

核反应堆筒体滑模施工技术

Technique of Sliding Formwork Construction for Rx Cylinder

赵月洲

(中国核工业华兴建设公司, 江苏仪征 211900)

摘要: 介绍了重水堆核电站核反应堆筒体滑模工程特点、施工方法及保证筒体圆整度、滑模水平度、结构垂直度、控制滑升速度和纠扭等施工技术措施。

关键词: 秦山三期 核反应堆筒体 滑模施工

Abstract: This article introduces the characteristics and method of sliding formwork construction for heavy water reactor building cylindrical wall, as well as the technical measures used to control the roundness of cylinder, the verticality of sliding formwork, structural verticality, sliding speed and entanglement and so on.

Key words: Qinshan Phase III project Reactor cylinder Sliding formwork construction

秦山三期(重水堆)核电站总投资28.8亿美元,是继压水堆型之后我国引进的又一新堆型核电站。电站核反应堆筒体为预应力钢筋混凝土结构,内径41.45 m,筒体壁厚1067 mm,筒体总高42.29 m。它与核反应堆底板、环梁和上穹顶共同构筑核安全等级屏蔽轮廓,为核压力容器的组成部分。

根据设计,核反应堆筒体采用滑动模板施工。按与总承包方加拿大原子能有限公司签订的合同中对工程进度的要求,筒体施工应在21天的工作期内完成,实际分别经过18昼夜(1号反应堆)和14昼夜(2号反应堆)的连续施工,获得成功。这一成绩创造了国际同类型核电站核反应堆筒体滑模施工的新记录。

1 工程特点

本工程除具有滑模施工的一般要求外,还具有以下特点:

(1) 根据核安全要求,反应堆筒体结构混凝土无论在何种情况下都不能出现施工缝,必须连续浇筑,一气呵成。

(2) 核反应堆筒体直径较大,结构尺寸和预埋件安装偏差控制要求严格,这加大了控制滑升结构满足技术规范要求的难度。

(3) 滑模施工始终处于高强度的作业状态中。在计划确定的21天施工期内,要完成1300多吨钢筋绑扎;146束约计1万余延长米的水平预应力金属孔道的安装;4000多件包括众多核级预埋件在内的计60余吨重的埋件安装;要浇筑6500余立方米混凝土。这对不间断滑升中的施工组织、半成品供应、质量监控等方面提出了很高的管理要求。

2 滑模系统的设计

2.1 模板及平台构造设计

综 述
核 电 设 计
工 程 管 理
工 程 建 造
运 行 维 护
核 安 全
核 电 前 期
核 电 论 坛
核 电 经 济
核 电 国 产 化
质 量 保 证
核 电 信 息

与混凝土相接触的表面采用木模板，高度1220 mm。它由宽100 mm、厚26 mm的板块通过木横带连接而成。板块之间组装时留有2-3 mm缝隙，以消除模板吸水膨胀产生的较大变形。模板设计有上小下大的0.33%的斜度，通过横带与刚性很好的"工"字形钢提升架相连。提升架沿筒墙圆周按3°~8°不等间距共布置61榀。通过提升架之间的连接，形成环筒墙的上中下三层施工平台。

三层施工平台的主要作用为：上平台用于混凝土水平运输、浇筑，筒体竖向钢筋的堆放和绑扎，千斤顶爬杆的堆放和接长。中平台（主作业平台）用于混凝土布料和振动密实，水平钢筋和预应力金属孔道的堆放和绑扎，预埋件的堆放和安装。下平台用于混凝土表面修饰及混凝土养护，预埋件封板的拆除。

2.2 液压提升装置布置

按每榀提升架设置1个千斤顶，共设置65个型号为T22S铰形夹具式液压千斤顶（布置在筒体扶壁柱处的4榀钢提升架分别设置2个千斤顶）。千斤顶为四缸结构，提升能力为195 kN/个。液压千斤顶通过4个回路连接在2台液压油泵上（其中1台备用）。由数字定时器经预先设定的程序对油泵进行控制。整套液压提升设备采用加拿大SCANADA滑模公司提供的产品。

3 主要施工方法

3.1 滑模系统提升

提升整个滑模系统的千斤顶卡头设在千斤顶上下两端，通过提升时放松、下压时卡紧的动作实现千斤顶在埋入混凝土中的Φ73 mm的钢管上的爬升，从而带动整个滑模系统的提升。千斤顶提升速度由混凝土浇筑速度和钢筋、预埋件等的安装速度决定，按13 mm/次（控制滑模缓慢滑升时）或25 mm/次（正常滑升时）的行程间断进行，正常情况下，150~200 mm/h的提升速度是较适宜的。

3.2 混凝土施工

筒体混凝土强度等级为C35（圆柱体强度）。根据不同层段钢筋的间距，在60~120 mm间调整控制混凝土坍落度。混凝土由集中搅拌站搅制，经罐车输送并加氮降温后送入随滑模装置一起提升的4个混凝土提升料斗，经过提升到达滑模上平台。在上平台由手推车实现水平运输，然后倒入均匀分布于外侧上平台的混凝土受料口，通过与受料口相连接的橡胶导管注入模板内。

按筒体圆周上每90度一个作业段共分4个混凝土水平浇筑段，两两逆向水平浇筑。每次浇筑高度约150 mm。浇筑高度的均匀性能够保证硬化程度相当的混凝土基本处于混凝土筒体的同一平面上。这是保证混凝土不致被局部拉裂或坍模的关键。

由于筒体内壁将做核级环氧树脂衬里，混凝土养护采用内表面洒水和外表面喷Sika Antisol 90系列养护剂的方法。

3.3 留洞方法

根据设计要求，筒体上留有3个供设备安装等用途的临时洞口，最大洞口尺寸为10 363 mm（宽）×10 940 mm（高）。施工中采取在千斤顶爬杆处预留混凝土柱，在柱与柱之间安装滑动模块，随滑升模板一起滑升的方法解决千斤顶爬杆因空滑可能失稳的问题。临时混凝土柱根部施工时支设模框并填砂，以利于滑模完成后混凝土柱的拆除。

3.4 垂直及水平运输

采用三台塔式起重机实现对除混凝土外的其它施工材料和机具的垂直及水平运输。人员的上下则由与滑模提升同步搭设的两个上人马道来实现。

3.5 防雨与冬期施工

（1）滑模期间出现降雨天气是不可避免的。防雨是保证滑模连续进行的重要方面。施工中采用在上平台开口带处临时覆盖遮雨层、中平台加工成有背向混凝土浇筑带的坡度等方法，尽量减少雨水进入混凝土浇筑带内。在混凝土选择方面采用水灰比较小的雨期使用的混凝土。降雨较大时，尽可能放慢滑模速度，及时排除模槽内的雨水，保证混凝土施工质量及滑模的不间断进行。

（2）根据施工进度计划，2号反应堆筒体滑模处于冬期。按以往的施工现场气温记录测算，高度在20 m以上迎风面的最低气温可能达到-5℃以下，对筒体混凝土有害。施工中用帆布和木胶合板封闭滑模中下层平台，在封闭的下平台中安装电加热装置，并环筒墙混凝土内外表面挂盖保温毡毯，随滑模系统

一起提升，保证混凝土在滑出保温毯时的最低强度足以抵抗冻害。

4 主要施工技术措施

4.1 筒体圆整度保证措施

(1) 作为滑模系统的一部分，在筒体圆心处设置的上下两层钢环圈通过钢丝绳与各提升架的连接，形成了均匀布设的径向放射状拉索，在保证最初模板支设位置准确的前提下，通过调整拉索上花篮螺栓，力求使各根拉索的受力均匀一致，很好保证了模板的圆整尺寸。

(2) 通过滑模过程中经抽芯成孔的竖向预应力孔道沿环向均布8个铅锤以监控模板径向尺寸偏差，并通过改变施工平台上内外部的堆料重量，适时调整径向偏差。

4.2 滑模水平度和垂直度控制措施

模板滑升期间控制其整体水平度是大直径滑模的难点。我们采用的措施为：

(1) 在千斤顶爬杆上设置水平限位装置，以保证千斤顶在每提升500 mm时，运用点动程序消除千斤顶的升位偏差，从而有效保证模板系统的水平度。

(2) 利用透明连通软管，在每榀提升架上设置水平液位观测系统，为模板系统的水平状况提供直观的测定。

(3) 通过合理调度调整提升平台上物料堆放的位置和重量来控制可能出现的滑模水平偏差。

应该指出的是：对于刚性较好的滑模系统来说，模板水平度控制的好坏直接影响到滑升结构的垂直度偏差。实践证明，有效控制模板水平度的同时也获得了筒体结构垂直度偏差被控制在较理想的范围内的结果。

4.3 滑升速度控制措施

(1) 用 $\Phi 13$ mm圆钢制作混凝土模内初硬化面探杆，按规定时间间隔探测已硬化混凝土在模板内的厚度。一般在保证1220 mm高度模板中混凝土基本浇满的浇筑速度下，模内硬化混凝土的高度是200~300 mm为最佳，按此参数控制模板的滑升速度。

(2) 由于混凝土的硬化速度随环境温度而变化，加上存在着结构体中某些层段钢筋密集、大型贯穿件较多而使正常的滑模速度被减慢的情况，施工中采用5套不同凝结时间的混凝土配合比。通过与液压提升参数的相互配合，来控制在模板内硬化混凝土的最佳高度，达到指导滑升速度的目的。

4.4 纠扭措施

(1) 按4.1.2所述，在用铅锤监控模板径向尺寸偏差的同时，定时检查各点沿圆周切线方向上的位置偏差，及时判定滑模系统扭转趋势。

(2) 在浇筑的混凝土墙体中，按一定间距埋入适量钢丝绳，绳端与钢筋骨架连接并通过手动导链将另一端与垂直于墙体切线的提升架连接。随着提升架的正常提升，由于钢丝绳的拉力约束限制了模板系统的扭转，达到纠扭的目的。

5 滑模施工的改进建议

与混凝土接触的模板采用金属表面，可减少因木模板表面后期毛糙所带来的混凝土表面不良，减少模板与混凝土之间的摩擦力，有利于保证质量。