



中华人民共和国国家标准

GB/T 41392—2022

数字化车间可靠性通用要求

General requirements for the reliability of digital workshop

2022-04-15 发布

2022-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	V
引言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 一般要求	3
5.1 数字化车间可靠性要求	3
5.2 数字化车间可靠性信息要求	6
6 数字化车间可靠性工作项目要求	6
6.1 基本要求	6
6.2 可靠性工作项目	6
6.3 数字化车间工作流程	7
7 数字化车间可靠性管理要求	8
7.1 基本要求	8
7.2 制定可靠性工作计划	8
7.3 对承建方与外协/外购方的监督和控制	8
7.4 可靠性评审	8
7.5 故障管理	8
8 数字化车间可靠性设计要求	9
8.1 基本要求	9
8.2 可靠性相关功能设计	9
8.3 可靠性设计方法选择	10
8.4 典型数字化车间各功能层次的可靠性设计要求	10
9 数字化车间可靠性验证要求	11
9.1 基本要求	11
9.2 可靠性验证	11
10 数字化车间运行可靠性要求	12
10.1 基本要求	12
10.2 可靠性跟踪与评价	12
附录 A (资料性) 数字化车间可靠性模型示例	13
A.1 数字化车间功能结构	13
A.2 数字化车间可靠性框图	14
A.3 数字化车间可靠性模型	15
附录 B (资料性) 数字化车间可靠性设计准则编制	16

B.1	编制可靠性设计准则的步骤	16
B.2	某生产线可靠性设计准则(例)	16
附录 C (资料性)	数字化车间可靠性相关功能设计	18
C.1	可靠性相关功能实现	18
C.2	可靠性相关功能设计	18
附录 D (资料性)	数字化车间对象可靠性属性模型	23
D.1	零部件	23
D.2	中间件(在制品)	23
D.3	产品	24
D.4	数字化设备	24
D.5	数字化设备故障记录	24
D.6	数字化设备故障维修记录	25
D.7	数字化设备故障模式模型	25
附录 E (资料性)	数字化车间设备状态监测系统和可靠性管理案例	26
E.1	概述	26
E.2	机加工设备状态监测和可靠性管理需求分析	26
E.3	机加工设备状态监测和可靠性管理系统设计与实现	27
附录 F (资料性)	可靠性仿真试验	30
参考文献		31
图 1	本文件与其他智能制造相关基础标准的关系	IV
图 2	数字化车间可靠性工作流程图	7
图 3	数字化车间工序可靠性模型	9
图 A.1	数字化车间体系结构图	13
图 A.2	数字化车间功能层次图	13
图 A.3	数字化车间功能原理示例图	14
图 A.4	数字化车间可靠性框图	14
图 A.5	数字化车间生产管理系统可靠性框图	14
图 A.6	数字化车间生产控制系统可靠性框图	15
图 C.1	数字化车间可靠性相关功能实现步骤	18
图 C.2	典型数字化车间功能结构示意图	19
图 C.3	数字化车间可靠性相关功能需求图	20
图 C.4	数字化车间可靠性相关功能设计	22
图 E.1	机加工设备状态监测和可靠性管理模型框图	26
图 E.2	机加工设备状态监测与可靠性管理系统设计	28
表 1	可靠性定性要求	3
表 2	可靠性特征量	4
表 3	运行可靠性定性要求	5
表 D.1	零部件可靠性属性	23
表 D.2	中间件可靠性属性	23

表 D.3	产品可靠性属性	24
表 D.4	数字化设备可靠性属性	24
表 D.5	数字化设备故障记录属性	25
表 D.6	数字化设备故障处理记录属性	25
表 D.7	数字化设备故障模式属性模	25

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本文件起草单位：机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、舍弗勒(中国)有限公司、广东利元亨智能装备股份有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、迈得医疗工业设备股份有限公司、浙江中控技术股份有限公司、国能智深控制技术有限公司、北京航空航天大学、中国科学院沈阳自动化研究所、惠州学院。

本文件主要起草人：刘泳、李春霞、李祎文、史学玲、杜义贤、魏振强、裘坤、来晓、熊文泽、林军华、田雨聪、孙文勇、孙秉才、徐皓冬、孟邹清、李建军、孔亮、朱杰、艾骏、闫炳均、黄剑锋、刘晓亮、王璐。

引 言

开展数字化车间可靠性工作的目标是保证其持续生产出满足要求的合格产品。如果数字化车间在设计及工程部署过程中没有考虑有关可靠性问题,则可能导致数字化车间运行不可靠,生产出超过预期的不良品,造成资源浪费;或系统运行出现故障,增加维修成本,严重时还会导致生产中断,带来大量的经济损失。因此,在数字化车间的设计、工程部署和运行过程中,明确提出数字化车间的可靠性要求,合理规定可靠性工作项目,并综合运用可靠性设计、试验和管理等技术,开展相关的可靠性工作,以保证数字化车间的可靠运行。

数字化车间是智能制造的核心组成单元,提升数字化车间的整体运行可靠性,指导数字化车间的功能安全建设和信息安全建设,亟需相关标准进行规范和指导。因此根据国家智能制造标准体系建设指南要求,数字化车间可靠性通用要求、数字化车间功能安全要求和数字化车间信息安全要求等基础共性标准都是智能制造标准体系框架中的一部分,如图 1 所示。

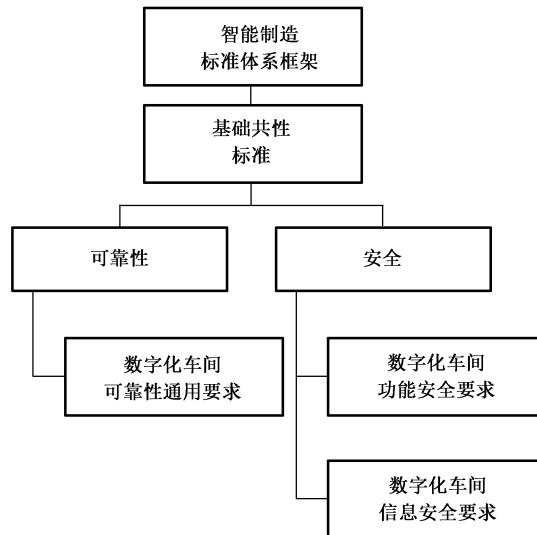


图 1 本文件与其他智能制造相关基础标准的关系

数字化车间可靠性通用要求

1 范围

本文件规定了数字化车间的可靠性通用要求,包括可靠性一般要求、可靠性工作项目要求、可靠性设计要求、可靠性管理要求和可靠性验证要求等。

本文件适用于新建或改造升级的数字化车间。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2422 环境试验 试验方法编写导则 术语和定义

GB/T 37393—2019 数字化车间 通用技术要求

3 术语和定义

GB/T 2422 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

软件可靠性 software reliability

软件在给定条件下、给定时间区间内完成要求功能的能力。

3.2

设备综合效率 overall equipment effectiveness; OEE

用来表现设备实际的生产能力相对于理论产能的比率。

OEE=设备可用率(AF)×操作表现率(PF)×质量合格率(QF)

3.3

失效率 failure rate

一个实体(单个元器件或系统)的可靠性参数 $[\lambda(t)]$,即 $\lambda(t)dt$ 表示该实体在 $[0,t]$ 之间未发生失效情况下,在 $[t,t+dt]$ 内发生失效的概率。

注 1: 数学上, $\lambda(t)$ 是每单位时间 $[t,t+dt]$ 上失效的条件概率,其与可靠性函数(即 $0\sim t$ 内未发生失效的概率)密

切相关,可由公式表示: $R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau\right]$ 。反之可由可靠性函数表示: $\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \frac{1}{R(t)}$ 。

注 2: 失效率及其不确定度可用传统的统计学由现场反馈数据估算,在使用寿命期间(即老化后至报废前)一个简单项的失效率几乎等于常量, $\lambda(t) \equiv \lambda$ 。

注 3: 在给定区间 $[0,T]$ 内 $\lambda(t)$ 的平均值, $\lambda_{\text{avg}}(T) = \left[\int_0^T \lambda(\tau)d\tau\right]/T$,不是失效率,因为平均值不能用于计算注 1 中的 $R(t)$,但可解释为在这一期间失效的平均频率(即 PFH, GB/T 20438.6—2017 中附录 B)。

注 4: 串联项的失效率是每一个项失效率的和。

[来源:GB/T 20438.4—2017,3.6.16,有修改]

3.4

数字化车间 digital factory(digital workshop)

以生产对象所要求的工艺和设备为基础,以信息技术、自动化、测控技术等为手段,用数据连接车间生产运行过程不同单元,对生产运行过程进行规划、管理、诊断和优化的实施单元。

注:在本文件中,数字化车间仅包括生产规划、生产工艺、生产执行阶段,不包括产品设计、服务和支持等阶段。

[来源:GB/T 37393—2019,3.3]。

3.5

数字化车间可靠性 digital workshop reliability

数字化车间在规定条件下,规定时间内,完成规定生产任务的能力。

注1:规定条件包括数字化车间的环境条件、产品生产工艺要求、潜在接口、人的相互作用、使用和维护条件等。

注2:规定生产任务包括产品类别及合格率要求、生产工艺流程要求等;为满足产品合格率要求,数字化车间应具备生产过程可靠性的监控能力。

3.6

可靠性相关功能 digital workshop reliability related functions

数字化车间为满足生产可靠性要求而提供的有关可靠性管理或控制的功能。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AOI:自动光学检测(Automated Optical Inspection)

APP:应用程序(Application)

AR:增强现实(Augmented Reality)

BOM:物料清单(Bill of Material)

CAPP:计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning)

CS:总和检验码(Checksum)

DNC:计算机数字控制机床(Computer Numerical Control)

ERP:企业资源计划(Enterprise Resource Planning)

FIT:菲特(Failure in Time)

FMEA:失效模式与影响分析(Failure Mode and Effects Analysis)

FME(C)A:故障模式、影响和危害性分析(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)

FTA:故障树分析(Failure Tree Analysis)

HR:人力资源(Human Resource)

ICT:信息与通信技术(information and communications technology)

I/O:输入/输出(Input/Output)

MES:制造执行系统(Manufacturing Execution System)

MQTT:消息队列遥测传输(Message Queuing Telemetry Transport)

MTBF:平均故障间隔时间(Mean Time Between Failure)

MTTF:平均故障前时间(Mean Time To Failure)

MTTR:平均故障维修时间(Mean Time To Repair)

OPC/UA:OPC技术/统一架构(OLE for Process Control/Unified Architecture)

PDA:掌上电脑(Personal Digital Assistant)

PDM:产品数据管理(Product Data Management)

PFH:危险失效平均频率[h⁻¹](average frequency of a dangerous failure per hour)

PLC:可编程序控制器(Programmable Logic Controller)
 PLM:产品生命周期管理(Product Lifecycle Management)
 SCADA:数据采集与监视控制系统(Supervisory Control And Data Acquisition)
 SMT:表面贴装技术(Surface Mounted Technology)
 SOP:标准作业程序(Standard Operating Procedure)
 SPI:串行外设接口(Serial Peripheral Interface)
 TCP/IP:传输控制协议/互联网协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
 THT:穿孔插装技术(Through Hole Technology)

5 一般要求

5.1 数字化车间可靠性要求

5.1.1 总则

数字化车间的可靠性是确保数字化车间能够连续稳定运行的关键,本文件从定性、定量指标以及工作流程等角度规定了数字化车间可靠性的通用要求。

5.1.2 数字化车间设计可靠性要求

5.1.2.1 概述

数字化车间设计可靠性要求是指数字化车间设计和工程部署时需达到的可靠性要求,包括可靠性定性要求和可靠性定量要求。数字化车间在设计之初宜考虑其可靠性要求及实现方法,并在其建设过程中贯彻实施。

数字化车间可靠性要求包括设计可靠性要求和运行可靠性要求。

5.1.2.2 数字化车间可靠性定性要求

可靠性定性要求是为获得可靠的数字化车间,对其设计、工程部署及其他方面提出的非量化要求,如简化、冗余和系统恢复等。

可选用的数字化车间可靠性定性要求如表 1 所示,也可根据数字化车间不同生产线或关键数字化设备提出特有的可靠性定性要求。

表 1 可靠性定性要求

序号	名称	主要内容
1	余度设计	通过使软件、设备、零部件等运行在工作极限范围内并有一定余度,或选择质量等级较高的设备,或提高数字化车间产能设计余度等措施以提高数字化车间基本任务可靠性和安全性
2	环境保护设计	选择能抵消或影响环境作用(如温度、振动、静电、防尘等)的设计方案和和设备,或提出能改变环境的方案,把环境应力控制在可接受范围内,提高生产可靠性
3	信息保护与诊断技术	通过利用物理隔离、数据备份与恢复、检错码、自校验、监视定时器、一致校验与权限校验等技术,使正在处理、传输或存储的信息不被破坏和泄露,提高数字化车间信息可靠性
4	软件可靠性设计	通过贯彻软件工程规范、采用软件避错和容错技术、N 版本编程法、模块化设计等手段,提高数字化车间软件可靠性

表 1 可靠性定性要求 (续)

序号	名称	主要内容
5	人因工程设计	根据人因要素及作业习惯,通过合理的生产工艺布局和物流设计,以及防错、避错、纠错、可观测、可维修等工艺方法,使数字化车间便于操作和维修保养,提高运行可靠性
6	简化设计	通过减少数字化车间物流环节、规范信息流程、简化管理要素等手段,以及提高工艺通用化、设备互换性等要求,提高数字化车间基本可靠性
7	确定关键子系统与设备	根据子系统或设备的重要性和复杂性,确定关键子系统或设备的可靠性要求,并将有限资源用于提高关键子系统或设备的可靠性,以提高数字化车间的费效比
8	关键子系统或设备状态监控及故障预测	通过对数字化车间关键子系统或设备健康管理,实现故障监测、预警、报警等管理功能,并视情采取应急处理预案,提高数字化车间运行可靠性
9	系统重组与恢复技术	在检测、诊断出故障后,用后备模块替换失效模块,或者切除失效模块,改变拓扑结构,实现系统重组;用重试、检测点、记日志、恢复块等技术实现系统恢复,提高数字化车间运行可靠性
10	冗余技术	用多于一种的途径来完成规定的功能,以提高数字化车间的任务可靠性和安全性,如硬件冗余、软件冗余、信息冗余、时间冗余等,提高数字化车间运行可靠性
11	制定和实施外购软件或设备可靠性管理大纲	对关键外购、外协软件或设备进行可靠性控制与管理,降低保障费用,提高数字化车间设计可靠性
12	制定和贯彻可靠性设计准则	将可靠性要求及使用中的约束条件转换为设计边界,给设计人员规定专门的技术要求和设计原则,以提高数字化车间设计可靠性
13	设备系统软件和资料管控	对设备控制器软件和操作系统等进行在线备份,对设备资料如图纸等进行电子化存储和查阅。以便在设备故障时能快速准确的获取系统备份数据和设备资料,快速解决设备故障

5.1.2.3 数字化车间可靠性定量要求

可靠性定量要求是数字化车间应具备的可靠性水平。可选用的可靠性指标如表 2 所示。

表 2 可靠性特征量

系统层次	可靠性定量要求指标
系统 子系统	MTTF、平均致命故障间隔时间、误操作率、平均维修间隔时间、平均修复时间、平均不能工作时间、维修度、平均连续无故障时间、可用度
设备	MTBF、可靠度、MTTR 或 A、MTTF、任务准备时间、任务可靠度、平均致命故障间隔时间、误操作率、平均维修间隔时间、平均修复时间、平均不能工作时间、维修度、设备使用率、平均替换间隔时间、设备综合效率、 μ
软件	失效密度、失效解决率、故障密度、潜在故障率、故障排除率、测试覆盖率、测试通过率、平均失效间隔时间、有效服务时间差、累计有效服务时间、避免宕机率、避免失效效率、抵御误操作率、平均宕机时间、平均恢复时间、易修复性、修复有效率
部件	MTBF、可靠度、MTTR 或 A
元件	λ
注: MTBF:平均故障间隔时间;A:可用度; λ :故障率; MTTF:平均故障前时间;MTTR:平均故障维修时间; μ :维修率。	

数字化车间可靠性定量要求应符合如下内容。

- a) 对新建数字化车间应分析各生产要素(人机料法环测)对可靠性的影响,如工艺流程、设备精度、人员技术水平、物料使用要求等;对于数字化车间的升级改造,考虑先对现有系统进行可靠性评估。
- b) 在选择可靠性参数时,应分析数字化车间及生产任务特点、复杂程度及参数是否能且便于度量等因素。
- c) 在满足数字化车间运行任务成功性和加工精度要求的前提下,选择的可靠性参数数量应最少且参数之间相互协调。
- d) 在确定可靠性要求时,应同时明确故障判据和验证方法。
- e) 在确定数字化车间可靠性要求时,可单独提出各子系统或关键设备的可靠性要求,包括设备综合效率等(数字化车间软件系统可靠性要求及验证方法可参考 GB/T 29832.1、GB/T 29832.2);没有明确规定子系统或设备可靠性要求时,可通过可靠性分配的方法确定。

5.1.2.4 数字化车间可靠性要求的验证

在确定数字化车间可靠性要求时,应同时明确其验证方法和验收准则。在确定验证方法时应注意以下问题:

- a) 数字化车间可靠性验收,应模拟数字化车间实际运行环境进行,允许利用现有的可靠性数据(特别是试验结果)通过建模与仿真或其他综合分析方法,评估数字化车间的可靠性水平是否符合规定要求;
- b) 对关键子系统或设备,具备试验条件时,可实施可靠性鉴定和验收试验;
- c) 可靠性鉴定和验收试验应以统计方法为基础,选择适合的统计试验方案和环境条件,环境条件应与数字化车间要求的环境条件一致。

5.1.3 数字化车间运行可靠性要求

数字化车间投产运行时应根据其运行环境、操作人员、维护条件及人员水平等综合因素,提出其运维可靠性要求。

数字化车间运行可靠性定性要求如人员的培训、系统故障应急处理及备品备件储备要求等,如表 3 所示。

表 3 运行可靠性定性要求

序号	名称	主要内容
1	操作要求	数字化车间各操作工位段的设计及操作要求及作业指导书
2	人员技能要求	数字化车间工种设计及操作技能培训要求、培训材料、考核要求等
3	维护要求	数字化车间的设计图纸、设计说明书、工艺说明书;关键制造设备的维护要求、维护手册、备件准备要求等
4	应急处理说明	数字化车间运行故障分类、故障模式及纠正措施说明
5	环境要求	数字化车间运行环境要求
6	可靠性信息要求	数字化车间有关制造装备、产品的故障信息的收集、分析和处理要求

数字化车间运行可靠性定量要求可根据数字化车间可靠性设计定量要求确定,其可靠性特征量的选择可参考表 2。

数字化车间投入运行后,需有计划地安排并组织可靠性信息收集分析、运行可靠性评估与改进等工作,确认及优化数字化车间的可靠性水平。

5.2 数字化车间可靠性信息要求

数字化车间可靠性信息包括数字化车间在论证、设计、工程部署和运行期间开展的各项可靠性工作中所产生的有关系统及设备可靠性的各种数据,可以是数字、图表、符号、文字和曲线等。数字化车间可靠性信息要求主要包括:

- a) 数字化车间的可靠性信息应作为数字化车间信息管理的重要内容;
- b) 应明确数字化车间在设计、工程部署、调试和运行过程中对可靠性信息的要求,并将可靠性信息的收集、记录、分析、处理和反馈等纳入数字化车间信息管理系统;
- c) 有关数字化车间的可靠性信息应建立有关信息模型,信息模型的建立可参考 GB/T 20720.2。

6 数字化车间可靠性工作项目要求

6.1 基本要求

数字化车间的结构模型应以 GB/T 37393—2019 中第 5 章作为基础。

明确数字化车间可靠性要求后,应根据其可靠性要求及验证要求,选择并确定其可靠性工作项目,细化可靠性工作流程,明确数字化车间在实现过程中的可靠性工作目标及考核方法。

应按照数字化车间实际需求选择可靠性工作项目,用可接受的生命周期费用实现规定的可靠性要求。

6.2 可靠性工作项目

6.2.1 可靠性工作项目范围

可靠性工作项目包括可靠性管理、可靠性设计、可靠性验证等,可选择的可靠性工作项目有以下内容。

- a) 可靠性管理:制定可靠性工作计划;对承建方与外协/外购方的监督与控制;可靠性评审;故障审查及组织等。可靠性管理工作项目的选择参考第 7 章。
- b) 可靠性设计:可靠性建模、分配、预计;可靠性设计准则;故障模式、影响及危害性分析;故障树分析;耐久性分析;采购件及设备的选择与控制;确定可靠性关键分系统及设备;潜在回路分析;系统维修保障性分析;信息一致性分析;冗余设计分析;软件容错设计等。可靠性设计工作项目的选择参考第 8 章。
- c) 可靠性验证:可靠性鉴定验收试验;仿真分析;可靠性验证与评价等。可靠性验证工作项目的选择参考第 9 章。

6.2.2 可靠性工作项目的选择

数字化车间可靠性工作项目的选择取决于其可靠性要求、采用的技术及具体工程部署,考虑的主要因素有:

- a) 数字化车间可靠性定性、定量要求;
- b) 制造产品的复杂度和质量要求;
- c) 数字化车间的新技术含量;
- d) 数字化车间工程部署技术复杂程度和可靠性水平;
- e) 费用、进度及所处的阶段等。

6.2.3 可靠性工作项目的确定要求

应优先选择经济有效的可靠性工作项目,确定可靠性工作项目的因素包括:人员要求、可靠性策略、维护策略、数字化车间工程部署过程管理与控制策略和数字化车间运行可靠性管理策略等。

- a) 人员要求,如:管理人员主导成立项目推进小组;创建数字化车间可靠性管理计划,并设定各控

制目标；针对管理人员、技术人员、操作人员、维护人员技能要求和培训；变更管理模式，建立人员之间的沟通等。

- b) 可靠性策略，如：数字化车间可靠性模型及分配研究；数字化车间可靠性维护规划与定期检修设计等。
- c) 维护策略，如：对设计缺陷采用重新设计；对不满足可靠性要求的设备重新选型等。
- d) 数字化车间工程部署过程管理与控制策略，如：采购满足可靠性要求的设备及子系统；核心关键设备应具备精确技能，能遵从、平衡和紧跟；对设备精准操作应有标准操作规程；对设备的维护要有准确的措施等。
- e) 数字化车间运行可靠性管理策略，如：对制造系统能够进行失效原因分析；跟踪关键性能指标（KPI）；精炼策略等检测与改进。

6.2.4 可靠性工作与其他相关工作的协调

可靠性工作应与其他相关工作相协调，主要包括：

- a) 可靠性工作应与安全性等相关工作相协调，结合开展以减少重复；
- b) 从可靠性工作获得的信息应能够满足有关安全性等工作的输入要求，在设计过程中，应明确这些接口关系，例如，与安全性规定的各项工作的关系。

6.2.5 可靠性工作项目的评审

需对选择的可靠性工作项目进行评审，并确保其实施能使得数字化车间的可靠性要求实现。

6.3 数字化车间工作流程

确定可靠性工作项目后，应按照有关工作流程开展可靠性工作。

数字化车间可靠性工作流程可参考图 2。

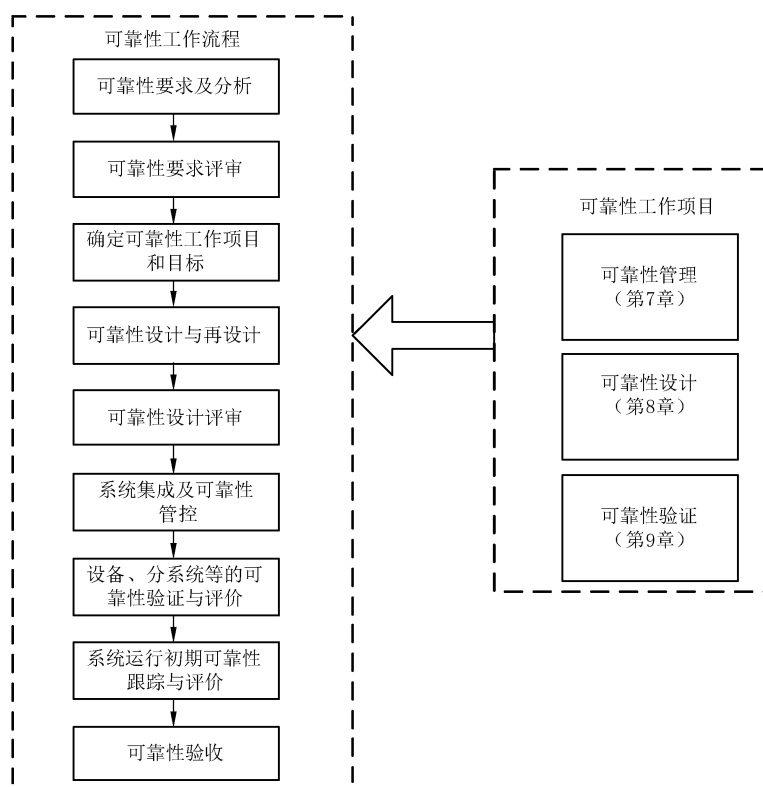


图 2 数字化车间可靠性工作流程图

7 数字化车间可靠性管理要求

7.1 基本要求

应针对数字化车间可靠性要求的实现过程进行可靠性管理规划,并开展可靠性管理工作,以保证数字化车间在设计、工程部署和运行各阶段的工作效果能满足其可靠性要求。可靠性管理工作的重点是影响数字化车间可靠性水平的关键子系统和设备,以及影响产品生产可靠性的关键工艺流程及设备。

数字化车间的可靠性管理技术有制定可靠性工作计划、对承建方与外协/外购方的监督和控制、可靠性评审、故障管理等。

7.2 制定可靠性工作计划

制定可靠性工作计划的目的是为了有计划地组织、协调、实施和检查数字化车间的可靠性工作,以实现规定的可靠性要求。

可靠性工作计划的内容可包括:

- 数字化车间合同计划开展的可靠性工作项目,包括承建方自行安排的可靠性工作项目;
- 每一项可靠性工作的实施细则,如实施目的、要求、内容、方法、效果和责任人员等;
- 可靠性工作的管理机构、组织职能和权限;
- 可靠性工作相互协调和共用与传递信息的说明;
- 数字化车间可靠性工作的进度安排;
- 相应的保证条件与资源等。

7.3 对承建方与外协/外购方的监督和控制

对承建方与外协/外购方的监督和控制的目的是通过各种工作途径和工作方式,对承建方与外协/外购方的可靠性工作进行及时、有效的监督和控制,确保数字化车间的设计、设备采购、工程部署均能满足可靠性要求。

监督与控制的主要内容是可靠性相关工作的实施及效果,内容可包括:

- 可靠性定量与定性要求及验证方法;
- 可靠性工作项目的要求;
- 可靠性工作实施效果;
- 对外协/外购设备与软件的管理和控制;
- 参加承建方设计评审、工程部署效果评审的规定等。

7.4 可靠性评审

可靠性评审的目的是通过评审及早发现数字化车间设计和工程部署中存在的问题并采取有效措施,以确保可靠性工作按预定的技术与管理要求进行,并能够达到规定的可靠性要求。

数字化车间可靠性评审分可靠性工作项目评审、可靠性工作计划评审、设计评审、外协/外购设备与软件的可靠性评审、工程部署可靠性评审、运行初期可靠性评审等。各评审工作的设计和实施,可参考有关标准进行。

7.5 故障管理

故障管理的目的是通过建立有关故障处理机制,防止故障重复出现,从而保证数字化车间可靠性。

故障管理包括建立故障管理组织,故障的收集、分析、纠正方法和流程,并纳入数字化车间的信息管理。

8 数字化车间可靠性设计要求

8.1 基本要求

应根据经济和技术水平等条件,针对数字化车间可靠性要求的实现,在其方案设计、工程部署和投入运行等过程中,选择相应的可靠性设计技术,开展可靠性设计工作。

数字化车间可靠性设计时,需考虑数字化生产信息透明化、不良品的控制和统计分析、工艺路线的自动控制和生产设备的实时状态监控等功能。

数字化车间可靠性设计技术包括:可靠性相关功能设计、制定并实施可靠性设计准则、可靠性建模、可靠性预计、可靠性分配、FME(C)A 分析、FTA 分析等。

数字化车间可靠性建模可参考附录 A,制定可靠性设计准则可参考附录 B。

8.2 可靠性相关功能设计

可靠性相关功能设计主要包括生产工序数字化可靠性设计、工艺流程数字化可靠性设计和关键数字化设备健康管理设计等。

生产工序数字化可靠性设计应分析人、机、料、法、环、测等因素对生产工序质量的影响,并建立数字化模型。数字化车间工序可靠性参考模型如图 3 所示。

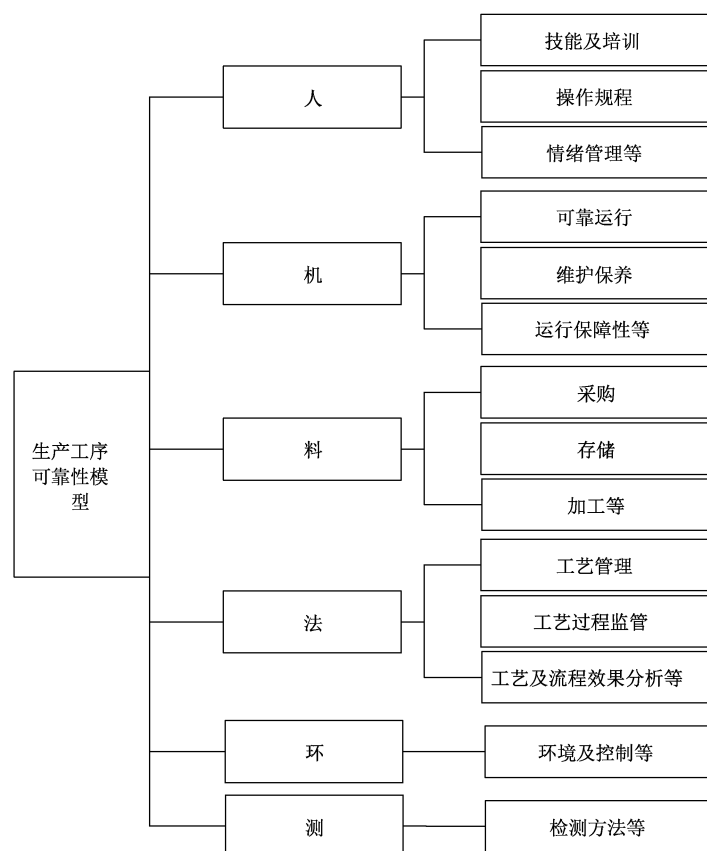


图 3 数字化车间工序可靠性模型

工艺流程数字化可靠性设计应分析前后工序之间衔接、测试标准、检验条件以及时间频率等因素影响、前后工序质量控制要点等,并建立相关数字化控制流程。

关键生产数字化设备健康管理应包括设备的故障模式、故障原因及故障影响等,并对关键影响参数进行实时监测,必要时可通过设计预警或紧急停车等功能,避免因设备故障造成生产不良后果。

可靠性相关功能设计应结合数字化车间生产管理系统的功能设计进行,其设计过程包括需求分析、功能设计和功能符合性测试等,可参考附录 C。

产品及其相关原材料与中间件、数字化设备等可靠性相关模型设计应综合其数字化模型考虑,其可靠性相关模型设计可参考附录 D;其数字化模型的属性与描述可参考 GB/T 20720.2。可靠性相关功能数据流模型设计可参考 GB/T 20720.1。

8.3 可靠性设计方法选择

数字化车间可靠性设计方法选择基本要求:

- 在需求分析时,应根据生产工艺要求和可靠性管理要求,提出数字化车间可靠性相关功能设计要求;
- 在方案论证时,应结合现有技术及数据,综合利用可靠性框图分析、可靠性建模、可靠性预计、可靠性分配等技术,以论证数字化车间可靠性要求是否可实现;
- 在设计之初,需制定数字化车间可靠性设计准则,以指导其可靠性设计,如:生产环境要求、信息存储要求、软件及关键设备选型要求、系统重组与恢复要求等;
- 在设计过程中,需根据数字化车间可靠性相关功能设计要求开展可靠性相关功能设计;应贯彻实施数字化车间可靠性设计准则,并综合利用可靠性建模、可靠性分配、可靠性预计等技术,以分析数字化车间的设计是否满足可靠性要求;对关键子系统和设备可选择 FME(C)A 分析、FTA 等技术开展可靠性设计分析。

注 1: 若某些软件或设备因制造条件所限,无法确认其满足数字化车间可靠性要求时,采用第三方对软件或设备开展可靠性评价工作,以确保其满足可靠性设计准则要求。

注 2: 若数字化车间的设计无法满足可靠性要求时,修改数字化车间的可靠性要求,或通过如加强运行维护等措施来弥补。

注 3: 对数字化车间的改进,考虑数字化车间的薄弱环节,如关键子系统、关键设备等。

8.4 典型数字化车间各功能层次的可靠性设计要求

8.4.1 典型数字化车间的功能层次

典型数字化车间的功能层次划分可参考 A.1,应对数字化车间 MES(制造执行系统)系统、控制系统和关键设备状态监测系统的可靠性设计提出相应的分析要求和关联量指标。

8.4.2 数字化车间 MES(制造执行系统)系统可靠性分析要求和关联量指标

数字化车间 MES(制造执行系统)系统可分别对车间层级和产线层级进行生产管理、设备管理、过程控制、数据追溯、数据分析和生产可视化管理,应实时监控基于 OEE 的车间及产线生产指标和基于 OEE 的设备性能指标。

设备管理应采集设备工作状态数据、产出数据、故障信息数据等进行准确的 OEE 计算。

工艺管理应统一管理机器参数,核心产线工艺流程。

过程控制应控制产品按照工艺定义高效高质的流经产线。对核心设备,可深度管理控制每个核心工序。

数据追溯应实现产品质量数据追溯、产品生产数据追溯、生产工艺参数追溯、产品来料的精确和批次追溯等。

数据分析和可视化管理应实现从设备、产线到车间级的数据分析和可视化。

OEE 分析应单独分析设备可用率(AF),操作表现率(PF)和质量合格率(QF)。

以上数据应从设备控制器中获取,以保证数据的准确性和可靠性。

8.4.3 数字化车间控制系统可靠性分析要求和关联考量指标

数字化车间控制系统可靠性分析要求如下所示。

- a) 控制系统的故障率要求,应依据数字化车间生产线的可靠性要求通过可靠性分配的方法确定

选用的控制系统故障率要求。控制系统按实际配置的故障率应满足分配的故障率要求。

- b) 控制系统环境适应性要求,控制系统应申明电磁兼容特性、防腐蚀特性、储运及运行温度范围、抗振动特性满足数字化工厂的实际环境。
- c) 控制系统状态监测,控制系统应提供故障诊断,发生软硬件故障时能通过指示灯或软件实时报警。应具备故障记录和历史查询能力。
- d) 控制系统故障裕度要求,对连续生产要求高的场合应采用控制系统的冗余。高要求的控制系统的电源、通信总线、控制器、通信接口模块、I/O 模块应支持冗余。一旦工作模块发生故障,应能自动切换到备用模块工作。需连续运行的控制系统的所有模块应支持在线插拔、更换。
- e) 控制系统备件管理要求,管理控制系统的备品备件以达到设计的 MTTR 时间要求。
- f) 控制系统应提供设备状态(自动、故障、等待等)、设备产出、故障信息等数据,并可根据通过接口供其他系统采集。

8.4.4 数字化车间关键设备状态监测系统可靠性分析和关联考量指标

数字化车间设备状态监测系统和可靠性管理案例参考附录 E,数字化车间的关键设备状态监测系统的可靠性分析要求包括:

- a) 完整性要求,应涵盖设备运行状态和故障状态的关键数据,系统的数据采样周期、采样长度,应满足设备状态分析的需求;
- b) 时效性要求,应能及时反映关键设备的实时状态和变化,状态数据的采集、传输、存储、分析、反馈和决策等各阶段的时延应与设备生产工艺流程的时间响应需求一致;
- c) 准确性要求,应能保证准确反映关键设备的状态信息,可通过数据自动化收集、数据清洗、规整、去重、冗余存储、传输校验和模型验证等方式保证状态监测数据各环节的准确性,减少丢失率;
- d) 独立性要求,关键设备状态监测系统应与设备本身、控制、生产管理等系统保持相对独立,状态数据的采集、分析等过程及软硬件接口的设置应不干扰控制系统,不对设备正常的运行产生影响;
- e) 环境适应性要求,关键设备状态监测系统的硬件设计应满足生产场合电磁兼容性、防腐蚀特性、抗振特性和运行及存储的温湿度等环境适应性要求;
- f) 系统故障率要求,关键设备状态监测系统的故障率应满足数字化车间总体故障率的要求,系统故障率应低于监测对象故障率,设备本身的故障应能提供指示灯、远程实时报警等,并提供故障记录和历史查询。应通过模块化设计、冗余设计、分布式布置等方式,提升系统故障裕度,降低系统故障率。

9 数字化车间可靠性验证要求

9.1 基本要求

数字化车间在设计、工程部署过程中,应结合其可靠性要求及验证要求,开展相应可靠性验证工作,以验证数字化车间是否满足可靠性要求。

可用于数字化车间的可靠性验证技术有软件可靠性测试、设备鉴定验收试验、现场运行试验、系统仿真分析等。试验的开展可参考相关标准。

9.2 可靠性验证

对数字化车间开展有关可靠性验证时,宜满足如下要求:

- a) 数字化车间可靠性验证的目的是验证数字化车间及其关键系统和设备是否满足可靠性要求;
- b) 数字化车间的可靠性验证首先考虑模拟现场运行;
- c) 条件不具备时,数字化车间可靠性验证可利用相似系统现场运行数据并结合仿真试验进行,也可只针对关键子系统或设备开展可靠性试验,可靠性仿真试验的实施可参考附录 F;
- d) 数字化车间关键设备的可靠性试验可参考相关设备可靠性试验标准进行,环境试验可参考

GB/T 2422 中的定义；

- e) 嵌入式软件的可靠性测试可参考 GB/T 28171 进行；
- f) 数字化车间生产管理软件的可靠性测试可参考 GB/T 29832.3 进行。

10 数字化车间运行可靠性要求

10.1 基本要求

数字化车间投入使用后,应开展运行可靠性跟踪和评估相关工作,包括可靠性信息收集、运行可靠性评估和可靠性改进等,确保数字化车间的运行满足可靠性要求。

10.2 可靠性跟踪与评价

数字化车间运行可靠性跟踪和评估如下:

- a) 数字化车间运行中,应重点开展各子系统或设备的可靠性信息收集工作,并将此类信息作为可靠性评估的主要分析依据;
- b) 对于运行中出现的故障,应首先对照分析数字化车间设计时的 FME(C)A 或 FTA 是否已经考虑;
- c) 对于新出现的故障应重点分析其故障模式及原因,分析采用的方法有 FME(C)A、FTA 等,并将分析结果补充到数字化车间设计时的 FME(C)A 分析中,以作为数字化车间可靠性改进依据;
- d) 数字化车间运行可靠性评价应充分利用现有条件,可采用可靠性设计分析技术,利用子系统及设备的试验和/或现场运行数据进行,也可利用相似系统的现场运行数据进行。

附录 A
(资料性)
数字化车间可靠性模型示例

A.1 数字化车间功能结构

结合 GB/T 37393—2019, 数字化车间体系结构如图 A.1 所示。

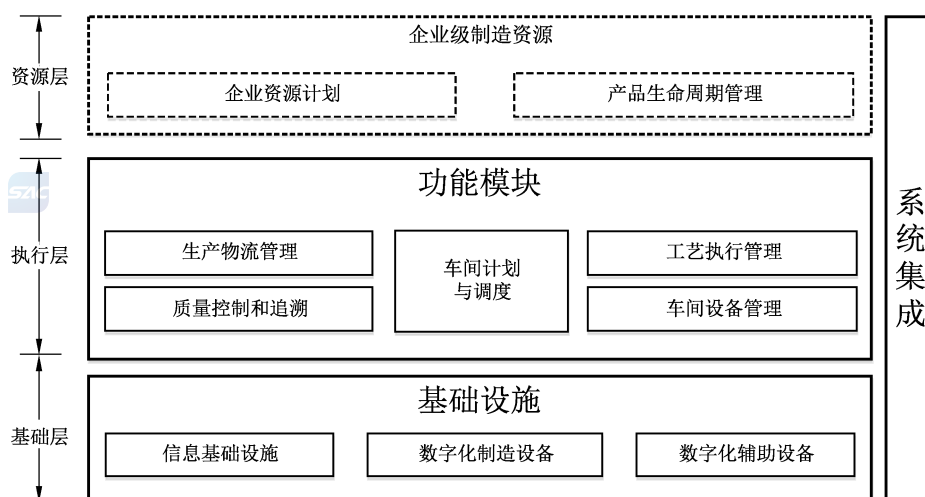


图 A.1 数字化车间体系结构图

结合 GB/T 20720.3—2010 中图 2 的功能划分, 数字化车间功能层次图如图 A.2 所示。

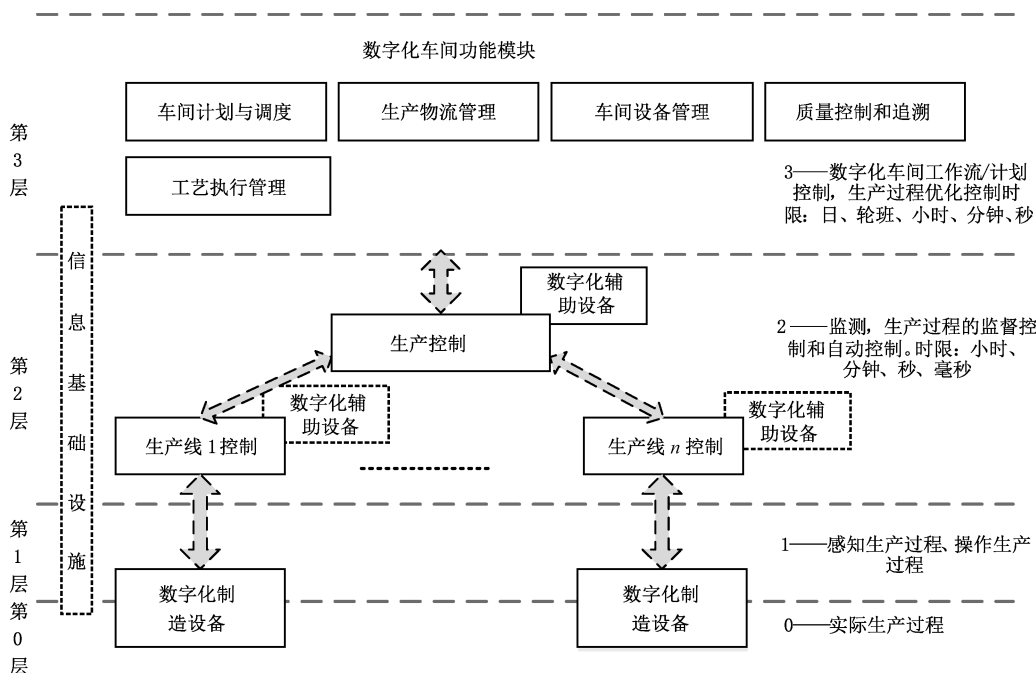


图 A.2 数字化车间功能层次图

由数字化车间功能层次图分析数字化车间功能原理, 数字化车间功能原理示例图如图 A.3 所示。



图 A.3 数字化车间功能原理示例图

A.2 数字化车间可靠性框图

根据数字化车间功能原理示例图，自上而下建立数字化车间可靠性模型。

数字化车间可靠性模型可分为：数字化车间生产管理系统和数字化车间生产控制系统，如图 A.4 所示。

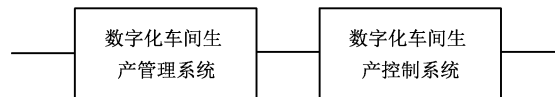


图 A.4 数字化车间可靠性框图

根据工程软件的部署方式，数字化车间生产管理系统可分为：数字化车间生产管理软件系统、硬件系统和通信系统，硬件系统又可分为数据服务器、应用服务器、操作终端等，通信系统可分为路由设备、网络和通信协议等，如图 A.5 所示。

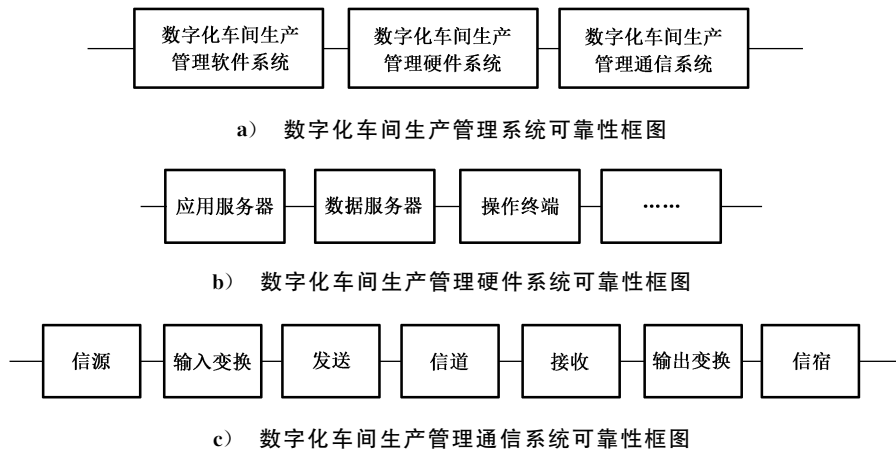


图 A.5 数字化车间生产管理系统可靠性框图

数字化车间生产管理系统根据功能也可分为车间计划与调度系统、工艺执行系统、生产物流系统、质量控制和追溯系统、车间设备管理系统，各系统再分为软件系统、硬件系统和通信系统，如此下去，直到数字化车间设计的最小单元，例如，需外购的电脑或者路由设备等。

同理,根据数字化车间的生产线分布,数字化车间生产控制系统可分数字化车间中控系统、数字化车间生产线控制系统和通信系统等。其可靠性框图的建立过程如图 A.6 所示。

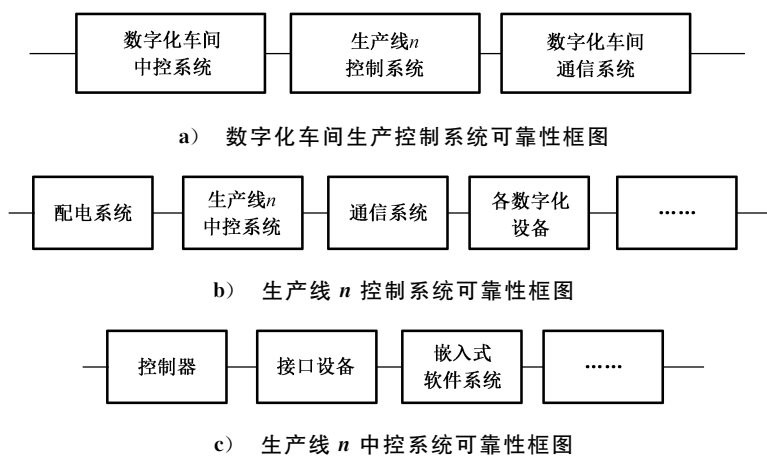


图 A.6 数字化车间生产控制系统可靠性框图

A.3 数字化车间可靠性模型

根据数字化车间的可靠性框图,建立数字化车间的基本可靠性模型,见式(A.1)。

$$R_S(t) = R_1(t) \times R_2(t) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

R_S ——数字化车间可靠度;

R_1 ——数字化车间生产管理控制系统可靠度;

R_2 ——数字化车间生产控制系统可靠度。



附录 B

(资料性)

数字化车间可靠性设计准则编制

B.1 编制可靠性设计准则的步骤

编制数字化车间可靠性设计准则的步骤如下。

- a) 由可靠性工作管理部门负责,会同相关技术人员,成立可靠性设计准则编制工作组。
- b) 工作组收集并分析有关标准、规范、指南、手册等,归纳、整理形成可靠性设计准则初稿。
- c) 可靠性工作管理部门组织设计相关人员等,对可靠性设计准则初稿进行讨论。工作组据讨论意见进行修订,形成数字化车间可靠性设计准则修订稿。
- d) 修订稿再次征求意见经修改后定稿,报数字化车间项目管理部门审核、认可,经批准后实施。

B.2 某生产线可靠性设计准则(例)

为保证生产线可靠性,在开发过程中遵守下列开发准则。

- a) 控制程序开发的复杂程度。
 - 1) 避免程序过长:系统采用模块化设计,每个模块的每个功能又采用独力开发设计的方式,以电子档案动态链接文件的方式进行开发。使得每个功能的开发设计能够简单化,避免太过庞大的程序使问题难以查找,最后再透过 MES 的系统平台,集成为一整套完整的 MES 系统。这样的开发设计包括了所有客户端的操作功能。客户端的操作功能包括了以下模块:
 - 基础数据设定:设定 MES 系统所使用的基本数据,如生产线配置、用户账号;
 - 生产管理系统:生产任务单管理、重工作业管理;
 - 编码规则管理:包括产品序列号、外箱、栈板号等编码规则设定与标签打印方式设定;
 - 现场资料收集:生产线产品序列号流程与组装部品防错、不良品维修分析记录;
 - QC 质量管理:产品抽验检验记录,控制产品质量;
 - SMT 防错系统:对 SMT 车间生产及生产设备进行管控;
 - 警示预警系统:侦测警示条件是否成立,并发布警示告警动作;
 - 电子化 SOP:实时显示生产任务单在该工站的 SOP;
 - 查询报表:查询生产数据如工作中心在制品区(WIP)查询、不良品查询、生产履历、流程卡查询等;
 - 电子看版:实时统计当前作业与生产数据,目视化管理。
 - 2) 每个功能的每个执行动作以结构化与事件驱动的方式进行设计,让程序的执行过程能限制在特定的程序范围内,让不同的执行动作独立运行不会相互影响。
- b) 用户输入的数据简单化。尽量避免人为输入,提高数据的准确性与可用性,包括:
 - 1) 跨系统整合:转入基本数据并回传作业结果数据到 ERP 上,减少二次输入动作。整合内容包括:
 - 导入 ERP 基础数据,如客户基本数据、供货商基本数据、出入库类别、任务类型、物品版本、物品配置;
 - 导入 ERP 作业数据,如采购合同、生产订单;
 - 导入 HR 人员账号数据,以记录影响生产质量要素中的人员基础数据来源;
 - 导入 PLM 基础数据,如物品编号、BOM、用料变更。
 - 2) 条形码化输入,简化输入动作。包括车间所有数据采集点,皆采用条形码化方式进行读取

与记录。

- SMT 生产包括：SMT 上料防错、钢板防错、锡膏管制、投片印刷、人工放件、首件检查、终检、不良品维修记录；
 - THT 生产包括：THT 用料防错、投片生产、首件检查、ICT 测试、测试程序下载、维修不良品；
 - 外协焊检生产，包括：点收、AOI 测试、ICT 测试、终检、程序下载、组装；
 - 老化时间管制；
 - 涂覆生产包括：加工前准备、送板、首检、涂覆、高温炉、下板检验、组装；
 - 整合外购的检测设备，无须再次输入检测数据。整合的设备包括：
 - SMT 段的 SPI 设备，自动读取 SPI 测试报告电子文件；
 - THT 段的 AOI 设备，自动读取 AOI 测试报告电子文件；
 - THT 段的 ICT 设备，自动读取 ICT 测试报告电子文件；
 - 人员静电测试，自动读取静电测试记录的测试报告电子文件；
 - 整合外购设备，无须再次输入检测数据。整合的设备包括：
 - SMT 回流焊炉炉温透过 TCP/IP 自动采集；
 - THT 波峰焊炉炉温透过 TCP/IP 自动采集；
 - 涂覆高温固化炉炉温透过 TCP/IP 自动采集。
- 3) 自制环境监控设备，无须抄写数据。
- 4) 自动读取识别，自动判定。SMT/涂覆进板自动读取：系统自动判断是否符合生产线的生产条件，作业人员资质、设备状态、上料是否齐料、钢板工装治具、回流焊炉炉温、高温固化炉炉温等生产条件满足，即进行送板生产。
- c) 系统每个模块的每个功能，所进行的可靠性设计原则如下。
- 1) 避错原则：
 - 输入数据条形码化，减少人为输入错误；
 - 信息整合，减少二次输入；
 - 功能简化，可预测执行结果。
 - 2) 查错原则：
 - 程序异常控制，包括内存读取错误、未初始化错误等，在客户端显示错误信息应立即中断程序，不准许继续执行；
 - 超时异常控制，包括网络通信异常、控制 3 min 未响等应立即中断程序；
 - 检查客户端计算机所运行的系统功能对数据库的数据存取；
 - 检查产线数据采集器对数据库的数据存取；
 - 网络通信封包异常检测，宜用 Check Sum 检查封包是否异常，异常应重新发送。应检测的设备包括：客户端计算机、SMT 上料使用的无线 PDA、产线使用的数据采集器等。
 - 3) 容错原则：宜采用双向通信设计，15 s 无反馈应中断联机，每隔 10 s 应重新尝试联机。涉及设备包括：产线使用的数据采集器、SMT/涂覆控制进板的 I/O 控制器、SMT 回流焊炉炉温采集设备、THT 波峰焊炉炉温采集设备、涂覆高温固化炉炉温采集设备。

附录 C

(资料性)

数字化车间可靠性相关功能设计

C.1 可靠性相关功能实现

数字化车间的可靠性相关功能的实现步骤如图 C.1 所示。

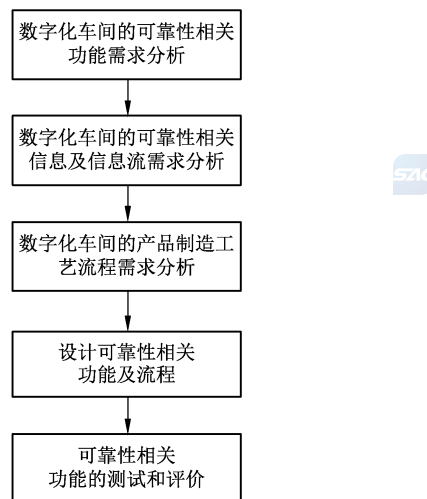


图 C.1 数字化车间可靠性相关功能实现步骤

对以上步骤的解释如下。

- a) 数字化车间的可靠性相关功能需求分析。结合产品 KPI 要求及生产工艺设计要求(如:产品质量合格率、产品制造质量影响因素、生产活动的容错/防错机制等),分析数字化车间可靠性相关功能要求(如对原材料可靠性检验、部件及产品可靠性的过程控制等)。
- b) 数字化车间的可靠性相关信息及信息流需求分析。如:元器件、原材料可靠性信息、零部件及产品可靠性信息、关键设备可靠性及工序能力分析信息等。
- c) 数字化车间的产品制造工艺流程需求分析。如:工艺方案、工艺布局、工艺流程及工装设备需求,应覆盖从来料检验到成品入库各环节的不同可靠性要求的产品生产工艺流程。
- d) 数字化车间的可靠性相关功能模块及流程设计。如:原材料可靠性管理功能及流程、产品各部件可靠性验证及流程管理、可靠性数据管理流程等。
- e) 数字化车间的可靠性相关功能测试和评价。通过数字化车间单元测试和集成测试等,验证及评价可靠性相关功能是否满足生产工艺要求。

C.2 可靠性相关功能设计

C.2.1 典型数字化车间

根据 GB/T 37393—2019 的定义,典型数字化车间的功能包括:生产运行管理、物流运行管理、质量运行管理、维护运行管理,以及数字化制造和辅助设备,各功能范畴分别包含一个或多个功能模块或基础设施。数字化车间功能结构及其信息接口关系如图 C.2 所示。

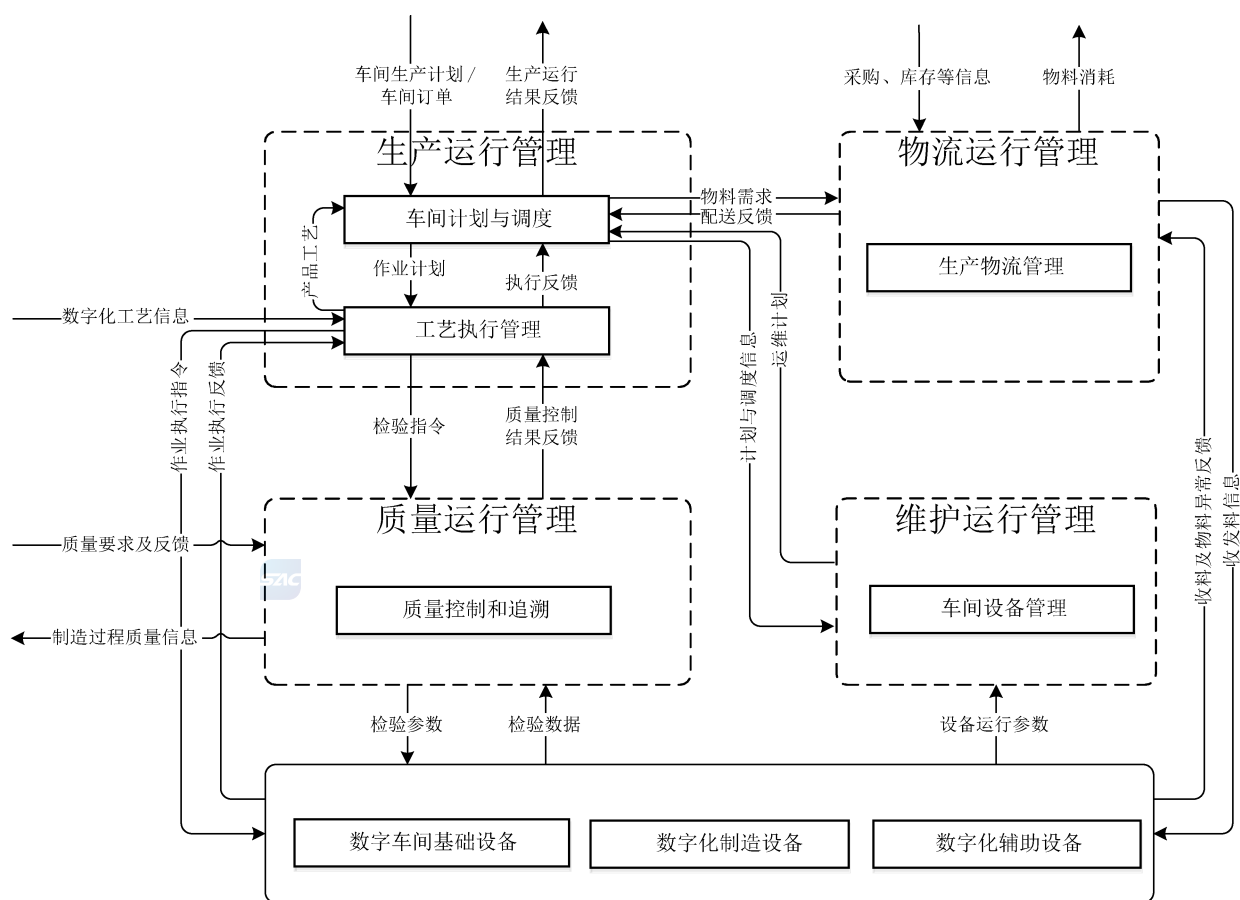


图 C.2 典型数字化车间功能结构示意图

C.2.2 典型数字化车间的可靠性相关功能需求分析

数字化车间的可靠性相关功能需求分析可结合其生产运行管理、物流运行管理和质量运行管理、维护运行管理等系统需求分析进行。

- a) 生产运行管理系统的可靠性相关功能需求分析。
 - 生产过程有关零部件及成品可靠性信息管理。应对生产过程中零部件及成品进行单件编号,采集、分析和管理的可靠性信息,特别是故障信息。
 - 物料、半成品、成品等可靠性筛选管理。应对物料、半成品和成品筛选试验的管理,实现对筛选效果与试验方案闭环管理。
 - 生产环境控制。应对影响生产质量的温度、湿度、静电等应力因素进行监控,并综合质量检测,实现产品生产最佳应力条件分析。
- b) 物流运行管理系统的可靠性相关功能需求分析。
 - 物料、半成品、成品的可靠性验收、可靠性存储管理。针对物料出库、半成品及成品入库应有相关可靠性检验要求,对存放仓库需有环境应力要求及其监控等。
 - 备品备件的可靠性管理、可靠性储存管理。针对备品备件入库和出库应有相关可靠性检验要求,对存放仓库需有环境要求及其监控等。
- c) 质量运行管理系统的可靠性相关功能需求分析。
 - 物料可靠性追溯管理。应对采购、生产、使用过程中有关物料的可靠性追溯进行管理。
 - 半成品、成品可靠性追溯管理。生产、使用过程中,应对有关半成品及成品的可靠性检测及故障追溯进行管理。

- d) 维护管理系统的可靠性相关功能需求分析。
 - 设备主动维修\检修管理。根据关键设备的可靠性水平、故障模式及原因、关键参数预测模型等信息,建立设备的主动维修或检修机制。
 - 设备被动维护管理。设备出现故障时,需对故障发生时间、维修情况等做详细记录。
- e) 设备运行管理的可靠性相关功能需求分析。
 - 关键设备故障预测及健康管理。根据设备维护管理可靠性有关信息,对设备的故障预测模型进行修正完善。
 - 关键设备 FMEA/FTA 动态维护管理。建立设备 FMEA/FTA 信息库,并根据设备维护管理可靠性有关信息,补充完善设备 FMEA/FTA 信息库。

典型数字化车间可靠性相关功能需求如图 C.3 所示。

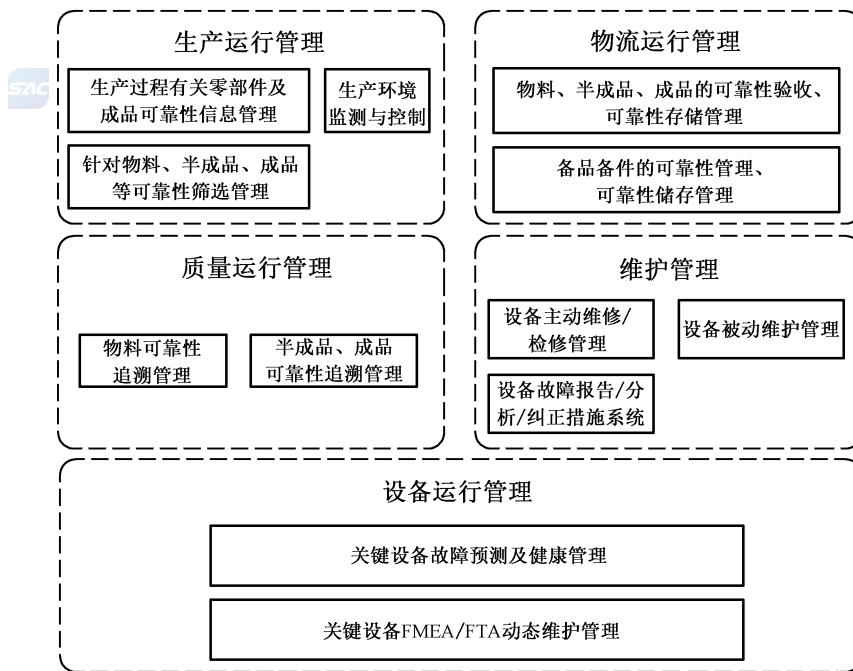


图 C.3 数字化车间可靠性相关功能需求图

C.2.3 典型数字化车间的可靠性相关信息需求

C.2.3.1 生产运行管理的可靠性相关信息需求

生产运行管理的可靠性相关信息需求包括：

- a) 车间计划与调度可靠性相关信息要求：
 - 输入：生产订单信息需包括产品可靠性有关信息,否则按照默认的制造可靠性水平执行生产；
 - 输出：
 - 生产运行结果反馈需包括制造产品可靠性有关信息；
 - 物料需求需包括对物料可靠性的有关要求,否则按照物料默认可靠性要求配置。
- b) 工艺执行管理可靠性相关信息要求：
 - 输入：
 - 数字化工艺信息需包括产品可靠性相关信息；
 - 质量控制结果反馈信息需包括产品及物料可靠性信息；
 - 作业执行反馈需包括的产品可靠性信息；
 - 输出：

- 执行反馈需包括产品可靠性信息；
- 检验指令需包括可靠性有关检验指令。

C.2.3.2 质量运行管理可靠性相关信息要求

工序质量控制和追溯要求：

输入：

- 质量要求反馈需包括物料/半成品/成品可靠性有关信息；
- 检验指令需包括物料/半成品/成品可靠性检验要求；
- 检验数据需包括物料/半成品/成品可靠性要求；

输出：

- 制造过程质量信息需包括物料/半成品/成品可靠性有关信息；
- 质量控制结果反馈需包括物料/半成品/成品可靠性结果；
- 检验参数需包括物料/半成品/成品可靠性检验结果。

C.2.3.3 设备运行管理可靠性相关信息要求

车间设备管理要求：

输入：

- 建立资产、单元的功能列表；对资产的重要性排序；资产风险和失效模式分析，形成可靠性策略；
- 设备故障模式、故障原因等；
- 关键设备的故障模式及纠正措施；

输出：

- 设备的故障预警信息；
- 关键设备的故障模式、故障件、故障处理方式、故障时间、运行时间等。

C.2.3.4 物流运行管理可靠性相关信息要求

生产物流管理要求：

输入：

- 配送需求包括可靠性需求；
- 收发料可靠性异常反馈；

输出：

- 配送反馈包括可靠性需求；
- 收发料信息包括可靠性信息。

C.2.4 典型数字化车间可靠性相关功能设计

数字化车间可靠性相关功能的模块及流程设计，应结合数字化车间生产运行管理、物流运行管理、质量运行管理、维护运行管理等系统的设计综合考虑，可作为各子系统的管理内容。典型的设计如图 C.4 所示。

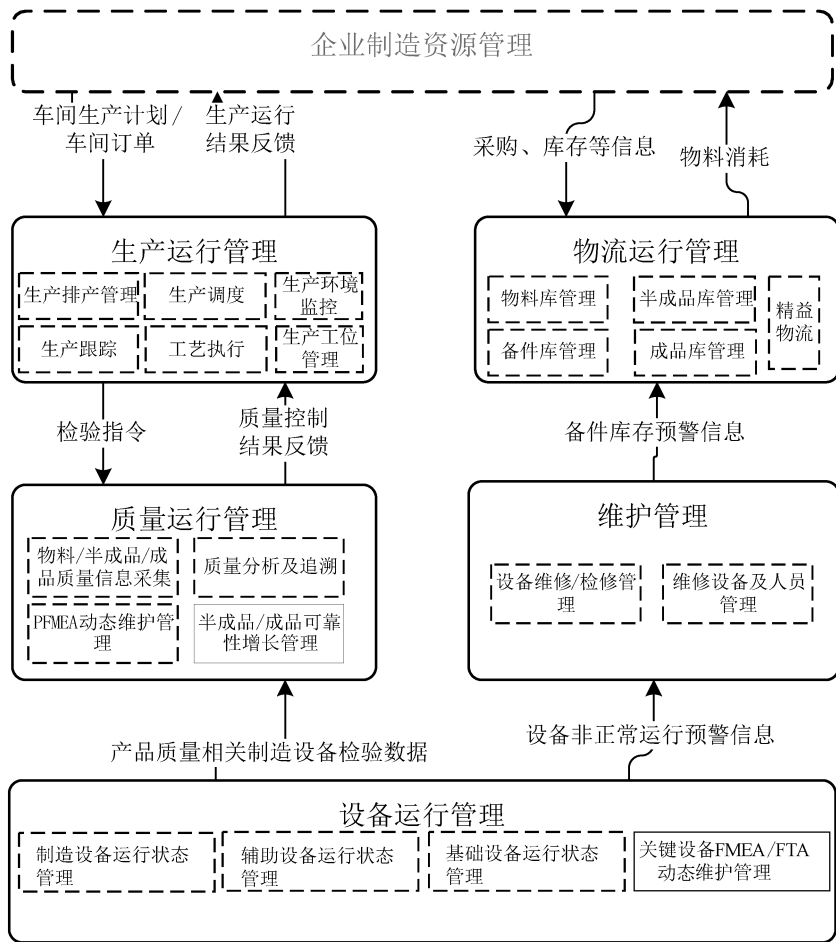


图 C.4 数字化车间可靠性相关功能设计

附录 D

(资料性)

数字化车间对象可靠性属性模型

D.1 零部件

表 D.1 给出了数字化车间零部件(含元部件、材料等)可靠性属性模型。

表 D.1 零部件可靠性属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是一个零部件的唯一标识	WG129875264
可靠性特征量	用于表示零部件可靠性特征量	λ 、次数、MTBF
出厂可靠性水平	用于表示零部件可靠性水平	0.3FIT、10 万次、20 万 h
运行环境条件	用于描述零部件环境使用参数	温度范围、湿度范围
可靠性模型	用于记录零部件某特性量与激活能和所施加应力的关系	零部件加速模型
出厂可靠性筛选试验条件	用于描述零部件在采购出厂时,供应商所执行的可靠性筛选试验条件	温度应力,70 °C,时长 80 h,不加电
生产可靠性筛选试验方法	用于描述零部件在用于生产前的可靠性筛选试验方法描述	高低温,-20 °C~50 °C,温变速度 15 °C/3 min,温度保持时间 30 min,10 个循环周期,加电
使用中的可靠性水平	用于记录零部件的实际可靠性水平表现	0.4FIT、8 万次
故障模式及原因	用于记录零部件的主要故障模式及原因	如电容失效模式有:击穿、开路等;开路原因有:引出线与电极接触不良;引出线与电极接触表面氧化等

D.2 中间件(在制品)

表 D.2 给出了数字化车间中间件可靠性属性模型。

表 D.2 中间件可靠性属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是一个特定中间件的唯一标识	SC129875264
可靠性特征量	用于表示中间件可靠性特征量	λ 、MTBF
可靠性水平	用于表示中间件可靠性水平	0.3FIT、10 万次
可靠性筛选试验方法	用于描述中间件用于下一道生产工序前的可靠性筛选试验方法描述	高低温,-20 °C~50 °C,温变速度 15 °C/3 min,温度保持时间 30 min,10 个循环周期,加电
可靠性筛选效果	用于记录中间件的可靠性筛选效果	故障检出率 98%
故障模式及原因	用于记录该中间件故障模式及原因	如:部件 FMEA 分析结果

D.3 产品

表 D.3 给出了数字化车间产品的可靠性属性模型。

表 D.3 产品可靠性属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是一个特定产品的唯一标识	PD129875264
可靠性特征量	用于表示产品可靠性特征量	MTBF、MTTF、km
固有可靠性水平	用于表示产品固有可靠性水平	10 000 h、2 万 km
使用可靠性水平	用于表示产品使用可靠性水平	8 000 h、1.8 万 km
核心部件	用于记录产品的核心部件	核心部件 ID
可靠性筛选试验	用于描述产品出厂可靠性筛选试验方法	高低温, -20 °C ~ 50 °C, 温变速度 15 °C/3 min, 温度保持时间 30 min, 10 个循环周期, 加电
可靠性筛选效果	用于记录产品可靠性筛选效果	故障检出率 98%
故障模式及原因	用于记录该产品的故障模式及原因	如产品 FEM(C)A 或 FTA 分析结果
产品维修记录	用于记录产品有关的维修情况	现场维修记录统计信息

D.4 数字化设备

表 D.4 给出了数字化车间数字化设备的可靠性属性模型。

表 D.4 数字化设备可靠性属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是一个特定设备的唯一标识	ZB129875264
可靠性特征量	用于表示数字化设备的可靠性特征量	MTBF、MTTF
核心部件	用于记录数字化设备的核心部件	部件 ID
可靠性水平	用于表示数字化设备的可靠性水平	10 000 h
故障模式及原因	用于记录该数字化设备的故障模式及原因	设备故障模式及原因库
设备开机时间	用于记录设备开始时间等信息	—
保养记录	用于描述数字化设备有关的保养记录	保养记录单
维修记录	用于描述数字化设备有关的维修记录	维修记录单
故障趋势	用于描述设备的故障趋势,并预测下次故障点	设备质量衰减模型,及关键参数值

D.5 数字化设备故障记录

表 D.5 给出了数字化车间数字化设备的故障记录属性模型。

表 D.5 数字化设备故障记录属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是设备一个特定故障的唯一标识	F129875264
设备名称	用于记录设备信息	设备 ID
故障发生时间	记录故障发生的时间	—
故障观测者	记录故障发现人员信息	—
故障件	记录故障件名称	—
故障现象	描述故障	—
故障核实	记录故障核实人及时间信息	—
故障处理意见	记录故障处理意见	送修、自己修

D.6 数字化设备故障维修记录

表 D.6 给出了数字化车间数字化一个设备故障的处理记录属性模型。

表 D.6 数字化设备故障处理记录属性

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,是一个特定设备的唯一标识	WX129875264
故障 ID	用于记录故障信息	—
故障原因	记录故障发生原因	—
故障类别	记录该故障是否是因为设备自身原因所致	其他设备故障引起故障
维修措施	记录设备的维修措施	更换谋部件
维修时间	记录设备的维修时间	—
维修人员	记录维修人员信息	—

D.7 数字化设备故障模式模型

表 D.7 给出了数字化设备故障模式模型属性模型。

表 D.7 数字化设备故障模式属性模

属性名	描述	示例
ID	在信息交换的范畴内,数字化设备的故障模式的唯一标识	WX329875264
故障模式	故障模式的描述	—
故障危害度等级	描述该故障模式造成的维护程度	如严重影响生产等
故障原因	记录该故障发生的原因	设计不符合要求、使用不符合要求等
纠正措施	记录该故障纠正方法	—

附录 E

(资料性)

数字化车间设备状态监测系统和可靠性管理案例

E.1 概述

数字化车间能够全面结合生产制造计划,物料管理与输送,产品工艺管理,车间设备资源管理、质量管理、生产进度管理、仓储管理,实现生产资源、计划、过程和质量的调度、管理优化,极大增强制造企业的综合竞争能力,满足市场日益增长的多品种、小批量需求。

加工设备作为数字化车间生产计划流程、质量流程、工艺流程、物流流程的关键节点,其状态监测和可靠性管理是数字化车间总体可靠性的重要组成部分。

E.2 机加工设备状态监测和可靠性管理需求分析

数字化车间设备状态监测和可靠性管理模型如图 E.1 所示。

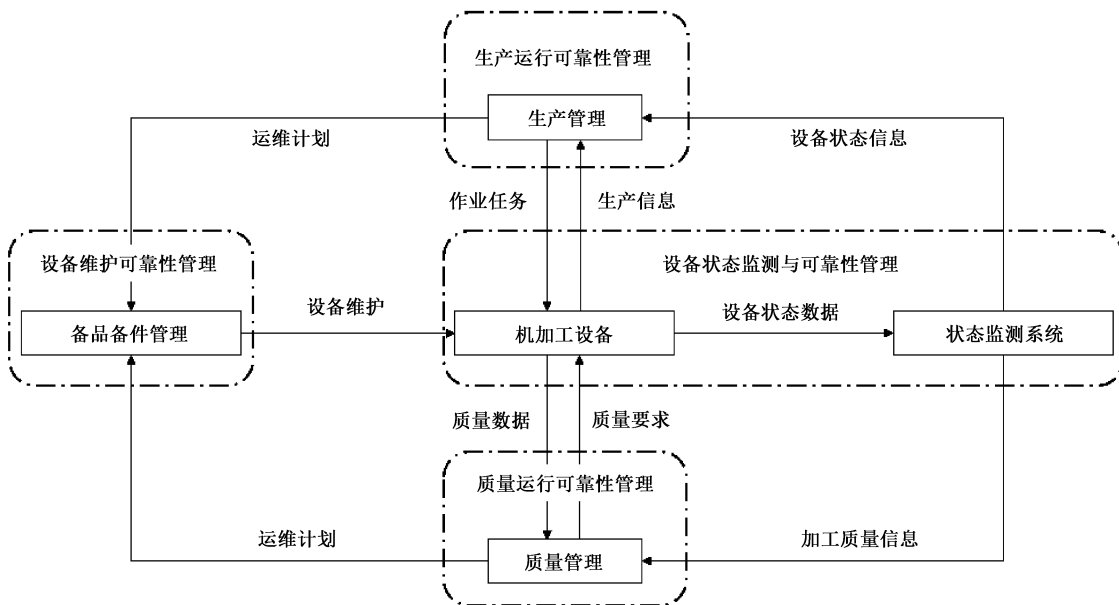


图 E.1 机加工设备状态监测和可靠性管理模型框图

对以上模型的解释如下：

a) 可靠性功能需求分析

数字化车间中,机加工设备作为生产网络的关键节点,在接收生产管理、质量管理系统的作业任务、质量要求的同时,需为车间的数字化系统提供现场的基础数据,用于生产统计、质量控制、设备状态分析,并根据设备状态进行维护管理。设备的状态监测与可靠性管理相关功能包括如下内容。

- 1) 设备状态的监测。根据设备的润滑、振动、温度、噪声、载荷等数据,分析设备的运行状态,评估设备的健康状况和可靠性水平,作为生产管理的输入。

- 2) 设备故障预测。根据设备运行状态的评估结果、历史数据趋势分析和关键参数预测模型,预测设备的故障,作为生产管理的输入。
 - 3) 加工过程质量评估。根据设备状态(如振动水平)和故障预测(预警和报警),综合评估工件加工过程中的质量信息,作为产品质量管理的输入。
 - 4) 设备 FMEA/FTA 动态维护管理。根据设备的故障信息,建立设备的故障模型,汇总 FMEA/FTA 信息,作为设备维护管理系统的输入。
 - 5) 设备维护信息管理。通过上述设备状态监测、故障预测、加工过程质量评估、FMEA/FTA 动态维护信息集成,指导设备运维计划的制定,支撑设备维护的决策,形成设备可靠性管理的闭环。
- b) 信息需求分析
- 1) 设备信息:数字化车间产线、设备、部件信息,用于定义设备 ID,建立设备状态评估和故障预测和加工过程质量评估的基础模型,作为设备可靠性管理的基础信息;
 - 2) 环境信息:设备运行环境信息,包括温度、湿度等,用于描述设备、零部件的环境使用参数,评估设备状态使用环境情况,作为设备可靠性管理的环境参数;
 - 3) 作业任务与生产信息:包括物料类型、工艺参数、加工时间、工件计数,用于描述设备生产信息,结合设备状态监测的基础模型,考察生产作业任务与设备状态的关联性,作为设备可靠性管理的输入;
 - 4) 质量要求与质量数据:包括设备所在的质量控制流程信息、质量控制参数、设备反馈的加工过程的质量数据,设备统计的质量数据等,用于考察设备对质量管理过程的执行情况,作为设备可靠性管理的输入与关键指标;
 - 5) 设备状态信息:包括设备的振动、温度、噪声、油压、电流、载荷、能耗等物理量和预警、报警等综合指标,用于分析设备和部件状态,评估设备状态的总体变化趋势,预测设备故障,支撑运维决策,作为设备可靠性管理的输出与关键指标;
 - 6) 设备维护信息:包括设备故障时间、故障模式、故障原因、维修计划、维修记录等信息,用于统计设备 FMEA/FTA 动态信息,建立设备故障动态模型,同时作为设备可靠性管理的输入与输出。

E.3 机加工设备状态监测和可靠性管理系统设计与实现

数字化车间设备状态监测与可靠性管理系统以设备预测性维修维护系统为核心,从设备状态监测出发,与生产管理、质量管理、设备维护机制等过程和系统形成动态交互。作为数字化车间总体框架的重要组成部分,数字化车间设备状态监测系统包括基础硬件、信息传递、功能应用、系统集成和人机交互五个层级,如图 E.2 所示。

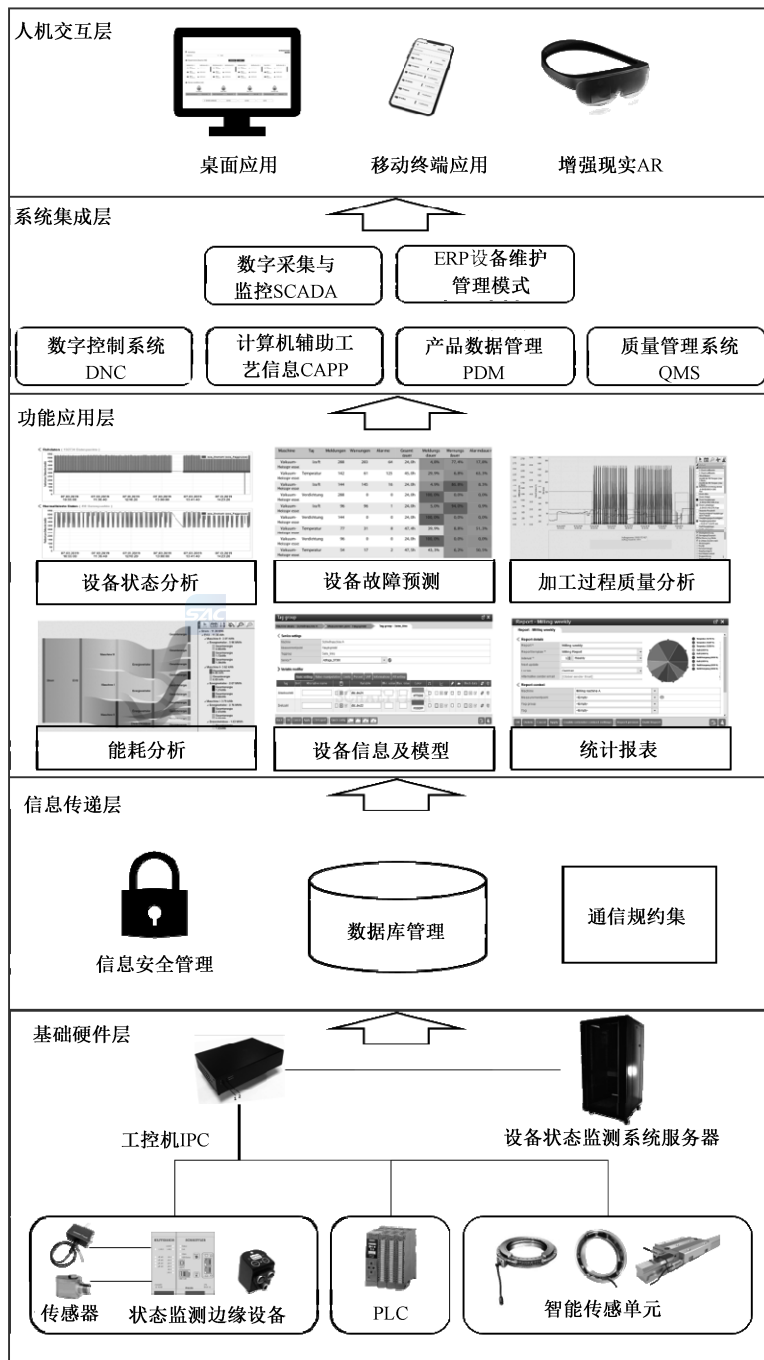


图 E.2 机加工设备状态监测与可靠性管理系统设计

设备状态监测与可靠性管理系统基础硬件平台主要包括各类传感器、状态监测边缘设备、PLC、工控机与系统服务器,用于收集设备底层的振动、温度、润滑、电流等各类状态数据,并采集 PLC 中的生产信息、工艺信息与质量控制信息,同时作为与其他系统集成的物理接口。整个系统在设计 and 部署阶段考虑后期扩展的需求。

设备状态监测与可靠性管理系统的信息传递层是系统的网络服务支持条件,同时为与其他系统的集成提供支撑。包括设备状态数据库管理、信息安全管理 and 通信规约集等。由于设备状态监测系统与底层硬件、上层管理系统间均存在数据交互,因此系统设计兼容底层的物理模拟量、开关量,支持 Profinet 等工业现场总线通信,并统一现场物理数据、设备信息、生产信息等数据结构,提供信息安全保

障。此外,系统设计 MQTT、OPC/UA 等工业物联网通信协议,用以数字化车间云服务的扩展。

设备状态监测与可靠性管理系统的功能应用层是实现设备可靠性管理的核心层级。系统基于设备基础信息和模型,根据采集的设备振动、温度等数据,实时分析设备和部件的健康状态;结合历史数据,分析设备状态发展趋势并预测故障;根据设备的状态,评估工件加工过程中的质量;对单独设备和车间能耗流向进行整体分析;按照系统设置提供数字化报表,形成设备状态和可靠性综合评价。

设备状态监测与可靠性管理系统的系统集成层是系统的与数字化车间各系统间的接口,是将设备状态监测与可靠性管理系统纳入车间整体数字化系统的关键层间。系统可直接或通过 PLC 接收 DNC、CAPP、PDM 相应生产和工艺信息,为数字化车间或工厂级的 SCADA 系统提供信息输入,为设备维护管理子模块提供决策支持,并向质量管理体系提供加工过程质量跟踪数据。

设备状态监测与可靠性管理系统的人机交互层可与车间数字化系统形成统一平台或设置单独的交互应用模块,通过桌面端应用、移动端应用如手机 APP 等进行设备群组管理,查看实时设备状态、报警信息、设备报表等关键信息。同时也可扩展 AR 人机交互应用,加强数字化的维修指导、培训服务、远程协作等功能。

附 录 F
(资料性)
可靠性仿真试验

可靠性仿真用能反映现实或设计中系统特性的模型进行试验,并对试验结果进行统计分析,从而了解系统的可靠性特性。

进行可靠性仿真的基本步骤如下。

- a) 问题描述与定义。确定系统可靠性仿真的目的和通过仿真需解决的问题。
- b) 建立可靠性仿真模型。对实际系统进行数学、逻辑抽象,建立系统可靠性仿真模型。
- c) 数据采集。依据系统可靠性仿真模型中的变量参数,收集实际系统的相关数据,并进行统计分析,确定其总体分布。
- d) 仿真模型的确认。组织系统专家对模型进行分析评价,确认所建立的模型能否代表实际系统。
- e) 仿真模型的程序实现。采用计算机程序设计语言或专门仿真语言编制仿真程序。
- f) 模型的验证。考察所使用的仿真程序是否正确实现了所建立的仿真模型。
- g) 仿真试验设计。根据仿真的目的,研究确定仿真的试验方案数的设定与变化方案等。
- h) 仿真模型的运行。根据试验设计的方案,在计算机上进行运行计算。
- i) 仿真结果分析。运用数理统计技术,对系统备特征值的总体分布及参数进行统计分析,求出点估计与置信估计。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20438.6—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第6部分：
GB/T 20438.2 和 GB/T 20438.3 的应用指南
- [2] GB/T 20720.1 企业控制系统集成 第1部分：模型和术语；
- [3] GB/T 20720.2 企业控制系统集成 第2部分：企业控制系统集成的对象和属性；
- [4] GB/T 20720.3—2010 企业控制系统集成 第3部分：制造运行管理的活动模型；
- [5] GB/T 28171 嵌入式软件可靠性测试方法；
- [6] GB/T 29832.1 系统与软件可靠性 第1部分：指标体系；
- [7] GB/T 29832.2 系统与软件可靠性 第2部分：度量方法；
- [8] GB/T 29832.3 系统与软件可靠性 第3部分：测试方法。
-