

基于 AHP 的小型灌溉渠道量水设备选型分析

王滇红¹, 杨春蕾², 蔡守华², 孙浩¹

(1.江苏省农村水利科技发展中心, 210029, 南京; 2.扬州大学, 225009, 扬州)

摘要: 小型灌溉渠道量水设备类型很多, 在生产实践中经常遇到如何选型的问题。总结了目前常用几种量水设备的技术特性, 在此基础上提出一种基于层次分析法(AHP)的小型灌溉渠道量水设备选型方法。该方法以量水设备选型为目标层, 以测流范围、淹没度、测量精度、工程造价、测流及管护方便程度为准则层, 以常用的量水设备为方案层。分析结果表明, 针对我国南方大中型灌区, 梯形断面斗农渠量水设施的优选顺序为分流量水计、圆柱形量水槽、量水槛、矩形无喉段量水槽、巴歇尔量水槽。优选结果对以上所述地区灌区斗农渠量水设备的选择具有一定的指导价值。

关键词: 灌区; 量水设备; 层次分析法; 优选

Selection of water metering equipment for small irrigation canals based on AHP//Wang Dianhong, Yang Chunlei, Cai Shouhua, Sun Hao

Abstract: There are many types of water metering equipment for small irrigation canals. A summary is made on technical features of some water metering equipment, which is used as the base to select metering equipment for small irrigation canals by means of Analytic Hierarchy Process (AHP). The method uses the type of metering equipment as the target, scope of flow measurement submergence ratio and accuracy, cost, flow measurement and convenience of operation and maintenance as the criteria and meters that commonly used as the options. The evaluation results show that the preferable sequence of metering facilities for trapezoidal cross-section lateral canal should be distributary water meter, cylinder-shaped measuring flume, water metering cage, rectangle cut-throat water measuring flume and Parshall flume, which can be used as guidance for the selection of metering facilities in large and medium irrigation districts in southern part of China.

Key words: irrigation district; water metering equipment; Analytic Hierarchy Process (AHP); optimized selection

中图分类号: S27+TV

文献标识码: B

文章编号: 1000-1123(2017)23-0040-04

根据人均或亩均水资源拥有量, 我国是一个水资源贫乏的国家, 随着经济社会的迅速发展, 水资源供需矛盾日益严重。同时, 我国又是一个农业大国, 农业用水占全国总用水量的60%以上, 灌溉用水浪费现象严重。为此, 各地十分重视灌区量水, 以改善灌溉用水管理水平, 提高灌溉水利用率。一般情况下, 大中型灌区干支渠多利用进水闸或分水闸进行量水, 斗农渠则适宜采用特设量水设备进行

量水。目前, 已研发应用的特设量水设备种类很多, 如何为斗农渠选择合适的量水设备是灌区量水工作中经常遇到的问题。各类量水设备在性能特点上各不相同, 依靠主观判断的传统选型方法, 有可能导致决策错误。事实上, 量水设备的选型涉及多方面的因素, 但是目前还未见利用决策模型进行量水设备选择的相关研究。为此, 本文尝试采用层次分析法, 将定性问题量化, 以提高量水设备选择

的科学决策水平。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是 Thomas L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的决策方法, 它是一种综合人们主观判断的客观方法, 也是一种结合定量与定性研究的方法, 能有效处理难以完全用定量方法来分析的复杂问题, 可以将复杂的问题分解成若干层次, 在比原问题简单得多的层次上逐步分析; 可以将人的主观判断用数量形式表达和处

收稿日期: 2017-10-12

作者简介: 王滇红, 高级工程师, 主要从事农田水利工程设计、咨询和科研工作。

基金项目: 江苏省水利科技项目(2016013)。

理,也可以自我检验对某类问题的主观判断是否前后有矛盾。

一、常用特设量水设备的技术性能

灌区特设量水设备主要有巴歇尔量水槽、矩形无喉段量水槽、量水槛(长喉道量水槽)、直壁量水槽、抛物线形喉口量水槽、平坦V形堰、平顶堰、薄壁堰、圆柱形量水槽、喷嘴、分流量水计等,而对于斗农级小型灌溉渠道,目前较常用的主要有巴歇尔量水槽、矩形无喉段量水槽、量水槛、圆柱形量水槽、分流量水计等。

巴歇尔量水槽是由短直喉道、上游收缩段和下游扩散段组成。收缩段的槽底是水平的,喉道的槽底向下游倾斜,扩散段槽底的倾斜方向与喉道相反。巴歇尔槽水头损失小、壅水高度小,在自由流条件下,量水精度较高,测流范围大,但结构较复杂,适合在流量变幅大的渠道上使用。

矩形无喉段量水槽主要有进口收缩段、矩形喉口、出口扩散段以及上下游水尺组成,上游进口段以1:3折角收缩,下游出口段以1:6折角扩散,进口和出口宽度相等。该槽为平底开敞式,施工方便,能很好地适应缓坡渠道测流,不致产生淹没出流和大的壅水,造价较低,在喉道处测量精度较高,但在淹没出流的情况下量水精度较差。

量水槛属长喉道量水槽,控制段狭长,临界流态在喉段内保持距离较长,且流态不易受下游水位影响,水头损失小,量水精度高,淹没度可达95%,能较好地防止泥沙淤积和漂浮物阻塞,造价低,但是当断面尺寸较大时,量水槽的尺寸也较大,增加了一定工程量。

圆柱形量水槽是直接原有渠道轴线上设置一个具有足够刚度的圆柱体,促使水流在该处形成临界水流状态来测流的一种小型量水设备,无须改变原有渠道断面结构。该设备具有结构简单、制作安装简便、测流精度较高、既可做成固定式又可做成移动式、管理方便、不易产生淤积等特点。

分流量水计利用文丘里管作过水主管,并在其喉管处连接一装有水表的支管,支管进口设在主管上或与上游水体连接,在自由流及淹没流条件下量水精度均可达95%以上,灵敏度高,测流范围大,水头损失小,结构简单,建造及安装容易,小型分流量水计可制成全套预制件安装;不足之处是不能测得瞬时流量,来水含沙量过大时,会增加水表冲洗的工作量。

上述常用的5种量水设备性能指标汇总见表1,实际选择时,应综合考虑测流范围、淹没度(相当于水头损失,淹没度越小,水头损失越大)、量水精度、工程造价、测流管护方便

程度等指标,选择适宜的量水设备。

二、层次分析基本原理

1.建立层次结构

层次分析法是将影响目标的各项因素分成若干阶梯状层级,通过两两比较的方法确定判断矩阵,综合得出各方案的权重,最后得出各项方案的优劣排序。一个完整的层次分析模型一般分为三层,第一层为目标层,第二层为准则层,第三层为方案层。

本文针对南方大中型灌区梯形断面斗农渠,比较常用的巴歇尔量水槽、矩形无喉段量水槽、量水槛、分流量水计以及圆柱形量水槽5种特设量水设备的优劣。考虑到量水设备的选型一般遵循水头损失小(淹没度大)、测量精度高、测流范围广、使用管理方便、施工方便、造价低廉等原则,因此选择测流范围、淹没度、测量精度、工程造价、测流及管护方便程度5项因素作为评判指标,以巴歇尔量水槽、矩形无喉段量水槽、量水槛(长喉道量水槽)、分流量水计以及圆柱形量水槽5种量水设备为方案层,构造出量水设备选型模型如图1所示。

2.确定单层次相对重要度向量

通过查阅文献,听取专家意见,根据判断矩阵的构建方法,得出准则层判断矩阵H-B,见表2,以及方案层判断矩阵 B_1-C 、 B_2-C 、 B_3-C 、 B_4-C 、 B_5-C ,分别见表3~表7。

表1 5种量水设备性能指标对比

量水设备名称	测流范围				淹没度(m)	计算流量的不确定(%)	造价比较	测流方便程度
	最小水头 H_{\min} (m)	最大水头 H_{\max} (m)	最小流量 Q_{\min} (m^3/s)	最大流量 Q_{\max} (m^3/s)				
巴歇尔槽	0.015~0.03	0.21~1.83	0.000 09	93.04	0.5~0.7	2~5	高	方便
矩形无喉段量水槽	0.06	2.0	0.005 $b=0.2$	4.82	0.5~0.65	2~5	较高	较方便
量水槛(长喉道量水槽)	0.06 或 0.1L 取最小者	1.0L	0.0066 $b=0.3$	随喉长L大小变化	0.85~0.95	2~5	较低	较方便
分流量水计	0.001~0.03	0.18~1.85	0.000 1	92.38	0.90~0.97	1~5	中等	很方便
圆柱形量水槽	0.12	0.33	0.1	2	0.70~0.84	1~3.85	低	非常方便
备注	L为量水槽的槽长(m),b为堰(槽)的控制段底宽(m)							

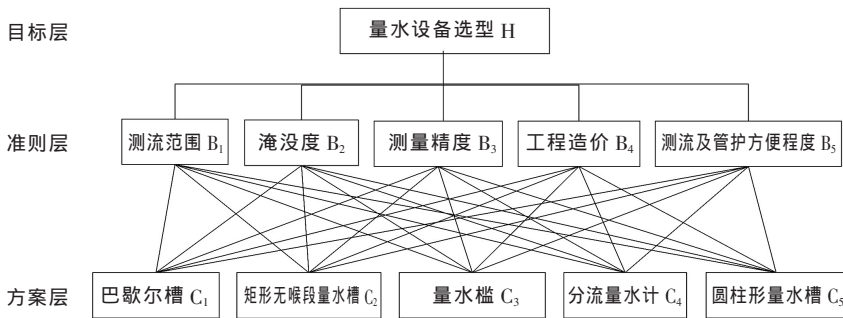


图 1 量水设备选型评判指标体系图

表 2 准则层判断矩阵 H-B

H	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	权重
B ₁	1	1/5	1/7	1/4	1/4	0.043
B ₂	5	1	1/4	2	1/2	0.160
B ₃	7	4	1	4	2	0.450
B ₄	4	1/2	1/4	1	1/2	0.116
B ₅	4	2	1/2	2	1	0.231

表 3 方案层判断矩阵 B₁-C

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重
C ₁	1	2	3	2/3	2	0.267
C ₂	1/2	1	3/2	1/2	2	0.166
C ₃	1/3	2/3	1	1/4	1	0.099
C ₄	3/2	2	4	1	3	0.361
C ₅	1/2	1/2	1	1/3	1	0.107

表 4 方案层判断矩阵 B₂-C

B ₂	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重
C ₁	1	1/2	1/2	1/2	1	0.121
C ₂	2	1	1	1/3	2/3	0.156
C ₃	2	1	1	1/3	2	0.195
C ₄	2	3	3	1	2	0.376
C ₅	1	3/2	1/2	1/2	1	0.151

表 5 方案层判断矩阵 B₃-C

B ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重
C ₁	1	1/3	1/4	1/5	1/2	0.065
C ₂	3	1	1	1/2	2	0.211
C ₃	4	1	1	1/2	2	0.223
C ₄	5	2	2	1	3	0.383
C ₅	2	1/2	1/2	1/3	1	0.118

表 6 方案层判断矩阵 B₄-C

B ₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重
C ₁	1	2	1/3	1/3	1/3	0.095
C ₂	1/2	1	1/5	1/5	1/6	0.051
C ₃	3	5	1	1	1/2	0.239
C ₄	3	5	1	1	1/2	0.239
C ₅	3	6	2	2	1	0.376

表 7 方案层判断矩阵 B₅-C

B ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重
C ₁	1	1/3	1/3	1/4	1/5	0.060
C ₂	3	1	1	1/2	1/3	0.147
C ₃	3	1	1	1/2	1/2	0.160
C ₄	4	2	2	1	2/3	0.271
C ₅	5	2	2	3/2	1	0.362

表 8 平均随机一致性指标 RI 取值表

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41

然后根据判断矩阵计算出相对重要度向量(特征向量)W 的分量 w_i :

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}$$

则相对重要度向量 $W=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$, 然后对归一化处理得出 W' 。根据 W' 即可得出同一层次各相应元素对于上一层次某元素的相对重要性排序值, 即为层次单排序。计算结果分别见表 2~表 7 权重列。

为了防止判断矩阵的不一致性, 需要对判断矩阵进行一致性检验。

首先根据 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{W_i}$, 求出矩阵的最大特征值 λ_{\max} ; 然后计算一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; 最后计算随机一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI}$, 其中 RI 为随机一致性指标, 取值如表 8 所示。

当 $CR \leq 0.1$ 时, 即表示判断矩阵具有非常满意的一致性, 判断矩阵是合理的。否则, 代表评审者作出的评价意见不够客观, 比较结果之间发生冲突, 此时需要对因素进行重新评价, 使一致性比率 CR 达到小于等于 0.1 的要求。

经计算, 判断矩阵 H-B、B₁-C、B₂-C、B₃-C、B₄-C、B₅-C 的 CR 值分别为 0.038 9、0.010 3、0.054 6、0.005 5、0.013 9、0.009 6, 均满足层次单排序一致性检验。

3. 层次总排序

综合重要度向量的计算自上而下进行, 即某一级因素的综合重要度是以上一级因素综合重要度为权重的加权和。假设判断矩阵 H-B 的权重为 $b_1 \sim b_m (m=1 \sim 5)$, 其下一级判断矩阵 B-C 的权重为 $c^i (i=1 \sim 5)$, $c^i = (c_1^i, c_2^i, \dots, c_n^i)^T (n=1 \sim 5)$, 则 $C_j (j=1 \sim 5)$ 的综合重要度权重向量公式如下, 最后计算可以得出层次总排序矩阵如表 9 所示。

表9 层次总排序矩阵

层次	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	权重
巴歇尔槽(C ₁)	0.267	0.121	0.065	0.095	0.060	0.149
矩形无喉段量水槽(C ₂)	0.166	0.156	0.211	0.051	0.147	0.196
量水槛(C ₃)	0.099	0.195	0.223	0.239	0.160	0.208
分流量水计(C ₄)	0.361	0.376	0.383	0.239	0.271	0.234
圆柱形量水槽(C ₅)	0.107	0.151	0.118	0.376	0.362	0.213

$$c_i = \sum_{j=1}^5 b_{ij} c_j^i \quad (j=1\sim 5)$$

对于层次总排序矩阵也需进行一致性检验,以确保层次总排序结果满足一致性要求。

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\sum_{j=1}^n CI_j \cdot W'_j}{\sum_{j=1}^n RI_j \cdot W'_j}$$

当 $CR < 0.1$ 时,层次总排序结果具有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵中的元素取值,以保证结果满足一致性。

进行层次总排序一致性检验如下:

$$CI = 0.043 \times 0.0116 + 0.160 \times 0.0612 + 0.450 \times 0.0062 + 0.116 \times 0.0156 + 0.156 \times 0.0107 = 0.0173$$

$$RI = 0.043 \times 1.12 + 0.160 \times 1.12 + 0.450 \times 1.12 + 0.116 \times 1.12 + 0.156 \times 1.12 = 1.12$$

$$CR = CI/RI = 0.0155 < 0.1$$

可见,满足一致性检验。

根据表9中的权重总排序,得出各个量水设备的优选顺序依次为分流量水计、圆柱形量水槽、量水槛、矩形无喉段量水槽、巴歇尔槽。

三、分析与结论

我国南方大中型灌区灌溉作物以水稻为主,灌水较为频繁,且斗农两级渠道数量众多,若采用传统的量水槽进行量水,每次灌水需观测量水槽上下游水尺读数及过流时间。目前农村劳动力价格提高较快,测流成本将会很大。以江苏省高邮灌区为例,共有斗渠3250条,若采用传统的量水槽量水,按目前的管理人员数量,不可能完

成全部斗渠的测流任务。分流量水计最大特点是可自行累计水量,测流特别方便,不要求每次灌水前去观测流量并记录放水时间,只需进行例行巡视维护即可。定期巡视虽需要一定用工投入,但远远低于传统的测流用工。而且分流量水计造价较低,精度较高,因此分流量水计列于首位,具有客观合理性。分流量水计的不足之处是,内置水表对水质要求较高,而南方地区灌溉水源以河流及湖库水为主,含沙量较少,有利于分流量水计的推广应用。悬浮物杂质可以通过拦污装置加以拦截,并通过定期的人工巡视加以清理。目前机械水表价格低廉,可以安装一个备用水表,以提高测流的可靠性。

圆柱形量水槽结构简单,一般是预制圆筒或圆柱,再运至现场安装,施工安装十分方便,量水精度也有保障。因此,若斗农渠数量较少,测流用工投入有保障,则圆柱形量水槽也是一种较好的选择。

南方部分经济发达地区,灌溉量水引入了现代自动观测技术,即利用水位传感器自动采集上下游水位,并自动计算过水量和累计水量。在这种情况下,量水槛和矩形无喉段量水槽均是较理想的选择。因为这类量水槽技术成熟,不同规格渠道均有成熟的定型设计,再结合现代的观测技术,可以获得更可靠的观测结果。

本文给出的排序结果主要针对南方一般的大中型灌区梯形断面斗、农渠特设量水设备的选择。小型灌溉

渠道量水设施类型很多,选择量水设施的制约因素也很多。假如渠道为U形渠道,抛物线形喉口量水槽、直壁量水槽也是可行的备选方案。因此,在其他情况下,宜根据具体情况建立相应的决策模型,选择合适的量水设施。

参考文献:

- [1] 叶金俊. 层次分析法在采运设备选型中的应用[J]. 林业勘察设计, 1998(2).
- [2] 汪应洛, 陶谦坎. 运筹学与系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] 史伏初. 农用分流量水计[J]. 农田水利与小水电, 1985(12).
- [4] 冉聃聃, 王文娥, 胡涛. 梯形喉口无喉道量水槽水力性能试验研究[J]. 水力发电学报, 2017, 36(9).
- [5] 徐义军, 韩启彪. 我国灌区量水槽研究概述[J]. 节水灌溉, 2012(5).
- [6] Parshall R L. The Improved Venturi Flume[M]. USA: Colorado Experiment Station, Fort Collins, Colorado Agricultural College, 1928.
- [7] Cox A L, Thornton C I, Abt S R. Supercritical flow measurement using a large Parshall flume[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2013, 139(8).
- [8] Singh J, Mittal S K, Tiwari H L. Discharge relation for small Parshall flume in free flow condition [J]. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014, 3(4).
- [9] Hager W H. Modified trapezoidal Venturi channel [J]. J of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 1986, 112(3).

责任编辑 张瑜洪