

深井分层真空抽水试验及机理分析

何计彬^{1,2}, 潘德元^{1,2}, 李炳平^{1,2}, 叶成明^{1,2}

(1. 国土资源部地质环境监测技术重点实验室, 河北保定 071051; 2. 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: 基于某单井分层真空抽水综合试验, 使用新型分层抽水试验装置, 对试验方法进行技术改进, 使分层抽水工作省时高效、安全可靠、经济实用。将该工艺方法监测数据与常规方法监测数据进行对比, 研究地层、真空负压对抽水效果的影响, 并对其机理进行详细分析, 得出真空分层抽水井管周围渗流场的变化性状。对比试验表明, 分层真空抽水工艺方法在提高单井出水量、洗井效果上具有明显优势。

关键词: 深井; 分层抽水; 真空负压; 抽水试验; 洗井

中图分类号: P634; P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)01-0018-06

Deep Well Stratified Vacuum Pumping Test and the Mechanism Analysis/HE Ji-bin^{1,2}, PAN De-yuan^{1,2}, LI Bing-ping^{1,2}, YE Cheng-ming^{1,2} (1. Key Laboratory for Geological Environmental Monitoring Technology of the Ministry of Land and Resources, Baoding Hebei 071051, China; 2. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geological Survey, Baoding Hebei 071051, China)

Abstract: Based on the comprehensive experiment of a single well stratified vacuum pumping, using a new stratified pumping test device, the test method was improved to make the stratified pumping work time saving and efficient, safe and reliable, economical and practical. Comparing the process monitoring data with conventional monitoring data, the influence of formation and vacuum negative pressure effect to the pumping is studied, by the detailed analysis on its mechanism, the variation characteristics of seepage field around the vacuum stratified pumping well pipe are obtained. The comparison experiment proves that this stratified vacuum pumping process has obvious advantages in improving the water yield of single well and well washing effect.

Key words: deep well; stratified pumping; vacuum negative pressure; pumping test; well washing

0 引言

国土资源大调查中的水文地质调查、矿产勘探、地下水污染评价以及城镇化进程中地下空间的合理开发、基础工程建设等领域, 对不同含水层的水文地质参数进行监测尤为重要, 目前国内外没有先进的技术方法或装置能够简易快速地对同一井孔内所有层位地下水参数及关系进行测定。

通过施工钻孔实施抽水试验获取不同埋深含水层的水文地质参数, 普遍采用以下2种工法: 一是针对每一个含水层位都施工一眼勘探井, 分别进行抽水试验以求取其不同含水层水文地质参数; 二是根据小口径取心地层编录与物探测井数据所确定含(隔)水层的深度、厚度及岩性, 设计钻孔结构、采用复杂的施工工艺, 分阶段钻井(按层段分级扩孔)、

分阶段成井施工(视地层稳定性需要确定下入套管的层次)、分段进行抽水试验。但上述工艺方法均存在较多缺点, 前者虽施工工艺简单, 但需要施工的井数多、占地面积大、钻探工作量繁重、经济投入大, 目前已很少采用; 后者虽然可以在一个井孔中进行分层抽水试验, 较大地节约了施工不同钻孔的费用, 但需要根据含水层层数进行分段钻井下套管变换口径, 再分段成井, 钻孔结构设计及施工工艺复杂, 并且施工、试验间隔进行, 需要较长的施工时间和试验时间, 不经济, 容易出现各类钻井事故。

因此, 设计制造一种新型分层抽水装置, 以达到有效快速地在同一井孔内(钻孔结构简单可一径到底, 不需要变径)对多含水层进行分层抽水试验, 掌握不同含水层水文地质参数, 使其具有经济、实用、

收稿日期: 2016-03-28; 修回日期: 2016-11-24

基金项目: 陕甘宁革命老区 1: 5 万水文地质调查项目(编号: 121201012000150002)

作者简介: 何计彬, 男, 汉族, 1984年生, 工程师, 硕士, 地质工程专业, 主要从事水文地质钻探工艺及完井工艺技术方面的研究工作, hejib-in123@126.com。

操作简单、可靠,有一定的推广性。

1 国内外研究现状

国内外对于单井分层抽水装置及工艺方法进行了较多探讨与实践。常用工法与抽水器具如下^[1-3]。

1.1 管内止水托盘架桥封隔

钻孔施工结束后,依照上述所确定的含水层、隔水层各层段深度、厚度、对应层段钻孔口径,进行滤水管、井壁管、止水托盘的排序,检查无误后焊接止水盘、用止水橡胶或海带缠好,不同口径的滤水、井壁管焊接并准确地入井内,管井环状空间相应位置围填砾料与黏土球分层止水(厚度一般大于 5 m)管外止水是分层抽水工作成功的基础和前提。然后,井内自上往下依次进行不同层段的含水层抽水试验。

1.1.1 对隔水层以上含水层进行抽水试验

首先,在第一个含水层隔水底板对应的套管内架桥封隔(封隔长度应大于 5 m),使上层水与下层水隔离(如图 1 所示)。

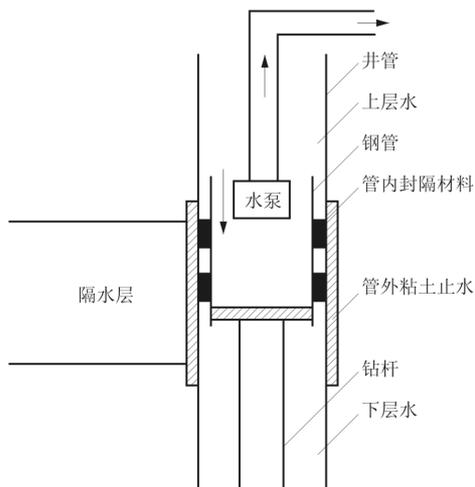


图 1 隔水层以上含水层抽水示意图

具体操作为:向井管内下入一定长度起支撑作用的钻杆,并在钻杆顶部连接一段上部带有一定长度反丝扣的钢管(7~10 m),其下部适当位置加工多组止水托盘。用钻杆将“止水托盘”在井管内送到需要分层止水位置,钻杆底部带一小段反丝钢管,俗称“反丝脑袋”,下到分层止水位置后,钻机正转,反丝扣反开,提起钻杆即可,止水托盘上缠有膨胀橡胶或海带包,通过膨胀橡胶或海带包在井管内遇水

膨胀,将井管内的上下两层水进行隔开。为保证止水效果,通常膨胀橡胶或海带包在井内需放置 24 h 以上,待其充分吸水膨胀后,对该层段进行泵抽法洗井,洗至水清沙净、水量稳定,再进行静止水位观测,并配合用压差、泵压检查法进行止水检查,观测水位或消耗量变化不超标准,止水成功进行分层洗井、抽水试验,该层段抽水结束后,再下入钻杆和“反丝脑袋”到分层止水位置进行对扣连接,便可将井管内分层止水装置提出井外。

1.1.2 对隔水层以下含水层进行抽水试验

按照上述方法在要进行分层抽水试验的对应含水层隔水底板位置在井管内进行架桥封堵,再将隔水顶板以上滤水管用低一级套管采用悬挂的方法封堵止水,如图 2 所示。按上述方法,进行止水检查、洗井、做抽水试验,对所有含水层逐一进行抽水试验直至完成。

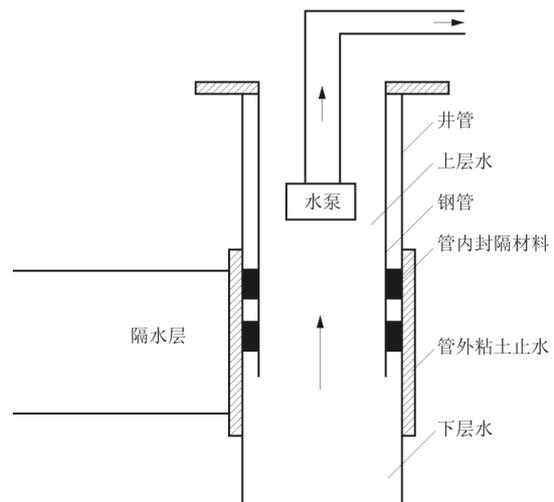


图 2 隔水层以下含水层抽水示意图

综上所述,对单井进行多含水层分层抽水试验采用上述工法虽然可行有效,并节约了施工多眼井的管材与资金,但缺点是施工工艺复杂、工序繁琐。取不同层位的地下水,需要下入、提起,然后再下入、提起,反复操作 2 次,施工时间长,降低效率,并且施工、试验间隔进行,需要较长的辅助管内封隔作业时间和试验时间,不经济、效率低,频繁地起下器具容易出现各类安全事故。由于在深井抽水试验中,下入、提起分层止水装置的次数较多,且对操作者要求高,操作中存在的事故隐患大,如果稍不注意,可能使分层止水装置脱落,造成严重事故,对管井影响很大,甚至造成管井报废。在抽取上层水时,需要下入

带有“反丝脑袋”的反丝钢管,下到位后,需将反丝反开,使下部的钻杆和下部的反丝钢管留在井内,抽水试验结束后,再下入“反丝脑袋”,将井底的钢管和钻杆提出井内,这一过程中,要求操作者经验丰富、技术水平高,否则可能造成下入时反丝反不开,或者准备提起时,反丝对不上。

1.2 机械压缩双封止水器

成井过程中实施管外分层止水的基础上,在管内对应分层位置下入机械式止水器,对井管内水进行上下分层,并进行相应的分层抽水试验。机械压缩双封止水装置主要分3部分组成,双封止水器、压缩止水器和花眼钻杆,如图3所示。

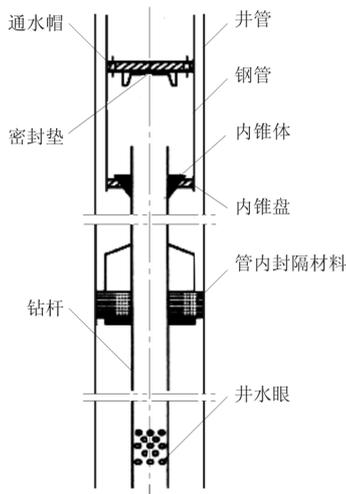


图3 机械压缩双封止水器装置示意图

1.2.1 对隔水层以上含水层进行抽水试验

这套井管内分层止水装置里面的短钻杆是可以活动的,钻杆上面焊接锥体,当钻杆全部下入井底后,继续下放钻具,即往下压使双封止水器往下走,直到短钻杆上部接触密封垫,使下层水进入花眼钻杆后被上部密封垫堵死,此时锥体与内锥盘分开,上层水可以通过它进入抽水装置进行上层水抽水试验,如图4所示。

1.2.2 对隔水层以下含水层进行抽水试验

当对上层水抽水试验结束后,往上提双封止水器,使活动钻探上部与密封垫解封,同时锥体与内锥盘密封,封隔上层水进入抽水装置内部,而下层水可以通过花眼钻杆进入抽水装置内,进行下层水抽水试验,如图5所示。

实践证明,上述工艺与管内架桥封隔止水相比,

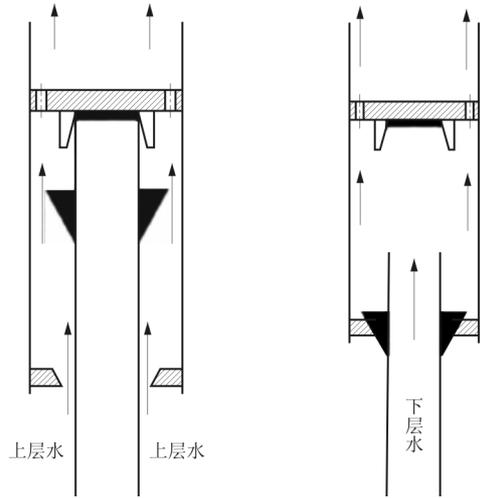


图4 上层水抽水示意图

图5 下层水抽水示意图

整套装置简单,但仍存在压缩止水器管内止水失败、容易损坏、机械开关不易操作、地表对管内水位不能实施监测等一些缺点。

2 新型分层抽水器具

该套分层抽水装置主要由特制充气胶筒式封隔器,水位、水温自动监测仪器、气管、潜水电泵组成。按照试验方案将充气式封隔器通过泵管放置到设计位置后,根据静水压力值调节地表充气压力大小(可选择空压机与储气瓶提供气源),使封隔器在井管内有效座封实现管内上、下层水分层,并可通过地表可视化监测仪数据对管内封隔器工作情况进行实时监测,确保封隔可靠,配合之前成井施工中的分层止水达到上下含水层分隔的效果。

对上层水进行抽水试验,根据抽水试验方案与管外分层止水深度,通过泵管将封隔器置入上、下含水层之间隔水层对应管内位置,抽水机具依次连接方式为潜水泵(水位计)—泵管—封隔器—泵管(水位计),其中下水位、水温自动监测仪器线缆与水泵电缆在封隔器的特制通道中穿过并与封隔器供气管路随泵管引到井口,然后分别与可视化水位、水温自动监测仪器、配电柜、氮气瓶减压阀连接,如图6所示。准备就绪后,调节减压阀到所需压力为封隔器充气,使封隔器膨胀并有效座封后,启动潜水电泵进行正式抽水试验,水位、水温自动监测仪器实时监测水位并存储数据,下水位自动监测仪显示水位无变化,证明封隔器座封可靠。

对下层水进行抽水试验,其抽水机具连接方式

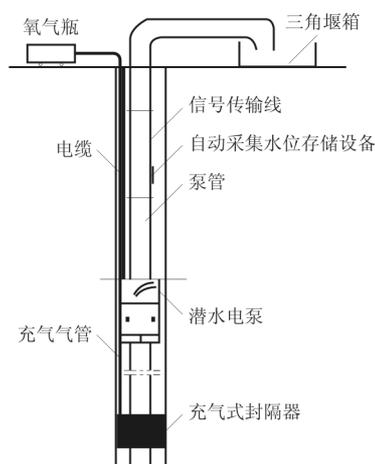


图 6 上层水抽水机具组合连接示意图

为泵管(水位计)—封隔器—泵管(水位计)—潜水泵,如图 7 所示。准备就绪后,按照上述操作对下层水进行抽水试验,下水位自动监测仪显示水位无变化,证明封隔器座封可靠。

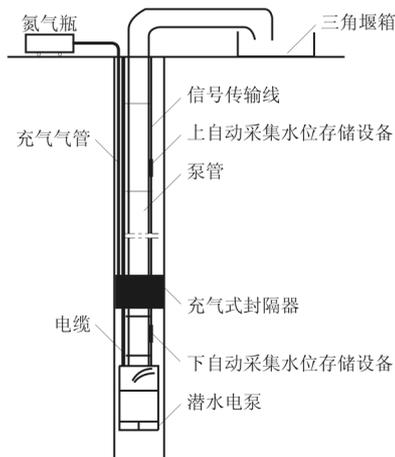


图 7 下层水抽水机具组合连接示意图

实践证明,该套分层抽水装置安全可靠,效果明显,操作简单,满足不同井管规格,宜推广。

3 现场试验及抽水机理研究

本次试验主要是对陕甘宁革命老区 1:5 万水文地质调查项目中 HMT-K11 钻孔进行第四系、第三系分层抽水与混合抽水试验,对比真空分层抽水与常规分层抽水条件下,出水量和水位降深的变化关系;通过对 2 种工况下水位、出水量监测数据对比分析,进一步探讨地层、负压对抽水效果的影响;结合模拟试验与现场数据对分层真空抽水机理进行深入分析。

3.1 场地基本概况

HMT-K11 钻孔采用 XY 系列岩心钻机与大口径反循环水井钻机施工,钻井深度 151 m,成井深度 150 m、管径 500 mm;成井管材采用壁厚 6 mm、管径 273 mm 钢制卷焊管、桥式滤水管,并在井管外侧 110 m 处安装 $\varnothing 75$ mm、壁厚 4.8 mm 的 PVC-U 塑料侧管,分层填砾止水;整个钻孔贯穿第三系、第四系,包含 3 个含水层,其中第三系 2 个含水层,第四系 1 个含水层,第三系和第四系止水位置在 60~72 m;钻探取心及物探测井揭示地层岩性为:0.00~19.00 m 为粉质粘土;19.00~33.00 m 为泥质粉细砂与粉质粘土互层;33.00~52.00 m 为砂砾石;52.00~80.00 m 为泥岩夹薄层泥质粉砂岩;80.00~102.00 m 为泥质砂砾岩;102.00~120.00 m 为泥岩;120.00~140.00 m 为泥质粉砂岩;140.00~151.00 m 为粉砂岩。

下管:根据地质岩心编录和测井解译地层情况及含水层位置,排列下入管径 273 mm 井管为 150~138 m 为沉淀管;138~114 m 为滤水管;114~102 m 为井管;102~78 m 为滤水管;78~54 m 为井管;54~24 m 为滤水管;24~+0.3 m 为井管;下入管径 75 mm PVC-U 塑料侧管,110~+0.3 m。

填砾、止水:井壁管与孔壁之间填入粒径 5~15 mm 的卵石砾料及直径 15 mm 的机制粘土球止水材料,返浆投砾填入深度为 150~72、60~5 m;止水材料填入深度为 72~60、5~0 m。HMT-K11 分层成井结构如图 8 所示。

岩层深度/m	地质剖面及水井结构图	岩性
19.0	$\varnothing 500$ $\varnothing 273$	粉质粘土
33.0		泥质粉细砂与粉质粘土互层
52.0		砂砾石
80.0		泥岩夹薄层泥质粉砂岩
102.0		泥质砂砾岩
120.0		泥岩
140.0		泥质粉砂岩
150.0		粉砂岩

图 8 HMT-K11 井分层成井结构图

3.2 分层抽水出水量、水位随时间的变化过程

通过对井管外侧侧管的开启与封堵,对应实现常规分层抽水与真空分层抽水工法,对第三系含水层进行抽水对比试验。

图9、图10分别是常规分层抽水和真空分层抽水条件下,水位随时间的变化曲线。从图9(a)、图10(a)水位自动监测曲线可以看出,在分层抽水过

程中封隔器上部水位没有变化,证明该套分层抽水器具工作稳定,封隔效果安全可靠;从图9(b)、图10(b)水位自动监测曲线可以看出,常规分层抽水与真空分层抽水,水位随时间的变化趋势一致,但在真空负压作用下,同等条件下真空分层抽水降深较大。

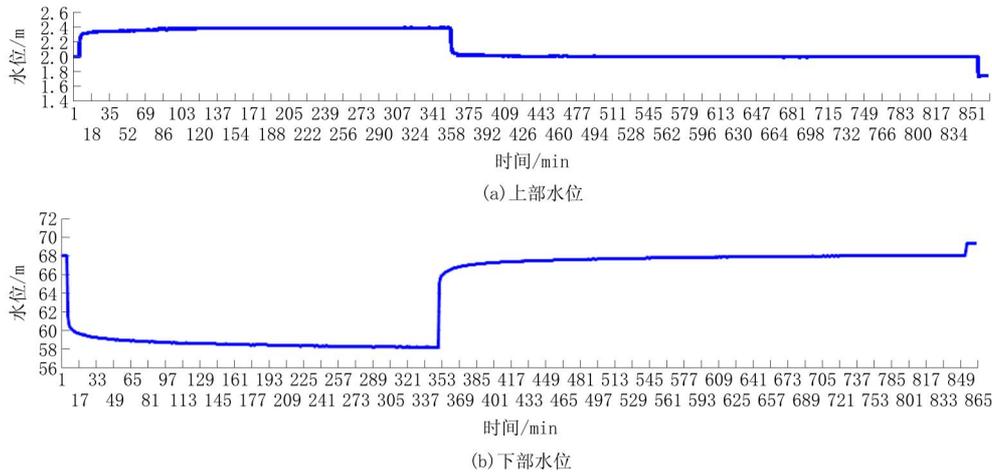


图9 常规分层抽水封隔器水位自动监测曲线

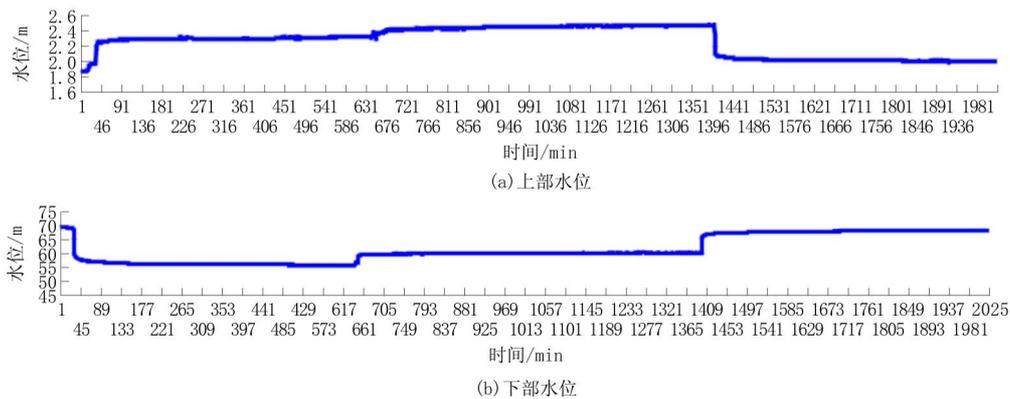


图10 真空分层抽水封隔器水位自动监测曲线

图11、图12分别是常规分层抽水和真空分层抽水条件下,对应的水位、出水量随时间变化的对比曲线。从图11、图12可以看出,真空分层抽水试验条件下的水位降落漏斗深度要远大于常规分层抽水试验条件下的水位降落漏斗深度,说明真空负压作用加速了抽水速率,并且使主井附近水位能够很快降低,增加主井与较远地层之间的水力坡度差,从而使水位降低速度增加,降落漏斗深度增大,出水量也更大,从而抽水效果更好^[4-8];现场试验结果表明,在经历一段时间抽水,真空分层抽水工况下出水量会出现较大的上升过程而水位出现明显的下降,这

一现象与地层中细小颗粒在真空负压作用下,随着水的渗流迁移至抽水井外导致地层的渗透性增大有关。从现场试验可看到,在常规抽水洗井至水清砂净后,再使用分层分段洗井,排出的水非常浑浊,而后来随着排出水逐渐变得清澈,出水量也相应变大。

3.3 地层对分层抽水效果的影响

HMT-K11井成井完成后,立即下入潜水电泵自井内由下向上进行分段常规抽水洗井,洗至水清砂净;之后对HMT-K11钻孔第三系上段(80~102 m)与第三系下段(120~140 m),对应地层分别为泥质砂砾岩与泥质粉砂岩,进行真空分层抽水洗井,

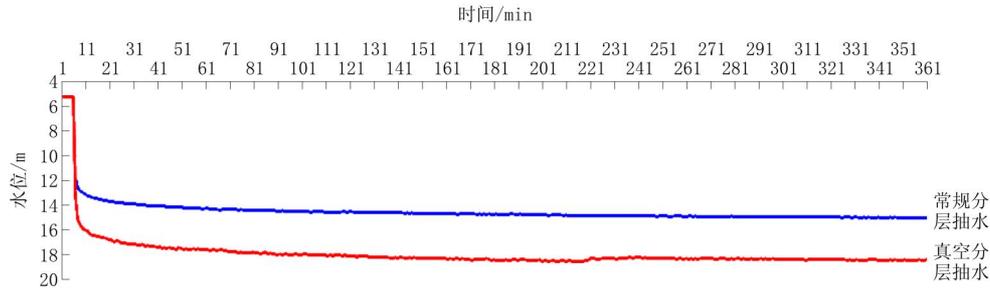


图11 真空、常规分层抽水水位随时间变化对比曲线

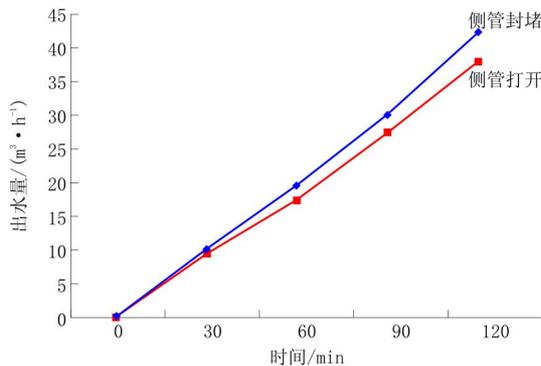


图12 真空、常规分层抽水出水量随时间变化对比曲线

并与常规抽水洗井进行对比,现场试验现象证明泥质粉砂岩地层分层抽水洗井效果好于泥质砂砾岩地层,由此说明井管内真空负压的形成与保持与含水层的土性有关,渗透性低的含水层真空负压的形成与保持好于渗透性好的含水层。

4 结语

(1)新型分层抽水试验器具与常规分层抽水装置相比,安全可靠、经济实用、操作简单、满足不同井管规格、系列化、适宜推广。

(2)新型分层抽水试验器具在分层抽水过程中,在井管内形成负压,地下水在真空负压与重力共

同作用下(真空场和渗流场叠加)向井管汇集;井管周围由近到远存在真空扰动区、真空和重力场叠加区、重力场区,其抽水效果明显优于传统管井抽水。

(3)井管内真空负压的形成与保持与含水层的土性有关,渗透性低的含水层真空负压的形成与保持好于渗透性好的含水层。

参考文献:

- [1] 张建良. 关于分层抽水试验的技术改进[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 36(4): 156-159.
- [2] 郭丽娟. 水文地质勘探孔分层抽水试验技术实践[J]. 科技创新与应用, 2013, 27: 291-291.
- [3] 王淑梅. 利用单井进行多含水层分层抽水试验的方法[J]. 煤炭技术 2007, (8): 104-105.
- [4] 汪国锋, 潘秀明, 王贵和, 等. 真空深井降水技术及其在北京地铁施工中的应用研究[J]. 岩土工程技术, 2006, 20(4): 173-178.
- [5] 定培中, 肖利, 李威, 等. 深厚透水性地层中大型深基坑降水方案设计探讨[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(2): 46-49.
- [6] 丁贞东, 武亚军, 邹道敏. 吹填淤泥质土井点降水模型试验研究[J]. 建筑科学, 2010, 26(7): 22-25.
- [7] 聂庆科, 王英辉, 白冰, 等. 单井点和单排井点布置的真空降水现场试验及比较研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(2): 481-489.
- [8] 周琦, 刘汉龙, 顾长存. 真空预压条件下地下水位和出水量现场测试研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(11): 3435-3440.