

MAN V32/40系列 柴油机曲轴TR锻锻工艺开发

南车资阳机车有限公司曲轴事业部 （四川 641301） 李恩轩 杜绍贵 李六如

V32/40系列柴油机是MAN公司研发的四冲程中速船用柴油机。主要用于船舶推进主机和辅机，可在无限航区运用，并满足IMO和NO_x排放要求。极佳的经济性与高寿命使V32/40系列机广泛用于全球船舶领域中，市场前景广阔。

MAN V32/40系列柴油机包括18V32/40、16V32/40、14V32/40、12V32/40共4种机型，单缸功率为500kW，因此该系列柴油机的额定功率范围为6000~9000kW。截止2011年底，国内已经有潍柴、陕柴、镇柴、杭州中高、石油济柴及南车资阳等公司获得了MAN V32/40柴油机的生产许可证。这种状况无疑会加剧主机厂间的竞争，但是对曲轴制造业来说则是一种利好。

南车资阳公司2008年获得MAN V32/40系列柴油机生产许可证后，凭借雄厚的实力全力推进MAN机国产化。2009年公司获得孟加拉电站项目，以18V32/40柴油机为主发电机，公司以孟加拉电站项目为载体开始强力推进18V32/40柴油机样机试制及核心零部件的国产化工作。曲轴作为发动机的核心部件之一，是首批要求进行国产化的零部件。

一、V32/40柴油机曲轴

1. 主要技术参数

根据MAN V32/40柴油机曲轴图样的要求，该曲轴材料可选用34CrNiMo6V和50CrMo4，最终热处理为调质，力学性能指标符合表1的要求，根据热处理工序要求材料选用34CrNiMo6V。

表1 V32/40曲轴力学性能要求

选用材料	34CrNiMo6V	50CrMo4
抗拉强度 R_m /MPa	950~1150	950~1150
屈服强度 R_p /MPa	≥750	≥750
伸长率 A (%)	≥12	≥12
断面收缩率 Z (%)	≥40	≥40
冲击吸收能量 KV_2 /J	≥25	≥25

2. 成品结构

V32/40柴油机曲轴成品结构主要参数如表2所示。

表 2

名 称	数 值	备 注
主轴颈直径×开档/mm×mm	φ 320×140	V32/40曲轴
连杆颈直径×开档/mm×mm	φ 290×280	V32/40曲轴
曲柄臂长×宽×厚/mm×mm×mm	520×463×105	V32/40曲轴
曲柄臂长宽比值/mm	1.123	V32/40曲轴
曲柄臂水平投影面积/cm ²	1974.44	V32/40曲轴
曲拐半径/mm	200	V32/40曲轴
曲柄最大回转半径/mm	350	V32/40曲轴
曲柄臂平衡块安装面高度/mm	170	V32/40曲轴
最大直径×厚度/mm×mm	φ 622×75	V32/40曲轴
曲轴总长/mm	6735	18V32/40曲轴
曲轴总重（不含平衡块）/kg	5375	18V32/40曲轴

二、18V32/40柴油机曲轴锻造工艺分析

1. 锻造方式的选择

我公司目前有两套锻锻装置，各有优缺点。由表2知曲拐半径为200mm，曲柄最大回转半径为350mm，法兰最大直径φ 622mm。已达到RR

锻锻装置的极限（RR装置允许最大回转半径为205mm，模座最小回转半径为350mm，模座最大回转半径为400mm）。TR装置模座型腔最小回转尺寸为 $\phi 1010\text{mm}$ ，装置有增力机构，压力可达到压机的1.2倍左右，所以该轴选用TR锻锻工艺方式。

2. 锻造工艺难点

（1）该轴是目前我公司开发的最大曲轴，一方面大型曲轴的开发经验欠缺；另一方面工艺开发手段相对落后，没有三维模拟软件，产品开发只能依靠工作经验与实物试验，一些锻造缺陷问题在工艺开发之初难以避免。

（2）该曲轴成品长度尺寸为6735mm，8000kN水压机移动工作台左1m，右2.5m，曲轴校直时校直点不能够有效重合，整轴校直质量难以保证。

（3）在锻件工艺设计时，工艺参数选取要兼顾整个系列的所有曲轴，增加了设计难度。

三、18V32/40柴油机曲轴锻造工艺设计

1. 18V32/40曲轴锻造工艺设计原则

（1）工艺参数优化选取，兼顾V32/40系列所有曲轴。

（2）在工艺允许的情况下尽可能降低成本。

（3）充分吸取TR锻锻工艺开发成功的经验。

2. 18V32/40曲轴主要结构参数设计

根据锻造工艺分析结果，选择18V32/40曲轴为主导设计产品，该系列其他产品，如16V32/40、14V32/40曲轴等借用18V32/40曲轴工装。曲轴锻件主要结构参数如表3所示。

表 3

名称	数值	备注
主轴颈直径×开档/mm×mm	$\phi 362 \times 100$	V32/40曲轴
连杆颈直径×开档/mm×mm	$\phi 340 \times 240$	V32/40曲轴
曲柄臂长×宽×厚/mm×mm×mm	$568 \times 513 \times 145$	V32/40曲轴
曲柄臂长宽比值/mm	1.107	V32/40曲轴
曲柄臂水平投影面积/cm ²	2451.71	V32/40曲轴
曲拐半径/mm	200	V32/40曲轴
曲柄最大回转半径/mm	373	V32/40曲轴
曲柄臂平衡块安装面高度/mm	195	V32/40曲轴
最大直径×厚度/mm×mm	$\phi 680 \times 125$	V32/40曲轴
曲轴总长/mm	7681	18V32/40曲轴
曲轴总重（不含平衡块）/kg	9565	18V32/40曲轴

V32/40曲轴柄板设计二维图样如图1所示。18V32/40曲轴锻件三维造型如图2所示。

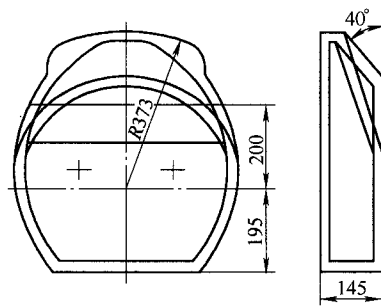


图 1



图 2

3. 18V32/40曲轴锻锻力计算

（1）曲拐锻锻力 曲拐锻锻力的大小主要与材料及柄板面积有关，根据经验公式： $P_h = K_f S$ （式中 $S=2451.71\text{cm}^2$ 为曲柄臂最大投影面积， $K_f=8\text{kN/cm}^2$ ）= 19613.68kN 。

（2）最大法兰锻锻力 由表3可知曲轴最大法兰直径为680mm，则投影面积为 3631.68cm^2 ，根据经验公式可计算法兰所需的水平锻锻力。

$P_h = K_f S$ （式中 $S=3631.68\text{cm}^2$ 为大法兰最大投影面积， $K_f=8\text{kN/cm}^2$ ）= 29053.44kN 。

根据查找相关资料得，TR锻锻装置最大水平锻锻力为44930kN，所以设备锻锻能力能够满足工艺需要。

4. 18V32/40锻件坯料规格设计

（1）坯料直径的选取 坯料直径一般根据主轴颈直径大小、平衡块安装面高度及曲柄短轴尺寸来确定。曲柄所需锻锻力也是参考的一个方面，锻锻力大则所需止推面大，反之则小。一般坯料直径大小是在锻件主轴颈尺寸上加20~40mm。根据表3中的相关尺寸，坯料直径设定为393mm。

（2）曲轴锻件坯料规格的确定 根据锻件相关参数的设定及体积不变原理（适当考虑曲柄和法兰火耗、飞边用料）计算出各部分坯料长度，合计得出整个曲轴的用料规格。经计算得出18V32/40曲轴坯料规格为 $\phi 393\text{mm} \times 11113\text{mm}$ 。

5. 18V32/40曲轴锻锻装置（TR）参数选取

（1）参数设定是以充分发挥装置能力为原

