

新编 机械设计师手册

徐灏

主编

上册



机械工业出版社

第 6 篇 减速器和无级变速器

第 1 章 减 速 器

1 一般减速器设计资料

1.1 常用减速器的形式和应用

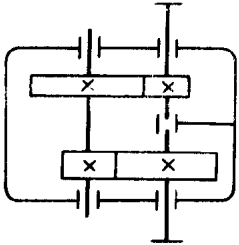
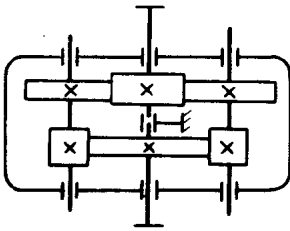
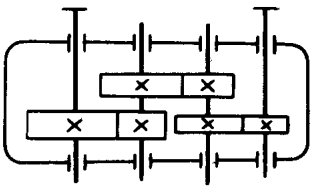
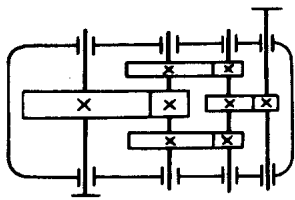
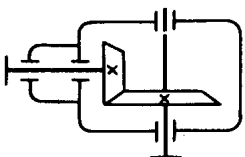
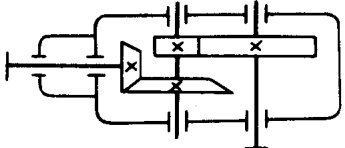
减速器是原动机和工作机之间的独立的闭式传动装置,用来降低转速和增大转矩,以满足工作需要。在某些场合也用来增速,称为增速器。

减速器的种类很多,按照传动类型可分为齿轮减速器、蜗杆减速器和行星减速器以及它们互相组合起来的减速器;按照传动的级数可分为单级和多级减速器;按照齿轮形状可分为圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和圆锥—圆柱齿轮减速器;按照传动的布置形式又可分为展开式、分流式和同轴式减速器。常用减速器形式及其特点和应用见表 6-1-1。

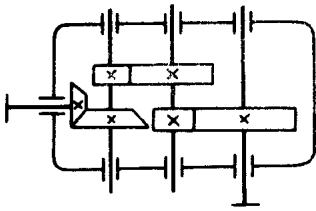
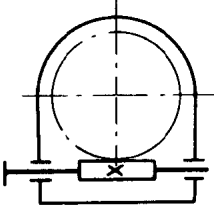
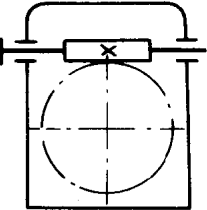
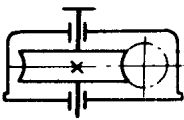
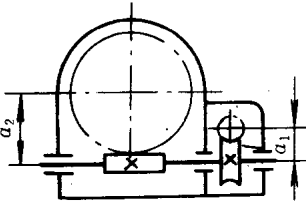
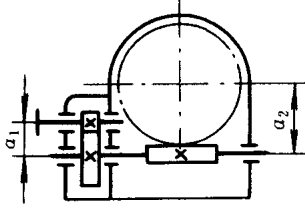
表 6-1-1 常用减速器的型式和应用

名 称		运 动 简 图	推荐传动比	特 点 及 应 用
单级圆柱齿轮减速器			$i \leq 8 \sim 10$	轮齿可做成直齿、斜齿和人字齿。直齿用于速度较低 ($v \leq 8\text{m/s}$) 载荷较轻的传动;斜齿轮用于速度较高的传动,人字齿轮用于载荷较重的传动中,箱体通常用铸铁做成,单件或小批生产有时采用焊接结构。轴承一般采用滚动轴承,重载或特别高速时采用滑动轴承。其他型式的减速器与此类同
两 级 圆 柱 齿 轮 减 速 器	展开式		$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	结构简单,但齿轮相对于轴承的位置不对称,因此要求轴有较大的刚度。高速级齿轮布置在远离转矩输入端,这样,轴在转矩作用下产生的扭转变形和轴在弯矩作用下产生的弯曲变形可部分地互相抵消,以减缓沿齿宽载荷分布不均匀的现象。用于载荷比较平稳的场合。高速级一般做成斜齿,低速级可做成直齿
	分流式		$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	结构复杂,但由于齿轮相对于轴承对称布置,与展开式相比载荷沿齿宽分布均匀、轴承受载较均匀。中间轴危险截面上的转矩只相当于轴所传递转矩的一半。适用于变载荷的场合。高速级一般用斜齿,低速级可用直齿或人字齿

(续)

名 称	运 动 简 图	推荐传动比	特 点 及 应 用
两级圆柱齿轮减速器		$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	减速器横向尺寸较小,两对齿轮浸入油中深度大致相同。但轴向尺寸大和重量较大,且中间轴较长、刚度差,使沿齿宽载荷分布不均匀,高速轴的承载能力难于充分利用
		$i = i_1 i_2$ $i = 8 \sim 60$	每对啮合齿轮仅传递全部载荷的一半,输入轴和输出轴只承受扭矩,中间轴只受全部载荷的一半,故与传递同样功率的其他减速器相比,轴颈尺寸可以缩小
三级圆柱齿轮减速器		$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 40 \sim 400$	同两级展开式
		$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 40 \sim 400$	同两级分流式
单级圆锥齿轮减速器		$i = 8 \sim 10$	轮齿可做成直齿、斜齿或曲线齿,用于两轴垂直相交的传动中,也可用于两轴垂直相错的传动中。由于制造安装复杂、成本高,所以仅在传动布置需要时才采用
两级圆锥-圆柱齿轮减速器		$i = i_1 i_2$ 直齿圆锥齿轮 $i = 8 \sim 22$ 斜齿或曲线齿 锥齿轮 $i = 8 \sim 40$	特点同单级圆锥齿轮减速器,圆锥齿轮应在高速级,以使圆锥齿轮尺寸不致太大,否则加工困难

(续)

名 称	运 动 简 图	推荐传动比	特 点 及 应 用
三级圆锥-圆柱 齿轮减速器		$i = i_1 i_2 i_3$ $i = 25 \sim 75$	同两级圆锥-圆柱齿轮减速器
单级蜗杆减速器	蜗杆下置式 	$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮下方啮合处的冷却和润滑都较好,蜗杆轴承润滑也方便,但当蜗杆圆周速度高时,搅油损失大,一般用于蜗杆圆周速度 $v < 10 \text{ m/s}$ 的场合
	蜗杆上置式 	$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮上方,蜗杆的圆周速度可高些,但蜗杆轴承润滑不太方便
	蜗杆侧置式 	$i = 10 \sim 80$	蜗杆在蜗轮侧面,蜗轮轴垂直布置,一般用于水平旋转机构的传动
两级蜗杆减速器		$i = i_1 i_2$ $i = 43 \sim 3600$	传动比大,结构紧凑,但效率低,为使高速级和低速级传动浸油深度大致相等可取 $a_1 \approx \frac{a_2}{2}$
两级齿轮-蜗杆 减速器		$i = i_1 i_2$ $i = 15 \sim 480$	有齿轮传动在高速级和蜗杆传动在高速级两种型式。前者结构紧凑,而后者传动效率高

(续)

名 称	运 动 简 图	推荐传动比	特 点 及 应 用
行星 齿轮 减 速 器 单级 NGW		$i=2.8\sim12.5$	与普通圆柱齿轮减速器相比,尺寸小,重量轻,但制造精度要求较高,结构较复杂,在要求结构紧凑的动力传动中应用广泛
两级 NGW		$i=i_1i_2$ $i=14\sim160$	同单级 NGW 型

1.2 减速器的基本参数

(2)圆柱齿轮减速器公称传动比系列标准

一级减速器传动比 1.25~7.1,实际传动比允许偏

1.2.1 圆柱齿轮减速器的基本参数

差 $|\Delta_i| \leq 3\%$; 二级减速器传动比 6.3~56, $|\Delta_i| \leq 4\%$; 三级减速器传动比 22.5~315, $|\Delta_i| \leq 5\%$

(1)圆柱齿轮减速器中心距系列标准

(3)圆柱齿轮减速器齿宽系数 ϕ_d 系列

表 6.1-2 一级和二级同轴式减速器的中心距(摘自 GB10090—88) (mm)

63	(67)	71	(75)	80	(85)	90	(95)	100	(106)	112	(118)	125	(132)
140	(150)	160	(170)	180	(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)
315	(335)	355	(375)	400	(425)	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630	(670)
710	(750)	800	(850)	900	(950)	1000	(1060)	1120	(1180)	1250	(1320)	1400	(1500)

注 1. ()中数值为系数 2,其余为系列 1,优先选用系列 1;
2. 当表中数值不够选用时,允许系列 1 按 R20、系列 2 按 R40 优先数系延伸。

表 6.1-3 二级减速器高、低速级中心距 a_1 、 a_2 和总的中心距 a_Σ (摘自 GB10090—88) (mm)

系	a_2	100	112	125	140	160	180	100	224	250	280	315	355
列	a_1	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250
1	a_Σ	171	192	215	240	272	205	340	384	430	480	539	605
系	a_2	106	118	132	150	170	190	212	236	265	300	335	375
列	a_1	75	85	95	106	118	132	150	170	190	212	235	265
2	a_Σ	181	203	227	256	288	322	362	406	455	512	571	640
系	a_2	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400
列	a_1	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
1	a_Σ	680	765	855	960	1080	1210	1360	1530	1710	1920	2150	2400
系	a_2	425	475	530	600	670	750	850	950	1060	1130	1320	
列	a_1	300	335	375	425	475	530	600	670	750	850	950	
2	a_Σ	725	810	905	1025	1145	1280	1450	1620	1810	2030	2270	

表 6-1-4 三级减速器高、中低速级中心距 a_1 、 a_2 、 a_3 和总的中心距 a_Σ

(摘自 GB10090—88)

(mm)

系列 1	a_3	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500
	a_2	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355
	a_1	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250
	a_Σ	311	352	395	440	496	555	620	699	785	880	989	1105
系列 2	a_3	150	170	190	212	236	265	300	335	375	425	475	530
	a_2	106	118	132	150	170	190	212	236	265	300	335	375
	a_1	75	85	95	106	118	132	150	170	190	212	236	265
	a_Σ	331	373	417	468	524	587	662	741	830	937	1046	1170
系列 1	a_3	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400			
	a_2	400	450	500	560	630	710	800	900	1000			
	a_1	280	315	355	400	450	500	560	630	710			
	a_Σ	1240	1395	1565	1760	1980	2210	2480	2780	3110			
系列 2	a_3	600	670	750	850	950	1060	1180	1320				
	a_2	425	475	530	600	670	750	850	950				
	a_1	300	335	375	425	475	530	600	670				
	a_Σ	1325	1480	1655	1875	2095	2340	2630	2940				

表 6-1-5 公称传动比系列(摘自 GB10090—88)

1.25	1.4	1.6	1.8	2	2.24	2.5	2.8	3.15	3.55	4	4.5	5
5.6	6.3	7.1	8	9	10	11.2	12.5	14	16	18	20	22.4
25	28	31.5	35.5	40	45	50	56	63	71	80	90	100
112	125	140	160	180	200	224	250	280	315			

表 6-1-6 齿宽系数 ϕ_d 系列(摘自 GB10090—88)

0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
-----	------	-----	------	-----	------	-----	-----

注: $\phi_d = \frac{b}{a}$, 对人字齿轮(双斜齿轮)为一侧斜齿轮的工作齿宽 b 。

1.2.2 圆柱蜗杆减速器的基本参数

(1) 圆柱蜗杆减速器中心距系列标准

表 6-1-7 中心距 a (摘自 GB10085—88)

(mm)

40	50	63	80	100	125	160	(180)	200
(225)	250	(280)	315	(355)	400	(450)	500	

注: 1. 大于 500mm 的中心距可按优先数系 R20 的优先数选用。

2. 括号中的数字尽可能不采用。

(2) 圆柱蜗杆减速器传动比系列标准

表 6-1-8 传动比 i (摘自 GB10085—88)

5	7.5	10	12.5	15	20	25	30	40	50	60	70	80
---	-----	----	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

注: 10, 20, 40 和 80 为基本传动比, 应优先采用。

圆柱齿轮减速器和圆柱蜗杆减速器的输入和输出轴中心线高度应按 GB12217—90《机器轴高》选取;

圆柱齿轮减速器和圆柱蜗杆减速器的输入和输出轴轴伸尺寸应符合 GB1569—90《圆柱形轴伸》与 GB1570—90《圆锥形轴伸》。

1.3 减速器传动比的分配

当传动比较大时,应采用多级减速器的传动形式。合理地分配各级传动比是非常重要的。因为它直接影响减速器的尺寸、重量、润滑方式和维护等。

分配传动比的基本原则是:

(1)使各级传动的承载能力接近相等(一般指齿面接触强度)。

(2)使各级传动的大齿轮浸入油中的深度大致相等,以使润滑简便。

(3)使减速器获得最小的外形尺寸和重量。

1)两级圆柱齿轮减速器 按齿面接触强度相等及较有利的润滑条件,可按下面关系分配传动比,高速级的传动比 i_1 为

$$i_1 = \frac{i - c \sqrt[3]{i}}{c \sqrt[3]{i} - 1}$$

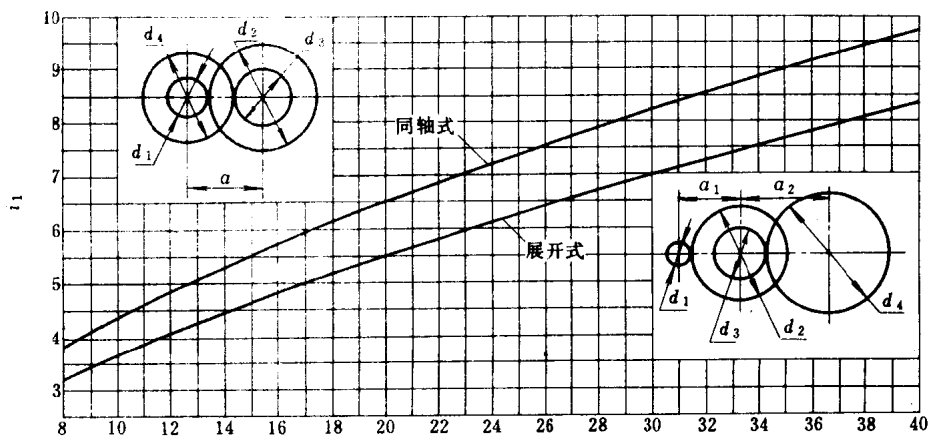


图 6.1-1 两级圆柱齿轮减速器传动比分配线图

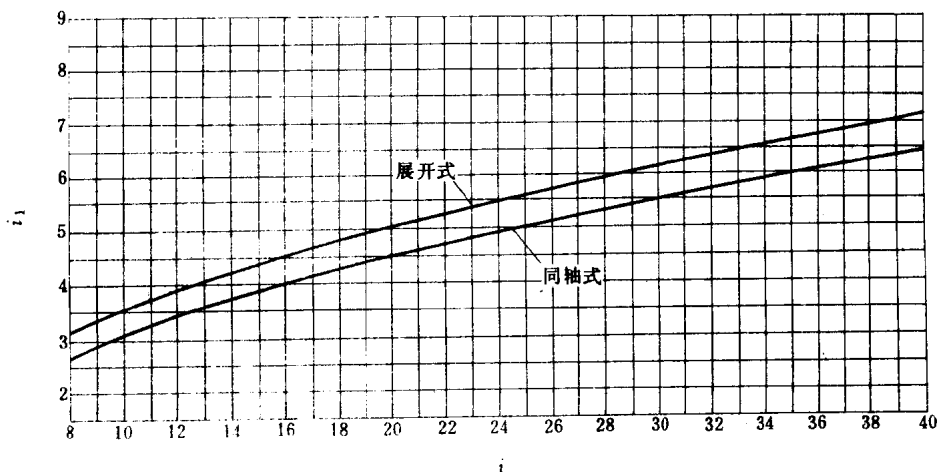


图 6.1-2 两级圆柱齿轮减速器按大轮浸油深度相近传动比分配线图

$$c = \frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_{HP1}}{\sigma_{HP2}}\right)^2 \frac{\varphi_{a2}}{\varphi_{a1}}}$$

式中 i ——总传动比;

a_1, a_2 ——高速级、低速级齿轮传动的中心距;

$\sigma_{HP1}, \sigma_{HP2}$ ——高速级、低速级齿轮的接触疲劳许用应力;

$\varphi_{a1}, \varphi_{a2}$ ——高速级、低速级齿轮的齿宽系数。

当高速级和低速级齿轮的材料和热处理条件相同时,传动比的分配可按图 6.1-1 进行。

两级卧式圆柱齿轮减速器,按高速级和低速级的大齿轮浸入油中的深度大致相等的原则,传动比的分配,可按下述经验数据和经验公式进行:

对于展开式和分流式减速器,由于中心距 $a_2 > a_1$,所以常使 $i_1 > i_2$ 。

对于同轴式减速器,由于 $a_1 = a_2$,应使 $i_1 \approx i_2$ 。

或按下式计算,使浸油深度相等

$$i_1 = \sqrt{i} - (0.01 \sim 0.05)i$$

也可近似地按图 6·1-2 进行传动比分配。为达到等强度要求,应取 $\varphi_{s2} > \varphi_{s1}$ 。

2) 两级圆锥—圆柱齿轮减速器 对这种减速器的传动比进行分配时,要尽量避免圆锥齿轮尺寸过大、制造困难,因而高速级圆锥齿轮的传动比 i_1 不宜太大,通常取 $i_1 \approx 0.25i$,最好使 $i_1 \leq 3$ 。当要求两级传动大齿轮的浸油深度大致相等时,也可取 $i_1 = 3.5 \sim 4$ 。

3) 三级圆柱和圆锥—圆柱齿轮减速器 按各级齿轮齿面接触强度相等,并能获得较小的外形尺寸

和重量的原则,三级圆柱齿轮减速器的传动比分配可按图 6·1-3 进行,三级圆锥—圆柱齿轮减速器的传动比分配可按图 6·1-4 进行。

4) 两级蜗杆减速器 这类减速器,为满足 $a_1 \approx a_2/2$ 的要求,使高速级和低速级传动浸油深度大致相等,通常取 $i_1 = i_2 = \sqrt{i}$ 。

5) 两级齿轮—蜗杆和蜗杆—齿轮减速器 这类减速器,当齿轮传动布置在高速级时,为使箱体结构紧凑和便于润滑,通常取齿轮传动比 $i_1 \leq 2 \sim 2.5$ 。而当蜗杆布置在高速级时,可使传动有较高的效率,这时齿轮传动的传动比 $i_2 = (0.03 \sim 0.06)i$ 为宜。

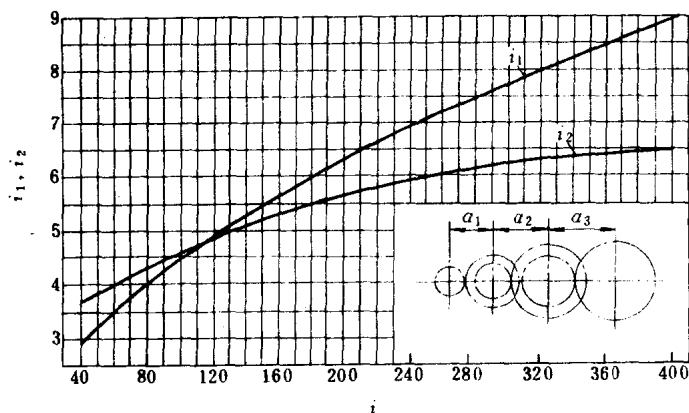


图 6·1-3 三级圆柱齿轮减速器传动比分配线图

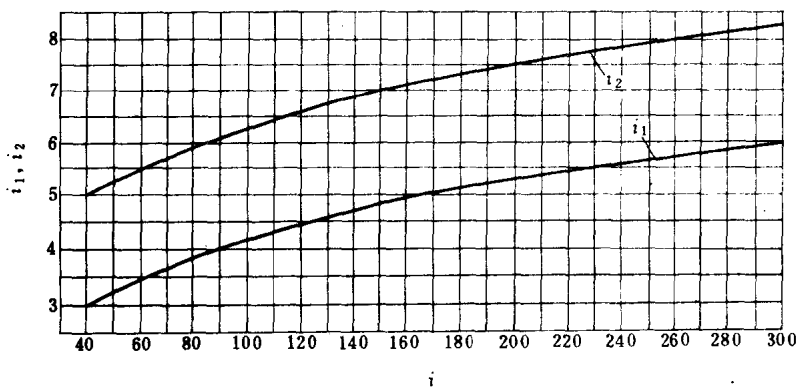


图 6·1-4 三级圆锥—圆柱齿轮减速器传动比分配线图

1.4 减速器的基本构造

减速器主要由传动零件(齿轮或蜗杆)、轴、轴

承、箱体及其附件所组成。图 6·1-5 为单级圆柱齿轮减速器的结构图,其基本结构有三大部分:(1) 齿轮、轴及轴承组合;(2)箱体;(3)减速器附件。

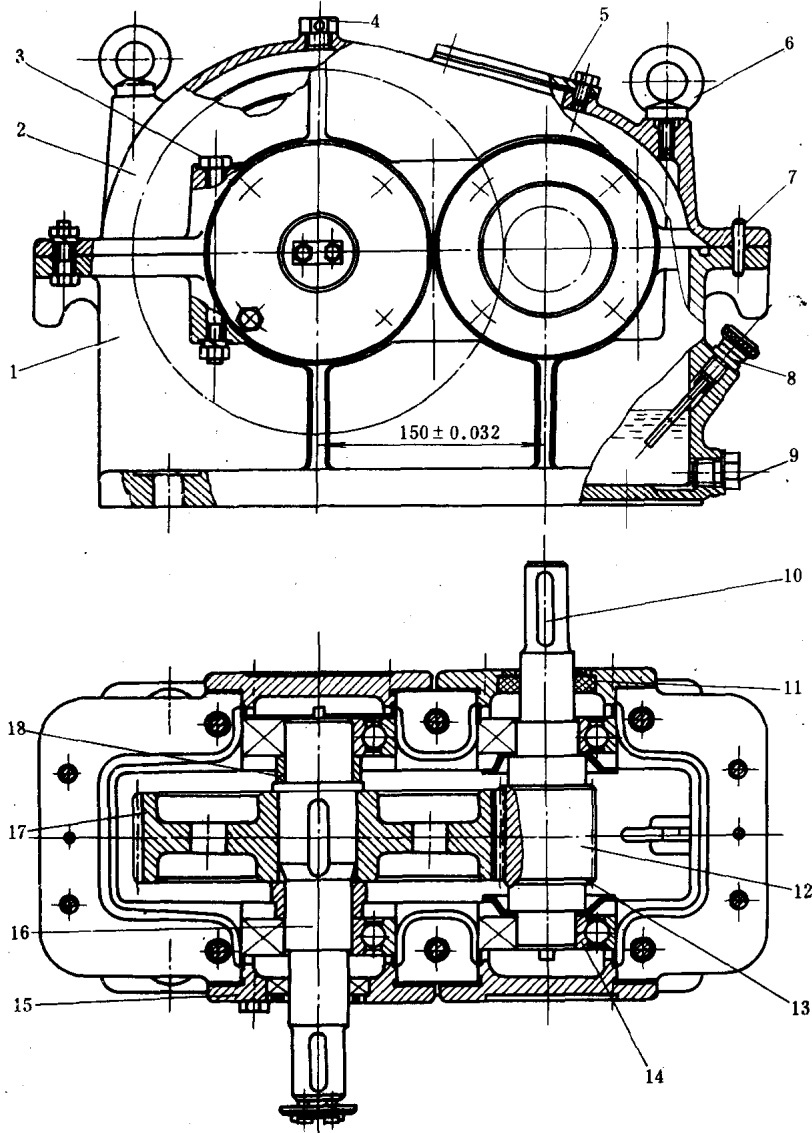


图 6·1-5 减速器的基本结构

- 1—箱座 2—箱盖 3—上下箱联接螺栓 4—通气器 5—检查孔盖板 6—吊环 7—定位销
8—油标尺 9—放油螺塞 10—平键 11—油封 12—齿轮轴 13—挡油盘
14—轴承 15—轴承端盖 16—轴 17—齿轮 18—轴套

1.4.1 齿轮、轴及轴承组合

小齿轮与高速轴制成一体,称齿轮轴。这种结构

用于齿轮直径与轴的直径相差不大的情况下,如果轴的直径为 d ,齿轮齿根圆的直径为 d_f ,则当 $d_f - d \leq 6 \sim 7m_n$ 时,应采用这种结构,而当 $d_f - d > 6 \sim$

7m_s时,采用齿轮与轴分开为两个零件的结构,如低速轴与大齿轮。此时齿轮与轴的周向固定采用平键联接,轴上零件利用轴肩、轴套和轴承盖作轴向固定。

两轴均采用了单列向心球轴承。这种组合,用于承受径向载荷和不大的轴向载荷的情况。当轴向载荷较大时,应采用向心推力轴承或向心轴承与推力轴承的组合结构。图6-1-5中,轴承是利用齿轮旋转时溅起的稀油,进行润滑。箱座中油池的润滑油,被旋转的齿轮溅起飞溅到箱盖的内壁上,沿内壁流到分箱面坡口后,通过导油槽流入轴承。当浸油齿轮圆周速度 $v \leq 2\text{m/s}$ 时,应采用润滑脂润滑轴承,为避免可能溅起的稀油冲掉润滑脂,可采用挡油环将其分开。为防止润滑油流失和外界灰尘进入箱内,在轴承端盖和外伸轴之间装有密封元件。

1.4.2 箱体

箱体是减速器的重要组成部件。它是传动零件的基座,应具有足够的强度和刚度。

箱体通常用灰铸铁制造,对于重载或有冲击载荷的减速器也可以采用铸钢箱体。单件生产的减速器,为了简化工艺、降低成本,可采用钢板焊接的箱体。

图6-1-5中的箱体是由灰铸铁制造的。灰铸铁具有很好的铸造性能和减振性能。为了便于轴系部件的安装和拆卸,箱体制成沿轴心线水平剖分式。上箱盖和下箱体用螺栓联接成一体。轴承座的联接螺栓应尽量靠近轴承座孔,而轴承座旁的凸台,应具有足够的承托面,以便放置联接螺栓,并保证旋紧螺栓时需要的扳手空间。为保证箱体具有足够的刚度,在轴承孔附近加支撑肋。为保证减速器安置在基础上的稳定性并尽可能减少箱体底座平面的机械加工面积,箱体底座一般不采用完整的平面。图中减速器下箱座底面是采用两纵向长条形加工基面。

1.4.3 附件

为了保证减速器的正常工作,除了对齿轮、轴、轴承组合和箱体的结构设计给予足够的重视外,还应考虑到为减速器润滑油池注油、排油、检查油面高度、加工及拆装检修时箱盖与箱座的精确定位、吊装等辅助零件和部件的合理选择和设计。

(1)检查孔 为检查传动零件的啮合情况,并向

箱内注入润滑油,应在箱体的适当位置设置检查孔。图6-1-5中检查孔设在上箱盖顶部能直接观察到齿轮啮合部位处。平时,检查孔的盖板用螺钉固定在箱盖上。

(2)通气器 减速器工作时,箱体内温度升高,气体膨胀,压力增大。为使箱内热胀空气能自由排出,以保持箱内外压力平衡,不致使润滑油沿分箱面或轴伸密封件等其他缝隙渗漏,通常在箱体顶部装设通气器。

(3)轴承盖 为固定轴系部件的轴向位置并承受轴向载荷,轴承座孔两端用轴承盖封闭。轴承盖有凸缘式和嵌入式两种。图6-1-5中采用的是凸缘式轴承盖,利用六角螺栓固定在箱体上,外伸轴处的轴承盖是通孔,其中装有密封装置。凸缘式轴承盖的优点是拆装、调整轴承方便,但和嵌入式轴承盖相比,零件数目较多、尺寸较大、外观不平整。

(4)定位销 为保证每次拆装箱盖时,仍保持轴承座孔制造加工时的精度,应在精加工轴承孔前,在箱盖与箱座的联接凸缘上配装定位销。图6-1-5采用的两个定位圆锥销,安置在箱体纵向两侧联接凸缘上,对称箱体应呈非对称布置,以免错装。

(5)油面指示器 检查减速器内油池油面的高度,经常保持油池内有适量的油,一般在箱体便于观察、油面较稳定的部位,装设油面指示器,图6-1-5中采用的油面指示器是油标尺。

(6)放油螺塞 为在换油时排放污油和清洗剂,应在箱座底部、油池的最低位置处开设放油孔,平时用螺塞将放油孔堵住。放油螺塞和箱体接合面间应加防漏用的垫圈。

(7)启箱螺钉 为加强密封效果,通常在装配时于箱体剖分面上涂以水玻璃或密封胶,因而在拆卸时往往因胶结紧密难于开盖。为此常在箱盖联接凸缘的适当位置,加工出1~2个螺孔,旋入启箱用的圆柱端或平端的启箱螺钉。旋动启箱螺钉便可将上箱盖顶起。小型减速器也可不设启箱螺钉,启盖时用起子撬開箱盖。启箱螺钉的大小可同于凸缘联接螺栓。

(8)起吊装置 当减速器重量超过25kg时,为了便于搬运,在箱体设置起吊装置,如在箱体上铸出吊耳或吊钩等。图6-1-5中上箱盖装有两个吊环螺钉,下箱座铸出四个吊钩。

1.5 典型减速器结构示例

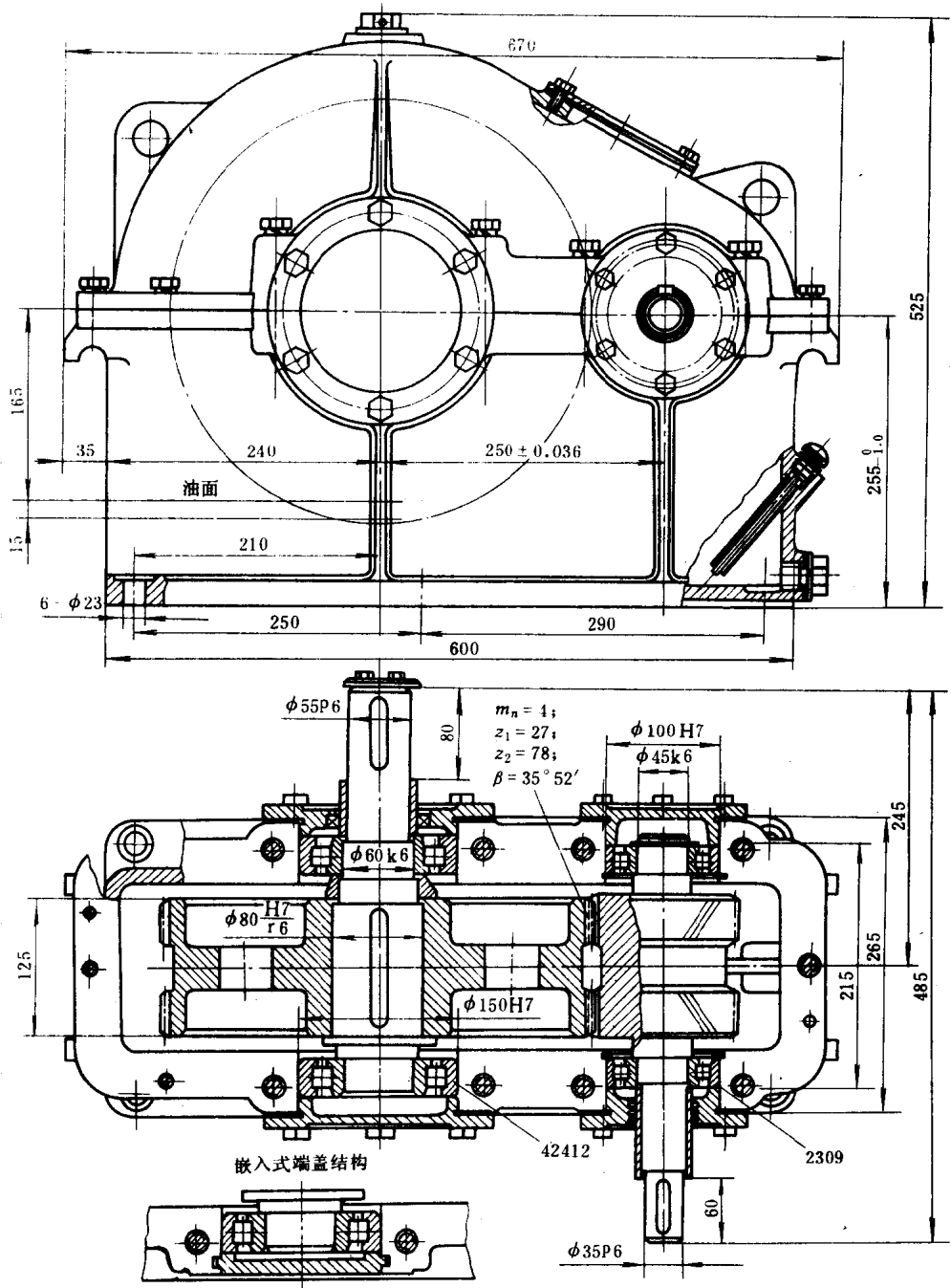


图 6-1-6 单级人字齿轮减速器

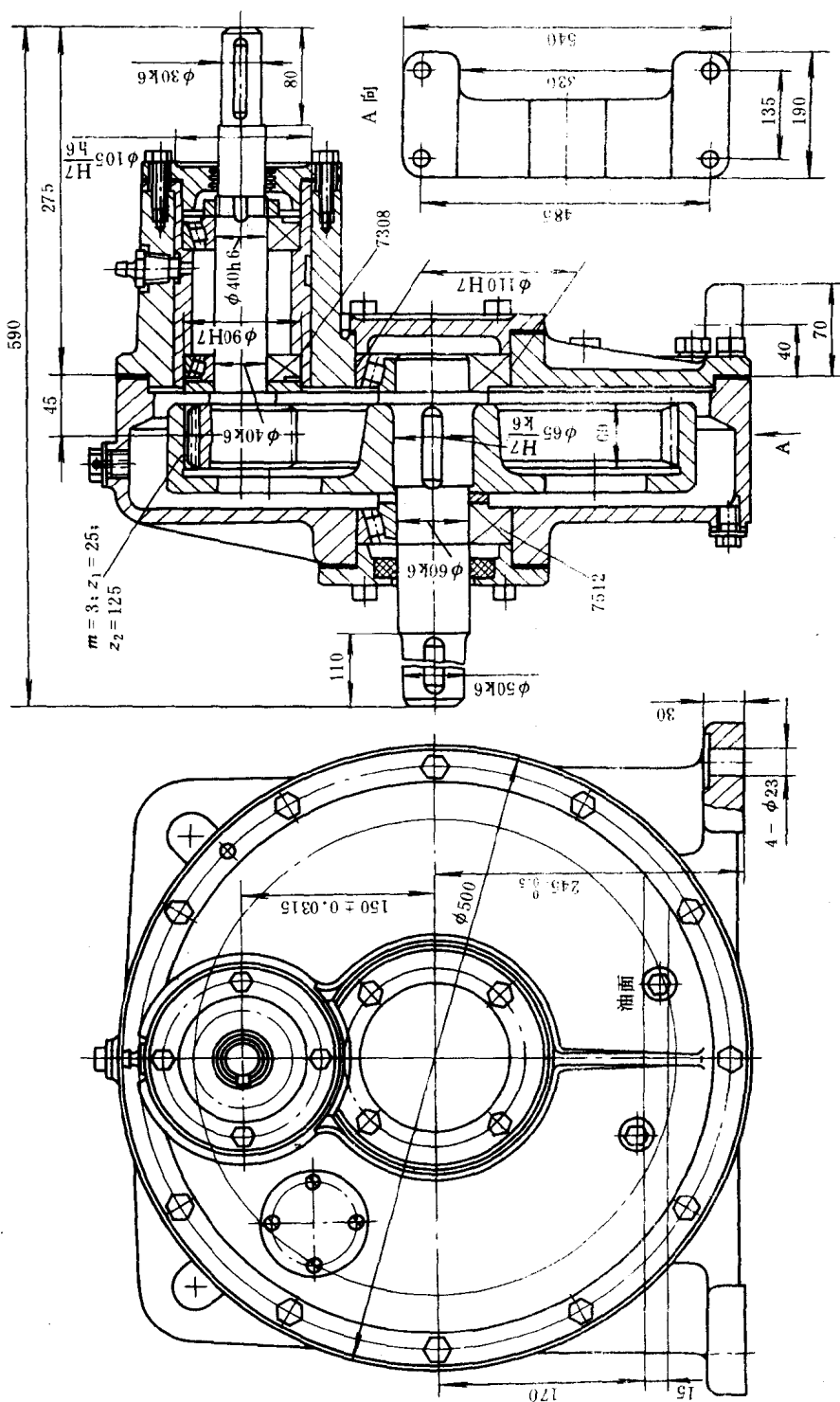
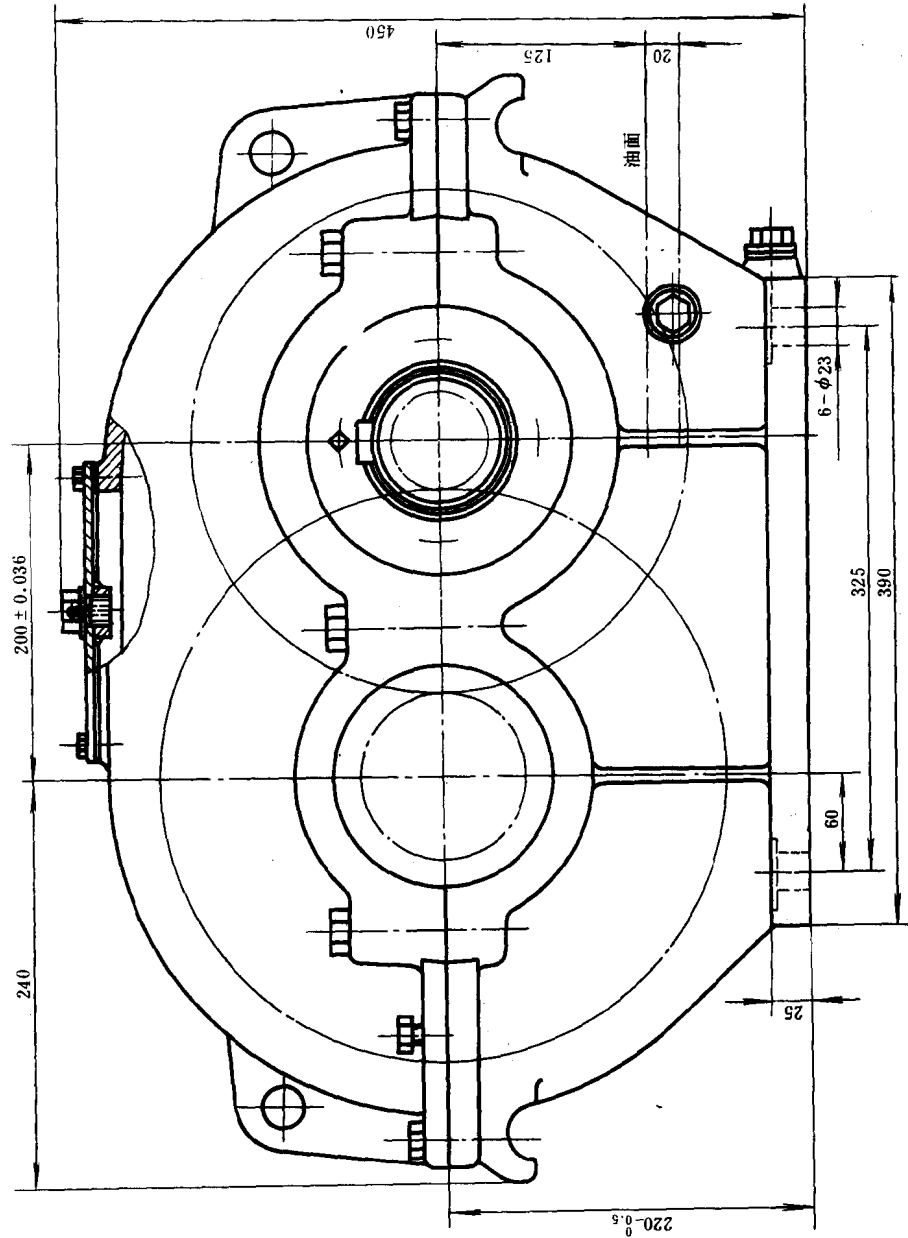
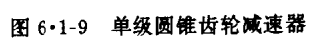


图 6-1-7 两级展开式圆柱齿轮减速器





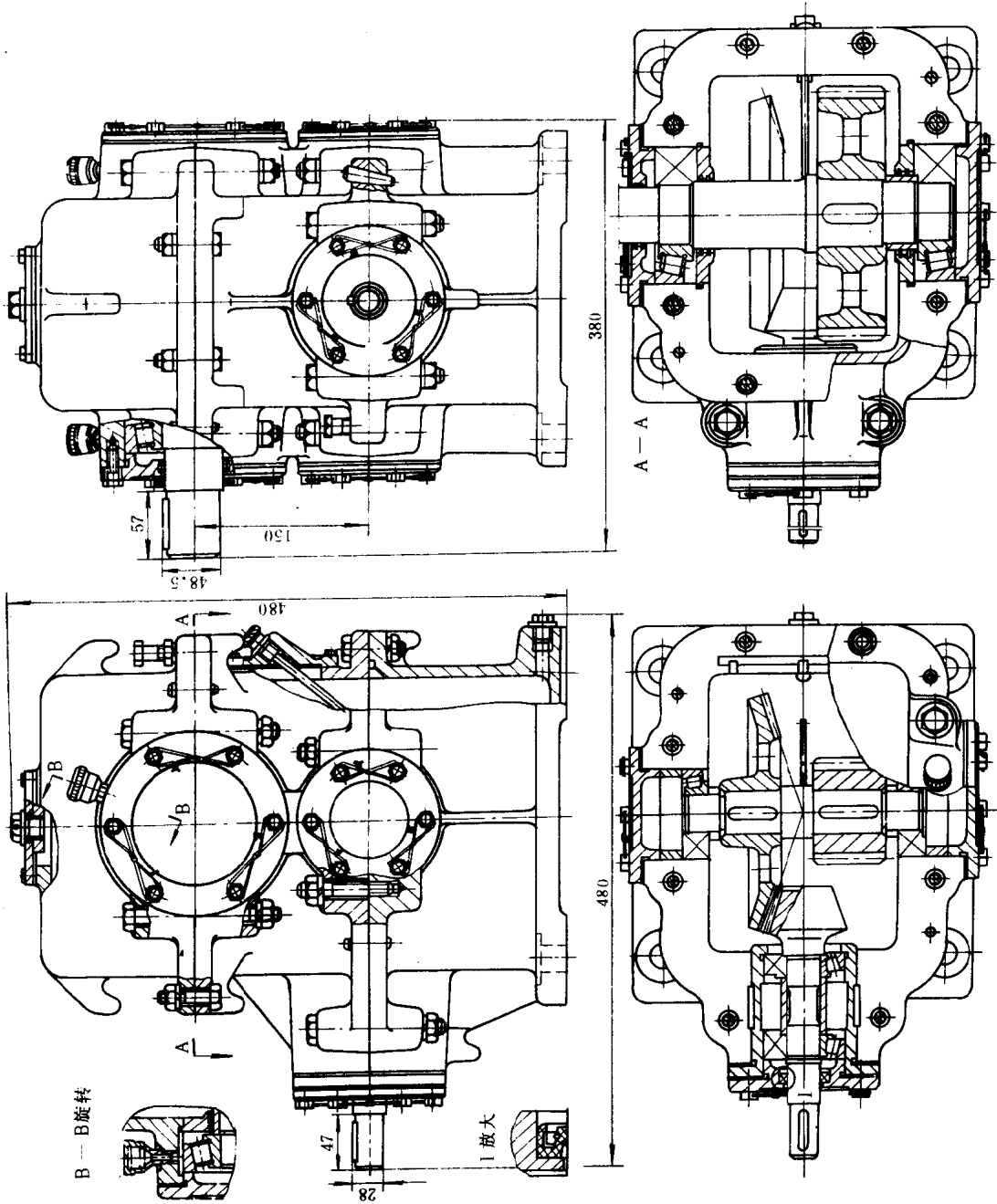


图 6-1-10 圆锥-圆柱齿轮减速器

