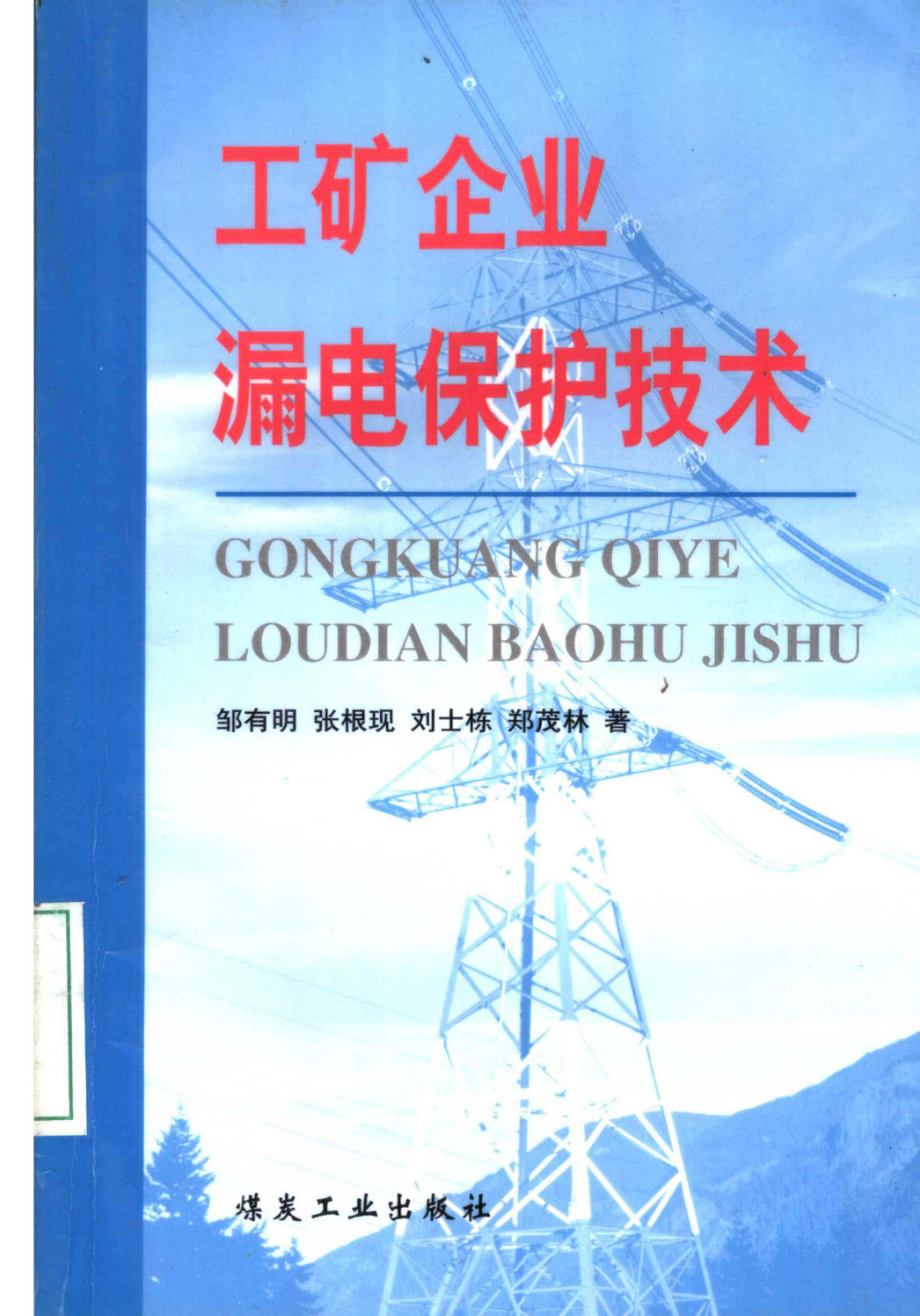




工矿企业 漏电保护技术

GONGKUANG QIYE
LOUDIAN BAOHU JISHU

邹有明 张根现 刘士栋 郑茂林 著

煤炭工业出版社

工矿企业漏电保护技术

邹有明 张根现 刘士栋 郑茂林 著

煤炭工业出版社

• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

工矿企业漏电保护技术/邹有明等著. —北京: 煤炭工业出版社, 2004

ISBN 7-5020-2503-0

I. 工… II. 邹… III. 漏电保护 N. TM07

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第065897号



煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居35号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 850mm×1168mm $1/32$ 印张 $6\frac{1}{4}$

字数 163 千字 印数 1—1,300

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 5244 定价 19.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换



邹有明，男，1950年生，教授，河南理工大学电气安全研究室主任。长期从事电气安全与综合保护方面的教学和科研工作。主编《供电技术》、参编《矿山电工学》等教材三部；发表论文30余篇；主持、参加并完成国家、省部级科研项目多项，其中有3项已通过产品鉴定，参与创办的学院电子设备厂已形成规模并生产至今。1990年获全国煤炭系统优秀教师和优秀青年知识分子称号。1992年获能源部科技进步一等奖，1993年获国务院颁发的政府特殊津贴。



张根现，男，1957年生，1981年毕业于焦作矿业学院（现河南理工大学）电气与自动化专业，工程硕士学位，高级工程师。毕业后，一直在义煤集团公司从事技术管理工作，现任义煤集团公司机电管理部（原名机电处）部长。在二十余年的工作中，积累了丰富的处理各种电气故障的实践经验，尤其对煤矿井下安全供电及固定设备控制颇有研究，参与大小技改数十项，并有多篇论文发表。

前 言

漏电保护是煤矿井下电气的三大保护之一。深入地研究漏电机理和漏电保护原理,提高井下漏电保护的技术水平,对确保煤矿供电安全和加速我国现代化矿井的建设有着重要意义。

本书由井下低压电网的漏电保护入手,从漏电的概念及其危害出发,分析了电网发生漏电时的参数变化规律,由此提出对于漏电故障的各种预防保护措施;在深入分析各种漏电保护基本原理的基础上,介绍几种实用的漏电保护系统,并强调提出了漏电保护必须针对整个供电系统的观点。本书还对近期漏电保护技术领域的应用研究成果做了深入的论述,最后介绍了高压电网的选择性漏电保护技术。

全书包括漏电保护基础、漏电保护原理、漏电保护系统、漏电保护动态和高压漏电保护等五章。结构注意了知识的系统性和连贯性;每节内容紧紧围绕一个主题,形式上适当采用了一些科技论文的做法,以利于读者自学阅读;书中对传统内容作了精选与系统加工,对新内容和新观点则力求自然引入和阐述透彻。

工业生产是一个复杂的多环节系统,供电是其中的重要一环,供电系统中的各种电气故障都要影响其供电的可靠性和安全性,引起停电、停产或造成重大安全事故。因此,研究电网漏电及其保护,应始终从系统、整体的角度来加以考虑。本书除提出系统保护的观点外,还在电网漏电分析、电网单元分块、漏电动作值整定、保护系统方案、保护配合等方面提出了一些新的见解与观点,希望得到读者的评价和审议。

本书是作者对多年科研教学和现场工作的系统总结,对煤矿电气安全工程人员全面掌握漏电保护技术,正确理解和使用漏电保护装置和系统有较大参考价值,本书亦可作为高等院校相关专

业的教学参考书。

本书由河南理工大学邹有明教授和义煤集团公司张根现高级工程师、郑茂林高级工程师、刘士栋高级工程师合著，其中邹有明著第一章，并负责统稿，张根现著第二章和第三章，刘士栋著第四章，郑茂林著第五章。全书插图的计算机绘制由河南理工大学许丹完成。鉴于编者水平，书中错误与不妥之处在所难免，愿望读者批评指正。

作 者

2004年6月

于河南理工大学

目 录

第一章 漏电保护基础	1
第一节 概论.....	1
第二节 触电及其预防	10
第三节 井下低压电网的漏电分析	27
第二章 漏电保护原理	55
第一节 附加电源直流检测式漏电保护	55
第二节 零序功率方向式漏电保护	69
第三节 旁路接地式漏电保护	83
第四节 其他漏电保护方式简介	93
第三章 漏电保护系统	102
第一节 旁·直·零式选择性漏电保护系统.....	102
第二节 自动复电选择性漏电保护系统.....	110
第三节 微机型直流检测式选择性漏电保护 系统.....	118
第四节 BZZ—2.5 (4) 型煤电钻综合保护 装置.....	123
第四章 漏电保护动态	129
第一节 井下低压电网对地绝缘阻抗的测量.....	129
第二节 各种接地方式电网的漏电分析.....	134
第三节 井下低压电网单相漏电的暂态分析.....	139
第四节 旁路接地漏电保护的选相方案.....	147

第五节 快速漏电保护技术.....	153
第五章 高压漏电保护.....	160
第一节 概述.....	160
第二节 高压电网单相接地（漏电）故障分析.....	165
第三节 MLN 型微机选线式高压漏电保护 装置.....	177
第四节 WLX—3 型单片机选线式高压漏电 保护装置.....	184
第五节 保护装置与整定.....	189
参考文献.....	193

第一章 漏电保护基础

本章主要介绍漏电故障和人身触电的基本概念、危害及对策，并运用对称分量法、节点电压法及戴维南定理等对井下低压电网的漏电故障作了深入的定量分析，得出了各故障参数随电网参数、漏电参数的变化规律，本章内容是漏电保护技术的理论基础。

第一节 概 论

掌握漏电的基本概念是研究漏电保护的前提。本节从漏电的定义出发，分析产生漏电的原因及其危害，指出对漏电保护的原则要求，并介绍漏电保护的发展概况。

一、漏电故障的基本概念

（一）漏电的定义

在电力系统中，当带电导体对大地的绝缘阻抗降低到一定程度，使经该阻抗流入大地的电流增大到一定程度，我们就说该带电导体发生了漏电故障，或者说该供电系统发生了漏电故障。流入大地的电流，叫做漏电电流。日常所见到的架空线路离地面很高，但空气也是一种绝缘物质，对电有一定的绝缘电阻，加上沿线对地的分布电容，所以正常时带电的架空导线上也有微小的泄漏电流经空气入地，不过其数值很小，一般可以忽略不计，这种现象不能称作漏电故障。电缆线路和各种电气设备与架空线路一样，正常运行时也有微小的泄漏电流入地，同样不能说它们发生了漏电故障。具体地，当入地电流由于某种原因增大至数十毫安、数安培甚至数十安培时，线路或电气设备就可能已发生了漏电故障。当入地电流增大至数百安培及以上时，它又超出了漏电故障

的范围，进入过流（短路）故障的范围。

漏电电流与正常的泄漏电流之间没有严格的界限，这种界限还与电网的结构、电压等级、中性点接地方式等因素有关。漏电保护装置的动作值往往就是这种界限的标志；同样，漏电电流与短路电流之间也没有严格的界限，而过流保护装置的动作值往往就是这种界限的标志。

在中性点直接接地的低压供电系统中，如果一相带电导体直接与大地接触，这时流入地中的电流通过大地，接地极、供电变压器绕组及导线构成回路，由于各元件的阻抗都很小，因而回路中将产生很大的电流，可达数百、数千安培，此时，有关的过流保护装置将动作，切断故障线路的电源。这种故障不属于漏电故障的范围，通常称之为单相接地短路。但是，若在该系统中发生一相带电导体经一定数值的过渡阻抗接地（如人体电阻等），入地电流就小多了，其值常不足1 A，此时过流保护装置根本不会动作，而漏电保护装置则应该动作，所以说，这种故障又属于漏电故障的范围。

在中性点绝缘（不接地）的低压系统中，若发生一相带电导线直接或经一定的过渡阻抗接地，则流入地中的电流只能通过电网三相对地电容和对地绝缘电阻而与变压器中性点构成回路。由于电网对地阻抗很大，故入地电流也常不足1 A，过流保护装置不动作，这种情况属于漏电故障。至于中性点经高阻抗接地或经消弧线圈接地的供电系统，其情况与中性点绝缘的供电系统类似，只是入地电流稍大一些，当发生一相带电导线直接或经一定的过渡阻抗接地时，都属于漏电故障。

对于目前国内井下广泛采用的变压器中性点绝缘的供电系统，漏电故障的明确定义：在中性点绝缘的供电系统中，发生单相接地（包括直接接地和经过渡阻抗接地）或两相、三相对地的总绝缘阻抗下降到危险值的电气故障就叫做漏电故障，简称漏电。显然，在这种供电系统中，人身触及一相带电导体的情况，属于单相经过渡阻抗接地，对人来说是发生了触电，对整个供电系统

来说就是发生了漏电。

(二) 漏电的种类

根据煤矿井下电网的实际情况，漏电故障可分为集中性漏电和分散性漏电两类。所谓集中性漏电，是指发生在电网中某一处或某一点、而其余部分的对地绝缘水平仍然正常的漏电。所谓分散性漏电，是指整条线路或整个电网的对地绝缘水平均匀下降到低于允许水平的漏电。集中性漏电又分为长期集中性漏电、间歇集中性漏电和瞬间集中性漏电 3 种类型。长期集中性漏电是指电网中的某一设备或电缆，由于某种原因使绝缘击穿或带电导体碰壳而造成的漏电故障，如果没有相应的保护装置，或者保护装置拒动，这种漏电故障将长期存在。间歇性漏电，一般指电网内某台控制设备的负荷端，如磁力起动器负荷侧的电缆和末端的电动机，由于某种原因使绝缘击穿、带电导体碰壳而发生的漏电故障，这种漏电故障的存在与磁力起动器的停、送电状态有关，如果磁力起动器合闸，这部分线路就发生漏电，如果磁力起动器分闸，其漏电故障就消失。瞬间集中性漏电，主要指人员或其他接地的导体偶尔触及设备的带电部分后，立刻又摆脱或分开的情况。

(三) 基本漏电电流回路

在中性点绝缘的供电系统中，设有一相（a 相）经过渡电阻接

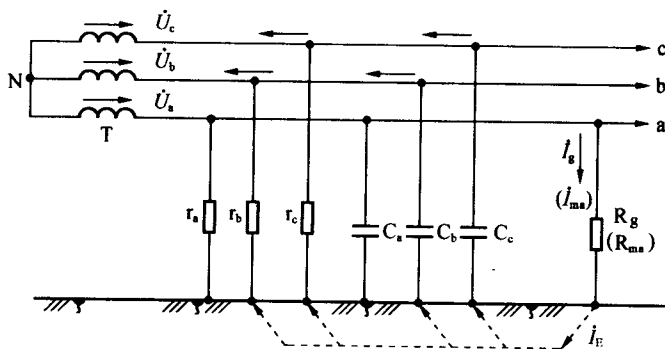


图 1-1 漏电电流回路

地，其漏电电流回路如图1-1所示。此时，漏电电流经过渡电阻 R_g 入地，经过b、c两相的对地电容和绝缘电阻流回电网，再经b、c线路和变压器绕组回到中性点。当用人体电阻 R_{ma} 代替过渡电阻 R_g ，则 $I_{ma}=I_g$ 就是通过人身的触电电流；当 $R_g=0$ 时，说明电网发生单相直接接地故障，入地的漏电电流 I_E 就是电网相电压不对称而产生的三相零序电流的总和。

二、产生漏电的原因

井下低压供电系统中发生漏电的原因，大致有以下几个方面。

（一）电缆或电气设备本身的原因

敷设在井下巷道内的电缆，由于井下环境潮湿，且运行多年，其绝缘老化或潮气入侵，引起绝缘电阻下降，使正常运行时系统对地的绝缘阻抗偏低而发生漏电。在这种供电系统中，还会因偶然的过电压冲击，使绝缘水平较低处发生击穿，产生集中性漏电。

开关设备长期使用，接线板潮湿可能造成漏电；其内部元件（主要是控制变压器、接触器、继电器、线圈等）或导线，因某种原因使绝缘恶化、导线头碰壳也会造成漏电；自动馈电开关中的过流继电器，当调整螺杆拧得过低时也会因相对地放电而造成漏电。

长期使用的电动机，工作时发热膨胀，绕组有一定的范性形变，停机后冷缩而形成缝隙，井下潮气、煤尘容易侵入，久而久之，就会因绝缘受潮、绕组散热不良等原因使绝缘材料变质、老化而造成漏电。此外，电动机内部接头脱落，使一相导线接触金属外壳而产生的漏电也较常见。

（二）因施工安装不当引起漏电

电缆施工接线错误，如误将相线与地线相接，通电后就会发生漏电；橡套电缆接头违反施工工艺要求，如采用了“鸡爪子”、“羊尾巴”和明接头等，这些接法都破坏了橡套的绝缘，在井下潮气的侵蚀下易发生漏电，此外，这些接法的机械强度都较低，容易被拉断而造成漏电。

电缆与设备连接时，由于芯线接头不牢，封堵不严、压板不紧，运行或移动时造成接头脱落或接头松动，使相线与金属外壳直接搭接而漏电，或者是因接头发热过度使绝缘损坏而漏电。

橡套电缆悬挂方法违反规定，采用铁丝或铜丝悬挂，时间一长因橡套强度低使铁丝或铜丝嵌入绝缘层内，接触芯线而产生漏电。

井下井道狭窄，油浸纸绝缘铠装电缆在巷道内敷设或进出硐室时转弯非常不便。从保护绝缘的愿望出发，要求电缆在转弯或盘绕时，其曲率半径不得小于电缆外径的15倍，否则就容易把电缆内部的绝缘层折裂；但是在实际敷设时人们很少注意这一要求，或是现场情况无法满足这一要求，因而使电缆的绝缘层受损，运行时间一长，就可能发生漏电。

开关或其他电气设备的内部接线错误，或接线头松脱碰壳，当合闸通电时便发生漏电。

（三）因管理维护不当引起漏电

由于管理不严，电缆被埋压或脱落浸泡于水沟中。电缆被埋压后其热量不易散发，时间一久将使绝缘老化而漏电；电缆浸泡于水中，由于受井下水的酸性侵蚀及渗透作用，也会使绝缘因受潮而漏电。

电气设备长期过负荷运行造成绝缘老化损坏而漏电。

电动机因长期被煤石堵塞风道，造成通风不良而发热使绝缘老化受损而漏电。

对已受潮或遭水淹的电气设备，未经严格的干燥处理和对地绝缘电阻、耐压试验，又投入运行，极有可能发生漏电或其他电气故障。

（四）因维修操作不当引起漏电

井下巷道狭窄，环境较暗，工人工作时劳动工具（锹、镐、钎等）易将电缆割伤或碰伤，造成漏电。此外，采掘机械移动时，由于司机人员照顾不到，使供电电缆受到拉、挤、压、绞等作用，也可能造成漏电。

在井下进行冷、热补橡套电缆和浇灌电缆接头时，由于线芯连接不牢固、绝缘胶浇灌不均匀，以及硫化热补或冷补质量低劣，故在运行期间芯线接头容易发热，使油和绝缘胶往外渗漏，严重时就会产生漏电。

开关设备检修后，残留在开关内的线头、金属碎片等未能清扫干净，或将小零件与电工工具等忘在开关内，如果这些东西碰到相线，送电后就会发生漏电。

修理电气设备时，由于停送电操作错误、带电操作或施工不慎，可能造成人身触及一相而漏电。

开关分、合闸时，由于灭弧机构有故障，造成电弧熄灭困难，电弧接触外壳而漏电。此外，当发生漏电而切断总电源后，为寻找漏电支路而分别强行送电也是造成重复漏电的原因。

(五) 因意外事故引起漏电

井下电缆常因顶板失落、矿车出轨、支柱倾倒等意外机械事故所损伤而导致漏电。

井下电缆因短路故障造成局部对地绝缘损坏，当处理短路故障后未经对地绝缘电阻测定而恢复送电时，就会发生漏电。

大气过电压沿下井电缆入侵，击穿其对地绝缘而发生漏电。

三、井下低压电网发生漏电的危害

煤矿井下低压电网大部分在采区，环境条件恶劣，又是工作人员和生产机械比较集中的地方，电网若发生漏电，将导致危险。

(一) 人身触电

当电气设备因绝缘损坏而使外壳带电，而工作人员又接触此外壳时，就会导致人身触电事故，此时入地电流的一部分将从人体流过，其数值大到一定程度就会造成工作人员的伤亡。工作人员触及刺破橡套电缆外护套而暴露在空气中的芯线是一种更加严重的人身触电，此时，入地电流绝大部分流经人体，因而对工作人员的危险性更大。

（二）引起瓦斯及煤尘爆炸

我国大部分煤矿都有瓦斯和煤尘爆炸的危险，当井下空气中瓦斯或煤尘达到爆炸浓度且有能量达到0.28 mJ的点火源时，就会发生瓦斯或煤尘爆炸。井下的点火源大都是电火花，而漏电所产生的电火花则占有相当的比例，当电网发生单相接地或设备发生单相碰壳时，在接地点就会产生电火花，若此电火花具有足够的能量，就可能点燃瓦斯和煤尘。

（三）电雷管无准备引爆

漏电电流在其通过的路径上会产生电位差，漏电电流的数值越大，所产生的电位差就越大，如果电雷管两端引线不慎与漏电回路上具有一定电位差的两点相接触，就可能发生电雷管无准备爆炸的事故。

（四）烧损电气设备，引起电火灾

长期存在的漏电电流，尤其是两相经过渡电阻接地的漏电电流，在通过设备绝缘损坏处时将散发出大量的热，使绝缘进一步损坏，甚至使可燃性材料（如非阻燃性橡套电缆）着火燃烧。在井下，“鸡爪子”接头处所用的绝缘胶布就容易着火燃烧。

（五）引起短路事故

据统计，约有30%的单相接地故障发展为短路的原因是很简单的，长期存在的漏电电流及电火花使漏电处的绝缘进一步损坏，最后危及相间绝缘而造成短路。

（六）严重影响生产

按规程要求，一旦电网发生漏电，就必须停电处理，因而严重影响生产，降低煤矿企业的经济效益。漏电故障的处理少则数小时，长则达几个班次，有的工作面几乎每班都发生漏电停电事故。另一方面，停电使局部通风机停转，通风恶化，瓦斯积聚，反过来又威胁了矿井的安全。

四、对漏电保护的要求

漏电的后果，可能导致人身触电、瓦斯煤尘爆炸和电雷管的

先期爆发；长期存在的漏电电流，还可能使电气设备的绝缘进一步恶化，从而造成相间短路、电气火灾和其他危及矿井安全的电气事故。为了防止漏电事故的发生，首先应当采取各种预防措施，除了正确地选择和使用电气设备、提高工作人员的电气安全素质外，还必须加强对电气设备，特别是电缆线路的运行、维护和预防性试验等工作，并保证在供电系统中消灭一切不合乎规程要求的电气接头，以确保电网对地具有正常的绝缘水平。当电网真的发生可能引起危险的漏电故障时，必须立即将故障电网（或支路）的电源切除，以防止事故范围的扩大，这就是设置漏电保护的必要性。

漏电保护与过流保护，过电压保护等其他保护一样，都属于继电保护的范畴，所以它应该满足全面、安全、可靠、动作灵敏及具有选择性等基本要求。

由于煤矿井下低压电网，多是一台动力变压器为一单独的供电单元，所以，全面是指保护范围应复盖整个供电单元，没有动作死区，无论该供电单元内何处发生什么类型的漏电故障（对称的或不对称的），都能起保护跳闸的作用。保护全面的另一要求是：无论电气设备或电网处于什么状态（例如开关合闸前和合闸后，或合闸过程中等），当发生漏电时应能起相应的保护作用，或者是切断电源，或者是闭锁送电开关，使之不能对已漏电的设备和线路送电。

所谓安全性，从保护人员触电的角度出发就是要满足 $30 \text{ mA} \cdot \text{s}$ 的规定，即用从最严重的触电事故发生到电源被切除的时间乘以流过人体的电流，其乘积应不超出 $30 \text{ mA} \cdot \text{s}$ 。因此，提高保护装置的动作速度和降低通过人身的电流对人身安全有重要作用。对于单相接地或其他集中性的漏电故障，从不引爆瓦斯煤尘的角度看，应保证在切断电源或发生间歇性漏电时，接地点的漏电火花能量小于 0.28 mJ 。

保护可靠有两个含义：一是保护装置（或系统）本身应有较高的可靠性，这要由系统的结构、保护单元的简单程度及元件质