

响水风电场风力发电机及箱式变电站施工技术

周志军

(中国水电七局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 介绍响水风电场风力发电机及箱式变电站施工技术中混凝土管桩的施工技术、材料的选择及其要求,埋管和接地网的制作、安装和埋设技术要求,混凝土工程模板和支架的材料、设计、制作和安装等技术,以及风机的基础环等预埋安装等技术。

关键词 混凝土;埋管;接地网;基础环;箱式变电站施工;响水风电场

中图分类号 :TM614 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)S2-0047-05

江苏响水风电场共安装 134 台 1.5 MW 风力发电机组,采用两级升压方式。每台风力发电机(以下简称风机)配置 1 台 0.69/35 kV 箱式变电站,将风机电压升高至 35 kV,风力发电机-箱式变电站采用单元接线方式,箱式变电站高压侧采用联合单元接线方式,每 10~12 台风机组成一个联合单元后,经 35 kV 集电线路接入风电场 220 kV 升压站 35 kV 配电装置,经主变压器升压至 220 kV 后送入系统。本文介绍了风机及箱式变电站施工中的几项关键技术。

1 混凝土管桩工程技术

1.1 施工措施计划

预制混凝土管桩工程开工前,承包人应根据施工图纸提供的预制混凝土管桩方案,分别提供以下施工措施计划报送监理人审批:①桩基施工场地布置图;②成桩机械及其配套设备的选择;③制桩材料成品备件的配置;④桩基施工方案及工艺;⑤成孔、成桩试验和措施;⑥施工质量、安全和环境保护措施;⑦施工进度计划。

1.2 管桩原材料及构造要求

1.2.1 原材料

水泥应采用标号不低于 42.5 的硅酸盐水泥、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》的规定。细骨料宜采用洁净的天然硬质中粗砂,细度模数为 2.3~3.4,其质量应符合 GB/T 14684—1993《建筑用砂》的规定。粗骨料应采用碎石,其最大粒径应小于或等于 25 mm,且不超过钢筋净距的 3/4,其质量应符合 GB/T 14685—

1993《建筑用卵石、碎石》的规定。

预应力钢筋应采用预应力混凝土用钢棒、预应力混凝土用钢丝,其质量应分别符合 YB/T 111—1997《预应力混凝土用钢棒》和 GB/T 5223—1995《预应力混凝土用钢丝》的规定。螺旋筋宜采用冷拔低碳钢丝、低碳钢热轧圆盘条,其质量应分别符合 GB 50204—1992《混凝土结构工程施工及验收规范》和 GB/T 701—1997《低碳钢热轧圆盘条》的规定。端部锚固钢筋、架立圈宜采用低碳钢热轧圆盘条或钢筋混凝土用热轧或钢筋混凝土用热轧带肋钢筋,其质量应分别符合 GB/T 701—1997《低碳钢热轧圆盘条》和 GB 1499—1998《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》。端板、桩套箍宜采用 Q235,其质量应符合 GB/T 700—1988《碳素结构钢》的规定。

混凝土拌合用水的质量应符合 JCJ 63—1989《混凝土拌和用水标准》的规定。外加剂的质量应符合 GB 1119《混凝土外加剂应用技术规范》的规定,严禁使用氯盐类外加剂。

1.2.2 构造要求

钢筋应清除油污,局部不应有弯曲,端面应平整,单根管桩同束钢筋中,下料长度的相对差值应小于或等于 $L/5\ 000$ 。钢筋和螺旋筋的焊接点的强度损失应小于或等于该材料标准强度的 5%。钢筋镦头强度应大于或等于该材料标准强度的 90%。

钢筋骨架的预应力钢筋沿其分布圆周均匀配置,最小配筋率应大于或等于 0.6%,并不得小于 6 根。螺旋筋的直径应根据管桩规格而确定,外径为 450 mm 以下的螺旋筋的直径应大于或等于 4 mm,外

径为 500 ~ 600 mm 的螺旋筋的直径应大于或等于 5 mm ,外径为 800 ~ 1 000 mm 的螺旋筋的直径应大于或等于 6 mm 。管桩螺距最大不超过 110 mm ,管桩两端螺旋筋的长度范围为 1 000 ~ 1 500 mm ,螺距范围在 40 ~ 60 mm 之间。端部锚固钢筋、架立圈应按设计图纸确定。骨架成型后 ,各部分尺寸应符合 :①预应力钢筋间距偏差不得超过 ± 5 mm ;②螺旋筋的螺距偏差不得超过 ± 10 mm ;③架立圈间距偏差不得超过 ± 20 mm ,垂直度偏差不得超过架立圈直径的 1/40 等要求。

管桩接头宜采用端板焊接 ,管桩接头端板的宽度不得小于管桩的壁厚 ,接头的端面必须与桩身的轴线垂直。

1.3 管桩制造

混凝土质量控制应符合 GB 50164—1992《混凝土质量控制标准》的规定。预应力混凝土管桩用混凝土强度等级不得低于 C50 ,预应力高强混凝土管桩用混凝土强度等级不得低于 C80 ,最小水泥用量为 300 kg/m^3 。放张预应力筋时 ,预应力混凝土管桩的混凝土抗压强度应大于或等于 35 MPa ,预应力高强混凝土管桩的混凝土抗压强度应大于或等于 40 MPa。桩身的力学性能应按照 GB 13476—1999《先张法预应力混凝土管桩》进行试验 ,其各项力学性能均需满足该标准的规定。

1.4 管桩选型及要求

桩基均采用 PHC 桩 ,桩身外径为 600 mm ,桩身壁厚为 130 mm ,桩长为 10 ~ 58 m ,桩身配筋形式选用 A 或 B 型 ,桩尖形式选用 a 型十字形钢桩尖 ,桩身混凝土强度等级为 C80 ,桩身混凝土保护层厚度为 35 mm ,管桩水泥应为普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥 ,水泥熟料中铝酸三钙含量应控制在 6% ~ 12% 范围内 ,水泥中不掺其他掺和料 ,在管桩接头处刷环氧树脂防腐涂层一道。

管桩每个管节的长度应按设计需要进行生产。当设计对管节长度没有特殊规定时 ,管节长度按下述要求执行 :当桩长小于或等于 15 m 时 ,应采用 1 个管节进行制作和运输 ,不得接桩 ;当桩长大于 15 m 时 ,每 15 m 允许接桩 1 次。

1.5 管桩施工技术要求

1.5.1 施工前准备

施工前应对进入现场的成品桩 ,焊接用焊条等进行质量检验 ,满足 GB 50202—2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》要求。预应力管桩外露钢圈处刷一道环氧树脂涂层防腐。桩头钢板的孔口采用环氧砂浆封堵。桩尖与桩底端的连接缝用环氧砂浆封闭。

1.5.2 沉桩

施工过程中应经常检查桩的贯入情况、桩顶完整状况、电焊接桩质量、桩体垂直度、电焊后的停歇时间等项目。沉桩方式宜采用锤击法沉桩 ,并采用重锤轻击。沉桩机械宜采用 D80 或以上的柴油式打桩机 ,锤重应大于或等于 8.0 t ,有施工经验时也可采用相应配重的静力压桩机 ,宜采用有履带式行走机构的打桩机。应在桩身混凝土达到 100% 设计强度、且蒸汽养护后在常温下静停 3 d 后方可沉桩。锤击法成桩时应选择适宜的桩帽和衬垫。桩帽内径宜大于桩径 20 ~ 30 mm ,其深度为 300 ~ 400 mm ,并应有排气孔。锤和桩帽之间的锤垫可用竖向硬木 ,厚度为 150 ~ 200 mm ,桩帽与桩顶之间须嵌入富有弹性韧性的桩垫 ,如足够厚度的纸垫、木夹板及橡胶制品等 ,以减少桩头的破损 ,桩垫锤击后的厚度宜为 120 ~ 150 mm。当衬垫被打硬或烧焦时 ,应及时更换。沉桩时 ,如管桩孔充满水 ,应抽干后方可进行锤击作业。桩身、桩帽、送桩的桩锤应在同一中心线上 ,防水偏打。锤击沉桩时宜重锤低击 ,开始落距较小 ,待入土一定深度且桩身稳定后再按要求落距进行。一根桩原则上应一次打入 ,中途确需停锤 ,也应尽量缩短停锤时间 ;当由于挤密原因引起沉桩困难或地面隆起时 ,可采用预钻孔(钻孔直径小于或等于 550 mm ,孔深不超过桩长的 1/3)等措施 ;由于超孔隙水压力的影响 ,可设置竖向塑料排水板或砂井等。预应力管桩一般不得截桩 ,如遇特殊情况确需截桩时 ,应征得现场监理工程师和设计人员同意。截桩方式可采用混凝土切割器、液压紧箍式切断机、液压千斤顶式截桩器等 ,不得采用人工凿桩。发生断桩、碎桩应征得现场监理工程师和设计人员的同意并予处理。

1.5.3 终止沉桩

终止沉桩的条件以桩长控制。所有的桩均应沉至设计高程 ,但当遇到下列情况之一时 ,可终止沉桩 ,并将沉桩记录报告现场监理 :①桩头打碎或桩身出现裂缝 ;②桩身严重偏移、倾斜 ;③总锤击数超过 2 500 击 ,或最后 1 m 锤击数超过 400 击。

1.5.4 管桩与承台的连接

管桩与承台采用固结连接 ,管桩嵌入承台深度为 100 mm ,承台垫层混凝土浇筑前 ,应按要求预埋或预焊插筋。管桩填芯混凝土强度等级及要求与风机基础混凝土相同 ,并要求在风机基础混凝土浇筑前至少 7 d 完成填芯。

2 混凝土工程

模板的制作应满足施工图纸要求的建筑物结构

外形,其制作允许偏差不应超过有关规程规范的规定。施工图纸进行模板安装的测量放样,重要结构应设置必要的控制点,以便检查校正。模板安装过程中,应设置足够的临时固定设施,以防变形和倾覆。

2.1 模板的清洗和涂料

模板的接缝不应漏浆,在浇筑混凝土前,木模板应浇水湿润,但模板内不应有积水。模板与混凝土的接触面应清理干净并涂刷隔离剂,但不得采用影响结构性能或妨碍装饰工程施工的隔离剂。为防锈和拆模方便,钢模面板应涂刷矿物油类的防锈保护涂料,不得采用污染混凝土的油剂,不得影响混凝土或钢筋混凝土的质量。

2.2 钢筋

钢筋的材质及加工工艺应符合现行有关国家标准和行业标准。钢筋表面应洁净无损伤,油漆污染和铁锈等应在使用前清除干净,钢筋应平直,局部无弯折。钢筋加工的尺寸应符合施工图纸的要求,加工后受力筋的允许偏差为 $\pm 10\text{ mm}$,箍筋的允许偏差为 $\pm 5\text{ mm}$ 。钢筋的弯折加工、焊接和钢筋的绑扎应按GB 50204—2002的规定以及施工图纸的要求执行。

2.3 普通混凝土、钢筋混凝土

2.3.1 混凝土材料

混凝土使用的各种材料应符合本技术条款指定的国家标准和行业标准。本工程混凝土材料中应掺入适量优质粉煤灰、阻锈剂,并掺高效减水剂。

应按各建筑物部位施工图纸的要求,配置混凝土所需的水泥品种,各种水泥均应符合本技术条款指定的国家和行业的现行标准。每批水泥出厂前,承包人均应对制造厂水泥的品质进行检查复验,每批水泥发货时均应附有出厂合格证和复检资料。每批水泥运至工地后,监理人有权对水泥进行查库和抽样检测,当发现库存或到货水泥不符合本技术条款的要求时,监理人有权通知承包人停止使用。水泥运输过程中应注意其品种和标号,不得混杂,承包人应采取有效措施防止水泥受潮。到货的水泥应按不同品种、标号、出厂批号、袋装或散装等,分别储放在专用的仓库或储罐中,防止因储存不当引起水泥变质。水泥应为普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥,水泥标号不小于42.5,其质量除应符合GB 175《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》外,水泥熟料中铝酸三钙的质量分数应控制在6%~12%之间,水泥含碱量应不大于0.6% Na_2O 当量,氧化钙的质量分数应大于60%。不得采用立窑水泥、烧黏土质的火山灰质硅酸盐水泥和早强水泥。

粉煤灰质量应符合JTJ/T273—97《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》的要求。风机基础混凝土采

用I级粉煤灰,粉煤灰取代水泥率、超量系数根据配合比试验确定,粉煤灰取代水泥率建议为20%,超量系数为1.3(即采用1.3倍的粉煤灰取代1倍的水泥)。

粉煤灰混凝土应掺入适宜高效减水剂,减水剂质量应符合GB J119《混凝土外加剂应用技术规范》的规定,并且要求减水剂对混凝土性能无不良影响,减水剂氯离子质量分数小于或等于水泥的质量分数的0.02%。减水剂掺量应通过配合比试验确定。

混凝土拌和用水应符合JTJ268《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。混凝土拌和用水的氯离子含量应小于或等于200 mg/L。当采用当地地下水、地表水时,应进行水质化学分析,证明拌和用水满足要求后才可以使

用。混凝土骨料应符合JTJ268《水运工程混凝土施工规范》的有关规

定。混凝土骨料应选用质量坚固耐久,并具有良好级配的天然河砂、碎石或卵石,不得采用海砂,粗骨料最大粒径应小于或等于50 mm,且不得采用可能发生碱活性反应的活性骨料。

风机基础混凝土添加亚硝酸钙阻锈剂,或以亚硝酸钙为主剂的复合阻锈剂,阻锈剂质量应符合《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规程》的有关规定,阻锈剂掺量应通过试验确定。

最后,根据混凝土的设计性能要求,结合混凝土配合比的选择,与外加剂供应厂商共同通过试验确定各防腐蚀外加剂的掺量,其试验成果应报送监理人。

2.4 配合比

风机基础混凝土应进行配合比试验,混凝土配合比应以配合比试验报告为准,施工单位在施工过程中不得随意修改配合比。混凝土配合比试验前7 d,将各种配合比试验的配料及其拌和、制模和养护等的配合比试验计划报送监理人。混凝土水灰比的最大允许值应符合以下要求:风机基础混凝土强度为C40,混凝土的水灰比不应超过0.45,最小胶凝材料用量为360 kg/m³,混凝土总含碱量应小于或等于3 kg/m³,混凝土氯离子质量分数应小于或等于0.06%。

2.5 拌和

拌制混凝土时,必须严格遵守实验室提供并经监理人批准的混凝土配料单进行配料,严禁擅自更改配料单。采用固定拌和设备,设备生产率必须满足本工程高峰浇筑强度的要求,所有的称量、指示、记录及控制设备都应有防尘措施,设备称量应准确,其称量偏差不应超过有关规程规范的规定,承包人应按监理人的指示定期校核称量设备的精度。

混凝土拌和应符合有关规程规范的规定,拌和

程序和时间均应通过试验确定,且纯拌和时间应不少于2~3 min。因混凝土拌和及配料不当,或因拌和时间过长而报废的混凝土应弃置在指定的场地。

2.5.1 拌和工厂

所有风机基础混凝土采用集中拌和,承包人可以自行修建拌和楼或购买达到设计要求的商品混凝土,要求拌和楼容量不小于 $60\text{ m}^3/\text{h}$,并应考虑备用容量和设置备用机械,保证在最不利条件下现场入仓供料大于 $40\text{ m}^3/\text{h}$ 。承包人不得要求单独支付因修建拌和楼或购买商品混凝土而增加的费用,这部分费用应摊入混凝土单价中。风机基础混凝土采用混凝土搅拌运输车运输,其入仓坍落度应控制在8~11 cm。

2.5.2 温度控制

为防止混凝土浇筑时产生温度裂缝,应严格进行混凝土温度控制。7~9月施工时要求所有风机基础混凝土浇筑时入仓温度小于或等于 25°C 。5月、6月、10月施工时混凝土入仓温度小于或等于 20°C 。当工程区最高温度超过 25°C 时,混凝土拌和应采取降温措施,降温措施应采用仓面喷雾、遮阳、散装水泥冷却、加冷却水或加冰拌和。混凝土表面应采用有效的覆盖和保温措施。混凝土内应设置测温元件,混凝土浇筑时在风机基础混凝土内部埋设4个测温点,混凝土浇筑完成后即开始测量混凝土内部温度,混凝土内外温差不宜超过 25°C 。

2.6 浇筑

在气候条件不适宜、无法正常进行浇筑作业时,不得进行混凝土施工。本工程所有混凝土施工均应在旱地进行。混凝土在浇筑过程中,直到硬化之前不应在其表面经受流水作用。任何部位混凝土开始浇筑前8h(隐蔽工程为12h),承包人必须通知监理人检查浇筑部位的准备工作,检查内容包括地基处理、已浇筑混凝土面的清理以及模板、钢筋、插筋、预埋件等设施的埋设和安装等,经监理人检验合格后方可进行混凝土浇筑。任何部位的混凝土开始浇筑前,承包人应将该部位的混凝土浇筑的配料单提交监理人审核,经监理人同意后,方可进行混凝土浇筑。

a. 施工准备。①基础开挖后,若钢桩帽有锈斑时,应采用铁砂纸除锈。②清除管桩内污泥。管桩顶端1.5 m范围内采用混凝土填芯,为保证填芯混凝土与管桩壁连接良好,管桩内此段范围的污泥应清除,并用水枪冲洗干净。③浇筑填芯混凝土。按设计要求浇筑填芯混凝土,并预插筋,填芯混凝土强度等级与风机基础混凝土相同。④铺碎石垫层。风机基础底部铺设150 mm厚碎石垫层,碎石垫层铺设完成后应对碎石进行夯实。⑤浇筑垫层碎石垫层铺

设完成并夯实后,浇筑200 mm厚C20混凝土垫层,垫层混凝土也需掺入适量阻锈剂,但可不掺粉煤灰。

b. 基础面混凝土浇筑。①建筑物建基面必须验收合格后方可进行混凝土浇筑工作。在软基上进行操作时,力求避免破坏或扰动原状土壤。②风机基础混凝土应一次浇成,不留施工缝。③单个风机基础混凝土浇筑时间不宜超过12 h。当白天最高气温大于 25°C 时,宜在夜间浇筑;浇筑过程中应采取防雨、防雪等施工措施,拌和设备和运输车辆应有备用,中途不得中断浇筑。④混凝土应分层浇筑,每层厚度为30 cm左右,上下2层混凝土浇筑时间间隔不得大于下层混凝土初凝时间以前1 h。⑤混凝土应充分振捣。因基础厚度较大,为保证下层浇筑时振捣密实,在浇筑下层混凝土时,浇筑人员应进入钢筋笼内进行振捣。⑥钢筋网进入孔位置及尺寸大小根据现场施工实际情况确定,使用结束后应及时焊接封闭。⑦混凝土保护层垫块宜为工字形或锥形,其强度和密实性应高于本体混凝土。垫块宜采用水灰比小于或等于0.40的砂浆或细石混凝土制成,或采用强度不小于50 MPa且具有耐碱和抗老化性能的工程塑料制成。⑧在浇筑过程中,应控制混凝土的均匀性和密实性,不应出现露筋、空洞、冷缝、夹渣、松顶等现象,特别是构件棱角处应采取有效措施,使接缝严密,防止在混凝土振捣过程中出现漏浆。⑨上层钢筋应设置架立钢筋,架立钢筋的直径、设置位置等由施工单位考虑,但应保证钢筋网的牢固可靠。⑩所有交叉的钢筋必须间隔一个交叉点就用铁丝可靠绑扎。⑪所有的钢筋都不应与基础预埋螺栓直接接触。

c. 混凝土面的修整。①有模板混凝土浇筑的成型偏差不得超过规范规定的数值。②混凝土表面蜂窝凹陷或其他损坏的混凝土缺陷应按监理人指示进行修补,直到监理人满意为止,并作好详细记录。③混凝土拆模后,其表面不得留有非设计需要的螺栓、拉杆、铁钉等铁件,若施工需要而外露的铁件(包括模板支架、模板拉筋等)均应将外露铁件割除,然后在外面涂环氧砂浆。环氧砂浆使用前应进行配合比、强度、凝固时间等相关试验。

2.7 预留孔混凝土

为施工方便或安装作业所需预留的孔穴,均应在完成预埋件埋设和安装作业后,由承包人负责采用混凝土或砂浆予以回填密实。除另有规定外,回填预留孔用的混凝土或砂浆,应与周围建筑物的材质相一致。预留孔在回填混凝土或砂浆之前,应先将预留孔壁凿毛,并清洗干净、保持湿润,以保证新老混凝土结合良好。回填混凝土或砂浆过程中应仔

细捣实,以保证埋件粘结牢固,以及新老混凝土或砂浆充分粘结,外露的回填混凝土或砂浆表面必须抹平,并进行养护和保护。

2.7.1 养护和表面保护

混凝土浇筑完毕后,应及时加以覆盖,避免太阳暴晒。基坑应及时采取明沟抽排水措施,以免咸水侵蚀混凝土,影响混凝土质量及后期的防腐涂层的施工。混凝土浇筑完毕后,应立即采用喷水 and 保湿保温措施连续养护,保持混凝土表面湿润。混凝土养护应有专人负责,混凝土养护时间应大于 15 d。若混凝土表面出现裂缝,应沿裂缝涂纯环氧树脂若干道,以基本填满裂缝为宜。混凝土养护用水要求与拌和用水要求相同。

2.7.2 基础表面防腐

基础混凝土浇筑完成 28 d 以后,表面涂刷防腐涂料,防腐涂层底层采用环氧树脂封闭漆(无厚度要求),面层采用环氧树脂漆(厚度大于或等于 500 μm)。

3 预埋管和接地网埋设

按施工图纸所示预埋管和接地网的制作、安装和埋设工作。在混凝土工程浇筑前 14 d,绘制所列项目预埋件的各浇筑分块或分段的预埋件埋设汇总图和预埋件埋设一览表,报送监理人审批。所有材料应符合施工图纸的规定。材料必须具有制造厂的质量证明书,其质量不得低于国家现行标准的规定。要求采用代用材料时,应将代用材料的质量证明书及试用成果报送监理人审批,未经监理人批准的代用材料不得使用。如需修改施工图纸,事先须经监理人批准,修改后的埋件位置应避免与其他埋件相干扰,并与建筑物表面处理相协调。焊工应持有相应资格的上岗合格证。

3.1 电缆管、光缆管的埋设要求

每台风机预埋电缆管为 5 根,光缆管 2 根,电力电缆管采用 $\varnothing 150\text{ mm}$ 镀锌钢管,光缆管采用 $\varnothing 40\text{ mm}$ 热镀锌钢管。箱式变电站基础风机侧预埋 5 $\varnothing 150\text{ mm}$ 热镀锌钢管,2 $\varnothing 40\text{ mm}$ 热镀锌钢管,线路侧预埋 2 $\varnothing 40\text{ mm}$ 热镀锌钢管。电缆管和光缆管一般要求采用热镀锌钢管,也可以采用等直径等转弯半径的 PVC 管、波纹管或玻璃钢管,若采用 PVC 管、波纹管或玻璃钢管时,需提交管段样品给现场监理和业主,经同意后更改。

管口应光滑、平整,无裂纹、毛刺、铁屑等。管道在安装前,内部应清理干净。

预埋管道安装就位后,应使用临时支撑加以固定,防止混凝土浇筑和回填时发生变形或位移,钢支

撑可留在混凝土中。若需要将预埋管道与临时支架焊接时,不应烧伤管道内壁。管口应采取有效措施加以保护,注意防止管道堵塞、接口的损坏和锈蚀,并应有明显标记。全部临时性支撑材料均由承包人自行计入报价,发标人不再另行支付。

按施工图纸的要求将预埋电气管道的终端引出,并应在每根预埋电气管道中穿一直径不小于 2 mm 的热镀锌铅丝,末端露出终端外。

电缆管进口段超出混凝土面 200 mm,出口段均应超出混凝土面 100 mm。电力电缆管的转弯半径应大于或等于 1 500 mm,光缆管的转弯半径应大于或等于 750 mm。为防止积水,电缆管水平段应有 5% 的坡度,坡向外侧。所有电缆埋管顶面离地高度大于或等于 500 mm。

3.2 接地网埋设要求

按照设计图纸的要求进行接地网的埋设。接地网铺设在基础混凝土中,底层接地网与基础管桩桩顶平齐,与每个管桩钢帽可靠焊接,并对外预留引出 500 mm。

4 基础环安装工程

4.1 调节螺栓安装方向

调节螺栓上的螺母可以上下调节,用于调整基础环水平。调节螺栓下设支架,支架由承包人按图纸加工。为保证支架刚度,支架须焊接在预埋钢板上。

4.2 基础环安装要求

混凝土浇筑完成后,要求基础环顶面在一个水平面内,其误差不超过 $\pm 1\text{ mm}$,并尽量减小安装误差。基础底层钢筋绑扎前先安装调节螺栓支架,然后绑扎底层钢筋网,再将调节螺栓与基础环相连,用吊车吊入基坑,放置在调节螺栓支架上。基础环可靠放置好后,将水平尺放置在基础环上法兰面上,调节下部的调节螺栓,初步将基础环调水平。绑扎钢筋,包括穿孔钢筋,任何钢筋都不宜与基础环直接接触,任何钢筋的重量都不应作用在基础环上,而应该通过钢筋网自身或架立钢筋放置在垫层上。全部钢筋绑扎完成及预埋管安装完成后,对基础环进行第 1 次精确调整,要求采用精密水平尺,对基础环上法兰表面各个部位进行检查,保证各部位的安装误差都达到要求。分层浇筑混凝土,当混凝土浇筑至基础环下法兰 200 mm 处时,进行第 2 次精确调整,保证基础环上法兰各部位的安装误差都达到要求。浇筑基础环四周及内部混凝土时,下料及振捣需十分注意,下料时不得直接对着基础环本体,振捣器也不得直接与基础环接触,施工人员不得(下转第 54 页)

绳控制,防止其转动。在与齿轮箱传动轴连接时,必须使用系在第3个叶片上的吊绳,调整叶轮稍微前倾(约 4°),以便于叶轮的安装。

e. 使用轮毂中的对中螺栓配合轮毂和低速轴接触栏,手工放置所有螺柱、垫圈和螺母,用电动冲击扳手临时紧固所有螺母,松开对中螺栓,重新放回螺柱,用电动冲击扳手紧固响应的螺母到规定力矩。落下吊钩,拆除索具和绳索。打开机舱顶上的舱门,站到机舱上拆除与主吊连接的索具,转动变速箱转轴,在叶片垂直向下时拉动缆风绳,保护套和绳头就会脱落。



图2 轮毂和叶片吊装

3.3 吊装注意事项

a. 叶片的受风面积最大,为了考虑叶片吊装操作方便,机舱吊装时吊机的位置既要满足机舱的要求也要满足叶轮的吊装要求。一般要求主吊机吊臂

正对机舱的法兰(连接轮毂的法兰)。这样叶轮吊装就位较为方便,不需要移动吊机来调整位置,也不需要进行偏航来调整机舱的位置,而是可以实现吊机一次到位。

b. 叶轮吊装时,要求随时注意风速的变化。上面2个叶片溜绳按技术要求绑扎。溜绳长度和强度应足够,拴挂时要对叶片进行保护,现场每条溜绳需要5~6人,保证起吊方向,避免触及其他物体。叶轮与机舱对接时需要2~4根尺寸适当的定位销进行定位,然后再慢慢松钩对接^[5]。

c. 机组不得在大于8 m/s的风速条件下进行起吊安装。

参考文献:

[1] 谢正根. 风电设备安装技术管理综述[J]. 建设机械技术与管理, 2007(5): 33-35.
[2] 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.
[3] 《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.
[4] 宫靖远. 风电场工程技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
[5] 周讯. 慈溪风电场土建与设备安装施工及其管理[J]. 四川水利, 2008(6): 54-57.

(收稿日期 2010-09-10 编辑 骆超)

(上接第51页)站到基础环上,其他施工机械也应避免与基础环相碰。每铺筑一层混凝土即检查一次基础环平整度,发现误差随时调整。

4.3 基础环止水

4.3.1 止水材料

第1道止水是指在塔筒与混凝土的接缝处,采用 Sikaflex-11FC 单组分聚氨酯密封胶,下设 $\varnothing 12$ mm 的泡沫棒。第2道止水是指上层的止水措施,采用2层复合土工膜。

4.3.2 施工要求

混凝土浇筑前,应在塔筒外周粘贴一道厚10 mm、宽大于20 mm 的橡皮条,粘贴在混凝土与塔筒的交接处并深入混凝土20 mm,待混凝土浇筑完成后,揭去该橡皮条,以形成一个10 mm $\times$ 20 mm 的预留槽。混凝土和钢表面应保持干燥,并清除油污,混凝土表面松散物应用铁刷刷除并用压缩空气吹扫干净。槽底垫 $\varnothing 12$ mm 的闭孔泡沫条。槽内填充聚氨酯密封胶,填充时注意不得夹杂气泡,填充完成后

注意养护。混凝土及钢表面清洗干净,然后按要求在接头2侧各200 mm 范围内铺设二胶二膜(复合土工膜和聚氨酯胶结剂),转角处两边各30 mm 不涂底胶。铺设完成后采用砖护面。每道止水片至少养护24 h 后才允许护砖、填土。

5 结 语

响水风电场共安装134台1.5 MW 的风机,其安装规模较大,单机机组容量较高,为国内少数大型风电场之一。风机及箱式变电站基础施工技术在风电场的安装与施工中是非常关键的技术之一,其质量的好坏决定着风机是否安全运行,是保证风机经济性运行的关键技术之一。本文介绍的风机及箱式变电站施工技术中的混凝土管桩、混凝土工程、埋管和接地网埋设和基础环安装工程的相关技术,为其他风电场的安装组建提供了参考。

(收稿日期 2010-09-10 编辑 方宇彤)