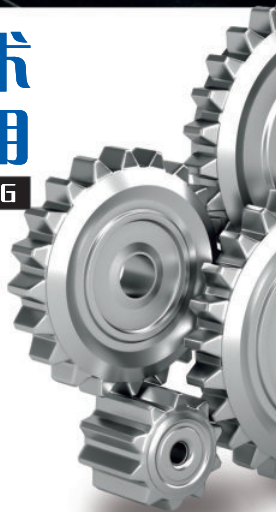




供水井修复工艺技术 研究与应用

GONGSHUIJING XIUFU GONGYIJISHU YANJIU YU YINGYONG

路学忠◎主编



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

供水井修复工艺 技术研究与应用

路学忠 主编

编委会成员

路学忠 李学军 杨军平 张天文
马一平 杨站伟 何 伟



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

供水井修复工艺技术研究与应用 / 路学忠主编. —
银川: 宁夏人民出版社, 2019.3
ISBN 978-7-227-07035-1

I. ①供… II. ①路… III. ①水井—修井—研究
IV. ①TU991.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第051677号

供水井修复工艺技术研究与应用

路学忠 主编

责任编辑 姚小云 周淑芸
责任校对 陈 晶
封面设计 李家强
责任印制 肖 艳



黄河出版传媒集团

宁夏人民出版社

出版发行

地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)

网 址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 nxrmcbs@126.com

邮购电话 0951-5052104 5052106

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏报业传媒印刷集团有限公司

印刷委托书号(宁)0012748

开本 880mm×1230mm 1/32

印张 2.75 字数 100千字

版次 2019年4月第1版

印次 2019年4月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-227-07035-1

定价 42.00元

版权所有 侵权必究

前 言

随着工农业生产及社会经济的快速发展,人们对水资源的需求量日益增大,供水井作为取水设施,在地下水资源开发利用中发挥着极其重要的作用。

供水井在运行过程中,由于其在设计、施工或使用及管理诸环节出现问题,导致出水能力降低或供水功能不能有效发挥,个别供水井因发生了孔内事故而无法正常运行,甚至导致报废,丧失了供水功能,造成了较大的经济损失。作者通过长期实践,对供水井常见的故障类型进行了总结,对故障的形成机理做了较为系统的分析和阐述,同时对各类故障的修复工艺进行了研究并提出了较为具体有针对性的修复工艺技术和措施,旨在为供水井工程的故障修复方面提供一些借鉴和参考。

本书由宁夏回族自治区科技领军人才路学忠与宁夏回族自治区矿产地质调查院李学军、张天文、马一平、杨站伟、何伟及宁夏回族自治区地质工程院杨军平等人共同编著完成。本书结合某油田故障供水井的修复实例,针对其故障特点,对修复技术及工艺进行具体指导和实践,采取最佳的修复技术实施修复作业,对已关停的故障供水井进行修复或升级改造,使其恢复正常的产水和供水能力。通过对出现故障及因故障关停的供水井进行修复利用,最大限度地利用了现有水源,满足生产生活用水需要,减轻了打井作业对环境的破坏和影响,节约了时间,同时还实现了降本增效,取得了显著的经济效益和社会效益。

由于编者水平有限,文中难免出现错误和不妥之处,请各位同行提出宝贵意见。

编者

2018年6月

目 录

第一章 供水井故障及形成机理分析	1
第一节 供水井常见故障及形成机理分析	1
第二节 其他原因及形成机理分析	16
第二章 供水井修复技术研究	19
第一节 井下电视成像测量技术研究	21
第二节 冲沙清淤修复技术研究	23
第三节 井内落物打捞技术研究	32
第四节 井管修复技术研究	40
第五节 洗井修复技术研究	46
第六节 止水故障的修复研究	59
第七节 过滤层故障修复技术研究	63
第三章 供水井修复工艺技术应用	66
第一节 概况及现状调查	66
第二节 故障分析	67
第三节 修复设备选型配套	69
第四节 供水井修复工艺技术应用	70
第五节 供水井修复效益评价	78
参考文献	81

第一章 供水井故障及形成机理分析

第一节 供水井常见故障及形成机理分析

由于使用不当、成井工艺不合理或因成井材料选用不合理等原因,导致供水井在使用一段时间后出现水量减小、出水浑浊、含沙量增大、井壁坍塌、井管变形破损、井内淤积、埋泵、频繁烧泵等诸多故障,严重影响其正常供水,给生产和生活带来较大的影响。个别井还因发生了严重的孔内事故无法维修,最终导致报废,彻底丧失了供水功能。部分供水井因成井工艺及材料选用不当,在运行过程中,井管局部出现变形、开裂、错断、脱焊、蚀洞、滤网、滤水管损坏、沉淀管底部张开、滤水管及过滤层破漏或堵塞等故障,影响了其正常使用。

不同类型的故障,有着不同的外部表现特征和不同的故障现象。以下通过对供水井出现的各种故障现象及特征进行全面分析,对各类故障产生的机理进行详细阐述。

一、出水量减小故障及原因分析

供水井在使用一段时间后通常会现出水量减小的情况。导致供水井出水量减小的原因较为复杂,主要有以下几个方面:

1.地下水补给来源匮乏

由于气候干旱,降水稀少,地下水补给来源匮乏,使地下水可采资源量日趋枯竭,加之对地下水的无序或超量开采,导致地下水

水位出现了区域性下降且降落漏斗外边界范围持续扩展,对于深度较浅的部分供水井,取水含水层的厚度变薄,进水能力受限,造成供水井出水量减小。

2.成井工艺缺陷

部分供水井由于成井工艺存在缺陷,成井质量不高或因成井技术参数设计不合理,如机井深度过浅造成供水含水层厚度偏薄,孔径偏小导致的进水断面偏小,孔壁泥皮较厚或已固化,洗井不及时或不彻底导致孔壁泥皮固结或未彻底破壁清除及孔隙裂隙通道中钻粉泥浆堵塞,井管安装前孔内稠泥浆未能充分替换,过滤器安装长度不足致取水有效段厚度不足或滤管排管安装错位,滤料粒径过细进水通道不畅通,地下水进入受阻等,都可能导致供水井出水量偏小。

3.滤水管堵塞

供水井因长期停用或运行时间过长,过滤管受到氧化腐蚀或进水缝隙出现化学结垢,导致滤网锈塞,使滤网有效孔隙率降低,导致地下水进入通道受限。当地下水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量过高时,易与水中的 CO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 SiO_2^{-} 发生化学反应生成沉淀物(水垢),并充填于滤水管的缝隙中,这种沉淀物具有较高的强度,堵塞进水通道,影响出水量。由于水化学条件发生变化而导致滤水管堵塞是供水井最常见的故障原因。

4.过滤层被破坏

在抽水过程中,由于水动力条件发生改变,地层中的细小颗粒受水的冲蚀发生移动,经水携带向井壁运移,部分随水进入井内,部分则停留在过滤层孔隙中,经过长期不断地累积,过滤层空隙被地层中的细粒物质严重充填,并对过滤层颗粒物进行包裹,使过滤层形成钙化层,破坏了过滤层应有的反滤层结构,使过滤层的孔隙率逐渐降低,过滤层进水通道因发生堵塞导致进水受阻,从而使供水井的出水量越来越小。

5. 供水井出沙

部分供水井因出沙严重或井壁出现了失稳坍塌,导致井内泥沙和淤积不断增厚,供水井下部的含水层掩埋较多,使供水含水层厚度减薄,进水量减少,从而造成供水井的出水量减小。

6. 供水井老化

供水井因运行时间较长,抽水设备出现老化、工作性能降低、工作效率下降等异常故障,造成实际出水量不足。另外,个别井在长时间运行后,泵管接口密封较差,出现跑水故障,也会造成供水井出水量减小的情况。

二、涌沙或含沙量增高故障及原因分析

涌沙是供水井在抽水时,水中所含悬浮性颗粒物过多的故障现象,也是井体本身出现异常的前兆之一。引起涌沙的原因主要有以下几个方面:

1. 过滤系统损坏

抽水量过大,供水井超负荷运行,过滤系统受损。设备的抽水能力超过了供水井实际的出水能力,进水段在负压作用下,地层中的细小沙粒被水流强力带入井内,造成出沙或含沙量偏高。另外,在长期过量开采条件下,加快了过滤器骨架的磨损和老化,滤缝间隙增大,失去挡沙滤水功能,造成供水井出沙故障。此故障的表现特征为水中可见地层中的细小颗粒物。

2. 地质层不稳定

裸眼工艺成井的供水井,由于岩石的胶结及成岩程度较差,含水层地层岩性较为疏松,孔隙裂隙发育,在抽水运行过程中,裸眼孔段孔壁受到水流冲蚀,大量颗粒物进入井内,导致水中的含沙量增大。另外,如果地层的稳定性较差,孔壁在无井管支撑保护的条件下易发生失稳坍塌,也导致水中的含沙量大幅增加。其次,裸眼井因无井管及过滤层的保护,在抽水工况下,地层孔隙裂隙中充填的较细颗粒物也随水进入井内,随着抽水运行时间延长,含水层孔

隙裂隙逐渐增大,滤水挡沙能力持续减弱,造成井内出沙及含沙量偏高。

3.过滤器磨损

部分供水井虽安装有过滤器,但在持续抽水工况下,地下水及地层中的颗粒物会对过滤器造成一定的磨损,并使滤缝宽度不断扩大,导致过滤器的滤沙能力逐渐降低。当磨损达到一定程度时,过滤器滤丝发生断裂,过滤器局部失去了过滤功能,并且过滤器外围回填的滤料及地层中的颗粒物也将直接进入管内,从而发生井内出沙及含沙量增高的故障。

机井建成后,如水中存在大量的来自于含水层中的粉细沙物质,多是由于管外回填滤料的级配不当,细粒物质含量过多及洗井不彻底所致。如果水中含沙量呈由少增多,颗粒物由细变粗的趋势,即上述变化是缓变的而不是突然性变化,颗粒物中见有围填滤料,则是由于过滤器或井管局部出现了破损所致。表现特征为水中可见地层中的细小颗粒物及管外回填的滤料。此故障判别办法归纳如下:

若水井涌沙故障自供水井运行之初即有,则可能是由于过滤器的滤缝过宽、管外滤料过粗及环状间隙太小,加之洗井不彻底、管外滤料未彻底落实等原因所导致。如在使用一段时间后突现了涌沙,可能是因井管局部破损所致。若抽水中出现管外围填滤料,且抽水出现间断浑浊现象,则可以判断为井管局部出现了破损。如果仅见地层中的细小流沙颗粒,并伴有抽水间断浑浊,则可判断为人工过滤层过滤性能出现了异常(过滤层较薄、滤料过粗、滤料搭篷、滤管贴靠井壁等)。如果水中出现管外回填的滤料及管外回填杂物并伴有抽水间断浑浊,可判断为浅部井管(过滤器)出现了破损故障。

4.配套设备受损

井管、套管或筛管接口不严或因长期遭受腐蚀局部出现破损

及断裂(脱落),或因井眼偏斜,泵头振动磨损导致井管局部损坏,或因管外充填滤料过粗及环状间隙厚度较薄等诸多原因所致,不能有效阻挡管外圍填的滤料或阻挡地层沙粒进入,从而使井内出现大量的泥沙并造成井内淤积。另外,井口保护套管底部因受力的地层较疏松,孔壁出现坍塌造成松动,使浅部管外的封闭材料下沉并落入井内,造成井内淤积或含沙量偏高,影响了水井的正常使用。

5. 井管破损

由于在启停水泵时,泵头发生摆动,与井管相互摩擦或剧烈碰撞,久而久之,井管与泵头接触处及其附近的井管出现了破损,发生涌沙故障。涌沙量的大小,取决于破管的面积及围砾和地层情况。可通过观察开泵瞬间(3~5min)的出水变化情况,来判断井管是否出现了破损故障。

6. 成井工艺缺陷

由于钻孔偏斜或局部顶角出现突变,导致井管一侧与井壁发生贴靠,造成该部分孔段未能围填滤料或过滤层较薄,或由于成井工艺存在缺陷,如管外环状间隙过小(过滤层太薄)、滤料搭篷、滤料粒径过粗或级配不合理,不能有效过滤地层中的细小颗粒,造成井内出沙或含沙量偏高。特征为涌沙中可见地层中的细小颗粒,出水持续浑浊或断续浑浊。

7. 过滤器露头

因管外滤料填入高度不够(填砾顶面低于过滤器高度),加之洗井不够彻底,滤料的密实度不够,在供水井抽水运行过程中,管外滤料因逐渐密实使其出现整体下沉,最终导致过滤器最顶部出现露头(滤料顶面高度低于过滤器高度),使该段过滤器失去了滤水挡沙功能,使其外围或上部填入的止水材料及杂物涌入井内,造成供水井涌沙或出沙量较高。特征为出水中见地层中的流沙颗粒及上部回填杂物,出水持续浑浊或间断浑浊,井口及周围地面出现

裂缝或塌陷等现象。

三、井内落物故障及原因分析

供水井在成井过程中或在后期的抽水使用过程中,因自然或人为原因发生井内落物事故,导致供水井不能正常运行,个别供水井甚至因井内发生了落物事故而导致报废。导致井内出现落物的情形主要有以下几个方面:

1.设备腐蚀、磨损

供水井运行时间较长,抽水设备及泵管因长期遭受地下水腐蚀及磨损,导致其强度逐渐降低,在运行过程中出现断裂及脱落,发生井内落物事故。

2.设备脱开、断开

供水井因泵管安装不周正、不同心,局部存在弯曲现象,在抽水运行过程中泵体易出现剧烈颤动,最终发生泵头憋脱和泵管断裂,导致井内落物事故。

3.设备连接处松动

在上述抽水运行工况条件之下,如果泵管连接不牢靠,连接处的螺栓易发生松动,导致泵头或泵管脱落坠入井底,或卡阻于井管内某一部位。

4.维护不到位

成井后,因管理及维护不到位及人为原因导致砖、石块、混凝土块、线缆或其他物件落入井管内,也是造成井内落物事故主要因素之一。

5.成井处理不当

由于井内安装抽水设备或在成井过程中及后续事故处理过程中采用的方法不当,也可导致发生井内落物事故。

四、井管变形、断裂、错位故障及原因分析

导致井管变形、断裂、错位的主要原因,一是由于地壳内应力出现了较大变化,致使井管遭受到外力影响而出现形变、断裂或错

位的现象。二是由于裸孔供水井在运行过程中局部孔壁出现失稳坍塌,使井管受到剧烈冲撞或挤压,井管内外压力不平衡而造成井管变形、断裂或错位故障。三是由于成井之初因管材强度较低或安装存在缺陷导致井管变形、断裂或错位,或由于机泵安装或洗井、维修作业不当等人为原因导致井管断裂、错位或变形故障。四是由于机井使用年限较长,井管长期遭受腐蚀,出现破损,使其抗拉强度降低,当机井下段为裸眼时,破损的井管因底部失去支撑极易出现断裂。

在多年的实践中发现,在基岩区施工的供水井因多采用裸孔成井工艺,多数井由于裸孔段的井壁地层因水浸冲蚀出现了坍塌,使井管底部悬空并失去支撑,导致井管断裂和错位,加之个别井由于井管连接本身就不牢固,发生此类事故的概率更高。另外,部分井由于后期使用或管护不当,井管遭受人为破坏,也是造成井管变形、断裂及错位事故的主要原因之一。

五、过滤器淤塞故障及原因分析

引起供水井过滤系统堵塞的原因主要有泥沙包裹堵塞、滤水管强烈氧化堵塞、水化学成分沉淀胶结堵塞、电化学腐蚀堵塞及由于过滤器的结构形式和工艺缺陷所造成的堵塞故障。

过滤器一般由钢制井管经打眼、管壁外加纵向垫筋(增大孔隙率),垫筋外缠镀锌铅丝、不锈钢丝或金属网片加工而成。缠丝外周有的包裹滤网(钢丝网、尼龙网或棕皮等),有的不包网。井管安装之后,在井管与孔壁的环状空隙中围填滤料(砾石)。

供水井在长期抽水运行过程中,过滤系统不可避免地受到地下水的物理作用、电化作用、水化学作用及生化作用影响,使过滤器表面出现锈蚀、吸附、结垢,过滤层内部孔隙减小,甚至出现胶结,导致进水通道堵塞,进水不畅,供水井出水量减小。随着使用年限延长,井管及垫筋部位发生氧化锈蚀,筛管孔眼上有大量的黑色沉淀物聚集,缠丝受氧化后其体积发生膨胀,导致丝距及孔眼直

径变小,造成过滤器及进水通道堵塞,使供水井出水量减小。

据研究资料,铁质滤管出现堵塞不单纯是铁的氧化问题,很重要的一个因素是地下水的参与和作用。井水矿化度一般为1~3g/L, pH值一般为7.5~8.5。在盐分组成中,重碳酸根含量极高,由于 HCO_3^- 转化为碳酸盐产生沉淀充填在滤水层中,堵塞了进水通道,加之在长期抽水运行过程中,管外过滤层被细粒物质充填或与沉淀物胶结并发生固结,使进水孔隙大幅度减小,出现过滤器堵塞故障。

除了上述理化作用,地下水嫌气性微生物也积极地参与了作用。硫酸盐还原菌主要参与了把地下水的 SO_4^{2-} 变成 S^{2-} 和还原为 H_2S ,而后又通过水化学转为 FeS 及 CaS 沉淀物。铁细菌使离子铁变为胶体 $\text{Fe}(\text{OH})_2$,细菌的生化作用也产生过滤器的堵塞物。另外过滤器堵塞还有成孔钻进时残留的泥浆所造成的堵塞。滤料围填后洗井不彻底,孔壁泥皮较厚,含水层孔隙裂隙中泥浆充填,堵塞进水通道,造成供水井水量减小。还有包网选用不合理或采用棕皮包网过密过厚,沙粒对孔网产生机械堵塞,地下水难以进入井内,这些都是造成过滤器堵塞,影响出水量的原因。另外,如果所配水泵的额定流量大于水井的涌水量,强抽势必会造成过大的水力坡度、流速和水跃值,造成含水层被淘蚀出现坍塌、管井涌沙和过滤器堵塞,使出水量在短期内急剧下降。在高矿化度地下水区的管井因间歇性使用或停泵时间过长,一般3~6个月就会出现井内水质腐臭和滤水管堵塞而导致出水量减少故障。

六、吊泵故障及原因分析

吊泵是指水泵在工作状态下,因井内动水位下降幅度过大,以致达不到水泵正常工作状态所需的吃水(浸水)深度要求,即泵头部分露出水面,使水泵长时间或间断出现不能有效抽水工作(俗称水泵喘气)的现象。造成吊泵的原因主要有以下几种:

1. 设备选用、安装不当

水泵扬程偏小,泵头安置深度过浅,导致水泵的吃水(水中浸

人)深度不够,影响抽水功效的充分发挥。

2. 地下水资源匮乏

地下水补给量不足,地下水可开采资源匮乏,加之人为无序地开采或超采,造成地下水资源逐渐枯竭,地下水位出现了区域性持续下降,在井深较浅的情况下,水泵吃水深度严重不足,出现吊泵故障。

3. 进水通道堵塞

由于洗井不彻底,孔壁泥皮较厚堵塞进水通道,造成供水井出水量减小。如果井内淤积层较厚,掩埋下部部分含水层,也会导致供水井的出水能力不足,在抽水时,动水位大幅下降,水泵达不到额定吃水深度要求,出现了吊泵现象。

4. 设备与水井产水能力不匹配

抽水设备功率过大,与水井产水能力不匹配,在设备运行过程中,动水位下降过快,水泵达不到额定吃水深度要求,最终出现吊泵现象。

5. 设备锈塞、钙化

供水井长期运行或停运,过滤器表面结垢锈塞严重,筛管外层出现钙化,进水通道堵塞。部分供水井因停用时间较长,造成筛管外层钙质胶结物增多,导致供水井的产水能力不足,出现吊泵现象。

七、止水失效故障及原因分析

在供水井成井施工中,为防止对目的含水层的干扰和污染,需对目的层以外的其他含水地层进行封闭与隔离,以便获得稳定、优质、高产的地下水,同时也能有效地保护非目的含水层地下水不受污染,常采用止水工艺予以解决。通常采用的止水材料有黏土、海带、水泥浆、止水橡胶、套管等。常用的止水方法有同径止水法(黏土、海带、水泥浆等)、异径止水法(托盘+海带、黏土或麻绳及水泥浆封闭止水、套管封闭止水、黏土封闭止水、水泥浆封闭止水等)。

由于设计缺陷或施工工艺质量较差,导致供水井在成井之初或在运行过程中出现了止水失效的故障,即上、下水层互窜。造成供水井止水失效的故障原因主要有以下几个方面:

1. 止水层厚度及材料使用不当

止水层厚度较薄或止水材料搭篷未密实,止水效果不理想,不能完全阻隔相邻非目的含水层地下水进入井内。一般情况下,如采用黏土球止水,最终达到稳定的止水层厚度应不小于3m。同理,如果所选止水段的隔水地层厚度较薄,即便采取了相应的止水措施,但上、下含水层之间仍存在一定的水力联系,也会出现止水失效或止水效果不理想的情况。

2. 止水层的深度位置出现偏差或严重错位

止水层位与实际的隔水层位置不一致,即止水层位与隔水层位未能很好对应或出现严重错位,即便止水层厚度满足要求,但因其层位未能与实际隔水层位准确对应,非目的含水层地下水仍能顺利进入井内,从而出现止水失效。

3. 同径止水法设备安装不当

在同径止水的供水井中,如果在围砾作业时未控制好滤料顶部的最终深度和位置,也会出现上述实际止水层与隔水层错位的情况,影响止水效果或出现止水失效。

4. 人工过滤层材料质量差或破损

管外设置人工过滤层的供水井,如果所填滤料的质量较差(杂质、泥质、细颗粒含量较多),在后期的运行过程中,过滤层中的细小颗粒物不断进入井内,造成过滤层内部孔隙增大,过滤层内部结构发生较大改变并使地层中的细颗粒物大量进入井内,导致管外空隙持续增大。在此情况下,过滤层会出现持续下沉并趋于密实以填补管外形成的环状空间,导致过滤层及止水材料不断下沉下移,顶部位置随之降低,止水层段与隔水地层不能完全对应,最终导致止水失效。

如果成井时钻孔孔径过小,加之围砾粒径过粗,在抽水运行过程中,过滤层不能有效阻挡地层中的颗粒物,久而久之,过滤层外围地层出现了空隙,为填补这些新增的空隙,滤料将不断下沉,导致过滤层顶部位置及止水段逐渐下移,导致止水失效。

如果过滤器出现破损,管外滤料及地层颗粒物不断进入井内,滤料顶面逐步下移,最终导致过滤器出现露头,止水材料不断进入井内,使止水层段出现了局部缺失,也会出现止水失效。

5. 过滤层下沉

有的供水井因一次性完成了围砾及止水工作,之后再继续进行活塞机械强力拉洗工作,过滤层经强力拉洗最终达到密实状态,止水物随过滤层同步下沉,导致止水层错位,造成止水失效。或因过滤层下沉导致过滤器露头,出现止水失效。

6. 异径止水法设备选用、安装不当

异径止水的供水井,由于两级孔径的极差设置过小,上部大径变径处安置的托盘与地层的接触面较小,不能有效封闭上层水渗入,或在井管自重较大的情况下,接触面之下的隔水岩层不堪重负出现变形和破坏,从而失去对上层地下水的封隔作用。另外,在异径止水操作中,如变径部位缠绕的麻绳或海带等止水材料的用量不足或位置和止水方式不合理,也会造成止水失效。

7. 设备密封不严或破损

如果止水部位以浅的套管接口密封不严或止水段套管出现破损,致使止水部位以浅的地下水进入井内,出现止水失效。

八、滤层故障及原因分析

供水井成井工艺中,围填滤料的目的是利用填入的滤料在管壁与孔壁之间形成环状的人工过滤层,借以增加过滤器及其周围有效孔隙率,并增大滤水管的进水面积,减少滤水管的进水阻力,增大水井出水量,防止孔壁泥沙地层颗粒物涌入井内,实现滤水拦沙、支撑和保护井管,延长水井使用寿命的作用。