



普通高等教育规划教材

GONGKUANG GONGDIAN JISHU

工矿供电技术

李荣生 主编



化学工业出版社



普通高等教育规划教材

GONGKUANG GONGDIAN JISHU

工矿供电技术

李荣生 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书讲述工矿企业供电技术的基础理论和新技术知识。全书共 10 章,包括供电系统基本概念、负荷计算、短路电流计算、供电系统电气设备选择、电力线路、供电系统继电保护、过电压保护、变电站二次回路和自动化装置、矿井供电安全技术、采区供电计算等内容,书中每章都附有习题与思考题。

本书适用于高等院校本科电气工程类专业工矿企业供电、企业供电相关课程教材,也可作为电气工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工矿供电技术/李荣生主编. —北京:化学工业出版社, 2015.7
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-23722-4

I. ①工… II. ①李… III. ①工矿供电-高等学校-教材 IV. ①TD61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 081200 号

责任编辑:廉 静 张双进
责任校对:吴 静

文字编辑:徐卿华
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 425 千字 2015 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.00 元

版权所有 违者必究

前言

工矿企业供电系统是电力系统的一个重要环节,供电系统安全运行与否,直接关系到国民经济发展、矿井安全及人身生命安全的保障。随着科学技术的发展,计算机监控与保护、可编程控制器、电力电子等先进技术已广泛应用到供电系统及电气设备保护与控制领域,促使供电系统的一次设备制造技术不断提高,其结构与控制技术水平出现颇大改变,传统的供电技术与理论知识必须进行提升,以确保供电系统安全、可靠运行。但目前有关工矿企业供电技术教材,不能很好反映矿山供电技术和设备发展现状与方向。笔者根据多年来从事工矿企业供电技术教学与现场工作经验和体会,编写这本《工矿供电技术》专业教材,使之既有传统的理论分析,又有先进的技术应用。

本书为了适应工矿企业供电技术发展的需要,一方面保证基本理论的完整性,另一方面用新技术充实与更新传统教材不足。如在负荷计算中补充静止型、磁控式动态无功补偿装置内容;在电力线路中增加绝缘架空导线参数的内容;在继电保护中增加了固态(静态)继电器的介绍,并强化了微机保护装置及变电站直流操作开关电源介绍;在矿井供电技术中体现国产防爆电气设备先进技术应用及增设采区供电设计的内容。

本书内容全面,基本反映工矿企业供电新技术和新设备,并采用新的国家标准、行业标准、有关技术规范和2011年《煤矿安全规程》。可作为高等院校本科电气工程类专业工矿企业供电、企业供电相关课程教材,还可作为电气工程技术人员参考书。

全书共分10章。由山西大同大学、太原理工大学教师共同完成,李荣生编写第1、2、9、10章,并负责全书统稿,王平编写第3、6章,石东华编写第5、7章,凌禹编写第4、8章。

由于编者水平所限,书中难免存在不足之处,请读者批评指正。

编者

2015年4月

目 录

第1章 供电系统基本概念

1

1.1 电力系统的组成	1
1.1.1 电力系统	1
1.1.2 电网电压等级	2
1.2 供电质量及电力负荷对供电要求	4
1.2.1 供电系统中电压质量	4
1.2.2 电力负荷分级及其对供电要求	7
1.3 供电系统的结线方式	8
1.3.1 对供电系统结线方式要求	8
1.3.2 供电系统的结线方式	8
1.3.3 变电所的主结线	10
1.3.4 典型煤矿企业供电系统	12
1.4 电网中性点运行方式	14
1.4.1 中性点不接地方式	14
1.4.2 中性点经消弧线圈接地方式	15
1.4.3 中性点直接接地方式	16
1.4.4 电网单相接地电流计算	17

习题与思考题	19
--------------	----

第2章 负荷计算

20

2.1 负荷曲线	20
2.1.1 负荷曲线的意义及其作用	20
2.1.2 负荷曲线中的几个物理量	21
2.2 负荷计算方法	22
2.2.1 设备容量的确定	22
2.2.2 需用系数法计算负荷	23
2.2.3 二项式法计算负荷	26
2.3 主变压器选择及企业负荷确定	27
2.3.1 功率因数及其提高	27
2.3.2 主变压器选择	31
2.3.3 供电系统功率损耗	31

习题与思考题	35
--------------	----

第3章 短路电流计算

36

3.1 短路电流的基本概述	36
3.1.1 产生短路原因	36

3.1.2 短路的类型	36
3.1.3 短路的危害	36
3.1.4 计算短路电流的目的	37
3.2 短路电流暂态分析	37
3.2.1 无限大容量电源系统短路暂态分析	37
3.2.2 有限大容量电源系统短路暂态过程	40
3.3 无限大容量电源供电系统短路电流计算	41
3.3.1 有名值算法	41
3.3.2 标么值算法	46
3.4 有限大容量电源供电系统短路电流计算	50
3.4.1 计算曲线	50
3.4.2 简单有限大容量电源供电系统短路电流计算方法	52
3.5 大容量电动机对短路电流的影响	52
3.5.1 异步电动机的影响	52
3.5.2 同步电动机的影响	53
3.6 不对称短路电流计算	54
3.6.1 对称分量法	54
3.6.2 不对称短路电流的计算	59
3.6.3 正序等效定则	62
3.7 短路电流的电动力与热效应	64
3.7.1 短路电流的电动力	64
3.7.2 短路电流的热效应	65
习题与思考题	68

第4章 供电系统电气设备选择

70

4.1 高压电气设备选择	70
4.1.1 开关电弧产生与熄灭	70
4.1.2 灭弧方法	71
4.1.3 高压电器选择	73
4.2 母线和绝缘子选择	80
4.2.1 母线选择	80
4.2.2 母线支柱绝缘子和套管绝缘子选择	81
4.3 仪用互感器	83
4.3.1 电流互感器	83
4.3.2 电压互感器	86
习题与思考题	87

第5章 电力线路

89

5.1 电力线路概述	89
5.1.1 架空线路的结构	89
5.1.2 电缆线路的结构	93
5.2 架空线路截面选择	97

5.2.1 选择导线截面的一般原则	97
5.2.2 架空电力线路截面选择计算	97
5.2.3 闭式电网的计算	102
5.3 高压电缆线路截面选择	105
习题与思考题	107

第6章 供电系统的继电保护

108

6.1 继电保护的基础	108
6.1.1 继电保护的作用和任务	108
6.1.2 继电保护装置的组成及工作原理	108
6.1.3 对继电保护装置要求	109
6.1.4 常用继电器	110
6.1.5 电流保护的接线方式	113
6.2 电网相间短路的电流电压保护	115
6.2.1 电流速断保护	115
6.2.2 限时电流速断保护	117
6.2.3 定时限过电流保护	118
6.2.4 三段式电流保护	119
6.2.5 电流电压联锁速断保护	121
6.3 电网相间短路的方向电流保护	122
6.3.1 方向电流保护的工作原理	122
6.3.2 功率方向继电器	124
6.3.3 方向电流保护应用中几个问题	125
6.4 电力变压器保护	126
6.4.1 概述	126
6.4.2 变压器的气体保护	127
6.4.3 变压器的电流速断保护	128
6.4.4 变压器纵联差动保护	129
6.4.5 变压器相间短路后备保护	133
6.5 电力电容器的保护	134
6.5.1 电容器故障类型及保护方式	134
6.5.2 电容器组与断路器之间连线短路故障电流保护	135
6.5.3 电容器组的横联差动保护	136
6.6 高压电动机的保护	136
6.6.1 电动机的相间短路保护	137
6.6.2 电动机过负荷保护	138
6.7 供电系统微机保护	138
6.7.1 微机保护的构成	138
6.7.2 单元微机保护逻辑原理	139
6.7.3 微机保护的软件系统	143
6.8 中性点不接地系统单相接地保护	144
6.8.1 单相接地的零序电流分布	144

6.8.2 单相接地微机自动选线保护	147
习题与思考题	151

第7章 过电压及其保护

153

7.1 大气过电压对供电系统的影响	153
7.1.1 过电压的原因及危害	153
7.1.2 大气过电压	153
7.1.3 雷电冲击波沿导线传播	155
7.2 变电站与线路的防雷	158
7.2.1 对直击雷的防护	158
7.2.2 变电站进出线入侵波的防护	160
7.2.3 防雷装置的接地	161
7.3 供电系统的保护接地	161
7.3.1 接地电流的电位分布	162
7.3.2 接地电阻的确定	163
习题与思考题	164

第8章 变电站二次回路和自动化装置

166

8.1 二次回路及其操作电源	166
8.1.1 概述	166
8.1.2 直流操作开关电源	167
8.1.3 蓄电池组	168
8.1.4 交流操作电源	169
8.2 高压断路器的控制与信号回路	169
8.2.1 对断路器控制与信号回路的要求	169
8.2.2 断路器控制与信号回路	169
8.3 变电站中央信号系统	172
8.3.1 中央信号概述	172
8.3.2 事故信号系统	173
8.3.3 预告信号系统	174
8.4 变电站综合自动化系统	176
8.4.1 综合自动化系统的基本功能	176
8.4.2 综合自动化系统的硬件结构	178
习题与思考题	183

第9章 矿井供电安全技术

184

9.1 矿用电气设备防爆	184
9.1.1 矿用一般型电气设备	184
9.1.2 矿用防爆型电气设备	184
9.1.3 电气设备的防爆原理	186
9.2 井下供电系统	190

9.2.1 井下中央变电所	190
9.2.2 采区变电所	191
9.2.3 综采工作面供电系统	192
9.3 井下电网漏电保护	193
9.3.1 漏电的原因及危害	194
9.3.2 低压电网单相漏电分析	195
9.3.3 漏电保护	198
9.4 矿井供电设备	201
9.4.1 矿用隔爆高压真空配电箱	201
9.4.2 KBSGZY 型矿用隔爆移动变电站	204
9.4.3 KBZ 型矿用隔爆真空馈电开关	208
9.5 矿用隔爆真空电磁启动器	211
9.5.1 QBZ-200/1140 (660) 矿用隔爆真空电磁启动器	211
9.5.2 QBZ-4×80/1140 型矿用隔爆组合真空电磁启动器	213
9.5.3 QBR-315/1140 (660) 矿用隔爆型真空软启动器	217
9.5.4 127V 电网综合保护装置	220
习题与思考题	223

第 10 章 采区供电计算

226

10.1 概述	226
10.1.1 计算依据	226
10.1.2 计算要求	226
10.1.3 计算内容	226
10.2 采区变电所位置及采掘设备布置	226
10.2.1 采区变电所位置确定原则	226
10.2.2 采掘机电设备布置方案	227
10.3 供电系统的拟定	227
10.3.1 供电系统的拟定原则	227
10.3.2 供配电设备确定	228
10.3.3 供电电缆拟定一般规定	228
10.4 负荷计算及变压器的选择	229
10.4.1 负荷计算	229
10.4.2 变压器的选择	229
10.5 高低压电缆的选择	233
10.5.1 高压电缆选择	233
10.5.2 低压电缆选择	233
10.6 短路电流的计算	240
10.6.1 绝对值法计算井下电网的短路电流	240
10.6.2 查表法计算井下低压电网的短路电流	243
10.6.3 电气设备短路校验	247
10.7 保护装置的整定	247
10.7.1 高压配电装置过流保护的整定	247

第 1 章

供电系统基本概念

电力工业是国民经济发展的基础，它为工业、农业、交通运输及社会生活各行业提供清洁而便利的能源。电能既可以由其他形式的能源转换而来，又可以转换为其他形式的能量以供使用。煤矿企业应用电能和实现电气自动化以来，极大地提高了矿井生产安全程度，煤炭产量和质量大幅提高，极大地降低了生产成本和工人的劳动强度。随着煤矿生产机械装置不断提高，传统的供电技术已不适应现代化矿井供电系统的要求。为此，必须利用不断涌现的新理论、新技术、新设备，将计算机技术、现代控制技术与传统的供电技术相结合，以适应现代化矿井对供电系统可靠、安全、经济和技术合理的要求。

1.1 电力系统的组成

1.1.1 电力系统

电力系统是由各种形式的发电厂、输电线路、升/降压变电所和电力用户联系起来的一个发电、变电、输电、配电和用电的整体。如图 1-1 所示电力系统，它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心，通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量，为地区经济和人民生活服务。

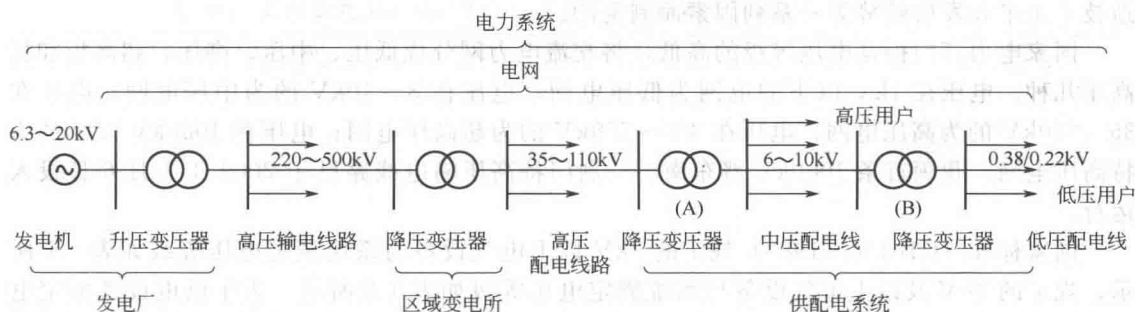


图 1-1 电力系统示意图

(1) 发电

将一次能源转换成电能的过程即为发电。根据一次能源的不同，有火力发电、水力发电和核能发电，还有风力、地热、潮汐和太阳能等发电方式。

火力发电是将煤、天然气、石油所蓄存的化学能通过燃烧转换成为电能的发电方式；水力发电是将高速水流的势能转化为动能，驱动水轮机转动，带动发电机旋转发电，这种将水的位能转换为电能的方式为水力发电；核能发电是利用原子核蕴藏的巨

大核能生产电能的方式。利用原子反应堆中裂变释放巨大能量，将水转换为高温高压的蒸汽，带动发电机旋转发出电能；风力发电和潮汐发电分别将自然风的动能和潮汐的动能转化为电能；地热发电是利用地壳内部的地热资源发电；太阳能发电是将太阳的光能和热能转化为电能。

为了社会可持续发展，充分利用国家资源，减少火力发电产生的排放物对大气及生态环境影响，我国正在充分利用丰富而清洁的水力资源和核能资源，加快水电工程及核电工程的建设，在有条件的地方发展太阳能和风能电站的建设。

(2) 变电所

变电所是接受电能、变换电能和分配电能的场所。为了实现电能的远距离输送并将电能分配到用户，需由变电所将发电机的电压进行多次变换。变电所由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电所的性质和任务可分为升压变电所和降压变电所。按变电所的地位和作用不同又分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。

(3) 电力网

电力网是由各级变电所和不同电压等级的电力线路构成的输电、变换、分配电能的网络，它是联系发电厂和用户的中间环节。

(4) 电力用户

一般由配电网供电的电能使用者称为电力用户。电力用户按其性质不同可分为工业用户、商业用户、农业用户、城镇居民用户等。

1.1.2 电网电压等级

(1) 额定电压

电气设备的额定电压是能使发电机、变压器和用电设备正常运行时获得最佳技术效果的电压。我国的电气设备的额定电压已有明确标准，发电机和用电设备的额定电压分成若干等级，电力系统的额定电压也与电气设备的额定电压相对应，统一组成了电力系统的标准电压等级。

标准电压等级是根据国民经济发展的需要，考虑技术经济上合理性以及各类用电设备制造技术水平和发展趋势等一系列因素而制定的。

国家电力部门根据电压等级的高低，将交流电力网分成低压、中压、高压、超高压和特高压几种。电压在 1kV 以下的电网为低压电网；电压在 3~10kV 的为中压电网；电压在 35~220kV 的为高压电网；电压在 330~750kV 的为超高压电网；电压在 1000kV 以上的为特高压电网。我国首条 1000kV 晋东南——荆门特高压输电线路已于 2009 年 1 月 6 日投入运行。

国家标准 (GB 156—1980) 规定的 3kV 以下电气设备与系统额定电压等级如表 1-1 所示，规定的 3kV 及以上电气设备与系统额定电压等级如表 1-2 所示。表中供电设备额定电压为发电机和变压器二次绕组的额定电压，受电设备的额定电压为变压器一次绕组和受电设备的额定电压。国家标准规定，供电设备额定电压高出系统和受电设备额定电压 5%，用于补偿正常负荷时线路电压损失，从而使受电设备获得接近于额定电压。变压器相当于系统的负载，故规定变压器的一次绕组的额定电压与用电设备相同。当变压器距发电厂很近时，规定其一次绕组的额定电压与发电机相同。同理，当变压器靠近用户时，二次绕组的额定电压比用电设备的额定电压高 5%，否则应选用二次绕组的额定电压高出电力网和用电设备额定电压 10%。电力变压器二次绕组的额定电压均指空载电压，高出的 5%~10% 用来补偿正常负荷时变压器内部阻抗和网络阻抗造成的电压损失。

表 1-1 3kV 以下电气设备与系统的额定电压等级

直流/V		单相交流/V		三相交流/V	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
1.5	1.5				
2	2				
3	3				
6	6	6	6		
12	12	12	12		
24	24	24	24		
36	36	36 42	36 42	36 42	36 42
48	48				
60	60				
72	72				
110	115	100 ^①	100 ^①	100 ^①	100 ^①
220	230	127 ^③ 220	133 ^③ 230	127 ^③ 220/380	133 ^③ 230/400
400 ^② , 440	400 ^② , 440			380/660	400/690
800 ^②	800 ^②				
1000 ^②	1000 ^②			1140 ^④ 3300 ^④	1200 ^④ 3450 ^④

- ① 为只用于电压互感器、继电器等控制系统的电压。
- ② 为使用于单台供电的电压。
- ③ 为只用于煤矿井下、热工仪表和机床控制系统的电压。
- ④ 为只限于煤矿井下及特殊场合使用的电压。
- 注：1. 电气设备和电子设备分为供电设备和受电设备两大类，受电设备的额定电压也是系统的额定电压。
2. 在三相交流通常指的是线电压，表中斜线“/”之上为相电压，斜线之下为线电压。

表 1-2 三相交流 3kV 及以上电气设备与系统额定电压及对应设备最高电压

受电设备与系统额定电压/kV	供电设备额定电压/kV	设备最高电压/kV
3	3.15	3.5
6	6.3	6.9
10	10.5	11.5
	13.8	
	15.75	
	18 ^①	
	20 ^①	
35		40.5
66		69
110		126
220		252
330		363
500		550
750		800
1000		1200

① 只用作发电机电压。

(2) 各级电压电力网的供电范围

在输电距离和输送功率一定的条件下, 电力网的电压等级愈高, 则导线中电流就愈小, 电力网中功率损耗或电能损耗也就愈少。但是, 电压等级愈高, 电力网的绝缘费用就愈高, 杆塔、变电所的构架尺寸增大, 投资随之增加。因此对应一定的输电距离和输送功率, 就应选择一种在技术、经济上较为合理的电压。

选择电力网电压时, 应根据输送容量和输送距离, 以及周围电力网的额定电压情况, 拟定几种方案, 通过经济技术比较确定。各级电压电力网的经济输送容量与输送距离, 参照表 1-3 所示。

表 1-3 各种电压线路输送容量与输送距离的参考值

电网电压 /kV	架空线路		电缆线路	
	输送容量 /MW	输送距离 /km	输送容量 /MW	输送距离 /km
0.22	< 0.05	< 0.15	< 0.1	< 0.20
0.38	< 0.1	< 0.25	< 0.175	< 0.35
3.0	< 1.0	1~3	< 1.5	< 1.8
6.0	< 2.0	5~10	< 3.0	< 8
10.0	< 3.0	5~15	< 5.0	< 10
35	< 15	20~70		
60	< 30	30~100		
110	< 50	50~150		
220	< 500	200~300		
300	< 800	200~600		
500	<1500	200~850		
750	<2500	500 以上		

1.2 供电质量及电力负荷对供电要求

1.2.1 供电系统中电压质量

电力系统中的电气设备是按额定电压和额定频率设计、制造的。供电系统电压质量直接关系到用户设备的安全经济运行, 在额定电压和额定频率下运行时, 电气设备的运行性能最优、效率最高。反之, 电气设备的运行性能减弱、效率下降, 严重时可能使设备无法正常工作, 甚至导致设备绝缘损坏、烧毁或爆炸等。

电压质量指标有电压偏差、电压不平衡、电压波动及电网电压(流)谐波等。

(1) 电压偏差及调节

电压偏差又称电压偏移, 是指给定瞬间设备的端电压 U 与设备额定电压 U_N 之差对额定电压的百分值, 即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-1)$$

用电设备所受的实际电压若偏离其额定电压超过允许值, 运行特性就会恶化。对于工矿企业大多选用异步电动机, 其转矩与电压的平方成正比, 当电压降低 10%, 转矩则降低到 81%, 负荷电流将增大 5%~10%, 温升将增大 10%~15%, 绝缘老化程度将比规定增加一

倍以上。

按照《供电营业规则》规定：在电力系统正常状况下，用户端供电电压允许偏差为：35kV及以上供电电压偏差不得超过额定电压10%；10kV及以下供电电压偏差不得超过额定电压7%。对于煤矿井下低压最大偏差不应超过10%。

工矿企业常用的电压偏差调节的方法有：利用变压器的分接头调压；装设并联电容器组调压；改变线路的接线方式和更换导线截面调压等。

① 正确选择无载变压器的分接头或采用有载调压变压器 一般变压器高压侧电压分接头可调整的总范围是10%、±5%、±2×2.5%、-2×5%等，利用电压分接头改变变压器的变比，调整其二次线圈电压，保证用电设备的端电压不超过允许值。

② 合理减少供配电系统的阻抗 系统阻抗是造成电压偏移的主要因素之一，合理选择导线及截面以减少系统阻抗，可在负荷变动的情况下使电压保持相对稳定。由于高压电缆的电抗远小于架空线，故在条件允许时，应采用电缆线路供电。

③ 均衡安排三相负荷 在设计和用电管理中应尽量使三相负荷平衡，三相负荷分布不均匀将产生不平衡电压，从而加大了电压偏移。

④ 采用有载调压变压器 利用有载调压变压器可以根据负荷的变动及供电电压的实际水平而实现有效的带负荷调压，在技术上有较大的优越性，一般应用于枢纽变电所和矿井主要变电所。

⑤ 采用无功功率补偿装置 供电系统中大多使用感性负荷，系统中出现大量相位滞后的无功功率，导致功率因数降低和系统的电压损耗增大。采用并联电容器补偿系统中相位滞后的无功功率，可使电压调节达到较好效果，以提高供电系统的经济效益。

(2) 电压波动

电压波动是指电网电压有效值的连续快速变动。冲击负荷波动时，当其电流流过线路时，会使供电电压出现相应的波动，通常以用户公共供电点相邻最大与最小电压有效值之差对电网额定电压比百分值来表示，即

$$\Delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\% \quad (1-2)$$

电网电压波动会影响电动机的正常启动，使电子设备和计算机无法正常工作，引起照明灯光发生明显的闪变（由灯光引起闪变的波动称为电压闪变）。

抑制电压波动的措施如下。

① 对负荷变动剧烈的大型设备，采用专用变压器单独供电或选用软启动（变频）方式。

② 选用动态的无功功率补偿装置。由于波动性、冲击性负荷易造成电网电压波动，其实质为无功功率的不平衡。具有快速无功功率补偿控制功能装置能够对电压波动起到很好的抑制作用。

(3) 电网谐波及其抑制

1) 电网谐波及其危害 谐波是指对周期性非正弦交流量进行傅里叶级数分解所得到的大于基波频率整数倍的各次分量，通称为高次谐波。谐波对电网运行引起“污染”，已成为当前电力系统中影响电能质量的一大“公害”。煤矿电网中谐波主要是由选用大容量晶闸管整流装置或变频装置及软启动开关等引起。

谐波对电气设备的危害很大。谐波电流通过变压器，可使变压器铁芯损耗明显增加，造成变压器出现过热；谐波电流通过交流电动机，不仅会使电动机铁芯、绕组损耗增加，过热烧坏，而且还会使电动机转子发生振动现象；谐波电流通过电容器时，会使其电流放大，导致电容器严重过热烧毁，甚至爆炸；此外，谐波电流可使电力线路的电能和电压损耗增加；

可使电力系统发生电压谐振而引起过电压；还可能造成继电保护和自动化装置发生误动作；并可对附近的通信设备和通信线路产生信号干扰。

2) 电网谐波测量及消除谐波干扰的措施 由于电网谐波对用电设备和电网本身都会造成很大的危害，我国发布国家标准（GB/T 14549—1993）《电能质量、公用电网谐波》，已从1994年3月1日起开始实施。对于煤矿安全质量标准化条例中，也明确了应定期对矿井地面供电系统进行谐波测试。

测试谐波的主要仪器为谐波分析仪，测试点主要是在各矿的地面变电所进行。谐波分析仪可以通过及时测定电网电压和电流中各次谐波的含有率和相角，从而掌握电网谐波潮流分布、谐波阻抗和谐波放大等情况；另外，还可以用作电网谐波的实时监控。谐波分析仪主要由完善的数据采集系统和很强处理能力的FFT程序、统计分析程序以及实现各项功能的监控程序组成。其工作原理框图如图1-2所示。

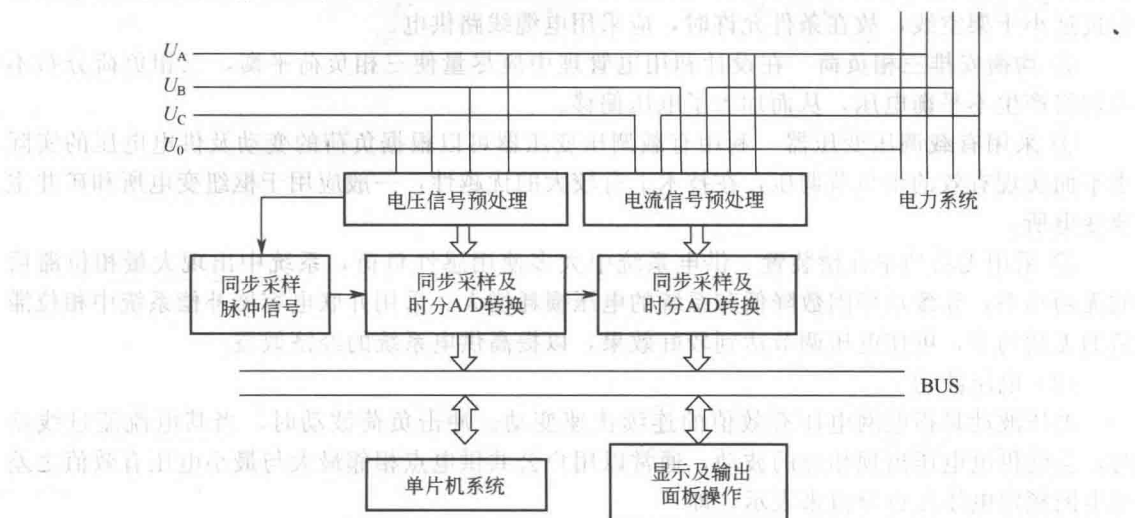


图 1-2 谐波测试分析仪原理框图

矿山电网消除谐波干扰的措施可从两方面进行：一方面是采取措施使电网不产生或少产生谐波；另一方面是对电网产生的谐波采取吸收，减少对敏感的电网元件的干扰，或通过提高或降低网络阻抗以及分离的方法使敏感的电网或元件避开谐波的干扰。

鉴于电容器设备是最容易受谐波干扰的敏感元件，目前所采用的措施如下。

① 使电力电容器不出现谐波过载措施 由于5次谐波是电容器谐波过载的主要原因，在电力电容器前端串联 $L=6\%$ 的电抗器，将是一种合理的防治措施。当谐波次数小于5次时，为了使电容器的阻抗增加电感性，常装设 $L=8\%$ ， $L=13\%$ 的电抗器。但此时电容器的端电压将会升高，当 $L=13\%$ 时电压约增加15%，应在使用中注意。

② 将谐波过载的电容器自回路切除的方法 在电容器回路设置谐波继电器，当发生谐波过载时，自动将电容器自回路断开。

③ 抑制谐波电流的发生 适当选择相数多整流设备，有利于抑制电网谐波电流的发生。

④ 装设交流滤波器 当确定谐波电压和电流超限时，最有效的措施就是在相应设备处或在变电所母线上装设滤波器，这是矿山电网中常采用的方法之一。

(4) 供电系统的三相不平衡

在三相供电系统中，如果三相电压（电流）幅值或有效值不等，或三相电压（电流）相位差不为 120° 时，则称此三相电压（电流）不平衡。

当系统处于三相不平衡运行时,其电压、电流中含有大量负序分量,会引起电动机附加振动和发热;使得大容量整流装置的触发角不对称;造成继电保护和自动装置误动作,直接或间接引起电网的事故;对于低压三相四线制系统,会引起中性线上出现不平衡电流,严重时可能使计算机无法正常工作。

电压不平衡指用电电压负序分量的有效值 U_2 与电压正序分量的有效值 U_1 的百分比值,即

$$\epsilon U\% = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (1-3)$$

国家电能质量对三相电压不平衡度规定:正常允许值2%,短时不超过4%;接于公共电网连接点的每个用户不得超过1.3%。

三相系统的不平衡可采取下列抑制措施。

- ① 将不对称负荷合理分配于三相中,使各相负荷尽可能平衡。
- ② 将容易产生不平衡负荷采用单独的变压器供电。
- ③ 对稳定的不平衡负荷,采用在相间跨接 C-L 进行补偿,使三个线电压达到均衡的要求。

1.2.2 电力负荷分级及其对供电要求

1.2.2.1 电力负荷分级

电力负荷是电力系统中所有用电设备消耗功率的总和。在电力用户中,各类负荷的运行特点和重要性不一样,它们对供电的可靠性和电能质量的要求程度也不相同。为了合理地选择供电电源及拟定供电系统,我国通常将电力负荷分为三个等级。

(1) 一级负荷

一级负荷是指供电突然中断将可能造成人身伤亡或重大设备损坏,给国民经济造成严重损失及政治上产生不良影响的负荷。如矿山企业主通风机,主排水泵;国家重要的铁路干线、通信枢纽等。

特殊重要的一级负荷通常称保安负荷。对该级负荷应由两个独立电源供电。独立电源是指不受其他电源影响与干扰的电源,具备下列两个条件的发电厂和变电所的不同母线段均属独立电源。

- ① 每段母线的电源来自不同的发电厂,且以后的输、变、配电各环节又均为分列运行;
- ② 母线段之间无联系,或虽有联系,但当其中一段母线发生故障时,能自动断开联系,不影响其他母线段继续供电。

(2) 二级负荷

二级负荷是指供电突然中断会造成生产设备局部损坏,或生产流程紊乱且恢复较为困难,给企业造成较大经济损失的负荷。如矿山企业的主提升设备、生产及环境监测设备等。

对于二级负荷,一般采用取自变电所不同段母线的双回路供电方式;对于条件不具备的小型矿山,可采用单回路专用线路供电,并备用一定数量供电设备。

(3) 三级负荷

凡不属于一、二级负荷的其他负荷均为三级负荷。对于三级负荷一般可采用单回路供电。

1.2.2.2 工矿企业对供电的要求

(1) 供电可靠

供电可靠就是要求供电不间断。除保证对一、二级负荷采用两个独立电源或双回路供电设计措施外,还必须保证系统中各电气设备、线路的可靠运行,为此应对设备、线路进行监