

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.025

悬臂爬升模板系统在某三代核电站 APC 壳墙体施工中的应用

王谦, 曹智毅, 刘军
(中广核工程有限公司, 深圳 518000)

摘要: 某三代核电站一期工程核岛 APC 壳是钢筋混凝土壳体结构, 该壳体结构的主要功能是抵抗飞机的撞击, 以保护核电站核心部位核岛的厂房安全。APC 壳体结构跨度大, 墙体厚度大且无水平和纵向支撑, 因此混凝土浇筑施工质量要求严格。根据 APC 壳工程结构和质量要求, 在实际施工中, 利用悬臂爬升模板技术组织砼施工浇筑, 据此开发了一套悬臂爬升模板系统工艺技术。通过采用这一技术, 保证了 APC 壳墙体混凝土的施工质量和表面的平整度, 加快了墙体施工进度, 同时节省了大量的人力物力, 具有良好的经济和社会效益。

关键词: APC 壳体; 钢筋混凝土; 悬臂爬升模板; 表面平整度

中图分类号: TU755

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0129-05

Application of Cantilever Jumping Formwork in APC Shell Construction of a Third Generation Nuclear Power Plant

WANG Qian, CAO Zhiyi, LIU Jun
(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The first phase of a nuclear power plant APC shell structure is made of reinforced concrete pouring, it can resist the impact of the plane, and protects the security of nuclear power plant factory. APC shell structure span is large, and having greater thickness of the wall with no horizontal and vertical support, thus the pouring of concrete quality requirement is strict. According to the APC shell structure quality requirements, the cantilever jumping formwork for concrete pouring construction is used and a construction technology of cantilever climbing formwork system is developed. By using this technique, it can ensure the pouring concrete quality and the surface flatness of the concrete wall of APC shell, and speeds up the construction progress of the wall and save a lot of manpower and resources at the same time. It has good economic and social benefits.

Key words: APC shell; reinforced concrete; cantilever jumping formwork; surface roughness

某三代核电站一期工程核岛部分主要包括反应堆厂房和周边附属厂房(进出厂房、核安全厂房、燃料厂房、柴油机厂房和核辅助厂房等), 见图 1。反应堆厂房采用双层安全壳防护结构, 安全壳分内、外两层, 内安全壳为后张拉预应力钢筋混凝土结构, 混凝土强度为 C60/75, 最内侧有一层厚 6 mm 钢衬里, 内壳筒体厚 1.3 m, 筒体外半径为

24.7 m。内安全壳的重要作用是承受事故工况下的超压力, 钢衬里主要是保证事故工况下不泄漏; 外部 APC 安全壳同时具有保护内部安全壳免受外部撞击以及通过环部通风系统(EDE)防泄漏的作用。两壳中间为 1.8 m 厚环廊。由于 APC 混凝土浇筑量大, 施工质量要求严格, 采用悬臂爬升模板技术组织砼施工浇筑。

1 APC 壳体结构的主要功能与施工难点

1.1 APC 壳体的主要功能

APC 主要功能是保护反应堆厂房、燃料厂房和

收稿日期: 2016-12-11

作者简介: 王谦(1966), 男, 河北保定人, 高级工程师, 学士, 主要从事核电工程设计管理工作(e-mail) wangq@cgnpc.com.cn。

挂点安装: 挂点在前一砼施工面提前埋设, 挂点位置根据所浇筑砼的竖向断面、墙体灌注工作面安排、模板大小综合决定, 挂点安装预埋精度要重点控制。

2.2 悬臂爬升架体系

对于施工范围大、分层较多的混凝土结构, 悬臂爬升架体系可随墙体爬升及移位, 易于形成流水作业, 有效提高模板体系的利用效率。

悬臂爬升架体系由主承重平台、主背楞后移装置及中间平台组成, 一个单元块含 2 榀支架(对应两个挂点), 如图 4 所示。

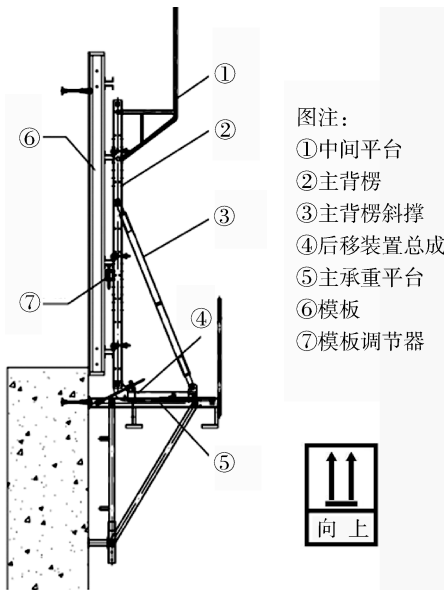


图 4 悬臂爬升架体系
 Fig. 4 Cantilever climbing frame system

主承重平台的挂钩设置和预埋在砼内的挂点一一对应, 主背楞斜撑的布置基本和挂点对应。根据厂家的使用说明书, 中间平台使用荷载 150 kg/m^2 , 主承重平台使用荷载 250 kg/m^2 。

悬臂爬升架向高一层标高砼浇筑断面安装时, 通过塔吊吊装, 吊点设在主承重平台钢梁处, 位置和挂点基本对应, 为两点吊。

为了保证悬臂爬升架体系的结构安全, 我们对悬臂支架挂点的抗剪受力进行了复核计算。根据结构的布置及其受力情况, 钢架按照 3.0 m 间距布置, 则钢架承受的总竖向荷载为 39.73 kN , 而 2 个螺栓提供的抗剪力为 $2 \times 60 \text{ kN} = 120 \text{ kN} > 39.73 \text{ kN}$, 因此, 挂点的强度能够承受悬臂爬模体系的荷载及活荷载。

2.3 模板体系

混凝土浇筑模板由 18 mm 厚胶合板、 $80 \times 200 \text{ mm}$ 工字木、 $12\#$ 双槽钢主背楞以及顶部操作平台组成, 如图 5 所示。



图 5 模板体系
 Fig. 5 Template system

2.4 模板结构的内力计算

2.4.1 木工字梁的内力计算

本计算中木工字梁的平均间距为 250 mm , 混凝土浇筑速度 $V < 0.7 \text{ m/h}$, 混凝土对模板最大侧压力按 $F \leq 50 \text{ kN}$ 计算, 因此每根木工字梁上所承受的压力转换为线荷载为 $q = 12.5 \text{ kN/m}$ 。

有效压头高度为 2000 mm , 因此自木工字梁顶端(距模板顶 150 mm)至有效压头高度处线荷载由 0.9 kN/m 至 12.5 kN/m 按线性变化。

工字木梁的物理力学性能为: (1) 抗弯 $\geq 6 \text{ kN} \cdot \text{m}$; (2) 抗剪强度 $\geq 11 \text{ kN} \cdot \text{m}$; (3) 变形度标准 $\leq 1/2000$ 。

工字梁底部 100 mm 不受混凝土侧压力, 为防止漏浆设计, 因此无荷载。木工字梁荷载简图如图 6 所示。

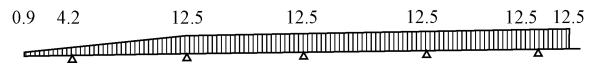


图 6 木工字梁荷载简图(单位: $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
 Fig. 6 Woodworking beam load diagram
 (unit: $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)

根据模板受力体系, 支座为 5 道钢围檩, 考虑最不利情况下, 荷载系数为 1.2, 计算得木工字梁弯矩图、变形图及支座反力图, 如图 7~图 9 所示。

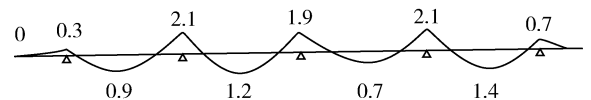


图 7 木工字梁弯矩图(单位: $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
 Fig. 7 Woodworking beam bending moment diagram(unit: $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)

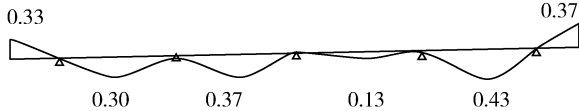


图8 木工字梁变形图(单位: mm)

Fig. 8 Woodworking beam deformation diagram (unit: mm)

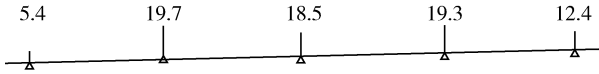


图9 木工字梁支座反力图(单位: kN)

Fig. 9 Woodworking beam support reaction force diagram (unit: kN)

由图9可以得,木工字梁所承受最大支反力为19.3 kN,最大弯矩为2.1 kN·m,最大变形为0.43 mm < 0.625 mm。木工字梁受力满足要求。

2.4.2 钢围檩的内力计算

由木工字梁计算图可得,钢围檩所受最大支座反力即为木工字梁所受最大支座反力为19.3 kN,木工字梁平均间距为250 mm,取该道钢围檩为计算单元,并将最大支座反力转换为线荷载作用于整根4.86 m钢围檩, $q = F/l = 77.3 \text{ kN/m}$, 支座为6道对拉螺杆,拉杆强度不小于160 kN,直径17 mm。钢围檩荷载简图如图10所示。



图10 钢围檩荷载简图(单位: kN·m⁻¹)

Fig. 10 Steel purlin load diagram (unit: kN·m⁻¹)

计算可得钢围檩弯矩图、变形图及支座反力如图11~图13所示。

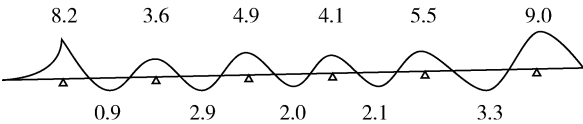


图11 钢围檩弯矩图(单位: kN·m⁻¹)

Fig. 11 Steel purlin bending moment diagram (unit: kN·m⁻¹)

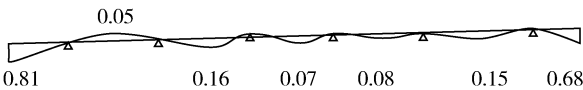


图12 钢围檩变形图(单位: mm)

Fig. 12 Steel purlin deformation diagram (unit: mm)

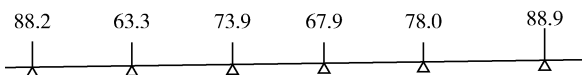


图13 钢围檩支座反力(单位: kN·m⁻¹)

Fig. 13 Steel purlin support reaction force diagram (unit: kN·m⁻¹)

由上图可得,钢围檩上所受最大拉力为88.9 kN < 160 kN,最大弯矩为9 kN·m,最大变形为0.81 mm < 2.5 mm。钢围檩受力满足要求。

3 悬臂爬模主要施工技术要点

3.1 施工流程

APC壳爬升模板体系是由工厂定制加工而成,各个组件均规格化加工制作,各个组成系统顺序施工,实现APC壳体混凝土浇筑流水作业。

主要的施工流程如图14所示。

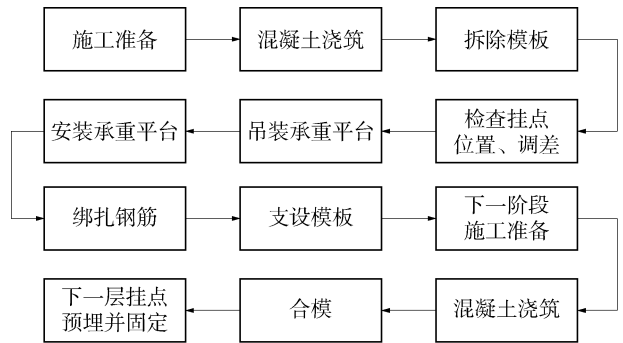


图14 施工流程图

Fig. 14 Flow chart of construction

3.2 关键施工工序

3.2.1 悬挂挂点的预埋

预埋原则:根据APC壳墙体分层原则,结合墙体高度进行每层的施工缝划分。每层均需埋设悬挂点,悬挂点埋设标高需设置在每层施工缝以下420 mm。每悬挂单元挂点间距结合每一单元模板跨度。

安装要求如下:

1) 选择悬挂点预埋件的固定措施,要控制悬挂点因受砟的振捣、模板位移而带来的位置偏差在允许范围,具体措施,可以考虑将高强螺杆与埋件板焊接,再与主筋固定,确保埋件板在混凝土浇筑时不与高强螺杆分离。

2) 对各爬锥埋设点进行醒目标识,避免在砟振捣过程中对预埋件的冲击,从而导致预埋件松动,偏移、错位。

3) 加强对预埋件的验收,爬锥在安装前、混凝土浇筑前及混凝土浇筑后均需进行验收,验收后方可进行下一步施工。

3.2.2 悬臂爬升架体系(承重平台)的吊装和安装

1) 悬臂爬升架体系在吊装过程中,要平顺,切

忌晃动较大。

2) 承重平台整体吊装至悬挂点受力螺栓(挂座体)上方时, 要控制吊装速度, 特别是距悬挂点(爬锥)较近时(一般在吊点上方 50 ~ 60 cm), 要提醒减慢速度, 以方便操作人员采用千斤顶、手拉葫芦协调主平台安装, 在中层操作平台的操作人员与塔吊的指挥人员做好密切配合, 确保模板系统对准螺栓徐徐落下, 直至支撑架前端卡槽卡住高强螺栓。

3) 架体安装就位后须立即安装安全插销。

承重平台安装如图 15 所示。

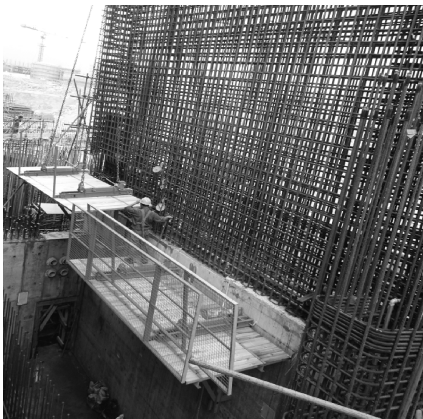


图 15 承重平台吊装就位

Fig. 15 Bearing platform hoisting

3.2.3 模板体系的支护

模板的支护包括:

1) 根据配模方案(配模需结合浇筑面及承重平台尺寸合理配置), 将模板吊装就位。

2) 模板和主楞拉杆和齿轮销的打开和复位, 须严格按照操作规程执行。

3) 模板模数不符实, 应增加拼模和补模, 模板拼缝要严密不漏浆; 模板拼接处芯带连接如图 16 所示。

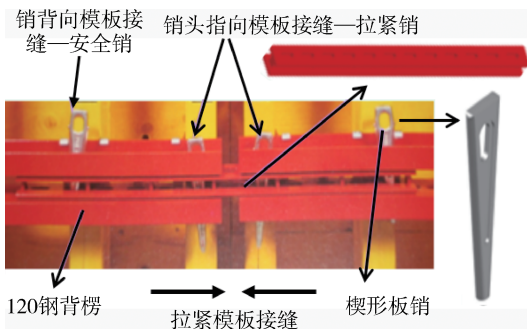


图 16 模板拼接处芯带连接

Fig. 16 Connection of core belt in splice template

4) 模板底口下端在上一砼施工面上口 100 ~ 150 mm。

5) 模板拼缝检查和垂直度检查。

补模采用与钢木大模板相同的胶合板作面板, 竖向采用木工字梁做背楞, 采用专用的补模连接板, 然后通过补模连接件用钢楔与相邻的墙体大模板钢背带连接成一整体。补模施工如图 17 所示。模板安装及底部支撑加固如图 18 所示。

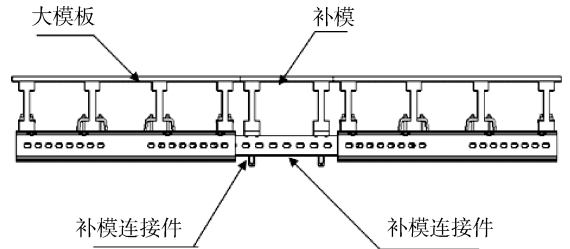


图 17 模板补模

Fig. 17 Supplemented module of template



(a) 模板安装

(b) 底部支撑加固

图 18 模板安装及底部支撑加固

Fig. 18 Template installation and bottom support

4 结论

某核电一期核岛 APC 壳体外墙通过采用悬臂爬升架体系施工, 效果良好。各单元模板体系均按照配模方案严格实施安装, 施工过程顺利; 砼外观质量良好, 无质量缺陷; 大模板体系操作简单, 吊装安装方便, 且周转方便, 节省模板板材; 模板有足够刚度, 且连接强度高, 不易发生跑模现象, 较好地保证了砼质量。

悬臂爬升模板系统在某三代核电站 APC 壳墙体施工中的成功应用, 为后续在其他类似核机组上的运用提供了可能, 悬臂爬升模板系统能够更好地保证砼的施工质量, 合理降低材料消耗, 从而降低建造成本, 缩短施工工期, 具有很好的推广价值。

(上转第 124 页 Continued on Page 124)

飞, 载人飞机航测带宽通常规定为 2.3~3 km, 通过大量的工程实践证明, 该规定对载人飞机航测是适宜的。而无人机航测方便快捷, 当局部需要补飞时, 无人机可及时响应。结合工程实践, 航测带宽可适当下调为 1.5~2.0 km, 在保障设计人员进行线路路径优化时, 提高航测工效。

通过上述措施, 可确保每架微型多旋翼无人机线路航测工效达到 7~10 km/d。当采用机群作业方式时, 可进一步提高航测工效。

3 结论

通过工程实践, 微型多旋翼无人机航测成果质量可满足 1:2 000 地形图测绘的要求, 在植被稀疏、低矮的丘陵地区及山地可满足 1:1 000 测图要求和 1:5 000/1:500 线路平断面图测量的精度要求, 完全可以满足输电线路优化选线以及平断面图数据采集的要求; 同时, 采用稀少像控点布设方法可大幅提高微型多旋翼无人机工效; 采用倾斜摄影和空中 360 技术对测区局部高大植被进行快速调绘+实地工测的方法, 经局部 DSM 编辑后, 可有效提高无人机 DSM 质量, 有利于无人机技术在特高压输电线路勘测中的推广应用。

(责任编辑 郑文棠)

参考文献:

- [1] 陈姣. 无人机航摄系统测绘大比例尺地形图应用研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
- [2] 赵明泽, 申兴旺, 郭明, 彭江帆. 基于低空摄影测量的高精度数字正射影像图生成 [J]. 工程勘察, 2016(4): 46-50. ZHAO Mingze, SHEN Xingwang, GUO Ming, PENG Jiangfan. The generation of high-precision digital orthophoto maps based on the low altitude photogrammetry [J]. Geotechnical Investigation & Survey, 2016(4): 46-50.
- [3] 汤坚, 杨骥. 无人机倾斜摄影技术在特高压输电线路路径优化中的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(Supp.1): 203-206. TANG Jian, YANG Ji. Research and application of UHV transmission line optimization based on oblique photography of UAV [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(Supp.1): 203-206.
- [4] 国家测绘局. 低空数字航空摄影规范: CH/Z 3005—2010 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [5] 国家测绘局. 低空数字航空摄影测量内业规范: CH/Z 3003—2010 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [6] 国家测绘局. 数字航空摄影测量控制测量规范: CH/Z 3006—2010 [S]. 北京: 测绘出版社, 2011.
- [7] 国家测绘局. 机载激光雷达数据处理技术规范: CH/T 8023—2011 [S]. 北京: 测绘出版社, 2011.

(下接第 133 页 Continued from Page 133)

参考文献:

- [1] 黄涛, 李忠诚. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的抗飞机撞击结构非线性动力分析 [J]. 核科学与工程, 2015, 35(4): 743-748. HUANG T, LI Z C. Nonlinear dynamic analysis of air plane crash shell based on ansys/ls-dyna [J]. Nuclear Science and Engineering, 2015, 35(4): 743-748.
- [2] 胡正春, 梁峻峰, 万志军, 等. 台山核电厂核岛厂房土建安全设计技术 [J]. 核动力工程, 2015, 36(Supp.1): 1-4. HU Z C, LIANG J F, WAN Z J, et al. Safety design technology for civil engineering of nuclear island building in taishan nuclear power plant [J]. Nuclear Power Engineering, 2015, 36(Supp.1): 1-4.
- [3] 李骏, 刘军, 李政. 几种模板体系在 EPR 核电站中的应用 [J]. 施工技术, 2012, 41(6): 70-73. LI J, LIU J, LI Z. Application of several kinds of formwork in epr nuclear power plants [J]. Construction Technology, 2012,

41(6): 70-73.

- [4] 陈敦, 田杰, 田大业. 新型柱板式高墩施工关键技术 [J]. 施工技术, 2015, 44(4): 79-84. CHEN D, TIAN J, TIAN D Y. Key construction technology of the new column-slab high pier [J]. Construction Technology, 2015, 44(4): 79-84.
- [5] 郑群, 乔传颀, 于戈, 等. 望京 SOHO 中心多体系核心筒爬模施工技术 [J]. 施工技术, 2015, 44(19): 34-38. ZHENG Q, QIAO C H, YU G, et al. Construction technology of core tube climbing formwork in wangjing soho center [J]. Construction Technology, 2015, 44(19): 34-38.
- [6] 牛潮, 杨易琳. 台山核电水库大坝工程悬臂挂架模板施工技术 [J]. 施工技术, 2014, 43(16): 70-73. NIU C, YANG Y L. Construction technology of cantilever pylon formwork for the reservoir dam engineering of taishan nuclear power station [J]. Construction Technology, 2014, 43(16): 70-73.

(责任编辑 高春萌)