

# Advantage Analysis and Demonstration of Remanufacturing Main Bearings of Shield Machines

Baoliang Duan Wenli Xu

Shield Machine Engineering Company, CCCC Tunnel Engineering Bureau, Beijing, 100102, China

## Abstract

The paper takes the main bearing of the 133.90.2245.03 shield machine as an example, and analyzes the necessity of its remanufacturing; by enumerating the typical remanufacturing cases of the main bearing under different damage situations, it demonstrates the advantages of remanufacturing main bearing in production cost, and finally briefly describes the method of performance verification after remanufacturing.

## Keywords

main bearing of shield machines; remanufacturing; cost advantage; analysis and demonstration

## 盾构机主轴承再制造的优势分析与论证

段保亮 徐文礼

中交隧道工程局盾构工程公司, 中国·北京 100102

## 摘要

论文以 133.90.2245.03 型盾构机主轴承为例, 对其再制造的必要性进行了分析; 通过列举不同损伤情形下主轴承的典型再制造案例, 论证了再制造主轴承在生产成本方面的优势; 最后简述了再制造后性能验证的方法。

## 关键词

盾构机主轴承; 再制造; 成本优势; 分析论证

## 1 引言

在主轴承再制造研究方面, 张哲学<sup>[1]</sup>通过对中铁  $\Phi 6250$  系列土压平衡盾构机主驱动再制造工艺流程、检测标准及组装技术规范进行研究, 探索出了该系列土压平衡盾构机主驱动再制造技术; 陆豪杰<sup>[2]</sup>通过对主轴承常见故障的原因与再制造原理进行分析, 详述了盾构机主轴承再制造中的零件检测技术。当前, 比较直接进行再制造成本计算与分析的文献尚不多见。

## 2 主轴承再制造的必要性与优势

为了验证再制造主轴承是否存在必要性和优势, 将再制造主轴承售价、性能与中国制造的新制主轴承进行比较, 其原因有以下几点:

(1) 盾构机主轴承国产化趋势越来越强。即便进口主轴承性能目前仍然占据优势, 但随着中国轴承领域技术迅猛

发展和国产主轴承在很多价格方面比进口主轴承占明显优势, 国产化势在必行, 符合中国建设创新型强国理念和机械行业发展要求;

(2) 目前, 再制造主轴承主要针对服役后的进口主轴承, 中国制造的主轴承经盾构机施工掘进使用后不可进行再制造, 进口主轴承再制造过程中采用的加工方法与中国制造的新制主轴承中的某些工序类似;

(3) 中国制造的主轴承使用寿命与再制造进口主轴承使用寿命相当, 进口主轴承再制造费用、销售价格比中国制造的新制主轴承低廉。

因此, 中国制造的主轴承在加工成本、工艺方案、销售价格等方面对再制造主轴承具有很强的参考性, 需要详细分析。

## 3 中国制造商新制主轴承销售价格计算

以 133.90.2245.03 型中国制造的盾构机主轴承为例, 进行销售价格的计算。盾构机主轴承结构形式已在第二章中进

行介绍,其中外圈1、外圈2、内齿圈、主推力滚子、副推力滚子、径向滚子、保持架等为关键零件,密封圈、第二O型圈、第三O型圈等为非关键零件。该型主轴承零件信息如表1所示。

表1 133.90.2245.03型盾构机主轴承零件信息

零件名称	材料	数量/个	单件重量/kg	是否为关键件
外圈1	42CrMoNi	1	2060	是
外圈2	42CrMoNi	1	1335	是
内齿圈	42CrMoNi	1	2195	是
主推力滚子	GCr15SiMn	64	4.46	是
副推力滚子	GCr15SiMn	104	0.741	是
径向滚子	GCr15SiMn	128	0.557	是
保持架	组合材料	8	20.3	是
第二保持架	组合材料	8	8.75	是
第三保持架	黄铜	8	9.9	是
密封圈	丁腈橡胶	1	1.72	否
O型圈	丁腈橡胶	2	0.11	否
第二O型圈	丁腈橡胶	2	0.116	否
第三O型圈	丁腈橡胶	22	0.0015	否
螺钉	35钢	14	0.628	是
锥销	35钢	6	0.314	是
垫圈	65Mn	14	0.026	是
紧定螺钉	35钢	6	0.088	是
合计		390	6349	—

中国制造的主轴承销售价格计算如式(1)所示。

$$C_{总} = C_{ycl} + C_{jgr} + C_{glr} + C_{lr} + C_{sf} \quad (1)$$

式中:

$C_{ycl}$ —主轴承原材料成本;

$C_{jgr}$ —主轴承加工费成本;

$C_{glr}$ —生产管理成本,按原材料成本和加工成本之和的3%计算;

$C_{lr}$ —利润,按原材料成本和加工成本之和的40%计算;

$C_{sf}$ —税费,按原材料成本和加工成本之和的1.13%计算。

该型中国制造的主轴承全部零件的生产成本如式(2)

所示。

$$C_{scc} = C_{wq1} + C_{wq2} + C_{nq} + C_{gz} + C_{bcj} + C_{mfq} + C_{qt} \quad (2)$$

式中:

$C_{scc}$ —主轴承生产成本;

$C_{wq1}$ —外圈1生产成本;

$C_{wq2}$ —外圈2生产成本;

$C_{nq}$ —内圈生产成本;

$C_{gz}$ —滚子生产成本;

$C_{bcj}$ —保持架生产成本;

$C_{mfq}$ —密封圈购买成本;

$C_{qt}$ —其他成本。

上述零件生产成本包括原材料购买以及加工成本。

经计算,主轴承生产原材料与加工中的各项工序总费用为465450.97元,将管理费用、利润、税费计入后,销售价格为717399.58元。

上述步骤为中国制造的新制主轴承的生产加工过程与各工序价格计算,其中部分工序和价格计算可以作为再制造主轴承成本和销售价格计算的依据,具有很强的参考价值和对比性,故上述步骤介绍的较为详细。

再制造主轴承由于损伤形式多种多样,修复方案不尽相同,但均比原主轴承新品生产相对简易。笔者后续选取典型再制造加工方案,对成本、售价等计算过程展开论述。

## 4 再制造主轴承成本计算与优势论证

### 4.1 再制造主轴承预定方案

新制主轴承费用必须从原材料下料后开始各工序的加工开始计算,并且考虑到每部分的加工成本。由于再制造主轴承是以废旧主轴承为毛坯进行修复加工,故只需考虑其中的部分步骤的加工时间和成本。

根据当前盾构机主轴承生产企业积累的再制造成功案例经验可知,主轴承内外圈再制造修磨滚道比新机制造时平均少1d。主轴承再制造主要是更换严重损坏的滚子、保持架和修磨滚道面。对于再制造中典型的激光熔覆技术、等离子焊接等先进技术,虽然企业内部现行有少量采用,但仅侧重于表面修复,无法保证后续掘进中无故障的效果。一般来说,对原加工进行过淬火的零部件不再进行淬火处理,否则会有裂纹产生,造成不可逆的损坏。

由于主轴承本身质量、使用工况、维修保养的差异,主

轴承损坏的形式存在差异。根据损伤情况，主轴再制造方案大致可划分为四种典型类型，如表2所示。

表2 主轴再制造的4种典型类型

序号	修磨滚道	更换滚子类型	更换保持架类型	修磨轮齿
1	是	否	否	否
2	是	径向滚子	否	否
3	是	径向滚子	第三保持架	否
4	是	轴向滚子	第二、第三保持架	是

#### 4.2 主轴再制造加工费用计算

主轴两套圈再制造加工工艺均以修磨滚道面为主。与外圈不同的是，内齿圈加工还包括轮齿加工工序。轮齿质量直接影响主轴传动精度、齿面磨损速度、承载能力等。再制造各工序及每班成本加工费用如表3所示。

表3 盾构机主轴再制造各工序成本

零件名称	工序或方案	加工时间/班	每班费用/元	成本/元
外圈1	磨滚道	2	5000	10000
外圈2	磨滚道	2	5000	10000
内齿圈	磨滚道	2	5000	10000
	磨齿	2	9000	18000
密封圈	全部更换	—	—	5380
三类滚子	方案1	—	—	0
	方案2			4480
	方案3			4480
	方案4			17937
保持架	方案1	—	—	0
	方案2			0
	方案3			28800
	方案4			41244
装配附件	视情况更换	—	—	900
其他项目	装配、检测等费用	—	—	25200

将全部类型的加工成本与销售价格计算后，如表4所示。其中，更换某类型滚子和保持架时，按全部更换情形处理。

表4 主轴再制造的4种典型类型

序号	修磨滚道	更换滚子类型	更换保持架类型	修磨轮齿	再制造加工成本/元	售价/元
1	是	否	否	否	55200	153579
2	是	径向滚子	否	否	59680	160484
3	是	径向滚子	第三保持架	否	88480	204874
4	是	轴向滚子	第二、第三保持架	是	119225	252261

#### 4.3 再制造主轴的成本优势论证

将表4中再制造加工成本与售价与新制造主轴生产成本价格比较，显然再制造主轴价格方面占据了较强优势。但性能是第一位的，再制造主轴必须在性能上最大程度达到新制主轴的性能。

以洛阳轴承有限公司为代表，作为中国一流的盾构机主轴制造企业，根据现有技术条件，主轴再制造已经具备一定技术水平，可以保证5km无重大故障。可见，再制造主轴在价格方面具备一定优势。实施再制造最主要的目的是可以变废为宝，充分利用进口轴承退役后的剩余价值。

#### 5 再制造主轴的性能验证方法

再制造主轴的性能验证是对再制造后性能的检验和保证，与新制主轴类似，必须严格遵守一定要求。其内容主要分为几何精度与运转性能方面的检验。通过性能测试，与新制主轴形成对比，对于退役后损伤不大的情况，通过零件更换和表面工程技术，再制造主轴有可能优于新制主轴，故占据一定优势。

装配完成后，对主轴进行检测，依据JB/T 2300-1999《回转支承》中规定的轴承总成装配精度标准进行判定轴向间隙、径向间隙、端面圆跳动、径向圆跳动、齿轮径向跳动等参数是否合格。

在再制造主轴的性能分析方面，可采用有限元建模的方法采用ANSYS等仿真软件进行受力仿真和疲劳仿真，比较可靠的方法仍然是在轴承试验机上进行试验，利用数据参数得出承载曲线。通过轴承试验机实际测试数据与仿真结果对比，辨别多工况下主轴承力学性能的实验结果和理论分析结果在变化趋势方面一致性。

在主轴承力学性能分析的基础上,利用疲劳寿命分析理论和轴承疲劳寿命分析方法,结合主轴承再制造后的实际尺寸结构,分析其疲劳寿命得出预期使用寿命。

## 6 结语

随着中国大型特种轴承技术的快速发展,对进口主轴承实现再制造修复必将越来越广泛,并能大幅降低制造成本。当前中国从事盾构机主轴承再制造研究的专家、学者已发表的对其可再制造性和性能评估的案例和文献尚不多见,因此该领域具有较高的潜在研究价值。

(1) 论文以 133.90.2245.03 型盾构机主轴承为例,对其再制造的必要性进行了分析,简单说明了再制造的未来趋势;

(2) 对 133.90.2245.03 型盾构机主轴承再制造的成本优

势进行了论证。以具有明显差别的 4 种不同损伤情形下的再制造方案为例,证实了再制造主轴承在生产成本方面的优势。即便是最不理想的情况下,再制造主轴承的加工成本费用比新制主轴承占一定优势。

(3) 论文简述了主轴承再制造后性能验证的方法。由于受当前现有资料所限,未能将再制造后主轴承正常掘进中的数据与新制主轴承进行对比,只有经过实际考验,才能更加清晰、确定再制造的潜在优势。

## 参考文献

- [1] 张哲学. 浅谈  $\phi 6250$  系列土压平衡盾构机主驱动再制造技术 [J]. 城市建设理论研究(电子版),2016(24):80-82.
- [2] 陆豪杰. 盾构主轴承再制造技术应用 [J]. 建筑机械化 2017(03): 58-62.