

机械设计基础课程设计

指导老师：周英

13617498111

机电楼 A402

2019年

完成总体设计和传动零件
设计之后，

开始轴系的设计

第三章 轴的设计计算

- 高速轴

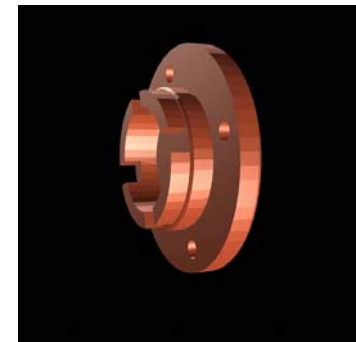
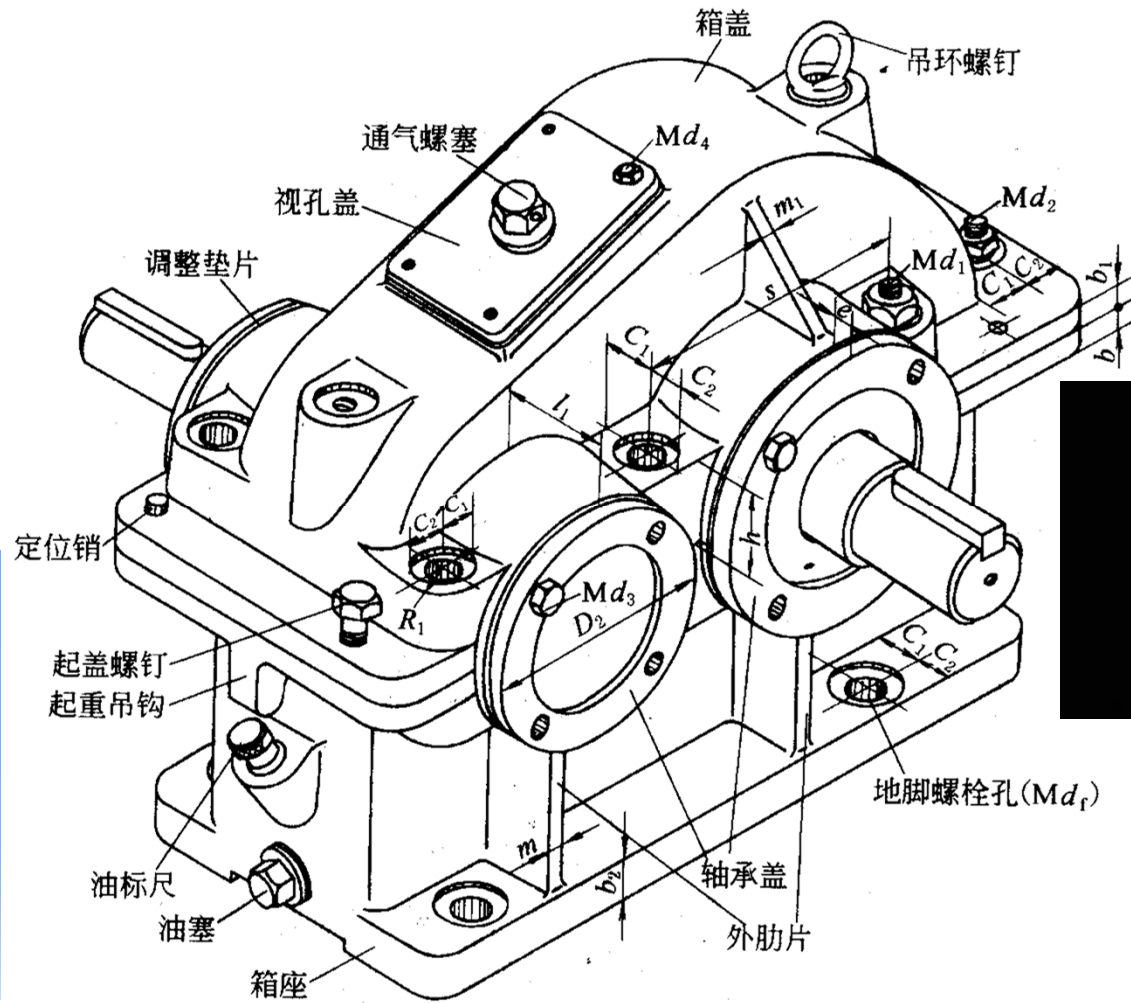
- (1) 选择轴的材料和热处理方法 (45钢, 调质处理或者正火处理)
- (2) 按抗扭强度估算轴的最小直径
- (3) 轴的结构设计 (*参考课程设计指导书, 须认真学习减速器构造之后方可正确理解各部位构造的装配关系)
- (4) 轴的强度校核

- 低速轴 (过程同上)

先了解——减速器的构造

单级圆柱齿轮减速器

油标尺



轴承盖
(端盖)



减速器装配图之 俯视图草图绘制

减速器装配草图设计

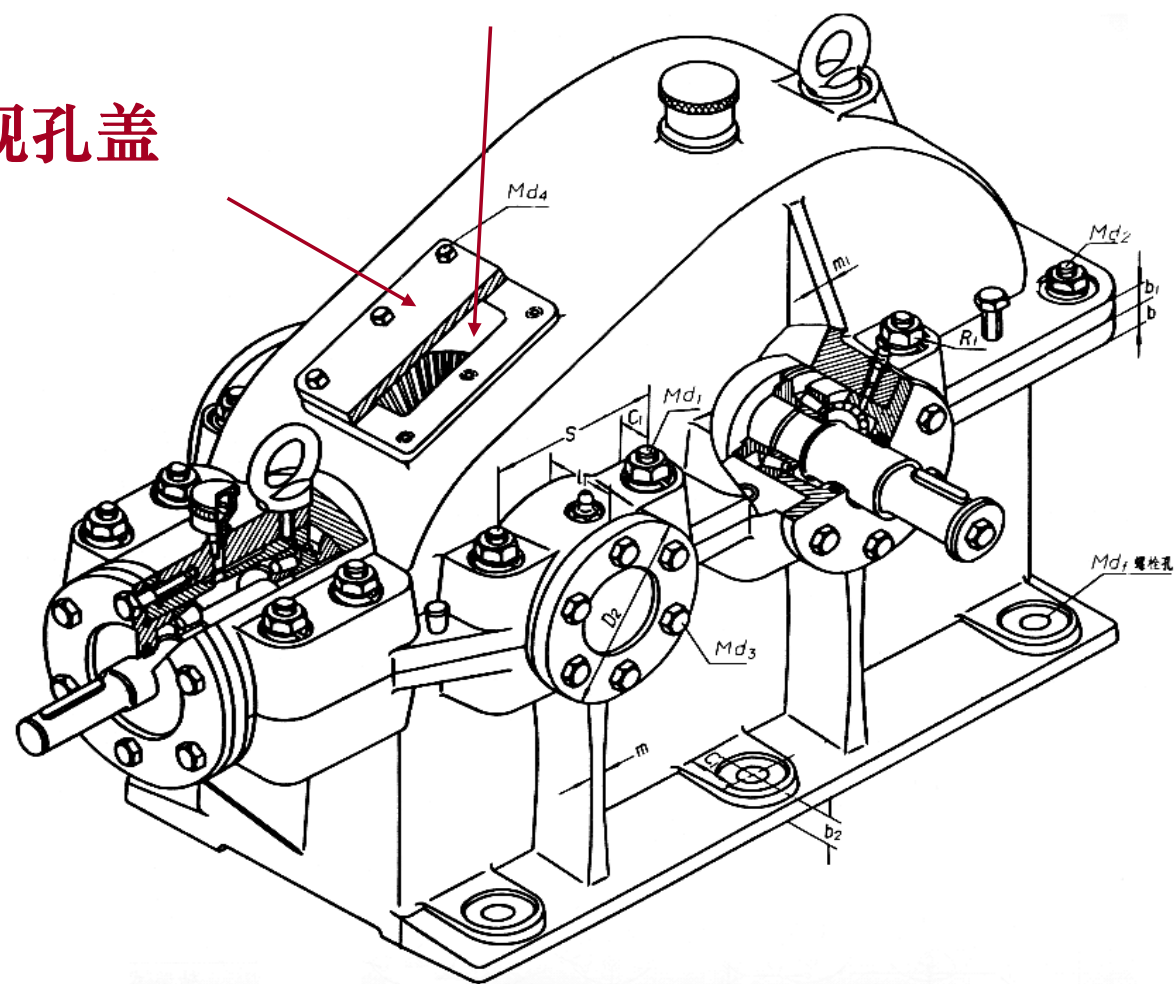
- 1) 减速器七大附件及作用
- 2) 轴的设计计算
- 3) 轴承的选择计算
- 4) 联轴器的选择计算
- 5) 键的选择计算

1) 减速器附件

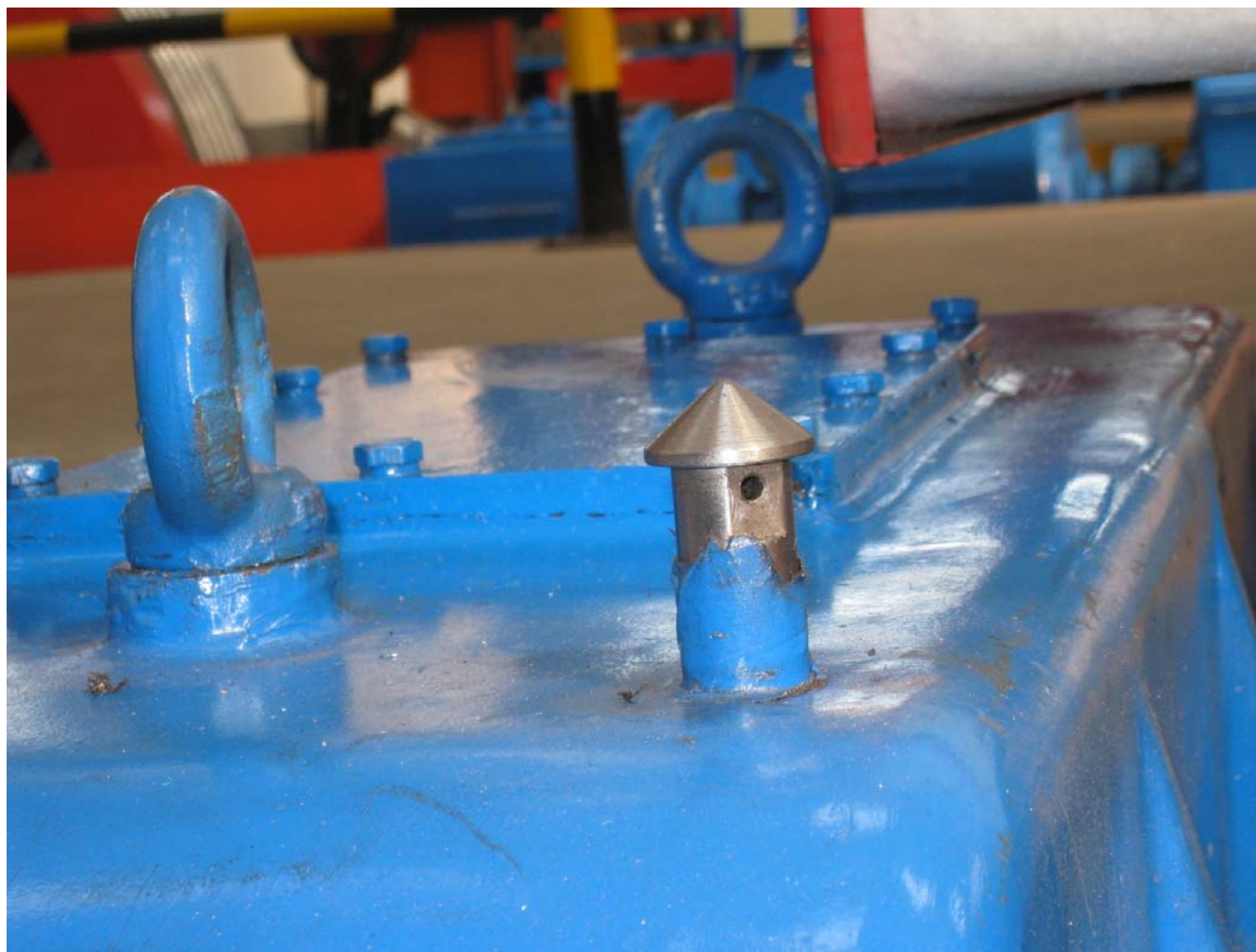
七大附件的结构设计

窥视孔

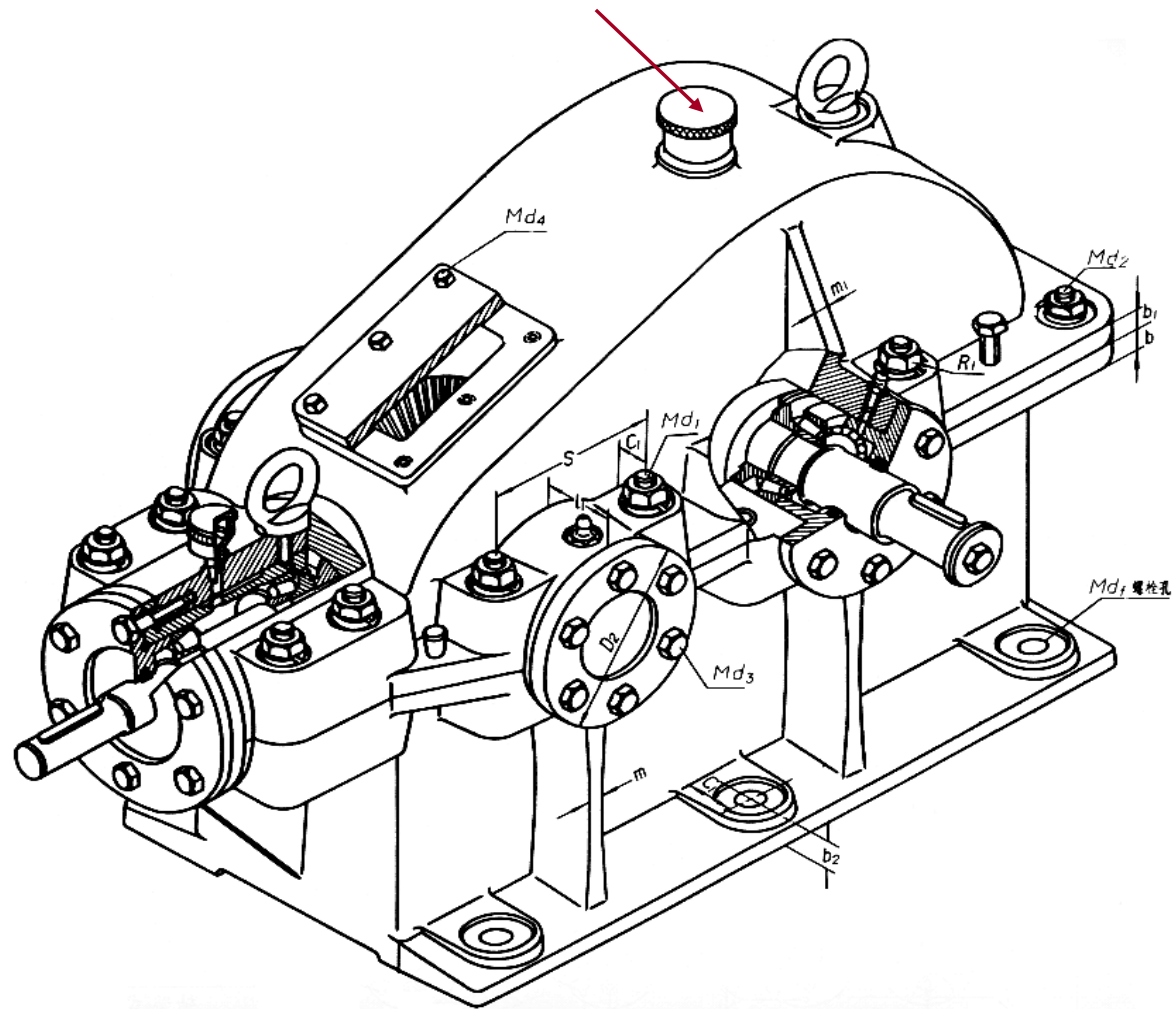
视孔盖



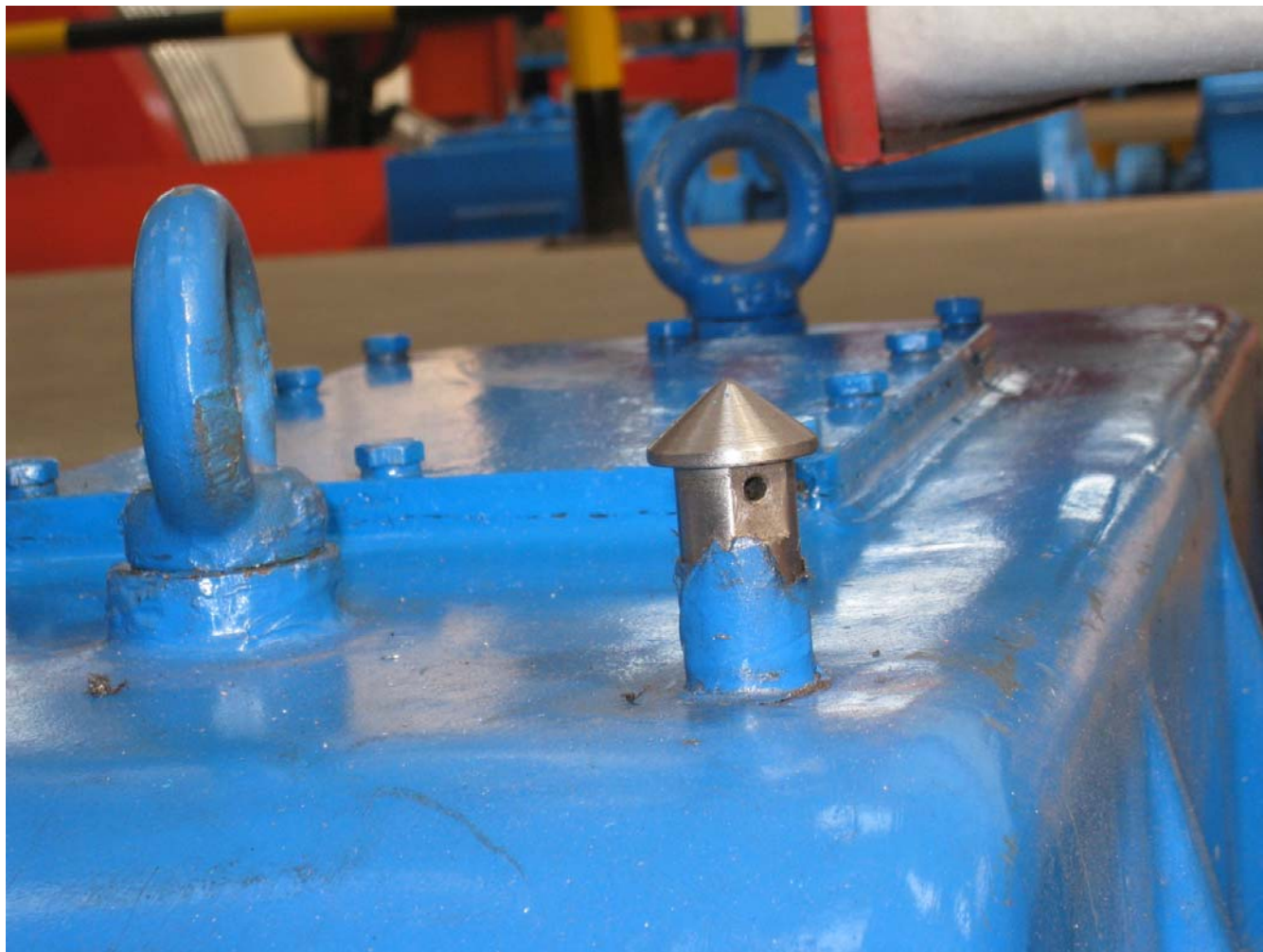
视孔盖

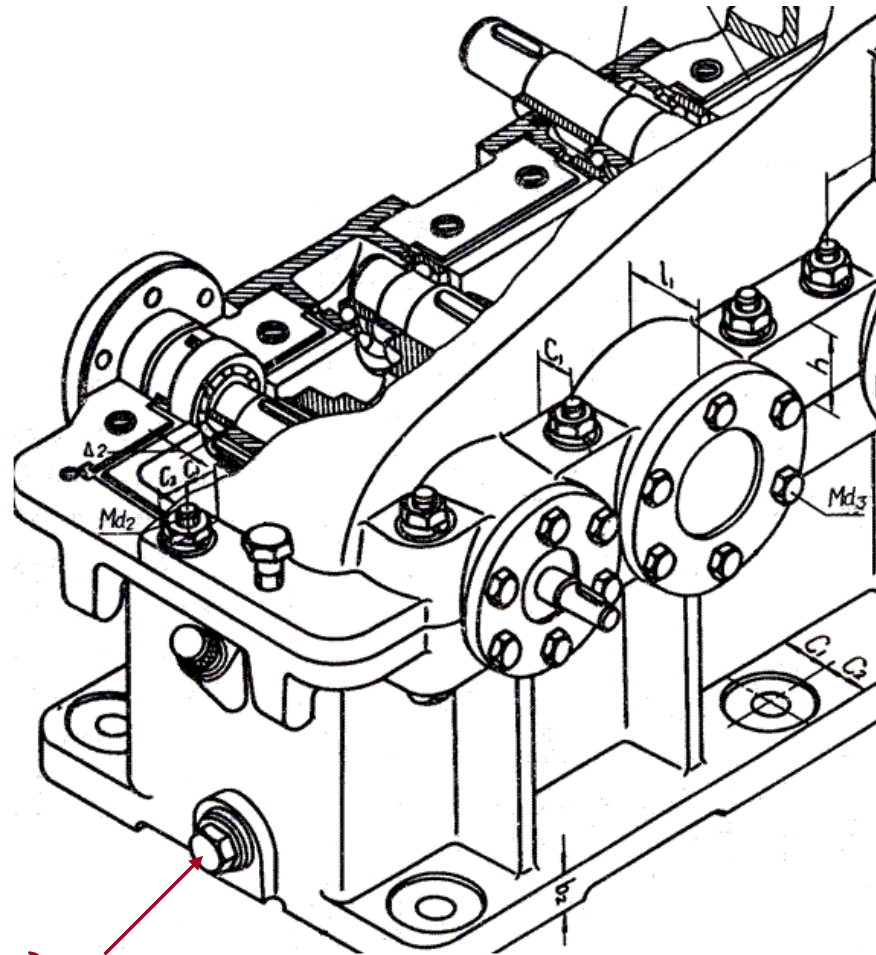


通气器



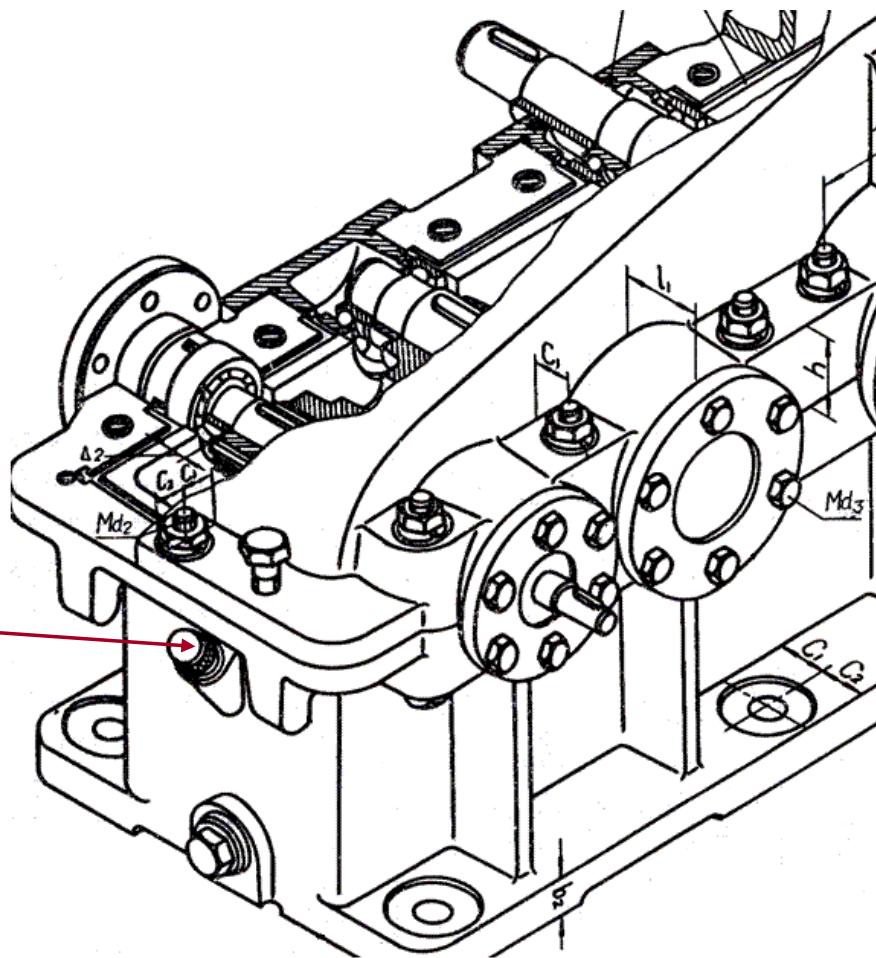
通气器

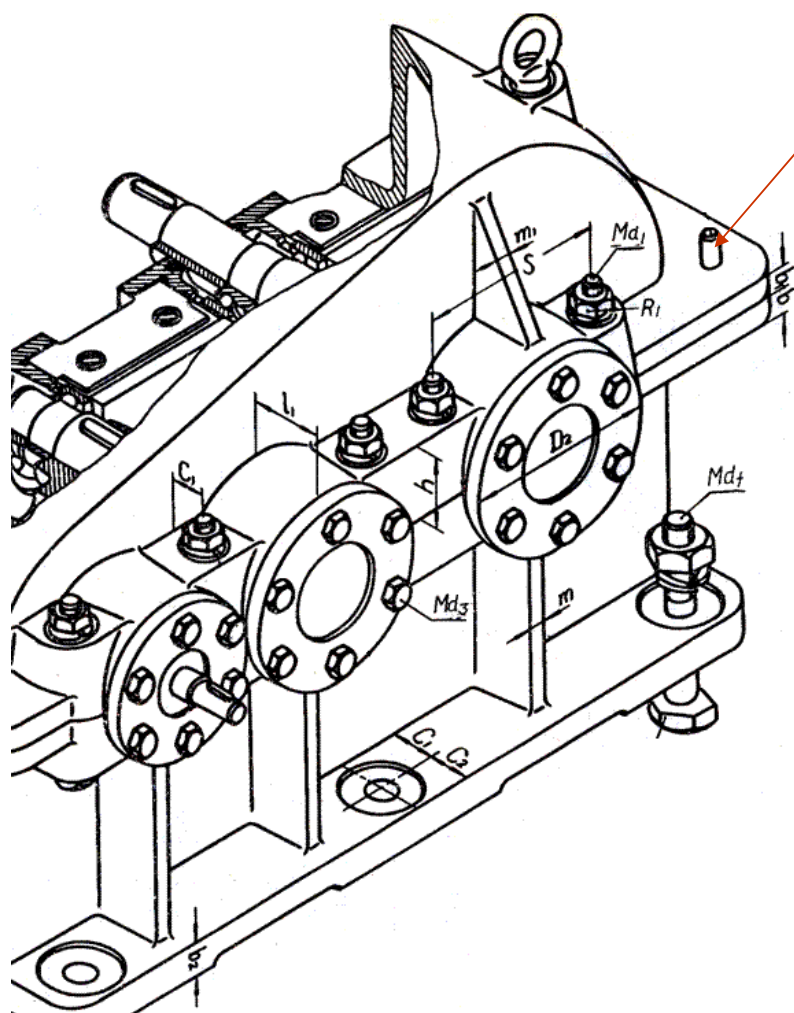




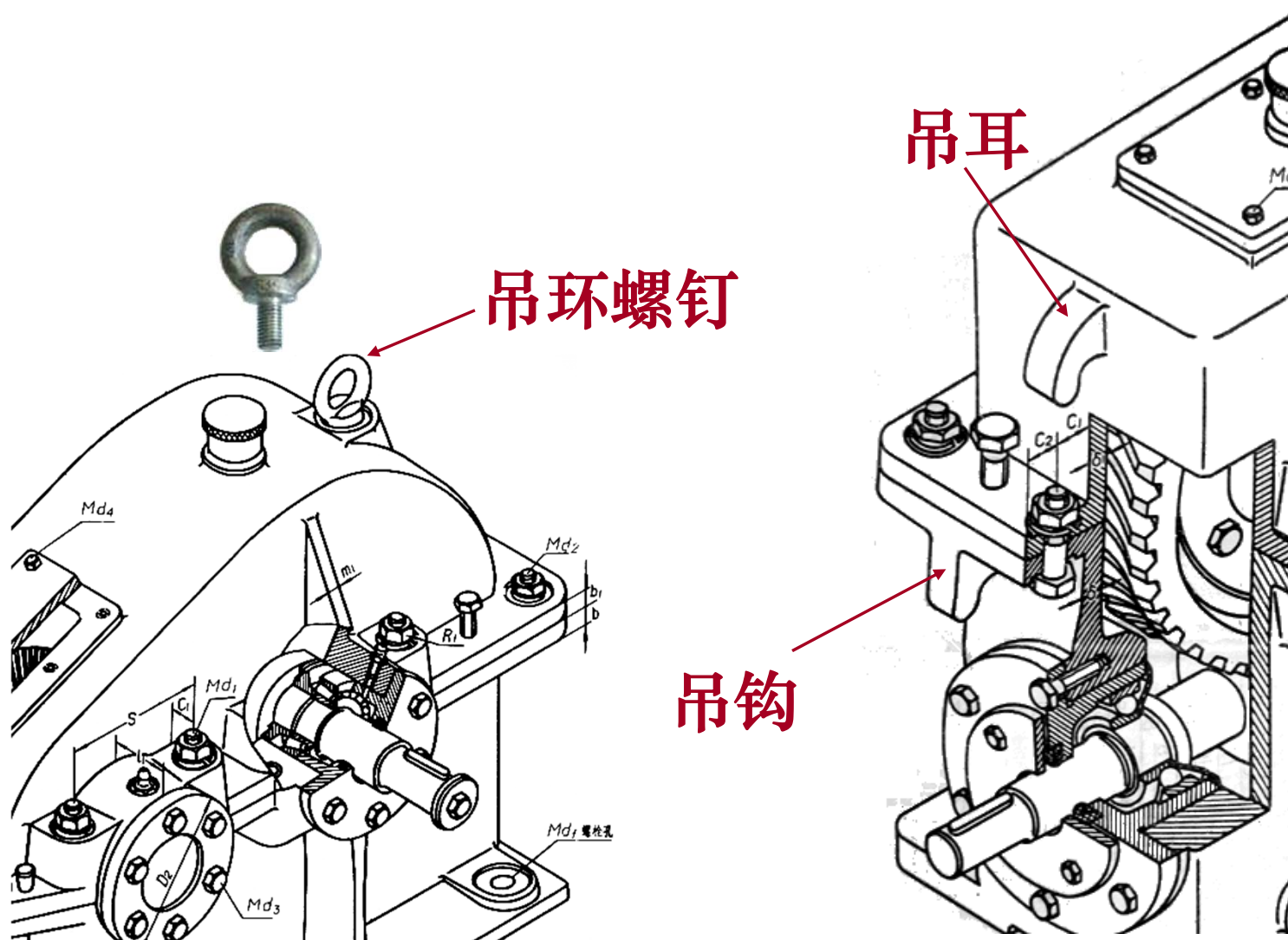
放油螺塞

油标

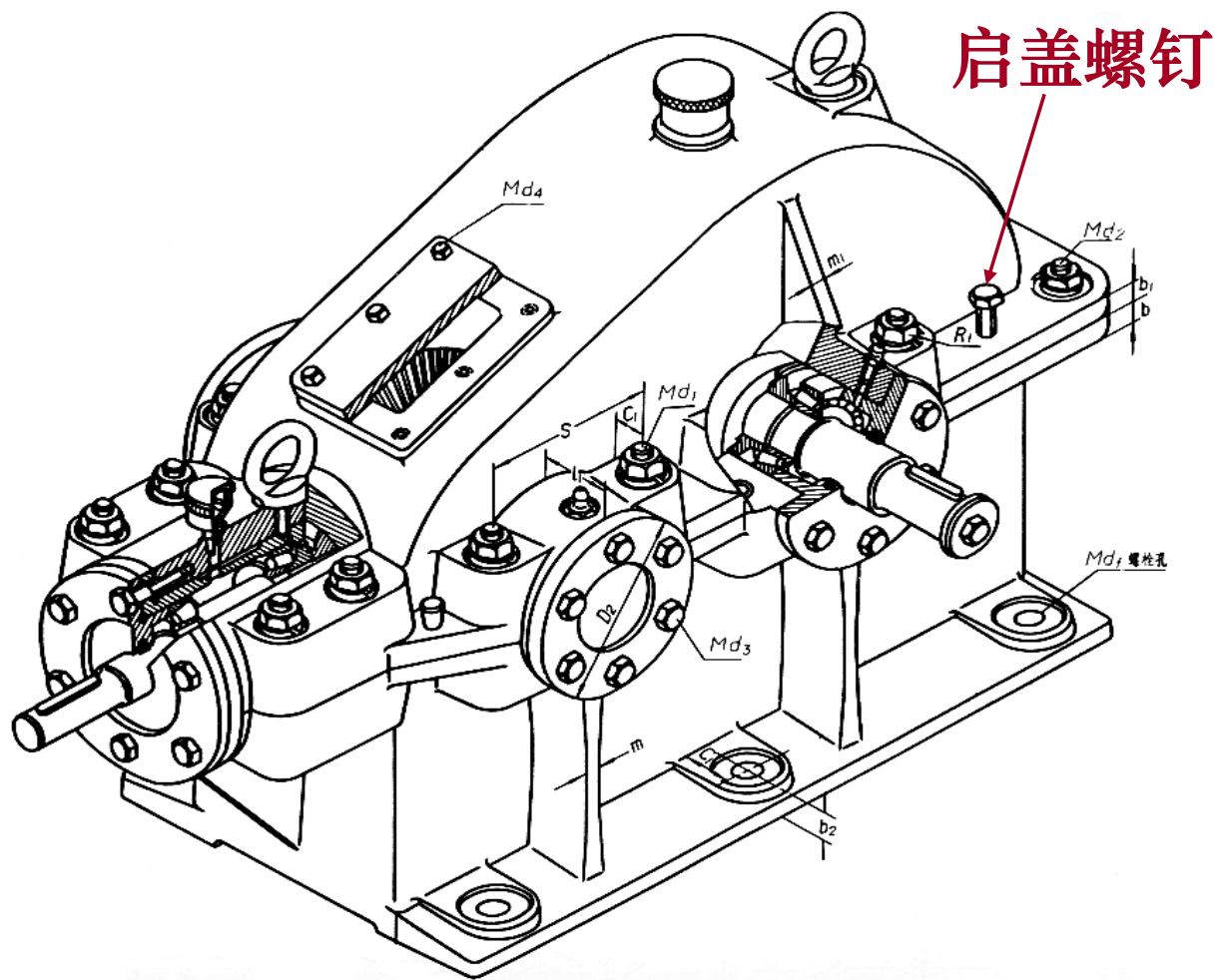




定位销







2) 轴的设计（1, 2部分算例参见本讲义74-75页）

1. 计算最小轴径；
2. 根据轴上零件的拆装方向确定轴的结构（确定各段轴径、再画装配草图根据配合关系确定各轴段长度；包括轴承型号的选择）；
3. 作轴的弯扭强度校核；（参见教材《机械设计基础》中轴的章节里强度计算的步骤，注意本设计中的轴系受力条件与教材中不同，应理解掌握后自行计算并画出弯矩扭矩及弯扭合成图，不得抄袭书中算例）

3) 初选轴承、键

轴承内径：由前述轴的设计中可以得到，轴承型号建议从中等负载的型号选取，比如深沟球轴承可以初选**6300**系列，强度比**6100**和**6200**要高，但低于**6400**，以此类推。好处是居中的型号强度中等，便于调整。

如果强度不够，则选取宽一些或者外径更大一些的轴承型号。相应的轴上与轴承配合部位的宽度需要调整，因此轴承寿命校核以后，如果型号有修改，则需要返回修改轴系结构图上对应部位的尺寸。

键：根据安装键对应的轴段轴径来选取键宽型号，键长直接参考轴段长度而定

键长 = 轴段长度 - 轴肩圆角倒角 - 适当余量（余量可选**5mm**左右）

4) 绘制前的准备:

(请参照本pdf的第八章 减速器的润滑)

① 轴承润滑方式:

浸油齿轮 **$V \leq 2 \text{ m/s}$** 时, 可采用脂润滑,
否则为油润滑。或者参照**dn**值选取。

② 齿轮润滑方法:

$V \leq 12 \text{ m/s}$ 时可采用浸油润滑。

5) 绘制草图的要求

- (1) 线条要细、轻、易擦除，用**H**或**HB**铅笔；
- (2) 在全部装配图画完之前，不要急于加深、画剖面线、标尺寸等。

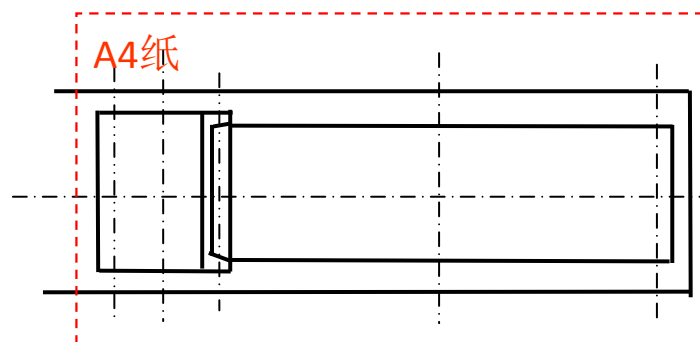
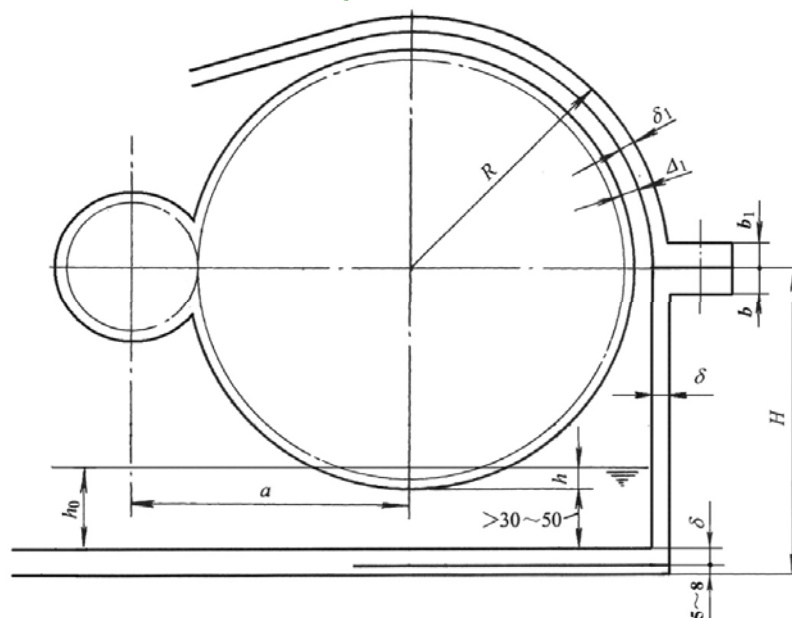
6) 减速器装配图设计

a) 初步绘制装配图

主视图与俯视图上先画一对大小齿轮：

主视图：体现两齿轮的分度圆直径及中心距；

俯视图：体现分度圆直径以及齿宽（注意小齿轮齿宽应大于大齿轮齿宽）



减速器草图绘制前期工作

- 齿轮参数确定（ d_1 、 d_2 、 B_1 、 B_2 、 d_{a1} 、 d_{a2} 等）
- 高、低速轴最小轴径及各段轴径确定
- 完成 铸铁减速器箱体结构尺寸、减速器零件的位置尺寸的表格（类似蓝本书的表3-1、表4-1），准备开始绘制草图

初算轴的最小轴径

已知轴的输入功率和转速，根据扭矩初步估计轴的最小直径为：如下举例，已知材料选取45钢

$$d_{\min} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 110 \sqrt[3]{\frac{10}{200}} = 40.5 \quad \text{选 } C=110$$

- 如果是既承受弯矩又承受扭矩，那么**C**值可以再取大一些。
- 轴的最小直径显然是最外端轴伸的直径。轴伸部位为了传递扭矩，需开键槽，故将上式算出的最小轴径需要增加**5%**，变为**42.525mm**。
- 凡是轴上有配合其他零件的轴段直径都需要查《机械设计手册》，此题应取标准直径**45mm**。如果配合的是带轮或者链轮，应查取大于等于计算值的标准直径。如果配合的是联轴器，则查取联轴器的标准来选取轴径。

各轴段直径确定（低速轴）

- D1: 最小轴径（参照联轴器对应尺寸，最小轴径如果是接的带或链轮，则要查取对应的轴伸标准）
- $D2 = D1 + 6 \sim 10$ ，有定位要求（参考查取密封圈匹配尺寸）
- $D3 = D2 + 1 \sim 5$ ，且必须为5的倍数（匹配轴承的需要）
- $D4 = D3 + 1 \sim 5$ ，与大齿轮匹配，查表选用标准直径
- $D5 = D4 + 6 \sim 10$ ，有定位要求
- $D6 = D3$ ，同轴两轴承的内外径一样大。注意D6与D5之间如果结构是轴承直接紧靠轴肩，就有轴承安装高度的要求，如果轴承安装高度与D5有矛盾，可以把D5设计成两段阶梯的轴肩。
- （但各段的长度应该怎么确定？这就需要画出轴上零件的对应位置后，

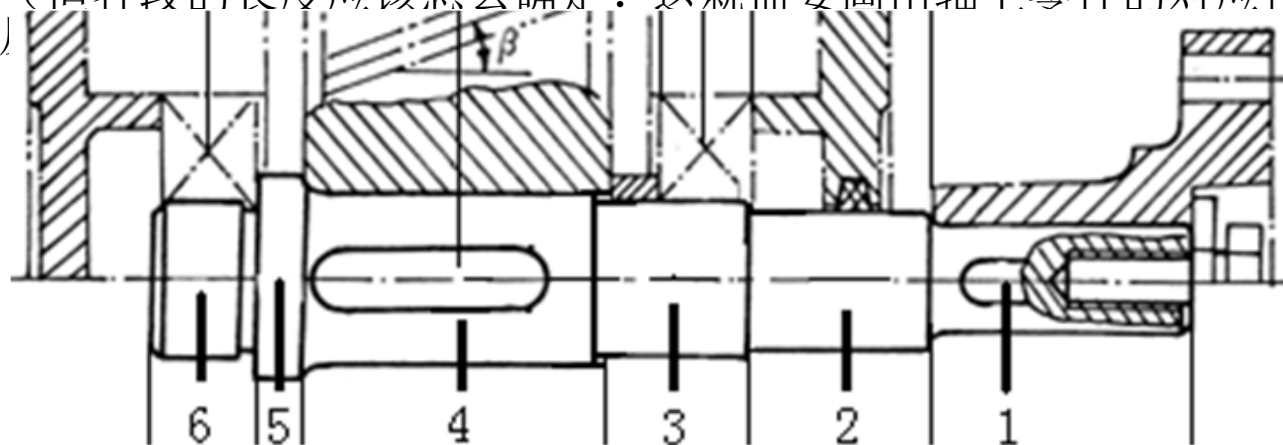


表3-1 铸铁减速器箱体结构尺寸

表 3-1 铸铁减速器箱体结构尺寸 (图 3-1、图 3-2、图 3-3)

名 称	符 号	尺 寸 关 系		
		齿轮减速器	圆锥齿轮减速器	蜗杆减速器
箱座壁厚	δ	$\delta = 0.025a + \Delta \geq 8$ $\delta_1 = 0.02a + \Delta \geq 8$ 式中: $\Delta = 1$ (单级), $\Delta = 3$ (双级 ^①); a 为低速级中心距, 对于圆锥齿轮减速器, $a^{②} = \frac{d_{m1} + d_{m2}}{2}$		$0.04a + 3 \geq 8$
箱盖壁厚	δ_1			上置式: $\delta_1 = \delta$ 下置式: $\delta_1 = 0.85\delta \geq 8$
箱体凸缘厚度	b, b_1, b_2	箱座 $b = 1.5\delta$; 箱盖 $b_1 = 1.5\delta_1$; 箱底座 $b_2 = 2.5\delta$		
加强肋厚	m, m_1	箱座 $m = 0.85\delta$; 箱盖 $m_1 = 0.85\delta_1$		
地脚螺钉直径	d_f	$0.036a + 12$	$0.018(d_{m1} + d_{m2}) + 1 \geq 12$	$0.036a + 12$
地脚螺钉数目	n	$a \leq 250, n = 4$ $a > 250 \sim 500, n = 6$ $a > 500, n = 8$	$n = \frac{\text{箱底座凸缘周长之半}}{200 \sim 300} \geq 4$	

表3-1 铸铁减速器箱体结构尺寸（续）

轴承旁联接螺栓直径	d_1	$0.75d_f$								
箱盖、箱座联接螺栓直径	d_2	$(0.5\sim0.6)d_f$; 螺栓间距 $L\leq 150\sim200$								
轴承盖螺钉直径和数目	d_3, n	见表 9-9								
轴承盖（轴承座端面）外径	D_2	见表 9-9、表 9-10; $s\approx D_2$, s 为轴承两侧联接螺栓间的距离								
观察孔盖螺钉直径	d_4	$(0.3\sim0.4)d_f$								
d_f, d_1, d_2 至箱外壁距离; d_f, d_2 至凸缘边缘的距离	C_1, C_2	螺栓直径	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
		C_{1min}	13	16	18	22	26	34	34	40
		C_{2min}	11	14	16	20	24	28	32	34
轴承旁凸台高度和半径	h, R_1	h 由结构确定; $R_1=C_2$								
箱体外壁至轴承座端面距离	l_1	$C_1+C_2+(5\sim10)$								

注：① 对圆锥-圆柱齿轮减速器，按双级考虑； a 按低速级圆柱齿轮传动中心距取值。

② d_{m1} 、 d_{m2} 为两圆锥齿轮的平均直径。

表 5-1

减速器铸铁箱体主要结构尺寸关系(图 5-5、图 5-6)

mm

名 称	符号	减速器型式及尺寸关系										
		齿轮减速器					蜗杆减速器					
箱座(体)壁厚	δ	$0.025 a + \Delta \geq 8$					$0.04 a + 3 \geq 8$					
箱盖壁厚	δ_1	$0.85 \delta \geq 8$					蜗杆上置: $\approx \delta$ 蜗杆下置: $0.85 \delta \geq 8$					
箱座、箱盖、箱座底凸缘厚度	b, b_1, b_2	$b = 1.5 \delta; b_1 = 1.5 \delta_1; b_2 = 2.5 \delta$										
地脚螺栓直径及数目	d_f, n	$a \leq 100$	~ 200	> 200	$n = \frac{\text{底座凸缘周长之半}}{(200 \sim 300)} \geq 4$							
		d_f	12	$0.04 a + 8$	$0.047 a + 8$							
轴承旁联接螺栓直径	d_1	$0.75 d_f$										
箱盖、箱座联接螺栓直径	d_2	$(0.5 \sim 0.6) d_f$; 螺栓的间距: 150 ~ 200										
轴承端盖螺钉直径	d_3	轴承座孔(外圈) 直径 D		45 ~ 65	70 ~ 100	110 ~ 140	150 ~ 230					
		d_3		8	10	12	16					
		螺钉数目		4	4	6	6					
检查孔盖螺钉直径	d_4	单级减速器: $d_4 = 6$; 双级减速器: $d_4 = 8$										
d_f, d_1, d_2 至箱外壁距离 d_f, d_2 至凸缘边缘距离	c_1 c_2 D_0 R_0 r	螺栓直径	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M30
		$c_{1\min}$	14	16	18	20	22	24	26	30	34	40
		$c_{2\min}$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	35
		D_0	20	24	28	32	34	38	42	44	50	62
		$R_{0\max}$	5			8			10			
		r_{\max}	3			5			8			

表4-1 减速器零件的位置尺寸

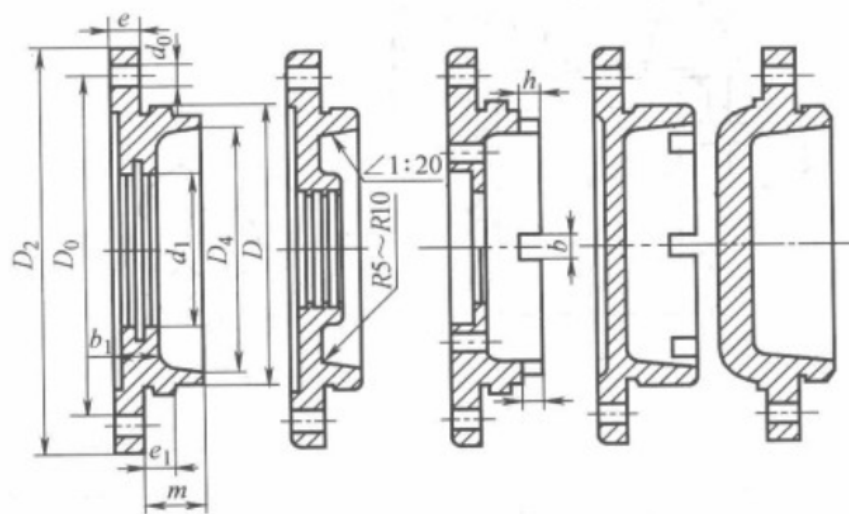
步位置，如图 4-1 和图 4-2 所示。

表 4-1 减速器零件的位置尺寸

mm

代号	名 称	荐 用 值	代号	名 称	荐 用 值
Δ_1	齿轮顶圆至箱体内壁的距离	$\geq 1.2\delta$, δ 为箱座壁厚	Δ_7	箱底至箱底内壁的距离	≈ 20
Δ_2	齿轮端面至箱体内壁的距离	$> \delta$ (一般取 ≥ 10)	H	减速器中心高	$\geq R_a + \Delta_6 + \Delta_7$
Δ_3	轴承端面至箱体内壁的距离 轴承用脂润滑时 轴承用油润滑时	$\Delta_3 = 10 \sim 12$ $\Delta_3 = 3 \sim 5$	L_1	箱体内壁至轴承座孔端面的距离	$= \delta + C_1 + C_2 + (5 \sim 10)$, C_1 、 C_2 见表 3-1
Δ_4	旋转零件间的轴向距离	10~15	e	轴承端盖凸缘厚度	见表 9-9
Δ_5	齿轮顶圆至轴表面的距离	≥ 10	L_2	箱体内壁轴向距离	
Δ_6	大齿轮齿顶圆至箱底内壁的距离	$> 30 \sim 50$ (表 3-3)	L_3	箱体轴承座孔端面间的距离	

表 4-5 减速器轴承盖与轴承套环结构尺寸



螺钉联接外装式轴承盖

$$d_0 = d_3 + 1 \text{ mm}$$

$$D_0 = D + 2.5 d_3$$

$$D_2 = D_0 + 2.5 d_3$$

$$e = 1.2 d_3$$

$$e_1 \geq e$$

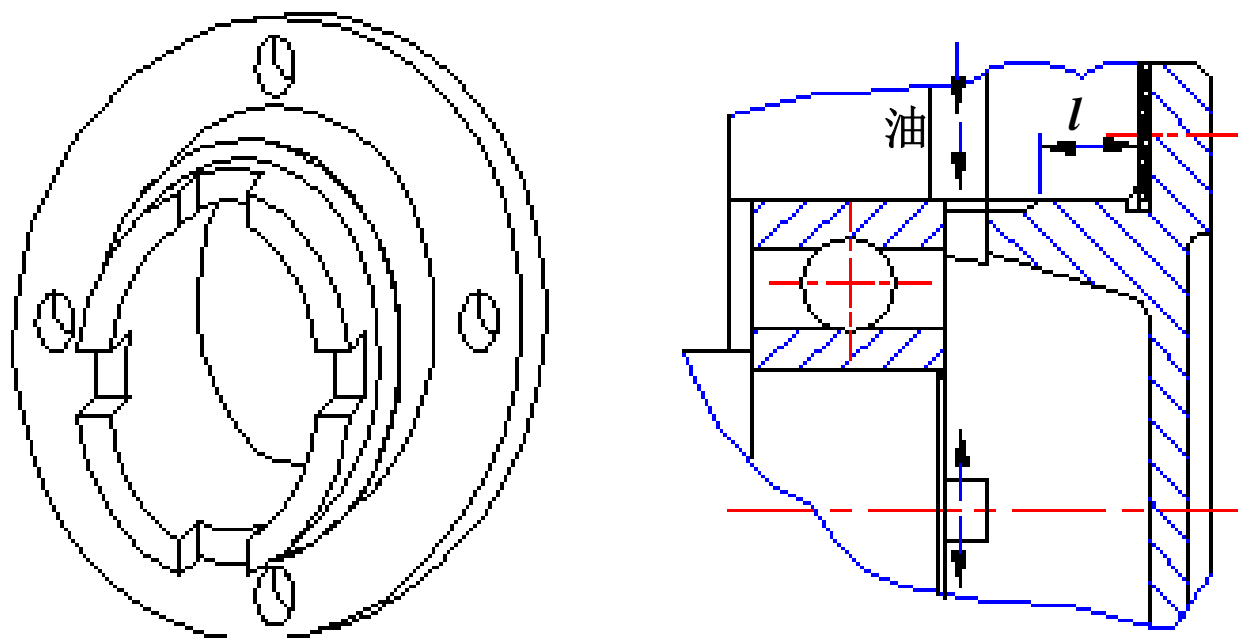
m 由结构确定

d_1 、 b_1 由密封尺寸确定

$$b = 5 \sim 10, h = (0.8 \sim 1) b$$

d_3 ——端盖联接螺钉直径，尺寸如下：

轴承外径 D	螺钉直径 d_3	端盖上螺钉 数目
45 ~ 65	6	4
70 ~ 100	8	6
110 ~ 140	10	6
150 ~ 230	12 ~ 16	6

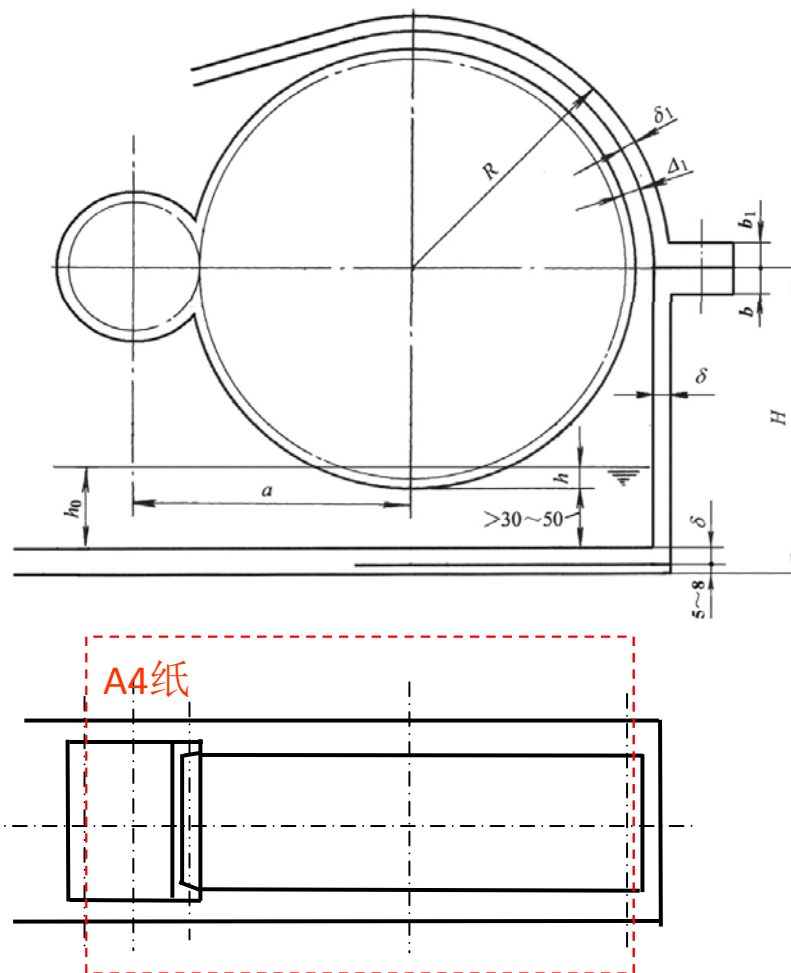


油润滑轴承的轴承盖结构

绘图比例的选取建议：

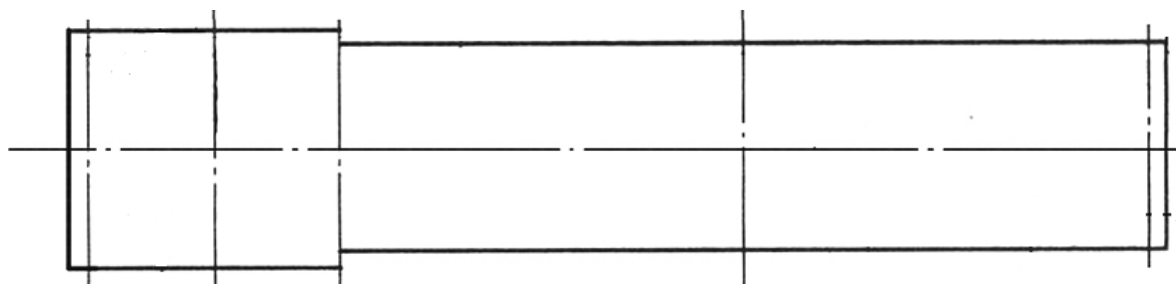
- 比例选取:

- 如果传动比 <4 ，则俯视图上用**2倍中心距**，约 **$2a \approx 297\text{mm}$** （**A4纸长边**）的最接近比例选取。俯视图图幅是**A3**加长。
- 如果传动比 >4 则以主视图总高度小于约等于**A3**的宽度来确定比例
- 稳妥起见，需要将主俯视图尺寸均进行比照之后再确定。



绘制草图1

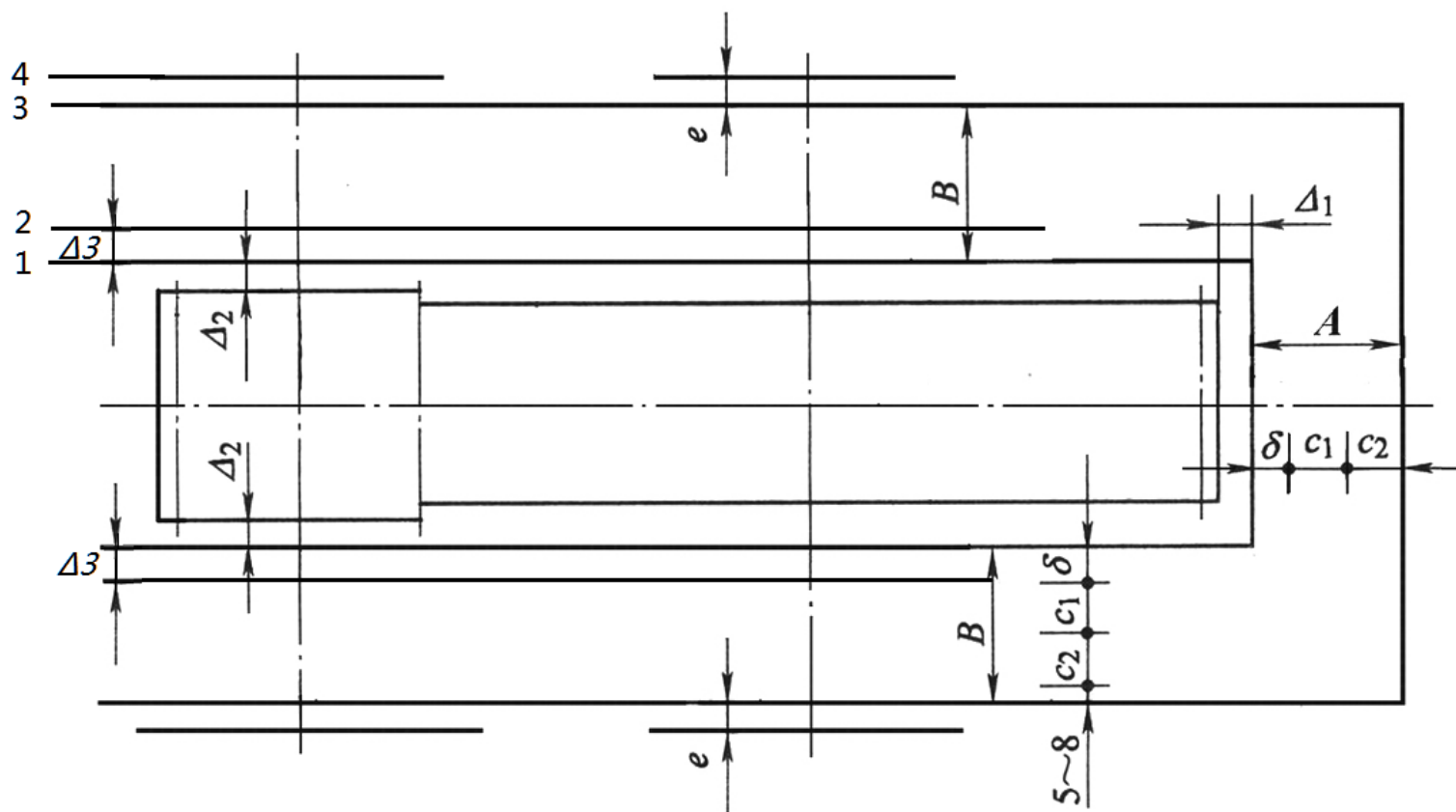
- 首先按照选定的比例，在横放的A4纸的正中画出两个齿轮的分度圆（啮合部位可以先不详细画，右侧大齿轮需要画出齿顶圆）



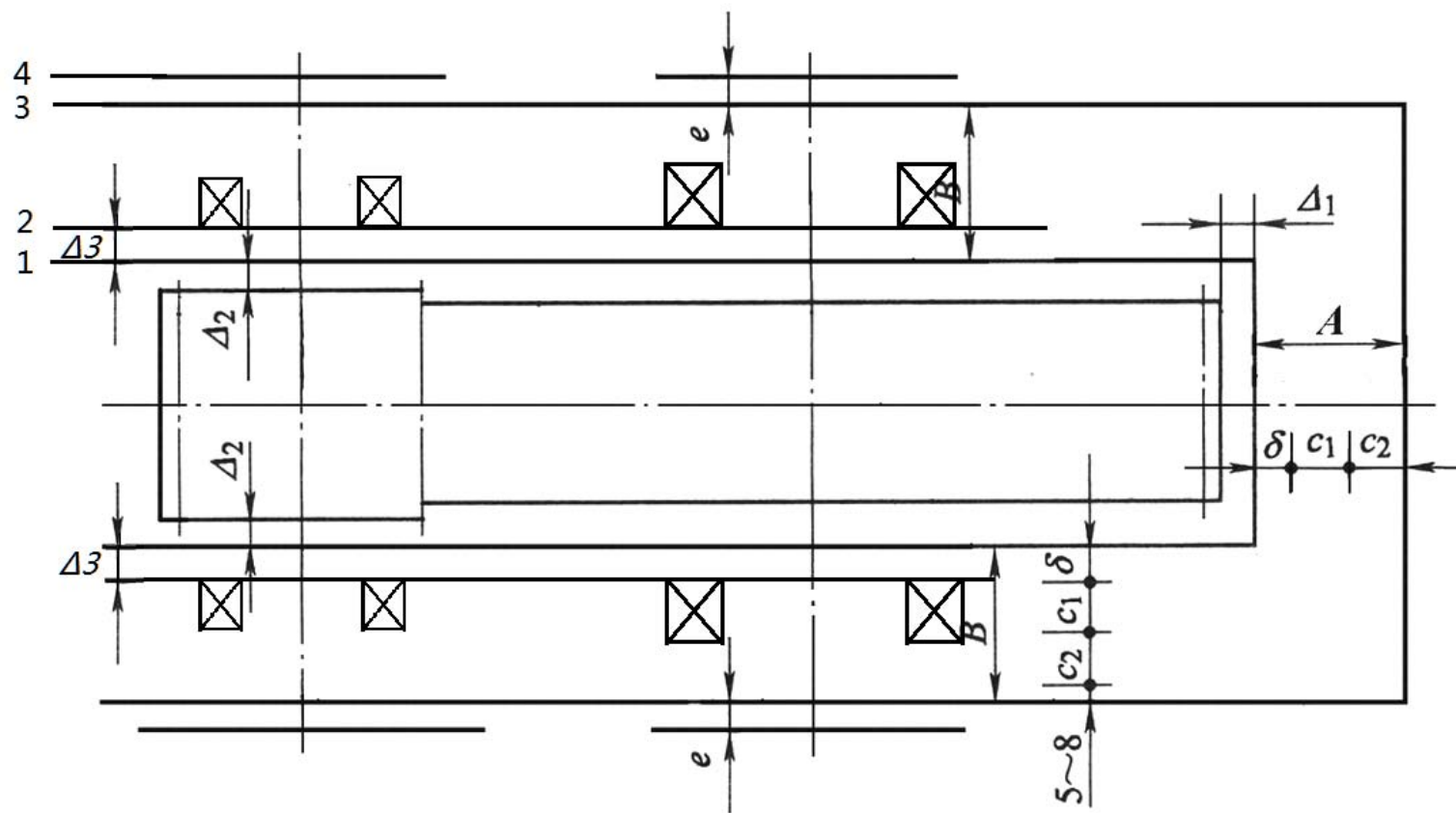
A4纸

绘制 草图2

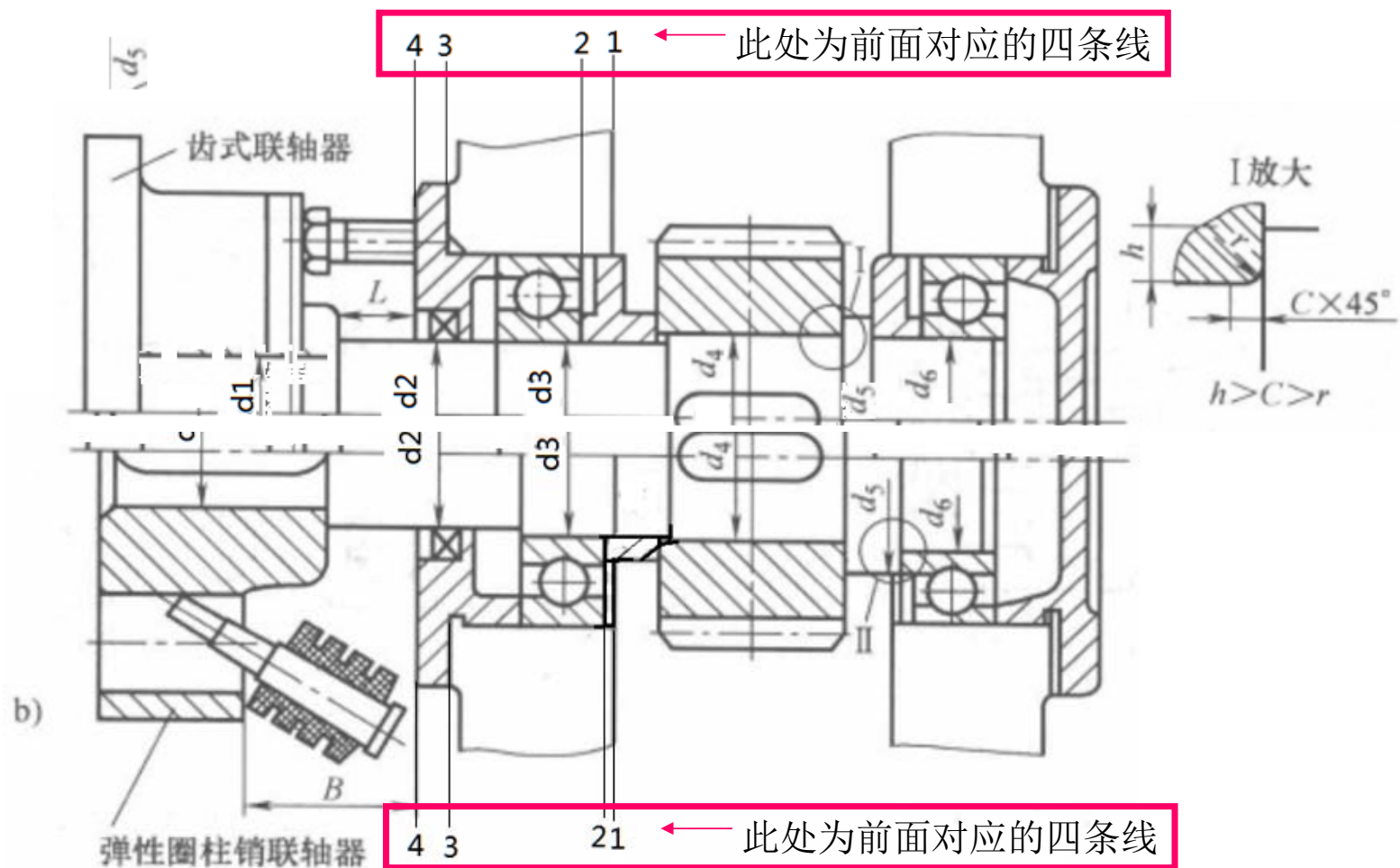
在齿轮上下分别画上4条平行线：1箱体内壁线、2轴承定位线、3轴承座孔凸起界线、4轴承盖凸缘。下半4线对称分布



3摆上轴承（注：轴承内径在之前的分析中已经得到）



如图：上半是轴承脂润滑的画法，下半是轴承油润滑的画法。d3、d6所在轴段的长度可以由轴承确定；d2的长度需要依据图示螺钉长度来确定左边与d1交界的位置。d1及d4所在轴段的长度都是由：所匹配的轮毂长度-（1~2mm）确定。由此，d1、d4，d3、d6以及d5的长度可以确定。仅剩d2未定



放了齿轮和轴承以后，由于端盖凸缘是在线3和线4之间，所以其实端盖的位置已经确定

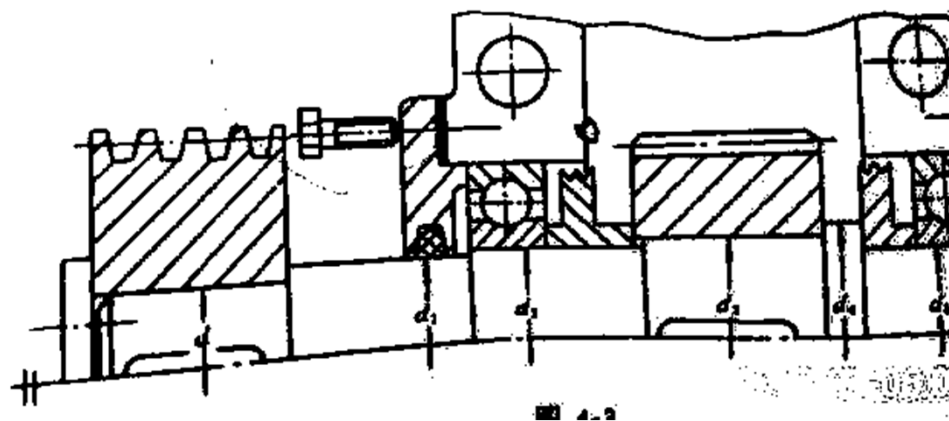
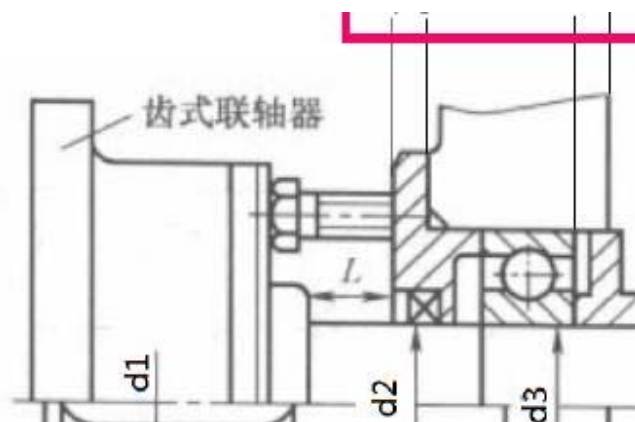
从端盖向外，即线4向外的方向延伸

一个端盖螺钉的总长度+适度余量5~8mm，

就是轴段2的外伸方向的界限

我们的L段要长一些，是和螺钉平齐的

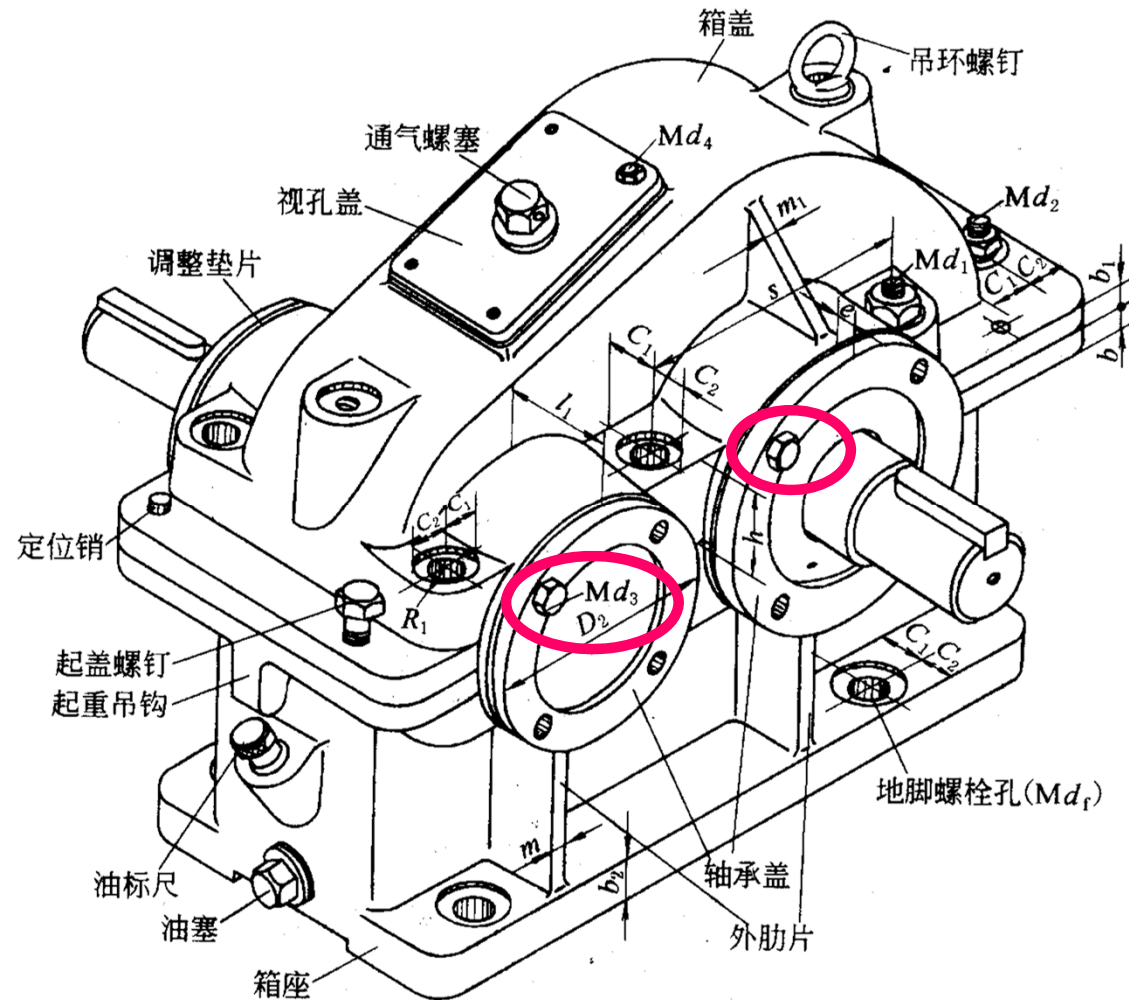
轴上两个支点的轴承，应尽量采用相同的型号，便于轴承座孔的加工。



草图设计所用螺钉如图所示

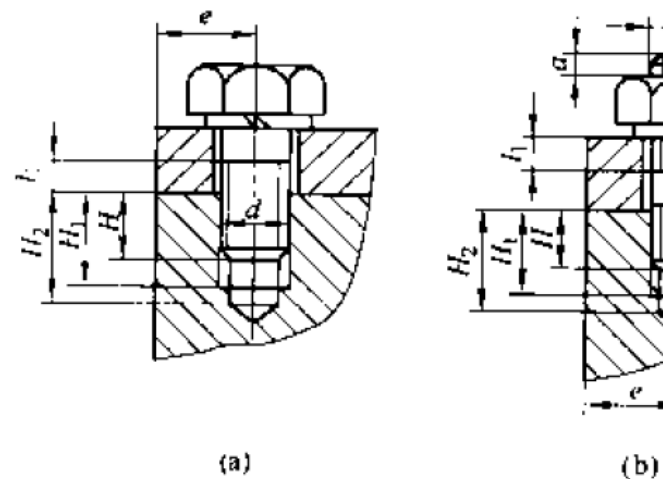
此螺钉位于轴承盖上，是减速器结构图中的Md3螺钉。

图示两个轴承盖上都有螺钉，为了安装的便利，最好的把两盖上的螺钉设为同一型号。



轴承盖上螺钉长度的确定

- 螺钉总长=螺帽长K+L
=螺帽长K+轴承盖凸缘厚度+
拧入深度H



座端拧入深度 H , 当螺孔材料为:

钢或青铜 $H \approx d$;

铸铁 $H = (1.25 \sim 1.5)d$;

铝合金 $H = (1.5 \sim 2.5)d$;

螺纹孔深度 $H_1 = H + (2 \sim 2.5)P$;

钻孔深度 $H_2 \approx H_1 + (0.5 \sim 1)d$;

l_1, a, e 值同图 10-9

图 10-10 螺钉连接和双头螺柱连接

享网 - 简明... ×



151

(168 / 697)

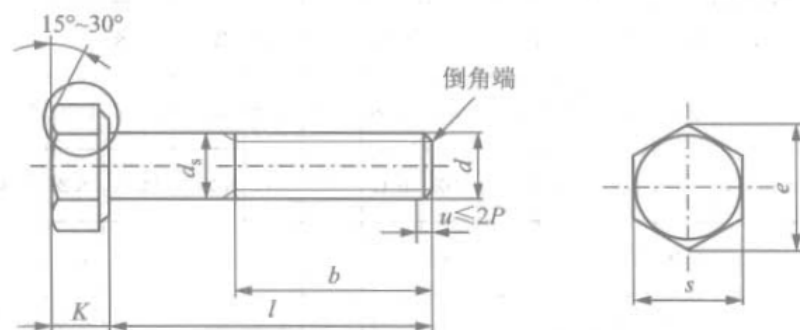


75%

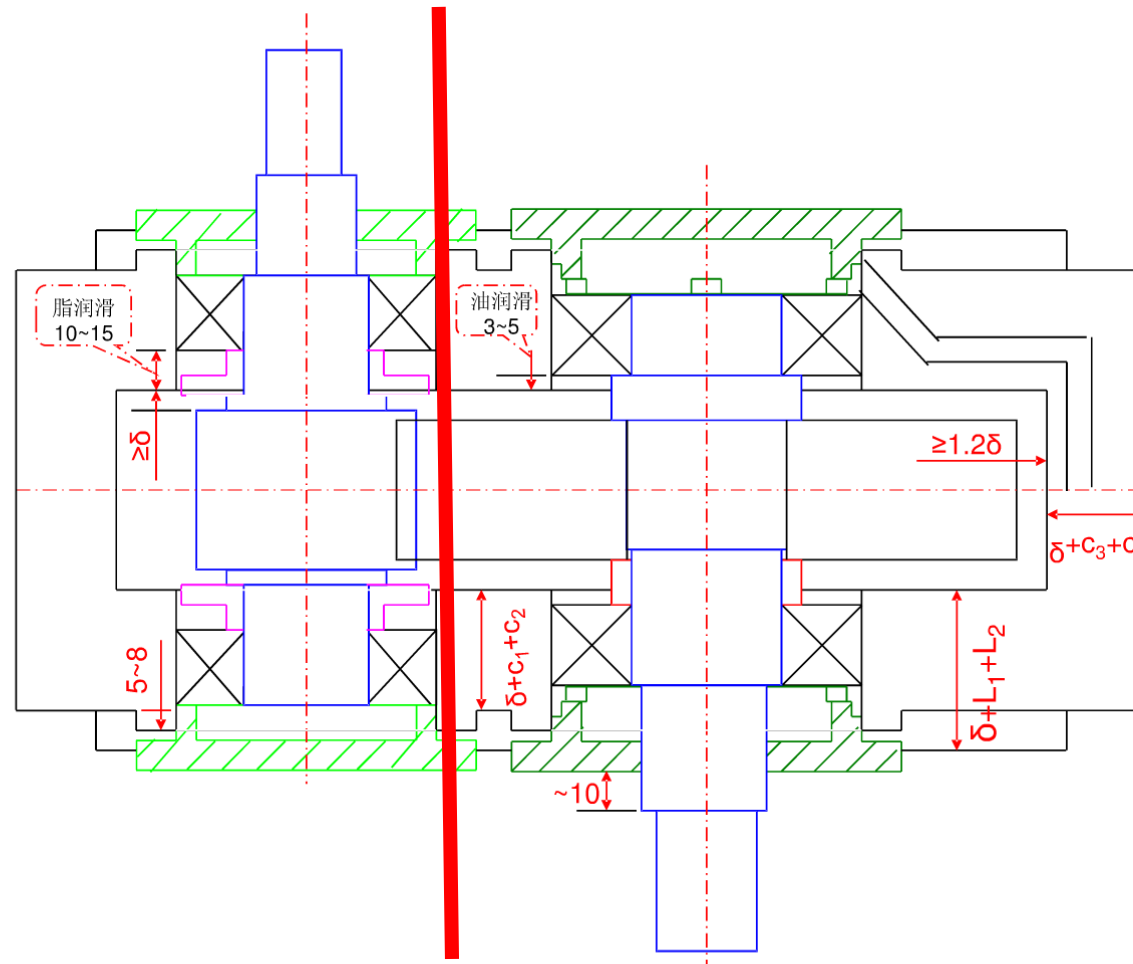


螺栓

表 6-19 六角头螺栓(GB/T 5782—2000)、六角头螺栓全螺纹(GB/T 5783—2000) (mm)



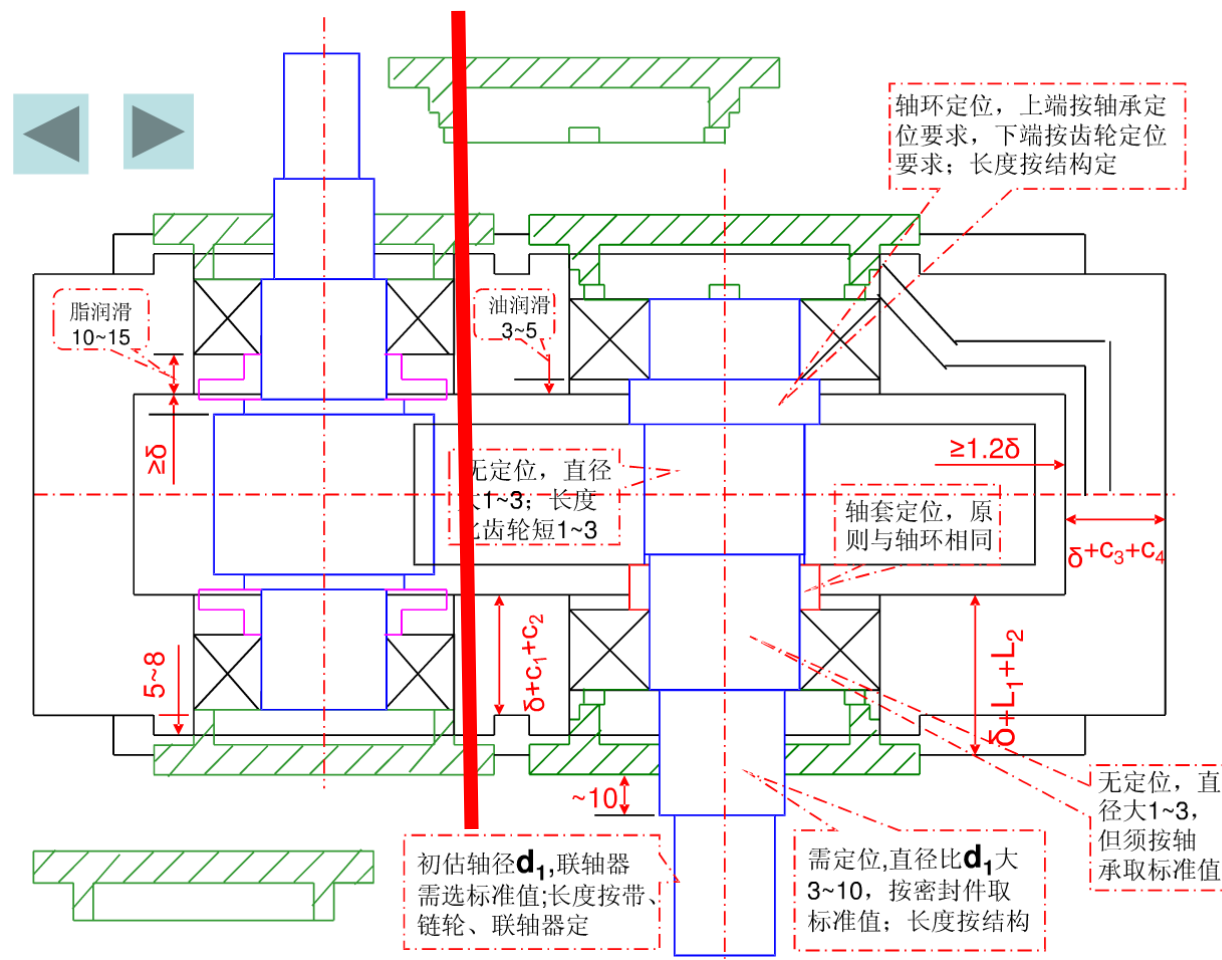
为了说明轴系结构设计，我们用左边小齿轮轴系设计轴承脂润滑；右边大齿轮轴系的轴承用油润滑。（实际大小齿轮应当采用同一种轴承润滑，即要么都是脂润滑，要么都是油润滑！！！请参看本讲义的99和100页图例。）



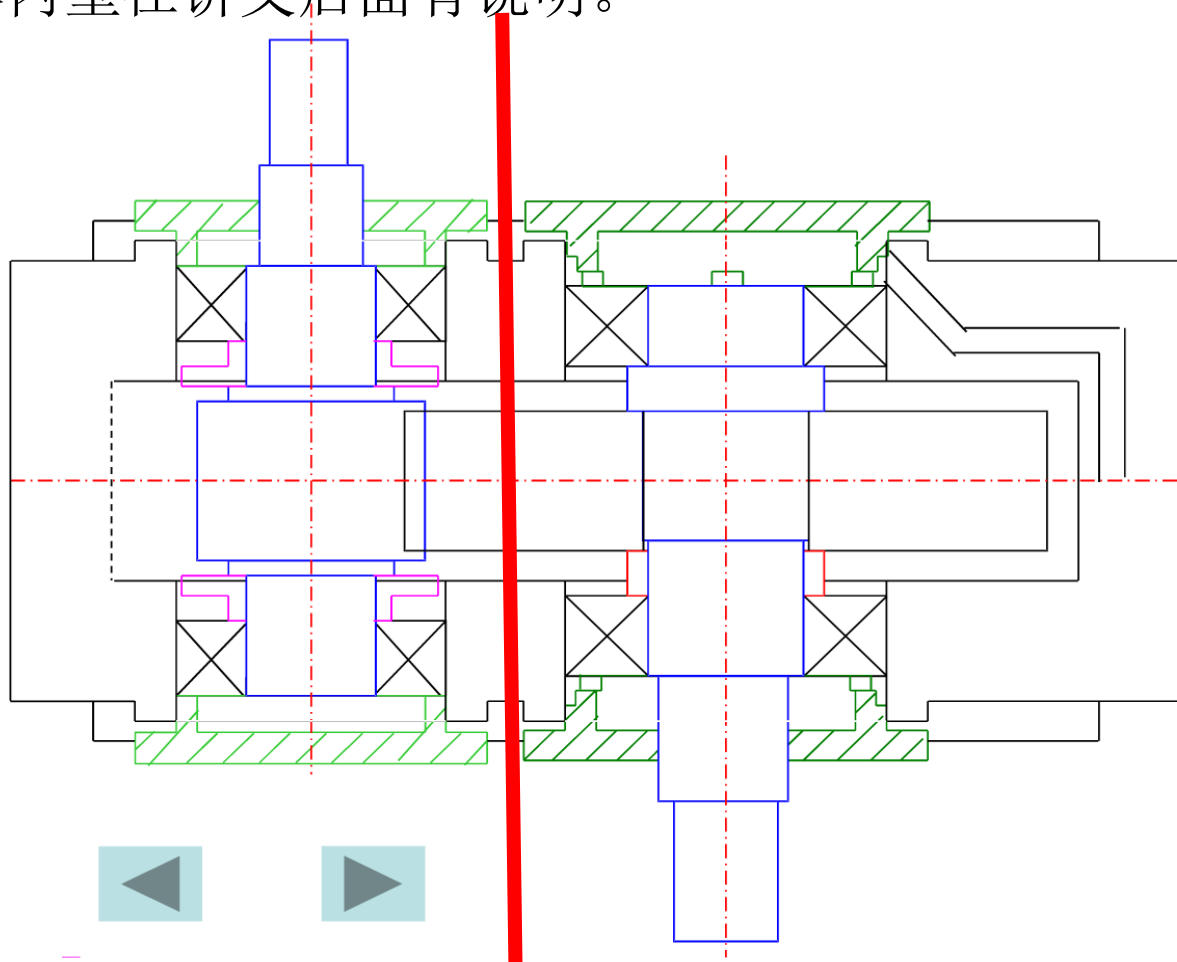
左边示例是脂润滑：每个轴承靠近箱体内壁的部位都需要加装甩油盘（封油圈），作用是隔开箱体內的润滑油与轴承內的润滑脂；

右边示例是油润滑：需要在箱体上开油沟和油槽，引导溅到箱体内壁上半部分的润滑油流入轴承。

此图中的尺寸
要求仅供参考，
以前面的设计
为准！



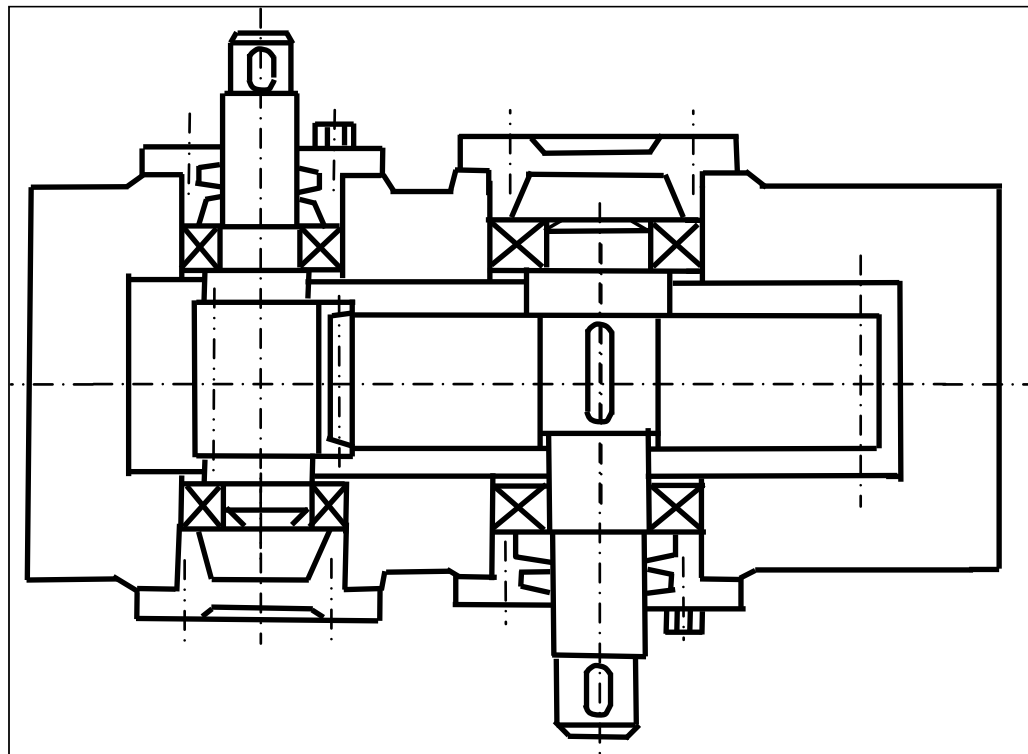
一个基本设计好的俯视图轴系草图（包含高低速轴的主要轴系结构）。不可照抄！（因为左边是脂润滑，右边油润滑，实际中不可能）这是为了说明草图画到这个程度就可以了。高速轴边上箱体内壁在讲义后面有说明。



6) **减速器装配图设计** 将A4图纸上绘制的俯视图
草图依样画在A1号图纸上

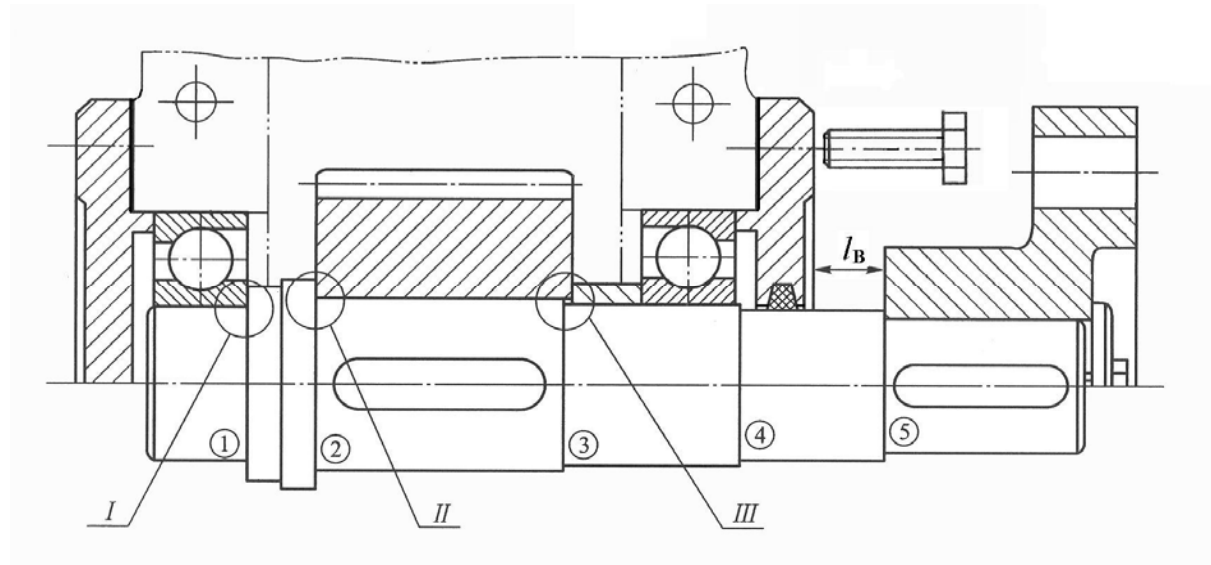
c) 支承结构设计

轴承，端盖，还有
轴两端倒角，端盖
螺钉的位置等细节



减速器装配图设计——关于轴上圆角倒角

圆柱齿轮 轴系部件设计中，注意除了轴两端的大倒角需要画出以外，其他部位的圆角在装配图上都不必画出！（轴的零件图上才要求画出圆角）
一根轴上的圆角及倒角尺寸，应尽量一致，以便于加工。



关于轴承的简化画法

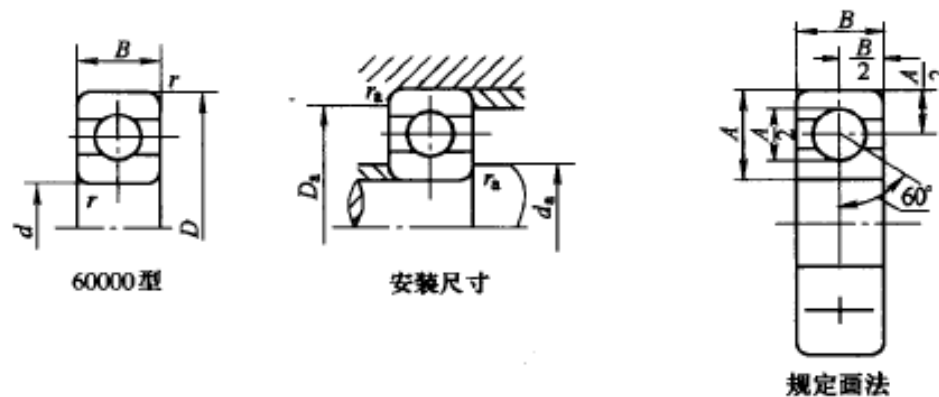
机械设计课程设计手册第三版.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

轴承规定画法是每个轴承只需要画出一半的详细画法，另一半用简略表示，新旧标准有差别，新的是画的十字，旧的是 \times 。同一张装配图上注意统一标准。

64 (76 / 315) 24.6%

一、常用滚动轴承

表 6-1 深沟球轴承 (GB/T 276—1994 摘录)



减速箱小齿轮侧的内壁确定

- 先把草图摆上大图的俯视图位置，然后画主视图，确定小齿轮边上的箱体内壁距离。根据轴承旁螺栓的c1的位置需要来确定外壁位置。这个部分参见指导书上有关减速器结构的说明部分。

指导书第三版pdf中：由下图16-48左图可以看出，凸台需要的宽度 C_1 和高度决定了箱盖左侧曲面的位置，以此来确定小齿轮一侧箱盖（箱体）的内壁位置。

对于剖分式箱体，轴承座孔两侧的连接螺栓还应尽量靠近（但不能和端盖螺钉孔及箱内输油沟发生干涉，如图16-46所示）。为此，在轴承座孔附近应做出凸台（图16-47、表11-1、表11-2）。凸台要有一定高度，以保证其上有足够的扳手空间，但高度不应超过轴承座孔外圆尺寸。凸台的投影关系如图16-48所示。

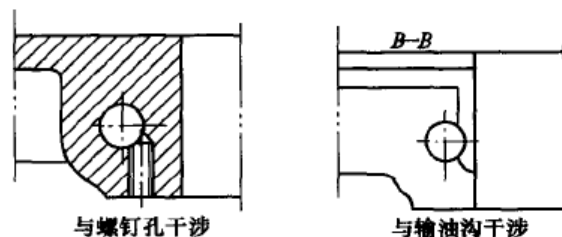


图16-46 连接螺栓相距过近、造成干涉

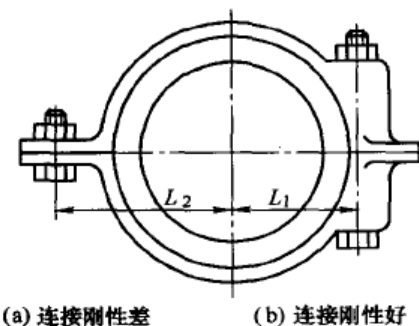


图16-47 箱体轴承座孔连接螺栓位置

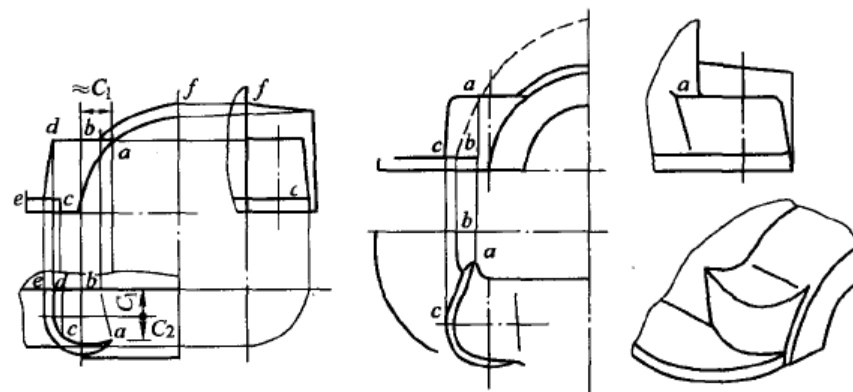
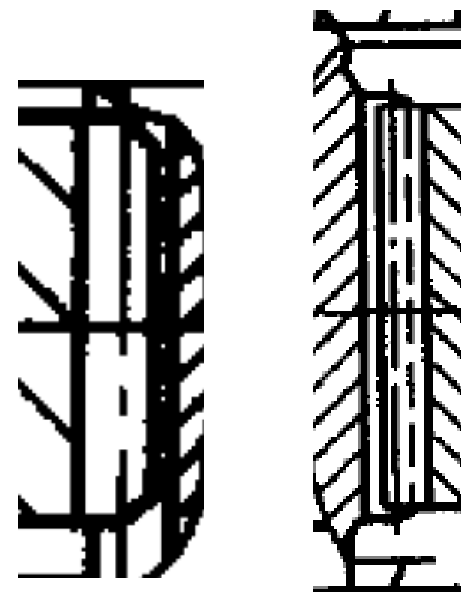


图16-48 凸台投影关系

正式装配图上齿轮啮合的画法

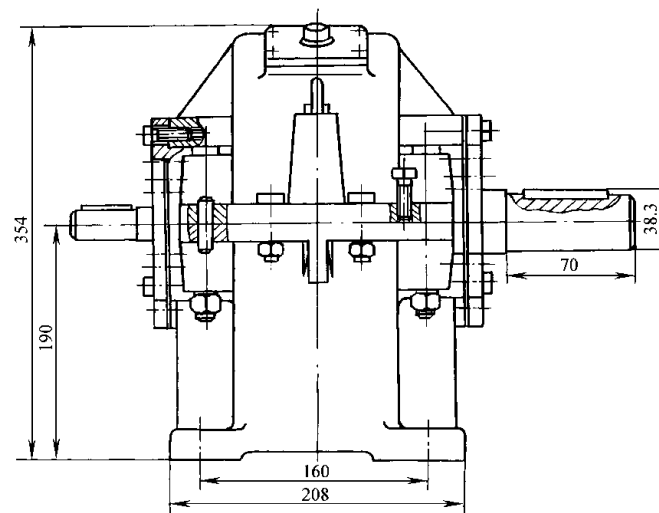
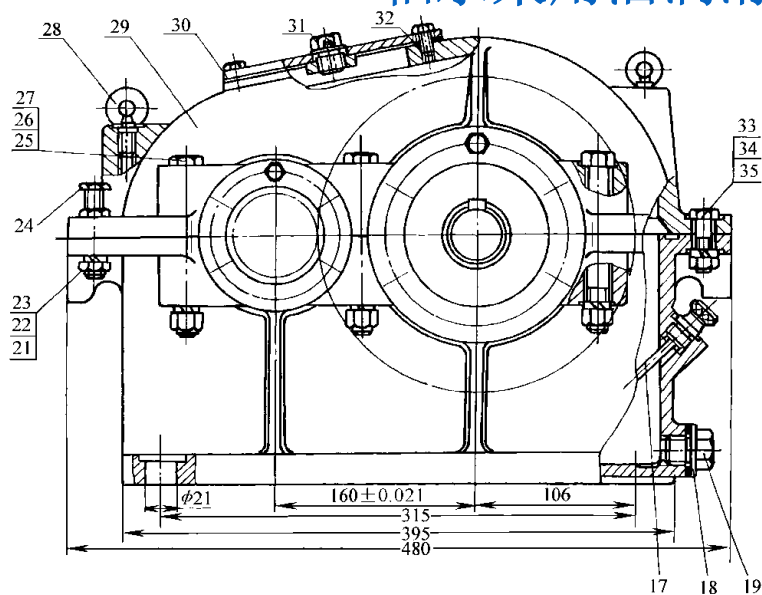
- 啮合部位正确的画法应该有4条线：
- 1.分度圆：点划线表示
- 2.齿轮的齿顶圆，与分度圆距离为 $ha^*m=1$ 倍模数
- 3.齿轮的齿根圆，与分度圆距离为 $(ha^*+c^*)m=1.25$ 倍模数
- 因此在图上就从左到右分别是：
- 左齿轮的齿根圆、右齿轮齿顶圆、分度圆、做齿轮的齿顶圆、右齿轮的齿根圆
- 注意：如果小齿轮的轮齿画在大齿轮上方，则大齿轮的齿顶圆及其边缘部分不可见（或画为虚线）；如果大齿轮轮齿在小齿轮上方，则小齿轮的齿顶圆被大齿轮覆盖的部位不可见如图例左（或画为虚线，如图例右）。我们统一把虚线部位都不画。



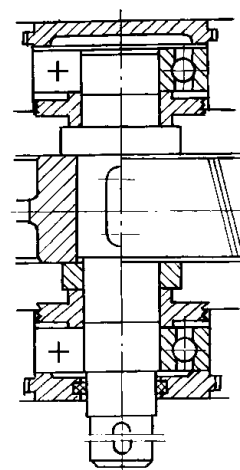
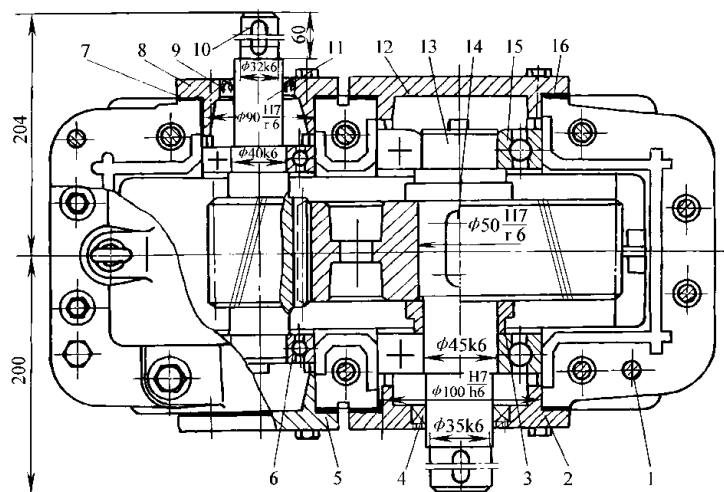
画减速器上的螺栓组、螺钉

- 除了地脚螺钉不画以外，从Md1、Md2、Md3、每样螺钉（螺栓）都要画一个（其余的用表示螺栓位置的点划线表示即可），注意在三个视图上螺钉和螺栓的位置要对应好。在俯视图上，画出螺栓的孔内必须画出螺栓的截面，没有画螺栓的孔，就仅仅画出孔，不必再画螺栓（视图对应）
- 起盖螺钉和定位销也要画出，其型号按指导书或者手册上提供的选取。其位置与同侧螺栓孔应在一条直线上，以便于加工，并且不能与其他零件发生装配上的干涉。

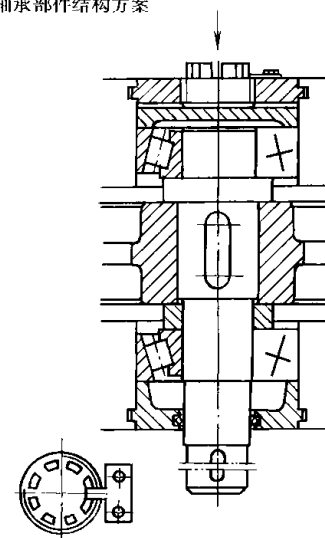
轴承采用油润滑的装配图示例



嵌入式端盖 轴承部件结构方案



轴承间隙不易调整



轴承间隙易调整

轴承采用脂润滑的装配图示例

