

《高速铁路牵引供电系统设计与运行》  
虚拟仿真实验指导书

## 一、实验目的

利用虚拟仿真技术再现高速铁路牵引供电工程场景,通过人机交互模拟牵引供电系统的设计和运行过程,实现书本理论知识和工程实践之间的有效衔接,有利于学生加深工程设计相关概念的理解和知识点的掌握,提升解决复杂工程问题的能力。

## 二、实验简介

该实验项目主要由高铁牵引供电系统认知、供电设计、运行仿真、短路试验4个实验构成,需要4个学时完成:

### 实验一:设备认知

学生结合典型高铁牵引变电所三维场景,认知主要高压电气设备。

### 实验二:供电设计

完成一条高铁线路的牵引变电所布点规划,根据电压等级、系统容量及地理位置选择外部电源,选择变压器容量及阻抗参数,构建出牵引供电一次系统。

### 实验三:仿真运行

首先掌握停送电倒闸操作,然后按照设定的列车型号和发车间隔模拟实际运行工况,通过仿真计算观测高铁电气负荷过程,校验变压器容量、接触网电压等参数,如果达不到设计要求,则返回修改设计重新仿真校验。

### 实验四:高压短路试验

模拟接触网高压短路试验,校验保护设置的合理性。

## 三、实验设备

### (1) 设备认知模块的场景设定

- 1) 基于牵引变电所实景和多角度全景照片的三维场景;
- 2) 供电设备三维模型、电气符号及基本原理介绍。

### (2) 供电设计模块的预设参数

- 1) 铁道线路:以实际铁路为背景,包含一个始发站、一个终到站,全长为118km;
- 2) 外部电源:短路容量(1000、1200、1500、2500、3000、3800、4000、4200、5000MVA)及电压等级(110kV、220kV);

3) 牵引变压器：容量 20、25、31.5、40、50、63、75、90、100MVA 可选，V/X 接线、V/V 接线，单相接线等；

4) 主接线样式：以高速铁路牵引变电所的典型主接线为例，包括一主一备变压器，线路-变压器组接线、单母线分段等等；

5) 其他参数：供电臂长度、分区所位置等都依据牵引变电所的选址自动给出。

### (3) 仿真运行的预设参数

1) 列车负荷：给出 8 辆编组和 16 辆编组动车组在 250km/h 和 350km/h 两种速度等级的列车运行数据，仿真间隔为 1 秒；

2) 行车组织：追踪间隔为 5min 和 8min；

## 四、实验操作步骤

本实验项目分为四个功能模块 12 个操作步骤（如图 1），模块与模块间具有知识相关性和递进性，模块之间知识由浅入深，相互关联，前面的设计由后面的运行进行验证：

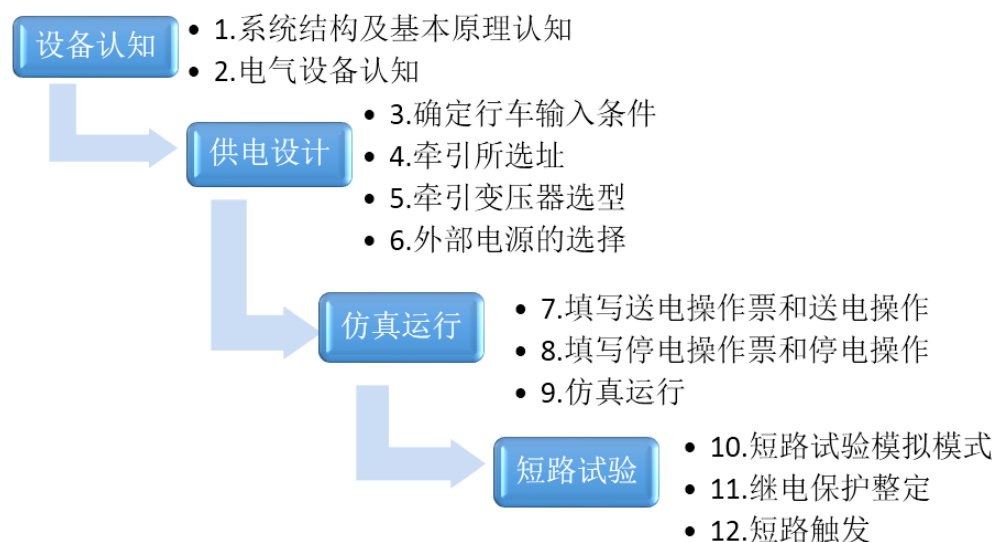


图 1 高速铁路牵引供电系统设计与运行虚拟仿真实验操作步骤

### (1) 设备认知

步骤 1：系统结构及基本原理认知

学生通过动画显示和语音解说了解牵引供电系统的主要组成和基本工作原理，如图 2 和图 3。

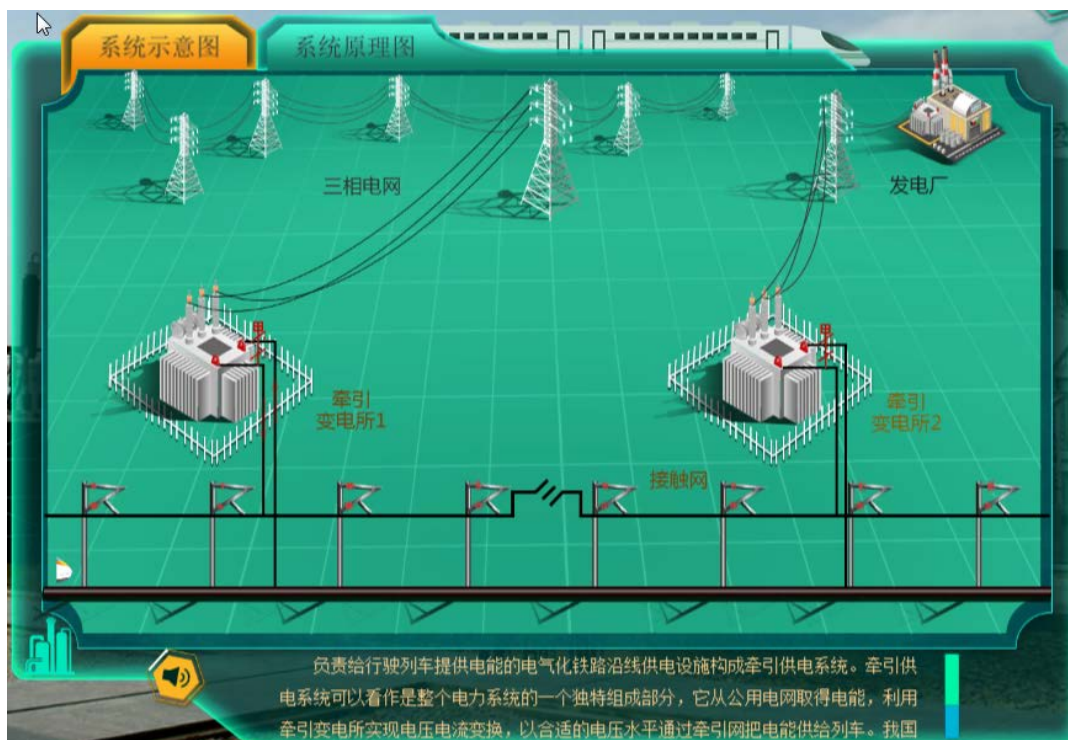


图 2 高速铁路牵引供电系统示意图

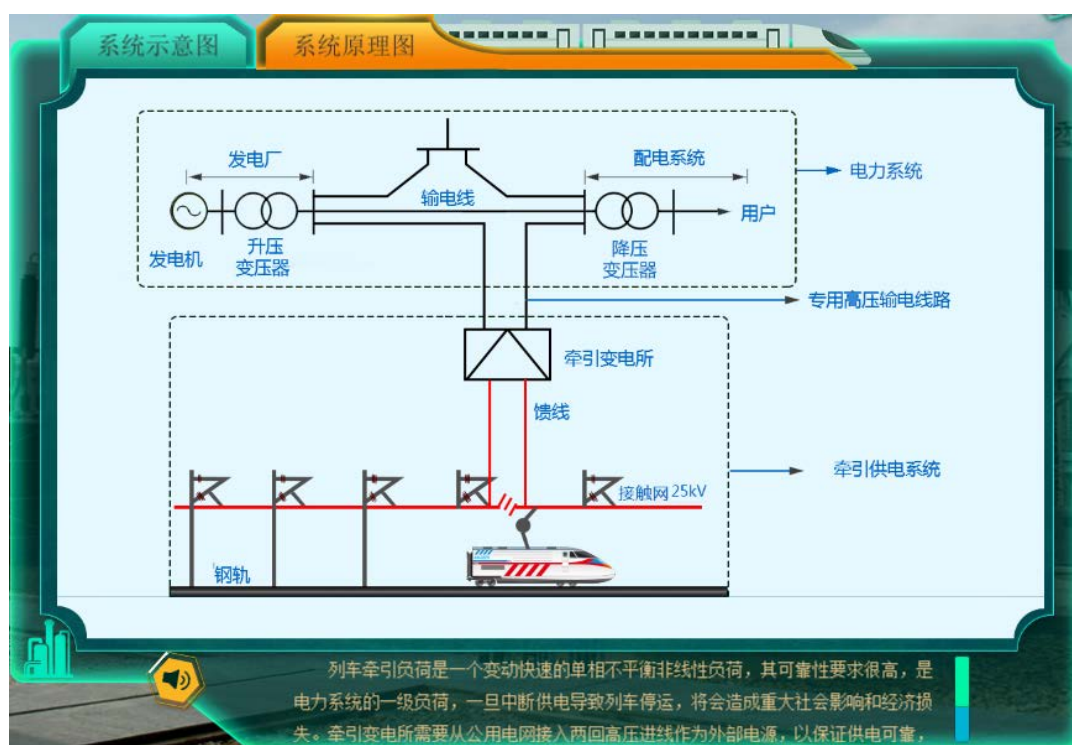


图 3 高速铁路牵引供电系统原理图

## 步骤 2: 电气设备认知

通过虚拟仿真 3D 表现形式与物理实质相结合的实验形式，首先通过鼠标的三键操作，以漫游模式，从不同角度对场景中牵引变电所的主要电气设备

(电流互感器, 隔离开关, 避雷器, 断路器, 电压互感器和牵引变压器) 进行认知, 辨识和匹配, 通过考核的形式掌握实物、电气符号以及 CAD 图纸三者的对应关系, 如图 4~图 7。



图 4 牵引变电所整体场景

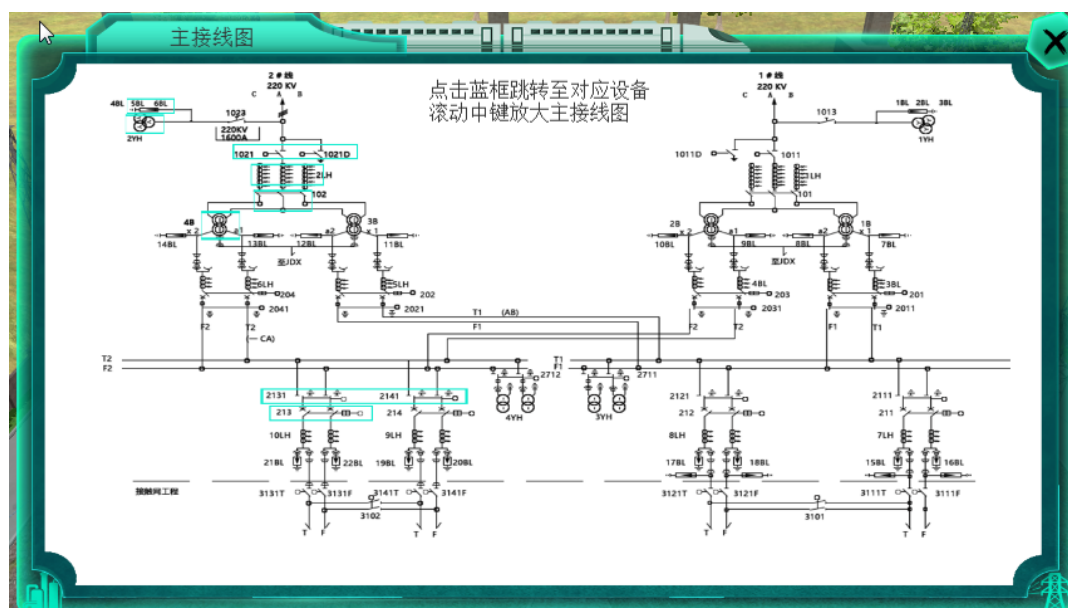


图 5 牵引变电所主接线图



图 6 电气设备实际场景



7 电气设备三维模型及介绍

(2) 供电设计：结合高速铁路实际线路，学生自主选定设计输入条件，包括列车编组、发车间隔和列车速度，进行合理的高速铁路牵引供电系统设计，包括牵引所选址，外部电源选择以及牵引变压器选型。

### 步骤 3：确定行车输入条件

进入供电设计模块，学生必须结合高速铁路实际线路及规划的运量，自主选定设计输入条件，包括列车编组、发车间隔和列车速度。输入条件的设置直接影响到牵引变压器和外部电源的选择。点击“行车输入条件”按钮，将弹出对话框（如图 8（a）），每一个条件的选择通过下拉式菜单提供（(b) ~ (d)）。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 8 输入参数设置

#### 步骤 4：牵引所选址

牵引变电所位置的确定需要考虑供电臂长度、接触网载流量、负荷大小及分布、线路纵断面等因素。铁路沿线剖面图如图 9 所示。点击图 10 右下方“创建牵引所”按钮，在图中将出现橙色牵引变电所图标，由鼠标拖动可将牵引变电所放置到铁路沿线的合适位置。

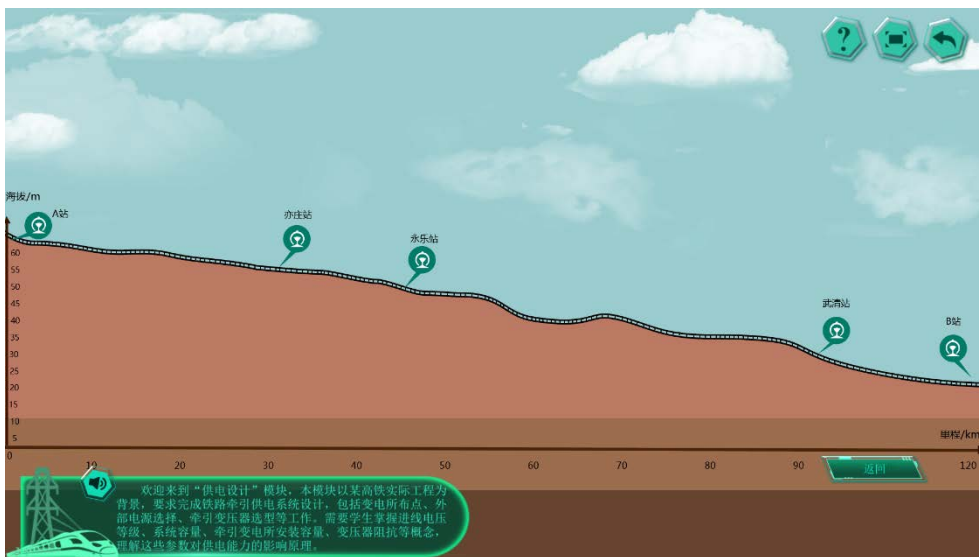


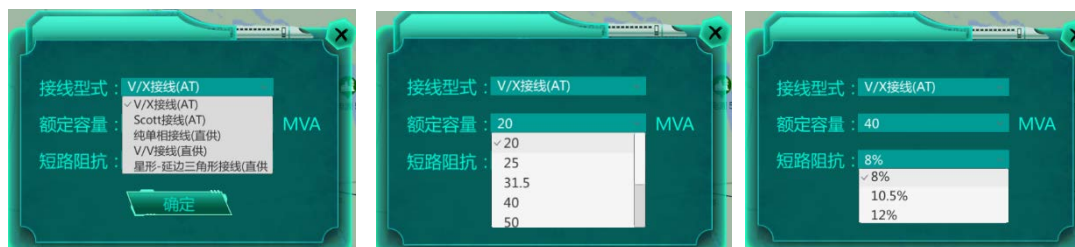
图 9 线路剖面图



图 10 牵引所选址

### 步骤 5：牵引变压器选型

学生必须了解目前高速铁路牵引供电系统牵引变压器的接线方式，根据牵引负荷情况选择变压器参数。变压器容量大小的合理性直接关系到供电能力和运行经济性。该步骤中包括三个选择，分别是对变压器的接线型式、容量以及短路阻抗参数进行设置，在这三个设置中，分别采用下拉式菜单（如图 11），在各菜单中分别罗列了目前在工程实际中常用的变压器接线型式、容量以及短路阻抗。



(a) 接线方式设置

(b) 额定容量设置

(c) 短路阻抗设置

图 11 牵引变压器选型

### 步骤 6：外部电源的选择

根据电网进线短路容量至少是牵引变压器容量的 40 倍以上和对电网电压等级的要求，为牵引所选取合适的外部电源（如图 12）。点击大图右边箭头，将弹出当前选择的电源参数信息框（如图 13），点击主用电源或备用电源按钮，然后点击大图中相关电源的图标，此时在图中有黑线将外部电源和牵引变电所连接（如图 14）。



图 12 牵引所设计选项

名称	值	单位
距A站距离	30	km
铁路垂直距离	18	km
电源短路容量	4000	MVA
电源电压等级	220	kV
A到B左右侧	右	

图 13 电源参数信息框



图 14 外部电源设计完成界面

当以上设置完成后，在牵引所信息框中也将出现相关信息（如图 15）。

牵引所1		
名称	值	单位
距A站距离	37	km
牵引变容量	20	MVA
短路阻抗	8	%
主用电源	3号电源	
备用电源	5号电源	

图 15 牵引所设计信息

在高速铁路牵引供电系统中除了有牵引所，还存在分区所。点击右下方“创建分区所”按键，在每个牵引变电所两边将分别生成一个分区所，如图 16 所示。



图 16 分区所生成

(3) 仿真运行：这个模块的练习主要实现两个目的：一是训练学生掌握停电、送电操作票的操作顺序，这是供电运维人员需要掌握的一项基本技能，要求学生了解安全停电送电知识，掌握开关操作顺序；二是通过运行仿真来对变压器容量、母线电压、列车最低电压等指标进行检验，不满足要求将返回供电设计进行设计修改，这也是对前面牵引变电所设计的验证。

#### 步骤 7：填写送电操作票和送电操作

参照左边的主接线图，根据安全送电的顺序，依次在右边的送电操作顺序图中绿色圈中填入阿拉伯数字表示正确送电顺序（如图 17），然后点击图中

“检查”按钮，系统将自动按正确操作票检查所填操作顺序是否正确，如果出现红色字体则表示填写的送电顺序错误，必须保证送电顺序全部正确方可进行下一步操作。

送电操作排序		停电操作排序	
所名: XX牵引变电所		XX牵引变电所测试 002	
发令人		发令时间	
命令号	001	命令内容	XX变电所上电(1、3#变压器投运)
操作步骤			
● 合1013、1023隔离开关, 确认合位			
● 确认102断路器在分位, 合101断路器, 确认合位			
● 合201、203断路器, 确认合位			
● 确认1011D刀闸在分位、1021D刀闸在分位			
● 合211、212、213、214断路器, 确认合位			
● 确认2111、2121、2131、2141、2711、2712隔离开关处于合位			
● 合1011、1021隔离开关、确认合位			
● 合3111T、3111F、3121T、3121F、3141T、3141F、3131T、3131F隔离开关, 确认合位			
● 合2011、2031隔离开关, 确认合位			
完成时间		操作人	

图 17 送电操作排序

依次在模拟的操作屏上，按照上一步生成的操作票操作顺序，点击相应的隔离开关或断路器，对其进行位置确定与合闸操作（如图 18），开关遥控操作设置如图 19。

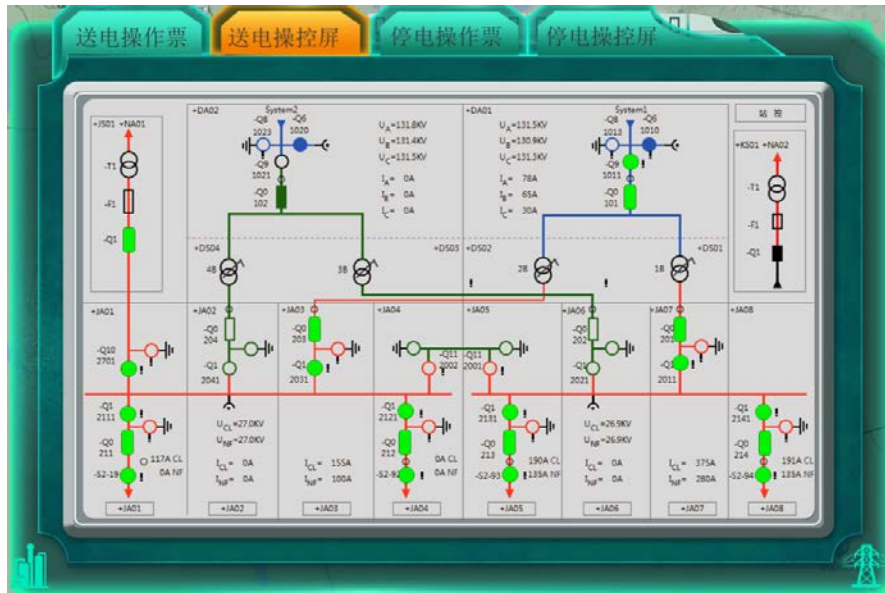


图 18 送电操作屏



图 19 开关遥控操作

步骤 8: 填写停电操作票和停电操作

参照左边的主接线图，根据安全停电的顺序，依次在右边的停电操作顺序图中绿色圈中填入阿拉伯数字表示正确停电顺序（如图 20），然后点击图中“检查”按钮，系统将自动按正确操作票检查所填操作顺序是否正确，如果出现红色字体将表示填写的停电顺序错误，必须保证停电顺序全部正确方可进行下一步操作。



图 2-8-20 停电操作排序

依次在模拟的操作屏上，按照上一步生成的操作票操作顺序，点击相应的隔离开关或断路器，对其进行位置确定和停电操作（如图 21），开关遥控操作设置如图 22。

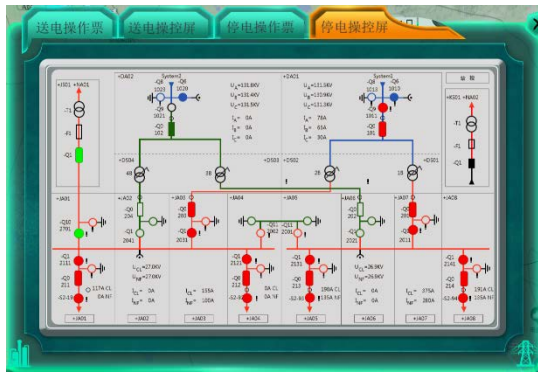


图 21 停电操作屏



图 22 开关遥控操作

### 步骤 9: 仿真运行

点击运行仿真按钮。在设计开始选定的列车编组、发车间隔和速度条件下，调用后台供电计算仿真程序，观察动态负荷数据：牵引变电所的输出功率，母线电压等，以此校验牵引变电所网压和容量的合理性。仿真计算结果显示在信息框中，在供电设计中牵引所的主要信息分别显示在牵引所参数信息框中，相关显示如图 23 所示。供电系统设计是否合理，系统将弹出信息框如图 24，如果设计不合理，学生则必须返回到供电设计模块中重新进行设计。

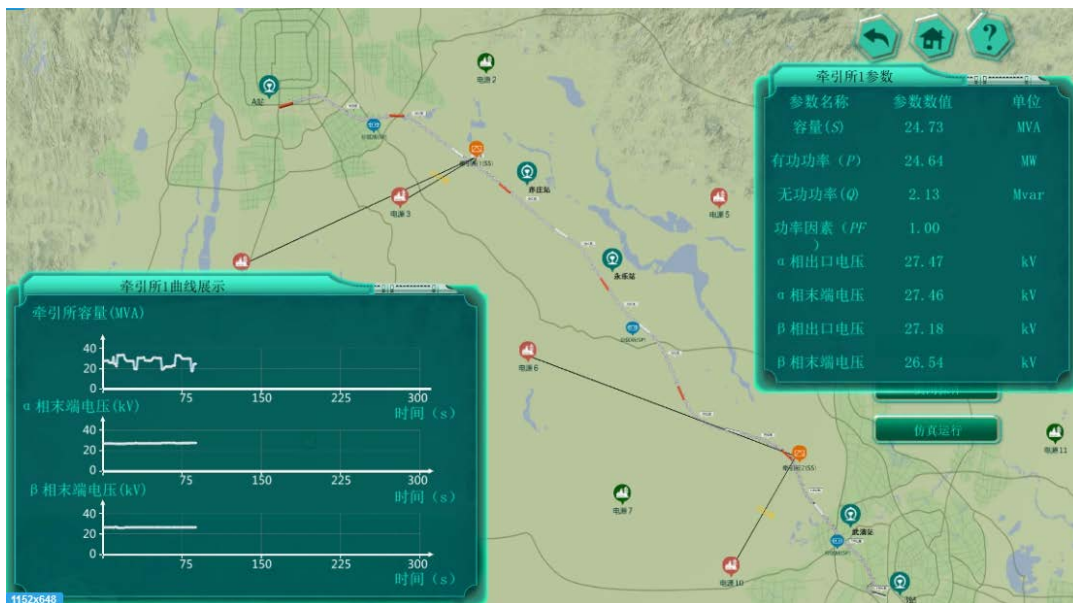


图 23 牵引所运行数据数据显示



图 24 供电设计结果验证

#### (4) 短路试验

学生要掌握影响短路电流大小的因素，了解高压短路试验中验电挂接地线的实际操作过程，通过三维动画复现短路试验的实际场景，同时掌握牵引馈线保护整定方法。通过界面中左边一系列按钮进行高压短路试验操作，此操作主要分为三个步骤：短路试验模拟、继电保护整定设置以及短路触发。

##### 步骤 10：短路试验模拟模式

需要学生了解影响短路电流大小的因素、安全断电的操作，并由此过程了解验电挂接地线的实际操作过程。本步骤中首先确定短路位置，有四个位置可选（如图 25），点击图 25 中“显示位置”按钮，弹出一个可见短路位置在接线图中位置的界面（如图 26），再点击此界面中的“返回”按钮，然后进行断电操作：根据倒闸操作票（如图 27），在牵引所监控屏上找到相应隔离刀闸及断路器，对其进行分闸操作（如图 28 和图 29），分闸后的监控屏显示如图 30。分闸后还必须在高压开关柜上悬挂警示牌（如图 31）。点击“验电挂地线”按钮，系统将模拟显示验电、接地及挂地线三个操作。短路试验接线如图 32~34 所示。



图 25 短路点位置选择

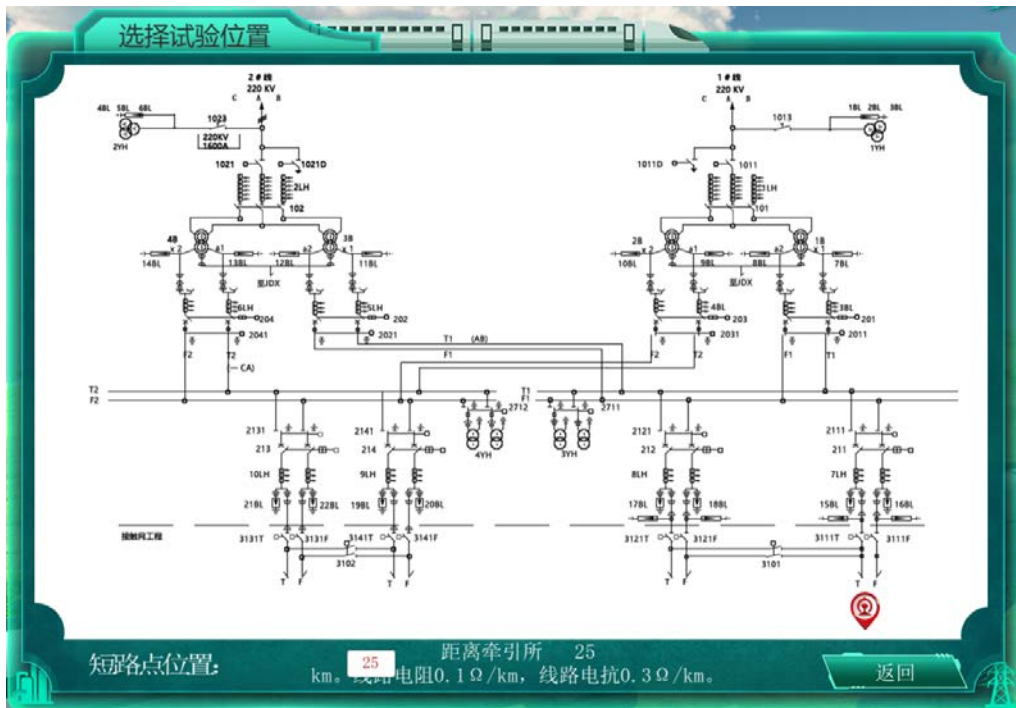


图 26 短路点位置示意图

倒闸操作票

XX 牵引所测试 002

发令人	命令号	命令内容	接令人
	001	XX 变电所上电 (1、3#变压器投运)	
操作步骤			
1、分211断路器, 确认分位;			
2、分3111T、3111F隔离开关, 确认分位, 并验电;			
3、进行短路试验操作。			
完成时间		操作人	

图 27 倒闸操作票

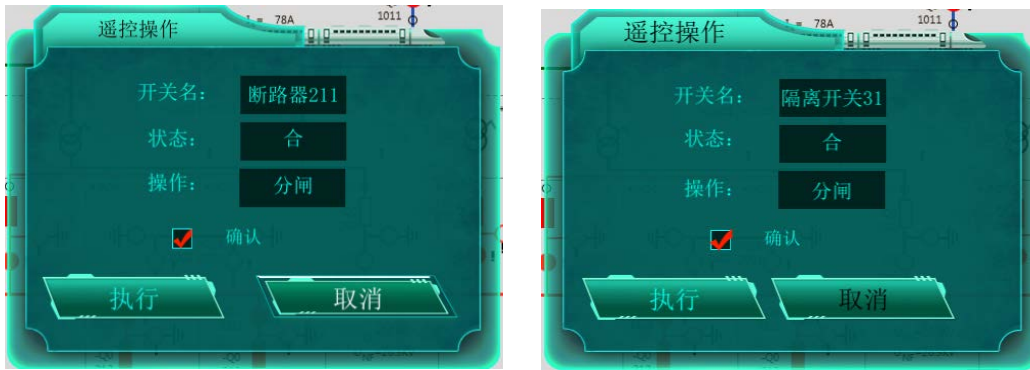


图 28 遥控开关操作

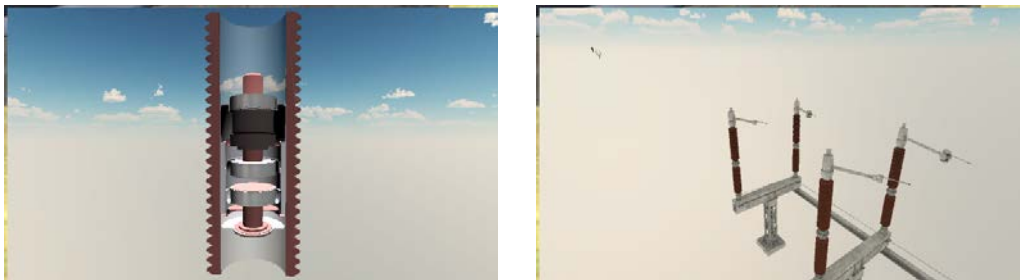


图 29 开关状态

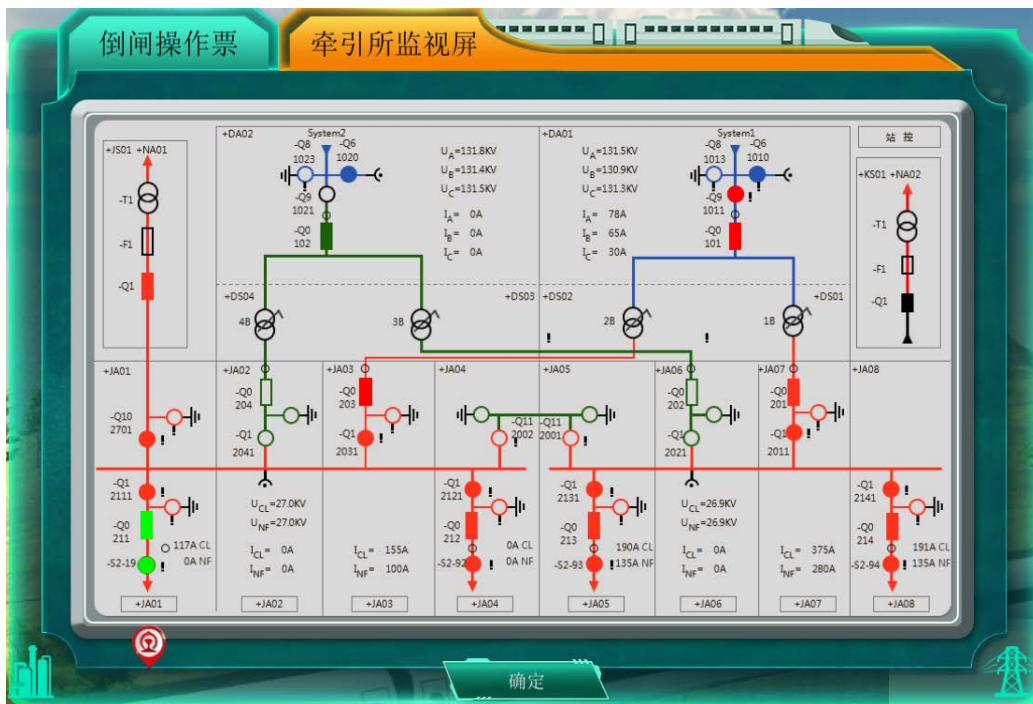


图 30 断电操作监控屏显示



图 31 悬挂警示牌



图 32 短路试验验电



图 33 短路试验接地



图 34 短路试验挂地线

### 步骤 11：继电保护整定设置

需要学生了解牵引供电系统中保护整定的原则，根据选定的外部电源、变压器技术参数和供电臂长度确定线路阻抗和短路电流范围，按牵引馈线继电保护整定原则，设定保护动作值。



图 35 继电保护整定设置

### 步骤 12: 短路触发

通过仿真计算给出短路电流，从而可以进行馈线保护校验。

这一步操作是对步骤 10 的逆操作，包括摘除警示牌和合闸上电（如图 36~图 38）。

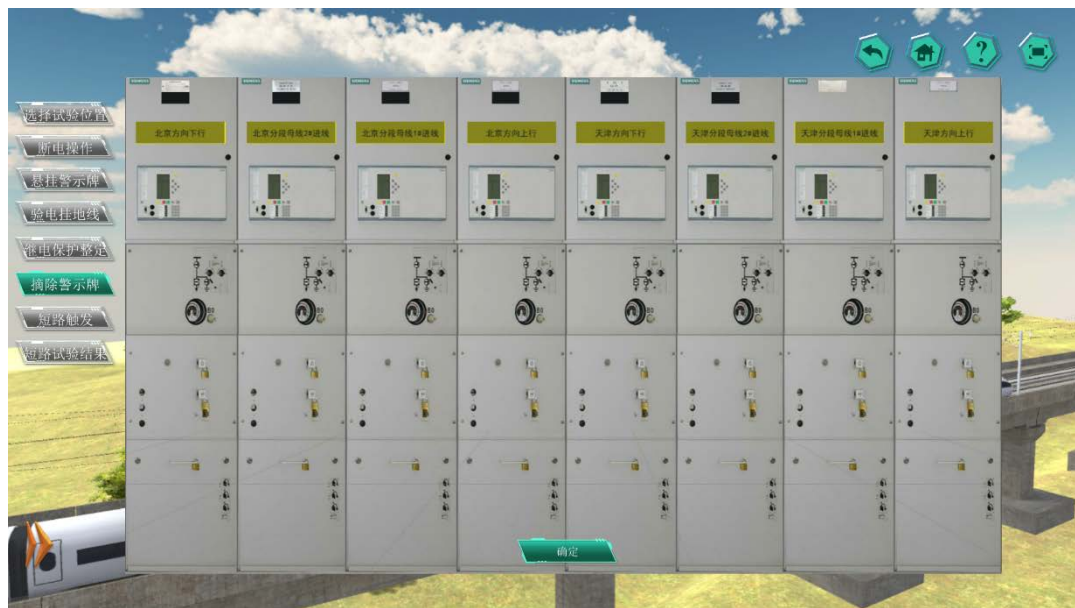


图 36 摘除警示牌



图 37 短路试验操作顺序

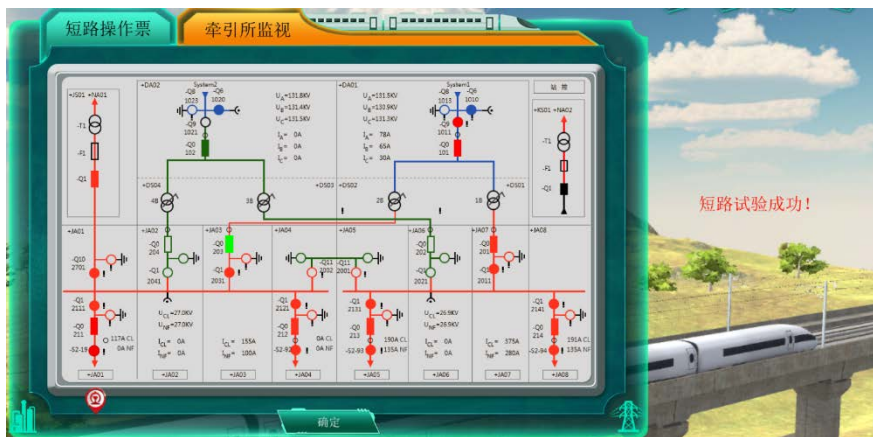


图 38 送电操作监视屏显示

点击“短路试验结果”，结果显示如图 39 所示。



图 39 短路试验结果显示

## 五、考核标准

具体用完成度考核（占比 24%）、实验结果考核（占比 36%）、实验报告（占比 40%）三种形式进行考核。

### （1）完成度考核

主要考核学生对高速铁路牵引供电系统设计的正确性，以及各个组成部分的设计；考核学生对实际模拟运行实验的场景对问题的发现和解决能力。

完成度考核为必须通过环节，设备认知必须对六个主要电气设备全部正确辨识方为通过；停送电操作的顺序必须完全正确方为通过。

### （2）实验结果考核

考核学生在进行模拟运行实验时的完成进度与完成情况，反映学生对理论掌握程度与解决实际工程问题能力，对实验数据的记录与分析，对学生实验方案的合理性、实验结果完整性进行考核。

供电设计考核包括牵引所设置和外部电源原则；仿真运行结果考核包括电压和容量；继电保护考核包括距离保护和电流速断保护。

### （3）实验报告

针对实验操作及结果完成实验报告并提交