

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.012

宁德核电站 CPR1000 汽轮发电机弹性平台施工技术

邓吉琳, 靳希军

(中广核工程有限公司, 福建 宁德 355100)

摘要:结合宁德核电站一期汽轮发电机弹性平台施工过程,阐述了汽轮发电机弹性平台施工过程中高支模施工体系、弹簧隔振器安装、高精度埋件施工、清水混凝土施工、大体积混凝土施工等技术难点及采取控制措施,为后续核电站汽轮机运转层平台施工提供参考。

关键词:核电站; CPR1000; 汽机运转层平台; 弹簧隔振技术

中图分类号: TU761 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2014)S1-0044-06

Construction of the Turbogenerator Elastic Platform for CPR1000 Nuclear Power Station

Deng Jilin, Jin Xijun

(China Guangdong Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Ningde 355100, Fujian, P. R. China)

Abstract: Combined with the construction process of turbogenerator elastic platform for Ningde Nuclear Power Station, elaborated the technical difficulties and control measures during high formwork construction, spring vibration isolator installation, high precision embedded parts construction, fair-faced concrete construction and mass concrete construction, to provide reference for the follow-up construction of turbogenerator elastic platform.

Key words: Nuclear Power Station; CPR1000; turbogenerator elastic platform; spring vibration isolator technology

弹簧基础在欧洲已经是一种比较成熟、应用广泛的汽机基础型式,德国于1968年建成的第一座600 MW核动力汽轮发电机组用的就是弹簧基础,投产后取得很大的成功。之后,不仅在半速汽轮机中得到应用,而且在全速汽轮机的常规火电机组中,弹簧基础得到广泛应用使用。据不完全统计,至今在世界范围内已有500多台核电、火电机组采用了弹簧隔振基础,其中火电机组的最大功率达到1 000 MW,核电机组的最大功率达到1750 MW。近年来,建设的岭澳二期核电站(2×1 000 MW)、辽宁红沿河核电站(4×1 000 MW)、广东台山核电站(2×1 750 MW)等一大批项目核电站,都采用弹簧基础。

弹簧基础之所以得到如此广泛的应用,主要是其具有明显的优越性,可以概况为以下几个方面:

1) 弹簧系统具有良好的竖向隔振效果。弹簧基础的系统频率竖向振动的基

频一般只有2~3 Hz,远远小于机器的工作频率(25 Hz或50 Hz),因此能够隔绝大部分机器产生的振动,使得支承结构仅承受静力荷载,减小了柱的负担。另外,台板梁与柱由刚接改为铰接,柱顶弯矩减小到零,解决了“小立柱支承大台板”柱顶弯矩过大的问题,立柱尺寸大大减小,造价高的厚底板可省去。同时,也减小了对汽机机组周围设备产生的振动,设备工作条件好,使用寿命长。

2) 弹簧基础具有优良的抗震性能。由于在柱顶设置弹

簧,整个结构的侧向

刚度进一步降低,在弹簧组中布置阻尼器可以消耗地震作用下的能量,降低台板的响应加速度,利于机组安全运行,并且能够使地震作用产生的水平剪力降低。弹簧基础可以消除不均匀沉降,可在不停机的情况下实现机组的快速调平。在弹簧位置处可以很方便的增加或减少调平钢板,来消除结构的不均匀沉降,快速调平机组。

3) 解除了汽机基础台板与下部结构的动力耦合。由此可以考虑取消汽机基

础的岛式布置,而将汽机基础下部结构与主厂房结构设计成整体结构,这种布置方案对汽机基础和主厂房抵抗高烈度的地震作用是十分有利的。

宁德核电厂常规岛1#~4#汽轮发电机的基础采用弹簧隔振的弹性基础,这种基础形式具有抗震动、抗地震、快速对中调平的优点,本文结合宁德1、2、3号机汽轮发电机弹性平台施工过程,阐述弹性平台从弹簧隔振器安装到运转层平台施工主要技术难点及采取技术控制措施。

1 工程概况

宁德核电厂一期工程采用CPR1000技术路线,装机容量为4×1 000 MW级压水堆核能发电机组,采用法国阿尔斯(Alstom)通技术,由东方电气集团供货的半转速(1 500 r·min⁻¹)冲动凝汽式汽轮发电机组,形式为单轴中间再热三缸四排

气,由一个高中压合缸和两个双流式的低压缸组成。平面呈不规则矩形,最大尺寸长 60.50 m、宽 21.10 m,由 4 条纵向梁和 6 条横向梁组成,下部由 12 根 16m 高的 C40 钢筋混凝土柱支撑,柱子上安装有 76 支弹簧隔振器,整个运转层由弹簧隔振器支撑,其上设有数量众多的大型高精度埋件。作为核电常规岛汽轮机主厂房的“心脏”,设计对弹簧隔振器安装、大型预埋件精度控制、混凝土施工质量等方面都有很高的要求。

2 主要技术难点

2.1 高支模满堂脚手架施工

汽轮机基座筏板顶标高-4.0 m、运转层顶标高 16.17 m,汽轮机柱底至运转层顶标高 20.17 m,运转层模板支撑高度 16.27 m,梁底承受荷载达 124 kN/m²,为典型的高大模板支撑体系。由于高支模系统支撑平台高度高、跨度大、荷载大,安全风险较高,现场经过严格结构计算,并根据规范和现场实际情况进行复核,采用了满堂承重脚手架施工方案,在施工过程中不断优化施工方法,强化施工管理,确保施工的安全和质量。

2.2 弹簧隔振器安装

弹簧隔振器是安装在汽机基础立柱与顶台板之间一种弹性元件,它打破了常规电站汽轮发电机基础立柱和顶台板的刚性连接,取而代之的是弹簧隔振器,它具有抗震动、抗地震、快速对中调平的优点。为了保证弹簧隔振器安装位置准确,能均匀承受整个运转层平台的荷载,以及精确控制释放后运转层平台顶部的平整度,因此对安装弹簧隔振器的柱头平整度要求极高(水平度 1 mm/m,标高偏差 2 mm)。

2.3 甲供高精度埋件安装

汽机运转层包括水准观测点、普通埋件、预埋钢板、电缆套管、螺栓套管、螺栓组预埋件,埋件数目、规格多,尤其是汽轮发电机的本体埋件,重量大,加固难度高,精度要求严,过程控制难度极大。其中低压缸预埋件和高压阀预埋件在下部均装焊了螺母,其精度要求极高,其中高压阀预埋件要求同组位置相对偏差±1 mm,低压缸预埋件中心偏差≤±2 mm,标高最小允许偏差±2 mm,甲供埋件水平度偏差≤±0.07%,如何保证埋件支撑加固体系的稳固性,保证大型埋件安装精度是需要重点研究的课题。

2.4 清水混凝土模板技术

由于整个汽轮机运转层平台混凝土外观质量要求高,混凝土表面为清水混凝土,且平台顶部甲供高精度埋件标高偏差仅为±2 mm,因此需建立牢靠的模板支撑加固系统才能满足施工需求;加之运转层平台施工周期较长,如何避免施工过程中模板污染损坏,确保混凝土表面光洁度良好,也是施工控制难点。

2.5 大体积混凝土施工

运转层平台梁最大截面尺寸为 3.765 m×3.970 m,跨度 13 m,属于大体积混凝土施工,大体积混凝土的施工技术要求比较高,除了必须满足一般混凝土的施工要求外,在施工中特别要防止因水泥水化热引起的温度差而产生温度应力裂缝。因此,控制混凝土浇筑块体因水化热引起的温升、混凝土浇筑块体的内外温差及降温速度,防止混凝土出现有害的温度裂缝(包括混凝土收缩)是其施工技术的关键问题。

3 施工技术控制措施

3.1 高支模满堂脚手架施工

汽轮发电机运转层满堂脚手架搭设高度为 16.27 m,梁底承受荷载达 124 kN/m²,经综合考虑,采用扣件式满堂脚手架作为汽机台板的支撑,脚手架在施工前参考概率极限状态设计法经过严格受力及稳定性验算,确保施工过程中的整体承载力、稳定性和工程的施工质量。

3.1.1 脚手架搭设参数 经过计算,16.17 m 大梁投影范围内支撑立杆间距为 300×500 mm,横杆步距为 1 500 mm;顶板空档区脚手架从筏基顶或+6.200 m 平台顶搭设到+16.20 m 平台以上,做为操作及模板支撑架,其立杆间距为 1 500×1 500 mm;外围一圈脚手架从地面一直搭设到+16.17 m 平台以上 1.5 m 左右(兼做围护、操作及模板支撑架),外架与承重架连成整体。加固横向剪刀撑以及外架剪刀撑必须与整体脚手架同时搭设,并且脚手架每隔一步水平杆均要抱柱以增加起整体性。

3.1.2 脚手架压缩量计算 为了弥补施工阶段上部荷载对满堂脚手架的作用,需要计算脚手架的压缩量,单根立杆荷载计算单元如图 1,单杆轴压力计算:

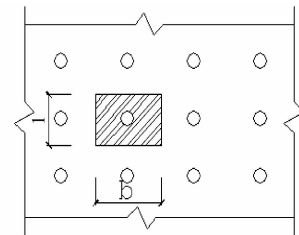


图 1 单根立杆荷载计算单元

钢筋混凝土自重 $N_1 = 25 \times 1 \times 3.97 = 99.25 \text{ kN/m}^2$

模板、工字钢、连接件及支撑架等自重 $N_2 = 1.1 \text{ kN/m}^2$

施工荷载 $N_3 = 2.5 \text{ kN/m}^2$

合计: $N_4 = 1.2 \times (N_1 + N_2) + 1.4 \times N_3 = 124 \text{ kN/m}^2$

单根立杆所受轴向压力为:

$N = N_4 \times b \times l = 124 \times 0.3 \times 0.5 = 18.6 \text{ kN}$

压缩变形量计算公式为: $\Delta = k \times N \times L / (E \times A)$

经验系数 k 取 1.04

$N = 18\ 600 \text{ N}$ ——单杆轴压力

$L = 16\ 000 \text{ mm}$ ——立杆总长

$E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ——弹性模量

$A = 489 \text{ mm}^2$ ——截面面积

压缩量: $\Delta = k \times N \times L / (E \times A) = 1.04 \times 18\ 600 \times 16\ 000 / (2.06 \times 10^5 \times 489) = 3.07 \text{ mm}$

考虑到脚手杆接头压溃顶托间未顶紧情况,取预留沉降量为 10 mm。及脚手架搭设高度提高 10 mm,以弥补施工阶段满堂脚手架的压缩量。

3.1.3 满堂架施工控制要点

1) 脚手架钢管及扣件进场时,需经质检人员严格验收,并对脚手架钢管及扣件进行取样送检,对扣件抗滑性能、抗破坏性能、扭转强度、抗拉性能等指标进行试验,试验结果应满足《钢管脚手架扣件规范》要求,确保现场使用的脚手架钢

管及扣件质量合格。

2) 脚手架搭设过程严格按照施工方案及脚手架施工规范进行, 确保施工安全, 质量可控。

3) 满堂脚手架搭设过程中, 需安排质量安全专项小组, 对整个搭设过程进行全程跟踪检查, 以确保脚手架钢管间距、垂直度、剪刀撑、钢管接头位置和方式等各项指标在允许误差范围内。另外还需对扣件的拧紧力矩进行重点检查, 使拧紧力矩控制在 40~65 N·m 范围内。通过过程监督, 使得架体搭设过程中发现的问题进行及时改正, 避免后续不必要的返工或大面积整改。

3.2 弹簧隔振器安装技术

宁德核电站一期汽轮发电机基础使用的弹簧隔振器由

GERB 厂家提供, 在汽机运转层平台底部的 12 个柱头上共计安放 76 支弹簧隔振器, 分别为 TK 型(弹簧隔振器)和 TVEK 型(粘滞阻尼隔振器)两种类型 4 种型号, 简图及设计参数见图 2、表 1。为了减少机组与基础在启动、停机以及运行过程中时产生共振, 避免产生过大的振幅, 每个柱头均由一只带阻尼剂的隔振器和其他类型的隔振器组合并联使用, 使隔振效率更加明显。

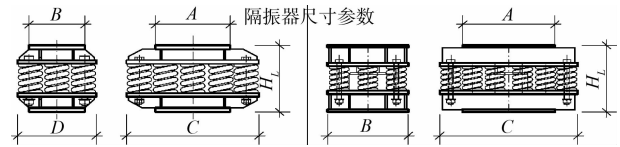


图 2 TK、TVEK 隔振器简图

表 1 TK、TVEK 隔振器设计参数

ITEM 类型	PCS 件数	TYPE 型号	A/mm	B/mm	C/mm	D/mm	H _L /mm	K _V /(kN·mm)	K _H /(kN·mm)	W/kg
1	6	TK-950.1612.32	200	48	580	580	570	29.8	15.9	452
2		TK-1030.1810.32	290	480	670	580	570	32.3	17.9	533
3	40	TK-1200.2207.32	490	480	870	580	570	37.6	21.8	698
4	18	TK-1300.2216.32	490	480	870	580	570	40.9	21.9	714
5	12	TVEK-950.1612.32	640	580	990	580	570	29.8	15.8	787

3.2.1 汽机柱头灌浆 安放隔振器的汽机柱头侧面提前预埋措施埋件(图 3), 埋件上焊接支撑上部模板的槽钢, 使柱头周边形成刚性支撑。柱头面积较大且平整度要求较高, 偏差不得超过 2 mm/m, 为确保柱头平整度满足要求, 因此柱头一次混凝土浇筑时提前预留约 5 cm 的灌浆层, 并采用流动性较好的 SIKA 灌浆料进行二次灌浆。

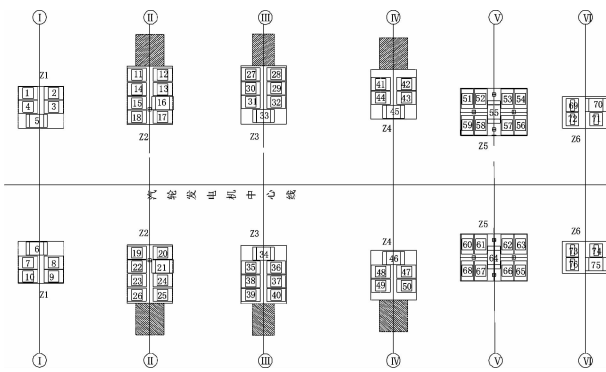


图 3 隔振器安装布置图

施工工序为: 凿毛→制作钢框→测量调整→灌浆→测量放线→打磨, 一次浇筑时预留 5 cm 的二次灌浆层, 凿毛后柱头用 50 mm×50 mm 的角钢包边, 四边焊接成一个钢框。钢框面标高为 11.630 m, 灌浆前用靠尺检查, 控制角钢面平整度为 2 mm/m。

在检查了钢框平整度后, 并且砟面清理、钢筋、模板均通过检查验收合格后才进行柱头的灌浆, 灌浆后刮平顶面。

经养护灌浆层强度达到 70% 后, 柱头进行测量放线, 放出弹簧隔振器安装范围, 并对每个隔振器范围内的 5 点(4 个角点、1 个中心点)的相对标高进行测量控制(相对标高±2 mm)。对平整度不满足要求的点进行打磨处理, 采用手动

砂轮打磨+平板着色推研的方法进行处理, 保证隔振器接触面 75% 以上的点满足要求, 并出具正式测量报告。

3.2.2 弹簧隔振器安装 施工工序为: 检查隔振器型号→安放 4 mm 纺织垫板→安装隔振器→安放 2 mm 纺织垫板→安放调节垫板→安放 2 mm 纺织垫板→用塑料薄膜包裹→安装预埋钢板。

GERB 厂家提供的安装手册要求隔振器于运转层底模之间预留 10mm 脚手架沉降空间, 由于核电机柱头面积大, 最大有 3 070 mm×2 090 mm, 隔振器上部预埋件埋件最大有 3 180 mm×2 200 mm, 若留 10 mm 空间, 预埋钢板在上部数千吨的台板荷载下, 中间部位会受压变形, 导致隔振器无法释放、找平。因此, 将柱头模板柔性支撑改成刚性支撑, 取消了 10 mm 脚手架沉降空间, 改进后的支撑体系如图 4。

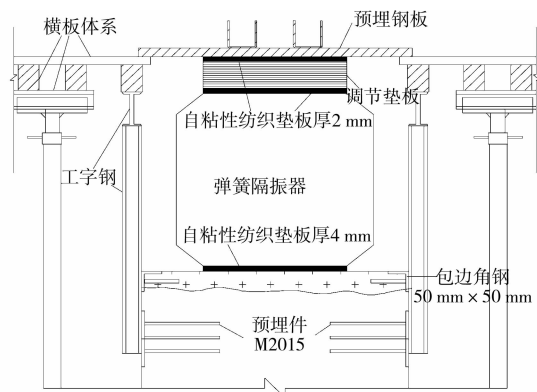


图 4 弹簧隔振器安装图

因此现场放置的调平镀锌钢板厚度计算公式为: 预留调平钢板厚度=底模设计标高-柱顶设计标高-隔振器理论高度-纺织垫片厚度。需注意的是为了便于今后调整, 较薄的

镀锌钢板尽量放在上面,整个过程镀锌钢板的数量以及型号均应做好记录。

以上工序验收合格后,用较厚的塑料布从上到下连同调平钢板与隔振器一起严密包裹,保护隔振器,防雨、防潮、避免在施工过程污染。然后按照设计要求安装覆盖钢板,覆盖钢板的边缘支撑在预留空洞的边沿,单边搭接宽度不小于 50 mm,同时钢板四周应有防止移动的固定措施,使钢板底表面和底模板的顶表面齐平,钢板就位后用钢钉固定牢靠,并用水准仪检查钢板的平整度是否符合要求。

3.3 甲供高精度埋件安装

3.3.1 运转层大梁预压实验及埋件沉降预留 选择在汽机基座Ⅲ轴线 CB3 大梁上进行预压试验,长度 12 m,梁宽度为 2.357 m,预压堆载钢筋约 280 t,考虑到施工荷载及埋件重量,使用 100 捆钢筋约 300 t 重。观测点为在梁侧底模支撑槽钢上各焊接 4 个钢筋头,水准仪架设在汽机 V 轴线东侧柱头上。

加载、卸载均需均匀进行,钢筋对称放置,大梁两侧脚手架架体需升至 16.17 m,两侧并用钢管斜撑支撑,防止钢筋捆

倾倒。钢筋堆放应为 10 捆、9 捆交错堆放,每层之间用木方隔开以便吊装,每加载二层间隔持续荷载至少 0.5 h,然后观测位移和沉降。全部加载完毕后当沉降量小于 0.1 mm/h,并连续出现 3 次,可认为沉降已趋于稳定,可测得总沉降量。卸载至零后,每隔 3 h 测量一次残余沉降量,直至趋于稳定。预压实验观测结果大梁端头沉降为 3 mm,大梁中间沉降为 5 mm。根据预压实验结果,在施工过程中大梁端头的甲供埋件整体抬高 3 mm,大梁中部的甲供埋件整体抬高 5 mm,以抵消运转层混凝土浇筑后的沉降量。

3.3.2 甲供埋件安装过程控制 由于汽机运转层甲供本体埋件,重量大,精度要求严,过程控制难度极大。其中低压缸预埋件和高压阀预埋件在下部均装焊了螺母,其精度要求极高,其中高压阀预埋件要求同组位置相对偏差 ± 1 mm,低压缸预埋件中心偏差 $\leq \pm 2$ mm,标高最小允许偏差 ± 2 mm,甲供埋件水平度偏差 $\leq \pm 0.07\%$,这对现场施工来说不仅是经济上的挑战,更是技术上的考验。为了更好的控制埋件精度,现场制定具体的埋件专项加固、定位程序(图 5)。

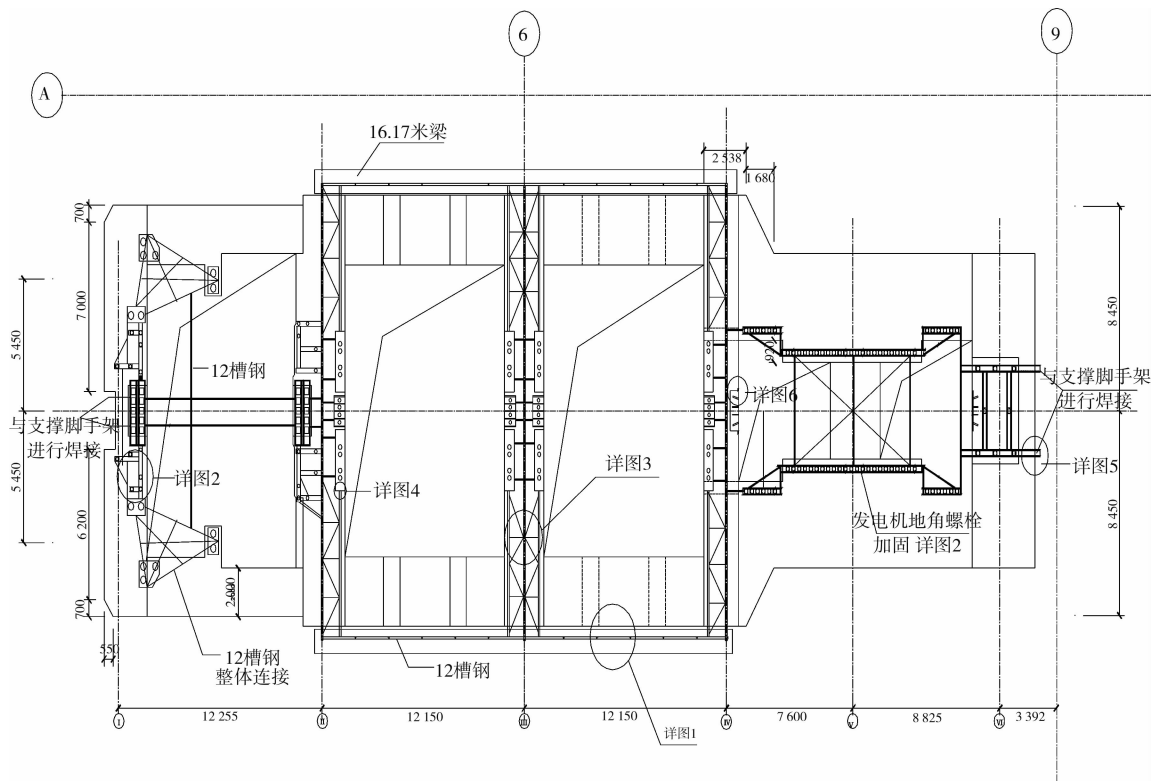


图 5 运转层埋件桁架加固示意图

运转层上的本体埋件根据相关性分为 5 个区:高中压缸前轴承区、高中压缸后轴承区、低压缸 1 后轴承区、低压缸 2 后轴承区、发电机区域。在Ⅱ~Ⅳ轴线 16.17 m 侧混凝土梁顶预埋埋件,焊接固定梁,将低压缸 2 后轴承区、低压缸 1 后轴承区、高中压缸后轴承区的加固桁架在此连接为一个整体,各个区域的加固桁架上焊接埋件限位角钢与甲供埋件独立加固体系连接为一体,这样不仅限制埋件上下移动,也约束了埋件的水平位移,经验反馈这种加固形式效果较好,有效的保证了其轴线的准确性,埋件偏差符合设计要求。

高中压缸前轴承区域和发电机区域,周边悬空,无处固定,加固难度较大。现场采用通过模板底部与套管相匹配的

圆木塞或角钢框用于螺栓套管的定位。顶面采用双拼槽钢加固套管,并用角钢将两侧的槽钢连接为一体,在焊接过程就根据图纸要求的间距将定位的角钢焊接牢固,然后在依托梁面整体加固桁架外的调节螺母进行轴线的精度调节,调节完成后再将顶面的加固桁架连接在一起形成一个整体平面型钢支撑架。

由于在混凝土浇筑过程中,混凝土侧压力、施工机具和人员走动等因素均会对甲供埋件精度产生一定的影响,因此对于精度要求极高的埋件在支撑体系上部采用了可以进行精确调整的螺栓调节系统,在埋件支撑架上部侧面和底面安装 M24 的螺栓,使得埋件可以在上下和水平位置进行微调。在

混凝土浇筑过程中,由测量人员进行全程跟踪测量,当发现埋件超差时,及时通过螺栓进行现场微调,确保埋件最终准确定位。

由于甲供埋件精度要求极高,大体积混凝土浇筑过程中对埋件的作用力、混凝土凝固过程中存在的内部应力、模板拆除后混凝土的收缩及徐变等各种因素影响,使得该区域的埋件浇筑后的精度仍存在一定的不确定性,实践证明这种不确定性随着桁架加固强度增大而降低,埋件的合格率随着加固桁架的投入增大而增大,因此汽轮发电机甲供高精度埋件的施工是值得持续重点研究的课题。

3.4 清水混凝土模板技术

在汽机运转层施工中模板选择至关重要,由于其外观质量要求达到清水砼标准,而且考虑到汽机平台的重要性,因此选择的模板是否符合要求直接影响到混凝土的成品外观质量以及整个工程的质量,故模板系统的面板均采用 18 mm 厚光面模板以提高混凝土的光洁度。经过受力计算,底模第一道背楞采用 50 mm×100 mm 木方,东西方向布置,间距 150 mm;第二道背楞采用双拼 12# 槽钢,南北方向布置,间距为 300 mm,槽钢之间需用 12 钢筋@2000 横向连接一道以增加其整齐性。侧模内背楞采用 50×100,间距 200 mm,外背楞采用双根 12# 槽钢,间距 600 mm,模板的拼缝处均粘贴 2 mm 厚的海绵胶条,使拼缝搭接处接口严密,防止漏浆。

表 2 混凝土浇筑厚度与混凝土绝热温升的关系值

浇筑厚度	不同龄期的 ξ									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
取 4 m	0.74	0.73	0.72	0.65	0.55	0.46	0.37	0.30	0.25	0.24

T_1 :混凝土的绝热温升,℃;

m_c :每立方混凝土水泥用量,取 322 kg(配合比中数据);

k :粉煤灰掺量 80 kg/m³(配合比中数据);

F :折减系数取 0.3;

Q :每千克水泥水化热量,取 375 KJ/kg;

c :混凝土的热比,取 0.96 J/kg·K;

ρ :混凝土的质量密度,取 2 400 kg/m³。

经计算各龄期混凝土内部中心温度 T_{max} 见表 3:

表 3 不同龄期时的混凝土内部中心温度

龄期/d	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
T_{max}	66.67	66.1	65.55	61.80	61.60	50.90	45.84	41.89	39.08	38.52

由表 3 可以看出,在 3 d 龄期时混凝土中心温度最高为 66.67℃,为防止混凝土产生温度裂缝,结构混凝土表面将采取塑料薄膜覆盖,外盖双层岩棉被进行保温养护,并进行测温 and 测温记录,当结构混凝土表面温度与大气温度差低于 25℃ 时逐渐拆除保温层。在结构进行大体积保温养护期间日降温梯度控制在 1.5℃ 之内,并且在发现内外温差接近 20℃ 时采取加厚保温层措施,降低结构降温速度,使结构内外温差控制在 25℃ 以内。

混凝土养护所需保温材料厚度:

保温材料所需厚度计算公式: $\delta_i = [0.5h\lambda_i(T_b - T_a)] / [\lambda(T_{max} - T_b)] \cdot K$

式中: δ_i 为保温材料所需厚度,m;混凝土的导热系数 $\lambda = 2.33$ W/m·K;保温材料的导热系数 $\lambda_i = 0.044$ W/m·K;大体积混凝土结构厚度 $h = 4.00$ m;混凝土达到最高温度时大气平均温度 $T_a = 20.00$ ℃;混凝土中心温度 $T_{max} = 67.97$ ℃;混凝土与养护材料接触面处温度,当内外温差控制在 25℃,

考虑钢筋混凝土自重会导致脚手架下沉,大梁底模板整体要略微抬高,根据运转层大梁预压实验结果,所有柱子周边区域承重架顶槽钢整体抬升 3 mm,横梁按起拱 3L/1 000 mm 控制模板标高,纵梁按起拱 1L/1 000 mm 控制模板标高。施工过程中需注意底模板的主龙骨防止顶托中间,防止立杆偏心受压;同时需检查顶托松紧程度是否一致,确保立杆均匀受力。模板的拼装质量需安装清水混凝土施工工艺进行控制,在施工过程中需加强模板保护,防止污染损坏,确保混凝土成品外观质量。

3.5 大体积混凝土施工技术

汽机运转层平台长 60.5 m,宽 21.1 m,厚为 3.97 m,混凝土总方量为 1 810 m³,采用 C35P6 加纤维混凝土,设计一次性整体浇筑,不留垂直施工缝和后浇带,施工过程需加强各环节控制,避免大体积混凝土施工过程出现冷缝或温度裂缝。

3.5.1 大体积混凝土温控计算 为能有效对其内外温差进行控制,进行大体积混凝土热工及温控计算。

T_{max} :相应龄期时混凝土内部中心温度,℃;

$T_{max} = T_0 + \xi T_1 = T_0 + \xi(m_c + k \cdot F)Q/c\rho = 25 + \xi(322 + 80 \times 0.3)375/0.96 \times 2 400 = 25 + 56.315\xi$

T_0 :混凝土入模温度,取 20℃;

ξ :混凝土浇筑厚度与混凝土绝热温升的关系值(表 2);

取 $T_b = T_{max} - 25$ ℃;传热系数修正值 $K = 1.50$ 。

保温材料所需厚度:

$\delta_i = [0.5 \times 4 \times 0.044 \times (67.97 - 25 - 20)] / [2.33 \times 25] \times 1.5 = 0.049$ m。

因此保温材料采用双层 2.5 cm 厚的岩棉进行保温养护。

3.5.2 混凝土浇筑过程控制 工程混凝土浇筑采用全面水平分层浇筑方案,每层浇筑厚度控制在 50 cm,具体分层详见图 6。采用 2 台 26 m 布料机和 2 台汽车泵联合进行浇筑,浇筑顺序总体原则按照“由低到高,均匀加载,上层混凝土不晚于下层混凝土浇筑后两小时”的原则组织施工。其为大体积混凝土,混凝土浇筑方量大,连续浇灌时间长,为保证在混凝土浇筑过程中不出现冷缝,施工时必须采取措施连续浇筑,一次成型,砼浇筑前做好人员、机械、材料等的准备工作,防止砼浇筑过程中的意外情况发生对砼浇筑产生影响。

需提前对混凝土下料点进行了现场布置确定,保证了纵横梁交接处以及埋件根部混凝土振捣密实。在混凝土浇筑

过程中,技术人员全程旁站,对混凝土浇筑速度、每层浇筑高度、混凝土坍落度进行检查和控制。

砼浇筑过程中,混凝土很容易掉在面层钢筋上,造成钢筋污染,且上层钢筋面积大,面层钢筋保护困难。浇筑过程中,更换下料口位置时,及时派专人对为凝固的钢筋表面砼进行清理,有效的保持了面层钢筋的清洁。

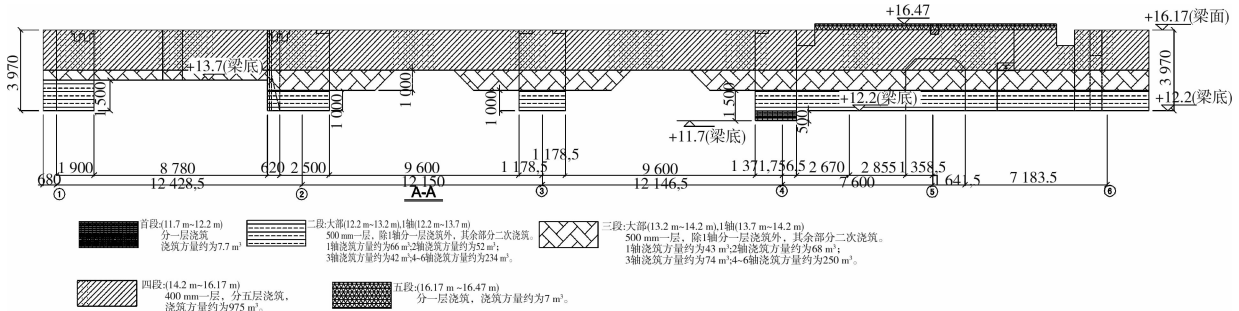


图 6 运转层砼浇筑分层示意图

工程混凝土养护采用蓄热法养护,为防止混凝土表面散热过快,混凝土浇筑完毕 12 h 候表面铺设塑料薄膜后覆盖双层岩棉并对混凝土的进行保温养护,缓凝降温,充分发挥徐变特征,减低温度应力。

3.5.4 混凝土测温控制 为更好的控制大体积混凝土水泥水化热引起的温度差而产生温度应力裂缝,因此需对大体积混凝土升温、混凝土内外温差及降温速度进行过程监控,防止混凝土有害温度裂隙的发展。

在混凝土浇筑前在运转层选取具有代表性部位放置测温导线,测温导线埋设时,按照上中下三点埋设,上下两点距基础上下表面各 15 cm,中间点在上下方向居中设置。测温导线埋设完后要用测温仪检查灵敏度,不合要求的要进行检查或更换。

现场设置专职测温工及技术管理人员,测温工应将当日测温表项目填写完整、签名后,及时交给技术管理人员,使技

3.5.3 混凝土养护过程控制 保温养护是大体积混凝土施工的关键环节,其目的主要是降低大体积混凝土的内外温差值以降低混凝土块体的自约束应力;其次是降低大体积混凝土浇筑块体的降温速度,充分利用混凝土的抗拉强度,以提高混凝土块体承受外约束力的抗裂能力,达到防止或控制温度裂缝的目的。

术管理层随时掌握第一手资料,推算温度变化趋势并及时确认是否增加覆盖或采取其它措施。

测温工作在混凝土浇筑 12 h 后进行,测温工作延续 15 d。根据以往施工经验,一般混凝土在浇筑后 3 d 左右水化热达到最高,以后趋于稳定不再升温,并且开始逐步降温。所以,测温时前 4 d 每 2 h 测一次读数,5~8 d 每 4 h 测一次读数,9~15 d 每 8 h 测一次读数。根据测定数据分析并绘制每个点的温度变化曲线图,如图 7,使混凝土最大温差不得超过 25℃,以减少混凝土的温度应力,防止出现裂缝,当混凝土最大温度差接近或快要到了 25℃,应立即通知施工队长、QC2、和工程公司相关管理人员等,并立即采取加强保温措施,使最大温差控制在 25℃ 以内。在控制内外温差的同时,还须对降温速度进行控制,要求混凝土降温速度不大于 1.5℃/d。适当推迟拆模时间,进行长时间养护,延缓降温时间和速度,充分发挥砼的“应力松弛效应”。

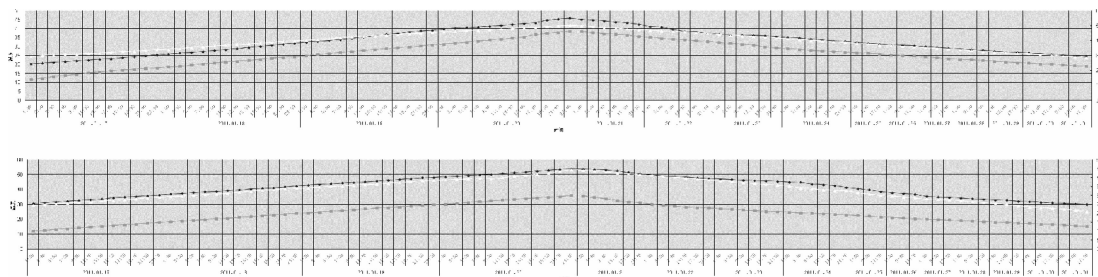


图 7 运转层温度变化曲线(图示选取为 9#、10# 点温度变化曲线图)

经温度监测,混凝土中心与表面最高温差未超过 25℃,表面与环境温度的温差未超过 20℃,均满足《大体积混凝土施工规范》的要求,有效的控制了温度应力的不利影响,对提高运转层混凝土耐久性有积极作用。

4 结 语

通过上述一系列技术措施的实施,宁德核电一期 1、2、3 号机汽轮发电机弹性平台均顺利完成施工,整个运转层平台施工质量、安全、工期、成本等各项指标控制良好,同时也为后续其他机组汽轮发电机弹性平台施工提供一定的借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 王铁梦. 工程结构裂隙控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 毛志兵. 清水混凝土施工工艺标准[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [3] 建筑施工手册[M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 中国建筑科学研究院. GB 50204—2002 混凝土结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [5] 张晓涛, 沙曾妍. Alstom 核电半速机组弹簧隔振器安装手册[M]. 2010.
- [6] 姚俊, 高吉伟. 台山 EPR 核电站汽轮机基座运转层平台施工技术[J]. 施工技术, 2013(5): 6, 9. (编辑 王秀玲)