

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号: 00631

密 級:

綜合考察工作簡訊

(內部刊物 注意保存)

第 期

中

195 年 月

沙漠区的风能利用

赵雪华

(中国科学院力学研究所风力利用组)

一 前 言

沙漠佔我国1.1%的国土，总面积达1.6亿亩，其中98%分佈在西北六省、区。远离海洋，气候干燥、冷热剧烈、日照很强、风大沙多，就成为这个地区的气候特点。

解放前，大风沙造成“沙丘压庄园，流沙埋农田”的惨景；向解放后，沙漠区人民在党和政府领导下，大规模地开展了群众性的固沙造林运动，对治服风沙取得了伟大的成就。

风大，固然有大的破坏能力，但值得注意的是大风所携带的能量也多，举例来说，只要风速提高1倍，风的能量就提高到8倍。

通过风车的工作，可以把风能利用起来，化风力为动力，用于提水、发电及作农产品加工等等。

水，对于改造沙漠有头等重大意义。要想绿化沙漠，变沙漠为畜牧业、农业和林业的基地，就需要大量用水。荒漠如能得到适当的水源，並加以人工灌溉，反而能得到比一般土地更高的产量。据中国科学院治沙队对陕北、内蒙西部及河西走廊的沙漠区的调查，认为该区热量足够，特别是西部，只要有足够的水，不仅全部温带作物可以种植，而且有许多在亚热带生长的作物如棉花、水稻等均可大面积生产。沙漠区地下水大致由数米到数十米深，如果开凿一系列的筒井，视水井的深浅情况而配置以水车、离心式水泵或者活塞式水泵，用风车带动来抽水，供给沙漠区造林、种草及农田的灌溉和牧畜饮水等，将会在一定程度上解决沙漠缺水问题。

电力，是现代大生产的技术基础。在沙漠区有许多地方适宜于建立大功率风力发电站，把电力输到电网里去，为热力电站节省燃料，等于以风力代替了一部分煤和石油。在当前建立一系列中、小型的风力发电站，它既不受燃料运输不便的限制，也不必架设远距离输电线，而利用当地的风来发电，直接供给当地居民的生活用电及带动小型电动机械，可以有效地改善边远地区居民工作条件与生活条件。小型和微型风力发电机，装拆和携带都很方便，可为野外考察工作供给观测仪表等的用电。

风声还能直接用于磨面、铡草、轧棉、带动机床制铁器 and 锯木等，以代替笨重的体力劳动，提高劳动生产率，促进农、牧业和手工业等的机械化与半机械化，它可成为解决边远地区地广人稀，劳力不足的一个措施。

总之，风能的普遍利用，把沙漠中最多风化为缺少的水，电和代替劳力等，把祸患变为造福的泉源，对沙漠区的改造和发展农业、牧业等多种经济能起到显著的作用。

三、沙漠区风力特点和风能利用前途沙漠区风力的特点是大和集中。表1列举了沙漠区一些风速资料，由于沙漠区气候观测站分布还不很多，资料也只是根据一天四次的定时观测所得，风大和集中的特点还不能充分地反映出来，尽管这样，但表1的资料已经表明：绝大多数地区最大风速达到20~30米/秒以上，一年之中风季集中在夏季与春末、秋初，冬季风较小，这些特点为风能利用提供了有利条件。

春夏之季，正是需水时令和农忙季节，利用风力正好能及时地来解决水源问题和劳力不足的困难。

风季的集中，使得能够比其他年平均风速一样的地区提供更多的能量。作为一个实例，计算一下在新疆托克逊地区一台M-5型风车的年产量统计数据列在表2，其中一年内吹刮的小时数是从一天四次的定时观测记

求作近似推祿而得；M—5型風車一小時生產量是以苏联的 TB—5 型風車的技术数據代用的，因 M—5 型風車是参考 TB—5 型風車設計的，估計兩者出入不会太大。

表 2 M—5 型風車在托克逊地区工作的生產量統計表

风速(米/秒)	1	2	3	4	5	6	7		
一年内吹刮小时数	822	2484	1164	1686	258	318	96		
1小时生产量 (馬力小时)	—	—	0.15	0.35	0.7	1.2	1.9		
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
246	48	210	—	240	—	78	—	78	138
2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84

$$\begin{aligned}
 \text{M—5 型風車年產量 } W &= 1164 \times 0.15 + 1686 \times 0.35 + 258 \times 0.7 \\
 &+ 318 \times 1.2 + 96 \times 1.9 + (246 + 48 + 210 + 240 + 78 + 78 + 138) \times 2.84 \\
 &= 4456 \text{ 馬力小時} = 3300 \text{ 瓩小時}。
 \end{aligned}$$

如果不考慮風力分佈特徵，單從年平均風速出發來計祿 M—5 型風車年產量 $\tilde{W}$ ：

$$\begin{aligned}
 \tilde{W} &= (\text{在年平均風速時風車每小時生產量}) \times 365 (\text{天}) \times 24 (\text{時}) \\
 &= 0.31 \times 365 \times 24 = 2715 \text{ 馬力小時} = 2000 \text{ 瓩小時}。
 \end{aligned}$$

兩種不同的統計方法，結果相差達 35%，實際上，後一統計反映了在風季分佈均勻地区的年產量，由此可見一個地區的風力資源的多少不只決定於年平均風速多大，還必須注重風力的年分佈情況，沙漠地區的風力特徵是分佈集中，因此，即使年平均風速不大的地區也能提供相當大的風能。

從風能利用觀點着眼，沙漠區的風力情況大致歸結成這幾種類型：

1) 年平均风速大，经常有大风，无风天数少，这种地区风能利用条件最好，适宜于建立大型风力电站，风车型式以少叶片，快转型为宜。

2) 年平均风速大，风力分佈集中，在这种地方也适合建立大型风力电站，也以少叶片，快转型风车为宜，但须有辅助的动力装置，以省无风时带动发电机；或者和电网并列工作，把电输入电网，用户由电网供电。

3) 年平均风速中等大小，风力变化不大；风车结构的强度要求可以低些，因此风车制造成本也就减低了，虽然风小些，而单位马力的成本仍然不会太高。由于出现小风多，故风车型式以多叶片慢转型为宜。

4) 年平均风速中等大小，风力集中，在这种地区，以偏重推广快转型风车为宜，又因有时较长时期无风，如做不能间断的工作，像生活照明等，应考虑建立辅助动力设备或蓄能设备。

5) 年平均风速虽小，但风力分佈集中，亦即常有较大的风或者无风，风能利用仍有意义。风车型式以少叶片快转型为宜，适合做允许较长时间停歇的工作，如磨面等，风力利用的办法还需进一步研究。

6) 年平均风速小，风力分佈也均匀，很少有大风，在沙漠地区这样的地点不多，对于这种地方，需进一步研究微风利用的办法。

三、风能利用的经济意义

目前工农业生产中利用的主要能源有三种：燃烧各种燃料取得的热能；水能和风能。风能的利用不必化费像煤和石油那样的开采与运输的费用，也不必修筑如水库那样大的工程及化费那样长的时间，这是风力的独特优点。可是也有其不足之处，因为空气密度小，只有水的 $\frac{1}{800}$ ，这就使得风能利用机械——风车的结构比较庞大了；又因风的不稳定性，其大小和方向经常变化，使得风车必须具备一系列调整装置，方能完善地利用，但从全面的经济观点来看，风力利用并不因此而逊色。

风车的功率取决于风的大小，空气密度，风轮直径以及风能利用系数

等，空气的密度变化很小，可认作常量，其计算公式是：

$$\text{风車功率} = \text{风力利用係数} \times \frac{1}{2} \times \text{空气密度} \times (\pi \times \text{风輪直径}^2) \times \text{风速}^3$$

简化以后的计算公式是：

$$\text{风車功率} = \frac{\text{风能利用係数} \times \text{风速}^3 \times \text{风輪直径}^2}{15.90} \quad (\text{馬力}) \quad \text{或:}$$

$$\text{风車功率} = \frac{\text{风力利用係数} \times \text{风速}^3 \times \text{风輪直径}^2}{2080} \quad (\text{瓩})$$

就目前风車設計和制造水平來說，风能利用係数在 0.3 ~ 0.41 左右，各种現代风車的风能利用係数之間，一般相差不到 20%。

表 3 不同尺寸风車在不同风速之下运行时的风輪軸功率（表内上一数字以馬力为单位，下一数字以瓩为单位）

风輪直径(米)	风 速 (米/秒)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0.131	0.31	0.61	1.05	1.68	2.5	2.56	4.87
	0.097	0.23	0.45	0.78	1.23	1.84	2.60	3.57
10	0.528	1.25	2.44	4.22	6.70	10.0	14.2	19.5
	0.390	0.92	1.80	3.10	4.90	7.36	10.4	14.3
20	2.10	5.00	9.75	16.9	26.8	40.0	56.3	78.0
	1.54	3.66	7.16	12.4	19.7	29.4	41.7	57.4
30	4.72	11.40	22.0	38.0	60.5	90.0	128	175
	3.44	8.30	16.2	28.0	44.4	66.2	94	129

表3·列举出四种尺寸的风车在不同风速之下运行时风轮轴功率，计算中风能利用系数平均取为0.30，其中没有计入风车的机械传动损失，从这个表可以对风车功率大小有个粗略的估价。吉林洮安县对于东北地区使用得广的“五”五型风车的出力作用测定，风轮直径是5米，该风车工作性能数据如表4所列，这是一值得作为参考的实际例子。

表4“五五”型风车带动解放式水车工作性能数据表

风	級	二	三	四	五					
风速 (米/秒)		3	4	5	6	7	8	9	10	
风車力 (馬力)		0.10	0.20	0.35	0.55	0.95	1.52	2.25	3.5	4.4
依井深而定的	2 米	12	24	36	48	56	66	86	66	
每小时出水量	4 米	9	15	21	27	32	39	44	49	
(单位:吨)	6 米	6	8	12	18	23	28	33	36	

吉林洮安县岑下乡曾作过利用风力灌溉效益比较，如表5，这对沙漠区风能利用经济效益的估计上的参考意义也很大。从这个表中看到风力提水所化成本比煤气机抽水便宜一倍半，同时也只有畜力提水成本的十分之一。

表5·风车提水经济效益比较表

表五

类别	一昼夜 地 (亩)	每天 名目 数量	消耗 价值	每亩消耗 (元)	每日人工 人数工资(元)	每亩 的支出 (元)	经济效益 比较
煤气机抽水	25	机油 1 斤	1.0元				
		煤 200斤	3.0元	0.194	5	0.894	250%
		汽油 1 斤	0.45元				
"五五"型风水车	7~8	机油 0.4斤	0.56元	0.07~0.08	$1\frac{1}{2}$	0.625	0.159 100%
蓄力提水	3	草 45斤	1.68元				
		料 6斤	0.27元	0.715	2	3.5	1.549 970%

~7~

再从投資方面来看，根据中国科学院新疆綜合考察队在新疆吐魯番地区調查报告，把該地採用的灌溉方式和利用风力^車灌田的經濟性作比較，如表6及表7所列，其中风車的成本是这样估計的，在吉林白城市一台“五五”风車出厂价格为1600元，但由於新疆地区风大，須加固並改装以后，才能使用，並計入地区差价以后，估計成本为8000元，按照中国科学院治沙队托克逊治沙綜合試驗站所試制的M—5型风車，其功率和“五五”型风車相近，如若以專門的工厂成批生产，每台成本也近於8000元。这个数字，一台解放式水車成本是2000元，打一口筒井的費用約为800元，則全套风力提水設備的总投資約为18000元，使用年限定为8年，則每年分攤基建費用2250元。在东北地区，一台“五五”型风車每天可灌田7~8亩，考虑到全年中並非天天有风，所以定使用效率为50~60%，即平均一天可澆地4亩，灌溉輪期定为15天，这样，一台风車負責60亩地的灌溉，每亩地一年的基建負責費則为3.70元。

从表6和表7看到用坎儿井引水灌田的基建投資最多，而常年的生产費用最小，用淺井人力提水則却之相反，基建投資最少，而常年生产費用最多，风力提水設備的基建投資和常年生产費用都介乎中間，綜合起来的經濟性总評比列在表8。

表6 新建坎儿井、钻井、淺井和风車提水設備基建投資比較表

类别	規格	总投資 (元)	灌溉效率			每亩基 建負責費 (元)	經濟性 比較
			日灌 亩数	輪期 (天)	計 (亩)		
托克逊胜利 坎儿井	1.8公里长	27150	12.5	15	212.5	12.80	350%
托克逊胜利 钻井	井深6.7公尺	6280	10	15	150.5	1.91	50%
淺井	井深8公尺	882	2.5	15	37.5	1.57	43%
风力提水設 备	风輪直徑5公尺帶 解放式水車一台， 井一口	1800	4	15	60	3.70	100%

表7·各种取水方式的生产費用比較表

生产費用的构成 (元)							灌溉效率 每亩生經經			
类 別	工 資	畜 工	材 料	油 料	燃 料	合 計	日灌	輪 期	計 負 担	性
							亩次	(天)	(元)	比較
坎儿井 維 修	518.35	142.5	302.6	—	—	963	2.5	15	350	2.75 66%
鑽 井	960.0	—	—	4800	1968.0	3408	18.3	15	274.5	21.4 300%
淺 井	480.0	—	326.4	—	—	806	2.5	15	375	214.9 520%
风力提 水設備	150.5	—	—	100	250	250	4	15	60	4.10 100%

表8·各种取水灌田方式的經濟性总評比

类别	每亩基建負責 費(元)	每亩生产費用 (亩元)	一年中每亩总 分(元)	經濟性总評比
坎儿井	12.8	2.75	15.6	2
鑽井	1.9	12.49	14.3	1.9
淺井	1.57	21.49	23.0	3
风力提水設備	3.7	4.10	7.8	1

从上表中得出結論是各种取水灌田方式，以风力提水为最經濟，比其他方式取水的費用低1~2倍，风能利用的經濟意义也就显而易見。

四 风能利用和防风

从表面上看来，一旦风被防止了，那里还有风能利用，防风和风能利用似乎是相矛盾的，其实两者恰恰是一致的，因为风能利用的結果，必然使风力減弱，如果把許多风車排成一个风車带，和防护林带配合起来，

那么，除了达到风能利用的目的之外，还可在一定程度上起到了防风作用。

当前，营造防护林带是防止风沙的一个主要措施。防护林带的作用在于阻挡风，使风穿过树林以后减低了速度，风的能量消耗于空气和树叶的摩擦，树枝的摇摆，以及造成空气涡流所致的损失等。

风车工作的基本原理则是把吹向风轮的风所携带的能量的一部分吸收了，转化成为风车输出的功，按能量守恒定律，在风轮后面的风速必然会大大地降低，苏联H. B. 茹可夫斯基的理想风车理论（其中不考虑空气阻力）得出，在最好的工作情况下，风车所能够吸取的能量占吹向风轮的风所携带能量的 59.3% ，他还得出：在风轮面处的风速比远前方处的风速降低 $\frac{1}{3}$ ，而风轮远后方处的风速比远前方处的风速降低 $\frac{2}{3}$ 。我们知道风速沿距离的变化总是渐渐改变的，不会突然升高和突然下降的，所以风吹向风车时逐渐减低了速度，当穿过风轮后一定的距离内还继续减低着。由于从风轮四周绕过的风与穿过风轮的风之间相互干扰，以及地面的干扰等影响，风轮本身对穿过的气流的影响也很大，结果在风轮后面形成一个紊流区域，空气的运动变得非常紊乱，许多大小不等的涡旋不断地产生着，同时又不断地被风向后方带走，空气流动情况的示意图如图1，空气是有粘性的，空气作紊流运动同时伴随着空气质点之间的摩擦，风又一次损耗了所携带的能量，结果使得风轮后面一定距离内的风速更低了，这样也就起到了防风的效能。

H、B、茹可夫斯基理想风轮理论适用于多叶片慢转风车的情形。对于少叶片快转风车以苏联Г、X、沙宾宁的理想风轮理论较为符合，他得出理想风轮在最好工作情况下，风轮可以吸取吹向风轮的风能的68.7%。在风轮处风速减低率 $e_1 = 2.8 \sim 3.5\%$ 左右，在风轮远后方处风速减低率 e_2 由公式

$$e_2 = \frac{2e_1}{1+e_1} = 0.44 \sim 0.52$$

来决定，即为44%~52%。

将防护林带的防风效果和风车防风效果的理论值作比较的话，风车近后方处风速减低程度和表9中稀疏结构林带防风效果最佳处的情况相近，而在风车远后方处风速减低程度和表9中透风结构林带防风效果最佳处情况相近。

表9. 林带防风效果(根据中国科学院治沙队民勤治沙站1959年春季观测所得)

林类	距离 林前	风 速 (估 林 前 %)								防护效果		
		林后 1倍	林后 3倍	林后 5倍	林后 10倍	林后 15倍	林后 20倍	林后 22倍	林后 23倍	防护 距离 (林高 倍)	平均 风速	效能 e
透风结构林带	100	27	44	66	74	84	90	90		22	72	28
稀疏结构林带	100	60	71	75	83	86	88	89	90	23	82	18

注：防风距离以林的高度衡量，如林高后1倍，指林后距离为林高的1倍远处。

风车的防风效能要在风车运转时才充分体现出来，风车在停歇时防风效能显然会差得多，尤其对少叶片的快转风车，当停歇时只能和非常稀疏的防风林相比较，但是风车固有的特点，自能弥补这一点，多叶片慢转风车当风速为3米/秒左右时就能开始工作，少叶片的快转风车当风速超过

4 米/秒时开始工作，这样的速度，正好低於能使砂子移动的风速——起砂风的值，我国沙漠区起沙风都在 5 米/秒以上，所以每当刮起沙风时，风車已经开始工作，並起到防风沙的作用了。

显然孤立的风車是起不了多大防风作用的，必須有許多风車排列起来，才有大的威力，如要把风車一个接一个，非常紧密地排起来，实际作起来是有困难的，且对风能利用也是不利的，究竟风車分佈要多密，一时也难以回答，但从防风林排列情况及其产生的效果中可以得到一些启发，

6. Ⅱ. 哥略希夫研究結果指出：株距 1.5 米，高 1~2 米的树屏都可以

表 10. 高 1 米的树屏对于风的消滅作用

地面高度(米)	风 速 (米/秒)		
	树屏前 5 米	树屏后 5 米	树屏后 12 米
0	2.5	0	0
0.5	3.0	0.24	1.00
1.0	3.7	1.8	1.44

有防风作用。关于消滅风速的观测結果如表 10。以类似比例来排列风車带，举直径 5 米的风車为例，連塔架在內总高度至少达 8 米，那么风車位置取其高的 10 倍的话，則 1 公里以內只須分佈 13 台风車，20 公里以內也要 260 台风車，这是容易办到的。

以上只是敘述了风車防风的一个初步看法。可以肯定的是：风車带除完成其风輪利用目的以外，还能达到一定的防风效果，可是风車带不能像防护林带那样能直接影响气候和土壤的改良，在防护程度上也有局限性，所以风車带不能完全代替防护林带的作用，但可以使风車和防护林带合理的配置起来，即可将风車配置在防风地带的最前方，作为防风的第一道防线。这样既能大大的削弱风力，又能最有利地利用风能，从而使风力利用和防风密切結合起来。关于风車的防风效果和范围有多大；怎样来合理配

置林帶和風車帶；任種類型的风車防风效果好等等問題，有待今后的研究。

五 結 語

綜上所述，在我國遼闊的沙漠區，风能利用前途大有可為，不但具有重大經濟價值，還有深遠的政治意義。在資本主義制度下，沙漠^地區的风沙為非作歹，一直在吞噬農田，赶走居民，而在社會主義制度下，人們正在向征服沙漠大進軍，風害也要變為風利，風變為祖國的動力資源。

在黨的領導下，去年中國科學院治沙隊托克遜治沙綜合試驗站已試制了三台風車，风能利用的研究工作正在發展^升，深信在短時間內，在沙漠區將和我國其他地區一樣，風車普遍生根，全面開花，為祖國社會主義建設作出貢獻。

主 要 參 考 文 獻

1. 竺可楨：改造沙漠是我們的歷史任務。人民日報，1959年3月，24（7版）
2. 中國科學院治沙隊工作隊：沙漠地區綜合調查報告（第一期）。科學出版社，1958年。
3. 中國科學院新疆綜合考察隊：新疆吐魯番地區綜合考察初步報告（1958年）。科學出版社，1958年。
4. 介紹“五五”型風車。農業機械1959年11期
5. А. В. 文切爾等：風力在農業中的應用（中譯本）。科學出版社，1956年。
6. фатеев Е. М.: ветродвигатели и ветроустановка, Сельхозгиз, 1957年。

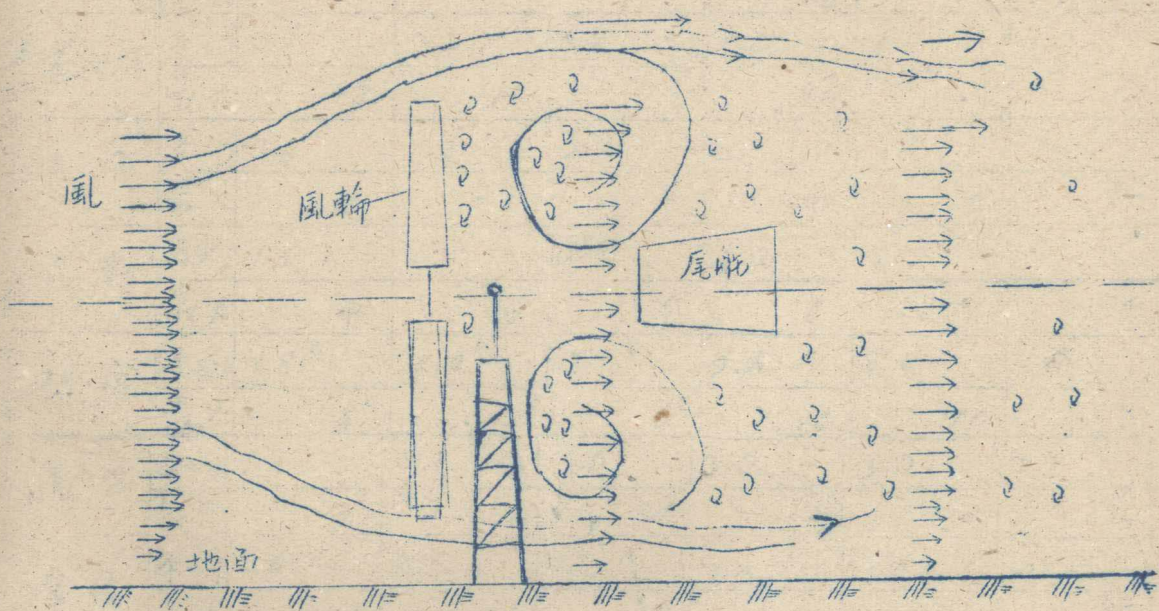
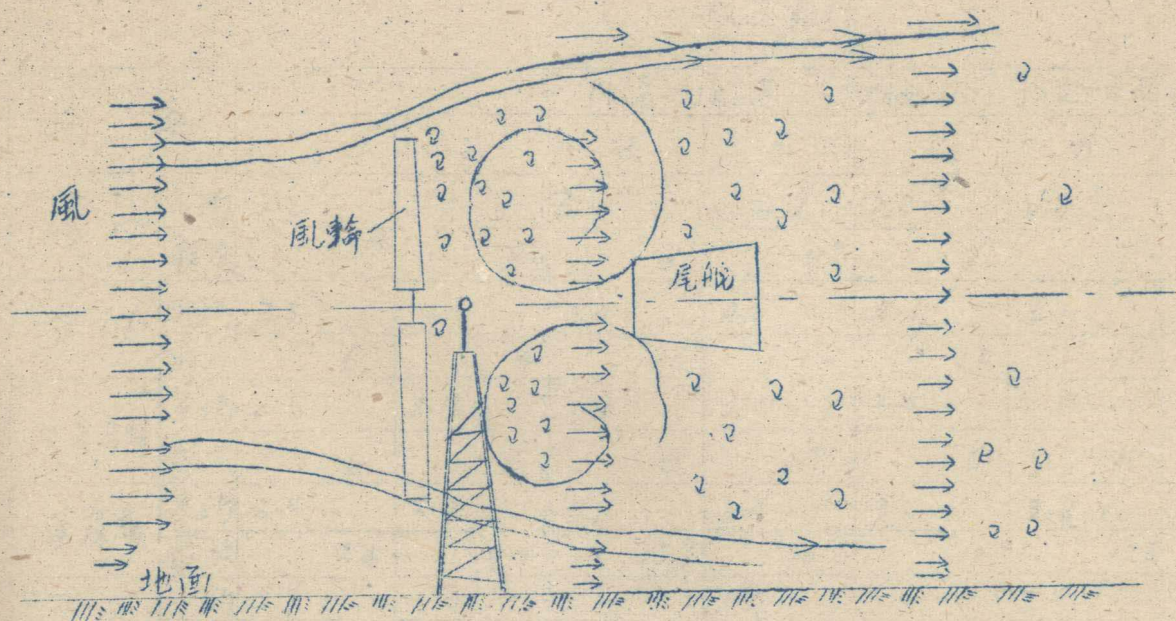


表1 風速資料

地名		月平均風速 (米/秒)					初定時月最大	
		1	2	3	4	5	6	7
磴口	平均	3.6*	3.9*	2.7*	3.2*	2.8*	2.4*	2.6*
	最大	8*	8*	7*	8*	7*	7*	
吉兰太	平均	2.5*	4	4.0	4.6	4.1	3.6	3.9
	最大	6*	14	10	14	12	10	
巴彦浩特	平均	2.4	2.7	2.9	2.5	2.5	2.6	2.8
	最大	4	6	6	7	6	5	
茶房廟	平均	2.5	2.8	2.9	3.4	3.5	3.8	3.1
	最大	7.4	9.9	13.9	10.9	10.9	12.6	
灵武	平均	2.9	4.0	3.2	3.7	3.6	2.8	2.8
	最大	12	12	12	12	12	10	
老西廟	平均	3.2	3.2	3.8	5.2	4.9	4.5	4.0
	最大	12	10	14	16	9	12	
武威*	平均	1.6	1.8	2.2	2.3	2.3	2.0	1.8
	最大	8	7	9	8	9	9	
民勤*	平均	1.5	1.8	1.9	2.2	2.3	2.1	2.4
	最大	4	6	5	6	7	6	
張掖	平均	1.8*	2.0*	2.1*	2.5	2.6	1.6	1.7
	最大	4*	5*	6*	10	10	7	
高台	平均	1.7	2.1	3.0	3.0	3.0	2.3	2.7
	最大	8	8	10	12	10	7	
金塔	平均	3.0	3.5	2.8	3.4	3.4	2.8	2.5
	最大	12	24	16	14	12	10	
酒泉	平均	0.9	1.2	2.0	2.4	2.7	2.0	1.5
	最大	17.2	23.0	25.3	29.0	28.4	25.9	
玉門*	平均	2.6	2.7	2.8	2.9	2.6	2.3	2.3
	最大	7	6	7	7	7	6	
西安	平均	4.0	4.3	5.9	6.2	5.4	5.5	4.4
	最大	12	14	18	24	18	12	
敦煌	平均	2.0	2.4	2.4	2.7	2.8	2.3	1.5
	最大	7.0	10.0	12.0	18.0	12.0	9.5	8