

巨厚层粉土、粉砂洗井工艺技术的创新

胡乙彬

宁波工程勘察院有限公司 浙江 宁波 315012

摘要: 随着城市建设的快速发展,巨厚粉土、粉砂层的洗井工艺技术成为保障地下水资源安全的关键。传统的洗井方法难以彻底清洗此类地层,影响水文地质参数的准确性。为此,我们创新性地提出了双动气液混合喷射洗井法,该方法利用高压射流与空压机震荡的双重作用,有效清除泥皮、泥浆,提高洗井效率。实践表明,该方法成本低、操作简便,能显著提升洗井效果,为城市地质环境监测和地下水资源管理提供了有力支持。

关键词: 巨厚粉土;粉砂层;洗井工艺技术;创新

1 引言

宁波平原,受古环境变迁与现代工程建设的双重影响,地下水系统劣化,成为区域社会经济发展的制约因素。中更新统开始,平原区堆积形成,并历经三次大规模海侵,形成独特的滨海地质环境,咸淡水并存。然而,随着经济建设的高速推进,工业用水量激增,导致地下水过度开采。特别是以鄞州和丰创意广场为中心的区域,因超量开采地下水,地面沉降漏斗区逐渐形成。至1985年,地下水开采量达历史峰值,江东和丰中心区沉降速率高达35.3毫米/年。

为应对这一挑战,深入调查和研究城市地下水系统至关重要。现场抽水试验是揭示地下水运移规律、获取关键水文地质参数的核心方法。其中,成井是基础,洗井是关键。洗井质量直接影响参数的真实性和可靠性。传统的注水、拉活塞、空压机等洗井方法,虽各有特点,但难以应对巨厚粉土、粉砂含水层的复杂情况,难以达到彻底清洗的效果^[1]。

因此,针对巨厚粉土、粉砂含水层的洗井难题,研究人员积极探索创新方法。经过实践与研究,提出了“双动气液混合喷射洗井法”^[2],为解决这一难题提供了新的可能。该方法的应用,将有望提高水文地质参数的准确性和精度,为宁波平原地下水资源的合理开发和保护提供有力支持。

2 洗井方法和原理

(1)原理:高压旋转喷射洗井是利用特制的喷嘴在钻机高压水泵(或泥浆泵)提供的高压水炮作用下形成冲刷井壁(管壁)的喷射流,喷射流以强大的冲刷力破坏吸附在井壁(管壁)、滤水管网上的泥皮,使其稀释、分解形成泥浆,空压机通过风管将压缩空气送入井管底部使之与水形成气液二相混合物,混合物在压力及受限空间的双重作用下体积膨胀,形成水压、气压在滤

水管部位对管壁、井壁、目的含水层孔隙进行冲刷、震荡洗井,同时气体在气压作用下通过目的含水层孔隙渗入目的含水层,扩展、增大目的含水层孔隙,在目的含水层水头压力及井管内出水负压的双重作用下通过水流将成井时入渗的成井液、泥浆带及管内,同时将上部喷射流冲洗下来的泥皮及泥浆吹出地面,至此形成钻杆喷射、空压机震荡有效组合^[3]。

(2)设备:钻机(XY-200型、自带水泵)、钻杆、深井水泵、空压机、风管、排水管、自制喷头、水箱、水桶等。

(3)设备制作与安装:根据钻机自带高压水泵所能提供的泵压估算喷嘴直径(3~5mm)、喷嘴个数(9个),设备安装及洗井工作步骤如下。

①将特制的喷头连接在钻杆底部,跟钻杆一起下入井管内待清洗的部位。

②钻杆与机上钻杆连接,机上钻杆与水龙头连接,水龙头通过高压水管与高压水泵连接。

③风管,井管内选用镀锌钢管,地面选用硬质塑胶管,风管与风管通过螺纹连接,井内风管下至井管底部以上30~50cm,地面硬质塑胶风管与空压机连接,空压由专人看管,每隔30min憋压一次。

④先开动钻机、水泵,向喷头注入高压水,同时喷头跟随机上钻杆360°转动开始清洗工作,井管返水后开动空压机向井管内输送压缩空气,形成气、液二相混合物震荡冲刷井管、井壁,有效形成上冲、震组合。通过高压气体将清洗下来的泥皮、粉土、粉砂等吹出井管。

⑤双管(风管、水管)齐下,双动(钻机、空压机)联合,反复清洗,待水清后,观察水中含砂量,持续清洗一段时间,若含砂量没有变化,满足洗井要求后先停空压机,后停水泵。

⑥拆出下入井管内的风管,钻杆、喷头等设备,下

入排水管，排水管与深井泵连接，连通电源，深井泵开始抽水，通过深井泵的吸力，将影响半径内粉土、粉砂层的细小颗粒吸出井管外。

⑦洗至水清、砂净为止，停泵，完成洗井工作。

3 应用案例

宁波市城市地质环境监测工程项目地下水监测井（GX02-SZK1）位于宁波市镇海区湾塘村，设计井深45.0m，井管结构：护壁管15.0m+滤水管24.0m+沉淀管6.0m；0.0~4.0m水泥注浆固管、止水，4.0~12.0m填黏土球止水，12.0~45.0m投石英砂。含水层埋深16.7~39.0m，含水层岩性为③₁层含黏性土粉砂（al-mQ₄¹）+⑤₂层粉砂（al-IQ₃²）+⑤₂₇层粉砂夹粉质黏土（al-IQ₃²）+⑤₂层粉砂（al-IQ₃²）组合，含水层厚度22.2m，含水层土质不均匀，富水性差，属弱含水层，松散~稍密状态，渗透性一般，钻进过程中易塌孔，成井采用正循环泥浆护壁工艺成井，为防止塌孔，保持孔壁稳定，针对地层特点，冲洗液采用水、黏土为主料，掺入一定比例的含碱膨润土作为配料制备，2023年8月6日完成成井。

根据含水层岩性特征及相关规范，成井结束后采用注水洗井方法洗井，利用钻机水泵将清水通过钻杆注入井管内，通过稀释、循环将井管内的泥浆循环出井外，经过两天的注水洗井，水清砂净停泵完成洗，试抽水试验一段时间后水突然变浑浊，且水量变大，经分析得出原因，附着在井壁、滤网上的泥皮过厚，粘着力过强，注入井管内的清水水动力过小无法冲洗开粘附在滤网、井壁上的泥皮，为增加冲刷力，采用拉活塞的洗井方法洗井，洗井持续一天，排出井外的泥浆稠，重度1.2~1.3，稠度40s左右，为了更好地将泥皮、粉砂团块携带出井管外，采用空压机洗井的方法，空压机洗井极大地增加了携带能力，更好地将泥皮裹夹粉土、粉砂团块吹出井管外，因成井时为防止孔壁坍塌，保持孔壁稳定，专门采取了优质膨润土+烧碱+水配制泥浆，由于成井时间长附着在井壁上的泥皮硬化、入渗含水层孔隙内

的泥浆阻挡了含水层中的水渗入管内，及时浸沫风管形成隔气层使气体聚集膨胀震荡冲洗井管、井壁，为解决井管内水量小、少难以淹没空压机风管的难题，经过探索和研究创新性地采用高压射流+空压机震荡组合的洗井方法（双动气液混合喷射洗井法）。

组装：在井管内安装Φ60mm的渡锌钢管作为风管，风管下入沉淀管底部以上60cm，采用螺纹连接，在钻杆底部安装自制喷头与钻杆连接，喷头下至过滤管顶部，钻杆通过机上钻杆、高压管与钻水泵连接。

洗井：2023年9月5日组装完成后便开始洗井，钻机开动后经水泵向喷头高压送水，在水泵压力驱动下向形成高压射流冲刷井壁，同时在钻机动力作用下随钻杆正循环转动至上而下进行喷射冲刷洗井，喷射洗井形成后将冲洗沉淀的泥砂送出井管外，在喷头下部安装风管经空压机输送高压空气震荡潜洗井并将沉淀物吹出井外，2023年9月7日洗至水清砂净，完成洗井后，于9月10日进抽水试验，抽水试验概念模型为单孔承压水完整井单井稳定流抽水试验。试验共进行了二个降深，其水位降深值分别为4.78m、13.00m，井的出水量分别为3.24L/s和5.571L/s。

按照《水利水电工程钻孔抽水试验规程》中裘布依公式和吉哈尔特公式，运用迭代法计算渗透系数及影响半径：

$$K = \frac{0.366Q}{Ms} \lg \frac{R}{r}$$

$$R = 10S\sqrt{K}$$

式中：

- K——渗透系数，m/d；
- Q——抽水井流量，m³/d；
- S——抽水井中水位降深，m；
- M——含水层厚度，m；
- R——影响半径，m；
- r——抽水井半径，m；

水文地质参数计算表

基本计算参数								
顶板深度 (m)	底板深度 (m)	含水层厚度 (m)	抽水井半径 (m)	静止水位 (m)	过滤器长度 (m)	试验孔深 (m)		
16.70	39.00	22.30	0.1095	2.35	24.00	46.67		
基本参数与计算结果								
降深 次数	降深 (m)	流量Q (m ³ /d)	单位涌水量q (L/s·m)	稳定延续时间 (h)	渗透系数K (m/d)		影响半径R (m)	
					稳定流计算结果	平均值	稳定流计算结果	平均值
1	4.87	279.936	0.665	12	2.702	2.329	80.05	130.99
2	13.01	481.248	0.428	16	1.955		181.92	

宁波市城市地质环境监测工程项目地下水监测井(GX01-SZK1)位于慈溪市前湾新区兴慈大道,前湾新区处于杭州湾南岸属潮间带区域,因潮汐作用,海域内泥沙被带入内陆沉积,形成了冲海积粉土(砂土),一般的分布在30m以浅,其岩性主要为砂质粉土、黏质粉土、粉砂等,多呈稍密-松散状,砂(粉)性土渗透性较好,富水性一般,抗冲蚀能力差,稳定性差,土颗粒随雨水的冲刷而流失,导致孔壁失稳的风险;在地下水渗流、掏蚀,机械振动等外力作用下易造成砂土层脱空而发生地面塌陷的问题。

为解决和防止以上工程事故的发生,结合宁波地区成井施工经验和地层条件,创新性地采用Φ600mm钢筋笼外焊60目钢丝网布为内支撑骨架,优质泥浆护壁的成井工艺成井。2023年9月3日采用XY-300型水文钻机正循环泥浆护壁回旋钻进的施工方法成井,全孔无岩芯钻进,于9月4日终孔,终孔孔深为25.12m,含水层埋深为4.90~21.50m,厚度16.60m,含水层岩性为冲海积黏质粉土。过滤器位置为5.70~20.70m,过滤器总长15.00m。成井完成后根据地区经验及相关规范选择拉活塞洗井,由于含水层岩性为黏质粉土,富水性差,水量小,活塞在管内上下运动无法形成剧烈的水力冲击,从而把井壁泥皮冲落并随井中泥浆一起抽出井外,达到洗井的目的。为此选择抽水洗井,这种方法是通过抽水的方式把井底的泥浆

及洗砂抽出井外,这种方法比较原始,工期时间长且抽降水位上部的井壁难以清洗,分析以上两种洗井工况并结合(GX02-SZK1)井的洗井经验,选择高压射流+空压机震荡组合的洗井方法(双动气液混合喷射洗井法)。为防止高压气流冲刷过猛导致孔壁坍塌,风管下至沉淀管底部,同气阀由专人控制,9月20开始组装,组装完成后随即开始洗井,历时3天洗至水清砂净,完成洗井。

9月28日进行抽水试验,试验共进行了二个降深,其水位降深值分别为3.90m、8.19m,井的出水量分别为0.32L/s和0.59L/s。

按照《水利水电工程钻孔抽水试验规程》中裘布依公式和吉哈尔特公式,运用迭代法计算渗透系数及影响半径:

$$K = \frac{0.366Q}{Ms} \lg \frac{R}{r}$$

$$R = 10S\sqrt{K}$$

式中:

- K——渗透系数, m/d;
- Q——抽水井流量, m³/d;
- S——抽水井中水位降深, m;
- M——含水层厚度, m;
- R——影响半径, m;
- r——抽水井半径, m;

水文地质参数计算表

基本计算参数								
顶板深度 (m)	底板深度 (m)	含水层厚度 (m)	抽水井半径 (m)	静止水位 (m)	过滤器长度 (m)	试验孔深 (m)		
4.90	21.50	16.60	0.1095	2.37	15.00	25.12		
基本参数与计算结果								
降深 次数	降深 (m)	流量Q (m ³ /d)	单位涌水量q (L/s·m)	稳定延续时间 (h)	渗透系数K (m/d)		影响半径R (m)	
					稳定流计算结果	平均值	稳定流计算结果	平均值
1	3.90	27.648	0.0810	21	0.3646	0.3644	23.549	36.491
2	8.19	50.976	0.0722	16	0.3643		49.433	

4 结论

正用的洗井方法有注水洗井、拉活塞洗井、抽水洗井、空压机洗井、液态二氧化碳洗井等多种方法。洗井时应根据场地环境条件,含水层岩性,井况结构结合地区洗井经验综合选择合适的洗井方法。双动气液混合喷射洗井法适用于巨厚层粉土、粉砂等含水层的洗井工作,冲、震、吹三重迭加,大大缩短了洗井时间,增加出水量,同时解决了厚泥皮、粒径 ≤ 0.075mm粘粒含量高,难以彻底洗净的问题,极大地提高了洗井效率和

质量,相比传统的洗井方法,洗井时间短,操作方法简便,经济效益好,抽水试验获得的试验数据真实。

参考文献

- [1]王红,赵明.新型洗井工艺技术在粉砂层地质钻探中的应用效果分析[J].工程勘察,2021,39(11):38-42.
- [2]李丽,陈晓.巨厚粉土区域地下水监测井洗井技术的创新与实践[J].地质科技情报,2023,38(3):187-193.
- [3]孙涛,刘刚.高压射流与空压机联合洗井法在粉砂地层中的应用研究[J].地下水,2021,43(4):62-65.