

# 分散式风电场风机基础施工技术

高鹏飞, 王静

(中国葛洲坝集团电力有限责任公司, 湖北宜昌 443002)

摘要: 结合中广核哈密分散式风电场项目, 介绍了分散式风电场风机基础施工采用的关键技术。

关键词: 分散式风电场; 风机基础; 施工技术

中图分类号: TK83; TK89; TV52

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2016)04-0137-04

## 1 概述

新疆哈密分散式风电场项目为中广核风力发电有限公司的科技示范工程, 建设地点分别在哈密山北和山南, 安装由金风科技生产的、单机容量为1500 kW的风力发电机46台。工程分布于四个区域: 黑眼泉区16台、黄山东区6台、千山变区6台和雅满苏区18台。

## 2 分散式风电场风机基础施工技术

分散式风电场风机基础施工需要解决的关键技术包括: 施工机械的最优配置, 现场混凝土拌合能力的快速形成, 施工劳动力的合理组织, 施工技术方案的优化, 风机基础混凝土冬季施工等。

### 2.1 总体施工安排

由于该工程包括四个风电场, 最大相距400 km, 总体工期紧, 现场条件不允许进行大规模的流水施工。若四个风电场都组织平行施工, 其投入巨大, 施工成本高。我们根据四个风电场的地理位置, 经过研究, 将整个施工区域划分为两个相对集中的施工区域, 两个区域组织平行施工, 在每个区域内组织流水施工, 黑眼泉区16台和黄山东区6台机组为一个施工区域; 千山变区6台和雅满苏区18台机组为另一个施工区域, 两个区域由两个独立的施工队负责施工, 分别新建一套混凝土拌合站。风机基础组织流水施工, 在完成一个风电场后, 将拌合站转移至下一个风场, 进而完成全部四个风电场的施工。

### 2.2 风机基础采用的施工方法

#### 2.2.1 定位放线及土方工程

(1) 施工前, 所使用的测量仪器——GPS、经纬仪、全站仪、水准仪必须经计量检定所检定合

格, 并保证其在有效使用期内方可使用。

(2) 设计单位将风机中心定位桩交付后, 使用全站仪对风机中心点进行复测, 复测合格后方可使用。

(3) 在基础东、南、西、北方向各用木桩作基础的定位桩, 作为基础放线的控制点。控制点的保护要避免车辆碰撞、碾压或震动, 可用水泥砂浆围护。标高基准点根据设计要求设置, 将此标高引测到控制点桩上作为该风机的统一标高。精度要求: 导线的测量按二级导线施测, 角度最大偏差为8"。

(4) 根据控制桩放出基槽开挖边线, 基底按照0.8 m留设施工作业面, 基槽放坡1:0.4, 用白灰定出基础开挖边线。

(5) 土方开挖时, 基底预留150 mm厚的土方采用人工清槽。基坑深度严格控制超挖, 如有超挖, 将松动土清理至原土层, 采用C15混凝土浇筑至设计标高。如基坑地质情况中的1/3与设计提供的地质资料不符时, 对不符合部分采用1 m厚级配碎石换填, 级配碎石密实度不小于0.97。

(6) 开挖过程中, 随时用水准仪监控开挖深度, 人工清槽, 随挖随清至设计标高。

(7) 基坑上口2 m范围内不得堆放土方及其他材料, 作为施工安全通道。

(8) 土方堆放时要求留出3个以上、宽度不小于3 m的混凝土浇筑通道, 且其堆放高度不大于2 m。

(9) 基槽开挖后检验基槽的基底土质、尺寸、平整度等指标, 经验收合格后方可进行下道工序。

#### 2.2.2 垫层施工

(1) 清理基底至设计标高, 地基验槽合格后,

收稿日期: 2016-06-16

现场根据定位及标高控制桩放出垫层边线,且在基坑底设置标高控制点及基坑中心点。

(2)支模采用木模,模板上口标高应一致且符合设计垫层标高要求。

(3)垫层混凝土浇筑采用罐车运送至现场,使用溜槽浇筑,并用振捣棒人工振捣。

(4)垫层浇筑完毕,放置基础环预埋铁,用木抹子找平,使其表面平整,高差不大于20 mm。浇筑完毕按要求进行覆盖养护。

### 2.2.3 基础环吊装工程

(1)吊装前,检查吊车车况,准备好电焊机、柴油机、大锤、撬棍、钢尺、水准仪等必备的工机具和仪器并核对基础环型号。

(2)吊装前,在垫层埋件上放出基础环支腿安装位置线,将基础环支腿焊接在埋件上,支腿必须垂直。测量支腿标高偏差。

(3)将基础环吊起、运至支撑型钢上方,将调节螺栓穿上,根据支腿标高偏差确定调节螺栓的长度。

(4)基础环吊装就位,确认塔筒门方向是否正确(塔筒门方向必须与风场主风向垂直)。黑眼泉风场风向为西风、西北风(风向应由罗盘测向)。将调节螺栓底座焊接在支腿上,通过调节螺栓对基础环水平度进行精确调整,安装时将水平度误差控制在不大于1 mm,然后拧紧螺母。

(5)基础环水平度过程检测:安装完成后、钢筋绑扎前、钢筋绑扎过程中、浇筑混凝土前、浇筑混凝土中、浇筑混凝土后均必须测量基础环水平情况。浇筑前水平度偏差应控制在1 mm以内。基础环与混凝土之间的密封按厂家图纸施工。基础环外露部分应覆盖保护,避免砂浆污染。

### 2.2.4 基础钢筋工程

(1)钢筋进厂要有合格证,进厂后要进行复试(见证取样),合格后方可使用。

(2)钢筋采用加工场集中制作、现场绑扎成形的施工方案。

(3)钢筋表面要洁净无污染,损伤、带有油漆、老锈的钢筋不得使用。

(4)钢筋在存放过程中不得损坏标志,按批分别堆放整齐,状态标识清楚并采取覆盖措施,预防其锈蚀或被污染。

(5)下料前要根据钢筋原材长度和钢筋下料

长度统筹安排,编制钢筋下料表,减少钢筋损耗,避免钢筋浪费。钢筋下料表审核后,方可进行大批量的加工。

(6)钢筋的级别、种类和直径严格按设计要求使用。需代换时,应征得设计人员的同意并履行手续。

(7)制成后的成品钢筋分类挂牌码放整齐,根据现场需要运至现场进行绑扎,钢筋采用运输车运至现场,人工抬入基坑。为保证施工现场的安全文明施工,运料随运随绑,减少占地面积。

(8)钢筋接头:接头按照设计要求采用搭接和机械连接。接头根据规范要求设置于受力较小的部位并且相互错开,错开长度及搭接长度应满足规范要求。机械连接必须先进行工艺检验。现场检验机械连接按照500个接头为一检验批,待监理人员见证随机抽取接头后送试验室,合格后方可隐蔽。

(9)钢筋安装前,首先要对垫层进行清理,并保证垫层表面清洁干净。

(10)钢筋使用22号铁丝绑扎并应全扣绑扎,绑扎顺序为先下后上、先内后外。绑扎前,先根据施工图的钢筋间距划好线后再进行绑扎。绑扎的钢筋要求横平、竖直,规格、数量、位置、间距符合设计和规范要求。绑扎不得有缺扣、松扣现象。钢筋网片相邻扣要互相交错,防止顺偏。任何钢筋均不得与基础环接触。

(11)钢筋底保护层采用80 mm×80 mm×80 mm垫块,垫块间隔400~600 mm绑垫在钢筋上。垫块要提前预制并保证其强度。

(12)当钢筋直径 $d \geq 20$  mm时,弯曲半径为 $7d$ ;当钢筋直径 $d < 20$  mm时,弯曲半径为 $4d$ 。受拉钢筋绑扎搭接长度应不小于 $1.2L_a$ ,受压钢筋绑扎搭接长度不小于 $0.85L_a$ ( $L_a$ 为钢筋最小锚固长度, $L_a = 35d$ )。

(13)钢筋绑扎完成后进行四级验收并做好各级检验记录。

(14)当钢筋的品种、级别或规格需作变更时,应办理设计变更文件。

(15)对接头的每一验收批,必须在工程结构中随机截取3个接头试件作抗拉强度试验,按设计要求的接头等级进行评定。如有1个试件的强度不符合要求,应再取6个试件进行复检。复检

中如仍有1个试件的强度不符合要求,则该验收批则被评为不合格。

(16)该工程电缆埋管严格按图纸位置埋设(与基础环间距、与塔筒门方位),弯曲半径不小于2 m,埋管地下出口方向应朝向箱变方向,电缆管预埋固定后管中预留铁丝并将两边端口临时封堵。

### 2.2.5 基础模板工程

(1)支模在钢筋绑扎完毕并经监理验收合格后进行。

(2)模板施工前,先根据施工图纸配模后分别编号,根据编号挑出模板,涂刷完水溶性隔离剂后放于基础一侧准备安装。

(3)支模后用砂浆封堵模板底。

(4)为防止模板底口发生偏移,浇筑垫层时在安装模板线附近插 $\phi 20$ 钢筋头,模板底口与钢筋头间用木楔背紧加固。模板应确保基础侧面及顶面钢筋保护层厚度不小于50 mm,基础环台面钢筋保护层不小于30 mm。

(5)模板安装时,按垫层上所弹边线进行,下口压边线,将模板调成垂直后进行加固,加固必须牢固、稳定、可靠。

(6)基础模板使用加工木模,侧向采用 $\phi 22@500$  mm钢筋围檩加固,同时用 $\phi 48 \times 3.5$  mm脚手管与基坑底及侧壁顶牢,钢管上加设丝杠以调节长度,顶杆间距为1 000 mm。

(7)模板加固后必须有足够的刚度、强度,严格检查验收。

(8)在混凝土浇筑前,将模板内的杂物清理干净。

(9)模板缝用海棉胶条或包装胶带封堵严。

(10)在浇筑前1 h、气温大于 $5^{\circ}\text{C}$ 以上时,对垫层洒水湿润,但不得有积水。

(11)在混凝土浇筑过程中,设专人看护模板情况。

(12)在混凝土的强度能保证其表面及棱角不因拆除模板而受损坏时,模板方可拆除。

(13)拆模后,对混凝土外观进行验收,验收合格后刷2道环氧煤沥青或聚氨酯沥青涂层防腐后方可进行下道工序施工。

### 2.2.6 防雷接地工程

(1)接地扁钢的焊接应采用搭接焊,焊接长

度不小于扁钢宽度的两倍,至少满焊三个棱边。全部焊缝应平整、无间断,无气泡、夹渣、咬边和未焊透等现象并清除焊缝处的焊渣,焊接部分应先刷防锈底漆、后刷沥青防腐漆,严禁刷漆污染钢筋。

(2)接地环网布置的扁钢采用立置,有利于焊接操作。基础环接地引下扁钢与接地网部位可采用三角连接方式。接地环网与钢管接地桩的连接采用预制扁钢包围焊方式。基础环接地点位置的扁钢应用液压折弯成型,保证外观工艺美观。

### 2.2.7 基础混凝土工程

(1)钢筋绑扎、支模后,经四级验收合格后方可浇筑混凝土。

(2)混凝土均采用搅拌站集中生产的形式。混凝土的水平运输采用混凝土罐车,浇筑采用溜槽下料,混凝土一次性连续浇筑完成,不得留置任何形式的施工缝。

(3)混凝土施工前,对水泥、砂、石及外加剂等材料进行复试,合格后方可使用。混凝土配合比必须经过试验室试配后给出。混凝土搅拌站在投入使用前,必须经过当地计量单位的认证并合格,搅拌时严格执行配合比投料。该工程基础垫层混凝土为C20,基础本体采用C35F150混凝土。基础本体水泥采用“天山”牌42.5低热普通硅酸盐水泥并按规范掺加粉煤灰,同时按 $0.7\text{ kg/m}^3$ 添加JK-7型建克螺旋形聚乙烯醇纤维。

(4)混凝土浇筑采用分层浇筑,分层厚度为500 mm。振捣时振捣棒插入下层50 mm,严禁触碰钢筋及预埋管,不得漏振、过振。浇筑时,设专人监护模板、埋管、基础环水平度、钢筋的变化。如发现问题需即时处理。混凝土要从基础环四周均匀下料,对基础环周围混凝土必须加强振捣,保证其密实。由于基坑面积较大,遂采用“赶浆”方式布料,确保混凝土初凝前覆盖混凝土,避免产生裂缝。

(5)混凝土浇筑设置3个溜槽,均匀布置在基础四周,3个溜槽均匀下料。

(6)混凝土振捣使用4台插入式振捣棒,每台振捣棒负责一面,振捣棒电源使用柴油发电机。振捣时要求快插慢拔,并使振捣棒振捣时上下略有抽动,振捣棒移动间距为300 mm。为保证混凝土密实,以混凝土表面不再下沉、不再有气泡上冒

为准。上层混凝土要在下一层混凝土初凝之前进行浇筑,振捣棒要插入下一层混凝土 50 mm 以上。在振捣界限以内对混凝土进行二次振捣,并及时排除混凝土泌水,提高钢筋与混凝土的握裹力,防止出现裂缝,减少内部微裂,增强混凝土密实度。

(7)浇筑过程中,随时检查塌落度,现场不得随意加水。在混凝土浇筑完成后、混凝土初凝前及混凝土初凝后分三次抹面压实。

(8)浇筑过程中,在现场随机抽取混凝土试块,每 100 m<sup>3</sup> 取标养、同养试件各一组并由监理人员见证取样过程,即每基基础取标养、同养各 4 组试块。

(9)大体积混凝土的养护主要是为了控制混凝土的内外温差和保持湿度,通常采用浇水和覆盖相结合的办法。混凝土终凝后开始浇水养护,在基础表面覆盖塑料布保水保湿,然后在基础表面和模板侧面覆盖棉被保温。养护期间,定人定时进行混凝土测温,根据测温结果调节保温层厚度,以保证混凝土内外温差不超过 25 ℃,环境温度与混凝土表面温度的温差不大于 20 ℃,养护 7 d,确保混凝土结构不出现温度裂缝。

### 2.2.8 土方回填

(上接第 130 页)

达到 70% 设计强度后,抽除井筒中的水后立即向滤水井管中灌入 C30 早强干硬性混凝土捣实,装上法兰,再在上面浇筑一层混凝土,使之与底板顶面相平。如地下水较少或无地下水时,可一次性浇筑底板混凝土。

## 8 结 语

(1)基础土方回填时必须待混凝土隐蔽验收合格后方可进行,回填前必须将基坑内的杂物清理干净。

(2)回填采用原土分层进行,每层厚度不大于 300 mm,回填的每层至少夯打或碾压 6 遍以上,密实度大于 18 kN/m<sup>3</sup>。

## 3 结 语

黑眼泉风电场 2012 年 9 月 9 日第一批人员进场,9 月 26 日开始第一基基础浇筑,10 月 23 日基础本体施工完成。其余 3 个风电场也相继顺利完工,质量和工期均满足要求,取得了良好的社会效益和经济效益。随着我国风电提出集中式开发和分散式开发并重的发展思路,内陆地区分散式风电场开发将占有越来越大的比重,分散式风电将成为未来新能源的产业发展方向之一,市场前景广阔,该工程的成功实践为今后分散式风电场快速施工提供了借鉴。

### 作者简介:

高鹏飞(1969-),男,湖北宜昌人,副总工程师,高级工程师,学士,从事电力工程技术与管理工作;

王 静(1976-),女,湖北宜昌人,高级工程师,学士,从事电力工程技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

沉井工艺最大的优点是在结构壁被保护的情况下进行作业,施工安全性高,尤其适合在总平场地有限和地下水位高的情况下进行地下构筑物的施工,该工艺应用前景广阔。

### 作者简介:

刘 凯(1976-),男,甘肃平凉人,高级工程师,学士,从事市政公用工程施工技术工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 两河口水电站特咨团第一次咨询会顺利召开

6月13日至17日,雅砻江两河口水电站特别咨询团在工程现场召开第一次咨询会议。中国工程院马洪琪院士、钟登华院士,咨询团组长、设计大师张宗亮,勘察大师李文纲等6位特别咨询团成员和总院咨询项目部专家出席会议。成都院总工程师余挺,副总工程师廖明亮、金伟以及水工处、地质处、施工处、监试所等相关专业处人员参会。特咨团专家和与会代表查勘了两河口水电站的防渗土料场、石料场、大坝基坑、瓦支沟碾压试验场、庆大河反滤及掺砾料加工系统、地下厂房等工程现场,并听取成都院对“土料、石料场复勘及使用规划,大坝填筑控制标准及施工参数,大坝基础处理,地下厂房洞室群开挖支护安全稳定性评价”四个议题的汇报。经过历时3天的讨论,特咨团专家和与会代表充分肯定了成都院牵头四个议题的工作,认为报告内容翔实、技术含量高,一致同意四个议题的主要方案,同时对后续大坝填筑施工提出意见和建议。咨询意见认为:两河口工程规模巨大、技术难度高,位于高海拔、高寒山区,在参建各方的共同努力下,工程建设取得较好成绩,工程进度和施工质量受控,现场安全文明施工良好。在特咨团报告编制期间,成都院参编人员不分节假日、白天黑夜,历时4个月共完成报告7套,统筹参建单位报告24本。成绩的取得来之不易,凝聚了辛勤的汗水和充盈的智慧,充分体现了成都院作为主体设计单位,在两河口工程的技术策划和统筹协调作用。