

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.20.019

改进型无压管道闭水试验检测装置的应用研究

金士朋

(山东北斗检测科技有限公司, 山东 临沂 256000)

摘要: 闭水试验是对无压管道质量控制的一项重要手段,但该试验存在检测器具分辨力低、误差较大、器具前端与液面接触状况较难把握、多次测量点位难保持重复性、不能持续观测等问题。为此研制了改进型无压管道闭水试验检测装置,该装置采用浮球、轻质金属杆、三脚架、套管、百分表的组合进行测试,可以实时观测底部液位变化情况,对微小变化进行精确表征。通过设计相关试验,认为改进型试验装置较常规试验装置有较大改善,改进型装置测试结果相对误差小于0.13%、线性相关性达到99.5%、标准差为0.2 mm,同时更接近理论变化值。该改进型试验装置提高了分辨力、离散程度小、准确度高,并在工程检测现场成功应用,效果较好。

关键词: 闭水试验; 无压管道; 试验检测; 分辨力; 准确度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)20-0115-05

Application Research of Improved Closed Water Test Detection Device for Non-pressure Pipelines

JIN Shi-peng

(Shandong Beidou Testing Technology Co. Ltd., Linyi 256000, China)

Abstract: Closed water test is an important method for quality control of non-pressure pipelines, while it has some problems, such as low resolution of the measuring instrument, large error, difficulty in grasping the contact between the front end of the measuring instrument and the liquid surface, difficulty in keeping high repeatability, and inability to consistent testing. In view of the above problems, an improved closed water test detection device for non-pressure pipelines is developed. The device uses a combination of floating ball, light metal rod, tripod, casing and dial indicator to test, and can observe the change of the bottom liquid level in real-time and accurately characterize the small changes. Through designing the related tests, it is considered that the improved test device has a greater improvement than the conventional test device. The relative error of the improved test device is less than 0.13%, the linear correlation is 99.5%, and the standard deviation is 0.2 mm, which is closer to the theoretical change value. The improved test device has improved the resolution, small dispersion and high accuracy, and has been successfully applied in the engineering inspection site with good results.

Key words: closed water test; non-pressure pipelines; test detection; resolution; accuracy

1 背景

排水管网系统是城市内涝治理、污水系统提质增效、雨污管网分流制改造、黑臭水体治理、海绵城市建设等领域的重要落脚点,因此对新建排水管

道^[1]和因结构性缺陷而进行非开挖修复后的管道^[2]质量的把控尤为重要,在相关标准规范^[3]中,对管道质量控制均提出了要求。对无压管道是否符合标准要求而进行评价的一项具体检测手段是现场闭水试

验。目前,无压管道闭水试验在现场实施过程中存在较多不规范之处。其中影响试验准确性较重要的因素主要有两个:一是常用检测器具的分辨力与标准要求契合度不好,导致检测误差较大,尤其是化学建材管,表现更明显;二是检测人员在现场测试时,受视角或距离、位置等因素的影响,对水位值的读取不够精确,从而造成测试偏差。因此,有必要探索一种既满足分辨力要求,又能够消除在测试时由于视角或距离、位置等因素带来误差的检测器具。

2 材料与方法

2.1 闭水试验常规检测

闭水试验操作流程是预先将符合规范要求的试验管段,灌满水浸泡不少于24 h,达到要求时间后,向试验检查井内注水使试验水头达到规定值,并开始计时,观测管道的渗水量,直至观测结束,应不断向试验管段内补水,保持试验水头恒定,渗水量的观测时间不得小于30 min,然后将观测时间段内实测渗水量(补水量)换算为每千米每24 h渗水量,通过与标准要求的允许渗水量进行比较,从而判定是否满足要求。

闭水试验过程中对液位的观测是影响试验精度最重要的一环,同时该试验要求连续多次观测,当出现液位降低时要立即补水以保持水头恒定。目前常规的液位测量手段是采用钢卷尺或钢直尺,在30 min的测试时间里不断反复测试检查井水平面与液位间的垂直或竖直距离。

闭水试验测试过程中存在以下需要提升之处:
①对于化学建材管或允许渗水量较小的管材,闭水试验过程中液位变化较小,采用检测器具的分辨力过低,造成较大误差;②测试时,由于液面与检查井存在一定距离,测量器具的前端与液面接触状况较难把握;③在测试过程中需要多次测量,每次测量的点位很难保持高度重复性;④测试时间段内不能持续观测,只能采用反复多次测试来掌握液位变化情况。

2.2 改进型闭水试验装置的研制

2.2.1 模型研制

① 常规试验装置分辨力不足,导致测量误差较大,因此在新试验装置上引进分辨力更高的百分表(精确至0.01 mm),使分辨力提高2个数量级,以满足要求。

② 在常规测试过程中,对视角或距离引入的测量误差的消除,采用浮球配合轻质可续接金属杆的方法,将检查井内水头液位的变化传递到检查井上方百分表,以便于观测。

③ 对于试验前后测试位置的不确定问题,采用三脚架配合套管的方法,将连接浮球的金属杆固定在同一竖直方向位置,使得精确性、重复性满足要求。

④ 在常规测试过程中,试验段检查井内的液位变化数值通过间隔一段时间测试后获得,不利于实时掌握液位变化,采用百分表的同时在竖立杆上加上刻度,可实时观测液位变化。

根据以上思路,设计了闭水试验液位检测装置模型(见图1)。

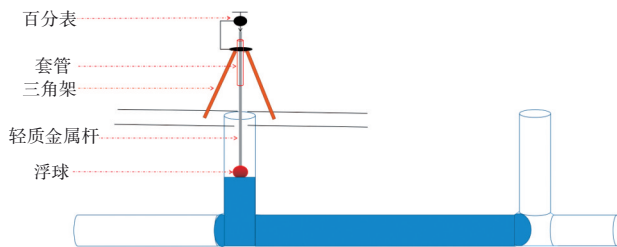


图1 改进型闭水试验检测装置模型

Fig.1 Model of improved closed water test detection device

2.2.2 试验装置制作

根据研制设计的模型,选取易得的轻质金属杆、浮球、三脚架、百分表及支架、横梁、玻璃胶等材料,制作了改进型的闭水试验液位检测装置(见图2)。

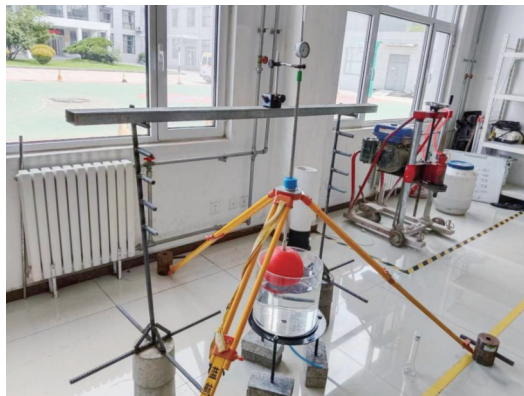


图2 改进型闭水试验检测装置

Fig.2 Improved closed water test detection device

该改进型闭水试验检测装置制作简便,制作材料易得,成本低廉,携带方便,便于推广。将装置中

具有计量功能的百分表检定校准后,即可投入使用。

3 结果与分析

3.1 试验分辨力分析

对闭水试验两种方法的测试精度进行分析对比,采用分辨力值对应的降低高度与在允许渗水量情况下液位可能总下降高度的比值作为相对误差来进行分析。根据文献^[1],要求化学建材管渗水量 \leq 允许渗水量 $q(q=0.0046D_i$,其中 D_i 为管道内径)。依据相关设计标准^[4],相邻检查井距离一般为40~200 m,结合实际,选取100 m。同时依据标准图集《市政排水管道工程及附属设施》(06MS201)及实际情况,选取圆形检查井,直径为700 mm。根据以上设置条件,可得出在闭水试验中满足标准要求的对应30 min内渗水量的检查井内液位降低高度及相对误差(见表1)。

表1 两种测试方法误差对比

Tab.1 Comparison of the error between two methods

管径 D_i mm	允许渗水量/ ($\text{m}^3 \cdot 24 \text{ h}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$)	液位下降值/ mm	传统装置测试方法		新装置测试方法	
			分辨力/mm	相对误差/%	分辨力/mm	相对误差/%
300	1.38	7.47	1	13	0.01	0.13
400	1.84	9.97	1	10	0.01	0.10
500	2.30	12.46	1	8	0.01	0.08
600	2.76	14.95	1	7	0.01	0.07
700	3.22	17.44	1	6	0.01	0.06
800	3.68	19.93	1	5	0.01	0.05
900	4.14	22.42	1	4	0.01	0.04
1 000	4.60	24.91	1	4	0.01	0.04
1 100	5.06	27.41	1	4	0.01	0.04
1 200	5.52	29.90	1	3	0.01	0.03

从表1可看出,对于工程中常用直径700 mm检查井,在相邻检查井间距为100 m的情形下:①管径为300~1 200 mm的化学建材管30 min内对应检查井内水头降低7.47~29.90 mm,液位变化量相对较小;②以常规精度为1 mm的测量器具带来的相对误差较大(3%~13%),大大影响了检测准确性;③采用百分表测量,会大大提高检测分辨力(相对误差0.13%以内),满足要求。

3.2 新型闭水试验装置准确度初步分析

3.2.1 线性验证

将制作的新型闭水测试装置在室内进行模拟试验,底部采用具有阀门可调节的计量圆柱状水

桶,采用精度为0.5 mL的量水器每次外放150.0 mL,记录初读数和终读数,结果见表2。

表2 线性验证测试记录

Tab.2 Test record of linearity verification

序号	漏水量/mL	初读数/ mm	终读数/ mm	液位变化/mm
1	150.0	47.00	45.31	1.69
2	300.0	45.31	43.89	1.42
3	450.0	43.89	41.45	2.44
4	600.0	41.45	39.48	1.97
5	750.0	39.48	36.19	3.29
6	900.0	36.19	34.01	2.18
7	1 050.0	34.01	32.86	1.15
8	1 200.0	32.86	30.68	2.18
9	1 350.0	30.68	28.44	2.24
10	1 500.0	28.44	26.35	2.09

对测试结果的漏水量及终读数进行线性拟合分析(见图3),相关性为99.5%,可见采用新型闭水试验装置得到的测试结果呈高度线性关系。

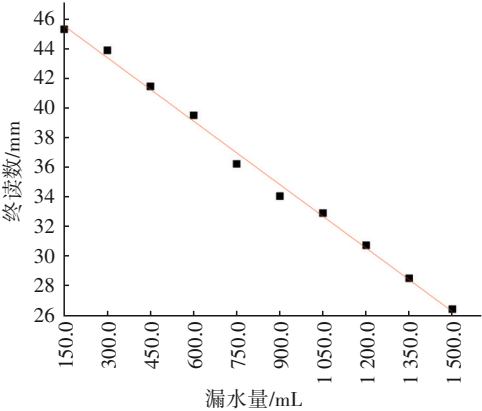


图3 漏水量与终读数线性拟合

Fig.3 Linear fitting diagram of water leakage and final reading

3.2.2 精密度简要分析

通过室内设计试验,利用具有标准横截面的圆柱水桶,放出标准体积量的水,计算出理论液位下降高度。新型闭水测试装置与钢直尺测试结果的对比见表3。可以看出,前者测试结果的标准差(0.20 mm)要比钢直尺测试的标准差(0.95 mm)小,同时测试结果更接近理论标准值。这说明新装置测试结果离散程度小(见图4)、准确度高,检测结果优于钢直尺测试方法。新型测量方法与结果的准确度(正确度与精密度)的验证及判定^[5]还需依据相关标准规范^[6]进一步确定。

表 3 改进型闭水测试装置与钢直尺测试的数据对比

Tab.3 Data comparison between improved closed water testing device and steel ruler testing

序号	漏水量/mL	理论变化量/mm	改进型闭水测试装置			钢直尺		
			百分表初读数/mm	百分表终读数/mm	实测变化量/mm	钢直尺初读数/mm	钢直尺终读数/mm	实测变化量/mm
1	150	2.24	48.00	46.16	1.84	83	87	4
2	300	2.24	46.16	43.91	2.25	87	88	1
3	450	2.24	43.91	41.83	2.08	88	92	4
4	600	2.24	41.83	39.75	2.08	92	95	3
5	750	2.24	39.75	37.45	2.30	95	98	3
6	900	2.24	37.45	35.18	2.27	98	100	2
7	1 050	2.24	35.18	32.71	2.47	100	103	3
8	1 200	2.24	32.71	30.82	1.89	103	105	2
9	1 350	2.24	30.82	28.52	2.30	105	107	2
10	1 500	2.24	28.52	26.32	2.20	107	110	3

注：改进型闭水测试装置实测变化的平均值为 2.16 mm，标准差为 0.20 mm；钢直尺实测变化的平均值为 2.70 mm，标准差为 0.95 mm。

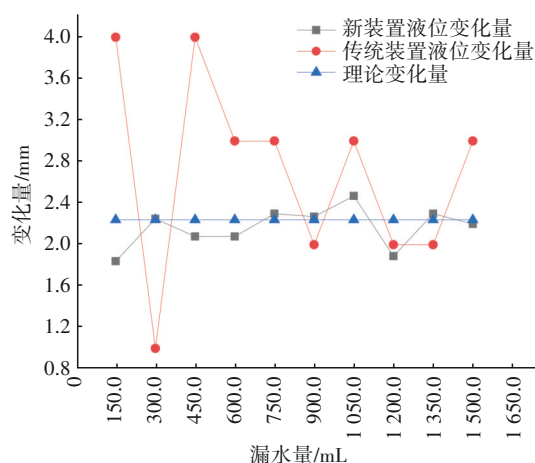


图 4 改进型闭水测试装置与钢直尺测试的精密对比

Fig.4 Precision comparison between improved closed water test measuring device and steel ruler testing

3.3 新型闭水试验装置的实际应用

将研制的新型试验装置用于沂河路快速化改造工程(湖东路—琅琊王路东侧)(见图 5)。该工程排水体制为雨污分流,在湖东路—琅琊王路道路南侧辅路机非混行道下敷设 DN600 污水管道,其中管径 \leq DN600 的污水管道全部采用 HDPE 双壁缠绕结构壁管(B 型),承插式电熔连接,坡度 0.08%,收集道路南侧地块污水,由西向东接入下游新建 DN600 污水管道内。

测试区域相邻检查井距离为 45 m,圆形检查井直径为 1 100 mm,管内底埋深 3.02 m,采用改进型闭水试验装置进行测试。在 30 min 测试时间内,液

位下降测得值为 2.56 mm(不补水情形),液位变化较小,折合平均实测渗水量为 $2.59 \text{ m}^3/(24 \text{ h} \cdot \text{km})$,符合标准要求^[1]。本次试验亦同时采用钢直尺进行测试,值得注意的是,由于现场检测环境与室内环境存在差异、人工观察液位变化不明显,测试时间段内用钢直尺测试液位值波动幅度较大,不能有效指导控制补水量,导致试验无效。通过现场对比可以看出,改进型闭水试验装置在此化学建材管闭水试验应用中,与传统方法相比有较大优势,能够有效、精确完成试验。



图 5 改进型闭水试验装置在工程中的应用

Fig.5 Application of improved closed water test detection device in engineering site

另外,在装置的轻质金属杆表面粘贴刻度,对于大管径、长距离、渗水量较大的情形(水位下降距离大于 10 cm),可直接读测金属杆表面刻度值的变化,分辨力同钢直尺,此时测试相对误差 $<1\%$,亦能满足测试要求。其他情形可采用百分表进行精准

读数。

4 结论

① 通过对标准的研究并结合现场实践,发现目前常规测试中用到的精度为毫米级量具,对闭水试验液位的监测过程存在分辨力不足、不利于连续测试、测试点位重复性不好等问题。

② 制作了闭水试验改进型装置,通过设计的室内试验对比测试,认为改进型测量装置比常规测试装置有较大改善,分辨力大大提高、线性良好、测试结果离散程度小、准确度高,并在工程检测现场成功应用。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 给水排水管道工程施工及验收规范:GB 50268—2008 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for Construction and Acceptance of Water and Sewerage Pipeline Works: GB 50268—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008 (in Chinese).
- [2] 住房和城乡建设部. 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程: CJJ/T 210—2014 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014:38—39.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical Specification for Trenchless Rehabilitation and Renewal of Urban Sewer Pipeline: CJJ/T 210—2014 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014:38—39 (in Chinese).
- [3] 陈胜兵,王劲松,张怀宇,等. 我国城镇市政排水管相关标准中入渗控制的探讨[J]. 给水排水, 2020, 46 (S):1004—1009.
CHEN Shengbing, WANG Jinsong, ZHANG Huaiyu, *et al.* Discussion on infiltration control in the standard for urban municipal drainage in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46 (S) : 1004—1009 (in Chinese).
- [4] 住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021 [S]. 北京:中国计划出版社, 2021: 24—25.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021: 24—25 (in Chinese).
- [5] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第2部分: 确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法: GB/T 6379. 2—2004/ISO 5725—2:1994 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 6—19.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results—Part 2 : Basic Method for the Determination of Repeatability and Reproducibility of a Standard Measurement Method: GB/T 6379. 2—2004/ISO 5725—2: 1994 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004:6—19 (in Chinese).
- [6] 张友南,王晓旭,梁健瑶,等. 测量系统分析(GR & R) 在自制专用测量工装中的应用[J]. 中国计量, 2018 (6):86—90.
ZHANG Younan, WANG Xiaoxu, LIANG Jianyao, *et al.* Application of measurement system analysis (GR & R) in self-made special measuring tools [J]. China Metrology, 2018(6): 86—90 (in Chinese).

作者简介:金士朋(1986—),男,山东淄博人,硕士,工程师,主要研究方向为工程与材料检测。

E-mail:xiongying--111@163.com

收稿日期:2022-08-09

修回日期:2022-08-20

(编辑:衣春敏)