

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11%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，对治理风沙取得了伟大的成就。

风大，固然有大的破坏能力，但值得注意的还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。

通过风率的工作，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，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，大致由数米到几十米深，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。

AWT/1500/0507

16/0/0

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，为热电厂节省燃料，终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路，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，装配和携带都很方便，可为野外考察工作供给观测仪表等的用电。

风车还能直接用于磨面、刨草、轧棉、带动机床制铁器和锯木等，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，把沙漠中最多的风化为缺少的水，电和代替劳力，把荒漠变为富饶的泉源，对沙漠区的改造和发展农业、牧业等多种经营能起到显著的作用。

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而集中。表1列举了沙漠区一些风况资料，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，从表1的资料已经表明：絕大多數地区最大风速达到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，正是需水时节和农忙季节，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型风车每年产量统计数列在表2，其中一年内吹动的小时数是从一天四次定时观测记

象作近似描述而得；M—5型风车一小时生产量是以苏联的 7B—5 型风车的技术数据代用的，因 M—5 型风车是参考 7B—5 型风车设计的，估计出入不会太大。

表 2 M—5 型风车在托克逊地区工作的年产量统计

风速 (米/秒)	1	2	3	4	5	6	7
一年内吹刮小时数	829	2484	1164	1683	958	318	90
1 小时生产量 (马力小时)	—	—	0.15	0.35	0.7	1.2	1.9
8	9	10	11	12	13	14	15
246	48	210	—	240	—	78	—
2.84	2.84	3.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84

$$\begin{aligned}
 \text{M—5 型风车年产量 } W &= 1164 \times 0.15 + 1683 \times 0.35 + 958 \times 0.7 \\
 &+ 318 \times 1.2 + 90 \times 1.9 + (246 + 210 + 240 + 78 + 157) \times 2.84 \\
 &= 4456 \text{ 马力时} = 3300 \text{ 瓩时}
 \end{aligned}$$

如果不考虑风力分布特徵，单从年平均风速出发来计算 M—5 型风车年产量 $\tilde{W}$ ：

$$\begin{aligned}
 \tilde{W} &= (\text{在年平均风速时风车每小时生产量}) \times 365 (\text{天}) \times 24 (\text{时}) \\
 &= 0.31 \times 365 \times 24 = 2715 \text{ 马力小时} = 2000 \text{ 瓩小时}
 \end{aligned}$$

两种不同的统计方法，结果相差达 65%，实际上，后一种统计反映了在风季分布均匀地区的年产量，由此可见一个地区的风力资源的多少不只决定于年平均风速多大，还必须注意风力的年分布情况，沙漠地区的风力特徵是分布集中，因此，即使年平均风速不大的地区也能提供相当大的风能。

从风能利用观点着眼，沙漠区的风力情况大致归结成这几种类型：

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，但要有辅助的动力装置，以备无风时启动发电机；或者和电站并列工作，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，风车结构的调整要求可以低些，因此风车制造成本也就低了，虽然风小些，而单位容量的风车仍然不会太高。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，以慢转型快转型风车为宜，又因有时较长时期无风，如能不停的工作，如在活照明等，应设置辅助动力设备或蓄能设备。

5) 年平均风速更小，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。风车型式以少叶片慢转型为宜，适合做间断性或间歇的工作，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：燃料、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；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，风力利用並不因此而逊色。

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：

$$\text{风車功率} = \text{风能利用系数} \times \frac{\pi}{2} \times \text{空气密度} \times \left(\frac{\pi}{2} \times \text{风輪直径}^2 \right) \times$$

风速³

简化以后的计算公式是：

$$\text{风車功率} = \frac{\text{风能利用系数} \times \text{风速}^3 \times \text{风輪直径}^2}{1530} \quad (\text{馬力}) \quad \text{或:}$$

$$\text{风車功率} = \frac{\text{风能利用系数} \times \text{风速}^3 \times \text{风輪直径}^2}{2060} \quad (\text{瓩})$$

就目前风車設計和制造水平來說，风能利用系数在0.2~0.41左右，各种型号风車的风能利用系数之間，一般相差不到20%。

表2不同尺寸风車在不同风速之下运行时的风車軸功率（表內上一數字以馬力为單位，下一數字以瓩为單位）

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	2.55	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	28.3	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。吉林德安县对于东北地区使用广泛的“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，这是一便利作为参考的实际例子。

表4·五五“2”风车带传动式水车工作性能数据表

风	一	二	三	四	五				
风速 (米/秒)	5	6	7	8	10				
风车力 (马力)	0.10	0.12	0.55	0.95	1.52	2.25	3.2	4.4	
被井深而定的	2 米	12	14	23	26	56	66	66	66
每小时出水量	4 米	9	15	21	27	32	39	44	46
(吨)	6 米	0	0	12	12	28	28	33	36

表4的数据与下节曾作过的风力提水效益比较，如表5，这对沙漠区风能利用经济效益的估计上的参考价值很大。从这个表中看到风力提水所化成本比蒸汽机抽水要低一估半，同时也比畜力提水成本十分之一。

表5·风车提水经济效益比较表

表上

类	别	一昼夜 地 (亩)	每 目 名	天 数	耗 量	耗 价 值	每亩消耗 (元)	每日人工 人数	每亩 的 (元)	每亩收益 比较
煤	气机抽水	25	机油	1	斤	1.4元				
			煤	200	斤	3.0元	0.184	4	0.694	250%
			汽油	1	斤	0.45元				
畜力	提水	3	机油	0.4	斤	0.56元	0.07~0.08	$\frac{1}{2}$	0.625	100%
			草料	45 6	斤 斤	1.48元 0.27元	0.715	2	3.5	970%

再从投资方面分析，根据中国科学院新疆综合考察队在新疆吐鲁番地区之调查报告，把就地掘用的灌溉方式和利用风力，通过经济比较列如表6及表7所列，其中风车的成本是这样估计的，在古城白碱市一“五五”风车出厂价格为150元，但由於新疆地区广大，須加运费及安装费后，才能使用，估计到地后总价以后，有计算者为300元。新疆中、东部各队所购沙依拉克地区综合农业站所试制的K-5型风车，其功率和“五五”型风车相近，如若以专门的工厂成批生产，每台成本也近於300元。这个数字，一台解放式水车成本是300元，打一口筒井的费用約为80元。用风力提水设备的总投资約为1200元，使用年限定为84年，则每年分摊基建費用225元。在东北地区，一台“五五”型风车每季可灌溉7~8亩，考虑到全年中並非天天有风，所以定使用效率为50%左右，即平均一天可灌溉4亩，灌溉輪次定为12次，这样，一台风车可管120亩地的面积，每亩地一半的基建投資費則为3.70元。

从表6和表7看到用风力提水设备中每季分摊基建投資最多，而常年生产費用最少，用筒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。风力提水设备的基建投資和常年生产費用都介乎中间，綜合起来的經濟性总评比列在表8。

表8新式坎儿井、钻井、筒井和风车提水设备基建投資比較表

类别	规格	基建投資 (元)	灌溉效率 日灌輪次 亩数	每季分摊 計 (元)	每亩基 礎投資 (元)	經濟性 比較
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 新钻井	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费用比较表

生产费用的构成 (元)

类别	工资	畜工	材料	油料	燃料	合计	每亩(元)	每亩(亩)	经济性比较
坎儿井	512.5	142.5	3.2	—	—	305	2.5	15.5	0.2
钻井	930.0	—	—	480.0	1328.0	3408	14.3	15.3	12.2
浅井	480.0	—	326.4	—	—	806.4	3.5	15.27	5.31
风力提水设备	150.0	—	—	1.0	2.0	253	4.0	30.0	10.0

表8. 各种取水灌田方式的经济性比较

类别	每亩灌溉费用(元)	每亩生产费用(元)	每亩总费用(元)	经济性比较
坎儿井	1.8	2.75	15.0	2
钻井	1.9	13.49	14.5	1.9
浅井	1.57	21.49	23.0	3
风力提水设备	3.7	4.10	7.8	1

从上表中得出结论是各种取水灌田方式，以风力提水为最经济，比其他方式取水的费用低1~2倍，风能利用的经济意义也就显而易见。

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，因为风能利用的结果，必然会使风力减弱，如果把许多风车排成一个风车带，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木的摩擦，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，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大为降低，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，风车所能吸取的能量占吹向风轮的风所携带能量的 0.34 ，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 $\frac{1}{3}$ 。我们知：风速沿距离的变化总是逐渐改变的，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，风又一次消耗了所携带的能量，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果。

H、B、茹可夫斯基理想风轮理论适用于多叶片慢速风车的计算。对于少叶片快速风车，按达朗贝尔、X、少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%。在风轮处风速减慢率 $e_1 = 2.3 \sim 3.5\%$ 左右，在风轮远后方处风速减慢率 e_2 由公式

$$e_2 = \frac{2e_1}{1+e_1} = 0.4 \sim 0.52$$

来决定，即为4%~5.2%。

将防护林带的防风效果和风车防风效果理论值作比较的话，风车近后方处风速减慢程度和表9中疏松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慢程度和表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（根据中国科学院沙漠队民勤治沙站1959年春季观测所得）

防护距离 林类	风 速 (估 林 前 %)									防护距离 西离林高 (倍)	防护距离 内平均风 速	防护效能 e
	林前	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25倍	林后30倍			
透风结构林带	100	27	44	66	74	84	90	90		32	72	28
疏松结构林带	100	60	71	75	83	86	88	99	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，尤其对少叶片的快速风车，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，多叶片慢速风车当风速为3米/秒左右时就能开始工作，少叶片的快速风车当风速超过

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

虽然孤立的风车是起不了多大防风作用的，必須有許多风车排列起来，才有大的威力，如要把风车一个挨一个，非常紧密地排起来，实际做起来是有困难的，且对风能利用也是不利的，究竟风车分佈要多密，一时也难以回答，但从防风林排列情况和其产生的效果中可以得到一些启发，B·哥洛希夫研究结果指出：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1.5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结果如表10。以类似比例来排列风车带，举直径5米的风车为例，连塔架在内总高度至少达8米，那么风车位置取其高的10倍的话，即1公里以内只須分佈13台风车，20公里以内也要260台风车，这是容易办到的。

以上只是叙述了风车防风的一个初步看法。可以肯定的是：风车带除完成其风轮利用目的以外，还能达到一定的防风效果，可是风车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，所以风车带不能完全代替防护林带的作用，但可以使风车和防护林带合理的配置起来，即可将风车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结合起来。关于风车的防风效果和范围有多大；怎样来合理配

圖林帶和風車帶；任種類型的风車防风效果好等問題，有待今后的研究。

五 結 語

綜上所述，在我国辽闊的沙漠区，风能利用前途大有可为，不但具有重大經濟价值，还有深远的政治意义。在資本主义制度下，沙漠区的風沙为非作歹，一直在吞蝕农田，赶走居民，而在社会主义制度下，人們正在向征服沙漠大进军，風害也要变为風利，風变为祖国的动力资源。

在党的领导下，去年中国科学院治沙队托克逊治沙綜合試驗站已試制了三合風車，风能利用的研究工作正在发展，深信在短時間內，在沙漠区將和我国其他地区一样，風車普遍生根，全面开花，为祖国社会主义建設作出貢獻。

主要参考文献

1. 竺可楨：改造沙漠是我們的歷史任务。人民日報，1959年3月24(7版)
2. 中国科学院治沙队：沙漠地区綜合調查报告(第一期)。科学出版社，1958年。
3. 中国科学院新疆綜合考察队：新疆吐魯番地区綜合考察初步报告(1958)。科学出版社，1958年。
4. 介紹“五五”型風車。农业机械1959年11期
5. А. В. 文切爾等：風力在农业中的应用(中譯本)。科学出版社，1956年。
6. Фатеев В. М.: Ветроподвигатели и Ветроустановка. Сельхозгиз, 1957年。

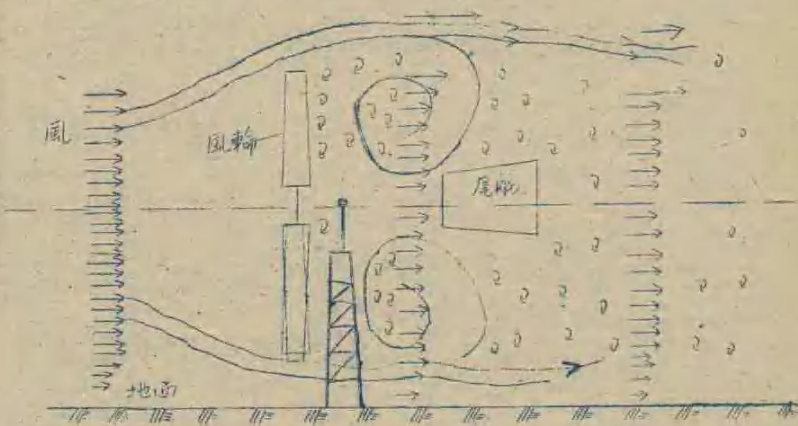
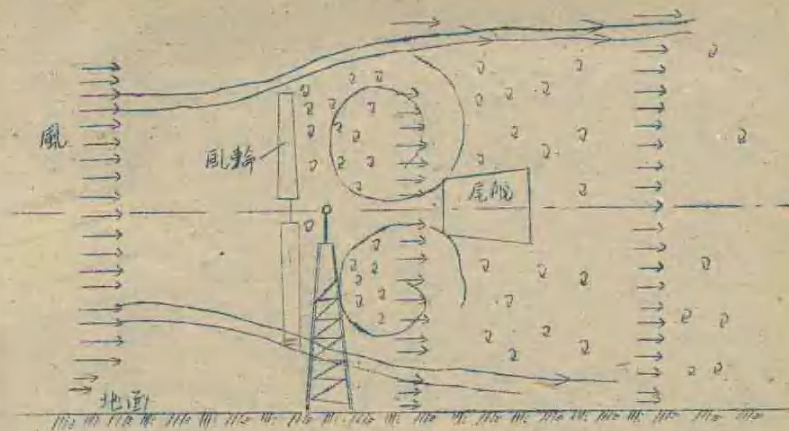


表 1 构造资料

地 名	月平均风速 (米/秒)												年平均风速 (米/秒)	瞬时最大风速 (米/秒)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
北 口	平均 3.6 ⁸ 最大 8 ⁸	3.9 ⁸ 2.7 ⁸	2.7 ⁸ 3.2 ⁸	2.8 ⁸ 2.4 ⁸	2.8 ⁸ 2.4 ⁸	2.6 ⁸ 2.6 ⁸	2.6 ⁸ 2.6 ⁸	2.4 ⁸ 2.4 ⁸	3.1 3.5	3.4 3.5	3.4 3.4	3.9 3.9	1.9	8 [*]
台 兰	平均 2.5 ⁸ 最大 6 ⁸	4 1.9	4.0 1.0	4.6 1.2	4.1 1.2	3.6 1.0	3.9 1.2	3.6 1.2	3.4 1.2	3.5 1.0	3.2 1.0	3.5 1.0	2.7	1.4
巴 南	平均 2.4 最大 4	2.7 6	2.9 6	2.5 7	2.5 6	2.6 5	2.8 7	2.8 7	3.3 8	2.9 10	2.9 10	2.7 8	2.7	8
东 南	平均 2.5 最大 7.4	2.8 2.9	2.9 3.4	2.9 3.4	3.5 3.5	3.8 3.8	3.1 3.1	2.8 3.0	3.0 3.0	2.3 2.3	1.9 1.9	2.4 2.4	1.9	1.4
东 元	平均 2.9 最大 1.2	4.0 1.2	3.2 1.2	3.7 1.2	3.6 1.2	2.8 1.0	2.8 1.0	2.8 1.0	2.3 1.0	2.3 1.0	2.3 1.0	2.3 1.0	2.9	1.2
花 南	平均 3.2 最大 1.2	3.2 1.2	3.8 1.2	4.2 1.2	4.9 1.2	4.5 1.2	4.0 1.2	3.7 1.2	3.1 1.2	2.8 1.2	2.8 1.2	2.9 1.2	2.7	1.4
武 威	平均 1.6 最大 8	1.8 7	2.2 8	2.3 8	2.3 9	2.0 9	1.8 9	1.8 8	1.7 8	1.7 8	1.7 8	1.6 8	1.9	9
元 南	平均 1.5 最大 4	1.8 6	1.9 5	2.2 6	2.2 7	3.1 6	2.5 6	1.8 5	1.7 5	1.8 5	1.8 5	1.7 4	1.9	6
张 庄	平均 1.8 最大 4	2.0 ⁴ 2.1 ⁴	2.1 ⁴ 2.5	2.6 2.6	1.6 1.6	1.7 1.7	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8	1.4
高 台	平均 1.7 最大 8	2.1 8	3.0 1.0	3.0 1.2	3.0 1.0	2.3 7	2.7 1.0	2.4 8	1.8 6	1.9 7	2.2 1.2	2.1 8	2.4	1.2
金 场	平均 3.0 最大 1.2	3.5 2.4	2.8 1.6	3.4 1.4	3.4 1.2	2.8 1.0	2.5 1.0	2.9 8	2.3 1.6	2.3 1.4	2.2 1.2	2.5 1.6	2.8	2.4
酒 泉	平均 0.9 最大 1.2	2.0 2.0	2.4 2.4	2.7 2.7	2.0 2.0	2.7 2.7	2.0 2.0	2.5 2.5	1.3 1.3	1.3 1.3	1.2 1.2	1.0 1.0	1.7	2.4
工 门	平均 2.6 最大 7	2.7 6	2.8 7	2.9 7	2.6 7	2.3 6	2.3 5	2.6 10	2.3 6	2.3 6	2.3 6	2.9 7	2.6	1.0
西 安	平均 4.0 最大 4.2	4.3 1.4	5.9 1.8	6.2 2.4	5.4 1.8	5.5 1.2	4.4 1.6	5.0 1.8	3.9 8	4.7 1.2	3.1 1.7	3.3 1.2	4.6	1.8
双 庄	平均 2.0 最大 7.0	2.4 1.0	2.7 1.2	2.8 1.2	2.8 1.2	2.3 1.5	2.3 1.5	2.2 1.6	1.7 1.7	1.7 1.7	1.7 1.7	1.7 1.7	2.1	1.5

