

田湾核电站 2 号汽轮机基础上部框架梁 的施工技术及工艺质量控制

王永福

(江苏省电力建设第三工程公司, 江苏省镇江市, 212003)

[摘 要] 大型混凝土框架梁采用大型钢结构支撑体系和清水混凝土模板系统。混凝土采用全面分层浇筑的施工工艺, 一次浇筑成型, 保证了施工质量及设计要求。

[关键词] 大型框架梁 钢结构支撑 大模板 清水混凝土

中图分类号: TK266 文献标识码: B 文章编号: 1000 - 7229(2004)02 - 0016 - 03

Construction Technique and Process QC for Upper Frame Beam of No. 2 Turbine Foundation in Tianwan Nuclear Power Station

Wang Yongfu

(Jiangsu No. 3 Electric Power Construction Engineering Company, Zhenjiang City Jiangsu Province, 212003)

[Keywords] large frame beam; steel structure support; large template; clean concrete

江苏田湾核电站(2 × 1000 MW 机组)是由中、俄两国共同投资的国家重点工程项目。2 号常规岛由俄罗斯圣彼得堡原子能设计院设计, 江苏电建三公司承担施工。汽轮发电机基础框架是其中最重要的大型动力设备基础, 其施工质量将直接关系到核电机组的安全稳定运行。该框架位于 21UMA 汽轮机厂房内, 为纵横梁交接而成的整体钢筋混凝土框架结构, 混凝土设计强度等级为 B25。其中, ②~④轴线为发电机部分, 平面尺寸: 19.705 × 9.4 m, 梁断面尺寸: 1.7(1.2) × 4.38 m; ④~⑨轴线为汽轮机部分, 平面尺寸 50.360 × 13.7 m, 横梁断面 2.5 × 4.38 m, 总长 2 × 13.7 m; 纵梁断面: 1.6 × 3.0 m, 总长 2.0 × 50.360 m。整个基础上部框架梁共有钢筋 295 t、模板 1 950 m²、预埋件 17 t、预埋管 126 根, 混凝土总量为 1 356 m³, 要求一次连续浇筑完成, 不留施工缝, 属大体积混凝土。

1 基础框架的结构及施工特点

1.1 该框架梁悬空高度约为 17 m (-5.1 m ~ 12 m), 总重量约为 3 500 t。此梁高度高, 重量大, 模板支撑体系的设计复杂, 而且对施工荷载的稳定性、均匀性也有较高的要求。

1.2 框架纵、横梁, 断面尺寸大、跨度大、混凝土一次连续浇筑量达 1 356 m³, 混凝土水化热不易散发, 内部温升大, 温度控制难度大。对混凝土配合比设计、应力计算、温度控制及养护、浇筑方法等提出较高的要求, 施工难度大。

1.3 作为核电站最重要的动力基础, 对混凝土的整体性要求很高且不允许出现裂缝及任何蜂窝、麻面等外观质量缺陷, 混凝土的内在质量及外观质量控制难度较大。

1.4 整个基础框架梁内共有 126 根预埋螺栓套管及 17 t 预埋件, 尤其是在混凝土浇筑过程中的控制难度较大。

2 模板方案的选择及优化

2.1 模板方案选择的原则是能够保证浇筑后的混凝土内实外光、棱角分明, 表面平整, 色泽一致, 具有清水混凝土的外观效果, 因此本次模板方案采用大模板施工工艺。

2.2 大模板在木加工间进行工厂化定量制作, 以保证模板制作尺寸的准确性及加工质量。优化配模方案, 在纵横梁交接处增配阴角、阳角定型模板, 保证棱角的分明。单块大模板尺寸尽可能做大, 一般为

3.66(4.88、6.10、7.30) $\times$ 2.44(3.66、4.88) m,以发挥大模板接缝少、整体性、平整性好的优势,在模板的接头处及梁底和梁侧预埋件侧面均贴海绵条保证接缝的严密不漏浆,提高了清水混凝土外观质量及观感效果。

2.3 大模板面板材料采用规格为:1 220 mm $\times$ 2 440 mm $\times$ 14 mm 的优质酚醛胶合板(主要力学物理指标:弹性模量不小于 4 550 N/mm²,垂向弯曲强度不小于 15 N/mm²,平行向弯曲强度不小于 20 N/mm²),背板为 25 mm 木板,间距 50 mm,中间增加 1 层塑料薄膜以增加模板的保温效果。模板背楞为 75 mm $\times$ 150 mm 木方,间距 400 mm,采用带 PVC 套管的 ϕ 14 mm 普通对拉螺栓,间距 500 mm $\times$ 1 000 mm,满足了模板系统强度、稳定性及严密性的要求。

2.4 因该框架梁断面尺寸较大,为保证大模板在混凝土浇筑过程中不变形,除加强对模板支撑系统的监控、加固外,对起关键作用的对拉螺栓采取针对性的“三紧措施”,即在混凝土浇筑前、混凝土浇筑到梁高度的 1/2 时、混凝土浇筑结束时,均对所有对拉螺栓严格紧固一遍,确保其不松动,进而保证了大模板的不变形。

3 钢筋绑扎措施的优化

3.1 该基础框架梁钢筋总量为 295 t,钢筋主筋的最大直径为 ϕ 36A - III,箍筋为 ϕ 25A - III。钢筋工作量大,规格大,间距密集,钢筋绑扎难度大。

3.2 通过二次的钢筋翻样,根据该框架梁的结构特点及钢筋的分布情况,进行了反复的模拟钢筋绑扎,据此从绑扎方向、顺序、切断、连接等方面编制了详细的绑扎方案,并严格进行了实施。

3.3 根据钢筋绑扎的需要,增加了原设计没有的钢筋骨架,便于钢筋的临时固定及控制。上下层钢筋的间距采用钢筋骨架控制,多排钢筋间的间距采用短钢筋分隔控制,同时钢筋绑扎时让出了其中的钢套管位置。

3.4 钢筋接头的连接采用了便于钢筋密集处施工的熔槽焊焊接;部分纵横梁钢筋交叉密集无法绑扎处,采取割断部分钢筋,便于其它钢筋穿插,再用熔槽焊焊接的方式将割断钢筋恢复的措施,取得了较好的效果。

4 支撑系统的设计

4.1 ②~④轴线为发电机部分,下部依次为 +8.0 m、3.4 m、0.46 m 楼层。根据计算, +8.00 m 层平台板不能够承受汽机基础的施工荷载,因此考虑对发

电机位置的各层楼板采用普通 ϕ 50 mm 钢管排架进行加固。施工中在汽轮机厂房 C - D 排、2 - 4 轴 +8.0 m 中间层楼板、+3.74 m 中间层楼板、-0.46 m 中间层楼板、-5.10 m 基础底板上,自上而下依次搭设 ϕ 50 mm 钢管支撑系统,将汽机上部框架基础的荷重最终传递至 -5.10 m 基础底板上。

4.2 ④~⑨轴线为汽轮机部分,自框架梁到 -5.10 m 基础底板,框架梁悬空高度约 17 m,之间无中间楼层,已安装部分冷凝器设备。采用普通微调螺栓直接支撑于下部框架梁上满足横梁支撑的要求;对于纵梁的支撑,因冷凝器不能承载,支撑体系不能直接支撑在冷凝器上,通过与俄设计方的沟通与协商,在下部框架柱施工时预埋了支撑施工预埋件,支撑钢梁焊接连接在施工预埋件上。以框架柱为承力点,通过施工荷载—钢梁—施工预埋件—框架柱的传力体系来完成支撑系统。

5 混凝土浇筑方案的选择

5.1 混凝土的浇筑方案:根据本基础框架的结构及施工特点,采用全面分层浇筑的混凝土施工工艺,即:整个基础框架梁内全面分成若干层来浇筑混凝土,做到第一层全面浇筑完毕后浇筑第二层时,第一层浇筑的混凝土还未初凝,如此逐层进行,直至浇筑完毕。这种浇筑方案在浇筑过程中产生的混凝土侧压力较小,施工荷载均匀、稳定,减少了混凝土浇筑对支撑体系和预埋套管精度的影响,另外有利于基础内部水化热的散发,便于温度控制,防止裂缝的产生。

5.2 混凝土的布料方式:为满足混凝土全面分层浇筑的施工工艺,我们采用了 3 台回转半径 28 m 的塔式混凝土布料机(布料速度:34 m³/h)来进行混凝土的浇筑布料,相互交叉覆盖到整个框架。布料点间距控制 2.50~3.00 m 左右,采用行列交错式布置,共设置布料点 82 个,因本框架梁断面高度均超过 2 m,且梁钢筋密集,为防止布料过程中混凝土出现离析,所有布料点均采用 1.50~3.00 m 长、 ϕ 150 mm 的钢串筒下料。局部钢筋过于密集处采用打入钢楔的方式来加大钢筋间距以利串筒的挂设,串筒取出后再恢复好钢筋,复振该部位混凝土。

5.3 分层浇筑厚度的确定:根据核电站内商品混凝土的生产供应情况,并考虑到混凝土振捣器的有效作用长度,分层厚度控制为 300 mm 左右,即:整个基础框架平面面积为 445 m²,则每层的混凝土浇筑量为 133.5 m³,以每层混凝土浇筑间隔时间 2 h 计算,每小时混凝土的最大浇筑量为 67 m³。因此,施工中

我们采用了 2 台 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 的搅拌站来生产供应混凝土, 3 辆 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 泵车泵送混凝土, 3 台 $34 \text{ m}^3/\text{h}$ 布料机布料, 9 辆 6 m^3 混凝土搅拌车运输混凝土, 满足了浇筑的要求。

5.4 混凝土振捣器的布置: 根据框架混凝土浇筑布料过程中的自然流淌以及振捣时形成的坡度, 在每个布料口的前、中、后 3 处布置振捣点, 即: 前 - 布料点出口布置 1 点, 中间布置 1 点, 后 - 坡脚处布置 1 点, 振捣点的间距控制在 $350 \sim 400 \text{ mm}$, 振捣时间控制在 $15 \sim 30 \text{ s}$, 每台振捣器作用范围取 1.8 m 左右, 共布置 45 台振捣器。

5.5 混凝土的浇筑: 浇筑过程中, 我们要求所有振捣工按照既定位置及范围严格进行挂牌施工, 责任到人, 确保了混凝土浇筑质量。浇筑时严格振捣工艺, 采用标志杆 (用油漆画出各浇筑层位置并标出层数) 控制混凝土分层厚度及浇筑层标高。因框架梁中预埋螺栓套管较多, 且精度要求较高, 浇筑到预埋套管位置时混凝土的下料、振捣及混凝土的上升速度要均匀缓慢对称上升, 防止发生偏差。对于浇筑过程中产生的混凝土表面泌水, 采用在侧面模板上用手枪钻打孔排水和用海绵球吸水的方式进行清除。共连续浇筑 28 h , 完成了框架混凝土的浇筑。

5.6 混凝土表面处理: 混凝土初凝前进行二次振捣, 混凝土表面用刮杠按设计标高找平后, 用木抹子抹压 3~4 遍, 混凝土终凝前再用木抹子抹压 1 遍, 使混凝土表面更密实, 闭合收水裂缝, 避免混凝土收缩裂缝的产生。

5.7 混凝土的养护: 框架梁浇筑时为 4 月份, 平均环境温度约为 16°C , 因此, 采用蓄热保温法进行混凝土养护。框架梁底面直接利用模板本身进行保温, 梁表面及侧面采用覆盖一层草帘和塑料薄膜进行保温, 梁侧面洒水保湿, 梁表面蓄水养护, 以延缓混凝土降温峰值。

5.8 混凝土温度控制: 采用 ICS-01 自动循环测温仪进行混凝土的测温, 测温点采用热电偶, 分别布设在框架梁的上边缘、中心、下边缘。混凝土浇筑后 3 天内, 每 2 小时测温一次, 以后每 4 小时测温一次, 根据测温值相应的调整养护措施, 当混凝土内部最高温度与大气温度之差小于 25°C 时, 停止测温工作。为控制混凝土水化热的升温, 采用冷水搅拌混凝土, 混凝土入模温度控制在 $15^\circ\text{C} \sim 19^\circ\text{C}$ 。根据计算, 混凝土降温梯度在前 7 天控制在 5°C/d 以内, 7 天后控制在 3°C/d 以内, 使降温速度远小于升温速度、应力松弛系数小于升温时的应力松弛系数, 故降

温拉应力小于升温压应力, 进而避免裂缝的出现。测温结束后, 我们根据测温结果分析, 混凝土中心最高温度为 48°C , 框架梁断面上的温差基本呈对称抛物线分布, 上下边缘温差仅为 1.3°C 。说明保温措施良好, 满足了温控要求。

6 工艺质量的控制

6.1 加强组织: 建立健全该项目施工的质量保证措施, 严格施工放线、支撑体系施工、模板铺设、钢筋绑扎、埋件 (管) 安装及混凝土施工链各环节的质量检验制度, 加强了力能配置, 本次施工组织投入的主要力能配置如表 1。

表 1 主要力能配置

管理及施工人员	混凝土振捣器	布料机	混凝土泵车	混凝土运输车
186 人	52 台	3 台	4 辆	8 辆

6.2 加强混凝土振捣施工: 混凝土的振捣作业是保证混凝土外观工艺质量的关键, 我们的要求与混凝土的浇筑要求 (5.5 节) 一样。在浇注过程中值班技术人员、质检人员及钢筋工、木工加强了值班, 注意复测预埋套管位置、标高、垂直度, 防止发生偏差。

6.3 加强养护: 设立专职的混凝土测温及养护小组, 24 h 值班作业, 对混凝土浇筑后温度变化随时监控随时调整, 保证其符合施工要求。

6.4 混凝土的质量评定: 浇筑过程中, 留设了标准养护及相同条件养护混凝土试块, 分别试验混凝土 7 天、14 天、28 天、60 天、90 天、180 天龄期强度。拆模后, 在对框架梁混凝土表面检查时未见任何裂缝, 混凝土表面光滑, 整体性好, 无任何蜂窝、麻面等外观质量缺陷, 表面质量优良, 达到清水混凝土观感效果, 混凝土 28 天抗压强度 (同条件) 达到设计强度的 115%, 满足了设计要求。

7 结论

7.1 对于大型的框架梁结构, 采用钢结构支撑体系、大模板施工工艺、全面分层法浇筑混凝土有利于保证结构的整体性及外观观感效果, 是一种比较理想的施工工法。

7.2 大型框架梁结构, 对技术及材料准备、混凝土供应、人员、机具等先决条件有较高的要求, 各项施工保障、应急措施等要充分、及时到位, 才能保证施工的顺利、圆满。

(责任编辑: 马 明)