QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 0138

QJ 3157－2002

航天产品结构件数控加工工艺规范

The process specification for NC machining of structural component of space product

2002－11－20 发布

2003－02－01 实施

国防科学技术工业委员会 发 布

前　言

本标准由中国航天科工集团公司提出。
本标准由中国航天标准化研究所归口。
本标准起草单位：中国航天科工集团公司第二研究院二八三厂。
本标准主要起草人：侯劲松、张健志、裴瑞杰。

航天产品结构件数控加工工艺规范

1 范围

本标准规定了航天产品结构件（以下简称结构件）选用数控加工的原则、数控加工工艺设计、程序设计、程序调试和检验等要求。

本标准适用于航天产品结构件数控车削加工和数控铣削加工。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1

工序集中 process concentration

将若干加工工序集中成一道工序加工的过程。

2.2

工件零点 zero point

编程时在零件图样上建立坐标系，该坐标系的原点为工件零点。

2.3

后置处理 post process

计算机自动编程生成刀具轨迹，转换成数控机床可执行的指令代码的过程。

2.4

固定循环 canned cycle

数控机床控制系统将钻孔、镗孔、攻丝、腔槽等特征加工动作和操作顺序预先编制成程序，存储在内存中，使用时用特定功能代码调用内存中的程序完成某类特征加工。

2.5

刀位文件 tool position file

计算机自动编程生成的描述刀具轨迹文件。

2.6

零点偏置 zero offset

用数控机床控制系统的专用指令将已设定的坐标系原点，按指定坐标值偏移，改变刀具的加工位置。

3 选用数控加工的原则

数控加工适用于下述零件：

a） 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓的零件；

b） 形状复杂，用普通机床无法加工或虽能加工，但难以保证产品质量的零件；

c） 加工后难以测量或加工过程中难以控制进给量的零件；

d） 在普通机床上加工极易受人为因素干扰，零件价值又高，一旦质量失控将会造成重大经济损失的零件；

e） 用普通机床加工生产率很低或体力劳动强度很大的零件；

f） 在普通机床上加工采用的工艺装备复杂或数量多的零件；

g） 在普通机床上加工需要长时间调整的零件；

h） 能减少装夹定位次数，实现工序集中的零件；

i） 加工精度要求较高的中小批量零件；

j） 研制阶段中要频繁更改设计的复杂零件。

4 工艺设计

4.1 设计依据

工艺设计依据一般包括：

a） 产品设计文件、本单位生产条件、工艺手段和有关标准；

b） 数控机床的功能、加工精度、加工范围和程序语言。

4.2 设计准则

设计准则一般有：

a） 工艺基准、设计基准、工件零点尽量统一；

b） 加工路线的选择：一般情况下加工工件是先车后铣，粗车是先外后内，精车是先内后外；若工件刚度、工艺性允许，加工顺序可以调整；

c） 工序设计应采用工序集中的原则；

d） 合理分配加工余量，满足精度要求；

e） 合理选择数控机床，满足工序加工要求；

f） 程序应简捷，便于操作，提高加工效率和安全性；

g） 为缩短工装及工件的装夹调整时间，工装应考虑使用的快捷性。

4.3 设计方法

4.3.1 工艺分析

4.3.1.1 建模分析：分析零件的几何元素，建立数学模型。

4.3.1.2 基准分析：分析零件尺寸标注基准，不是同一引注基准时，应进行基准转换。

4.3.1.3 坐标分析：分析零件标注的尺寸，不是同一坐标系时，应进行坐标转换或换算。

4.3.2 工序划分

工序划分方法一般有：

a） 按粗加工、半精加工和精加工划分，通常用于易产生加工变形及材料去除量较多的零件加工；

b） 按使用刀具划分，以减少换刀次数及换刀时间，提高加工效率，用于加工内容较多的零件加工；

c） 按装夹定位次数划分，即按一次装夹定位完成的加工项目为一道工序；

d） 按加工部位划分，即按零件结构特点，分为若干部分加工。

4.3.3 工件准备

a） 当毛坯采用棒料，要留有足够量的工艺夹头，便于进行铣削零件的某些特征进行加工；若毛坯是半成品时，要便于装夹定位；

b） 当毛坯为铸锻件时，最好安排预先普通粗加工去除大部分加工余量，并加工出便于定位的基准；

c） 当毛坯为易变形薄壁件时，需考虑增加工艺夹头或必要的工艺装置，以易于定位，并增加毛坯的强度，减少变形量；

d） 准备毛坯时应考虑使用设备的加工范围、工作行程、刀具尺寸、工艺装置等因素的影响。

4.3.4 工艺方法与参数设计

4.3.4.1 定位基准与图样基准和加工基准应尽量统一。

4.3.4.2 工装应满足以下要求：

a） 减少装夹次数，尽可能做到一次装夹加工较多内容；

b） 结构简单，优先采用组合工装和可调工装；

c） 保证工件的加工部位敞开性好，避免影响正常走刀；

d） 装夹方便、可靠、高效。

4.3.4.3 刀具的选择一般应符合：

a） 安装调整方便、可靠；

b） 具有较好的断屑和排屑性能；

c） 刀具的刚度和耐用度应满足加工要求；

d） 尽量选择已标准化的系列刀具。

4.3.4.4 切削参数的选择应满足：

a） 所选切削用量要保证刀具能完成一个零件的加工或能工作一个至多个工作班次；

b） 在工件刚性、刀具刚性和机床功率许可下，宜选择较大的切削深度；

c） 在保证加工质量的前提下，宜选择较高的进给速度；

d） 刀具空行程时，宜选择较高的进给速度；

e） 深孔车削、精车削和切断时，应选择低的进给速度；

f） 加工带拐点的轮廓面时，应降低进给速度。

4.3.4.4.1 车削加工参数选择应满足下列要求：

a） 车削深度 t：

1） 在留下精加工及半精加工的余量后，粗加工应尽可能将剩下的余量一次切除，以减少走刀次数；

2） 工件余量过大时，应将第一次走刀的切削深度尽可能加大；

3） 工艺系统刚性较差时，应适当减少切削深度；

4） 一般来说，精加工时，t=0.05mm～0.8mm；半精加工时，t=1mm～3mm。

b） 进给量 s：

1） 粗加工时，加工表面粗糙度要求不高，主要考虑受刀杆、刀片、工件及机床的强度和刚度所能承受的切削力的限制；

2） 半精加工及精加工时，主要考虑加工表面粗糙度的限制。

c） 车削速度 v：

1） 刀具材料的耐热性好，切削速度可高些；

2） 工件材料的强度、硬度高，或塑性太高或太小，切削速度可低些；

3） 加工有氧化皮的工件时，应适当降低切削速度；

4） 加工表面的表面粗糙度要求高时，切削速度应避开积屑瘤的产生速度范围；对于硬质合金刀具，可取较高的切削速度；对高速钢刀具，应取低速切削；

5） 断续切削时，应取低速切削；

6） 工艺系统刚性较差时，切削速度应减小。

4.3.4.4.2 铣削加工参数选择应满足下列要求：

a） 铣削深度 t：

1） 粗加工时，第一刀的铣削深度应尽可能大，以使刀尖避开工件表面的硬皮。通常铣削无硬皮的钢料时，t=3mm～5mm。

2） 工件表面粗糙度要求为 Ra6.3～3.2 时，粗铣后应留 0.5mm～1mm 余量，采用半精铣切除。

3） 工件表面粗糙度要求为 Ra1.6～0.8 时，半精铣 t=1.5mm～2mm，精铣 t=0.5mm。

b） 铣削速度 v：

当铣削深度 t 选定后，应在保证正常的铣刀耐用度及机床动力和刚性允许的条件下，尽可能取较大的铣削速度 v。选择 v 时，首先应考虑的因素是刀具材料及工件材料性质，刀具材料的耐热性越好，v 可取越高；工件材料强度、硬度越高，v 应适当减小；在加工难加工材料选择时，v 值应比加工钢材时更低些。

4.3.4.5 确定走刀路线时应注意：

a） 为保证工件轮廓表面的加工精度及表面粗糙度，车削时尽量安排连续加工表面的精加工，铣削宜按顺铣加工；

b） 用立铣刀侧刃铣削零件表面时，刀具宜按沿轮廓的切线方向切入或切出，避免加工表面产生刀痕；

c） 应尽量缩短走刀路线并尽量减少空程运行距离；

d） 走刀路线应方便坐标值的计算，减少编程工作量；

e） 重复的走刀路线可采用固定循环功能来简化程序；

f） 倒角和去毛刺的加工内容应安排在刀具轨迹路线中；

g） 特殊情况下，可通过 CAD/CAM 和后置处理软件修正、优化走刀路线。

4.3.4.6 切削液选用：

应根据工件和刀具材料、加工方法以及其他具体要求，合理选用切削液，如：

a） 粗加工时切削液以冷却作用为主，精加工以润滑作用为主；

b） 切削难加工材料时，宜选用极压切削油或极压乳化液，以避免粘刀；

c） 切削铝合金和镍基高温合金时，不要使用含有硫的切削液，以避免腐蚀；

d） 切削钛合金时，不要使用含有氯的切削液，以避免腐蚀；

e） 硬质合金刀具可以不用切削液，也可用浓度低的乳化液或化学切削液，但要求流量大，不中断供液。

航空航天常用的金属材料在切削加工方法不同条件下，切削液的选用见表1。

表1 切削液的选用

工件材料	合金钢		不锈钢		高温合金		钛合金		铝合金		镁合金	
刀具材料	高	硬	高	硬	高	硬	高	硬	高	硬	高	硬
粗 加 工	3 1 7	0 3 1	7 4 2	0 4 2	2 4 7	8 4 2	4	0 4	0 3	0 3	0 5	0 5
精 加 工	4 7	0 2 4	7 4 2	0 4 2	2 8 4	8 4	4	0 4	0 6	0 6	0 5	0 5

注：高—高速钢；硬—硬质合金；
0—干切；1——润滑性不强的化学切削液；2—润滑性较好的化学切削液；3—乳化液；4—极压乳化液；
5—普通切削油；6—煤油；7—含硫的极压切削油，含氯的极压切削油，植物油与矿物油的复合油；
8—含硫、氯、氯磷或硫氯磷的极压切削油。

4.3.5 数控加工程序设计

4.3.5.1 设定数控机床坐标系和运动方向应符合：

a） 标准坐标系采用右手笛卡尔坐标系，各坐标轴与机床主要导轨相平行。直角坐标 X、Y、Z 三者关系及其正方向用右手定则判定，围绕 X、Y、Z 轴回转运动及其正方向+A、+B、+C 分别用右手螺旋定则确定；

b） 确定机床坐标轴时，一般先确定 Z 轴，再确定 X、Y 轴。以主轴轴线方向作为 Z 轴，刀具远离工件的方向为正方向。对于车床，在水平面内选定垂直于工件旋转轴线方向为 X 轴，

刀具远离主轴轴线方向为正方向；对于卧式铣床，由机床立柱位置向工件看，主轴右侧为X轴正方向；对于立式铣床，则面向机床立柱，主轴右侧为X轴正方向。Y轴根据已选定的X轴、Z轴，按右手定则判定。

4.3.5.2 工件零点的选择可按以下方法进行：

a） 工件零点应选在零件图样的尺寸基准点上，便于坐标值的计算；

b） 对称零件的工件零点应设在对称中心上；

c） 一般零件的工件零点应考虑对刀的方便性；

d） Z轴方向上的零点，一般设在工件表面。

4.3.5.3 数控加工程序的编制方法一般分为手工编程和自动编程。

a） 手工编程：

手工编程一般用于零件的点位加工及直线与圆弧组成的轮廓加工，其坐标值计算较为简单，程序量较小，便于调整与检查。手工编程的步骤见图1。

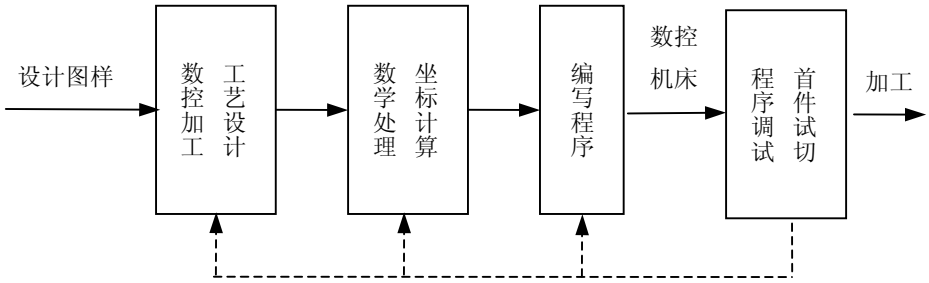

图1 手工编程步骤

b） 自动编程：

自动编程一般用于具有复杂曲线、曲面或程序量大、手工编程困难的零件，自动编程一般采用CAD/CAM软件进行。自动编程的步骤见图2。

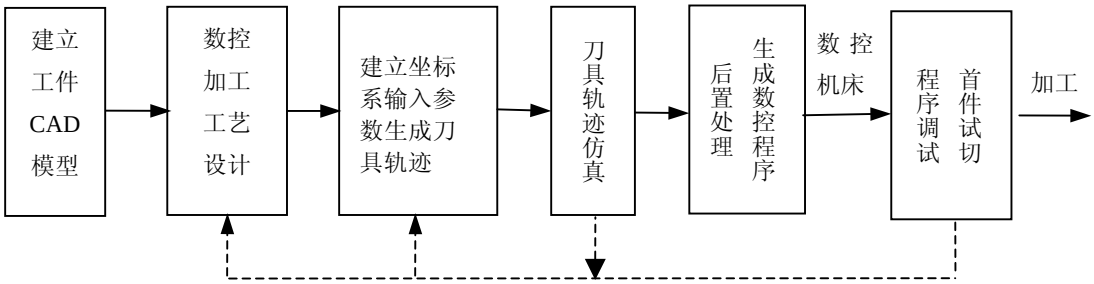

图2 自动编程步骤

4.3.5.4 程序编制应注意以下事项：

a） 程序格式及指令代码应符合相应数控机床控制系统要求；

b） 编程时应视被加工工件为静止物，刀具为移动物；

c） 尽量使用固定循环功能以便提高编程效率；

d） 轮廓加工应尽量采用刀具补偿方法，便于加工过程中刀具更换及加工精度调整；

e） 编程时应按零件尺寸或工序尺寸计算坐标值，坐标值计算时一般取尺寸的最大和最小极限值的平均值，也可根据零件最终性能要求设定坐标值；

f） 程序中可以加入暂停语句（如：M0），便于尺寸测量及毛刺和切屑的清除；

g） 多次重复的加工路径，可编制子程序；

h） 刀具半径应小于零件内轮廓的最小曲率半径；

i） 换刀点应选择在远离工件、工装等易干涉物体的空间大的位置。

4.3.6 数控加工工艺规程的编制

4.3.6.1 工艺规程的组成

数控加工工艺规程一般包括数控工艺（序）卡片、程序清单、刀具清单、数控程序卡片、工艺附图、数控加工程序（机读文件）和检验内容等。

4.3.6.2 数控工艺卡片的编制

数控工艺卡片用于数控加工工序的工艺过程说明，可使用机械加工工艺（序）卡片代替。编制数控工艺卡片时，应明确所选择的数控机床，工序（步）中应规定工装的使用方法、工件的装夹找正工件零点的位置，并规定检验要求，在相应工序（步）中给出加工程序的程序号。

4.3.6.3 程序清单的编制

程序清单用于全部数控程序的汇总，便于程序的查找。程序清单中应明确数控机床型号，并简要说明程序对应的工序、工步及其加工内容。还应明确数控程序存储的介质和读取路径。按不同数控机床编制的相同零件的加工程序，可按机床控制系统分类汇总。

4.3.6.4 刀具清单的编制

刀具清单用于数控程序中所用刀具的汇总，便于生产准备时准确组装和调整刀具。刀具清单中应写明刀具类型和尺寸，必要时可详细写明刀具的测量和使用要求；专用刀具应特殊注明，并应绘制刀具简图。

4.3.6.5 数控程序卡片的编制

经调试验证合格的程序，程序内容应纳入数控程序卡片。数控程序卡片的内容及要求如下：

a） 采用手工编制的程序，一般在数控程序卡片中写明：

1） 在程序段或程序语句后面写明加工内容、辅助操作要求及操作者可自行调整、修正的参数与方法；

2） 操作中应注意的问题；

3） 检测（验）要求。

b） 计算机自动编程时，数控程序卡片中一般要说明所采用的计算机自动编程系统名称、后置处理名称、CAD 模型文件名、自动编程系统生成的刀位文件名以及计算机读取相应文件的路径。

5 程序调试

5.1 对于首次采用数控加工、更换数控加工设备、产品图样变动而重新编制的数控加工程序，原则上应采用试件进行加工调试，以验证数控加工程序的正确性。

5.2 程序调试一般由工艺人员和操作者共同进行。工艺人员在调试过程中，可对所编程序进行修改、完善，但要保证加工内容正确、切削方法合理。

5.3 重复使用的数控程序，生产前也应进行调试验证。

5.4 程序调试步骤如下：

a） 利用机床所提供的图形模拟功能对加工程序进行图形模拟；

b） 装夹工装、刀具、试件，用零点偏置功能使刀具离开工件一定的安全距离，运行加工程序，检查刀具运行轨迹的正确性；

c） 修改程序相关参数，运行加工程序，使刀具在试件表面切削，切削量不超过本道工序加工余量，然后按工艺要求及图样对试件进行测量，检查程序的正确性；

d） 在调试程序时可适当修正刀具参数，以保证加工零件与图样、工艺内容相符；

e） 对加工后的试件进行检验，对于某些不易检测的尺寸，应由工艺人员协同检验人员共同对无法直接检测的尺寸的坐标值进行核查和确认，检验合格后方可认为程序调试完毕；

f） 对调试合格后的程序进行重新存储，并删除未经调试、验证的程序；

g） 完善工艺规程中的文字部分、刀具清单、程序清单和检验内容等。

6 检验

6.1 数控加工件检验一般按常规检验方式检验。

6.2 不能直接测量，或不能使用检具或仪器等测量的项目，应简要叙述检验原理，在工艺规程中详细写出检验方法、检验步骤，必要时应写明注意事项和数据处理办法等。

6.3 对零、部件采取抽样检验时，应明确抽样方法和判定方法。

6.4 应记录检测数据。检验结束后，在检验报告中填写检验结论。

6.5 工序过程中的检验主要以工艺规程为准，也可参照图样进行。

6.6 产品在检验过程中应注意防护，保证产品的安全。

QJ 3157－2002

中华人民共和国航天行业标准

航天产品结构件数控加工
工 艺 规 范

QJ 3157－2002

*

中国航天标准化研究所出版
北京西城区月坛北小街 2 号
邮政编码：100830
北京航标印务中心印刷
中国航天标准化研究所发行

版权专有　不得翻印

*

2003 年 04 月出版
定价：10.00 元