

談談风能利用的一些問題

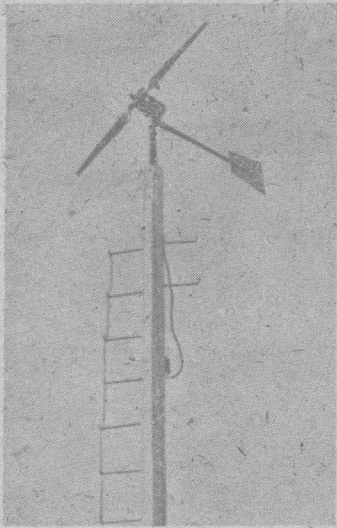
吳 文 东

风能是自然能源之一。利用风能为人类生产服务已有悠久的历史，最早是利用风力推动帆船，以后逐渐发展到风磨和风力水車，近几十年来风力发电也已成功。地球上近地层每年可利用的风能总量据估計約有 50×10^{13} 千瓦/小时左右，而 1958 年全世界所需要的总能量約为 3×10^{13} 千瓦/小时。实际上，现在每年为人类所利用的风能是微乎其微的。其最主要的原因是风能的不經常性与分散性。但由于风能是取之不尽，用之不竭的，而且随处都有，不象利用石油、煤等动力資源必需解决运输問題；风力机不要求優質鋼，中小型风力机制造容易，管理方便，因此，对那些年平均风速高，缺乏其他动力資源，又远离工业中心的地区，充分利用风能无疑是具有很大意义的。目前，风力机在缺乏其他能源的荷兰及丹麦使用比較普遍。在苏联某些年平均风速較高的地区，尽管已經电气化，不少畜牧場还是用风力机（图1）来保証牲畜的飲水供应，其成本为内燃机或电力的一半左右。我国在 1958 年、1959 年两年大跃进中，利用风能的效果也很显著，如安徽省蚌埠市郊淝淮公社 1959 年用 177 部风力机（小型、布蓬式的），战胜了百日干旱，获得了农业丰收，而当地的年平

均风速只有 3 公尺/秒左右。湖南岳阳县利用风力解决了全年缺工量的 $1/3$ 。江苏启东海丰鎮风力发电站，用一个 16.8 型风力机带 20 千瓦发电机一台，全年共发电 46,000 度，同时进行加工、照明和灌溉。全年收入，除去全年设备折旧維修和管理費外，尚盈余 2,000~2,500 元，另外还节省了一万五千多个劳动日。利用风力机比人、畜力操作要提高生产率几倍至几十倍。农业的机械化、半机械化是大办农业当中一个十分重要的問題，而要机械化和半机械化，首先要解决动力問題。我国的农村是极其广大的，要短期內单纯依靠石油和煤来满足全国农村动力的需要是不可能的，必須充分利用一切其他能源，风能便是其中的一项。我国不少地区，特别是沿海地区，风力資源很丰富，完全可以很好地利用。解放后十一年来，我国的风能利用工作已有了一个飞跃的发展，表现在如下的几个方面：

1. 数量大——目前全国已有各种型号、功率不同的风力机約 33 万余部。

2. 型式多——解放前，我国沿海一带的风力机都是立軸布蓬式的（走馬灯式），現在已有水平軸低速和高速风力机，如吉林的 55 型低速风力机（图 2）和蚌埠 59 型风力机



ВЭ-2



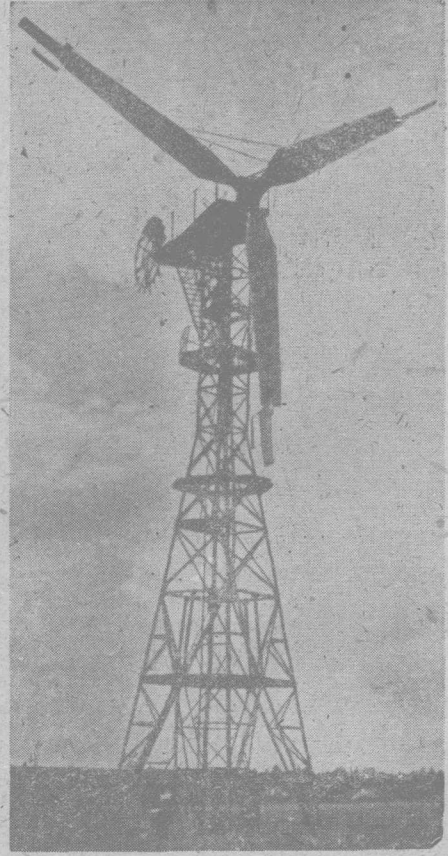
ДДК-4



ВП-3



Д-12



Д18С XI-9

图 1 几种苏联的风力机

(图3)，其效率已大大提高。

3. 用途广——现在我国各地的风力有用于抽水、加工粮食饲料、发电的，也有用于带动小型机床和耕作机具的，而解放前绝大多数只是用来抽水。

4. 有创造——由于目前我国钢铁还不富足，所以各地人民在创造风力机时，为节省

钢铁，创造了不少良好的结构。其中如55型布蓬式风力机，其风轮部分除了轮毂部分是铸铁外，其余几乎都是木料和布蓬组成的。整个风轮的重量约不超过100公斤，与国外同功率低速风力机的风轮（重约350公斤）相比，轻得很多。此种风力机已在东北吉林省白城子专区推广使用过较长时间，一般说来运行是可靠的。

从以上可以看出，在我国目前农村的条件下，没有党的领导和先进的社会主义制度，风能利用是不可能得到如此迅速的发展的。但要使风力为国民经济更好地服务，还需逐步解决以下几个问题：

一 风力机的自动调速调向问题

我国现有的风力机绝大部分是不能进行自动调速调向的，必须依靠人力控制。它的缺点是：

(1) 影响劳动生产率的进一步提高，影响节约劳动力，而节约劳动力是最重要的节约。以风力磨粉为例，如果风力机能自动控制转速和调向，那么只要二个劳动力即可，不然的话，就需要三人。因此如果风力机能自动调速调向，在这种具体情况下，就可以提高劳动生产率1/3。

(2) 不能满足发电的要求。现在农村中迫切需要电力，特别是在某些风力资源丰富、远离其他动力资源和动力网的地区，如某些沿海岛屿与边远地区。利用风力发电是使这些地区迅速电气化的重要方法之一。但如没有准确的转速自动控制系统，不要说发交流电，就是发直流电，也是不可能稳定地供应。因为在阵风时，由于风轮转速不能自动控制，往往要发生电压过高，烧毁照明灯泡等现象。安徽省蚌埠市淝淮公社吴营孜风

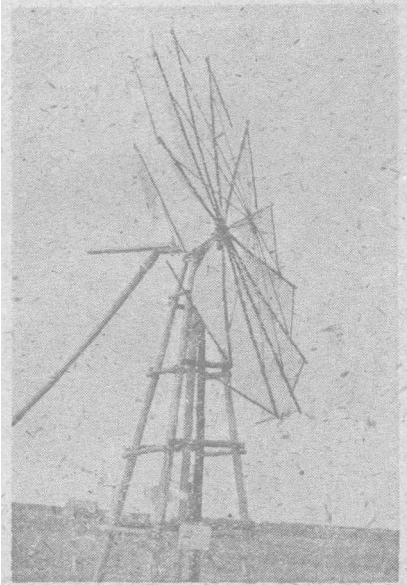


图2 吉林55型风力机

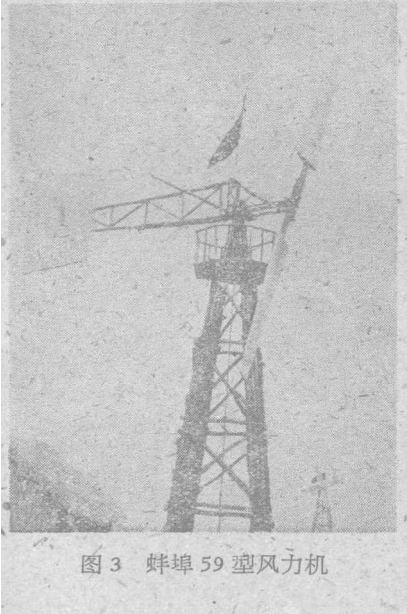


图3 蚌埠59型风力机

力动力站的 59 型风力机（直径 10 公尺）带个 5.6 千瓦的直流发电机，由于没有自动控制系统，不能直接供电，必需先把电能蓄到蓄电池中去，然后再从蓄电池中放电供给居民。虽然这样基本上解决了供电问题，但其经济效果是不够满意的。而且当功率增加时，需要大量蓄电池，在农村也是办不到的。

（3）效率不够高和工作不够安全可靠。缺乏自动控制系统，就不能使风轮经常处于最佳条件下工作，风轮效率因而降低。同样，由于不能自动控制，遇到阵风，人工来不及使机头偏风时，容易使轮叶折断。

从上述几点看来，风力机转速和方向的自动控制问题迫切需要解决。风力机转速自动控制系统的种类很多，有机械式的、液压式的和电气式的。根据国外使用的情况来看，对于中小型风力机，机械式的用得最多，其中在高速风力机上，尤以离心调速法更为普遍。因为它简单可靠。苏联的风力机 Д-18、1 Д-18 和 Д-12 等的自动调速系统都是机械式的，它们在调节质量上基本满足发电的要求，而且运行也较可靠。只有在功率较大时，使用电气式的系统才比较合适。

二 提高风轮的效率(风能利用系数)

几乎所有的低速风轮都是布蓬或木板轮叶的，它们的安装角大致可分为三类：

1. 叶尖的安装角小于叶根的；
2. 叶尖和叶根的安装角一样大；
3. 叶根的安装角大于叶尖的。

从制造容易的观点出发，第二种情况最好。从效率来讲，第一类情况较好。对于布蓬式风力机而言，在结构上和制造上满足第一类的安装角要求并不困难。第三类最好改成第一类或第二类。有些同志认为对于布蓬

式风力机的安装角没有必要做成叶尖小、叶根大的。但这个结论还有待于实验的证实。

根据苏联的经验，多翼低速风轮轮叶的安装角在叶尖可采用 17° 左右，叶根约为 45° 。

设计高速风轮也就是已知风力机的功率、转速和设计风速后，用理论计算方法确定轮叶各截面的宽度、厚度、形状和安装角 φ 。要使设计出来的风轮性能较好，国内有二种方法：第一种是根据某个理论方法进行计算和设计；第二种是按比例放大或缩小某个已有风轮的各个尺寸。前一种方法较烦，但可以使设计尽可能符合实际要求；后一种较简便，但可能会在某些方面不能满足要求。例如，有些地方采用按比例放大 E. M 法捷耶夫所著“风力发动机”一书中所列的一公尺直径双叶高速风轮的轮叶截面尺寸，这当然是可以的。问题是当所需要的直径较大时，对于木结构轮叶，用这些参数就不合适了。因为木结构风轮的转速在直径较大时不能过高。否则离心力很容易使桨叶折断。因此为了避免折断，实际上风力机的转速往往没有到额定值。

提高效率的方法较多，但往往由于制造上和构造上的困难而没有得到推广，如有人认为在风轮轴上装二个相同而转向相反的风轮可以提高效率，但这首先要实验证实，其次也要考虑得到效率的提高是否能补偿使构造复杂化的缺陷。还有些学者建议把风轮放在一个逐渐收缩的管道内（所谓风洞风车）也可以提高效率。但据苏联中央流体力学研究所实验研究的结果表明，并不能达到理想的要求，反而在构造上变得很复杂，因此也没有得到实际使用。

总的来说，提高效率必需考虑到其他各

个方面的总效果，不能单提高效率，而使加工、安装等变得很困难，从而影响了在农村中大量推广使用。

三 风力发电和蓄能問題

对于单独运行的风力发电站来讲，最主要的困难是由于风速经常迅速变化而引起的电流频率的脉动。当载荷不变，平均风速超过了相应于载荷功率的风速值后，风力机的转速要增加，或者平均风速不变，瞬时风速超过了它的值，风力机的转速同样要增加，这时由于调速机构起作用可使转速不超过某允许值。但是，因为风力机上的调速系统不能象在内燃机或蒸汽机等系统中既能使能量供应增加，又能使其减少，只能使风轮接收的能量不大于规定值，所以它也就不能在风速降低时保持风轮转速在一定范围内。

实际风速记录表明，在一定的时期内，平均风速值变化不大，甚至不变。也就是

说，既有低于平均风速值的风速出现的时候，也有高于平均值的风速出现的时候。一般这种轮替间隔不大于 30 分钟，因此只要在这个 30 分钟内保证风轮转速不低于允许的最小值。在风力机与发电机之间安装一个所谓惯性蓄能器(图 4)(与飞轮大同小异)就可满足上述要求。因为当风速高于平均值时，风能以动能形式储于惯性蓄能器中，当低于平均值时，这部分能量转给发电机。

为了保证无风或风力不足时也能正常供电，在这种风力发电站中往往要备有热力发动机，如柴油机。

在风力发电站与国家或地方电网并联工作时，也由于风速的经常变化，问题更多而且更加复杂，例如如何将风力发电站接入电网；如何保证在阵风或载荷突然变化时，使风力发电站不致跌出同步；如何使风力机在阵风及载荷突然增加时风力机过载最小等等。苏联的风能利用研究工作者在这方面进行了很多工作，获得了不少成绩。

由于风的时大时小，时有时无，在实际生活中经常发生大风时能量用不完，或者载荷不足。在这种时候就要把能量储蓄起来，以便在风小或载荷充足时用。也就是要建立一种蓄能的设备。蓄能的方法很多，如机械蓄能、储蓄热能、储蓄水能、压缩空气及电化学法等等。一般认为，最好的蓄能方法是将风力发电站与大电网并联工作，这时大电网相当于一个容量非常大的蓄能器。但要做到这一点往往是比较困

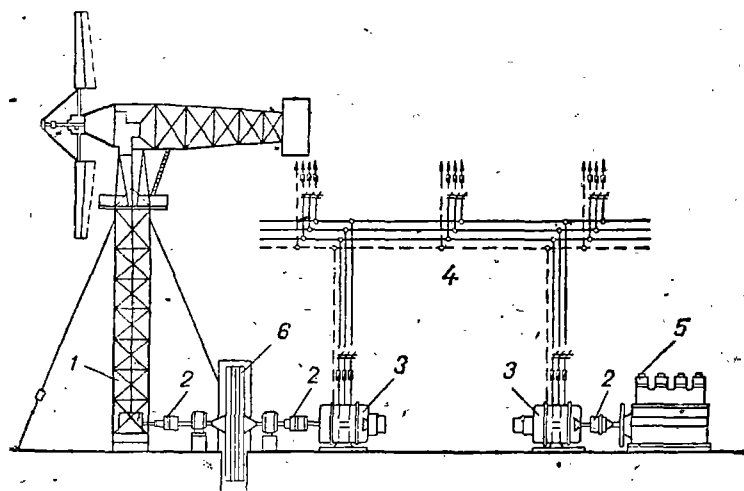


图 4 在风力发电站内使用惯性蓄能器

1. 风力机；2. 超越离合器；3. 同步发电机；4. 发电站的汇流条；5. 热力发动机；6. 惯性蓄能器

难的，首先因为最迫切需要建立风力发电站的农村不会与国家电网离得很近。现在看来，比较有前途的是电化学法。小功率的蓄能设备可采用所谓铁炭电池，以避免使用价格昂贵而缺乏的铅和镉。所谓铁炭电池即正极是炭，负极是铁的一种碱性电池。为了使电池的容量增加，铁极做成多孔性的。电池中设有一个镀镍钢板做成的辅助电极，目的使再充电时容易些。获得这种多孔性电极的工艺过程大致是这样的：将氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 粉末和某些附加剂混合，压成块，放到加热炉中，在 900°C 高温下进行还原，还原时要通入氢气。

大功率的蓄能器可用所谓风能氢化储蓄法。其原理即是将余下风能所发出的电用来

处于实验阶段。

四 风力机的构造、材料和强度计算问题

风力机的最大优点是不需要燃料，但也有很大的缺点，如单位马力的重量很大，据国外一些学者的统计，对低速风力机来说，每马力的重量约为 500—800 公斤，对高速风力机来说，每马力的重量为 300—400 公斤，而一般水平的柴油机平均在 10 公斤以下。因此必须想尽一切方法来降低风力机的马力比重。

现有国外风力机的有关统计资料表明，风力机的重量几乎是与风轮直径的立方成正比，而功率只与直径的平方成正比，因此增大直径，在其他条件相同时，不能使马力比重下降。提高风能利用系数是可以降低马力比重的。另一个办法是设法减轻风力机的重量。因此，合理设计风力机的构造，进行准确的强度计算和因地制宜地寻找坚固耐用而又便宜轻巧的代用材料，也是迅速发展和广泛使用风力机的重要问题。

五 风的性能的统计研究

所谓风的性能，包括每年、每月、每日甚至每小时内风速风向的频率及其变化规律，风速风向瞬时变化的速度，最大风速以及风速风向在空间内的分布等等。

要统计研究这些性能的必要性是由以下几个问题所决定的：

(1) 要进行风能利用的技术经济指标计

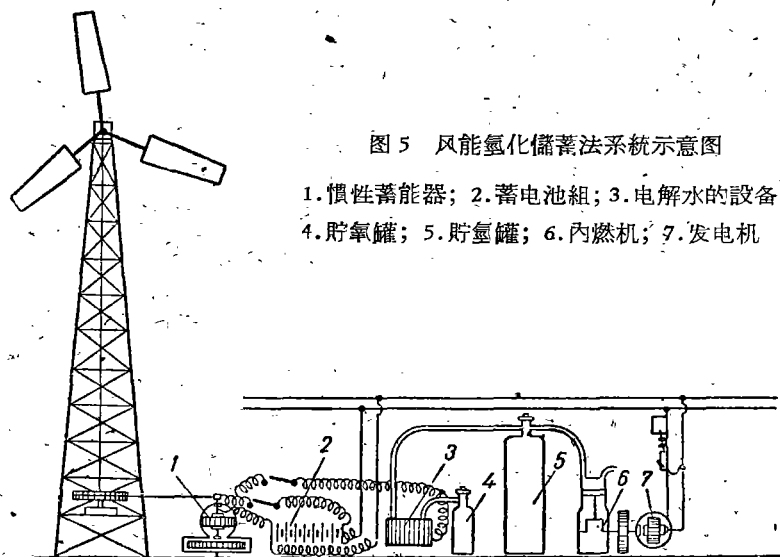


图5 风能氢化储蓄法系统示意图

1. 惯性蓄能器；2. 蓄电池组；3. 电解水的设备；
4. 贮氧罐；5. 贮氢罐；6. 内燃机；7. 发电机

电解水，然后再将得到的氢作为燃料，使内燃机带动发电机工作。这种发电的总效率据苏联学者 B. B. 柯什瓦金估计约为 0.2 左右。更好的方案是将得到的氢和氧在所谓氢氧燃料电池中进行反应而直接得到电能，其发电总效率可达 40—50%。这种蓄能方法的最大缺点是设备费用太昂贵，而且也只是

算，必須知道这个地区一年中风力可能提供的动力资源是多少？由于有风的时候不一定与生产需要相符合，还必须知道风的变化规律，以便确定实际上能用的风能是多少？所有这些目前都还不可能用理论分析方法来得，只能根据若干年（至少3—5年）风速的实际记录（其中最重要的是风速的小时记录）进行统计、整理和概括而得。苏联的风能利用科学研究工作者在这方面做了不少工作。

(2) 要设计一个适合于当地情况的构造完善的风力机，首先我们应该知道每个地区的年平均风速，因为没有它就不能合理地确定风力机的设计风速。在苏联，一般在年平均风速小于5公尺/秒的地区取设计风速 $V_{\text{设计}} = 8$ 公尺/秒，其他情况下， $V_{\text{设计}} = 1.6$ 平均。其次我们在进行强度设计时要考虑到最大风速。实际上，这个数值在各个地区都不大一样。选大或选小都不利，必需根据多年的实际记录来判断。

(3) 要保证风力发电站阵风时能稳定地工作，必需要有相当灵敏的调速系统，调速系统的灵敏度与阵风变化速度有密切的联系。阵风变化速度愈大，要求调速系统的灵敏度愈高。

(4) 由于风轮的直径不可能很大，而又要使风力发电站的功率增加，目前国外一般认为风力机群发电站有较大的前途。风力机群发电站的另一优点是可使发电站在风速时刻变化的条件下发出功率的波动最小。实验测定，二个相隔一定距离（如100公尺）的风速计，同时指示的风速是不一样的，也即在同一瞬间；同一平面内各点上的风速是不一样的，有的地方大，有的地方小。因此可以设想，在风力机数目增加并合理安排

后，预计可以得到一个功率波动最小的状况。实验证明，这是可能的。但波动的程度并不随着风力机数目的增加而无限减小，在风力机数目到达一定值后，这个波动度就不再下降。这里可以提出一个问题，即如何来安排风力机，可以使波动最小，这也就要求我们研究在各个平均风速下空间（首先是平面内）各点风速的分布状况。

(5) 上面已经讲到蓄能方法，但如何来确定蓄能器容量的大小呢？当然这一方面取决于消费对象，另一方面取决于风的特性。蓄能器的容量应该在息风时期内保证消费对象的全部动力需要。显然，当消费量不变时，无风连续时间愈长，每年出现次数愈多，蓄能器的容量也应愈大。我们不可能把蓄能器的容量设计得非常大，来满足每年遇到次数极少而连续时间又很长的无风时期。因为如果这样，那么在绝大多数的时间内，蓄能器的利用率将是不高的。这个容量选择得太小，在无风时将会发生动力供应不足。正确的设计应根据历年的风速小时记录，统计出时间长短不同的 τ （风力机能工作的时间）和 t （风力机不能工作的时间）在全年中的频率，然后选择一个最合理的 τ 作为设计标准。

总之，我们要很好利用风，首先就必须了解和掌握它。

以上所谈的只是我们了解到的，并认为是一些较主要的问题，也是我国目前风能利用工作中已经遇到和估计将来可能遇到的一些问题。由于我们对情况了解得很不够和对这方面的知识很缺乏，一定还有很多重要问题没有谈到，也一定有谈得不对之处，还希望读者大力指正。