

Analysis, Calculation and Determination of Crop Irrigation System

—Taking the Irrigation District of Hupingshan in Wufeng County as an Example

Zhihong Li, Xuerui Chai

CAMCE WHU Design & Research Co, LTD., Wuhan Hubei
Email: 2959799761@qq.com

Received: Dec. 3rd, 2018; accepted: Dec. 12th, 2018; published: Dec. 19th, 2018

Abstract

Analysis and determination of Crop Irrigation System is very important for water resource planning and management. This paper summarized the main calculation methods of irrigation systems, calculated wheat water requirement of the irrigation district of Hupingshan in Wufeng County by using FAO Penman-Monteith equation, and calculated Irrigation System by using water balance method. Finally, the wheat irrigation system was determined by comparison.

Keywords

Crop Water Requirement, Irrigation Water Consumption, Irrigation Quota, Crop Irrigation System

作物灌溉制度的分析计算与确定

—以五峰县壶瓶山北麓灌区为例

李志红, 柴雪蕊

中工武大设计研究有限公司, 湖北 武汉
Email: 2959799761@qq.com

收稿日期: 2018年12月3日; 录用日期: 2018年12月12日; 发布日期: 2018年12月19日

摘要

分析确定作物灌溉制度对于水资源规划与管理等都具有重要意义, 本文总结了目前灌溉制度的主要计算

方法, 经分析, 最后采用FAO推荐的Penman-Monteith公式计算五峰县壶瓶山北麓灌区小麦需水量, 并以此为基础, 采用水量平衡法计算其灌溉制度, 最后与试验分析计算成果、区域规划等已有成果进行对比分析, 确定小麦灌溉制度。

关键词

作物需水量, 灌溉用水量, 灌溉定额, 灌溉制度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是一个水资源相对贫乏的国家, 全球多年平均年降水量约 800 mm, 而我国多年平均年降水量仅 650 mm, 水资源总量约 2.8 万亿 m^3 , 居世界第六位, 但由于人口众多, 我国人均水资源占有量约为 2100 m^3 , 仅为世界人均占有量的 28% [1]。根据 2012~2016 年全国水资源公报统计结果, 农业用水量平均占全国总用水量的 63.2%。农业是我国第一用水大户, 而农业用水量的 90%以上用于灌溉[2]。因此, 准确拟定灌溉制度, 测算作物灌溉定额, 对于合理确定工程规模、完善区域水资源规划及合理调配、建立健全严格水资源管理制度、提高水资源利用效率等都具有重要意义。本次以五峰县壶瓶山北麓灌区小麦为研究对象, 探索工程实践中作物灌溉制度的分析计算与确定方法。

2. 灌溉区概况

五峰县壶瓶山北麓灌区位于湖北省宜昌市五峰县长乐坪镇壶瓶山北麓, 地跨东经 $110^{\circ}44'24''\sim 110^{\circ}57'36''$, 北纬 $30^{\circ}7'12''\sim 30^{\circ}11'24''$, 主要涉及五峰县县城、甘沟村及苏家河村。本灌区属中纬度亚热带温湿季风气候区, 根据五峰气象站观测资料统计分析, 多年平均降水量 1336 mm, 多年平均蒸发量 1172 mm, 多年平均气温 $13.9^{\circ}C$, 多年平均日照时数 1373 h。灌区总的灌溉面积 0.8 万亩, 主要种植小麦、玉米、蔬菜等旱作物。本次选取种植面积最大、效益较高的小麦进行灌溉制度分析计算。

3. 灌溉制度分析计算与确定

3.1. 灌溉制度计算的理论依据

1) 灌溉制度计算的主要方法

农作物的灌溉制度是指作物播种前(或水稻栽秧前)及全生育期内的灌水次数、每次的灌水日期和灌水定额及灌溉定额[3]。根据工程规划及设计需要, 本文将分析计算充分灌溉条件下的灌溉制度, 即灌溉供水能充分满足作物各生育阶段的需水量要求而设计制定的灌溉制度。目前用于确定灌溉制度的方法主要有三种: 总结群众丰产灌水经验、根据灌溉试验资料制定灌溉制度、按水量平衡原理分析制定作物灌溉制度。前两种方法分别是根据实践经验或试验资料分析拟定灌溉制度, 第三种方法是综合考虑植物需水量、有效降雨量、土壤储水量等, 采用水量平衡的方法进行计算, 本次重点介绍根据水量平衡原理制定作物灌溉制度的方法。

2) 作物需水量计算的主要方法

采用水量平衡原理计算作物灌溉制度的重点是计算作物需水量。作物需水量的计算方法大致可分为

两类：一类是直接计算作物需水量，另一类是通过计算参照作物需水量来计算实际作物需水量。直接计算作物需水量的方法一般是先从影响作物需水量的因素中选择几个主要因素，再根据试验观测资料分析这些主要因素与作物需水量之间存在的数量关系，最后归纳总结为经验公式。由于这类方法缺乏充分的理论依据，又存在区域条件的限制，且该方法难以准确计算不同生育阶段的作物需水量，因此，在工程实践中采用得越来越少。目前，普遍采用的方法是通过计算参照作物的需水量来计算实际需水量。

对于参照作物需水量的计算方法研究较多，有多种理论和计算公式，对比各种方法所需的气象和作物数据(见表 1)，Penman-Monteith 考虑了生物学因素，更为全面，且采用 Penman-Monteith 公式计算作物需水量不必依赖于实验，完全可通过计算求得，便于在工程实践中推广和应用。Penman-Monteith 公式也在 1990 年被 FAO (国际粮农组织)推荐为现行最好的综合法[4]。本文仍采用 Penman-Monteith 公式推求作物需水量。

Table 1. Data required by different methods [4]

表 1. 不同方法计算潜在需水量所需气象、作物数据[4]

方法	降雨	气温	太阳辐射	相对湿度	风速	空气动力学阻力	基本冠层阻力
Blaney and Criddle		+					
Jensen and Haise		+	+				
Turc	+	+	+				
Penman		+	+	+	+	+	
Penman-Monteith		+	+	+	+	+	+

3.2. 实例分析

本文以五峰县壶瓶山北麓灌区小麦为例，先根据五峰气象站实测资料采用 Penman-Monteith 公式计算参照作物需水量 ET_0 ，进而计算小麦灌溉需水量，再采用水量平衡公式分析计算其灌溉制度。

1) 参照作物需水量 ET_0

参照作物需水量采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式[5] [6] [7]:

$$ET_0 = \frac{0.48\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中： ET_0 ——参照作物需水量，mm/d； Δ ——饱和水汽压关系曲线的切线斜率，kPa/°C； R_n ——作物表面的净辐射； G ——土壤热通量，MJ/m²/d； T ——2 m 高度处的空气水温度，°C； u_2 ——2 m 高度处的风速，m/s； e_s ——饱和水汽压，kPa； e_a ——实际水汽压，kPa； γ ——湿度计常数，kPa/°C。由五峰气象站实测资料即可推求 ET_0 。

本次拟根据五峰气象站实测资料推求 ET_0 。

2) 实际作物需水量 ET

采用“作物系数 K_C ”对 ET_0 进行修正，即得作物实际需水量 ET ，即

$$ET = K_C (ET_0) \quad (2)$$

式中： ET ——实际作物需水量，mm/d； K_C ——作物系数。

作物系数 K_C 可以通过实验数据获得，对缺乏试验资料或试验资料不足的作物或地区，可采用 FAO-56 文推荐的 84 种作物的标准作物系数和修正公式，并依据当地气候、土壤、作物和灌溉条件对其进行修正 [5]。

由武汉水利电力大学(现武汉大学)水利工程系和宜昌市水利水电规划设院在对宜昌市农业需水量进行分析研究时[8], 作物需水系数采用了“湖北省参考作物需水量及水稻需水量等值线图研究”、“湖北省旱作物需水量等值线图绘制”成果中提出的数值, 该成果本身由实验数据获得, 具有一定的参考意义, 本文仍采用该成果。小麦需水系数见表 2。

Table 2. Water requirement coefficient

表 2. 作物需水系数 K_C

小麦	月份	10	11	12	1	2	3	4	5
	K_C	0.528	0.797	0.744	0.679	0.715	0.843	0.970	0.663

由此可对参照作物需水量 ET_0 进行修正, 进而计算小麦灌溉需水量。

3) 灌溉制度计算

用水量平衡法计算旱作物灌溉制度时, 按播前和生育期分别进行计算。

播前往往只进行一次, 按下式计算:

$$M_1 = 667H(\theta_{\max} - \theta_0)n \quad (3)$$

式中: M_1 ——播前灌水定额, $m^3/亩$; H ——土壤计划湿润层深度, mm , 根据播前灌水要求确定; θ_{\max} ——一般为田间持水率, 以占孔隙的百分数计; θ_0 ——播前 H 土层内的平均含水率, 以占孔隙率的百分数计; n ——相应于 H 土层内的土壤孔隙率, 以占土壤体积百分数计。

整个生育期内, 灌水量采用下列水量平衡方程进行计算:

$$M = ET + (W_t - W_0) + W_r + P_0 + K \quad (4)$$

式中: M ——时段 t 内的灌水量; ET ——时段 t 内的作物田间需水量, 即 $ET = et$, e 为 t 时段内平均每昼夜的作物田间需水量; W_t 、 W_0 ——时间 t 和时段初土壤计划湿润层内的储水量; W_r ——由于计划湿润层增加而增加的水量; P_0 ——保存在土壤计划湿润层内的有效雨量; K ——时段 t 内的地下水补给量。

由计算公式可以看出, 拟定的灌溉制度是否正确, 关键在于方程中各项数据如土壤计划湿润层深度、作物允许的土壤含水量变化范围及有效降雨量等选用是否合理。这些数据应通过当地或条件类似地区的试验、调查资料来确定。实在缺乏资料时, 可查阅相关图书资料或参考区域相关规划等拟定。

《宜昌市水资源评价及开发利用》[8]基于周边试验站的成果分析拟定了小麦灌溉制度基本资料, 该资料基于周边实验数据及实践经验, 较能反映当地实际情况, 本次采用该资料成果, 具体见表 3。

Table 3. The basic data of the wheat irrigation system

表 3. 小麦灌溉制度基本资料

生育期	起止日期	天数	计划湿润层深度(m)	地下水利用系数	土壤含水率上限	土壤含水率下限
出苗	10.15~11.4	21	0.40~0.40	0.10	100%~100%	55%~55%
分蘖	11.5~1.16	73	0.40~0.50	0.05	100%~100%	55%~55%
拔节	1.17~2.25	40	0.50~0.60	0.05	100%~100%	55%~60%
抽穗	2.26~3.16	19	0.60~0.70	0.15	100%~100%	60%~60%
开花	3.17~4.16	31	0.70~0.80	0.15	100%~100%	60%~60%
乳熟	4.17~4.28	12	0.80~0.80	0.15	100%~100%	60%~60%
黄熟	4.29~5.19	21	0.80~0.80	0.15	100%~100%	60%~50%

根据小麦灌溉需水量及拟定的灌溉制度基本资料, 采用水量平衡法推求各次灌水定额, 进而可计算

小麦灌溉制度。对本次收集到的五峰气象站 1970~2015 年降雨量进行排频, 并考虑小麦灌溉需水量, 拟定水文年 1977 年为平水年($P = 50\%$), 其灌溉定额为 $39 \text{ m}^3/\text{亩}$ 。根据《湖北省水资源综合规划》, 现状条件下, 小麦平均净灌溉定额为 $42 \text{ m}^3/\text{亩}$, 节水水平年, 小麦平均净灌溉定额为 $37 \text{ m}^3/\text{亩}$ 。根据《宜昌市水资源评价及开发利用》, 平水年, 五峰县小麦净灌溉定额为 $45 \text{ m}^3/\text{亩}$, 该成果是基于试验成果分析计算所得。综上, 本次计算的平水年小麦净灌溉定额与区域规划成果基本一致, 也与以试验为基础的计算成果较为接近, 说明本次计算的小麦净灌溉定额是合理可取。据此, 确定平水年小麦灌溉制度, 具体见表 4。

Table 4. The wheat irrigation system for normal year
表 4. 五峰县壶瓶山北麓灌区小麦平水年灌溉制度

生育期	天数	灌水次数	参照作物需水量 ET_0 (mm/d)	小麦灌溉需水量 ET (mm/d)	灌水定额($\text{m}^3/\text{亩}$)
出苗	21	1	1	0	49
分蘖	73	2	1	0	0
拔节	40	3	1	0	0
抽穗	19	4	1	1	0
开花	31	5	1	1	0
乳熟	12	6	2	1	0
黄熟	21	7	2	1	0

4. 结论与建议

1) 经对比分析, 采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算作物需水量, 综合考虑了气温、湿度、风速、基本冠层阻力等气象因素及生物学因素, 计算成果更为准确, 且不必依赖于试验资料, 可直接通过计算获得, 在工程实践中易于推广和应用;

2) 采用水量平衡法计算的作物灌溉制度是否准确, 关键在于方程中各项数据如土壤计划湿润层深度、有效降雨、作物允许的土壤含水量变化范围等选用是否准确, 而这些数据又与作物种类、生育阶段、土壤性质等多因素有关, 因此在拟定这些数据时, 须参考当地或条件类似地区的试验成果、调查资料及群众经验等;

3) 作物灌溉制度的计算过程较为复杂, 过程中涉及的多项数据需结合试验或经验经分析确定, 最后算得的灌溉制度也要与试验结果及当地群众的实践经验等进行对比分析, 综合考虑后确定;

4) 本次计算得在现状条件下, 小麦平水年灌溉定额为 $39 \text{ m}^3/\text{亩}$, 与区域用水规划基本一致, 与以当地的试验资料为基础的分析计算所得结论基本一致, 因此认为本次计算成果是合理可取的, 具有推广价值;

5) 农业是我国第一大用水户, 农业用水又大多用于灌溉, 准确合理的灌溉制度对于指导工程设计、完善区域水资源规划等都具有重要意义。但区域作物灌溉用水量测算工作量大面广, 且需要以试验及调查资料为依据, 因此, 有关部门要重视灌区试验, 加强数据量测、记录与统计等, 落实相关工作制度。

参考文献

- [1] 陈元芳, 钟平安, 等. 工程水文及水利计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 王奕童, 郭宗楼. 对南方大中型灌区灌溉用水量的几点认识与思考[J]. 中国农村水利水电, 2016(8): 28-29.
- [3] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [4] 蔡甲冰. 簸箕李灌区田间灌溉需水量计算与研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2001.
- [5] 金昕. 彭曼公式在作物需水量计算中的应用[J]. 江淮水利科技, 2018(1): 28-30.

-
- [6] 刘钰, Pereira, L.S., Teixeira, J.L. 参照腾发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997(6): 27-33.
- [7] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., *et al.* (1998) Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
- [8] 宜昌市水利水电局. 宜昌市水资源评价及开发利用[M]. 宜昌: 宜昌市水利水电局, 1996.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjas@hanspub.org