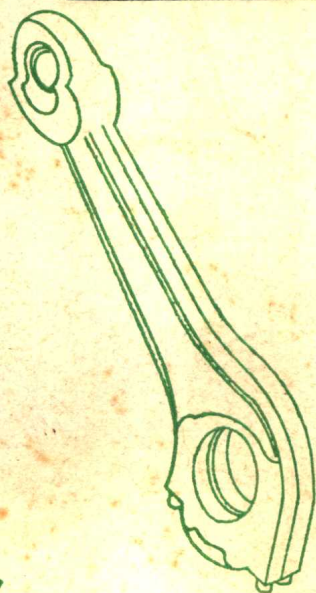


柴油机连杆

的

机械加工



CHAIYOUJI LIANGAN DE JIXIE JIAGONG

夏正权 陈修兴合编·中国铁道出版社

柴油机连杆的机械加工

夏正权 陈修兴 合编

中国铁道出版社出版

责任编辑 刘恭讯

封面设计 关乃平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092_{毫米} 印张：5.625 字数：116 千

1980年8月第1版 1980年8月第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：0.60元

内 容 简 介

本书介绍了中速大功率柴油机连杆的机械加工。书中主要以16240Z柴油机为例，详细叙述了柴油机连杆的结构特点、技术要求、连杆机械加工工艺的基本理论、典型的加工工艺方法、产品检验及质量分析，书末附有挤压丝锥的设计制造。

本书可供从事柴油机设计、制造、运用、维修的工人和技术人员学习参考；亦可供高等院校机械制造专业、柴油机专业的师生学习参考。

目 录

第一章 柴油机连杆的工艺条件分析	1
§ 1—1 连杆的作用及其工作条件.....	1
§ 1—2 连杆的结构特点.....	4
§ 1—3 柴油机连杆材料的性能及特点.....	9
§ 1—4 连杆毛坯的制造.....	11
§ 1—5 连杆的技术条件.....	16
第二章 连杆的机械加工工艺规程设计与分析	19
§ 2—1 概述.....	19
§ 2—2 确定连杆的生产纲领.....	22
§ 2—3 连杆的机械加工工艺过程的分析.....	23
§ 2—4 加工余量和工序尺寸的计算.....	65
第三章 连杆机械加工的典型工序分析	86
§ 3—1 连杆工艺基准的加工.....	86
§ 3—2 连杆粗加工.....	91
§ 3—3 连杆的外形加工.....	100
§ 3—4 连杆分开面加工.....	107
§ 3—5 连杆螺栓孔的加工.....	110
§ 3—6 连杆深油孔的加工.....	125
§ 3—7 连杆的钳工把对.....	129
§ 3—8 连杆大小孔的高速精镗.....	132
第四章 柴油机连杆的加工质量分析	136
§ 4—1 镗杆与导向系统的精度.....	136
§ 4—2 镗孔方式.....	143

§ 4—3	连杆孔的变形	145
§ 4—4	镗孔中的振动	147
§ 4—5	镗孔过程中的爬行	153
第五章	柴油机连杆的精度检验	157
§ 5—1	连杆毛坯的检验	157
§ 5—2	连杆的加工精度检验	158
附 录	挤压丝锥的设计制造	163

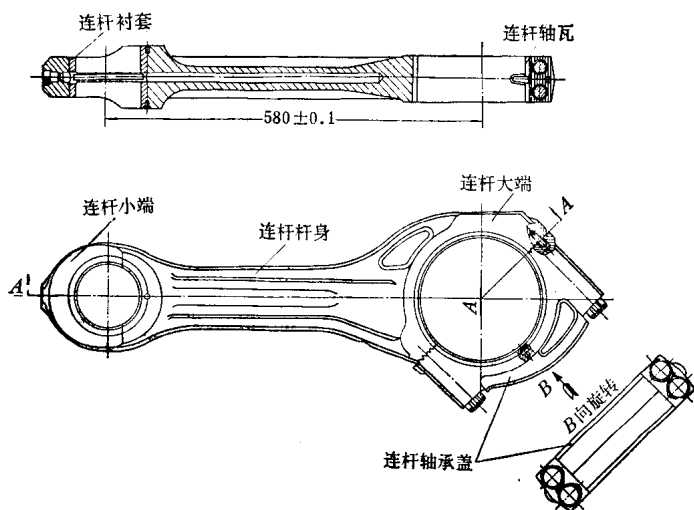
第一章 柴油机连杆的工艺 条件分析

§ 1—1 连杆的作用及其工作条件

连杆是柴油机主要的传力构件之一，它由连杆体、连杆盖、连杆螺栓、大小端轴瓦等组成连杆组。

图 1—1a、b、c 分别为我国内燃机车上常用的 16240Z，12V180ZL 和 12V240Z 柴油机连杆的总成图。

连杆组的作用是把活塞和曲轴连接起来，将作用在活塞上的燃气爆发压力传给曲轴，使活塞的往复直线运动变为曲轴的回转运动，以输出功率。



(a)

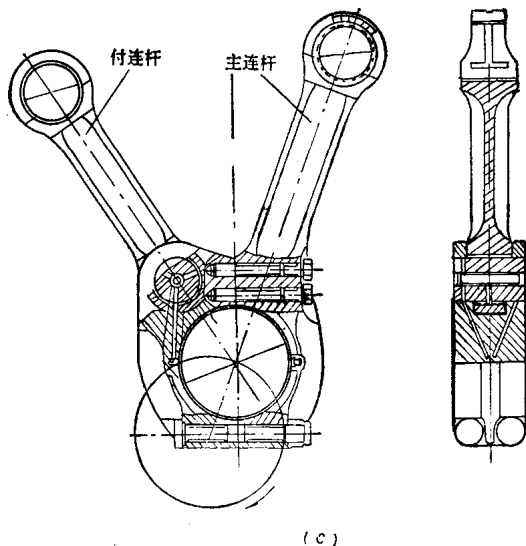
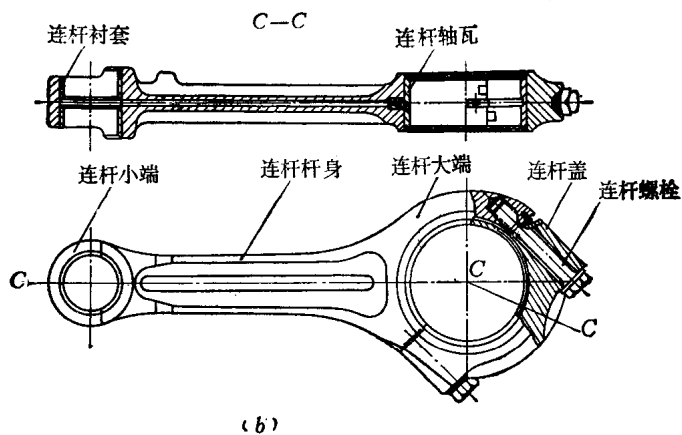


图 1—1 内燃机车柴油机连杆总成图

图 1—2 为曲柄连杆机构示意图。

连杆在工作时，工作条件恶劣，承受着三方面的作用力：

(1) 气缸内的燃气压力。

(2) 活塞连杆组的往复运动惯性力。

(3) 连杆高速摆动时所产生的横向惯性力。

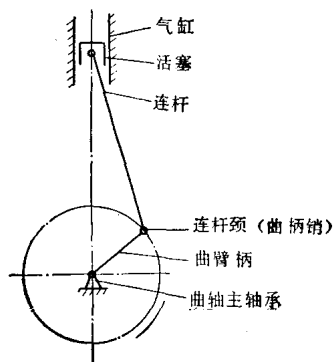


图 1—2 曲柄连杆机构示意图

在燃烧膨胀冲程中，当活塞离开上死点时，由于燃气爆发时的压力升高很快，载荷带有很大的冲击性。这时作用于连杆上的燃气压力的分力 P_z 大于惯性力 P_i ，所以连杆受压缩（见图 1—3 a）。

在进气冲程开始时和排气冲程结束时，作用于连杆上的往复惯性力 P_i 则大大超过燃气压力的分力 P_z ，所以这时连杆承受着往复惯性力的拉伸载荷（见图 1—3 b）。

此外，连杆在高速摆动时所产生的横向惯性力，使连杆在其摆动平面内受到横向弯曲载荷（见图 1—3 c）。

上述这三种作用力的大小和方向，随着曲轴转角的变化都是不断地在变化的。它们综合起来的结果使连杆处于一种交变的复杂受力状态。

由于连杆为一细长杆件，当受压缩或受横向惯性力作用时，若连杆杆身刚度不足，则会使其产生弯曲变形。若在垂直于摆动平面内发生弯曲，则危害更大，将使轴承扭曲，造成轴承不均匀磨损，以致烧损。

因此，要求连杆的重量轻而且具有足够的刚度。杆身有

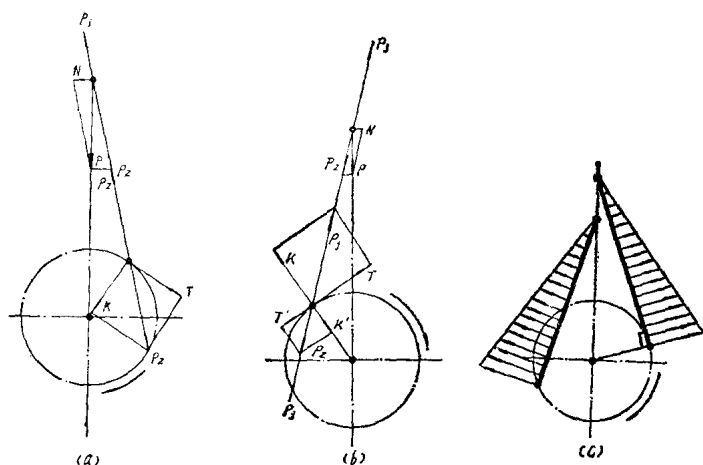


图 1—3 连杆的受力情况

足够刚度，可以预防其工作时发生弯曲变形。连杆的大端和连杆盖有足够刚度，以防大端变形使连杆螺栓承受附加的弯曲应力和大端失圆使轴承润滑破坏。同时，还要求连杆组具有足够的疲劳强度和冲击韧性，否则连杆螺栓、杆身或大端盖将发生断裂，造成重大事故。

提高连杆组的强度和刚度，绝不能单纯用加大截面尺寸的办法来对付，因为尺寸加大后，连杆的惯性力也将增大，连杆的受力条件恶化，使曲轴轴承和连杆轴承的负荷增大，而将带来一系列不良后果。因而要提高连杆的强度和刚度必须从结构型式的设计、材料的选用和提高强度的制造工艺等多方面采取措施，以使连杆在具有最小重量的同时而具有最大的强度和刚度。

§ 1—2 连杆的结构特点

目前，国内制造的内燃机车都是选用V型柴油机。

V型柴油机可以使柴油机的长度大约缩短40%，宽度虽然随V角的增大而有所增加，但高度却降低了。因而V型柴油机可以较好地满足动力装置对界限尺寸紧凑的要求。V型柴油机的比重量可减小15%，如果机体采用钢板焊接或采用轻合金材料则比重量可进一步减轻15~20%。V型柴油机还由于减短了曲轴长度，即重量的减轻，因而相对地提高了曲轴的扭振自振频率。V型柴油机的缺点则是由于结构较为紧凑而给检修、维护等带来影响。

在V型柴油机每排气缸中，左右两个气缸的连杆要同时连接在曲轴的同一直杆颈上，故其连接的方式也就影响到连杆的结构。目前有着三种不同型式的连杆。

1. 并列式连杆（见图1—4）

在曲轴的每个连杆轴颈（又称曲柄销）上，并排安装着两根具有相同结构型式的连杆。称为并列式连杆。与其它型式连杆相比较，并列式连杆的结构最简单，生产和安装也较方便，且造价便宜，又便于更换和维修。采用这种结构型式可以使左右连杆的结构尺寸做到完全相同，两列气缸的活塞连杆组的运动规律完全一致，受力情况也完全相同。并列式连杆在V型柴油机中应用最广。国产的内燃机车柴油机16240Z，12V180ZL和16V200Z均采用并列式连杆。但是，并列式连杆的结构型式使曲轴和柴油机的长度增加，而且降低了曲轴的刚度。

2. 主副式连杆（见图1—5）

主副式连杆又名关节式连杆。其结构特点是两个连杆中一个称为主连杆，通过其上的关节销而联接另一个副连杆。这种结构由于主副连杆合用一个位于主连杆大端里的连杆轴承，因而可以使主连杆大端做得具有足够的刚度；可以使连杆轴承具有较大的宽度，有利油膜压力的分布；而且可以使

曲轴和柴油机的长度最短、刚性最大，从而保证了柴油机的气缸中心距获得最小值。我国12V240Z柴油机即采用了主副式连杆的结构。但是，这种型式结构复杂，造价较贵，而且主气缸和副气缸中的活塞运动规律不同，行程不同，压缩比只能近似相等，作用力及其变化规律也不同，使柴油机平衡困难。

3. 叉片式连杆（见图1—6）

叉片式连杆的特点是一个连杆的大端呈叉形，叫做叉形连杆；另一个连杆的大端插在叉形连杆大端中间的空档中，叫做片式连杆，并且围绕着连杆轴瓦的外表面而摆动。这种结构型式由于两缸的中心线没有错开，因而曲轴和柴油机长度比并列式连杆结构的柴油机长度有所缩短，左右两列气缸活塞具有相同的运动规律。但是，这种连杆型式结构和制造工艺复杂，而且叉形连杆体的叉子受力大，刚度较差，容易发生变形。因此，我国的机车柴油机尚未采用这种型式的连杆。

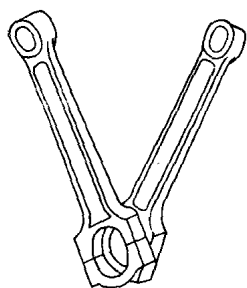


图1—4 并列式连杆

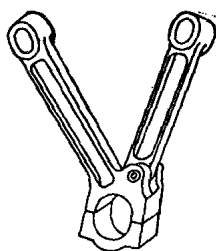


图1—5 主副式连杆

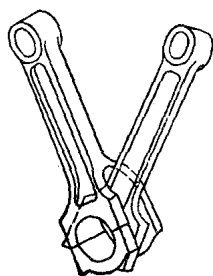


图1—6 叉片式连杆

这三种连杆各有利弊。据有关资料介绍，可以归纳为如下几点：

(1) 从柴油机机械负荷增加而带来的轴承运转是否安全可靠而言, 以主副式连杆为好。

(2) 从左右两列气缸的热力过程的一致性和供油配气机构的简单化而言, 并列式和叉片式连杆处于有利地位, 而主副式连杆居次。

(3) 从机体的工艺、结构而言, 以主副式和叉片式为好。因为每排气缸在同一垂直于曲轴轴线的平面内, 机体是对称的。

(4) 从连杆及轴瓦的结构、工艺而言, 以并列式连杆最为简单, 制造成本最低。

(5) 从柴油机的长度界限而言, 以主副式连杆的效果最佳。

(6) 从轴承的润滑而言, 是并列式连杆最好, 主副式和叉片式居次。

国内外对民用大功率柴油机采用并列式连杆居多, 而且近十年来新设计的柴油机普遍采用并列式连杆。

16240Z柴油机连杆(参见图1—1a)是并列式连杆。连杆小端采用薄壁圆环形结构, 这是因为它形状简单、制造方便、重量轻、受力之后小端中的应力分布比较均匀。连杆小端工作时, 下半部主要承受燃气的爆发压力, 而上半部则承受着活塞组的往复惯性力, 所以连杆小端到杆身的过渡结构对连杆小端的强度有很大的影响, 其切点处常常是应力高峰值的所在地, 因此要求有较大的过渡半径。该连杆小端是由正反两段圆弧 $R86$ 和 $R170$ 过渡, 大端则由正反两段圆弧 $R136$ 和 $R210$ 过渡。连杆大小端孔之间的距离叫做连杆长度。连杆的长短直接影响柴油机的高度及侧压力的大小。较长的连杆能使惯性力增加, 而同时在侧压力方面的改善却并不明显。因此在柴油机设计中, 当连杆的运动不与有关零部

件（活塞、缸套等）相碰时，都力求缩短连杆的长度。连杆杆身的截形十分重要，它应能在保证强度与刚度的前提下又尽量保持较轻的重量，此外还要有利于该截面形状向大端、小端的过渡，因此柴油机连杆杆身常采用工字形截面。16240Z 柴油机连杆就是采用这种截面，中间微胖以便钻削深油孔。

连杆大端是连杆用来连接曲轴的地方。因此大端应有足够的刚度以保证薄壁轴瓦的工作性能以及连杆螺栓工作的可靠性，同时大端重量必须尽量轻，以减轻连杆轴承和主轴承的负荷及磨损。但大端的外形尺寸受柴油机结构的限制，例如16240Z柴油机由于采用并列式连杆，故连杆大端的宽度受连杆轴颈宽度的限制而定为72毫米；连杆大端的外形尺寸在装配时受气缸套内径 $\phi 240$ 毫米的限制而定为239毫米；连杆大端孔径受曲轴连杆轴颈直径的限制而选定为 $\phi 205$ 毫米。

连杆大端剖开型式采用 45° 斜切口型式，并用四个连杆螺栓（ $M22 \times 2 - 1$ ）连接。这是为了在满足连杆组能从气缸拆出的条件下，较大地增加曲轴连杆轴颈直径。但斜切口给连杆螺栓带来除受往复惯性力的拉伸作用外还承受剪切作用，为此在斜切口处采用了锯齿形结构，以供安装定位及承受剪切，从而改善了连杆螺栓的受力状况。锯齿形容易产生应力集中，这就要求在机械加工时严加注意。

连杆大端有四个螺孔 $M22 \times 2 - 1$ ，其尺寸和布置对连杆大端的结构有很大影响。螺孔的直径由强度计算来确定。螺孔的中心距要尽量小，使螺栓尽可能靠近曲轴的连杆轴颈，以减小连杆大端所受的弯矩，减小大端的外形尺寸和重量。但螺孔外侧的壁厚则不宜太薄，否则刚度过小，连杆受拉时大端孔将产生变形。

连杆盖采用凸筋来提高其刚度。在连杆盖内圆弧面上有

一条半圆形油槽与连杆体大端的斜油孔相通。盖的外圆弧面到连杆螺栓肩面的过渡处有着非常显著的应力集中，故必须保持有光滑的圆角过渡。

连杆的复杂外形决定了必须力求用模锻生产。连杆的受力情况及高强化水平（平均有效压力 P_e 、活塞平均速度 C_m ）要求有高强度的材料以及很好的表面质量以提高其抗疲劳性能。

为了增加连杆小端与活塞销座两侧相对应之处的承压面积，以减少表面的单位压力，将销座及连杆小端做成有差异的支承面（见图1—7）。

为了减少磨损和便于修理，在连杆小端孔中压入内表面带有螺旋形油槽的锡青铜衬套。

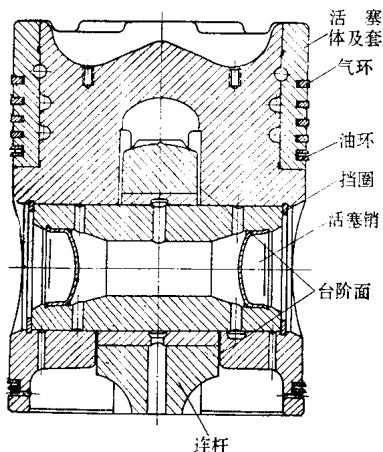


图1—7 差异支承面

§ 1—3 柴油机连杆材料的性能及特点

如上所述，柴油机连杆在整个工作过程中受拉伸、压缩以及惯性力和连杆力矩所生成的交变载荷。尤其是大功率柴油机的工作条件更为艰苦。因此必须保证连杆具有足够的疲劳强度及结构刚度。这就要求在连杆材料的选择上针对具体的柴油机而采用高强度材料并辅以综合措施。目前用于连杆的材料多为中碳钢，而对大功率柴油机连杆则大多采用高强度合金钢。

16240Z柴油机连杆和 12V240Z 柴油机连杆的材料 同样选用合金中碳结构钢42CrMo。它的成分是：

碳 (C) 0.38~0.45%

硅 (Si) 0.17~0.27%

锰 (Mn) 0.50~0.80%

铬 (Cr) 0.90~1.20%

钼 (Mo) 0.15~0.25%

选用中碳结构钢是因为它在经过调质热处理之后能够发挥良好的机械性能。加进少许合金元素是为了再提高其机械性能。

锰是一种资源丰富、价格便宜的合金元素。在中碳钢中加入0.50~0.80%的锰元素能提高钢的机械性能，使钢具有较高的拉伸强度极限 σ_b 、较高的硬度HB及较好的韧性。

铬是比较贵重的元素，在高温氧化后能形成一层紧密的氧化物而保护金属。含铬超过12~18%就形成不锈钢。含铬少量能使钢大幅度的提高拉伸强度极限 σ_b 和硬度HB，但其缺点是使钢稍稍降低塑性和韧性。含铬还能增加钢在热处理时的稳定性。

钼是贵重的合金元素，熔点在 2622°C。它加入钢中能使钢具有耐热性，同时，还能使钢具有较大的强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 和很好的塑性。

铬钼钢经过调质热处理后具有纤维断面，这对受冲击、受交变载荷的部件特别有用，在很多情况下可以用它代替较贵重的铬镍钢来制造重要的机件。虽然铬钼钢具有很高的强度，但它对应力集中很敏感，因此制造连杆时，对连杆外形、过渡圆角等的设计和加工，一定要严加注意。一般还要用光测弹性力学的方法来核实应力分布的情况，也可以用快速疲劳试验以考核设计。

16240Z柴油机连杆经调质热处理之后，要求的机械性能是：

拉伸强度极限 $\sigma_b \geq 95$ 公斤/毫米²

屈服极限 $\sigma_s \geq 80$ 公斤/毫米²

伸长率 $\delta_5 \geq 12\%$

收缩率 $\psi \geq 45\%$

冲击韧性 $\alpha_k \geq 8$ 公斤·米/厘米²

调质热处理后钢的硬度HB285~321。连杆纵剖面的金属宏观组织，其纤维方向应沿着连杆中心线并与连杆外形相符，不得有环曲和断裂，不允许有裂纹、疏松、气泡、分层、气孔、夹灰等缺陷。连杆材料的显微组织则应该是均匀的细晶粒结构。以索氏体为基体的金相组织必须符合标准，其铁素体不应大于6%。只有在材料的热处理工艺正常后才允许不进行金相组织检查。

同炉热处理的连杆应切取性能试验的试样，批量生产而且质量稳定时，才可允许采用模拟试棒。试件尺寸及试验方法必须分别符合国家标准GB228—63, GB229—63和GB231—61的规定。

§ 1—4 连杆毛坯的制造

大功率柴油机连杆的毛坯，目前国内除了个别工厂采用模锻外，大部分工厂由于受到大型模锻设备的限制，而采用自由锻。自由锻造的连杆毛坯与模锻比较，其材料利用率低，劳动生产率低，机械加工费时，成本高，是一种比较落后的工艺。

国内有关研究单位曾对大功率柴油机连杆的自由锻和模锻工艺的劳动生产率、材料利用率、生产成本等几方面作过一些分析比较。

(1) 劳动生产率与质量——因为模锻的连杆毛坯是在经过机械加工具具有一定精度要求的锻模上进行整体锻造和强迫成形的。因此，生产率高，质量好。其生产率比自由锻提高10倍以上，比较数据见表1—1。

劳 动 生 产 率 比 较 表1—1

柴油机 型 号	自由锻时 锻件重量 (公斤)	锻锤规模 (吨)			每台锻锤班产量(件)			模锻与自 由锻比较
		模锻	自由锻	胎模锻	模锻	自由锻	胎模锻	
16240 Z 12V230	50~70	5	1	1	40~80	4~8	4~8	提高10倍
6250 6300 8300	75~150	10	2	2	30~60	3~6	3~6	提高10倍
6320 6390	250~450	16	3	3	20~40	2~4	2~4	提高10倍

(2) 材料利用率——模锻的连杆毛坯比自由锻节约钢材1倍（因为工字形的杆体外形可以直接锻出）左右，比胎模锻可以节约钢材50%，比较数据见表1—2。

材 料 利 用 率 比 较 表1—2

柴油机型号	毛坯余量 (mm)	净重和毛重之比	材料利用率(%)	锻造工艺
12V180 12V230	15~30	1:2.6~3.0	38.5~40	自由锻
6250	10~20	1:1.8~2.0	50~55.5	胎模锻
16V240 6390	3~12	1:1.4~1.5	66.7~71.5	模 锻

(3) 成本——模锻的连杆毛坯，不论是锻造加工费，还是材料费都比自由锻减少1倍以上，并能节约机械加工工时 $3/5 \sim 2/3$ ，零件成本的成本单价降低1.2~4.5倍，比较数据见表1—3。

16240Z柴油机连杆采用连杆体与连杆盖分开模锻的锻