

DOI: 10.11779/CJGE2016S1021

逆止阀性能指标及测试方法研究

程永辉^{1, 2}, 郭鹏杰^{1, 2}, 张伟^{1, 2}

(1. 长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室, 湖北 武汉 430010; 2. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 水利工程中的衬砌结构层经常需要设置即可排水又有防渗功能的排水系统, 以解决结构抗浮稳定和水体外渗的技术问题。逆止阀是解决此类问题的新产品, 由于目前应用不多, 其性能和检测方法尚无规范可依, 给工程带来了一定的安全隐患。从工程要求和逆止阀的工作原理出发, 提出了止水水头、开启水头和排水流量3个反映逆止阀性能的常用指标; 研制了专用的测试设备, 并给出其性能指标的测试方法; 最后, 针对逆止阀的长期性能进行了分析和探讨; 研究成果可供逆止阀检测参考。

关键词: 逆止阀; 性能指标; 测试方法

中图分类号: TV223.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2016)S1-0114-05

作者简介: 程永辉(1977-), 男, 山东博兴人, 高级工程师, 主要从事地基处理及边坡加固方面的研究工作。E-mail: chengyh@mail.crsri.cn。

Performance indices and test method for reverse check valves

CHENG Yong-hui^{1, 2}, GUO Peng-jie^{1, 2}, ZHANG Wei^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. National Dam Safety Engineering Technology Research Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to ensure the anti-floating stability of concrete linings and to prevent water infiltration, the drainage system with the function that meets the requirements of both seepage control and drainage is widely needed in water conservancy projects. One of the choices is the reverse check valve. As a new product, the reverse check valve is not widely used, neither its performance nor method is available, which brings a certain risks to projects. The closed head, open head and drainage quantity are put forward based on the engineering requirements and work principles as the common indices for the reverse check valve. The test equipment and method are developed for the reverse check valve. The long-term performance of the reverse check valve is analyzed. The research findings may provide reference for the tests on the reverse check valve.

Key words: reverse check valve; performance index; test method

0 引言

在水利工程建设中, 衬砌结构层经常需要设置具有防渗和排水双重功能的排水系统, 以便同时解决结构抗浮稳定和水体外渗的问题; 如输水渠道、引水隧洞、大坝坝坡、船闸底板, 库岸、堤防和航道的涉水边坡等; 具有单向排水功能的逆止阀成为优先选择的新型产品, 被安装于排水系统的末端, 形成逆止式排水系统^[1]。

逆止阀在工程建设中可发挥特殊作用, 但因产品存在诸多应用方面问题, 工程案例并不多。在膨胀岩地区的引水隧洞工程中使用, 可以及时排除地下水, 方便施工, 同时又可减少因围岩的膨胀性而对衬砌等设施的破坏^[2]; 在城市景观湖中的使用, 可以减少因地下水压力过高而引起湖底土工布的隆起变形^[3]; 在

渠道工程中的使用, 可以防止因地下水位过高引起的衬砌层浮托破坏, 同时不会造成渠道内水渗入边坡土体^[4-6]。

逆止阀作为一种新型水利工程产品, 目前尚处于研发和工程试用阶段, 无规范可循, 大多是设计单位根据工程需要提出技术要求, 由生产厂家试制, 导致出现了产品型号规格混乱、性能指标与工程需求不符、测试方法与实际工况相差甚远等问题, 给工程建设带来了一定的安全隐患。

南水北调中线工程使用了3种类型的逆止阀, 包括拍门式逆止阀、球式逆止阀和压差放大式逆止阀^[7]。

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAB10A04, 2011BAB10A06)

收稿日期: 2015-11-30

本文结合南水北调中线工程应用情况, 从逆止阀的工作原理和应用条件出发, 提出逆止阀性能的性能指标及测试方法, 为类似工程中的推广应用提供参考。

1 性能指标

1.1 逆止阀的工作原理和应用条件

南水北调中线工程中应用的3种逆止阀如图1~3所示。从图中可以看出, 逆止阀的工作原理是通过重力、水头差等作用控制阀门的开启和关闭, 以实现单向排水。拍门式逆止阀是通过重力和水头差控制带有止水垫的拍门开启和关闭, 实现单向排水; 球式逆止阀是通过重力、浮力和水头差控制橡胶球的上下移动, 实现单向排水; 而压差放大式逆止阀是通过专门的水头差放大装置, 实现对止水构件的开启和关闭。

从水力学的角度可以把逆止阀看成是一个短管, 当逆止阀的止水元件完全打开时, 根据能量方程, 可以推出其排水流量 Q 与其两侧水头差 ΔH 的关系为

$$Q = \mu_c A \sqrt{2g\Delta H} \quad (1)$$

式中, μ_c 为流量系数, A 为逆止阀内部过水面积最小值。当逆止阀结构和材料确定后, 其流量系数 μ_c 应该是稳定值, 流量 Q 与其两侧的水头差 ΔH 的关系曲线呈抛物线型。

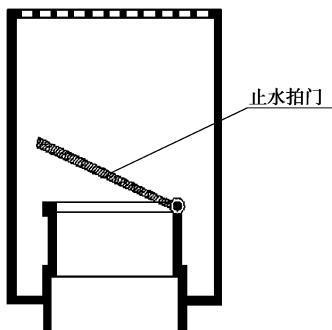


图 1 拍门式逆止阀

Fig. 1 Reverse check valve based on turning plate

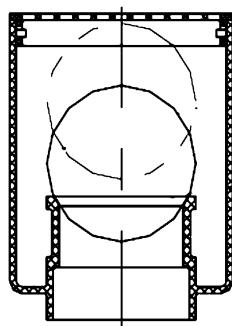


图 2 球式逆止阀

Fig. 2 Reverse check valve based on floating ball

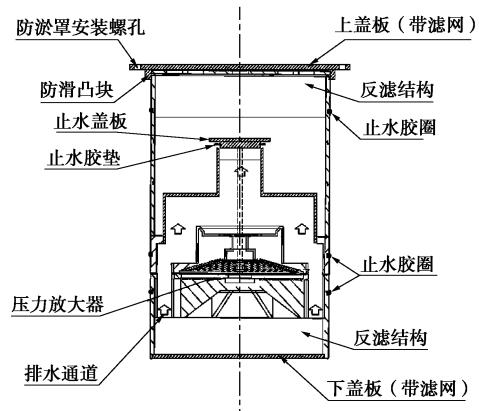


图 3 压差放大式逆止阀

Fig. 3 Reverse check valve based on differential pressure amplification

逆止阀安装于工程中时, 两侧分别与工程输引水水体(以下统称为“内水”)和地下水水体(以下统称为“外水”)连通。

对于南水北调中线工程来说, 当外水位超过渠道内水位一定程度时, 逆止阀开启, 地下水通过逆止阀排入渠道内, 从而减小浮托压力, 增强衬砌层的抗浮稳定性; 当渠道内水位高于外水位一定程度时, 逆止阀关闭, 防止渠道内水外渗; 若逆止阀流量不足或数量设置不够, 地下水无法及时排出, 将导致排水系统达不到排水减压的目的; 若逆止阀止水性能达不到要求, 渠道内水则会通过逆止阀外渗而大量损失, 严重影响输水效益。

综上所述, 正常使用条件下, 逆止阀的性能指标主要包括止水性能和排水性能两部分。另外, 逆止阀的长期可靠性也是值得重点关注的问题。

1.2 止水性能

当渠道水位高出地下水位时, 逆止阀及时关闭才能防止渠道渗漏的发生。从这个角度来看, 逆止阀的关闭所需水位差越小越好, 在此称之为止水水头。

逆止阀作为工程产品, 在渠道中的运行环境较复杂, 其生产及安装工艺不可能达到精密仪器的水平。另外, 较小水位差作用下的渗漏非常有限, 且该工况发生的机率也较小。因此, 对于止水水头的要求不宜过于苛刻, 应结合工程要求、水文地质条件和逆止阀的生产和安装等方面综合确定。

南水北调中线工程线路长达 1400 多公里, 且属于全线自流至北京, 共布置三十多万个逆止阀, 渠道内水渗漏对工程影响巨大, 要求逆止阀的止水水头不超过 1.5 cm 基本是合理的; 对于一般性工程来说, 止水水头不超过 5 cm, 基本可以满足工程运行的要求。

1.3 排水性能

逆止阀的排水性能包括开启水头和排水流量两个

方面。当外水位高于内水位一定程度时，逆止阀开启排水时，对应的水位差称为开启水头。开启水头不宜过大，以保证逆止阀及时打开排水；随着水位差的增大，逆止阀的排水流量会逐渐增大，根据逆止阀的布置间距和外水位的变幅，排水流量应满足设计要求，保证不产生外水的雍高。

(1) 开启水头

开启水头的取值与逆止阀产品特性、工程结构抵抗浮托力的能力等有关。以重力和水头差为原理的逆止阀，当止水水头小时，其开启水头必然大；开启水头不能超过工程结构所能抵抗的最大水头差。

南水北调中线工程渠道衬砌层采用8 cm厚的C20混凝土板。为保证衬砌的抗浮稳定，设计要求衬砌层两侧的平均水位差不超过11 cm。

渠道衬砌安装逆止式排水系统后，其水头分布如图4所示。从图中可以看出，衬砌板下的水头最大值出现在两个逆止阀的中间，要保证衬砌层两侧平均水位差不超过11 cm，逆止阀的开启水头应当更小；因此，开启水头的取值应以逆止阀本身所能达到的最小值为基础，然后通过渗流计算分析，提出逆止阀的布置参数，包括规格、排距、间距等。

由于渠道衬砌厚度较小，南水北调中线工程要求逆止阀的开启水头为3 cm，这一指标在试验室内容易达到。但逆止阀安装后，受方向性、安装偏差、颗粒物堵塞等影响，实际开启水头会偏大，不宜直接作为抗浮计算的条件。

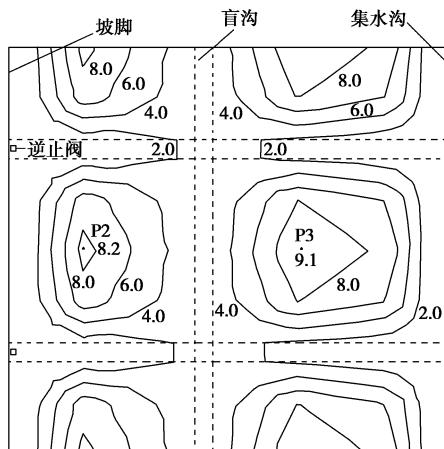


图4 渠道衬砌层下水头分布示意图

Fig. 4 Distribution of water head under channel linings with reverse check valve

(2) 排水量

由于地层的差异性，对排水流量的要求也存在较大的不同；如在揭穿承压水地层的部位，排水流量很大，而在渗透性较差的潜水地层，排水流量很小。

当水位差超过开启水头，逆止阀打开排水时，其

排水流量与两侧水头差的关系曲线呈抛物线型，如式(1)所示。

为便于检测逆止阀的性能，选取代表性水头差和对应的排水流量作为控制指标；水位差不应超过结构层抵抗的最大水头，否则控制指标失去意义；同时，代表性水头差对应的排水流量不宜过大，以降低检测的难度。

从南水北调中线工程的实际情况来看，水头差可在5~10 cm之间选取合理值；同时，检测时，应等分进行多个水位差下的试验，获得排水流量与水头差的关系曲线。

2 测试方法讨论

2.1 逆止阀工作环境模拟

逆止阀安装包括多种方式：一种直接安装于混凝土结构内的排水管中；另一种是与排水管相连形成整体后，再浇筑于混凝土中；还可直接在结构层上钻孔，将逆止阀安装于钻孔中。不管是哪种安装方式，必须保证逆止阀外壁与排水管管壁或钻孔孔壁之间密封严实，排水管和钻孔尺寸误差应严格控制，不得超出逆止阀外侧止水圈的调控范围，必要时，现场还应采用灌缝材料对间缝进行密封。

逆止阀安装好后，会因渠道内水位和地下水位的变化而开启或关闭，因此，测试仪器应可模拟渠道内水位的变化和地下水位的变化，并可测定不同水位差下的排水流量；另外，逆止阀在边坡和渠底的安装角度不同，在测试中也应该考虑。

2.2 测试仪器设备

根据以上工作环境模拟的要求，研制了一套逆止阀检测系统，主要由以下4部分组成。

(1) 逆止阀工作模拟设备：包括逆止阀放置室及上下供水室，上下供水室分别有进水口（或出水口），侧壁上有排气孔和测压孔，测压孔与测压管相连，如图5所示。

(2) 内水位模拟装置：可实现50 cm范围内水位的自由升降，可通过供水管与逆止阀工作模拟装置的出水口（上端）相连，为模拟渠道内水位提供所需水头条件；对于逆止阀的耐压能力测试，可提供的水头值应超过正常水位的1.5倍。

(3) 外水位模拟装置：可实现50 cm范围内水位的自由升降，通过供水管与逆止阀工作模拟装置的进水口（下端）相连，为模拟外水位提供所需水头条件，可与内水位模拟系统共用。

(4) 测量仪器：测压管（或压力表）、量筒（或台秤）、秒表等。

值得提出的是, 逆止阀进水口、出水口及给水管的过水流量应大于逆止阀的排水流量, 否则将导致试验结果失真; 另外, 下供水室进水口至逆止阀底面的高度应不小于 1 m, 以免在供水室产生紊流, 影响试验结果。

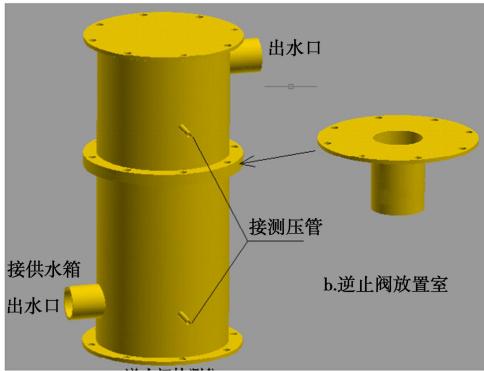


图 5 逆止阀工作模拟设备示意图

Fig. 5 Simulation instrument for working of reverse check valve

3 测试方法

逆止阀的测试尚无规范可循, 参照 (SL237—014—1999) 土工试验规程中“渗透试验”部分和逆止阀的工作原理, 提出逆止阀的测试方法。

3.1 排水性能测试

逆止阀排水性能测试如图 6 所示。

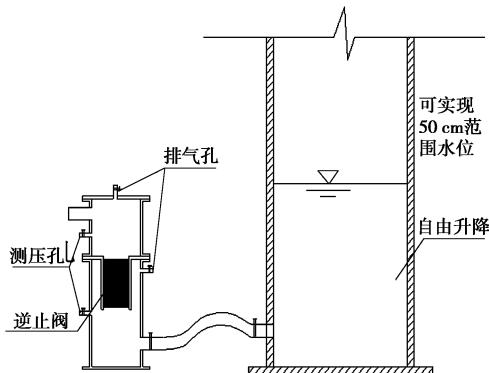


图 6 逆止阀排水性能测试示意图

Fig. 6 Drainage performance tests on reverse check valve

(1) 逆止阀安装: 将逆止阀按正确的方向安装到逆止阀放置室内, 通过设置止水圈或密封胶, 保证逆止阀与放置室侧壁无渗漏。

(2) 检测仪组装: 把逆止阀放置室与上下供水室连接, 应保证各室之间密封可靠, 不能漏水, 将模拟装置按安装使用角度进行固定; 将内水位模拟装置供水管与下端进水口连接牢靠; 将测压管与测压孔相连, 并打开开关; 将上供水室灌满。

(3) 供水排气: 调节内水位模拟装置的水位, 与上供水室出水口基本齐平, 打开供水管阀门和排气孔, 缓缓供水, 使得进水室内空气完全排出, 以保证测压

管读数的准确性; 待稳定后即可开始试验。

(4) 试验

提高内水位水头至试验数值, 待稳定后, 观察或测量 3 次流量, 若连续 3 次情况相同, 又无异常现象, 记录上下游水头差和流量。

根据工程要求和预先设计的试验计划, 逐级提升水头进行测试, 各级水头差应按先密后疏的原则进行; 根据试验结果整理数据, 绘制水头差与流量的关系曲线, 如图 7 所示。

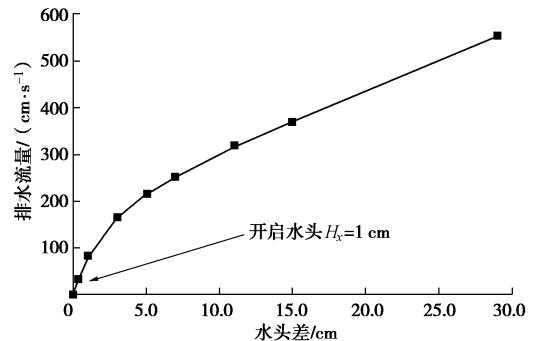


图 7 排水流量与水头差的关系曲线

Fig. 7 Curve of drainage flow and water head difference

3.2 止水性能测试

逆止阀止水性能测试如图 8 所示。

(1) 排水性能测试完成后, 内水位模拟装置成为外水位模拟装置, 将给水管与上端进水口相连, 下端进水口变为出水口, 并接延长管, 延长管的出水口须高于上端进水口。

(2) 将延长管灌满水, 同时, 打开给水管阀门和排气孔, 缓慢供水, 排除供水室内空气。

(3) 提升外水位的水头, 同时测记上、下供水室内的水位, 密切观察延长管出水情况, 若水流停止, 则对应的水头差即为止水水头。一般来说同一型号的逆止阀的止水水头相差不大, 可根据经验, 在试验临近该值时, 降低水头提升幅度, 以得到更精确的结果。

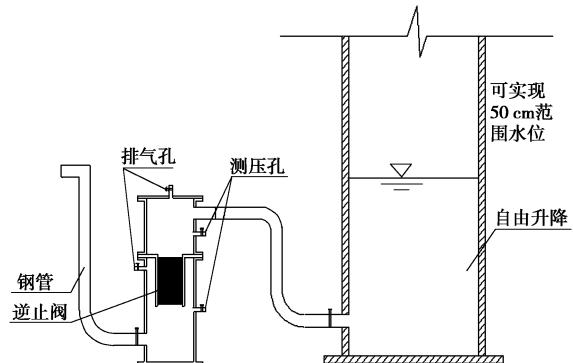


图 8 逆止阀止水性能测试示意图

Fig. 8 Sealing performance tests on reverse check valve

(4) 耐压能力测试

为确定逆止阀产品结构的稳定性, 需要对其耐压

能力进行测试, 测试水头可取工程正常水位的 1.5 倍。在止水水头测试完成后, 将给水管接至带有压力表的高压供水装置, 开启并调至预定压力值, 观察延长管出水情况, 耐压能力测试不宜少于 1 h, 若无水流出, 则表明产品合格。

4 长期性能测试探讨

逆止阀作为解决水利工程结构抗浮稳定和防渗的关键设备, 其长期性能对工程安全影响巨大。

影响逆止阀长期性能的主要因素包括两个方面: ①逆止阀自身在高水头差、频繁启闭、颗粒物堵塞等条件作用下, 导致功能降低或丧失, 表现为耐久性不足; ②在工程运行过程中, 颗粒淤积至一定厚度时, 将逆止阀埋死, 不能正常发挥作用, 表现为防淤积能力不足。

逆止阀长期性能影响因素较复杂, 且不同工程的情况也存在较大差异, 其测试方法还有待于进一步的研究, 以下方法可供参考:

(1) 逆止阀耐久性测试方法

试验用水可考虑模拟工程运行中可能遇到的浑浊水体, 对单个逆止阀进行关闭止水—耐压测试—开启排水的循环试验, 循环次数不宜少于 5 次。

(2) 防淤积能力测试方法

根据工程实际情况, 调查分析最大淤积厚度, 通过模型试验, 模拟淤积物和逆止阀表面的淤积厚度, 进行排水性能和止水性能测试, 确定逆止阀的防淤积能力。

5 结 论

(1) 结合工程需求和逆止阀的工作原理, 分析提出了止水水头、开启水头和排水流量 3 个反映逆止阀性能的常用指标。

(2) 在分析逆止阀工作环境的基础上, 研制了一套用于测定逆止阀性能的测试仪器, 可满足相关指标的测试要求。

(3) 结合土工试验规程, 提出了逆止阀止水性能和排水性能的测试方法。

(4) 分析了影响逆止阀长期性能的因素, 初步讨论并提出了长期性能的测试方法。

参考文献:

[1] 朱国胜, 吴德绪, 张家发, 等. 逆止式排水系统对南水北调中线渠道边坡渗流控制效果研究[J]. 岩土工程学报,

2011, 33(8): 22 - 26. (ZHU Guo-sheng, WU De-xu, ZHANG Jia-fa, et al. Seepage control effects of check valve drainage system in canal slope of middle route project of south-to-north water diversion[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(8): 22 - 26. (in Chinese))

- [2] 曹渝波, 李师贤. 逆止阀在螺丝湾水电站引水隧洞中的应用[J]. 云南水电技术, 2005(1): 38 - 40. (CAO Yu-bo, LI Shi-xian. Application of the check valve in the diversion canal of the Luoswan Hydropower Station[J]. Yunnan Waterpower Technology, 2005(1): 38 - 40. (in Chinese))
- [3] 孙凤芹, 丛全日, 李文会. 逆止阀在湖区防渗中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2007(3): 160 - 161. (SUN Feng-qin, CONG Quan-ri, LI Wen-hui. Application of the reverse check valve in the area of the lake area[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2007(3): 160 - 161. (in Chinese))
- [4] 王流泉, 董晓燕, 高秀芳. 南水北调中线总干渠京石段渠道衬砌抗浮稳定设计方案讨论[J]. 南水北调水利科技, 2006, 4(4): 5 - 7. (WANG Liu-quan, DONG Xiao-yan, GAO Xiu-fang. Design of lining canal's stability against floatation in middle route of south-to-north water transfer (from Beijing to Shijiazhuang)[J]. South-to-North Transfers and Water Science & Techonlogy, 2006, 4(4): 5 - 7. (in Chinese))
- [5] 张国明, 朱克斌, 张国庆. 逆止阀在灌区渠道防渗滑坡治理中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2014(14): 35 - 36. (ZHANG Guo-ming, ZHU Ke-bin, ZHANG Guo-qing. Application of the check valve in the seepage landslide control of canal in irrigation district[J]. Henan Water Resources & South-to -North Water Diversion, 2014(14): 35 - 36. (in Chinese))
- [6] 郭鹏杰. 逆止式排水系统及其对渠道衬砌抗浮稳定性的影晌研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2014. (GUO Peng-jie. Research on check valve drainage system and its influence on anti-floating stability of concrete lining for chanel[D]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2014. (in Chinese))
- [7] NSBD—ZGJ—1—04 南水北调中线一期工程总干渠逆止阀应用技术要求 (试行) [S]. (NSBD—ZGJ—1—04 Technical requirements for the application of check valve in the main canal in the first-stage project of middle route of South-to-North Water Diversion (Trial Version) . (in Chinese))

(本文责编 孙振远)