

# 响水风电场风力发电机组偏航系统

刘云坤

(中国水电七局有限公司机电安装分局,四川 彭山 620860)

**摘要** 介绍响水 FD77-1.5MW 风力发电机组偏航系统的结构、组成、工作原理及技术要求。该偏航系统的主要作用有 2 个:一是与风力发电机组的控制系统相互配合,使风力发电机组的风轮始终处于迎风状态,充分利用风能,提高风力发电机组的发电效率;二是提供必要的锁紧力矩,以保障风力发电机组的安全运行。

**关键词** 风力发电机组 偏航系统 对风 响水风电场

**中图分类号** TM614

**文献标识码** B

**文章编号** 1006-7647(2010)S2-0015-03

偏航系统是风力发电机组特有的组成系统之一。偏航系统的作用是:①自动对风(正常运行时偏航控制系统自动对风,即当机舱偏离风向一定角度时,控制系统发出向左或向右调向的指令,机舱开始对风,当达到允许的误差范围时,自动对风停止);②自动解缆;③风轮保护(当有特大强风发生时,停机并释放叶尖阻尼板,桨距调到最大,偏航 90°背风,以保护风轮免受损坏)。风力发电机组的偏航系统一般分为主动偏航系统和被动偏航系统。被动偏航指的是依靠风力通过相关机构完成机组风轮对风动作的偏航方式,常见的有尾舵、舵轮和下风向 3 种;主动偏航指的是采用电力或液压拖动来完成对风动作的偏航方式,常见的有齿轮驱动和滑动 2 种形式。对于并网型风力发电机组来说,通常都采用主动偏航的齿轮驱动形式。FD77 风力发电机组采用的是主动偏航的外齿轮驱动形式。

## 1 偏航系统的技术要求

a. 环境条件。在进行偏航系统设计时必须考虑的环境条件如下:①温度;②湿度;③阳光辐射;④雨、冰雹、雪和冰;⑤化学活性物质;⑥机械活动微粒;⑦盐雾;⑧近海环境需要考虑附加特殊条件。应根据典型值或可变条件的限制确定设计用的气候条件。选择设计值时应考虑几种气候条件同时出现的可能性。在与年轮周期相对应的正常限制范围内,气候条件的变化应不影响所设计的风力发电机组偏航系统的正常运行。

b. 电缆。为保证机组悬垂部分电缆不至于产生过度的扭绞而使电缆断裂失效,必须使电缆有足够的悬垂量,在设计上要采用冗余设计。电缆悬垂量的多少是根据电缆所允许的扭转角度确定的。

c. 阻尼。为避免风力发电机组在偏航过程中产生过大的振动而造成整机的共振,偏航系统在机组偏航时必须具有合适的阻尼力矩。阻尼力矩的大小要根据机舱和风轮质量总和的惯性力矩来确定。基本的确定原则是确保风力发电机组在偏航时动作平稳顺畅,不产生振动。只有在阻尼力矩的作用下机组的风轮才能够定位准确,充分利用风能进行发电。

d. 解缆和扭缆保护。解缆和扭缆保护是风力发电机组的偏航系统所必须具有的主要功能。偏航系统的偏航动作会导致机舱和塔架之间的连接电缆发生扭绞,所以在偏航系统中应设置与方向有关的计数装置或类似的程序对电缆的扭绞程度进行检测。扭缆保护装置是风力发电机组偏航系统必须具有的装置,这个装置的控制逻辑应具有最高级别的权限,一旦装置被触发则风力发电机组必须进行紧急停机。

e. 偏航转速。对于并网型风力发电机组的运行状态,风轮轴和叶片轴在机组正常运行时不可避免地会产生陀螺力矩,该力矩过大将对风力发电机组的寿命和安全造成影响。为减少该力矩对风力发电机组的影响,偏航系统的偏航转速应根据风力发电机组功率的大小通过偏航系统力学分析来确定。

f. 偏航液压系统。并网型风力发电机组的偏

航系统一般都设有液压装置,液压装置的作用是拖动偏航制动器松开或锁紧。一般液压管路应采用无缝钢管制成,柔性管路连接部分应采用合适的高压软管。连接管路连接组件应通过试验保证偏航系统所要求的密封和承受工作中出现的动载荷。液压元器件的设计、选型和布置应符合液压装置的有关具体规定和要求。液压管路应保持清洁并具有良好的抗氧化性能。液压系统在额定的工作压力下不应该出现渗漏现象。

g. 偏航制动器。采用齿轮驱动的偏航系统时,为避免振荡的风向变化引起偏航轮齿产生交变载荷,应采用偏航制动器(或称偏航阻尼器)来吸收微小自由偏转振荡,防止偏航齿轮的交变应力引起轮齿过早损伤。对于由风向冲击叶片或风轮产生偏航力矩的装置,应经试验证实其有效性。

h. 偏航计数器。偏航系统中设有偏航计数器,偏航计数器的作用是记录偏航系统所运转的圈数,当偏航系统的偏航圈数达到计数器的设定条件时,则触发自动解缆动作,机组进行自动解缆并复位。计数器的设定条件是根据机组悬垂部分电缆的允许扭转角度来确定的,原则是要小于电缆所允许扭转的角度。

i. 润滑。偏航系统必须设置润滑装置,以保证驱动齿轮和偏航齿圈的润滑。目前国内机组的偏航系统一般都采用润滑脂和润滑油相结合的润滑方式,定期更换润滑油和润滑脂。

j. 密封。偏航系统必须采取密封措施,以保证系统内的清结和相邻部件之间的运动不会产生有害的影响。

k. 表面防腐处理。偏航系统各组成部件的表面处理必须适应风力发电机组的工作环境。风力发电机组比较典型的工作环境除风况之外,其他环境(气候)条件如热、光、腐蚀、机械、电或其他物理作用应加以考虑。

## 2 响水风电场风力发电机组偏航系统的结构组成

响水风电场 FD77 风力发电机偏航系统由偏航轴承、偏航驱动装置、偏航制动器、偏航计数器、扭缆保护装置、偏航液压回路等几个部分组成,如图 1 所示。整个机舱通过偏航轴承与塔架连接。FD77 风力发电机配备的偏航轴承带有外齿轮的四点接触球轴承,具有高性能、长寿命的特点。偏航系统通过 3 个偏航电机驱动来完成。机舱的偏航运动采用 7 个偏转制动器,以便偏航轴承环不承受外部偏航力。在偏航运动过程中,制动压力只是减小,以防止在移动过程

中出现啮合变化,从而起到保护机组的作用。

偏航制动装置通过液压装置提供必要的制动压力,就如同传动系统中的安全制动装置一样。为了在各种情况下保证安全操作,FD77 风力发电机的液压系统配有蓄能器,从而保证出现电力故障时仍具有必要的制动压力。

FD77 风力发电机偏航系统设计有人工和自动 2 种操作模式。在偏航过程中,风力发电机还设置有自动解缆程序,从而保证电缆不会因为过多的缠绕而被破坏。

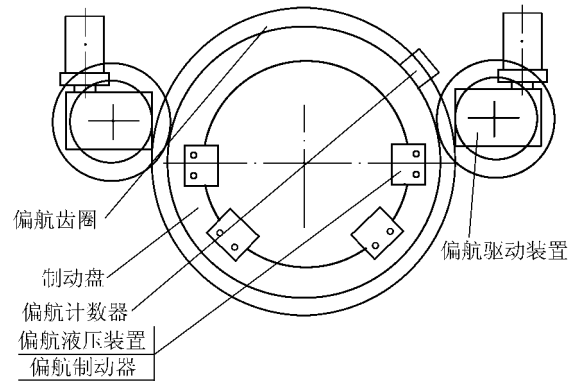


图 1 偏航系统结构简图

### 2.1 偏航轴承

偏航轴承的内外圈分别与机组的机舱和塔体用螺栓连接。轮齿采用外齿形式。外齿形式是轮齿位于偏航轴承的外圈上,加工相对比较简单。偏航齿圈的结构如图 2 所示。

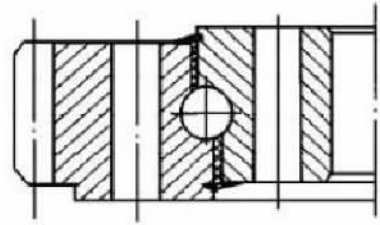


图 2 偏航齿圈结构示意图

### 2.2 驱动装置

驱动装置由驱动电动机、减速器、传动齿轮、轮齿间隙调整机构等组成。驱动装置的减速器采用行星减速器。传动齿轮采用渐开线圆柱齿轮。传动齿轮的齿面和齿根应采取淬火处理,一般硬度值应达到 HRC5562。轴静态计算应采用最大载荷,安全系数应大于材料屈服强度的 1 倍。轴的动态计算应采用等效载荷并同时考虑使用系数  $K_A = 1.3$  的影响,安全系数应大于材料屈服强度的 1 倍。偏航驱动装置要求起动平稳,转速均匀无振动现象。驱动装置的结构如图 3 所示。

### 2.3 偏航制动器

偏航制动器采用液压拖动的钳盘式制动器,其

结构如图 4 所示。

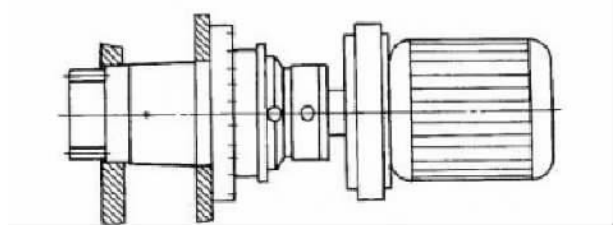


图 3 驱动装置结构简图

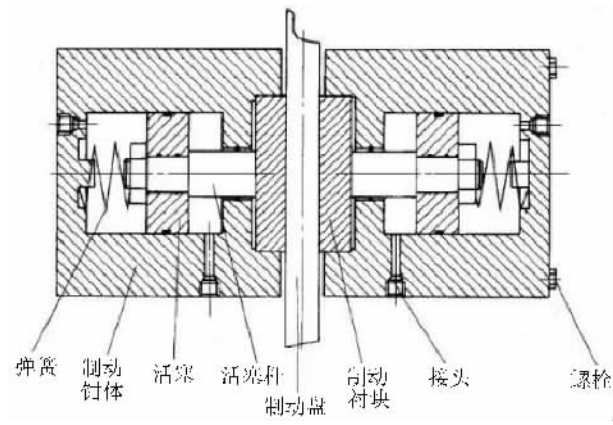


图 4 偏航制动器结构简图

a. 偏航制动器是偏航系统中的重要部件,制动器应在额定负载下,制动力矩稳定,其值应不小于设计值。在机组偏航过程中制动器提供的阻力矩应保持平稳,与设计值的偏差应小于 5%,制动过程不得有异常噪声。制动器在额定负载下闭合时制动衬垫和制动盘的贴合面积应不小于设计面积的 50%;制动衬垫周边与制动钳体的配合间隙任一处应不大于 0.5 mm。制动器设有自动补偿机构,以便在制动衬块磨损时进行自动补偿,保证制动力矩和偏航阻力矩的稳定。制动器采用常闭式结构,常闭式制动器在有动力的条件下处于松开状态。

b. 制动盘位于塔架与机舱的适配器上,为环状,制动盘的材质具有足够的强度和韧性,在机组寿命期内制动盘不应出现疲劳损坏。制动盘的连接、固定必须可靠牢固,表面粗糙度系数  $R_a$  应达到 3.2。

c. 制动钳由制动钳体和制动衬块组成。制动钳体采用高强度螺栓连接固定于经过计算的具有足够力矩机舱的机架上。制动衬块由专用的摩擦材料制成,每台风力发电机的偏航制动器都备有 2 个可以更换的制动衬块。

2.4 偏航计数器

偏航计数器是记录偏航系统旋转圈数的装置,当偏航系统旋转的圈数达到设计所规定的初级解缆和终极解缆圈数时,计数器给控制系统发信号使机组自动进行解缆。计数器是一个带控制开关的蜗轮

蜗杆装置。

2.5 扭缆保护装置

扭缆保护装置是偏航系统必须具有的装置,它是用于失效保护目的而安装在偏航系统中的。其作用是在偏航系统的偏航动作失效后,电缆的扭绞达到威胁机组安全运行的程度而触发该装置,使机组进行紧急停机。该装置是独立于控制系统的,一旦装置被触发,则机组必须进行紧急停机。扭缆保护装置由控制开关和触点机构组成,控制开关安装在机组塔架内壁的支架上,触点机构安装在机组悬垂部分的电缆上。当机组悬垂部分的电缆扭绞到一定程度后触点机构被提升或被松开而触发控制开关。

FD77 风力发电机的偏航系统结构如图 5 所示,机组的机舱安装在旋转支撑上,而旋转支撑的内齿环与风力发电机组塔架用螺栓紧固相连,外齿环与机舱固定。调向是通过 2 台与调向内齿环相啮合的调向减速器驱动的。在机舱底板上装有盘式刹车装置,以塔架顶部法兰为刹车盘。

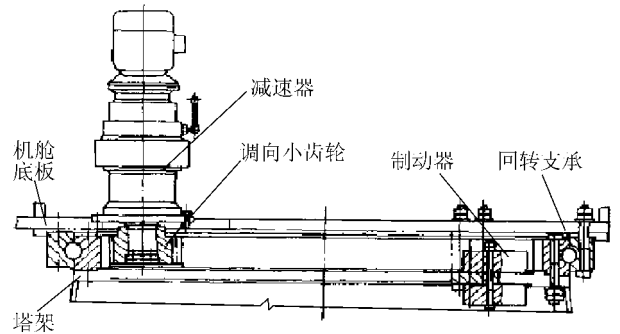


图 5 偏航系统结构

3 偏航控制系统工作原理

偏航系统是一随动系统,当风向与风轮轴线偏离一个角度时,控制系统经过一段时间的确后会控制偏航电动机将风轮调整到与风向一致的方位。偏航控制系统如图 6 所示。

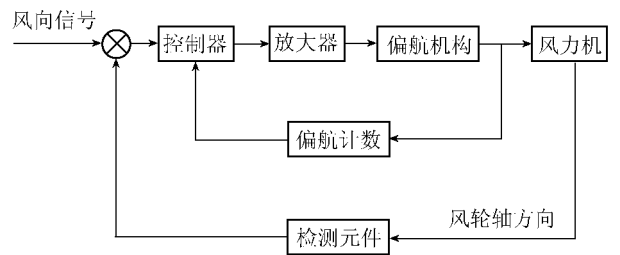


图 6 偏航控制系统

就偏航控制本身而言,对响应速度和控制精度并没有要求,但在对风过程中风力发电机组是作为一个整体转动的,具有很大的转动惯量,从稳定性考虑,需要设置足够的阻尼。(下转第 46 页)

采用《电力金具产品样本》中的型号,采用稀土锌铝合金镀层防腐。

## 6 基础和杆塔

### 6.1 基础

本工程 35 kV 输电线路铁塔基础采用灌注桩基础,灌注桩混凝土强度等级为 C30。铁塔的每个支腿下布置 1 根灌注桩,灌注桩的直径和长度根据铁塔基础的作用力大小和塔位的地质条件进行设计,直径有 600 mm、800 mm 和 1000 mm,桩长约为 15 m 和 30 m 两种,具体设计以施工详图为准,本阶段仅列铁塔基础典型图。灌注桩基础内预埋底脚螺栓,铁塔安装完成后,需浇筑混凝土保护帽,保护帽混凝土强度等级为 C10,保护帽高度以包住主材与塔脚连接板缝隙为准。

本工程地区地表水和地下水对混凝土和混凝土结构中的钢筋均有腐蚀性,设计应采取防腐蚀措施,场区地表水和地下水均不能作为施工拌和和养护用水。混凝土原材料应符合 JTJ 270—1998《水运工程混凝土试验规程》和 JTJ 269—1996《水运工程混凝土质量控制标准》及相关规程规范的规定。水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其质量应符合 GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》,强度等级不低于 42.5。同时水泥熟料中铝酸三钙质量分数应控制在 6%~12% 范围内。混凝土中应掺入

适量的阻锈剂,其质量应符合 JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》的有关规定。阻锈剂掺量应按生产厂家建议和通过试验确定,阻锈剂的掺入不应影响混凝土结构的强度。铁塔灌注桩基础施工按照施工图纸的要求施工。

### 6.2 杆塔材料标准及防腐(盗)措施

铁塔材料采用 Q235 钢,16Mn 钢,其质量标准应符合 GB 700—79《普通碳素结构钢技术条件》。基础钢材采用 HPB235 钢和 HRB335 钢,其质量标准应符合 GB 1499《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》、GB 13013《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》的要求。铁塔连接螺栓采用 4.8 级普通粗制螺栓,其质量标准应符合 GB 3098.1—92《紧固件机械性能》的要求。所有杆塔构件、螺栓及基础外露构件均采用热镀锌防腐处理,防腐层厚度为 120~150  $\mu\text{m}$ 。塔身离地 6 m 内的螺栓采用经省级鉴定合格的防盗螺栓。

## 7 结 语

我国目前风电的装机速度非常迅速,风电预期装机容量数据不断被刷新。但风电场整机的组装技术还未达到成熟,需要不断的去摸索和研究。本文以响水风电场风力机的安装为背景,详细地介绍了风机电气接线安装的一些关键技术和成功经验,为其他风电机组的安装提供了经验。

(收稿日期 2010-09-10 编辑 方宇彤)

(上接第 17 页)

风力发电机组无论处于运行状态还是待机状态(风速大于 3.5 m/s)均能主动对风。当机舱在待机状态已调向 720°(根据设定)或在运行状态已调向 1080°时,由机舱引入塔架的发电机电缆将处于缠绕状态,这时控制器会报告故障,风力发电机组将停机并自动进行解缠处理(偏航系统按缠绕的反方向调向 720°或 1080°),解缠结束后故障信号消除,控制器自动复位。

FD77 风力发电机配有 2 个风向标,它们通过交互核对保证信号的真实性能准确地判定瞬时风向。风轮对风的确切校准非常重要,因为它能保证最大的能量产出并同时避免由于倾斜入流引起的附加负载。当风力发电机组的航向(风轮主轴的方向)与风标指向偏离时,计算机开始记时。偏航时间达到一定值时即认为风向已改变,计算机发出向左或向右调向的指令,直到偏差消除。

## 4 结 语

偏航系统是水平轴式风力发电机组必不可少的

组成系统之一。本文介绍了响水 FD77 风力发电机组偏航系统的结构和组成,其中包括偏航轴承、偏航驱动装置、偏航制动器、偏航计数器、纽缆保护装置等,还详细介绍了风力发电机组偏航系统的工作原理及技术要求。

### 参考文献:

- [1] GIPE P. Wind energy comes of age [M]. New York :Wiley, 1995.
- [2] 施鹏飞. 从世界发展趋势展望我国风力发电前景[J]. 中国电力,2003,36(9) 54-62.
- [3] 王承煦,张源. 风力发电[M]. 北京 :中国电力出版社,2002.
- [4] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术[M]. 北京 :机械工业出版社,2002.
- [5] BELTRAN B, AHMED-ALI T, BENBOUZID M. Silding mode power control of variable-speed wind energy conversion system [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,2008,23 (2) : 551-558.

(收稿日期 2010-09-10 编辑 高建群)