

DOI: 10.7672/sgjs202210079

核电站非能动水箱模块化施工技术*

刘贵川,刘 军,汪宇雄,曲殿英,李 求
(中国建筑第二工程局有限公司,北京 100160)

[摘要] HPR 华龙一号 BRX 反应堆厂房顶部设有非能动高位水箱,水箱内部设有不锈钢钢覆面。采用模块化施工技术,将钢覆面均匀分割为若干箱型模块,单个模块提前预制,模块内部设置支撑,现场分块吊装。在水箱墙体混凝土浇筑阶段,不锈钢模块兼作内侧模板。不锈钢模块吊装就位后,当模块底部与底板之间直接灌浆时,模块底板将出现局部变形,但变形在设计允许范围内。在水箱墙体混凝土浇筑阶段,不锈钢模块与外侧大模板对拉加固,将混凝土浇筑速度控制在一定范围内时,模块壁板变形及整体位移、墙外侧大模板位移等均在设计允许范围内。

[关键词] 核电站;水箱;模块;偏移;施工技术

[中图分类号] TM623;TU74

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2022)21-0079-04

Modular Construction Technology for Non-energetic Water Tanks in Nuclear Power Plant

LIU Guichuan, LIU Jun, WANG Yuxiong, QU Dianying, LI Qiu

(China Construction Second Engineering Bureau Co., Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: The HPR Hualong One BRX reactor plant has a non-energetic high level water tank on top with a stainless steel cladding inside. Modular construction technology is used to divide the steel cladding evenly into several box-shaped modules, which are prefabricated in advance, supported inside the modules and lifted in pieces on site. The stainless steel modules are also used as internal formwork during the concrete pouring stage of the tank walls. After the stainless steel module is lifted into position, when the bottom of the module is directly grouted with the bottom plate, the bottom plate of the module will be locally deformed, but the deformation is within the design allowance. In the concrete pouring stage of the water tank wall, the stainless steel module and the outer large formwork are reinforced with tension, and the concrete pouring speed is controlled within a certain range, the deformation and overall displacement of the module wall plate and the displacement of the outer large formwork of the wall are within the allowable range of the design.

Keywords: nuclear power plant; water tank; module; deviation; construction

1 工程概况

HPR 华龙一号核电站 BRX 反应堆厂房非能动水箱悬挂于外安全壳外侧(见图1),并按环向布置,属于二次侧非能动余热排出系统,其功能为在发生全厂断电事故时,降低一回路的温度和压力,是核安全屏障的重要组成部分。该水箱理论存水量约 3 300m³,能够满足事故后 72h 一回路热量排出要求。

非能动水箱内部不锈钢钢覆面工程量约 250t,

该领域钢覆面通常采用后贴工艺,结构施工完毕后,首先对钢覆面铺贴结构面进行凿毛、清理、安装后贴钢覆面龙骨、抹灰,待抹灰面养护完成后进行钢覆面后贴,施工期间需大量动火作业和探伤作业。首次采用模块化工艺,将非能动水箱不锈钢后贴钢覆面分割为 20 个不锈钢模块,单个模块尺寸为 8.25m(7.35m)×2.85m×6.9m(长×宽×高),单重约 11t,内部防变形支撑约 5t,模块之间设置混凝土分隔墙,通过上、下连通管连通,如图 2 所示。模块可提前按计划预制,现场吊装,然后施工剩余结构。不锈钢模块同时作为水箱墙体及安全壳墙体内侧模板,在水箱底板施工并达设计强度后吊装,其底

* 中建股份科技研发课题(CSCEC-2017-Z-23)

[作者简介] 刘贵川,助理工程师,E-mail:1412045596@qq.com

[收稿日期] 2022-05-05

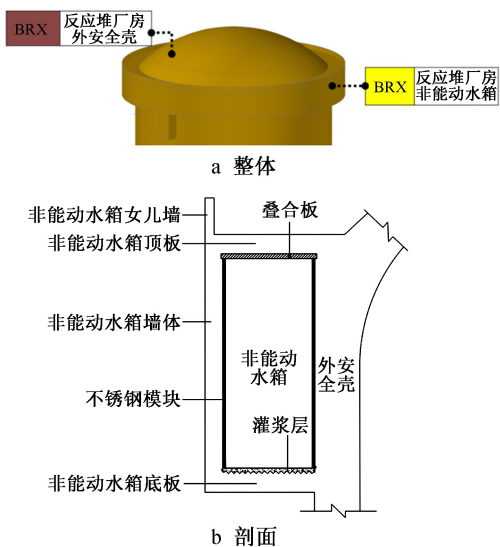


图 1 非能动水箱示意

部与水箱底板之间填充灌浆料。

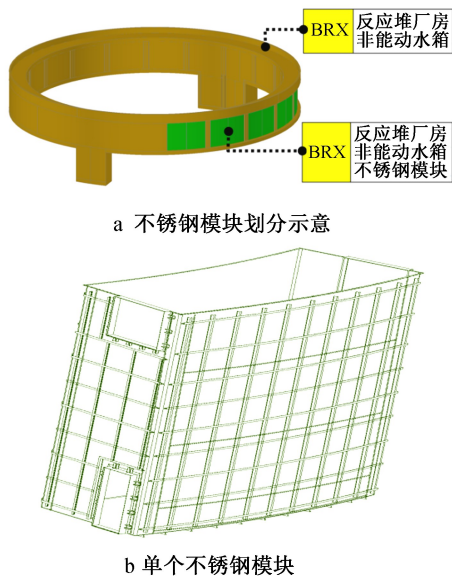


图 2 非能动水箱不锈钢模块

模块化工艺相比传统工艺节省了不锈钢后贴钢覆面施工等待时间,可缩短 5~6 个月工期,可创造良好的经济效益,但仍存在模块变形量大、模板难以加固等问题,本文主要针对该类问题进行研究。

2 研究方法

2.1 不锈钢模块超差风险研究

在混凝土浇筑阶段,不锈钢模块作为水箱墙体内侧模板,将直接承受混凝土浇筑过程产生的侧压力。同时,混凝土浇筑过程中,模块四周混凝土面存在一定高差,从而产生方向不确定的浮力。模块在侧压力和浮力作用下可产生扭曲变形,存在局部变形超差和位移超差风险。

墙体混凝土浇筑前,使用灌浆料填充模块底部

与结构底板之间的缝隙,研究底部灌浆对不锈钢模块底板变形的影响。

墙体混凝土浇筑过程中,研究混凝土浇筑速度对模块壁板变形的影响,通过精准传感器实时监测模块壁板变形情况,动态调整混凝土浇筑速度。

墙体混凝土浇筑完成后,通过对比混凝土浇筑前、后模块顶部测点坐标,研究墙体混凝土浇筑对模块偏移的影响。

2.2 墙外侧大模板位移超差风险研究

在混凝土浇筑阶段,墙外侧使用钢木大模板,通过对拉方式与内侧模块对拉,由于模块发生位移及变形,可能使与之对拉的大模板出现类似位移风险,本文通过对比混凝土浇筑前、后大模板顶部测点坐标变化,研究墙体混凝土浇筑、模块变形等对大模板整体稳定性及位移的影响。

3 模拟施工

3.1 模拟件组成

模拟选取非能动水箱结构的一段,包括 1 个不锈钢模块、模块四周墙体等(见图 3),进行 1:1 模拟施工研究。不锈钢模块内部根据其背楞分布,设置防变形支撑(见图 4)。模块外侧部分背楞开孔,用于后续与外环墙大模板对拉。

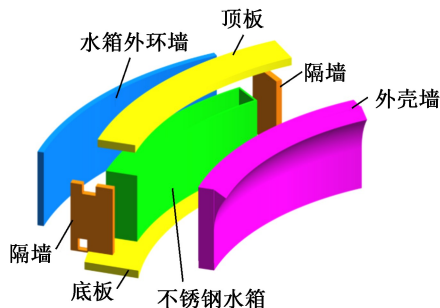


图 3 非能动水箱模拟件解构示意

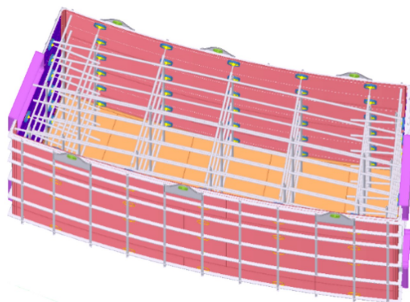


图 4 非能动水箱不锈钢模块内部防变形支撑示意

非能动水箱模拟施工主要流程为:非能动水箱底板施工及处理→不锈钢模块吊装→不锈钢模块底部灌浆→非能动水箱墙体(包括外壳墙)施工→非能动水箱顶板施工→不锈钢模块内部架体拆除。

3.2 施工要点

1) 底板灌浆

根据设计图纸,单个模块底部灌浆长约 8.5m、宽约 3.1m、厚约 135mm,灌浆面积及灌浆量均较大,模拟施工从缩小灌浆区域及调整灌浆厚度方面进行优化,同时在灌浆层外侧设冠梁,免去后续外侧支模。

针对灌浆区域尺寸,充分利用模块底部径向槽钢形成分格区域,模块吊装后,模块底部径向背楞之间形成独立灌浆区域,可将单次灌浆区域尺寸缩小至约 0.8m×3.1m。

根据灌浆厚度,单个模块整体灌浆可分两阶段进行,第 1 阶段为模块吊装前,浇筑 1 层厚约 60mm 同强度混凝土或砂浆,表面进行适当拉毛处理;第 2 阶段为不锈钢模块吊装后,按分格区域进行剩余约 75mm 厚灌浆。

2) 模块与墙体外侧大模板对拉加固

墙体外侧使用钢木大模板,内侧直接使用不锈钢模块作为侧模,内、外侧模板通过高强对拉螺栓对拉。

3) 墙体混凝土浇筑

墙体混凝土沿不锈钢模块顺时针方向环形浇筑,四面墙体混凝土相对高差控制在 500mm 以内。混凝土浇筑速度随变形控制需求随时调整,并记录。

4 结果分析

4.1 不锈钢模块底部灌浆对底板变形的影响

不锈钢模块底部灌浆完成后,模块底板出现局部凸起、空鼓现象。根据分析,采用重力式灌浆方案,灌浆压力较小,不足以使钢板产生较大变形或凸起。对于局部空鼓问题,灌浆完成后,灌浆料液面应在同一标高,空鼓应为底板本身向上凸起超过灌浆料液面标高所致。因此,经综合分析,应为模块预制时焊接变形较大,局部有凹凸,使灌浆后底板出现局部凸起、空鼓现象。

经现场实测,局部凸起最大值为 22mm,小于设计允许变形值,可知灌浆对底板变形的影响可忽略。

4.2 混凝土浇筑过程对模块侧壁变形的影响

当第 1 层墙体混凝土未浇筑时,不锈钢模块四周未形成有效约束,模块变形或位移风险大。当第 2 层墙体混凝土浇筑时,第 1 层墙体混凝土强度已达设计强度,可有效约束不锈钢模块,模块变形或位移风险小。因此,仅采集第 1 层墙体混凝土浇筑时的相关数据。

混凝土浇筑过程中,将监测传感器安装在不锈钢模块侧壁上,通过数据线外接设备进行实时变形

监测。当顶部、中部、底部监测点变形接近或超过变形预警值时,调低混凝土浇筑速度,以减小监测点实时变形,实测混凝土浇筑速度<1.0m/h。

由于混凝土浇筑过程中,水箱底部受混凝土挤压,会产生内缩变形,而中部测点处于混凝土浇筑面位置,受混凝土挤压作用较小,同时水箱底部的向内变形使水箱侧面产生翘曲,导致中部测点发生向外膨胀的变形,如图 5 所示。整个混凝土浇筑过程中模块侧壁位移变化量较小,最大位移为 4.2mm,出现在侧壁中部,远小于设计允许值。

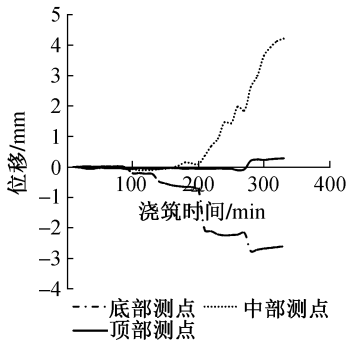


图 5 模块侧壁变形曲线

4.3 混凝土浇筑完成后模块整体偏移

将不锈钢模块顶部 4 个角点设为监测点(见图 6),使用全站仪测量混凝土浇筑前、后角点坐标,得到混凝土浇筑完成后模块整体偏移量,如图 7 所示。

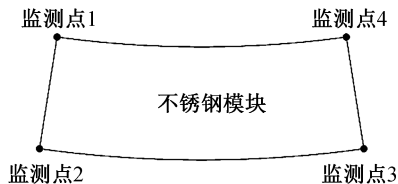


图 6 模块整体偏移监测点布置示意

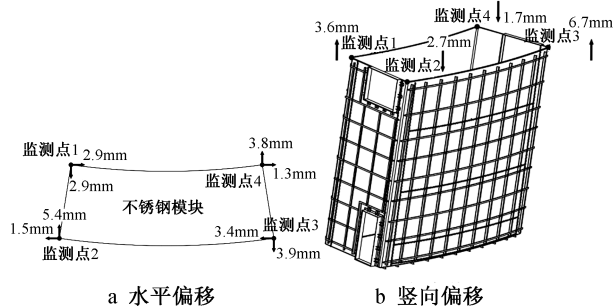


图 7 不锈钢模块整体偏移结果

当混凝土浇筑速度控制在<1.0m/h 时,不锈钢模块整体偏移量最大值为 6.7mm,不锈钢模块大致沿顺时针方向偏移,与混凝土浇筑方向基本一致,偏移量整体满足设计允许偏差要求。

4.4 混凝土浇筑完成后墙体外侧大模板稳定性及偏移

混凝土浇筑前,选取模板顶部16个点作为监测点(见图8),使用全站仪测量混凝土浇筑前、后坐标,得到墙体外侧大模板偏移量,如图9所示。

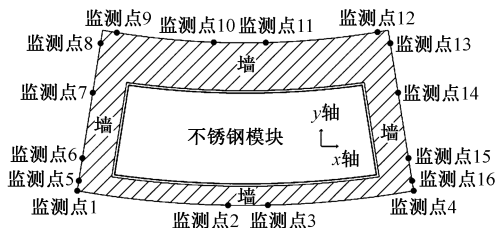


图8 墙体外侧大模板偏移监测点布置示意

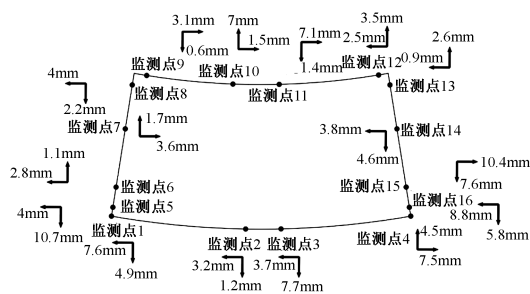


图9 墙体外侧大模板水平偏移结果

混凝土浇筑过程中,墙体外侧大模板整体状态稳定,当混凝土浇筑速度控制在 $<1.0\text{m/h}$ 时,监测点5、15处于不锈钢模块开孔位置,偏移量稍大,开孔位置为相邻模块连通管焊接管口,无须支设模板,因此不考虑该处偏移量;其余监测点混凝土浇筑前、后最大偏移量均 $<10\text{mm}$,满足设计允许偏差要求,墙体外侧大模板偏移方向大致与不锈钢模块偏移方向一致。

5 结语

1) 相比于传统工艺,模块化工艺将不锈钢后贴

钢覆面优化为若干独立不锈钢模块,在混凝土浇筑前吊装,作为后续墙体混凝土浇筑时的侧模,省去墙体模板安拆和墙面凿毛、清理、抹灰等工序,减少了大量材料倒运,缩短了工期。

2) 不锈钢模块底部灌浆按分层和分格施工,可有效保障灌浆质量,同时可有效控制模块底板变形。

3) 不锈钢模块侧壁作为墙体内侧模板,通过与墙体外侧模板对拉加固后,确保混凝土浇筑时内、外侧形成对拉受力,可有效减小混凝土侧压力对模块侧壁变形的影响。根据实测,当混凝土浇筑速度 $<1.0\text{m/h}$ 时,侧壁最大变形量 $<4.5\text{mm}$,满足设计允许偏差要求。

4) 根据实测,当混凝土浇筑速度 $<1.0\text{m/h}$ 时,不锈钢模块水平方向最大偏移 5.4mm ,竖向最大偏移 6.7mm ,满足设计允许偏差要求。

5) 墙体外侧大模板与内侧模块对拉加固,受模块偏移影响,大模板存在一定偏移,最大偏移量 $<10\text{mm}$,满足设计允许偏差要求。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院.混凝土结构工程施工质量验收规范:GB 50204—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 广东省电力设计研究院,电力规划设计总院.核电厂工程测量技术规范:GB 50633—2010[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [3] 沈阳建筑大学.建筑施工模板安全技术规范:JGJ 162—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [4] 张仔红.核电站单侧模板体系技术研究与应用[J].企业科技与发展,2022(4):47-49.
- [5] 石可,钱琳琳.核电站安全壳混凝土模板施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2018(11):118-119.
- [6] 王谦.核电站蜗壳结构模板安装与加固施工技术[J].施工技术,2016,45(S2):649-651.
- [7] 赵晓,孙兰飞,魏川铖,等.华龙一号电气厂房冷水系统设计优化研究[J].暖通空调,2021,51(3):30-32.