
工业和商业 供电系统的接地

IEEE 标准

142—1962

〔美〕 IEEE 工业应用学会
电力系统技术委员会 主编

机械工业出版社

本书为美国电气及电子工程师学会 (IEEE) 出版的丛书之一。根据 1982 年第 4 版译出。本书包括了工业和商业两个主要方面的供电系统的接地, 其范围极为广泛。全书内容有系统接地、设备接地、静电和雷电保护接地等, 共四章。它概括了各类接地系统和连接方式的设计、施工、安装、维修、运行以及接地装置方面的基本问题。

IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems

Sponsor

Power System Technologies Committee of the
IEEE Industry Applications Society

Published by

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

4th Edition 1982

* * *

工业和商业供电系统的接地 IEEE 标准 142—1982

(美) IEEE 工业应用学会

电力系统技术委员会 主编

李承耀 毛伟棠 苏家骥 唐 恕 王立昌 译

王 达 校

责任编辑: 牛新国

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京工业学院出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆ · 印张 7¹/₄ · 字数 157 千字

1988 年 9 月北京第一版 · 1988 年 9 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,600 · 定价: 3.75 元

*

科技新书目: 180—012

ISBN 7-111-00696-8/TM·96

译 序

本书系美国电气及电子工程师学会(IEEE)1982年第4版的IEEE标准142-1982《工业和商业供电系统的接地》。向从事电气设计和施工的人员推荐,作为电气接地方面的专题性参考书籍。本书包括的系统、设备、防雷和静电等方面的接地问题只是概要地说明IEEE的基本概念、要求以及必要的设计方法和步骤,但没有深入地阐明每个问题和推导计算公式;每章后面附有大量的标准和参考文献目录,为进一步研究接地技术措施提供重要线索。

当从事国外项目设计的电气人员需要参考IEEE标准时,本书是在电气接地设计方面颇有实用价值的书籍;此外,对国内工业企业及民用建筑方面的接地设计也有很好的参考价值。但本书系国际上的标准,在进行国内项目设计时,必须根据国情,认真分析,决定取舍。我们期望本标准的中译本能在我国四化建设中起到一定作用。

本书由航天工业部第七设计研究院李承耀、毛伟棠、苏家骥、唐恕和国家机械工业委员会工程设计研究院王立昌等五位同志合译。由毛伟棠译第1章,苏家骥译第2章,李承耀、王立昌、唐恕译第3、4章和附录。李承耀还负责全书翻译的组织工作。

全书译稿承国家机械工业委员会科学技术情报研究所王达同志进行了审校,特致谢意。

在本书的翻译和出版过程中,承蒙北京东升塑料厂大力支持。该厂是生产中、高档跷板式系列开关、拉线开关及各种规格的插座、塑料线槽、高压聚乙烯电线管及阻燃聚乙烯半软电线管和硬聚氯乙烯电线管等室内线路器材的专业化工厂。在此特向该厂李进田厂长表示感谢。

由于译者水平有限,难免有翻译不当或错误之处,希望读者对此多提宝贵意见,以便再版时订正。

译 者

1987年10月于北京

IEEE 标准文件是由 IEEE 学会的技术委员会和 IEEE 标准局的标准协调委员会编制的。委员会的成员自愿工作而不要报酬，他们不一定都必须是学会成员。IEEE 编制的标准代表学会内部广大专家的一致意见，以及表达了参加制订标准的那些 IEEE 会外活动的一种关注。

采用 IEEE 标准完全是自愿的。IEEE 标准的存在并不意味着没有其他的方法可以生产、试验、计量、购买、销售或提供与 IEEE 标准范围有关的物品及服务。进一步说，在一个标准批准并发表时表明的观点，通过技术水平的发展以及从使用标准的用户收集到的意见，也要进行修改。每个 IEEE 标准至少每五年要进行一次审阅以便修订或再予肯定。当一个文件超过了五年还没有再予肯定，就有理由下这样的结论：它的内容虽然仍有些价值，但不能全部反映现代的技术水平。用户应仔细检查以确定他们所有的 IEEE 标准是最新版本。

欢迎来自任何感兴趣的单位对 IEEE 标准的修改意见，不管是不是隶属于 IEEE 的成员。对文件变更的建议应按本文申请更改的方式，并有适当的论证意见。

解释：当标准用于特定情况时，偶尔其部分含义会发生问题。当 IEEE 注意到需要解释时，学会会开始工作以准备恰当的回答。因为 IEEE 标准代表所有有关利益方面的一致意见，重要的是要保证任何解释已取得有关利益平衡的一致意见。为了这个原因，除了问题事先已经得到正式考虑的情况外，IEEE 及其技术委员会的成员对请求解释不能立刻作出回答。

对标准的意见和请求解释应寄到美国纽约 (NY10017) 东 47 街 345 号 IEEE 标准局秘书处。

前 言

(本前言不是推荐的《工业和商业供电系统的接地》IEEE 标准 142—1982 的一部分)
这本推荐的实施方法是 IEEE 标准 142—1972 的修订本。本标准所包括的题目分成四个部分, 相当于独立的四章。

第 1 章包括了系统接地的问题, 即中性线、 Δ 的角、或一相中点的对地连接。讨论了接地系统和不接地系统的优缺点。给出了系统如何接地、系统应在何处接地以及如何为中性线路选用接地设备等的资料。

第 2 章论述了将电气设备(例如: 电动机、开关装置、变压器、母线、电缆、管道、建筑物构架和移动式设备等)的构架和外壳连接到接地系统的问题。还概述了电气设备和接地极、水管等之间构成相互连接或接地线系统的基本原则。

第 3 章论述了静电问题: 静电是怎样产生的, 什么样的加工过程能产生静电、静电是怎样测量的, 以及应如何避免静电的产生、或者将静电荷泄放入大地, 以避免火花放电。还包括了保护构筑物避免雷电效应的方法; 保护构筑物避免雷电的系统完全由接地线构成, 考虑在本文献范围内讨论这个问题的一般特性。

第 4 章涉及获得低电阻接地的问题。讨论了接地极的应用和与水管连接等问题。

从总的观点看问题, 在大多数情况下、系统的接地是在变压器或发电机的中性线与第 2 章叙述的建筑物接地系统之间构成直接的或经过阻抗的金属连接。第 2 章叙述的接地系统又是通过在第 4 章叙述的接地极和水管的系统接地的。

第 3 章讨论的静电和雷电保护系统, 也可能如第 4 章叙述的那样连接到接地极和水管系统上。

主要的修改是在第 3 章内, 而第 1、2 和 4 章只有少量更改。

这本推荐的实施方法经 IEEE 工业应用学会电力系统技术委员会审阅和批准。这个修订本由电力系统技术委员会的电力系统接地分会制订。在审定这本推荐的实施方法时, 接地分会下列成员参加:

主 席 L. J. Kelly

Baldwin Bridger

Thad Brown

Edward Cantwell

Leonard S. Corey

J. W. Courter

D. C. Grant

Gordon S. Johnson

Richard H. Kaufman

Ralph H. Lee

Robert Loewe

Bal K. Mathur

William J. Neiswender

Elliot Rappaport

Mark T. Theriault

Donald W. Zipse

工业和商业供电系统的接地

第 4 版

工作组成员及撰稿者

主 席 L. J. Kelly,

第 1 章——系统接地: J. W. Courter

第 2 章——设备接地: Leonard J. Kelly

第 3 章——静电和雷电保护接地: Bal K. Mathur

第 4 章——连接大地: Baldwin Bridger

目 录

1. 系统接地

1.1 引言	(1)
1.2 定义	(1)
1.3 影响选用接地或不接地系统的因素	
1.3.1 供电连续性	(3)
1.3.2 多重对地故障	(3)
1.3.3 电弧故障烧毁	(3)
1.3.4 故障的位置	(4)
1.3.5 安全	(5)
1.3.6 不正常电压危害	(5)
1.3.7 电力系统过电压	(5)
1.3.8 雷电	(6)
1.3.9 操作冲击电压	(6)
1.3.10 静电	(6)
1.3.11 与更高电压系统接触	(6)
1.3.12 线对地故障	(6)
1.3.13 谐振条件	(6)
1.3.14 电弧重燃接地故障	(7)
1.3.15 费用	(7)
1.3.16 应用系统接地的趋势	(7)
1.4 系统接地的方法	(8)
1.4.1 系统中性点接地	(8)
1.4.2 直接接地	(8)
1.4.3 电阻接地	(9)
1.4.4 电抗接地	(10)
1.4.5 接地故障抑制器(谐振接地)	(10)
1.4.6 在系统中性点以外的其它点接地	(11)
1.4.7 Δ 型结线的角接地	(11)
1.4.8 在 Δ 型结线系统一相的中点接地	(11)
1.5 系统接地装置的选择和设计	(11)
1.5.1 系统中性点的获得	(11)
1.5.2 接地变压器	(11)
1.5.3 对 600V 及以下系统提出的接地方法	(13)
1.5.4 2.4~15kV 系统	(14)
1.5.5 高于15kV 系统	(15)
1.5.6 限制暂态过电压的准则	(16)

1.6 系统接地点的选择	(16)
1.6.1 各个电压等级的接地	(16)
1.6.2 在电源处接地而不在负荷处接地	(16)
1.6.3 每个主电源母线段接地	(16)
1.6.4 中性点线路配置	(16)
1.6.5 单电源	(17)
1.6.6 多电源	(17)
1.7 接地故障电流的计算	(18)
1.7.1 概述	(18)
1.7.2 电阻接地	(18)
1.7.3 电抗接地	(18)
1.7.4 直接接地	(18)
1.8 接地设备额定值的选择	(19)
1.8.1 概述	(19)
1.8.2 电阻器额定值	(19)
1.8.3 电抗器额定值	(20)
1.8.4 接地变压器额定值	(20)
1.9 在600V 及以下系统中接地方法对控制线路安全性的影响	(21)
1.10 自耦变压器	(21)
1.11 由电力公司供电的系统	(21)
1.12 单元结线的发电机	(21)
1.13 三相四线制系统	(22)
1.14 有应急或备用电源的系统	(22)
1.15 参考文献	(23)
1.16 参考书目	(24)

2. 设备接地

2.1 基本目的	(25)
2.1.1 概述	(25)
2.1.2 电压暴露	(25)
2.1.3 避免热损坏	(25)
2.1.4 系统性能的维持	(27)
2.2 基本概念	(27)
2.2.1 单根导线作接地线	(27)
2.2.2 导线的绞合	(30)

2.2.3	封闭金属套管	(30)
2.2.4	线路阻抗的组成部分	(32)
2.2.5	电磁干扰的抑制	(32)
2.2.6	封闭接地线的金属套管的固接	(33)
2.2.7	与陡波前电压保护装置有关的接地连接	(33)
2.2.8	接至大地	(35)
2.3	受使用类型影响的设备接地	(37)
2.4	户外开架式变电所	(37)
2.4.1	概述	(37)
2.4.2	工频接地故障电流通路的设计	(37)
2.4.3	接大地的连接的设计	(39)
2.4.4	冲击电压保护设备	(40)
2.4.5	地面电压梯度的控制	(40)
2.4.6	边界围栏以外但邻近围栏的电压梯度	(40)
2.5	户外成套变电所	(41)
2.6	重型移动式电气机械的户外供电装置	(41)
2.7	室内配线系统	(46)
2.7.1	概叙	(46)
2.7.2	建筑物的供电设备	(46)
2.7.3	室内电气线路	(47)
2.7.4	特殊的考虑	(48)
2.8	室内成套变电所和开关站	(49)
2.8.1	开关站	(49)
2.8.2	变压成套变电所	(51)
2.9	终端设备	(51)
2.10	参考文献	(54)
2.11	参考书目	(55)

3. 静电和雷电保护接地

3.1	引言	(57)
3.2	静电接地	(57)
3.2.1	静电接地的目的	(57)
3.2.2	静电的基本起因	(58)
3.2.3	各种量值	(60)
3.2.4	静电荷引燃的必要条件	(60)
3.2.5	静电的测量和检测	(61)
3.2.6	静电控制方法	(62)

3.2.7	在各种设施和机构中的危险, 以及适用的静电控制方法	(66)
3.3	雷电保护接地	(72)
3.3.1	雷电的性质	(72)
3.3.2	需要考虑的设备和构筑物	(74)
3.3.3	对良好保护的要求	(76)
3.3.4	雷电保护的实践	(78)
3.4	参考文献	(81)
3.5	参考书目	(83)

4. 连接大地

4.1	对大地的电阻	(84)
4.1.1	接地电阻的特性	(84)
4.1.2	推荐的容许值	(86)
4.1.3	土壤电阻率	(86)
4.1.4	对大地电阻的计算	(87)
4.1.5	电流承载能力	(88)
4.1.6	土壤的处理	(89)
4.2	接地电极	(89)
4.2.1	现成接地电极	(89)
4.2.2	人造的接地电极	(89)
4.2.3	打入的接地棒或管子	(90)
4.2.4	埋在混凝土内的接地棒或导线	(90)
4.2.5	埋地的金属带、导线和电缆	(90)
4.2.6	网格栅系统	(91)
4.2.7	极板	(91)
4.3	施工方法和技术	(91)
4.3.1	接地棒的选择	(91)
4.3.2	打入接地棒的方法	(92)
4.3.3	总给水管的定位(新建工程)	(92)
4.3.4	与接地电极的连接	(92)
4.3.5	与地下管道系统的联结	(92)
4.3.6	与结构钢的联接	(93)
4.3.7	接合的准备工作	(93)
4.4	对大地电阻的测量	(93)
4.4.1	测量的要求	(93)
4.4.2	测量方法	(93)
4.4.3	周期性测试	(94)
4.4.4	大地电阻率的测量	(94)
4.4.5	阴极防腐	(94)
4.5	参考文献	(94)
索引		(95)

图 目

- 图 1 稳态条件下的对地电压
- 图 2 不接地和各种中性点接地系统的系统中性点线路和等效电路图
- 图 3 Z 型三相接地变压器
- 图 4 在用作接地变压器的 Y- Δ 型变压器中线对地故障时表示电流的矢量
- 图 5 将接地变压器连接到一个 Δ 连接的或不接地的电力系统上以构成系统接地中性点的方法
- 图 6 应用在剩余电流电路中的过电流继电器的接地故障检测图
- 图 7 应用与零序（环形）电流互感器连接的过电流继电器的接地故障检测图。
- 图 8 R 和 X 随导线尺寸和间距的变化
- 图 9 单根导线作接地线
- 图 10 电线作为接地线的磁场
- 图 11 电线作为接地线的电磁感应
- 图 12 电线槽作为接地线
- 图 13 金属外套的固接
- 图 14 避雷器在变压器上的位置
- 图 15 电动机上的冲击保护设备
- 图 16 电流通过时接地棒周围的大地表面电位
- 图 17 开架式户外变电所示出避雷针、避雷器和低压侧接地电阻器
- 图 18 地下接地线的铝热焊接合点
- 图 19 户外成套变电所
- 图 20 重载可移动式设备—实际环境
- 图 21 重载可移动式设备—有电击危害问题的组成部分
- 图 22 室内成套变电所—典型的组合装置
- 图 23 室内成套变电所—背视图表示每个电路使用一条单独的接地线
- 图 24 接至用电设备的电力线路的典型电源线模式，着重在接地线和接地的线之间区别
- 图 25 对地绝缘的带电体和不带电体
- 图 26 两个绝缘体均分相同电荷
- 图 27 两个物体接地而没有电荷
- 图 28 金属辊子或转轴传动或接地的方法
- 图 29 静电集电器
- 图 30 电气激励的中和器
- 图 31 静电梳的细节和位置
- 图 32 美国大陆的年等雷电日图
- 图 33 加拿大年等雷电日图

图34 装有危险材料的构筑物的雷电保护

图35 烟囱的雷电保护

图36 避雷器接地的典型方法

图37 接地电极电阻的推导

表 目

- 表 1 各种工艺过程中产生的静电电压的范围
- 表 2 不同电压下在空气中针尖之间的火花放电距离
- 表 3 引燃某些粉尘云和粉尘层的最小电能量
- 表 4 电极电阻, 25ft(7.6m) 时电阻的百分数
- 表 5 土壤电阻率和单根接地棒的电阻
- 表 6 含湿量对土壤电阻率的影响
- 表 7 温度对土壤电阻率的影响
- 表 8 对地电阻的计算公式
- 表 9 多根接地棒的倍乘系数

1. 系统 接 地

1.1 引言 电气系统是否接地，这对负责规划配电的大多数工程师来说，有时是一个必须正视的问题。决定采用接地系统以后，接着就引起如何接地的问题。

本章的目的就在于，介绍接地或不接地的基本理由，评述系统接地的一般实际应用和方法，以帮助设计工程师解决这两个问题和其它更具体的问题。

同步发电机〔7〕^①和输配电系统〔9〕的接地实施方法，特别是运行在23kV及更高电压时，已经包括在其他导则中。那些导则规定的实施方法适用于各种等级的工业供电系统，并取决于所考虑的工业系统的类型和规模以及各电力消耗点所要求的供电特性。

当工业供电系统由发电设备、输电线路和配电线路组成时，将这些部件接地的理由常常是和公用电力系统和其他大电力系统的类似部件接地的理由相同，并且其接地方法在同样的供电条件下是相似的。但是在某些情况下，工业供电系统的某些组件的接地理由和方法，可能根据制造或工艺操作的要求而不同。

由国家防火协会主编的《美国国家电气法规》〔2〕包括了适用于工业、商业和卫生护理设施的系统和设备接地的规定。这些规定考虑到人身和财产保护的最低要求，并应在系统设计过程中仔细地检查。

1.2 定义 除了出现在本章的术语定义之外，可以在ANSI/IEEE标准100-1977〔1〕中查找到。

系统接地的种类如下：

不接地系统 一个系统、线路或设备，除了经过电位指示或检测装置、或其它很高阻抗装置之外，没有一个人工的接地点。

注：这类系统虽然称为不接地系统，实际上要通过其各相绕组和导体的分布电容与地耦合。在无接地故障时，不接地系统的中性点在适当平衡负荷条件下会因每根相导体与地之间平衡的静电电容而通常接近于地电位。图1(a)表示不接地系统有相对地电容时的电压关系。

接地系统 是一个导体系统，该系统至少有一根导线或一点（通常是变压器或发电机绕组的中线或中性点）是人为直接接地或经过一个阻抗而接地的。

注：应用不同的接地程度，从直接或有效接地到采用小接地变压器以获得为继电保护所需的足够接地电流的高阻抗接地，或到保证控制暂态过电压而不可能为接地故障继电保护提供足够电流的高电阻接地。图1(b)和(c)表示系统在该处可以接地的两个点及其相应的电压关系。注意到根据NEMA SG4-1975〔6〕对于角接地有系统电压的限制。

直接接地 直接通过一个适当接地连接件连接，其中没有人为地引入阻抗。

注：这个术语虽然经常使用，还是有些混乱，因为变压器可能有它本身的直接接地的中性点，而这种连接可能容量太小，以致仅能为变压器所连接的系统提供一甚高的阻抗接地。

① 括号内的数字对应于1.15节的参考文献号。

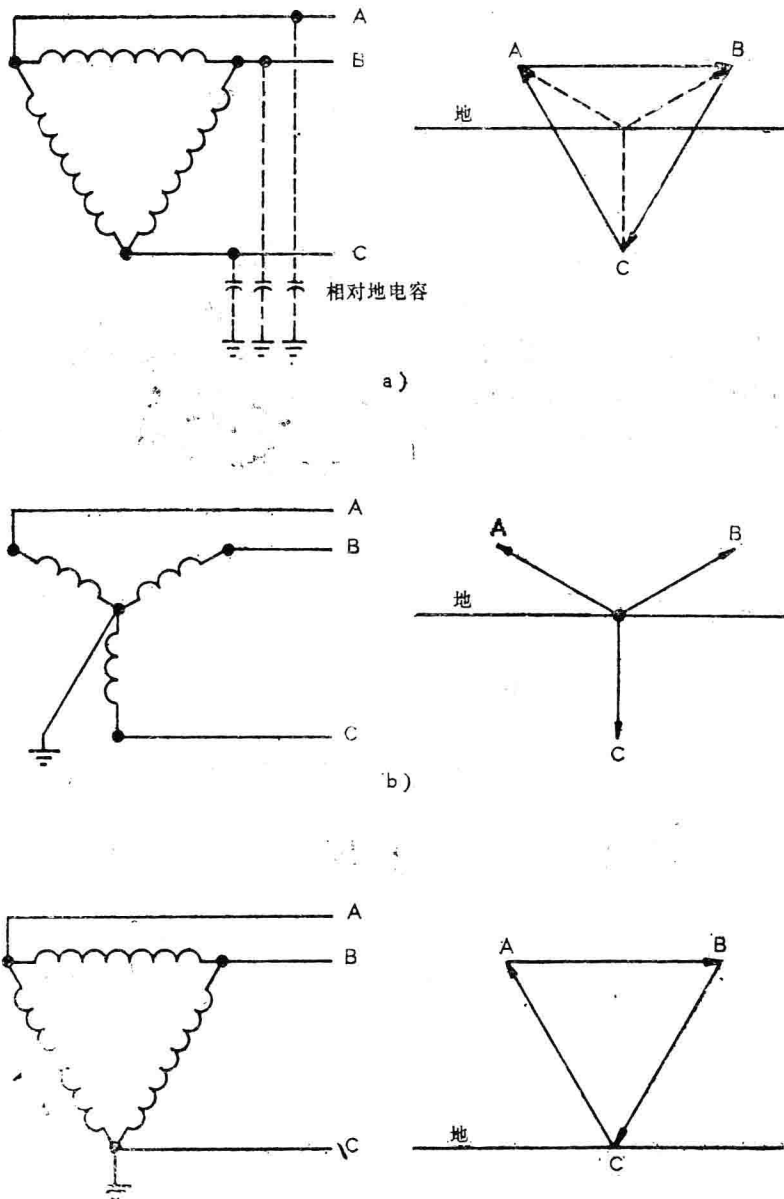


图 1 稳态条件下的对地电压

a) 不接地系统 b) Y 结线的接地系统 c) Δ 结线的角接地系统

为了正确地和合乎逻辑地定义接地程度，开始采用“有效接地”这个术语。因此，在本标准中，“直接接地”这个术语只是指从系统中性点到地的牢固的金属直接连接，就是在接地线路中没有附加人为的阻抗。

有效接地 经过一个足够低的阻抗接地，以使在所有系统条件下其零序电抗与正序电抗之比 $\left(\frac{X_0}{X_1}\right)$ 为正值并且小于 3，而其零序电阻与正序电抗之比 $\left(\frac{R_0}{X_1}\right)$ 为正值并且小于 1。

注：有效接地系统允许使用低于线间额定电压的避雷器。接地故障电流将会和三相故障电流值相近似。

电阻接地 经过阻抗接地，阻抗的主要元件是电阻。

注：高电阻接地的系统设计应符合 $R_0 \leq X_{C0}$ 的准则，以限制由于电弧接地故障产生的暂态过电压。通常限制接地故障电流到小于 10A。 X_{C0} 是系统每相的对地分布容抗。

低电阻接地的系统允许有较高的接地故障电流（为 25A 至几百安级），以获得选择性继电保护特性所需的足够电流值。对于一般系统，限制暂态过电压的准则是 $R_0/X_0 \geq 2$ 。

电感接地 经过阻抗接地，阻抗的主要元件是电感。

注：电感接地系统的条件是 $\frac{X_0}{X_1}$ 位于 3~10 的范围内，而 $R_0/X_0 < 1$ 。其接地故障电流为三相故障电流的 25% 或更多。如果 X_0/X_1 降低到 3 或更小，则电感接地将变为“有效”接地。

1.3 影响选用接地或不接地系统的因素

1.3.1 供电连续性 许多年来，大多数工厂的配电系统曾经在一个或更多的电压级上以不接地方式运行。在大多数情况下，这样做是想获得更高等级的供电连续性。在许多工厂，系统的一相与地之间的任何接触不大可能使任何负荷立即停电，这可能是一个优点。这个优点的重要意义随着工厂的类型而有所不同。

在大多数情况下，接地系统是设计得使线路保护装置无论对何种故障都能将故障线路从系统上断开。相对地的故障通常将导致故障线路立即被隔离开，接在该线路上的负荷也附带断电。然而，经验表明〔10〕，在许多系统中，使用中性点接地系统比使用中性点不接地系统所得到的供电连续性更大些。

1.3.2 多重对地故障 不接地系统中的一相对地故障通常不会造成供电中断，而在第一次故障被消除之前，在另一相上发生的第二次接地故障会造成断电。如果这两次故障发生在同一馈电线上，则该馈电线将断开；如果第二次故障是在另一馈电线上，则两条馈电线都可能断电。

允许接地故障在不接地系统上保持的时间越长，第二次故障发生在另一相上的可能性就越大，最终将造成停电。由于忽视在第二次接地故障发生之前的接地故障和需要修理以恢复供电的这个习惯，可能大大地使不接地系统在发生接地故障时不会立即甩掉负荷的这个优点消失掉。对于不接地系统，极其重要的是要规定一个有条理的维修计划，以便在接地故障被查出后，就能立即找到故障点和消除故障。

不接地系统的运行必须考虑一个适当的检测系统，并尽可能接有音响报警器。另外，在不接地系统中最好使用接地故障探测器。使维护人员能在系统带电时找到接地的故障点，而无需在确定故障点的过程中断开任何线路的供电。

经验表明，多重接地故障是很少的；如果有的话，是在中性点接地系统中碰到的。

1.3.3 电弧故障烧毁 近年来，特别是在低压电力系统中，报导了许多由于电弧故障电流的能量而将电气设备严重损伤或完全烧毁的电弧烧毁故障情况〔15〕。在典型的情况中是在不接地系统中两相或多相导线之间，或者是在中性点直接接地系统中相线与地之间产生电弧故障。故障电弧导致在故障点上有巨大能量的释放，其结果是高温气体和电弧等离子体的急剧生成。其伴随的发热强烈到能使铜或铝导线和周围的钢外壳汽化，并从有机绝缘系统中蒸馏出有毒和易燃的气体。破坏常如此彻底而使有关设备必须全部更换〔16〕。

电弧故障烧毁的特点是正常的相过电流保护装置不能动作于快速切除初始故障。电弧故障电流数量级可能低到使保护装置完全不动作（因为故障电流低于敏感元件的整定值）。或者是在很长时间之后才动作，这对于防止烧毁来说是太迟了。

低电流电弧故障是敞开或被覆的母线的特征，特别是在开关装置或金属封闭式开关柜或电动机控制设备之内。烧毁的事例也发生在间距比较宽的大容量母线上，该母线从480Y/277V电力公司电网经过额定值为2000A或更大的保护装置供电。这样宽的间距能限制单个电弧电流到1500A左右，而这个电流不足以使相保护装置动作，所以电弧将持续许多分钟。

一般都认为，在现代保护系统设计中，预防电弧故障烧毁必须依靠电弧故障电流的快速和灵敏的检测，伴随着在大约10~20周波内断开故障线路。在中性点直接接地系统中，这种快速和灵敏的检测是可能的，这是由于无论因为刚开始时就是线对地故障，或者因为开始虽是线间电弧故障但几乎立即就与地发生牵连，电弧故障都会在接地回路中产生电流。在正常（无接地故障）情况下，接地回路中没有明显的电流流过。因此，监测中性点直接接地系统中接地线路的电流可提供一种简便的检测和切除破坏性对地电弧故障的方法。这种保护方式普遍地应用于整个电力系统，而且这种继电保护的灵敏度和速度与负荷电流值和相过电流保护装置的整定值无关。

一般装在低压干线的断路器、供电断路器等处的接地故障保护装置一个特有的问题是：在系统小的副馈电线或支线上的电缆或设备发生的接地故障很可能使大的主干线断路器跳闸，并使整个装置停止运转。除非在系统的每条馈电线、副馈电线和每条负荷支线上装设协调的接地故障保护装置，否则这种非选择性的跳闸将成为一个问题，在仅将系统有故障的部分隔离是很重要的场合采用接地故障保护设备时必须十分注意这个问题。

因而，中性点直接接地和低电阻接地系统为便于防止灾难性的相对地电弧故障烧毁提供了基础（遗憾的是：还没有设计出比较可靠和通用的防护低能级线间电弧烧毁故障的方法）。

1.3.4 故障的位置 在不接地系统中，一个接地故障不断开线路。应该安装可检测出在系统中有接地故障的某些设备。连接上用以指示每一相对地电位的灯，将会显示出接地故障的存在和哪一相已接地，但不会显示出在哪一根馈电线上发生故障。当寻找几条馈电线中任一条上的接地故障时，可能需要每一次使一条馈电线停止供电，一直到接地检测器显示出故障馈电线已从系统上断开为止。碰巧在两条馈电线的同一相上同时发生接地故障时，每次只从系统上断开一条馈电线的方法是不能找出故障馈电线的。可能需要断开全部馈电线，而每一次只使一条馈电线恢复供电，当每条馈电线恢复时都要检查接地检测器。

在不接地系统中查找接地的馈电线，使用各种探测设备可能较为方便〔13〕。例如：可将断续的直流电压或迭加的音频信号加在馈电母线上，并在接地的馈电线上检测出跟踪电流。有些运行人员已经宣告，在使用探测设备时不需要系统馈电线断电获得成功〔14〕。当然，这将具有允许不需等到系统处于轻负荷时就可探测接地故障位置的优点。

在接地的系统中的一个意外接地故障可借助自动断开意外接地的线路或部分设备来给出指示和至少作局部定位。

1.3.5 安全 在一些工业电气系统中出现的许多对人身和财产的危险是电气设备和金属结构没有接地或接地不良的后果。设备接地这个题目将在第2章论述。这里要重视的是不管系统接地与否,安全的考虑要求设备和结构完全接地。

低压(600V或更低)配电系统的适当接地比假想该系统不接地时可能造成对人身的偶然事故的机会要少。对于线路已接地的了解,通常会对该部分工人形成更大的保护。

认为在不接地系统上,人员可以触及带电的相线而无人身危险的想法是错误的。如图1(a)所示,具有平衡的相对地电容的不接地系统,在任一相线与地之间存在正常的线对中性点电压。偶然地或故意地触及这根相线,可能出现严重的、多半是致命的电击危险。

当不接地或阻抗接地系统的一相上存在接地故障,人员触及其它两相中的一相和地时将遭受的电压为在中性点直接接地系统中可能遭受电压的1.73倍。其电压相量图如图1(c)所示。

其它的电击和火灾危险可能来自接地或不接地系统中设备的不适当接地。偶然的接地故障是不可避免的。电动机中绕组与构架之间绝缘击穿时的对地电流回路上可能存在油脂屑和其它物质,它们能由火花或局部发热引燃。这种高阻抗接地线路可能不允许流过足够电流来动作保护装置,因而有时可能存在潜在的火灾和不安全的危险。如果人员跨接在高阻抗接地回路的全部或部分通道上,例如触及故障机器机架的这种情况,对他们就有电击危险。这种危险特别严重,因为,它比人们熟悉线路上电气系统工作的情况可能会有更多的受害者。

另一方面,与直接接地系统有关的比较大的接地故障电流,可能使工人暴露在由热弧生成物和飞溅的熔化金属所带来的危险之中,这种情况在不接地系统中是没有。然而,因为广泛地使用了金属封闭设备,这个问题变得不那么严重了。

1.3.6 不正常电压危害 在不接地系统中可能出现的过电压比接地的系统可能会造成更频繁的设备故障。在有些情况下,这些过电压曾经同时使几组设备产生故障。这些多重故障不一定限制在一条馈电线路上,而可能涉及到几条不同馈电线上的设备。

不接地系统或阻抗接地系统一相上的故障,会在三相系统中不接地相的绝缘上产生一个持续升高的电压。这个过电压是绝缘上正常电压的1.73倍。不接地系统上的这种或其它持续过电压或暂态过电压不会立即损坏绝缘,但会降低绝缘的寿命。

接地系统所承受的已降低的过电压不大可能损害设备或绝缘。

1.3.7 电力系统过电压(参看文献[11],第5章) 在电力系统中常见的一些过电压起因如下:

- (1) 雷电
- (2) 操作冲击电压^①
- (3) 静电
- (4) 与高压系统的接触
- (5) 线对地故障
- (6) 谐振条件
- (7) 电弧重燃接地故障

^① 我国习惯上称为操作过电压——译者注

1.3.8 雷电 (参看第3章和文献[17]) 大多数工业系统均经有效保护以防止直接雷击。许多线路是在地下管路中,或者是在已接地的金属管道或线槽内。甚至连明线线路也常常被附近的金属结构或建筑物所遮蔽。在进户线处使用的避雷器限制了在工厂内由于雷击裸露的供电线路而造成的冲击电压。在工厂内可能要应用其它避雷器来保护耐冲击能力低的设备,诸如旋转电机。当工厂由高压降压变电所供电时,因为侵入的冲击波前沿(在一次侧避雷器放电点之前)正如工频波一样被变换,在变压器低压侧最好有避雷器。这种冲击波脉冲是能够损害连接在变压器二次绕组上的设备的,除非使用了适合该设备的冲击电压保护装置。

1.3.9 操作冲击电压 系统中正常的开关操作能产生过电压,这些过电压一般不大于正常电压的三倍,并且时间很短。过电流保护装置,诸如断路器或非限流熔断器,通常是在正常电流的过零点处切断电流,这时,线路电感中储存的能量为零。过电压是由线路电容与电感之间的瞬态振荡而产生的,电流中断时在线路电容中储存着能量。在强迫电流为零而开断的装置上可能发生更严重的过电压。由于这个过电压问题,必须小心使用如真空断路器和限流熔断器等这类装置。然而,在低压系统中,限流熔断器的标准条文要求当线路遮断时产生的最大峰值电压应不超过3000V;这个电压小于600V级设备所施加的一般高电压试验电压的峰值。

中性点接地大概不会降低由雷电或开关冲击产生的电压总值。但是,它能够分配相间电压,并减少个别相的相对地绝缘上过大的电压应力的可能性。

1.3.10 静电 (参看第3章) 由静电荷在电力系统导线上建立过电压,在具有金属封闭的线路和设备的现代化工厂中不是一个问题。除了把电动机的机座适当地接地之外,运动的皮带上的静电荷能够建立电压,该电压能传送到电力系统中。架空线可能遭受由某些大气条件产生的静电过电压。系统的接地连接,即使有较高电阻,也能有效地防止静电电压的建立。

1.3.11 与更高电压系统接触 与更高电压系统接触。可能起因于在高低压线路交叉处或共杆架设的地方断裂的高压导线跌落在较低压的导线上,或者起因于配电变压器的高低压绕组之间被击穿并可能在几处引起的其它绝缘损坏。一个有效接地的低压系统,虽然经受了这种条件下的高额故障电流,仍会使系统中性点接近地电位,而这样,低压系统的对地过电压将大为降低。

1.3.12 线对地故障 在不接地系统中持续过电压的一般原因是三相系统中的一相接地。在这种情况下,其它两相的绝缘将承受高于正常电压73%的过电压。中性点直接接地系统不允许有这种过电压。虽然这种电压很少接近设备和线路的绝缘水平,但是这高于正常电压应力的积累效应可能稍为缩短绝缘的寿命。

1.3.13 谐振条件 不接地系统可能承受谐振过电压。对于较大系统的高的相对地电容,当线对地故障经过一个电感(诸如电动机起动器中的故障线圈)时,也许会有近似线路谐振的条件。那末,非故障相的对地电压将显著地超过线间电压。由于谐振或近似谐振条件的过电压在用来操作电焊机的调谐电感-电容线路的小系统中有可能遇到。例如,如果电焊机装有改善功率因数的串联电容,电容器两端上和变压器绕组两端上的电压各自为电源的线

间电压的许多倍。电容器和焊接变压器之间的故障把这个高电压施加到不接地系统的绝缘上。中性点接地系统依靠各相保持其近似的正常对地电压而防止这种过电压。

1.3.14 电弧重燃接地故障 现场经验和理论研究表明：在不接地系统中的起弧、电弧重燃或振荡的接地故障，在某些条件下能产生高达6倍于正常电压的冲击电压。产生这些过电压的必要条件要求在每次电弧熄灭之后比前一次电弧熄灭之后以更高的速率来建立电弧通道的电介质强度。这个现象不大可能产生在固定触点间的空气隙中，因为这样的一种电弧通道不可能产生足够的电介质恢复强度。它可能发生在每次导通周期之后气体压力会升高的有限区域内。中性点接地由于减少了中性点对地电位的偏移和在每次电弧起弧或重燃之后的任何高频电压振荡的破坏性，而在降低由这种间歇接地故障建立的瞬变电压是有效的。

1.3.15 费用 中性点接地和不接地系统之间所耗费的差额。将根据接地方法，所需的保护等级，以及将要接地的是新的还是现有的系统而有所变化。

对于新的系统，在设计时，可以用二次侧为Y型结线的电力变压器和Y型结线的发电机作为标准选择方案，而且对建立系统的中性点并无增加费用的因素。附加费用的项目是在系统需要有阻抗接地时的中性点接地电阻器或电抗器，以及接地故障继电保护的费用。

将现有的不接地 Δ 型结线的系统接地需要一个附加费用项目，即建立系统中性点的接地变压器（组）。还有，现有的继电保护方案可能有所修改以获得灵敏的接地故障检测。对于现有的系统，从实际考虑可能要用高阻抗接地的方案，并配备只有发生接地故障时才报警的设备。这就可减少在每条馈电线上加装灵敏接地电流继电器的要求。

决定将现有的不接地系统改为接地运行，通常是为了限制暂态过电压。带电缆的老系统，以及由于老化、大气条件和持续过电压而绝缘水平已经降级的电动机和变压器绕组都特别会因受到电弧接地故障所产生的暂态过电压而损坏。因此，为改为接地运行的费用比起更换电缆、重绕电动机和变压器绕组的要低。

1.3.16 应用系统接地的趋势 系统接地的基本理由如下：

- (1) 为了限制在一个局部地区内所有不绝缘的导体之间的电位差。
- (2) 当发生故障时，为了保证能隔离故障的设备和线路。
- (3) 为了限制在各种情况下在系统中出现的过电压。

许多工业供电系统的工作人员相信一个不接地系统提供了比接地系统更大的供电连续性，因为一个线对地故障不会造成故障线路立即断开。另一方面，第二个接地故障在线路的其它相上而不是原来故障发生的相上时会造成相间故障，有强大短路电流流动（会有附带危险），并断开两条故障线路。还有，在第一个故障点上由两个不接地相的容性“接地”电流产生的零星分散的低能级电弧的作用，可以使整个系统的对地电压升高到正常（对地）电压的4倍以上，给所有绝缘造成严重的电应力。这个电应力能在第二个点造成故障，并且几乎与第一个故障同时发生。各种接地系统都借助于把全部容性故障电流转换为大约接近于真正的电阻性电流的方法来消除这种现象。

因此，考虑选择接地或不接地系统的一个主要因素是可以得到的电气维护质量。在维护良好的不接地系统中，它的第一次接地故障能很快地被找出并修理好，也许会有比直接接地系统更高的供电连续性。然而，许多用户，他们的维修并不十分全面，因而感到中性点接地系统