

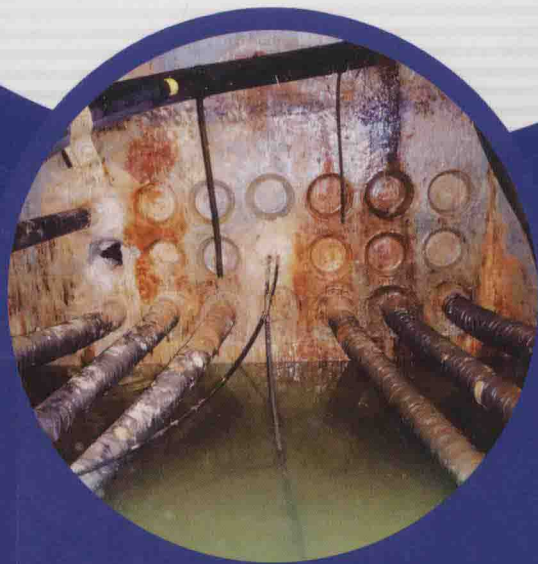
输电电缆



工作手册

防水

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输电电缆 **六防** 工作手册

防水

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为总结我国输电缆线路“六防”工作取得的成果,指导输电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作,提高输电缆的精益化与规范化管理水平,提升输电缆线路安全运行水平与可靠性,国家电网公司运维检修部组织编写了《输电缆“六防”工作手册》,包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害气体6个分册。

本书为《输电缆“六防”工作手册 防水》分册,包括概述、防水保障、隐患排查、防治措施和典型案例5章。

本书是输电缆线路运行维护、检修和管理人员的工作手册,可作为输电缆线路相关专业技术及管理人员的业务指导书、培训教材及学习资料,也可作为大专院校相关专业师生的自学用书与阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电缆“六防”工作手册. 防水 / 国家电网公司运维检修部组编. —北京: 中国电力出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5198-1205-8

I. ①输… II. ①国… III. ①输电线路—电力电缆—电力工程—工程施工—安全技术—手册 IV. ①TM726-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 240662 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 岳 璐(010-63412339)

责任校对: 朱丽芳

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 7.25

字 数: 119 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 36.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任 杜贵和

副主任 张祥全 黄 清 王 剑

主 编 王 剑

副主编 潘志新 姜海波 姜文东

参 编 吴仁宜 李鸿泽 任广振 欧阳本红

饶文彬 倪卫良 姚雷明 邹 铁

杨 浩 高志野 张 俊 李文杰

张竟成 刘 岩 黄肖为 杨先进

张志坚 何光华 王 震 吕 峰

秦 军 何建益 陈 嵩 姜 芸

吴明祥 杨 静 王 伟 高 超

赵 轩

前 言

随着我国经济的快速发展，输电电缆越来越广泛地应用，高压电缆线路运行长度逐年增加，据统计，2012~2016 年国家电网公司输电电缆线路以 10% 以上的年平均增速稳步增长。在实际运行中，外力破坏、有害气体、电缆过热、着火、进水和附属设备异常严重影响输电电缆安全运行，它们会导致电缆线路组部件老化、产生缺陷，造成电缆线路火灾，发生绝缘击穿故障和人身伤害。因此，改善电缆线路通道运行环境，提升高压电缆线路安全运行水平，一直是输电电缆线路精益化管理的重要工作。

截止到 2016 年底，国家电网公司 110（66）kV 及以上高压电缆线路回路长度超过 2 万千米。据统计，外力破坏、火灾、水害、过热、附属设备异常以及有害气体是造成输电电缆线路运行故障、威胁运行维护人员人身安全的重要因素。近几年发生的多起电缆线路故障，造成了巨大的社会影响以及财产损失。对此，国家电网公司高度重视输电电缆线路的防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常、防有害气体（简称“六防”）工作，组织开展了“六防”隐患排查、重要输电电缆通道风险评估与治理，立项支持相关技术的研究，在机理及防治理论、电缆线路及通道监测、病害治理、防治装置及设备、抢修及恢复技术、高压电缆线路运维管理等方面取得了一系列成果。输电电缆“六防”工作的开展，有效地改善了输电电缆的外部运行环境，使输电电缆线路安全运行水平逐年提升。

为总结我国输电电缆线路“六防”工作取得的成果，指导输电电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作，优化电缆运行环境、避免人为事故、避免人身伤害，提高输电电缆的精益化与规范化管理水平，提升输电电缆线路安全运行水平与可靠性，国家电网公司运维检修部组织编写了《输电电缆“六防”工作手册》，包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害

气体 6 个分册。在编制过程中，编写组广泛调查研究，通过提炼和展示国家电网公司系统各输电电缆线路运检单位工作亮点，总结经验和不足，参考有关国家法律、法规和国家电网公司相关标准、规定和规范，经多次讨论修改和征求意见，体现了输电电缆“六防”工作的关键技术和成果，凝聚了国家电网公司输电电缆线路运维、管理、科研工作者的集体智慧。

本书为《输电电缆“六防”工作手册 防水》分册，包括概述、防水保障、隐患排查、防范措施和典型案例 5 章。由国网江苏省电力公司、国网浙江省电力公司、中国电力科学院等单位编写。

由于编写人员水平有限，书中难免存在不妥或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月



目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 定义与术语	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 术语	1
1.2 电缆线路进水危害	2
1.2.1 电缆本体及附件进水危害	2
1.2.2 电缆通道进水危害	9
1.3 水患原因	9
1.3.1 电缆本体及附件进水原因	9
1.3.2 电缆通道水患原因	11
1.4 电缆防水的重要意义	12
第2章 防水保障	13
2.1 规章制度	13
2.2 工作体系	14
2.3 应急保障	15
2.3.1 应急措施	15
2.3.2 保障措施	15
2.3.3 应急抢修	15

第3章 隐患排查	17
3.1 巡视排查	17
3.2 检测排查	19
3.3 在线监测排查	22
3.3.1 电缆本体及附件进水在线监测	22
3.3.2 电缆通道进水在线监测	23
第4章 防治措施	26
4.1 预防措施	26
4.1.1 电缆本体及附件预防措施	26
4.1.2 电缆通道预防措施	32
4.2 治理措施	54
4.2.1 电缆本体及附件防水治理	54
4.2.2 电缆通道防水治理	56
第5章 典型案例	71
5.1 电缆线路进水案例	71
5.1.1 电缆中间接头进水案例	71
5.1.2 电缆终端进水案例	79
5.1.3 电缆终端避雷器进水案例	81
5.1.4 电缆本体进水案例	82
5.1.5 电缆线路接地箱进水案例	85
5.2 电缆线路进水治理案例	96
5.2.1 电缆外护套缺陷处理案例	96
5.2.2 电缆隧道防水综合治理案例	98
5.2.3 电缆隧道变形缝漏水缺陷案例	100
5.2.4 电缆工井防水综合治理案例	103
参考文献	106

概 述

1.1 定义与术语

1.1.1 定义

电缆线路（power cable line）指由电缆、附件、附属设备及附属设施所组成的整个系统。其中附属设备包括油路系统、交叉互联系统、接地系统、监控系统等；附属设施主要包括电缆隧道、电缆竖井、排管、工井、电缆沟、电缆桥、电缆终端站等。

本手册是为指导输电电缆线路防水工作所编写，其他电缆线路参考使用，下文中电缆线路均为输电电缆线路。

电缆线路水患是指电缆线路由于规划设计施工不当、运行检修不到位、自然灾害等各种原因导致电缆及附件进水，或电缆隧道、综合管廊、工井、排管等电缆通道渗水、积水等威胁电缆安全稳定运行的隐患。

1.1.2 术语

根据 GB 50108《地下工程防水技术规范》，地下工程防水等级标准应符合表 1-1 的规定。

表 1-1 地下工程防水等级标准

防水等级	防 水 标 准
一级	不允许渗水，结构表面无湿渍
二级	不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。 湿渍总面积不应大于总防水面积的 2‰；任意 100m ² 防水面积上的湿渍不超过 3 处，单个湿渍的最大面积不大于 0.2m ² ；其中，隧道工程平均渗水量不大于 0.05L/（m ² ·d），任意 100m ² 防水面积上的渗水量不大于 0.15L/（m ² ·d）
三级	有少量漏水点不得有线流和漏泥砂。 任意 100m ² 防水面积上的漏水或湿渍点数不超过 7 处，单个漏水点的最大漏水量不大于 2.5L/d，单个湿渍的最大面积不大于 0.3m ²

续表

防水等级	防 水 标 准
四级	有漏水点，不得有线流和漏泥砂。 整个工程平均漏水量不大于 2L/（m ² •d），任意 100m ² 防水面积上的平均漏量不大于 4L/（m ² •d）

1.2 电缆线路进水危害

电缆线路进水主要可以分为电缆本体及附件进水和电缆通道进水。

1.2.1 电缆本体及附件进水危害

电缆本体及附件主要包括电缆本体进水、电缆接地系统进水、电缆中间接头进水、电缆终端进水和电缆线路避雷器进水五类。

以上电缆水患的危害主要是进水后，造成电缆及附件等设备的性能受到损坏，进而影响电网安全稳定和用户的可靠供电。详细危害如下：

1. 电缆本体进水

目前使用的电力电缆绝大部分是交联聚乙烯电缆。交联聚乙烯电缆由于在材料选择和制造工艺上的原因，使电缆本身内部可能存在着微孔、杂质或其他一些缺陷。而水分沿缺陷处进入电缆中，将很可能会产生水树枝，如图 1-1 所示。

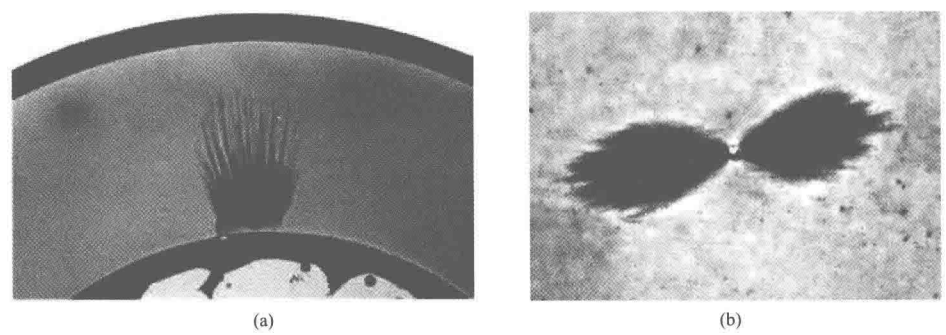


图 1-1 水树枝的两种形态
(a) 水树枝形态 1；(b) 水树枝形态 2

水树枝（Water Tree）被认为是导致交联聚乙烯电缆绝缘老化的重要原因。水树枝造成电缆击穿可以分两种情况：

（1）水树枝的生长相对较慢，伴随水树枝的生长，水树枝尖端的电场将愈加集中，高温下，水树枝里可能发生显著地氧化，导致吸水性增大，导电性增

高，最终热击穿。

(2) 水树枝生长到一定程度时，严重过电压可能会在水树枝尖端形成较大的瞬态电流，该电流在树枝中的损耗会造成水树枝微孔内水分温度的急剧上升甚至气化，进一步造成绝缘破坏，产生的局部高场强会使水树枝尖端处产生电树枝。电树枝一旦形成，即可能造成电缆在短期内被击穿，电缆绝缘击穿故障如图 1-2 所示。

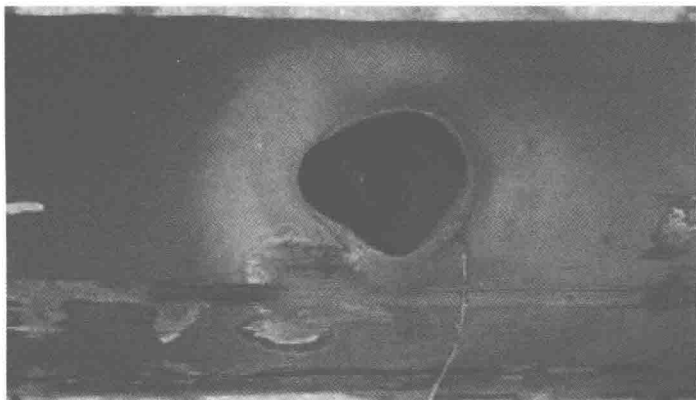


图 1-2 电缆绝缘击穿故障

2. 电缆终端进水

电缆终端进水后，会引起绝缘油 $\tan\delta$ （介质损耗）值显著增大，导致绝缘油电气性能的劣化。受潮后的绝缘油会发生电阻下降、介质损耗增大和击穿电压降低的现象。此外，由于水与绝缘油密度不同，水分会沉积在绝缘油底部，使该部位的绝缘油介质损耗变大，并引起终端电场分布畸变，导致电缆终端局部发热，加速终端热老化过程。积水部分会引起终端局部发热，应力锥部分由于积水的原因，温度明显高于其他部分，长期运行将导致过热部分发生故障，终端局部发热如图 1-3 所示。

3. 电缆中间接头进水

电缆中间接头制作时，由于阻水胶带绕包及搪铅等工艺不到位、施工环境不达标、接地线密封不良、接地线连接端子无阻水措施等，造成中间接头受潮、进水。电缆中间接头进水会造成绝缘界面爬电，最终导致绝缘击穿。

4. 电缆接地系统进水

由于电缆直接接地箱、保护接地箱、交叉互联箱进水或电缆外护套破损浸在水中运行等原因，破坏了电缆线路的接地系统，造成电缆线路多点接地，导

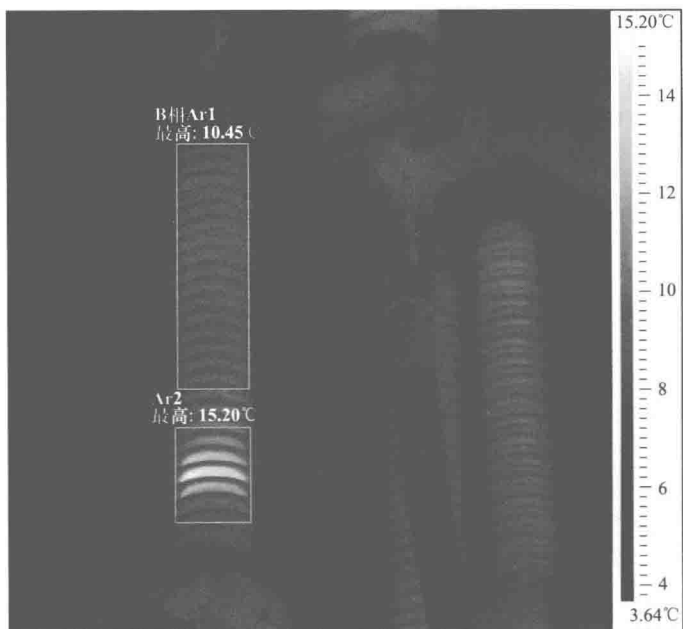


图 1-3 终端局部发热

致护层发热，一方面减小电缆载流量；另一方面，接地线进水可导致接头损坏。由于电缆长期高温运行，加速绝缘老化，减少电缆使用寿命，甚至引起电缆火灾，导致大规模电网事故，一段护层完整换位的交叉互联段的连接示意图如图 1-4 所示，等效电路图如图 1-5 所示。

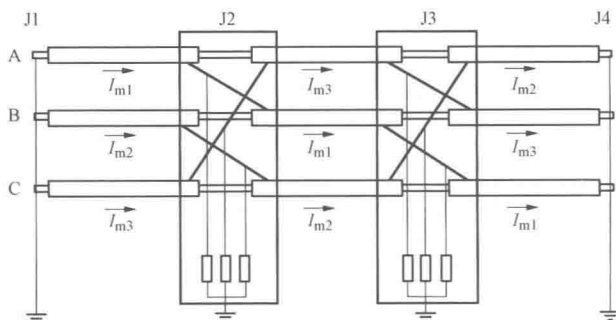


图 1-4 一段护层完整换位的交叉互联段的连接示意图

I_{m1} —护层回路 1 (J1A—J2 内 A 外 B—J3 内 B 外 C—J4C) 上的接地电流有效值； I_{m2} —护层回路 2 (J1B—J2 内 B 外 C—J3 内 C 外 A—J4A) 上的接地电流有效值； I_{m3} —护层回路 3 (J1C—J2 内 C 外 A—J3AB 外 B—J4B) 上的接地电流有效值

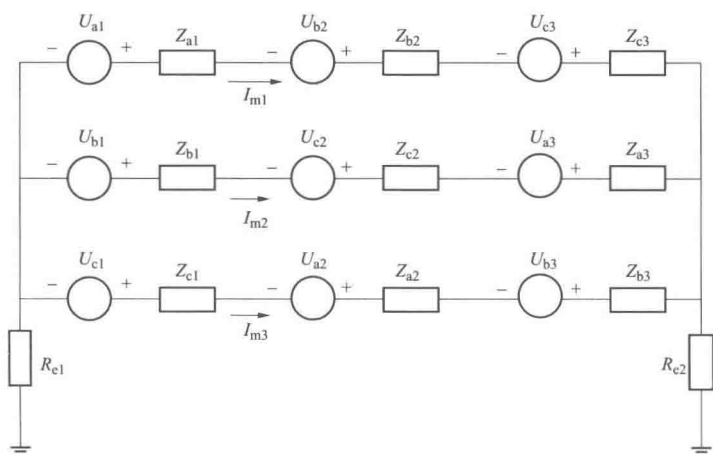


图 1-5 等效电路图

U_{a1} —J1 到 J2 间 A 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{b1} —J1 到 J2 间 B 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{c1} —J1 到 J2 间 C 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{a2} —J2 到 J3 间 A 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{b2} —J2 到 J3 间 B 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{c2} —J2 到 J3 间 C 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{a3} —J3 到 J4 间 A 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{b3} —J3 到 J4 间 B 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{c3} —J3 到 J4 间 C 相电缆金属护套上的感应电压数值； Z_{a1} —J1 到 J2 间 A 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{b1} —J1 到 J2 间 B 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{c1} —J1 到 J2 间 C 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{a2} —J2 到 J3 间 A 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{b2} —J2 到 J3 间 B 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{c2} —J2 到 J3 间 C 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{a3} —J3 到 J4 间 A 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{b3} —J3 到 J4 间 B 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{c3} —J3 到 J4 间 C 相电缆金属护套上的阻抗数值； R_{e1} —J1 直接接地侧的接地电阻数值； R_{e2} —J4 直接接地侧的接地电阻数值， I_{m1} ， I_{m2} ， I_{m3} 同图 1-4

以交叉互联箱及为例分析电缆接地系统进水的危害。

当交叉互联箱被水淹没或外壳出现破损、缝隙时，水的导电作用使电缆护层原有的连接结构被破坏，护层两端直接接地，失去了抵消三相感应电动势、减小护层电压和环流的作用，电缆接地箱进水后的情况示意图如图 1-6 所示，电缆护层结构图及相应的等效图如图 1-7 所示。

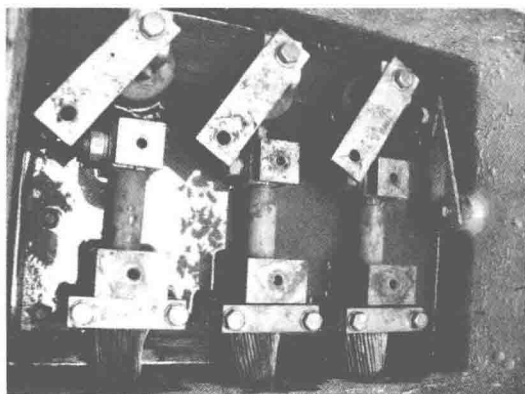


图 1-6 电缆接地箱进水后的情况示意图

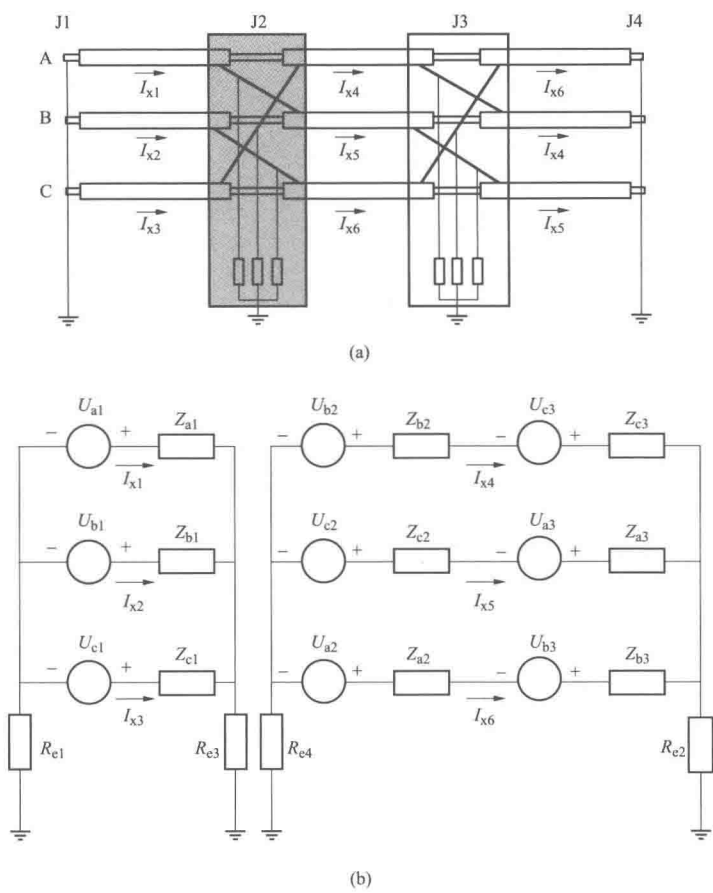


图 1-7 电缆护层结构图及相应的等效电路图

(a) J2 交叉互联箱进水示意图；(b) J2 进水后等效电路图

I_{x1} —J1 到 J2 间 A 相电缆金属护套上的接地电流数值； I_{x2} —J1 到 J2 间 B 相电缆金属护套上的接地电流数值； I_{x3} —J1 到 J2 间 C 相电缆金属护套上的接地电流数值； I_{x4} —护层回路 4 (J2 外 B—J3 内 B 外 C—J4C) 上的接地电流数值； I_{x5} —护层回路 5 (J2 外 C—J3 内 C 外 A—J4A) 上的接地电流有效值； I_{x6} —护层回路 6 (J2 外 A—J3AB 外 B—J4B) 上的接地电流有效值； R_{e1} —J1 直接接地侧的接地电阻数值； R_{e2} —J4 直接接地侧的接地电阻数值； R_{e3} —J2 直接接地侧的接地电阻数值； R_{e4} —J2 直接接地侧的接地电阻数值，其余同图 1-5

再以“金属护套一端直接接地、另一端经保护器接地”为例，分析电缆接地系统进水的危害。正常运行时金属护套接线如图 1-9 所示，等效电路图如图 1-10 所示。

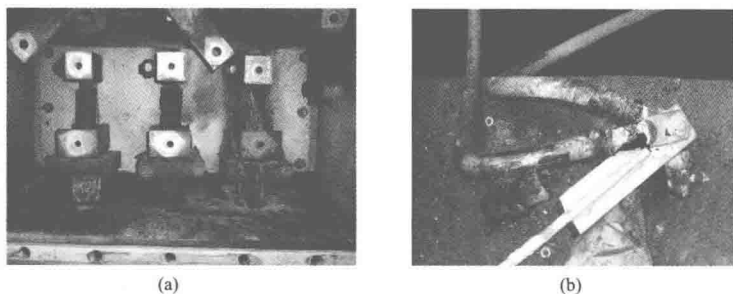


图 1-8 电缆接地箱进水故障图

(a) 接地箱进水故障图；(b) 损坏的接地线

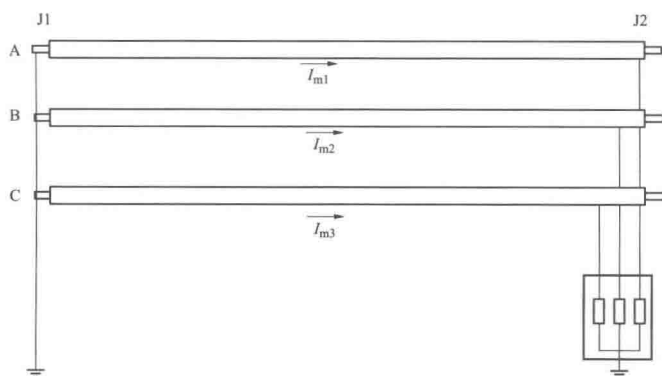


图 1-9 一段护层的连接示意图

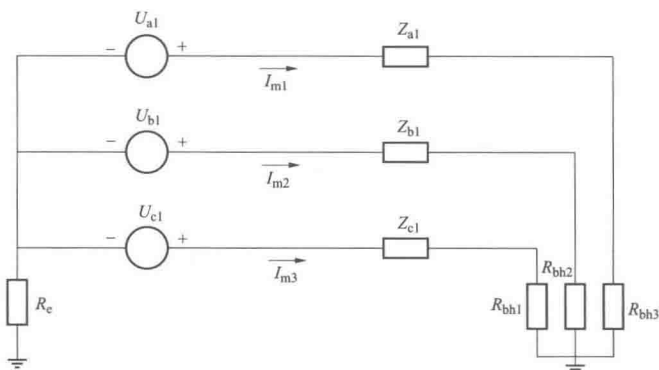
 I_{m1} —A 相电缆金属护套上的接地电流有效值； I_{m2} —B 相电缆金属护套上的接地电流有效值； I_{m3} —C 相电缆金属护套上的接地电流有效值

图 1-10 等效电路图

U_{a1} —A 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{b1} —B 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{c1} —C 相电缆金属护套上的感应电压数值； Z_{a1} —A 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{b1} —B 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{c1} —C 相电缆金属护套上的阻抗数值； R_e —J1 直接接地侧的接地电阻数值； R_{bh1} 、 R_{bh2} 、 R_{bh3} —分别是 A 相、B 相、C 相护层保护膜，在正常运行状况下的等效电阻，一般数值均为 $10M\Omega$ 以上

当正常运行情况下，金属护套回路中串联了护层保护器，回路电阻很大，金属护套上的接地电流数值较小。

当保护接地箱内进水以后，护层保护器相当于被短接，在这种情况下，相当于护层两端直接接地，金属护层中将出现较大的电流值，如图 1-11 所示，金属护层短路等效电路图如图 1-12 所示。

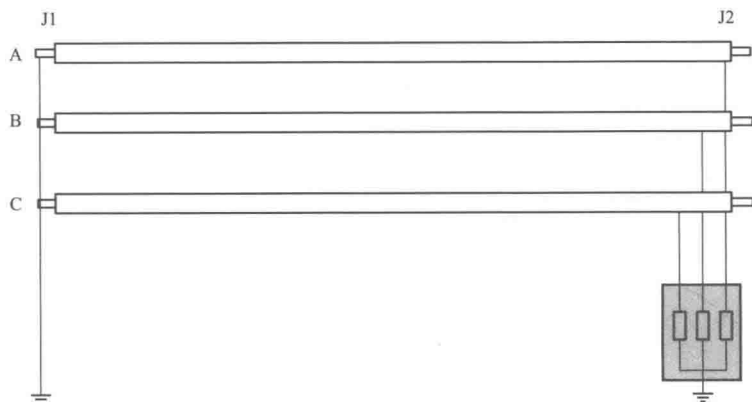


图 1-11 保护接地箱进水示意图

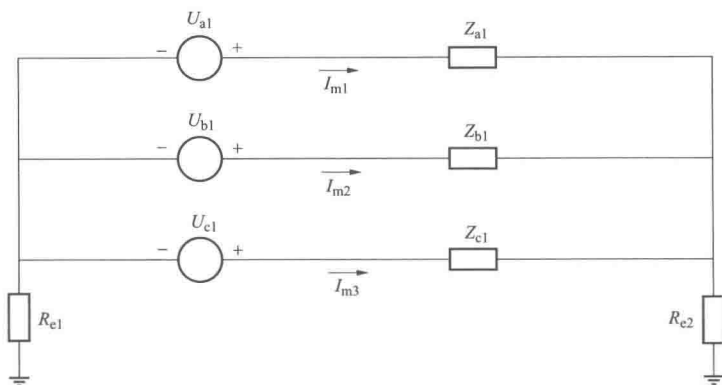


图 1-12 金属护层短路等效电路图

U_{a1} —A 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{b1} —B 相电缆金属护套上的感应电压数值； U_{c1} —C 相电缆金属护套上的感应电压数值； Z_{a1} —A 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{b1} —B 相电缆金属护套上的阻抗数值； Z_{c1} —C 相电缆金属护套上的阻抗数值； R_{e1} —J1 直接接地侧的接地电阻数值； R_{e2} —J2 保护接地侧的接地电阻数值，其余同图 1-9

5. 电缆避雷器进水

密封圈和密封胶老化导致潮气或水分浸入避雷器内部，引起避雷器阀片老化，绝缘管、避雷器阀片泄漏电流增大。避雷器泄漏电流增大将引起局部发热，

导致避雷器损毁，严重时可引起避雷器爆炸，避雷器进水导致故障如图 1-13 所示。

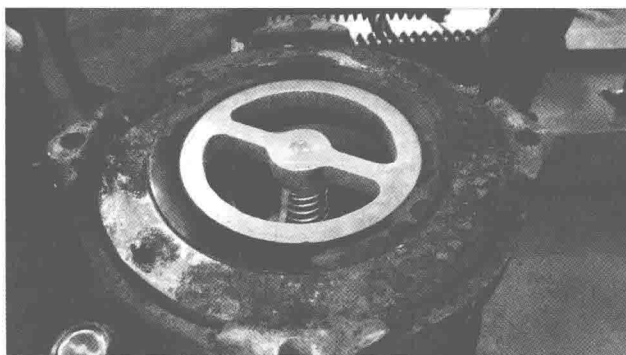


图 1-13 避雷器进水导致故障

1.2.2 电缆通道进水危害

电缆通道主要有电缆隧道、电缆沟、工作井、排管等几种形式的通道易产生积水隐患。电缆通道中积水，使电缆及其附件和监测系统浸泡在水中，可能产生的直接危害：

(1) 使电缆通道的电源系统进水，会使运检人员产生触电危害，影响排水、通风及监控设备的正常使用。

(2) 电缆本体浸没在水中运行，使电缆外护套防护性能下降。

(3) 使电缆排水、通风、监测系统特别是其中的电子设备进水，影响这些系统正常使用。

(4) 通道中的接地装置，支架等金属部件在水中运行会产生锈蚀，使接地电阻增大，金属支架性能降低。

(5) 电缆通道长期积水，可能进而产生腐质物分解产生沼气，危害运检人员人身安全，还可能发生爆炸、火灾等严重情况。

(6) 不利于电缆施工、运行、检修、测试等工作的开展，降低工作效率，增加工作成本。

1.3 水患原因

1.3.1 电缆本体及附件进水原因

(1) 电缆及附件设计选型不当。在部分地下水位较高、降雨量大、电缆通道中很容易积水地区，未根据实际情况选择具有防水、阻水性能的电缆和附件。