



“十三五”职业教育国家规划教材

城市轨道交通职业教育系列教材——城轨供电技术

城市轨道交通 电气设备测试

(第2版)

主编 © 何发武



微信扫描二维码
免费下载课件

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通电气设备测试 / 何发武主编. —2 版
—成都: 西南交通大学出版社, 2022.4
ISBN 978-7-5643-8662-7

I. ①城… II. ①何… III. ①城市轨道交通—电气设备—
测试—职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 069155 号

Chengshi Guidao Jiaotong Dianqi Shebei Ceshi

城市轨道交通电气设备测试

(第2版)

主 编 / 何发武 责任编辑 / 李芳芳
 封面设计 / 曹天擎

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话: 028-87600564 028-87600533
网址: <http://www.xnjdcbs.com>
印刷: 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 17 字数 367 千
版次 2017 年 8 月第 1 版 2022 年 4 月第 2 版
印次 2022 年 4 月第 2 次

书号 ISBN 978-7-5643-8662-7
定价 49.00 元

课件咨询电话: 028-81435775
图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

出版说明

城市轨道交通凭借快捷、准时、舒适、运量大、能耗低、污染小、占地少等优点，日益成为城市现代化建设进程中重要的公益性基础设施项目。城市轨道交通涉及面广、综合性很强，其发展状况已被当成一个城市综合实力和现代化程度的重要评判指标。由此，城市轨道交通建设正在我国兴起一个新的浪潮，社会对城市轨道交通专业人才的需求巨大，给城市轨道交通类专业的职业教育发展带来了良好契机。

西南交通大学出版社与国内诸多交通院校一直保持友好往来，并整合它们在轨道交通领域的尖端科技优势和人才集成优势，致力于为国家轨道交通教育事业做出贡献，形成了以“轨道交通”为核心的出版特色，在教育界、学界都拥有良好的口碑和较高的品牌知名度。

本套丛书从满足快速增长的城市轨道交通专业实用型人才培养需求出发，从校企结合教学直接面向岗位需求这一特点出发，精心组织国内相关专业优秀教育工作者或优秀教育工作高校，分“运营管理”“工程技术”“车辆”“控制”“供电技术”五大类系统地为学生呈现城市轨道交通教育课程全景。在编写时，力求体现如下特点：

◎ 适用性

理论知识够用即可，在讲述专业知识的基础上，突出实际操作技能的训练，注重岗位关键能力的培养。

◎ 专业性

图书的顶层设计从国家高职高专专业目录规范出发，内容编排紧密结合岗位应用实际，体现专业性和主流设备前沿特征，体现教学实际需求。同时，在编写或修改时，尽可能地让一线用人单位参与进来，根据生产现场实际提出建议。

◎ 生动性

在架构设计和版式设计上，力求简洁生动，图文并茂；努力体现二维码技术等移动互联网时代元素在图书中的应用，尽可能把生产实际和研究成果，用立体生动的形式予以表达，便于读者理解掌握。

这套书可作为高等职业院校、中等职业学校城市轨道交通相关专业的教学用书，也可作为城市轨道交通企业新职工的培训教材。有关教材的课件资料等，可以联系我社使用。

联系电话：028-87600533

邮箱：swjtucbsfx@163.com

西南交通大学出版社

第 2 版前言

本书是“十三五”职业教育国家规划教材，也是国家级铁道供电专业教学资源库、教育部现代学徒制、广东省级精品在线开放课程“高电压设备测试”配套教材，全书配套智慧职教慕课“高电压设备测试”核心课程（中文和全英文版 2 门），服务国家“一带一路”海外培训（埃塞俄比亚亚吉铁路、埃及开罗地铁）。校企合作共同制定教材标准，采用符合高职学生技能培养的新形态教材，针对人才短缺的特有工种高压试验工，将试验安全、岗位技能素养融入课程思政，适合“教学做一体化”教学模式。

教材改版主要体现在以下方面：

1. 大幅增加全书数字资源，增强课程可操作性和直观性。全书新增 83 个视频资源和 100 多张彩图，扉页位置增加全书资源列表，内含 83 个视频说明及二维码，通过微信“扫一扫”二维码，可获 1 500 多个课程素材，将教材理论、数字资源、现场操作及国家特有工种要求立体化呈现，一键打通教材资源与企业岗位“任督二脉”，实现线上线下资源全共享。

2. 修改并增加城轨高压试验装置内容。根据《高低压配电装置维护检修规程》，增加了部分高压设备试验原理和操作过程，完善了试验接线图及试验标准等，增加了大量的复习思考题，调整了部分试验内容，由易到难，循序渐进，更适合教学讲授。

3. 紧扣标准，更实用。教材对标国家标准《电气设备交接试验标准》和《电力行业：电气试验工职业技能鉴定规范》，依据铁道供电专业人才培养要求，紧扣电气试验工核心技能要求，以中、高级电气试验工种技能为主，将输配电高压试验技术标准融入教材，理实一体，突出实践性，同时注重将专业技能与职业素质培养相融。

再版修订过程中，得到杨波琳、何安洋、黄文靖、骆世忠、曾庆洪等专家大力支持，无尽感谢。

本书是广州铁路职业技术学院“双高计划”成果之一。

编者

2022 年 1 月改版于广州

前 言

本书系参照国家标准、行业标准、国家电网标准及相关的技术规范、规定编写,涵盖主要一次设备的相关试验项目,规范相应的试验方法和程序,规范试验仪器和设备,主要用于高压电气设备检修工岗位的能力培训。

本书既有高电压技术方面的基础理论知识,也涵盖电气设备测试方法的介绍,特别详细阐述了轨道交通中的电气设备试验,包括变压器试验(主变、整流变及动力变)、断路器试验、GIS 设备检测(110 kV 和 35 kV)互感器试验、电缆检测(110 kV 和 35 kV、DC 1 500V)、避雷器试验及整流变压器和直流开关等相关知识,并对试验中的操作步骤、技术要点、安全注意事项、危险点分析等进行了详细的规范,同时配合视频教学,方便读者快速理解和掌握,用于更好地指导轨道设备的预防性试验工作。

本书也介绍了轨道交通变电所(站)的运行和检修工作,并对运行和检修作业制度、高压设备停电作业、电力电缆作业及 GIS 作业、试验和测量及其他相关作业等进行了规范性介绍。

本书由广州铁路职业技术学院何发武编写,北京市轨道交通运营管理有限公司白青林主审。在编写过程中,得到广州地铁王国思、广州铁路职业技术学院王亚妮、刘让雄、王吉峰、谭慧铭、赵华军、陈建鑫、黄鉴标、陈海军等人的大力支持,还得到何泽南、冼明珍、杨波琳、何安洋、何发文、何发贤、何凤华、李俊、李逸捷、何月华、李雅、李玮琦、李卓、李宝秀等人的热心帮助,在此一一鸣谢。

本书是“广东省一流高职院校建设计划”成果之一。

编 者

2017 年 4 月

本书配套数字资源列表

序号	资源编号	资源名称	页码
1	视频 1.2.1	绝缘手套和绝缘鞋耐压试验	012
2	视频 1.2.2	断线抢修中如何正确接地与拆除	012
3	视频 1.2.3	请指出视频中放电过程有哪些不规范的操作	012
4	视频 2.2.1	接触网热滑试验中气体拉弧	035
5	视频 2.2.2	气体放电试验	035
6	视频 2.3.1	绝缘油耐压试验	042
7	视频 2.4.1	绝缘子污闪放电引致高铁事故	048
8	视频 3.1.1	兆欧表使用	063
9	视频 3.1.2	绝缘电阻、吸收比、极化指数测量	063
10	视频 3.2.1	直流高压发生装置及使用	069
11	视频 3.2.2	泄漏电流测量	069
12	视频 3.3.1	介质损耗仪使用	080
13	视频 3.3.2	介质损耗电气试验	080
14	视频 3.4.1	手持局放仪使用	084
15	视频 3.4.2	局部放电试验	084
16	视频 3.5.1	直流耐压试验	092
17	视频 3.6.1	交流耐压试验	101
18	视频 3.6.2	变频谐振耐压试验装置及使用	101
19	视频 3.8.1	油色谱分析试验	116
20	视频 3.9.1	微水试验	122
21	视频 4.1.1.1	变压器绝缘电阻现场测量	149
22	视频 4.1.1.2	变压器绝缘电阻学生实训测量	149
23	视频 4.1.1.3	绝缘电阻测量（理论讲授）	149
24	视频 4.1.2.1	三回路电阻测试仪装置及使用	151

续表

序号	资源编号	资源名称	页码
25	视频 4.1.2.2	变压器直流电阻测量	151
26	视频 4.1.2.3	变压器绕组直流电阻测试（理论讲授）	151
27	视频 4.1.3.1	变压器变比现场测量	153
28	视频 4.1.3.2	变压器变比、极性和连接组别测量	153
29	视频 4.1.3.3	变压器变比及连接组别测量（理论讲授）	153
30	视频 4.1.4.1	泄漏电流现场试验	154
31	视频 4.1.4.2	泄漏电流测量	154
32	视频 4.1.4.3	泄漏电流测量实训	154
33	视频 4.1.4.4	泄漏电流测量（理论讲授）	154
34	视频 4.1.5.1	变压器介质损耗 $\tan\delta$ 现场测量	156
35	视频 4.1.5.2	变压器介质损耗 $\tan\delta$ 试验	156
36	视频 4.1.5.3	变压器介质损耗 $\tan\delta$ 测量实训	156
37	视频 4.1.5.4	变压器介质损耗 $\tan\delta$ （理论讲授）	156
38	视频 4.1.6.1	变压器工频耐压试验	157
39	视频 4.1.6.2	变压器工频耐压试验（实训）	157
40	视频 4.1.6.3	工频耐压试验（理论讲授）	157
41	视频 4.1.9.1	变压器绕组变形试验	168
42	视频 4.2.1	GIS 绝缘电阻测试	178
43	视频 4.2.2	GIS 避雷器直流泄漏电流及直流耐压试验	178
44	视频 4.2.3	GIS 导电回路电阻试验	178
45	视频 4.2.4	GIS 气密性试验	178
46	视频 4.2.5	GIS 分合闸线圈直流电阻	178
47	视频 4.2.6	GIS 断路器分、合闸同期性测试	178
48	视频 4.2.7	GIS 主回路耐压试验	178
49	视频 4.3.2.1	互感器认知	180
50	视频 4.3.2.2	电压互感器极性试验	180
51	视频 4.3.2.3	电流互感器变比试验	180
52	视频 4.3.2.4	电压互感器变比试验	180
53	视频 4.3.2.5	电流互感器励磁特性试验	182
54	视频 4.3.2.6	电压互感器励磁特性试验	182

续表

序号	资源编号	资源名称	页码
55	视频 4.3.2.7	电流互感器一次绕组绝缘电阻测试	183
56	视频 4.3.2.8	电流互感器末屏绝缘电阻测试	183
57	视频 4.3.2.9	电流互感器二次绕组对地及末屏之间的绝缘电阻测试	183
58	视频 4.3.2.10	电流互感器一次绕组段间的绝缘电阻测试	183
59	视频 4.4.1	电力电缆绝缘电阻测试	193
60	视频 4.4.2	电缆局放试验	194
61	视频 4.4.3	电缆核相	195
62	视频 4.4.4	电力电缆检修	195
63	视频 4.4.5	电缆路径查找	195
64	视频 4.4.6	电缆故障查找	195
65	视频 4.5.1	氧化锌避雷器认知	198
66	视频 4.5.2	避雷器绝缘电阻测量	203
67	视频 4.5.3	氧化锌避雷器测量仪及使用	203
68	视频 4.5.4	避雷器泄漏电流试验	203
69	视频 4.5.5	避雷器泄漏电流试验（理论讲授）	203
70	视频 4.5.6	避雷器计数器测量	203
71	视频 4.6.1	断路器绝缘电阻测试	216
72	视频 4.6.2	断路器导电回路电阻试验	216
73	视频 4.6.3	断路器动作电压测定	216
74	视频 4.6.4	断路器动作线圈电阻测量	216
75	视频 4.6.5	断路器分合闸时间测试	216
76	视频 4.6.6	断路器同期性测定	216
77	视频 4.6.7	断路器机械参数分合闸速度测定	216
78	视频 4.6.8	真空断路器真空度测量	216
79	视频 4.6.9	隔离开关绝缘电阻测试	217
80	视频 4.6.10	隔离开关导电回路电阻试验	217
81	视频 5.1.1	雷击津秦高铁	238
82	视频 5.2.1	雷击高铁变电所	243
83	视频 5.3.1	避雷针地网测试	251

目 录

第一章 高压电气试验安全防范	001
第一节 高压危险点分析及预控措施	001
第二节 高压电气试验工具	004
第三节 城轨电气设备试验安全规程	013
第二章 绝缘材料特性	024
第一节 电介质的极化、电导和损耗	024
第二节 气体电介质绝缘及应用	029
第三节 液体电介质绝缘及应用	035
第四节 固体电介质绝缘及应用	042
第五节 组合绝缘及应用	048
第三章 高电压检测项目	055

第一节	绝缘电阻及吸收比的测量	056
第二节	泄漏电流的测量	063
第三节	介质损耗角正切值的测量	070
第四节	局部放电测量	081
第五节	直流耐压试验	084
第六节	交流耐压试验和变频串联谐振试验	093
第七节	冲击耐压试验	102
第八节	油色谱分析	107
第九节	微水检测	117
第十节	在线监测	122
第四章	城轨高压设备检测	136
第一节	电力变压器试验	141
第二节	GIS 试验	168
第三节	互感器试验	179

第四节	电力电缆检测	192
第五节	避雷器试验	197
第六节	直流开关柜	204
第七节	城轨低压设备试验检测	217
第五章	城轨防雷接地	231
第一节	雷电种类及城轨避雷保护	233
第二节	城轨避雷器设备	238
第三节	城轨综合接地	243

主要内容

在轨道交通电气设备测试操作中，人员和设备的安全是最重要的。如何才能做好防护？

知识要点

1. 掌握高压电气试验安全规范，能正确认识并使用安全用具。
2. 能认清高压过程中的危险点，并能有效防范安全风险。

第一节 高压危险点分析及预控措施

电气试验是确保电力系统稳定运行的重要环节。高压试验是电气试验中危险性较大的工作，在高压试验过程中，应遵循国家相关安全规定，确保人身安全和电力系统安全。

电气设备试验就是试验电气设备绝缘性能的好坏和电气设备的运行情况等。电气设备试验一般分为出厂试验、交接验收试验、大修试验、预防性试验。

出厂试验是指厂家根据国家相关的标准和产品技术条件规定的试验项目，对每一台产品都进行检查试验。

交接验收试验是指安装部门、检修部门对新购进的电气设备和大修设备按照有关规章制度进行试验。交接试验指电气设备安装完毕后现场进行的一种试验标准，合格后设备方能投入使用，因施工现场的环境、温湿度与出厂时不同，故交接试验标准不同于出厂试验标准，一般略低于出厂试验标准。“交接”也就是在试验合格后交付使用。

大修试验是指对于设备检修故障，协同厂家进行维修后，为确保电气设备，按照有关规章制度进行试验合格后，方可重新投入使用。

预防性试验是指电气设备投入使用后，到达一定的使用周期时由运行部门、试验部门进行的试验。预防性试验工作专业性强、工作面广、工作量大、试验项目多，其工作质量的好坏直接影响着电气设备的运行情况，也直接关系到电气设备试验工作人员的生命安全。

上述试验都需要按照表 1-1 所列电气试验标准及规程进行。

一、规范性引用文件

表 1-1 是本书中规范性引用的部分文件和标准，这些标准如有新版本，按最新版本执行。

表 1-1 电气试验标准及规范

序号	标准及规程名称	颁发机构
1	《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(GB 50150—2016)	中华人民共和国建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
2	《电力设备预防性试验规程》(DL/T 596—2021)	中华人民共和国电力工业部
3	《现场绝缘试验实施导则》(DL/T 474.4—2018)	国家发展和改革委员会
4	《电力安全工作规程》(发电厂及变电站电气部分)(GB 26860—2011)	国家电网
5	《高电压试验技术第一部分 一般试验要求》(GB/T 16927.1—2011)	国家技术监督局
6	《城轨设计规范》(GB 50517—2013)	中华人民共和国建设部
7	《地下铁道工程施工及验收规范》(GB 50299—2018)	中华人民共和国建设部
8	《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2016)	中华人民共和国建设部

二、危险点及预控措施

电力系统运行中为了确保高压电力设备的正常运行、保证电力系统的运行质量安全，常常需要对电气设备的运行状态进行检测和考核，减少电力系统中的安全隐患，所以要对试验过程中的危险点采取预控措施。

危险点及预控措施的目的重在预防，变“事后分析”为“事前预防”，是安全管理的必要手段。表 1-2 所示的危险点及预控措施是电气设备试验实施过程中的注意事项和预控措施。

表 1-2 危险点及预控措施

序号	工作内容	危险点	预控措施
1	试验前准备	把有故障的试验设备带到现场或遗漏设备	出发工作前应检查试验设备是否齐备、完好，是否在有效期内，对所需工器具应逐一清点核对

	<p>(1)现场安全措施不能满足要求</p> <p>(2)工作负责人对工作任务和安措交代不详尽、不清晰</p> <p>(3)走错间隔</p>	<p>(1)工作负责人应在值班人员的带领下核实工作地点、任务，确定现场安全措施满足工作要求</p> <p>(2)工作负责人应在开始工作前向全体工作成员交代清楚工作地点、工作任务、已拉开的隔离开关和已合上的接地开关的情况，检查安全围栏和标示牌等安全措施，特别注意与邻近带电设备的安全距离，防止走错间隔</p>
--	--	---

续表

序号	工作内容	危险点	预控措施
1	试验前准备	装设试验专用警示围栏，搬运仪器、工具、材料时，与带电设备安全距离不够	<p>(1)工作人员应注意现场环境，严禁跨越安全围栏</p> <p>(2)搬运仪器、工具、材料时与带电设备应保持足够的安全距离</p>
		<p>(1)误接非检修电源</p> <p>(2)放置电源线时触及带电设备</p> <p>(3)电源电压过高</p>	<p>(1)检查电源是否为独立检修电源，防止误跳运行设备</p> <p>(2)放置电源线时严禁将电源线抛起、甩动，放置完成后电源线必须固定</p> <p>(3)在接上检修电源前用万用表测量电源电压是否符合试验要求</p> <p>(4)接、拆电源，必须2人进行</p>
		高空坠落	登高人员必须使用安全带，必要时使用高空作业车
		主变压器或试验设备起火	试验现场放置适当的消防器材，变压器的消防水喷淋装置尽可能投入
		无关人员可能误入试验场地	安全围栏设置，不要有缺口，安全围栏周围派人监护，防止无关人员进入
2	试验过程	触电	试验范围有带电部位时，应采取装设隔离挡板等安全措施
		人员误触碰带电的高压试验引线	<p>(1)在加压之前清理无关人员，同时对工作组成员交代安全注意事项</p> <p>(2)加压过程中设专人监护，并呼唱</p> <p>(3)试验结束后，确认试验品已降压、放电、接地后，再进行更换接线工作</p>
		高压试验引线松脱或对接地体距离不够	<p>(1)绝缘杆应挂牢。高压试验引线必须与被试品连接牢固，对接地体保持足够的安全距离，必要时采用绝缘胶带固定，防止松脱掉下</p> <p>(2)移动绝缘杆和试验引线时，必须加强监护，注意与邻近带电体保持足够的安全距离</p>
		感应电伤人、高压触电	试验中断、更改接线或结束后，必须切断主回路的电源，挂上接地线后才可更换试验接线

3	试验现场清理	(1) 试验引线和临时接地线未拆除 (2) 现场遗留工具	工作负责人在试验工作结束后进行认真检查，确认试验引线和临时接地线已拆除，现场无遗留工具和杂物
---	--------	---------------------------------	--

在试验的过程中应该做好记录，现场试验记录一般应包括以下内容：试验时间，温度，湿度，被试设备铭牌，运行编号，试验部位，试验项目，试验数据以及对试验数据进行比较、判断的结果，被试设备能否投运的评语以及主要试验人员姓名等，必要时还应记录关键性仪器设备的编号。

复习与思考

1. 在试验过程中，应如何防范高空和触电危险？
2. 如果试验结束后，没有拆除地线，会出现什么问题？
3. 轨道交通行业中，感应电对安全影响有多大？



第二节 高压电气试验工具

在电气设备周围要设置遮栏或围栏，遮栏或围栏与试验设备的高压部分还要有足够的距离，并悬挂警示牌，还要派人专门进行看守。若被试验的电气设备两端不在同一地点，另外一端也要派人进行看守。

有的电气设备安装在离地面较高的空中，检修人员就必须爬上扶梯进行试验工作，此时安全带、扶梯等辅助设备就是确保检修人员人身安全的重要保证。如果在电气设备试验前检修人员没有对安全带、扶梯等辅助设备的安全检测，当检修人员在高空进行试验时，若出现安全带断裂、挂钩变形、裂缝、扶梯倒塌等现象，就有可能发生试验人员高空坠落等严重事故。

高压安全工具是用来直接保护电工人身安全的基本用具。高压安全用具分绝缘安全用具和一般防护安全用具，绝缘安全用具又可以分为基本安全用具和辅助安全用具。

基本安全用具：绝缘强度应能长期承受工作电压，并能在本工作电压等级产生过电压时，保证工作人员的人身安全。

辅助安全用具：若绝缘强度不能承受电气设备或线路的工作电压，则只能加强基本安全用具的保护作用，以防止接触电压、跨步电压、电弧灼伤等对操作人员的危害。

高压绝缘安全用具中，基本安全用具具有绝缘棒、绝缘钳和验电笔等；辅助安全用

具一般有绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台和绝缘毯等。低压绝缘安全用具中，基本安全用具有绝缘手套、装有绝缘柄的工具和低压验电器。辅助安全用具有绝缘台、绝缘垫、绝缘鞋和绝缘靴等。所以，同样是绝缘手套，在高压和低压中，分类也是不一样的，关键在于应用的电压不同。

携带型接地线、临时遮拦、标示牌、警告牌、防护目镜、安全带、竹梯、木梯和脚扣等，这些都是防止工作人员触电、电弧灼伤、高空坠落的一般安全用具，其本身不是绝缘物，如图 1-1 所示。

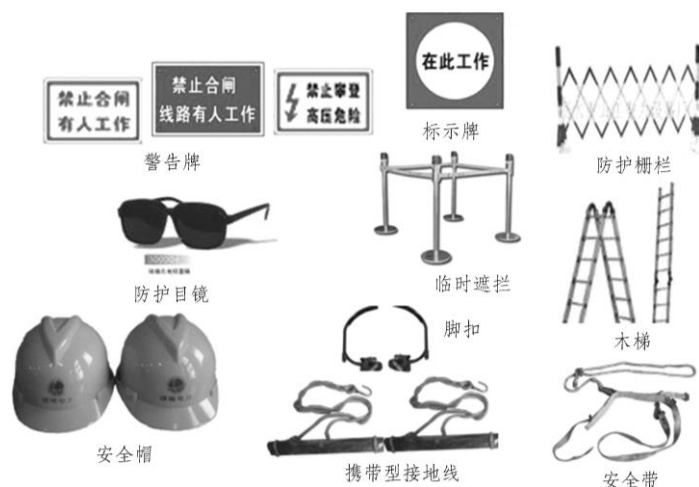


图 1-1 一般防护安全用具

一、常用绝缘安全用具

1. 绝缘棒

绝缘棒也称操作棒或绝缘拉杆，它主要用于断开或闭合高压隔离开关、跌落式熔断器、安装和拆除携带型接地线、进行带电测量和试验工作等。绝缘棒由工作部分、绝缘部分和握手三部分组成。工作部分一般用金属制成，也可以用玻璃钢或具有较大机械强度的绝缘材料制成；绝缘和握手两部分用护环隔开，它们由浸过绝缘漆的木材、硬塑料、胶木或玻璃钢制成。如图 1-2 所示为高压绝缘棒。



图 1-2 高压绝缘棒

绝缘棒操作前，棒面用清洁的干布擦净，操作时应戴绝缘手套、穿绝缘靴或站在绝缘台（垫）上，并注意防止碰伤表面绝缘层。按规定进行定期试验，应存放在干燥处，不得与墙面地面接触，以保护绝缘表面。

2. 验电器

验电器分为高压和低压两类。低压验电器又称为试电笔，其主要作用是检查电气设备或线路是否带有电压；高压验电器还可用于检测是否存在高频电场。验电器是由绝缘材料制成一根空心管子，管子上端有金属制的工作触头，管内装有氖光灯和电容器。另外，绝缘和握手部分用胶木或硬橡胶制成。如图 1-3 所示。



图 1-3 验电器

高压验电前应先检查验电器外观有无损坏，再在带电设备上上进行试验，确认验电器完好后方可使用。验电时，不要用验电器直接接触及设备的带电部分，应逐渐靠近带电体，至灯亮或风轮转动或语音提示为止，应注意验电器是否受邻近带电体影响。验电时，必须三相逐一验电，不可贪图省事。如图 1-4 所示为地铁验电操作。



图 1-4 地铁验电操作

低压验电器除可以用于判断电气设备或线路是否带电外，还可以区分相线（火线）和地线（零线）。氖光灯泡发亮是相线，不亮的是地线。此外，还能区分交流电和直流电。交流电通过氖光灯泡时，两电极都发亮；而直流电流通过时仅一个电极发亮。

低压试电笔使用前，应检查试电笔里有无安全电阻，再直观检查试电笔是否有损坏、有无受潮或进水。使用试电笔时，不能用手触及试电笔前端的金属探头，否则会造成人身触电事故。使用试电笔时，一定要用手触及试电笔尾端的金属部分，否则，因带电体、试电笔、人体与大地没有形成回路，试电笔中的氖泡不会发光，从而造成误判，认为带电体不带电。在测量电气设备是否带电之前，先要找一个已知电源测试试电笔的氖泡能否正常发光，能正常发光的才能使用。在明亮的光线下测试带电体时，应特别注意氖泡是否真的发光（或不发光），必要时可用另一只手遮挡光线仔细判别。千万不要造成误判，将氖泡发光判断为不发光，而将有电判断为无电。

3. 核相器

电力系统核对相位是经常性的工作。传统的定相方法多数采用电压互感器或高压验电器，前者设备笨重，后者依靠微弱的辉光指示容易出现误判断。核相器使高压定相这项危险性较大而又必不可少的工作变得安全可靠，指针显示一目了然，重量只有互感器的 1/10 ~ 1/20，携带方便。

高压语音核相器主要应用于电力线路、变电所的相位校验和相序校验，具有核相、测相序、验电等功能，具备很强的抗干扰性，符合 EMC 标准要求，适用于各种电磁干扰场合。将被测高电压相位信号由采集器取出，经过处理后直接发射出去。由核相仪接收并进行相位比较，对核相后的结果定性。本产品采用无线传输，真正达到安全可靠、快速准确，适用于各种核相场合。如图 1-5 所示是核相器。



图 1-5 核相器

4. 绝缘手套和绝缘靴

绝缘手套和绝缘靴均由特种橡胶制成，一般作为辅助安全用具。但绝缘手套只可以在低压带电设备或线路等工作中作为基本安全用具使用，而绝缘靴可作为防护跨步电压的基本安全用具。图 1-6 是绝缘手套和绝缘靴。



图 1-6 绝缘手套和绝缘靴

绝缘手套可以使人的双手与带电体绝缘，是用特种橡胶（或乳胶）制成的，分 12 kV（试验电压）和 5 kV 两种电压等级。绝缘手套是不能用医疗手套或化工手套代替使用的。绝缘手套一般作为辅助安全用具，在 1 kV 以下电气设备上使用时可以作为基本安全用具。

绝缘靴又称高压绝缘靴、矿山靴。所谓绝缘，是指用绝缘材料把带电体封闭起来，借以隔离带电体或不同电位的导体，使电流能按一定的通路流通。良好的绝缘是保证设备和线路正常运行的必要条件，也是防止触电事故的重要措施。绝缘材料往往还起着其他作用：散热冷却、机械支撑和固定、储能、灭弧、防潮、防霉以及保护导体等。绝缘靴采用特种橡胶制成，其作用是使人体与大地绝缘，防止跨步电压。绝缘靴按电压等级一般可以分为：6 kV、20 kV、25 kV 和 35 kV，适用于不同电压等级的环境。

它的高度不小于 15 cm，而且上部另加高边 5 cm。绝缘靴必须按规定进行定期试验。

5. 绝缘垫

绝缘胶垫又称为绝缘毯、绝缘垫、绝缘胶板、绝缘橡胶垫、绝缘地胶等，是具有较大体积电阻率和耐电击穿的胶垫，用于配电等工作场合的台面或铺地绝缘材料。按照电压等级可分 5 kV，10 kV，15 kV，20 kV，25 kV，30 kV，35 kV，绝缘橡胶垫主要采用胶类绝缘材料制作，用 NR、SBR 和 IIR 等绝缘性能优良的非极性橡胶制造。

绝缘垫按厚度可分为：2 mm，3 mm，4 mm，5 mm，6 mm，8 mm，10 mm，12 mm。按宽度可分为：1 m，1.2 m，1.5 m，长度依需要而定。它们一般铺设在高、低压开关柜前，作固定的辅助安全用具。如表 1-3 所示为绝缘垫常规配置。

表 1-3 绝缘垫常规配置

序号	电压/kV	规格/mm	比重/(kg/m ²)
1	5	3	5.8
2	10	5	9.2
3	15	5	9.2
4	20	6	11
5	25	8	14.8
6	30~35	10/12	18.4/22

图 1-7 是绝缘胶垫及其在变电所中的应用。

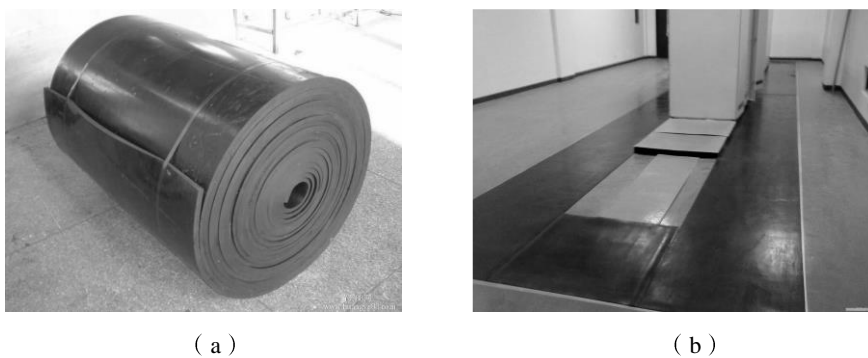


图 1-7 绝缘胶垫及其在变电所中的应用

绝缘垫试验时先将绝缘胶垫上下铺上湿布或金属箔，并应比被测绝缘胶垫四周小 200 mm，连续均匀升压至规定的电压值，保持 1 min，观察有无击穿现象。若无击穿，则试验通过。试样分段试验时，两段试样边缘要重合。

6. 接地线

高压接地线是用于线路和变电施工，为防止临近带电体产生静电感应触电或在误合闸时保证安全之用。携带型高压接地线由绝缘操作杆、导线夹、短路线、接地线、

接地端子、汇流夹、接地夹构成。携带型接地线由短路各相和接地用的多股软铜线、将多股软铜裸线固定在各相导电部分和接地极上的专用线夹组成，一般要求多股软铜线的截面面积不小于 25 mm^2 。如图 1-8 所示是高压接地线。



图 1-8 高压接地线

接地操作步骤为：将接地引下线的地轨可靠地夹在良好的接地轨或地极上。将接地线上端的挂钩可靠地挂接在要短路的线路上。用力拉拽操作杆，保证充分接触。装设接地线必须由两人进行，装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套。挂接地线时，先连接接地夹，后接接电夹；拆除接地线时，必须按程序先拆接电夹，后拆接地夹。安装时将接地软铜线分相上双眼铜鼻子固定在接地棒上的接电夹相应位置上，将接地线合相上的单眼铜鼻子固定在接地夹或地针上，构成一套完整的接地线，严禁用缠绕的方法进行接地或短路。

接地操作前应对接地线进行外观检验，方法是：查看接地线的各连接部位是否连接紧固，并保证所有部件均可正常使用。

工作之前必须核实接地棒的电压等级与操作设备的电压等级是否一致，检查接地线、软铜线是否断头，螺丝连接处有无松动，线钩的弹力是否正常，对于不符合要求的应及时调换或修好后再使用。

挂接地线前必须先验电，未验电挂接地线是现场中较普遍的习惯性违章行为，在悬挂时接地线导体不能和身体接触。对于可能送电至停电设备的各方面或停电设备可能产生感应电压的都要装设接地线，在工作地点两端悬挂接地线，以免出现用户倒送电、产生感应电的可能，使用中深受其害的例子不少。接地线在使用过程中不得扭花，不用时应将软铜线盘好；接地线在拆除后，不得从空中丢下或随地乱摔，要用绳索传递，注意接地线的清洁工作。

7. 安全帽

安全帽是电气作业人员必备的安全防护用品，凡有可能发生物体坠落的工作场所，

或有可能发生头部碰撞、劳动者自身有坠落危险的场所，都要求佩戴安全帽。安全帽在规定期限须进行冲击性能试验和耐穿刺性能试验，检测安全帽耐冲击吸收性能和穿刺性能。冲击性能试验测试方法以 5 kg 冲击落锤自 1 m 高度自由落体，若冲击力小于 4 900 N 则合格。耐穿刺性能试验测试方法以 3 kg 钢锥自 1 m 高度自由落体于帽顶中心薄弱部分，无破损为通过。戴安全帽时必须系好带子。如图 1-9 所示是安全帽。



图 1-9 安全帽

报警安全帽是用于防止工作人员误登带电杆塔用的无源近电报警安全帽，属于音响提示型辅助安全用具。工作人员佩戴此安全帽登杆工作中，若误登带电杆塔，当对高压设备距离小于《电业安全工作规程》规定的安全距离时，安全帽内部的近电报警装置会立即发出报警音响，提醒工作人员注意，防止误触带电设备造成人员伤亡事故。

8. 安全带

安全带多采用锦纶、维纶、涤纶等材料，是根据人体特点设计的用于防止高空坠落的安全用具。《电业安全工作规程》中规定，凡在离地面 2 m 以上的地点进行的工作为高处作业，高处作业时，应使用安全带。

每次使用安全带时，必须做一次外观检查，使用过程中也要注意查看，半年至一年内要试验一次，以主部件不损坏为准。如发现有破损变质情况应及时反映并停止使用，以确保操作安全。安全带如图 1-10 所示。



图 1-10 安全带

二、电气安全用具检验和试验周期

1. 检查范围

(1) 检查的安全绝缘工器具应在有效试验周期内，且合格。

(2) 检查验电器的绝缘杆是否完好，有无裂纹、断裂、脱节情况，按试验按钮检查验电器发光及声响是否完好，电池电量是否充足，电池接触是否完好，如有时断时续的情况，应立即查明原因，不能修复的应立即更换，严禁使用不合格的验电器进行验电。

(3) 检查接地线接地端、导体端是否完好，接地线是否有断裂，螺栓是否紧固；带有绝缘杆的接地线，检查绝缘杆有无裂纹、断裂等情况。

(4) 检查绝缘手套有无裂纹、漏气，表面应清洁、无发黏等现象。

(5) 检查绝缘靴靴底部无断裂，靴面无裂纹，并清洁。

(6) 检查绝缘棒无裂纹、断裂现象。

(7) 检查安全帽无裂纹，系带完好无损。

2. 试 验

安全用具根据不同绝缘材料、使用特性都有相应的试验周期。如表 1-4 所示为安全用具的试验周期。

※※具体测试方法见《高压设备测试实训指导书》试验十 绝缘靴手套耐压测试。

表 1-4 安全用具的试验周期

序号	名 称	电压等级 /kV	周 期	交流耐压 /kV	时间 /min	泄漏电流 /mA	附 注
1	绝缘棒	6~10	每年一次	44			
		35~154		四倍相电压			
		220		三倍线电压			
2	绝缘挡板	6~10	每年一次	30	5		
		35 (20~44)		80	5		
3	绝缘罩	35 (20~44)	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35及以下	每年一次	三倍线电压	5		
		110		260			
		220		440			
5	绝缘笔	6~10	每六个月一次	40	5		发光电 压不高 于额定
		20~35		105			

							电压的 20%
6	绝缘手套	高压	每六个月一次	8	1	≤ 9	
		低压		2.51		≤ 2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每六个月一次	15	1	≤ 7.5	
8	核相器 电阻管	6	每六个月一次	6	1	1.7~2.4	
		10		10		1.4~1.7	
9	绝缘绳	高压	每六个月一次	105/0.5 m	5		

先验电，然后接好地线接地端，再挂接地线，拆线顺序则相反。

配套数字资源



视频 1.2.1 绝缘手套和绝缘鞋耐压试验



视频 1.2.2 断线抢修中如何正确接地与拆除



视频 1.2.3 请指出视频中放电过程有哪些不规范的操作



复习与思考

1. 城轨供电系统中，对于 35 kV 交流和 1 500 V 直流，绝缘棒的规格有何不同？能否通用？
2. 核相器使用时，是否需要停电操作？
3. 在地面作业时，作业人员是否需要戴安全帽？



第三节 城轨电气设备试验安全规程

为了保证轨道交通供电运行检修作业的安全，所有从事变电所运行和维修工作的相关人员，必须经过考试评定安全等级，取得安全合格证之后，方可准许参加相应的运行和检修工作。对从事供电运行和检修工作的人员，要每年进行一次安全考试并达到合格要求。对于地铁开通与运营都要求制定详细试验方案。

以地铁开通送电为例，为保证送电安全，要求制定详细、周密的送电实施方案，由地铁方、供电工程施工方和监理方对接触轨送电、绝缘测试及验电、故障抢修和后

勤保障等送电工作的各个环节进行严格管控，地铁施工单位、监理单位对作业人员进行详细的安全交底以及送电操作演示，同时进行冷滑试验、送电前绝缘电阻测试、送电前现场大检查等准备工作，要求细致检查、规范操作、通力合作，确保送电万无一失。

为了确保电气设备试验安全，要求作业时遵守以下规程。

一、安全及预控措施

试验负责人应由有经验的试验人员担任，开始试验前，试验负责人应对全体试验人员详细说明试验中的安全注意事项。

试验需要拆线时，拆前应做好标记，拆后应进行检查。试验装置的金属外壳应可靠接地；高压引线应尽量缩短，必要时用绝缘物支撑牢固。试验现场应装设遮栏或围栏，向外悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，并派人看守。试验需加高压时，加压前必须认真检查试验接线与仪表的开始状态，确保正确无误后，通知有关人员撤离到安全区域，并取得试验负责人许可，方可加压。加压过程中应有人监护并呼唱。高压试验工作人员应穿绝缘鞋，在全部加压过程中，应集中精力，不得与他人闲谈，随时警戒异常现象发生。

变更接线或试验结束时，应首先断开试验电源、放电，并将升压设备的高压部分短路接地。试验结束时，试验人员应拆除自装的试验引线和接地短路线，并对被试设备进行检查和清理现场。

雷电时禁止在室外设备以及与其有电气连接的室内设备上作业。城轨一般不进行高压带电作业。

电压为 1 500 V 及以下者与接地点的距离不得小于 0.7 m；电压为 1 500 V 以上者不得小于 1 m。变电所发生高压接地故障时，在切断电源之前，任何人与接地点的距离：室内不得小于 2 m，室外不得小于 4 m。特殊情况下，确需进入上述范围的人员，作业人员要穿绝缘靴，接触设备外壳和构架时要戴绝缘手套。

二、倒闸作业流程

根据作业性质不同，工作票分为两种。

(1) 第一种工作票用于高压设备停电作业及低压 380 V 电源主母线的停电作业。

(2) 第二种工作票用于高压设备不停电的作业，低压设备上的停电与不停电作业，以及在二次回路上进行的不需高压设备停电的作业。

第一种工作票的有效时间，一般不超过一周（168 小时），遇抢修、大中修时，不超过 30 天，若在规定的工作时间内作业不能完成，应提前半小时向电调办理准许延时手续。第二种工作票有效时间最长为 24 小时，不得延长。工作票要填写 1 式 2 份：1 份交工作领导人（蓝色），1 份交变电所值班员（工作许可人）（粉红色），值班员（工作许可人）据此办理准许作业手续，做好安全措施。

事故抢修：情况紧急时可不开工作票，但应向电调报告事故概况，听从电调的指挥，在作业前必须按规定做好安全措施，并将作业时间、地点、内容及批准人的姓名记入值班日志中。

试验应填写变电第一种工作票。由电调管辖的设备，倒闸由电调发布命令，值班员（巡检人员、工作许可人）受令复诵，电调确认无误后，方可给予命令编号和批准时间，每个倒闸命令发令人 and 受令人双方均要填写倒闸作业命令记录并录音。电力调度员对 1 个变电所 1 次只能下达 1 个倒闸作业命令，对不需要电调下令倒闸的开关，倒闸完毕要将倒闸时间、原因和操作人的姓名记入值班日志或有关记录中。所有倒闸作业均必须有两人同时进行，值班员（巡检员、工作许可人）操作，检修负责人（值班员）监护。

倒闸操作要遵守下列基本原则：

(1) 停电时的操作程序：先断开负荷侧后断开电源侧，先断开断路器后断开隔离开关。送电时，与上述操作程序相反。

(2) 利用 35 kV 三位隔离开关接地时，先断开主刀闸后再闭合接地刀闸。合闸时，先分接地刀闸后再合主刀闸。

(3) 禁止带负荷拉合隔离开关。为防止误操作，所有投运的闭锁装置未经电调同意，不得退出或解锁。

可用隔离开关进行投切电压互感器或者投切空载母线。

35 kV 的断路器，禁止用机械按钮合闸送电。对所有断路器，一般情况下，不允许用机械按钮合闸送电或分闸停电。特殊情况下，必须穿绝缘靴、戴绝缘手套，同时站在断路器的侧边，方可允许用机械按钮合闸送电或分闸停电。

对由电调管辖的设备，遇有危及人身和设备安全的紧急情况，值班人员（巡检人员）可先行断开有关的断路器和隔离开关，再报告电调，但再合闸时，必须有电调的命令。

高压设备的停电作业是指在停电的高压设备上进行的作业及在低压设备和二次回路上和照明回路、消防等设备上进行的需要高压设备停电的作业。高压设备不停电作业是当作业人员与高压设备的带电部分之间保持规定的安全距离和没有偶然触及导电部分的危险时，许可在带电设备外壳和附近进行的工作。

三、高压停电与验电

当进行停电作业时，设备的带电部分距作业人员小于停电范围表（见表 1-5）规定者必须停电。

表 1-5 停电范围表

电压等级	无防护栅/mm	有防护栅/mm
------	---------	---------

110 kV	1 500	1 000
35 kV	1 000	600
DC 1 500 V 及以下	700	350

在二次回路上进行作业,可能引起一次设备中断供电或影响其安全运行者,其有关的设备均须停电。对停电作业的设备,必须从可能来电的各方面切断电源(运用中的星形接线设备,其中性点应视为带电部分),并要有明显的断开点且分别接挂地线。断路器和隔离开关开断后,应采取防误分误合措施。

高压设备验电及装设或拆除接地线时,必须 2 人同时进行作业,操作人和监护人安全等级分别不低于 2 级和 3 级,并均必须穿绝缘靴和戴安全帽,操作人还要戴绝缘手套。验电时,必须用电压等级合适且合格的验电器,验电前要先将验电器在有电的设备上试验确认良好,然后在停电的设备上验电,最后在有电的设备上复验一次,验电时对被检验设备的所有引入、引出线均要检验。35 kV 的 GIS 组合电器必须用专用的验电氛灯插入电容式感应设备插座进行测试。断路器、开关分闸的信号以及常设的测量仪表显示无电时,仍应通过验电器检验设备是否已停电。若验明有电则禁止在该设备上作业。110 kV 进线用万用表测量进线单相 PT 的电压确认。

对于有可能送电至停电作业设备上的有关部分均要分别装设接地线或合接地刀闸。在停电作业的设备上,如可能产生感应电压且危及人身安全时,应增设接地线。所有装设的临时接地线均应装在作业人员可见到的地方,并与带电部分应保持规定的安全距离。

当变电所停电时,对可能来电的各路进出线均要分别验电并分别装设接地线或合接地刀闸。当部分线路停电时,若作业地点分布在电气设备不相连的几个部分时,则各作业地点应分别验电接地。室内配电装置的接地线应装在该装置导电部分画有标志的固定接地端子上。配电装置的接地端子要与接地网相连,其接地电阻须符合规定。

当验明设备确实已经停电后,则要及时装设接地线。顺序如下:

(1) 对于 35 kV 的 GIS 组合电器应先合接地刀闸,然后合断路器予以接地,并加机械锁;在变压器本体进行停电作业时,还必须在变压器本体的电源进线桩头上加挂地线。

(2) 对于临时接地线,应先接接地端再将另一端通过接地杆接在停电设备裸露的导电部分上。拆除接地线时,其顺序与装设时相反。

接地线须用专用线夹,连接牢固,接触良好,严禁缠绕。接地线要采用截面面积不小于 25 mm² (直流系统用不小于 95 mm²) 的裸铜软绞线,且不得有断股、散股和接头。

根据作业的需要(如测量绝缘电阻时)必须短时拆除接地线时,工作领导人可以将妨碍工作的接地线短时拆除,该作业完毕后,要立即恢复。进行需拆除接地线的作

业时，必须设专人监护，其安全等级：作业人员不低于二级，监护人不低于三级。

在合闸即可送电到工作地点的断路器和隔离开关的操作把手上均应悬挂“禁止合闸（操作），有人工作”的标示牌。若线路上有人作业，要在有关断路器和隔离开关操作手柄上悬挂“线路有人工作，禁止合闸”的标示牌。

在室内设备上作业时，应在工作地点四周的相邻设备和禁止通过的过道上装设遮栏并悬挂“止步，高压危险！”的标示牌（标示带），且须在检修的设备上和作业地点悬挂“在此工作”的标示牌。

部分停电的工作，当作业人员可能触及带电部分时，要装设遮栏，在邻近可能误登的带电构架上应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。在结束作业之前，任何人不得拆除或移动防护栅和标示牌。

四、高压试验与测量

当进行电气设备的高压试验时，工作领导人的安全等级不得低于三级，在作业地点的周围要设围栅，围栅上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，并派专人看守。当被试设备较长时（如电缆），在距离操作人较远的另一端还应派专人看守。因试验需要临时拆除设备相关引接线时，在拆线前应做好标志，试验完毕恢复后要仔细检查，确认连接正确，方可投入运行。

在一个电气连接部分内，同时只允许 1 个作业组且在一项设备上进行高压试验。必要时，在同一连接部分内检修和试验工作可以同时进行，作业时必须遵守下列规定：在高压试验与检修作业之间要有明显的断开点，且要根据试验电压大小和被检修设备的电压等级保证足够的安全距离。在断开点的检修作业侧装设接地线，高压试验侧悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。标示牌要面向检修作业地点。试验装置的金属外壳要装设接地线，高压引线应尽量缩短，必要时用绝缘物支持牢固，试验装置的电源开关应使用有明显断开点的双极开关。试验装置的操作回路中，除电源开关外还应串联零位开关，并应有过负荷自动跳闸装置。

（1）在施加试验电压（简称加压下同）前，操作人、监护人要共同仔细检查试验装置的接线、调压器零位、仪表的起始状态和表计的倍率等，确认无误且被试设备周围的人员均处在安全地带后，经工作领导人许可方准加压。

（2）加压作业要专人操作，专人监护，其安全等级：操作人不低于二级，监护人不低于三级。加压时操作人要戴绝缘手套、穿绝缘靴，操作人和监护人呼唤应答。在整个加压过程中，全体人员均要精神集中，随时注意有无异常现象。

（3）对于未装接地线且具有较大电容的设备，应先放电后加压。当进行直流高压试验时，每告一段落或结束时应将设备对地放电数次并进行短路接地。放电时，操作人要使用放电棒并戴绝缘手套和穿绝缘靴。在被试设备上装设的接地线，只允许在加压过程中短时拆除，试验结束后要立即恢复原状。

（4）试验结束时，作业人员要拆除自装的接地线、短路线，检查被试设备，清理作业地点。

（5）测量工作前，使用兆欧表测量绝缘电阻前后，必须将被测设备对地放电，放电时，作业人员要戴绝缘手套、穿绝缘靴。

在有感应危险电压的线路上测量绝缘电阻时，连同将造成感应电压的设备一并停电后进行。使用兆欧表测量绝缘电阻前，必须将被测设备从各方面断开电源，经验明无电且确认无人作业时，方可进行测量。

测量时，作业人员站的位置、仪表安设的位置及设备的接线点均要适当选择，使人员、仪表及测量导线与带电部分保持足够的安全距离。作业地点附近不得有其他人停留。测量用的导线要使用相应电压等级的绝缘线。

作业人员不得少于2人。在高压设备上作业时，其中1人安全等级不低于三级。

除专门测量高压的仪表外，其余仪表均不得直接测量高压。测量用的连接电流回路的导线截面面积不得少于 1.5 mm^2 。使用携带型仪表，仪器是金属外壳时，其外壳必须接地。

在高压回路进行测量时，要在作业地点周围设围栅，悬挂标示牌。人员与带电部分之间须保持足够的安全距离。

禁止任何人在高压分间、高压柜内、容器设备内单独停留作业。

当工作全部完成时，由作业组负责清理作业地点，工作领导人会同值班员（工作许可人）检查作业中涉及的所有设备，交代所检修项目、发现的问题和缺陷、处理的结果、是否具备投运条件等。工作领导人在工作票中填写工作结束时间并签字。然后拆除所有临时接地线，点清数量，拆除临时防护栅和标示牌，恢复常设的防护栅和标志，必要时测试设备、试验合格，值班员（工作许可人）办理工作票终结手续。

在完成上述工作后，值班员（工作许可人）在工作票中填写工作票结束并签字，工作票方可视为结束，之后值班员（工作许可人）须立即汇报电调。若由于需要，暂不拆除某组临时接地线时，由值班员（工作许可人）在工作票备注栏注明不能拆除的原因后，也可终结工作票。

五、电缆及 GIS 作业

电力电缆检修作业应办理第一种工作票。轨道交通行业 35 kV 及 $1\ 500\text{ V}$ 电缆用城轨变电所第一种工作票，由城轨电力调度办理准许手续。 110 kV 供电局管辖调度的设备（含电缆作业）应根据电业安全的有关规定和供电局的有关规定执行，用电力（线路）工作票，由 110 kV 线路工作领导人向电力公司电力调度办理准许作业手续，同时线路工作领导人知会城轨电力调度。工作前除办理安全措施外还必须将电缆两端接地，工作前必须详细核对电缆的名称、标志是否与工作票相符，确保安全措施正确可靠。

进电缆层（井）时，应排除浊气，穿绝缘靴，戴安全帽，作业人员不得少于 2 人，其安全等级均不低于三级。在作业中注意防火，防止高空落物。

气体绝缘金属封闭开关设备（简称 GIS）作业时，GIS 设备外壳必须可靠接地。在 GIS 上进行检修作业时，应办理第一种工作票。工作前确保母线必须可靠接地，设备上作业人员不能多于二人，且不得触及用于测量气压的导气管。使用锋利、硬金属物件工作时，时刻注意防止损坏外壳，严禁在带电状态下擅自攀登外壳。

工作人员进入 SF₆ 配电装置室，必须确认通风良好，必要时并用检漏仪测量室内 SF₆ 气体含量。在室内设备充装 SF₆ 气体时，周围环境相对湿度应小于或等于 80%，同时必须开启通风系统，并避免 SF₆ 气体泄漏到工作区，工作区空气中 SF₆ 气体含量不得超过 1 000 mg/L。工作人员不准在 SF₆ 设备防爆膜附近停留，若在巡视中发现异常，应立即报告，查明原因，采取有效措施进行处理。进入 SF₆ 配电装置或电缆沟进行工作时，应先检测含氧量（不低于 18%）和 SF₆ 气体含量是否合格。

气瓶应放置在阴凉干燥，通风良好，敞开的专门场所直立保存，并应远离热源和油污的地方。防潮、防阳光暴晒，并不得有水分或油污粘在阀门上，搬运时，应轻装轻放。

进行气体采样和处理一般渗漏时，要戴防毒面具，并进行通风。检修结束后，检修人员应先洗澡，把用过的工具，防护工具清洗干净。发生紧急事故应立即开启全部通风系统进行通风，发生设备防爆膜破裂事故时，应停电处理，并用汽油或丙酮擦拭干净。

设备解体检修前，必须对 SF₆ 气体进行检验。根据有毒气体的含量，采取安全防护措施。检修人员要着防护服并根据需要佩戴防毒面具。打开设备封盖后，检查人员暂留现场 30 min。

六、低压作业

低压设备上作业一般应停电进行。若必须带电作业时，作业人员要穿紧袖口的工作服戴防护眼镜，穿绝缘靴或站在绝缘垫上工作。所有的工具必须有良好的绝缘手柄，附近的其他设备的带电部分必须用绝缘板隔开。在低压设备上作业时至少两人同时进行。带电作业时作业人员的安全等级不得低于三级；停电作业时，至少一人的安全等级不低于二级。

在转动机械上工作不准戴手套，严禁将明火或能发生火焰的物体带入蓄电池柜，在向蓄电池注电解液或调配电解液时，要戴防护眼镜并戴手套。进行蓄电池充放电和维护时，防止全所直流二次电源失压而引起开关跳闸。

二次回路上的作业时，在确保人身安全和设备安全的运行条件下，允许有关的高压设备和二次回路不停电进行下列工作：

- （1）测量、信号、控制和保护回路上进行较简单的作业。

(2) 改变继电保护装置的整定值，但不得进行该装置的整定调整后试验，且作业人员的安全等级不得低于三级。

(3) 当电气设备有多重继电保护，经电力调度批准短时撤出部分保护装置时，在撤出运行的保护装置上的作业。

在二次设备及其回路上进行作业时，必须遵守下列规定：

(1) 作业人员不得进入高压分间（柜）或登上 GIS 设备外壳，同时与带电部分之间的距离要在安全距离的规定数值。当作业地点有高压设备时，要在作业地点周围设围栅和悬挂相应的标示牌。

(2) 所有互感器的二次回路均要有可靠的保护接地。

(3) 直流回路不得造成接地或短路。

(4) 根据作业要求需进行断路器的分合闸试验时，必须根据有关规定办理。

在带电的电压互感器和电流互感器二次回路上作业时，电压互感器注意防止发生短路或接地，作业时作业人员要戴绝缘手套，并使用绝缘工具，必要时作业前撤出有关可能误动的继电保护。电流互感器严禁将其二次侧开路，短接其二次侧绕组时，必须使用专用短路片或短路线，并要连接牢固，接触良好，严禁用缠绕的方式进行短接，作业时必须有专人监护，操作人必须使用绝缘工具并站在绝缘垫上。

当用外加电源检查电压互感器的二次回路时，在加电源之前须在电压互感器的周围设围栅，围栅上要悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，且人员要退到安全地带。



复习与思考

1. 请简述倒闸作业的流程。
2. GIS 作业应开哪种工作票？



项目资讯单

高压电气绝缘安全资讯单

项目内容	高压电气绝缘试验安全防范措施		
学习方式	通过教科书、图书馆、专业期刊、上网查询问题；分组讨论或咨询老师	学时	8
资讯要求	书面作业形式完成，在网络课程中提交		
资讯问题	序号	资讯点	
	1	常用绝缘工具有哪些？如何操作？	
	2	绝缘杆、绝缘靴、绝缘手套使用前应做哪些检查？如何正确保管？	
	3	对临时接地线有哪些要求？使用前应做哪些检查？挂临时接地线应由谁操作？对挂临时接地线有哪些要求？	

	4	什么是最小安全距离？什么是跨步电压？跨步电压达到多少伏时，会使人有生命危险？
	5	常用一次设备有哪些？各有什么用途？
	6	什么是一次设备？什么是二次设备？为何这样分类？
	7	电气试验标准及规范有哪些？
	8	电气试验过程中有哪些危险点？应做什么预控措施？
	9	高压电气试验工具有哪些？各有什么作用？
	10	安全用具的试验周期是多久？请举例说明。
	11	城轨电气设备试验安全规程包括什么内容？
资讯引导	以上问题可以在本教程的学习信息、精品网站、教学资源网站、互联网、专业资料库等处查询学习	

项目操作单

高电压设备试验项目

项目	绝缘靴手套耐压测试				
项目编号		考核时限	50 min	得分	
开始时间		结束时间		用时	
作业项目	正确验电及挂接地线				
项目要求	① 说明试验过程中的各高压危险点 ② 现场就地操作演示并说明需要试验的绝缘结构及材料 ③ 能正确验电，现场就地操作演示并说明验电器结构及材料 ④ 能正确完成绝缘靴、手套耐压测试过程 ⑤ 能正确挂接及拆除地线，操作过程符合安全规程 ⑥ 编写试验报告 ⑦ 实操时间不能超过 30 min，试验报告时间 20 min，实操试验提前完成的，其节省的时间可加到试验报告的编写时间中				

续表

材料准备	① 正确摆放被试品 ② 正确摆放试验设备 ③ 准备绝缘工具、接地线、电工工具和试验用接线及接线钩叉、鳄鱼夹等 ④ 其他工具，如绝缘胶带、万用表、温度计、湿度仪			
评分标准	序号	项目名称	质量要求	满分 100分
	1	安全措施 (14分)	(1) 试验人员穿绝缘鞋、戴安全帽，工作服穿戴整齐	3
			(2) 检查被试品是否带电(可口述)	2
			(3) 接好接地线对高压开关进行充分放电(使用放电棒)	3
(4) 设置合适的围栏并悬挂标示牌			3	

			(5) 试验前, 对高压开关外观进行检查 (包括本体绝缘、接地、本体清洁度等), 并向考评员汇报	3
2	仪器仪表铭牌参数抄录 (7分)		(1) 对与试验有关的高压开关铭牌参数进行抄录	2
			(2) 选择合适的仪器仪表, 并抄录仪器仪表参数、编号、厂家等	2
			(3) 检查仪器仪表合格证是否在有效期内并向考评员汇报	2
			(4) 向考评员索取历年试验数据	1
3	绝缘靴、绝缘手套检查 (2分)		向考评员口述检查方法	2
4	温、湿度计的放置 (4分)		(1) 试品附近放置温湿度表, 口述放置要求	2
			(2) 在高压开关本体测温孔放置棒式温度计	2
5	试验接线情况 (9分)		(1) 仪器摆放整齐规范	3
			(2) 接线布局合理	3
			(3) 仪器、高压开关地线连接牢固良好	3
6	电源检查 (2分)		用万用表检查试验电源	2
7	试品带电试验 (23分)		(1) 试验前撤除地线, 并向考评员示意是否可以进行试验。简单预说一下操作步骤	2
			(2) 接好试品, 操作仪器, 如果需要则缓慢升压	6
			(3) 升压时进行呼唱	1
			(4) 升压过程中注意表计指示	5
			(5) 电压升到试验要求值, 正确记录表计指数	3
			(6) 读取数据后, 仪器复位, 断掉仪器开关, 拉开电源刀闸, 拔出仪器电源插头	3
			(7) 用放电棒对被试品放电、挂接地线	3
8	记录试验数据 (3分)		准确记录试验时间、试验地点、温度、湿度、铭牌及试验数据	3

续表

	序号	项目名称	质量要求	满分 100分
评分标准	9	整理试验现场 (6分)	(1) 将试验设备及部件整理恢复原状	4
			(2) 恢复完毕, 向考评员报告试验工作结束	2
	10	试验报告 (20分)	(1) 试验日期、试验人员、地点、环境温度、湿度、油温	3
			(2) 试品铭牌数据: 与试验有关的高压开关铭牌参数	3
			(3) 使用仪器型号、编号	3

		(4) 根据试验数据作出相应的判断	9
		(5) 给出试验结论	2
	考评员提问 (10分)	回答与试验相关的问题, 考评员酌情给分	10
考评员项目验收签字			

项目考核单

一、单项选择题 (在每小题中, 只有一项符合题目要求, 把所选选项的序号填在题中的括号内)

- 10 kV 电气设备不停电的安全距离是 () m。
A. 0.7 B. 2 C. 3
- 设备运行后每 () 个月检查一次 SF₆ 气体含水量, 直至稳定后方可每年检测一次含水量。
A. 三 B. 四 C. 五
- SF₆ 设备运行稳定后方可 () 检查一次 SF₆ 气体含水量。
A. 三个月 B. 半年 C. 一年
- 工作人员进入 SF₆ 配电装置室必须先通风 () min 并用检漏仪测量 SF₆ 气体含量。
A. 5 B. 10 C. 15
- 高压试验工作应 ()。
A. 填写第一种工作票 B. 填写第二种工作票
C. 可以电话联系
- 隔离开关与断路器串联使用时, 停电的操作顺序是 ()。
A. 先拉开隔离开关, 后断开断路器 B. 先断开断路器, 再拉开隔离开关
C. 同时断 (拉) 开断路器和隔离开关 D. 任意顺序

二、判断题 (正确的在题后的括号内打“√”, 错误的打“×”)

- 线路检修时, 接地线一经拆除即认为线路已带电, 任何人不得再登杆作业。()
- 停电检修的设备, 各侧电源只要拉开断路器即可。()
- 停电作业的电气设备, 除本身应停电外, 影响停电作业的其他电气设备和带电线路也应停电。()
- 验电的目的是验证停电设备和线路是否确无电压, 防止带电装设接地线或带电合接地刀闸等恶性事故的发生。()

5. 在某条线路上进行验电，如某一相验电无电时，可认为该线路已停电。（ ）
6. 在某条电缆线路上进行验电，如验电时发现验电器指示灯发亮，即可认为该线路未停电。（ ）
7. 装设、拆除接地线时，应使用绝缘杆和戴绝缘手套。（ ）
8. 10~35 kV 级变压器绝缘为分级绝缘结构。（ ）

三、填空题

1. 高压设备发生接地时，室内不得接近故障点_____以内，室外不得接近故障点以内。进入上述范围人员必须穿绝缘靴，接触设备的外壳和架构时，应戴绝缘手套。
2. 用绝缘棒拉合隔离开关（刀闸）或经传动机构拉合隔离开关（刀闸）和断路器（开关），均应_____。雨天操作室外高压设备时，绝缘棒应有防雨罩，还应穿绝缘靴。接地网电阻不符合要求的，晴天也应穿绝缘靴。雷电时，禁止_____操作。
3. 测量绝缘时，在测量绝缘前后，必须将被试设备_____。

四、应用分析题

1. 在电气设备上工作，保证安全的技术措施是什么？
2. 简述气体放电试验的原理。
3. 高压试验时变压器的铁心是否要接地？能否多点接地？
4. 简述 SF₆ 气体具有良好的绝缘特性和灭弧性能的原因。