

Chengshi Dianliwang

城市电力网

符国绣 编著

TM7-27.2



广东科技出版社

责任编辑：晓 平
封面设计：陈维德

ISBN 7-5359-3610-5



9 787535 936103 >

ISBN 7-5359-3610-5
TM·24 定价：86.00 元

城市电力网

符国绣 编著

广东科技出版社

·广州·

图书在版编目(CIP)数据

城市电力网/符国绣编著. —广州:广东科技出版社, 2004. 8
ISBN 7-5359-3610-5

I. 城… II. 符… III. 城市配电-电力系统结构
IV. TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 042322 号

出版发行:广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码:510075)

E-mail:gdkjzbb@21cn.com

http://www.gdstp.com.cn

印 刷:广州市穗彩彩印厂

(广州市石溪富全街 18 号 邮码:510288)

规 格:787mm×1092mm 1/16 印张 22.5 字数 450 千

版 次:2004 年 8 月第 1 版

2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~600 册

定 价:86.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系调换。

序 言

随着现代化的城市建设和发展,对电力的需求不但越来越大,而且要求的标准也越来越高。为了满足城市建设的需要,城市电力网的建设必须与其密切配合,协调发展。电力网自身的规模不断扩大,结构日益复杂,对技术的要求必然会越来越严格。相关新技术、新设备的不断涌现和推广应用,要求电力工作者努力适应新形势发展的需要,为建设大容量、户内化、小型化、密集化、地下化、自动远动化、微机化、网络化具有高度可靠性能的现代城市电力网而作出贡献。

编著者

2004年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 我国电力事业的概况	1
第三节 我国当前的城市电力网	1
第二章 城市电网的主要组成部分	3
第一节 220kV 降压变电站	3
1 一次设备	4
2 二次设备	6
3 变电站中的建筑物	7
第二节 110kV 降压变电站	9
第三节 35kV、10kV 配电设备	10
1 35kV 降压变电站	10
2 10kV 配电设备	10
第四节 输电线路	11
1 220kV 输电线路	11
2 110kV 输电线路	12
3 10kV 线路	13
第三章 城市电力网的规划	14
第一节 规划的基本原则	14
1 规划的指导思想	14
2 规划的基本原则	15
第二节 规划的基本方法和内容	17
1 基本方法	17
2 规划的基本内容	18
第三节 负荷预测	18
1 有关负荷计算中专用名词的概念	19
2 负荷预测的准备工作	20
3 负荷预测的具体做法	21
第四节 规划城网的电压等级	29
1 选择电压等级的基本要求	29
2 电压等级的选择	30
3 关于 20kV 中压配电问题	32
第五节 网络规划	33
1 10kV 配电网络	33
2 110kV 网络	35

3	220kV 网络	37
4	网络布局	39
第六节	变(配)电所布局的规划	41
1	10kV 配电所	41
2	110kV 降压站	42
3	220kV 降压站	44
第七节	输电线路及其走廊	45
1	对线路走廊的原则要求	45
2	10kV 配电线路	46
3	110kV 送电线路	46
4	220kV 网架线路	47
5	电缆线路	48
第四章	电力网的计算	54
第一节	电力网基本参数的计算	54
1	用电负荷元件的基本参数	54
2	输电线路基本参数	54
3	变压器基本参数	55
4	发电机基本参数	56
第二节	简单电力网的基本计算	57
1	开式网络的计算	57
2	两端电源供电线路的计算	61
3	采用网络变换法计算闭式网络	63
第三节	电力系统稳定性概念和基本计算	68
1	系统静态稳定的基本概念	68
2	系统动态稳定的基本概念	70
3	功率特性及其极限值的计算	71
4	影响稳定性的其它因素	75
5	系统动态稳定过程的分析	78
第四节	电力网络的数学模型	85
1	电力网络的基本参数	86
2	形成导纳矩阵的计算机程序	96
第五节	电力网的潮流计算	99
1	潮流计算的数学模型	99
2	牛顿-拉夫逊求解法	101
3	$P-Q$ 分解求解法	112
第六节	短路电流计算	130
1	对称短路电流计算	130
2	零序网络和存在互感线路的网络矩阵	133
3	简单不对称故障计算	136

第七节 动力系统元件动态特性及数学模型	140
1 同步电机的数学模型	140
2 励磁系统的数学模型	142
3 原动机调速系统数学模型	143
4 负荷的数学模型	143
第八节 电力系统的动态稳定计算	145
1 动态稳定计算用的网络数学模型	146
2 常微分方程的数值解法	148
3 简化动态稳定计算程序	150
第九节 电力系统静态稳定计算	156
1 实用算法	156
2 功率极限和临界电压的计算	159
3 静态稳定的小振荡算法	162
第五章 变电站的主设备	168
第一节 电气主结线	168
1 主结线的设计原则	168
2 典型结线方案	168
3 共用设备的配置	171
4 变电站实用主结线实例	172
第二节 站用电设备	176
1 变电站的用电负荷	177
2 站用变压器的容量	177
3 站用电结线方式	178
第三节 主设备选择	178
1 主变压器选择	178
2 配电设备选择	179
第六章 变电站的设备布置	182
第一节 设备布置的基本要求	182
第二节 设备布置的技术规范	183
第三节 典型单元布置形式	183
1 10kV,35kV 配电布置形式	183
2 主变压器形式	184
3 补偿电容器的布置	185
4 110kV 户内配电装置布置	185
5 220kV GIS 配电装置	187
6 中央控制室的布置	188
7 电抗器的布置	190
8 站用变压器的布置	190
第四节 变电站整体布置设计	190

1 110kV 户内型复式外桥结线变电站布置形式	190
2 220kV 户内式 GIS 设备变电站的布置	197
3 220kV 半 GIS 设备户内式变电站	204
4 110kV 半户内式枢纽变电站布置	208
5 110kV 地下变电站	209
第五节 关于主变压器的防火	217
1 主变压器火灾的特点	217
2 关于主变压器防火方案的比较	218
第七章 防雷和接地	220
第一节 防止设备受雷电直击的保护	220
1 保护范围的新理论观点	220
2 保护范围的确定	220
第二节 防止雷电侵入波的保护	223
1 输电线路的防雷保护	223
2 电缆线路, GIS 设备变电站的防雷保护	224
第三节 合成硅橡胶套管氧化锌避雷器	226
第四节 接地装置	227
第五节 保护接地的计算	228
1 接地介质的电阻率	228
2 接地体的扩散电阻值	229
3 矩形接地网扩散电阻值的计算	231
4 任意形状接地网的扩散电阻值	232
5 接地体的热稳定校验	232
第六节 防雷接地装置的冲击电阻值计算	232
1 接地装置冲击电阻值 R_{ch} 的计算	233
2 使用降阻剂后, 冲击电阻值的计算	234
3 冲击系数的计算	234
4 使用降阻剂后, 冲击系数的计算	235
第七节 立体接地网	235
1 立体接地网的特点	236
2 立体接地网的计算	237
第八节 接地装置中化学降阻剂的使用	237
1 理化特性	238
2 降阻剂的降阻机理	238
3 施放降阻剂后接地电阻的计算	239
4 施用降阻剂的优点	241
5 施放降阻剂的施工	241
第九节 接地网的防腐	242
1 kV 型导电防腐涂料的性能	242

2 导电防腐涂料的施工工艺	243
第八章 变电站的继电保护和自动化设备	245
第一节 现代电力系统对继电保护和安全自动装置的基本要求	245
1 运行可靠性	246
2 动作快速性	246
3 反应灵敏性	247
4 动作选择性	247
5 系统振荡的适应性	248
6 同自动重合闸装置的配合	248
第二节 特殊线路上继电保护的配置原则	248
1 短线和超短线	248
2 同杆并架双回路或多回路线路	249
3 架空线和电缆混合线路	249
第三节 高压输电线路的微机型继电保护装置	250
1 WXB—11 型微机保护装置概述	250
2 WXB—11 型保护的原理及其构成	251
第四节 线路纵联差动保护	254
1 保护装置的硬件结构	256
2 分相电流差动保护动作跳闸的基本判据	257
3 同步调整方式	258
第五节 WGC—01A 型微机保护专用高频信号传输装置	259
第六节 变压器保护装置	261
1 保护装置的技术性能	262
2 保护原理和计算法	263
3 构成微机保护的硬件设备	269
4 定值计算和整定方法	270
第七节 直流系统绝缘监视装置	271
1 微机型绝缘监视装置的工作原理	272
2 绝缘监视装置的基本功能	273
3 绝缘监视装置的主要技术参数	273
第八节 变电站的综合自动化	273
1 主设备的要求	274
2 综合自动化设备的设计原则	274
3 综合自动化系统结构类型	275
4 自动化终端监控器—RTU	278
第九章 输电线路	280
第一节 电缆线路	280
1 电缆的选择	281
2 电缆的敷设	285

第二节 圆锥形管塔架空线路	288
1 锥形管塔的结构形式	288
2 锥形管塔的基础	289
3 管塔线路设计的基本原则要求	290
第三节 多回路同塔并架线路	293
1 线路布置形式	293
2 必要的技术措施	293
3 线路塔型	293
第四节 紧凑型架空线路	294
1 圆锥管塔式紧凑型线路	295
2 普通角钢方塔型紧凑线路	296
3 V形单回路紧凑型线路	296
第五节 绝缘导线线路	296
1 10~35kV 绝缘导线线路	297
2 线路的架设	297
第十章 城市配电网	299
第一节 配电网的结线形式	299
第二节 配电网的接地方式	299
1 中性点不接地方式	300
2 中性点经消弧线圈接地方式	300
3 小电阻值接地方式	300
4 自动调谐式消弧线圈接地方式	300
第三节 配电网的无功功率补偿	303
1 无功补偿装置的配置原则	303
2 补偿装置的结线方式	304
3 补偿电容器的过电压保护	305
第四节 配电变压器的选择	306
1 变压器容量的选择	306
2 变压器受载系数的优化	307
第五节 配网的配电装置	308
1 小型户外配电装置	308
2 中型容量的户外配电装置	312
3 自动操作方式的配电装置	313
4 户内配电装置	314
5 辐射交联热缩材料及其绝缘防护中的应用	316
第六节 配网的调度和管理综合自动化	317
1 综合自动化的总体结构	317
2 自动监控系统	318
3 自动化控制终端监控器(RTU)	319

4 多功能电能表 319

附录 321

附录 1 单相接地电容电流的计算 321

附录 2 各种电压等级输电线路的送电能力 322

附录 3 电力设备阻抗值及短路阻抗的换算 323

附录 4 配电设备选择的技术规范和参数 332

1 断路器、隔离开关、熔断器的选择 332

2 母线选择 333

3 软导线和组合导线选择 338

附录 5 配电设备布置安装技术规范 340

1 带电设备的安全距离 340

2 防护设施和通道 341

3 储油和其它设施 343

4 硬母线的固定和连接 343

5 设备安装的基础荷载 344

6 土建工程的特殊要求 345

7 户外配电装置的要求 345

8 挂线弧垂和构架尺寸 346

第一章 绪 论

第一节 概 述

现代生产和生活所消耗的能量,大部分来自电能。为了做好电能的生产和供应,在各发电厂和用户之间采用输电变电设备将其联接起来,组成一个完整而庞大的统一体,这个统一体连同发电厂的原动机(如火电厂的锅炉,汽轮机,水电厂的水轮机及其调速装置),发电机,输变电设备直至用户的用电设备一起构成的系统,统称为动力系统。由于研究问题各个专业侧重面的不同,又把动力系统中的动能设备——原动机部分分割开来,即只考虑从各发电厂,输变电设备到用户的用电设备,此部分为单纯的电气设备部分,故称为电力系统。而电力系统中除了发电设备以外部分,即包括联接各发电厂到各用户之间的输、变、配电设备所组成的系统,则称为电力网。

简言之,包括各发电厂动能设备,输变电到用电设备所构成的系统,称为动力系统。从各发电机,输变电到用电设备构成的系统,称为电力系统。联接输变电和用电设备之间所构成的系统,称为电力网。可见,电力网所包含的内容主要是输电线路、变电、配电等设备。

第二节 我国电力事业的概况

解放前,我国经济、技术科学很落后,电力事业无疑也非常落后。1949年,全国发电装机容量仅为 $185 \times 10^4 \text{ kW}$,年发电量为 $43 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,居世界排名分别为第21和第25位。由于频率和电压等级的混乱,无法构成完整的电力系统,因而谈不上供电的安全可靠和规范的管理。

新中国成立以来,社会主义经济的迅猛发展,大规模的经济建设和生产,以及人民生活水平的不断提高,促进了电力事业的突飞猛进。至1995年,全国发电装机总容量达 $21\,723 \times 10^4 \text{ kW}$,年发电量达 $10\,069 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,世界排名分别为第3和第2位。

全国35kV及以上电压输电线路 $56.67 \times 10^4 \text{ km}$,变电设备容量为 $62\,821 \times 10^4 \text{ kV} \cdot \text{A}$,其中500kV线路 $1.305 \times 10^4 \text{ km}$,变电设备容量 $4\,507 \times 10^4 \text{ kV} \cdot \text{A}$,并形成了东北、华北、华中、华东及南方联营的五大区跨省电网。按规划目标,到2000年,全国发电装机总容量将达到 $3 \times 10^8 \text{ kW}$,年发电量达到 $14\,000 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。220kV及以上电压等级的输电线路将达到 $17.12 \times 10^4 \text{ km}$,变电设备容量达 $39\,800 \times 10^8 \text{ kV} \cdot \text{A}$,其中500kV线路达 $2.72 \times 10^4 \text{ km}$ 。到2010年,全国发电装机总容量将达到 $55\,300 \times 10^4 \text{ kW}$ 。届时,长江三峡水电站建成,全国将形成以三峡水电站为中心的东西南北互联的统一联合大电网。

第三节 我国当前的城市电力网

一般城市电力网(简称城网),是指供给城市电力需要的配电网和为其提供电源的高一

级电压的输电线路及变电站。如城市市区和郊区负荷配给电能的电网俗称为配网,我国规范规定 35、63、110kV 线路及其变电站为高压配网,6、10kV 线路及其配电所,柱上变电所,开闭所等为中压配网,0.38/0.22kV 线路为低压配网。

目前我国共有 285 个地(市)级以上供电企业,经营 640 个城市配电网。城市电网销售的电能占全国售电量的 80%。可见,城网经营状况的好坏,将直接决定我国电力事业状况的好坏。

随着城网建设的发展,不但电网规模在不断扩大,而且结构越来越复杂,要求运行管理水平越来越高,必须日益走向科学化、规范化。其技术上的显著特点是,高压配网结构日益加强,配网电压等级逐步简化、统一。当前全国大多数城网电压为 220/110/10/0.38kV;东北地区为 220/63/10/0.38kV。西北地区为 330/110/10/0.38kV,上海、天津地区为 220/35/10/0.38kV 系列,一般都控制在四级变压范围内。

由于经济技术的发展,现代生产生活对供电质量和数量的要求都越来越高。为适应形势的要求,城网的建设、改造、运行管理都必须随之发展和提高。为提高供电的安全可靠性,许多城市电网逐步实现多道环网结构,逐步向无油化(断路器)、导线大截面、绝缘化、组合化、自动化发展。越来越多地采用六氟化硫组合断路器(GIS)、SF₆ 和真空断路器、真空负荷开关、交联电缆、绝缘导线、箱式变压器、环网开关柜,以及调度管理自动化等先进设备,将城网的供电、管理水平提高到新的台阶。

尽管如此,当前的城网建设和供电水平仍远不能满足用电的需求,主要存在以下突出问题:

(1)供电能力不足。城网设备的容载比低,电源出力不足,在关键部位存在“卡脖子”现象,致使在电源能力充足的情况下,有电也送不出。在许多地区往往要采取计划限电和轮休等办法来暂缓供需矛盾。

(2)供电可靠率低。由于城网结构薄弱,设备陈旧,故障多,检修、试验、更换多,造成经常计划或非计划停电。

(3)线损率高。近年来我国城网平均线损率都在 8% 以上,造成能量的极大浪费,增加运行成本。由于电网设备配置不当,结线不合理,造成电能的重复传递和设备容量不足,使其过载传送,造成损耗超限,甚至设备过热酿成事故。

近年来,城市建设的飞速发展,现代化的城市管理,对电网的建设、运行管理提出更高的要求。不但在供电的数量和质量上必须满足现代经济技术的需要,而且在市容景观、环保、绿化等多方面也必须与之相匹配,使其成为现代化城市美景的一个重要组成部分。

第二章 城市电网的主要组成部分

本书介绍的城市电网,是指供电给城区和近郊用电负荷的电力网络,不包括城市里的发电厂及其升压变电站部分,即所指的主要组成为以下几个部分:① 220kV 降压变电站;② 110kV 输电线路;③ 110kV 降压变电站;④ 35kV 输电线路;⑤ 35kV 降压变电站;⑥ 10kV 输电线路;⑦ 10kV 开闭所;⑧ 10kV 降压配电所;⑨ 0.38/0.22kV 低压用电线路等。如图 2.1 所示。

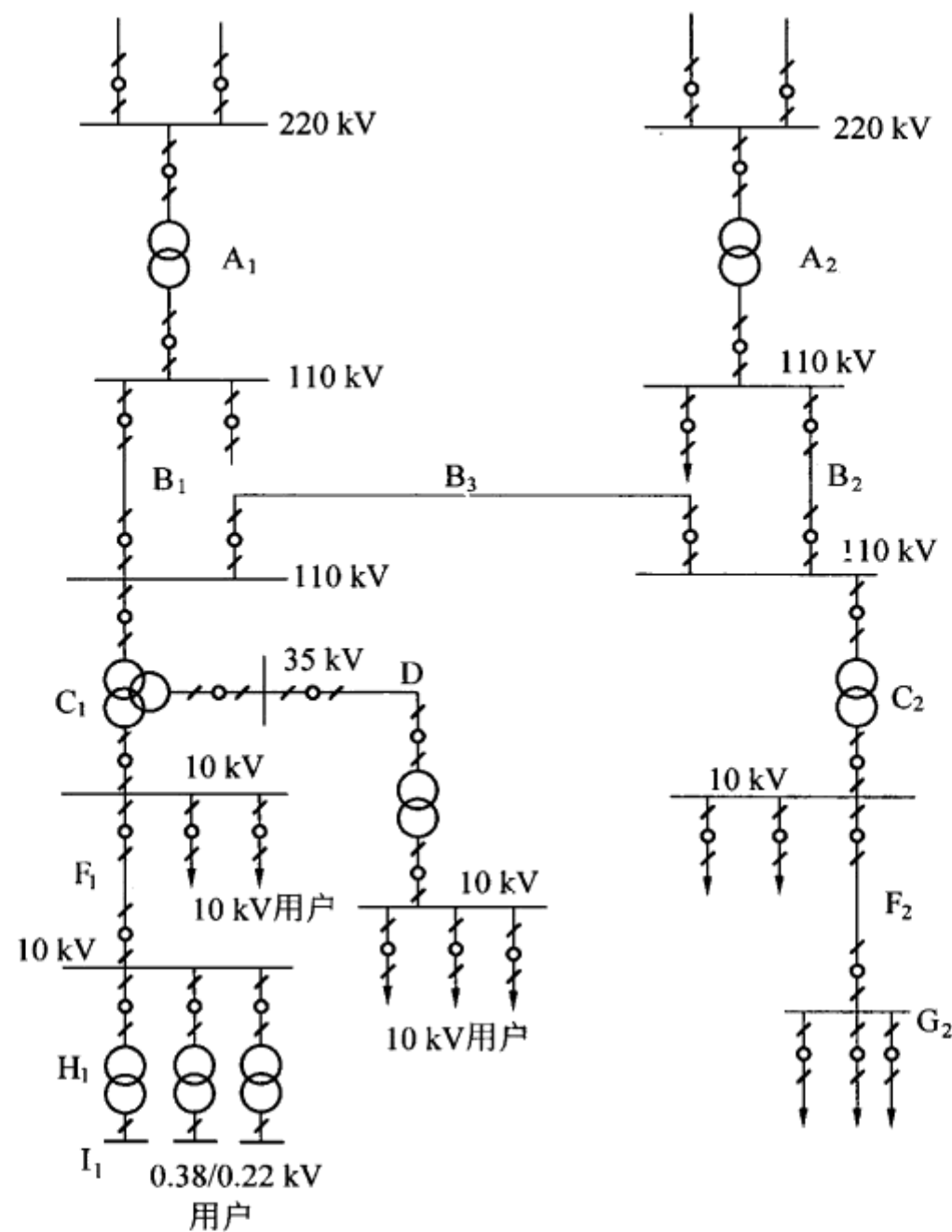


图 2.1 城市电力网的主要部分

第一节 220kV 降压变电站

220kV 降压变电站是城网的主要电源,其作用是将 220kV 系统送来的电能降压为

110kV(或 63、35kV),分送到城市各分区的 110kV(或 63、35kV)降压站。一般在 200MW 以上负荷的中等以上城市,都必须设置 220kV 的中心变电站。如果少数几个 110kV 降压站能满足供电的中小城市,可不设 220kV 降压站,但应留有满足扩大供电的余地。

220kV 降压站主要设备见图 2.2。尽管由于规模和功能的技术要求各异,变电站的结线形式和设备装置有较大的差别,但其基本设备并无根本不同,大致如以下所述。

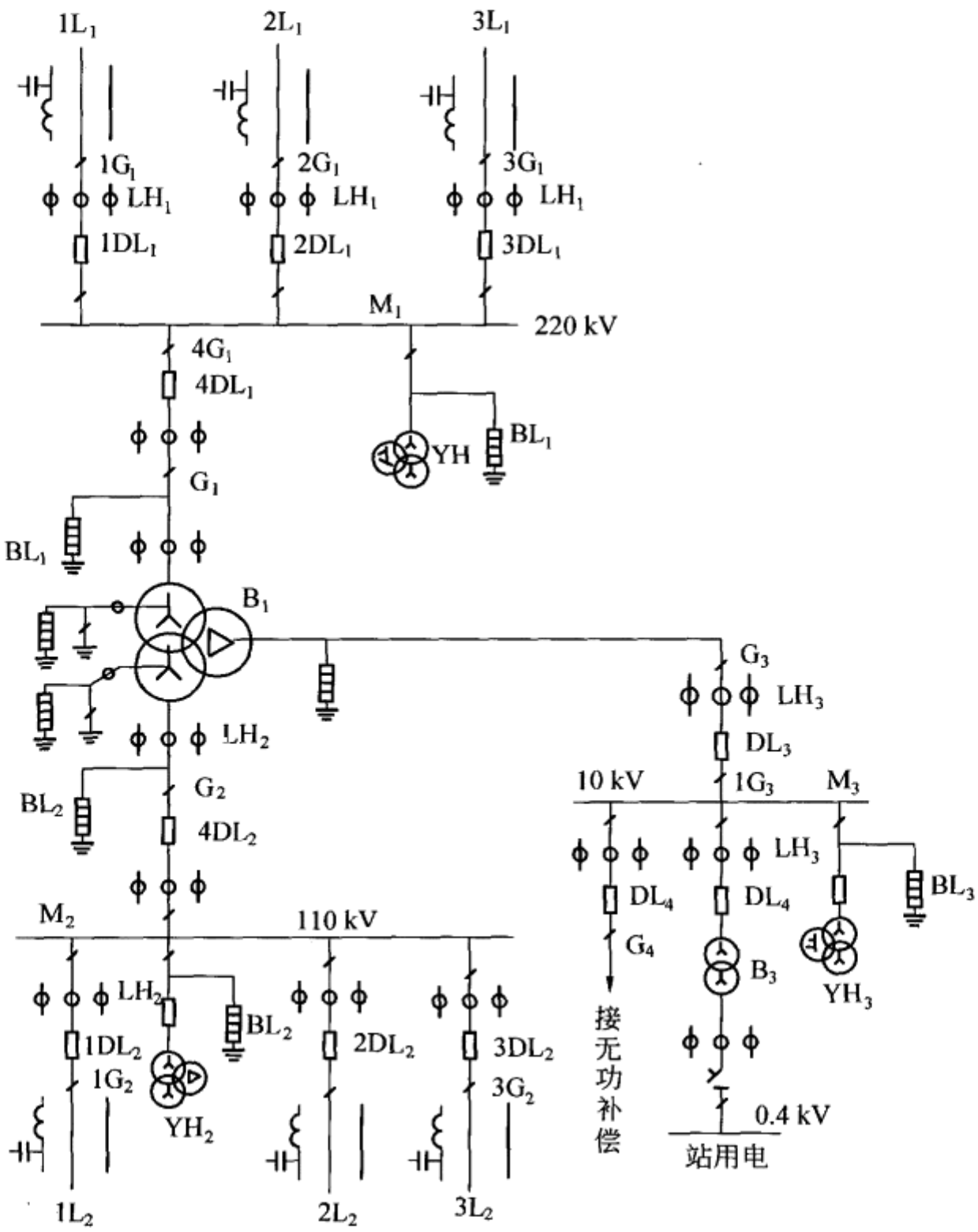


图 2.2 220kV 降压变电站设备简图

1 一次设备

1.1 降压主变压器 B_1 ,它是变电站的心脏,其作用是将 220kV 系统的电能降低电压后分送到各个受电降压站。因为是 220kV 级的变压器,是大型设备,其容量多在 90MV·A 以上。此类变电站都是城网的主要电源。为可靠供电,每站的设计规模都应在 2 台或以上。根据电网规划的不同要求,多为三线卷形式,其电压分别为 220/110/10、220/110/35 或 220/

63/35kV 等不同电压等级的组合。其调压分接头按不同要求,可为有载自动调压式,也可为无载人工调压式。变压器的调压中间抽头电压一般为额定值,即 220kV,上下抽头,自动调压式为 $\pm 8 \times (1.5 \sim 2.5) \%$,人工调压式为 $\pm (2 \sim 4) \times 2.5 \%$ 。变压器的冷却方式多为油浸强迫油循环风冷式,即采用潜油泵抽油上下、对流,在其冷却器上安装风扇,将其发出的热量吹走,使之冷却。城市及其近郊交通运输条件不受限制,为节约投资和方便管理,变压器多采用三相式,而较少采用单相式。常用的主变压器型号为 SFP₈—90000/220 型和 SFPEZ₈—150000/220 型,或容量更大的如 180 和 240MV·A 变压器。

1.2 220(110、35)kV 断路器(1、2、3DL)。它是变电站的重要设备,每条回路和主变进出线均装设断路器,它的作用是接通和切断主回路,实现停送电的目的,更重要的是在故障时切断故障电流,以保电力系统和设备的安全运行。因此,断路器的重要参数不仅是它的额定电压、电流值,更重要的是对短路电流的断开能力。

原有的断路器 220、110kV 多用少油式配置液压操作机构,如 220kV 型采用 SW₇—220/1600 型主断路器配以 CY₄ 型液压操作机构,每相 1 台。110kV 型采用 SW₇—110/1600 型主断路器,配以 CY₄ 型液压操作机构,三相共合 1 台。35kV 型多用多油式断路器,如 DW₁₂—35 型配以 CD₁₁—XG 型电磁操作机构,三相共合 1 台。

技术的不断进步,新产品不断出现,新式的断路器逐渐取代老式设备。如目前推广使用的六氟化硫(SF₆)开关,和六氟化硫气体绝缘的组合电器(GIS);220kV 系统,采用 220kVSFM 型,额定电流 2 000~4 000A SF₆ 开关,配 250—SFM—40B 型气动操作机构,每相 1 台。110kV 系统采用 110kV SFM 型额定电流 2 000~4 000A SF₆ 开关,配 110—SFM40 型气动操作机构,三相共合 1 台。35kV 系统采用 LW₉—35 型额定电流 1 250~2 500A 户外式或 LN₉—35 型户内式 SF₆ 断路器,配以 CT15 型弹簧操作机构。

1.3 220(110、35、10)kV 隔离开关(G₁、G₂、G₃、G₄)俗称“刀闸”,它的作用是在停电检修时,将高压电与被检修的设备隔离开,一般刀闸还带有接地刀,用其使非带电部分良好接地,使作业人员得以安全工作。由于这种开关不带灭弧装置,只能在电路断开状态下(无电流)进行分合操作。因此,在操作这种开关时,必须是所在回路中的断路器断开的状态下进行。因为它是工作在主电路中,必须通过很大的负荷电流,所以要保证在通路时接触良好、顺利通流。否则在较大负荷电流通过时,会引起触头发热烧损,从而引发事故。电力系统在重负荷时运行发生此类故障屡见不鲜。因此操作时要特别注意此点。同时检修维护人员要加强维护其操作的灵活性和触头的良好接触。220kV 系统常采用 GW₇—220(或 220D)型,配以 CYG—1 电动液压机构或 CS—G₂ 型手动操作机构。110kV 系统常采用 GW₇—110(或 110D)型,配以 CS₁—XG 型手动操作机构。35kV 系统常采用 GW₅—(35D)型配以 CS—G 型手动操作机构。10kV 系统常采用 GN₁₉₍₂₂₎—10 型户内式隔离开关,配以 CS₆—1T 型手动操作机构。

1.4 220(110、35)kV 电流、电压互感器(LH, YH)简称 CT, PT。它们的作用是将一次侧(主电路)的大电流、高电压变换为二次侧的小电流、低电压,提供给二次设备能承受的测量、控制及继电保护之用,二次额定电流一般为 5A,也有 1A 的,二次额定电压为 100V。用于测量和计量用的互感器,其准确级应不低于 0.5 级,即其变比误差(在额定负荷以内)应不大于 0.5%。

1.5 220(110、35、10)kV 避雷器(BL)。它的作用是当系统电压高于其放电电压时,能