

# Discussion of the Risk-Quality Assurance Method on the Equipment Inspection Surveillance

Qinghai Xu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Machinery and Power Institute, SJTU, Shanghai

<sup>2</sup>Wison Engineering (China) Co. Ltd., Shanghai

Email: xqh7003@163.com

Received: May 19<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jun. 2<sup>nd</sup>, 2018; published: Jun. 8<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The thesis applies the risk-quality assurance method which was commonly used in the international engineering company on the risk analysis, risk evaluation, risk treatment, risk monitoring for the key equipment inspection surveillance of gasification plant in coal-based chemical project by the foundation of the risk management theory. The thesis discusses its theoretical basis, feasibility, implementation method and the important significance in the management of equipment inspection and surveillance of coal-based chemical projects. The countermeasures of quality problems (accidents) are also shared with living examples.

## Keywords

Coal-Based Chemical Project, Equipment Inspection Surveillance, Quality Assurance, Risk Management, Risk-Quality Assurance Method

---

# 设备监造基于风险管理的质量保证方法探讨

徐庆海<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>上海交通大学机械动力学院, 上海

<sup>2</sup>惠生工程(中国)有限公司, 上海

Email: xqh7003@163.com

收稿日期: 2018年5月19日; 录用日期: 2018年6月2日; 发布日期: 2018年6月8日

## 摘要

本文以风险管理理论为基础,将国际工程公司通用的基于风险的质量保证方法应用于煤化工项目气化装置关键设备检验的风险分析、风险评估、风险处理、风险监控;探讨了其在煤化工项目设备检验监造管理上的理论基础、可行性、实施方法和重要意义;并结合实例分享了发生质量问题(事故)时的应对措施。

## 关键词

煤化工项目, 设备监造, 质量保证, 风险管理, 基于风险的质量保证方法

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 绪论

### 1.1. 问题的提出

2007年5月,神华宁煤50万吨/年烯烃项目启动。该项目气化装置采用5台SFG500西门子GSP气化炉。关键设备包括5台气化炉、10台烧嘴、5台进料器,关键设备是高温高压压力容器,材质为低合金钢或不锈钢,焊接难度大,无损检测要求高,质量保证要求高、质量控制难度大。所有关键设备都在德国制造,跨越千山万水,如何保证气化关键设备设计、制造、检验、运输、安装质量成了项目成功的关键。

### 1.2. 研究目的

本文将国际工程公司通用的基于风险的质量保证方法应用于气化装置关键设备检验的风险规划、风险辨识、风险分析、风险评估、风险管理;探讨了其在煤化工项目设备检验监造管理上的理论基础、可行性、实施方法和重要意义;并结合项目实施过程中发生的实际案例,分享了处理质量问题(事故)的具体方法与经验教训,为以后类似项目的设备监造提供了一个有效的方法。

### 1.3. 研究意义

本文的研究意义主要表现在以下三个方面:

- 1) 在理论层面探讨了基于风险的质量保证方法在煤化工项目设备监造上的实际应用;
- 2) 第一次将国际工程公司通用的基于风险的质量保证方法引入神华集团并成功应用于气化装置关键设备检验;
- 3) 总结了实施基于风险的质量保证方法的经验教训,为后续项目的设备监造提供借鉴。

## 2. 项目介绍与难点分析

### 2.1. 企业介绍及发展前景

神华宁煤集团注册资本101亿元人民币,神华集团占51%,宁夏政府占49%。神华宁煤集团是宁夏

最大的煤炭企业，拥有煤炭资源储量 295.08 亿吨。神华宁煤煤化工基地计划在 2020 年前建成。届时煤基烯烃达到 250 万吨/年、煤炭液化达到 800 万吨/年、煤制天然气达到 40 亿立方米/年，预计基地建设总投资 2600 亿元，年营业收入达到 750 亿元[1]。

## 2.2. 聚丙烯工艺技术

该项目位于宁夏宁东能源化工基地。于 2005 年底开工，总投资约 195 亿元，每年用煤量约 526 万吨，设计规模为年产 52 万吨聚丙烯。该项目采用德国西门子 GSP 干煤粉气化工艺，设计生产能力为 52 万立方米/小时粗煤气。四合一装置采用德国鲁奇变换、低温甲醇洗、硫回收、大甲醇合成技术，设计生产能力为中间产品甲醇 167 万吨/年。MTP 装置采用德国鲁奇技术，聚丙烯装置采用德国 ABB 公司气相法聚丙烯技术[1]。

## 2.3. 气化装置的工艺流程

西门子气流床气化炉能转化多种燃料，尤其适合低品位燃料，如含高水分和灰分的褐煤。西门子 GSP 气化炉拥有较短的启动和停机时间、成熟可靠的水冷壁、中心顶置组合烧嘴设计和干粉进料系统[2]。

西门子 GSP 气化技术属于先进、大型化、高压、纯氧、熔渣操作的气流床气化技术。GSP 气化技术的显著特点包括干煤粉进料、气化反应室水冷壁结构、组合单烧嘴顶置下喷、粗合成气全激冷工艺流程等内容。该流程包括干煤粉的加压计量输送系统(即输煤系统)、气化与激冷、气体除尘冷却(即气体净化系统)、黑水处理等单元[3]。西门子 GSP 气化技术特点参数见表 1。

**Table 1.** Technical parameters of Siemens' GSP technology [3]

**表 1.** 西门子气化技术参数表[3]

项目	具体参数
技术类型	干煤粉气流床气化技术
技术名称	西门子 GSP 气化技术
进料方式	干煤粉和氧气通过组合式烧嘴同步进入气化炉
进料位置	从气化炉顶部向下喷射
喷嘴类型和特点	多层同心圆组合式烧嘴：中心为点火烧嘴，外围是主烧嘴氧气夹层和粉煤夹层
气化炉燃烧室流场结构	气化炉内为喷射、旋转气流
耐火衬里	水冷壁结构
合成气冷却方式	空腔式多喷头喷水激冷
气化介质	氧气、水蒸汽
粉煤输送载气	根据产品，可用二氧化碳或氮气
运行周期	单炉连续运行>150 天
煤的粒度范围	因原料煤要磨成煤粉，对进厂原料煤粒度无要求
煤的工业分析	理论上无要求。因经济性原因灰分最好小于 25%
操作条件	操作压力：4.2 MPa；操作温度 1350℃~1750℃
碳转化率	98%~99% (与煤质有关)
适合工业领域	煤化工生产用合成气、IGCC 发电等燃料气

## 2.4. 关键设备

该项目采用 5 台 SFG500(日投煤量约 2000 吨)西门子 GSP 气化炉, 关键设备见表 2。

## 2.5. 项目难点分析

从表 1 技术特点参数表可以看出, 西门子 GSP 气化工艺的高技术指标, 气化温度高, 一般在 1350℃~1750℃, 操作压力高: 4.2 MPa。合成气中有效气成份 CO + H<sub>2</sub> 都是易燃易爆或有毒气体。

从表 2 关键设备一览表可以看出这 20 台关键设备都是高温高压设备, 材质为低合金钢或不锈钢, 焊接难度大: 不锈钢焊接要求充氩保护(氩弧焊), 避免合金元素烧损和偏析, 焊接一次合格率要求高, 尽量避免二次返修, 禁止三次返修; 低合金钢焊接有焊前预热和焊后热处理要求, 焊接工艺复杂; 无损检测量大。

这批气化炉的关键设备是西门子 SFG500 (日投煤量约 2000 吨) GSP 气化炉的第一批产品, 从设计、制造、质量检验、运输到现场安装、预试车都存在着未知的质量风险, 因此气化关键设备的检验策划就显得特别重要。

作为项目管理公司的阿美科(中国)工程咨询有限公司有针对设备的关键性评估程序、即针对装置工艺复杂性、设备制造复杂性、承包商制造水平、设备运行的安全等级确定设备制造检验等级的程序, 有基于风险管理的质量保证程序, 我将这些程序应用在气化装置关键设备检验监造管理上, 对气化关键设备的设计、制造、检验、运输等各环节的质量风险进行分析、评估、处理、监控, 最终保证设备制造质量, 为设备及时顺利安装及项目平稳开车创造条件。

## 3. 实施基于风险的质量保证方法的理论基础

ISO31000: 2009《风险管理-原理与指导方针》指出“项目风险是对项目目标带来明显不确定性的因素, 风险存在于公司的战略、运营或项目执行的各个阶段”[4]。项目风险管理就是对所有这些因素进行识别, 将对项目执行有利的因素最大化, 将对项目执行不利的风险最小化的过程。

项目风险管理包括: 风险规划, 风险识别, 风险分析, 风险评估, 风险监督和控制;

基于风险的质量保证方法, 是指通过对设备质量风险进行识别、分析和评估, 并针对相应的风险采取处理措施, 从而将设备质量风险控制在可以接受的范围内(即设备质量满足合同要求)的一种质量监督方式[5]。风险管理是整个项目管理的有机组成部分[6]。其目的是使参与项目工作的一切人员都能建立起风险意识, 在设备的设计、制造、检验、运输交付、安装及预试车过程中充分考虑风险问题, 人人都负起处理风险的责任。

ISO9001: 2015《质量管理体系要求》首次明确: 基于风险的方法是过程方法(七项质量管理的原则之一)的一部分[7]。实施基于风险的质量保证方法在某种程度上是一种自然而然的做法。

基于风险的质量保证方法在石油化工项目设备检验监造管理上被知名国际工程公司如德西尼布、阿美科、柏科德、福陆丹尼尔、阿克科瓦那、碧维等广泛应用, 已经被实践证明是行之有效的办法。

**Table 2.** Key equipment list of gasification plant in coal-based olefin project

**表 2.** 煤制烯烃项目气化装置关键设备一览表

序号	设备名称	主要材质	尺寸	数量
1	气化炉	低合金钢	Φ3300 × 17,206	5
2	烧嘴	不锈钢	Φ1041 × 4859	10
3	进料器	低合金钢	Φ3448 × 13,045	5

### 3.1. 风险规划

风险规划是计划和设计如何进行风险管理的过程,其结果是编制出风险管理计划[5]。由于设备监造的风险管理水平不仅要与具体设备的质量风险相称,而且要与该设备在整个装置的工艺重要性、设备的复杂性、供应商的制造能力及设备操作安全要求相称,所以针对长周期设备要在项目的可行性研究阶段就要做好设备的关键等级分析,这对随后进行的检验等级划分及风险管理活动非常重要。

可行性研究阶段项目风险管理计划的编制应以设计经理为主体,由与设备质量要求形成的相关部门人员共同参与完成。长周期设备关键性等级编制的依据有七个方面:设计成熟性、发生故障时的可替代性、产品的特性、设备制造的复杂性、故障导致的人员安全性、故障导致的费用后果以及设备位置/外部影响。风险管理计划应明确在整个设备质量形成过程中,如何建立和执行质量风险评估、风险处理、风险监控和风险文档管理[6]。

神华宁煤烯烃项目气化装置的关键设备由于其工艺的复杂性(高温高压、介质为易燃易爆有毒)、制造的复杂性(低合金钢、不锈钢焊接难度大、无损检测要求高)、以及操作的高安全性要求,因此供应商都选择了德国著名的压力容器制造商 ASE, IAG, Bertsch 等,并安排质量检验员全程驻场监造。

### 3.2. 风险识别

#### 3.2.1. 风险的定义

西门子在德国弗莱贝格有一套 3 MW,一套 5 MW 的中试装置,之前应用于生产的 SFG200 气化炉,日投煤量仅为 720 吨。用于神华宁煤集团煤制烯烃项目气化装置的 SFG500 GSP 气化炉(日投煤量约 2000 吨)是其研发的批量生产的大型设备,研制风险是很大的,这种风险事件或情况一旦发生,就会对气化装置的投产目标产生某种影响。风险事件往往具有不确定性,它发生后对研制的成本、进度、质量、性能的影响是肯定的。针对气化关键设备,具有以下特征的事件即为风险事件:

- 1) 未确定的技术状态;
- 2) 新研制未经过试验的设备;
- 3) 未使用过的新材料;
- 4) 未评定过的焊接工艺或方法;
- 5) 影响操作安全的因素。

#### 3.2.2. 风险的分类

根据气化关键设备研制实际,其面临的风险按照领域可以分为以下几大类:

- 1) 技术风险(含新技术选择、技术指标风险、技术变更风险、设计缺陷、工艺缺陷、运行风险等);
- 2) 进度风险(不良的进度管理、强加任务周期、项目进度的压缩等);
- 3) 安全风险(制造过程中设施不安全或人为操作错误、管理不到位导致不利的结果);
- 4) 成本管理风险(成本计划粗放、成本控制不严、忽略时间成本关系、经费支付滞后、成本估算不准、预算错误、通货膨胀和费率变化、金融危机等);
- 5) 组织风险(任务分工不合理、资源冲突、元器件配套、工人罢工);
- 6) 外部风险(用户范围的变更、总体技术要求的变更、国家政策的变化、国际关系的变化)。

#### 3.2.3. 风险的特点

- 1) 气化装置关键设备研制的风险具有明显的不确定性,每个风险事件的发生都有一定的偶然性;
- 2) 气化装置关键设备研制、运输的风险具有较高的发生概率;
- 3) 风险的发生具有渐进性和阶段性等统计规律;

- 4) 绝大部分研制、运输、吊装、安装风险具有可控性，能够规避、化解；
- 5) 随着项目的进展，风险概率减少，处理风险的成本急剧升高。

#### 3.2.4. 风险识别的方法

设备研制风险识别的常用方法有以下几种：

- 1) 预危险分析法(Preliminary Hazard Analysis, PHA)；
- 2) 安全检查表法(Safety Check list, SCL)；
- 3) 危险因素可操作性研究(Hazard and Operability study, HAZOP)；
- 4) 工作分解结构逐级分析法(WBS step-by-step analysis)；
- 5) 流程图核验法(Process flow chart check list)；
- 6) 专家面谈或闭门会议法(Expert interview or conference)；
- 7) 情景分析法(Circumstances analysis)；
- 8) 故障类型和影响分析法(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)；

9) 关键性评定法(Critical rating assessment, CRA)关键性评定法是一种用于测定设备/材料、专用设备或系统重要性及其故障对整体系统或方案影响的有效方法，以最终确定设备/材料制造及供货采用的质量检验等级。

#### 3.2.5. 风险识别方法的确定

气化装置关键设备风险识别应用的方法是关键性评定法(Critical rating assessment, CRA)。

### 3.3. 风险分析

#### 3.3.1. 定性风险分析方法(Qualitative Risk Assessment)

使用定性术语将识别出的风险概率及其后果描述为高、中、低三档。风险概率是指某一风险发生的可能性。风险后果是指某一风险事件发生对项目目标产生的影响。对每一项风险综合考虑概率和影响，给出定性的评价结果。

#### 3.3.2. 定量风险分析方法(Quantitative Risk Assessment)

不同的风险对设备及工艺系统的影响是不同的，可以通过计算风险重要值(Critical rating)来衡量设备风险的重要性。通过采用此方法，可确保设备的等级、审查及检验、以及资源保证等级与故障带来的影响及后果一致，以据此对非关键性内容的规格过高、核查、检验等加以限制，而对关键性设备则提高检验要求。

#### 3.3.3. 风险量化的基本过程

- 1) 确定关键性评定标准

表 3 关键性等级评定标准对工程设计承包商确定设备关键性评定值时应予以考虑的 7 项标准做出了详细说明，且每一标准细分为 4 个严重性等级，且严重性程度从 1 到 4 逐步递增。

根据风险因子对风险的影响程度确定风险因子的层次，影响大的等级应高一些，权重应大一些；反之影响小的权重可以小一些。

- 2) 关键性评定值计算

选择适当的、科学的风险度量方法，真实反映项目的技术风险状态。在进行关键性评定打分时，工程设计承包商应按照此流程表 3 所列的 7 个标准对设备整体考虑，并将结果记录到关键性评定计算表 4 中。

### 3.4. 风险评估

风险评估是识别质量风险、分析其可能性和影响程度的过程。风险评估是风险管理的关键过程，是实施风险处理和风险监控的前提。风险评估以风险管理计划、设备研制或采购合同、承包商的质量体系、质量形成过程、以往的历史数据等为输入，应用有关风险评估工具和技术，得出风险的触发事件、量化的风险优先次序清单、风险等级清单、一些风险所表现出的定性、趋势等[6]。

经过第三节的风险分析，如果相关各方已就关键性评定值取得一致，应将其连同询价单号、设备号

**Table 3.** Critical rating assessment standard

**表 3.** 关键性等级评定标准

序号	评价标准	评价标准细分	严重性等级
A	设计成熟性	采用成熟的设计	1
		更改了成熟设计	2
		成熟设计推广	3
		新的、创新性设计	4
B	发生故障时备用性	允许采用已安装旁路或转换功能且方便	1
		会引发问题，但无整体性损失	2
		允许采用旁路或转换功能但有整体损失	3
		对装置操作有害并有严重后果	4
C	产品特性	无毒无害	1
		低危害/毒性/温度/压力	2
		中等危害/毒性/温度/压力	3
D	制造复杂性	高危害性/毒性/温度/压力	4
		较少简单工艺	1
		许多简单工艺	2
		至少一套复杂工艺	3
E	故障导致的人员安全性	复杂工艺较多	4
		感到对人员有风险	1
		系统及设备将人员风险减至中等程度	2
		明显有人员风险	3
F	故障导致的费用后果	人员风险高	4
		费用可忽略	1
		直接后果总费用小	2
		直接后果总费用中等	3
G	位置/外部影响	直接后果总费用过高	4
		隔离--仅操作人员	1
		装置位置--仅操作人员	2
		项目边界--及现场人口	3
		当地环境敏感性高	4

**Table 4.** The calculation format of critical rating assessment value**表 4.** 关键性评定值计算表

设备	关键性评定分数								CR	供货商设计内容	
	设备名称	A	B	C	D	E	F	G		TOTAL	是
气化炉	4	4	4	3	4	4	4	4	27	S	Y
烧嘴	4	2	4	4	3	3	3	3	23	1	Y
进料器	4	4	3	3	4	4	4	4	26	S	Y
<b>总分</b>	<b>关键性评定值</b>								<b>检验等级及说明</b>		
26 - 28	S								A: 实施驻场监造并监控质量保证工作;		
22 - 25	1								B: 质量保证工作极重要, 不得妥协;		
17 - 21	2								C: 质量保证工作相当重要, 关键点见证;		
11 - 16	3								D: 建议进行质量保证工作, 如出厂前的检验;		
7 - 10	4								E: 出库设备合格。		

**Table 5.** The critical rating assessment format**表 5.** 关键性评定表

询价单号	设备位号	设备名称	关键性评定值
SHNM-XJ-0001	R-23101	气化炉	S
SHNM-XJ-0001	B-23201	烧嘴	1
SHNM-XJ-0001	D-22105	进料器	S
...	...		

及名称等输入到关键性评定表中(表 5)。

关键性评定表是质量计划的组成部分。

针对表 4 关键性评定计算表中 5 种关键性评定值中的任一评定值, 表 6 对与之对应的典型采购质量计划做出了说明。

为避免询价包中质量保证/控制内容发生冲突, 询价工程师应负责按照供货商图纸、数据要求及澄清文件要求对采购质量计划要求表进行交叉检查。发布询价包前必须解决所有冲突和不确定项。

### 3.5. 风险监测与控制

风险监测与控制指追踪已识别风险, 监测残余风险、识别新风险、确保风险计划的执行、并评估及降低风险有效性的过程。风险监测与控制是在项目生命期内不间断地进行的过程。随着项目逐渐成熟, 风险发生变化, 或者是形成了新的风险, 或者是原有的预期风险消失了。

风险监测与控制过程进行得好, 可以提供有助于在风险发生之前制订有效决策。需要与所有项目利害关系者沟通, 以定期评估项目风险水平的可接受性。

#### 3.5.1. 制定设备采购质量计划-要求表

该过程包括: 根据表 6 对与之对应的典型采购质量计划做出的说明, 承包商的供货商检验部门制定相应设备关键性等级的采购质量计划-要求表, 该表提供了对现有风险处理的方法。

气化炉、进料器的关键性等级为“S”; 烧嘴的关键性等级为“1”。



关键性等级为“S”的设备“采购方在所有制造阶段实施驻厂检验”而且有“第三方独立检验”；关键性等级为“1”的设备“采购方在制造最后阶段实施驻厂检验+通过随机抽样进行质量验证”而且没有“第三方独立检验”。

### 3.5.2. 制定风险应对措施

风险监控过程中，根据承制单位质量体系和主要过程的变化情况，调整风险处理方法。当发现质量风险增大时，必须及时采取纠正措施，直到把质量风险控制在可接受的水平。当通过质量管理体系审核、产品质量趋势分析，发现风险较低时，也应对风险管理处理方式做出调整，降低质量监督的成本。

**Table 6.** The Procurement quality plan apply for the typical equipment based on the critical rating assessment value  
**表 6.** 用于具体设备关键性评定值的采购质量计划

	选定关键性评定值的要求	关键性评定值				
		S	1	2	3	4
1.0	发布询价前审查供货商的质量保证合格证书	M	R	N	N	D
2.0	供货商投标时对质量系统文件作简要说明	M	R	N	N	-
3.0	供货商投标时提供第三方质量评估细节及批准证书副本	M	R	N	N	N
4.0	供货商简要提供最近三年内外审(第 1/2/3 方)过程中发现的重大问题及其有效的关闭措施记录。	M	N	N	N	N
5.0	供货商投标时提交质量计划	N	N	D	D	-
6.0	签订合同后供货商提交实际质量计划供审批	M	R	D	D	-
7.0	投标时供货商提供典型质量计划	N	N	N	D	-
8.0	订货后供货商提交实际质量计划供审批	M	R	N	D	-
9.0	采购方订货前在供货商/分供货商工厂进行授标前审核	M	R	D	D	-
10.0	采购方订货后在供货商/分供货商工厂进行授标后审核	M	R	D	D	-
11.0	在供货商/分供货商工厂召开预生产会议	M	R	D	D	-
12.0	制造过程中采购方随机考察访问供货商/分供货商工厂	M	R	N	N	N
13.0	采购方在供货商/分供货商工厂实施实时设备监造	M	R	N	D	-
14.0	采购方为具体质量控制阶段或停检点做见证检查	M	M	R	D	-
15.0	采购方质量控制部门在设备交付前见证功能/性能试验	M	M	R	D	-
16.0	采购方专业工程师在设备交付前见证功能/性能试验	M	M	R	-	-
17.0	采购方在所有制造阶段实施驻厂检验	D	D	D	-	-
18.0	采购方在制造最后阶段实施驻厂检验	R	D	D	-	-
19.0	通过随机抽样进行质量验证	-	-	-	D	N
20.0	设备交付前采购方进行最终检验及试验(包括证书及文件审查)	M	M	M	N	D
21.0	让步申请提交采购方供审批	M	M	M	M	M
22.0	第三方进行独立检验	D	D	D	-	-
23.0	分供货商审批	M	M	M	-	-
24.0	允许制造前审查设计文件、图纸及流程	N	N	D	D	-

符号: **M** = 强制要求; **R** = 必要要求; **N** = 正常要求(一般工业要求); **D** = 针对原材料、设备、或部件提出的要求。

### 3.5.3. 建立风险报告制度

通过派遣有丰富经验的质量监督员驻扎在关键设备制造厂，每天监督、管理设备制造过程，包括但不限于：审核和批准承包商制造工艺、焊接工艺评定和焊接工艺规程、质量计划和检验试验计划；审核和批准分供应商；审核材料接收记录和原材料、构配件合格证；参与关键质量控制点，如烧嘴的压力试验和点火试验、气化炉和进料器水压试验等；审核无损检测报告和交工技术资料等。对每一关键过程的见证监督都要形成检验报告，如果有不符合项则要发布不符合项报告；检验报告和不符合项报告要及时发布，让项目经理、项目工程师和检验协调员及时了解情况；并对存在的质量风险进行评估，以采取必要的措施来消除这些质量风险。

## 4. 发生质量问题(事故)的风险应对措施

风险的应对措施有六种：减轻、预防、转移、回避、接受和储备风险[6]。

由于气化装置关键设备的技术复杂性，尽管项目部通过风险规划、风险识别、风险分析、风险监督和控制，采取了各种风险应对措施。可是在设备的制造安装过程中还是出了几次质量问题(事故)，幸好我们实时调整风险应对措施，才及时处理了质量问题(事故)，采取了赶工期等措施，把设备风险对装置预试车和开车的影响降到最低。

### 4.1. 消除不成熟焊接工艺风险(风险接受)

气化装置共有 10 台带有复杂水冷壁的烧嘴，西门子把这 10 台气化炉烧嘴分别安排在两家工厂制造，具体分工见表 7。

ASE 是前东德著名的气化炉烧嘴供应商，我国很多大城市煤气气化炉烧嘴就出自该厂。2008 年 4 月底我第一次见证第一台烧嘴水压试验时，见该厂质量经理应用一个试压软件，将压力传感器与电脑连接，在试压过程中自动实时监测试压压力并生成试压曲线，能够有效避免超压或者试压时间过长或不足等质量问题，这种做法很先进；

在审查其焊接记录和制造记录时发现有一个不符合项报告：B-23101 烧嘴第三层循环水冷却壁一个大小头因为壁厚 8 mm (小于设计壁厚要求的 10 mm)被更换，因为烧嘴共有 5 层水冷壁，第三层已经隐蔽在设备内部，不能进行壁厚测量，于是我要求检查替换下来的大小头，果然在库房里见到了这个标识为不合格品的大小头，因此这个工厂的质量是有充分保证的，4 台烧嘴水压检验见证和资料审查顺利通过。

西门子柏林工厂成立于 1895 年，主要生产压缩机叶片等高精尖产品，这次承担制造 6 台烧嘴。然而由于烧嘴结构复杂，焊接难度大，无损检测要求高(316H 不锈钢的焊接工艺最多允许返修一次，绝不允许出现第二次焊接返修)，该工厂以前没有烧嘴的制造经验，316H 不锈钢焊接工艺不成熟，工人焊接技能不熟练。我在审核第一台烧嘴焊接工艺评定和制造记录时，发现其焊接一次合格率仅 81%，某些循环水冷壁关键焊口第二次焊接时仍然不合格，也就是说出现了不允许的第三次焊接，因此第一台烧嘴不能接收。要求柏林工厂重新制作第一台烧嘴。西门子工厂重新采购零部件，加强焊工培训，严格遵守焊接工艺评定，提高焊接一次合格率。后面几台焊接一次合格率不断提高，最终也顺利交付。

**结论：通过严格的驻场质量监督和制造记录审核消除承包商不成熟焊接工艺风险。**

**Table 7.** The distribution list of burner's manufacturers

**表 7.** 烧嘴的制造厂分布表

序号	制造厂	工厂地址	制造数量
1	ASE	Chemnitz	4
2	Siemens	Berlin	6

## 4.2. 运输风险的转移与消除(转移风险)

气化关键设备都是高温高压压力容器，制造工艺复杂、设备壁较厚，重量较大，运输时气化炉和进料器属于超限设备(见表 8)；海运还要考虑设备内部充氮气保护和防海洋性气候腐蚀、海关清关与检查、以及设备到港后陆路长距离运输等，每一个环节都存在着风险，因此出于风险转移的考虑在设备订货时就为每一台设备投了工程一切险。

其中五台进料器在奥地利位于阿尔比斯山的布鲁登茨 Bertsch 压力容器厂制造，水压试验、喷砂除锈、油漆和包装在德国鲁尔工业区鲁尔河莱茵河交汇处的杜伊斯堡 TIEFENBACH GMBH 工厂进行；然后从德国汉堡港发船，到达大连港后，再由载重卡车经辽宁—河北—河南—山西—陕西—宁夏，最后到达银川市宁东镇。第一台进料器在经过河北某高速公路收费站时，由于超限只能走高速收费站最外侧通道，这个通道地基承载力不够导致大件运输车发生侧翻，进料器坠地导致部分管嘴和人孔被损坏。

事故发生后我方物资装备部迅速联合法务部发起了保险索赔，并联系原设备制造商一起评估设备损坏情况，认为设备整体结构未受影响，仅需更换损坏的管嘴与人孔，要求设备供应商制定进料器的修复方案。根据与西门子初步谈判的价格，保险公司先发放这部分价格 50%的预付赔偿款作为进料器修复启动资金。然后设备制造厂预订修复需要的设备接管、法兰、焊接材料等，按照原制造工艺(WPS/PQR)在银川市宁东镇大件设备制造厂对损坏接管、人孔重新焊接，重新进行压力试验。整个事故调查—专家论证—修复方案审批—进料器修复—质量验证工作历时约 5 个月，总算没有影响设备最终安装和调试工作。由于该设备事先投了工程一切险，事故的损失由保险公司承担。

**结论：为工程项目(关键设备)投保-风险转移是对付高风险事件的有效手段。**

## 4.3. 试压吹扫失误的意外风险(风险回避)

2008 年 11 月，所有 20 台气化关键设备制造验收完毕，然后经过两年紧张施工所有气化装置工艺设备安装就位，2010 年 10 月份连接设备的工艺管道基本安装完毕。

管道安装完毕后，应按设计要求对管道系统进行压力试验。管道系统的强度试验与严密性试验，一般采用水压试验[8]。

工艺管道系统试压合格后，可根据其工作介质使用条件及管道内表面的脏污程度对其进行空气吹扫、蒸汽吹扫等，常用空气吹扫。管道吹扫的一般要求：

不允许吹扫的设备及管道应与吹扫系统隔离[8]。

管道吹洗合格后，除规定的检查及恢复工作外，不得再进行影响管内清洁的其他工作，并应填写《管道系统吹洗记录》。

2010 年 6 月~2010 年 11 月，施工单位对工艺管道进行了试压、吹扫和恢复安装。

2010 年 11 月，第一台气化炉试车并一次点火成功；

2011 年中 4 月，产生的合成气最终产出合格的聚丙烯；

**Table 8.** Dimension and weight list of the gasification plant key equipment

**表 8.** 气化装置关键设备的尺寸重量一览表

序号	设备名称	重量(t)	尺寸(mm)	数量
1	气化炉	194.15	Φ3300 × 17,206	5
2	烧嘴	4.85	Φ1041 × 4859	10
3	进料器	102	Φ3448 × 13,045	5

2011年中5月,一台烧嘴由于冷却水供应不足引发保护系统连锁反应造成气化炉停车,整个气化装置(5套)低效运行,下游装置相应降效生产。维修队把这台烧嘴拆除检查发现,烧嘴内部的水冷壁里有大量手套、螺栓、扳手、锤子等作业工具与焊条头、电焊渣等垃圾,经专家会商认为:这是一起管道吹扫作业时未对设备有效隔离造成的质量事故。

**结论:风险管理能够规避大部分质量风险,但风险管理不是万能的;有时候低概率风险引发的质量事故,也会带来巨大损失。**

#### 4.4. 成立合资公司共担设备研制风险(风险分散)

2005年神华集团在对市场上最有竞争力的德士古、壳牌和西门子气化炉进行比较、分析和采购洽谈时,这些长期垄断气化技术的公司都很傲慢,开价也非常高。最终神华集团确立了以开放市场为前提,成立合资研发公司,以市场换技术的妙招。

看到中国煤化工市场巨大潜力的西门子公司,于2006年5月收购了德国未来能源有限公司及该公司100%的股权。这样西门子GSP气化技术已经有30多年的研发经验与20多年煤化工实际生产经验。该技术起源于前东德国家燃料研究所[3]。在中国神华集团合资前,采用GSP气化技术的西门子SFG200气化炉,日投煤量约720吨,先后气化过东德地区的褐煤、天然气、废油等液态废料,对原料不挑剔,但并不是工艺最好的气化技术,市场占有率也比较低。

北京杰斯菲克气化技术有限公司作为德国西门子燃料气化技术有限公司与中国神华宁煤集团公司50%对50%的合资公司,唯一拥有在中国转让GSP气化技术的转让权[3]。合资后研发的SFG500气化炉,日投煤量约2000吨,实现了由中型向大型生产装置的历史性跨越。第一批5台SFG500气化炉在德国IAG奥斯那布鲁克工厂制造。

2011年4月,神华宁煤烯烃项目开车成功带来了良好的市场示范效应。截止2013年1月,SFG500GSP气化炉订货量41台,9台运抵客户现场,32台开工制造。

2014年8月28日,德国西门子公司首批国产化SFG500型气化炉出厂仪式在大连举行。该批气化炉共8套,分别由中国第一重型机械集团大连加氢反应器制造有限公司和大连金州重型机器集团有限公司承制[9]。这标志着北京杰斯菲克气化技术有限公司已经完成了西门子关键气化设备的国产化工作。

**结论:成立合资公司,开放市场共担风险,成就了西门子气化炉在中国煤化工市场的领先地位。**

## 5. 结论

本文应用关键性评定法(Critical Rating),对神华宁煤烯烃项目气化装置关键设备制造风险进行识别、分析、评估,进而制定设备关键性为“S”级(气化炉、进料器)，“1”级(烧嘴)设备的采购质量计划,在气化关键设备的制造过程中通过派遣质量监督员驻场监造,消除了大部分的设备制造质量风险。这是基于风险的质量保证方法第一次通过阿美科工程咨询管理公司引入神华集团并应用于气化关键设备的检验,并证明这种方法是行之有效的。

本文还通过具体的实例分享了质量问题或质量风险发生时的应对措施,如大件运输投保的风险转移,以市场换技术的合资公司风险分担模式,通过严格的驻场质量监督和制造记录审核消除承包商的制造质量风险(风险接受)以及风险无处不在防不胜防的风险意识(风险回避)等都对未来项目的风险管理具有现实的借鉴意义。

## 致 谢

2008年4~10月,我代表神华宁煤在欧洲验收气化关键设备时,老婆带着儿子在上海生活很不容易。

特别感谢挚爱的家人！

最后感谢程晓鸣老师，授人以渔功德无量！

## 参考文献

- [1] 中国煤化工网. 神华宁煤煤化工项目一览[EB/OL]. <http://www.cnmhg.com/Technology/>, 2013-02-17.
- [2] 西门子气流床气化炉系列产品又添新成员-西门子能源[EB/OL]. <https://w3.siemens.com.cn/energy/cn/zh/news>, 2014-05-15.
- [3] 西门子(GSP)气化技术\_百度文库[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/ad0c5161ddccda38376baf34.html>, 2011-01-25.
- [4] ISO 31000 (2009) Risk Management, Principle and Guide Policy.
- [5] 白凤凯, 蒋兴宏. 基于风险管理的质量监督方式探讨《装备指挥技术学院学报》[J]. 2006, 17(4): 25-28.
- [6] 沈建明, 主编. 项目风险管理[M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2010 (2012 重印).
- [7] ISO 9001 (2015) Quality Management System, Requirement.
- [8] GB50235-1995. 工业金属管道工程施工及验收规范[S].
- [9] 全球化工设备网. 西门子首批国产化 SFG-500MW 气化炉出厂[EB/OL]. <http://www.chemsb.com/news/d137938.html>, 2014-09-04.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7311, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [mm@hanspub.org](mailto:mm@hanspub.org)