

# ZDJ-9 型交流道岔转辙机故障智能识别方法

刘俊杰

(南宁轨道交通运营有限公司, 530029, 南宁)

**摘要** [目的]通过分析交流转辙机的三相动作电流异常情况能够判断道岔设备故障,但是城市轨道交通线路道岔数量众多,转辙机时时刻刻都在动作,运维人员无法实时查看所有转辙机的动作电流曲线,易造成故障定位遗漏,因此需研究智能化的道岔转辙机故障识别方法。[方法]介绍了 ZDJ-9 型交流转辙机故障识别判断逻辑;以 ZDJ-9 型交流转辙机电流曲线数据为基础,介绍了智能化道岔转辙机故障识别方法的核心内容,包括电流曲线分段、电流曲线特征提取和故障匹配。[结果及结论]在南宁轨道交通 4 号线培训室进行了 ZDJ-9 型交流转辙机智能化故障识别模拟试验,所采集到的电流数据按照以组为单位提供给算法分析软件进行电流分段及故障树匹配,均能精确匹配到相关故障,均能正确产生报警提示。试验结果表明,所提出的智能化道岔转辙机故障识别方法有效可行。

**关键词** 城市轨道交通;道岔;交流转辙机;故障识别

**中图分类号** U213.6<sup>+</sup>1

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2024.04.051

## Intelligent Identification Method for ZDJ-9 AC Turnout Switch Machine Faults

LIU Junjie

(Nanning Rail Transit Co., Ltd., 530029, Nanning, China)

**Abstract** [Objective] By analyzing abnormal three-phase action currents of AC switch machines, it is possible to identify faults in the turnout equipment. However, due to the constant operation of switch machines for large number of turnouts on urban rail transit lines, operation and maintenance personnel cannot monitor the action current curves of all switch machines in real-time, which may lead to omission in fault localization. Therefore, there is a need to research intelligent fault identification methods for switch machines. [Method] The fault identification and judgment logic of ZDJ-9 AC switch machine are introduced. Based on the current curve data of ZDJ-9 AC switch machine, the core content of intelligent fault identification method for switch machine is presented, including current curve segmentation, current curve feature extraction, and fault matching. [Result & Conclusion] A simulation test is conducted on the intelligent fault identification of ZDJ-9 AC switch machine in the training room of Nanning Metro Line 4, and the

collected current data is provided to the algorithm analysis software for current segmentation and fault tree matching on a group basis. Therefore, the relevant faults are accurately matched, and alarm prompts are generated correctly. The experimental results indicate that the proposed intelligent fault identification method for switch machines is effective and feasible.

**Key words** urban rail transit; turnout; AC switch machine; fault identification

对道岔设备的维护都是通过作业维修计划进行的,根据设备维护章程对道岔设备状态进行排查,如果发现道岔设备状态异常,则进行相应的检维修作业。尤其对于道岔转辙机,一般都是根据维护手册及工程师个人经验进行故障排查,如果发现交流转辙机的三相动作电流异常,则需要对电路进行维护检修。然而一条线路,少则几十副道岔,多则上百副道岔,且转辙机时时刻刻都在动作,运维人员无法实时查看所有转辙机的动作电流曲线,易造成故障定位遗漏,进而可能导致运营安全事故。本文主要通过分析道岔 ZDJ-9 型交流转辙机三相动作电流变化情况故障定位。利用物联网、边缘计算、人工智能算法等先进技术,实现对道岔转辙机状态的实时诊断,以实现关键设备的全生命周期智慧运维,提高设备安全性,降低运维成本。

## 1 道岔故障识别判断逻辑

ZDJ-9 型交流转辙机动作时,可以在转辙机动作电路上采集到道岔动作的三相电流曲线,通过对收集到的三相电流曲线进行分段可获取实际道岔设备的过程状态。道岔过程状态包括解锁、动作、缓放三个阶段。对电流曲线分段后,提取电流曲线特征值,包括分段特征值和全局特征值;计算各阶段电流曲线的最大值、平均值、标准差、最小值等分段特征值;根据转辙机动作电流时间顺序,进行特征点排序;结合标准转辙机动作电流曲线,以“全局特征优先、分段特征排后”方式,进行故障树的特征匹

配<sup>[1-11]</sup>,如有特征点优先符合故障树相关具体故障特征描述,则将其判断为具体故障,若所有特征点均在对应标准范围之内,则认定该道岔动作记录正常。通过上述判断逻辑,根据算法识别每组道岔动作电流数据,据此将每组道岔记录标记为正常或故障。维保人员通过观察故障记录,即可观察到转辙机的异常时刻,可以极大提高维保人员的工作效率。

## 2 道岔故障识别方法

### 2.1 电流曲线分段

ZDJ-9 型交流转辙机的电流为三相电流,电流数据采集频次一致,即总采集长度保持一致。电流曲线分段的目的是为了能够更好地拆解道岔动作过程,如果电流曲线长度不足或不具备拆解条件,则将异常电流曲线形态作为该组动作电流的判断结果。

分别提取道岔解锁阶段、动作阶段和缓放阶段电流曲线特征值。设各阶段起始点为  $a_0$ 、 $b_0$ 、 $c_0$ 。 $a_0$  点选取条件为,三相电流曲线上首个不为 0 的点; $b_0$  点选取条件为,对电流曲线前半段做差分,取差分序列最小值点为  $b_0$  点,若最小值点不为负且小于极大值点三分之一,则取差分序列最大值点+5 个点(采样周期为 40 ms,5 个点即 200 ms)作为  $b_0$  点; $c_0$  点选取条件为,电流曲线后半段差分序列最小值点为  $c_0$  点。ZDJ-9 型交流转辙机电流曲线分段示意图如图 1 所示。

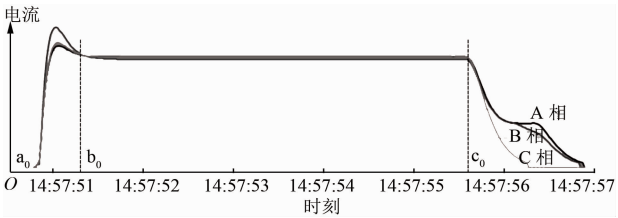


图 1 ZDJ-9 型交流三相电流曲线分段示意图  
Fig. 1 Segmentation diagram of ZDJ-9 AC three-phase current curve

### 2.2 特征提取

将动作电流曲线分段后,提取各阶段动作电流曲线特征值,包括分段特征值和全局特征值。分段特征值包括解锁、动作、缓放各阶段电流曲线的最大值、平均值、标准差和最小值,共计  $3 \times 3 \times 4$  个特征值(第一个“3”是指 A、B、C 三条动作电流曲线,第二个“3”是指三个动作阶段,“4”是指每个动作阶段的 4 个特征值)。然后将电流曲线的特征值组合成维度为 36 的特征向量,将道岔实际转换时间、解锁时

间、动作时间和缓放时间加入到全局特征向量,这样每次道岔转辙机产生的三相电流数据都对应一个 40 维的特征向量。

### 2.3 故障匹配

特征值提取后,通过故障树评价逻辑对电流曲线特征进行逻辑比对,进而得出动作电流曲线评价结果。故障树是逻辑因果关系图,通过各类型维度及逻辑搭配来阐述各事件之间的因果关系<sup>[12]</sup>。在 ZDJ-9 型交流转辙机动作电流诊断中,多个数据类型维度能用故障树逻辑来进行分析,基于故障树构建逻辑的故障评价分为定义无意义数据、绘制故障处理流程、绘制故障树、建立评价故障树和控制所识别故障的风险 5 个步骤。

#### 2.3.1 定义无意义数据

在数据收集过程中,存在数据质量不高的情况,比如电流数据收集不全、电流曲线长度明显过短或者过长。无意义电流数据会影响故障树的逻辑定位判断,因此在通过故障树定位故障之前,将过滤以下维度数据:

1) 动作电流曲线总时长小于 1 s 或大于 40 s 的数据。此类型数据不在转辙机动作时长的合理范围之内,小于 1 s 的电流无法启动转辙机转动,大于 40 s 的电流超出转辙机的转动保护,这两个时间范围的动作电流曲线无法被使用,将其定义为异常电流曲线。

2) 动作电流数据异常。为负数的数据均无意义,说明设备安装校准过程存在偏差,因此将此类数据定义为设备需校准。

3) 三相电流中存在缺相的数据。一般泛指其中一相或多相无电流数据,将此类数据定义为三相动作电流缺陷。

#### 2.3.2 绘制故障处理流程

定义绘制故障树所需的故障处理流程,道岔转辙机故障主要分为动作电路故障、室外道岔故障和道岔表示故障,针对这三类故障的处理流程如下:

1) 动作电路故障处理流程。如果电机不启动,到综控室进行确认,到设备房联系行调,然后扳动道岔,在 CTF(防雷分线柜)测试电压。如果测得交流电压数值约为 400 V,则判断为室内故障,检查 DBQ 和 BHJ 继电器启动保险,按照控制电路顺序查找;若无电压,则判断为室外故障,进行电缆盒测试,通过测试转辙机内线间电压进行排查。

2) 室外道岔故障处理流程。如果道岔摩擦,检

查道岔外部有无卡阻及岔力,检查转辙机内部有无卡阻。

3) 道岔失表示故障处理流程。如果道岔无表示,定位无表示则检查 X4 道岔卡口,反位无表示则检查 X5 道岔卡口,定反位均无表示则检查表示保险、道岔挤岔及二极管情况。

### 2.3.3 绘制故障树

根据电流曲线分段,划分解锁阶段、动作阶段和

缓放阶段的故障树躯干,再进行道岔转辙机故障模拟,对采集到故障的三相电流曲线,通过大数据算法进行训练,提取出具体故障中转辙机动作电流的特定特征值。按照所划分的三阶段故障树躯干,将相关故障特定条件整合之后,将故障分为如下 3 种类型:

1) 解锁阶段和动作阶段总时长小于 1.5 s,该类故障如表 1 所示。

表 1 解锁阶段和动作阶段总时长较短所对应的转辙机故障

Tab. 1 Switch machine faults corresponding to unlocking and action stages with shorter total duration		
序号	故障名称	条件说明
1	1DQJ 继电器故障	全阶段三个相位电流均值小于 0.1 A; 全阶段三个相位电流最大值小于 1.0 A
2	DBQ 或 BHJ 继电器故障	动作阶段电流均值在 0.3~0.7 A 之间; 解锁阶段三个相位电流均有峰值; 动作阶段及缓放阶段电流无峰值
3	C 相动作电路故障	A 相和 B 相电流均值在动作阶段大于 1.3 A; C 相位电流最大值小于 0.5 A,均值小于 0.2 A
4	B 相动作电路故障	A 相和 C 相电流均值在动作阶段大于 1.3 A; B 相位电流最大值小于 0.5 A,均值小于 0.2 A
5	A 相动作电路故障	B 相和 C 相电流均值在动作阶段大于 1.3 A; A 相位电流最大值小于 0.5 A,均值小于 0.2 A

2) 解锁阶段和动作阶段总时长正常,该类故障如表 2 所示。

表 2 解锁阶段和动作阶段总时长正常所对应的转辙机故障

Tab. 2 Switch machine faults corresponding to unlocking and action stages with standard total duration		
序号	故障名称	条件说明
1	二极管短路	解锁阶段和动作阶段电流数值正常; 在锁闭阶段电流均值大于 1.0 A 小于 1.4 A A、B、C 三相电流在解锁阶段有峰值; 动作阶段电流均值正常;
2	电阻短路	解锁和动作时间之和小于 9 s; 缓放阶段时间大于 0.36 s; 缓放阶段电流均值大于 1.7 A,且大于动作阶段
3	A、B、C 三相动作过程中断相	在动作时电流突然为 0; 无缓放阶段; 总时长不足以判断为卡阻故障

3) 解锁阶段和动作阶段总时长大于 13 s,该类故障如表 3 所示。

### 2.3.4 建立评价故障树

在已建立起来的故障树中,对异常态及非必须进行标注,建立评价故障树。对于部分异常数据,在试验过程中,未发现这部分异常数据会导致设备异常或产生其他影响,因此,将这部分异常数据所对应的动作电流曲线识别为亚健康状态。虽然动作电

表 3 解锁阶段和动作阶段总时长过长所对应的转辙机故障

Tab. 3 Switch machine faults corresponding to unlocking and action stages with overly-extended total duration		
序号	故障名称	条件说明
1	卡阻故障	解锁和动作时间之和大于 11 s; 在解锁阶段,A、B、C 三相电流均有峰值; 动作阶段电流均值大于 1.4 A; 无缓放阶段
2	转动时间异常	解锁和动作时间之和大于 11 s; 在解锁阶段,A、B、C 三相电流均有峰值; 动作阶段电流均值大于 1.4 A; 有缓放阶段

流曲线形态比对标准曲线存在异常,但不属于动作故障范畴之内,因此将其定义为亚健康状态。

### 2.3.5 控制所识别故障的风险

在判断电流曲线异常且符合故障树的故障逻辑条件之后,将相关动作电流曲线所代表的动作记录标定为动作电流故障,并推送至信号集中系统;同时将相关故障原因、故障现象及维修建议等内容一并推送至信号系统,以便能让现场维护人员尽快响应,大幅减少人为判断过程及故障响应过程造成的影响。



### 3 结语

本研究从实际出发,首先对道岔动作电流具备固定形态的情况,给出了按分段提取电流曲线特征值及匹配故障树的处理方式,大大提高了故障识别的准确率。通过在南宁轨道交通 4 号线培训室搭建 ZDJ-9 型转辙机电流采集监测模块,采用本研究所提出的方法进行故障模拟试验,所采集到的电流数据按照以组为单位提供给算法分析软件进行电流分段及故障树匹配,能精确匹配到 A、B、C 三相动作断相、二极管短/断路、卡阻等道岔故障。试验表明,算法的诊断分析准确,对在工班日常检维修模拟的故障均能正确产生报警提示,可为日常检维修工作提供极大便利。

### 参考文献

- [1] 唐维华. 基于 LSTM/NN 的道岔故障特征提取与识别研究[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(1): 159.
- TANG Weihua. Extraction and recognition of switch machine fault features based on LSTM/NN[J]. Computer Applications and Software, 2019, 36(1): 159.
- [2] 钟志旺, 陈建译, 唐涛, 等. 基于 SVDD 的道岔故障检测和健康评估方法[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(4): 842.
- ZHONG Zhiwang, CHEN Jianyi, TANG Tao, et al. SVDD-based research on railway-turnout fault detection and health assessment[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018, 53(4): 842.
- [3] 陈亭. 基于道岔动作电流的故障诊断方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- CHEN Ting. Research on fault diagnosis based on switch operating current[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [4] 韩煜霖, 杨静, 邢宗义. 基于定性趋势分析的道岔故障诊断方法研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(12): 120.
- HAN Yulin, YANG Jing, XING Zongyi. Research on turnout fault diagnosis method based on qualitative trend analysis[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(12): 120.
- [5] 习家宁. 基于机器学习的集中监测道岔故障诊断研究与设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.

XI Jianing. Research and design of centralized monitoring system switch fault diagnosis based on machine learning[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.

- [6] 左元. 基于监测电流曲线的道岔故障诊断关键技术研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- ZUO Yuan. Research on key technologies of turnouts fault diagnosis based on monitoring current curves[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [7] 胡启正. 基于机器学习的道岔转辙设备故障智能诊断研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2019.
- HU Qizheng. Study of turnout equipment fault diagnosis based on machine learning[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2019.
- [8] 张星. 基于相似度的道岔故障电流曲线识别方法研究与实现[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- ZHANG Xing. The research and implementation of a method for recognizing switch fault current curve based on similarity[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016.
- [9] 张志宇, 刘影. 决策树分析法在道岔故障诊断和预警系统中的应用[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(5): 25.
- ZHANG Zhiyu, LIU Ying. Application of decision tree analysis in switch fault diagnosis and early warning system[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(5): 25.
- [10] 冯琳玲. 运用微机监测道岔电流曲线分析提速道岔故障[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(1): 73.
- FENG Linling. Analysis of speed-up switch faults through current curve on microcomputer monitoring system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(1): 73.
- [11] 谭建华. 应用故障树分析法进行工程机械维修的有效策略[J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(24): 59.
- TAN Jianhua. Application strategy of fault tree analysis in maintenance of engineering machinery[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2017, 7(24): 59.

• 收稿日期:2023-09-14 修回日期:2023-12-25 出版日期:2024-04-10  
Received:2023-09-14 Revised:2023-12-25 Published:2024-04-10  
• 作者:刘俊杰,高级工程师,18823878353@163.com  
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

## 敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

