

文章编号: 1005—0523(2004)05—0116—04

轴箱拉杆检修专用设备的优化设计

余卓民

(铁道部 安全监察司, 北京 100844)

摘要: 采用矩阵综合法优化排除非优设计方案, 使得评价方案的维数从七维降为四维数, 方案数从 6750 个降为 386 个, 再通过对的优化, 使得评价总体方案的数量进一步降至 8 个, 最后通过经济和技术评价方法确定了最终设计方案。

关 键 词: 轴箱拉杆; 设备检修; 优化设计; 矩阵综合法

中图分类号: U279.3+24

文献标识码: B

0 概 述

轴箱拉杆是铁路内燃机车上连接轴箱和构架的一个部件, 起传递构架力、牵引力和制动力的作用。轴箱拉杆由拉杆体、长短芯轴、橡胶套、橡胶垫和端盖组成, 其结构如图 1 所示。其作用是依靠橡胶元件径向、轴向及扭转的弹性变形, 使轴箱相对于构架在垂向和横向获得移动量, 以实现各个方向的良好缓冲和减振作用。由于橡胶件存在裂纹、弹性变差等老化现象, 因此, 要定期对拉杆进行检修, 更换橡胶件。目前, 该部件的检修使用立式单缸液压机, 全部操作步骤由人工完成, 生产效率低, 劳动强度大。

现根据某铁路机车修理厂需求设计一台专用检修设备, 目的是提高劳动生产率和降低工人的劳动强度。

由于轴箱拉杆的拆、装过程比较复杂, 如何设计拆、装工艺路线和合理布置工作台位是降低设备造价、使用维护费用和提高劳动生产率的关键。

1 轴箱拉杆检修过程分析

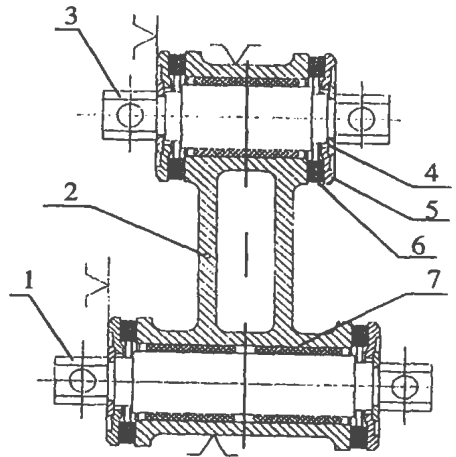


图 1 轴箱拉杆组件图

1—长轴芯; 2—拉杆; 3—短轴芯; 4—卡环;
5—端盖; 6—端盖胶垫; 7—橡胶圈

轴箱拉杆的分解: 拆卸短芯轴 A 面卡环、取出 A 面端盖及橡胶垫, 拆卸长芯轴 A 面卡环、取出 A 面端盖及橡胶垫, 拆卸短芯轴 B 面卡环、取出 B 面端盖及橡胶垫, 拆卸长芯轴 B 面卡环、取出 B 面端盖及橡胶垫, 拆卸短芯轴, 拆卸短轴端橡胶套, 拆卸长芯轴, 拆卸长轴端橡胶套。

检验: 拉杆体、长芯轴、短芯轴等检验、磁粉探伤。

收稿日期: 2004—07—29

作者简介: 余卓民(1957—), 男, 江西高安人, 高级工程师。

轴箱拉杆的组装:装入短轴端橡胶套,装入长轴端 A 面橡胶套,装入长轴端 B 面橡胶套.装入短芯轴,装入长芯轴.装上短芯轴 B 面橡胶垫及端盖、组装短芯轴 B 面卡环,装上长芯轴 B 面橡胶垫及端盖、组装长芯轴 B 面卡环.装上短芯轴 A 面橡胶垫及端盖、组装短芯轴 A 面卡环,装上长芯轴 A 面橡胶垫及端盖、组装长芯轴 A 面卡环.

根据对轴箱拉杆分解、组装过程分析,我们可以归纳为如下几个工艺动作:①安置工件的工作台,要求对工件进行定位;②安装工夹具的执行机构,能实行前进回位动作;③对工件进行 180° 翻转,实现工件 A、B 两面工作.其检修设备的总功能可分解为表 1 所示的七个分功能,组成一个七维设计空间,根据各分功能的载体数,共有方案组合数为:

$$P=\prod_{n=1}^7 P_n=5\times 5\times 5\times 3\times 3\times 2\times 3=6750$$

在这么多的方案中直接进行筛选最佳方案是很困难的,因此,首先必须剔除七个分功能之间不相容的非优方案.

表 1 轴箱拉杆检修功能表

序号	代号	分功能名称	功能载体数
1	A ₁	拆装卡环端盖	5
2	A ₂	拆装长短芯轴	5
3	A ₃	拆装橡胶圈	5
4	A ₄	工件翻转 180°	3
5	A ₅	往复运动驱动	3
6	A ₆	搬动工件上下工作台	2
7	A ₇	翻转运动驱动	3

2 较优子空间矩阵综合法

采用矩阵综合法构造较优子空间,计算设计子方案数之和.

1) 建立相关矩阵[B]

根据各分功能之间的相关性,可以得到如下相关矩阵:

$$B=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 建立初始相关矩阵 B_{1,1}

任选 A₁ 分功能为 B₁ 矩阵的初始行,由于与 A₁

参数相关的分功能是 A₂、A₃ 和 A₅,在 B 中取与 A₁ 相关的列作为[B₁]的后续行,于是[B₁]的初始形式为:

$$B_{1,1}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

简记为 $B_{1,1}=[A_1,A_2,A_3,A_5]^T$

3) 修正 B_{1,1}建立中间相关子矩阵 B_{1,k}

根据 B_{1,1}行序逐行找到所有参数相关分功能,即 A₁,A₂,A₃,A₅,且 A₅ 为 B_{1,1}的末行,则有:

$$B_{1,2}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

简记为 $B_{1,2}=[A_1,A_2,A_3,A_5]^T$

4) 建立相关子矩阵 B₁

经判断与 B_{1,2}参数相关的分功能皆在 B_{1,2}中,因此, $B_1=B_{1,2}=[A_1,A_2,A_3,A_5]^T$.

5)建立新的相关矩阵 B

在 B 中划去 B₁ 所综合的行列构成新的相关矩阵 B,即:

$$B=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

可见 B 与 A₄、A₆、A₇ 相关.重复上述步骤,可以得到另外二个相关子矩阵.即: $B_2=[A_4,A_7]^T$,

$B_3=[A_6]^T$.

至此,可以在七维设计空间上构造三个最优子空间:

$V_{E1}=L(A_1,A_2,A_3,A_5)$

$V_{E2}=L(A_4,A_7)$

$V_{E3}=L(A_6)$

6)形成设计子方案

至此,可以用组合法直接在 V_E 上形成设计子方案,其总和的最大值可用下式求得:

$$P_{max}=\sum_{i=1}^3 \prod_{n=1}^{N_i} P_{in}=5^3\times 3+3^2+2=386$$

可见,设计方案数较前减少了 6 364 个,且待评价方案的维数也由七维降至到四维.

3 设计子方案的优化

根据较优设计子空间综合法,由 V_{Ei}上的最优设计子方案所合成的整体方案就是最优整体方案.至此,要寻找最优整体方案就是在 V_{Ei}上找到最

优设计子方案.

1) V_{EI} 最优子空间的最优设计子方案

V_{EI} 最优子空间包括四个分功能, 即: A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_5 . 从轴箱拉杆检修工艺流程分析, 分功能 A_1 、 A_2 、 A_3 的执行机构要具有一定的作用力, 运动形式

为匀速直线运动, 运动方向为前进、后退两个方向, 分功能 A_5 提供动力. 对于每项分功能找出相应的技术物理效应方案来实施, 以此建立功能实现方案形态学矩阵, 即莫幅箱(德文 *Morphologischer Kasten*), 如表 2 所示.

表 2 V_{EI} 最优子空间功能实现方案形态学矩阵

分功能	实现分功能的技术物理效应方案				
拆装端盖(A_1)	液压缸	气动缸	凸轮机构	齿轮齿条	曲柄滑块
拆装芯轴(A_2)	液压缸	气动缸	凸轮机构	齿轮齿条	曲柄滑块
拆装胶套(A_3)	液压缸	气动缸	凸轮机构	齿轮齿条	曲柄滑块
驱动(A_5)	液压马达	气动马达	电动机		

根据功能实现方案形态学矩阵, 如果考虑全部方案组合的话, 则有 375 个方案. 如果考虑到用凸轮机构、齿轮齿条、曲柄滑块的四杆机构来完成上述功能, 一是其结构比较复杂, 二是承载能力小, 三是运动形式为非匀速直线运动, 四是难以实现作用力及运动的调节, 故属非优方案, 将其剔除. 再考虑相容性, 即液压缸与气动马达及电动机不相容、气动缸与液压马达及电动机不相容, 剔除不相容方案. 因此, V_{EI} 最优子空间的最优设计子方案有两个, 即: 液压缸与液压马达组成的液压系统和气动缸与气动马达组成的气动系统.

2) V_{E2} 最优子空间的最优设计子方案

V_{E2} 最优子空间包括两个分功能, 即: A_4 和 A_7 . 从轴箱拉杆检修工艺流程分析, 分功能 A_4 要求执行机构对工件进行 180° 翻转, 分功能 A_7 提供动力. 对于每项分功能找出相应的技术物理效应方案来实施, 以此建立功能实现方案形态学矩阵(表 3).

表 3 V_{E2} 最优子空间功能实现方案形态学矩阵

分功能	实现分功能的技术物理效应方案		
工件翻转(A_4)	人工	机械手	四杆机构
翻转驱动(A_7)	液压马达	气动马达	电动机

由于人工翻转劳动强度大且无需驱动, 机械手与电动机的组合也是非优的, 剔除非优方案. 则完成工件的翻转功能有五个最优设计了方案, 即: 由机械手作为执行机构, 液压、气动马达作动力; 由四杆机构作为执行机构, 液压、气动马达及电动机作动力.

3) V_{E3} 最优子空间的最优设计子方案

V_{E3} 最优子空间有一个分功能, 即 A_6 . 其执行机构将工件搬上工作台或将工件从工作台上搬下, 实现这一功能的技术物理效应方案有两个: 一个是采用工业机械手, 一个是人工搬运. 由于人工搬运劳动强度大, 故舍弃此方案.

5 评价与决策

在低维子空间上, 尽管我们用观察分析法剔除了大部分非优方案, 但是, 三个最优子空间的最优设计子方案的组合方案仍有八个. 因此, 我们还必须根据经济和技术评价的给分标准(表 4), 分别对 V_{EI} 、 V_{E2} 、 V_{E3} 三个子空间的剩余子方案进行经济和技术评价, 在此基础上用综合价值系数对各方案进行综合评价, 找出最优设计了方案, 将其综合成整体最优设计方案.

表 4 经济技术评价给分标准

序号	方案接近理想程度	给分值
1	很好	4
2	较好	3
3	过得去	2
4	勉强过得去	1
5	不能满足要求	0

经济和技术评价结果表明, 在 V_{EI} 中, 从技术性能指标看, 采用液压系统优于采用气动系统, 从经济性指标看则正好相反. 在 V_{E2} 中, 从技术性能指标看, 使用液压机械手优于其他方案(气动机械手、液动四杆机构、气动四杆机构、电动四杆机构), 从经济性指标看, 则是使用气动四杆机构或电动四杆机构较好. 考虑到经济评价系数, V_{EI} 、 V_{E2} 、 V_{E3} 上的最优设计子方案分别是液压系统、液压机械手、工业机械手. 它们组合而成的方案就是整体最优设计方案, 即: 液压系统作为执行机构, 机械手完成翻转搬运等辅助作业.

尽管我们在上面选择的设计方案是最好的, 但并非合理的. 由这些方案组成的总体布局是多种多样的, 它们之间的相对位置关系及相对运动关系都决定了方案的总体设计合理性, 还必须进行总体

功能的优化、总体布局的优化和总体结构的优化，
由于篇幅限制，在此不再详述。

参考文献:
[1] 刘惟信. 机械优化设计[M], 清华大学出版社, 1994.
[2] 赵国杰. 工程经济与项目评价, 天津大学出版社, 2001

**The Optimizing Design of Special Equipment used for Repair
of the Drawing lever of the Axis—box**

YU Zhuo-min¹

(Safety Department, The Ministry of Railway, Beijing 100844, China)

Abstract: This paper excludes the no—optimizing design project by matrix synthesizing method. The dimensions of evaluating project are reduced from 7 to 4, and the number of project from 6750 to 386. By optimazing of the subgroup, the number of overall evaluating project are reducal to 8. Finally the design project is made certain by the evaluating method of economy and technique.

Key word: drawing lever of axis—box; repair of equipment; optimizing design; matrix synthesizing method