

响水风电场风机基础的设计和施工

李 银

(中国水电七局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 介绍响水风电场风机基础工程概况及地质条件,针对响水风电场工程地处滩涂地区,地基土层较弱,持力层位置相对较深的特点,详细阐述了响水风电场风机基础设计和施工的情况。

关键词 响水风电场;风机基础;基础设计;基础施工

中图分类号 :TK83 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)S2-0062-03

风力发电机组基础用于安装、支承风力发电机组,平衡风力发电机组在运行过程中所产生的各种荷载,以保证机组安全、稳定运行。风机基础受到的荷载包括惯性力、空气动力荷载、运行荷载等^[1]。其中,风力机组叶轮旋转及风机控制运行过程中产生的动荷载对风机基础的影响比较复杂。由于风机塔筒较高,水平风荷载在基础顶面产生的弯矩比较大,往往是风机基础设计的控制性荷载。由于风向的变化,风机基础受到的弯矩作用方向反复变化,使风机基底受到反复的拉压作用,有可能造成基础的承载力减损和位移累计。轻微的地基不均匀沉降也会使风机产生较大的水平偏差和偏心弯矩。这些都对风机基础的设计和施工提出了很高的要求。本文详细介绍了响水风电场风机基础的设计和施工情况,可供其他同类工程参考。

1 工程概况

响水风电场位于江苏省响水县东北部沿海的滩涂地区,共安装 134 台单机容量为 1.5 MW 的风力发电机,总装机容量为 201 MW。风电场所有风力发电机组均由东方电气集团东方汽轮机有限公司制造,机型为 FD77A,转轮直径为 77 m,轮毂高度为 61.5 m。风力发电机沿滩涂东西向带状呈 3 列、4 列布置,列间距约为 550~600 m,列内间距约为 700~750 m。所有风机均位于海堤内,风机基础所在区目前为盐田或养殖区。新建的场内道路从风电机组旁边通过,满足机组设备运输和基础施工要求。

2 地质条件

响水风电场濒临黄海,地势较为平坦,地面高程为 2.5~3.5 m,属黄海潮间带滩涂地貌单元。场区呈狭长条状分布,南北宽 3~5 km,东西长约 27 km,地形为沿海滩涂,场区内沟渠发育。场区北侧紧靠一条土海堤路,土海堤路面宽约 6 m,高程在 5.6~6.5 m 之间。海堤内侧已建成养殖场、盐田等。根据钻孔揭露,场址区勘探深度范围内上部②~③层为第四系全新统冲海相粉土及海相淤泥质软土,下部为晚更新世滨海相沉积物。自上而下分 6 层,分别为①层素填土、②层淤泥质粉质黏土、②夹层砂质粉土夹粉质黏土、③层砂质粉土夹粉质黏土、④-1 层粉砂、④-2 层粉细砂。②层淤泥质粉质黏土,流塑为主,局部软塑,分布较广,层厚大,工程性较差。②夹层砂质粉土夹粉质黏土,稍密状,分布变化大,层厚小,土的力学性能不均匀。③层砂质粉土夹粉质黏土,稍密,该层总体工程性能较差。④-1 层粉砂,中密,土的工程性能较好;其下卧④-2 层粉细砂,中密~密实,以密实为主,土的工程性能良好。场区分布的②夹层属不液化土层,局部轻微液化;③层属不液化土层^[2]。

3 风力发电机组基础设计

风力发电机承台的基础设计应满足以下 2 个基本条件:要求作用于基础上的荷载不得超过基础容许的承载能力,以保证基础在防止整体破坏方面有足够的安全储备;控制基础的沉降,使其不超过地基允许的变形值,以保证风力发电机组不会因基础的

变形而损坏或影响机组的正常运行。

3.1 基础形式选择

基础的形式一般有 3 种:天然地基、复合地基及桩基础。在确定形式时,首先应根据基础布置形式、地层分布、地基承载力设计值、基底最大或最小压力等几个方面经计算确定采用天然地基的可行性。当基底最大压力小于地基承载力设计值、基底最小压力大于或等于零且基础地层中无软弱夹层时,应优先考虑以天然地基作为基础;当基底压力无法单独或同时满足上述 2 个条件,但基础地层中无软弱夹层时,可采用扩大承台基底面积、增加基础自重或复合地基的形式;当基础地层中存在不利地层、采取以上工程措施后地基承载力仍然无法满足要求或经技术经济比较更合理时,宜采用桩基础的布置形式^[3]。

本工程场区上部浅层②层淤泥质粉质黏土,属高压缩性土层,土的力学性质差,承载力低,稳定性差。③层砂质粉土夹粉质黏土夹有软塑状粉质黏土,土的工程性能较差,故①~③层土的地基承载力和变形不能满足结构要求。④-1 层粉砂,工程性能尚好,但埋藏较深,基坑开挖工作量大,基础施工较困难,故不宜采用天然地基。而桩基础具有承载力高、沉降速率低、沉降小且均匀等特点,能够较好地承受垂直荷载、水平荷载及由风机产生的振动。故本项目风机基础采用桩基础。

3.2 桩型选择

可供选择的桩型有 2 种:预应力混凝土管桩和钻孔灌注桩。2 种桩型均假定以④-2 层砂质粉土作为持力层。灌注桩采用焊接钢筋笼,水下浇筑混凝土。PHC 桩采用工厂预制、高压蒸汽养护,桩身采用高强混凝土(C80)和高强预应力钢丝。根据工程经验,粉土、粉砂随着打桩的进行具有明显的挤密效果,可以显著提高桩基承载力。若采用钻孔灌注桩方案,其特点是无噪音,桩长、桩径可根据上部荷载进行控制。但是灌注桩费用高,施工工期长,沉渣难以控制,灌注桩水下混凝土浇筑存在施工用水难以解决的问题。根据场地地质条件,通过选择合适的打桩设备、打桩顺序及施工工艺,成桩是可行的。所以本工程风机基础采用高强度预应力混凝土管桩(PHC 桩),桩身直径为 600 mm。

3.3 持力层选择

②层淤泥质粉质黏土,流塑为主,局部软塑,分布较广,层厚大,工程性较差,其地基土承载力特征值为 55~65 kPa。②夹层砂质粉土夹粉质黏土,稍密状,分布变化大,层厚小,土的力学性能不均匀,变化大,其地基土承载力特征值为 100~130 kPa。③层砂质粉土夹粉质黏土,稍密,该层总体工程性能较

差。④-1 层粉砂,中密,土的工程性能较好,其地基土承载力特征值为 210 kPa。④-2 层粉细砂,中密~密实,以密实为主,土的工程性能良好,其地基土承载力特征值为 250~300 kPa。综上所述,④-1 层、④-2 层土的工程性能好,可作为 PHC 桩的持力层。

3.4 桩径选择

PHC 桩外径根据需要有 300 mm,350 mm,400 mm,450 mm,500 mm,550 mm,600 mm 和 800 mm 等定型产品可供选择。根据同类工程经验,不同直径桩的单价相差不大,而承载力相差较大,所以桩径越大费用越省。但过大的桩径要选用大吨位的打桩机,对场地施工道路要求较高。根据本工程地质情况和施工道路情况,可选用 D80 柴油动力锤击式打桩机,预计 DN600 直径管桩可顺利打入,所以本工程选用 DN600 的 PHC 管桩。

3.5 桩基布置

响水风电场风机基础采用重力式现浇钢筋混凝土圆盘形基础,埋深 2.2 m。基础内部预埋直径为 4 m 的圆形基础环,以连接上部风机塔筒并控制风机水平度。管桩采用预应力混凝土管桩,直径为 600 mm,壁厚为 130 mm,根据风机机位地质条件变化,管桩长度为 20~35 m。风机基础管桩布置根据地质情况分为 34 根 I 型桩和 29 根 II 型桩 2 种。I 型桩长 25~34 m,II 型桩长 22~27 m。I 型桩,外圈 20 根,中圈 10 根,内圈 4 根;II 型桩,外圈 20 根,中圈 5 根,内圈 4 根。I 型桩具体布置形式如图 1 所示。

4 风力发电机组基础的施工

4.1 施工流程

桩基施工顺序为“内圈-中圈-外圈”,圈内分序,在同一圈中进行跳打作业,以避免中间土层被挤密、桩难压入或勉强压入使邻桩侧移和上冒。对桩基质量检测采用高、低应变动力检测以保证桩身完整性,满足承载力要求。

风机基础承台在桩基施工完毕停顿一段时间后(一般 15 d,根据试桩试验确定)即可以开始承台周围的土层开挖,在达到基础底标高后开始承台混凝土施工。风机承台施工工艺流程如下:土方开挖→垫层施工→基础环安装固定→钢筋制作安装→模板安装→混凝土浇筑→模板拆除→验收清理→土方回填^[4]。

4.2 风机基础不均匀沉降问题

风机属于高耸建筑物,1.5 MW 风机轮毂高度在 60 m 以上,轻微的地基不均匀沉降,将使风机产生较大的水平偏差,在机舱、叶片等重载作用下,产生较大偏心弯矩,从而使原先在水平方向未能保持平

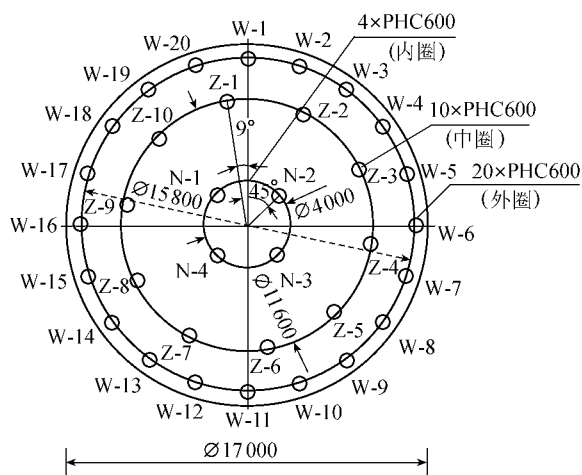
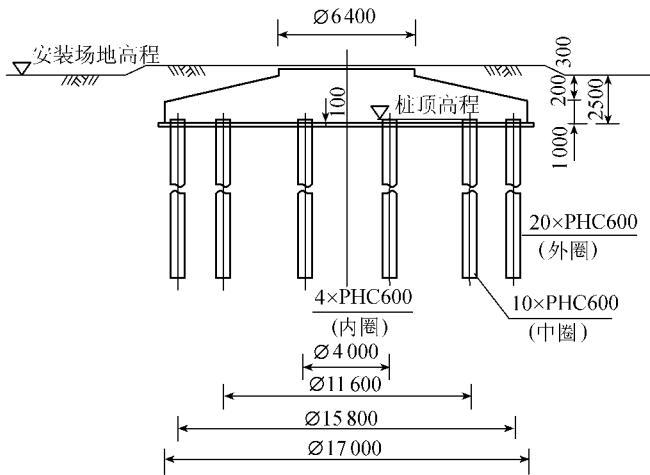


图1 风机基础桩基布置(单位:mm)



整度的风机更加倾斜,给风电机组吊装及运行带来较大的安全隐患。

自响水风电场开工建设至今,大部分风机基础不均匀沉降均能控制在设计要求范围(基础环水平度最大偏差 ≤ 4 mm)之内,但仍有少量风机不均匀沉降超过设计值。现以4号风机为例,分析风机基础沉降的原因,提出解决方案。截至2009年2月27日4号风机基础环不均匀沉降最大偏差为8.54 mm。

经分析,认为4号风机基础沉降主要是由于在软土地基进行桩基施工过程中,通常会因工程力学性质极差的软弱地层(如淤泥)引起较大超孔隙水压力,使桩周土固结变慢,从而对基础后续沉降产生影响,同时,微观地层的差异性、周边人工建筑对地层的加荷扰动影响及桩基施工技术工艺的局限性,也是风机基础不均匀沉降的主要原因^[2]。

根据响水风电场的实际情况,建议采用补桩法进行处理。该方法对原基础的扰动相对较小,施工方便,且能在较短时间内提高风机基础薄弱侧的承载力,在技术经济等方面均比较可行。但由于增加灌注桩后将较大程度改变风机基础的承载力分布,在方案实施前需充分考虑在新的方向上发生不均匀沉降的可能性。

5 结 语

虽然风机基础投资在整个风电场投资中仅占很小一部分,但风机基础是关系到风力发电机组能否安全稳定运行的一个至关重要的因素。风机基础是承载高耸、大垂向和侧向荷载的特殊支撑结构,在进行风机基础设计时,应充分考虑地层中不利因素(如软弱夹层等)对基础稳定的影响,在风机基础施工时,应采取有效施工工艺措施,保证地基混凝土施工质量,才能达到风力发电机组稳定、安全、高效、经济运行。

参考文献:

- [1]《风力发电工程施工与验收》编委会.风力发电工程施工与验收[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [2]郑主平,吴启仁.响水风电场风机基础不均匀沉降原因及处理方法[J].水利水电技术,2009(9):71-74.
- [3]甘毅.滨海区软土地基大型风机的基础设计[J].能源与环境,2006(5):99-101.
- [4]吴启仁,邓志勇,孙向东.浅议响水风电场施工组织设计[J].水利水电技术,2009(9):53-56.

(收稿日期:2010-09-10 编辑:方宇彤)

·简讯·

意大利建筑设计师的太阳能风力发电桥设计理念

据报道,意大利建筑设计师提出了建造太阳能风力发电桥的设计理念,利用桥梁独特的地理环境和高度获得2种不同的绿色能源——太阳能和风能。太阳能风力发电桥这一创新的设计理念是3名设计师——弗朗西斯科·克拉罗希、乔凡娜·萨拉齐诺和路易萨·萨拉齐诺集体智慧的结晶。他们看到了某些桥梁地理位置潜在的有利条件——始终受到侧风侵袭并且长期处于地中海强日光的照射之下。这种桥的桥面不是用传统沥青铺设,而是用密集的太阳能电池板所代替,太阳能电池板上覆盖着1层耐用的塑胶材料。太阳能电池板每年大约可产生1 120万kW·h的电量。同时,在桥梁支撑结构之间的空隙中安装了26台风力涡轮机,每年可产生3 600万kW·h电量。所有这些电量可满足15 000个家庭的用电需求。太阳能风力发电桥所能带来的好处远不止这些。按照设计师的构想,还将在太阳能风力发电桥两侧建设小型农场和市场。

(本刊编辑部供稿)