

关于水文地质水井钻探工程中新型 自动解垢过滤器的分析研究

汤凤林^{1,2}, 沈中华², 段隆臣¹, 彭莉², ЧИХОТКИН В.Ф.¹

(1.中国地质大学(武汉),湖北武汉 430074; 2.无锡钻探工具厂有限公司,江苏无锡 214174)

摘要:水文地质钻探、水井钻探是探矿工程的重要组成部分。随着水资源需求量的增加和生态环境保护要求的提高,水文地质和水井钻探工程显得更为重要。在其成井过程中,常见过滤器腐蚀结垢,直接影响井眼进水量和抽水效果,甚至导致过滤器和井眼报废。俄罗斯南方国立技术大学 Третьяк А.Я.教授等人发明了自动解垢过滤器,解决了过滤器腐蚀结垢问题。

关键词:水文地质钻探;水井钻探;过滤器;腐蚀;结垢;磁化处理;自动解垢

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)07-0056-06

Analytical Research on Automatic Scale-handling Filter Used in Hydrogeological and Water Well Drilling Engineering/
TANG Feng-lin^{1,2}, SHEN Zhong-hua², DUAN Long-chen¹, PENG Li², CHIKHOTKIN V.F.¹(1.China University of Geosciences(Wuhan), Hubei Wuhan 430074, China; 2.Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: Hydrogeological and water well drilling are important parts of exploration engineering. With the increasing demand of underground water resources and requirement intensification of ecology and environment protection, the hydrogeological and water well drilling engineering become more important. In the well completion process, corrosion and scaling of the filter are often encountered, which directly affect the wellbore influent amount and pumping effect, and even lead to the filter being scrapped and water well abandoned. Prof. Третьяк А.Я., who works in National University of Technology in Southern Russia, and some others have invented a new automatic scale-handling water filter and resolved the filter corrosion and scaling in the drilling process.

Key words: hydrogeology drilling; water well drilling; filter; corrosion; scaling; magnetization treatment; automatic scale-handling

0 引言

水文地质钻探、水井钻探是钻探工程的一个分支,是钻探工程的重要组成部分。近年来,随着水资源需求量的增加和生态环境保护要求的提高,服务范围更为广泛,水文地质、水井钻探工程显得更为重要、更为突出。

在水文地质、水井钻探工程的成井工艺中,要求将含水层(目的层)中的水能够经过疏通自由地进入井内;要求封闭或隔离非目的层,以防止地下含水层的水互相串通或污染含水层。疏通目的层,通常是对准目的层安装过滤器,通常称之为滤水管。成井工艺中,很多工艺问题都是围绕过滤器展开的。

在水文地质成井和使用过程中,常见过滤器腐蚀结垢,直接影响井眼进水量和抽水效果。过滤器

腐蚀是指安装在井内的过滤器,由于化学作用而使过滤器管材遭受蚀耗而破坏;结垢是指管材表面上沉淀一层胶结层,具有一定的强度,甚至在其周围形成胶结带。多数情况下,腐蚀和胶结同时发生,常常会直接导致过滤器乃至水井的报废。最新统计表明,金属腐蚀结垢对国民经济造成的损失是很大的,美国国际标准局(NBS)调查表明,美国一年因金属腐蚀而造成的损失高达 700 亿美元,还不包括地下金属井管的腐蚀所造成的损失。如果把后者考虑在内,则其造成的损失将会更大^[1-11]。

1 对过滤器的基本要求

(1)具有最大的进水面积,以减少地下水经过时遇到的阻力。过滤器阻力越小,地下水在此流速变

收稿日期:2018-04-12; 修回日期:2018-06-21

基金项目:江苏省江苏双创团队资助项目(编号:苏人才办[2014]27号)

作者简介:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院院士、俄罗斯自然科学院院士、国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路 388 号,ftang_wuhan@aliyun.com。

化越小,发生结垢的可能性越小,因此可以延长过滤器的使用年限。

(2)具有足够大的机械强度,可以满足安装过滤管时的负荷和抵抗地层的压力。

(3)具有最大限度的抗腐蚀能力和不因过滤器被腐蚀而影响对水质的卫生要求。

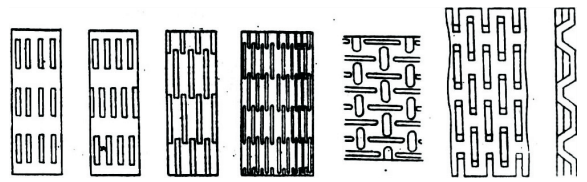
(4)具有良好的滤水、挡砂能力,过滤孔眼不易被地层中的物质堵塞。

(5)安装方便,成本低廉,取材容易,等等。

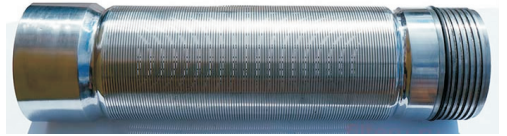
2 常用过滤器的类型

过滤器的类型很多,不同地层使用不同的过滤器。主要类型有^[2]:

(1)骨架式过滤器,是在各种材料的井管上用钻孔、模压、焊割、铣切等方法,开有圆孔或条缝作为进水通路。这种过滤器的类型通常有圆孔式过滤器(见图 1)、条缝式过滤器(见图 2)、筋条式过滤器(见图 3)。



(a) 中国



(b) 俄罗斯

图 2 条缝式过滤器

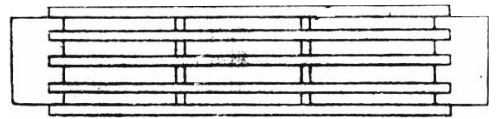
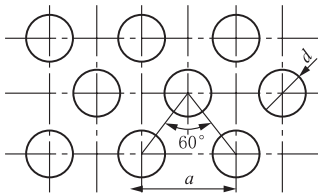
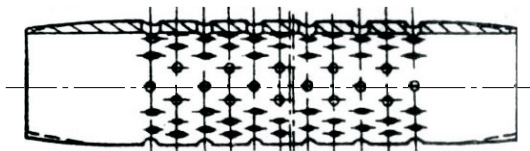


图 3 筋条式过滤器



(a) 中国



(b) 俄罗斯

图 1 圆孔式过滤器

(2)缠丝过滤器(见图 4),是在骨架过滤器(管)外缠以金属丝而成。金属丝的断面可以是梯形、圆形或三角形,以梯形为好。缠丝时,梯形上底向内,下底向外,使滤水孔断面成 V 形。

(3)包网过滤器(见图 5),与缠丝过滤器相同,只是在外表不是缠丝,而是包以滤网的过滤器。

(4)砾石过滤器(见图 6),选取合适的砾石并充



(a) 中国



带孔眼的过滤管

缠丝

(b) 俄罗斯

图 4 缠丝过滤器

填于骨架管和含水层之间,形成一个人工砾石过滤层,以增大水井的过滤半径。

(5)贴砾过滤器(见图 7),在骨架外将砾料、粘合剂、石膏等物质,按一定比例在模具里加压、固化而成。

(6)玻璃钢过滤器(见图 8),是采用热固性树脂浸渍玻璃纤维、机械绕缠一次成型的过滤器,滤水孔眼是玻璃纤维架桥式结构。

(7)塑料过滤器(见图 9),具有成本低、成型快和

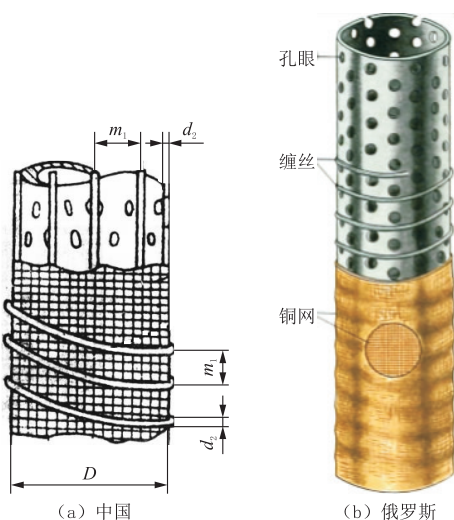


图5 包网式过滤器

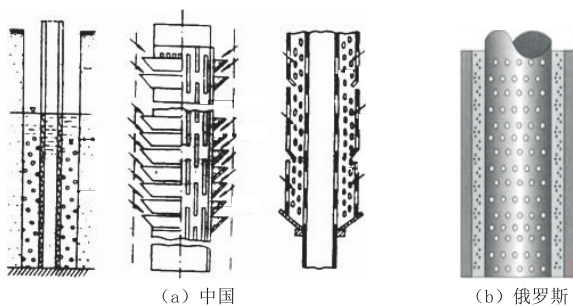


图6 砾石过滤器



图7 贴砾过滤器



图8 玻璃钢过滤器

适应性好等特点。

在农田灌溉水井中,还使用石棉水泥过滤器、水泥砾石过滤器、炉渣水泥过滤器等,其主要特点是制造容易、成本低廉,但是质量大。



(a) 中国



(b) 俄罗斯

图9 塑料过滤器

3 过滤器使用中遇到的问题

过滤器使用中遇到的主要问题是腐蚀和结垢。腐蚀是指安装在井内的管材,在外加因素的作用下,主要是由于化学作用而使管材遭腐蚀而破坏。结垢是指在管材表面沉淀一个胶结层,这个胶结层具有一定强度,甚至在其周围形成一个胶结带。多数情况下,腐蚀和结垢同时发生。这是一个错综复杂的过程,与地下水含有的离子有关,也与管材的材质和加工结构有关。

化学腐蚀主要是由于管材在地下水中发生了离子交换作用。与管材发生化学作用的物质主要有:氧、二氧化碳、硫化氢、盐酸、氯和硫酸等,其中氧最活跃,可以形成 $2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 2CaO 、 2MgO 、 $2\text{Al}_2\text{O}_3$ 等。这些生成物与水中的 $[\text{OH}]^{-1}$ 进一步反应生成复杂的 $[\text{Fe}(\text{OH})]_K$, 可以形成胶结沉淀物。

地下水常常含有二氧化碳和重碳酸盐,高压时溶于水。抽水时,滤水管附近形成低压区,失去原来的压力平衡,二氧化碳以气态逸出,使水中的碳酸氢钙转化为碳酸钙,以沉积方式堆积在滤水管的周围,影响过滤层的孔隙,使进水面积减小,压头损失增高,压力差更大,会使过滤层很快报废。

硫化氢对金属的腐蚀作用,称为氢脆,可以引起

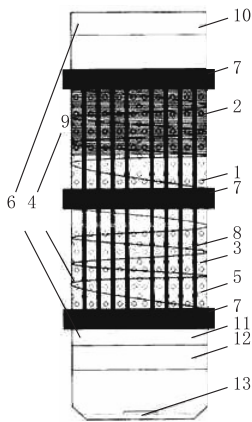
管材金属脆裂。

4 自动解垢过滤器^[12-15]

这是俄罗斯南方国立技术大学发明的一种新型装有磁铁的过滤器,取得了俄罗斯发明专利。

4.1 过滤器的组成

该过滤器的组成(见图 10)包括有:由非磁材料聚乙烯或丙烯制成并带有孔眼的骨架管、过滤水套、支撑部分、绕丝、支柱型垫圈和接头。在带有孔眼的骨架管上,装有环状永久磁铁,是过滤器的对中件,永久磁铁之间有一定距离。过滤器水套上的绕丝有内层和外层,由相同剖面、相同非磁材料卡普纶(聚己丙酰胺纤维)绳制成。绕丝内层每圈之间有一定距离,绕丝外圈每圈之间比较紧密。接头分为上接头和下接头。过滤器配有沉淀室,沉淀室与下接头和位于过滤器下部的冲洗阀连接。环状永久磁铁之间的距离,根据过滤器的直径、磁场的矫顽力和强度确定。



1—骨架管;2—过滤水套;3—支撑部分;4—绕丝;5—支柱型垫圈;6—接头;7—环状永久磁铁;8—绕丝内层;9—绕丝外层;10—上接头;11—下接头;12—沉淀室;13—冲洗阀

图 10 自动解垢过滤器

绕线的内层各圈剖面的形状为梯形或波浪形,小头绕在带有孔眼的骨架管上。绕线的外层各圈剖面的形状为波浪形或呈人造布网状剖面。

垫圈和绕线的内层用来增加过滤器的多孔性。绕线的外层用来过滤通过过滤器的水和阻砂。

4.2 过滤器工作原理

水是由一个带负电的氧离子和两个带正电的氢离子组成的。由于氢和氧分布不对称,所以在接近氧原子的一端形成负极,接近氢原子的一端形成正极,成为偶极分子。岩土与水接触时,组成结晶格架的盐类离子,被水分子带相反电荷的一端所吸引。

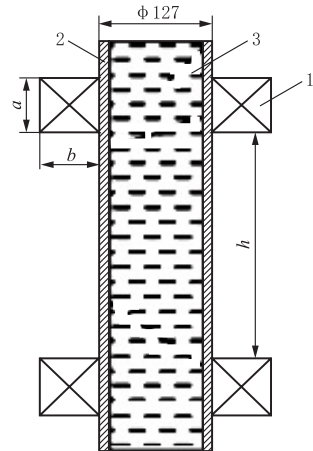
当水分子对离子的引力足以克服结晶格架中离子间的引力时,离子脱离晶架,被水分子包围,溶入水中。

实际上,当矿物盐类与水溶液接触时,同时发生两种方向相反的作用:溶解作用和结晶作用。前者使离子由结晶格架转入水中,后者使离子由溶液中固着于晶体格架上。随着溶液中盐类离子的增加,结晶作用加强,溶解作用减弱。当同一时间内,溶解和结晶的盐量相等时,溶液达到饱和。不同盐类,结晶格架中离子间的吸引力不同,因而具有不同的溶解度。

见图 10,当水通过绕丝的水套时,被永久磁铁磁化。当磁力线穿过水时,磁场对水的偶极施加定向磁化作用,硬盐的阳离子不是析出在过滤器的表面上,而是析出在通过过滤器的水中。利用这种新型过滤器,依靠永久磁铁产生的磁场作用,使结垢沉积物析出于水中,而不是过滤器表面上,起到了自动解垢的作用,过滤器中使用天然磁铁是个创新。

4.3 磁铁性能分析及其选择^[13]

研制出了磁化系统,见图 11。



1—永久磁铁(ΠМ);2—聚氯乙烯管;3—干式酸剂溶液;a—永久磁铁高度;b—永久磁铁厚度;h—两个永久磁铁间的距离

图 11 磁化系统纵剖剖面图

对磁铁进行了模拟。永久磁铁的结构,根据对现有类型磁铁的分析和初步模拟结果,选用了带有 4 个磁极的永久磁铁结构作为磁化系统的基础(见图 12)。

在选用位于上下安排的两个磁铁的磁极布置时,一定要考虑保证它们的相互作用,以便不仅保证在永久磁铁内径内的溶液内产生磁场,还要保证在没有磁铁的滤管部分内产生磁场(见图 13)。图内的虚线表示的是永久磁铁两个磁极间的闭合磁流线。

对磁铁材料进行了模拟。在模拟永久磁铁材料时,考虑了 2 种方案:

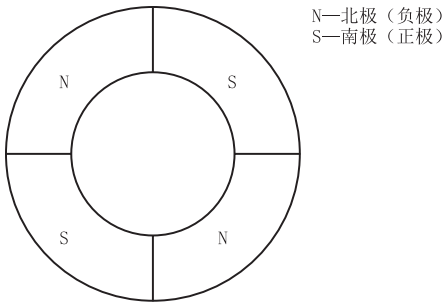


图 12 永久磁铁中磁极的布置

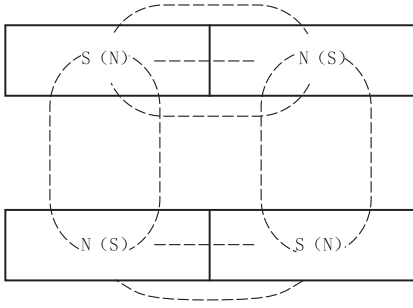


图 13 磁铁 N、S 磁极的相对布置图

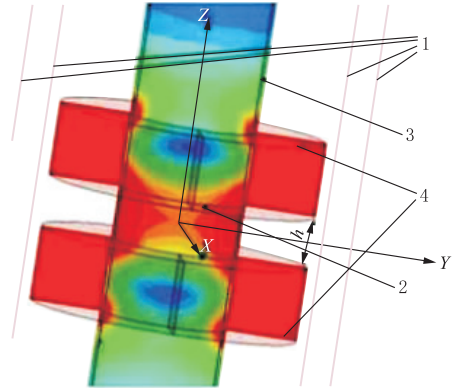
第一种方案是使用 NdFeB(钕-铁-硼)磁铁,这是一种稀土磁铁,其特点是磁性强和价格低。其缺点是温度稳定性较低,非常容易腐蚀。为了克服此缺点,在 NdFeB(钕-铁-硼)磁铁上涂覆了锌、镍、铜或这些材料的组合。

第二种方案是使用 SmCo(钐-钴)合金,这种合金具有非常好的磁性性能,即具有很高的剩磁感应性能,很大的矫顽力和很高的温度稳定性,在腐蚀过程中还有很好的稳定性。其缺点是价格高、脆性大。

4.4 磁场强度及其与两个电极间距离的关系

对磁场强度与上下两个磁铁距离的关系,进行了计算研究,见图 14 和图 15^[13]。

磁场强度在穿过磁化系统的 YZ 平面上的分布用不同颜色表示。两个磁铁之间的距离 $h=150\text{ mm}$,磁场在水中两个磁铁间的强度 $H \geq 89.3\text{ kA/m}$ 。



1—计算范围的边界;2—水;3—聚乙烯管;4—永久磁铁

图 15 磁场强度在穿过磁化系统的 YZ 平面上的分布图

磁场强度在穿过磁化系统的 YZ 平面上的分布用不同颜色表示。两个磁铁之间的距离 $h=50\text{ mm}$,磁场在水中两个磁铁间的强度 $H \geq 196\text{ kA/m}$ 。

磁场强度 H_n 计算结果见表 1。

表 1 磁场强度 H_n 计算结果^[13]

| 序号 | 两个磁铁间的距离 h/mm | 磁场强度 $H_n/(\text{kA} \cdot \text{m}^{-1})$ |
|----|------------------------|--|
| 1 | 50 | 260.5 |
| 2 | 100 | 162.5 |
| 3 | 150 | 100.0 |
| 4 | 200 | 56.9 |
| 5 | 250 | 34.3 |
| 6 | 300 | 20.6 |

图 16 是断面为 $a=70\text{ mm}$ 和 $b=70\text{ mm}$ 的 NiFeB35 合金永久磁铁磁场强度 H_n 和两个磁铁间距 h 的关系 $H_n(h)$ 曲线图。

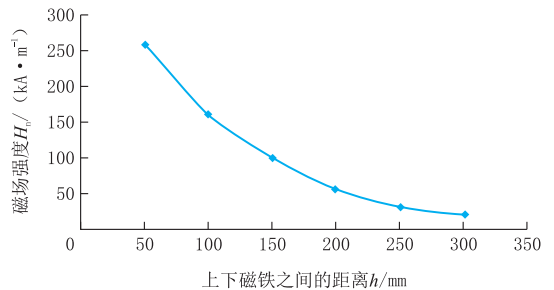
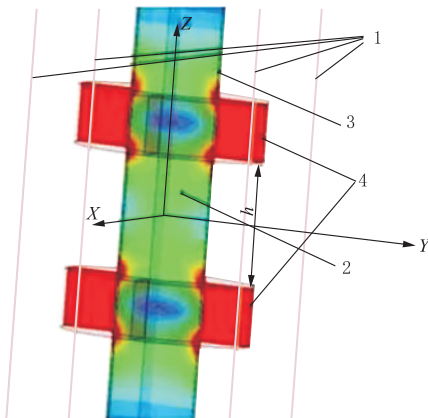


图 16 磁场强度与磁铁间距的关系图

4.5 实验研究得到的结果^[12-15]

(1) 利用安装在过滤器骨架上的永久磁铁,可以使进入水文地质钻孔中的水被磁化,方法简单、有效。

(2) 对水进行磁化处理,应该在水被极性变化的



1—计算范围的边界;2—水;3—聚乙烯管;4—永久磁铁

图 14 磁场强度在穿过磁化系统的 YZ 平面上的分布图

磁场磁力线垂直作用下流动时进行。

(3)磁化处理的效果取决于水的性质、水的浓度、硬度、温度、pH 值,也与磁化处理的条件有关,即与两个磁铁间的磁场强度、水流穿过的磁极对数、水流速度有关。其中一个参数的变化,会导致其它参数最优值的变化。

(4)为了保证水中磁场强度 H 最大,永久磁铁的尺寸的规格应该最大,即 $a=70\text{ mm}$ 、 $b=70\text{ mm}$,两个永久磁铁间的距离 h 应该最小。

(5)可以使用 SmCo28 合金或带有防腐涂敷的 NiFeB35 合金,作为制作永久磁铁的材料。

(6)为了保证位于非磁材料(聚乙烯)制成的管内的水中,两个 NiFeB35 合金永久磁铁之间的磁场强度 H 不低于 $H_1=87.5\text{ kA/m}$,两个磁铁间的距离 h 不应超过 $h_1=150\text{ mm}$ 。

(7)为了保证在两个 NiFeB35 合金永久磁铁之间的磁场强度 H 不低于 $H_2=175\text{ kA/m}$,两个磁铁间的距离 h 不应超过 $h_2=60\text{ mm}$ 。

(8)为了保证在两个 SmCo28 合金永久磁铁之间的磁场强度 H 不低于 $H_1=87.5\text{ kA/m}$,两个磁铁间的距离 h 不应超过 $h_3=130\text{ mm}$ 。

(9)为了保证在两个 SmCo28 合金永久磁铁之间的磁场强度 H 不低于 $H_2=175\text{ kA/m}$,两个磁铁间的距离不应超过 $h_4=50\text{ mm}$ 。

5 讨论和建议

根据上述资料,可以做如下讨论和建议。

(1)随着水资源需求量的增加和生态环境保护要求的提高,水文地质钻探和水井钻探工程显得非常重要。在其成井和抽水过程中,必须使用不同类型的过滤器(滤水管),所以过滤器成了上述钻井工程中的重要器具。

(2)过滤器使用中,常常见到的问题是管材腐蚀结垢,直接影响井眼进水量和抽水效果,甚至导致过滤器和井眼报废。所以过滤器的类型、性能和使用效果是非常重要的技术指标,应该引起我们的注意。

(3)俄罗斯南方国立技术大学 Третьяк А.Я. 教授等多年从事水文地质和水井钻探方面的工作,积累很多经验,发明的自动解垢过滤器,使用永久磁铁,对水产生磁化作用,解决了过滤器腐蚀结垢问题。这是一项专利技术,取得了俄罗斯发明专利,专利号为 2478775^[16-20]。

(4)这项技术提供了建议使用磁铁的型号、安置的位置,给出了磁化系统图,指出了磁场强度与上下两个磁铁距离的关系,为我们试验研究自动解垢过滤器创造了有利条件。

(5)上述自动解垢过滤器,虽然目前尚无形成产品推广使用,但是利用对水的磁化作用,来解决过滤器腐蚀和结垢问题,在思路是个创新,具有一定的理论意义和实用价值。

参考文献:

- [1] 王大纯,等.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,1986.
- [2] 武汉地质学院,等.钻探工艺学(下)[M].北京:地质出版社,1981.
- [3] 刘志国,等.水文水井钻探工程技术[M].河南郑州:黄河水利出版社,2008.
- [4] 汤凤林,Чихоткин В.Ф.,蒋国盛,等.加强钻孔水力开采技术研究,拓宽探矿工程发展空间[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):1-8.
- [5] 朱恒银,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
- [6] 卢予北,李艺,陈莹,等.国家地下水监测井建设关键技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):1-6.
- [7] 吴跃钢,徐菁.无固相弱凝胶钻井液在水井施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):261-264.
- [8] 郑继天,李小杰,关晓琳.水文地质钻探冲洗液的选用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):242-244.
- [9] 汤凤林,А.Г.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [10] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.各向异性岩石破碎过程分析及其钻进用钻头设计研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):83-88.
- [11] 汤凤林,等.关于切削型多节式刮刀钻头的分析研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):88-92.
- [12] Самоочищающийся скважинный фильтр:俄罗斯,№2618748[P].
- [13] Скважинный фильтр:俄罗斯,№2478775[P].
- [14] Скважинный фильтр:俄罗斯,№2453682[P].
- [15] Скважинный фильтр с альтернативными путями потока:俄罗斯,№22141028[P].
- [16] Скважинный фильтр и способ его изготовления:俄罗斯,№22141038[P].
- [17] Скоромных В. В. Разрушение горных пород при бурении[M]. Красноярск:Изд.-ствоСФУ,2014.
- [18] Третьяк А. А. и др. Технолгия упрочнения буровых коронок[J]. Горный информационно - аналитический бюллетень, 2016, (10):121-130.
- [19] Третьяк А. А. и др. Упрочнение буровых коронок, армированных алмазно - твердосплавными пластинами[J]. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море,2016(10):24-28.
- [20] Третьяк А. А. и др. Определение рациональных значений рабочих углов армирующих элементов буровых коронок[J] Деловой журнал Neftegaz.ru,2017,(3):46-49.
- [21] Третьяк А. А. и др. Влияние конструктивных особенностей коронок, армированных алмазно - твердосплавными пластинами, на эффективность бурения горных пород[J]. горный журнал, 2018,(2):30-34.