

# 轨道车辆车下线缆波纹管自动穿线方案研究

曲 双<sup>1</sup> 孙琳琳<sup>2</sup> 赵斌全<sup>2</sup> 吴可歆<sup>2</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司高速动车组制造中心, 130062, 长春;

2. 吉林大学机械与航空航天工程学院, 130012, 长春//第一作者, 教授级高级工程师)

**摘 要** 通过九屏幕分析法、因果分析法和功能分析法梳理了轨道车辆车下线缆波纹管穿线的技术难点, 提出新的波纹管自动穿线方案。通过方案成本核算、效率分析和工人体力负荷改善性分析对新的波纹管自动穿线方案进行评价。改进后的波纹管穿线方案能有效地提高工作效率, 降低操作员的工作强度。

**关键词** 轨道车辆; 线缆; 波纹管穿线

**中图分类号** U270.6<sup>+</sup>6

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2020.02.022

## Study on the Automatic Threading Scheme of Railway Vehicles Underlying Cable Bellows

QU Shuang, SUN Linlin, ZHAO Binqun, WU Kexin

**Abstract** Through nine-screen analysis, causal analysis and functional analysis, the technical difficulties in threading the bellows of railway vehicles underlying cables were sorted, and a new automatic threading method for bellows was proposed. Through scheme cost accounting, efficiency analysis and worker's physical load improvement analysis, the new bellows automatic threading scheme was evaluated. The improved bellows threading scheme can effectively improve the working efficiency and reduce the work intensity for operators.

**Key words** railway vehicles; cable; bellows threading

**First-author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

轨道车辆整车较长, 与其适配的波纹管长度会更长。波纹管波纹的存在, 使得波纹管易弯曲, 也使得穿线时, 待穿线缆的线头容易卡在波纹纹路中间, 线头穿线的方向不易被控制。上述几点因素造成波纹管穿线十分困难<sup>[1]</sup>。

目前, 陆续出现了一些辅助波纹管穿线的工装<sup>[2]</sup>。然而, 这些引线装置大多仅是一个子弹头, 功率有限, 无法满足长距离穿线的需要, 且节省的人力和提高效率十分有限。除此之外, 这些穿线装置并没有针对波纹管的形状特点做出改善, 长线

缆穿波纹管时的磨损问题仍会发生, 存在安全隐患<sup>[3]</sup>。综上所述, 穿线装置无法解决根本问题。波纹管穿线辅助装置专利, 对于轨道车辆装配的波纹管穿线工序而言, 有适当的参考价值, 也或多或少有不可取之处。现有的波纹管穿线方式, 全程人工操作, 耗时费力。通过分析波纹管穿线辅助装置专利得到的启示是, 设计一个省时省力的波纹管穿线装置, 高效完成轨道车辆装配中的波纹管穿线工序, 已初显其必要性<sup>[4]</sup>。随着城市轨道交通车辆的需求逐年增长, 如何安全、快速地敷设轨道车辆电缆, 已经成为轨道车辆发展面临的重要问题之一。因此, 在保证线缆可靠安全的前提下能够提高穿线效率的穿线装置, 具有广阔的发展前景。

本文针对目前的波纹管穿线问题, 运用因果分析、功能分析等方法开展研究, 设计出卷扬机带动引线间歇运动、引线拖动线缆传入波纹管内的方案。同时应用三维建模技术、光线环境渲染技术以及单片机控制技术得到设计方案的效果图和实物模型, 验证结果表明, 本文的方案是可行的。该方案能够节省人力, 提高穿线效率, 消除安全隐患, 有很高的应用价值。

## 1 波纹管穿线装置分析

### 1.1 波纹管穿线装置及其周围资源分析

根据九屏幕法<sup>[5]</sup>, 对波纹管穿线装置及周围的资源进行详细分析, 进而得出九屏幕资源列表, 如图1所示。

根据九屏幕法, 从时间维度和系统维度出发, 分析得出可利用的资源为自动牵引装置、自动放线装置和自穿线式波纹管。由此得到意向为: 在自穿式波纹管两端分别放置自动牵引装置和自动放线装置, 通过自动放线装置放线进入波纹管中, 自穿线式波纹管使线缆在管中自动无摩擦地穿过, 待穿到另一端时, 由自动牵引装置牵引线缆移动。

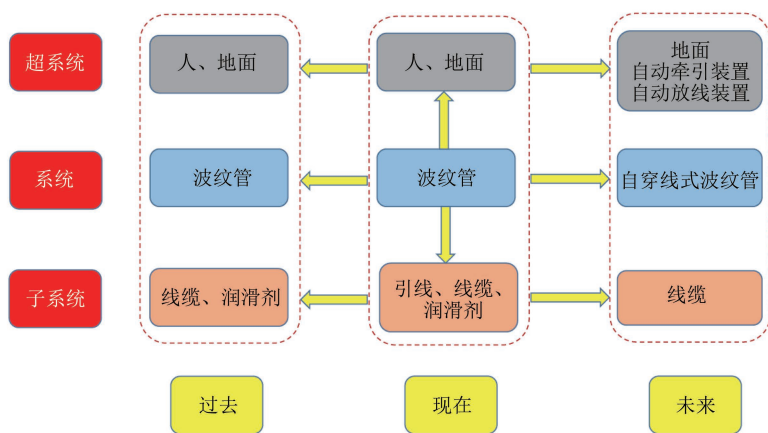


图1 波纹管穿线装置资源表

### 1.2 波纹管穿线装置效率低下因果分析

通过对技术系统进行因果分析<sup>[6]</sup>，得到如图2所示的波纹管穿线装置效率低下因果分析图。

基于上述分析可知，导致波纹管内部穿线装置效率低下的主要原因为：①线缆硬度不足，导致线头走向不可控，减慢了穿线速度；②引线硬度不足，

且引线直径不足，导致引线的引导能力不足，从而使线头走向不稳定，最终穿线效率低；③波纹管的硬度不足，致使波纹管弯曲，使线缆走向不稳定，对穿线造成阻碍；④波纹管内壁褶皱过度，阻碍线缆经过；⑤波纹管内径不足导致波纹管内部空间狭小，同时润滑剂用量不足，这些均导致波纹管内壁的摩擦过度，也严重阻碍了线缆的穿过。

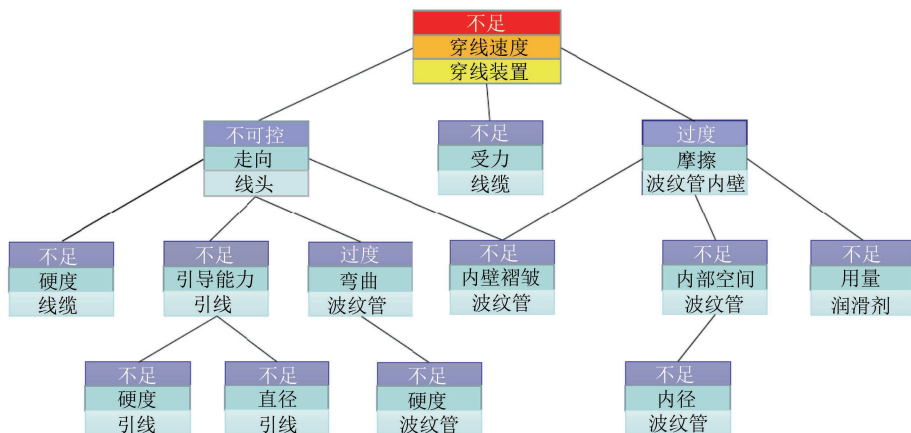


图2 波纹管穿线装置效率低下因果分析图

### 1.3 波纹管穿线装置功能分析

图3为波纹管穿线装置功能分析图<sup>[7]</sup>。  
波纹管穿线装置功能分析结论为：目前存在的不利于波纹管穿线缆的因素主要是由波纹管本身问题造成的。如要提高穿线效率，则需要改进穿线方式，可以从减少波纹管对线缆的阻碍作用入手进行改进。下文采用物场模型研究解决该问题。

### 1.4 物场模型分析

图4为波纹管变形装置功能分析的物场模型。由图4可知，引入改进的S2来消除有害作用，即

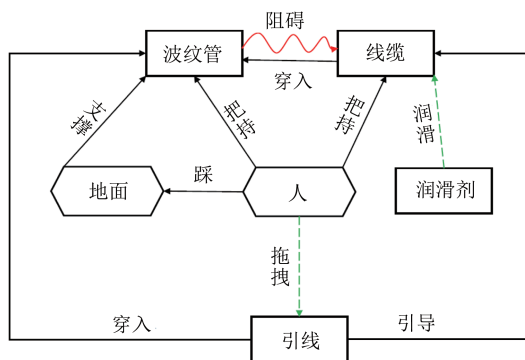


图3 波纹管穿线装置功能分析图

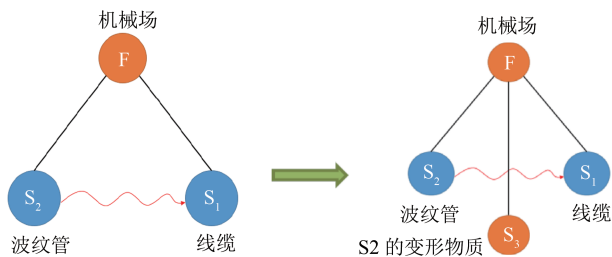


图 4 波纹管变形装置功能分析物场模型

引入光滑的带子弹头的长圆管引线(S2 波纹管的变形装置),利用引线装置自身的硬度撑直波纹管,保证线缆经过的路径平直且畅通。

图 5 为线缆拉伸装置功能分析物场模型。由图 5 可知:可以引用第二个场 F2 来消除手拉引线的有害作用,因为用手拉引线会使引线受力不均,线质易受到损害。加入脉冲电场 F2,其实际应用是一个脉冲式的拉线装置,也即用机械力替代人力的同时,脉冲式拉线方式使线得到了必要的保护。

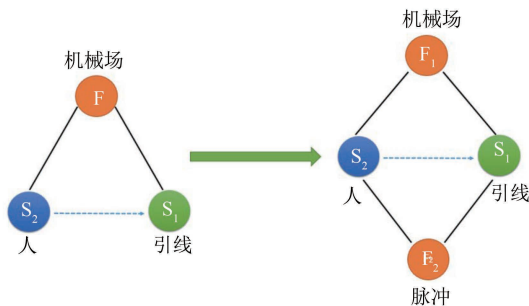


图 5 线缆拉伸装置功能分析物场模型

## 2 波纹管穿线装置创新方案研究

### 2.1 波纹管穿线装置选用原则

波纹管穿线装置选用原则是:能保证安全性,符合企业效益目标。在目前的主流卷扬机中,拉动相同长度的线缆,1 450 W 的卷扬机消耗的能量最少;3 200 W 卷扬机拉动的线缆有轻微发热现象;1 450 W 卷扬机比 850 W 卷扬机的工作效率更高。综上所述,1 450 W 卷扬机既能保证安全性,也符合企业效益目标,因此选择 1 450 W 卷扬机牵引线缆。

### 2.2 波纹管穿线装置方案研究

首先,将与所穿线缆长度匹配的波纹管人为地展开,在远离线缆的波纹管一端,一人将硬质长圆管引线(比波纹管略长)的子弹头形末端穿入波纹管,另一人随着长圆管引线末端头部的不断前进,捋直波纹管方便引线穿入。待长圆管引线完全进

入波纹管后,将线缆与半球形顶部的挂环(封闭的圆圈状)连接。线缆截面积较小时,将线缆端头插入挂环内折回连接;如线缆数量较多或线缆截面积较大时,为了防止线缆端头在波纹管内被卡住,把线缆端部剥出线芯,并斜错排好,与挂环缠绕接好。在连接处使用电工胶带紧紧缠绕,以保证平滑和牢固。如果牵引多条线缆,将多条线缆聚集成一束,将电工带或胶布紧绕在线缆束外面,固定线缆束。然后,在波纹管另一端,把卷扬机的卷筒缠绕钢丝绳和硬质长圆管连接好,随后启动开关,通过卷扬机卷筒转动提供的脉冲力,将长圆管引线连同线缆一起拉出波纹管。最后,将连接处拆除即可。

以上设计,是基于企业安全性和经济性原则,以及人类工效学的考量,通过科学的计算方法,得到了原先最终方案中波纹管穿线装置的具体数据,并且在原有方案的基础上增加了工作面高度的设计。其中,作为牵引动力提供装置的卷扬机的功率为 1 450 W。波纹管的内径为 48 mm,无伸缩状态下的自然长度为 25 m。因为波纹管内径为 48 mm,为了保证能够撑直波纹管且减小摩擦力,穿过波纹管的长圆管引线与波纹管内壁之间应留有一定余隙,故其直径可选为 42 mm。此外,引线的长度为 26 m,材料采用高密度聚乙烯。脉冲运动规律为运行 2 s 停止 1 s,引线装置的平均移动速度为 0.5 m/s。选用 10 个管道支架对波纹管进行支撑,每个支架的离地高度即工作面高度为 92 cm,即:将内径 48 mm、自然长度 25 m 的波纹管固定到 10 个高度为 92 cm 的支架上,然后把长度 26 m、直径 42 mm 的高密度聚乙烯引线放入波纹管内,将引线与线缆相连,引线另一端与功率为 1 450 W 的卷扬机相连,如图 6 所示。

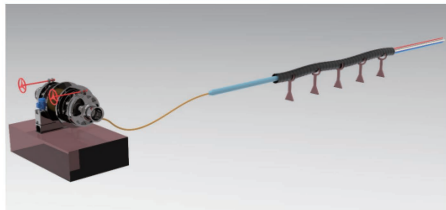


图 6 波纹管穿线装置效果图

### 2.3 波纹管穿线装置创新方案评价

针对轨道车辆装配线,对单条生产线使用改进后的穿线装置的成本、效率和工人体力负荷进行分析。

#### 2.3.1 成本分析

1) 改进前成本。工作人员 3 名,按月工资

8 000 元/人计算,改进前的人工总工资为 28 800 元/年。

2) 改进后成本。①波纹管夹具(带支架)10 个,市面价格为 43 元/个,6 个月更换一次,费用为 860 元/年;②26 m 聚乙烯引线 1 根,市场价格 1.0~1.5 元/m,平均价格 1.3 元/m,按每个月消耗 1 根引线计算,12 根的加工费 150 元,费用为 555.6 元/年;③卷扬机(1 450 W)1 台,价格 234 元,使用寿命 3 年,维修费用 61 元/年,费用 139 元/年;④工作人员 2 名,按月工资 8 000 元/人计算,总工资 192 000 元/年;⑤电费 3 314.7 元/年(按峰时电价 1.143 元/度,每天按 8 h 计算)。改进后的总支出为 196 869.3 元/年。因此,改进后的穿线装置节约了生产成本。

### 2.3.2 效率分析

1) 改进前效率。每次穿线平均时间为 23 min,每天穿线约 30 根,按每年 250 个工作日计算,每年可穿线 7 500 根,穿线成本为 38.4 元/次。

2) 改进后效率。每次穿线时间为 200 s,每天穿线 144 根,排除机器停转时间,每天可穿 120 根,每年可穿 30 000 根,穿线成本为 6.56 元/次。

对脉冲式波纹管穿线方案操作员联合作业时间进行分析,分析结果如表 1 所示。

表 1 脉冲式波纹管穿线方案操作员联合作业时间分析表

操作员 A		操作员 B	
作业程序	时间/s	作业程序	时间/s
等待	5	将引线 with 卷扬机连接	5
将波纹管固定到卡具上	75	将引线装入波纹管内	70
连接引线 with 待穿线缆	10	走回卷扬机	15
等待	1	打开卷扬机电源	1
等待脉冲式穿线完成	75	等待脉冲式穿线完成	75
将波纹管从卡具上取下	20	将波纹管从卡具上取下	20

由表 1 可知:每次穿线周程用时 186 s,操作员 A 的工作时间是 105 s,空闲时间是 81 s,时间利用率为 56.45%;操作员 B 的工作时间是 111 s,空闲时间是 75 s,时间利用率为 59.68%。与现行方案相比,改善后方案的周程时间大大缩短,同时工人工作时间减少,空闲时间增加,有效解放了工人的双手。由此可见,改善后方案能大大提高工作效率。

### 2.3.3 操作员体力负荷改善分析

1) 改进前操作员体力负荷。一名操作员需要抬起重约 0.5 kg 的长达 25 m 的波纹管并甩动,另外两名操作员需抬起长约 25 m 的待穿线缆并送线,

工作时的体力负荷大。

2) 改进后操作员体力负荷。操作员只负责轻轻推动引线和固定波纹管,体力负荷明显降低。

## 3 结语

本文介绍改进后的波纹管穿线装置的创新点为:使用脉冲式卷扬机装置,拉力稳定持续,在一定程度上保护了线缆不受损害,同时解放了人力,提高了工作效率;使用端部为光滑半球形的硬质长圆管作为引线,能有效减少摩擦,同时,长圆管自身一定的硬度帮助撑直波纹管,减少了波纹管的弯曲形状对线缆的阻碍,使穿线更顺畅;半球形顶点处为圆圈状的挂环,既方便固定线缆,又保证了线缆端部连接在波纹管中间部分,减少了线缆和管壁的接触和摩擦;装置自身的光滑性提高,润滑油使用量减少,节约生产成本。

综上所述,改进波纹管穿线方案和装置后,预计年度用于波纹管穿线的成本可减少 91 130.7 元,即减少 31.64%。同时,每根波纹管的穿线时间至少减少 83.33%,每根波纹管穿线需要的操作员减少 1 名,操作员的体力负荷明显降低。该方案在显著提升穿线效率的同时,能极大地减少人力、财力,节约时间,可为企业带来显著的经济效益。本文研究成果在轨道车辆装配环节波纹管穿线的实际应用中具有重大意义,同时还可应用于其他较长波纹管的穿线环节,具有普遍的推广意义。

## 参考文献

[1] 马伟,李德雨,钟玉平.波纹管的发展与应用[J].河南科技大学学报(自然科学版),2004(4): 28.  
[2] 曾松鸣.综合布线施工中的穿线[J].智能建筑与城市信息,2007(5): 51.  
[3] 于东好,马门强.剖开型波纹管穿线工具的设计[J].机械工程师,2015(9): 254.  
[4] 王闯,顾卫国,王德忠,等.温度梯度对金属波纹管力学性能影响分析[J].核科学与工程,2017,37(4): 663.  
[5] 於军,李迎,张嫒.TRIZ 创新法系列(六)TRIZ 之系统九屏幕法[J].企业管理,2019(2): 98.  
[6] SAUNDERS C T, BLUME J D. A regression framework for causal mediation analysis with applications to behavioral science[J].Multivariate Behavioral Research,2019,54(4): 10.  
[7] 陈剑飞.基于 TRIZ 与功能拓展的产品创新方法研究与应用[D].广州:广东工业大学,2017.

(收稿日期:2019-08-25)