

内部资料 不得外传

2000 年的中国研究资料

第 26 集

太阳能科学技术国内外水平和差距

中国太阳能学会

中国科协 2000 年的中国研究办公室

1984 · 10

第 26 集

太阳能科学技术国内外水平和差距

中国太阳能学会

中国科协2000年的中国研究办公室

1984 · 10

“2000 年的中国研究资料” (第 1—29 集): 60.00 元

本册每本收费: 0.90 元

(内部资料 注意保存)

《“2000年的中国”研究资料》

(第1集—第29集)

征 订 办 法

由国务院技术经济研究中心和中国科协联合组织的“2000年的中国”研究,受到了中国科协所属的全国性学会和各省市科协的普遍重视,有的已经取得了初步成果。他们的做法是: **第一个研究层次**, 调查有关学科(领域)的国际水平、国内水平及省市的地方水平, 研究存在的差距和提出相应的建议; **第二个研究层次**, 将由各省市科协和中国科协“2000年的中国”研究办公室组织跨学科的“横向”研究; **第三个研究层次**, 把有较高实际价值的学术成果提交到国务院技术经济研究中心和中国科协进行联合研究。在实际工作中, 这三个层次将是相互交叉的。《“2000年的中国”研究资料》一九八四年将主要介绍第一个研究层次的学术讨论情况。八四年出版的主要包括第1集~第29集, 共30册。第29集后八五年内出齐另行征订。《“2000年的中国”研究资料》由中国发明创造者基金会发行组内部发行, 欢迎成套订阅, 亦可分册订阅。

具 体 预 订 办 法

1. 《“2000年的中国”研究资料》内部征订, 本套资料一律挂号发行。
2. **定价**: 八四年已出版的(包括第1集~第29集共30册, 第30集后八五年出齐, 另行征订)成套预订、一齐寄发。每套(第1集—第29集)收费(包括挂号费)六十元整。
3. **订阅书款一律信汇**: 帐户: 中国发明创造者基金会。银行: 北京人行西长安街分理处。帐号: 0891383。
4. **“报销凭证”**随书寄给订户。

(第1集—第29集) 目录

一九八四年已出版欢迎订阅 (转接封三)

集号	集 名	编 者	定 价
1	电子科学技术国内外水平和差距	中国电子学会	5.60元
2	石油工业国内外科技水平和差距	中国石油学会	1.70元
3	自动化技术的国内外现状与差距	中国自动化学会	1.00元
4	通信建设的国内外水平和展望	中国通信学会	1.90元
5	亟待发展的工业设计	中国工业美术协会	0.45元

(接封二)

6	地质科学现状、差距与展望	中国地质学会	3.40元
7	地球物理科学的现状和展望	中国地球物理学会	1.85元
8	轻工业国内外生产技术状况	中国轻工学会轻工部科技情报研究所	2.70元
9	第一分册 钢铁工业国内外科技水平和差距	中国金属学会	4.60元
9	第二分册 有色金属工业国内外科技水平和差距	中国金属学会	2.50元
10	我国粮棉油茶生产水平及与先进国家的差距	中国农学会	0.35元
11	沈阳工业企业产值翻两番宏观技术水平预测和对策	沈阳市科协	0.45元
12	国外航空工业科技水平介绍	中国航空学会	3.80元
13	硅酸盐工业国内 外 科 技 现状和差距	中国硅酸盐学会	2.50元
14	2000年的中国气象学和大气科学	中国气象学会	1.65元
15	建筑科学技术的国内外水平、差距和对策	中国建筑学会	1.40元
16	关于结核病流行、治疗和科研的国内外水平和差距	中国防痨学会	0.75元
17	我国中西医结合研究的成就和展望	中国中西医结合研究会	4.10元
18	我国图书馆事业的发展及与国外的差距	中国图书馆学会	1.80元
19	电力工业国内外科技水平和我国的差距	中国电机工程学会	2.15元
20	系统工程国内外水平和差距	中国系统工程学会	2.15元
21	体育科学国内外水平和差距	中国体育科学学会	1.60元
22	当代心理学研究的现状与发展趋向	中国心理学会	1.50元
23	机械工业国内外科技水平和差距	中国机械工程学会	2.30元
24	国内外标准化发展水平及其差距	中国标准化学会	1.50元
25	中国计量科学技术的现状与展望	中国计量测试学会	2.80元
26	太阳能科学技术国内 外 水平 和差距	中国太阳能学会	0.90元
27	感光科学技术国内外水平和差距	中国感光研究会	0.80元
28	煤炭工业国内外技术水平和差距	中国煤炭学会	0.70元
29	我国2000年钢铁工业发展前景及应采取的对策	中国金属学会	1.90元

目 录

2000年中国太阳能采暖空调的发展设想	郭晓光 (1)
2000年中国风能的开发利用	高先声 (7)
太阳能基础材料	俞善庆 缪仲熙 (14)
蓬勃发展中的世界太阳能光伏技术	李文滋 (23)
太阳能热动力	廖少葆 (30)
太阳能光化学	孙璧姝等 (34)
太阳热水器	陆维德 (43)

2000年中国太阳能采暖 空调的发展设想

一、概 述

我国地处北半球,幅员辽阔,南起北纬 4° ,北至北纬 $52^{\circ}32'$,西至东经 73° ,东至东京 $135^{\circ}10'$ 。在这广阔的国土上,我国的太阳能资源是十分丰富的,太阳辐射总量约为 $80\sim 200$ 千卡/厘米 $^2\cdot$ 年的范围内,日照时数约在 $1000\sim 3300$ 小时之内。

虽然地球表面接受的太阳辐射能量是低品位的能级,要用于高温热利用方面,在技术上还存在着许多困难,在经济上与常规能源的高温热利用相比尚不合算,但是,太阳能的中低温热利用在建筑采暖空调系统中是很有发展前途的。

自从四十年代起,许多技术先进的国家就开始了太阳能采暖空调技术的研究工作。到七十年代末期,全世界已有四十多个国家和地区从事太阳能利用工作,其中三分之二以上的国家和地区,都把太阳能采暖空调技术作为重点研究内容之一。

我国广大的一、二、三类地区是开发利用太阳能资源丰富的地区(见表1),尤其是一、二类地区是发展太阳能利用资源相当优越的地区。

表1 我国太阳能资源分布

地区类别	地 区	年辐射总量 (万千卡/米 $^2\cdot$ 年)	日照时数 (小时)	备 注
一	宁夏、甘肃北部、新疆东南部、青海和西藏西部	160~200	2800~3300	相当于印度及巴基斯坦北部
二	河北、山西北部、内蒙和宁夏的南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部、新疆南部	140~160	3000~3200	相当于印尼的雅加达地区
三	山东、河南、吉林、辽宁、云南、北京、河北东南部、山西南部、陕西、江苏、安徽北部、甘肃东南部、广东和福建南部等	120~140	2200~3000	相当于美国华盛顿地区
四	湖南、湖北、广西、江西、浙江、黑龙江、广东和福建北部、陕西和江苏南部	100~120	1400~2200	相当于意大利米兰地区
五	四川和贵州	80~100	1000~1400	相当于巴黎、莫斯科

根据我国一些代表性地区的气候资料统计,可得到太阳能日照时数百分率和部分月太阳辐射总量资料(见表2)。

表2 代表性地区日照时数百分率和部分月太阳辐射总量

地 区	纬 度	海拔 (米)	年日照 时数 (时)	年日照 百分率 (%)	年总辐射量 (万千卡/米 ² ·年)	寒冷季每月总辐射量 (万千卡/米 ² ·月)					
						11月	12月	1月	2月	3月	4月
北 京	39°57'	52	2700	60	130	6	6	6	7	10	13
石 家 庄	38°04'	82	2700	60	125	6	7	6	7	10	13
兰 州	36°03'	1517	2600	60	130	7	7	7	8	11	13
西 宁	36°47'	2261	2800	60	140	9	8	8	9	12	14
拉 萨	29°42'	3658	3000	60	200	13	12	12	13	17	18
乌鲁木齐	43°51'	654	3000	70	140	6	5	6	7	11	14
济 南	36°41'	55	2600	60	130	7	6	6	7	10	12
郑 州	34°43'	109	2300	50	120	6	7	6	7	9	11
上 海	31°10'	5	2100	50	120	6	6	6	6	8	10

由表2可以看出我国拉萨地区、西宁、兰州和乌鲁木齐等西北地区的日照时数多、太阳辐射年总量大。尤其是拉萨地区除了日照时数多之外,太阳辐射年总量比沿海地区多60~70%,在寒冷采暖季节几乎高出一倍。

因此,在西北地区和西藏地区发展太阳能采暖技术,可以为建筑节能作出重要贡献。根据日照时数和太阳辐射资源的统计,我们可以预见到,多年来采暖问题没有妥善解决的长江和淮河流域(我国中部地区),如果采用太阳能采暖技术,将会得到很好的技术经济效益和社会效益。

二、太阳能采暖空调技术的国外发展概况

从1983年的国际太阳能会议可以看到,太阳能在建筑中热利用是得到全世界各国人民和科技工作者所关注的发展方向。例如大会共计发表的科技论文633篇,其中建筑热利用156篇,占四分之一。出席大会的代表名额八百多名,其中经常参加建筑中热利用专业组活动的为250人左右。这些都说明了太阳能在建筑中热利用是全世界共同关心的发展方向。

(一) 被动式太阳房是八十年代的发展方向

国际上对被动式太阳能采暖系统研究比较集中,而且许多国家的被动式采暖系统已逐渐由集热墙系统向带有保温窗帘的直接受益式过渡。

集热墙系统的太阳能采暖效率仅为20%以下,而且它改变了建筑物的传统立面外观,集热墙的外集热窗容易积灰污染,难以清扫。

直接受益式系统符合传统建筑构造,在民用建筑中既可用于住宅建筑也符合公用建

筑要求,在设计过程中充分利用建筑结构蓄热、利用采光窗收集太阳辐射热量,但是这种系统要求有防止室内低温长波向外辐射散热的保温窗帘。当前美国和澳大利亚等国家都在积极发展这类被动式太阳房,与此相适应地国际上出现了“太阳能建筑学”专业,这是值得我国建筑界予以注意的新事物。

澳大利亚的被动式太阳房研究工作开展比较早,主要分布在墨尔本、悉尼等市的科研和大学的研究所内,而且多数是以建造实体建筑为研究对象,完全模仿实际住宅建筑和室内家俱陈设,进行实际效果测试研究。他们从1978年至1982年进行了五年的研究工作,如今已进入实用阶段。

又如澳大利亚的维克托利亚地区太阳能协会,也建造了一幢被动式住宅太阳房进行研究,对节能效果印发大量资料进行宣传推广。该地区的房产商业公司已对不同型式被动式太阳房与主动式太阳房作了组合设计,作为节能房屋出售,被动式太阳房住宅,每平方米建筑面积售价平均约400澳元。

随着直接受益式被动太阳房的大量采用,美国、法国和日本等国家作了很多研究工作,但是大多数是一、二层建筑。这方面的研究工作我国开展得很少,尤其是防止辐射散热的保温窗帘及其密封构造尚未进行研制工作,这势必影响我国的被动式太阳房的发展速度。

法国针对直接受益的双层玻璃窗,作了密封结构后,在双层玻璃之间进行了通风,利用太阳能加热,在被动式太阳房内作为热风采暖。

印度在被动式太阳房中,继美国之后研制了热管蓄热水箱和热整流管蓄热水箱作为被动式太阳房的墙体。

日本对南北两向房屋的二层楼房被动式采暖系统作了探索性研究,在楼内作了气套,气套内的采暖房间是用镀锌薄钢板作墙壁,没有蓄热能力。楼房的外墙用100毫米厚泡沫塑料保温,天花板用100毫米厚玻璃棉保温。楼房的南向直接受益窗透过的太阳辐射热量,一部分加热气套内循环空气,一部分通过南向房间直接受益窗加热室内空气,北向房间的采暖只能依靠气套热风循环供热。在东京地区,南向房间昼夜室温为 $20\sim 5^{\circ}\text{C}$,北向房间昼夜室温为 $10\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。这个研究课题虽然距离实际应用差距较大,但是说明日本的科技工作者,正在探索南北两向房间的多层建筑利用被动式太阳能采暖的可行性。

美国在直接受益式双层玻璃窗之间,研制了填充保温材料的“发泡墙”装置,并在扩大应用范围。而且美国的被动式太阳房发展得最多,许多研究设计部门日益实现数学模型化。

(二) 被动式致冷系统已开始受到重视

被动式致冷系统近年来有新的发展,在国际上出现了将单层建筑平屋顶作成双层屋面板,利用太阳辐射热加热屋面后,在双层屋面板之间的空气夹层中产生热抽力,使室内热空气被抽出,换入室外的新鲜较低温的空气,达到室内降温的目的。

还有一种降温的方法是利用被动式太阳房的集热墙的自然通风系统,被太阳照射后产生抽力,在南北两面墙上打开自然换气孔,将室内热空气排出,换入室外的新鲜低温空气,达到空气降温的目的。这种降温的作法,在我国已于七十年代后期,在被动式太阳房中得到了应用。

(三) 主动式太阳能采暖与制冷系统

国际上对主动式太阳能采暖与制冷系统几十年来一直没有间断地研究新技术、新设备和新工艺。

主动式太阳房的空调系统和热泵系统,多数是采用溴化锂水溶液吸收式制冷系统,也有采用氨水吸收式制冷系统或氟利昂—22制冷系统,这方面的研究工作,美国、日本、印度和法国等都作了许多贡献。

热泵和吸收式两效系统的应用都有了新的进展,值得注意的是日本研制了利用沸石—13x材料,在发生器前和发生器后都采用了热管换热器作成了沸石制冷系统,该系统利用太阳能加热的制冷效率为0.3左右。我国在沸石制冷方面曾经进行过研究工作,由于上下多种原因没能坚持下来,以致于中断了工作。

近年来在日本曾经研究试验了一座160平方米的二层楼太阳房,使用了56.2平方米集热器和一台3.0冷吨溴化锂吸收式制冷机。它的特点是采用一个2吨蓄热水箱放入40立方米卵石地下保温槽内,卵石的热量是由集热器供热,通过排管放热蓄积的。采暖是采用天花板辐射采暖系统,集热器供热或者蓄热水箱通过热泵升温使用于采暖系统,该热泵效率为1.5~1.6%。该系统还考虑了生活热水供应。我国在主动式太阳能制冷系统方面针对氨水吸收式制冷系统进行的研究比较多,对于溴化锂吸收式制冷系统和热泵系统研究得相当少,这是我国的薄弱环节。

瑞典皇家工学院于1979年建成了一幢采暖楼,应用复合抛物面集热器120平方米,固定仰角装置在640立方米的地下蓄热水池的顶盖上,集热器在水池的可旋转的顶盖上跟踪太阳。经过1979~1982年四年试验,集热器每年分别运行5、7、8、6个月,集热器效率分别为47%、42%、38%、38%。每年蓄存几个月的太阳能热水,供给瑞典太阳能采暖示范中心作为冬季采暖使用。

近几十年来,国际上对太阳能热利用普遍认识到储能蓄热的重要性,除了固体蓄热材料之外,国际上多年来一直在从事相变材料蓄热的试验研究。相变材料种类很多,对太阳能采暖空调专业来说,国际上普遍针对十水硫酸钠等化学相变材料进行试验研究。当前对该相变材料的过冷问题已趋于解决,对分层问题许多学者采用了不同悬浮剂,仍然处于探索试用阶段。对这方面的研究,我国已有一些单位着手探索,也分别提出了一些悬浮剂的试验成果,但都仅仅是开始。

法国在集热墙的基础上研制了一种“透气墙”。由于该墙的阻力大,在墙的顶端装了一个小风扇来循环推动空气在双层玻璃与墙面之间传热,然后透过墙送入室内采暖。这样的墙比现在的集热墙可多获得30%热量,墙的效率可达50%。

近年来,国际上在太阳能采暖空调技术方面出现了许多新的发展和新技术,上述情况仅仅是概况叙述。

三、国内发展现况以及未来展望

2000年时,建筑的采暖空调耗能,将由现在的占工农业总能耗的1/6上升为占1/4左

右。太阳能利用可以预见到将是二十一世纪的主要能源之一，因此，太阳能在建筑中的利用前景是相当广阔的。

利用太阳能采暖是直接热利用，在技术上难度不大，利用的关键是提高热效率。利用太阳能空调，在技术上是比较复杂的，热利用过程不单纯是热量利用的问题，而且还要有一定的温度才能达到空调制冷的工艺运行要求，否则系统不能按工艺要求运行。

目前国际上对太阳能采暖的开发利用是相当多的，尤其是被动式太阳能采暖系统的开发利用占多数，主动式太阳能采暖的开发利用占少数，也有一部分主动式与被动式的混合型太阳能采暖系统。美国在国家实行鼓励政策之后的最近几年内，被动式太阳房就发展了五万余栋。

我国自从1976年以来，建造了被动式太阳房一百余栋试验性建筑，最大的被动式太阳房是四层建筑，建筑面积二千余平方米。国外却很少有多层建筑的被动式太阳房。在多层建筑的被动式太阳房中，多数没有考虑辅助热源的建筑，运行后测试结果室温普遍为 $14 \pm 4^{\circ}\text{C}$ 左右；农村被动式太阳房的设计参数普遍是 $12 \pm 4^{\circ}\text{C}$ ，也是不考虑辅助热源的配备。而美国和西欧一些国家的被动式太阳房都考虑辅助热源的配置，而且采暖方式是多种多样的，建筑围护结构保温措施方面，他们已经有了建筑物外保温成型材料，设计普遍应用计算机全年模拟计算。此外，他们对本国各地区的气象及辐射资源，已经有了较为全面的技术资料。国外对被动式太阳房的设计与计算方法已趋于成熟阶段。

我国的被动式太阳房还在初级阶段，建筑物的外保温材料和保温技术还需要进一步研究和试验，应该力争在九十年代做到实用化；被动式太阳房的数学模型刚刚起步，现在已经能够应用计算机全年模拟计算，今后推广被动式太阳房正在朝着模拟预测计算的方向发展，到达2000年时，我国被动式太阳房要健全全国气象及辐射资源资料，统一设计与计算方法和计算参数，统一被动式太阳房的评价标准，无论是城镇或乡村的被动式太阳房，随着生活水平的提高，室内设计温度都应提高到 $16 \pm 4^{\circ}\text{C}$ 以上。这一切都有待加强国内被动式太阳房的科研力量，共同协作，迎头赶上国际先进技术水平。

主动式太阳房与热水器系统、空气加热器系统有密切的关系。主动式太阳能采暖系统要求具有高效率、长寿命和抗冻型的集热器，而且应该有其优越的选择性涂层，在冬季供给太阳能采暖系统所必需的热水或热风。尤其是应该发展天花板及地板辐射采暖系统。辐射采暖系统有它的独特优越性，它具有采暖舒适感，而且温度通常比对流采暖系统低 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，这就可以降低热源的溫度要求，而且热耗量比较小，辐射采暖系统的蓄热量和热惰性大。因此，主动式太阳能采暖，随着生活水平的不断提高，在进入二十一世纪的年代里，一定会得到采暖地区和人民群众的欢迎。

太阳能空调制冷系统，在美国、日本、西欧发展得比较快，大部分是溴化锂水溶液吸收式制冷系统。我国在1980年以前研制的太阳能制冷设备，几乎全部是氨水吸收式制冷设备。

氨水吸收式制冷系统，采用一般钢材容易制造，要求制冷的工艺温度 70°C 以上即可实现，因此，1980年以前我国北京、上海、武汉和河南等地几乎全部发展的这一类设备，但是氨水吸收式制冷系统的太阳能热利用系数低，通常在0.4以下；氨工质对人体有毒性；系统运行中不够安全。因此，国外应用较少。我国从1980年之后也相继停止试验。

溴化锂水溶液吸收式太阳能制冷系统,要求集热器供热温度 95°C 以上,通常采用太阳能聚焦式集热器或真空玻璃管式集热器。这方面研究工作还有待在九十年代突破其造价偏高的课题。

我国发展被动式太阳房和主动式太阳能空调制冷技术,必须加强科研试验力量,加强研制被动式太阳房的保温材料和技术措施、防辐射散热保温材料,研究被动式采暖的高效集热技术。这些方面能过关,我们在2000年推广应用被动式太阳房的前景是广阔的;研究提高空调制冷的太阳能利用技术,首先应解决设备的造价问题和热利用系数的提高问题,在2000年时也只能是小规模的试用阶段。

回顾过去,展望2000年我国的太阳能采暖空调发展前景,太阳能被动式采暖方式现在已初步获得广大科技界认识,初步得到了扩大试验。采用被动式太阳能采暖方式,建筑技术不复杂、造价较低、使用过程既无污染又无须管理,这种采暖方式一旦被广大群众了解和接受,广大农村和中小城镇将会得到迅速推广。因此,有一些专家预测1990年被动式太阳房,在全国可能发展到1000万平方米,这个数字是完全可以实现的。因为我国中部采暖过渡地区(长江两岸),几十年来没有找到合理、经济而且节能的采暖方式,太阳能被动式采暖方式同时在夏季又是降温系统,完全有条件推广到采暖过渡地区应用。因此,有理由预见到2000年时被动式太阳房(包括有辅助能源系统),在我国能发展到6000万平方米以上。

到2000年时,城市建筑中将发展一批主动式与被动式混合式太阳房(包括热水供应系统),它相应要求集热器、自控系统等设施,性能比较完善。

到2000年时城乡建筑中重视开发利用太阳能采暖、热水供应系统,为解决城市污染、建筑节能开辟了一条新的途径;为我国中部采暖过渡地区的亿万人民,既解决了采暖降温问题,又提高了生活水平。广大农村如果开发利用被动式采暖方式,采暖地区每一户农民每年可节约相当于一吨标准煤的秸秆和柴草。这样做既可以保护生态平衡,又节省了砍柴挖草的劳力,同时节约下的秸秆可以回田施肥。这方面经济效益和社会效益是相当大的。仅就农村形势来看,如果全国八亿农民(1.2亿农户)到2000年时,有四十分之一农户采用被动式太阳能采暖的话,至少每年可节约相当于100~150万吨标准煤的秸秆柴草燃料。

在太阳能空调制冷方面,到2000年时,我国对于溴化锂吸收式制冷将在公共建筑中建设少量的空调试点工程,这是有条件的,集热器和吸收式制冷机,在八十年代是可以有长足进展的。

郭晓光

2000年中国风能的开发利用

一、世界上风能利用的水平和现状

历史上风能利用的盛衰同能源供应状况紧相依存。欧州工业初兴时期, 风力机在工农业动力中占相当大的比例。十九世纪初, 丹麦用于工业方面的风力机达4万马力, 占丹麦当时工业总动力的25%, 用于提水、加工等农业方面的风力机是工业的二倍。第一、二次世界大战后, 工农业生产复苏, 能源短缺, 欧美各国风能利用有较大发展, 曾出现百千瓦级和千千瓦级大型风力机。但由于技术不成熟, 使用寿命都不长。后来机、电力在工农业中广泛应用, 以及五十年代中东油田的大量开发, 使风能的发展基本上停顿下来, 但五千瓦以下小型风力机一直有一定的市场。七十年代初期“能源危机”以来, 能源价格上涨和工业污染问题, 使寻求洁净的可再生能源成为一些国家的战略措施, 风能的利用再次受到重视。近几年风能利用装置在移植现代航空技术的基础上, 已达到了一个新水平。

(一) 技术水平

欧美国家移植现代航空技术, 在提高风能利用率、同步并网、高强度材料方面, 达到了新水平。

1、引用气体力学理论和现代实验技术, 风能利用系数已达到相当高的水平, 螺旋桨式42%, 旋翼式45%。由于气体的可压缩性, 风能利用系数的极限值为59.3%, 上述数值已具有一定的先进性。

2、研制和运行过程中应用电算技术

欧美国家风力发电做为总能源开发的一部分, 并入大电网, 用微型计算机调速调向, 在一稳定转速下运转, 保持稳压恒频与大电网并网运行。美国4千瓦小型风机也装有微电脑。

为解决大型风机设计中的综合问题, 美国花了10年时间研制出几种电算程序, 解决了设计中的难点。

3、耐久可靠

高强度螺旋桨叶片和材料, 提高系统抗风暴能力, 耐多次冲击疲劳, 使用寿命已达15~20年。

(二) 成本

风力提水机成本已能同小型柴油提水机相竞争。直接驱动的风力提水运转成本为

3~12美分/米³，柴油为5~10美分/米³，小型风力发电提水运转成本为17~50美分/度；大型机为25美分/度；美国公用电网的电价为4.7美分/度；柴油发电电价为30美分/度。

从系统分析，美国能源部认为风力机造价如降至500~600美元/千瓦，即可与常规能源竞争。目前中小型风力发电机组造价2000~5000美元/千瓦；千千瓦级的为1700~4000美元/千瓦。提水和发电是两种基本利用形式，风帆船有新的发展。风能直接转换为热能是新的能量利用形式；日本利用风能热转换在北海道养殖鳗鱼。其他如海水淡化和直接驱动，发展的趋势是发电、提水为主的多种利用形式。

(三) 发展群体结构——风力田

近年来，风能开发利用有一个新趋向——风力田。在“风口”地带，以多台风机取代大型单机，用群体结构“以多胜少”。这样以阵列结构出现的大面积能量接受面，可弥补因空气密度低（仅为水的1/840），而难以与小水电相比拟的风力发电站。

英国在北海沿岸建立了20个“风力田”，共有50千瓦风力机512台，进一步还将增加2200台风机。另外，还要建立40个风力田，共4700台风机。建成后，年发电能力为235000千瓦，相当于一个中型电站。在意大利的亚尔塔·努拉新建了共有10台的50千瓦/台的风力田。

美国在加利福尼亚建了三个有20千瓦、40千瓦、50千瓦不等的400台左右的风力田。

二、国内风能利用的水平和现状

我国风能资源量大面广，据估算可开发利用的储量为1.6亿千瓦。按可用风速3~20米/秒每年出现的时数计，沿海5000~6000小时；“三北”地区高于4000小时。这些地区风力机每天可运行12小时，每平方米每年接受风能能量为1500~6000千瓦·小时。

近几年来，国内各部门在机型研制和推广使用方面都取得了一定进展。50瓦、100瓦、2000瓦已投入批量生产，1983年共生产3000台，1984年产量将达5000台。主要用于边远农牧区的发电照明和视听设备，多数是自购自用，深受用户欢迎。一台100瓦风力机可供三户牧民照明和看电视、收听，每年使用成本80~160元，只有点蜡烛的1/4，或点煤油灯的1/2。

沿海用于提水和海岛发电的较大型风力机，自六十年代中期以来和近三年的研制共生产千余台，主要用于制盐、滩涂围垦、水产养殖、农田灌溉及网外发电。苏北地区有长期使用风力提水的经验，每提一万方水的费用，风力9.1元，电力21元。每亩水费，柴油机为6元，电力为4.7元，风力0.8元，一台风轮直径为6米的风力提水机一年可省柴油174.6公斤。

我国目前已有小至50瓦的风力机产品和大至40千瓦的样机。按“因地制宜，讲求实效”，10千瓦以下，小型为主的开发方针，我国“六五”期间将把已成熟的风力机机型迅速转换为生产力；“七五”期间风力机将具备产业基础，形成生产力。至本世纪末重点开发沿海和内蒙北部、青海海西地区、河西走廊一级风区。

中央号召开发大西北，种树种草，恢复和保持生态平衡，首先要解决能源问题，利用当地风能资源优势，发展风力提水灌溉草原，风力发电解决部份生活、生产用能，缓解并制止对林木草地的过量采伐，是一项有战略意义的措施。

①国内风力机风能利用系数达到0.37，相当于国外六十年代中期水平；②使用寿命我国目前为10年，国外已达20年；③百瓦级小型风力发电机成本4000~5000元/千瓦，一千瓦以上小型风机2500~3500元/千瓦；每度电电费百瓦级0.5~0.6元/度，一千瓦以上小型风机0.4元/度；风力提水每立方米0.01元。

三、问题和差距

我国风能利用的发展遵循国外同样的规律，一级能量转换的风力提水、帆船、风磨历史悠久，沿海传统风车曾保有几十万台，至今仍有使用。近二十年来我国风能的开发利用也有起落，只是近几年发现电网不能正常供电，有机器不能供油，而边远农牧区依然无电缺油，随着我国对能源问题认识的逐步深化，在全国科研领导部门的倡导和赞助下，风能利用的发展有了新的转机。近两年来，投入的力量和达到的水平都超过了六十年代：①研制样机的最大功率达到55千瓦，最小机型50瓦；②对我国风能资源有了进一步的了解，四个风能区的划分，对我国制定风能发展方针和开发重点，提供了依据。有开发价值的风能区，目前都有研制试验，特别是内蒙北部和沿海一级风区；③小型机风能利用率达到0.37；④结构形式有了新发展，立轴Φ型进入了研究领域并投入试验；⑤成本：小型发电机4000~5000元/千瓦，风力提水每立方米0.01元；运转成本0.4~0.5元/度。仍比柴油发电成本高。我国目前风能的开发利用存在三多三少问题。

1、研制的品种多，实际生产使用的少。自六十年代初以来，我国已研制了42种风力机型，21种尺寸。但绝大多数风力机仍停留在“样品”阶段，生产台数仅1~3台的34种，实际上81%以上的试制品未能投产。

自六十年代起，我国风力机生产批量较大的只有6米风轮直径的FWG—6型高速风力提水机；前后共生产700台，目前尚有零星生产。50瓦、100瓦小型风机年产2000~3000台，现阶段总保有量约5000余台。千瓦级和十千瓦级有几种仍处于试运转和中试阶段。

2、研制单位多，生产厂少

从事风机试制的研究所、工厂、大学、军工共80个单位，而生产厂只有二、三个厂家。有工艺装备、产品型号固定的定向厂子，尚在形成中，数量和质量都有待提高，成本要降下来，研试单位力量也较分散，有的作为临时任务。总的情况是做为生产力正在起步，做为社会产业尚待形成。

3、主机多、配套机具少

各研试单位以至工厂，注意力都集中在风力机上，而风力机的研试又都集中在叶片上，结果整体系统，特别是终端输出很少有人过问，与风力机运转特性相匹配的发电机无专用机型；与发电质量有关的变速稳压恒频部份尚无产品；与风力机叶片螺旋桨特性相匹配的水泵有待破题。在风力机整体抗振强度、飓风应变能力、塔影效应、储能等方面都遇到了问题。

存在的差距

1、**风能利用的发展速度慢。**近十年来,国外风力机规格、品种、数量都发展很快,西欧一些国家及美国大多数都是在近3~5年内高速度地发展起来的。如美国自1974年开始实行联邦风能计划以来,采取了一系列措施,使制造厂家从原来仅有的两、三家在不到十年的时间里发展到150家。美国风能公司生产风力机的数量,1983年比1981年增长40倍,1984年预计比1981年增长58倍。我国对小型风力机的研制是从五十年代末开始的,起步并不算晚,但进展不快,除两种风轮直径为6米的风力机已小批量生产使用18年和50瓦、100瓦级以外,千瓦级十余年来仍拿不出一台成功的产品机组。

2、**风力资源调查不细,使站地难以选择。**国外在这方面做了很多工作,如丹麦利斯弗埃国立实验室与丹麦气象研究所已编制了《丹麦风情图册》,将全丹麦划分为四级风区,还介绍了计算方法。美国西北太平洋实验中心,已按12个地区编制了风力资源基本估价书,书内用地图及其它图表形式直观地显示了美国风力资源的地理分布情况,用来协助选址。而我国至今还未有这方面的资料。

我国风能资源一级风区200瓦/米²,北欧、北美400~500瓦/米²,比较起来属中品级。因此,我国应注意开发利用3、4、5米/秒低速风区,我国目前风机起动风速百瓦级为3米/秒,千瓦级为4米/秒,设计风速8米/秒以上,仍偏高。英国一种6米直径提水风机起动风速1.5~2米/秒,设计风速5.3米/秒,一年可运行6000小时以上,值得借鉴。

3、**对风力机的理论研究和系统分析还不够深透。**美、苏、西北欧国家在风力机研究、设计方面,技术已较成熟,并有专著出版。用理论指导设计、生产,提高了安装试车的成功率。国外已广泛使用电子计算机对风力机作系统分析,通过多种方案比较进行优化设计。这是一种有效的设计方法,可大大缩短设计周期。但我国这方面工作还刚刚起步,用计算机作系统分析尚未采用。

4、**机组安全可靠性能差,安装试车成功率低。**美国、西北欧、苏联等国10~100千瓦级机组,已有不少达到实用阶段,并有商品销售到别国。虽然也有过象丹麦1981年两场风暴袭击后约有20台风力机全部损坏;美国蒙大拿州Livingston的四台Carter25千瓦风力机组被巨风(40~90公里/时)吹毁等事件,但总的来说,多数机组的安全可靠性是好的,安装试车成功率也较高。我国现有的八台10千瓦级风力机,包括已通过技术鉴定的机组,故障或事故总是不断出现,绝大多数还难以较长时间正常运行,有的已毁弃。

5、**机组结构重量大,经济性较差。**美国10千瓦以上机组运行方式多为并网,它们采用定桨距、自调向、叶尖阻力板、异步电机或低速电机等,使变距机构、对风机构、调节装置、传动系统大大简化或省略,结构紧凑,从而缩小体积,减轻重量,降低机组成本和电价。这方面近年已有很大进展。如美国能源技术公司的20千瓦机组净重1159公斤,美国Storm Master10型18千瓦风力机上部重量为430公斤。我国中型机组都是科研样机,由于运行方式不很明确,计算把握不大,缺少台架试验条件,机组又不大可靠,考虑到试验人员必须在舱内作适当操作调整等,因而高容量机组,比国外机组结构复杂,体积、重量要大的多。如英国6米风轮直径风机塔架重1.3吨,我国同级产品重3.1吨,18千瓦机组包括塔架重约9吨,40千瓦机组包括塔架重达17.5吨左右。故造价降不下来,

差距十分悬殊。

6、**工艺和制造质量较差。**美国和西欧由于工艺水平普遍较高，又重视提高产品质量，因此机组的外观质量和零、部件加工工艺水平都相当高，配套件、密封件质量完好。苏联风力机生产厂工艺较落后，质量亦较差。苏联农业部和苏联农业技术委员会已决定将风力机交给专业工厂组织生产。我国已投运的中型机组也是由一些工艺水平较差的小厂试制的，外观与内在质量更粗糙。这对机组性能有直接影响。

7、**对柴油发电机联运及机群联网技术还未正式开展研究试验。**荷兰、苏联在联运技术方面已开展研究，并趋实用阶段。美国、英国在机群联网技术方面已获得成功。我国对这两方面应用技术的研究尚未开始，差距很大。

8、**广开风能利用途径不够。**美国除将风能用于发电、灌溉之外，还研究了风力热泵、风力机械摩擦热，以解决农村29%的取暖能源和提供热水问题。美国农业部认为风能用于制冷可用来冷藏苹果、奶制品，若和其它能源结合可用于粮食干燥。还可用于化肥生产、制造氮燃料等等。日本将风力发电用于供通讯系统用电、海上航标用电等。我国过去由于缺乏实用的机组，对千瓦级机组的应用途径具体开展研究不够。

四、2000年目标和水平

(一) 攻关目标

(1) 风能利用装置在实用性、自控调节性能及寿命等方面，已可与常规能源用能设备相比，达到柴油机、电动机的使用寿命25年；(2) 风力成本进一步降低。重点区提水比柴油机低50~70%；比电力提水低10~20%，发电不高于常规用电电费的2倍；(3) 无网地区，如海岛、边远农牧区风力发电已形成能力，条件优越地区风力发电投入工业性并网发电。6~9年收回投资；(4) 风力装置商用化，每平方米迎风面造价150~250元，机组总效率达23~25%；(5) 主导机型风能利用系数，螺旋桨式风力机产品八十年代末达30~40%，相当于国外七十年代水平，九十年代末达到42%，相当于国外目前的水平；(6) 两大系列已形成，主导机型和变型品种齐全，提水主导机型约十种，发电约15~18种；(7) 无网地区十千瓦级风力机具备多方面优势或发展小型“风力田”与柴油机联运，解决采暖、致冷、照明等用电；(8) 多种用途：提水、发电、直接热利用，航运将因地制宜，多种形式、多种用途的开发利用。

(二) 经济效益

据现在积累的资料，沿海每台风力提水机稻田一季度提水省柴油174.6公斤，人民币70元。沿海各省九十年代末，发展30万标准台（包括改进型传统风车），20万台用做稻田提水，包灌2400万亩水田，据现有资料，一季稻下来，就可节省35万吨柴油或14亿度电，比机电提水节省3500万元人民币。十万台用作盐场提水，按已有资料可保18000平方公里盐场，年提海水107亿立方米，制盐3466万吨，年省电5.35亿度，省钱3360万元。内陆无网地区发电、提水用风力机，如发展10万台混合式风力机其中50瓦、