

垂直轴风力机技术讲座(三) 升力型垂直轴风力机

李 岩

(东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

中图分类号: TK83 文献标志码: B 文章编号: 1671-5292(2009)03-0120-03

1 升力型垂直轴风力机概述

近 30 年来,螺旋桨式水平轴风力机发展迅速,已成为大型商业风力发电的主流。与此同时,以达里厄风力机为代表的升力型垂直轴风力机也受到一些风电发达国家的关注。虽然垂直轴风力机没有像水平轴风力机那样快速发展,但也取得了一定的进展。近年来,越来越多的风电厂商将达里厄风力机和直线翼垂直轴风力机应用到离网型中小容量风电领域,研制出了多种既有较高效率又有独特外形的新型升力型垂直轴风力机,获得了一定的市场份额。本讲以典型的达里厄风力机和直线翼垂直轴风力机为例,介绍升力型垂直轴风力机的基本特征和结构特点。下一讲将介绍它们的空气动力特性及分析理论。

2 典型的升力型垂直轴风力机

2.1 达里厄风力机

典型的达里厄风力机的基本组成:风轮(包括叶片、中央支柱及连接部件等)、制动装置、发电装置、控制系统和支架、拉索和基础等辅助装置(图 1)。各组成部分的成本占整个风力机成本的比例如表 1 所示。目前,大多数的达里厄风力机的容量为几百千瓦级,单位容量成本已经降到

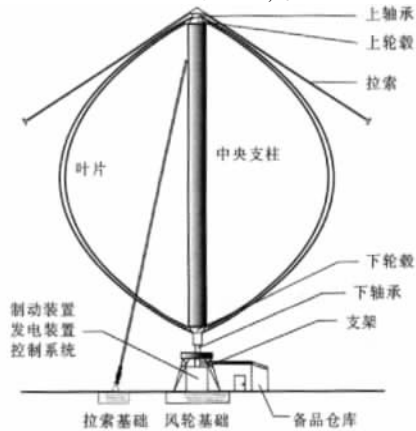


图 1 达里厄风力机示意图

表 1 达里厄风力机各组成部分成本比例

风力机组成部分	成本比例/%
叶片	15
叶片支撑部件(中央支柱、轴承、拉索、连接件等)	25
发电装置	20
控制系统	20
基础及辅助装置	20

低于 1 000 美元/kW。这主要得益于叶片气动性能的改善和加工技术的提高,使叶片的成本大为降低。

达里厄风力机的叶片一般为 2~3 枚,叶片断面采用空气动力特性良好的翼型,多为 NACA 系列和 SAND 系列等。经过多年的研究和实践,叶片的形状大致采用以下几种曲线:Troposkien 曲线、抛物线、悬链曲线和圣地亚型曲线等。其中,Troposkien 曲线又分为忽略重力的理想 Troposkien 曲线($G=0$)和考虑重力的修正 Troposkien 曲线($G \neq 0$)。对于容量相对较小的达里厄风力机,与叶片产生的离心力相比其叶片的重力可以忽略,对于 100 kW 以上的大型机来说,叶片重力的影响在设计计算时不能忽略。圣地亚型曲线因其由美国圣地亚国立实验室提出而得名(图 2),它是从理想的 Troposkien 曲线简化而来,由圆弧部分(AB)和直线部分(BC)组成,整个叶片以中间的赤道面为对称。

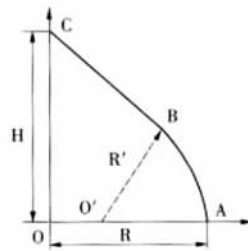


图 2 圣地亚型曲线形状

收稿日期: 2009-05-04。

作者简介: 李 岩(1972-),男,博士,副教授,国家自然科学基金项目主持人,主要从事风能研究和各种可再生能源的综合利用与开发。

E-mail: ly_neau@yahoo.com.cn

风力机的输出功率与受风面积成正比,而叶片的成本也随其长度增加而提高,因此,在设计时应同时兼顾效率和成本,一般可以考虑使风轮的受风面积与叶片长度的比达到最大。对于理想 Troposkien 曲线,该最大值出现在风力机的径高比 $\beta=R/H=0.984$ 时。为了便于比较,以采用理想 Troposkien 曲线的 2 叶片达里厄风力机为基准,使采用其它曲线的达里厄风力机也具有相同的径高比 $\beta=0.984$ 。

通常,在表征风力机的性能时,一般采用长度系数 l 、面积系数 a 和实度 σ 表示。实度是指风力机叶片的投影面积与风轮面积的比,是垂直轴风力机设计的重要参数之一。

$$l=L/2H$$

$$a=S/(4RH)$$

$$\sigma=NCL/S$$

式中: R 为风轮半径; H 为风轮高度的一半; L 为叶片长度; S 为风力机面积; N 为叶片个数; C 为叶片翼型弦长。

具有不同叶片形状的达里厄风力机的主要几何参数如表 2 所示,其形状对比见图 3。需要指出的是,对于修正 Troposkien 曲线,由于考虑了重力,因此设计圆周速度不同会使叶片的几何参数也不同,此处仅列出了其中的一种情况。

表 2 不同叶片形状的 2 叶片达里厄风力机的几何参数

叶片形状	叶片长度系数 l	受风面积系数 a	实度 σ
Troposkien ($G=0$)	1.463	0.657	0.162
Troposkien ($G \neq 0$)	1.497	0.658	0.166
抛物线	1.467	0.667	0.160
悬链曲线	1.483	0.683	0.156
圣地亚型曲线	1.416	0.657	0.157

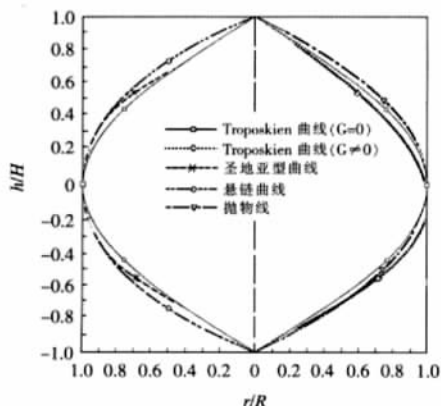


图 3 达里厄风力机的几种几何形状比较

从图表中可知,如果以理想 Troposkien 曲线为基准的话,悬链曲线的形状与之有很大不同,抛物线在一定范围内与之相近。而修正 Troposkien 曲线在一定的范围内也与理想曲线相似,但需要指出的是,虽然修正 Troposkien 曲线是考虑重力影响的,但随着风轮转速度的增加,离心力相对于重力逐渐增加,叶片的形状也会

逐渐接近理想 Troposkien 曲线。圣地亚型曲线的直线部分与理想 Troposkien 曲线十分接近,而弧线部分存在一定的差异。综上所述,单纯从形状来讲,在几种曲线中,抛物线与理想 Troposkien 曲线是较为接近的;如果从风力机叶片的设计、制造以及空气动力特性的角度考虑,圣地亚型曲线是较为理想的选择。对于大型机而言,除了形状的考虑之外,还要综合分析叶片的强度、刚度、结构力学特性和起动特性等因素,因此,新型叶片形状还在不断研究和开发之中。

还有需要指出的是,通过计算分析得知,达里厄风力机叶片所获转矩的 95% 是由在风轮赤道面附近的、只占叶片总长 60% 的叶片产生的。这说明,并不是每一段叶片都产生转矩,这一点与水平轴螺旋桨式风力机是不同的。这是因为处于端部的叶片部分的转矩作用半径小,而且这些部分基本工作在会产生失速的流入角范围内。中部叶片的转矩作用半径大,流入角小,空气动力特性好,所以对整机的工作效率起较大作用。

2.2 直线翼垂直轴风力机

直线翼垂直轴风力机可理解为将达里厄风力机的叶片由曲线变为直线,并将其沿着旋转圆周均匀分布。叶片太少会影响风力机的功率输出,叶片太多会使各叶片之间产生干涉,而影响叶片的气动特性,一般来说,直线翼垂直轴风力机的叶片个数为 2~6 枚。叶片翼型大多采用 NACA 系列的升阻比较高的对称翼型。与达里厄风力机相比,直线型叶片结构简单,加工容易,整机体积小,加工成本低,而且整个叶片都可产生转矩,利用效率较高;但其最大的缺点是叶片的弯曲应力较大,尤其在高速旋转时离心力会造成叶片的弯曲,甚至折断,因此要求叶片具有良好的刚度和抗变形能力。以往的直线翼垂直轴风力机多被用在中小型风力机上,或者安装在低风速地区等。近年来,随着研究的不断深入和风力机材料的快速发展,直线翼垂直轴风力机的应用范围越来越广泛,从原来的街区和公园发展到山区、寒冷地区,甚至可安装在船舶上作为离网型电源,其容量也从最初的几百瓦发展到几百千瓦。

图 4 为典型的小容量离网型直线翼垂直轴风力机的基本结构和组成示意图。

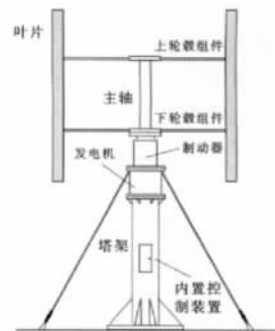


图 4 直线翼垂直轴风力机示意图

直线翼垂直轴风力机分为变桨距和定桨距两种。最初的直线翼垂直轴风力机多为变桨距,叶片桨距可随着转动角度变化而变化,这样可以改善风力机的起动性和气动特性,但使整机结构变得过于复杂。近年来,直线翼垂直轴风力机的发展主要集中在定桨距类型上。日本东海大学的関和市教授从1976年开始从事该种机型的研究,经过30多年的科研,使定桨距直线翼垂直轴风力机在理论和实践上都有了很大发展。图5所示的翼型就是日本东海大学开发的TWT翼型。近年来,

日本各地安装了许多该种类型的风力机,是目前世界上应用直线翼垂直轴风力机最多的国家之一。近几年,我国一些大学和研究机构开始研究该种风力机,有些风电公司也推出了此类产品,但总体来说,目前还处在发展阶段。



图5 日本东海大学开发的TWT翼型

图6为直线翼垂直轴风力机叶片的几种主要形式。

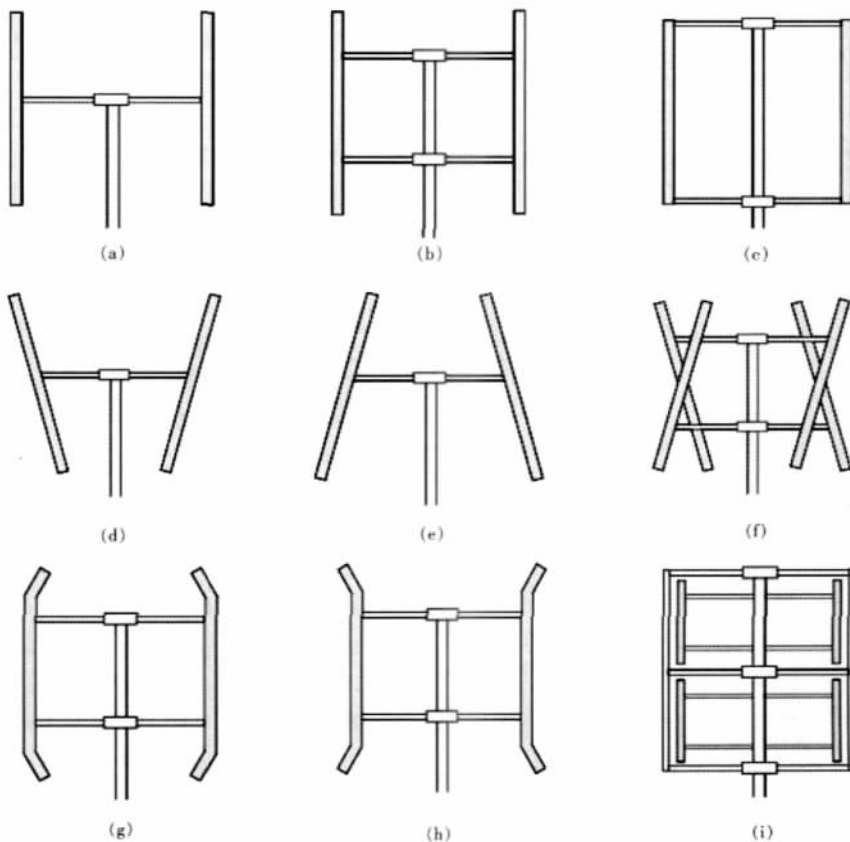


图6 直线翼垂直轴风力机的主要形式

图中(a),(b),(c)为基本型。根据其形状特点,(a)型一般称为“H型”风力机;(b)型是大多数直线翼垂直轴风力机所采用的形式,对于叶片较长、径高比较小的风力机,应提高叶片中部的强度和抗弯曲能力;(c)型为框架式结构,叶片与主轴的连接在叶片两端,该种方式只适用于小型机,还可在其上部安装太阳能发电装置,组成风光互补发电系统。

(d),(e),(f)为叶片倾斜型直线翼垂直轴风力机。叶片倾斜的主要目的是改善其起动性,使其更适合于低风速地区,但其功率特性和气动特性比基本型低,所以目前很少被采用。

(g),(h)为最近出现的2种类型。它在基本型叶片的两端加上了倾斜小翼,既改善起动性,又保证叶片的气动特性,目前这2种类型的风力机还处于实验研究和现场测试

阶段。

(i)为分段型风力机,适于大容量要求的风力机。由于大容量风力机往往叶片很长,不易加工,且成本高,因此将风力机分为几段,然后再串联起来。这样,既保证了功率输出要求,又简化了风力机叶片的加工,降低了成本。

除此之外,还有其他一些形式的直线翼垂直轴风力机,在此不作过多介绍。(连载待续)

