

DB5106

四川省（德阳市）地方标准

DB 5106/T 32—2024

大型构件机械加工工艺路线能效优化规范

2024 - 07 - 05 发布

2024 - 07 - 05 实施

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

 4.1 主要依据 1

 4.2 目的 2

 4.3 原则 2

 4.4 能效统计范围 2

 4.5 能效评价标准 2

 4.6 能效评价方法 2

5 能效指标体系及评估 2

 5.1 能效指标体系 2

 5.2 能效优化指标 2

 5.2.1 能耗优化目标 2

 5.2.2 效率优化目标 3

 5.3 评估流程及指标 3

 5.3.1 流程图 3

 5.3.2 评估指标 4

6 能效优化方法 5

 6.1 工艺路线设计 5

 6.2 高能效工艺路线优选 5

7 工艺方法能效优化 6

 7.1 物料去除率 7

 7.2 加工设备 7

 7.3 加工刀具 7

 7.4 加工工序 7

 7.5 切削液 7

 7.6 工艺参数 7

 7.6.1 参数选择 7

 7.6.2 参数优化 8

 7.7 数控程序路径规划 8

8 能效优化评审与改进 8

 8.1 评审周期 8

8.2 评审形式 8

8.3 评审内容 8

8.4 改进与实施 9

前 言

本文件依据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这些专利的责任。本文件由德阳市经济和信息化局提出并归口。

本文件由德阳市市场监督管理局批准。

本文件起草单位：二重（德阳）重型装备有限公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、四川宏华石油设备有限公司、四川明日宇航工业有限责任公司、四川绵竹鑫坤机械制造有限责任公司、德阳市建安机械制造有限公司、德阳峰瑞机械科技有限责任公司。

本文件主要起草人员：刘世彬、胡余平、余小兵、胥畅、李文杰、谢如平、张金生、张元林、李启元、李旭、温兴利、周文凯、付封旗、颜勇清、郑剑、刘波、高巍、江伟、唐文尧、袁晓峰。

大型构件机械加工工艺路线能效优化规范

1 范围

本文件规定了大型构件机械加工工艺路线能效优化指标体系及评估内容、能效优化方法、工艺方法能效优化、能效优化评审与改进的工艺路线等内容。

本文件适用于德阳地区制造的大型构件的机械加工工艺设计或工艺改进过程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范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 4863 机械制造工艺基本术语
GB 50910 机械工业工程节能设计规范

3 术语和定义

GB/T 4863界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 大型构件 large component

机械系统中能实现特定功能的具有质量大、外形轮廓尺寸大的零部件。

3.2 工艺系统 machining complex

在机械加工中，由机床、刀具、夹具、测量系统、冷却润滑系统和工件组成的统一体。

3.3 物料去除率 material removal rate

利用机械能、化学能等能量手段，单位时间内去除工件上金属材料的体积。

3.4 能效 energy efficiency

输出的能源、产品、服务或绩效与输入的能源之比或其他数量关系。

3.5 工艺过程总能耗 total energy consumption of the process

按照预定的工艺路线生产某一产品或零件所消耗的能量总和。

4 总则

4.1 主要依据

大型构件机械加工工艺路线设计应合理利用能源和节约能源，并与安全生产、经济效益和环境保护相协调。

大型构件机械加工工艺路线能效优化的主要依据：

- a) GB 50910等节能标准、法规、技术文件和质量保证文件；
- b) 行业发展水平、工艺技术水平和企业生产能力；
- c) 产品设计图纸、技术标准及文件。

4.2 目的

发现工艺设计过程中存在的薄弱环节、工艺设计缺陷，去除非价值工序，优化改进工艺路线，在保证产品质量的前提下，降低成本，缩短制造周期，提高能量利用率。

4.3 原则

大型构件机械加工工艺路线能效优化应遵循的基本原则：

- 应综合考虑加工质量、制造成本、生产效率和能源消耗等边界条件，以最小的投入实现经济效益最大化；
- 应满足各特征表面的加工以及特征表面之间的合理加工顺序约束条件，尽量满足制造资源最优约束条件。

4.4 能效统计范围

统计范围包括原材料（半成品）至成品所需的粗加工、半精加工及精加工过程所需的直接能源消耗和废弃物处置所需的间接能源消耗。

4.5 能效评价标准

加工过程中能效评价的标准是单位产出能耗最小，加工时间最短。

4.6 能效评价方法

加工过程中能效评价的方法主要有能耗统计法、投入产出法。

5 能效指标体系及评估

5.1 能效指标体系

机械加工能效指标体系应包括：

- 改善生产环境，优化操作条件，提高运转率和生产稳定性，减少计划外停机次数，改善原料品质等因素；
- 综合考虑制造成本、营销收入、产品利润等经济因素；
- 降低生产过程中的单位产能能耗，提高能源转换效率，缩短作业时间，减少布置工作地时间，保证必要的休息与生理需要时间（通常按作业时间的 2%~7%）；
- 减少向环境中排放有害物质与气体。

5.2 能效优化指标

5.2.1 能耗优化目标

机械加工系统能效目标主要体现为工艺路线涉及到的所有加工工艺产生的总碳排放量 CE 最小，主要是实施机械加工工艺涉及到的车、铣、镗、磨、钻等典型机械加工工艺。

$$CE=CE_m+CE_{elec}+CE_{coolant}+CE_{tool}+CE_{chip} \dots\dots\dots (1)$$

- 式中：
- CE ——机械加工系统碳排放；
 - CE_m ——物料消耗引起的碳排放；
 - CE_{elec} ——电能消耗引起的排放；
 - $CE_{coolant}$ ——切削液引起的碳排放；
 - CE_{tool} ——刀具引起的碳排放；
 - CE_{chip} ——废屑处理产生的排放。

5.2.2 效率优化目标

主要体现为工艺路线总加工时间 T 涉及到的加工工艺时间、机床更换时间、刀具更换时间、夹具更换时间、检验检测时间、物流转运时间的总和最小。总的加工时间 T 表示如下：

$$T=T_{MP}+T_{MC}+T_{CT}+T_{FC}+T_{PI}+T_{LT} \dots\dots\dots (2)$$

- 式中：
- T ——总加工时间；
 - T_{MP} ——加工工艺时间；
 - T_{MC} ——机床更换时间；
 - T_{CT} ——刀具更换时间；
 - T_{FC} ——夹具更换时间；
 - T_{PI} ——检验检测时间；
 - T_{LT} ——物流转运时间。

5.3 评估流程及指标

5.3.1 流程图

评估流程见图1。

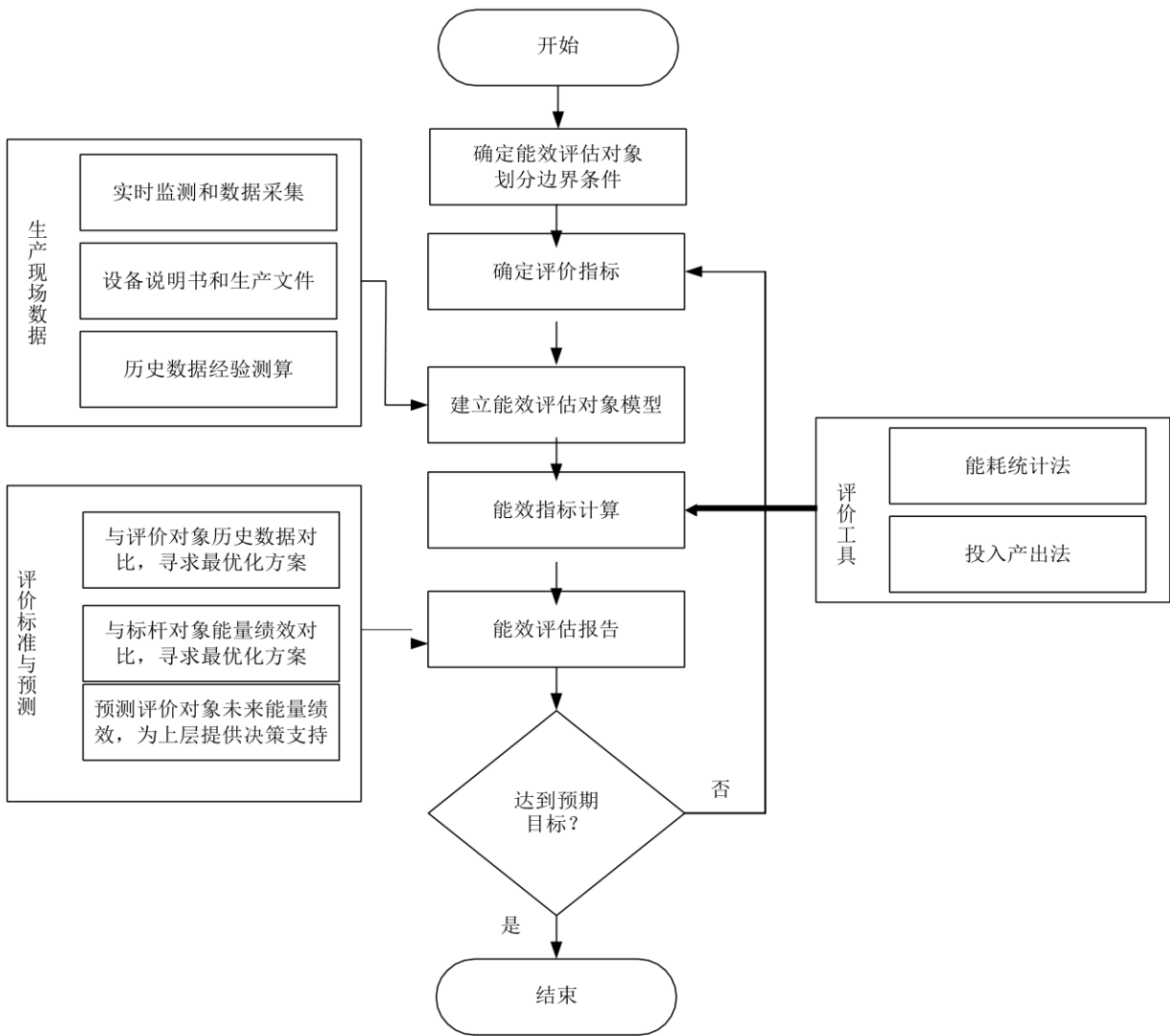


图1 评估流程图

5.3.2 评估指标

5.3.2.1 建立能效评估对象

选择制造工厂、生产工段、生产线、制造单元、工件或设备作为能效评估对象，评估对象可选择多个。

5.3.2.2 建立能效评估对象模型

基于实时监测和数据采集、设备说明书和生产文件、历史数据经验测算等数据，建立能效评估对象的能源信息和物料信息，形成能效评估对象模型。

5.3.2.3 能效指标计算

分析影响能效的关键因素，建立能效评估指标，选取一个或多个评价指标，按照统一时间起止范围计算能效指标值。

5.3.2.4 能效评估报告

基于能效指标计算值，分析工艺流程、工艺方法、生产设备、生产管理的潜力，结合企业现状及后续发展规划，给出当前实施能效改善的建议以及后续能效提升的实施路径。

6 能效优化方法

6.1 工艺路线设计

工艺路线设计应综合考虑安全性、科学性、合理性、可靠性及产品安全、质量、经济指标所能达到的水平。

工艺设计应满足以下原则：

- 根据企业的设备资源、工艺装备、人力资源等条件，确定生产组织原则；
- 根据企业生产能力、产品性质和生产批量，确定自制件、外协件、外购件的具体内容；
- 根据零件结构尺寸、精度指标、表面质量、材料特性、热处理等确定毛坯类型；
- 根据零部件材料、结构、精度指标、技术标准及现有工艺技术水平、设备资源、工装辅具等选择加工方法，考虑关键精度指标的控制方法以及新工艺新技术应用，确定工序集中与分散原则，划分工序顺序及粗加工、半精加工、精加工等加工阶段。

6.2 高能效工艺路线优选

以加工安全、质量、时间、成本及能效水平指标为依据，优选符合企业发展的高能效工艺路线，方法见图2：

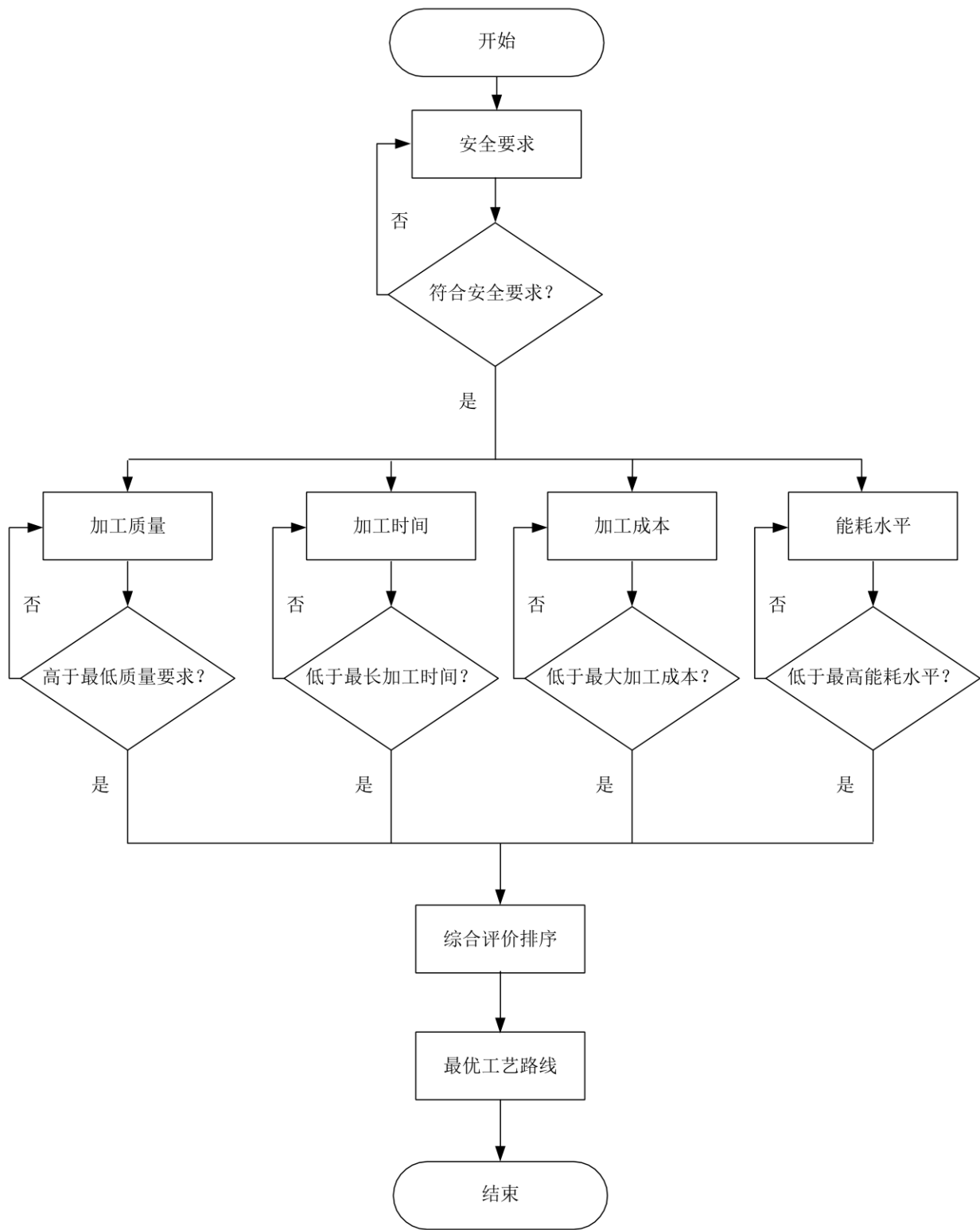


图2 高能效工艺路线优化方法

7 工艺方法能效优化

7.1 物料去除率

宜根据自身特点，选择适宜的大型构件物料去除方式，如机械切削加工、磨削加工、超声波加工、电火花加工、激光加工等。大型构件的粗加工阶段宜选择较大的物料去除率，半精加工阶段宜选择中等的物料去除率，精加工阶段宜选择较小的物料去除率。

7.2 加工设备

选择大型构件加工设备时，要综合考虑设备精度、规格参数、附件装置、工艺装备、生产负荷、工件外形、工件余量、物流吊运、储存等因素，在满足加工质量的条件下，综合考虑设备能耗，其原则如下：

- 优先选择设计有节能装置、机械结构与布置设计合理的绿色节能机床；
- 优先选择常规机床设备，次选精度较高的机床设备，最后选择高精度的加工中心机床设备；
- 粗加工优先选择普通机床设备，精加工选择数控机床或加工中心机床。

7.3 加工刀具

选择大型构件加工刀具时，要综合考虑机床精度、工件材料、毛坯状况、工艺装备、冷却润滑、工件余量、加工经济度等因素，在满足加工精度及生产效率的条件下，综合考虑设备能耗，其原则如下：

- 优先选择硬质合金可转位刀具、标准刀具；
- 刀具尺寸规格与被加工尺寸相匹配；
- 刀具材料种类及型号与加工材料、工件状态及表面质量要求相适应。

7.4 加工工序

确定大型构件加工工序应综合考虑工件材料、生产纲领、设计基准、工艺基准、加工余量、加工精度、加工经济度等，在满足设计和加工工艺要求的前提下，选择安全、绿色环保的加工工序，降低能耗，减少加工成本，其原则如下：

- 应满足工序集中、加工顺序、机床条件、工艺要求、刀具性能等约束条件；
- 优化后的工艺工序更精益化精细化，应去除非价值工序工步；
- 应最大限度减少工序基准变换，减少尺寸链中的组成环；
- 优化后的工艺工序应避免粗加工中的高精度要求。

7.5 切削液

企业应根据自身工艺水平、工件材料、精度要求、生产效率，选择冷却效果好、成本低廉、绿色环保的切削液。切削液还应满足以下条件：

- 无刺激性气味，不含对人体有害添加剂；
- 满足设备润滑、防护管理要求；
- 满足工序间的防锈要求，不锈蚀工件；
- 具有优良的润滑性和清洗性能；
- 低污染并有废液处理装置；
- 价格便宜，配制方便；
- 推荐采用二氧化碳（干冰）、低温喷雾冷却装置进行冷却。

7.6 工艺参数

7.6.1 参数选择

加工中涉及的工艺参数很多，如工件材料、机床性能、刀具等。通常在确定生产计划后，工件材料、机床设备及刀具类型已经确定，工艺参数优化不再考虑优化生产条件。

参数选择应满足以下原则：

- 在满足机床刚性和刀具条件等约束条件下，可以适当增加机床主轴转速和进给速度；
- 宜采用较高的主轴转速、中等的进给速度；
- 应考虑被加工件的变形因素对降低加工工效的影响，合理选用加工工艺参数。

7.6.2 参数优化

加工参数应满足加工工艺要求、机床功能等基础条件，优化结果应更符合实际加工要求，参数优化应满足以下条件：

- a) 加工中机床功率 P_c 应不大于机床最大功率 P_{max} 与机床功率有效系数 η 之积 ($P_c \leq \eta P_{max}$) ；
- b) 加工中切削力应小于机床所能提供的最大切削力；
- c) 加工中主轴刚度允许的最大切削力应不大于主轴刚度所能允许的最大切削力：

$$F_c \leq F_s \dots\dots\dots (3)$$

- d) 表面粗糙度值：

$$R_a \leq [R_a] \dots\dots\dots (4)$$

式中：
[R_a]——工件所允许的最大表面粗糙度值。

7.7 数控程序路径规划

数控程序路径规划时，应满足工序集中、加工顺序、工艺要求、刀具性能等基础条件，它包括工步内容和工步顺序。确定走刀路径时，应符合以下要求：

- 在满足加工安全性的前提下，走刀路径应保证被加工零件的尺寸精度和表面质量，数值计算简单，加工路线短，减少空走刀时间；
- 宜采用对装夹刚度和工件加工变形小的路线；
- 宜采用三维扫描系统自动编程技术，智能优化刀具路径。

8 能效优化评审与改进

8.1 评审周期

通常评审周期可为六个月、十二个月或一个产品制造周期的前期、中期及后期。

8.2 评审形式

企业对优化的工艺进行内部筛选审核，进行内部评审或外部评审。

8.3 评审内容

- 评审内容包括：
- 工艺方法及工艺路线的先进性、经济性、节能性、可靠性；
 - 加工设备、工艺装备、检验方法、专用装备选用的合理性及经济性；
 - 工艺能效优化方法的可行性和有效性；

——工艺参数的正确性和可操作性。

8.4 改进与实施

优化后的工艺偏离预定目标时，应分析原因，提出整改措施，并提供证据验证整改措施的可行性和合理性，实现工艺能效优化持续改进。
