

Quality Management During the Construction Stage of the “Hualong 1” of the Nuclear Power Plant

Liangxing Wang

Hainan Changjiang County Huitianbang Energy Engineering Technology (Suzhou) Co., Ltd., Changjiang, Hainan, 572700, China

Abstract

China's independently developed million kW pressurized water reactor “Hualong 1” adopts the third generation nuclear power technology, adopts active and passive safety system, double-layer protective containment, and the safety level reaches the world's highest standard. With the background of “Hualong No.3 and 4 of Hainan Changjiang Nuclear Power Phase II Expansion Project”, explain the QA by supervising the process of quality management system, such as personnel qualification, equipment status, testing capability, job responsibilities, process control, and management activities, to confirm the importance of QA quality management for the construction of nuclear power plant quality management; in order to provide reference for the quality management in the stage of nuclear power plant construction.

Keywords

nuclear power plant, Hualong 1, quality management

核电站“华龙一号”建造阶段的质量管理

王亮星

海南省昌江县汇添邦能源工程技术（苏州）有限公司，中国·海南昌江 572700

摘要

中国自主研发的百万kW级压水堆“华龙一号”采用第三代核电技术，采用能动与非能动安全系统，双层防护安全壳，安全等级达到世界最高标准。以“海南昌江核电二期扩建工程华龙一号3、4号机组”为背景，阐述QA通过监督质量管理体系的各个过程。例如，对人员资格、设备状态、检测能力、岗位职责、工艺过程控制、管理活动等情况，来证实QA质量管理对核电站建造确保核安全的重要性，以案例为导向分析QA质量管理思路与方法；以期核电站建造阶段质量管理提供参考。

关键词

核电站；华龙一号；质量管理

1 引言

中国核能行业协会发布的《中国核能发展报告 2024》蓝皮书显示，截至目前中国在建核电机组 26 台（不含港澳台）总装机容量 3030 万千瓦，领先世界第一。在运、在建及已核准总装机规模超过 1 亿 kW，强核报国迎来历史新机遇。回顾核电历史进程方知核电未来发展部署，解密华龙一号核心设计理念消除公众谈核色变，以建造华龙一号施工现场质量管理，论证如何确保核安全，期待今后商业投产利国利民。

2 核电技术发展史

① 1954 年全球第一座核电站—澳布灵斯克核电厂诞生，标志着第一代核电技术开启了新纪元。在能源、工业、航天

等领域示范运用，证明了核能发电的技术可行。

② 20 世纪 60—90 年代，以浓缩铀为燃料、海水作冷却剂的第二代核电技术，在全球大量投产运行，创造了经济价值。由于缺乏对堆芯熔化这类严重事故的防范，以至于三哩岛核事故、切尔诺贝利核事故引发公众恐慌。

③ 于是 1985—1992 年美国与欧洲，先后出台的《先进轻水堆用户要求文件》（URD）和《欧洲用户对轻水堆核电厂的要求》（EUR）将预防和缓解堆芯熔化作为下代核电技术必备要求。满足这两份文件之一的核电机组被称为第三代核电技术，中国自主研发的华龙一号、国和一号、玲瓏一号是第三代核电技术的代表。

④ 2024 年 3 月 27 日中国山东省荣成市华能石岛湾高温气冷堆示范工程并网运行，标志着中国第四代核电技术来临。第四代核电技术拥有更高的经济效益产出，安全性能全面提升，核废物产量少等优点。重点无需厂外应急，自身具备防止核扩散能力，是未来核电技术发展趋势。

【作者简介】王亮星（1989—），男，中国湖北武汉人，本科，助理工程师，从事核电质量管理研究。

3 “华龙一号”设计阶段的安全质量概况

① 2013年4月25日国家能源局牵头，中广核与中核集团联手在ACPR1000+和ACP1000的基础上进一步研发，推出具有自主知识产权百万KW级压水堆华龙一号。2014年8月22日，华龙一号总体设计方案，经国家能源局、国家核安全局评审，专家组一致认为符合第三代核电技术要求。

② 想要建造一个安全的核电站并没有想象得那么简单，首先要解决就是给核电站选一个稳固的地基，同时还要靠近水源，因为核反应堆是需要大量水来进行冷却。因此，中国的核电站大多都会建在沿海城市，同时为了让核电站地基更加稳固，工程师们通过地质勘探寻找一块坚硬且完整的岩石作为核电站的地基，有了稳固的地基之后才可以放心地在地基上面浇筑核电站的主体结构。

③ 为了让核电站能够抵御大飞机的撞击，同时还能在核电站发生事故时确保放射性气体不会扩散到周围环境中，设计师为华龙一号设计了双层安全壳，外壳厚1.8m，内壳厚1.3m，同时还有一层6mm厚的钢板作为内衬，可抵御9级地震，240分钟高温。不仅如此，双层安全壳之间的环形区域压力低于大气压，即使发生事故也是外部空气进入安全壳。并且整个核电站均采用高强度混凝土进行浇筑，所采用的钢筋直径为 $\phi 40$ 是民用钢筋的两倍，仅安全壳就用了四层这样的钢筋，总用钢量更是达到了11000t，也正是在这么密集的钢筋笼的保护下，才使得华龙一号核电站坚不可摧。

④ 但想要确保核电站不会发生切尔诺贝利及福岛核事故那样的灾难，这还远远不够。要知道福岛核事故是因为地震引发巨大的海啸，从而淹没了福岛核电站的反应堆厂房等设施，电源被迫中断，单一的供水系统无法为反应堆降温，致使堆芯温度升至2000℃，造成堆芯融化，压力容器被融穿，并且会产生氢气最终引发大爆炸。大量放射性物质被释放到周围环境中，导致周围核辐射量超标了6000多倍。

⑤ 为此中国核电科研人员从此次核事故中吸取了经验教训，为华龙一号设计了能动和非能动安全系统，能动系统为三列独立的供水系统，他们分别被安装在三个独立的安全厂房内，每个安全厂房都有坚固的墙体隔离，即使其中一个安全厂房发生故障，另外两个仍然可以保证反应堆安全停堆。但为了防止海啸造成的外部电源全部中断，华龙一号还配备了五台应急柴油发电机，以及大容量蓄电池和移动式应急发电机。为了保证绝对的安全，设计师又给华龙一号增加了一套非能动安全系统，包括3个巨大的水箱，总装水量达到3000t，万一依赖电力驱动的安全系统被切断，水箱的水就会在重力的作用下流入换热装置，来持续地为堆芯降温，以防止压力容器被击穿。同时为了防止氢气爆炸，华龙一号还设置了几十台通过催化剂限制氢气浓度的非能动氢气复合器，以及防止安全壳超压的过滤排放系统和喷淋系统作为保障。华龙一号每年可发电100亿kW时，可解决100万人

口一年用电需求量，将直接减少标准煤消耗312万吨，二氧化碳排放816万吨。当然对于任何一个核电站来说，有了这些安全保障固然很重要。但维持核电站安全运行最重要的还是人，只有工作人员认真负责守护好每个岗位，才能保证核电站的安全运行。

4 “华龙一号”建造阶段的质量管理

4.1 建立质量管理体系

以实现总体质量目标为前提，强化管理人员对质量的控制，质量管理体系的建立包括：

① 制定组织的政策、目标和规划；② 制定管理大纲、规章制度和程序等管理体系文件；③ 明确组织机构、职责分工及每个岗位的权利、义务和责任；④ 对质量管理体系的运行情况进行评价和改进；⑤ 培育和建设核安全文化；⑥ 确定和策划工作过程，并明确控制要求；⑦ 制定与相关方的沟通策划、计划和要求；⑧ 为开展的各项工作的实现质量目标提供保障。

4.2 实施质量计划

将施工全过程进行分解、逐层检查、验证是质量控制的一种方法，主要流程：

① 首先由施工单位根据物项质保等级编制“通用质量计划、一般质保计划、特殊质量计划”，由施工单位、总包单位、监理单位、营运单位联合参与选点质控；② 然后质量计划开启→各单位根据职责权限，选取见证点W、报告点R、停工待检点H；③ 施工单位选点比例QA1、QA2、QA3、QNC $\geq 100\%$ ，监理单位选点比例需满足GB/T50522—2019《核电厂建设工程监理标准》6.2.1.7条规定^[1]，EPC总包需对“特殊工艺”选点比率 $\geq 10\%$ ；营运单位根据需要选取停工待检点H；④ 最后质量计划实施→操作者自检→QC1、QC2复检→监理单位复验/EPC总包和营运单位见证；⑤ 每一级合格方可签字放行进行下一步流程，严禁越点；⑥ 最后关闭质量计划→工艺全部实施完毕，记录完整。

5 质量问题案例分析

本人承诺问题独立发现，涉事单位已整改完毕，不涉及抄袭、侵权、名誉损害。

5.1 质量问题案例一

监督人员：王亮星。

时间：2023.03.13。

子项：8YA。

问题描述：

2023年03月03日，监理人员在8YA除盐水泵房现场巡检过程中发现：8YA 3-8轴交B轴现浇混凝土女儿墙外观上存在竖向（已贯穿墙体厚度方向）裂缝9条，长度1.10m，裂缝间隔2~4m不等；8YA3-8轴交E轴现浇混凝土女儿墙外观上存在竖向（已贯穿墙体厚度方向）裂缝20条，长度1.10m，裂缝间隔1.5~3m不等；经监督人员进一步核查发

现以下问题:

① 8YA3-8轴女儿墙伸缩缝图纸设计间距为42m,未采纳GB50010—2010《混凝土结构设计规范》8.1.1“钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距/剪力墙结构/现浇式/露天/30m^[2]”的要求。②《混凝土质量缺陷修补工作程序D版》7.“操作详细指南……混凝土质量有影响结构使用和安全功能的严重缺陷,应当按照相关程序开启不符合项”,本程序7.2.2外观缺陷的判断表中罗列了外观缺陷的判断条件,但缺少“裂缝的一般缺陷和严重缺陷”的判定依据。③8YA女儿墙裂缝产生后,未进行观测,不满足《混凝土质量缺陷修补工作程序D版》7.2.1“最终结构面的裂缝,采用专用仪器观测裂缝深度和宽度,观测以间隔5天为限,观察次数不少于3次,或连续观测至裂缝观测值稳定或裂缝趋于愈合为止”的要求。④8YA女儿墙产生的裂缝,施工单位直接按C类裂缝表面修补法进行修补,而程序中缺少C类裂缝的判定数据,且整个修复过程未留下施工记录。

主要原因:女儿墙体整体变形引起裂缝产生。

根本原因:①审图阶段未有效识别出设计缺陷;②程序中缺失对裂缝严重程度判定依据和相对应的处理方法;③修复过程中未严格按程序执行。

纠正行动:①请施工单位在《混凝土质量缺陷修补工作程序》中增加对混凝土裂缝关于一般缺陷和严重缺陷的判定依据,明确“混凝土质量有影响结构使用和安全功能的严重缺陷,应当按照相关程序开启不符合项”补充不符合项开启的判定依据;②请施工单位组织技术、质检、工长、班组学习《混凝土质量缺陷修补工作程序》;③请施工单位对涉及施工缝留设事宜发起澄清清单,报设计审查确认;④请EPC总包组织施工单位对于8YA女儿墙的裂缝未按照程序要求进行观测、记录数据、判断和处理,导致8YA女儿墙的质量不可确定的问题开启不符合项,并进行质量评估和采取纠正措施,并将质量评估报告作为该不符合项的附件报各家审批;⑤请EPC总包组织施工单位对该问题进行深入全面的经验反馈,召开警示教育大会,邀请营运单位参加。

检查思路:①设计控制→②文件控制→③工艺过程控制→④检查试验→⑤记录。

管理目的:

当质量缺陷已产生,QA需关注程序完整性,验证整个修复过程合规性,预防此类情况频发。

5.2 质量问题案例二

监督人员:王亮星。

时间:2024.04.10。

子项:4RX。

问题描述:

①检查《关于核岛厂房国产抗飞机撞击套筒外露螺纹的澄清》发现“设计答复:同意国产抗飞机撞击套筒外露螺纹大于2P”未给出答复意见支撑依据,不符合《现场变更

申请管理细则》6.3.3.2“答复意见……给出意见的相关依据,要有明确的出处,如按照某标准、技术要求、计算结论等”的要求。②检查《4RX外壳35.75m~38.45m水平筋加工计划》,发现加工计划中“缺少钢筋丝头加工技术要求”内容,不满足《海南昌江核电站3、4号机组工程材料计划、加工计划的编制与管理》5.2.2.1“加工图尺寸齐全准确……并注明……技术要求”的规定。③检查《分部分项工程施工技术交底》,发现交底中缺少“力矩扳手”的投入,且4RX外壳38.45m钢筋绑扎作业当天未投入“力矩扳手”。④检查《分部分项工程施工技术交底》5.2“钢筋采用机械连接时,完成连接的套筒每段外露的完整丝扣不宜超过2p”,发现4RX外壳钢筋机械连接分别采用了标准型直螺纹套筒连接与锁母式套筒连接,施工现场工艺与技术交底要求不符。

主要原因:施工现场直螺纹套筒连接采用不同工艺。

根本原因:①设计变更缺乏支撑依据;②直螺纹套筒的加工计划编制、制作、安装的技术要求未统一。

纠正行动:①请EPC总包组织责任部门开展经验反馈,避免此类情况发生;②请施工单位组织责任部门质检员、技术员开展加工计划编制、技术交底、编制培训;③请施工单位梳理《4RB外层安全壳筒体外挂水箱结构施工方案》补充完善不同钢筋工艺检查验收标准;④请施工单位根据施工现场需要,及时投入所需工器具或计量器具。

检查思路:①设计控制→②文件控制→③工艺过程控制。

管理目的:工艺过程控制重点是确保物项的加工、制作、安装、验收与设计要求一致,其中任何一个环节偏离规定要求需及时纠正,消除潜在隐患。

6 结语

核电站的建设是一项规模庞大,工艺复杂的综合性工程。需建立质量保证相关程序,明确停工、不符合项目管理等要求,作为质量管理的指导依据。任何与安全质量有关的活动,必须做到“四个凡事”,确保所有影响安全和质量的活动必须由合格的人员,按照批准的程序和计划,遵循认可的规范和标准,使用合格的设备,在规定的条件下完成。从事质量检验的人员应对检验结果负责,严禁弄虚作假,并将记录作为客观证据妥善保存,以证实达到预期的质量要求^[1]。从事验证质量的人员应保持独立性,发现危及质量、安全的事实和行为时,有权制止进一步的工作开展。在不危及安全的情况下共同实现组织的目标,满足监管部门、社会公众及其他相关方的需求和期望。

参考文献

- [1] GB/T 50522—2019 核电站建设工程监理标准[S].
- [2] GB 50628—2010 混凝土结构设计标准[S].
- [3] 国家核安全局.中华人民共和国核安全法规汇编[S].