

# Research on Feasibility Evaluation Method of Remanufacturing Main Bearing of Shield Machine

Baoliang Duan Wenli Xu

Shield Machine Engineering Company, CCCC Tunnel Engineering Co., Ltd., Beijing, 100102, China

## Abstract

The paper completes the feasibility assessment of main bearing remanufacturing using the comprehensive index method, determines the comprehensive index range of main bearing remanufacturability under ideal conditions and the corresponding remansibility indexes for each of the four typical remanufacturing schemes, and demonstrates its rationality.

## Keywords

shield machine; main bearing; remanufacturing; feasibility assessment

# 盾构机主轴承再制造可行性评估方法研究

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

论文采用综合指数法完成了主轴承再制造可行性评估, 确定了理想状态下主轴承可再制造的综合指数范围以及四种典型再制造方案分别对应的可再制造性指数, 并论证了其合理性。

## 关键词

盾构机; 主轴承; 再制造; 可行性评估

## 1 发展概况

当前, 中国盾构机主轴承再制造已经逐渐崭露头角, 能掌握主轴承再制造技术的厂家较少。多数轴承生产厂家对退役主轴承的修复侧重于检测维修, 使其恢复一定功能。新制主轴承使用寿命可以保证正常掘进里程 10km 或者 10000h。再制造主轴承如果能保证正常掘进 5~6km, 则认为具有修复价值。

在盾构机主轴承检测再制造方面, 中铁隧道股份有限公司陆豪杰<sup>[1]</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; 张佳兴<sup>[2]</sup>结合中铁某号盾构再制造应用实例, 介绍了主轴承磨损检测过程和再制造方法, 并对再制造后主轴承的关键参数进行检测, 通过实际施工对比, 证明了其符合新制主轴承出厂标准。

论文通过对盾构机主轴承再制造产业的分析研究, 拟定

采用综合指数法完成盾构机主轴承再制造性分析评估方案。

采用该方法评价的优点是评价较为客观, 减少主观因素的影响。该体系改进了已有的评价模式, 新建和修改了评估指标和定量计算公式, 以模块化的方式建立的评价模式, 既可全面评价产品再制造性, 又可兼容已有评价方式。

## 2 采用综合指数法进行再制造可行性评估

从零件数量角度分析, 盾构机主轴承零件数目多达上百个。内外套圈数量虽少, 但尺寸庞大; 三列滚子数目占总零件数的很大比重, 但为小部件。从零件状态检测角度分析, 不同零件的检测方法、成本、时间存在差异, 高效而准确的检测是再制造前后的重要步骤。

东北大学俞露提出了与退役产品零件机械特性相对应的疲劳损伤模型和剩余寿命预测方法, 并采用综合指数法对盾构机刀盘进行了与可再制造性评估分析, 验证了该评估方法的有效性。西华大学易碧峰考虑可再制造性评估中定性和定

表 1 盾构机主轴承再制造综合指标体系结构

序号	指标类型	一级指标	权重 (%)	二级指标	权重 (%)	
1		耐用性因素	36.0			
2		失效类型因素	23.0			
2.1	基本特性指标			使用年限率	10.0	
2.2				功能报废率	70.0	
2.3				技术淘汰率	20.0	
3		回收价值率	29.0			
4		技术稳定性	2.0			
5		产品回收性	10.0			
		收益性指标	50.0			
	再制造工艺性指标			修复价值性	60.0	
				互换性(关键件)	40.0	
			技术性指标	50.0		
					拆卸性	9.0
6					再装配性	21.0
					测试性	4.0
					检测性	1.0
					互换性(基本件)	8.0
					修复性	32.0
					清洗性	25.0
	社会效益指标	客户认可度	50.0			
7		就业产值比	50.0			

量指标的特点,采用模糊评估理论、层析分析法和综合法三者结合的方法对康明斯发动机进行了可再制造性评估,计算出了综合评估指数。

另外,根据工程机械产品再制造可行性分析方面的大量文献,拟采用综合指数法完成盾构机主轴承再制造可行性的评估。综合指数法再制造可行性评估是将各个可行性指标指数相乘,得出废旧产品的再制造可行性综合评价指数。该方法对批量化的产品的再制造是比较适用的,在原则上它是从整体角度来考虑一批产品的可再制造性,通过对这些需要再制造加工的产品进行一定的概率化的分析,得出是否可进行再制造的结论。

为了评估主轴承的可再制造性程度,需要建立一个具有递阶层次结构的主轴承评估指标体系。该体系将再制造可行性评估这一具体问题划分为四个一级指标,分别代表从不同方面考虑得出的评估依据。

采用专家调查法进行指标权重值的确定,为避免赘述,

最终确定的权重值随划分指标同时列出。盾构机主轴承再制造综合指标体系划分及权重值如表 1 所示。

### 3 盾构机主轴承的再制造可行性评估模型

论文采用综合指数法进行再制造可行性评估步骤。

#### 3.1 计算盾构机主轴承基本特性评估值

盾构机主轴承的基本特性评估值,计算方法如式(1)所示。

$$i_{R_B} = \left( \sum_{j=1}^5 \frac{W_j}{i_j} \right)^{-1} \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (1)$$

式中,  $W_j$  为基本特性指标的权值;  $i_j$  为基本特性指标的因素值。

盾构机主轴承掘经检测后,从再制造对机器本身要求的角度,为判断是否适合再制造,采用常规加权的方法计算失效类型因素评估值,如式(2)所示。

$$\mu_2 = \sum_{j=1}^2 W_{2,j} \mu_{2,j} \quad j = 1, 2 \quad (2)$$

式中,  $W_{2j}$  为二级指标的权重;  $\mu_{2j}$  为二级指标的因素值。

再制造基本特性各一级指标因素值对最终基本特性指标值的影响分析: 如果各一级指标因素值其中有任何一个为 0 时, 最终结果为 0, 即判定不具备再制造可行性。

一般地, 各个一级指标权重值一般不会有较大变化。由于基本特性评价值的计算公式采用的是倒权数形式, 即当各个权重值一定时, 各个一级指标值越大, 最终得到的基本特性评估值越大。说明再制造基本特性越好, 主轴承本身具备再制造的优势越强。

### 3.2 计算盾构机主轴承再制造工艺性评估值

本项指标用于评估盾构机主轴承再制造的工艺性优劣。工艺性指标分为收益性指标和技术性指标两个类别。采用两类别因素值相乘的方式计算工艺性评估值。

盾构机主轴承再制造工艺性评估值计算如式 (3) 所示。

$$\mu_{R\_P} = \left( \sum_{j=1}^2 \frac{W_{6,j}}{\mu_{6,j}} \right)^{-1} \left( \sum_{j=3}^9 \frac{W_{6,j}}{\mu_{6,j}} \right)^{-1} \quad j = 1, 2, \dots, 9 \quad (3)$$

式中,  $W_{6j}$  为二级指标的权重;  $\mu_{6j}$  为二级指标的因素值。

再制造性工艺性评价各一级指标因素值对最终再制造工艺性指标值的影响分析: 如果各一级指标因素值其中有任何一个为 0 时, 最终结果为 0, 即不具备再制造性。

各个二级指标权重值一般不会有较大变化。当各个权重值一定时, 根据工艺性评价值的计算公式, 得知各个二级指标值越大, 最终得到的工艺性评估值越大。说明再制造工艺性越好。

### 3.3 计算主轴承再制造可行性综合指数

采用基本特性指标值、工艺性指标值、环境指标值、社会效益指标值相乘的形式进行盾构机主轴承再制造可行性综合指数的计算, 如式 (4) 所示。

$$\mu_{R\_Z} = \mu_{R\_B} \mu_{R\_P} \mu_{ev} \alpha_S \quad (4)$$

## 4 盾构机主轴承再制造可行性评估实例

### 4.1 确定主轴承再制造可行性评估初始数据

由于盾构机主轴承损伤形式存在较大差异, 故其再制造典型的四种方案对应的可回收零件、更换关键零件、检测零件、清洗零件等参数不同。本节统计 133.90.2245.03 型进口盾构机主轴承再制造可行性分析的四种案例理想状态下的初始数据, 如表 2 所示。

表 2 主轴承再制造可行性分析的四种案例初始数据统计

参数名称	实例 1	实例 2	实例 3	实例 4
设计里程 /km	10	10	10	10
已使用里程 /km	8	8	8	8
关键零件总数	323	323	323	323
关键件耗损性报废数	0	128	136	184
主轴承现估价 / 元	44443	44443	44443	44443
主轴承原价 / 万元	180	180	180	180
总零件数	390	390	390	390
可回收数	363	236	227	179
潜在回收数	363	363	363	363
拆卸零件数	390	390	390	390
拆卸总时间 /h	8	8	8	8
更换零件数	27	155	163	211
测试零件数	390	195	187	139
测试总时间 /h	16	9.66	9.26	6.89
修复零件数	3	195	187	139
更换关键零件数	0	128	136	184
再安装零件数	390	390	390	390
安装总时间 /h	16	16	16	16
清洗零件数	323	195	187	139
零件擦洗数	27	27	19	11
零件清洗刷洗数	296	168	168	128
修复总成本 / 元	99643	104123	132923	163668
修复后预售价格 / 元	153579	160484	204874	252261
需要工人总数	30	30	40	50
再制造与新机售价比	0.085	0.089	0.114	0.140
再制造产值	109136	116041	160431	207818

### 4.2 四种再制造方案的可行性综合指数计算

将四种再制造方案的初始统计数据分别代入综合指数计算公式, 计算出各指标因素值, 如表 3 所示。

表 3 四种主轴承再制造可行性方案因素值

参数名称	方案一	方案二	方案三	方案四
耐用性因素 $\mu_N$	1	1	1	1
使用年限率因素 $\mu_S$	0.2	0.2	0.2	0.2
功能报废性因素 $\mu_G$	1	0.60	0.58	0.43
技术性报废因素 $\mu_T$	1	1	1	1
回收价值性因素值 $\mu_V$	0.63	0.62	0.57	0.52
技术性稳定性因素值 $\mu_J$	1	1	1	1
回收性因素 $\mu_H$	1	0.65	0.63	0.49
再制造价值性因素值 $\mu_E$	0.446	0.427	0.334	0.272
关键件互换性因素 $\mu_{KR}$	1	0.604	0.579	0.430
拆卸性因素 $\mu_D$	2.44	2.44	2.44	2.44
再装配性因素 $\mu_A$	1.22	1.22	1.22	1.22
检测性因素值 $\mu_T$	3.36	3.36	3.36	3.36
检验性因素值 $\mu_I$	0.89	0.83	0.824	0.777
基本件互换性因素值 $\mu_{BR}$	0.931	0.931	0.931	0.931
修复性因素值 $\mu_R$	0.992	0.5	0.521	0.644
清洗性因素 $\mu_c$	0.174	0.179	0.176	0.174

经盾构机主轴承可再制造性评估计算,得到四种再制造方案可行性评估指标值,如表4所示。

**表4 四种主轴承再制造方案可行性评估指标值**

指标名称	方案一	方案二	方案三	方案四
基本特性指标	0.96	0.89	0.85	0.77
工艺性指标	0.28	0.182	0.17	0.14
环境指标	1	1	1	1
社会效益指标	3.75	3.59	3.49	3.41
综合指数	1	0.58	0.5	0.37

四种再制造方案可行性程度分别对应的综合指数为1、0.58、0.5、0.37,依次代表该型主轴承再制造的可行性程度为“优、良、中、差”。如果可行性指数低于0.37,可以认为再制造优势不明显。上述四种再制造方案为理想状态下的典型修复。实际再制造生产中,则根据盾构机主轴承的损伤情况,具体确定更换或维修其零部件,计算出的综合指数处于0~1之间,且指数值越大说明再制造成功率越大、收益越好。

### 5 四个再制造可行性综合指数合理性论证

论文提出盾构机主轴承的再制造可行性评估模型的同时,分别不同程度上解释了各指标提出的原因、作用以及取值大小对再制造可行性评估和最终综合指数的影响。

从表4可以看出,主轴承再制造方案1~4对应的技术复杂程度、成本分布、销售价格呈现出越来越高趋势。而这些指标值越高,越不利于再制造,主要原因是隧道施工属于高投入行业,必须保证盾构机正常掘进高度的可靠性。主轴承作为关键设备,故障率必须很低,否则一旦出现主轴承难以修复的故障,隧道内很难直接更换主轴承,将严重影响施工进度,并造成难以估量的经济损失。当前再制造主轴承尚未被行业完全认同,对于更换零部件越多的再制造方案,再制

造后主轴承性能可能的确优良,但客户仍然认可新制主轴承,限制再制造主轴承提高。

对表4中个指标数据进行分析,基本特性指标、工艺性指标、社会效益指标值均随再制造方案的变化趋势成正相关变化。即使四种再制造方案对应的环境指标值均相同,但由于论文采用的再制造可行性综合指数为各指标值相乘的形式,故不会出现综合指数的区分度低和混乱对应现象。故再制造可行性综合指数理论计算值对应的实际可行性程度合理。

### 6 结语

论文对盾构机主轴承再制造可行性分析方法进行了研究,制定合理的再制造可行性评估方法是再制造前的重要前提。

(1)分析了当前中国盾构机主轴承的再制造发展现状,说明了再制造的必要性和光明的发展前景,并列出了再制造可行性评估研究的相关情况。

(2)当主轴承损伤程度不同时,其再制造可行性大小显然不同。通过将该指标进行量化计算,有助于提高分析的准确性和科学性。

(3)通过建立主轴承再制造可行性评估体系,采用综合指数法完成了主轴承再制造可行性评估,确定了理想状态下主轴承可再制造的综合指数范围以及四种不同的再制造方案分别对应的可再制造性指数,并论证了其合理性。

### 参考文献

[1] 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.  
 [2] 张佳兴. 盾构主轴承再制造技术[J]. 建筑机械化,2018(07):56-58.