

自记式长喉道量水计的开发和应用

沈 波¹, 吉庆丰², 黄 勇³

(1. 南通市水利局, 江苏 南通 226006; 2. 扬州大学水利与建筑工程学院, 江苏 扬州 225009;

3. 如皋市农田水利试验站, 江苏 如皋 226551)

摘要:针对江苏省南通市水利局开发的固定式和即插式自记式长喉道量水计,介绍了长喉道量水槽、球型磁性液位计及流量积算仪三大组成部分的结构,现场测试结果表明,各种量水计的整体累计水量相对误差多数情况下在 $\pm 5\%$ 以内,其中最大值为 6.92%。开发的各量水计具有很好的稳定性和较高的测量精度,能够满足灌区农用量水的要求。

关键词:自记式量水计;长喉道量水槽;球型磁性液位计;流量积算仪

中图分类号:S274.4

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2003)05-0028-03

传统的长喉道量水槽,有许多明显的优点^[1~3]:有较为完善的理论计算方法;结构简单,施工方便;行近渠道断面和喉道断面可以为任意形状,适应性强;上游水头与流量的关系稳定,测流精度高;流量率定表可根据现场已建量水槽的具体尺寸计算确定,率定工作简便可靠;水头损失小,上游壅水小;不易产生泥沙淤积和漂浮物阻塞。现有长喉道量水槽完全可以满足灌区对量水设施制作、安装和量测精度的要求,但常规的测流方法是先由水尺或测井量出行近渠道的水头值,再由流量与水头的率定曲线或表格查出对应的流量值,流量显示不直观,不能直接显示用水量,实际使用技术要求高,灌区普通用户一般难以接受,因而,在实际应用中很难大范围推广^[5]。为了解决这一问题,我们从 2000 年开始进行了水量、水位自记式长喉道量水计的研制工作。

自记式长喉道量水计是运用目前最新的数字显示技术开发研制成的 1 种新型长喉道量水计,它由长喉道量水槽、水位传感器和流量积算仪三部分组成,除具有传统长喉道量水槽的特点外,还具有自身特点:实现了瞬时流量、累计水量的数字化显示,使用方便;水位、流量测量精度高;与计算机连接,能够实现大型灌区灌溉用水的自动控制。水量、水位自记式长喉道量水计从根本上解决了传统长喉道量水槽流量显示不直观、难于推广应用的问题,使长喉道量水槽这一稳定可靠、经济实用的量水工具产生了质的飞跃,使其可在灌区大范围应用,为解决当前迫切的灌区量水问题闯出了一条新路。

为了适应灌区各种情况,我们研制了两类自记式长喉道量水计:一类是固定式,流量积算仪和水位传感器是独立的两部分,可自由选配组合,各部件固定安装在长喉道量水槽上游水位观测井处;另一类是即插式,流量积算仪和水位传感器组合在一起,形成 1 个整体测杆,灌溉季节将其插入测井中即可使用,非灌溉季节可取出收藏,使用管理极为方便。固定式量水计根据供电电源、显示方式不同,又分 220VAC 荧光数显形式、24VDC 太阳能荧光数显形式和 4.5VDC 液晶数显形式 3 种,即插式量水计只有液晶数显形式 1 种。目前自记式长喉道量水计已初步形成了 1 个产品系列,可在灌区不同渠道使用。

1 自记式长喉道量水计的整体结构

自记式长喉道量水计由长喉道量水槽、球型磁性液位计(水位传感器)和流量积算仪三大部分组成。长喉道量水槽一般由上游收缩段、喉道段和下游扩散段组成。水流经喉道段产生收缩,形成临界流,在自由出流情况下,水流流量与行近渠道的水头成单一函数关系,测出水头值,就可算得流量值。球型磁性液位计是测量行近渠道水头的传感器,水头变化引起传感器电阻的变化,将电阻信号输出给流量积算仪,通过事先录入水头(电阻)与流量函数关系的微处理器,将瞬时流量和累计水量显示出来。

1.1 长喉道量水槽的结构

长喉道量水槽一般由上游收缩段、喉道段和下游扩散段组成^[2,4],图 1 为一梯形断面长喉道量水

槽的结构图.上游收缩段的形式以不产生明显的流动分离为基本原则,底部和两侧边墙可以做成圆弧或斜坡形式,不同的形式对水头损失和上游壅水有显著影响,对流量几乎没有影响,为便于施工,一般做成斜坡形式.喉道段的控制断面形式,可根据渠道流量的变化幅度,采用矩形、梯形、U形、三角形等形状.流量变化幅度小,常采用矩形、梯形;流量变化幅度大,常采用三角形,以保证各种水位、流量下都有较高的测流精度.下游扩散段可采用突扩、渐扩的过渡形式,具体形式主要由量水槽最小水头损失决定.

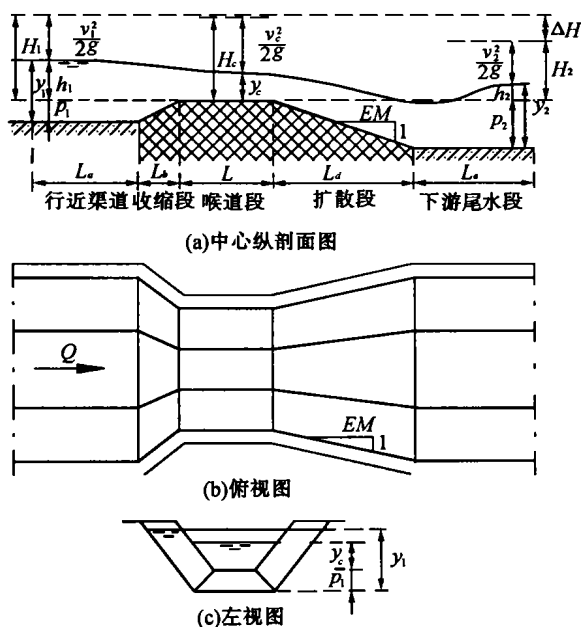


图1 梯形长喉道量水槽结构图

为了保证长喉道量水槽有一个稳定的水头流量关系,喉道堰顶的长度 L 不宜过小,下游出流必须为自由出流.

上游水头量测断面到收缩段的行近渠道长度^[2] $L_a \geq H_{1\max}$, $H_{1\max}$ 为上游最大全水头,收缩段长度 $L_b = (1 \sim 2) H_{1\max}$,喉道堰顶的长度 $L = (1 \sim 2) H_{1\max}$,下游扩散段长度 $L_d = (0 \sim 6) p_2$,喉道堰顶上游高度 $p_1 = (0 \sim 0.5) H_{1\max}$.

喉道堰顶上下游高度 p_1 和 p_2 可以不等,也可以相等,也可以都等于零,成为平底长喉道量水槽.在流量、上游堰高、喉道断面形状尺寸一定的情况下,下游堰高越小,下游出现淹没出流的可能性就越大.长喉道量水槽下游过渡段形式对水头损失、下游出流形式有显著影响,过渡段扩散比 EM 越大,水头损失就越小,临界淹没比就越大,下游出现淹没出流的可能性就越小. $EM = 5$ 时临界淹没比可达 80%, $EM = 20$ 时临界淹没比高达 94%.但 EM 太大会造成过渡段过长,增加工程量.为了获得较高的临界淹没比同时过渡段又不致太长,实际应用中常取 $0 \leq$

$EM \leq 6.0$.

在满足喉道堰顶长度要求和自由出流条件下,长喉道量水槽的堰顶水头与流量的函数关系只取决于上游行近渠道断面形状尺寸、喉道上游堰顶高度和堰顶长度、喉道段断面形状尺寸.长喉道量水槽上游水头与流量的率定曲线可根据已建成的量水槽实际尺寸直接计算得到,简单易行,精确可靠.

1.2 磁性液位计的结构

磁性液位计的结构如图2所示.主导检测管内装有一系列干簧管及精密电阻组成磁性传感器.当管外装有磁性材料的浮子随液位上下变化时,检测管内位于液面处的干簧管依次接通,使传感器电阻发生变化.传感器内的电压、电流转换电路将阻值的变化转换成电流的变化,此变化的电流信号,一方面能在传感器内由广角度表直接现场显示液位,另一方面把二线制 $4 \sim 20$ mA DC 标准信号输出给显示仪表.

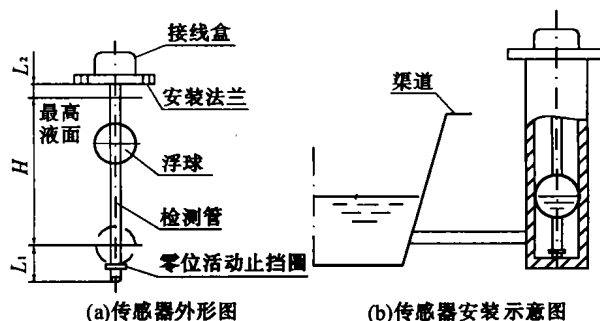


图2 磁性液位计结构示意图

磁性液位计可以做到高密封、防泄漏,能适应高温、高压、高低温巨变、腐蚀性条件下的液位测量.与其它液位传感器相比,磁性液位计没有“零漂”、“温漂”等问题,测量稳定可靠,精度高,非常适合野外长期使用.磁性液位计的传感器可采用不锈钢、聚氯乙烯、聚全氟乙丙烯等多种材质,应用时可根据具体情况选择.

1.3 流量积算仪的结构

流量积算仪在接收了磁性液位计输出的电信号后,通过事先录入水头(电阻)与流量函数关系的微处理器,最终将流经长喉道量水槽的瞬时流量和累计水量显示出来.图3为流量积算仪的结构框图.

2 自记式长喉道量水计的现场试验

现场试验选在江苏省如皋市农田水利试验站附近的小型电灌区进行.灌区干渠渠首建1处电灌站——天池泵站,泵站装有2台14英寸混流泵.在距离泵站约50m的干渠上安装1个固定式220VAC 荧光数显长喉道量水计,在离泵站较近的1条U形支渠上安装了固定式24VDC 太阳能荧光数显、固定式4.5VDC 液晶数显长喉道量水计,2个量水计量水槽

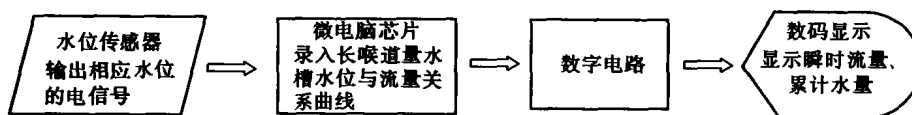


图3 流量积算仪的结构框图

的尺寸相同,相距约 50 m.所有测试渠道都是混凝土衬砌渠道.

试验分三部分进行:①测定安装在干渠上的固定式 220VAC 荧光数显长喉道量水计的整体精度,采用流速法测量渠道流量,所用仪器为近期率定过的直读式多功能流速仪.另外,在泵站的 1 台水泵出水管上还安装了 1 个管道超声波流量计,用于渠道流量的测量对比.测定开 1 台水泵和两台水泵同时开 2 种流量情况;②测定安装在 U 形支渠上的固定式 24VDC 太阳能荧光数显、固定式 4.5VDC 液晶数显 2 个长喉道量水计的整体精度,采用流速法测量渠道流量.开 1 台水泵,运用干渠上的闸门控制调节测流流量的大小;③在 U 形支渠上测定即插式液晶数显长喉道量水计的精度,方法同②.

各种量水计的测试结果见表 1 至表 4.对固定式 220VAC 荧光数显长喉道量水计,共进行了 2 个不同流量(对应于开 1 台水泵和开 2 台水泵 2 种情况)的现场测试,累计水量的相对误差分别为 -2.25%,-1.01%.固定式 24VDC 太阳能荧光数显长喉道量水计和固定式 4.5VDC 液晶数显长喉道量水计的率定同

表1 固定式 220VAC 荧光数显长喉道量水计测试结果

测次	上游行近断面水深 /m	实测瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	测流历时 /min	实测平均瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	实测累计水量 / m^3	显示累计水量 / m^3	累计水量相对误差 /%
1	0.540	0.297					
	0.540	0.298	42	0.296	745.08	728.28	-2.25
	0.535	0.292					
2	0.680	0.575					
	0.685	0.587	36	0.589	1271.52	1258.74	-1.01
	0.690	0.604					

表2 固定式 24VDC 太阳能荧光数显长喉道量水计测试结果

测次	上游行近断面水深 /m	实测瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	测流历时 /min	实测平均瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	实测累计水量 / m^3	显示累计水量 / m^3	累计水量相对误差 /%
1	0.370	0.086					
	0.370	0.088	31	0.089	164.92	167.40	1.51
	0.375	0.092					
2	0.430	0.135					
	0.440	0.142	26	0.140	218.40	209.78	-3.95
	0.445	0.143					
3	0.485	0.193					
	0.490	0.190	29	0.194	336.98	319.48	-5.19
	0.495	0.198					
4	0.530	0.248					
	0.540	0.258	32	0.255	490.24	488.32	-0.39
	0.540	0.260					

时进行,共做了 4 个不同流量的测试.固定式 24VDC 太阳能荧光数显长喉道量水计的 4 次累计水量相对误差分别为 1.51%,-3.95%,-5.19%,-0.39%,固定式 4.5VDC 液晶数显长喉道量水计的 4 次累计水量相对误差分别为 6.92%,-4.55%,2.75%,-4.75%.对即插式 4.5VDC 液晶数显长喉道量水计,共进行了 2 个不同流量的测试,测试在 U 形支渠上进行,2 次测得的累计水量相对误差分别为 3.53%,-2.43%.在上述所有测试中,绝大多数情况的累计水量相对误差在 $\pm 5\%$ 以内,最大的累计水量相对误差为 6.92%.

表3 固定式 4.5VDC 液晶数显长喉道量水计测试结果

测次	上游行近断面水深 /m	实测瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	测流历时 /min	实测平均瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	实测累计水量 / m^3	显示累计水量 / m^3	累计水量相对误差 /%
1	0.370	0.086					
	0.370	0.088	31	0.089	164.92	176.33	6.92
	0.375	0.092					
2	0.430	0.135					
	0.440	0.142	26	0.140	218.40	208.46	-4.55
	0.445	0.143					
3	0.485	0.193					
	0.490	0.190	29	0.194	336.98	346.24	2.75
	0.495	0.198					
4	0.530	0.248					
	0.540	0.258	32	0.255	490.24	466.95	-4.75
	0.540	0.260					

通过各种类型的长喉道量水计在不同流量下的现场测试,可以看出我们研制开发的新型量水计具有较高的测流精度,能够满足灌区量水精度的要求.

表4 即插式 4.5VDC 液晶数显长喉道量水计测试结果

测次	上游行近断面水深 /m	实测瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	测流历时 /min	实测平均瞬时流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	实测累计水量 / m^3	显示累计水量 / m^3	累计水量相对误差 /%
1	0.460	0.162					
	0.465	0.167	33	0.165	326.04	337.56	3.53
	0.460	0.165					
2	0.510	0.222					
	0.515	0.229	27	0.225	365.04	356.17	-2.43
	0.515	0.225					

3 结 语

自记式长喉道量水计是基于传统长喉道量水槽测流原理,利用目前最新的数字显示技术研制开发的新型量水设备.它由长喉道量水槽、水位传感器和流量积算仪三部分组成,除具有传统(下转第 33 页)

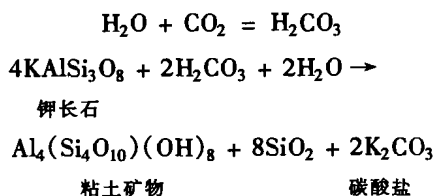
于廊道上游侧,邻近拱端,水质特征说明水的补给来自库水,其流量动态与库水位密切相关.34孔位于廊道下游侧,此孔水中含 H_2S ,邻近的河床侧排水量明显大于山坡侧,且河床侧下游排水孔水质特征与库水相近,说明34孔径流通畅,水来自库水补给,1991年汛期孔水位随库水位同步变化显著.地下径流仍主要受北北东向陡倾角节理制约,径流通畅带延伸方向与此基本一致.

3.3 坝基水中 K^+ , Na^+ 含量剧增机理

库水及山坡岩体水(16号拱-7孔)中 $K^+ + Na^+$ 含量不多,仅 $17.0 \sim 24.0 \text{ mg/l}$,但13号拱廊道内不少孔水中含量达 100.0 mg/l 以上,34孔达最大值 141.75 mg/l ,是同期库水的9~16倍.说明 $K^+ + Na^+$ 的迁移量较大.

水中 $K^+ + Na^+$ 含量剧增,与水-岩间的相互作用密切相关.坝基岩石(细粒花岗岩)中,矿物成分以正长石(含钾)、斜长石、石英为主,正长石或斜长石(含钠、钙)在具侵蚀性 CO_2 水的作用下可使矿物水解.

库底水中:



(上接第30页)长喉道量水槽的优点外,还具有观测方便、测量精度高、自动控制等突出优点.

现场测试结果表明,开发研制的固定式220VAC荧光数显、固定式24VDC太阳能荧光数显、固定式4.5VDC液晶数显和即插式液晶数显等多种自记式长喉道量水计,在不同流量条件下均具有较高的测流精度,绝大多数情况的累计水量相对误差在 $\pm 5\%$ 以内,其中最大累计水量相对误差为 6.92% ,完全可以满足灌区农用水量精度的要求.

参考文献:

- [1] 李家星,赵振兴.水力学[M].南京:河海大学出版社,2001.
- [2] Bos M G. Long-throated flumes and broad-crested weirs [M]. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, 1985.
- [3] 范家炎,史伏初,郑浩杰.灌区量水设备[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [4] Samani Z, Magallanez H. Simple flume for flow measurement in open channel[J]. J Irrig and Drain Engrg. ASCE, 2000, 126(2):127~129.
- [5] 吉庆丰,沈波.灌区量水设施研究开发进展[J].灌溉排水,2001,20(4):65~68.

(收稿日期:2002-10-21 编辑:傅伟群)

K_2CO_3 易溶解于水,使水中 K^+ 含量增加.同样,斜长石水解可使水中 Na^+ 增加.

4 结 语

a. 自1995年以来采取帷幕灌浆等工程处理后,观测孔水位明显降低且渗漏量减少,水力坡度亦较平缓,说明帷幕补强效果明显.

b. 右岸坝基13号拱廊道内大流量排水以及左岸坝基4号拱内常年排水(如15孔)主要来自库水,岸坡水补给量不大.

c. 坝基水中 $K^+ + Na^+$ 来源是坝基花岗岩中长石类矿物局部被分解的产物,邻近排水孔口的析出物中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较多,说明坝基岩石中硅、铝发生迁移,坝基部分软弱岩石受到腐蚀,应引起重视.

参考文献:

- [1] 柴军瑞,刘浩吾.高拱坝研究新进展[J].水利水电科技进展,2001,21(6):1~4.
- [2] 陈金水.福建砌石拱坝施工技术经济分析[J].水利水电科技进展,2002,22(2):14~17.
- [3] 顾冲时,李雪红,吴中如.梅山连拱坝的变形性态研究[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(2):59~63.

(收稿日期:2002-10-31 编辑:傅伟群)

(上接第27页)

- [2] 冯绳武.民勤绿洲的水系演变[J].地理学报,1963,29(3):29.
- [3] 王涛.巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J].中国沙漠,1990,10(1):35~41.
- [4] 韩德林.新疆人工绿洲[M].北京:中国海军科学出版社,2000.
- [5] 中国工程院西北水资源项目组.西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究.中国工程科学[J].2003,5(4):12.
- [6] 刘东升.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.
- [7] 钟德才.中国沙漠动态演化[M].兰州:甘肃文化出版社,1988.
- [8] 朱震达,陈广庭.中国土地沙漠荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.
- [9] 李中锋,刘昌明,杨志峰,等.对中国水问题的哲学思考[J].科技导报,2002,23(9):39.

(收稿日期:2003-05-30 编辑:傅伟群)

