

Analysis and Discussion on Valve Spare Parts Supply for Hualong Units

Shuai Chang

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Under the domestic policy of actively, safely and orderly development of nuclear power and the actual situation of large-scale construction of Hualong Units, based on the SCOR model, the paper analyzes the characteristics of nuclear power valves and the current industry situation, discusses the risks in process of centralized procurement and guarantee, and puts forward reasonable suggestions. The aim is to reduce the complexity of the supply chain management, improve production efficiency, control quality risks, enhance the resilience of the supply chain and provide a strong guarantee for the safe and stable operation of Hualong Units.

Keywords

Hualong units; Valves; Spare parts; Supply chain management

华龙机组阀门备件供应保障分析与探讨

常帅

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

在国内积极安全有序发展核电、华龙机组批量建设的产业背景下, 基于SCOR模型, 剖析核电阀门特点与行业现状, 探讨集中采购与保障过程中的核心环节风险, 并提出合理化建议。旨在降低供应链复杂度, 提高生产效率, 控制质量风险, 提升备件供应链韧性, 为华龙机组安全稳定运行提供有力保障。

关键词

华龙机组; 阀门; 备品备件; 供应链管理

1 引言

随着全球“双碳”目标不断推进, 人类对清洁能源的需求在不断增加。核电作为清洁、高效、稳定的能源, 已在全球各个国家迎来新的发展机遇。华龙机组作为我国独立具有自主知识产权的三代核电技术, 也正在积极安全有序地发展。阀门是确保机组安全性、可靠性的关键设备之一, 为确保华龙机组高质量建设、投产及运行, 阀门备件的及时、可靠供应能够建立稳定库存, 减少机组因阀门故障导致的停机时间, 降低维修成本, 提高核电站经济效益和安全性。因此, 深入研究华龙机组阀门备件保障策略具有重要的现实意义。

2 核电发展趋势及阀门备件供应管理现状

2.1 核电发展趋势

随着全球对清洁能源需求的持续增长, 核电作为清洁、高效、稳定的能源受到了越来越多国家的关注, 许多国家纷

纷制定或重启了核电发展规划, 增加核电在能源结构中的占比。在我国, 核电项目核准数量也呈上升趋势, 2022~2025年每年都有超10台机组获批。截至2025年6月底, 在运核电机组58台, 核准在建机组54台, 总装机容量12537万千瓦[1]。

2.2 阀门在核电中的应用

阀门是流体输送系统中的控制部件, 广泛应用于核电站中, 阀门备件保障及时性、质量可靠性均影响核电机组运行安全。在核电站中, 阀门起到控制流体流量、调节系统压力、截断或导通流体、实现安全防护等重要作用。核电阀门按安全等级分为核级和非核级; 从安全级别上, 核电阀门分为核安全I级、II级、III级、非核级, 核安全I级要求最高。核级阀门在厂房各区域均有分布, 核安全I级设备主要分布在核岛, 核安全II级主要分布在核岛和常规岛, 核安全III级主要分布在核岛、常规岛和辅助设施中[2]。

在CPR二代机组中, 两台百万千瓦级核电机组需各类阀门3万台左右; 在华龙一号三代机组中, 两台百万千瓦级核电机组需各类阀门3.6万台左右[3]。因增加安全系统冗余以提高安全性, 三代机组比二代机组阀门使用量增加

【作者简介】常帅(1986-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 本科, 工程师, 从事核电供应链保障研究。

了20%。阀门投资占核电机组投资额的4-6%，新增一台机组阀门需求约8-12亿元；机组运行期间，维修更换需求每年约10亿元左右。近年来在我国核电政策推动下，阀门市场规模出现明显增长，截止2023年我国核电阀门市场规模达85亿元，较2022年增长7.6%，其中新增核电阀门市场规模约75亿元。随着核电站数量的不断增加，对核电阀门的需求也正在大幅增长，为核电阀门市场提供了广阔的发展空间[4]。

2.3 核电阀门特点及行业现状

核电阀门主要有三大特点：

Ø 高安全要求：阀门是核电站中使用数量较多的介质输送控制设备，连接着众多系统，其质量直接关系到核电站的安全运行。因此，核电阀门必须满足安全标准，具备良好的密封性、可靠性和抗辐射性；

Ø 高技术标准：核电阀门的设计、制造需要涉及多种专业技术，产品设计需要严格按照RCC-M、ASME等标准，关键产品还需要经过强度、材料、抗震、抗辐射、抗腐蚀的实验，才能实现最终的大规模量产。对于一些关键阀门（如稳压器安全阀、主蒸汽隔离阀等）技术要求更是需达到国际领先或先进水平；

Ø 行业集中度高：我国核电阀门行业形成了由少数具备核I级阀门生产能力的主导企业与多家专注于核II、III级及非核级阀门生产的企业共同构成的产业格局。

随着国内核电机组的不断核准，核电阀门市场需求快速增长的同时，核电阀门厂家也面临着产能紧张的问题。从实际情况来看，华龙机组批量建设后，核电阀门备件年需求量涨幅在30%左右，重要阀门及备件需求数量上涨明显，需求占比已从15%上升至25%，货期也较三年前普遍延长20%~50%。究其原因，一方面核电阀门生产工艺复杂，尤其是重要阀门及备件从原材料采购、零部件加工、成品试验到组装出厂每个环节都需要把控质量，导致生产周期长，生产效率难以快速提升；另一方面，随着华龙机组国产化率的进一步提升，国内具备核级设计及制造资质的阀门企业数量有限，这些企业因受到多方市场需求、原材料供应、设备、人力、生产模式、生产规模等因素的影响，产能无法继续保持原有货期，产能提升空间较大。

3 基于标准 SCOR 模型构建的核电阀门备件供应链管理模型

SCOR (Supply-Chain Operations Reference model) 是经典的供应链管理模型，旨在为不同工业领域供应链运作提供参考和指导，也可应用于核电阀门备件供应链的管理。SCOR 模型将供应链分为计划 Plan、采购 Source、生产 Make、配送 Deliver、退货 Return 五个基本流程[5]。

生产型企业的供应链产品流主要包括向上游分供商采购原材料/半成品—企业生产加工—向下游客户交付或向市场销售产品等环节；但核电企业与一般生产型企业不同，其供应链产品流主要是从供应商处采购成品一定期维修保持

机组运行—对外输出电力，偏向消耗型企业。故本文重点阐述备件由供应商生产直至交付核电厂的流程与环节。

4 集采供应链各流程关注问题及风险

核电备件供应链管理以实现“保供应、保质量”为核心目标。在华龙机组批量建设的背景下，鉴于阀门在核电领域的安全性、重要性、应用广泛性及产品特点，采取集中采购的形式既符合阀门类产品特点又可增强核电企业对供应链的主导能力。企业集中需求并对信息流、产品流、资金流进行有序梳理与推动，可对上游阀门制造企业有较强地引导作用；通过对供应链全链条的分析整合，也可以提高阀门备件供应链抗风险能力和总体竞争力。下面分别阐述阀门备件集采过程中计划、采购、生产、配送、退货各流程应关注的问题及风险。

4.1 计划流程

4.1.1 设计选型

核电厂设备设计选型主要源自工程建设、运营期间改造及替代等工作。无论是工程建设阶段选用产品，还是运营时出现停产淘汰情况，均会引入新设备。若阀门选型参数不合适、不满足现场工况等情况，将会导致阀门选型或换型失败。所以，设计选型阶段应避免选型不合适或错误的情况发生；

4.1.2 技术信息管理

阀门选定后，将基于设计手册、维修手册、替代报告等文件进行备件技术信息管理，载体是备件编码、采购技术规范书、功能位置、物料 BOM 等。阀门备件编码应包括物料名称、规格型号、RIN 码、材质、图纸号、图项号、厂家唯一识别码等，应具有准确性、唯一性、完整性等特点；华龙机组批量建设期间，应结合工程 LOT 包建立标准阀门备件编码清单；对于重要阀门及备件，应编制采购技术规范书明确采购信息、生产要求、试验要求等内容；阀门所用位置众多，应将功能位置及物料 BOM 维护准确、完整。技术信息管理应避免备件编码信息有误或重复编码、采购技术规范书内容不完整或不明确、功能位置及物料 BOM 缺失或不完整等问题出现，降低技术管理复杂度及工作量；

4.1.3 需求计划

核电厂备件需求主要来源于日常维修、换料维修、建立或保持库存，需求类别分为预防性维修、纠正性维修、补充库存等。对于预防性维修备件，应根据维修大纲按要求进行工单预留并产生采购需求，实现按需求数量、准时交货的精准保障目标；对于纠正性维修备件，应结合历史故障、领用数据、采购周期等因素，建立需求预测模型，制定合理的 MRP 参数；对于价值高、不常用、货期长但若缺货则会导致机组后撤或核安全功能降低等严重后果的备件，要综合考虑备件重要程度、损坏概率、失效后果等因素制定库存储备策略；普通备件应结合领用数据确定库存储备数量，确保周期内完成消耗；华龙机组批量建设期间，应结合 LOT 包建立标准阀门备件需求清单，批量提报采购需求，形成规模效

应以提高生产履约效率;

4.2 采购流程

4.2.1 供应商选择

核级阀门供应商必须具备授权日期有效的国家核安全局颁发的民用核安全设备设计与制造许可证;需对代理商代理证书进行核对,确保采购标的与代理范围相符;按要求完成供应商资质评审,确保厂家具备合格的质保、技术、商务能力;

4.2.2 采购计划制定

根据需求计划制定合理、集中的采购计划;可结合厂家生产需要,对不同品类、不同生产要求、不同货期的产品进行分别下单,以确保备件供应全流程成本最低、效率最高、质量有保证;

4.2.3 采购效能提升与成本控制

集中采购并开展产品溯源可提高企业对供应商的议价能力,降低采购成本;与供应商建立长期合作协议,双方签署框架协议或计划协议,争取更稳定的价格与服务;利用电商平台实施采购,提高工作效率;固化合同文本,减少沟通成本;如遇紧急需求,充分与供应商协调沟通,增加生产资源,缩短制造周期以满足现场需求;

4.3 生产流程

4.3.1 文件准备

核电厂应对供应商的备件生产质保大纲进行确认及审批;双方应对备件采购技术规格书、生产质量计划的内容及监造点完成一致性确认;

4.3.2 生产环节

主要包括原材料采购、毛坯加工、精加工、热处理、装配、试验等环节。在批量采购、生产交货压力陡增的情况下,应关注以下方面:

原材料管理。原材料稳定供应是保证生产顺利进行的关键,供应商应建立并储备合理库存,避免因原材料短缺导致的生产停滞。加强原材料检验和存储管理,防止原材料在存储过程中发生变质、损坏等情况;

优化生产计划。供应商应强化需求管理,打破订单与生产令号的故有关系,探索根据备件品类、相近工序等因素重新整合并安排生产资源,合理制定生产计划,以提高生产效率;

加强质量监造。质量是企业的生命线。应制定详细的监造计划,明确监造内容,设置质量控制点,对关键工序进行重点监控。对于关键的核级阀门应驻厂监造,确保生产过程全程监控与及时响应;监造人员应严格按照合同要求和相关标准开展质量检验,确保阀门及备件符合技术规范要求;

4.3.3 交货及验收

由于原料交付延迟、生产延误、供应商管理水平参差不齐等原因,很容易发生备件延期交付的情况,影响核电厂正常生产安排。生产及监造过程中,若发现质量问题或生产进度延迟等情况,应及时开展沟通协调,要求相关方积极制定整改措施;对于重大质量问题,可组织专家进行评估、制

定解决方案。到货验收是备件质量管控的重要一环,应制定清晰的验收标准,对备件技术信息、质量、数量、文件等方面进行检查,确保到货实物与需求一致且质量合格,严格落实验收责任。

4.4 配送流程

阀门厂大多离核电厂较远,交付过程中既要考虑运输效率,又要降低运输中的质量风险。对需求紧急、价值较高的备件一般选择空运;对体积、重量较大的备件一般选择海运;对于超高、超重的备件需安排专车运输,并提前办理相关手续;对于进口备件或核监管备件还需要预留充足的报关报检时间;

4.5 退货流程

核电厂会对型号不符、质量存在问题的备件开具到货差异并退返厂家重新供货。差异备件应与供应商及时协商处理方案并明确责任方;应从源头控制差异产生,引导供应商提高制造水平、落实出厂前检查,避免到货后才发现异常;退货过程中应做好包装和跟踪,避免备件损坏或丢失;

5 供应链风险评价及绩效提升

通过对供应链进行系统分析,可制定出各流程环节的关键绩效指标(如需求准确率、采购及时率、监造及时率、按时交货率、产品合格率等),从而提高供应链整体效率和备件质量可靠性。利用数字及AI技术,开发更多适用于供应链管理提升的数智化系统及工具,实现全流程在线操作,提高流程自动化水平;通过智能算法优化,精准预测供需波动,缩短上下游响应时间,提升库存周转率与订单履约率;实时开展数据分析、统计及监控,全面驱动供应链绩效提升。

6 结语

核电阀门备件保障是一项重要而复杂的工作。近年来,随着国内核电事业蓬勃发展,备件保障任务与压力也愈发艰巨。作为备件供应链管理人员,在与供应商深化合作的基础上,应共同完善供应链全流程保障管理机制,提高生产效能及备件质量;善用数字化与AI技术,持续提升供应链管理能力,加强核电备件供应链保障韧性,以更好地应对挑战,确保核电机组安全稳定运行,推动我国核电产业的高质量发展。

参考文献

- [1] 国家核安全局.全国核电运行情况(2025年1-6月).2025; https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/hyzt/202508/t20250808_1125164.html
- [2] 机械:核准常态化渐进,核电阀门有望受益; <https://www.cnnpn.cn/article/43551.html>,2024-09-10.
- [3] 2024年中核科技研究报告:核电行业复苏趋势强劲,核阀领军企业乘势而起; <https://www.vzkoo.com/read/20240403dbdde544732e7efe1a01d835.html>,2024
- [4] 智研咨询.中国核电阀门行业市场供需态势及发展前景研判报告.2025.
- [5] 罗伯特·雅各布斯.运营管理[M].(第14版).北京:机械工业出版社,2017.