

国家专业技术人才知识更新工程 (“653工程”)
煤炭行业煤矿机电领域培训教材 (第1册)

煤矿供电与电气控制

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王崇林 李长录 谭国俊

MEIKUANG GONGDIAN YU DIANQI KONGZHI

国家“十一五”重大人才培养工程

国家人事部直接组织领导

中国煤炭工业协会全面负责实施

国家人事部统一颁发培训证书

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)

煤炭行业煤矿机电领域培训教材

煤矿供电与电气控制

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王崇林 李长录 谭国俊

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是应煤炭行业“653 工程”的培训要求编写的,全书共分三章。第一章从煤矿电网的安全分析入手,对煤矿电网的可靠性、经济性、供电能力、电能质量等进行分析,介绍了煤矿电网短路电流计算、继电保护、中性点接地方式、谐波及其治理以及无功补偿等。第二章介绍了井下防爆电气、低压漏电保护系统及保护接地技术等。第三章介绍了矿井提升机控制系统的发展与现状,交、直流提升机控制系统,提升机 PLC 控制技术,提升机智能故障诊断系统等。

本书主要作为煤炭行业“653 工程”的培训教材,也可作为工程技术人员、大专院校学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿供电与电气控制/王崇林,李长录,谭国俊主编.

徐州:中国矿业大学出版社,2008.7

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)培训教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0000 - 6

I. 煤… II. ①王…②李…③谭… III. ①煤矿—供电—技术培训—教材②煤矿—电气控制—技术培训—教材
IV. TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 106721 号

书 名 煤矿供电与电气控制

本册主编 王崇林 李长录 谭国俊

责任编辑 吴学兵

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 11 字数 275 千字

版次印次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价 31.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业培训教材编审委员会

顾 问：王显政 濮洪九

主 任：路德信

副主任：姜智敏 孙之鹏 胡省三

钱鸣高 宋振骐 张铁岗

葛世荣 乔建永

委 员：(以姓氏笔画为序)

马念杰 王金力 王金华

王虹桥 卢鉴章 叶醒狮

刘 峰 刘文生 刘炯天

孙继平 陈 奇 杜铭华

宋学锋 宋秋爽 张玉卓

张贤友 周 英 周心权

赵阳升 赵跃民 赵衡山

钟亚平 段绪华 都基安

袁 亮 徐水师 黄福昌

常心坦 彭苏萍 遇华仁

缪协兴 濮 津

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业煤矿机电领域培训教材编审委员会

顾 问：路德信

主 任：孙之鹏 孙继平 宋秋爽

委 员：(以姓氏笔画为序)

于励民 王 虹 王步康

王国法 王虹桥 王振平

王崇林 王喜胜 毛 君

刘东才 刘传绍 刘春生

李长录 李国平 李炳文

李景平 张文祥 张世洪

郑丰隆 荆双喜 姜汉军

袁宗本 夏士雄 铁占续

曹茂永 蒋卫良 鲁远祥

谭国俊

《煤矿供电与电气控制》

编写人员

领域主编：孙继平 宋秋爽
本册主编：王崇林 李长录 谭国俊
本册编者：王崇林 李长录 谭国俊
李国欣 孟庆海 张 晓
景 巍

序

加快人才培养,是建设创新型国家、强国兴业的重要举措。《中共中央、国务院关于进一步加强人才工作的决定》为加强专业技术人才队伍建设指明了方向,明确了工作重点和政策措施。人事部决定“十一五”期间,在关系我国经济社会发展和科技创新的一些重要行业领域实施专业技术人才知识更新工程(即“653工程”),开展大规模示范性继续教育活动,加快建立健全我国继续教育的工作体系、制度体系和服务体系,大力推动专业技术人才培养工作的深入开展。“653工程”已被列入国家“十一五”发展规划,是国家实施专业技术队伍建设的一项重大人才培养工程。煤炭行业“653工程”是国家“653工程”的重要组成部分,是煤炭行业专业技术人才继续教育工作的示范工程,该工程的全面启动必将有力带动和促进煤炭工业人才培养工作的进程。

煤炭工业是我国的基础产业。发展振兴煤炭工业,人才队伍建设是关键。实施大基地、大集团战略,推进节约发展、清洁发展、安全发展,实现可持续发展,必须以强有力的专业技术队伍作保证。当前,煤炭工业已进入新的历史发展机遇期,但同时又面临着煤炭主体专业人才匮乏、知识更新滞后的严峻挑战。推进实施“653工程”旨在拓展煤矿专业人才培养的广阔空间。根据《煤炭行业专业技术人才知识更新工程(“653工程”)实施办法》,“十一五”期间每年将为110家国有大型煤炭企业培训1万名左右的高级专业技术人才,为5000多家规模以上煤炭企业培训3万名左右的中高级专业技术人才,五年全国煤炭行业将培训20万名左右。国家人事部委托中国煤炭工业协会全面负责煤炭行业“653工程”的组织实施工作,实行统一组织、统一规划、统一教学大纲、统一发证和归口管理、分级实施、分类指导,创造性地推进“科教兴煤”战略,全面提升煤炭行业专业技术人才队伍素质,从而为煤炭工业的全面、协调和可持续发展提供强大的人才保障和智力支持。

为适应煤炭行业实施“653工程”的需要,我们组织全国有关专家学者编写了《国家专业技术人才知识更新工程(“653工程”)煤炭行业培训教材》,这一教材具有以下三个突出特点:

第一,突出重点专业领域,培训内容丰富。煤炭行业“653工程”专家指导委员会根据煤矿实际需要,立足当前、着眼长远,选定的煤矿专业领域和培训内容都是煤炭行业和企业所必需的。包括采煤工程、煤矿安全、煤矿机电、煤田地质与测绘、煤炭洁净利用及矿区环保这五个重点专业领域,以及高效高回收率采煤方法与技术等34个专业培训方向,全面反映煤炭工业的科技发展趋势。培训教材突出新理论、新知识、新装备、新技术、新方法、新工艺、新材料、新标准、新法规、新政策和新问题等内容,涵盖煤炭行业专业技术人才知识更新的重点,具有很强的针对性。

第二,体现学术权威,保证培训质量。顺利、高效地实施“653工程”,搞好专业技术人才培训,教材编写质量和所体现的学术水平必须得到切实的保证。为此,实行了首席专家负责制,从全国煤炭行业的高等院校、科研院所和煤炭企业推选出一百余名在各自学术研究领域

颇有建树和创新的业内知名专家,领衔编写这套培训教材,集中了院校、科研机构和企业多年来理论与实践的丰硕成果,包含了专业基础知识、理论系统讲解,也集锦了一些极具参考价值的典型应用案例。这是建国以来我国煤炭行业在专业技术人员继续教育方面一次规模最大、最为全面的新知识展示,是提高全行业专业技术人员技术水平的一批好教材。

第三,培训方向明确,教材实用性强。根据不同的专业培训对象,立足矿山,站在世界煤炭工业科技发展前沿,针对我国“十一五”煤炭科技发展的需求,广泛吸纳新知识、新技术和新信息,坚持理论与实践相结合、理论知识与案例分析相结合,把专业技术知识内容进行科学分解,编写成34个分册,既系统成书又独立成册,便于不同领域内的工程技术人员各取所学、研读提高。因此,本套教材既是优秀的培训教科书,也是一套煤炭专业技术人员实际工作中必备的工具书。

我衷心希望这套凝聚着煤炭行业专家学者智慧与心血的教材,能够在实际教学培训中发挥应有的重要作用;同时也希望广大基层专业技术人员通过认真学习、刻苦钻研,不断提高理论水平和实际应用能力,为加快建设新型、现代化煤炭工业做出积极的贡献。

王显政

二〇〇七年十月八日

前 言

煤矿的生产过程主要集中于井下,用电负荷和电气设备也主要集中在井下,井下的电气设备大多需要防爆、防潮。供电线路主要采用电缆,每千米电缆对地电容值是每千米架空线的20~35倍,所以,煤矿电网接地电容电流大,其危害也大。目前,治理电网对地电容电流的主要办法是将电网中性点经消弧线圈接地,这必然要求研究中性点经消弧线圈接地电网的选择性漏电保护问题。近年来,随着我国煤炭需求量的增加,安全高效矿井的大量涌现,大功率电力电子器件在煤矿的使用,对提高煤矿自动化水平起到重要作用,同时也对煤矿电网的电能质量带来了影响。本书是应煤炭行业“653工程”的培训要求编写的,涉及的知识领域包含电气工程、控制工程、信息工程等学科。本书在编写过程中强调理论与实际的结合,强调理论的连贯性,重点突出近年来出现的新理论、新技术,以及应对我国安全高效矿井需要解决的新问题和解决这些问题的技术方法。

本书共分三章。第一章从煤矿电网的安全分析入手,对煤矿电网的可靠性、经济性、供电能力、电能质量等进行分析,介绍了煤矿电网短路电流计算、继电保护、中性点接地方式、谐波及其治理和无功补偿等。第二章介绍了井下防爆电气、低压漏电保护系统和保护接地技术等。第三章介绍了矿井提升机控制系统的发展与现状,交、直流提升机控制系统,提升机PLC控制技术,提升机智能故障诊断系统等。第一章由王崇林、李国欣编写,第二章由李长录、孟庆海编写,第三章由谭国俊、张晓、景巍编写。本书由王崇林统稿。

本书在编写过程中得到中国煤炭工业协会和部分矿业集团工程技术人员的帮助,在此一并表示衷心的感谢!由于水平和时间所限,书中难免有疏漏和不当之处,恳请读者提出宝贵意见,给予批评指正。

王崇林

2008年3月

目 录

序	1
前言	1
第一章 电气安全和保护	1
第一节 煤矿电网安全分析	1
第二节 煤矿高压供电电流保护	6
第三节 煤矿电网谐波分析与治理	30
第二章 井下电气防爆技术	51
第一节 简介	51
第二节 矿用隔爆型低压电器分级闭锁技术	54
第三节 供电系统选择性断电保护试验与可靠性分析	65
第四节 煤矿井下高可靠性低压供电系统技术应用实施对策	71
第五节 案例分析	71
第三章 矿井提升机电力传动及其控制	73
第一节 矿井提升机控制系统的发展与现状	73
第二节 直流提升机控制系统	74
第三节 交流提升机调速系统	99
第四节 提升机 PLC 控制技术	129
第五节 提升机智能故障诊断系统	148
参考文献	162

第一章 电气安全 and 保护

第一节 煤矿电网安全分析

一、煤矿电网安全评价与分析的意义

目前,国内煤矿产能提高幅度很大,为保证安全高效生产,对矿井供电质量、可靠性的要求相应提高。随着煤矿电网的迅速发展,电网结构不尽合理,抵御故障能力很弱,给电网安全稳定运行带来很大威胁,加重了供电运行管理人员的工作。例如,系统不断扩容,造成电网结构复杂、继电保护整定困难、故障处理困难、事故原因分析困难等,另外,一些煤矿供电系统的高低电压越级跳闸事故、接地故障无选择性跳闸事故、短路故障造成正常线路跳闸事故时有发生等。

为适应电网的快速发展,安全管理必须从传统管理向现代化管理转变,安全工作的侧重点也应从事后处理向过程控制转变,真正做到预防为主,查清安全生产薄弱环节和危险因素,做到未雨绸缪,心中有数,及时采取应对措施。

许多煤矿供电系统存在安全隐患,为进一步提高煤矿的供电质量、供电可靠性,有必要针对煤矿高压电网特点,通过测试、分析等手段对煤矿高压供电系统的现状进行分析研究。通过对煤矿供电系统进行仿真建模,可实现从系统整体角度对煤矿供电系统供电质量及可靠性进行分析与安全评价,对接地系统现状、无功补偿现状、继电保护设置及整定、电能质量水平等几个方面进行专题分析与综合评价。在分析基础上找出系统存在的问题,为进一步改造或扩容提供建议与方案。同时利用分析结果确定紧急预案,进一步提高供电系统可靠性,确保煤矿安全生产。

二、高压供电系统网络建模仿真与计算

1. 煤矿电网基础参数的收集

煤矿电网基础参数的收集是整个分析中的重要组成部分之一。分析的主要内容是通过煤矿电网建模,进行仿真计算,并依据仿真计算结果进行分析,对高压供电系统的现状进行评价与优化。所以说建模是整个分析的基础,而电网基础数据的收集又是建模的前提。只有取得最贴合实际的第一手电网数据,才能确保建模的仿真性,从而保障整个分析的科学性和实际意义。

建模一般需要以下参数:

(1) 系统参数

系统接线图,进线在各运行方式下的相关参数(比如系统进线的最大及最小短路容量),各个设备(发电机、变压器、线路、断路器、电动机、无功补偿、电容或电抗器、CT、PT)的参数及运行情况。

(2) 负荷情况

各条供电线路一段时间的负荷数据或正常负荷情况并附相关系统运行情况。

(3) 保护配置

二次接线图和各个保护的配置情况,现有的继电保护整定计算书,现在采用的整定值,各个保护装置的说明书等。

(4) 存在问题

已经发现的问题及故障时的相关材料。

2. 系统建模

根据煤矿高压电网的实际情况,利用电力系统分析软件,建立电网的仿真模型,是进行各种仿真分析的基础。在进行系统建模时,首先根据电缆线路、架空线路、变压器、电动机、电容器、电抗器等各种元件参数建立元件仿真模型,其次利用建立的元件模型根据现场接线图构造电网仿真模型,最终利用电网实际运行得到的各种数据对仿真模型进行校验与修正。电网仿真模型确定后,就可利用电网仿真软件和计算机技术对电网进行仿真计算与分析。

3. 潮流计算

潮流计算是电力系统非常重要的分析计算,用以研究系统规划和运行中提出的各种问题。对规划中的电力系统,通过潮流计算可以检验所提出的电力系统规划方案能否满足各种运行方式的要求;对运行中的电力系统,通过潮流计算可以预知各种负荷变化和网络结构的改变会不会危及系统的安全,系统中所有母线的电压是否在允许的范围以内,系统中各种元件(线路、变压器等)是否会出现过负荷,以及可能出现过负荷时应事先采取哪些预防措施等。

利用建立的电网仿真模型,采用电力系统专用仿真计算软件,可以对煤矿电网进行全系统各种运行方式下的潮流计算与分析,给出运行分析评价,提出整改建议。

4. 短路计算

配电系统短路的类型主要有三相短路、两相短路和两相接地短路。三相短路属对称故障,其余属不对称故障。除不对称短路外,电力系统的不对称故障还有一相或两相断开的情况,称为非全相运行。在同一时刻,电力系统内仅有一处发生上述某一种类型的故障,称为简单故障。同时有两处或两处以上发生故障,或在同一处同时发生两种或两种以上类型故障,称为复杂故障或多重故障。短路计算就是在某种故障下,求出流过短路点的故障电流、电压及其分布的计算。短路计算是进行保护整定与稳定性分析的基础。

利用建立的电网仿真模型,采用电力系统专用仿真计算软件,可以对煤矿电网进行任意短路故障情况下,各种运行方式的全系统短路计算与分析和残压计算与分析,给出运行分析评价,提出整改建议。

三、供电安全可靠评估

供电可靠性就是供电的连续性和不间断性。随着煤矿矿井向深部开采,产量不断提高,井下供电线路在逐渐延伸,供电设备逐渐增多,井下供电的可靠性已经成为制约安全生产的主要因素之一。因此,研究、改造供电方式、配电装备,健全管理制度,对预防电气事故,减小停电范围,提高井下供电的可靠性,具有十分重要的意义。在出现电气故障后,要尽量减小停电范围,尤其要保证保安负荷的正常运转。

而电网的结构直接关系到供电的稳定性和可靠性,必须预先分析结构的变化对电网潮流分布、网络稳定性、供电可靠性造成的影响,对可能出现的问题有充分预计。另外在现有

网络系统各种运行方式下,进行系统的稳定性、可靠性分析,这对指导电网安全运行具有重要意义。

利用建立的电网仿真模型,采用电力系统专用仿真计算软件,可以对煤矿供电系统进行优化分析,减少系统的网络损失,提出优化方案。此外,在电网中模拟特定点故障的情况下,考虑系统的备用容量与转供措施后,分析系统的潮流与电压分布状况和丢失负荷情况,看其是否能保证煤矿正常生产,是否能保证保安负荷。在故障下对网络进行潮流计算,得到相应的电压水平、线路损耗、短路容量等结果。基于此结果,在确保安全的前提下,给出合理的运行方式调整预案,争取尽快恢复正常生产。

对于设备安全可靠,主要是对煤矿电网发生的三相短路进行短路电流分析计算,依据短路计算的结果对电网各种高压设备(主要是母线和断路器)进行安全校验,以校核电网母线及开关设备是否满足规程要求。

四、供电能力评估

在各种运行方式下供电能力是否能够满足安全生产要求及必要的裕量是供电人员必须了解的内容,评估供电能力涉及到电网的基本情况、运行指标,考虑不同负荷运行水平、不同运行方式下的需要,在本项评估内容中主要包括:

- ① 供电能力是否满足现有负荷的需要;
- ② 供电能力是否适应负荷增长的程度;
- ③ 正常运行时各节点的电压水平及线路的电压损失;
- ④ 系统的网络损耗;
- ⑤ 线路和变压器的过负荷情况。

目前,全国不少煤矿或是新建或是经过不断的改造,都拥有自备电厂。这样,煤矿高压供电系统的电源就不再仅仅是上级电网系统单独供电。煤矿自备电厂发电机会定期轮换检修,煤矿供电系统的电源也就经常变化,也就是运行方式经常变化。我们依据电源的不同组合情况,去除现场不可能出现或应用的组合,确定煤矿电网的各种运行方式。

具体措施及方法是在各种运行方式下,对煤矿电网正常负荷水平下的高压供电网络的潮流、短路状况进行分析,确定各电气设备的负载率、网络电压降分布、供电能力冗余度以及网损情况。为了解现状电网适应未来负荷发展的潜力,还可以通过人为设置负荷水平(如设置1.4倍、1.7倍等的负荷水平)进行计算,并把计算结果自动转换为表格和图表,总结出存在的问题,提出相应整改建议。

五、供电经济性评估

作为企业,在保证供电安全的前提下也要考虑供电的经济性。在符合《煤矿安全规程》及保证安全生产的前提下,选择煤矿电网所有可能出现的运行方式,基于建立的电网仿真模型,采用电力系统专用仿真计算软件,对煤矿供电系统的网损、无功进行计算。对系统内部现有无功源进行无功优化仿真分析,合理选取无功优化的控制策略,在保证功率因数满足要求的前提下使无功功率分配达到最优,降低网损,同时针对一些网损大的元件给出降损措施及建议。通过各种运行方式下的网损和无功分析比较,选出最优经济运行方式。

电网的网络结构直接关系到系统的稳定性、可靠性和经济性,若煤矿电网扩容或工作面变迁,就需要改变电网的网络结构。利用建立的电网仿真模型,采用电力系统专用仿真计算软件,对各种煤矿供电系统变化预案进行比较分析,提出最安全经济的方案。例如,在工作

面迁移时,实际仿真各种供电方案并进行经济分析,最终确定最安全经济的供电方案;在供电系统需要扩容时,可在建立的电网仿真模型上,增加扩容负荷,根据仿真结果确定扩容改造方案,这样可以避免改造的盲目性。

六、高压供电系统继电保护分析与评价

1. 高压供电系统继电保护配置分析与评价

由于煤矿企业近年来大都进行了保护装置的现代化改造,特别是地面或中央变电所保护装置由原来的机械式和模拟式变为微机式。保护生产厂家为使保护装置有通用性,一般把某电压等级下的设备所有可能用到的保护都集成在装置中,比如 110 kV 主变微机保护的高后备复压闭锁过流保护,某公司的保护装置为 3 段 6 时限,又如某公司的所用变微机保护,其保护设置多达 26 项,这样给现场的整定人员带来很大的不便。高压供电系统保护装置配置分析,就是根据具体某个煤矿高压供电系统保护装置的现状,结合对网络结构的分析,分别从功能和设置上对地面高压供电系统继电保护配置和井下高压供电系统保护装置进行分析和评价,针对现存的问题进行优化设计,提出具体的优化保护配置方案。

2. 高压供电系统保护整定仿真校核

针对煤矿提供的 6 kV 供电系统各设备的保护定值,利用仿真软件建立系统的一次接线图,输入每台设备的保护定值。然后利用建立的仿真模型进行各种故障模拟,观察在某处发生故障时,系统中各个保护装置的动作情况,进而分析每个保护定值整定和保护设置的合理性,针对现有继电保护整定,查找可能存在的具体问题。

3. 高压供电系统保护整定计算

根据煤矿具体的高压供电系统结构并结合具体的保护配置,根据保护整定规程并结合煤矿的实际情况,计算常用运行方式下的保护定值,给出整定值建议修改意见和整定计算书。

保护整定计算所参考的标准和规范有:

GB 14285—1993 《继电保护和安全自动装置技术规程》

中华人民共和国煤炭工业部 《煤矿井下供电的三大保护细则》

国家安全生产监督管理总局 《煤矿安全规程》2006 版

国家煤矿安全监察局

七、高压供电系统电能质量分析与评价

1. 电能质量测试

随着煤矿生产的快速发展,电力负荷急剧增加,矿井电网中的各种变频调速装置、整流器等负荷容量不断增长。大量电力电子功率器件及装置在矿井电网的广泛应用,给矿井生产带来节能和能量转换的同时,也给供电网络电能质量造成严重的污染。大量的谐波和无功电流注入矿井电网,造成系统效率变低,功率因数变差,并对其他设备和装置产生扰动,严重威胁矿井电网的电能质量和矿井电力设备的安全运行,因此电能质量测试是电网安全运行评价与研究的一项重要内容。电能质量测试针对煤矿供电的特点,在供电重点位置利用电能质量分析仪对各种工况进行不间断连续测试,对测试结果进行分析汇总。

电能质量测试主要包括:因雷电或断路器操作造成的瞬态过电压(脉冲);因大负荷

启动造成的瞬间性电压下降;因雷电或供电线路开闭造成的电压浪涌;因供电质量或雷电造成的供电瞬间中断;因供电质量或电力电子设备造成的谐波;因供电或负载不平衡造成的电压/电流相位畸变等不平衡因素等。电能质量测试依据的标准有:

供电电压的稳定性	GB 12325—2003	《电能质量 供电电压允许偏差》
电压的跳变和闪变	GB 12326—2000	《电能质量 电压波动和闪变》
谐波水平	GB/T 14549—1993	《电能质量 公用电网谐波》
三相电压不平衡度	GB/T 15543—1995	《电能质量 三相电压允许不平衡度》
过电压	GB/T 18481—2001	《电能质量 暂时过电压和瞬态过电压》

2. 电能质量分析与评价

对煤矿供电系统来说,电能质量最突出和普遍的问题是谐波,主要的谐波源有各种大功率绞车电控设备、整流设备、晶闸管变流设备和一些用于节能的电子控制装置,谐波会给各种用电设备带来有害影响,轻则增加能耗,缩短设备寿命;重则造成严重的用电事故,直接威胁到煤矿企业的安全生产。同时由于煤矿存在大型负荷中心,大设备的启动也会造成一系列问题。因此,根据电能质量测试报告,结合系统情况,对现有系统的电能质量进行分析评价并对已经进行的电能质量治理(如谐波治理等)进行分析评价,提出治理建议或方案。

八、高压供电系统中性点接地方式及接地保护分析与评价

1. 单相接地电容电流测试

煤矿 6~10 kV 高压电网采用中性点不接地系统,中性点不接地系统的优点是单相接地电流较小,单相接地不形成短路回路,电力系统安全运行规程规定可继续运行 1~2 小时。在现代化煤矿中,随着配电网规模的增大,因其大部分为电缆供电,单相接地电容电流值也在增大,长时间接地运行,极易形成两相接地短路,弧光接地还会引起全系统过电压,加之井下环境恶劣、故障多,高压电缆经常发生单相接地故障,过大的单相接地电流经常引起电缆放炮和击穿现象,影响正常生产,并给矿井和人身安全带来严重后果。《煤矿安全规程》第四百五十七条规定:“矿井高压电网,必须采取措施限制单相接地电容电流不超过 20 A”。因此,正确测量、了解电网单相接地电流情况,对保证矿井安全运行极为重要。

煤矿 6~10 kV 高压电网常采用单母线分段结线形式,测量时需要分别对各段进行系统单相接地电容电流测试。

2. 中性点接地方式及接地保护分析与评价

煤矿高压供电系统中,高压供电系统中性点接地方式主要取决于系统单相接地电容电流值的大小,根据测试的系统单相接地电容电流值大小,选择合适的中性点接地方式对电网的安全运行至关重要。

煤矿电网故障中,单相接地故障比例最高,针对现在煤矿接地保护的配置情况,根据中性点接地方式的规划,分析评价接地保护的选择能否满足要求,并制订相应整改方案,这对电网安全运行具有重要意义。

九、高压供电系统疑难故障分析

不同矿区的供电系统具有不同的特点,在长期的运行中可能会多次发生相似的问题,针对煤矿提出的疑难故障进行特定分析,找出故障原因,提出整改方案。

第二节 煤矿高压供电电流保护

一、短路电流的基本概念

所谓短路,是指供电系统中一切不正常的相与相或相与地(中性点接地系统)在电气上的被短接。它是供电系统中出现次数较多的严重故障。

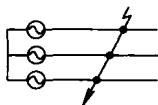
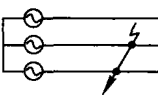
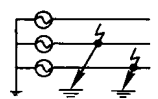
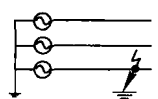
1. 短路的原因

产生短路的主要原因是电气设备载流部分绝缘损坏。绝缘损坏是由于绝缘老化、过电压、机械损伤等造成的。其他如操作人员带负荷拉闸或者检修后未拆除接地线就送电等误操作,鸟兽在裸露的载流部分上跨越以及风雪等自然现象也能引起短路。

2. 短路的种类

在三相供电系统中可能发生的主要短路类型有三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路等。第一种短路称为对称短路,后三种通称为不对称短路。一切不对称短路的计算,在采用对称分量法后,都可以归纳为对称短路的计算。这几种短路的简况如表 1-1 所列。

表 1-1 短路的种类

短路种类	示意图	代表符号	性 质
三相短路		$K^{(3)}$	三相同时在一地点接地,属于对称短路
两相短路		$K^{(2)}$	两相同时在一地点接地,属于不对称短路
两相接地短路		$K^{(1,1)}$	在中性点直接接地系统中,两相在不同地点与地短接,属于不对称短路
单相接地短路		$K^{(1)}$	在中性点接地系统中,一相与地短接,属于不对称短路

就上述几种短路故障而言,出现单相短路故障的机率最大,三相短路故障的机率最小。但在配电系统中,三相短路的后果最为严重,因而以此验算电气设备的能力。

3. 短路的危害

发生短路时,由于系统中总阻抗大大减小,因而短路电流可能达到很大的数值。强大的短路电流所产生的热和电动力效应会使电气设备受到破坏;短路点的电弧可能烧毁电气设备;短路点附近的电压显著降低,使供电受到严重的影响或被迫中断;若在发电厂附近,还可能使全电力系统解裂,引起严重后果。不对称接地短路所造成的零序电流,会在邻近的通讯线路内产生感应电势,干扰通信,亦可能危及人身和设备的安全。

4. 研究短路的目的

为了限制短路的危害和缩小故障影响的范围,在变电所和供电系统的设计和运行中,必须进行短路电流计算,以解决下列技术问题:

(1) 选择电气设备和载流导体,必须用短路电流校验其热稳定性和机械强度。

(2) 选择和整定继电保护装置,使之能正确地切除短路故障。

(3) 确定限流措施,当短路电流过大造成设备选择困难或不够经济时,可采取限制短路电流的措施。

(4) 确定合理的主结线方案和主要运行方式等。

5. 进行短路电流计算的基本假设

供电系统短路的物理过程是很复杂的,影响因素很多。为了简化分析和计算,采取一些合理的假设以满足工程计算的要求。通常采取以下基本假设:

(1) 忽略磁路的饱和与磁滞现象,认为系统中的各元件参数恒定。

(2) 忽略各元件的电阻。高压电网的各种电气元件,其电阻一般比电抗小得多。

在计算短路电流时,即使 $R = \frac{1}{3}X$,略去电阻所得的短路电流仅增大 5%,这在工程上是允许的。但对于电缆线路或小截面架空线路,当 $R > \frac{1}{3}X$ 时,电阻不能忽略。此外,在计算暂态过程的时间阐述时,电阻不能忽略。

(3) 忽略短路点的过渡电阻。过渡电阻是指相与相之间短接所经过的电阻,如被外来物体短接时,外来物的电阻、接地短路的接地电阻、电弧短路电弧电阻等。一般情况下,都以金属性短路对待,只是在某些继电保护的计算中才考虑过渡电阻。

(4) 除不对称故障处出现局部不对称外,实际的电力系统通常都可以当做三相对称。

对于以上各种假设,必须注意它们的适用条件,要具体问题具体分析。

二、无限大容量电源供电系统三相短路电流计算

由上述可知,短路电流是由周期分量和非周期分量所组成的。非周期分量的计算,主要是决定它的初始值 $i_{ap.0}$ 及回路时间常数 $T_k, i_{ap.0}$ 的最大可能数值等于某一相中的周期分量振幅值。

周期分量的大小,可由电源电压及回路等值阻抗欧姆定律计算。对于无限大容量电源的供电系统,发生三相短路时电源电压可认为不变,其等效电路如图 1-1 所示,周期分量的幅值和有效值也不变。

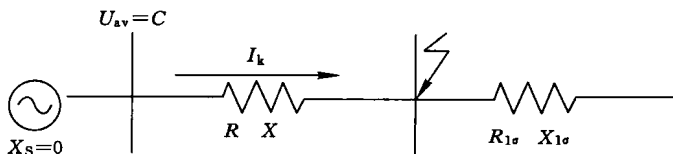


图 1-1 供电系统短路计算单线图

因此,次暂态电流 I'' 与短路稳态电流 I_{∞} 都等于周期分量的有效值 $I_{pe}^{(3)}$,即

$$I'' = I_{\infty} = I_{pe}^{(3)}$$

在进行短路电流计算时,常常会提到“运行方式”的概念,由于电力系统中各开关状态的