

内燃机连杆的工艺设计

李淑玲, 龚磊, 高广林

(渤海石油装备(天津)新世纪机械制造有限公司, 天津 300280)

摘要: 设计的先进性和加工工艺的合理性是提高连杆寿命、保证内燃机正常运转的重要保证。通过对某型内燃机连杆结构特点的分析, 根据设计要求, 制定了连杆的加工工艺路线。并就工艺方案的经济性分析进行了探讨。

关键词: 连杆; 设计; 工艺

中图分类号: TK423.3+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)02-0048-04

Process Design of Connecting Rod of Internal Combustion Engine

Li Shuling, Gong Lei, Gao Guanglin

(The Bohai Sea Oil Equipment New Century Machinery Manufacturing Co., Ltd., Tianjin 300280)

Abstract: The advanced design and reasonable machining processes are the most important guarantee of improving the life of the connecting rod and making sure that the engine operates normally. By analyzing structure characteristics, the machining processes of the connecting rod are determined according to the design requirements. Moreover, the economic performance of this program is discussed.

Keywords: connecting rod; design; process

0 引言

连杆是发动机中的重要零部件, 连杆在工作中承受冲击动载荷, 因此要求连杆质量小、强度高、刚度好。由于连杆的外型较复杂, 不易定位, 而且大、小头靠细长的杆身连接, 刚性较差, 容易变形; 同时, 尺寸公差、形状和位置公差要求很严, 内孔表面要求粗糙度小。这些给连杆的机械加工带来了许多困难。锻件的精度与定位基准的选择对保证连杆的加工是很重要的。在确定连杆的工艺过程时应注意以下几点:

- (1) 应符合“基准统一”原则, 尽量避免基准的更换, 以减少定位误差;
- (2) 工件夹紧点要选择在刚性较好的部位;
- (3) 设计工艺用定位凸台, 作为辅助基准;
- (4) 要求较高的表面可按粗加工、半精加工、精加工等阶段分别进行, 在粗、精加工之间可安排

其他表面的加工, 以保证工件有充分变形时间, 在以后的精加工中即能消除这些变形的影响。

1 连杆加工工艺过程设计

1.1 结构分析

连杆由连杆体及连杆盖两部分组成。杆身多为工字型断面, 大头孔用连杆螺栓和螺母与曲柄轴颈装配在一起, 孔内装有薄壁轴瓦(因薄壁双金属轴瓦互换性较好, 故应用较广), 钢质瓦背内表面浇有一层耐磨合金。为便于从气缸中装卸, 大头接合面做成斜切口。定位方式有销钉定位、套筒定位、齿形定位和凸肩定位。小头孔内压入青铜衬套, 用以补偿磨损, 便于更换。小头、大头与杆身采用较大圆弧过渡, 以获得足够的强度和刚度。

大多数汽车的连杆都是以垂直于杆身轴线的平面作为连杆体和连杆盖的结合面。有些发动机的曲轴由于提高强度、刚度和减小轴承比压的需要, 增

收稿日期: 2013-07-30; 修回日期: 2013-10-08

作者简介: 李淑玲(1980-), 女, 工程师, 主要研究方向为发动机零部件制造工艺研发, E-mail: wugliang@cnpc.com.cn。

大了连杆轴径，因此，连杆大头的外部尺寸略大于气缸直径，导致连杆大头不能从气缸孔中抽出。为了便于装卸，将连杆大头的结合面做成与连杆杆身轴线成 45° 斜面。

连杆的大头和小头端面与杆身对称。有些连杆在结构上有工艺凸台、中心孔等，作为机械加工时的辅助基准。

1.2 加工技术要求

(1) 连杆小头孔的尺寸公差不低于IT7，表面粗糙度 Ra 不大于 $0.80\ \mu\text{m}$ ，圆度公差等级不低于7级。小头衬套孔的尺寸公差不低于IT6，表面粗糙度 Ra 值不大于 $0.40\ \mu\text{m}$ ，圆柱度公差等级不低于6级。

(2) 连杆大头孔的尺寸公差与所用的轴瓦的类型有关。当直接浇铸巴式合金时，大头底孔为IT9；当采用厚壁轴瓦时，大头底孔尺寸公差为IT8；当采用薄壁轴瓦时，大头底孔尺寸公差为IT6，表面粗糙度 Ra 值不大于 $0.80\ \mu\text{m}$ ，圆柱公差等级不低于6级。

(3) 连杆小头孔及小头衬套孔轴线相对连杆大头孔轴线的平行度，在大、小头孔轴线所决定的平面的平行方向上，平行度公差值应不大于 $100:0.03$ ；垂直于上述平面的方向上，平行度公差值应不大于 $100:0.06$ 。连杆大、小头孔中心距的极限偏差为 $\pm 0.05\ \text{mm}$ 。

连杆大头两端面对连杆大头孔轴线的垂直度公差不应低于8级。两端面表面粗糙度 Ra 值不大于 $1.25\ \mu\text{m}$ 。

(4) 为了保证发动机运转平稳，对于连杆的重量及装在同一台发动机中的连杆重量差都有要求，为 $\pm 2\%$ 。有些对运转平稳性要求高的发动机，对连杆小头重量和重量也分别给以规定。

(5) 连杆总成的重量与整台发动机上的一组连杆的重量差，应符合产品图纸的规定。

1.3 连杆的材料选择及切削加工性

此连杆的连杆体与连杆盖材料均选用45号钢。

1.3.1 连杆材料的性能分析

- (1) 具有较高的机械强度和刚度；
- (2) 具有较高的抗疲劳强度；
- (3) 为减小惯性力，尽量减轻杆身重量。

1.3.2 连杆材料的切削加工性

此材料的硬度较低，所以加工性较好，可用刀具进行加工；同时此材料的各项性能也较好。

1.4 连杆的机械加工工艺流程

1.4.1 工艺特点

- (1) 连杆体和盖厚度不一样，改善了加工工艺

性。由于加工面小，冷却条件好，不易产生加工振动和磨削烧伤。连杆体和盖装配后不存在端面不一致的问题，故连杆两端面的精磨不须要在装配后进行，可在螺栓孔加工之前。螺栓孔、轴瓦对端面的位置精度可由加工精度直接保证，而不会受精磨加工精度的影响。

(2) 连杆小头两端面由斜面和一段窄平面组成。这种楔形结构的设计可增大其承压面积，以提高活塞的强度和刚性。在加工方面，与普通连杆相比，增加了斜面加工和小头孔两斜面上倒角工序；用提高零件定位及压头导向精度来避免衬套压偏现象的发生，但却增加了压衬套工序加工的难度。

(3) 带止口斜结合面。连杆结合面结构种类较多，有平切口和斜切口，还有键槽形、锯齿形和带止口的。该连杆为带止口斜结合面。

精加工基准采用了无间隙定位方法，在产品设计时定出定位基准面。在连杆杆和总成的加工中，采用杆端面、小头顶面和侧面、大头侧面的加工定位方式；在螺栓孔至止口斜结合面加工工序的连杆盖加工中，采用了以其端面、螺栓两座面、一螺栓座面的侧面的加工定位方法。这种重复定位、夹紧方式，精度高且稳定可靠，零件变形小，操作方便，能通用于从粗加工到精加工中的各道工序。由于定位基准统一，使各工序中定位点的大小及位置也保持相同。这些都为稳定工艺，保证加工精度提供了良好的条件。

1.4.2 工艺分析

从加工精度的角度来看，此零件的加工精度要求特别高，对加工设备、加工刀具、操作工人的技术水平等都有一定要求。从零件的加工角度，工件的上下表面的平行度、两孔轴线位置精度和孔对轴线的要求、孔的圆度与同轴度、粗糙度等都是加工的难点，必须采用相应的措施加以保证。为了保证位置精度，必须选择精度较高的夹具以保证两轴线的位置关系；同时选择技术高的工人是保证加工要求的另一个重要因素。

1.4.3 定位基准的选择

连杆加工工艺过程的大部分工序都采用统一的定位基准：一个端面、小头孔及工艺凸台。这样既可保证加工精度，又因端面的面积大，定位也较稳定。以端面、小头孔作为定位基准，也符合基准重合原则。根据连杆加工工艺要求，可设置工艺凸台。

(1) 粗基准的选择

为了保证小头孔的壁厚均匀，在钻小头时，选小头孔不加工的外圆作为粗基准。在毛坯制造时往

往在杆身的一侧作出定位标记(凸起球面),以大、小头端面定位时就能区别两个端面。粗加工大、小头两端面时,先选取没有凸起标记一侧的端面,在以后的大部分工序都以此端面作为精基准,这样可以保证两端面的厚度和两端面的平行度,并使作为精基准的端面有较好的表面质量。

(2) 精基准的选择

在整个加工过程中,各工序尽量保持基准统一,选用连杆端面(没有凸起标记一侧的端面)、经过钻削的小头孔及连杆大端经过加工的侧面作为辅助定位基准。大、小头精加工时,往往是大、小头孔互为基准。

1.4.4 加工阶段的划分

连杆的机械加工工艺流程可分为三个阶段。

(1) 连杆体和连杆盖合并前分别加工

基准面的加工,包括钻削和拉削连杆小头孔,粗磨大头端面与小头端面和连杆盖两端面以及拉削连杆体及连杆盖两侧面。

次要面的加工,如铣连杆体和盖的轴瓦定位槽,铣油槽、钻大头的不同直径的同心孔等。

为了准备连杆体及盖合并起来的加工,如接和面的拉削和精磨、连杆体两螺栓平面拉削等。

在粗加工和半精加工方面,如粗加工连杆体和盖的半圆孔等,还包括切除毛坯的大部分余量,使工件的内应力重新分布,为精加工作好准备。

(2) 连杆体和连杆盖的合并加工

连杆体和盖合并后集中在一个工序钻、铰连杆总成螺栓孔(便于提高生产率和保证螺栓导孔的精度),还进行扩大头孔及精磨大、小头端面等,这可作为粗加工和精加工的过渡阶段。在这个阶段中,工件能变形,同时提高基准精度(粗磨大、小头端面),都是为精加工大、小头孔做好准备。

(3) 精加工大、小头孔

这个阶段包括精镗和珩磨大头孔,将衬套压入小头孔以及挤压和金刚镗衬套孔等。

在这三个阶段中,根据需要穿插其他一些工序,如倒角、去毛刺、检验、装螺栓和螺母、称重、分组、修正重量、清洗及校正等。

1.4.5 工艺流程

连杆体加工的工艺流程是:拉大小头两端面→粗磨大小头两端面→拉连杆大小头侧定位面→拉连杆盖两端面及杆两端面倒角→拉小头两斜面→粗拉螺栓座面,拉配对打字面、去重凸台面及盖定位侧面→粗镗杆身下半圆、倒角及小头孔→粗镗杆身上半圆、小头孔及大小头孔倒角→清洗零件→零件探伤、退磁→精铣螺栓座面

及 R5 圆弧→铣断杆、盖→小头孔两斜端面上倒角→精磨连杆杆身两端面→加工螺栓孔→拉杆、盖结合面及倒角→去配对杆盖毛刺→清洗配对杆盖→检测配对杆盖结合面精度→人工装配→扭紧螺栓→打印杆盖配对标记号→粗镗大头孔及两侧倒角→半精镗大头孔及精镗小头衬套底孔→检查大头孔及精镗小头衬套底孔精度→压入小头孔衬套→称重去重→精镗大头孔、小头衬套孔→清洗→最终检查→成品防锈。

2 工艺规程设计

2.1 加工阶段的划分

根据加工过程可以把加工过程分为三个阶段:连杆体的加工,连杆盖的加工,连杆总成的加工。

2.2 连杆的主要加工工序分析

(1) 连杆大、小头端面的加工

连杆大、小头端面是整个加工过程中的主要定位基准面,故首先加工该表面,它的加工质量对整个连杆的加工质量有重要影响。

无论是连杆加工中的哪一道工序,压紧力都不能加在杆身上,否则会引起连杆变形。

大、小头端面的加工,在连杆体和盖合并以前,采用铣削、拉削或磨削;在合并以后则要进行精磨,以保证连杆体和盖的端面在同一平面上。毛坯两端面采用模锻并经过精压,如果加工余量控制在每边为 0.8~1 mm 范围内,可直接磨削;每边余量在 1.5 mm 以上者,则采用铣、磨削较为合理。

(2) 铣削大、小头端面

两端面互为基准,分两个工位进行。第一工位以没有凸起标记一侧的端面为粗基准,加工另一侧的大、小头端面,可用两个刀盘进行粗铣和精铣各一次。第二工位工件翻转,以有凸起标记一侧的端面定位,粗、精铣另一侧的大、小头端面。因此,没有凸起标记一侧的端面精度较高,以后的工序都用此面定位,以保证基准的统一和加工精度。

当连杆体和盖分别加工时,合并以后两者的厚度不一致,接和面与大头端面不垂直,以致大、小头端面不在一个平面上。因此合并后端面要精磨一次,其后精镗大、小头孔才能达到应有的精度。

(3) 连杆大、小头孔的加工

以小头孔、大头侧面及大、小头端面定位,将小头孔的菱形假销转过 90°,不是用大头孔而是用大头侧面来定位。定位侧面的长度应足够大,否则定位不稳。连杆大、小头孔的加工精度对连杆质量有很大影响,须要经过钻、扩、铰和拉及半精镗、精镗、金刚镗以及珩磨等工序。小头孔往往在大头

孔粗加工前就进行钻、扩、镗，因为在以后的加工中小头孔将作为重要的定位基准，也为精加工小头孔本身做好准备。拉孔的生产率很高。精镗小头衬套底孔和镗衬套孔在金刚镗床上进行。

大头孔粗加工的目的是去除余量，使锻件毛坯充分变形，大多数是安排在连杆体和盖切开以后和接合面精加工以前，而不能安排在接合面精加工以后。

大、小头孔的镗孔是保证精度的主要方法。镗孔能保证孔的轴线位置正确，所以对修正毛坯和上道工序造成的孔轴线偏斜以及保证孔与其它表面的位置精度有特别重要的意义。

(4) 连杆两螺栓孔的加工

螺栓孔的要求有尺寸精度、表面粗糙度、两孔轴线的距离、平行度、扭曲度以及两孔轴线对螺栓平面和接合面的垂直度等。

对于整体锻造的连杆，螺栓孔的加工是在切开连杆盖并在结合面精磨之后进行。分开锻造的连杆，该道工序也是安排在精磨接合面以后进行。用连杆螺栓定位连杆，螺栓孔的尺寸精度要求较高。

3 经济性分析

在制造过程中，为保证产品质量和生产率要求，

可以有几种不同的工艺方案，不同的方案将会有不同的经济效果。因此，为了选取在给定条件下最经济的方案，就必须对各种工艺方案进行技术经济性分析。

工艺成本由两部分组成：可变费用和不变费用。

可变费用为与年产量的大小成比例变化的费用。其中包括：材料费、毛坯制造费、机床电费、通用机床的折旧费与修理费、通用夹具费和刀具费等。

不变费用与年产量的大小无直接关系，当年产量在一定范围内变化时，其费用基本保持不变。包括：调整工人的工资、专用机床的折旧费和修理费、专用夹具费、管理人员的工资等。

在现有设备条件下两种工艺方案的投资相近时，可用工艺成本来评价工艺方案的经济性。

当工艺方案按成本分析比较相差不大时，可按一些相对经济技术指标来进行工艺方案的补充论证。常用的技术经济指标有：每一工人的年产量、每台设备的年产量、每平方米生产面积的年产量；材料利用率、设备负荷率、专用与通用设备的构成比、原材料的消耗、电力消耗等。

另外，必须指出：在进行经济性分析时，在全面考虑生产率提高的同时，必须考虑劳动条件的改善和技术要求的满足。

信息动态

MAN 推出 ME-LGI 双燃料发动机技术

随着重油价格的不断攀升，以及欧洲和北美港口排放法规的日益严格，船舶行业对替代燃料的兴趣也越来越大，其中包括甲醇和 LPG。运输船使用甲醇和 LPG 作为燃料已有几年了，并且随着替代燃料基础设施在全球的扩张，船厂还在建造更多的燃料运输船。有 LNG 运输船使用 LNG 作为船用燃料在先，甲醇和 LPG 运输船燃用船载燃料也是可行的，且有方便、相对便宜等优势。

MAN Diesel & Turbo (以下简称 MAN) 因此推出了 ME-LGI 双燃料发动机技术，使低速柴油机能燃用甲醇和 LPG。ME-LGI 技术是对 ME-GI 技术的补充。ME-LGI 双燃料发动机特别设计了增压燃料喷射阀，因此可以配套采用低压燃油-气体供应系统，这有利于降低设备费用，提高可靠性。

除了可使用船载的可持续性燃料，如甲醇和 LPG，ME-LGI 在环保方面也具有优势。MAN 称与燃用重油，采用普通燃油喷射阀和重油预喷技术的 Tier 2 发动机相比，以 LNG 作为燃料的发动机可降低 15% NO_x 排放、90%~95% SO_x 排放、90% PM 排放、24% CO₂ 排放；以 LPG 作为燃料的发动机可降低 10%~15% NO_x 排放、90%~95% SO_x 排放、90% PM 排放、10% CO₂ 排放。

MAN 已在开发符合 Tier 3 法规的 ME-LGI 发动机，该技术适用于所有低速、二冲程新造机和改装机，是一种经济的技术。除了甲醇（硫含量为零）和 LPG，该技术还可应用于其它替代燃料，包括二甲醚（DME）、生物质乙醇和其它低闪点燃料。

Waterfront Shipping 公司已订购了四台 ME-LGI 发动机，预计将在 2015 年夏季交付。气缸数、气缸排量、功率等参数还未最终确定，但已确定的是混合燃料的比例将是 95% 甲醇配 5% 的柴油。

(高荃 编译)