

# Research on Construction Management and Technology of AP1000 Nuclear Power TCS Water Temperature Improvement Change

Shuaishuai Song

Shandong Nuclear Power Co., Ltd., Yantai, Shandong, 265116, China

## Abstract

The successful experience of the special construction of TCS water temperature improvement and change for the main line work of the conventional island of AP1000 nuclear power plant demonstrates the innovative practice of pipeline construction management in the production plant room of nuclear power plant during the overhaul window, and the innovative application of welding technology in the implementation of the change. In the process of change construction, several DN700 large-diameter spiral seam pipes appeared ellipses and large misopenings due to thin pipe walls. By studying NB/T25085—2018 Technical Specification for conventional Island Welding in nuclear power plant, the problem of misopenings in pipe wall welding was successfully solved. In view of the tight construction space and schedule in the nuclear power production plant, special plans and construction logic diagram were formulated, the milestone node control method was adopted, and the fine construction management mode was adopted to improve the construction efficiency, shorten the main line time of overhaul, ensure the normal and stable operation of the unit, and provide a successful construction management experience mode for the management of nuclear power overhaul project.

## Keywords

AP1000 nuclear power plant; temperature rise change; overhaul construction management mode; welding process

## AP1000 核电 TCS 水温提升变更施工管理及技术研究

宋帅帅

山东核电有限公司, 中国·山东 烟台 265116

## 摘要

AP1000核电厂常规岛主线工作TCS水温提升变更专项施工的成功经验, 论证了大修窗口期间核电厂生产厂房内管道施工管理创新实践, 和变更实施中对焊接技术的创新应用。在变更施工中多个DN700大口径螺旋缝管道由于管壁薄出现管口椭圆和管壁错口偏差大, 通过研究NB/T25085—2018《核电厂常规岛焊接技术规范》, 成功解决了管壁焊接错口问题。针对核电生产厂房内施工空间紧工期紧, 制定专项方案和施工逻辑图, 采用里程碑节点控制方式, 精细化施工管理模式提升了施工效率, 缩短了大修主线时间, 保障了机组正常稳定运行, 为核电大修项目管理提供了一种成功的施工管理经验模式。

## 关键词

AP1000核电厂; 水温提升变更; 大修施工管理模式; 焊接工艺

## 1 引言

2023年某AP1000核电大修期间, 为闭式冷却水系统板式热交换器安装增加一条DN700大口径旁路, 执行TCS水温变更改造工作。此次变更专项施工在核电大修期间执行, 由大修指挥组织机构统筹, 经过严密组织, 连续作业, 短工期内保质保量完成对机组水温提升变更专项实施。此次变更工作论证了大修窗口期间核电厂生产厂房内变更管道施工管理创新实践, 和变更实施中对焊接技术的创新应用。确保大修主线工作的顺利完成, 保障了机组顺利启动和

稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2 TCS 水温提升变更简介

TCS系统进行变更改造, 设计在闭式冷却水热交换器前后管路上, 增加一路DN700的旁路管线, 旁路上设置两道带阀位指示的具备调节功能的蝶阀, 该设计能够满足现场TCS系统水温调节需求。

TCS水温提升变更包括DN700管道、弯头、2个蝶阀和2个管件, 大口径管道焊口14道。此变更需要按照逻辑施工: 先切割旧管道, 将旧管道吊运至厂房外, 然后将新管件吊装就位, 逐段施工, 每段施工完成后及时进行射线探伤检验, 探伤合格后才能继续下一管段的安装。

【作者简介】宋帅帅(1988-), 男, 中国山东烟台人, 本科, 工程师, 从事机械工程技术研究。

### 3 TCS 水温提升变更施工难点

本次 TCS 水温提升变更为核电厂大型改造项目，具备多项施工难点和特点：

①由于 TCS 系统为常规岛首个启动系统，此变更作为核电大修变更施工项目，关系到核电厂常规岛系统的启动，对工期和质量有着严格的把控。

②变更施工区域位于核电厂常规岛工艺厂房内，空间狭窄紧凑，不利于大管径管道的运输和调整。

③变更焊接管道为 DN700 大口径螺旋缝钢管，管口易变形，对切割、焊接对口和焊接施工难度大。

④变更作业区域存在多项交叉作业，常规岛大修多项工作集中在此区域，多项大修检修项目需要穿插实施，故须由大修统筹施工计划和施工逻辑。

⑤此次变更管道焊接施工具有逻辑性，在白天完成焊口焊接后，夜间对当天焊口执行射线探伤，需确定焊接合格后方能执行下一步安装。

### 4 专项施工管理和实践

#### 4.1 大修 TCS 水温提升专项组织准备

此次变更施工占据常规岛大修主线窗口，为首次常规岛厂房内大口径管径管道的整体更换施工，突出短好快特点。故需要有严密的组织和执行效率，必须严格把控质量和进度。按照核电厂的生产安全与质量控制体系，针对该变更成立专项组织。项目由核电维修执行处全面负责，下面设置安全监督岗，并按照专业设置施工组<sup>[2]</sup>。大修专项施工组织机构如图 1 所示。

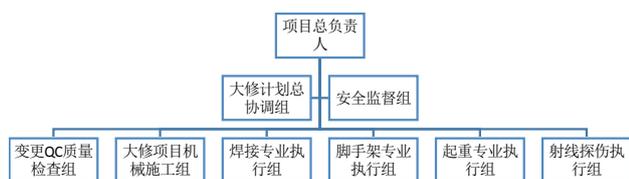


图 1 大修专项施工组织机构

#### 4.2 变更实施厂房内施工环境管理

①为克服作业空间小，无法使用大型工具，需要细化施工步骤、作业空间、运输路径等，为首次大口径管道更换施工确认先决条件。

②前期各专业现场踏勘，确认物资倒运路径。由于所更换的旧管道位于 TCS 泵与 TCS 换热器之间，为使所经路径满足大口径管道的吊装转向和运输，沿途增加吊点，采用经 TCS 泵上部空中倒运运输至厂房外。

③由于运输空间受限，无法进行整体运输安装，只能拆分成多个模块拼接。施工前运用 CAD 建模，对管线、弯头、阀门尺寸和接口位置进行模拟，降低了施工过程中管线错口不匹配的概率，缩短了管线预制的的时间，保障了 TCS 水温提升专项在大修期间顺利完成安装。

#### 4.3 焊接工艺应用

变更施工管道施工及验收要求：

第一，TCS 水温提升变更所设计管道为 DN700 大口径螺旋缝碳钢管道，管道的切割、打磨、对口及焊接要求高，避免焊接管道变形、空鼓及焊口返工。螺旋缝钢管是通过带状钢板卷成管状，并在缝口处进行螺旋焊接而制成的。由于焊缝存在，螺旋钢管的强度和均匀性相对较低，管道运输、切割、焊接极易造成管道变形和焊接质量不合格问题。为解决口径无缝钢管变形问题，在运输与焊接过程中，均在管道内壁安装十字交叉阔撑支架，保障管道的圆度。为保障焊接质量，采用多种焊接工艺，现场焊接采用氩弧打底（GTAW）+ 电焊覆盖（SMAW），确保焊口规整清洁。

第二，每道焊缝均需通过射线探伤验收。由于 TCS 系统管道变更区域，无法形成有效密封空间，故无法进行水压试验。根据 DL 5190.5—2019《电力建设施工技术规范 第 5 部分：管道及系统》要求进行严密性试验。若无法进行打压严密性验证，水压试验可用无损探伤进行替代，以满足 NB/T 20193—2012《核电厂常规岛汽水管技术设计规范》和 NB/T 25085—2018《核电厂常规岛焊接技术规程》。

#### 4.4 变更实施焊接工艺应用方法

焊接工艺创新实践应用。焊接工艺严格按照 NB/T 25085—2018《核电厂常规岛焊接技术规程》规范要求施工。但是由于大口径螺旋缝钢管出现椭圆和错口，导致管件连接焊口处出现不同程度的上下错口问题。

通过以下几种方法对焊口位置进行调整：

①通过使用手拉葫芦拉升管道进行微调，确保两管口尽量接近，确保各个接口正确对齐。

②在管口位置安装夹具和调整螺钉，使用螺钉拉升调整管道椭圆度，以满足管口错位。

按照 NB/T 25085—2018《核电厂常规岛焊接技术规程》规范，在保证焊接管件壁厚的前提下，对管口内壁进行打磨，在坡口位置形成一段过渡段。具体见规范 4.4.2 不同厚度两构件焊接厚度差处理规定中 4.4.2.1 章节，内部或根部尺寸不相等而外壁或表面齐平时，可按照图 2 的形式进行加工。

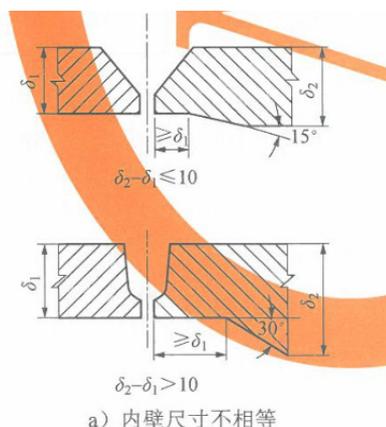


图 2 不同厚度两构件焊接加工图

首次针对大口径螺旋缝管发生严重错口情况应用焊接工艺标准,最终确保所有焊口顺利完成焊接。通过对不合格的焊缝缝隙和空心焊缝进行部分挖补填充,最终一次返修合格,为后续电厂施工提供良好技术累积。

#### 4.5 核电 TCS 变更工艺管道施工的防异物管理

核电厂管道施工防异物管理应用。此次将防异物和焊口衔接结合,制定了 QC 质量方案和清洁方案,保障了核电厂管道的清洁度。

闭式冷却水系统与常规岛汽轮机、主给水泵、凝结水泵等多个用户相连接,对管道清洁度的要求很高。此次变更施工需要切割原有管道,涉及大量切割、打磨和焊接作业,极易产生锈杂、铁屑进入系统管道,尤其是垂直管道上的杂质随着管道进入疏水口。为保证清洁度,制定了专门的清洁方案<sup>[3]</sup>。具体为以下几点:

①在新管件安装前对管道内部进行清洁,先用钢丝轮清除内部铁锈,之后用脱脂的白布对浮锈进行清理。

②对垂直管道上的切割,需要拆除垂直管下游法兰,对下游管道进行清洁。

③对新管件和现场敞口位置,均设置硬质防异物盖板,确保无异物落入管道内。

④对焊管口在对口焊接前,通过设置 QC 点,安排 QC 人员对管道内部进行防异物检查。

⑤在系统投运前,通过打开疏水阀对管道进行冲洗。

#### 4.6 施工进度协调和质量控制

施工管理制度模式创新。针对班组施工,各个项目参建人员的接口管理,建立组织结构,制定组织管理措施,采用现场监护制度、交接班制度与 QC 选点结合模式,确保了机械施工、安全监护、焊接质量验收、探伤交接,通过 QC 设置点进行交接验收模式,缩短了工作交接时间,提升沟通效率。

此变更为大修总协调管理,机械处室负责施工管理,各个作业班组和支持专业负责变更施工。TCS 水温提升变更为常规岛大修主线工作,对工期和质量有着严格的控制。大修期间作业为三班轮班制,连续施工作业。为尽早确认焊接质量,留有返工的时间,需要统筹协调白班的施工进度,并在第一时间执行夜间射线探伤验证。为保证各个专业和班组之间在连续作业和复杂多变的环境中交接正确,在保留交接班制度和交接班制度下,设置了多个 QC 点,确保重要步骤施工交接的正确性。如机械施工班组在当天完成预定焊口的焊接后,需要布置探伤作业环境,通过 QC 点,确保与探伤作业人员交接正确,夜间探伤工作顺利执行。机械人员在焊口管件进行打磨对口后向焊接人员进行交接,通过各个焊口焊接前设置防异物 QC 点,确保与焊接作业人员交接正确。

为保证整体进度把控,制作了专项施工逻辑流程图,并在现场进行张贴,由工作负责人进行整体施工进度把控。工作负责人通过日报的形式,将每天进度和偏差反馈大修总协调机构,由大修总协调机构负责协调大修总体主线进度,并根据每天的施工进度,安排当天的射线探伤工作。

#### 4.7 大修区域多项目同步施工管理

大修期间 TCS 水温提升变更区域的交叉冲突作业。在 TCS 泵与板换交接区域,大修期间对 TCS 区域存在多项交叉工作,包括多个阀门、CWS 管道防腐、TCS 泵检修,需要进行统筹规划,优化专项方案,制定了详细的施工逻辑图和计划甘特图,由大修指挥部进行统一协调安排,各项工作按部就班开展执行。

### 5 分析与评价

TCS 水温提升变更在大修期间得到了顺利实施,是大修期间短周期专项管理的成功应用。

总体概况为:

①精密的组织。施工前期的现场踏勘,各个专业分工明确,充分考虑现场作业环境,制定有效的施工方案。

②管理模式的创新应用。为保障各个专业的有效衔接、施工过程关键时间节点和质量把控,制定了施工逻辑图,并设置多处 QC 见证点,降低了人因失误,提高了沟通效率。

③焊接工艺的成功应用。针对大口径螺旋缝钢管出现管口变形导致的焊口扩张错口的问题,充分研究焊接工艺标准,制定有效的措施,保障了焊接合格率。

### 6 结语

核电厂大修常规岛 TCS 水温提升变更专项施工中,通过设置 QC 点把控质量和关键步骤节点,有效提高了组织沟通效率和提升了对工程安装质量、进度的把控,降低了大修期间人因失误和焊接质量造成的返工成本损失。

变更实施中面对工期紧,施工难度高,项目多的复杂局面,依然能够有条不紊地开展施工,保障施工进度、安全和质量。此变更的成功实施,对大修期间专项施工管理有着很好的借鉴意义。变更实施中对焊接技术的成功应用,为后续管道施工积累了宝贵经验。

大修 TCS 水温提升变更专项成功实施,提升了施工效率,缩短了大修主线时间,保障了机组正常稳定运行,为核电大修项目管理提供了一种成功的施工管理经验模式。

#### 参考文献

- [1] NB/T 25085-2018 核电厂常规岛焊接技术规程[S].
- [2] DL 5190.5—2019 电力建设施工技术规范(第5部分:管道及系统)[S].
- [3] 林诚格.非能动安全先进核电厂 AP1000[M].北京:原子能出版社,2008.