

盾构机施工中拼装机抖动或异响问题解决方案研究

许孝龙^{1,2} 代春茹¹ 陈爽²

(1 天津宏轩达科技有限公司 天津 300160; 2 一重集团(天津)隧道工程有限公司 天津 300301)

摘要: 拼装机是盾构机的重要组成部分, 主要用于完成隧道施工中的管片吊装及拼装工作。其在管片拼装作业中, 尤其是带管片旋转过程中, 常会发生抖动或异响现象, 给施工造成安全隐患。本文将利用 TRIZ 理论从功能分析、因果链分析角度找出问题的发生原因, 并采用冲突理论、标准解、聪明小人法等工具应用入手, 从设计阶段对拼装机抖动或异响问题提出解决方案, 并对解决方案进行评估。

关键词: TRIZ 理论; 盾构机; 拼装机; 隧道施工; 管片拼装; 旋转

0 引言

近年来, 随着盾构机在我国隧道施工中的普遍应用, 各施工单位及人员越来越关注盾构机的施工安全。拼装机作为盾构机的重要组成部分, 却在施工中常常出现抖动或异响现象, 给现场施工人员造成极大干扰, 并存在极大的施工风险隐患。

本文将通过 TRIZ 理论对以上技术问题求解, 从功能分析、因果链分析找出问题的发生原因, 并采用冲突理论、标准解、聪明小人法等工具应用入手, 从设计阶段对拼装机抖动或异响问题提出解决方案, 并对解决方案进行评估。

1 问题概述

采用盾构法进行隧道施工作业中, 盾构机在进行管片拼装时, 拼装机常常会发生抖动或异响问题, 尤其是在拼装机带管片旋转时, 问题更为严重, 概括描述该技术问题如下:

- (1) 问题所在的技术系统: 拼装机技术系统;
- (2) 该技术系统的功能: 起吊管片、运送管片到拼装位置、拼装管片;
- (3) 实现该功能的约束: 安装在盾壳内, 工作空间受限。

以下就该技术问题的工作原理、存在问题及新系统要求分别论述如下:

1.1 现有技术系统工作原理

现有技术的拼装机包括: 旋转件、提升装置、平移装置、支承轮、导向轮。旋转件通过支承轮、导向轮可旋转的安装在盾壳内部。提升装置固定安装在旋转件上, 平移装置可沿提升装置前后移动, 平移装置设置有管片抓取装置。

拼装作业中, 管片抓取装置抓取管片后, 水平移动后, 再将管片提升到合适位置, 然后旋转件在驱动装置作用下, 带动提升装置、平移装置和管片一起旋转, 当到达管片拼装角度时, 旋转件停止转动, 提升装置先将管片举起到一定高度, 再通过平移装置水平移动, 完成管片的拼装工作。

1.2 当前技术系统存在的问题

盾构机拼装作业中, 尤其是拼装机带管片旋转作业中, 有时会发生抖动或异响问题, 程度较轻时, 通常通过调整支承轮、导向轮, 能得到一定程度的纠正。但当管片较重或抖动程度较严重时, 则很难处理。

问题出现的条件和时间如下: ①在拼装机带管片旋转

作业阶段, 易发生抖动或异响问题;

- ②当管片重量较大时, 抖动及异响问题比较严重。

1.3 问题或类似问题现有解决方案及缺点

通过对国内专利及发表论文分析, 目前, 对该问题的研究, 大多为发生问题的事后处理, 一般通过调整支承轮、导向轮位置的方式, 予以纠正。而针对该问题, 从设计阶段的研究处理, 尚无类似案例。

1.4 新系统的要求

- (1) 拼装机在带管片旋转作业中, 旋转件不受提升装置的倾覆影响, 即: 消除发生抖动或异响的原因。
- (2) 拼装机带管片旋转施工, 旋转件承受一定的倾覆影响, 但不发生抖动或异响等现象。

2 技术问题分析

首先, 运用 TRIZ 理论的基本原理, 利用功能分析、因果链分析等对以上技术问题发生原因进行分析, 为问题求解提供依据和思路。

2.1 功能分析和功能模型

依据 TRIZ 理论, 对现有拼装机技术系统组件构成, 进行列举分类, 如表 1 所示:

表 1 系统组件分析表

类别	组件
制品	管片
系统组件	旋转件、配重块、提升装置、平移装置、管片抓取装置、支承轮、导向轮、驱动装置
超系统元件	盾壳、电场、重力场、磁场

为方便发现技术系统所存在问题, 对现有技术系统绘制功能模型, 如图 1 所示:

根据图 1 对该技术系统功能及系统元件间相互关系的描述, 得到导致“管片拼装时拼装机抖动或异响”问题的功能因素, 其存在目标问题描述如下:

- (1) 旋转件对导向轮产生挤压有害影响;
- (2) 提升装置对旋转件产生倾覆有害影响。
- (3) 导向轮对旋转件导向作用不足。

2.2 因果分析

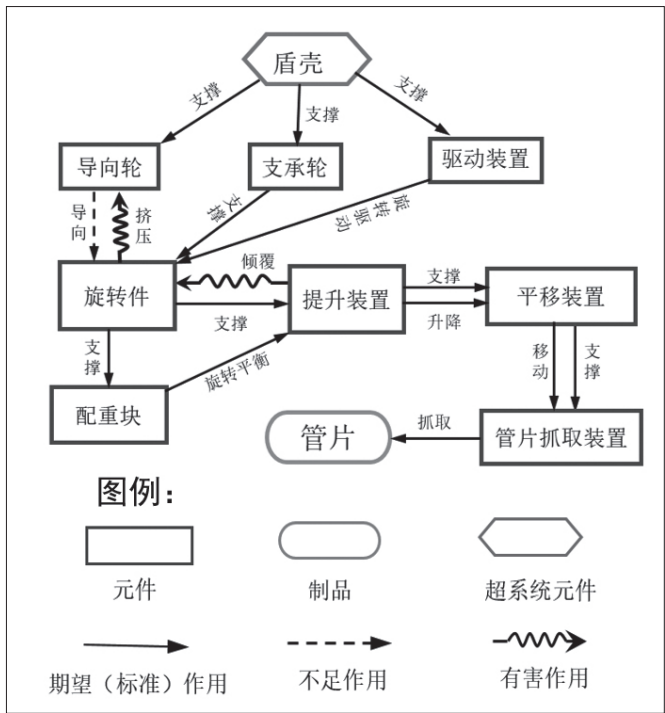


图 1 现有技术系统功能模型图

为了使问题的根本原因得到解决，采用因果链分析法，对拼装机产生抖动或异响目标问题产生原因进行分析，如图 2 所示：

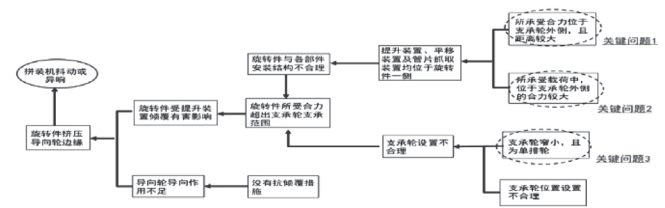


图 2 因果链分析图

2.3 冲突区域确定

由图 2 可知，目标问题产生的关键原因主要有以下三点：

- (1) 旋转件所受合力位于支承轮外侧，且距离较大；
- (2) 旋转件所承受载荷中，位于支承轮外侧合力较大；
- (3) 支承轮窄小，且为单排轮。

3 问题求解

依据 TRIZ 理论，针对以上因果链及冲突区域确定的关键问题，首先选取“旋转件所受合力位于支承轮外侧，且距离较大”为入手点，采用标准解工具进行求解。

3.1 物质—场分析及标准解

物质—场分析是 TRIZ 理论中问题求解的重要工具之一，其从组件间相互作用及功能实现的角度出发，通过构建物质—场模型，分析具体问题与组件间的对应关系，进而进行问题求解。

针对拼装机带管片旋转作业中，提升装置会对旋转件产生倾覆有害影响，构建物质—场模型如图 3 所示：

依据以上问题的物质—场模型，应用标准解解决流程，得到标准解为：NO.10 和 NO.12，其对应解决问题方案如下：

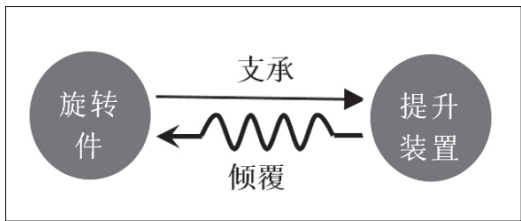


图 3 物质—场模型图

方案 1：依据 No.10 标准解，修改原物质参数，得到问题的解如下：修改旋转件上配重块的安装位置，由与提升及水平移动组件位于支承轮同侧，改为旋转件另一侧相应位置处。由此，旋转件所承受载荷合力位置向支承轮处靠拢，即：载荷合力与支承距离缩小，进而减小了提升装置对旋转件的倾覆有害影响。

方案 2：依据 No.12 标准解，引入一个物质，得到问题的解如下：在旋转件上设置倾覆支架，倾覆支架一端设置可沿盾壳内表面滚动的滚轮，另一端固定在旋转组件上。用于抵消提升装置对旋转件的倾覆有害影响。

针对因果链及冲突区域确定的关键问题，选取“旋转件所承受载荷中，位于支承轮外侧合力较大”为入手点，采用科学效应和裁剪工具进行求解。

3.2 科学效应

科学效应是发明问题解决理论中一种基于知识的解题工具，通常包含较为普适的科学原理与规律，采用科学效应通常可以解决跨领域的发明问题。

针对“旋转件所承受载荷中，位于支承轮外侧合力较大”的问题，确定要实现的功能为：“产生 + 力”，通过查找知识效应库，得到可用效应为“磁性排斥力”。由此得到如下解决方案：

方案 3：在提升装置及平移装置表面及与之对应的盾壳底部内表面喷涂铁磁材料，则提升装置及平装置与盾壳底部之间产生一个附加的磁性排斥力。提升装置及平移装置所受到的磁性排斥力与其所承受重力方向相反。因此，有利于减小其合力大小，进而降低提升装置对旋转件所产生的倾覆力矩。

3.3 裁剪

裁剪可简化技术系统，降低成本和复杂性，提高系统的运行效率，针对图 1 功能模型中元件功能等级较低的配重块，依据裁剪原则进行裁剪，其功能由原固定于提升组件的闭式油箱及其他可分离的控制系统代替。由此得到如下解决方案：

方案 4：将原系统中的配重块裁剪去除，同时将原系统中固定安装在提升装置、平移装置中的闭式油箱及其他可分离的控制系统移到原配重块位置，代替了原配重块平衡旋转的功能作用。进而减小了支承轮外侧的合力，且节约成本。

针对因果链及冲突区域确定的关键问题，选取“支承轮窄小，且为单排轮”为入手点，采用冲突理论及智能小人法进行求解。

3.4 冲突理论

3.4.1 技术冲突

冲突描述：为了提高旋转件的“稳定性”，我们需要增加支承轮的宽度或排数，但这样做了旋转件尺寸增大，安装空间大。

转换成 TRIZ 标准冲突：改善的参数为：结构的稳定性；恶化的参数为：运动物体的体积。通过查找冲突矩阵，得到“NO.28 机械系统替代、NO.10 预操作、NO.19 周期性作用、NO.39 惰性环境”四项发明原理，由此得到如下解决方案：

方案 5：依据 No. 10 预操作发明原理，在旋转件上增加折叠支承轮，当拼装机空载状态下，支承轮处于折叠状态，占用空间小，而在带管片旋转时，支承轮打开，确保旋转件工作稳定。

方案 6：依据 No. 28 机械系统替代发明原理，将拼装机的管片提升、移动等功能实现采用磁悬浮技术替代原来的机械系统。由于机械系统的简化及管片重力由磁场间相斥力抵消。拼装机稳定性得到保证。

方案 7：依据 No. 19 周期性作用发明原理，在盾壳结构上，靠近旋转件上方另一侧位置处，安装磁力锁并通过 PLC 系统进行周期性控制，当拼装机带管片旋转或拼装管片时，磁力锁对旋转件上方产生吸力，可抵消提升装置对旋转件的倾覆影响，而当拼装机空载旋转时，则磁力锁失去吸力。

3.4.2 物理冲突

冲突描述：为了“改善支承轮设置不合理，为单排轮的缺陷”，需要增加旋转件厚度，参数为“正”，但又为了“保证管片的安装空间”，需要减小旋转件厚度，参数为“负”，即，旋转件的厚度既要“增加”又要“减小”。

考虑到该参数“旋转件的厚度”在不同的“系统层次上”具有不同的特性，因此该冲突可以从“整体与部分”上进行分离。查找与该分离原理对应的发明原理有“ No.3 局部质量、No.13 反向”两项发明原理。由此得到如下解决方案：

方案 8：依据 No.3 局部质量发明原理，将旋转组件中的内齿轮架，设计中间薄，外圈厚的不均匀结构。由于旋转件增加的仅外圈厚度，提升及水平移动组件在旋转组件上的安装位置保持不变，即保证了管片安装的空间要求，又可满足旋转组件采用两列或多列支承轮的结构需求。

方案 9：依据 No.13 反向发明原理，将原旋转件固定安装在盾壳上，驱动装置固定安装在原提升装置上，提升装置可沿旋转件做圆周运动的组装在旋转件，即：使原旋转件保持静止，而提升装置沿旋转件运动。

3.5 智能小人法

智能小人法是一种可以帮我们克服思维定势的创新工具，其不仅可打破技术或专业术语导致的思维定势，还可用于在微观级别的技术系统分析。针对“薄的旋转件，只需要单排支承轮即可满足支承需求，但其在提升装置的倾覆作用下，对导向轮产生挤压的有害作用”，进行智能小人法建模，我们把旋转件想象成红色小人，把支承轮想象成蓝色小人，而导向轮则想象成黄色小人，这些小人都是智能且可以移动

的。我们的期望是：当拼装机带管片旋转时，红色小人可以顺畅旋转，不对黄色小人造成挤压。

要达到我们的期望，则需要增加导向轮小人一侧数量或导向能力，或者增强旋转小人自平衡能力。由智能小人模型回到实物，则可以得到如下解决方案：

方案 10：将导向轮设计不对称结构，加大受挤压一侧轮缘宽度和厚度，改善导向轮的导向能力。

方案 11：增加旋转件厚度，并使支承轮偏向安装提升装置一侧，即：使旋转件自身重心偏向另一侧，利用自身重力抵消提升装置对旋转件产生的倾覆有害影响。

4 问题的解

依据 TRIZ 理论，将第 3 章问题求解所获得的解决方案进行评价，确定最优解如下：

(1) 依据冲突理论的 NO.13 反向发明原理中的 (2)：使物体中的运动部分静止，静止部分运动，将原旋转件固定安装在盾壳上，驱动装置固定安装在原提升装置上，提升装置可沿旋转件做圆周运动的组装在旋转件，即：使原旋转件保持静止，而提升装置沿旋转件运动。

(2) 依据物质—场的 NO.10 标准解以及裁剪理论，将系统中的配重块剪除，同时将提升装置、平移装置中的可分离部分，如闭合油箱进行分离，并将其安装到原配重在旋转件的另一侧。

(3) 依据冲突理论的 NO.19 周期性作用发明原理，在盾壳结构上，靠近旋转件上方另一侧位置处，安装磁力锁并通过 PLC 系统进行周期性控制。当拼装机带管片旋转或拼装管片时，磁力锁对旋转件上方产生吸力，可抵消提升装置对旋转件的倾覆影响，而当拼装机空载旋转时，则磁力锁失去吸力。

5 结语

以上是利用 TRIZ 理论对拼装机存在的实际工程问题实践应用进行总结而成，希望能给同行一个借鉴。随着我国盾构机技术的进一步深入，未来盾构机拼装机将不断优化完善。

参考文献：

- [1] 檀润华. 发明问题解决理论 [M]. 北京：科学出版社，2004.
 - [2] 孙伟新. TRIZ 打开创新之门的金钥匙 I [M]. 北京：科学出版社，2015.
 - [3] 天津宏轩达科技有限公司，一重集团（天津）科技研发有限公司，一重集团（天津）隧道工程有限公司. 一种防倾覆力矩拼装机及盾构机. CN202011499045.X, 2021-03-19.
- 作者简介：许孝龙 (1962.12-)，汉族，男，黑龙江哈尔滨人，高级机械工程师，研究方向：地下空间工程装备。