

# 中低速磁浮列车救援支撑装置的优化及 冲洗回路参数设定

严靖杰

(湖南磁浮交通发展股份有限公司, 410019, 长沙//工程师)

**摘 要** 介绍了中低速磁浮列车救援支撑装置的组成及其工作原理, 以及增压缸的工作过程。分析了救援支撑装置的常见问题。阐述了救援支撑装置的气液回路优化措施和控制方式优化措施, 并基于长沙长沙磁浮快线的实际情况, 通过计算得到冲洗回路工艺参数设定参考值, 提高了救援支撑装置的可靠性及可操作维护性。

**关键词** 中低速磁浮列车; 救援支撑装置; 冲洗回路参数

**中图分类号** U270.38<sup>+</sup>9

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2020.05.042

## Optimization of Rescue Support Device for Medium and Low Speed Maglev Train and the Setting of Gas-Liquid Loop Parameters

YAN Jingjie

**Abstract** The composition and working principle of the rescue support device for medium and low speed maglev train, the process of pressure cylinder are briefly described. Through analyzing the frequently occurred faults in the rescue support device, the optimum measures of rescue support device gas-liquid loop and the control modes are elaborated. Based on the practical operation of Changsha Maglev Express, the reference value of gas-liquid loop parameters for the supporting device is calculated, which helps to improve the reliability, operability and maintainability of the system.

**Key words** medium and low speed maglev train; rescue support device; gas-liquid loop parameters

**Author's address** Hunan Maglev Transportation Development Co., Ltd., 410019, Changsha, China

当中低速磁浮列车发生无法起浮等不可逆故障时, 可能会出现牵引力失效的紧急情况。救援支撑装置能使故障列车运行至最近车站清客, 并回库处理, 从而保护线路运营安全, 减少故障造成的损失。为提高救援支撑装置的可靠性及可维护性, 本文以长沙磁浮快线列车为例, 对救援支撑装置管道

内液压油的流速及压力进行计算分析, 增加了辅助设施, 完善了救援支撑装置的性能及用途。

## 1 救援支撑装置现状

### 1.1 救援支撑装置构成

长沙磁浮快线列车为 3 节编组。每节车有 5 个悬浮模块。每个悬浮模块配置了 2 套救援支撑装置, 即每节车配置 10 套救援支撑装置。其中每套救援支撑装置包括 1 个增压缸、4 个支撑油缸、4 个支撑轮, 以及弹性垫片、软管等辅助设备(如图 1 所示)。增压缸安装于悬浮架纵梁侧面的安装板上, 支撑油缸和支撑轮安装于抗侧滚片梁安装座内。

### 1.2 救援支撑装置工作原理

救援支撑装置的气路如图 2 所示, 其以洁净、干燥的压缩空气作为动力源。首先, 压缩空气经过滤器、单向阀、调压阀及二位三通阀进入增压缸; 然后, 增压缸将来自脉冲电磁阀的气压转换成液压, 并按一定比例提高, 实现增压, 进而驱动支撑油缸; 之后, 支撑油缸在液压驱动下, 将支撑轮顶出, 使列车垂向滑橇离开 F 轨表面; 最后, 列车依靠救援支撑装置的支撑, 在牵引力的驱动下低速运行, 从而实现紧急情况下的救援<sup>[2]</sup>。

### 1.3 增压缸的工作过程

长沙磁浮快线车辆采用的 PF—ZYG03 型增压缸结构简图如图 3 所示。

预压阶段: 压缩空气从进气口接入, 推动储油活塞, 给定一个初始输出压力, 紧接着活塞杆克服回位弹簧力动作。

加压阶段: 当活塞杆运动到第二油封时, 活塞杆腔内开始重新建立压力, 进而推动支撑油缸动作。

返回阶段: 二位三通阀与外界空气连通, 排出进气口气压, 活塞杆在回位弹簧作用下复位, 液压腔内压力下降为零。

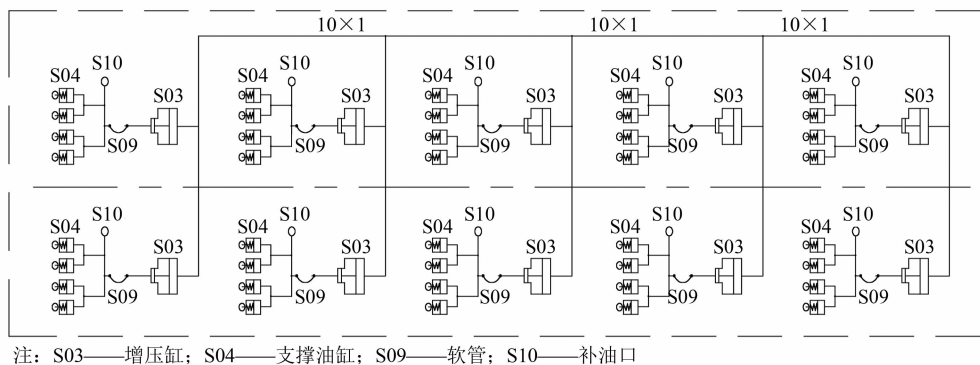


图 1 1 节车辆的救援支撑装置配置简图

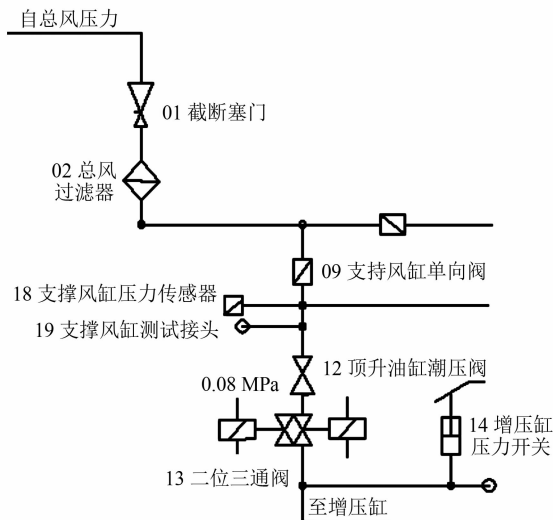


图 2 救援支撑装置气路图

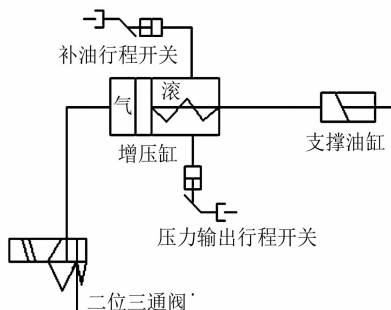


图 3 PF-ZYG03 型增压缸结构简图

## 2 救援支撑装置的工作隐患

救援支撑装置采用单缸直压、向外排气自复位结构，并由电气控制。增压缸设置了压力输出行程开关和缺油行程开关。缺油行程开关初始状态为常闭；当出现泄露、耗损或曝管等故障导致液压油缺失到设定的临界状态时，补油活塞将推动支撑杆断开缺油行程开关，从而达到缺油提示的目的。

由工作原理可知，缺油行程开关的工作风险为：1 如油路压力达不到设定压力，则支撑杆不能克服弹簧力动作，此时存在“带病”运行的风险；2 救援支撑装置补油装置无油量可视功能；若油量过多则压力大，会导致误操作，若油量过少则压力不足；故实际工作中需反复操作确认装置状态，维护时间过长，降低了装置的可维护性与可靠性；3 如 DC 110 V 控制电路发生故障，则救援支撑装置将失效，无法满足列车运行要求。

## 3 救援支撑装置优化措施

### 3.1 优化思路

从增压缸到支撑油缸，液压油流动状态及流速分布等因素对其压力的影响为：

$$Re = \rho v d / \eta \quad (1)$$

式中：

$Re$ ——雷诺数；

$v$ ——流体的流速；

$\rho$ ——流体的密度；

$\eta$ ——流体的黏性系数；

$d$ ——特征长度；如流体流过圆形管道，则  $d$  为管道直径。

从式(1)可知：在工作状态时，应尽量缩短管道长度，减少管道弯曲和截面的突然变化，管内壁力求光滑，管径合理，使流体的流动为层流状态 ( $Re < 2\,300$ )；在油路冲洗时，使流体的流动为紊流状态 ( $Re > 4\,000$ )<sup>[3]</sup>。

### 3.2 气液回路优化

优化后的气液回路结构如图 4 所示。当支撑油缸支撑时，左侧电磁阀通电，一路导通，气压推动增压缸活塞杆，油液流向支撑油缸，支撑油缸动作；当支撑油缸复位时，左侧电磁阀转换至另一路导通，

气压推动支撑油缸及增压缸活塞返程<sup>[4]</sup>。

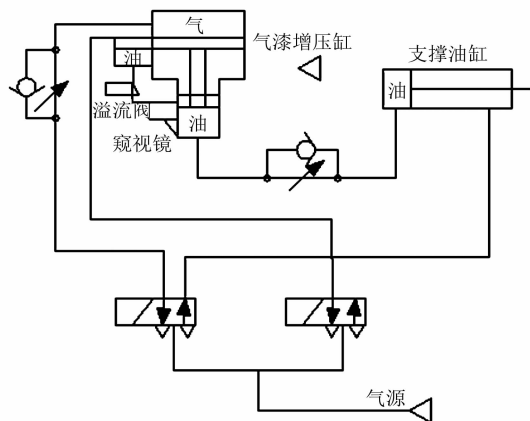


图4 优化后的气液回路

当发生补油故障时,右侧电磁阀接通,气源推动补油缸活塞,液压油经过溢流阀流向增压缸,完成实时补油;当增压缸液压油过多时,根据增压缸内的压力来设定溢流阀的反向流动压力值,使多余的液压油反向流向补油缸内。此外,为便于日常检修及观测流体量,增压缸还增加了嵌入窥视镜。

### 3.3 控制方式优化

针对救援支撑装置的控制方式缺陷,参照地铁车辆受电弓非正常升弓操作方式,在增压缸前端增设手动液压泵。当DC 110 V电源发生故障时,手动液压泵可为救援支撑装置提供机械式控制。此方案已应用于长沙磁浮快线增购的车辆。

### 3.4 回路冲洗参数设定

回路冲洗参数主要包括冲洗流量、冲洗压力、冲洗温度、过滤精度及过滤比等。其中,冲洗流量为:

$$Q = Re\pi Dv/4 \quad (2)$$

式中:

$Q$ ——流量;

$v$ ——运动黏度;

$D$ ——管道内径。

其中,当液压冲洗时, $Re > 4\,000$ 。

流体在管道内流动时会受到与流体方向相反的阻力,产生压力损失。压力损失主要分为沿程压力损失和局部压力损失。

沿程压力损失  $\Delta P_f$  为:

$$\Delta P_f = \lambda \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (3)$$

式中:

$\lambda$ ——沿程阻力损失系数;

$L$ ——圆管的沿程长度。

其中  $v$  取管内平均流速。

局部压力损失  $\Delta P_r$  为:

$$\Delta P_r = \varepsilon \rho v^2 / 2 \quad (4)$$

式中:

$\varepsilon$ ——局部阻力系数,与管件的形状及雷诺数有关。

冲洗压力必须要大于总压力损失  $\Delta P_f + \Delta P_r$ ,才能对管道冲洗产生效果。

长沙磁浮快线列车救援支撑装置进行检修维护时,采用泵外并联式循环冲洗回路。基于实践及理论分析,冲洗工艺参数为:

1) 冲洗压力。高压小流量冲洗压力为 10~12 MPa,低压大流量冲洗压力为 1.5~2.0 MPa。

2) 冲洗流量。保证管路中油流呈紊流状态,在支撑装置管内流量为 420 L/min;在主供、回、泄油管及管径较大的管内流量应为 2 300 L/min。

3) 冲洗温度。由式(2)可知,流体的  $v$  越小,  $Re$  就越大;随着温度上升,油的黏度降低;在温度超过 60℃ 后,黏度变化相对比较平缓,且超过 60℃ 后会引起介质的变质。因此冲洗温度应控制在 40~60℃ 范围内。

4) 过滤精度。选用过滤精度分别为 10 μm、5 μm 及 3 μm 的滤芯。

5) 过滤比。过滤比  $\beta$  为 100%,过滤效率  $E_c$  为 99%。

## 4 结语

救援支撑装置作为中低速磁浮车辆重要部件之一,其工作性能将直接影响列车的安全性及乘坐舒适度。本文基于长沙磁浮快线的实际情况,对救援支撑装置进行优化,采用双缸液压传动控制模式,提高了救援支撑装置的可靠性,并对支撑装置液压管路系统冲洗参数设定值进行了理论分析,为实际应用提供参考。

## 参考文献

- [1] 李子平.高低压结合、气液混合冲洗”技术在厚板轧机液压管道冲洗中的应用[J].科技视界,2013(14): 43.
- [2] 曾宪华.上海中低速磁浮列车制动系统与供风系统[J].装备制造机械,2010(2): 33.
- [3] 王超,李文正.液压与气压传动技术[M].北京:电子工业出版社,2016.
- [4] 宁辰校.液压与气动技术[M].北京:化学工业出版社,2017.

(收稿日期:2018-05-03)