

### 主热传输系统管道安装技术及不符合项分析

The Installation Techniques for Primary Heat Transfer Piping and Non-Conformance Analysis

刘连喜

(核工业四达建设监理公司, 河北石家庄 050021)

摘要: 介绍了秦山三期工程主回路大口径管道安装的技术要求和监理内容概要, 分析了安装过程中出现的不符合项, 阐述处理措施。

关键词: 主热传输 (PHT) 管道 不符合项 (NCR) 秦山三期

Abstract: This paper introduces technical requirements and quality supervision for the installation of primary circuit large-bore piping of Qinshan Phase III Project. It also analyzes non-conformance items occurred during installation and illustrates the treatment measures.

Key words: Primary heat transfer piping Non-conformance report (NCR)

主热传输 (PHT) 管道是核一级管道, 属于一回路热传输系统的组成部分。它们是主热传输泵、蒸汽发生器和进出口集管间相互连接的大口径管道, 其安装质量会影响到蒸汽发生器、主泵泵壳等设备的位置偏差, 直接关系到核反应堆的运行和安全性能, 因此, 安装质量要求高, 技术难度大。

## 1 安装技术分析

### 1.1 模拟试验

模拟试验的目的是为了获得焊缝收缩量。钢材在焊接时, 由于不均匀受热及受约束, 产生内应力, 在焊接接头区, 焊接产生的内应力大于金属的屈服强度, 降温时膨胀的伸长量不能完全恢复为零, 即产生塑性变形, 对于管材, 变形表现为收缩。PHT管道的安装影响主泵泵壳法兰的水平度、蒸汽发生器的垂直度, 一旦管道安装完毕后, 主泵泵壳、蒸汽发生器的位置很难调整, 如果预先获得模拟试验的数据, 就可以采取一定的措施, 使主泵泵壳、蒸汽发生器的位置控制在合格范围之内。

### 1.2 焊接工艺

在制定焊接工艺前必须首先进行材料的焊接工艺评定。本工程按ASME第IX卷《焊接和钎焊评定》进行焊接工艺评定, 拟定PQR时, 应以本工程材料、选用的焊接方法等实际工况为基础, 以ASME标准规定的重要变素及非重要变素为内容, 以尽量扩大适用范围为原则。

焊接方法: 手工钨极氩弧焊 (GTAW) + 手工电弧焊 (SMAW)。

填充金属: ER70S-3 (焊丝) + E7018-SR (焊条)。

焊接接头: 坡口及间隙尺寸见图1。

综 述  
核 电 设 计  
核 电 管 理  
工 程 建 造  
工 程 建 造  
运 行 维 护  
核 安 全  
核 电 前 期  
核 电 论 坛  
核 电 经 济  
核 电 国 产 化  
质 量 保 证  
核 电 信 息

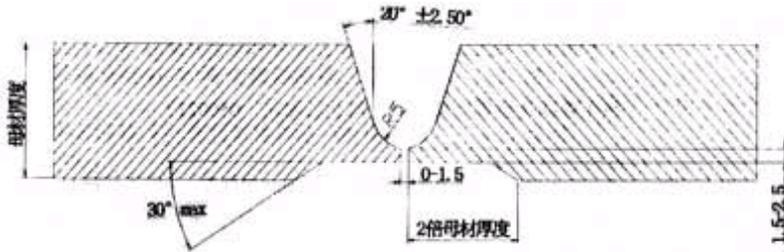


图1 坡口及间隙尺寸

预热温度：95℃。

焊后热处理：保温温度600~670℃；保温时间1 h/in，最少30 min。

### 1.3 焊接顺序

合理安排焊接顺序是控制焊接变形的一种重要工艺方法。本工程的焊接顺序为：

(1) 焊缝F1和F2应由4名焊工对其同时施焊；

(2) 焊缝F3和F4也由4名焊工对其同时施焊；

(3) 所有其它焊缝全部焊完后，对F11、F12和F13焊缝应由6名焊工同时进行焊接（注：焊缝编号见图2）。

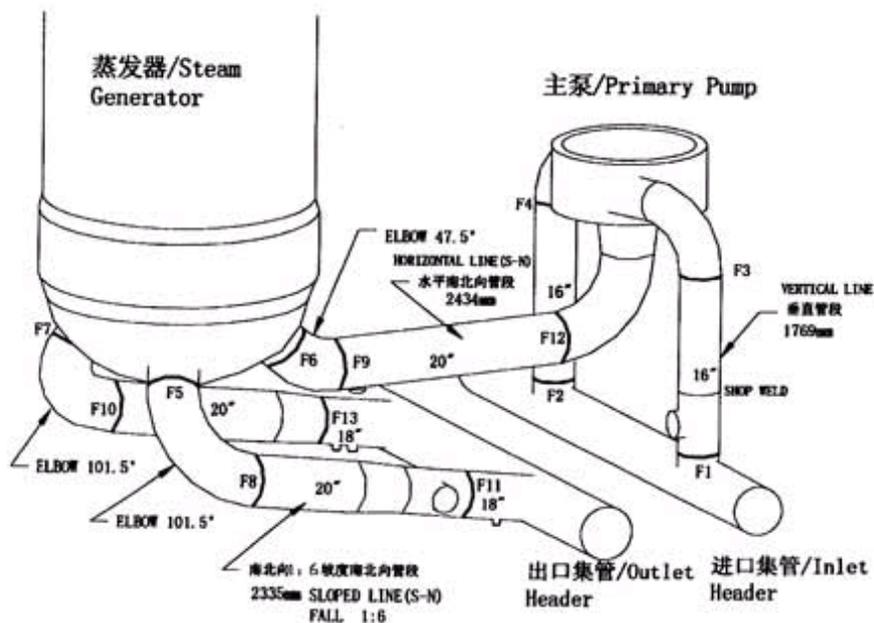


图2 PHT管道、蒸汽发生器、主泵以及集管相互位置示意图

当焊后焊接接头收缩时，管道对蒸汽发生器、主泵产生力的作用，如果按上述二个或三个焊口同时进行焊接，就会使蒸汽发生器、主泵与管道相连方向受力均衡，从而保证蒸汽发生器的垂直度、主泵泵壳法兰面的水平度。

### 1.4 焊后热处理 (PWHT)

焊后热处理的目的是消除内应力。加拿大原子能有限公司 (AECL) 在技术规格书中规定必须做焊后热处理。热处理工艺为高温回火，保温温度600~670℃，升降温速度不超过200℃/h，保温时间按ASME标准依据工件厚度计算得出。

### 1.5 无损检测的顺序

PHT管道的无损检测顺序为：外观检查 (VT) → 液体渗透 (PT) → 超声波探伤 (UT) → 射线探伤 (RT) → PWHT → 超声波测厚。

## 2 质量监督内容

在安装前，我们编写了《主热传输管道安装质量监理工作程序》对相关监理活动作出规定，下面对相关活动作进一步阐述：

## 2.1 人员

所有参加安装的人员都需经过安装程序的培训，对于特殊工种--焊工，在安装前按ASME第IX卷《焊接和钎焊评定》经过培训和考试，所有焊工都具备焊接P1材料、相应直径和厚度、2G+5G（即全位置）焊位、GTAW+SMAM焊接方法、ER70S-3+E7018-SR焊接材料的资质。

## 2.2 程序

安装前承建商编写PHT管道安装程序、焊接程序、焊缝返修程序共三个程序和PHT管道安装检查及试验计划，三个程序对安装相关活动及注意事项做出了规定，而检查及试验计划是设置在安装过程中各事项的质量检查点并记录检查结果。同时，按ASME第IX《焊接和钎焊评定》进行焊接工艺评定，并形成文件。上述质量策划的活动都经过审查和确认。

## 2.3 安装过程质量监理

对安装过程中各主要安装步骤的检查在质量监理工作程序中已做详细的规定，检查结果形成质量监理检查单及检查记录单。

## 3 不符合项报告（NCR）详析

### 3.1 NCR清单

NCR清单及内容如下。

（1）9801-LY-33122-NCR-00092：1号机组主热传输系统管道安装后，所有主泵泵壳法兰水平度超差

（2）9801-LY-33129-NCR-00053：1号机组主热传输系统管线中，管段9801-33129-5-111-1 MK-1中的一个仪表管被撞弯

（3）9801-AY-33129-NCR-01447：编号为98-33129 -3-111-MK-1 PHT管道没有按图施工，三个管嘴的位置与图纸显示相反

（4）9802-AY-33129-NCR-01561：在检查9801- 33129-3 F8焊口时，发现其母材壁厚小于要求的最小壁厚

### 3.2 NCR产生原因及处理措施

#### 3.2.1 1号机组PHT管道安装后引起所有主泵泵壳法兰水平度超差

（1）影响主泵泵壳法兰水平度的因素

从主泵与主管道的连接形式可看出，影响主泵泵壳法兰水平度的主要因素，可分为两方面。一方面是焊接 $\Phi 16''$ 垂直管段（主泵与进口集管间）上的F1、F2、F3、F4。另一方面是焊接 $\Phi 20''$ 水平管段上的F8、F9、F10、F11、F12、F13（注 $\Phi 20''$ 水平管段包括蒸汽发生器与主泵间和蒸汽发生器与出口集管间，蒸汽发生器与出口集管间的F8、F10、F11、F13对主泵水平度无影响，但按程序F8、F9、F10同时焊，F11、F12、F13同时焊）。当然，还存在一些如管道组对间隙、管段的下料尺寸（等同焊缝收缩量）、焊缝返修、焊工技术水平（如线能量、焊接方向等）、热处理先后次序等因素都会对主泵泵壳法兰的水平度产生一定的影响。

（2）主泵泵壳法兰水平度超差及方向判定

焊接 $\Phi 16''$ 垂直管段上的F1、F2、F3、F4后，无论主泵约束去除与否，热处理前后主泵泵壳法兰的水平度均能满足要求（允差值 $\leq 1$  mm）； $\Phi 20''$ 水平管段上的F8、F9、F10、F11、F12、F13焊接后（包括焊后热处理），主泵泵壳法兰水平度高差达1.2~1.7 mm，且主泵水平度偏差方向为靠CR 轴线（R/B厂房中心轴线）方向高，靠蒸汽发生器方向低。

（3）引起主泵泵壳法兰水平度变化的过程分析

焊接Φ16"垂直管段上的F1、F2、F3、F4时（F1、F2同时焊；F3、F4同时焊接），由于焊缝收缩的同时性，只能使主泵泵壳的标高降低，而对水平度无明显影响；焊接Φ20"水平管段时，F9、F12以主泵泵壳水平度影响最大，由于主泵泵壳的重量比蒸汽发生器小的多，且蒸汽发生器又有备用支撑、上部侧向支撑、下部垂直支撑的约束，当焊缝收缩时，泵壳向蒸汽发生器方向位移，最终导致以与泵壳相连的集管为支点（集管由8个限位器固定，不能移动），主泵泵壳连同垂直管段向蒸汽发生器方向倾斜，从而导致泵壳法兰水平度超差。

#### （4）1号机组主泵泵壳法兰水平度超差的纠正措施

加热F12焊口（位置见图2）至焊后热处理的保温温度，用千斤顶把主泵泵壳顶向远离蒸汽发生器方向，通过主泵与蒸汽发生器间的PHT管道的拉力，矫正水平度，NDE检查此焊缝，经上述处理，主泵泵壳法兰水平度达到了允差要求（≤1 mm）。

#### （5）2号机组PHT管道安装时预防主泵泵壳法兰水平度超差的措施

应采取预变位的办法，即在PHT管道焊接前，将主泵泵壳向蒸汽发生器相反方向（即CR轴线方向）预倾斜1 mm。

### 3.2.2 1号机组主热传输系统管线中，管段9801- 33129-5-111-1 MK-1中的一个仪表管被撞弯

此仪表支管管咀在垂直管段上，处于管道运输通道，尽管在安装时用铁环对其进行了保护，但在运输管段时，仍被撞弯，处理措施如下：

火焰加热弯曲部位（加热温度小于370℃）后校直，然后对弯曲部位做液体渗透（PT）检查，结果PT合格。

### 3.2.3 1号机组编号为98-33129-3-1111-2S-3 MK-1的PHT管道安装定位错误

#### （1）安装错误概述

1号机组编号为98-33129-1111-IS-3 MK-1 PHT管道于2001年3月28日焊接完毕，但在2001年7月14日仪表管安装过程中，发现该管段仪表管座的方向与图纸要求不符，经进一步检查，确认此管段的三个管口方位与图纸设计要求相差180°。根本原因有以下两点：

##### ① 设计原因

AECL提供的编号为98-33129-3-1111-IS-3 Rev.0施工图纸对3/8"仪表管座的方向信息存在两种截然相反的描述，引起现场指示不清。

##### ② 施工原因

在安装中仅按照图中指示的3/8"管座进行定位，未对其标高进行核查，也没有核对另外2个支管（4"和3/4"）管座方位。

#### （2）处理措施

2001年9月2日，SPM0发布FCR（编号为：9801-AY-33129-FCR-3603 Rev.3）决定3/4"管座原样接收，对4"和3/8"管座进行处理，处理措施简述如下：

##### ① 模拟试验

按照修复时的安装位置和环境条件进行现场模拟试验，对4"管座做PT、RT、UT检查，3/8"管座做PT、UT检查，合格后做PWHT，随后按ASME第IX卷规定的方法把焊接接头切片，用显微镜观察其宏观、微观金相，并提供微观金相相片。

##### a) 4" 管座

4"管座的焊接模拟试验于8月29日完成，金相分析于9月2日完成，结果未发现任何缺陷显示。

##### b) 3/8" 管座

3/8" 管座模拟试验于8月29日、9月3日、9月7日共进行三次，前二次因多种原因在金相分析时发现存在微裂纹而判废，第三次改变焊材、预热方法，即把焊材由ER70S-3改为ER70S-2，火焰预热改为电加热带预热，且背面不再充氩，金相分析结果合格，3/8" 管座模拟试验工作于9月13日完成。

## ② 修复

### a) 4" 管座及管帽

9月14日，TQNPC致函SPMO（函号：QYAY-01-00400-L），同意4" 管座及管帽的修复工作。9月15~17日，CNI23按制订的ITP（编号：9801-33129-ITP-8708）完成4" 管座及管帽的修复工作，经NDE检查合格。

### b) 3/8" 管座

经TQNPC与SPMO讨论，决定3/8" 管座不必再重新定位（见SPMO函AYQY01-1148L）。

## 3.2.4 在检查9801-33129-3 F8焊口时，发现其母材壁厚小于要求的最小壁厚

### (1) 产生原因

如图3所示，制作母材坡口时切削管子端部内圆，而焊后打磨焊缝余高，这样，就可能导致接头区（包括焊缝和热影响区）的局部减薄，当其厚度小于名义壁厚的87.5%（ASME要求的最小壁厚）时，超差。

### (2) 处理措施

- ①堆焊母材，并打磨光滑，使堆焊层与母材圆滑过渡；
- ②超声波测厚（UT）检查堆焊及打磨区的壁厚，确保达到标准要求（ $\geq$ 名义壁厚的87.5%）；
- ③磁粉（MT）或者液体渗透（PT）检查合格后，射线探伤（RT）；
- ④按原焊缝的热处理方法进行焊后热处理（PWHT）。

经上述处理后，母材壁厚全部达到要求。

## 4 小结

本项安装工程已经结束，我们从人、机、料、法、环等方面按照预先制订的监理程序对工程进行了有效的控制，产生的质量问题也得到了圆满的解决，并创造了新的CANDU堆记录（共用时21天），机组运行后的数据表明，此项工程完全符合设计要求，这为以后同样的工程提供了宝贵的经验和教训。