

高等学校教材

机械原理实验指导书

(合订本)

郑文緯 馮駿良 孟宪嘉 选編
沈蘊方 黎庶慰

郑文緯主选編

人民教育出版社

本套实验指导书系以17所高等工业学校的来稿为基础,按照1962年5月审訂的机械原理教学大纲(試行草案)中对实验的要求而进行选編的。

本套实验指导书先出十种,以后将根据需要繼續选編。每种指导书后均附有实验报告。为了便于学校选用,除合訂本外,还另行分册出版。

本套实验指导书可作为高等工业学校“机械原理”課程的試用实验教材,也可供有关工程技术人员参考。

参加选編工作的有:郑文緯、馮駿良、孟宪嘉、沈蘊方和黎庶慰五位同志,并由郑文緯同志負責主选編。最后經高等工业学校机械課程教材編审委员会机械原理課程教材編审小组黃錫愷委員审閱。

机械原理实验指导书

(合訂本)

郑文緯主选編

北京市书刊出版业营业許可証出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

统一书号K15010·1146 开本787×1092³/₁₆ 印张3

字数54,000 印数0,001—17,000 定价(7)半0.32

1964年10月第1版 1964年10月北京第1次印刷

序 言

本套实验指导书系以大连工学院、山东工学院、上海机械学院、汉口机械学院、北京航空学院、北京钢铁学院、西安交通大学、合肥工业大学、华中工学院、华东化工学院、华南工学院、成都工学院、南京工学院、南京航空学院、唐山铁道学院、浙江大学和清华大学等 17 所高等工业学校的来稿为基础，按照 1962 年 5 月审订的机械原理教学大纲（试行草案）中对于实验的要求而进行选编的。其主要目的是为了配合目前的试用教科书，使实验课能有相应的辅助教材，从而对尚未开出大纲所要求实验的院校能有所帮助，对于已开出实验的院校在减轻实验指导书的编写、印刷等工作上亦有裨益。但由于实验项目很多、且对于同一实验的实验方法和设备亦互有差别，因此我们在遵照机械原理课程教材编审小组所制定的“编选细则”的同时，还尽量根据最需要的项目、较成熟的内容、以及应用较广的方法和设备来选择内容。为了贯彻“少而精”的原则，在选编时对于实验方法、原理论证和设备的选择上也作了一定的努力。

选编工作自 1963 年 10 月开始，于 1964 年 4 月集中在南京工学院进行最后选编定稿。经过逐次讨论和反复修改后决定先选编“机构运动简图的测绘和分析”等十种指导书。其中一至五系大纲建议的必做项目，六至十可作为补充内容，各校可根据自己的情况选用。

为了增加指导书的通用性，我们除对所选的内容力求符合教学需要外，在设备的介绍和实验原理方法等方面的叙述上亦尽可能做到有一定灵活性，在份量上亦有一定程度的变通余地。

本实验指导书所应用的符号以人民教育出版社 1963 年出版，黄锡愷主编的“机械原理”为主，在应用符号较多的地方增加与西北工业大学等校编“机械原理”所用符号的对照表，以便于各校应用。

参加本套实验指导书选编工作的有南京工学院郑文缙（实验一）、浙江大学冯骏良（实验二、三、六）、哈尔滨工业大学孟宪嘉（实验四、五）、北京钢铁学院沈蕴方（实验七、十）和华南工学院黎庶慰（实验八、九）五位同志。并由郑文缙同志负责主编。最后经高等工业学校机械课程教材编审委员会机械原理课程教材编审小组黄锡愷委员审阅。

由于选编通用性的实验指导书尚属初次，且我们对于在机械原理实验课中如何贯彻“少而精”原则的认识也很不够，因此本实验指导书内容的选择是否恰当，其通用性是否良好都存在着一一定的问题，深望各兄弟院校及有关同志对这次选编工作多多提供宝贵意见，以便今后改进。

选编者

目 录

(一)机构运动简图的测绘和分析.....	1-1
(二)齿輪范成原理.....	2-1
(三)齿輪参数的测定.....	3-1
(四)迴轉构件的靜平衡.....	4-1
(五)迴轉构件的动平衡.....	5-1
(六)按已知軌迹用試驗法設計平面四杆机构.....	6-1
(七)用电測法測定机械的綫位移、綫速度和綫加速度.....	7-1
(八)摩擦圓半徑的测定.....	8-1
(九)螺旋效率的测定.....	9-1
(十)輪系效率的测定.....	10-1

符 号 对 照 表

名 称	黃錫愷主編 “机械原理”	西北工业大 学等校編 “机械原理”	名 称	黃錫愷主編 “机械原理”	西北工业大 学等校編 “机械原理”
齿数	z	z	齿頂厚	S_e	S'
模数	m	m	齿根高	h''	h''
嚙合角	α_H	α	齿頂高	h'	h'
分度圓压力角	α	α_0	中心距	A	A
齿頂高系数	χ'	χ'	齿間距	W	W^0
徑向間隙系数	χ_c	χ_c	摩擦力矩	M_T	$M_{\text{摩}}$
分度圓直径	d	d	反作用力	R_{BA}	R_{21}
基圓直径	d_0	d^0	載荷	Q	Q
基圓半徑	r_0	r^0	摩擦圓半徑	ρ	ρ
根圓直径	D_i	D''	当量摩擦系数	f_0	f_0
頂圓直径	D_e	D'	軸頸半徑	r	r
周节	t	t	驅动力矩	M_{D}	$M_{\text{驅}}$
基圓周节	t_0	t^0	生产力矩	M_{II}	$M_{\text{生}}$
基圓齿厚	S_0	S^0	驅动功	A_{D}	$A_{\text{驅}}$
齿厚	S	S^0	生产功	A_{II}	$A_{\text{生}}$

(一)

机构运动简图的测绘和分析

一、目的

1. 学会根据实际机械或模型的结构测绘机构运动简图的技能;
2. 验证和巩固机构活动度的计算;
3. 进一步巩固对机构结构分析的了解^①。

表 1-1

二、设备和工具

1. 各种机器实物;
2. 各种机构模型;
3. 鋼皮尺;
4. 外卡;
5. 铅笔与橡皮(自备);
6. 草稿紙(自备)。

三、原理和方法

1. 应用符号 由于机构的运动仅与机构中所有的构件数目和构件所组成的运动副的数目、种类、相对位置有关,因此,在机构运动简图中可以撇开构件的复杂外形和运动副的具体构造,而用简略的符号来代表构件和运动副,并按一定的比例尺表示运动副的相对位置,以此说明实际机构的运动特征。表 1-1 为常用的符号示例。

2. 测绘方法 (1) 测绘时使被测绘的机器或模型缓慢地运动。从原动构件开始仔细观察机构运动,分清各个运动单位,从而确定组成机构的构件数目。

名称		符	号
低	迴轉副		
	移动副		
副	螺旋副		
高	凸輪副		
	齒輪副		
構件	带有活动构件		
	机架		

^① 如不要求作结构分析,则这一部分可免去,又如本实验在“平面连杆机构及其设计”章之后进行,则也可分析一些四杆机构的演化过程和验证其曲柄存在条件。

(2) 根据相联接的两构件间的接触情况及相对运动的性质, 确定各个运动副的种类。

(3) 在草稿纸上徒手按规定的符号及构件的联接次序逐步画出机构运动简图的草稿。然后用数字 1、2、3……分别标注各构件, 用拉丁字母 A、B、C……分别标注各运动副。

(4) 仔细测量机构的运动学尺寸(如迴轉副的中心距和移动副导路间的夹角等)。任意假定原动构件的位置, 并按一定的比例尺将草稿画成正規的运动简图。

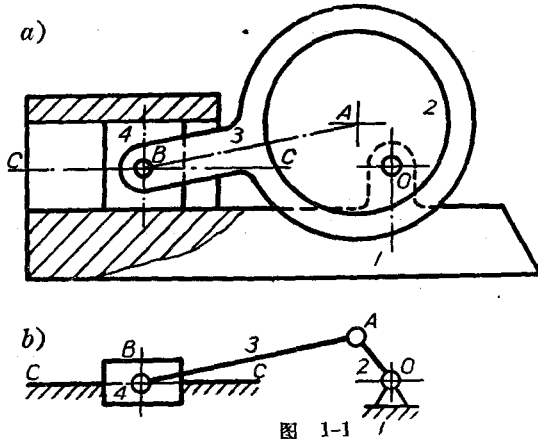


图 1-1

$$\text{比例尺 } \mu = \frac{\text{实际长度 } l_{AB}(\text{米})}{\text{图上长度 } AB(\text{毫米})}$$

3. 示例 试画出图 1-1, a 所示偏心轮机构模型的运动简图。

(1) 当使原动构件(偏心轮)运动时, 可以发现机构具有四个运动单位:

机架 1——相对静止;

偏心轮 2——相对机架作迴轉运动;

连杆 3——相对机架作平面复杂运动;

滑块 4——相对机架作直线移动。

(2) 根据各相互联接的构件间的接触情况可知, 全部四个运动副均系低副: 构件 2 相对机架 1 绕 O 点迴轉, 組成一个迴轉副, 其轴心在 O 点; 构件 3 相对构件 2 绕 A 点迴轉, 組成第二个迴轉副, 其轴心在 A 点; 构件 4 相对构件 3 绕 B 点迴轉, 組成第三个迴轉副, 其轴心在 B 点; 构件 4 相对机架 1 沿直线 C-C 作直移运动, 組成一个移动副, 其导路方向同 C-C。

(3) 任意确定原动构件 2 相对于机架 1 的位置(如图 1-1, a 所示), 然后依次按比例尺确定各运动副相对于机架的位置。以表 1-1 所示符号画出运动副及构件, 并用拉丁字母 O、A、B、C-C 及数字 1、2、3、4 等分别标注相应的运动副和构件, 如图 1-1, b 所示。

四、实验步骤

1. 在草稿纸上绘制教师所指定的几个机构的机构运动简图, 对其中规定必须按比例作正规的机构运动简图的机构则应测量其有关尺寸, 而对其余机构为了节省时间可不进行测量, 但应凭目测使图与实物大致成比例。

2. 计算各机构的自由度, 并将结果与实际机构相对照, 观察是否相符。

以上工作完成后先将草稿交指导教师审查签字, 然后进行以下步骤。

3. 对上述机构进行结构分析(高副低代, 繪制结构图, 分离杆组, 确定机构级别等)②。

五、思考题

1. 一个正确的“机构运动简图”应能说明哪些内容?

2. 繪制机构运动简图时, 原动构件的位置为什么可以任意确定? 会不会影响简图的正确性?

3. 机构自由度的计算对繪制机构运动简图有何帮助?

② 参看注①。

机械原理实验报告

实验名称					
班 号		组 别		· 学生姓名	
实验日期	月 日	成 績		教师签名	

一、机构运动简图测繪及分析(如报告紙不够可加附頁)

<p>1. 机构名称:</p> <p>实測尺寸:</p>	<p style="text-align: right;">$\mu_l =$ 米/毫米。</p> <p>簡图:</p>
<p>2. 机构名称:</p>	<p>3. 机构名称:</p>

4. 机构名称:

二、思考题讨论

三、心得和意见

(二)

齒輪范成原理

一、目的

1. 掌握用范成法制造渐开线齿輪的基本原理；
2. 了解渐开线齿輪产生根切現象的原因和避免根切的方法；
3. 分析比較标准齿輪

和移距修正齿輪的异同点。

二、设备和工具

1. 齒輪范成仪(包括标准渐开线样板)；

2. 圓規；
3. 三角尺；
4. 三棱尺；
5. 剪刀；
6. 繪圖紙；
7. 鉛筆。

以上除齒輪范成仪外，

其余均由学生自备。

三、原理和方法

范成法是利用一对齿輪互相嚙合时其共軛齿廓互为包絡綫的原理来加工輪齿的。加工时其中一輪为刀具，另一輪为輪坯，它們仍保持固定的角速比傳动，完全和一对真正的齿輪互相嚙合傳动一样；同时刀具还沿輪坯的軸向作切削运动。这样所制得齿輪的齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包絡綫。今若用渐开线作为刀具齿廓，則其包絡綫必亦为渐开线。由于在实际加工时，看不到刀刃在各个位置形成包絡綫的过程，故通过齒輪范成仪来实现輪坯与刀具間的傳动过程，并用鉛筆将刀具刀刃的各个位置记录在繪圖紙上，这样我們就能清楚地观察到齒輪范成的过程。

范成仪所用的刀具模型为齿条插刀，仪器的构造如图 2-1 所示：圆盘 1 繞其固定的軸心 O 轉动。在圆盘的周緣刻有凹槽，槽內繞有鋼絲 2，鋼絲繞在凹槽內以后，其中心綫所形成的圓应等于被加工齿輪的分度圓。鋼絲的一端固定在橫拖板 3 上的 a 处，另一端固定在 b 处。橫拖板可在机架 4 上沿水平方向移动，通过鋼絲的作用使圆盘相对于橫拖板的运动和被加工齿輪相对于齿条的运动一样。在橫拖板上装有另一带有刀具 6 的纵拖板 5，轉动螺旋 8 可使其相对于橫拖板沿垂直方向移动，从而可調节刀具中綫至輪坯中心的距离。

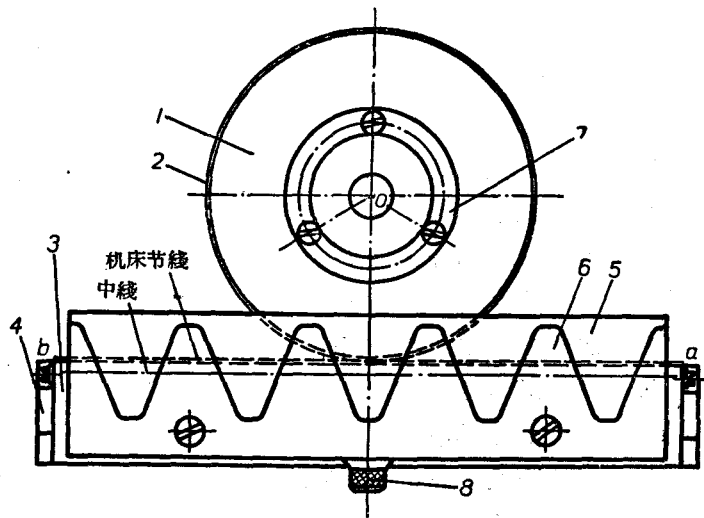


图 2-1

齿条插刀的参数为: 模数 $m = \dots$ 毫米; 压力角 $\alpha = \dots$; 齿顶高系数 $\lambda' = \dots$; 径向间隙系数 $\lambda_c = \dots$ 。

被加工齿轮的分度圆直径 $d = \dots$ 毫米, 故齿数 $z = \frac{d}{m} = \dots$ 。

在切制标准齿轮时, 将刀具中线调节至与被加工齿轮分度圆相切的位置(或者使刀具的齿顶与齿轮的根圆相切)。当切制移距修正齿轮时, 应重新调节刀具中线的位置, 其移距值 ξm 可用横拖板端面上的刻度(图上未画出)读出。

四、实验步骤

1. 根据已知的刀具参数和被加工齿轮的分度圆直径, 计算被加工的标准齿轮与移距修正齿轮的基圆、根圆及顶圆的直径, 并将上述四个圆分别画在绘图纸上, 然后将纸剪成比顶圆直径略大 1~2 毫米的圆形作为轮坯。

2. 把代表轮坯的图纸放在圆盘 1 上, 对准中心后用压环 7 压住。

3. 按照前节所述的方法, 调节刀具中线, 使在切削标准齿轮时的位置上。

4. 开始“切制”齿廓时, 可先移动横拖板, 将刀具推至范成仪的一端, 然后每当向另一端移动一个不大的距离时, 即在代表轮坯的图纸上用铅笔描下刀具刀刃位置, 直到形成 2~3 个完整的轮齿时为止。

在上述过程中应注意轮坯上齿廓形成的过程。

5. 用标准渐开线样板检验齿轮的渐开线齿廓, 观察有无根切现象。如有根切, 则分析其原因, 并计算最小移距系数 ξ_{\min} 。

6. 按照所确定的移距系数和前节所述的方法, 重新调节刀具, 使在切削移距修正齿轮时的位置上。再用同样的方法“切制”和检验齿廓。

7. 比较所得标准齿轮和移距修正齿轮的齿厚、齿间距、周节、齿顶厚、基圆齿厚、根圆、顶圆、分度圆和基圆的相对变化特点。

五、思考题

1. 齿条刀具的齿顶高和齿根高为什么都等于 $(\lambda' + \lambda_c)m$?

2. 用齿轮刀具加工标准齿轮时, 刀具和轮坯之间的相对位置和相对运动有何要求? 为什么?

3. 通过实验, 说明你所观察到的根切现象是怎样的? 是由于什么原因引起的? 避免根切的方法有哪些?

机械原理实验报告

实验名称					
班 号		组 别		学生姓名	
实验日期	月 日	成 绩		教师签名	

一、原始数据

项 目	m	α	χ'	χ_0	d
单 位					
数 值					

二、计算数据

项 目	单位	计 算 公 式	计 算 结 果	
			标准齿輪	修正齿輪
齿数 z				
最小移距系数 ξ_{min}				
移距系数 ξ				
基圆半径 r_0				
顶圆半径 R_0				
根圆半径 R_i				

三、齿廓图(附图)

四、实验结果比较(只说明相对变化特点,不需要具体数字)

项 目	齿 厚 (S)	齿间距 (W)	周 节 (t)	齿顶厚 (S_e)	基 圆 齿 厚 (S_o)	根 圆 直 径 (D_i)	顶 圆 直 径 (D_e)	分度圆 直 径 (d)	基 圆 直 径 (d_o)
标准齿輪									
修正齿輪									

五、思考题讨论

六、心得和意见

(三)

齒輪参数的測定

一、目的

1. 掌握应用游标卡尺測定漸开綫直齒圓柱齒輪基本参数的方法;
2. 巩固并熟悉齒輪的各部分尺寸、参数关系和漸开綫的性质。

二、設備和工具

1. 齒輪两个(齿数为奇数和齿数为偶数的各一个)①;
2. 游标卡尺(游标讀数值不大于0.05毫米);
3. 漸开綫函数表(自备);
4. 計算尺(自备)。

三、原理和方法

漸开綫直齒圓柱齒輪的基本参数有: 齿数 z 、模数 m 、齿頂高系数 λ' 、徑向間隙系数 λ_0 、分度圓压力角 α 和移距系数 ξ 等。本实验是用游标卡尺来測量, 并通过計算确定齒輪的这些基本参数。

測量方法如图 3-1 所示: 用游标卡尺跨过 n 个齿, 測得齿廓間的公法綫距离为 C_n 毫米, 然后再跨过 $n+1$ 个齿, 測得其距离为 C_{n+1} 毫米。为了保证使卡尺的两个量足与齿廓的漸开綫部分相切, n 值应根据被測齒輪的齿数 z 参照表 3-1 决定。

表 3-1

z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72	73~81
n	2	3	4	5	6	7	8	9

由漸开綫的性质可知, 齿廓間的公法綫 ab (图 3-1) 与所对应的基圓上的圓弧 $\overset{\frown}{a_0b_0}$ 长度相等, 因此

$$C_n = (n-1)t_0 + S_0. \quad (3-1)$$

同理

$$C_{n+1} = nt_0 + S_0. \quad (3-2)$$

所以

$$C_{n+1} - C_n = t_0 (\text{毫米}). \quad (3-3)$$

根据求得的基圓周节 t_0 可按下式算出模数

$$m = \frac{t_0}{\pi \cos \alpha}. \quad (3-4)$$

由于式中 α 可能是 15° 也可能是 20° , 故分別代入算出其相应的模数, 其数值最接近于标准

① 实验时可以两个同学作为一組, 每人各測一个齒輪。

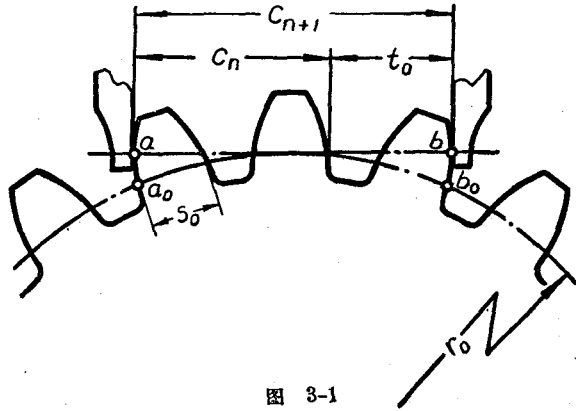


图 3-1

值的一组 m 和 α , 即为所求的值。

又被测齿轮也许是修正齿轮, 此时还需确定移距系数 ξ 。利用基圆齿厚公式

$$S_0 = S \cos \alpha + 2r_0 \operatorname{inv} \alpha = m \left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \operatorname{tg} \alpha \right) \cos \alpha + 2r_0 \operatorname{inv} \alpha,$$

可得

$$\xi = \frac{S_0 \cos \alpha - \frac{\pi}{2} m \cos \alpha - z \operatorname{inv} \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3-5)$$

式中 $S_0 = C_{n+1} - mt_0$ 。

再利用齿根高公式

$$h'' = m(\chi' + \chi_c - \xi) = \frac{mz - D_i}{2} \quad (3-6)$$

确定 χ' 和 χ_c , 式中齿根圆直径 D_i 可用游标卡尺测定, 仅 χ' 、 χ_c 未知。故分别用 $\chi' = 1$, $\chi_c = 0.25$ 和 $\chi' = 0.8$, $\chi_c = 0.3$ 两种标准值代入, 符合等式的一组, 即为所求的值。

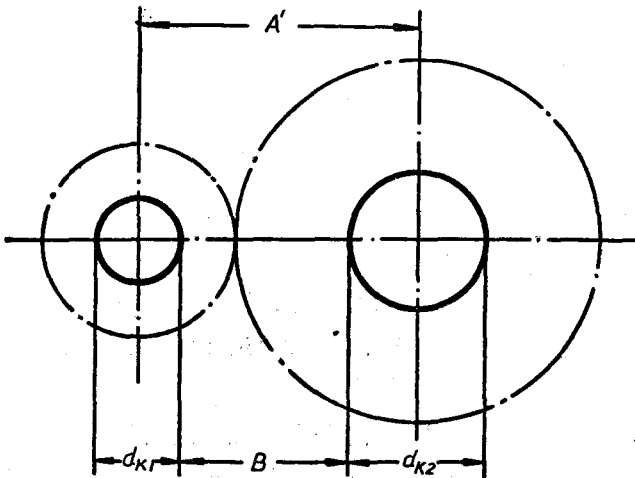


图 3-2

若所测的两个齿轮是一对互相啮合的齿轮, 则根据所测得的这对齿轮的移距系数 ξ_1 和 ξ_2 , 可以算出其啮合角 α_u 和中心距 A 如下:

$$\operatorname{inv} \alpha_u = \frac{2(\xi_1 + \xi_2)}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{inv} \alpha; \quad (3-7)$$

$$A = \frac{1}{2} m (z_1 + z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_u}. \quad (3-8)$$

实验时可用游标卡尺直接测定这对齿轮的实际中心距 A' , 并与计算结果进行比较。测定方法如图 3-2 所示, 首先使该对齿轮作无齿侧间隙啮合, 然后分别测量齿轮的孔径 d_{k1} 、 d_{k2} 及尺寸 B , 此时即可得

$$A' = B + \frac{1}{2} (d_{k1} + d_{k2}). \quad (3-9)$$

四、实验步骤

1. 直接计数齿轮的齿数。
2. 测量 C_n 、 C_{n+1} 和 D_i 。对每一个尺寸应测量三次, 取其平均值作为测量数据。
3. 计算 α 、 m 、 ξ 、 χ' 和 χ_c 。
4. 测量中心距 A' , 并与计算值 A 相比较^②。

五、思考题

1. 决定齿廓形状的参数有哪些?
2. 测量时, 卡尺的量足若放在渐开线齿廓的不同位置上, 对所测定的 C_n 和 C_{n+1} 有无影响? 为什么?
3. 齿轮的哪一些误差会影响到本实验的测量精度?
4. 在测量齿根圆直径 D_i 时, 对偶数齿与奇数齿的齿轮在测量方法上有什么不同?

^② 对于所测的两个齿轮如果是不互相啮合的, 则这一部分可免去。

机械原理实验报告

实验名称				
班 号		組 别		学生姓名
实验日期	月 日	成 績		教师签名

一、测量和计算数据

齒 輪 編 号								計算公式		
項 目	单 位	測量数据			平均測量值或計算值	測量数据			平均測量值或計算值	
		1	2	3		1	2			3
齒 数 z		—				—			直接計數	
跨 距 $n=$ $n+1=$	C_n								—	
	C_{n+1}								—	
根圓直徑 D_i									—	
基圓周节 t_0		—				—				
模 数 m		—				—				
压 力 角 α		—				—				
基圓齿厚 S_0		—				—				
移距系数 ξ		—				—				
齿頂高系数 χ'		—				—				
徑向間隙系数 χ_0		—				—				
齒輪孔徑 d_b									—	
B		測 量 值						平均值	—	
实际中心距 A'										
嚙合角 α_n										
計算中心距 A										
誤 差 $A'-A$									—	

二、思考题讨论

三、心得和意见

(四)

迴轉构件的靜平衡

一、目的

掌握一種迴轉构件的靜平衡試驗原理和方法。

二、設備和工具

1. 刀口式靜平衡儀或滾子式靜平衡儀；
2. 試件(畫有徑向基準線)；
3. 水平儀；
4. 天平；
5. 鋼皮尺；
6. 量角器；
7. 平衡重(橡皮泥或膠粘水泥)。

三、原理和方法

由靜平衡原理可知，靜不平衡迴轉构件的重心 S 不在軸線上，如圖 4-1 所示， P 即為該

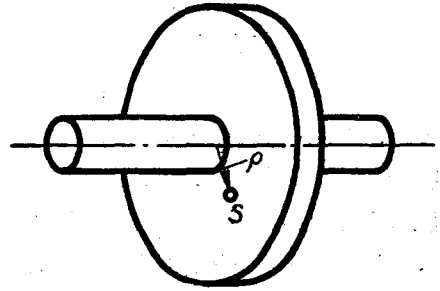


圖 4-1

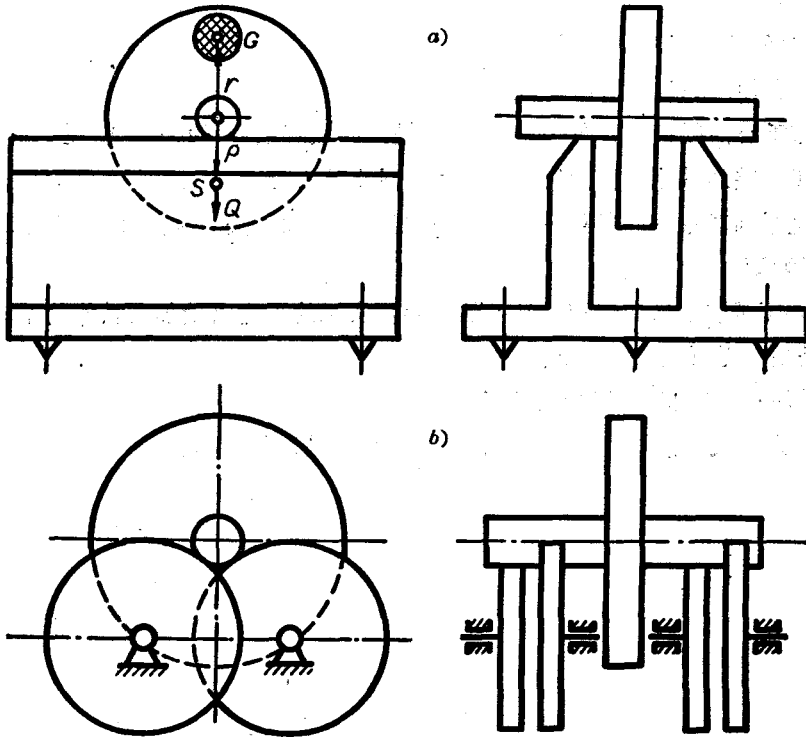


圖 4-2