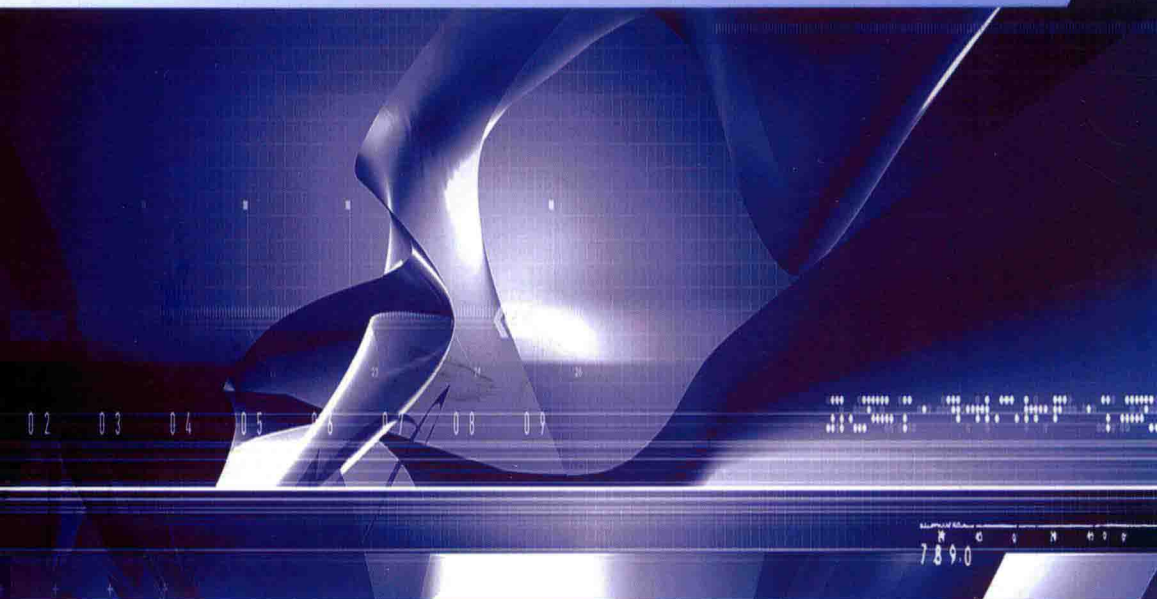


机械加工工艺 与技术研究

李红梅 刘红华 © 著



云南大学出版社

教育厅科学研究项目（项目编号：17C092）资助

机械加工工艺与技术研究

李红梅 刘红华 © 著



云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

机械加工工艺与技术研究 / 李红梅, 刘红华著. --

昆明: 云南大学出版社, 2019

ISBN 978-7-5482-3612-2

I. ①机… II. ①李… ②刘… III. ①机械加工—工
艺学 IV. ①TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 008931 号

策划编辑: 王翌沚

责任编辑: 王翌沚

封面设计: 黄伟娟

机械加工工艺与技术研究

李红梅 刘红华 著

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 昆明理焯印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 277 千字

版 次: 2020 年 1 月第 1 版

印 次: 2020 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5482-3612-2

定 价: 56.00 元

社 址: 昆明市一二一大街 182 号

(云南大学东陆校区英华园内)

邮 编: 650091

电 话: (0871) 65033244 65031071

E-mail: market@ynup.com

若发现本书有印装质量问题, 请与印厂联系调换, 联系电话: 0871-64167045。

前 言

新时代，我国的制造业取得了飞速的发展与长足的进步，我国已经成为世界制造业大国，然而想要从制造业大国转变成制造业强国，需要培养大批卓越的工程师。在此背景下，我们撰写了这本《机械加工工艺与技术研究》，旨在为培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力和创新能力的优秀复合型人才提供较为全面的文献资料。

本书受 2017 年度湖南省教育厅科学研究项目（项目编号：17C092）资助，项目名称：“基于 solidworks 的机床高速主轴系统开发与研究”。湖南涉外经济学院的龚京忠教授、秦国军教授审阅了书稿。

本书的内容共有八章，第一章为总论，从机械加工工艺与技术发展、机械加工工艺过程、工艺系统、各种生产类型加工工艺的特征及工艺流程与经济效益的关系等方面对机械加工工艺进行了系统的分析；第二章为机械加工工艺的基础理论研究，阐述了机械加工工艺的重要性及工艺理论，并对现代机械加工方法及工艺方案进行了探究；第三章为机械加工工艺规程设计的相关内容，阐明了工艺路线的制订并对数控加工工艺以及成组加工工艺进行了深入探讨；第四章为机器装配工艺过程，以整台机器为研究对象，分析研究了保证机器的装配精度的方法，重点对机器装配的自动化及虚拟装配进行了研究；第五章探讨了机械加工工艺验证的具体程序、工艺文件的审查等内容；第六章探究了现代机械加工工艺技术及技术革新，重点阐释了先进制造模式、智能制造技术、微机械及微细加工、人工神经网络的应用、数值模拟的应用等先进的机械加工工艺技术；第七章研究了现代机械加工方法；第八章对新型的刀具材料和现代机械加工设备进行了系统的阐释。

本书由浅入深，从基础理论入手，对机械加工工艺进行了系统的研究，并对机械加工技术的新进展进行了论述。尽管本书的研究具有前沿性，相关研究也会逐步深入，但是由于机械制造工艺十分复杂，且实践性很强，影响因素很多，因此，机械加工工艺与技术也是在不断地完善和发展的。

在写作过程中，我们参考了许多文献与资料，在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。由于机械加工工艺与技术专业性极强，且有很强的实践性，加之时间仓促，因此，尽管想极力完善本书的体系与内容，但是书中还难免有不妥和错误之处，在此恳请广大的专家学者批评指正。

作 者

2018 年 4 月

目 CONTENTS 录

第一章 总 论	001
第一节 机械加工工艺与技术发展概述	001
第二节 机械加工工艺过程概述	002
第三节 机械加工工艺系统概述	006
第四节 各种生产类型加工工艺的特征	010
第五节 机械加工工艺流程与经济效益的关系	012
第二章 机械加工工艺的基础理论研究	016
第一节 机械加工工艺的重要性	016
第二节 机械加工的工艺理论	017
第三节 现代机械加工的工艺方法	022
第四节 机械加工工艺方案的确定	057
第三章 机械加工工艺规程设计研究	060
第一节 机械加工工艺规程概述	060
第二节 机械加工工艺路线的制定	066
第三节 数控加工工艺设计解析	082
第四节 成组加工工艺设计解析	096

第四章 机器装配工艺过程研究	103
第一节 机器装配概述	103
第二节 装配工艺规程制定概述	106
第三节 机器结构的装配工艺性探索	109
第四节 保证装配精度的装配方法	113
第五节 机器装配的自动化研究	122
第六节 机器的虚拟装配研究	124
第五章 机械加工工艺验证的研究	131
第一节 工艺验证概述	131
第二节 工艺验证的具体程序	132
第三节 工艺文件的标准化审查及修改	133
第六章 现代机械加工工艺技术以及技术革新研究	136
第一节 制造单元和制造系统概述	136
第二节 先进制造模式研究	146
第三节 智能制造技术研究	167
第四节 微机械及微细加工技术概述	177
第五节 人工神经网络在切削加工技术中的应用及实践	181
第六节 数值模拟在切削加工技术中的应用及实践	184
第七节 灰色系统理论在机械中的应用	188
第七章 现代机械加工方法研究	191
第一节 机械加工中改进表层金属力学物理性能的方法研究	191
第二节 机械加工中金属热处理方法研究	204
第三节 现代机械加工中的特种技术和方法	212
第四节 快速原型制造和成形制造方法	222
第五节 高速加工和超高速加工方法	225

第八章 新型刀具材料以及现代机械加工设备研究	229
第一节 刀具材料的发展趋势研究	229
第二节 高速钢以及硬质合金刀具材料的发展	230
第三节 金属陶瓷以及陶瓷刀具材料的发展	232
第四节 超硬刀具材料的发展研究	233
第五节 现代机械加工设备概览	234
第六节 现代机械加工设备的发展趋势研究	235
参考文献	239

第一章 总论

本章内容为全书的总论，主要阐述了机械加工工艺的相关概念，从机械加工工艺与技术的发展着眼，依次研究了机械加工工艺的过程、系统、各种生产类型加工工艺的特征，以及机械加工工艺流程与经济效益的关系。

第一节 机械加工工艺与技术发展概述

20世纪初，德国非常重视工艺，出版了不少工作手册。到了20世纪50年代，苏联的许多学者在德国学者研究的基础上，出版了《机械制造工艺学》《机械制造工艺原理》等著作，并在大学里开设了机械制造专业，将制造工艺作为一门学问来对待，即将工艺提高到理论高度。20世纪70年代又形成了机械制造系统和机械制造工艺系统，至此工艺技术成为一门科学。

近年来，制造工艺理论和技术上的发展比较迅速，除了传统的制造方法外，由于精度和表面质量的提高，以及许多新材料的出现，特别是出现了不少新型产品的制造生产，如计算机、集成电路（芯片）、印制电路板等，与传统制造方法有很大的不同，从而开辟了许多制造工艺的新领域和新方法。这些发展主要分为工艺理论、加工方法、制造模式、制造技术和系统等几个方面。

第二节 机械加工工艺过程概述

一、机械加工工艺过程的基本概念

机械加工工艺过程是机械产品生产过程的一部分，是直接生产过程，是指采用金属切削刀具或磨具来加工工件，使之达到所要求的形状、尺寸、表面粗糙度和力学物理性能并成为合格零件的生产过程。随着制造技术的不断发展，现在所说的加工方法除切削和磨削外，还包括其他加工方法，如电加工、超声加工、电子束加工、离子束加工、激光束加工以及化学加工等。

二、机械加工工艺过程组成

机械加工工艺过程由若干个工序组成。机械加工中的每一个工序又可依次细分为安装、工位、工步和行程。

(一) 工 序

机械加工工艺过程中的工序是指一个(或一组)工人在同一个工作地点对一个(或同时对几个)工件连续完成的那一部分工艺过程。根据这一定义,只要工人、工作地点、工作对象(工件)之一发生变化或不是连续完成,则应成为另一个工序。因此,同一个零件、同样的加工内容可以有不同的工序安排。例如,图 1-1 所示阶梯轴零件的加工内容包括:加工小端面,对小端面钻中心孔;加工大端面,对大端面钻中心孔;车大端面外圆,对大端外圆倒角;车小端面外圆,对小端外圆倒角;铣键槽;去毛刺。这些加工内容可以安排在两个工序中完成(见表 1-1),也可以安排在四个工序中完成(见表 1-2),还可以有其他安排。工序安排和工序数目的确定与零件的技术要求、零件的数量和现有工艺条件等有关。工件在四个工序中完成时,精度和生产率均较高。

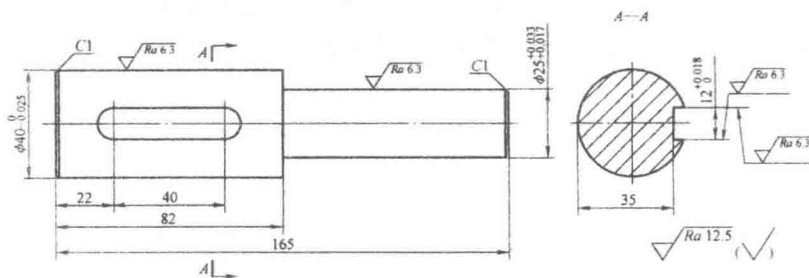


图 1-1 阶梯轴零件

表 1-1 阶梯轴第一种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	车小端面, 对小端面钻中心孔; 粗车小端外圆, 对小端外圆倒角; 车大端面, 对大端面钻中心孔; 粗车大端面外圆, 对大端外圆倒角; 精车外圆	车床
2	铣键槽, 手工去毛刺	铣床

表 1-2 阶梯轴第二种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	车小端面, 对小端面钻中心孔; 粗车小端外圆, 对小端外圆倒角	车床
2	车大端面, 对大端面钻中心孔; 粗车大端外圆, 对大端外圆倒角	车床
3	精车外圆	车床
4	铣键槽, 手工去毛刺	铣床

(二) 安 装

如果在一个工序中需要对工件进行几次装夹, 则每次装夹下完成的那部分工序内容称为一个安装。例如, 表 1-1 中的工序 1, 在一次装夹后尚需有三次调头装夹, 才能完成全部工序内容, 因此该工序共有四个安装; 表 1-1 中工序 2 是在一次装夹下完成全部工序内容, 故该工序只有一个安装 (见表 1-3)。

表 1-3 工序和安装

工序号	装号	工序内容	设备
1	1	车小端面, 钻小端中心孔; 粗车小端外圆, 对小端外圆倒角	车床
	2	车大端面, 钻大端面中心孔; 粗车大端外圆, 对大端外圆倒角	
	3	精车大端外圆	
	4	精车小端外圆	
2	1	铣键槽, 手工去毛刺	铣床

(三) 工 位

在工件的一次安装中, 通过分度 (或移位) 装置, 使工件相对于机床床身变换

加工位置，则把每一个加工位置上的安装内容称为工位。在一个安装中，可能只有一个工位，也可能需要有几个工位。

图 1-2 所示为通过立式回转工作台使工件变换加工位置的例子，即多工位加工。在该例中，共有四个工位，依次为装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔，实现了在一次装夹中同时进行钻孔、扩孔和铰孔加工。

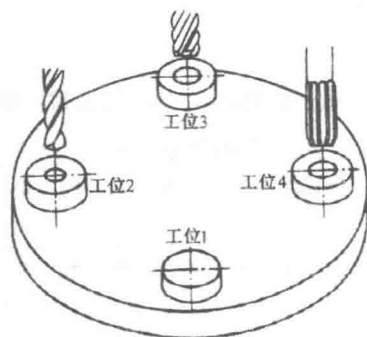


图 1-2 多工位加工

综合以上分析可以看出，如果一个工序只有一个安装，并且该安装中只有一个工位，则工序内容就是安装内容，同时也是工位内容。

(四) 工步

在加工表面、切削刀具、切削速度和进给量都不变的情况下所完成的工位内容，称为一个工步。按照以上定义，带回转刀架的机床（转塔车床、加工中心），其回转刀架的一次转位所完成的工位内容应属一个工步，此时若有几把刀具同时参与切削，则该工步称为复合工步。图 1-3 所示为立轴转塔车床回转刀架示意图，图 1-4 所示为用该刀架加工齿轮内孔及外圆的一个复合工步。

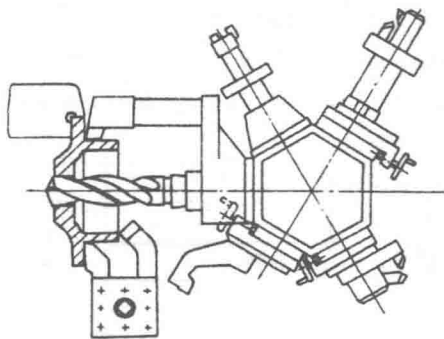


图 1-3 立轴转塔车床回转刀架示意图

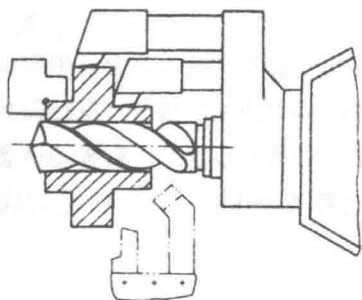


图 1-4 立轴转塔车床的一个复合工步

在加工过程中，复合工步已有广泛应用。例如，图 1-5 所示为在龙门刨床上，通过多刀刀架将四把刨刀安装在不同高度上进行刨削加工；图 1-6 所示为在钻床上用复合钻头进行钻孔和扩孔加工；图 1-7 所示为在铣床上通过铣刀的组合适，同时完成几个平面的铣削加工等。综上所述可以得出以下结论，应用复合工步主要是为了提高工作效率。

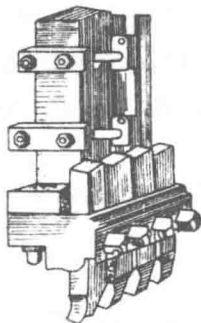


图 1-5 刨平面复合工步

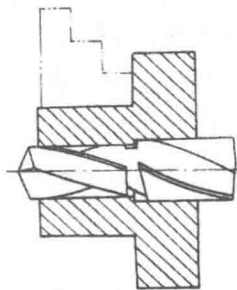


图 1-6 钻孔、扩孔复合工步

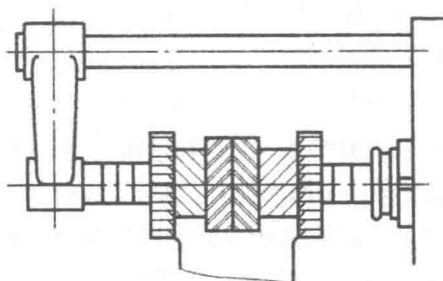


图 1-7 组合铣刀铣平面复合工步

(五) 行程

行程(进给次数)有工作行程和空行程之分。工作行程是指刀具以加工进给速度相对工件所完成的一次进给运动的工步部分;空行程是指刀具以非加工进给速度相对工件所完成的一次进给运动的工步部分。行程的概念是为了反映工步中的进给次数和工序卡片中相吻合,并能精确计算工步工时,它比过去引用的走刀概念更科学。

第三节 机械加工工艺系统概述

用系统的概念分析传统工艺过程,就产生了工艺系统。例如,工艺过程中的一个工序,由工作地点上的机床和机床上的工艺装备(夹具、辅具、刀具、量具等)、工件,还有技术工人等元素组成,只有协调各相关元素的工艺要求,才能实现一个工序的最佳化目标。因此,工序就是一个简单的工艺系统。

如果以一个零件的机械加工工艺过程作为高一级的工艺系统,那么该系统的元素就是组成工艺过程的各个工序,必须全面协调组成该零件机械加工工艺过程的各个工序的有关工艺参数,才能实现一个零件机械加工的最佳化目标。对于一个机械制造厂来说,除机械加工外,还有铸造、锻压、焊接、热处理和装配等工艺,各种工艺都可以形成各自的工艺系统。

下面主要对机械加工工艺系统的各个组成部分进行简要分析。

一、机 床

机床是现代机械制造业中最重要的加工设备,它所担负的加工工作量,占机械制造总工作量的40%~60%,机床的技术性能直接影响机械产品的性能、质量和经济性。因此,机床工业的发展和机床技术水平的提高,必然对国民经济的发展起着重大推动作用。这里主要分析金属切削机床和数控机床。

(一) 金属切削机床

金属切削机床是用刀具切削的方法将金属毛坯加工成机器零件的机器,它是制造机器的机器,所以又称为“工作母机”,习惯上简称为机床。机床有很多型号和用途,根据不同的分类方式可以归纳为不同的种类。

按照加工性质、所用刀具和机床的用途可分为:车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床等12类。

按照机床的通用性程度可分为:①通用机床即万能机床:加工范围广,通用性强,

适用于单件小批生产,如卧式机床、摇臂钻床、万能外圆磨床等。②专门化机床:工艺范围比通用机床窄,但比专用机床宽。专门化机床的设计是为了满足加工某一类零件或者工序,而专门设计和制造的,如丝杠铣床、铲齿车床等。③专用机床:工艺范围最窄。顾名思义,专用机床就是为了满足某种特定零件的特定工序的加工要求而设计的,例如大量生产的汽车零件所用的各种组合机床。

按照重量和尺寸可分为仪表机床、中型机床(一般机床)、大型机床(质量大于10t)、重型机床(质量在30t以上)和超重型机床(质量在100t以上)。

按主要工作部件数口可分为单轴、多轴、单刀、多刀机床。

(二) 数控机床

数控机床是指采用数字形式控制的机床。

数控机床是综合应用了电子技术、计算技术、自动控制、精密测量和机床设计等领域的先进技术成就而发展起来的一种新型自动化机床,具有广泛的通用性和较大的灵活性。数控机床有很多型号和用途,根据不同的分类方式可以归纳为不同的种类。

按工艺用途来划分,有普通数控机床和数控加工中心机床。

按机床类型来划分,有数控车床、数控铣床、数控钻镗床、数控磨床等。

按运动轨迹来划分,有点位控制数控机床、直线控制数控机床与轮廓(连续)控制数控机床。

按伺服系统控制方式来划分,有开环控制数控机床、闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

与普通机床相比,数控机床有以下优点:具有充分的柔性,只需更换零件程序就能加工不同零件;加工精度高,产品质量稳定;生产率高,生产周期较短;可以加工复杂形状的零件;大大减轻工人劳动强度。

数控机床也存在以下问题(缺点):成本比普通机床高;需要专门的维护人员;需要熟练的零件编程技术人员。

二、刀 具

金属切削刀具的种类很多,其切削部分的形状和几何参数都不尽相同,但它们都可由外圆车刀切削部演变而来。外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具。

在实际的切削加工中,由于刀具安装位置和进给运动的影响,上述标注角度会发生一定的变化。角度变化的根本原因是切削平面、基面和正交平面位置的改变。以切削过程中实际的切削平面PS、基面PR和主剖面PO为参考平面所确定的刀具角

度称为刀具的工作角度，又称实际角度。

现将刀具安装位置对角度的影响做如下说明：

(1) 刀柄中心线与进给方向不垂直时对主、副偏角的影响。以车刀车外圆为例，若不考虑进给运动，当刀尖安装得高于或低于工件轴线时，将引起工作前角和工作后角的变化。

(2) 切削刀安装高于或低于工件中心时，对前角、后角的影响。当车刀刀杆的纵向轴线与进给方向不垂直时，将会引起工作主偏角和工作副偏角的变化。

三、夹 具

(一) 概 述

机床夹具是机床上用以装夹工件（和引导刀具）的一种装置。其作用是将工件定位，以使工件获得相对于机床和刀具的正确位置，并把工件可靠地夹紧。机床夹具根据不同的分类方式可以分为不同的类型。

根据其使用范围，分为通用夹具、专用夹具、组合夹具、通用可调夹具和成组夹具等类型。

根据其所使用的机床和产生加紧力的动力源可分为铣床夹具、钻床夹具（钻模），镗床夹具（镗模）、磨床夹具和齿轮机床夹具等。

根据产生加紧力的动力源可将夹具分为手动控制方式的夹具、气动控制方式的夹具、液压控制方式的夹具、电动控制方式的夹具等。

在机械加工工艺系统中，机床夹具是重要组成部分。为保证工件某工序的加工要求，必须使工件在机床上相对刀具的切削或成形运动处于准确的相对位置。当用夹具装夹加工一批工件时，是通过夹具来实现这一要求的。而要实现这一要求，又必须符合以下三个与位置相关的条件：

(1) 工件和夹具的位置：确定的一批工件必须放在夹具中确定的位置。

(2) 夹具和机床的位置：确定的夹具必须装夹在机床上确定的位置。

(3) 刀具和夹具的位置：刀具相对夹具的位置必须准确。

从这三个位置的确定，我们不难发现这里涉及三层关系：夹具对机床、工件对夹具、刀具对夹具。三层关系环环相扣，只有每一层关系都唯一准确地确定了，才能保证这个加工工艺得以完善。刀具、工件、夹具、机床是一组整体，它们有着相对确定的位置关系，只有位置确定了，才能加工出满足实际尺寸要求的工件。同时，在加工时还必须注意，当工件定位以后，还需要用特定的装置产生夹紧力以便加固工件。因为在加工工件的时候，有可能会受到惯性力、切削力等的作用，会使得工

件的位置发生移动,破坏了原来已经精准定位的位置,同样会导致加工的失败。

(二) 工件在夹具中的定位

1. 六点定位原理

任何未定位的工件在空间直角坐标系中都具有六个自由度。工件定位的任务是根据加工要求限制工件的全部或部分自由度。该原理是指用六个支撑点来分别限制工件的六个自由度,从而使工件在空间得到准确定位的方法。

2. 完全定位与不完全定位

工件的六个自由度完全被限制的定位称为完全定位。按加工要求,允许有一个或几个自由度不被限制的定位称为不完全定位。

3. 欠定位与过定位

工件加工时,都必须准确定位,即必须限制工件的自由度。自由度过高的定位称为欠定位。这是由于工件某些自由度未予限制或者限制力度不够造成的。如果工件定位方案已被确定,欠定位是绝对不允许发生的。工件的同一自由度被多个支撑点重复限制的定位方式,称为过定位。应尽量避免出现过定位。

消除过定位及其干涉一般有两个途径:①改变定位元件的结构,以消除被重复限制的自由度;②提高工件定位基面之间及夹具定位元件工作表面之间的位置精度,以减少或消除过定位引起的干涉。

四、电力屏柜机柜的结构设计简介

电力屏柜是指由各种电气设备按照所提供的主电路、辅助电路、控制电路以及信号照明电路要求装配并进行电气连接面动作的组件。屏柜包含骨架和电气设备两部分,骨架是屏柜的躯壳,是电气设备赖以安装集成的载体,因此屏柜骨架的设计质量直接决定其所安装的电气设备能否正常工作。

电力机车屏柜主要有供电柜、电源柜、信号柜、高压电气柜、低压电气柜、变流器柜、牵引风机柜、冷却器柜、风源柜(空气压缩机的载体)等。这些屏柜可以分为载有电动机的屏柜和没有装载电动机的屏柜两大类,其中,供电柜、电源柜、信号柜、高压电气柜、低压电气柜、变流器柜等为没有装载电动机的屏柜;牵引风机柜、冷却器柜、风源柜等为载有电动机的屏柜。

屏柜骨架一般由薄板和梁通过焊接、铆接或螺栓连接组合而成。屏柜整体结构及组装结构件应有足够的机械强度和刚度;屏柜整体结构和电气设备布置应遵循重量平衡的原则,以保证屏柜均衡稳定;所有电气设备均应牢固地固定在屏柜整体结构、组装结构件、面板或支撑件上;屏柜整体结构可选用屏、柜、箱等形式;屏柜