

## 华龙一号穹顶吊装施工工期优化研究

葛莹

中广核工程有限公司施工管理中心, 广东 深圳 518124

[摘要]防城港二期项目3号机组是中广核华龙一号的首堆工程, 针对华龙一号3号机组穹顶吊装关键路径、施工工期进行研究、总结和优化, 对后续项目进度、前期准备工作开展、施工组织等方面提供有价值的参考。

[关键词]华龙一号; 穹顶吊装; 施工工期

DOI: 10.33142/ec.v2i5.362

中图分类号: TQ086

文献标识码: A

## Study on Optimization of Hoisting Construction Period of Hualong No. 1 Dome

GE Ying

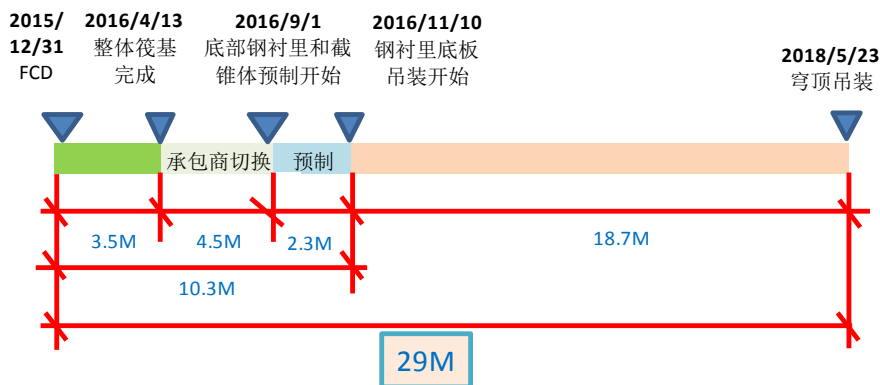
Construction Management Center of Zhongguang Nuclear Engineering Co., Ltd., Guangdong Shenzhen, China 518124

**Abstract:** Unit 3 of Fangchenggang Phase II Project is the first batch of Hualong 1 project in Zhongguang Nuclear Power Co., Ltd., this paper studies, summarizes and optimizes the key path of ceiling hoisting of Hualong No. 3 unit, summarizes and optimizes the progress of the follow-up project. Preliminary preparation work carried out, construction organization and other aspects to provide valuable reference.

**Keywords:** Huilong-1; Lifting of top-top; Construction period

### 引言

华龙一号示范项目防城港二期3号机组自2015年12月24日FCD以来, 先后克服主体工程承包商切换、筹备时间短、钢衬里施工资质不足、土建结构施工难度大等一系列困难, 全力推进反应堆厂房施工进度, 反应堆厂房从FCD至穹顶吊装用时29个月, 从底板钢衬里开工至穹顶吊装用时18.7个月, 穹顶吊装前环吊安装用时1个月, 均创造了三代核电机组最短工期记录, 有效支撑了项目建设关键路径, 示范项目3号机最终于2018年5月23日顺利完成穹顶吊装, 提前8天实现集团高目标, 为实现62个月总工期目标提供了强有力的支撑。



防二3号机组穹顶吊装总体进展

图1 防二3号机组穹顶吊装总体进展

### 1 华龙一号示范项目穹顶吊装工期实践

华龙一号防城港3号机组穹顶吊装中心区、环形区FCD间隔3.5个月, 核岛土建主体合同承包商切换用时4.5个月, 中建二局钢衬里预制、安装资质到期等均占用关键路径, 若上述问题得以有效规避, FCD至穹顶吊装工期预计可缩短至20个月。

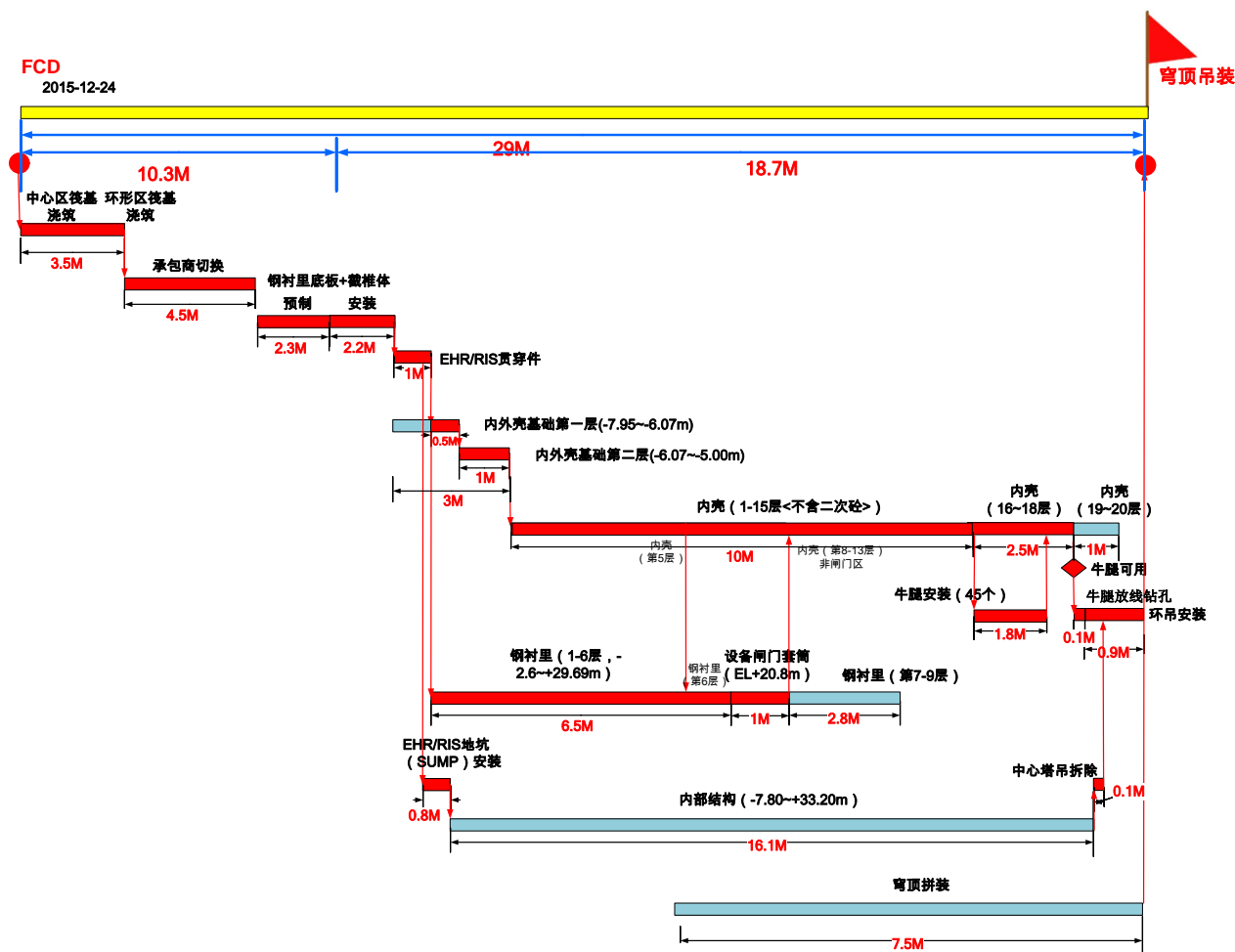


图2 吊装工期

下面从内壳钢衬里线、内部结构线、牛腿可用线、环吊可用线具体说明施工路径、主要问题及应对措施。

### 1.1 内壳及钢衬里线

防二核岛土建工程三级进度计划(3+8号机组)A版计划。内壳从第1层至第23层施工计划21.6个月,实际工期13.5个月,相比与原计划提前8个月。钢衬里第一层预制到第九层安装完毕,计划17.7个月,实际工期10.3个月,相比与原计划提前7.4个月。

华龙一号内壳壁厚1.2m(CPR项目安全壳厚0.8m),钢筋密度大(尤其是低层位),内壳施工难度增加,同时钢衬里贯穿件数量多、安装精度要求高,单岛钢衬里贯穿件总共179个,其中第一层贯穿件套筒64个、第三层69个(占总量的74.3%),前期钢衬里安装受内壳施工制约,而按照传统方法施工(N+1层筒体完工,安装N层贯穿件),贯穿件套筒、锚固板开工后推又加剧了低层位内壳的延误(大部分贯穿件套筒位于筒体钢衬里1~3层),形成了内壳、钢衬里施工互相制约的不利循环。

内壳及钢衬里的延误趋势持续增大,过程节点被逐一突破,经梳理、分析,发现主要问题为:

(1) 个别施工技术要求偏保守,未充分借鉴成熟的工程实践

CEPR项目内壳高49.715m,共分为20层施工,华龙一号示范项目内壳高51.88m,施工方案最初划分为24层,为缩小进度偏差,2017年9月初施工进行了内壳分层方案优化,拟通过减少内壳分层总数,实现工期的优化,将内壳层数优化至23层(减少1层),优化后结果与CEPR项目仍有一定差距。2017年11月中旬,在指挥部的要求下施工再次对内壳分层优化方案进行分析,并在设计配合计算后(将技术规格书中要求:“内壳混凝土浇筑一次的分段高度应小于2.5m”修改为“在满足风速小于24.5m/s且初步凝结固化前混凝土侧压高度小于1.5m的条件下,浇筑一次的分段高度约为2.5m并小于2.9m”),最终将内壳总层数优化至21层(减少3层),总体上与CEPR项目分段数量基本一致。

(2) 施工未能准确把握“通用技术要求”与“专项施工方案”之间的关系

施工前期,现场严格按照设计出版的“通用技术要求”施工,对于预计不能满足进度目标的情况,更多的是考虑通过常规方法进行解决(如增加资源投入、提高施工效率、合理安排工序间搭接),未能及时通过“专项施工方案”进行解耦(或提出“边界条件”由设计核算)。最终通过专项方案,将设备闸门套筒安装调整至第6层钢衬里完工后进行(按技术要求应在第7层完工后开工),为设备闸门区内壳尽早开工做出了贡献。

同时,结合“内壳施工→牛腿安装→环吊安装”工期紧张的情况,创造性地提出了内壳、牛腿按设备闸门预留区、非预留区解耦的方式进行施工,形成大流水作业,通过设计配合计算,最终按照“内壳第14层(顶标高+29.19m)混凝土强度达到40MPa后安装牛腿(预留区、非预留区同样要求)”进行施工,相对于“混凝土浇筑达到钢衬里筒体第八段第一根水平角钢下约300mm处(标高约为+36.42m,超出了内壳第16层顶标高+34.59m),安装环吊牛腿”的设计要求,牛腿安装开工得以大幅提前,有效的缩短了关键路径工期。

## 1.2 内部结构线

防二核岛土建工程三级进度计划(3+8号机组)A版计划22个月,实际用时16.1月,相比与原计划提前6个月。

内部结构施工过程中的主要问题如下:

(1)N1项回归:IRWST内环池天花回归成熟施工方式

示范项目IRWST不锈钢共计约60T、1080m<sup>2</sup>(CEPR项目为6.4T、107m<sup>2</sup>),根据设计最初要求,IRWST内、外环池天花均需采用“先贴法”施工,IRWST水池天花“先贴”施工将增加关键路径工期。因IRWST水池天花结构形式相比CPR为N项,但因华龙项目设计特点,该结构需要实施,经CCP梳理分析:内环池天花为非浸水类型,可以回归成熟施工方式(后贴)。该决策减轻了内部结构关键路径施工压力,优化了内部结构关键路径施工工期。

(2)N3项兜底:IRWST外环池天花施工兜底方案策划及实施

IRWST外环池为浸水类型,天花需要采用“先贴法”施工,通过CCP梳理后发现:中建二局无大型不锈钢水池及天花覆面的焊接施工经验,属于N3项。受制焊工数量不足、技能水平低影响,勉强能够同时进行2个模块的预制工作。对IRWST水池钢敷面现场施工组织,需要根据SMART原则制定详细的实施节点计划、各节点完成情况的评估标准及相应的兜底方案,包括MOCKUP和不锈钢自动焊实施。通过将23个模块优化至12个大模块,使得现场施工对接焊缝减一半,同时引入不锈钢自动焊技术,解决焊接质量对人员的依赖,确保后续施工质量和进度。该问题的提前决策和积极应对,降低了内部结构施工风险,加快了主线施工进度。

(3)施工逻辑持续优化

示范项目设备闸门参照CEPR设计,参考CEPR成熟工程实践,封头最晚应在环吊大梁吊装前完成引入,但因示范项目封头抗震销设计最初要求由现场焊接(为N1项),设备制造完成即将发运现场才发现该N1项将引发N3项,增加后续安装风险。经决策后回归CEPR成熟方案(由厂家焊接完成后供货),导致设备闸门封头到货晚,错过了原规划的吊装引入窗口,经分析,确定环吊大梁吊装完成后也具备封头引入条件,降低了设备闸门封头引入对穹顶吊装的制约。

## 1.3 牛腿安装

防二核岛土建工程三级进度计划(3+8号机组)A版计划2个月,实际用时1.8月,相比与原计划持平。

根据B.T.S规定:“只有当内壳混凝土浇筑达到钢衬里筒体第八段第一根水平角钢下约300mm处(高度约为+36.42m),方可安装环吊牛腿”。若按此要求,需内壳施工超过第16层(顶标高+34.59m),结合示范项目实际情况,若按此要求施工,则牛腿安装时间需大幅后推,且全部安装工作均占用关键路径,影响环吊安装,冲击穹顶吊装高目标。经施工CCP梳理后发现,CPR及CEPR项目在B.T.S中均无牛腿安装时机的规定,经多次设计复核计算,确定了“内壳第14层(顶标高+29.19m)混凝土强度达到40MPa后安装牛腿(预留区、非预留区同样要求)”的新施工逻辑。牛腿安装逻辑的优化,使得牛腿安装开工时机得到较大幅度的提前,缩短了牛腿安装在关键路径上的工期。

内壳按“设备闸门区”、“非设备闸门区”解耦施工,非设备闸门区牛腿安装得以提前开展,通过学习曲线,使得后续牛腿安装工效得到了大幅度提升(首个牛腿吊装,最初需用时约4小时,成熟后已实现0.5小时/个)。

## 1.4 环吊可用线

防二核岛土建工程三级进度计划(3+8号机组)A版计划3个月,实际用时1月,相比与原计划节约2个月。

根据B.T.S规定:“当混凝土浇筑达到钢衬里筒体第九段下部第一根水平角钢标高处且混凝土强度至少达到设计强度时,才可以安装环形吊车。只有当环形吊车安装好之后才可以安装穹顶钢衬里”,且该规定为设计在施工阶段的强制性要求。因该要求并未明确具体设计强度及所安装的环吊部件,经反复测算,根据现场条件,设计将第17层混凝土作为嵌固端,假定第18层混凝土强度满足C40要求,对钢衬里开始牛腿上部加设环轨梁的可行性进行了验算。钢衬里内力计算的结果表明:钢衬里和角钢应力限值和变形满足要求;牛腿部位内力计算表明:牛腿各部位内力和牛腿部位后部混凝土的应力和变形满足要求。环吊轨道梁吊装时机得到明确,消除了关键路径工期等待的风险。

穹顶吊装前关键路径分析时,在不考虑天气等外部因素影响的条件下,通过增加施工资源、合理轮班等措施,穹顶吊装前环吊安装的理论工期为43天(对比成熟机组环吊安装实际工期最短为63天),采用环吊轨道梁与内壳、牛腿同步“解耦”分区安装、环吊安装逻辑继续优化研究等,最终综合考虑技术上的可行性分析、可靠性,风险的可控性及综合进度效益,最终决策:通过现代精密测量仪器的使用,对环梁调整垫板的加工方式进行优化,将环轨梁安装、调整完成后通过实测数据进行垫板精加工,调整为通过精密测量仪器及方法,在环轨梁吊装前完成理论位置测量,通过计算得出调整垫板的最终厚度,提前完成垫板的精加工,同时作为兜底方案,补充采购45块调整垫板作为备件(即:1用1备),该方案下最多可缩短穹顶吊装前环吊安装关键路径工期7天,环吊传统安装逻辑、示范项目环吊安装逻辑如下图。

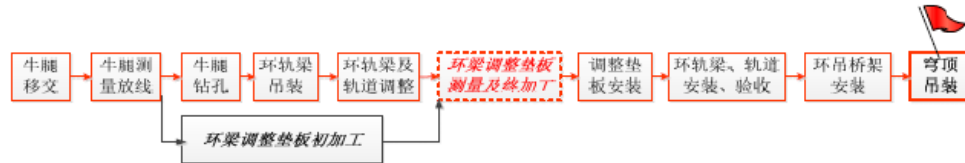


图3 环吊传统安装逻辑

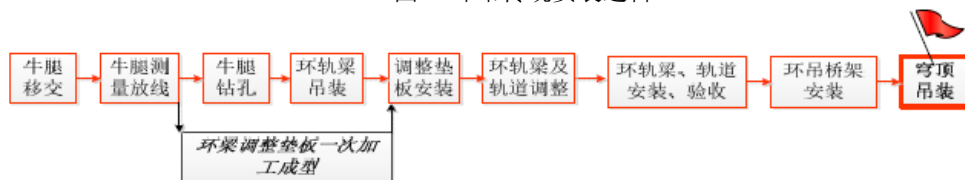


图4 示范项目环吊安装逻辑

## 2 后续项目工期优化及建议

华龙一号示范项目在技术、管理方面采用新方法、新手段,为后续项目建设提供了宝贵经验。考虑到华龙示范项目工期的大幅压缩,现场连续高强度专项施工,从钢衬里底板安装至穹顶吊装工期优化暂不压缩,仅减少筏基养护时间、承包商切换时间、钢衬里底板预制时间等,FCD至穹顶吊装土建工期向21个月的目标努力。见下图所示。

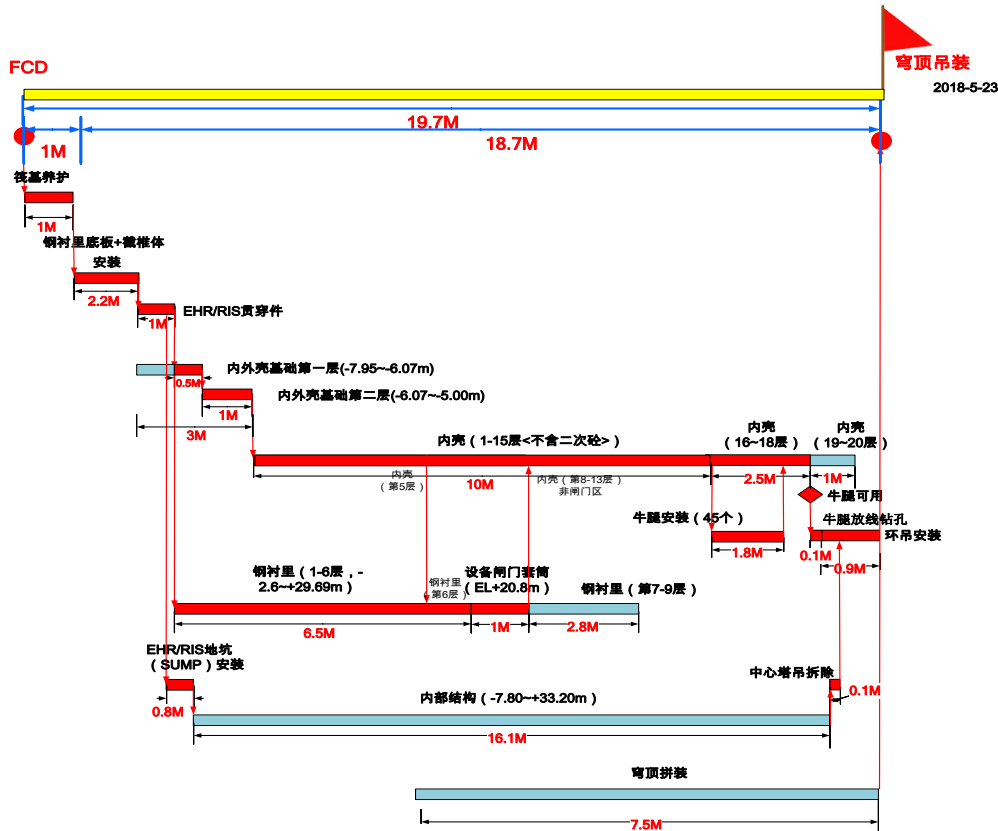


图5 FCD至穹顶吊装土建工期

根据华龙示范项目反应堆厂房施工的逻辑特点和对计划安排及执行情况的复盘结果,在一定的总工期限制下,反应堆厂房内部结构和内壳施工存在交替占据主关键路径的情况,在实际的进度管控和计划评估中,需要根据实际情况及时、准确把握关键路径的变化,合理引导施工组织重心的调整,更加科学地发挥进度控制的龙头作用。

后续项目建设中还需统筹考虑承包商技术人员、产业工人、熟练工人配备,施工工效、合理配备施工资源、避免赶窝工等问题,在确保安全质量的前提下,做好项目建设。

#### [参考文献]

[1]技术规格书—1.14: 内安全壳土建施工技术规格书[S].2016.

[2]周林军.压水堆核电厂双层安全壳的施工进度优化研究[J].科技资讯,2012(08):125-126.

作者简介:葛莹(1987.04),女、汉族、天津人、工程师、大学本科,主要从事核电站核岛、常规岛及 BOP 建安进度管理工作。