

对渠道渗漏量计算方法的探讨

江崇安, 高 华, 范守伟, 邵英超

(山东省水利勘测设计院, 山东 济南 250013)

摘 要:渠道渗漏量计算是渠道防渗设计的核心内容及评价依据, 目前对有防渗层特别是采用聚乙烯(PE)土工膜防渗层的渠道, 仍采用武汉水利电力学院主编的《农田水利学》一书中渗漏量计算方法, 已超出公式的使用范围, 建议采用武汉水利电力学院水力学教研室编制的《水力计算手册》5-5-14 式进行计算, 以便准确计算渠道渗漏量、合理确定渠道输水、配水规模, 为国家节省投资。

关键词:渠道渗漏; 渠道防渗; 自由渗流

中图分类号: TV223.4 **文献标识码:** B

0 引言

随着社会经济的快速发展, 水资源供需矛盾日益突出, 节水是缓解水资源短缺的重要途径和有效手段。农业是用水大户, 节水灌溉已引起各级政府和水利行政主管部门的高度重视, 山东省自 1999 年开始对位山灌区、潘庄灌区等 40 余座大型灌区进行续建配套与节水改造工作, 计划用 15 年全部完成, 届时渠系水利用系数由现状的 0.41 提高至 0.75, 山东省年节水量实现 31.6 亿 m^3 , 将产生显著的经济效益、社会效益和环境效益。

山东省农业灌溉所采取的主要节水技术就是最大限度的减小输配水过程中的渗漏损失, 对干、支、斗三级渠道进行防渗衬砌, 而防渗层大多采用高分子柔性材料—聚乙烯(PE)土工膜。渠道渗漏量计算是确定工程规模的关键, 因此分析研究有防渗层的渠道渗漏计算方法, 对准确计算渠道渗漏量、合理确定渠道输水、配水规模, 为国家节省投资具有重大意义。

1 现行渠道渗漏计算方法存在的主要问题

1.1 现行渠道渗漏量计算方法的技术背景

武汉水利电力学院主编的《农田水利学》一书中, 所推荐的计算方法与计算公式是基于前苏联土壤改良原理等有关理论并结合我国实际情况提出的。受当初节水意识、经济条件及防渗材料的制约, 灌溉渠道的建设大多没有采取防渗措施或采用渠槽翻松夯实、粘土护面或浆砌石护坡等简单的防渗形式, 采用上述方法对渠道渗漏量进行计算, 并作为渠道设计与灌区规划的依据是适宜的。进入 20 世纪 80 年代后期, 随着我国经济的快速发展, 聚乙烯(PE)土工膜等新材料的广泛用于灌溉渠道

防渗, 再采用上述方法计算渠道渗漏量, 会产生较大的误差。

1.2 现行渠道渗漏计算方法存在的主要问题

(1) β 值(渗水量减小系数)难以准确定量。 β 选值主要依据衬砌类型、施工方法、施工质量、防渗层的厚度等按经验确定, 缺少理论依据。现行渠道衬砌防渗一般有三合土、水泥石、砌石、沥青混凝土、水泥混凝土、聚乙烯(PE)土工膜等众多形式, 其 β 值均不相同, 同时每一类衬砌形式 β 值可供选择的范围也很大, 难以准确把握, 同一渠段会因不同的计算者 β 选值不同而导致不同的计算结果。

因此建议采用武汉水利电力学院水力学教研室编制的《水力计算手册》5-5-14 式进行计算, 该公式不存在 β 的选值问题, 可根据防渗层的厚度、渗透系数及渠道底宽、水深等其他设计参数, 直接计算出防渗后单位渠长的渗漏量, 进而避免因 β 选值而造成的计算误差。

(2) 计算公式中没有反映防渗层厚度对渗漏量的影响。根据达西定律, 在作用水头相同的条件下渗漏量与渗径呈反比, 即防渗层越厚, 渗径越长, 渗漏量也越小。《农田水利学》一书所推荐的计算公式, 不能准确定量地反映出对渗漏量的影响, 只是隐含在 β 的选值中, 易产生较大误差。

(3) 渠道采用聚乙烯(PE)土工膜防渗后渗漏量计算误差大。从渠道防渗后的渗漏量计算公式 $S_{防} = \beta S$ 可以看出, $S_{防}$ 除了受 β 值的影响外, 还与未采取防渗措施时每公里渠长的渗漏流量 S 有关。在渠道水深等设计参数不变的情况下, S 值大小主要受渠床土壤渗透系数 K 值的影响, S 与 K 呈正比关系, K 值越大所计算的 S 值越大, 即所计算的防渗后的渗漏量 $S_{防}$ 也越大, 这对于防渗渠道特别是采取聚乙烯(PE)土工膜防渗材料

而言, $S_{防}$ 计算值与实际渗漏量有较大误差。

如山东省某引黄灌区续建配套与节水改造工程,对输水干渠进行衬砌,全断面均采用 0.3 mm 厚的聚乙烯(PE)土工膜防渗,干渠的设计水深、渠道底宽、边坡系数等渠道设计参数不变,而渠床土质有较大差别,某一渠段渠床为粘土,渗透系数为 4.167×10^{-7} m/s,而与其临近的另一渠段渠床土质为砂质壤土,渗透系数为 1.968×10^{-5} m/s,通过上述公式计算得出的砂质壤土渠段的渗漏量是粘性渠床渠段的 47 倍,砂质壤土渠段 $S_{防}$ 计算值偏大,与实际有较大出入。该灌区在连续输水 35 d 后,通过挖探坑观察渠坡防渗膜下顶部至底部的土壤,含水量变化不大,说明有防渗层的渠道特别是采用渗透系数非常小的 PE 膜防渗渠道,仍采用上述计算公式是不适宜的,应重点考虑防渗层的作用。

2 对有防渗层渠道渗漏量计算方法的探讨

考虑到目前有防渗层渠道渗漏量计算方法的不足,结合渠道的实际情况,渗漏量计算建议采用武汉水利电力学院水力学教研室编制的《水力计算手册》5-5-14 式进行计算。

2.1 计算公式

$$q_s = \frac{K(B+Ah)}{1 + \frac{A\delta_1}{B} \left(\frac{K}{K_1} - 1 \right)}$$

式中 q_s ——渠道防渗后单位渠长的渗漏流量, m^3/s ;

A ——系数,由渠道过水断面的参数 B/h 和 m ,查《水力计算手册》图 5-5-4 确定;

K ——原渠床土壤的渗透系数, m/s ;

K_1 ——土质防渗层的渗透系数, m/s ;

B ——渠道水面宽度, m ;

δ_1 ——土质防渗层的厚度, m ;

b ——渠底宽度, m ;

h ——渠道水深, m ;

m ——渠道边坡系数。

该公式的适用条件为:整个过水断面都铺设防渗层,且防渗层为土质防渗层,渗流状态为自由渗漏。若为顶托渗漏,则先按自由渗漏计算公式计算渗漏量,再乘以 γ_2 校正系数。

2.2 使用方法

该公式在使用时,按照渗漏量相等的原则,将工程使用的土工膜或混凝土等非土质防渗层,换算成相应厚度的粘土防渗层。

根据达西定律:

$$V = KJ, \text{ 则 } Q = \omega KJ$$

式中 V ——渗流流速, m/s ;

J ——渗透坡降;

ω ——渗流过水断面面积, m^2 ;

Q ——渗漏流量, m^3/s 。

根据渗漏量相等的原则: $Q = \omega_1 K_1 J_1 = \omega_2 K_2 J_2$ 则可以导出下式:

$$\omega_1 K_1 \frac{\Delta H_1}{\delta_1} = \omega_2 K_2 \frac{\Delta H_2}{\delta}$$

因同一渠段的土质防渗层与非土质防渗层的渗流过水面积及渠道的水头差相同,即 $\omega_1 = \omega_2, \Delta H_1 = \Delta H_2$,可按下式计算出等渗漏量的相应粘土防渗层的厚度。

$$\delta_1 = \frac{K_1 \delta_2}{K_2}$$

按照式 5-5-14 计算自由渗漏情况下的渗漏量,根据地下水埋深及设计流量查表 5-5-4 得出顶托渗漏量校正系数,并计算出顶托渗漏情况的渗漏量。

3 计算结果验证

仍以山东省某引黄灌区干渠采用 0.3 mm 厚的聚乙烯(PE)土工膜进行全断面防渗为例,以现行计算方法、笔者推荐方法及采用其他方法,对计算成果进行验证。

3.1 验证公式

验证公式采用《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》SL/T231-98,式 2.4.1。

$$Q = K_2 \omega \Delta H / \delta_2$$

式中有关符号的意义同上。

对于梯形渠道,作用在渠底土工膜上的水头为一常数,而作用在渠坡上的水头是变化的。

3.2 验算结果

在干渠上取 1 km 的渠段,以不同的计算方法进行渗漏量计算。该段干渠的主要设计参数为:设计流量 $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$,渠底比降 $1/20\,000$,设计水深 2.5 m,渠底宽度 6.5 m,渠道边坡系数为 2.0,水面宽度为 16.5 m,渠床为砂质壤土,渗透系数为 1.968×10^{-5} m/s,为减小渗漏量,采用了 0.3 mm 厚的聚乙烯(PE)土工膜进行了全断面的防渗,为保护防渗层免遭破坏,延长使用寿命,减小输水糙率,在其上部铺设了 0.06 m 厚的预制混凝土板。

3.2.1 以现行的方法计算渗漏量

自由渗流情况下渗漏量: γ_1 取为 1.2,已知 $K = 1.968 \times 10^{-5}$ m/s, $h = 2.5$ m, $b = 6.5$ m, $m = 2$ 。则 $S = 0.0116K(b + 2\gamma_1 h \sqrt{1+m^2}) = 0.393 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

顶托渗流情况下渗漏量: γ_2 查表得 1.0,则 $S_{顶} = \gamma_2 S = 0.393 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

渠道防渗情况下渗漏量: β 根据有关资料取最小值为 0.05,则 $S_{防} = 1.97 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2.2 按推荐公式计算渗漏量

已知聚乙烯(PE)土工膜的渗透系数为 1×10^{-13} m/s,膜的厚度为 3×10^{-4} m,将其换算成渗透系数为 1×10^{-8} m/s 的粘土层厚度为 30 m。根据 $B/h = 16.5/2.5 = 6.6$,及 $m = 2$ 查图得 $A = 2.4$,已知 $K = 1.968 \times 10^{-5}$ m/s, $B = 16.5$ m, $h = 2.5$ m, $\delta_1 = 30$ m, $K_1 = 1 \times 10^{-8}$ m/s,按推荐公式可求得单延米的渗漏量:

$$q_s = 5.158 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}。$$

换算成 1 km 渠段的渗漏量为 $5.158 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2.3 按验证公式计算渗漏量

已知 $K_2 = 1 \times 10^{-13}$ m/s, $\Delta H = 2.5$ m, $b = 6.5$ m, $m = 2$, $\omega = (b + 2h \sqrt{1+m^2})m^2$ (下转第 32 页)

电磁阀失灵、线路发生短路等意外情况发生时,该模块会对实时信息进行报警与记录;④ 阀门状态监控模块,该模块主要用于电磁阀启/闭状态的监测与显示。

3.3 自动控制系统

灌溉自动控制系统(Irrigation Auto-control System)是一个根据用户需要由控制中心发出指令来完成自动灌水这一过程的智能装置。系统根据传输到控制系统的决策指令来确定是否进行灌溉。由监控系统发出的对各个监控点的状态信息被传送到控制中心并做出动作执行信息,这些信息通过 GSM 短信被传输到相应的田间(或水源)数据采集终端和节水控制终端上,从而实现了对监控点设备进行控制(开启和关闭)的目的。

3.3.1 基本组成

自动控制系统的硬件部分主要由数据采集卡、计算机、控制卡、电器控制器、管道以及电磁阀等部分组成。软件部分主要是智能控制程序设计,另外需由监测系统和决策系统为驱动。

3.3.2 工作原理

采集系统利用安置在田间的各类传感器采集各类环境参数(采集时间可自由设定),然后传输给控制室中的计算机,系统处理后提供灌溉预报,需要灌溉时向控制卡发出灌溉指令,田间输水管道上的电磁阀自动打开进行灌溉,同时,灌溉过程中计算机对管道压力进行实时监测,当发现管道压力过高便自动停止供水或开启另一轮电磁阀,以保证输水管道的安全运行(如图 4)。

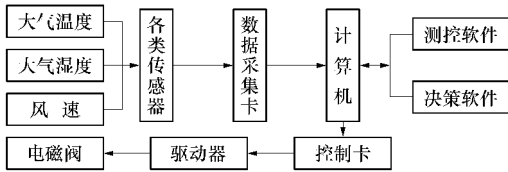


图 4 自动控制系统原理图

(上接第 29 页)

$$Q = K_2 \omega \Delta H / \delta_2 = (K_2 b \Delta H / \delta_2 + K_2 2 h \sqrt{1+m^2} \times \frac{\Delta H}{2} / \delta_2) = 1.008 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

换算成 1 km 渠段的渗漏量为 $1.008 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2.4 验证结论

按《农田水利学》一书中计算方法得出渗漏量为 $1.97 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$,要比采用推荐计算公式得出渗漏量 $5.158 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 及验证公式得出渗漏量 $1.008 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 大很多倍,这种偏差与所选 β 值、防渗材料渗透系数及渠床透水性有关,通过大量计算可以发现渠道防渗所采用的防渗材料渗透系数越小,计算偏差越大;渠床透水性越强,计算误差越大。这说明对有防渗层的渠道特别是采用聚乙烯(PE)土工膜防渗的渠道,该计算公式的已超出其使用范围,建议采用《水力计算手册》中的有关公式进行计算。

采用验证公式计算得渗漏量为 $1.008 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$,基本与

4 结 语

现代化的作物高效灌水设施需要现代化的灌溉管理与自动控制系统给予支持。农田水分灌溉管理与自动控制系统的开发和设计,不仅为各级用户掌握实时农田水分状况、指导生产提供了可靠依据,还为节水灌溉技术的推广及灌溉知识的传播提供了行之有效的方法和手段。与单一的决策支持系统和自动控制系统相比,该系统具有以下优势:① 该系统集动态监测、决策支持与自动控制于一体,实现了监测的实时性,预报的准确性和控制的自动性。② GSM 无线通讯技术全面实施对棉田水分的动态监测,不仅价格低廉、覆盖面广,而且解决了地区偏远、架设通信线路困难等问题。③ 决策支持系统实现了对农田水分的预测预报以及作物的模拟,避免了灌溉的盲目性,大大地发挥了滴灌的生产潜力,为农田灌溉提供了依据,提高了科学灌溉的管理水平。④ 自动控制系统减少了劳动强度,实现了农田灌溉的自动化。随着水资源开发和利用的不断深入,可开发水资源的数量日益减少,农田水分灌溉管理与自动控制系统将有着更广阔的发展前景,尤其是以此为平台集地理信息系统(GIS)、专家系统(ES)于一体的系统,其功能将更加强大和完善,它的发展将会使农业现代化的发展迈向新的台阶。

参考文献:

- [1] 曹卫星,罗卫红. 作物系统模拟及智能管理[M]. 北京:高等教育出版社,2003,2(1):122.
- [2] 夏安邦. 决策支持系统引论[M]. 上海:同济大学出版社,1991. 1-76.
- [3] 王克宏. 谈谈知识库和知识库管理系统的研究与开发问题[J]. 计算机世界,1991:339.
- [4] 杨勇,邹时林. 知识库系统的原理[J]. 华东地质学院学报,2001,24(4).

笔者推荐公式得出渗漏量 $5.158 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 相当,两者计算的渗漏量均较小,与输水流量 $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 相比可以忽略不计,渠道铺设土工膜防渗效果非常好。说明所推荐的计算公式是可靠的、符合实际情况的。采用验证公式计算值偏小,主要原因是规范中计算公式没有考虑渠床透水性及渠床水头变化等边界条件的影响所致。

参考文献:

- [1] SL/T231-98,聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范[S].
- [2] SL18-91,渠道防渗工程技术规范[S].
- [3] GB 50288-99,灌溉与排水设计规范[S].
- [4] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京:水利电力出版社,1983.
- [5] 武汉水利电力学院. 农田水利学[M]. 北京:水利电力出版社,1985.