

风力发电的现状与展望

吴冀高

(国家电力公司成都勘测设计研究院科研所, 四川 成都 610072)

摘要:概述全世界及我国风力发电的发展历程和现状以及今后的发展前景. 预计 21 世纪将是新能源发展的世纪, 风力发电将是新能源中的重要组成部分, 它必将获得更加迅猛的发展.

关键词:风力发电; 风力发电机组; 风电场; 年平均风速

中图分类号: TM614

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2000)03-0025-04

风力发电和水力发电一样, 是一种洁净而无污染的能源, 也是一种可以持续发展的可再生能源. 一般说来, 只要在年平均风速为 3 m/s 以上的地方, 即可籍用风力来发电.

它既可以单台安装小型风电机组发出少量电力以满足边远地区单家独户用电的需要, 也可以多台机组集体安装形成风电场, 甚而可将发出电力并入电网供地区用电的需要. 因此, 它又是一种灵活性较高的能源.

1 世界风电发展的历程和现状

1.1 世界风电发展的历程

早在 1890 年, 丹麦就研制成了风力发电机, 利用风力来发电. 1891 年就建立了世界上最早的风电场. 但是这一新生事物并未在全世界受到人们的关注, 直到 1984 年, 差不多经历了长达 90 多年时间, 全世界风电装机的容量也不过 27.4 万 kW.

到了本世纪 80 年代后期, 由于人们的环境保护意识不断增强, 逐步认识到以燃煤为主的能源结构所造成的环境污染, 是危害人类社会生活的严重公害, 在寻求洁净而无污染的能源中, 风电才逐渐引起人们对它的重视, 开始有了较快的发展. 90 年代以来, 在欧洲和美洲, 风电有了迅猛的增长, 近 10 年来世界风电装机的情况见表 1^[1].

从表 1 中可见, 在这 10 余年中, 除 1989 年呈现停滞状态外, 其它年份的年增长率都在 10% 以上, 其中 1995 年甚至高达 40%, 自 1986 年至 1997 年, 其年平均增长率高达 19.5%, 远远超过了同期世界水电、热电和核电的增长率.

从表 1 中还可看出, 自 1995 年以来, 每年新增

表 1 近 10 年来世界风电装机增长状况

年 份	世界风电装机容量 /万 kW	较上年增加容量 /万 kW	增长率/%
1986	100.5		
1987	137.2	36.7	36.5
1988	153.5	16.3	11.9
1989	152.3	-1.2	-0.01
1990	176.0	23.7	15.6
1991	210.2	34.2	19.4
1992	247.2	37.0	17.6
1993	299.7	52.5	21.2
1994	348.9	49.2	16.4
1995	490.0	141.1	40.4
1996	617.2	127.2	26.0
1997	718.3	101.1	16.4

风电装机都突破了 100 万 kW, 这是一个可喜的增长势头.

1998 年的情况又如何呢? 据美国能源与环境研究所 1999 年发表的报告指出, 1998 年全世界又新增了风电装机 210 万 kW, 首次突破了 200 万 kW 大关, 说明风电装机正在全世界范围内高速地增长着.

1.2 当前世界上的三大风电装机国

德国、美国和丹麦是当前世界上风电装机最多的三个国家, 其风电装机都在 100 万 kW 以上.

a. 德国是当前风电装机最多的国家, 也是发展风电最快的国家. 在 1989 年, 其风电装机不过 10 万 kW, 直到 1994 年, 也只有 35 万 kW, 列美国和丹麦之后. 但近 3 年它发展很快, 1996 年就达到了 150 万 kW, 超过了丹麦, 1997 年又迅猛地增加到 193 万 kW, 又超过了美国, 一跃而居世界的首位. 1998 年是德国新增风电最多的一年, 全年新装风机超过 1000 台, 使全国风电装机增至 287 万 kW, 约占世界总量的 30%, 当年风电的年发电量达 45 亿 kW·h, 使风电在电力生

产中的比重达到1%。德国风电的高速发展,是和德国联邦政府采取的激励政策分不开的,德国电力法中规定了电力公司必须无条件地收购风力发电的电量,其上网电价也比常规电厂的上网电价高;鼓励私人安装风电机组,政府提供贷款;风电开发商可向政府申请投资补贴,一般可为总投资的1/3。

b. 美国自80年代以来,风电装机一直稳居世界的首位。90年代后,由于受环境保护的压力,对开发可再生能源十分重视,1992年联邦政府制定的能源法规,规定风电及其它可再生能源每发1kW·h电可减1.5美分生产税,以刺激风电及其它可再生能源的发展,从而使发电成本大为降低,风电电价每kW·h电仅5~7美分。1992年在加利福尼亚州旧金山东部海湾区的阿尔塔蒙特山口建设了一座装机73.7万kW的风电场,堪称世界上最大的风电场。1995年美国风电装机达到160万kW,1997年增至180万kW,由于增幅不大,被德国超过,乃退居世界的第二位。1998年虽增至189万kW,但和德国的差距却进一步的扩大了。

c. 丹麦是世界上利用风能发电最早的国家,但最初的规模不大,直到1985年,也不过6.3万kW。90年代后才大力开发,1994年达到51万kW,仅次于美国,居世界第二位。1996年虽增至86万kW,但仍被德国超过,乃退居世界第三位。1997~1998年,采取了类似于德国的激励政策,使全国风电站增至5300个,风电装机达140万kW,当年风电的年发电量约为总发电量的10%。

1.3 其它一些开发风电的国家

a. 在亚洲,目前印度是最大的风电国,为弥补常规电力的不足,大力开发风电,对进口的风电机组减免进口税,鼓励投资风电给予政府的低息贷款,至1998年,风电装机达96.8万kW,居世界的第四位。我国近年来也加大了开发风电的步伐,截至1998年,风电装机已达22.3万kW。日本已成立了专门从事无污染能源开发的绿色电源公司,已在北海道、青森、长崎和冲绳等地建设了风电站,总容量已有3.12万kW。

b. 在欧洲,除了前述的德国和丹麦外,还有不少国家都在开发风电,以西班牙发展最快,装机最多,其国家法律中就规定了在电力系统中可再生能源的比例不得少于10%,并给予风电投资者高达30%的投资补贴,1996年风电装机才25万kW,到1998年猛增至83万kW,居当今世界的第五位。另据文献[2],截至1998年,荷兰风电装机有36.4万kW,英国风电装机有33万kW,意大利有18万kW,瑞典有17.4万kW,分别居世界风电装机的第六、第

七、第九和第十位(我国名列第八位)。此外,希腊也准备在其南部克里特岛上修建两个风电站,装机1.02万kW,计划1999年建成。

c. 在美洲,除美国外,哥斯达黎加正在其北部瓜那卡斯特地区修建3座风电场,总装机1.5万kW,其中一座已投入运行。巴西也在积极开发风电,已在东北部地区建有风电场,还准备在东南部建设新的风电场。

d. 在非洲,摩洛哥正在其北部得土安省修建一个风电场,安装84台单机为600kW的风机,总容量为5.04万kW,已于1998年动工,计划1999年建成。

综上所述,90年代以来,风电在全世界有了很大的发展。

1.4 风电机组的制造

风电机组可分为大、中、小型,一般单机容量小于100kW的称为小型,其风轮直径小于20m。单机容量在100~1000kW之间的称为中型,其风轮直径在20~50m之间。单机容量大于1000kW的称为大型,其风轮直径都大于50m。

丹麦是世界上生产风机最早的国家,其风机制造业在世界上处于领先地位,它出口的风电机组约占全球风电机组销售量的60%以上。过去多生产中型风机,容量在300~600kW之间,现正在研制1000~1500kW的大型风电机组。

德国制造风机的容量也在不断地提高,90年代初期生产的风机平均容量为170kW,现在平均容量已达到785kW,容量为1500kW的大型风电机组已可批量生产。

美国制造风机的容量也随着技术的改进而提高,一般已达到750kW。

2 我国风电的发展

2.1 发展的历程

我国开始对风能的利用时间较早,1954年就试制成容量为16.6kW的小型风电机组。70年代初又试制成22kW的风电机组,大多是单台安装在内蒙古少数民族地区,以解决分散居住的牧民用电需要。直到1986年,才建成了第一个风电场。

进入90年代以后,风电逐步有了发展,到1994年,建成了5个装机在1000kW以上的风电场(表2)。

1996年国家经贸委实施“双加工程”,即选择一批技术改造项目,集中有限资金,加大投资力度,加快改造步伐,促使创效益上水平。经过优选,有4个风电场建设列入了“双加工程”,从而使1997年我国风电装机有了突破性进展。截至1998年底,我国有小型户用型风机15万台,并网型风电场19个,总装机22.3万

kW. 近几年我国风电装机增长状况见表 3.

表 2 我国单站装机大于 1000 kW 的风电场(1994 年)

风电场名称	单机容量/kW	数量/台	总装机容量/kW
新疆达坂城	100~450	26	6250
内蒙古朱日和	100~300	30	6600
广东南澳	90~200	27	4680
福建平潭	55~200	6	1055
大连瓦房店	250	4	1000

表 3 我国近几年风电装机增长状况

年份	风电装机容量/万 kW	较上年增加容量/万 kW	增长率/%
1993	1.7		
1994	2.6	0.9	52.9
1995	3.6	1.0	38.5
1996	5.65	2.05	56.9
1997	16.67	11.02	195.0
1998	22.3	5.63	33.8

近几年我国风电装机增长较快的主要原因,一是国家电力公司提出了以建设风电场来推动风电产业化发展思路,把风电列入了国家计划;二是制定了有关政策,如规定电网管理部门应允许风电场就近上网,并收购全部上网电量,风电场上网电价按发电成本加还本付息及合理利润的原则确定;三是扩大了利用外资发展风电的规模,目前已有丹麦、德国、美国、荷兰和西班牙等国的贷款参与风电建设;四是国内资金的投入也有了历史性的突破,如国家经贸委的技术改造基金,国家计委的“乘风计划”等;五是我国已先后成立了约 20 个专门从事风电建设的公司。

1999 年我国又与世界银行和全球环境基金会合作,计划新建或扩建 4 个风电场,总装机约 19 万 kW,这将使我国风电建设的步伐大大加快。

2.2 我国风电场开发现状

a. 新疆达坂城风电场. 它位于乌鲁木齐市南郊,其风速一般达 3~28 m/s,最高可达 38 m/s,风能带面积 1 600 km²,是一个风力资源丰富的风电场. 1994 年就安装有 26 台风机,总容量达 0.625 万 kW,此后数年不断增装风机,特别是 1997 年,由于列入了“双加工程”,就新增了 78 台单机为 600 kW 的机组,使总装机达 110 余台,总容量达 5.75 万 kW,同年 12 月,新疆电力公司又利用荷兰政府贷款,购买了荷兰制造的 500 kW 风机 51 台和 600 kW 风机 10 台,建成后可使该场风机总容量增至 8.9 万 kW,是我国目前最大的风电场,已并入乌鲁木齐电网. 新疆电力公司把风电作为电力工业持续发展的重要组成部分,提出了“统筹规划,分步实施,利用外资,引进吸收,多家建场,规范管理,规模经营,滚动发展”的思路,每年发展 3~5 万 kW,规划到 2005 年发展到

35 万 kW,2020 年时发展到 100 万 kW.

b. 内蒙古风电场. 内蒙古是我国最早开发利用风能发电的省区,1978 年就建立了内蒙古锡林郭勒盟风电研究所,推广小型风电开发工作. 据统计,内蒙古现有小型风机 10 万多台,总容量约 1.3 万 kW,约占全国小型风机总容量的 70%.

内蒙古现有朱日和、商都、锡林浩特和辉腾锡勒四大风电场,以朱日和与商都开发最早. 1994 年朱日和风电场就有风机 30 台,总容量 0.66 万 kW,商都风电场也有风机 5 台,总容量 275 kW. 近几年位于内蒙古乌兰察布盟的辉腾锡勒风电场发展较快,由于它被列入了“双加工程”,1997 年就新增了 33 台 600 kW 的风机,从而使该场风机总容量增至 2.52 万 kW,1998 年又增加了 550 kW 的风机 10 台,使该场总容量超过了 3 万 kW,成为内蒙古最大的风电场. 1999 年还利用世界银行贷款,扩大其规模.

c. 广东南澳风电场. 它位于广东沿海南澳岛上,据勘测其年平均风速为 8.54 m/s,年有效风速达 7 000 h,因而风力资源丰富,利用率很高. 1994 年前就安装了单机容量为 90~200 kW 的风机 27 台,总容量达 4 680 kW,1995~1996 年又进行了扩建,总容量增至 1.6 万 kW,是当时我国最大的海岛风电场. 1997 年汕头市南方风能有限公司又与荷兰一国际能源集团合作,共同建设南澳第七期风电工程,引进丹麦生产的单机为 600 kW 的风机 40 台,已于 1998 年 6 月投产,至此该场已有风机 110 台,总容量达 4 万 kW,成为当前我国第二大风电场.

d. 浙江风电场^[3]. 据勘测浙江省可供开发的风能在 60 万 kW 以上,1995 年组建了浙江省风力发电有限责任公司,负责全省风电建设与运行管理. 现有 5 个风电场:泗礁、大陈岛、北麂岛、鹤顶山和括苍山,总装机约 3.08 万 kW,其中鹤顶山和括苍山两个风电场规模较大.

括苍山风电场位于台州境内临海与仙居交界处的括苍山顶上,它是“双加工程”之一,引进了丹麦制造的单机为 600 kW 的风机 33 台,总容量为 1.98 万 kW,年发电量约 5 200 万 kW·h,已于 1998 年 6 月建成投产. 1999~2000 年间,还准备利用丹麦贷款进行二期扩建,增加安装 7 台 600 kW 机组.

鹤顶山风电场位于温州市苍南县东南的鹤顶山上,其多年平均风速达 5.9 m/s. 一期工程安装了 2 台 500 kW 机组,于 1996 年建成. 二期工程是利用德国贷款,购买了 15 台单机为 600 kW 的风机,已于 1998 年 12 月投产. 现还准备利用德国贷款进行三期扩建,增加安装 9 台 600 kW 风机,计划 2000 年建成.

此外,位于温州平阳县东南的南麂岛,其年平均

风速达 7.8 m/s , 近期也准备安装风电机组, 供岛上居民使用。

e. 河北张北风电场. 它位于张北县境内, 也是“双加工程”之一, 1997 年已安装了 15 台单机为 300 kW 的风机, 总容量为 0.45 万 kW . 1999 年还将利用世界银行贷款进行扩建, 计划增加容量 5 万 kW .

f. 辽宁风电场. 辽宁省现有 2 个风电场, 都在大连. 一个是横山风电场, 位于大连长兴岛上, 1993 年安装了 4 台单机为 250 kW 的风机, 1996 年又安装了 16 台相同容量的风机, 使该场总容量达 0.5 万 kW . 另一个是东岗风电场, 位于大连瓦房店市, 1994 年安装了 5 台单机为 350 kW 的风机, 1996 年进行扩建, 又安装了 9 台单机为 550 kW 的风机, 使该场总容量达 0.67 万 kW .

g. 甘肃风电场. 甘肃省是我国开发风电最早的小区之一, 1985 年就开始了试点工作, 但规模不大, 且较分散, 多为小型风机, 分布在河西走廊地带, 到 1993 年, 总容量也不过 450 kW . 1997 年才开发玉门风电场, 其风速可达 8 m/s , 安装了 4 台单机为 300 kW 的风机, 于 1997 年 6 月建成. 1998 年又扩建增装了 12 台单机为 600 kW 的风机, 使该场总容量增至 0.84 万 kW .

h. 山东长岛风电场. 它位于渤海海峡的长岛县, 由 32 个岛屿组成, 有丰富的风力资源. 1998 年 4 月由山东长岛县电力总公司和山东鲁能投资公司合资成立了山东长岛风力发电有限公司, 开始进行长岛风电场建设, 利用德国政府贷款, 购买德国制造的风机 9 台, 共 5400 kW , 于 1999 年建成投产.

i. 福建风电场. 福建省现有两个风电场, 分别在东海和南海的海岛上. 一个是平潭风电场, 位于东海的海坛岛上, 在 1993 年就安装有 6 台单机为 $55\sim 200\text{ kW}$ 的风电机组, 总容量为 1055 kW , 是当时我国五个装机超 1000 kW 的风电场之一. 近年没有发展, 1999 年利用世界银行贷款进行扩建, 增加风机容量 2 万 kW . 另一个是东山岛澳仔山风电场, 位于南海的东山岛上, 距广东南澳风电场很近, 同处于台湾海峡喇叭口西南端. 据气象台实测年平均风速为 6.7 m/s , 年有效风速时间在 7200 h 以上, 风力资源丰富. 1997 年福建省电力公司和东山县电力公司合资组建了东山澳仔山风电开发公司, 进行风电建设, 一期工程计划安装 8 台单机为 600 kW 的风机, 总容量为 0.48 万 kW .

j. 吉林通榆风电场. 它位于通榆县境内, 一期工程是利用西班牙贷款, 引进西班牙风机 11 台, 单机容量为 660 kW , 是我国目前引进的最大容量机组, 总容量为 0.726 万 kW , 已于 1998 年 8 月开工建设,

计划 1999 年投产. 此后还将进行二期工程建设, 总容量将达 3 万 kW .

k. 上海风电场. 目前上海有 2 个风电场. 一个是南汇风电场, 位于南汇县滨海乡, 计划安装 10 台单机为 600 kW 风机. 另一个是崇明风电场, 位于长江口崇明岛上, 1999 年利用世界银行贷款和全球环境基金开发风电, 供岛上使用, 总容量为 2 万 kW .

2.3 我国的风电机组制造状况

50 年代以来, 我国开始试制风电机组, 但容量较小, 属小型机组. 80 年代后开始建设风电场, 风电机组多从国外引进, 以丹麦和德国机组为主.

进入 90 年代以后, 在消化吸收国外引进技术的基础上, 逐步开始了风电机组国产化的步伐, 建设风电机组的技术队伍正在形成. 以兰州电机集团有限责任公司为例, 1992 年就制造出单机容量为 31.5 kW 的风电机组, 安装在新疆达坂城风电场. 1998 年 4 月又制造了 2 台单机容量为 300 kW 的风机在广东南澳风电场投入运行, 同年 12 月又生产了 4 台单机容量为 600 kW 的风机在新疆达坂城风电场投入运行. 我国风电机组的制造 1998 年实现了从小型到中型的突破.

与此同时, 我国又加快了中外合资生产风机的步伐, 1998 年 4 月, 中国西安航空发动机公司和中国燃机动力公司与德国诺德克斯-巴克杜尔公司签订了协议, 共同组建中德合资的西安维德风电设备有限公司, 主要生产单机容量为 $250\sim 600\text{ kW}$ 的风电机组. 同年 10 月, 中国一拖集团有限公司又和西班牙国家电力公司下属的一个 MADE 再生能源公司签订协议, 成立中外合资的一拖-美德(洛阳)风电设备有限公司, 生产中型风电机组. 国家计委还确定一拖集团公司为 300 kW 和 600 kW 机组国内总装企业, 投产后可年产 300 kW 机组 40 台和 600 kW 机组 100 台, 投产 3 年后, 整机国产化率可达到 80% , 整机售价可较进口机组降低 30% .

3 对风电发展的展望

3.1 我国近期的风电发展目标

我国以燃煤为主的电源结构所造成的环境污染, 已成为党和政府极其关注的重大问题, 有人根据我国资源、国情和环境状况, 提出了 21 世纪我国能源资源的利用将走向太阳能和风能时代, 也就是说要把开发利用可再生能源作为我国推行可持续发展战略的重要组成部分. 我国风力资源极其丰富, 据勘测我国可供开发的风力资源有 25300 万 kW , 主要分布在三北(即西北、华北和东北地区)和东部沿海地区, 这是一笔很可观的自然财富, 完全可以开发利用.

(下转第 62 页)

以数字的形式显示因而可以排除读数的估读误差;
③前者测角测距分开进行要两次架设仪器,而后者仅需一次。

GPS 停行动态方法的精度比静态定位方法的精度约低 11 mm,这是因为停行动态方法在每个测试点上接收卫星信号的时间有限,且移站安装天线可能也会有影响,然而虽然精度降低了,但换来了外业工作的快速便捷。

温度的变化对传统方法的精度有明显的影响,由表 1 可见,温度升高使测距三角水准和几何水准的精度分别下降了 55% 和 42%,而视距三角水准的精度仅下降 14%,这是由于视距三角水准本身误差较大,是其它方法的 2 倍以上。温度升高使观测精度降低,可能是因为高温和强阳光使大气不均匀所致。

这次试验得到一个非常重要的发现,即较之那些传统的方法,GPS 方法对环境大气温度变化不敏感,其在几种温度段下的观测结果稳定不变。

再将 GPS 方法与传统方法在外业观测所花费的时间及人工方面进行比较,本次试验中,GPS 停行动态方法是最快的,是最经济的一种方法。事实上,GPS 方法比起其它任何一种传统的方法都起码要快 20% 并能节省一半的人力。

本次试验是为了在一定的精度和人工情况下对几何水准、三角水准和 GPS 水准几种方法进行比较和评价。结果表明,GPS 方法在不同的温度段情况下观测的精度是一致的,而传统的高程测量方法均随温度升高而使观测精度有所降低,尤其是测距三角水准方法最为明显。因此,对于许多工程建设,若知道当地的大地水准面高度,用 GPS 方法代替传统的高程测量方法将会有很好的效益。当然,为了获得传统水准测量方法能达到的精度,在 GPS 观测时还需要采取相应的措施。

(周国树摘自 Surveying and Land Information Systems, 1999, 59(1): 47 ~ 51)

(上接第 28 页)

1999 年我国已开始实施可再生能源商业化开发项目,由国家经贸委主持,资金总额 2 500 万美元,用以开发包括风电在内的可再生能源,计划用 5 年时间,使我国的可再生能源走上商业化和可持续发展的道路。

关于我国风电发展的近期目标,国家电力公司提出要在 2000 年实现风电装机 100 万 kW,计划在新疆和内蒙古各发展到 20 万 kW,沿海的浙江、广东和河北的张北与东北三省各发展到 10 万 kW,福建、山东、上海和甘肃各发展到 5 万 kW。由于时间紧迫,要从 1998 年的 23 万 kW 增加到 100 万 kW,完成这个目标、任务还是很艰巨的。即使开发到 100 万 kW,也只占我国可供开发量的 0.4%,所以我国可供开发的潜力还是很大的,21 世纪大力开发风电的前景也是极其美好的。

3.2 其他一些国家对风电的展望

据笔者 1999 年来收集到的资料如下:

美国能源与环境研究所 1999 年发表的一份报告,预计到 2000 年,世界风电装机将达到 1 200 万 kW,21 世纪将是新能源发展的世纪。美国世界观察研究所副所长弗莱文在一份报告中指出,自 1990 年以来每年以 20% 速度增长的再生能源将成为 21 世纪上半叶的主要能源。美国能源部制定的新能源开发计划要求到 2005 年,风电装机翻一番,2010 年再翻一番,达到 1 000 万 kW。

西班牙现正在修建世界上最大的风能园,位于

曼切加省阿尔瓦塞特地区,分两期建设,第一期从 1999 年开始,到 2001 年,安装风机 40.5 万 kW,第二期是 2002 ~ 2005 年,再增加 40 万 kW。

日本现正在北海道海边滩涂上修建一风电站,安装风机 30 台,单机容量 1 000 kW,预计 2000 年完工,并认为 21 世纪能源的增长主要考虑清洁的可再生能源,预计 2010 年日本风电总装机将达到 50 万 kW。

欧洲已有 5 个国家宣称,将在 2002 年前使其风电的年电量达到各自国内总电量的 10%。

欧洲风能协会和丹麦能源与发展论坛的一份研究报告指出,在今后 20 年内,世界风电的装机将达到世界电力总装机的 10%。

1998 年公布的欧盟能源战略白皮书宣布,到 2050 年,可再生能源在欧盟成员国能源供应结构中将达到 50%。

综上所述,不难得出如下结论,21 世纪将是可再生能源发展的世纪。风力发电是可再生能源的重要组成部分,它必然会在现有的基础上得到更加蓬勃的发展。

参考文献:

- [1] 前田佳太夫. 顺风满帆の风力发电[J]. ターボ机械, 1998 (7): 48 ~ 51.
- [2] 王达邦. 世界各国对风力发电的激励政策[J]. 华东水电技术, 1999(2): 12 ~ 15.
- [3] 张承来, 赵生校. 浙江省风能资源开发现状及发展规划[J]. 华东水电技术, 1999(2): 7 ~ 11.

(收稿日期: 1999-07-19 编辑: 熊水斌)