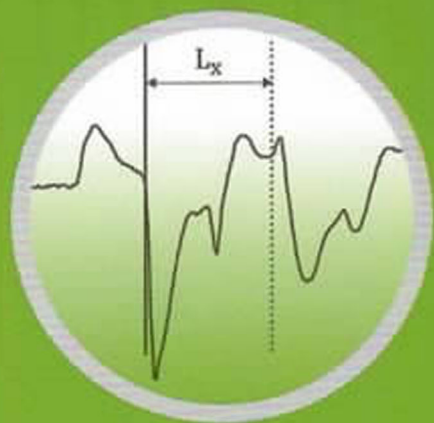


高压电缆现场 故障测试定点 百问百答及应用案例

周利军 叶 颖 顾黄晶 何邦乐 编著



高压电缆现场故障测试定点 百问百答及应用案例

周利军 叶 颀 顾黄晶 何邦乐·编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高压电缆现场故障测试定点百问百答及应用案例 /
周利军等编著. -- 上海: 上海科学技术出版社, 2023. 2
ISBN 978-7-5478-6065-6

I. ①高… II. ①周… III. ①高压电缆—故障检测—
问题解答 IV. ①TM247-44

中国国家版本馆CIP数据核字(2023)第016025号

高压电缆现场故障测试定点百问百答及应用案例
周利军 叶 颀 顾黄晶 何邦乐 编著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F)

邮政编码 201101 www.sstp.cn

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.5

字数: 220千字

2023年2月第1版 2023年2月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-6065-6/TM·78

定价: 100.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

目前,高压电缆故障测试定点技术无论在理论水平还是在实践技能上都实现了重大突破、达到了较高水平,对快速提升高压电缆故障处置效率有着重要意义。

本书立足于高压电缆故障测试定点的现场应用实践,以问答的形式阐述高压电缆故障测试定点原理、步骤和现场应用情况等,对测试方法和测试流程进行了全面梳理,最终形成对现场工作具有指导意义的工作流程图,力求帮助读者提高高压电缆故障测试定点的理论和技能水平,推动高压电缆故障测试定点工作更加规范、扎实、有效地开展。

本书可供电缆从业人员研究、学习、培训、参考之用,也可供高校相关专业的师生进行参考。

本书还提供了课件资源,可与相应内容配套使用,读者可扫描封底二维码获取。

编委会

主 编

周利军

副主编

叶 颀 顾黄晶 何邦乐

编 委

(按姓氏笔画排列)

王之琦 王骁迪 孔德武(上海慧东) 邢馨月 朱亦凡 朱亦嘉
任怡睿 江 南 许 强 孙晓璇 杨天宇 杨海明 李 凌
李 海 李天翼 李会军(上海慧东) 李春辉 邱漫诗 宋 菲
张 伟(女) 张 伟(男) 陈 佳 陈立荣 陈越超 陈嘉威
邵文楠(上海合测) 周 宏 周 婕 周咏晨 周晶晶 周韞捷
单 超(山东科汇) 宣辰扬 宫士营(山东科汇) 原佳亮
党志涛(上海合测) 徐佳敏 徐浩森 郭婉华 黄 勇 蒋晓娟
谢素娟 蓝 耕 楼铁城 魏康妮

序

随着我国经济的飞速发展,电网建设技术逐步成熟,电力电缆因其安全、美观等诸多优点,逐渐取代传统架空线路,成为现代电网的重要组成部分。但同时也意味着,作为城市供电系统的主动脉,高压电缆一旦发生故障,将在社会面造成不可小觑的影响。因此,如何快速准确地实现故障定位(定点),进一步缩短故障抢修时间,成为运行单位在高压电缆故障测试定点技术层面力图突破的重点问题。对“电缆故障测试及定点”的探究可追溯到19世纪,最初花费大量人力和时间成本查找故障点,如今利用不断进步的科学技术开展智能化故障定位,目前国内电缆故障测试定点技术无论在理论水平还是在实践技能上都实现了重大突破、达到了较高水平。

凡经历过电缆故障测试即会发现,受现场环境和故障性质的影响,每一次故障测试的过程都不尽相同,每一次高效准确的故障测试定点都有赖于现场人员对理论的融会贯通和对技术的综合应用。如欲总结故障测试定点现场经验,需从成百上千次的故障测试定点历程中抽丝剥茧、反复研讨,才能整理提炼出真正有现实指导意义的内容,此过程实非易事。所幸本书的编者团队包含国内电缆故障测试定点领域老、中、青三代的技术骨干,他们常年工作在电缆检修一线,掌握故障测试定点的技术核心与关键,由他们总结多年的宝贵心得与经验,并以撰书的方式与大众交流分享,实为高压电缆业内之幸。

本书汇集了高压电缆常见故障类型,强调了标准化高压电缆故障处置流程对于保障城市供电安全及可靠性的意义,总结了高压电缆现场故

障测试定点的测试方法和测试流程,同时兼顾了故障测试前沿技术的原理和方法的分享。纵观全书,内容翔实、逻辑清晰,以指导实操为导向剖析了故障测试定点的技术原理,图文并茂地展示了高压电缆现场故障测试定点的技术精要,删繁就简地规范了高压电缆故障测试定点的流程步骤,为广大电缆从业者提供了高压电缆现场故障测试定点的技术范本。更值得一提的是,本书无论是解答现场疑点难点部分,还是总结不同设备、不同测试方法典型应用场景部分,均以现场作业人员为第一视角进行撰写,体现了编者意欲为电缆故障检测现场提供切实有效指导的良苦用心。与此同时,本书在延续姐妹篇案例分享章节的基础上新设巧思,以案例呼应前八章的重点内容,实现理论与实践的充分结合,以期广大从业者从中得到最大程度的启发与借鉴。

接到本书作者之一邀请为其作序,我感到非常荣幸。“他山之石,可以攻玉”,与同类书相比,本书无论内容还是形式都有其独到之处,非常值得推荐。希望读此书人皆有所获,亦是对所有本书编撰者的最好回馈。最后衷心感谢所有参与此书出版的人员!

顾明松

2022年10月

前 言

近年来,随着城市电网的不断改造和电力电缆的广泛应用,高压电缆逐渐取代架空线路,在城市电网中起着主导作用。在实际运行中,虽然高压电缆的安全可靠性高于架空线路,但仍会受各种因素影响而发生故障,如外力损坏、运行老化、施工工艺、产品质量等,皆可能导致高压电缆发生故障。又因电缆多数设于地下,一旦发生故障,快速判断故障类型与确定故障位置则成为抢修的重难点。

此书的作者皆为在电缆运维检修一线工作过的人员,经年累月的巡线、检测与抢修经验是他们最为宝贵的财富。他们汲取前作《高压电缆现场局部放电检测百问百答及应用案例》和《高压电缆现场状态综合检测百问百答及应用案例》的编写经验,通过总结工作中遇到的高压电缆故障案例,提炼归纳高压电缆故障测试定点中的难点要点,汇成此书,旨在与全行业的电缆运行单位及从业人员分享高压电缆现场故障测试定点的技术手段与思路经验。

全书由两个部分组成。第一部分为高压电缆现场故障测试定点技术百问百答,第二部分为典型案例介绍。第一部分共8章,系统全面地介绍了高压电缆现场故障测试定点技术。第一章为高压电缆故障测试定点技术的概述,一方面介绍了什么是高压电缆故障,包括其成因和性质;另一方面介绍了什么是高压电缆故障测试定点,以及如何在故障后进行电缆故障测试定点。第二章介绍了高压电缆出现故障后如何开展抢修组织管理工作,强调了高压电缆故障标准化处置流程的重要性。第三章到第五章介绍了高压电缆故障测试定点技术,分章节按照故障性质判别、预定

位、精准定点三步走,分别就每一环中的测试方法、常用设备及其他关键问题给出专业解答。第六章介绍了高压电缆外护层故障测试定点技术。第七章介绍了高压电缆故障测试定点新技术、新装备及其原理与测距方法,包括宽频阻抗谱检测技术、电缆故障双端测距技术、电缆分布式故障测寻技术和电缆故障测寻车等。除此之外,电缆在线故障监测技术是一种故障测寻的新形式,且未来有可能替代以上故障检测方法,目前正处于探索阶段,此书不做赘述。这些新方法、新工具皆为行业内最新的技术手段,如能借由此书广泛传播并应用到全行业中,必将极大地推动高压电缆故障测试定点的精准度与效率。第八章介绍了高压电缆故障测试定点现场安全保障的各项措施。第二部分共 10 个案例,均为作者在实际工作中遇到的典型故障,类型涵盖电缆低阻接地运行故障、高阻接地运行故障、闪络耐压故障等多种高压电缆常见故障。随案例一并分享的故障测试定点技术也极具代表性和现实指导意义。

本书在编写过程中得到了山东科汇电力自动化股份有限公司、上海慧东电气设备有限公司、上海合测电子科技有限公司的大力支持,再次表示由衷的感谢。最后,受限于各地电缆运行方式之差异,以及编写者学识能力终有边界,书中如有疏漏存疑之处,恳请广大读者及技术专家批评指正。



2022 年 10 月

目 录

第一篇 · 百问百答

第一章	高压电缆故障测试定点概述	003
1	高压电缆的基本结构是怎样的?	003
2	什么叫电缆故障?	003
3	高压电缆故障的原因有哪些?	004
4	高压电缆故障是如何统计的?	004
5	什么叫高压电缆故障测试定点,其基本步骤是怎样的?	004
6	高压电缆发生故障后需要收集哪些资料?	005
7	什么叫高压电缆的故障性质?	005
8	按故障性质划分,高压电缆有哪几种故障?	006
9	什么是高压电缆路径探测,什么情况下需要路径探测?	006
10	高压电缆故障测试定点的工作流程是怎样的?	007
第二章	高压电缆故障抢修的组织管理	008
11	什么是高压电缆故障应急处置预案?	008
12	高压电缆故障应急处置预案的编制原则是什么?	008
13	什么是高压电缆故障标准化处置流程,有什么意义?	008
14	高压电缆故障标准化处置流程的具体步骤是怎样的?	009
15	高压电缆故障抢修现场抢修项目和作业标准有哪些?	010
16	高压电缆故障应急处置工作人员该如何配置?	011

- 17 如何编制抢修方案? 012
- 18 为什么要做高压电缆故障现场测试记录? 012

第三章 高压电缆故障性质判别 014

- 19 高压电缆的故障性质有哪几类? 014
- 20 判别高压电缆故障性质一般需要用到哪些设备? 015
- 21 现场如何判别高压电缆的故障性质? 016
- 22 开路故障有哪些特点及判别方法? 017
- 23 低阻故障有哪些特点及判别方法? 017
- 24 高阻故障有哪些特点及判别方法? 018
- 25 闪络故障有哪些特点及判别方法? 019
- 26 闪络故障与高阻故障有何区别? 019
- 27 混合型故障有哪些特点及判别方法? 019

第四章 高压电缆故障预定位技术 020

- 28 什么叫高压电缆故障预定位? 020
- 29 高压电缆故障预定位有哪些方法? 020

第一节 · 电桥法 021

- 30 电桥法的原理是什么? 021
- 31 低压电桥、高压电桥、智能电桥分别适用于测什么类型的故障? 022
- 32 为什么使用电桥法要先测回线电阻? 022
- 33 短接线等效长度如何换算? 023
- 34 什么情况下要进行铜铝换算和截面换算,如何换算? 023
- 35 怎样用电桥法测试不同类型的电缆故障? 024
- 36 什么是电桥的正接法和反接法,如何计算? 026
- 37 电桥检流计遇到杂散电流无法稳定时可采取什么措施? 028

- 38 怎样使用 1R 法测三相故障? 028
- 39 为什么闪络故障不能直接使用电桥法测试? 029

第二节 · 行波法 029

- 40 行波法的基本原理是什么? 029
- 41 什么是传输线理论? 029

42	什么叫波速度?	030
43	什么叫波阻抗,电缆线路的波阻抗是多少?	031
44	如何区分行波在电缆中的正反射和负反射?	032
45	行波法有哪些具体的测试方法?	033
46	为什么现场作业中很少使用脉冲电压法?	034
第三节·低压脉冲反射法		034
47	低压脉冲反射法的工作原理是什么?	034
48	现场如何使用低压脉冲反射法?	035
49	如何分析低压脉冲反射法的波形?	036
50	现场如何使用低压脉冲比较法?	038
第四节·脉冲电流法		039
51	什么是脉冲电流法,其工作原理是什么?	039
52	脉冲电流法现场测试需要哪些设备?	040
53	脉冲电流法现场如何操作?	041
54	如何分析脉冲电流法的波形?	043
55	使用冲闪法时需要注意哪些问题?	044
56	什么叫故障点放电延时?	044
57	长放电延时的故障波形有什么特征?	045
58	故障点不充分放电有哪些现象,如何使故障点充分放电?	046
59	故障点未击穿的脉冲电流波形是怎样的?	046
60	直接击穿的脉冲电流波形有什么特征?	047
61	近距离故障脉冲电流波形有什么特征?	047
62	远端反射击穿的脉冲电流波形有什么特征?	048
63	如何判断假放电?	048
64	为什么有些接头故障很难击穿?	048
第五节·多次脉冲法		049
65	多次脉冲法的原理是什么?	049
66	多次脉冲法现场测试需要哪些设备?	050
67	多次脉冲法相比于脉冲电流法有何优势?	050
68	多次脉冲法的两次行波和低压脉冲比较法有什么区别?	050



第五章	高压电缆路径探测及精确定点	052
	第一节·高压电缆线路路径探测	052
69	高压电缆线路路径探测的方法有哪些?	052
70	音频感应法的基本原理是什么?	052
71	有哪些常用的音频感应测试方法?	053
72	音频感应法的常用测试设备有哪些?	054
73	音频感应法有哪几种信号接入方式?	055
74	直连法现场该如何接线?	055
75	夹钳耦合法现场该如何接线?	056
76	音频感应法如何探测电缆埋设深度?	056
77	探测电缆路径时,信号感应到了其他管线上该如何操作?	057
78	音频感应法现场测试过程中有哪些注意事项?	057
79	脉冲磁场法的基本原理是什么?	058
80	脉冲磁场法的测试设备有哪些?	058
81	现场如何利用脉冲磁场法进行路径探测?	058
	第二节·高压电缆故障精确定点	059
82	为什么要精确定点?	059
83	电缆故障精确定点的常用方法有哪些,分别适用于哪些故障?	059
84	声测法的基本原理是什么?	060
85	声测法对电缆施加高压脉冲信号时需要用到哪些设备?	060
86	声测法现场接线对于不同类型的电缆故障有何区别?	061
87	现场如何开展声测定点?	061
88	声测定点时听不到放电声音该怎么办?	062
89	声测定点时产生假放电的原因是什么?	062
90	声测定点时如何辨别假放电?	063
91	声磁同步法与听棒法有何区别?	063
92	如何利用声、磁信号的时间差来判定故障点位置?	063
93	音频感应法定点的基本原理是什么?	064
94	音频感应法如何对电缆金属性接地故障进行定点?	064
95	音频感应法如何对开路(接地)故障进行定点?	065
96	影响音频感应法定点结果的因素有哪些?	065

97	跨步电压法定点的基本原理是什么?	066
98	跨步电压法如何对直埋电缆金属性接地故障进行定点?	066
99	使用探针检测跨步电压时的注意事项有哪些?	067
100	影响跨步电压法定点精度的干扰因素有哪些?	067

第六章 高压电缆外护层故障测试定点 069

101	什么叫高压电缆外护层故障?	069
102	外护层的作用是什么?	069
103	为什么要测试高压电缆外护层故障?	069
104	外护层故障引发主绝缘击穿的机理是什么?	070
105	单芯电缆金属护套有几种接地方式?	071
106	高压电缆外护层绝缘试验标准是什么?	071
107	如何判断高压电缆外护层故障?	071
108	高压电缆外护层故障产生的原因有哪些?	072
109	高压电缆外护层故障测定流程是怎样的?	073
110	高压电缆外护层故障预定位有什么方法?	073
111	高压电缆外护层故障精确定点有什么方法?	075
112	故障点在排管内的定点方法?	075

第七章 高压电缆故障测试定点新技术及新装备 077

第一节·宽频阻抗谱检测技术 077

113	频域反射法的原理是什么?	077
114	频域反射法在高压电缆上的应用有哪些?	077
115	脉冲宽度和测试盲区有什么关系?	078
116	时域反射法和频域反射法的区别是什么?	079
117	什么是高压电缆宽频阻抗谱?	080
118	高压电缆宽频阻抗谱检测的关键参数如何设置?	080
119	高压宽频阻抗谱检测的现场如何布置?	080
120	高压电缆宽频阻抗谱检测的波形分析要点有哪些?	082
121	宽频阻抗谱检测技术的应用场景有哪些?	082



第二节 · 电缆故障双端测距技术	083
122 双端测距技术的原理是什么?	083
123 双端测距技术的优缺点有哪些?	084
124 故障点无法击穿的高阻故障该如何处理?	085
125 交流耐压烧穿法双端测距的现场如何布置?	085
126 交流耐压烧穿法的故障波有什么特征?	086
127 交流耐压烧穿法的典型波形怎么识别?	086
第三节 · 电缆分布式故障测寻技术	087
128 电缆分布式故障测寻技术如何分类?	087
129 电缆分布式故障测寻技术的应用现状如何?	087
130 电缆分布式故障测寻技术现场实测应用是怎样的?	088
131 电缆分布式故障测寻技术的应用前景如何?	089
第四节 · 电缆故障测寻车	090
132 什么是电缆故障测寻车?	090
133 电力电缆故障测试车有哪些应用意义?	091
134 电力电缆故障测试车的应用情况如何?	091
135 电力电缆故障测试车的配置原则有哪些?	091
136 电力电缆故障测试车的技术要点、难点及发展的方向有哪些?	094
第八章 高压电缆故障测试定点现场安全	096
137 高压电缆故障测试定点现场安全“三阶段”是什么?	096
138 高压电缆故障测试定点安全工器具“十准备”指哪些?	097
139 水阻管的绝缘性能有哪些要求,如何检测其绝缘性能?	097
140 高压电缆故障测试定点前现场怎样做到“四确认”?	098
141 高压电缆故障测试定点的现场安全风险有哪些?	099
142 高压电缆现场故障测试定点过程中发生突发状况时应如何处理?	099
143 使用传统分体式设备做电缆故障测试定点该如何放电?	100
144 高压电缆故障测试定点,对接地有哪些要求?	101
145 高压电缆故障测试定点现场的人身安全“十注意”是什么?	102

146	高压电缆故障测试定点现场的试验设备安全“十注意” 是什么？	102
-----	----------------------------------	-----

第二篇 · 应用案例

案例一	110 kV 电缆低阻接地运行故障	107
案例二	110 kV 电缆高阻接地运行故障	111
案例三	110 kV 电缆高阻接地运行故障	114
案例四	110 kV 电缆高阻接地运行故障	117
案例五	110 kV 电缆高阻接地运行故障	121
案例六	110 kV 电缆闪络（高阻）耐压故障	124
案例七	220 kV 电缆闪络（高阻）耐压故障	127
案例八	110 kV 电缆闪络（高阻）耐压故障	131
案例九	110 kV 电缆闪络（高阻）耐压故障	136
案例十	220 kV 电缆闪络耐压故障	140
参考文献		146

第一篇

百问百答

