

曹清林 沈世德 著

对称轨迹机构



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



对 称 轨 迹 机 构

曹清林 沈世德 著



机 械 工 业 出 版 社

本书分析了平面四连杆机构、平面三自由度并联机构、平面凸轮机构和旋轮线机构产生对称轨迹的条件、对称轨迹的类型及对称轨迹在工程中的应用、相应机构的尺度综合。

全书共分七个章节,包括第1章绪论;第2章平面四连杆机构产生对称连杆曲线的条件;第3章平面四连杆机构产生对称连杆曲线的类型;第4章对称连杆曲线的综合及应用;第5章三自由度平面并联机构实现对称轨迹;第6章平面凸轮引导机构实现对称轨迹;第7章旋轮线。

本书可供从事机械设计的工程技术人员、机械学研究生使用,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

对称轨迹机构/曹清林,沈世德著. --北京:机械工业出版社,2003.1
ISBN 7-111-11317-9

I. 对… II. ①曹…②沈… III. 平面四杆机构-研究 IV. TH112.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第099230号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:钱飒飒 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·9.25印张·225千字

0 001—1 500册

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527

封面无防伪标均为盗版

前 言

传动和引导问题是机构学研究的重要组成部分,其中,引导问题包括刚体(线)引导和点(轨迹)引导。本专著研究的对象为点(轨迹)引导问题中的一类特殊情况——对称轨迹引导。

一般形状的引导轨迹的形状变化与产生机构的尺度和点的位置有关,而机构的尺度可以千变万化,产生轨迹的点的位置也可以有无穷多,这就给研究轨迹的变化规律带来了困难。正因为如此,人们至今只对平面四连杆机构的引导轨迹(连杆曲线)在连杆平面上的变化规律有较全面的研究。另一方面,产生引导轨迹的机构的尺度综合问题也是机构学研究的难点之一。点引导机构的综合方法有三大类,一是图谱法,即对某种类型的机构,绘制出尽可能多的轨迹曲线,当需要实现某条轨迹时,对照图谱,寻求最接近的一条作为结果。这种方法的缺点是工作量大,效率低,人为因素对结果的影响大。第二种方法是精确点法。以平面铰链四杆机构为例,连杆曲线方程为包含有9个机构尺度参数的6次代数方程。在需实现的轨迹上最多可取9个点,并代入连杆曲线方程,从而得到包含有9个未知量(机构尺度)的代数方程组。很显然,求解过程非常繁琐。第三种方法是特征参数法,也是目前机构学领域研究的热点之一。所谓特征参数法,就是根据轨迹曲线的结构特点,用若干个特征参数来近似描述一轨迹。对某种机构先将其尽可能多的曲线及对应的特征参数存储起来,形成一“特征参数”图谱。当需实现某条轨迹时,也提取其特征参数,并与“特征参数”图谱中的曲线相比较,寻求出最为接近的一条轨迹为所需的结果。由于这种方法的整个过程可以由计算机来完成,所以,效率较高、实用,困难在于如何选用恰当的参数来描述一条轨迹。

在工程实际应用中,大量使用的轨迹曲线为对称轨迹,即其自身是轴对称的,或者对某些使用的引导轨迹,稍加修改后能成为对称轨迹,而且对实现的功能并无多大影响。对于某一确定的机构,产生的对称轨迹的数量较之于一般曲线的类型、数量要少得多,其变化规律也较易掌握。另外,对称曲线结构上的特殊性,使得相应产生机构的尺度综合也要比一般轨迹产生机构的尺度综合容易。因此,对称曲线具有较高的工程实用价值。

国外已有这方面的研究(见绪论和参考文献),国内对对称轨迹问题未有系统的研究,本专著在这方面进行了详尽探索。

本专著包含四方面的内容,即①平面四连杆机构产生对称连杆曲线的条件、曲线的类型及在连杆平面上的变化规律,不同类型对称连杆曲线的结构参数与机构尺度之间的定量关系,产生对称连杆曲线的平面四连杆机构的尺度综合及其应用;②多自由度平面并联机构。主要是三自由度平面并联机构实现轨迹引导问题的机构逆解,并分析了机构的正解;③凸轮引导机构实现对称轨迹的问题;④旋轮线的产生、类型及其应用。四方面内容中,前两种情况中的机构属于平面连杆机构产生对称轨迹的问题,即单自由度的平面四连杆机构和三自由度平面并联机构。这其中还可包括两自由度的平面连杆机构,如平面五连杆机构,因篇幅限制,没有纳入本书中。后两种情况属于含有一个高副、结构最简单的平面单自由度组合机构。当高副形式以凸轮高副实现时,即为凸轮引导机构;当高副形式以齿轮高副实现时,即为旋轮线机构。

本专著所包含的四方面的内容是作者近年来承担或参与各种科研项目的研究成果以及所发表论文的总结。主要有江苏省教委自然科学基金资助项目“对称连杆曲线及其在纺织机械中的应用”。江苏省教委留学回国人员科研启动基金资助项目“凸轮引导机构的研究”。南通市“百亿科技”资助项目“平面虚拟轴机床的研制”等。本专著的内容是作者及上述科研项目的所有成员的共同研究成果。

本专著的第6章由沈世德同志撰写,其余章节由曹清林同志撰写。杨玉萍同志协助绘制了部分插图。本专著的出版得到南通工学院出版基金资助和机械工业出版社的大力支持,在此深表感谢。

由于作者水平所限,书中定有不足之处,敬请同行专家指正。

作者

2002年11月

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 对称轨迹引导问题 1

1.2 产生对称轨迹的机构 3

1.2.1 平面连杆机构产生对称轨迹 3

1.2.2 含有一个高副的单自由度平面 机构产生对称轨迹 4

1.3 产生对称轨迹机构运动综合的方法 5

1.3.1 机构运动综合的两类问题 5

1.3.2 精确综合与近似综合 5

1.3.3 对称轨迹产生机构综合方法 6

第 2 章 平面四连杆机构产生对称连杆

曲线的条件 8

2.1 概述 8

2.2 平面铰链四杆机构 (RRRR 机构或 4R 机构) 9

2.2.1 存在曲柄的平面铰链四杆机构 12

2.2.2 纯摆动的平面铰链四杆机构 13

2.3 含有一个移动副的平面四连杆机构 (RRRS 机构或 3R1S 机构) 14

2.3.1 摆转块机构 14

2.3.2 滑块机构 14

2.4 含有两个移动副的平面四连杆机构 (2R2S 机构) 15

2.4.1 双转块机构 15

2.4.2 双滑块机构 16

2.4.3 导杆滑块机构 16

第 3 章 平面四连杆机构产生对称连杆

曲线的类型 18

3.1 概述 18

3.2 平面铰链四杆机构 19

3.2.1 存在曲柄的平面铰链四杆机构 19

3.2.2 纯摆动的平面铰链四杆机构 36

3.3 含一个移动副的平面四连杆机构 50

3.3.1 滑块机构 50

3.3.2 摆转块机构 53

3.4 含两个移动副的平面四连杆机构 60

3.4.1 双滑块机构 60

3.4.2 双转块机构 60

3.5 对称连杆曲线图谱 64

3.5.1 曲柄摇杆机构 64

3.5.2 双曲柄机构 66

3.5.3 双内摇杆机构 67

3.5.4 内外摇杆机构 67

3.5.5 摆、转块机构 67

3.5.6 滑块机构 68

3.5.7 双转块机构 68

3.5.8 双滑块机构 68

第 4 章 对称连杆曲线的综合及 应用 69

4.1 概述 69

4.2 对称连杆曲线的 FFT 法分析 70

4.2.1 对称曲线的 FFT 分析特点 70

4.2.2 对称连杆曲线特征参数的提取及 其数据库的建立 72

4.3 产生对称连杆曲线机构尺度综合 72

目 录	4.3.1 FFT 法 72	第 7 章 旋轮线 109
	4.3.2 特殊曲线的综合及应用 74	7.1 旋轮线的产生 109
	第 5 章 三自由度平面并联机构实现 对称轨迹 89	7.2 旋轮线的类型 110
	5.1 概述 89	7.2.1 旋轮线 ($r_1 \neq \infty, r_2 \neq \infty$) ... 110
	5.2 三自由度平面机构的型分析 90	7.2.2 摆线 ($r_1 = \infty, r_2 \neq \infty$) 115
	5.3 机构的运动分析 92	7.2.3 渐开线 ($r_1 \neq \infty, r_2 = \infty$) ... 116
	5.3.1 机构的逆解 93	7.3 旋轮线的应用 117
	5.3.2 机构的正解 96	7.3.1 旋轮线驱动的 II 级杆组的 类型及相应齿轮连杆式组合机构 的构成 117
	5.4 应用 100	7.3.2 旋轮线驱动 II 级杆组的从动件的 传动函数形式 117
	第 6 章 平面凸轮引导机构实现对称 轨迹 102	7.3.3 机构尺度综合 119
	6.1 概述 102	附录 曲柄摇杆机构对称连杆曲线 八种类型与机构尺度关系 线图 129
	6.2 平面凸轮引导机构的型分析 103	参考文献 140
	6.3 平面凸轮引导机构的综合 103	
	6.3.1 RSK 型 103	
	6.3.2 RRK 型 105	

第1章

绪论

1.1 对称轨迹引导问题

机构是将一个或多个刚体的机械运动转变为其它刚体的指定的机械运动的系统，系统内各运动单元（构件）通过相互间的活动连接（运动副）作确定的相对运动。机构可根据其中的特征构件分类，可分为连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、螺旋机构和挠性机构等。如果液体和气体参与了运动的传递和变换，称为液压机构或气动机构。也可根据机构中各构件之间的相对运动情况分类，分为平面机构、空间机构和球面机构。还可以按照传递和变换运动的目的分类，分为传动机构和引导机构，其中，引导机构又可分为点引导机构和线（刚体）引导机构。

图 1-1 所示为一搅拌机的机构运动简图，连杆上 C 点按指定轨迹运动，使混合效果

良好。该机构为一用作点引导功能的平面四连杆机构，称之为点引导机构。其上 C 点的运动轨迹称为点引导轨迹或连杆曲线。研究此种情况下机构的分析与综合，称为点引导机构的分析与综合问题。

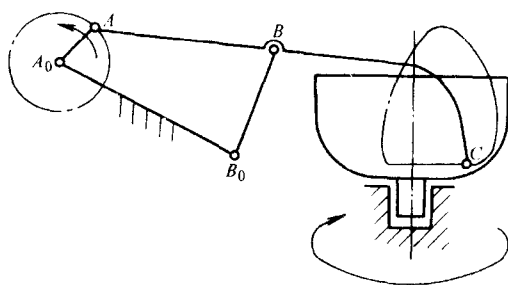


图 1-1 点引导机构

图 1-2 所示为汽车实现翻斗自动倾倒货物的机构运动简图。平面铰链四杆机构 A_0ABB_0 的连杆 $\overline{AB}$ 实现翻斗的运动（图中 A_1 、 B_1 点为 A 、 B 点的具体位置，图中未画出 A 、 B 点）。由液压缸驱动连架杆 B_0B 摆动，实现翻斗经由位置 1、2 至 3 的运动，从而倾倒下翻斗里的货物。在该机构中，翻斗由平放（位置 1）至倾倒（位置 3）位置运动的实现是通过连杆 $\overline{AB}$ 的引导实现的，所以，该机构为线（刚体）引导机构。

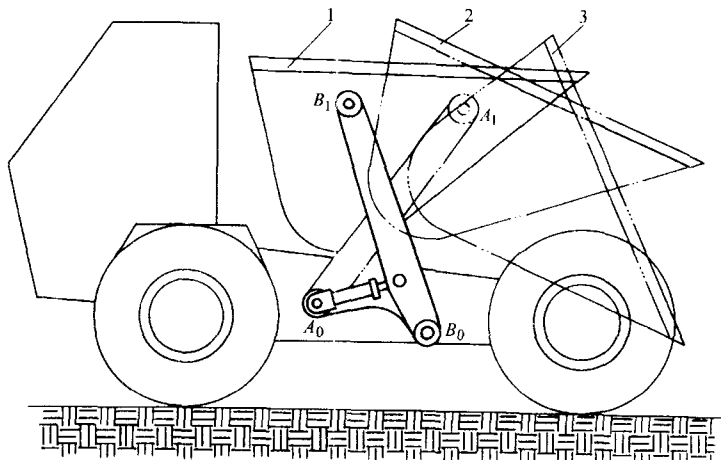


图 1-2 线（刚体）引导机构

对一个点引导机构，当机构尺度和产生引导轨迹的点的位置改变时，轨迹的形状就发生变化。这些轨迹中有一些轨迹的形状比较特殊，如直线轨迹、圆或圆弧轨迹、对称轨迹、椭圆轨迹和带有尖点的轨迹等。这些轨迹有时能实现比较特殊的功能。如图 1-3a 所示为用于自动流水线生产实现直线传递工件的一种机械手的机构运动简图^[1]。平面四连杆机构 A_0ABB_0 的连杆 $\overline{AB}$ 上的点 C 产生具有近似直线段的轨迹 K 。 B_0BDD_0 和 $BB'EC$ 分别为两平行四边形，这样构件 7 上任一点的运动轨迹都相同，即构件 7 作平动。在构件 7 上安装有抓取工件的夹具 J ，将工件从 P_1 点直线传递至 P_2 点。图 1-3b 所示是一双动滑块曲柄压机的机构运动简图（具体结构见图 4-22），其中滑块 B 完成冲裁工作。滑块 D 在冲裁过程中压住板料，以保证冲裁质量。连杆 $\overline{AB}$ 上的 C 点画出对称连杆曲线 K_C 。取构件 $\overline{CD}$ 的长度等于曲线 K_C 在最右面一点的曲率半径。当曲柄 $\overline{A_0A}$ 转到内死点及其附近位置时，滑块 D 作短时间的近似停歇，使滑块 D 对板料的压力不发生大的波动。由于这些特殊轨迹具有一般轨迹所没有的特殊功效，因而对它们的研究正普遍受到重视^[1,2,3]。

图 1-3b 所示的连杆曲线，其自身具有对称轴线，称这类轨迹为对称轨迹或对称曲

线。研究这类轨迹及相应产生机构的分析与综合问题称为对称轨迹引导问题。本书着重讨论该类问题。

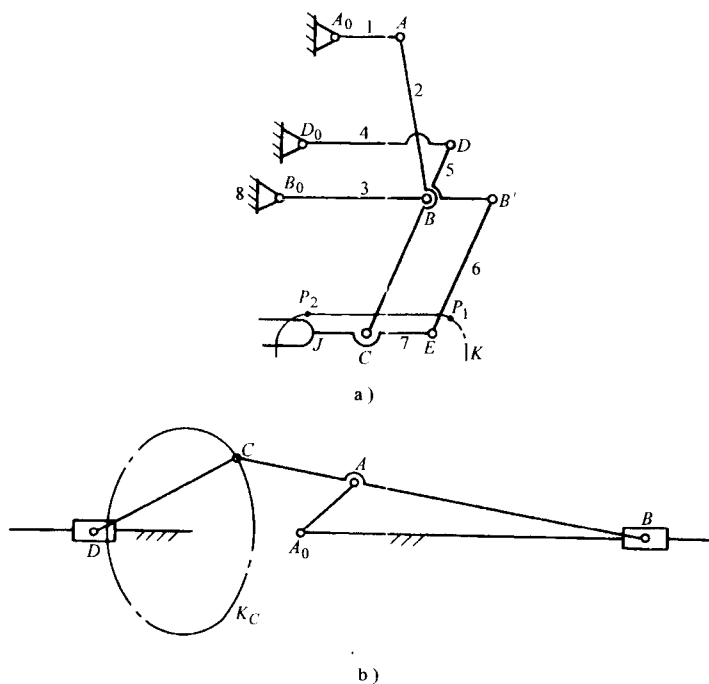


图 1-3 近似直线引导机械手机构和双动滑块曲柄压机中的对称点引导轨迹

德国学者 Meyer zur Capellen 是较早研究对称轨迹问题的学者。在文献 4 中研究了平面四连杆机构产生对称连杆曲线的条件、类型及其应用。J. Volmer 研究了两种特殊对称连杆曲线构成步进机构和应用于实现两次停歇的机构^[5]。本书在文献 4 和文献 5 等及作者研究^[6,7,8,9,10]的基础上,系统讨论了平面四连杆机构产生对称连杆曲线的条件、类型及相应机构的综合等问题,特别对各种类型对称连杆曲线的用途进行了深入分析。

本书中研究的三自由度平面并联机构和凸轮引导机构产生对称轨迹的问题,是在研究这两类机构产生一般形状轨迹的基础上提出的。能对产生一般形状轨迹的机构进行综合或求取逆解,产生对称轨迹问题就可以同样解决。所以,本书中着重讨论三自由度平面并联机构的正、逆解求取问题^[11,12],以及一般形状轨迹凸轮引导机构的综合问题^[13,14,15,16]。凸轮机构一般用作传动机构,本书中着重讨论凸轮机构用作引导机构的可能的结构类型、机构的综合等问题。

旋轮线一般情况下都是对称曲线,本书中全面分析了旋轮线的产生、类型变化及其应用。

1.2 产生对称轨迹的机构

1.2.1 平面连杆机构产生对称轨迹

单自由度平面连杆机构都能产生对称轨迹,如平面四连杆机构、平面六连杆机构、平

面八连杆机构等。

每种类型平面四连杆机构的连杆上都存在一系列能产生对称轨迹（对称连杆曲线）的连杆点。对于不同类型的对称曲线，在相应连杆点上连接合适的Ⅱ级杆组，利用特殊形状的轨迹可实现从动件某种特定的运动，如停歇、步进等。图1-3b所示机构中就是利用曲线在对称轴及其附近点的曲率变化较小，实现Ⅱ级杆组从动件的停歇运动。一般情况下，都是在平面四连杆机构的连杆上连接一组Ⅱ级杆组，构成一平面六连杆机构。以机构中的运动副全为转动副为例，机构的形式如图1-4a所示，图1-4b是相应机构的运动链，为平面六连杆 Stephenson 运动链。虽然此时得到的机构为一平面六连杆机构，但对这类问题研究的关键仍是平面四连杆机构所产生的对称轨迹的问题。

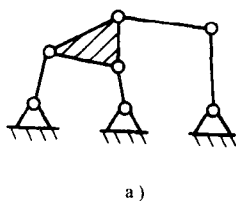
多自由度平面连杆机构，包括两自由度和三自由度平面连杆机构，它们都能产生对称轨迹。本书讨论了这类机构中的一类，即三自由度平面并联机构产生对称轨迹的问题。从理论上讲，三自由度平面并联机构连杆平面上的任意一点能产生任意形状的轨迹，产生对称轨迹只是一般形状轨迹中的特例。

1.2.2 含有一个高副的单自由度平面机构产生对称轨迹

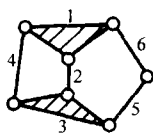
含有一个高副的单自由度平面机构也能产生对称轨迹。由平面机构的结构关系，可知该类机构中的构件数 n 与低副数 p_l 之间的关系满足：

$$p_l = \frac{3n - 5}{2} \quad (1-1)$$

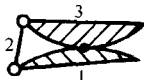
$n = 3, 5, \dots$ ，对应 $p_l = 2, 5, \dots$ ，为可行解。图1-5以低副全为转动副为例，分别表示出 $n = 3, p_l = 2$ 和 $n = 5, p_l = 5$ 时的运动链结构。



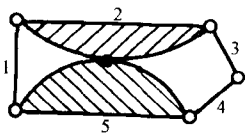
a)



b)



a)



b)

图1-4 平面四连杆机构连杆点连接Ⅱ级杆组构成的平面六连杆机构及相应运动链结构

图1-5 含有一个高副的单自由度平面机构运动链

对图1-5a所示运动链中的高副，在本书中考虑由凸轮高副实现，构成凸轮引导机构，如图1-6所示。机构中凸轮1固定，构件2主动，从动件3上的C点产生引导轨迹。该类机构可实现精确点引导。显然，对称轨迹引导是这种机构实现一般点引导中的特例。

对图1-5b所示运动链中的高副，本书中讨论由齿轮高副实现。若暂不考虑由构件3和4构成的Ⅱ级杆组，则由构件1、2和5构成的机构为一周转轮系，如图1-7所示。行星轮2上的C点产生对称轨迹，称为旋轮线。在C点连接Ⅱ级杆组，利用旋轮线的不同形状可实现从动件4的各种特殊传动效果，如步进运动等。此时构成的机构为齿轮连杆式组合机构或旋轮线机构。

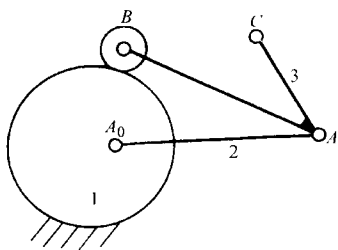


图 1-6 凸轮引导机构

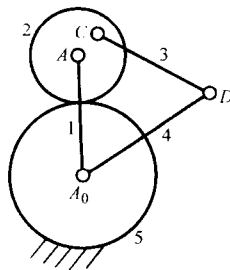


图 1-7 旋轮线机构 (齿轮连杆式组合机构)

1.3 产生对称轨迹机构运动综合的方法

1.3.1 机构运动综合的两类问题

机构的运动综合是指为满足一定的运动要求, 确定实现机构的尺度。具体又可分为两大类问题:

第一, 函数综合。为实现机构的输出运动与输入运动之间的函数关系要求, 确定相应传动机构的尺度。

第二, 引导综合。又分为两种情况: 一是刚体引导综合。为实现刚体经过若干个指定的位置要求, 确定相应刚体引导机构的尺度。二是轨迹引导综合或称点引导综合。为实现刚体上某点经过指定的轨迹或若干个点的位罝要求, 确定相应轨迹(点)引导机构的尺度。

本书所讨论的关于综合方面的问题属于第二大类中的第二种情况, 即轨迹引导综合或点引导综合。

1.3.2 精确综合与近似综合

对机构的综合, 如果从机构实现运动与期望实现运动之间的吻合程度来分类, 可分为精确综合和近似综合。如果从采取的综合手段上分类, 可分为图解法和解析法。

如果综合得到的机构的运动与期望实现的运动完全吻合, 称为精确综合。例如, 图 1-8a 中的平行四边形机构, 要求从动件 3 的转角 ψ 与主动件 1 的转角 φ 在任一位置都相等, 即 $\psi = \varphi$ 。根据该机构的运动特点, 机构能满足这种要求。若要求综合一种机构, 使其运动输出与运动输入之间有正弦关系, 即 $y = a \sin x$, 显然, 图 1-8b 所示的平面四连杆机构的从动件 3 的运动输出 s 与构件 1 的运动输入 φ 之间有 $s = l_1 \sin \varphi$, l_1 为图示构件 1 的长度。图 1-8 所示的两种机构都属于能精确满足运动要求的机构, 对这类机构的综合属于精确综合。

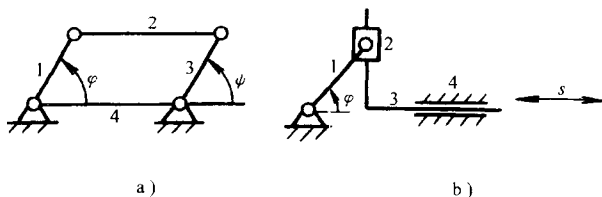


图 1-8 实现精确点运动要求的机构

在一般情况下,综合得到的机构的运动只能近似满足期望的运动要求,这种情况下的机构综合称为近似综合。近似综合一般采用函数逼近法。函数逼近法又有多种方法,最简单的一种方法是插值法。对于轨迹引导问题,除了可采用插值法外,还有一类称之为特征参数法来综合机构。下面分别介绍。

先介绍插值法。在期望的运动中取 k 个点,称为插值点。而机构实现的运动关系中,若用数学关系表达,应包含了机构的 n 个结构参数(尺度)。当 $k=n$ 时,机构实现的运动在 $k=n$ 个点上与插值点吻合。在这些点上,两者之间的误差为零,称这些点为精确点,也称这时的综合为精确点综合。当 $k<n$ 时,可在机构的 n 个结构参数中任选 j 个结构参数,并使 $k+j=n$ 。这样,期望运动要求与机构实现运动仍然在 k 个点上相吻合,此时,机构有无穷多解。当 $k>n$ 时,此时有 k 个方程,大于未知量(n 个结构参数)个数,可通过优化方法来求解,即使各插值点的误差平方和作为目标函数,并使其最小,求出机构的尺度。这种方法称为优化法综合。

再介绍特征参数法。由于需实现的运动是一封闭的曲线,所以,可以通过一些特别的办法对轨迹进行处理,提取表示该轨迹的特征参数。当对已有机构产生的曲线进行处理并提取特征参数后,就可以与其结构参数一起构成一特征图谱。当需实现某一条轨迹时,将该轨迹也进行处理提取其特征参数,并与图谱中的每一条曲线的特征参数相比较,特征参数最接近的一条曲线就是所要寻求的曲线,其相应的机构就是要综合的机构。轨迹特征参数的提取又有许多种方法,如自相关变换法、快速傅里叶变换法(FFT)等^[17,18]。

1.3.3 对称轨迹产生机构综合方法

由于对称轨迹结构上的特殊性,以及产生对称轨迹结构上的差异,使得对产生对称轨迹的机构的尺度综合很难有统一的方法。有时对某一种特定的对称轨迹或某种产生对称轨迹的机构采取一些特别的方法更易于综合机构的尺度。下面对本书中采取的对称轨迹产生机构的综合方法作简要介绍。

对平面四连杆机构产生的对称轨迹,采用FFT法来综合机构尺度。由于此时的曲线为对称轨迹,经FFT变换后,其初始相位角恒为 $\pm\pi/2$,因此,描述对称连杆曲线的特征参数只需含有正、负号的模来表示,使得建立对称连杆曲线特征参数数据库所需容量只需一般连杆曲线的一半。当平面四连杆机构产生的对称连杆曲线用来引导Ⅱ级杆组运动,实现从动件特定的传动功能时,可根据对称曲线的特定形状与机构结构参数之间的关系来综合机构。本书中第3章讨论了平面四连杆机构所能产生的各种对称曲线的形状与机构结构参数之间的关系。第4章介绍了上述方法综合平面四连杆机构的具体过程。

对三自由度平面并联机构,只要需实现的轨迹在机构实现的运动范围之内,从理论上讲,要求实现轨迹的形状不会有任何限制。对一个具体的三自由度平面并联机构而言,当需要实现轨迹提出后,应求出机构三个主动件的输入,即机构的逆解。为检验机构在运动输入作用下,运动轨迹的正确性,还需求取机构的正解。本书第5章着重讨论了这两类问题。

凸轮引导机构的结构参数根据传动效果来确定。设计凸轮轮廓线时,在需实现轨迹上取若干个点,然后求出与之对应的凸轮轮廓线坐标位置。为提高精度,应在需实现轨迹上尽可能多地取点。所以,凸轮引导机构凸轮轮廓线的设计属精确点综合。

旋轮线机构（齿轮连杆式组合机构）的综合分两步进行。第一步，研究旋轮线的形状与产生机构（周转轮系）结构参数之间的关系，分析每种类型旋轮线可能驱动Ⅱ级杆组的类型及Ⅱ级杆组中从动件的传动特点。这样，当需要某种传动要求时可直接选择相应的齿轮连杆式组合机构。显然，能实现的传动要求也只是在某些点上满足要求，所以属于近似点引导。

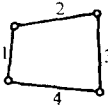
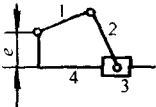
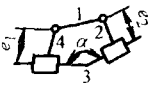
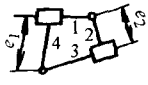
第2章

平面四连杆机构产生对称连杆曲线的条件

2.1 概述

平面四杆运动链中的四个低副可以全为四个转动副、三个转动副和一个移动副、两个转动副和两个移动副，从而得到表 2-1 第一列所示的四种平面四杆运动链（四个低副为一个转动副和三个移动副及全为移动副的平面四杆机构已蜕变为 4 公共约束机构，此处暂不讨论）。又特别将第一种运动链相应的机构称为平面铰链四杆机构，第二种运动链相应的机构称为含有一个移动副的平面四连杆机构，而将第三和第四种运动链相应的机构称为含有两个移动副的平面四连杆机构。为讨论方便，用 R 表示转动副，用 S 表示移动副，所以表 2-1 中的四种运动链可以分别用 RRRR、RRRS、RRSS 和 RSRS 来表示，相应的机构也可以分别称之为 4R、3R1S 和 2R2S 机构。

表 2-1 平面四杆运动链和平面四连杆机构

运动链类型	机架构件运动副特征	机构名称
RRRR 	<u>RR</u>	平面铰链四杆机构
RRRS 	<u>RR</u>	导杆机构 (1 为机架)
	<u>RR</u>	摆转块机构 (2 为机架)
	<u>RS</u>	直动滑杆机构 (3 为机架)
	<u>RS</u>	滑块机构 (4 为机架)
RRSS 	<u>RR</u>	双摆转块机构 (1 为机架)
	<u>RS</u>	十字滑块曲柄机构 (2 为机架)
	<u>SS</u>	双滑块机构 (3 为机架)
RSRS 	<u>RS</u>	导杆滑块机构

由于平面四杆运动链中的构件都带有两个低副，这两个低副可以分别为两个转动副、一个转动副和一个移动副、两个移动副。为表示一个构件上所带有的运动副的类型，特别用符号“ $\times \times$ ”来表示，例如，若一个构件上带有两个转动副，就在 RR 的下面加有一“ $_$ ”，即 $\underline{RR}$ 。对表 2-1 中的四种运动链取不同的构件为机架，可得到表 2-1 中第三列所示的九种类型的机构，每种类型又可以分为若干种不同的机构。下面对每一种机构分别讨论它们产生对称连杆曲线的条件。

2.2 平面铰链四杆机构 (RRRR 机构或 4R 机构)

设一平面铰链四杆运动链的四根杆长分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 和 l_4 ，其中最长杆为 $l_{\max}$ ，最短杆为 $l_{\min}$ ，关键杆为 l_4 。四根杆长之间必须满足 $l_{\max} < \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 l_i$ 。进一步，按 $l_{\min} + l_{\max}$ 与 $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 l_i$ 的关系，将平面铰链四杆机构分为三大类，即存在曲柄的平面铰链四杆机构 ($l_{\min} + l_{\max} < \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 l_i$)、双变机构 ($l_{\min} + l_{\max} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 l_i$) 和纯摆动的平面铰链四杆机构 ($l_{\min} + l_{\max} > \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 l_i$)。进一步可以将这三大类机构再分为十六种具有不同特点的机构，如图 2-1 所示。

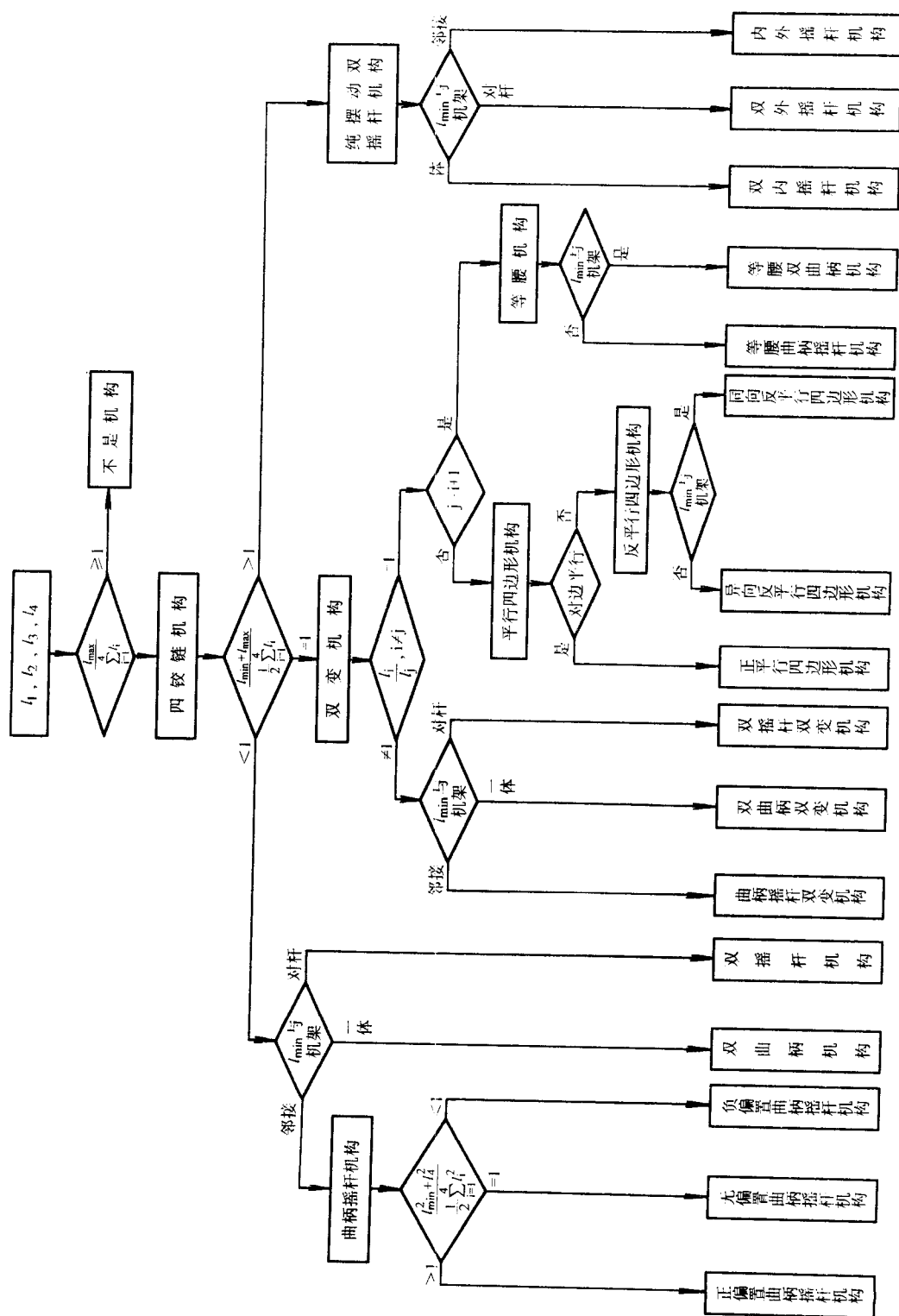


图 2-1 平面铰链四杆机构的类型