



中华人民共和国国家标准

GB/T 34569—2017

带电作业仿真训练系统

Simulation training system for live working

2017-09-29 发布

2018-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统组成 2

5 技术要求 3

6 性能指标 6

7 测试 7

8 资料 8

附录 A（规范性附录） 带电作业仿真训练系统模型技术要求 9

附录 B（规范性附录） 带电作业仿真训练系统应用资料要求 12

附录 C（规范性附录） 带电作业仿真训练系统开发资料要求 13

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国带电作业标准化技术委员会(SAC/TC 36)归口。

本标准主要起草单位:中国电力科学研究院、武汉大学、国网福建省电力有限公司、国网山东省电力公司、国网湖北省电力公司、国网金华供电公司、武汉科迪奥电力科技有限公司。

本标准主要起草人:刘凯、肖宾、左新斌、唐建辉、方玉群、李昇、何书华、刘毅、吴宝贵、杨晓翔、雷兴列、胡建勋。

带电作业仿真训练系统

1 范围

本标准规定了带电作业人员操作技能仿真训练系统的构成要素、基本要求、性能指标、测试及资料等要求。

本标准适用于输配变电带电作业仿真训练系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 2900.55 电工术语 带电作业
- GB/T 14286 带电作业工设备术语
- GB/T 15532 计算机软件测试规范
- GB/T 18857 配电线路带电作业技术导则
- GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
- GB 26861 电力安全工作规程 高压试验室部分
- DL 409 电业安全工作规程(电力线路部分)
- DL/T 966 送电线路带电作业技术导则

3 术语和定义

GB/T 2900.55 和 GB/T 14286 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟现实 virtual reality

利用计算机生成逼真的三维视、听等感觉,使人作为参与者通过适当装置,自然地对虚拟世界进行体验和交互作用。

3.2

仿真训练 simulation training

通过虚拟现实技术模拟真实的作业环境对学员进行操作训练。

3.3

模型 model

对真实世界过程、概念或系统结构、行为等某些方面特性理想化近似表达。

3.4

物理模型 physical model

用物理相似的方法建立的模型。

3.5

仿真 simulation

建立模型,使其与真实世界过程、概念或系统在相同受控输入下的特性是相像的。

3.6

仿真对象 simulation object

被仿真的真实世界过程、概念或系统。

3.7

逼真度 fidelity

物理模型与仿真对象在特征、特性方面的相似程度。

3.8

仿真操作 simulation operation

一种人机互动的特定状态,在该种状态下可模拟行走、爬杆(塔)、传递、抓取、紧固等操作。

3.9

仿真训练平台 simulation training platform

以训练带电作业人员为目的,利用仿真技术对仿真对象特征、特性进行理想化近似表达的仿真系统装置。

3.10

协同作业 collaborative operation

多人通过仿真训练平台,分别扮演不同的角色配合完成选定作业项目的仿真操作。

4 系统组成

4.1 硬件

4.1.1 仿真教学平台

带电作业仿真教学平台宜提供主图形工作站、立体投影机和环形屏幕,用于开展带电作业典型操作项目的大规模教学工作。

4.1.2 仿真训练平台

带电作业仿真训练平台提供主图形工作站、立体显示屏和操作设备,用于开展带电作业典型操作项目的单人训练或多人协同训练。

4.1.3 管理员站

管理员站应配置显示设备和操作设备,可配置摄像机、打印机等附加设备,用于控制仿真训练平台运行,实现系统管理功能,记录与评价学员操作。

4.1.4 数据服务器

高性能数字计算机及其外围设备,具备带电作业仿真模型的实时运算和仿真系统功能。

4.1.5 网络设备

训练系统的通信网络设备,实现管理员站与仿真训练平台间、仿真训练平台之间的数据通信和交换。

4.1.6 输入输出接口

由模拟、数字转换电路构成的设备,实现仿真训练平台设备与其他外部设备的数据转换和通信。

4.2 软件

4.2.1 仿真支撑软件

支持仿真模型和仿真应用软件的设计、开发、调试、维护、运行和数据库管理的软件。

4.2.2 管理员站软件

提供仿真训练平台配置、记录等管理功能的软件。

4.2.3 带电作业仿真教学软件

实现仿真训练系统中带电作业项目标准化、规范化的教学软件。

4.2.4 带电作业仿真训练软件

针对带电作业典型操作项目进行单人或多人协同训练的软件,具备仿真操作、在线考试、资料查询、协同作业等多项仿真训练功能。

4.2.5 诊断和测试软件

包括在线或离线诊断实操训练平台故障的诊断软件,提供帮助检查或维护系统和设备的测试程序。

4.3 工具与文档

4.3.1 工具

提供维护仿真训练平台正常运行的软件、硬件必备工具。

4.3.2 文档

包括仿真培训系统软件和硬件资料,便于仿真训练平台的运行、维护与升级。

5 技术要求

5.1 仿真范围

5.1.1 一般要求

仿真范围涵盖电力系统输配变设备模型、作业场景模型、带电作业工器具模型、作业人员模型以及典型操作项目的作业流程。仿真训练系统模型应符合附录 A 的规定。

5.1.2 输配变设备模型

5.1.2.1 输电架空线路设备

导线、地线、杆塔、绝缘子、金具、杆塔基础、拉线、接地装置和避雷器等线路设备模型,应根据典型输电架空线路设备建立。

5.1.2.2 配电线路设备

配电线路设备模型应满足以下要求:

- a) 导线、杆塔、绝缘子、金具、杆塔基础、拉线和接地装置等配电线路设备,以及避雷器、变压器、断路器、跌落式熔断器、隔离开关等配电设备及其操作控制机构等仿真模型,应根据典型架空配

电设备建立。

- b) 环网柜、开关柜、分支箱、电力电缆、电缆附件等电缆线路设备仿真模型,以及电缆沟等辅助设施模型,应根据典型电缆线路设备建立。

5.1.2.3 变电站设备

主变压器及其辅助设备、断路器、隔离开关、接地设备、互感器电容器、电抗器、阻波器、组合电器(GIS)、母线、接地变压器、消弧线圈、避雷器、耦合电容器、站用变压器、智能电子设备等一次设备及其操作控制机构等仿真模型,应根据典型变电站建立。

5.1.3 作业场景模型

树林、公路、建筑、丘陵等线路通道环境及典型地形地貌仿真模型,应根据输配变电带电作业场景建立。

5.1.4 带电作业工器具模型

5.1.4.1 输电带电作业工器具模型

绝缘杆、绝缘绳、绝缘托瓶架、绝缘梯、绝缘滑车、金属卡具、电位转移棒、屏蔽服及辅助吊装设备等工器具装备仿真模型,应根据输电带电作业常用工器具建立。

5.1.4.2 配电带电作业工器具模型

绝缘杆、绝缘绳、绝缘梯、绝缘滑车、绝缘防护用具、绝缘遮蔽用具、绝缘斗臂车、绝缘平台、旁路作业车、移动箱变车、旁路负荷开关、带电作业消弧开关、旁路柔性电缆等工器具装备仿真模型,应根据配电带电作业常用工器具建立。

5.1.4.3 变电站带电作业工器具模型

绝缘杆、绝缘绳、绝缘托瓶架、绝缘梯、绝缘滑车、绝缘平台、金属卡具、屏蔽服、水清洗装置等工器具装备仿真模型,应根据变电站带电作业工器具建立。

5.1.5 带电作业人员模型

工作负责人、专责监护人、等电位电工、杆(塔)上电工、斗内电工、地面电工等作业人员仿真模型,应根据带电作业人员类型建立。

5.1.6 典型带电作业项目

5.1.6.1 一般要求

三维仿真应根据典型带电作业操作项目的工作内容、工作形式、工作环境、作业流程确定。

5.1.6.2 典型输电带电作业项目

输电线路典型带电作业项目宜包括带电更换绝缘子串、带电更换金具、带电修补导线、带电检修地线等,涵盖地电位作业、中间电位、等电位作业等不同的作业方法。

5.1.6.3 典型配电线路带电作业项目

配电线路带电作业项目宜包括带电断(接)支路引线、带电更换绝缘子、带电更换横担、带电更换跌落式熔断器、带负荷更换柱上开关、带电更换变压器、组立或撤除电杆、旁路作业、带电断接电缆引线等,

涵盖绝缘杆作业法和绝缘手套作业法。

5.1.6.4 典型变电站带电作业项目

变电站典型带电作业项目宜包括带电断(接)隔离开关引线、带电处理设备发热、带电清洗支柱绝缘子等。

5.2 基本功能要求

5.2.1 教学系统

5.2.1.1 一般要求

教学系统用于电力设备基础教学和典型操作项目教学,演示应具有自动控制功能,可灵活开展多种形式的训练教学活动。

5.2.1.2 设备基础教学

设备基础教学的要求主要包括:

- a) 电力设备场景展示:可在虚拟训练场景中漫游,并通过放大、缩小场景对架空线路设备、配电设备、变电站设备等进行全方位、精细化观察;
- b) 设备搜索定位:可通过多种搜索方法,快速定位目标设备在虚拟场景中的准确位置;
- c) 设备信息讲解:可展示主要设备的内部结构图及组成部件,以及正常状态、常见缺陷状态及台账信息等。

5.2.1.3 典型操作项目教学

典型操作项目教学要求包括:

- a) 任意选择具体带电作业项目,演示标准化的作业过程,配有专业语音讲解;
- b) 教师可自由控制教学过程及讲解方式,可选择对项目任意步骤进行重点讲解,让学员充分熟悉作业过程和细节、危险点分析及预控措施。

5.2.1.4 带电作业工器具教学

讲解工器具功能、使用、保管、检测方法。

5.2.2 训练系统

5.2.2.1 一般要求

训练系统用于学员自主学习仿真操作演练,应具备仿真操作、协同作业、在线考试、资料查询、管理员站等功能,训练内容针对典型的带电作业项目,作业项目应可拓展。

5.2.2.2 仿真操作

仿真操作功能的要求包括:

- a) 学员借助专用外设与仿真系统进行交互,操作虚拟电工进行带电作业项目的全过程仿真训练;
- b) 模拟带电作业的实际工况与标准化操作流程,重点操作环节应细致演示,对危险点进行重点讲解,对学员的错误操作进行纠正引导;
- c) 仿真操作内容和资料应符合带电作业有关标准;
- d) 采用模块化、可扩展设计,具有兼容性和拓展性,可根据作业项目、作业习惯,灵活修改、扩充训

练项目。

5.2.2.3 协同作业

协同作业功能的要求包括：

- a) 可实现多人共同参与仿真训练的功能,不同作业人员可利用已联网的仿真训练平台,分别扮演不同作业角色,相互配合、共同完成作业项目;
- b) 学员可任意观看其他角色的作业情况。

5.2.2.4 在线考试

在线考试功能的要求包括：

- a) 在线考试应对学员的学习情况进行综合评定,包括理论考试和实操考试;
- b) 理论考试应以带电作业相关技术标准和操作导则为基础,按照题目类型、难易程度等分类管理,提供开放式题库,可根据需要进行增加或删减;
- c) 实操考试应对典型带电作业项目操作方法考核,包括作业项目流程、工器具选择、工器具检查、安全防护措施设置等。

5.2.2.5 资料查询

资料查询功能的要求包括：

- a) 资料查询为学员提供训练中的实时帮助;
- b) 资料内容涵盖带电作业基本原理、技术标准、操作规程、工器具资料、作业指导书、作业质量控制措施等;
- c) 查询资料以文字、图像、语音、视频、动画等多种形式进行展示。

5.3 管理员站功能

管理员站功能如下：

- a) 建立学员档案,管理学员信息;
- b) 进行考试设置,包括指定考试科目,设置缺陷等;
- c) 根据教学需要录入资料,供学员使用;
- d) 对错误列表、考试成绩、配置信息等进行管理和维护。

6 性能指标

6.1 稳态运行指标

稳态运行的指标要求如下：

- a) 稳态运行时,系统仿真演示应稳定可靠;
- b) 电力设备、作业工具、作业人员等三维模型形状、相互间的比例与参考线路的误差不大于10%;
- c) 液晶显示屏、环形屏幕等显示设备有三维立体效果;
- d) 仿真模型不出现穿透、悬浮、前后不一致的情况。

6.2 动态运行指标

动态运行的指标要求如下：

- a) 动态运行时,系统仿真操作应稳定可靠;

- b) 典型带电作业项目操作方法和作业流程符合 GB/T 18857、GB 26859、GB 26861、DL 409 和 DL/T 966 的规定；
- c) 仿真操作动作准确，偏差率不大于 5%；
- d) 仿真操作动作流畅，动作显示不少于 60 帧/s。

6.3 实时性指标

仿真训练系统处于正常运行状态下，触摸屏、键盘和鼠标应实时展现操作效果，响应时间小于 2 ms。

6.4 系统可靠性指标

系统可靠性指标要求如下：

- a) 仿真训练系统应长时间(不小于 12 h)保持正常运行而不会出现卡机、死机；
- b) 软件系统出现不可恢复的错误时，应保证系统数据库完好无损。

7 测试

7.1 硬件系统测试

7.1.1 外观检验

用目测法对硬件系统设备逐套进行检验，检查硬件系统各部件是否齐全，设备外观是否完好。

7.1.2 功能检验

用体验法对硬件系统功能逐项进行检验，检查操作设备是否灵活便捷，三维立体显示是否良好。

7.2 软件系统测试

用体验法对软件系统功能逐项进行检验，检查软件系统是否具备教学、训练、管理员、故障诊断等功能。选择具体操作项目，检验仿真操作的正确性，包括：

- a) 仿真模型比例是否一致；
- b) 项目列表准确是否完整；
- c) 步骤列表打开和关闭是否正常；
- d) 工器具选择是否正确；
- e) 工器具检测方法是否正确；
- f) 仿真项目标准操作流程是否正确；
- g) 仿真项目操作步骤及配音正确；
- h) 仿真项目操作动作显示是否流畅。

7.3 软件可靠性测试

7.3.1 软件可靠性测试按照 GB/T 15532 的标准执行。

7.3.2 仿真训练系统连续运行 12 h，检验是否出现卡机、死机现象。

7.3.3 模拟系统崩溃故障，检查系统数据库是否保存完好。

8 资料

8.1 基本要求

资料应满足用户仿真训练系统安装、使用、运行和维护要求,以及仿真机开发需要,说明使用方法及注意事项。资料采用中文编写。

8.2 仿真训练系统应用资料

仿真训练系统应用资料应符合附录 B 的规定。

8.3 仿真训练系统开发资料

仿真训练系统开发资料应符合附录 C 的规定。

附录 A

(规范性附录)

带电作业仿真训练系统模型技术要求

A.1 基本要求

仿真配电设备及相关模型包括架空线路及设备、电缆线路及设备、混合线路及设备、配电运行检修相关模型,仿真模型应符合下列规定:

- a) 模型之间应在逻辑上相适应,接口相容;
- b) 仿真模型应有较高的逼真度;
- c) 仿真模型应力求配套、完整、一致;
- d) 模型应按不同用途划分不同层次;
- e) 仿真模型建立后,应进行整体或局部的检测,对误差进行校正和补偿,以获得正确的模型特性;
- f) 模型修改必须集中管理,实行严格的版本控制;
- g) 模型与算法应有足够的实时响应速度,仿真训练平台有较好的实时性。

A.2 设备模型

A.2.1 输电线路设备模型

输电线路设备模型包括:

- a) 导线模型;
- b) 地线模型;
- c) 杆塔模型;
- d) 绝缘子模型;
- e) 金具模型;
- f) 杆塔基础模型;
- g) 拉线模型;
- h) 接地装置模型;
- i) 避雷器模型。

A.2.2 配电设备模型

配电设备模型包括:

- a) 导线模型;
- b) 杆塔模型;
- c) 绝缘子模型;
- d) 金具模型;
- e) 杆塔基础模型;
- f) 接地装置模型;
- g) 避雷器模型;
- h) 变压器模型;
- i) 断路器模型;

- j) 跌落式熔断器模型；
- k) 隔离开关模型；
- l) 环网柜模型；
- m) 开关柜模型；
- n) 分支箱模型；
- o) 电力电缆模型；
- p) 电缆附件模型；
- q) 电缆沟模型。

A.2.3 变电站设备模型

变电站设备模型包括：

- a) 主变压器及其辅助设备模型；
- b) 断路器模型；
- c) 隔离开关模型；
- d) 接地设备模型；
- e) 互感器电容器模型；
- f) 电抗器模型；
- g) 阻波器模型；
- h) 组合电器(GIS)模型；
- i) 母线模型；
- j) 接地变压器模型；
- k) 消弧线圈模型；
- l) 避雷器模型；
- m) 耦合电容器模型；
- n) 站用变压器模型；
- o) 智能电子设备模型。

A.3 作业工器具模型

A.3.1 输电带电作业工器具模型

输电带电作业工器具模型包括：

- a) 绝缘杆；
- b) 绝缘绳；
- c) 绝缘托瓶架；
- d) 绝缘梯；
- e) 绝缘滑车；
- f) 金属卡具；
- g) 电位转移棒；
- h) 屏蔽服；
- i) 辅助吊装设备。

A.3.2 配电带电作业工器具模型

配电带电作业工器具模型包括：

- a) 绝缘杆；
- b) 绝缘绳；
- c) 绝缘梯；
- d) 绝缘滑车；
- e) 绝缘防护用具；
- f) 绝缘遮蔽用具；
- g) 绝缘斗臂车；
- h) 绝缘平台；
- i) 旁路作业车；
- j) 移动箱变车；
- k) 旁路负荷开关；
- l) 带电作业消弧开关；
- m) 旁路柔性电缆。

A.3.3 变电站带电作业工器具模型

变电站带电作业工器具模型包括：

- a) 绝缘杆；
- b) 绝缘绳；
- c) 绝缘托瓶架；
- d) 绝缘梯；
- e) 绝缘滑车；
- f) 绝缘平台；
- g) 金属卡具；
- h) 屏蔽服；
- i) 水清洗装置。

A.4 作业现场模型

作业现场模型包括：

- a) 树林、公路、建筑、丘陵等线路通道环境及典型地形地貌仿真模型；
- b) 安全设施模型；
- c) 生产条件的相关模型。

A.5 人物模型

人物模型包括：

- a) 工作负责人模型；
- b) 专责监护人模型；
- c) 工作班成员模型，包括等电位电工、杆(塔)上电工、斗内电工、地面电工等。

附 录 B
(规范性附录)

带电作业仿真训练系统应用资料要求

B.1 仿真训练系统使用手册

仿真训练系统使用手册应包括：

- a) 仿真训练系统概述；
- b) 仿真训练系统设备介绍；
- c) 仿真训练系统操作使用说明及实例；
- d) 仿真训练系统常见问题；
- e) 仿真训练系统作业项目列表。

B.2 软件资料

软件资料应满足用户对仿真训练系统进行软件维护和修改的需要，包括：

- a) 软件系统配置说明书；
- b) 仿真开发支撑系统说明书；
- c) 建模环境及流程说明书。

B.3 硬件资料

硬件资料应满足硬件维护人员维护、修改、查找硬件故障的需要。包括但不限于下列资料：

- a) 厂家随机硬件资料、网络连接图等仿真训练系统硬件资料；
- b) 打印机、投影仪等仿真训练平台外围设备手册及使用说明书；
- c) 接口系统布置图、I/O 接口输入/输出清单等 I/O 接口系统硬件资料；
- d) 硬件系统诊断软件应用说明书；
- e) 环境仿真设备资料；
- f) 备品备件清单；
- g) 维修工具清单；
- h) 硬件设备交付清单。

附 录 C
(规范性附录)

带电作业仿真训练系统开发资料要求

C.1 基本要求

带电作业仿真训练系统开发资料应包含线路资料、作业现场资料、工器具资料、故障及缺陷资料以及作业方法资料等。

C.2 作业现场资料

作业现场资料包括：

- a) 作业现场生产条件；
- b) 作业现场安全设施。

C.3 工器具资料

工器具资料包括：

- a) 绝缘斗臂车等带电作业车辆资料；
- b) 绝缘服等作业人员安全防护用具资料；
- c) 绝缘杆等带电作业操作工具资料；
- d) 其他辅助工器具资料。

C.4 设备资料

设备资料包括：

- a) 输电线路设备相关资料；
- b) 配电设备相关资料；
- c) 变电站设备相关资料。

C.5 作业方法资料

作业方法资料包括：

- a) 训练项目相关的作业指导书；
 - b) 训练项目相关的工作票；
 - c) 训练项目相关的标准、规程；
 - d) 训练项目相关的其他指导性资料。
-