

DOI: 10.11779/CJGE2016S1017

可拆换过滤器在排水管井中的应用

定培中^{1, 2}, 周密^{1, 2}, 张伟^{1, 2}, 朱国胜^{1, 2}

(1. 水利部岩土力学与工程重点实验室, 湖北 武汉 430010; 2. 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 排水管井作为一种渗流控制措施, 在水利工程中应用广泛。但管井容易发生淤堵, 为延长其使用寿命, 根据已有淤堵机理研究成果, 提出一种新型可拆换过滤器应用于排水管井。其工作原理是通过在传统排水管井壁内设置一个可拆换的多孔泡沫塑料过滤器, 使部分物理淤堵物和大多数化学及生物淤堵物沉积于多孔泡沫塑料过滤器内。当过滤器在受到淤堵后通过对对其进行更换或清洗, 可恢复管井的排水能力。在水利工程坝基排水孔、堤防工程减压井以及航道岸坡水平排水孔等方面的应用成果表明可拆换式过滤器可以大幅延缓排水管井的使用寿命, 改善其排水效果, 使用前景十分广阔。

关键词: 可拆换过滤器; 排水管井; 淤堵; 减压井; 水平排水孔

中图分类号: TV233.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2016)S1-0094-05

作者简介: 定培中(1971-), 男, 高级工程师, 主要从事岩土工程等方面的科研。E-mail: marco.ding@126.com。

Application of removable filters in drainage wells

DING Pei-zhong^{1, 2}, ZHOU Mi^{1, 2}, ZHANG Wei^{1, 2}, ZHU Guo-sheng^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Gotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Drainage well is a widespread application of seepage control in water conservancy projects. However, the well is prone to clogging. To extend its life, a removable filter is applied to the drainage well according to the research findings of clogging. The working principle is to make part of physical clogging or most of chemical and biological clogging occur in the removable porous foamed plastic filter which is placed in the drainage well. The filter can be taken out to clean or alternate to regain its drainage ability. The applications in dam foundation drainage holes, relief wells of dikes and horizontal drainage holes of channel banks show that the removable filters can extend the life of drainage wells significantly and their future is prosperous.

Key words: removable filter; drainage well; clogging; relief well; horizontal drainage hole

0 引言

水利工程中, 为了降低大坝、堤防、水工建筑物等透水地基中的地下水压力, 常采用排水减压管井系统作为处理透水堤基渗控措施并获得了显著的效果^[1-2]。然而, 多年来的工程实践表明, 排水减压管井的淤堵是导致其排水能力降低甚至完全失效的主要原因。例如安庆江堤丁马段, 在20世纪80年代至90年代布置了105口减压井, 到1999年对其运行状况进行调查及观测数据分析, 发现只有一半数量减压井仍能正常发挥作用, 其它减压井由于产生了淤堵, 排水能力严重降低, 甚至完全失效^[3]。

吴昌瑜等^[4]认为, 导致排水减压井(孔)淤堵的原因大致可分为机械(物理)、化学、生物、综合等四类。机械(物理)淤堵是被保护土体中的细颗粒在一定水力条件下, 移动、穿越粗颗粒形成的孔隙进入反

滤层, 或与反滤层接触带处的土体产生整体流土并进入反滤层, 使反滤层排水能力显著降低。化学淤堵是由于岩土在水环境条件的作用下, 产生溶解、水解、离子交换与吸附、水化、氧化还原反应, 使内含化学物质随水流带入减压井或排水孔中沉淀, 淤堵其反滤层。生物淤堵是排水井中微生物的活动产生的胶体状物质堵塞减压井或排水孔的反滤层。综合型淤堵是指以上多个因素相伴出现造成淤堵。

研究表明^[5-6], 物理淤堵物, 例如淤泥、粉细砂及其它来自土层中的细颗粒, 集中于排水管井外部的粗粒料滤层中, 而由氢氧化铁或碳酸盐等组成的化学淤堵物及铁细菌及其它有机生物则聚集于管井壁或滤层

内部。因此, 传统的高压注水冲洗或者用含有氯或过氧化氢等氧化剂的水流冲洗管井的方法不能有效地清除所有的淤堵物质。随时间推移, 管井的排水能力仍处于不断下降的过程中。

1 可拆换过滤器

为减缓淤堵和延长排水管井的寿命, 笔者设计了可拆换过滤器应用于排水管井中。可拆换式过滤器并不是固定安装在井内, 而是可以拔出和更换。其主要结构见图 1, 主要由高强度的 PVC 或 PE 管材外包多孔泡沫塑料过滤体组成。过滤器长度可按工程环境及安装机具确定, 每根过滤器之间用螺栓连接。多孔泡沫塑料由聚醚型聚氨酯加入发泡剂制成, 具有高孔隙性、高弹性和抗腐蚀性; 同时重量轻, 易于安装和拆换。多孔泡沫塑料的外侧还可根据具体工程的反滤要求包裹一层透水性土工布使之能对某一具体粒径组的土颗粒起到反滤保护作用。

可拆卸式过滤器的工作原理是通过在传统排水管井壁内设置一个可拆卸的多孔泡沫塑料过滤器, 使部分物理淤堵物和大多数化学及生物淤堵物沉积于多孔泡沫塑料过滤器内。当过滤器在受到淤堵后通过对对其进行更换或清洗, 可恢复管井的排水能力。从而延长了排水管井的使用寿命。

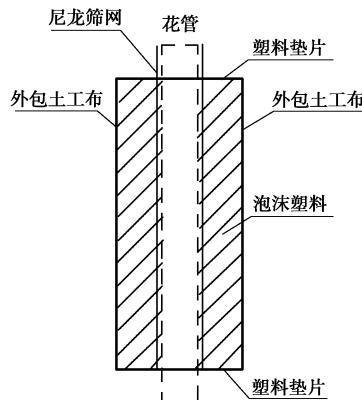


图 1 可拆换式过滤器结构示意图

Fig. 1 Structure of removable filter

2 可拆换过滤器应用效果

可拆换式过滤器曾先后应用于葛洲坝、向家坝水利枢纽坝基排水孔过滤体、长江堤防工程减压井等水利工程。并在近年进一步发展, 用于长江河道岸坡整治工程水平排水孔中, 以下对其工程应用情况分别进行介绍。

2.1 坝基排水孔

葛洲坝水利枢纽大坝基础布置大量排水孔以降低坝基扬压力。坝址基础存在软弱夹层, 主要为普遍泥

化或局部泥化的黏土岩夹层, 其含泥量高, 亲水性强, 遇水易软化, 力学强度低。且分布范围广, 延伸深远, 对建筑物抗滑稳定起控制作用, 也是基础防渗处理的重点对象。

为了防止基础软弱夹层发生渗透变形继而破坏基础正常工作条件, 危害建筑物安全, 在葛洲坝基础排水孔中都采用了可拆换过滤器放置在排水孔中软弱夹层相应位置, 一方面对软弱夹层中渗流带出的粒径大于 0.1 mm 的物质颗粒起过滤作用, 防止夹层发生渗透破坏, 另一方面也可以对夹层处的排水孔孔壁起一定的支撑作用^[7]。

葛洲坝坝基排水孔可拆换过滤器结构见图 2。过滤器由带孔眼的改性聚丙烯硬质塑料管作为滤水管, 其内径 48 mm , 壁厚 6 mm ; 聚醚型聚氨酯泡沫软塑料外包内衬涤纶工业过滤布作为过滤层; 软塑为外径 210 mm , 内径 62 mm 的圆柱体, 中间套包有过滤筛网的滤水管, 由外包的工业过滤布压缩成 $\phi 148\text{ mm}$ 的圆柱体。用水溶性胶黏结成型, 并用外径为 148 mm , 内径 62 mm 的圆形聚丙烯塑料垫片分隔开。根据需要保护的夹层厚度予以装配成型。由于组装成型的过滤体直径小于排水孔的孔径 ($\phi 150\text{ mm}$) 因此可以顺利地下放道孔内预计需要保护的夹层部位, 当过滤器浸水 $10\sim20\text{ h}$ 后, 水溶性胶溶解, 泡沫软塑料膨胀回弹将工业过滤布紧贴于孔壁, 对软弱夹层起到反滤保护与支撑作用。图 3 为组装完成待安装入排水孔的可拆换式过滤器。

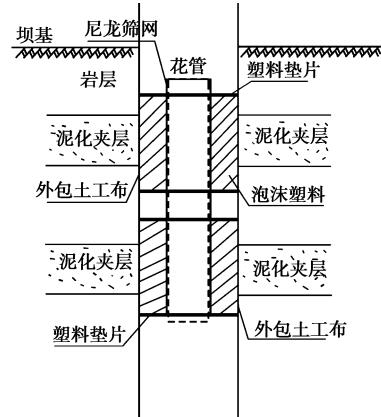


图 2 葛洲坝坝基排水孔过滤体结构示意图

Fig. 2 Layout of drainage hole filters of foundation of Gezhouba Dam

葛洲坝一期工程基础排水孔软弱夹层保护孔数为 174 个, 滤水管总长度为 25818 m , 可拆换式过滤器长度为 7470 m 。自 1981 年投入运行以来, 可拆换式过滤器最长运行时间已有 30 余年。在 1983 年、1991 年、1995 年和 2005 年曾对部分基础排水孔的过滤体进行起拔检查。最近一次 (2005 年) 检查结果表明可

拆换式过滤器在运用 20 多年以后,没有发现明显的淤堵现象,渗透性仍为 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ cm/s,基本没有变化,见表 1。泡沫软塑料孔径无变化,仍有较好的弹性。外包土工布强度虽然有所降低但仍然具有足够的强度,满足排水孔的使用要求。对排水孔进行电视检查结果表明:排水孔孔底沉渣较少,孔壁较完整,泥化夹层性状稳定,过滤器对其起到了很好的保护作用^[8]。起拔和安装检查还表明,组合式过滤体的安装与更换十分简便,有利于在廊道内大规模施工。



图 3 组装完毕的可拆换式过滤器

Fig. 3 Assembled removable filters

表 1 葛洲坝排水孔过滤体主要性能指标检测成果表

Table 1 Detection results of drainage hole filters in Gezhouba Dam foundation

检测时间	外包土工布渗透	过滤体渗透系	泡沫塑料
	系数/(cm·s ⁻¹)	数/(cm·s ⁻¹)	孔径/mm
1983 年 5 月	0.1~0.01	0.1~0.01	0.40~0.60
1991 年 3 月	0.01	0.1~0.01	0.30~0.62
1995 年 10 月	0.01	0.1~0.01	0.36~0.62
2005 年 10 月	0.01	0.01	0.27~0.66

鉴于葛洲坝坝基排水孔可拆换式过滤器的成功经验,2010 年,在向家坝水电站坝基排水孔中也采用了类似的可拆换式过滤器,总长度接近 70000 m,同样取得了满意的反滤保护效果^[9]。

2.2 堤防减压井

对荆江大堤 20 世纪 60 年代修建减压井的调查结果显示,氢氧化铁造成的化学淤堵是造成长江减压井使用寿命减少的主要因素。传统减压井在井壁内部和外部之间存在一个急变段,地下水由土层流入井内时流速和压力发生突变。由于邻近井外围环境的突变导致了化学和物理淤堵。为减少淤堵的产生,专门研制了过滤器可拆换式新型减压井,见图 4。

新型减压井由固定部分和可移动部分组成。固定部分与常规井一样,但井径比常规井大。它包括由硬 PP 管组成的花管、滤网及一层粗粒料过滤体。可拆换

过滤器安装在固定井管内,由轻质 PVC 管及包裹在外的多孔泡沫塑料组成。

这种构造中,井管外粗粒反滤料由粗粒料组成,滤料的粒径应允许黏粒、粉细砂和微生物穿透滤层。井管内多孔泡沫塑料滤体位于井壁和粗料滤体之间,作为一个过渡带,承担了水环境的突变,减少了碳酸盐、氢氧化铁及其它盐类和固体颗粒在井壁和滤层中的沉积。另一方面,来自含水层中的固体颗粒也沉积在粗料反滤层中,但在没有化学和生物影响因素的条件下,即使粗料反滤层被固体颗粒所填满,其透水性仍不会受到大的影响。而由于井内壁有多孔泡沫塑料滤体存在,地层中的颗粒不可能大量进入井内。因而滤料和地层的稳定很容易得到保证。而且,减压井周围的最大水力坡降一般也小于 1.0。

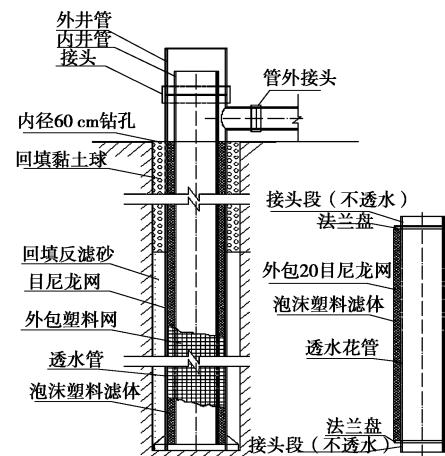


图 4 可拆换过滤器减压井结构示意图

Fig. 4 Structure of relief well with removable filter

2002 年初,在长江中游的荆南江堤李家花园段设置了 105 口减压井,其中 9 口为安装可拆换过滤器的新型减压井。从 2002 年起对可拆换式减压井进行了室内淤堵试验和现场抽水试验以及起拔及安装试验。室内淤堵试验表明,造成化学淤堵的氢氧化铁主要集中于泡沫塑料滤体内,而不是集中于反滤层中。由此可见,多孔泡沫塑料过滤体减少了反滤料的淤堵,并使得淤堵发生在多孔泡沫塑料过滤体中。现场起拔试验起拔出的减压井可拆换式过滤器上也可以看出,氢氧化铁淤堵物大量附着在过滤器表面及内部,同时靠近进口的数节泡沫塑料过滤体上还聚集了大量的固体细颗粒(图 5, 6)。对更换下来的泡沫塑料过滤体进行室内试验显示其渗透性下降了约一个数量级,说明减压井在长期工作过程中,发生了物理及化学淤堵,其排水能力逐渐下降,但此淤堵主要发生在可拆换式过滤器中,将其起拔后进行冲洗或更换,各井的排水能力又得到了恢复。



图 5 人工起拔出的减压井可拆换式过滤器

Fig. 5 Removable filters pulled out by manpower



图 6 泡沫塑料过滤体上聚集的细砂颗粒

Fig. 6 Sands gathered in foamed plastics filters

2.3 岸坡水平排水孔

在长江航道岸坡整治工程中, 整理成型的岸坡通常开挖人字形砂卵石盲沟并在其上铺设黄沙垫层或者土工织物垫层以进行坡面排水。但此种排水措施仅能排出岸坡土层表面的积水。而汛期江水位上升后, 岸坡地层地下水位随之上升。而枯水期退水后, 岸坡地层内部的地下水不能及时排出, 容易造成岸坡土层渗透破坏或边坡失稳。因此, 应用可拆换式过滤器技术, 开发了岸坡水平排水管, 用以及时排出岸坡土体内部地下水, 保证岸坡土体干燥及稳定。

水平排水管如图 7 所示布置在护岸边坡上, 水平排水管由外管和可拆换式过滤器(滤芯)两部分组成。外管为外径 $\phi 90$ mm 的 PVC-U 塑料管, 每截长度 4 m, 壁厚 5.4 mm, 钻成透水花管; 靠近边坡出口 50 cm 长度变径为 $\phi 110$ mm 的 PVC-U 实管; 花管段与实管段采用变接头连接。可拆换式过滤器每截长度为 2 m, 过滤器内部为外径 $\phi 50$ mm 的 PE 塑料管, 壁厚 4.6 mm, 钻成透水花管, 主体部分为泡沫塑料过滤体。塑料管两侧设法兰用于固定泡沫塑料过滤体, 每节过滤器采用直接头和螺钉连接。排水管出口内安装一个压差放

大式逆止阀, 以保证江水位低于关口高程时管内水能顺利排出, 而江水上涨淹没管口后江水不致倒灌。管口四周 50 cm 范围内采用厚度 20 cm 的 C20 混凝土固定。水平排水管采用直径 130 mm 套管跟管清水钻进施工, 钻孔水平倾角约 5°。长度可根据岸坡土层具体情况确定

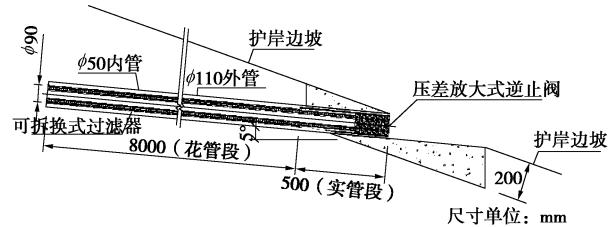


图 7 岸坡水平排水管结构图

Fig. 7 Structure of horizontal drainage hole



图 8 江陵高滩岸坡水平排水管

Fig. 8 Horizontal drainage holes in Jiangling bank slope

岸坡水平排水孔是一项较新的技术应用。目前已在长江航道整治工程江陵高滩守护段(图 8)、监利大马洲守护段开展了施工试验及小规模应用。但其具体技术指标如管径、管间距、管深度、过滤器开孔率、布置高程等与其排水效果直接相关, 还要结合监测资料、室内反滤及淤堵试验以及渗控计算成果予以验证并改进。

3 结语

可拆卸式过滤器的工作原理是在传统排水管井壁内设置一个多孔泡沫塑料过滤器, 使部分物理淤堵物和大多数化学及生物淤堵物沉积于多孔泡沫塑料过滤器内。当过滤器在受到淤堵后通过对其进行更换或清洗, 从而延长了排水管井的使用寿命。

可拆换式过滤器的安装和更换十分简便。在长期的运行过程中, 过滤器的材料抗老化能力强, 性能稳定。已有工程经验表明, 安装了可拆卸式过滤器的排水管井在工作超过 30 a 后仍能继续保持正常使用。

目前可拆卸式过滤器已经在水利工程坝基排水孔、堤防工程减压井中有成熟的应用经验。并开始在

航道岸坡整治工程中应用,未来还可在公路路基排水、人工造地排水等方面有十分广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] TURNBULL W J, MANSUR C I. Relief well systems for dams and levees[J]. American Society of Civil Engineers -- Proceedings, 1953, **79**: 1 - 20.
- [2] MANSUR C I, POSTOL G, SALLEY J R. Performance of relief well systems along Mississippi River levees[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000, **126**(8): 727 - 738.
- [3] 张家发, 吴志广, 许季军, 等. 安庆江堤现有减压井运行效果初步分析[J]. 长江科学院院报, 2000(4): 38 - 40. (ZHANG Jia-fa, WU Zhi-guang, XU Ji-jun, et al. Analyses on effectiveness of relief wells for Anqing Dyke[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2000(4): 38 - 40. (in Chinese))
- [4] 吴昌瑜, 张伟, 孙厚才. 减压井淤堵机理研究现状[J]. 长江科学院院报, 2005(2): 60 - 62. (WU Chang-yu, ZHANG Wei, SUN Hou-cai. Present situation on relief-well mechanism research. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2005(2): 60 - 62. (in Chinese))
- [5] 吴昌瑜, 张伟, 李思慎, 等. 减压井机械淤堵机制与防治方法试验研究[J]. 岩土力学, 2009, **30**(10): 3181 - 3186. (WU Chang-yu, ZHANG Wei, LI Si-shen, et al. Research on mechanical clogging mechanism of relief well and its control method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(10): 3181 - 3186. (in Chinese))
- [6] 张伟, 张家发, 孙厚才. 减压井化学淤堵试验研究[J]. 长江科学院院报, 2009(10): 13 - 16. (ZHANG Wei, ZHANG Jia-fa, SUN Hou-cai. Experimental study on chemical clogging of relief well[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2009(10): 13 - 16. (in Chinese))
- [7] 长江委枢纽处. 葛洲坝水利枢纽基础排水孔中软弱夹层保护设施组装式过滤体[R]. 赤壁: 长江委枢纽处, 1980. (Project Design Section of CWRC. Combined filter:the protector of soft soil in the Gezhouba Project foundation[R]. Chibi: Project Design Section of CWRC, 1980. (in Chinese))
- [8] 定培中, 张伟, 袁耀宇. 葛洲坝基础排水孔过滤体运行状况研究[J]. 长江科学院院报, 2007(10): 84 - 86. (DING Pei-zhong, ZHANG Wei, YUANG Yao-yu. Analysis on working status of drainage hole filters inside Gezhouba project foundation[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2007(10): 84 - 86. (in Chinese))
- [9] 严敏, 定培中, 陈劲松, 等. 向家坝水电站坝基排水孔组合式过滤体性能试验研究[J]. 长江科学院院报, 2016(1): 95 - 100. (YAN Min, DING Pei-zhong, CHNEN Jin-song, et al. Experimental research of combined filter of drainage holes for dam foundation in Xiangjiaba project[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016(1): 95 - 100. (in Chinese))
- [10] 孙厚才, 伍碧秀, 王幼麟. 荆江大堤减压井物理化学淤堵试验研究[J]. 水文地质工程地质, 1990(6): 15 - 17. (SUN Hou-cai, WU Bi-xiu, WANG You-ling. Chemical clogging experiment research of relief wells of Jingjiang Dike[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1990(6): 15 - 17. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)