

自优势,系统的能力尤其是计算分析、精确控制以及感知能力都得以大大提高,其结果是:

一方面,系统的工作效率、质量与稳定性均得以显著提升;

另一方面,人的相关制造经验和知识转移到信息系统,能够有效提高人的知识的传承和利用效率。

在这一阶段,制造系统从“人-物理系统”演进为“-信息-物理系统”“人(HCPS—Human—Cyber—Physics Systems),如图2-3所示。后者对于前者最本质的进步在于增加信息系统(Cyber System),从二元系统进化为三元系统。

信息系统(Cybersystem)的引入使得制造系统同时增加了“人-信息系统(HCS)和“信息-物理系统”(CPS)。其中,“信息-物理系统”是非常重要的组成部分。美国在本世纪初提出了“信息-物理系统”(CPS)的理论,德

国将其作为工业4.0的核心技术。

“信息-物理系统”(CPS)在工程上的应用是实现信息系统和物理系统的深度融合,即实现了数字双胞胎,成为实现第一代和第二代智能制造的技术基础。

(3)新一代智能制造系统(如图2-4所示)最本质的特征是其信息系统增加了认知和学习的功能,信息系统不仅具有强大的感知、计算分析与控制能力,更具有了学习提升、产生知识的能力。

在这一阶段,新一代人工智能技术将使“人-信息-物理系统”发生质的变化,形成新一代“人-信息-物理系统”(如图2-5)。主要变化在于两点:

第一,人将部分学习型的脑力劳动转移给信息系统,因而信息系统具有了“认知和学习”的能力,人和信息系统的关系发生了根本性的变

化,即从“授之以鱼”发展到“授之以渔”;

第二,通过“人在回路”的混合增强智能,人机深度融合将从本质上提高制造系统处理复杂性、不确定性问题的能力,极大提高制造系统的性能。(如图2-6所示)

新一代智能制造,进一步突出了人的中心地位,是统筹协调“人”、“信息系统”和物理系统”的综合集成大系统;

一方面,将使制造业的质量和效率跃升到新的水平,为国家强大和人民的美好生活奠定更好的物质基础;

另一方面,将使人类从更多体力劳动和大量脑力劳动中解放出来,使得人类可以从事更有意义的创造性工作,人类的思维进一步向“互联网思维”、“大数据思维”和“人工智能思维”转变,人类社会开始进入“智能时代”。

智能化制造主要特征:

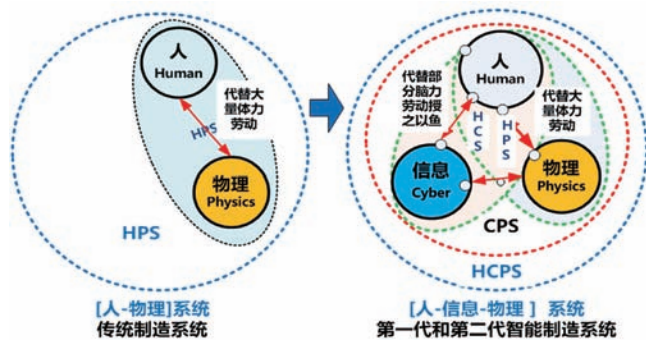


图2-3

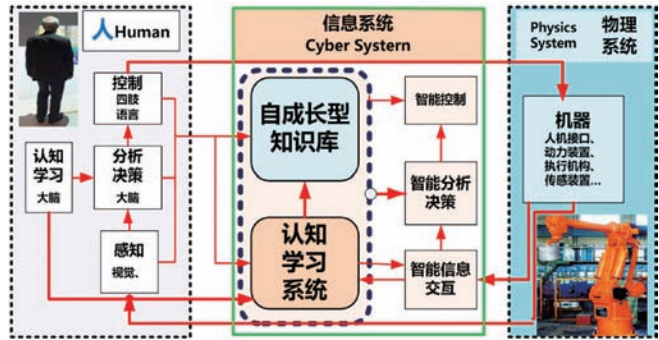


图2-4 新一代智能制造系统

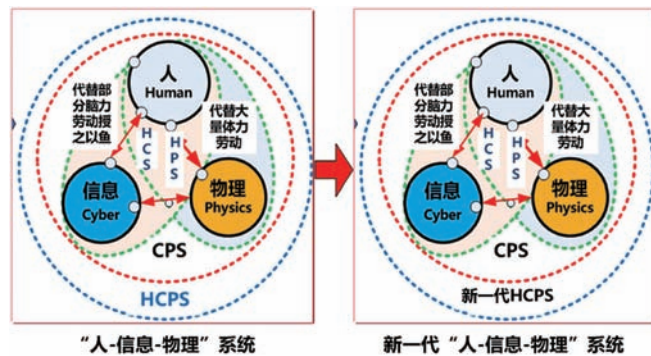


图2-5 新一代人工智能技术

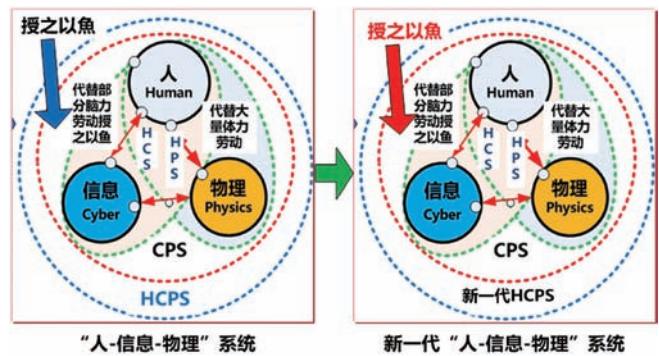


图2-6

第一,人将部分学习型的脑力劳动转移给信息系统,因而信息系统具有了“认知和学习”的能力,人和信息系统的关系发生了根本性的变化,即从“授之以鱼”发展到“授之以渔”;

第二,通过“人在回路”的混合增强智能,人机深度融合将从本质上提高制造系统处理复杂性、不确定性问题的能力,极大提高制造系统的性能。

第三,智能制造的核心是AI2.0软件,长期投资,人类与人工智能协作,解决人工智能的伦理、法律和社区影响,人与机器和谐相处可靠性、安全性,人工智能培训及测试的公共数据集和环境,制定标准和基准以测量和评估人工智能技术,人工智能的研发队伍是核心……

智能制造的三个基本范式体现了智能制造发展的内在规律,体现着先进信息技术与先进制造技术融合发展的阶段性特征。三个基本范式在技术上并不是绝然分离的,而是相互交织、迭代升级,体现着智能制造发展的融合性特征。对中国等新兴工业国家而言,应发挥后发优势,采取三个基本范式“并行推进、融合发展”的技术路线。

智能制造在西方发达国家是一个“串联式”的发展过程,数字化、网络化、智能化是西方顺序发展智能制造的三个阶段。他们是用几十年时间充分发展数字化制造之后,再发展数字化网络化制造,进而迈向更高级的智能制造阶段。在中国,制造业对于智能升级有着极为强烈的需求,近年来技术进步也很快,但是总体而言,中国智能制造的基础非常薄弱,大多数企业,特别是广大中小企业,还没有完成

数字化制造转型。

我国大力推进“互联网+制造”的成功实践给我们提供了重要的启示和宝贵的经验。并行推进数字化制造、数字化网络化制造、新一代智能制造,考虑到中国智能制造发展的现状,也考虑到新一代智能制造技术还不成熟,中国制造业转型升级的工作重点要放在大规模推广和全面应用“互联网+制造”;同时,在大力普及“互联网+制造”的过程中,要特别重视新一代智能制造技术的融合应用,“以高打低、融合发展”。使得广大企业都能高质量完成“数字化补课”;我国在推动三个基本范式“融合发展”时,必须制定统一的标准,这对我国智能制造发展至关重要。

《中国制造2025》确定了数字化、网络化、智能化制造三种基本范式;

美国国家科学技术委员会,美国网络和信息技术研发小组委员会2016年10月13日发表了《美国国家人工智能与机器智能研究与发展战略计划》;

德国国家工程院2017年4月6日发表《德国工业4.0成熟度三部曲》;向我们展示了智能制造美好前景及今后努力方向;

工业4.0一词自2011年以来,一直被广泛用于描述制造业的未来。然而,现在我们必须清醒意识到,仅从技术角度阐释第四次工业革命的相关发展,显然是不足的;是系统工程;企业还需要组织和文化层面的改革。作为对这一点越来越明显的趋势,就是“企业数字化转型管理”。是一场触及灵魂的革命。我认为《航天产品工程》是系统工程;对智能制造有借鉴价值。

3 产品工程理论是数字化生产线基础

认真研究产品设计是主导、材料是基础、制造是关键、工艺是桥梁、检测环试是保障。解决产品质量、可靠性、使用寿命与国外同类产品型谱对标、产品设计一次成功、产品制造零缺陷,制造过程污染最小,追求制造业理想境界,智能制造与产品工程已提上日程!

从工程需求出发,产品工程研究的重点既要包括产品成熟程度定义、度量标准和度量规则,也应包括实现产品成熟的途径和方法。从基本内涵考虑,产品成熟至少应包含技术完备、状态固化、生产稳定、过程受控等几方面含义,并能够基于产品成熟的本质特性和内在规律实现各要素的系统融合。

产品工程的理论研究主要包括以下两点:

(1)产品技术状态的变化,其原因可能来自元器件、原材料等基础产品自身的变化,也可能来自产品涉及的专业技术的发展和更新。

(2)产品生产过程要素的变化,其原因可能来自生产岗位人员的变化,或者来自生产管理体系的变化。就理论本身而言,产品工程理论既具有工程技术的属性,也包含了管理理念和方法,是在系统工程方法论基础上对管理和技术进行交叉融合和深化研究后形成的综合技术成果。

3.1 产品型谱(如图3-1所示)

3.2 系统工程方法论

五个结合、五个转变:

(1)定性与定量相结合,由定性

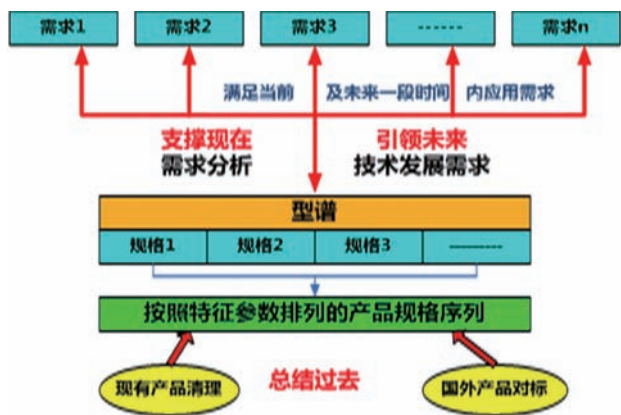


图3-1 产品型谱

认识向定量认识转变；

(2) 宏观与微观相结合,由实现宏观认识向微观认识转变；

(3) 创新与规范相结合,技术活动由创新向规范化方向转变；

(4) 人与计算机相结合,技术作业由人工作业向自动化作业转变；

(5) 不确定性与确定性相结合,对系统风险的把握由不确定性向确定性方向转变。

3.3 系统工程的核心思想

在系统工程方法论的基础上,综合工程研制和质量管理的相关经验和成果,作为产品工程研究的基础。

系统工程的核心思想可深化概括为“综合集成、集成综合、迭代深化、放大细节、严格管理、快速成熟”等6

个方面。

(1) 综合集成→构建组成产品工程任务需求的系统原型；

(2) 集成综合→使系统原型尽可能接近真实系统的技术状态；

(3) 迭代深化→在新阶段对前一阶段进行迭代,反复

识别,分析,持续改进系统设计；

(4) 放大细节→深化对系统关键细节的把握；

(5) 严格管理→保证系统工程实现跨学科协同和专业综合的基础和保障；

(6) 快速成熟→探索开发适用产品工程特点的快速成熟路径和方法,开展有效的质量可靠性保证工作。

3.4 系统工程技术状态管理

技术状态是指在技术文件中规定的,并且在产品中所要达到的产品功能特性和物理特性。技术状态管理是系统工程管理的重要组成部分,是复杂大型工程在研制生产过程中,确保产品质量、降低费效比、缩短研制周期的有效措施。

技术状态管理主要包括:技术状态标识、技术状态控制、技术状态记实和技术状态审核等活动,如图3-4所示。

(1) 技术状态标识:

包括确定产品结构,选择技术状态项目,技术状态项目的物理和功能特性以及接口和随后的更改形成文件,为技术状态项目及相应文件分配标识特征或编码等所有的活动。

(2) 技术状态控制:

技术状态文件正式确立后,控制技术状态项目更改的所有活动。

(3) 技术状态记实:

建立的更改状况和已批准更改的执行状况所做的正式记录和报告。

(4) 技术状态审核:

功能技术状态审核:是为核实技术状态项目是否已经达到技术状态文件中规定的性能和功能特性所进行的正式检查；

物理技术状态审核:是为核实技术状态项目建造/生产技术状态是否符合其产品技术状态文件所进行的正式检查。

3.5 系统工程技术状态基线管理

(1) 技术状态基线(Baseline)是指在某一特定时间正式规定的产品的技术状态,它是后续活动的参照基

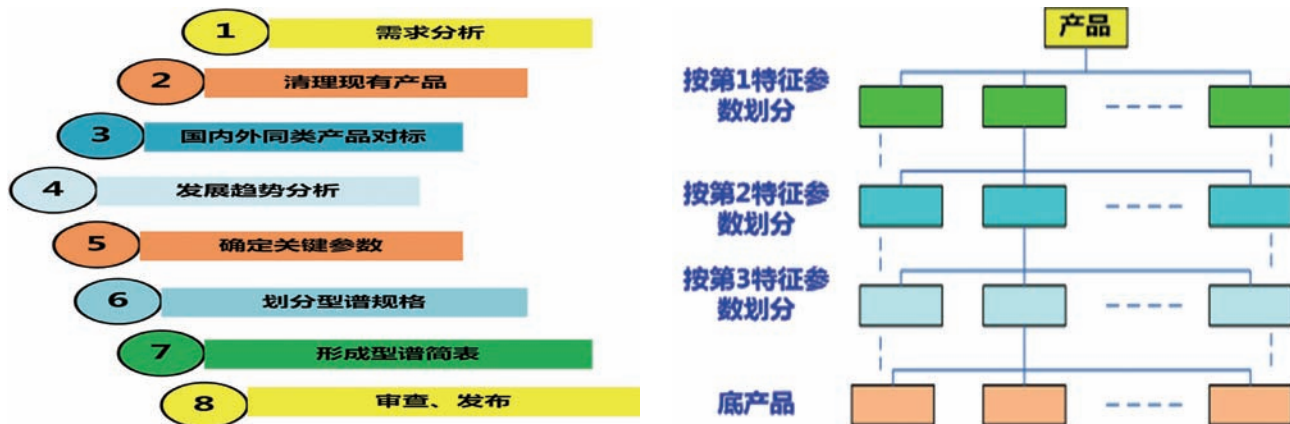


图3-2 产品树示意图

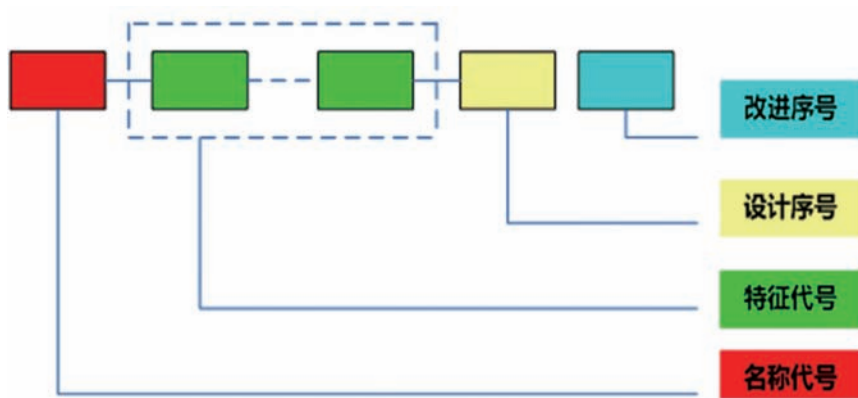


图3-3 产品代号组成形式



图3-4 技术状态管理

准。一般要考虑3个基线，即功能基线、分配基线和产品基线。

1) 功能基线:

功能基线主要是对研制任务书规定的产品功能特性和性能特性作出详细说明，以及对有关问题约束形成技术要求。这就是最初的功能技术状态标识。

2) 分配基线:

分配基线是最初批准的分配技术状态标识，通过先行试验等活动和确认，将产品或系统的功能分配到产品的各个组成部分，形成产品各个组成部分的设计任务书。

3) 产品基线:

产品基线是最初批准或有条件批准的产品技术状态标识，是经过初步设计、技术设计和鉴定等阶段后，形成产品重复或批量生产使用的成套技术文件。

(2) 基线管理是贯穿于产品研制全过程的管理既要确立同一阶段的基

线，又要保持研制全过程设计的连续性和继承性。

对于经批准确立的基线不应轻易变更，在特殊情况下需进行变更时，必须按原审批程序和级别重新进行批准。技术状态基线与经过批准的更改，共同组成现行获准的技术状态。

3.6 系统工程产品分析方法

在系统工程方法论的指导下，在实际工作中提出了一些具有较强可操作性和代表性的产品分析方法和技术工具，成为产品工程重要的理论方法基础。具有典型代表性的主要是：

“1+6+2”可靠性分析方法、“九新”风险分析方法以及面向产品的质量分析等，在有效支持系统工程管理活动的同时，也推动了系统工程方法论的丰富和深化

(1) “1+6+2”可靠性分析方法

“1”即完善产品的故障模式与影响分析(FMEA)，包括设计、实现过程、使用等各环节的失效模式分析

“6”即做好抗力学环境设计、热设计、电磁兼容性设计、静电防护设计、抗辐射设计、裕度设计等6个方面的设计与分析；

“2”即元器件选用和可靠性试验验证2项充分性分析。

“1+6+2”方法要求可靠性关键环节的保证措施要落实到生产、测试的过程文件之中，做到可控；

可靠性验证要充分，要求分析历史积累的仿真、试验和数据，验证整机可靠性指标的达标情况，真正做到量化。

(2) “九新”风险分析方法

“九新”风险分析方法，是指在结合产品特点的基础上，重点针对新技术、新材料、新工艺、新状态、新环境、新单位、新岗位、新人员、新设备等进行深入和系统的分析，识别风险，制定规避和控制风险的措施与预案，确保各阶段针对风险管理的关键工作项目系统全面，工作重点清晰明确，工作安排合理可行，保障资源落实到位。

3.7 系统工程产品质量管理与保证

以系统工程方法论为基础，将质量管理体系、产品保证与过程质量控制三者有机结合，构建了系统质量管理活动的基本框架。其中，质量管理体系是顶层规范和工作基础；

产品保证是基于任务提出的量化的质量要求；

过程质量控制活动则是依据工作要求形成的刚性约束和控制措施。

质量管理领域具有重要影响的质量问题归零“双五条”和技术状态变化控制“五条”准则。

3.7.1 质量问题归零“双五条”标准

质量问题归零“双五条”，包括技术归零和管理归零两个方面。目前，它

正以其自身的科学性、先进性和有效性，被越来越广泛地应用于包括领域在内的全国其他技术领域，成为规范人们质量活动的一项共同的行为准则。

(1) 技术归零

所谓技术归零，是指针对质量问题的技术原因进行归零。它包括定位准确、机理清楚、问题复现、措施有效、举一反三等5条具体要求。

1) 定位准确，是要求确定质量问题的准确部位。

2) 机理清楚，是要求通过理论分析和试验等手段，确定问题发生的根本原因。

3) 问题复现，是要求通过试验或其他验证方法，确定问题发生的现象，验证定位的准确性和机理分析的正确性。

4) 措施有效，是指针对发生的质量问题，制定并采取可行的纠正措施，保证产品质量问题得到解决。

5) 举一反三，是指把发生的质量问题信息反馈给本型号、本单位和其他单位、其他型号，并采取预防措施。

(2) 管理归零

所谓管理归零，是指针对质量问题的管理原因进行归零。它包括过程清楚、责任明确、措施落实、严肃处理、完善规章等5条具体要求。

1) 过程清楚，是要查明问题发生、发展的全过程，从中查找管理上的薄弱环节或漏洞。

2) 责任明确，是要求根据质量职责，分清造成质量问题的责任单位和责任人，并分清责任的主次。

3) 措施落实，是要求针对管理上的薄弱环节或漏洞，制定并落实有效的纠正措施和预防措施，确保类似问题不再发生。

4) 严肃处理，是指对由于管理原因造成的质量问题应严肃对待，从中吸取教训，达到教育人员和改进管理工作的目的。

5) 完善规章，是指要针对管理上的漏洞或薄弱环节，健全和完善规章制度，并加以落实，从制度上避免质量问题的发生。

3.7.2 技术状态变化控制“五条”原则

产品工程研制中要严格控制技术状态。不得随意更改。确需更改，必须按论证充分、各方认可、试验验证、审批完备、落实到位五条原则执行。

技术状态变化控制五条原则，是多年来产品工程研制实施技术状态更改控制的经验总结，是产品工程研制过程中实施技术状态更改必须遵守的基本准则。

1) 论证充分：

论证要充分研究需要解决的问题、发展变化过程、问题产生的原因，全面考虑系统内部各要素的相互联系和影响，防止决策方案的盲目、随意和草率，做出科学负责的决策。

2) 各方认可：

是产品工程更改所涉及的各相关部门和(或)相关技术系统应对更改的必要性及更改方案的可行性有清楚的认识并形成共识。

3) 试验验证：

是以产品工程试验等方式来证实更改方案的正确性、可行性、有效性。

4) 审批完备：

是指产品工程所有涉及更改的技术状态文件，均应按规定的职责和程序完成审查和批准，并签署完整。

5) 落实到位：

是指产品工程对已批准的技术状

态更改要求，各相关部门应贯彻执行、落到实处。

3.8 工艺文件(四可三不同)

四可：可操作、可量化、可检测、可重复；

三不同：不同时间、不同地点、不同人员(技级相同、培训后)均可生产。

3.9 元器件、原材料四统一

元器件四统一：

统一采购，统一老化、统一测试，统一发放。

原材料四统一：

统一采购，统一验收，统一测试，统一发放。

组批生产五清六分批：

五清：产品批次清、质量状况清、原始记录清、数量清、炉批号清。

六分批：分批投料、分批加工、分批转工、分批入库、分批装配、分批出厂。

3.10 产品数据包

数据包(Data Package)是按特定规则整合在一起的数据集合。在国外工程质量保证领域已应用多年，指特定信息和记录的集合。20世纪90年代，德国宇航质量保证要求接收数据包(Acceptable Data Packag)(见表1、表2)

产品数据包是产品设计、制造、检验、交付全过程技术活动量化控制结果的总和。数据包中的各项数据为生产过程的实际测量记录，包括数据和影像，其主要内容包括以下几个方面。

1) 产品功能性数据：主要包括反映产品最终状态在使用环境下(试验状态)的功能性能的完整数据。

2) 产品基础数据：主要包括构成产品的元器件、原材料、成品件等基础数据。

3) 产品关键特性数据：主要包括产

表1 德国宇航公司接收数据包内容典型目录示例-1

序号	内容
第1部分	标题页, 表明该硬件的名称
	分配的文件编号、版次和相应的批准签署
	更改控制页
	内容目录
第2部分	下一级接收数据包的总清单和有序列号的硬件项目清单
	搬运文件
第3部分	交付评审委员会备忘录
	未闭环的工作/试验清单
第4部分	临时性安装清单
	合格证
第5部分	履历文件
	有限寿命项目的工作时间/周期记录
第6部分	强制性检验点和强制性检验点状况清单
第7部分	生产技术状况清单(ABCL)和设计技术状态清单
第8部分	超差申请和超差申请(RFW)状况清单
第9部分	主要不合格报告和全部不合格报告状况清单
第10部分	试验报告
	接口控制文件
第11部分	接口图样
	总装图
	安装图
第12部分	搬运、包装、运输和贮存程序
第13部分	用户手册
	调整程序
第14部分	污染控制程序和洁净度控制记录
	安全性程序
	各种危险的说明
	老化敏感性项目

表2 与可靠性规定有关的数据项目清单

任务	适用的资料项目说明	数据要求
101	DI-R-7079	可靠性大纲计划
103	DI-R-7080	可靠性状况报告
104	DI-R-7041	报告、失效总结和分析
201	DI-R-7081	可靠性数学模型
202	DI-R-2114	报告、可行性分配
203	DI-R-7082	可靠性预计报告
204	DI-R-1734	报告、失效模式、影响与危害性分析报告
	DI-R-2115A	报告、失效模式和影响分析(FMEA)
205	DI-R-7083	潜通电路分析报告
206	DI-R-7084	电子元器件/电路容差分析报告
208	DI-R-35011	计划、关键项目控制

品设计、制造过程产生的设计、工艺和过程控制3类关键特性。也是产品随成熟程度不断完善、细化的核心内容。

产品数据包是产品成熟度提升的核心管理工具,设计产品数据包本身也是产品开发活动的一项核心任务,需要系统策划,逐步优化完善。

产品数据包案例:(如图3-5、3-6所示)

xxN推力器是XXxx器推进系统的关键部件和最终执行部件,为xx器提供控制和姿态控制所需要的力和力矩,使其在寿命期间完成姿态控制和位置保持。

产品环境验证数据包(如图3-7所示)

产品生命周期数据包(如图3-8所示)

对于产品在前期已完成的研制试验和考核项目,如其试验条件覆盖试验的相关要求,在对相应的证实材料进行审查和确认后,开展使用寿命试验。确保产品可靠性和生命周期。

3.11 精细化管理,解决产品化最后一公里问题(如图3-9、3-10、3-11所示)

3.12 系统工程——产品成熟度体系框架图(如图3-12所示)

3.13 系统工程——告别微笑曲线

从当前的制造发展来看,面临一些新的需求,突出的表现在效率、时间和灵活性,在效率方面我们的制造业迫切的要求提高我们能源效率、资源效率、生态效率和生产效率。

过去,我们生产研发一款产品,可以在市场上销售八到十年,持续盈利。现在,一个产品生存周期只有一到两年,手机八到十个月就换一代。

所以,制造业面临着创新周期大幅度加快,表现为一种快速迭代式的创

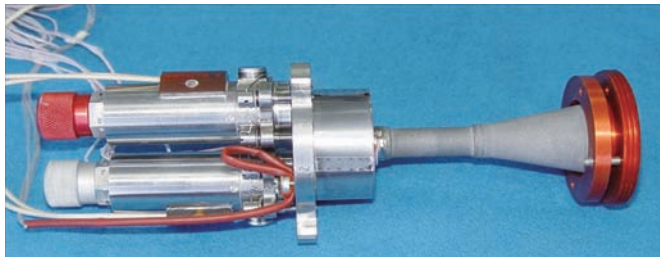


图3-5

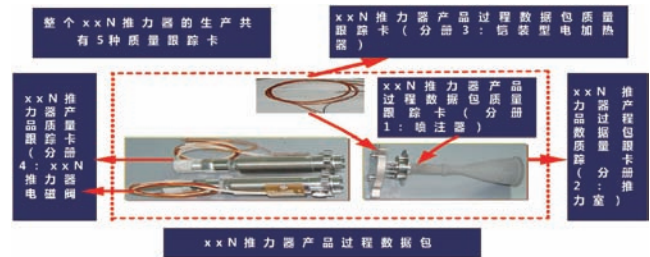


图3-6 XXN推力器产品过程数据包



图3-7 产品环境验证数据包

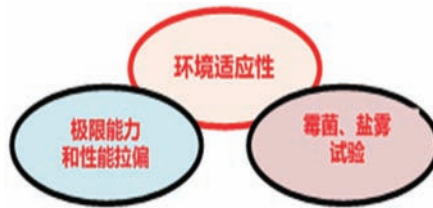


图3-8 产品生命周期数据包



图3-9 精细化管理解决方案

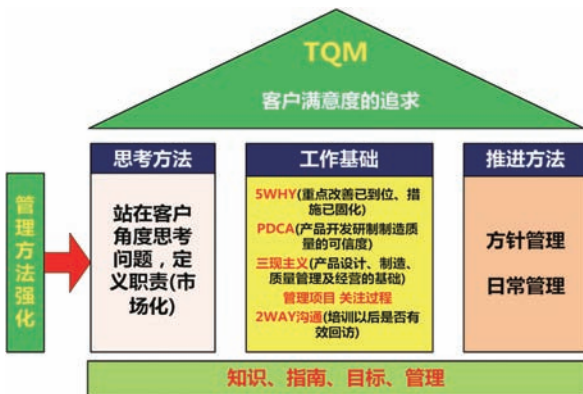


图3-10 强化管理方法

XX厂XX车间XX班组管理看板					
人员	质量	设备	生产/小停	安全/成本	改善
班组成员技能矩阵图	班组质量管理指标趋势图	班组TPM管理指标趋势图	班组生产管理指标趋势图	班组安全作业指导书	班组精益改善提案跟踪转移图
班组成员年度休计划	班组质量、工艺点检问题趋势及精益跟踪	班组TPM点检问题数量趋势及措施跟踪	影响指标的主要原因指标趋势图	班组安全点检问题数量趋势及措施跟踪	班组改善提案记录表
班组长作业指导书	班组工具点检问题数量趋势及措施跟踪	TPM自主保全计划	班组小停转移图	班组成本管理指标趋势图	班组变化点管理记录表
员工技能培训计划矩阵图	反省会记录表	计划保全计划表	班组小停快速解决汇总表	影响指标的主要原因指标趋势图	员工改善提案统计图

图3-11 管理看板案例

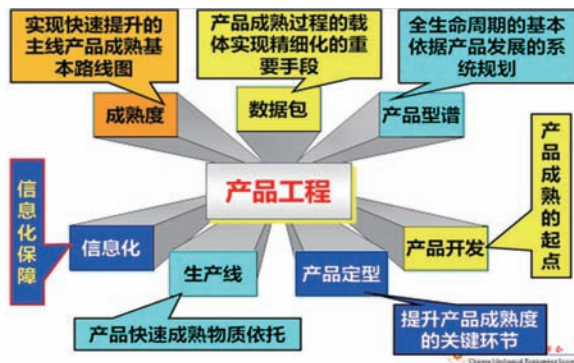


图3-12 系统工程——产品成熟度体系框架图

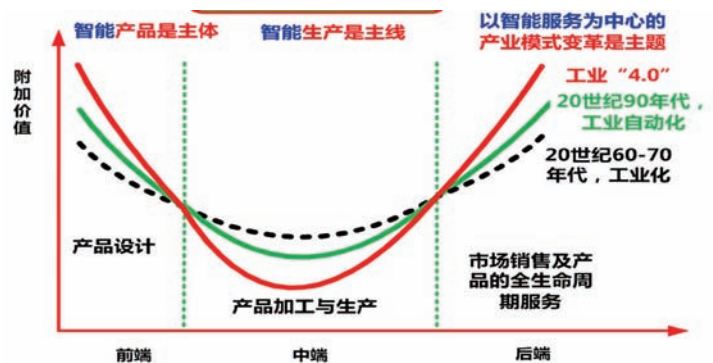


图3-13 系统工程——告别微笑曲线

新。对技术转化为生产力的时间需求也越来越高。我们对创新提出开放协同的需求,不能再像过去那样单打独斗。制造业要想满足个性化需求,企业就要灵

活多变,对企业数字化转型。

现在对待智能制造上,最大的问题是太想明天成功,但这个世界上没有事情是明天就能成功的!基础

设施建设,员工素质,在关键技术上话语权……所以我们的路还很长。

(未完待续)