时应能被剪断,从而使打捞器安全脱卡。

(8)单动性能良好,各部件之间的同心度要好,管材无伤裂,丝扣要完好。

(9)不得用管钳拧卸钻头、扩孔器和内外管,而应用多触点钳或擦式钳,同时还应注意钳牙不得触及钻头或扩孔器的胎块部位。

(上接第 25 页)

(3)悬挂密封操作简单、质量可靠,适用于不同深度的第三系地热井中。在热水水质复杂、较高温(80℃以上)的井中橡胶密封的可靠性有待进一步实践检验;而金属密封式不受水质水温影响,完全可以满足第三系成井的要求,特别是 2000 m 以深的深井中较其它各密封形式更显优势。通过近年来施工实践证明,利用金属悬挂器密封质量可靠、效益显著,值得借鉴。

(上接第 29 页)

## 8 成功经验

(1)3 次技术套管的合理分配,有效隔绝易坍塌地层,是本次施工工艺最成功的一点。在进入 3000 m 以深出现一次牙轮掌脱落事故,运用磨鞋和磁力打捞器相结合历经 72 h 解除事故,就是因为 3000 m 以浅有效的技术套管封隔易坍塌地层,才致使此次事故有充足的时间进行处理。

(2)使用了合理的钻具组合。一开和二开采用满眼钻具组合,三开和四开采用防斜钻具组合,保证了钻孔的井斜要求,测井显示井斜达到预期目的。

(3)使用了合理的泥浆工艺,有效地保证了孔

(10)退出岩心时,要用橡胶锤、木锤敲打内管。不得用铁锤直接敲打双管的内外管。

(11)双管在移动时不能猛力拖拉或撞击,存放时要摆平,不得重压,运送时要套装,装卸时要轻放。

## 4 结语

使用 JS75 型绳索取心金刚石钻进,在直孔和斜孔钻进施工中,钻孔顶角偏差  $< 1^\circ/100\text{ m}$ ,方位角偏差  $< 1.5^\circ/100\text{ m}$ ,岩矿心采取率达到 95% ~ 100%,钻进效率达到 2 ~ 3 m/h。不仅能有效防止钻孔弯曲度超差,而且孔内事故大大减少,满足地质各方面的要求,从而大大提高钻孔质量。

我队在蔡家营锌金矿为澳方进行钻探施工中,很好地满足了外方的要求,不仅取得了很好的经济效益和社会效益,而且赢得了很好的国际声誉。高标准地完成了地质对钻探质量要求,取得了质量好、效率高、成本低的成效。

另外,澳方人员认真的工作态度以及一丝不苟的工作精神给我们留下了深刻印象,值得我们学习和借鉴。

## 参考文献:

- [1] 卢予北,等. 郑州地热资源勘查技术研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.
- [2] 王学工,等. 华北地区馆陶组地热井成井工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [3] 卢予北. 地热井常见主要问题分析与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2).
- [4] 邵景林,等. 供水钢管井损坏原因与修复技术[J]. 水文地质工程地质,2005,(4).

壁的稳定,整个工程施工期间未出现埋钻、塌孔等事故。

## 9 存在不足

(1)在进行施工工艺设计中未考虑到地层中可能出现的防跳、防震钻具的问题,在施工 2100 ~ 3000 m 孔段中出现了严重的跳钻问题,结果造成送水器轴承被跳坏,出现了停钻延误工期事故,后来配置了减振器,解决了这个问题。

(2)四开钻进时出现下钻碰撞三开固井上接头,其主要原因就是在进行三开固井时,安放套管扶正器不合理,造成套管未居中。