

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0108-07

基于虚拟数字化的铁路信号设备电路仿真平台的设计

徐博洋¹, 杜恒², 李萍², 赵宏磊³, 李腾飞²(1. 国能朔黄铁路发展有限责任公司, 河北 沧州 062356; 2. 北京大象科技有限公司, 北京 100071;
3. 成都大象科技有限公司, 四川 成都 610095)

摘要:针对传统信号设备电路类故障对于铁路运营影响范围广、故障排查难、解决时间长等问题,提出基于虚拟数字化的铁路信号设备电路虚拟仿真方法。该平台在虚拟的车站环境中搭建完整的信号设备,将虚拟环境中信号设备的模型接线位置点与电路中的接点进行一一映射,根据信号设备电路中接点连接关系构建接点连接关系表,由接点连接关系表生成邻接矩阵;通过电路分割将复杂的串并联电路计算转换成简单的串联电路,计算每个接点的电势。最后,任意两点电势计算得到任意两点的电压,从而实现虚拟环境中的电路仿真。以ZYJ7型转辙机为仿真对象构建ZYJ7型转辙机电路虚拟仿真维修系统,仿真结果表明,该方法能正确有效地模拟ZYJ7型转辙机在正常、断线和器材故障运行工况下的电气参数,有效解决传统培训痛点,拓展了电路虚拟维修仿真方法,为铁路维修人员故障应急处置技能提升提供技术支撑。

关键词:虚拟现实;数字化;信号设备;电路仿真;虚拟维修训练;故障维修训练

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0108-07

Design of railway signal equipment circuit virtual simulation platform based on virtual digital

XU Boyang¹, DU Heng², LI Ping², ZHAO Honglei³, LI Tengfei²

(1. CHN ENERGY Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Cangzhou 062356, Hebei, China; 2. Beijing Elephant Technology Co., Ltd., Beijing 100071, China; 3. Chengdu Elephant Technology Co., Ltd., Chengdu 610095, Sichuan, China)

Abstract: In response to the widespread impact on railway operations, the difficulty in troubleshooting, and the extended duration for resolving issues related to traditional signal equipment circuit faults, a virtual digital simulation method for railway signal equipment circuits is proposed. This platform involves setting up a complete signal equipment system within a virtual station environment, mapping the model wiring points of the signal equipment in the virtual environment to the contact points in the circuit on a one-to-one basis, and creating a contact connection table based on the interconnection relationships within the signal equipment circuit. An adjacency matrix is derived from this contact connection table. By segmenting the circuit, the complex calculations of series and parallel circuits are simplified to serial circuits, enabling the computation of the electric potential at each contact point. Ultimately, the voltage between any two points is determined by calculating the potential difference, thereby achieving circuit simulation within the virtual setting. To validate this method, a ZYJ7 type switch machine circuit virtual simulation and maintenance system is developed, using the ZYJ7 type switch machine as the simulation subject. Simulation results show that this method can accurately and effectively simulate the electrical parameters of the ZYJ7 type switch machine under normal, open-circuit, and equipment fault operating conditions. It effectively resolves the pain points of traditional training, expands the simulation methods for virtual circuit maintenance, and provides technical support for improving the emergency fault handling skills of railway maintenance personnel.

Keywords: virtual reality; digital; signal equipment; circuit simulation; virtual maintenance training; fault repair training

信号设备是保障列车安全有序运行和提高运输效率的关键基础装备^[1-2]。随着铁路信号技术数字化、网络化和智能化发展,朔黄铁路在提速与扩能的同时,对信号设备的运行稳定性提出了更高的要求。道岔作为铁路线路的关键设

备,是轨道中最薄弱的环节之一^[3],其结构复杂,技术要求高,且多处于恶劣的室外运营环境,一旦故障将带来严重后果^[4]。朔黄铁路正线道岔主要采用ZYJ7型电液转辙机及SH6型外锁闭装置^[5]。在铁路设备故障不可避免的情况

收稿日期:2025-03-13;录用日期:2025-04-07

基金项目:国家朔黄铁路发展有限责任公司科技创新项目(SHTL-22-22)

作者简介:徐博洋(1994—),男,本科,工程师,研究方向:铁路动输。

通信作者:李萍(1986—),女,硕士,高级工程师,研究方向:虚拟现实技术、人机交互设计。

引用本文:徐博洋,杜恒,李萍,等.基于虚拟数字化的铁路信号设备电路仿真平台的设计[J].自动化技术与应用,2026,45(3):108-114.(XU Boyang, DU Heng, LI Ping, et al. Design of railway signal equipment circuit virtual simulation platform based on virtual digital[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(3):108-114.)

下,如何缩短故障处理时间、减轻故障影响,是重要的研究课题^[6]。而提升维修维护人员的技能水平是其中的关键^[7]。维护人员需要掌握电液转辙机的性能和电路分析能力,以确保维护安全并及时发现和故障点^[8]。

本项目的总体目标是通过技术创新,提高维修人员的培训效果和故障处理能力,从而提高转辙机维护效率和可靠性,降低故障处理时间,减轻故障对朔黄铁路运营的影响。

本文研究基于虚拟数字化技术的铁路信号设备电路虚拟仿真维修方法,构建转辙机电路仿真平台,依托计算机3D建模和虚拟仿真技术,对转辙机、组合柜、继电器等信号基础设备进行几何建模,对其运动过程进行物理建模,对电路运行进行规则建模,形成完整的物理映射,方法支持在每条电路的连接点及设备上都可设置故障点。设置故障时,设备电气特性与机械故障相符,故障处理过程中,在组合柜、防雷分线柜、电缆盒、转辙机内电路各节点处的电压等电气特性参数与故障现象相符,实现了与实体设备训练相同的效果,有效地提升了维修人员的培训效果和故障处理能力。

1 发展现状

朔黄铁路对于生产人员主要采取在职培训的方式,通过灵活多样的培训班、专题会议和建立师徒制等形式,培训生产人员的安全知识、岗位“应知应会”知识、标准作业程序、实际操作能力、作业模拟演练和非正常作业的技能训练、有关设备的性能、原理、操作程序、维修标准,以及常见故障的分析处理^[9]。

国内轨道交通信号设备虚拟维修培训系统往往侧重于机械部件虚拟维修和虚拟安装/拆卸^[10],而传统的电路故障维修培训手段需要搭建与真实现场环境一致的最小系统,在真实设备基础上通过在电路各个节点增加线缆模拟电路断线及短线等故障,需要耗费极大的成本^[11],且培训器件在使用一段时间后会存在不同程度的损坏,造成相关实验无法做出应有的实验现象^[12]。

另一种传统的电路故障维修培训手段是通过内部总结的电路相关书籍和老员工带新员工形式进行,很多故障的判断和处理仅仅停留在纸面和口头上^[13-14],同时由于缺乏场地以及可能对其他设备造成永久损坏,新员工进行实际故障处理训练可能留下安全隐患,只能通过工作年限积累实操经验,减少风险。

随着计算机技术的发展,虚拟电路设备的维修技术也得到越来越广泛的应用,文献^[15]采用多Agent系统理论建立电路虚拟维修的Agent模型,实现了多Agent的通信,达到电路仿真与虚拟现实交互的目的。

国外JR东日本铁路公司早期利用虚拟现实技术建设了各类输配电设备培训平台、信号设备培训平台、轨道和道岔设备培训平台、动车组培训平台等多种实际设备教学培训平台^[16]。英国铁路建造了高档虚拟现实模拟驾驶装

置,并装备了自动驾驶系统等先进设备,培训时间缩短30%~50%^[17]。

上述成果为本基金项目研究的开展具有较高的参考价值,但是,考虑到朔黄铁路的实际,还有一些实际问题要解决。传统信号设备电路类故障维修培训在培训基地的真实环境中模拟耗费成本高、实施周期长,本文将电路仿真技术与虚拟的3D模型相结合,建立设备不可拆卸的组件几何模型、各组件运动状态物理模型、电路运行规则模型,实现对现实轨道交通基础设备机械运动及电路运行的组件级模拟仿真,提升轨道交通从业人员对轨道信号设备控制电路的理解,达到大幅度提高轨道交通从业人员轨道交通信号设备电路故障应急处置能力的目标。

2 系统功能设计

铁路信号设备是铁路运输生产中的行车控制设备,由信号、联锁和闭塞3个部分组成,铁路信号基础设备主要包括信号机、轨道电路和转辙机等^[18]。信号设备电路虚拟仿真方法主要模拟仿真信号设备电路图中各接点处的电气参数,表现单元设备的动作引起的电路中电气特性的变化。

为满足朔黄铁路职工培训对轨道交通信号设备ZYJ7型电液转辙机的电气特性培训的需求,基于虚拟数字化技术开发的铁路信号设备电路虚拟仿真维修系统,根据不同现场实际调研结果和实际需求,设计了多种功能模块。系统分为教员端与学员端,教员端在电路任意位置处设置断线或器材故障,教员下发该故障处置试卷至学员端,学员端接收到故障处置试卷后,在虚拟环境中观察各个设备的状态或用工具测量电路中任意两接线位置点间的电压值,逐步定位故障发生的位置,处置电气故障点并验证处置结果。系统实现流程如下。

1) 三维建模是实现虚拟仿真系统的基础^[19-21],首先参考现场ZYJ7型电液转辙机及道岔外锁闭装置的构造图、原理图以及现场采集的照片等资源,对需要建立的模型进行特征提取和结构分析,了解各部分零件的运转规律,再用三维建模工具对各个组成部分分别进行建模,最后组装各个部件成完整的物理模型,并进行动画制作和场景整合。

2) 在虚拟现实系统开发平台中导入整个场景,接收用户通过手柄、键盘鼠标等外设设备的输入,对虚拟场景内的物体位置、缩放、旋转程度进行设置,通过物理系统进行碰撞检测,通过电路电压计算模块实时计算电路中接点处的电压值,最后输出图像、声音,使用户在创建的虚拟世界里面产生强烈的沉浸感^[22-23]。

3) 通过虚拟现实系统开发平台将系统发布为客户端程序。系统整体开发流程如图1所示。

基于虚拟数字化的铁路信号设备电路虚拟仿真维修系统要求应用于朔黄铁路员工的训练和考核,作为一个实用型训练与考核平台。

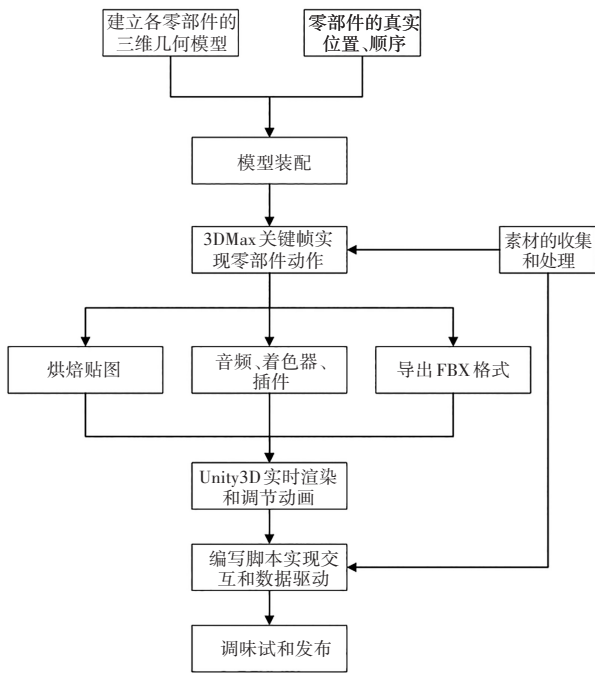


图 1 系统整体开发流程

Fig. 1 The overall system development process

学员端在计算机中构建了一个典型的数字化的虚拟三维车站,其中包括室外转辙机、道岔转换设备、电缆盒,设备室内计算机联锁设备、继电器组合架设备、防雷分线柜设备,车控室内的计算机联锁工作站、IBP 盘等。学员端交互界面可以在联锁工作站、IBP 盘、继电器组合柜、防雷分线柜、转辙机之间随时切换查看显示状态;可随时调取查阅电路图、接线图、继电器背板编号图;并可通过虚拟万用表测量各部电压,辅助判断故障点;故障点设置后,联锁工作站、组合柜、防雷分线柜、电缆盒、转辙机内部的机械表现与电气表现均与现实中的联锁关系一致,且随故障处理的进度准确变化。

学员端电气故障处置主要包含四个过程:故障的发现、定位、处置、验证。在故障发现过程中,学员通过获取鼠标和键盘的输入,模拟第一人称人物移动,在联锁工作站执行单操道岔操作,在操作设备切换状态时通过上位机警报、设备切换状态异常等现象发现故障后,开始故障排查流程。

在故障定位过程中,学员控制人物移动,切换场景,使用万用表,放置表笔测量电压,或者通过观察设备组件的动作现象来判断出故障位置,电压值由系统和电路电压计算模块提供,电路中各个节点的电压关系通过操作上位机带动设备组件的动作,其电压值也相应改变。

在故障处置过程中,学员通过点击继电器或者线缆对故障的组件进行更换。

在验证过程中,学员需要同定位过程一样,操作上位机,执行整个仿真过程,观察继电器动作、上位机表示、电流表、万用表现象来确认故障是否被排除。

教员端与学员端之间使用了 TCP/IP 技术来进行短消息传递,以 WebSocket 技术来建立长链接进行实时消息

传递。学员端的登录界面中会传入用户登录信息、回调地址等参数。成功启动后通过回调应答接口地址通知服务器。需要上传数据时,学员端根据此参数向教员端发送接口请求,通过身份验证后方可进行数据传输与处理。

3 仿真维修方法的关键技术与实现

基于虚拟数字化技术的铁路信号设备电路虚拟仿真维修方法的核心为两个子模块:时序动画模拟模块和电路电压计算模块。方法通过时序动画模块模拟设备正常及有故障情况时运行过程中各组件的时序动作,通过电路电压计算模块计算出设备常态、动作状态及故障状态下的电势、电压值、电流值,从而完整模拟轨道交通信号设备的机械特性与电气特性。

3.1 时序动画模拟模块

道岔动作的命令由联锁系统发出,联锁系统驱动继电器动作,从而带动整个道岔动作。本文继电器动作时序通过数据表 1 进行描述,继电器动作时序关系如图 2 所示,表格以编号、动画类型、继电器名称、状态、时间等信息配置。相同动画类型的数据,其时间从低到高排列,系统在模拟信号设备机械动作关系时,从该关系表中筛选出需要的动作时序,如定操道岔,其动画类型为“定操”。

表 1 继电器动作时序关系表

Tab. 1 Timing sequence table of relay action

| ID | 动画类型 | 继电器名称 | 继电器状态 | 输入时间 |
|----|------|--------|-------|------|
| 1 | 反操 | 1-SJ | 1 | 0 |
| 2 | 反操 | 1-FCJ | 1 | 0 |
| 3 | 反操 | 1-1QDJ | 1 | 0 |
| 4 | 反操 | 1-FCJ | 0 | 1 |
| 5 | 反操 | 1-SJ | 0 | 1 |
| 6 | 反操 | 1-1QDJ | 0 | 4.5 |
| 7 | 定操 | 1-SJ | 1 | 0 |
| 8 | 定操 | 1-DCJ | 1 | 0 |
| 9 | 定操 | 1-1QDJ | 1 | 0 |
| 10 | 定操 | 1-DCJ | 0 | 1 |
| 11 | 定操 | 1-SJ | 0 | 1 |
| 12 | 定操 | 1-1QDJ | 0 | 4.5 |

随着联锁驱动命令的下发,继电器状态发生变化,由于电路的导通,电路中其他继电器状态随之改变,直到电路达到稳定状态,道岔产生预期的动作变化。时序动画模块流程图如图 2 所示。

从首次判断的时刻开始记录时间,将记录的当前时间与预设的动画队列播放时间进行比较。如果当前时间大于或等于动画的预设时间,那么将与动画数据中继电器名称匹配的继电器状态更新为动画数据中指定的状态。更新状态后,继续与动画队列中的下一条数据进行时间比较,直到遇到预设时间大于当前时间的动画数据为止。

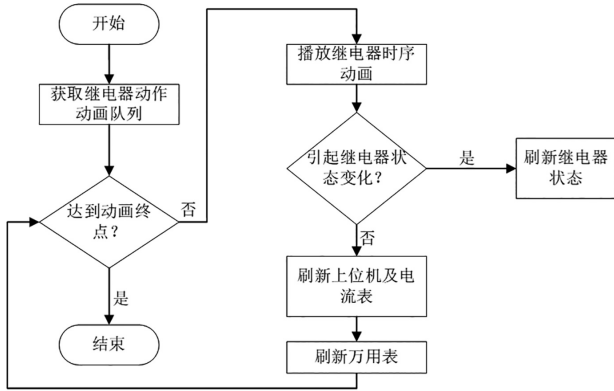


图 2 时序动画模块流程图

Fig 2 The timing animation module flowchart

判断是否引起其他继电器状态变化,先获取所有的正极和负极,再从正极和负极出发判断可以到达的点,并记录到达的路径及方向,如果正极和负极可以同时到达该继

电器的接点位置,且电流方向正确,则继电器状态将修改为预设状态,认为引起了继电器状态变化。如果状态变化存在延迟(如:1DQJ 继电器为延时继电器),则等待延迟时间后再次判断,状态仍需要变化,则进行变化。

由于继电器状态变化,不同的电路被导通,相应的电流表、上位机界面及万用表发生变化。

3.2 电路电压计算模块

首先,本文将轨道交通信号设备电路图按照规则转换成邻接矩阵,以 ZYJ7 型转辙机反操励磁电路图为例,如图 4 所示,将 JDZ 层视为 1 层,JDF(J1) 视为 2 层,接点命名规则为,层数-继电器-接点编号,线的名称规则为,接点_接点,图 3 中黑色箭头所示的电路图描述为接点连接关系表如表 2 所示。通过统计接点连接关系表中的接点个数,形成接点列表如表 3 所示,再利用列表下标(index)制作邻接矩阵,邻接矩阵的值,0 表示不连接,1 表示连接,形成邻接矩阵如表 4 所示。

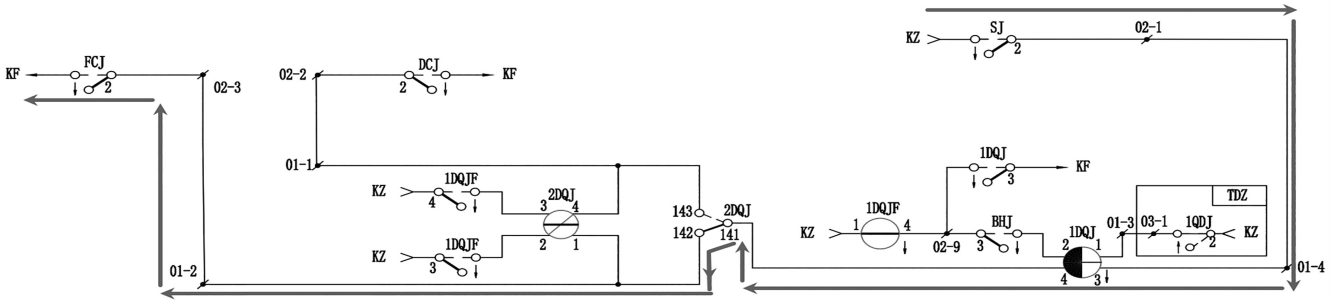


图 3 ZYJ7 型转辙机反操励磁电路图

Fig 3 Circuit diagram of the reverse operation excitation of the ZYJ7 type switch machine

表 2 电路接点连接关系表

Tab. 2 Relationship table of circuit junction

| ID | 部件 |
|----|-----------------------|
| 1 | 1-KZ-0_1-SJ-22 |
| 2 | 1-SJ-22_1-SJ-21 |
| 3 | 1-SJ-21_1-02-1 |
| 4 | 1-02-1_2-01-4 |
| 5 | 2-01-4_2-1DQJ-3 |
| 6 | 2-1DQJ-3_2-1DQJ-4 |
| 7 | 2-1DQJ-4_2-2DQJ-141 |
| 8 | 2-2DQJ-141_2-2DQJ-142 |
| 9 | 2-2DQJ-142_2-01-2 |
| 10 | 2-01-2_1-02-3 |
| 11 | 1-02-3_1-FCJ-21 |
| 12 | 1-FCJ-21_1-FCJ-22 |
| 13 | 1-FCJ-22_1-KF-0 |

表 3 电路接点列表

Tab. 3 List of circuit junction

| ID | 部件 |
|----|-----------------|
| 1 | 1-KZ-0 |
| 2 | 1-SJ-22 |
| 3 | 1-SJ-21 |
| 4 | 1-02-1 |
| 5 | 2-01-4 |
| 6 | 2-1DQJ-3 |
| 7 | 2-1DQJ-4 |
| 8 | 2-2DQJ-141 |
| 9 | 2-2DQJ-142 |
| 10 | 2-01-2 |
| 11 | 1-02-3 |
| 12 | 1-FCJ-21 |
| 13 | 1-FCJ-22 |
| 14 | 1-KF-0 |
| 13 | 1-FCJ-22_1-KF-0 |

表4 邻接矩阵
Tab.4 Adjacency matrix

| ID | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

得到邻接矩阵后,电路电压计算模块通过电路分割将复杂的串并联电路计算转成简单的串联电路,计算每个接点的电势。电压计算模块流程图如图4所示。

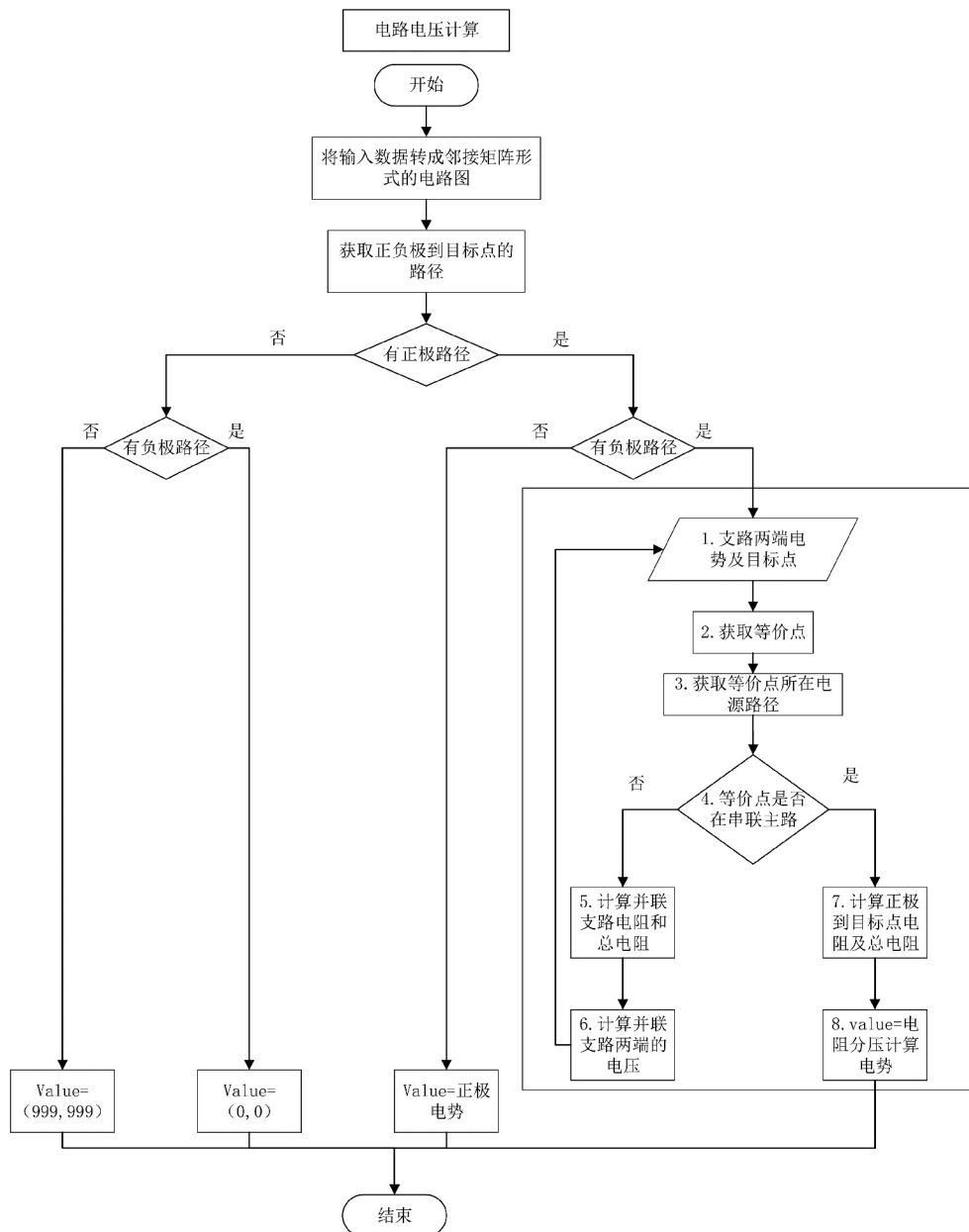


图4 电压计算模块流程图

Fig 4 Flowchart of voltage calculation module

模块获取正负极到目标接点的路径,如果没有正负极路径,则认为不构成回路,是孤立点,如果仅有负极路径,则认为是0电势,如果仅有正极路径,则认为是正极电势,如果同时有正极路径和负极路径,进入步骤1。

步骤1 输入支路两端电势及目标点。最开始的支路两端的电压均是电源输入电压,如KZ、KF,固定数值为24V,目标点为正负表笔所在的点;

步骤2 获取目标点的等价点,分别从正、负极电源出发记录到目标点的路径,从目标点开始比较两个路径相同的点,最后一个相同的点为目标点的等价点。以等价点计算方法示意图为例,如图5所示,计算o点的等价点,路径为,a→i→o和h→i→o,i点为o点的等价点;

步骤3 获取等价点所在支路一端到另一端的电阻,计算正极到等价点电阻。如果路径只有一条,则认为是串联电路,正极到等价点电阻为所有串联的电阻值相加。如

果路径多于一条,则认为包含并联电路,先计算得到并联支路电阻后,与串联部分相加得到正极到等价点电阻。

以等价点路径示意图为例,如图6所示,路径总电阻通过计算各并联电路电阻和串联电路电阻之和得到

$$R_{ah} = R_{ac} + R_{cf} + R_{fh} \tag{1}$$

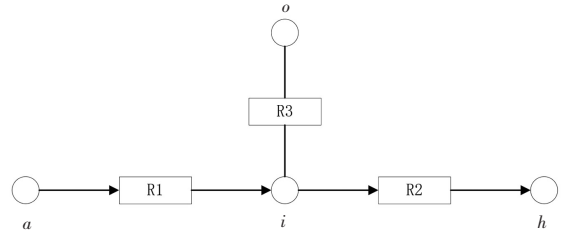


图5 等价点计算方法示意图

Fig. 5 Illustration of the equivalent point calculation method

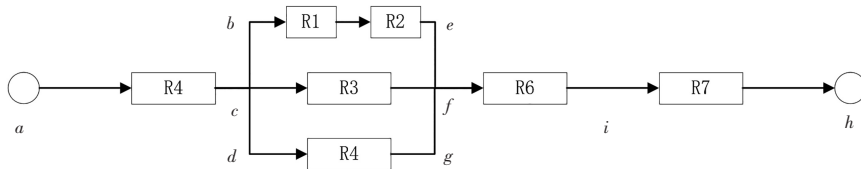


图6 等价点路径示意图

Fig 6 Equivalent point path diagram

步骤4 计算并联电路两端电压,通过电阻分压计算得到

$$\frac{V_{ah}}{R_{ah}} = \frac{V_{cf}}{R_{cf}} \in V_{cf} = \frac{V_{ah}}{R_{ah}} \times R_{cf} \tag{2}$$

利用电阻分压计算出电势,通过正负极电势差乘以正极到目标点电阻除以总电阻再加上正电势计算得出

$$\varphi_i = (\varphi_a - \varphi_h) / R_{ah} \times R_{ai} + \varphi_a = V_{ah} / R_{ah} \times R_{ai} + \varphi_a \tag{3}$$

当使用万用表的红黑表笔测量电路中任意两点的电压时,通过以上方法求得两点的电势,电压通过计算两点间电势差得到

$$V_{\text{红黑}} = \varphi_{\text{红}} - \varphi_{\text{黑}} \tag{4}$$

4 仿真实验及结果

本文将ZYJ7型转辙机为例按照上述方法进行建模仿真,ZYJ7型转辙机反操过程为

- 1) FCJ吸起。
- 2) 1DQJ(1道岔启动继电器)通电后吸起。
- 3) 1DQJF(1道岔启动复示继电器)也随之吸起。
- 4) 2DQJ(2道岔启动继电器)线圈通电,导致2DQJ转极,确定电动机的转动方向。
- 5) 启动电路开启后,三相电源送电,使得BHJ(保护继电器)线圈通电励磁。
- 6) 控制电路会形成一个自闭电路,保持1DQJ吸起状态。
- 7) 三相电机得电后开始转动,驱动道岔从定位转动到反位。
- 8) 道岔转换至反位后,自动开闭器的动接点A/B与

静接点2/4相连。

9) 自动开闭器动作后,反位表示继电器FBJ吸起,表示道岔已转换到反位。

10) 道岔转换到位后,BHJ失磁,自闭电路无法构成回路,造成1DQJ失磁。1DQJ失磁后,1DQJF也随之失磁,切断三相电机的供电回路。

为了验证本方法在ZYJ7型转辙机常态、动作状态及故障状态下均能正确地计算出电路中各接点的电势、电压及电流值,本文截取了仿真数据关键部分验证仿真结果,学员在联锁现地工作站上反操道岔,用虚拟万用表对虚拟车站环境中信号设备任意接点位置进行电路电压值的测量,软件界面截图如图7所示。

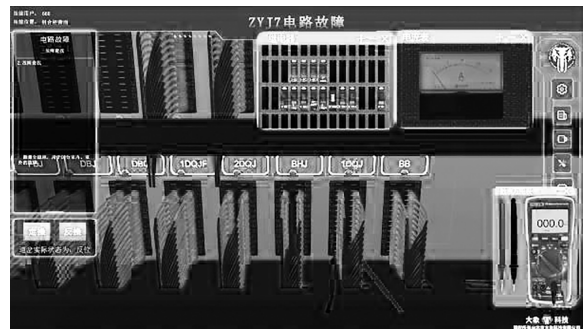


图7 虚拟万用表测量组合处任意两接点位置的电压值软件界面截图

Fig. 7 Screenshot of the software interface for measuring the voltage value at any two contact positions of the combined part using the virtual multimeter in the unoperated turnout, operation turnout start 0.1 s, operation turnout 2 s (动

作电路)时,操作道岔5 s(动作结束)时,应用本方法计算出的电压测试数据如表5所示。

仿真结果表明,该方法能正确有效地模拟ZYJ7型转辙机常态、动作状态及故障状态下的电气特性。

表5 模拟电路系统中电压值测试数值

Tab. 5 The test values of voltage in analog circuit systems

| ID | 部件类型 | 动画类型 | 时间/s | 故障点 | 红表笔 | 黑表笔 | 电压数值/V |
|----|------|------|------|--------------|---------|----------|--------|
| 1 | 线圈 | 反操 | 0 | 无 | 1DQJ-3 | 1DQJ-4 | 0 |
| 2 | 继电器 | 反操 | 0 | 无 | F-05-4 | F-05-1 | 64 |
| 3 | 继电器 | 反操 | 0 | 无 | F-05-5 | F-05-1 | 0 |
| 4 | 线圈 | 反操 | 0.1 | 无 | 1DQJ-3 | 1DQJ-4 | 24 |
| 5 | 继电器 | 反操 | 0.1 | 无 | F-05-4 | F-05-1 | 380 |
| 6 | 导线 | 反操 | 0.1 | 无 | 1DQJ-4 | 2DQJ-142 | 0 |
| 7 | 导线 | 反操 | 0.1 | 无 | 1DQJ-3 | 2DQJ-142 | 24 |
| 8 | 导线 | 反操 | 0.1 | 无 | 1DQJF-1 | 1DQJ-4 | 24 |
| 9 | 导线 | 反操 | 0.1 | 无 | FCJ-21 | 1DQJF-31 | -24 |
| 10 | 线圈 | 反操 | 0.1 | 2DQJ 141-142 | 1DQJ-3 | 1DQJ-4 | 0 |
| 11 | 导线 | 反操 | 0.1 | 2DQJ 141-142 | 1DQJ-4 | 2DQJ-142 | 0 |
| 12 | 导线 | 反操 | 0.1 | 2DQJ 141-142 | 1DQJ-3 | 2DQJ-142 | 24 |
| 13 | 导线 | 反操 | 2 | 2DQJ 121-122 | F-05-3 | F-05-1 | 0 |
| 14 | 导线 | 反操 | 2 | 2DQJ 121-122 | F-05-4 | F-05-1 | 380 |
| 15 | 导线 | 反操 | 2 | 2DQJ 121-122 | F-05-4 | F-05-3 | 0 |
| 16 | 线圈 | 反操 | 5 | 无 | 1DQJ-3 | 1DQJ-4 | 0 |
| 17 | 继电器 | 反操 | 5 | 无 | F-05-4 | F-05-1 | 0 |
| 18 | 继电器 | 反操 | 5 | 无 | F-05-5 | F-05-1 | 64 |

5 结论

基于虚拟数字化技术的轨道交通信号设备电路虚拟仿真维修训练方法,通过在虚拟的车站环境中搭建完整的信号设备,将虚拟环境中信号设备的模型接线位置点与电路中的接点进行一一映射,以电路电压计算为核心,通过时序动画模拟轨道交通设备正常工况及发生电路故障工况时相关继电器和设备的状态变化和电气参数的变化。基于虚拟数字化技术的轨道交通信号设备电路虚拟仿真维修训练系统支持教员端在电路任意点位置的断线和器材故障点设置,学员端能正确反应故障后电路中各接点位置的电气参数的变化,与实体设备的电气参数一致。该方法有效地解决了信号设备电路类故障维修训练须搭建最小的实体设备导致成本高、实施周期长的问题,利用数字化的虚拟仿真技术手段,拓展了信号设备电路类虚拟维修的仿真模拟方法,丰富了电路虚拟维修的训练方法,为信号维修维护人员的技能提升提供技术支撑。

参考文献

[1]刘明生. 铁道信号概论[M]. 北京:中国铁道出版社,2017.
 [2]杜恒,孙军国,张强,等. 基于地面无联锁及区域控制器的新一代CBTC系统方案[J]. 都市轨道交通,2017(4):91-95.
 [3]周向军. 液压道岔常见故障问题及整治方法分析[J]. 中国铁路,2015(1):73-73.
 [4]冯旭. 铁路信号设备电路原理仿真教学系统设计及应用研究[J]. 中国新通信,2022,24(4):38-40.
 [5]吴海平. ZYJ7 液压道岔电路分析及故障维护处理[J]. 中国铁路,2016(11):68-72.
 [6]程伟鸷,王海东,梁宇. 铁路道岔转辙机故障分析与故障诊断监测系统研究[J]. 中国铁路,2018(7):49-53.
 [7]李水明,邵长春,冯云智. 铁路ZYJ7转辙机综合培训系统的研究与

实现[J]. 西部交通科技,2019(12):145-148.
 [8]李泽军,齐俊. 道岔控制电路故障分析诊断[J]. 中国科技信息,2024(9):69-72.
 [9]石岩松. 朔黄铁路交通发展人才资源开发与使用研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2018.
 [10]王艺佳. 基于Unity3D的ZDJ9型转辙机三维建模和仿真研究[D]. 成都:西南交通大学,2019.
 [11]黄浩强. 转辙机电路故障处理培训考核系统的设计与实现[J]. 铁道通信信号,2023,59(7):29-34.
 [12]董俐君,岳恒,李俊峰. 基于主成分聚类分析的电力用户信息自动集成方法[J]. 自动化技术与应用,2025,44(9):124-128.
 [13]王晋海. 铁路信号转辙机系统化教学研究[J]. 科技视界,2022,(13):94-96.
 [14]梅萌. 道岔转辙机虚拟仿真及评估系统研究与开发[D]. 广州:广东工业大学,2017.
 [15]陈建青,赵俊杰. 一种尺度目标模拟器的模拟逼真度分析[J]. 鱼雷技术,2014,22(6):442-446.
 [16]TAKINO T, IWAKAMI T. Education for the engineers of traction power supply division in East Japan railway company [C]//Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima2014-ECCE-ASIA), 2014 International. Hiroshima, Japan:IEEE, 2014:817-820.
 [17]TOMITA K, ITO K. Software in an Evolving Train Traffic Control System[J]. IEEE Software, 2011, 28(2):19-21.
 [18]任亚琼. 朔黄铁路YP分公司信号设备维修模式改进研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2021.
 [19]王科鹏,杨华昆,丁士. 基于虚拟现实的电网安全培训仿真系统设计[J]. 自动化技术与应用,2025,44(2):89-93.
 [20]刘晓曦,丛晓丹,宋昌江. 基于虚拟现实的“七星砬子东北抗日联军密营遗址”再现研究[J]. 自动化技术与应用,2024,43(7):181-183.
 [21]张星炜,王海楠,孟悦,等. 基于数字孪生的输变电线路三维数字化仿真系统[J]. 自动化技术与应用,2025,44(2):94-99.
 [22]邵知宇,刘添元,李精伟,等. 基于虚拟现实的泵站虚拟巡检系统[J]. 自动化技术与应用,2025,44(7):43-46,133.
 [23]赵峰,余江斌,浦正国,等. 基于虚拟现实的电力信息交互式系统设计[J]. 自动化技术与应用,2024,43(6):161-165.