气候与应用气象

关于风能在农田灌溉中的应用

徐　焕　杜慧珠　　孟昭翰

（南京农业机械化研究所）（气象科学研究院）

我国使用风能有悠久的历史，利用风车灌溉农田的技术在明朝即已比较成熟。利用风力灌溉农田有很好的经济效益。例如，以“风车之乡”闻名的江苏省兴化县，1967年有三万六千台风车用于农田灌溉；按每台风车一年可节约柴油340公斤计算，则全县一年可节约柴油一万二千多吨。因此，在风能资源丰富的地区推广风力灌溉，是很有价值的。

本文将对有效风能的计算方法和测算风力灌溉农田的效益的方法作一介绍。同时，列举某些农作物用风力可灌溉的亩数，以揭示利用风能提水的潜力。

有效风能的计算

在设计风力机之前，必须根据当地的风力资源确定风轮的设计风速。所谓设计风速（或称额定风速或工作风速），即达到风力机额定功率输出时的风速。当风速达到设计风速时，功率最大。超过设计风速时，需采取限速措施来控制，此时只能利用合乎设计风速的部分。例如在用风力发电时，超过设计风速时如不采取限速措施，则发电机将超过负荷能力；在用风力提水时将会出现提水不及等情况。如果风力更大而危及风轮安全时，则要控制风轮不动；这种风速称为切断风速，我国目前取此值为20米/秒。此外，还有一个启动风速，即风轮开始能转动时的风速，我国一般取此值为 3 米/秒，但又因风力机的设计而有差异。从启动风速到切断风速（通常取为 3—20 米/秒），称为有效风速。

本文中取设计风速为 7 米/秒。在计算各地年（月）有效风能时先统计出各地（有自记风速资料者）有效等级风速 4（3.5—4.4）、5（4.5—5.4）、6（5.5—6.4）、7（6.5—7.4）……20（19.5—20.4）米/秒的累积年（月）有效风速小时和概率分布。然后利用式（1）（2）求得各地年（月）有效风能（等级风速 7—20米/秒出现的小时数均按 7 米/秒小时数计算）。

$$W = 4.9\rho V^3 \qquad (1)$$

式中 W 为风能密度，其单位为瓦/米^2。ρ 为空气质量密度，单位为公斤·秒^2/米^3；当气温为 15°C、气压为 760毫米水银柱高时，空气密度 $\rho = 0.125$ 公斤·秒^2/米^3。V 为风速，单位米/秒。

$$E_{年(月)} = \frac{W_1 t + W_2 t + \cdots\cdots + W_n t}{1000} \qquad (2)$$

式中 $E_{年(月)}$ 为有效风能，其单位为 千瓦·小时/米^2；$W_1, W_2, W_3 \cdots\cdots W_n$ 为各等级风速下风能密度，单位为瓦/米^2。由（1）式求得。t_1，t_2，$t_3 \cdots\cdots t_n$ 为各等级风速下年（月）出现的时间，单位为小时。

用风力提水灌溉农田的效益测算

用风力提水灌溉农田的效益，是根据农作物生育期间的缺水量与同时期内风能的提水能力计算的，以其可能灌溉的农田亩数来表示，即：

$$A = \frac{Q}{Q_{田}} \text{（亩）} \qquad (3)$$

式中A为作物生育期间风力提水装置（包括风力机和提水机械）能承担的灌溉面积，单位为亩；Q为作物生育期间风力提水装置提水量，单位为方；$Q_{田}$ 为作物生育期间缺水量（即需灌溉水量）单位为方/亩。公式（3）中Q值可由下列风力提水公式求得。

$$Q = 367.2EF\varepsilon_0\eta_1\eta_2 K\frac{1}{H} \qquad (4)$$

或

$$Q = 288.3ED^2\varepsilon_0\eta_1\eta_2 K\frac{1}{H} \qquad (5)$$

式中 E 为作物生育期间实用有效风能，单位为千瓦·小时/米^2；F为风力机风轮面积，单位为米^2；D 为风力机风轮直径，单位为米；ε_0 为风力机年平均风能利用系数；η_1 为风力机机械效率；η_2 为提水机械总效率（包括机械效率、容积效率、水力效率等）；K为风力满载系数；H为提水扬程，单位为米。

由（5）式可知，风力提水还应确定某种直径的风力机及其性能参数作为计算标准。例如，目前江苏省有四种型号的风力提水机，见表 1。

表 1　江苏省风力提水机主要类型

序号	风力机型号	风轮直径（D，米）	起动风速	最大风能利用系数（ε）
1	FC-7.5型铁风机	7.5	3	0.18
2	FCG-7型改良风机	7.0	3	0.24
3	FDG-6型低速风机	6.0	3	0.33
4	FWG-6型高速风机	6.0	3	0.35

按（5）式可算出表 1 中风力机在相同条件下，在年平均风速为 4 米/秒的地区，4 种风力机提水量之比为 $Q_1 : Q_2 : Q_3 : Q_4 = 10.125 : 11.76 : 11.78 : 12.6$。大体上可看出，第 3、4 种风机直径小而提水量大。因此，本文选用 FDG-6 型低速风力机作为计算提水量Q值的标准。取 D = 6 米，$\varepsilon_0 = 0.268$，$\eta_1 = 0.8$（一般值），$\eta_2 = 0.5$，K = 0.8；代入（5）式得

$$Q = 890E\frac{1}{H} \qquad (6)$$

式中Q为提水量的多少，它决定于各地区有效风能的大小和扬程的高低。所谓提水扬程，即地面与河、湖、池塘水面高度之差。

根据（1）（2）式计算出月（旬）的有效风能E值，由（5）或（6）式算得Q值，提水扬程H值分别定为1、3、5米三种。其中H＝1米作为计算其他各种扬程的基数。这样即可求得各地风力提水灌溉农田的效益。以江苏大丰县为例，计算结果列于表2。表2列出了大丰县各种类型水稻生育期间在不同的扬程下利用风力可灌溉稻田的亩数。必须指出，有效风能E值是指一定时期内的全部实用有效风能值，因此风力机应日夜随风运转。

利用风力提水灌溉有很多优点。风的能量很大，且无需运输，又不会造成污染。但是风却有不稳定性，有时在作物需水时风力不大，无法满足需要；在目前条件下这只能靠风、机、电配合应用来解决。我国是季风国家，往往在夏季农田需水的时候风力较小，这时应当让风力机日夜运转，有条件时应采用风力机群联合使用的办法。在冬季风力较大，但却不是农田需水季节，此时应考虑风力机的综合利用。

表2　大丰县风力提水灌溉农田效益测算

项目 \ 测算期间			全生育期（返青—成熟）			孕穗期
			早稻	晚稻	中稻	中稻
生长天数			85	80	120	30
（方/亩）	需水量		400—500	400—500	500—600	200—240
	利用雨量		165	139	266	80
	缺水量		235—335	261—361	234—334	120—160
E（千瓦·小时/米²）			120	73	130	34
H（米）	1	Q（方）	106800	64970	115700	30260
		A（亩）	319—454	180—249	346—494	189—252
	2	Q（方）	35600	21657	38567	10087
		A（亩）	106—151	60—83	115—165	63—84
	3	Q（方）	21360	12994	23140	6052
		A（亩）	64—91	36—50	69—99	38—50

注：1. E为实用有效风能，H为提水扬程，Q为提水量，A为灌溉面积。

2. 本表按FWG-6型高速风机计算，其风轮直径D＝6米，塔高Z＝10米。

3. 提水量按直接到田计算，不包括渠道流失。