

矿山供电与井下照明 安全技术实用全书

主编:王振华



编辑委员会

主 编：王振华

撰稿人：(排名不分先后)

彭志源 童一秋 黄雨三 杨贺男

徐帮学 纪康宝 王振华 李 青

赵 旭 刘 明 王 丽 李 明

前 言

矿山供电与井下照明安全是保证矿山安全生产的重要条件。当前,我国矿山供电与照明还存在较多很严重的问题:过压、漏电、短路以及电气设备的长期过载等问题层出不穷。

矿井由于其特殊性、经常发生人身触电、漏电、过流、单相运转、零电压和短路等电气事故,为了让矿山企业加强生产时的警惕性,并提高事故预防的能力。我们从提高矿山企业供电与照明人员的专业安全技术出发,编写了本书。

本书的主要内容分为以下六个部分:

- 第一编 矿山供电与井下照明概论
- 第二编 矿山供电系统的设计
- 第三编 矿山供电设备与变配电所管理
- 第四编 矿山供电安全技术概论
- 第五编 矿山地面供电安全技术
- 第六编 井下供电与照明安全技术

由于资料与时间的限制,在本书编写过程中难免会有疏漏和错误之外,请读者谅解。

编者

目 录

第一编 矿山供电与井下照明概论

| | |
|--------------------------|------|
| 第一章 矿山供电概述 | (3) |
| 第一节 概述 | (3) |
| 第二节 电力系统的基本概念 | (5) |
| 第三节 矿山电网 | (8) |
| 第四节 矿山供电的电压等级 | (16) |
| 第二章 矿井供电系统 | (19) |
| 第一节 负荷的分级 | (19) |
| 第二节 井下供电环境的特点及供电要求 | (19) |
| 第三节 矿井供电系统 | (22) |
| 第三章 矿山变电所 | (29) |
| 第一节 矿山地面变电所 | (29) |
| 第二节 井下中央变电所 | (33) |
| 第三节 采区变电所 | (35) |
| 第四节 综采工作面供电与工作面配电点 | (39) |
| 第四章 矿山井下照明概述 | (43) |
| 第一节 照明技术的基本概念 | (43) |
| 第二节 电气光源 | (46) |
| 第三节 矿用照明灯具 | (49) |
| 第四节 井下照明灯的选择 | (52) |
| 第五节 矿井照明设备及照明线路 | (55) |

| | |
|--------------------------|-------------|
| 第六节 可控硅直流变压器 | (65) |
| 第七节 矿灯及充电设备 | (66) |
| 第五章 矿井信号与通讯 | (70) |
| 第一节 概 述 | (70) |
| 第二节 井下信号设备 | (71) |
| 第三节 采区信号系统 | (74) |
| 第四节 提升信号系统 | (77) |
| 第五节 井下电机车运输信号 | (83) |
| 第六节 矿山电话通信 | (85) |

第二编 矿山供电系统的设计

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 第一章 供电线路电力负荷的计算 | (99) |
| 第一节 电力负荷及计算 | (99) |
| 第二节 功率因数的改善 | (109) |
| 第三节 电力线路 | (113) |
| 第四节 导线截面的选择 | (132) |
| 第二章 变配电所设备布置 | (148) |
| 第一节 概述 | (148) |
| 第二节 屋外布置 | (150) |
| 第三节 屋内布置 | (157) |
| 第四节 6/0.4~0.23kV 变电所(亭) | (181) |
| 第五节 有关变配电所设计的土建资料 | (209) |
| 第三章 变电所设备选型计算 | (212) |
| 第四章 矿山电气试验 | (246) |
| 第一节 导体和绝缘体的电特性 | (246) |
| 第二节 非破坏性试验 | (251) |
| 第三节 耐压试验 | (260) |
| 第四节 直流电阻的测量 | (264) |

| | | |
|------------|---------------------------|--------------|
| 第五节 | 绝缘油试验及气相色谱分析 | (267) |
| 第六节 | 电气设备的试验项目、周期及其标准 | (268) |
| 第五章 | 矿山节电及电气化指标 | (289) |
| 第一节 | 矿山节电 | (289) |
| 第二节 | 功率因数及其补偿 | (296) |
| 第三节 | 电费计算法 | (306) |
| 第四节 | 主要电气化指标 | (308) |
| 第六章 | 井下供电设计计算 | (310) |
| 第一节 | 概 述 | (310) |
| 第二节 | 变电所及配电点位置的确定 | (313) |
| 第三节 | 负荷统计及变电所容量选择 | (314) |
| 第四节 | 采区供电系统的拟定 | (319) |
| 第五节 | 高压配电装置及电缆选择 | (322) |
| 第六节 | 井下低压电缆选择 | (330) |
| 第七节 | 低压电器设备选择 | (343) |
| 第八节 | 过电流保护装置整定计算 | (345) |
| 第九节 | 变电所硐室设备布置图和供电系统图的绘制 | (362) |

第三编 矿山供电设备与变配电所管理

| | | |
|------------|-----------------------|--------------|
| 第一章 | 矿井供电设备概述 | (369) |
| 第一节 | 矿用变压器 | (369) |
| 第二节 | 矿用隔爆型高压配电箱 | (372) |
| 第三节 | 低压配电开关 | (376) |
| 第四节 | 矿用隔爆型移动变电站 | (382) |
| 第二章 | 矿用电气设备 | (392) |
| 第一节 | 概 述 | (392) |
| 第二节 | 矿用隔爆型高压配电箱 | (396) |
| 第三节 | 矿用隔爆型低压自动馈电开关 | (409) |

| | | |
|------------|------------------------------|--------------|
| 第四节 | 矿用隔爆型磁力起动器 | (415) |
| 第五节 | 矿用变压器 | (431) |
| 第六节 | KSGZY 型矿用隔爆组合式移动变电站 | (435) |
| 第七节 | 矿用电缆 | (438) |
| 第三章 | 高低压地面供电设备选择 | (447) |
| 第一节 | 概 述 | (447) |
| 第二节 | 母线的选择 | (460) |
| 第三节 | 母线支柱绝缘子及穿墙套管选择 | (482) |
| 第四节 | 高压开关设备与熔断器的选择 | (487) |
| 第五节 | 限流电抗器的选择 | (492) |
| 第六节 | 电流互感器的校验 | (495) |
| 第七节 | 低压电器的选择 | (506) |
| 第八节 | 高海拔地区电气设备的选择 | (519) |
| 第九节 | 计算举例 | (522) |
| 第四章 | 矿用电缆 | (529) |
| 第一节 | 矿用电缆的型号和用途 | (529) |
| 第二节 | 矿用电缆的选择 | (533) |
| 第三节 | 电缆的连接、敷设、维护和检查 | (537) |
| 第四节 | 电缆故障的原因及判定 | (540) |
| 第五章 | 矿井变（配）电所的运行管理 | (543) |
| 第一节 | 变（配）电所必须配备的安全绝缘用具和安全设施 | (543) |
| 第二节 | 变（配）电所应建立的各种规章制度 | (544) |
| 第三节 | 变（配）电所应具备的各种技术资料、图纸及记录 | (551) |
| 第四节 | 对变（配）电所的环境管理及值班人员的要求 | (552) |

第四编 矿山供电安全技术概论

| | | |
|------------|-------------------------|--------------|
| 第一章 | 矿山供电安全技术概述 | (557) |
| 第一节 | 触电的危险及预防 | (557) |

| | | |
|------------|------------------------|--------------|
| 第二节 | 漏电保护装置 | (561) |
| 第三节 | 保护接地与接零 | (568) |
| 第四节 | 煤电钻的综合保护装置 | (573) |
| 第二章 | 电气安全保护 | (577) |
| 第一节 | 保护接地和接零 | (577) |
| 第二节 | 过电压及其保护 | (588) |
| 第三节 | 触电的危害及其防护 | (605) |
| 第三章 | 电工测量 | (625) |
| 第一节 | 电流与电压的测量 | (626) |
| 第二节 | 功率与电能的测量 | (630) |
| 第三节 | 万用表的使用 | (637) |
| 第四节 | 钳形电流表和兆欧表的使用方法 | (641) |
| 第四章 | 电气安全与触电急救 | (645) |
| 第一节 | 触电电流对人体的影响 | (645) |
| 第二节 | 井上变(配)电所的安全工作 | (647) |
| 第三节 | 架空输电线路的安全工作 | (656) |
| 第四节 | 其它电气安全工作规定 | (664) |
| 第五节 | 井下供电的安全工作 | (666) |
| 第六节 | 电工安全用具 | (674) |
| 第七节 | 触电的急救 | (679) |

第五编 矿山地面供电安全技术

| | | |
|------------|-------------------------|--------------|
| 第一章 | 矿山地面接地与接零 | (691) |
| 第一节 | 接地与接零 | (691) |
| 第四节 | 接地装置的敷设 | (727) |
| 第三节 | 特殊电气设备的接地 | (739) |
| 第二章 | 矿山地面供电线路概述 | (753) |
| 第一节 | 电力线路 | (753) |

| | | |
|------------|---------------------------------------|--------------|
| 第二节 | 导体截面的选择 | (778) |
| 第三章 | 矿井地面变(配)电所电气设备的运行和维护 | (801) |
| 第一节 | 变压器的运行和维护 | (801) |
| 第二节 | 互感器的运行和维护 | (831) |
| 第三节 | 隔离开关、断路器和母线的运行和维护 | (834) |
| 第四节 | 电力电容器的运行和维护 | (848) |
| 第五节 | 避雷器的运行和维护 | (854) |
| 第六节 | 直流系统的运行和维护 | (865) |
| 第四章 | 矿井地面变(配)电所主要电气设备的预防性绝缘试验 | (881) |
| 第一节 | 电力变压器试验(包括消弧线圈及油浸电抗器试验) | (881) |
| 第二节 | 油断路器试验 | (891) |
| 第三节 | 空气断路器试验 | (897) |
| 第四节 | 互感器绝缘试验 | (898) |
| 第五节 | 套管绝缘试验 | (901) |
| 第六节 | 支柱绝缘子和悬式绝缘子绝缘试验 | (904) |
| 第七节 | 隔离开关和母线绝缘 | (909) |
| 第八节 | 电力电缆绝缘试验 | (911) |
| 第九节 | 阀型避雷器试验 | (916) |
| 第十节 | 电力电容器绝缘试验 | (926) |
| 第十一节 | 干式电抗器绝缘试验 | (930) |
| 第十二节 | 绝缘油试验 | (931) |
| 第十三节 | 绝缘保安用具试验 | (934) |

第六编 井下供电与照明安全技术

| | | |
|------------|-------------------|--------------|
| 第一章 | 井下供电 | (939) |
| 第一节 | 井下供电系统 | (939) |
| 第二节 | 井下中央变电所 | (942) |
| 第三节 | 采区变电所 | (943) |

| | | |
|------------|-------------------------------|--------|
| 第四节 | 井下高压网路设备的选择计算 | (945) |
| 第五节 | 采区供电计算 | (949) |
| 第二章 | 井下安全供电技术概述 | (975) |
| 第一节 | 井下供电系统的特点 | (975) |
| 第二节 | 煤矿井下电气事故危害及预防措施 | (975) |
| 第三节 | 关于井下变压器中性点禁止接地问题 | (978) |
| 第四节 | 煤矿井下保护接地 | (983) |
| 第五节 | 煤矿井下漏电保护 | (990) |
| 第六节 | 煤矿井下低压电网过流保护 | (1006) |
| 第三章 | 井下安全供电及保护装置 | (1048) |
| 第一节 | 概述 | (1048) |
| 第二节 | 过流保护装置 | (1048) |
| 第三节 | 漏电保护装置 | (1068) |
| 第四节 | 井下保护接地装置 | (1092) |
| 第五节 | 煤电钻综合保护装置 | (1101) |
| 第四章 | 井下电气保护 | (1112) |
| 第一节 | 概述 | (1112) |
| 第二节 | 低压电网的电流保护和电压保护 | (1113) |
| 第三节 | 采区低压电网的漏电保护 | (1121) |
| 第四节 | 井下电网的保护接地 | (1126) |
| 第五节 | JDB 电动机综合保护器 | (1131) |
| 第五章 | 井下低压电网可能造成的危害及预防 | (1133) |
| 第一节 | 井下电气设备的工作条件 | (1133) |
| 第二节 | 煤矿井下低压电网可能造成的危害及预防方法 | (1133) |
| 第六章 | 井下保护接地 | (1135) |
| 第一节 | 保护接地的作用 | (1135) |
| 第二节 | 井下保护接地网 | (1136) |
| 第三节 | 井下单个接地极的接地电阻计算 | (1139) |
| 第四节 | 局部接地极并联接地的接地电阻计算及效果分析 | (1140) |
| 第五节 | 井下接地装置的安装 | (1145) |
| 第六节 | 接地装置的检查和试验 | (1150) |
| 第七章 | 矿井下电网的漏电保护 | (1153) |

| | |
|--------------------------------|---------------|
| 第一节 概述 | (1153) |
| 第二节 井下低压电网安全条件分析 | (1155) |
| 第三节 检漏继电器 | (1190) |
| 第四节 井下低压电网选择性漏电保护系统及装置 | (1219) |
| 第五节 安装、运行与维护 | (1240) |
| 第六节 矿井低压电网对地绝缘电阻值和电容值的测量 | (1246) |
| 第八章 井下过流保护 | (1255) |
| 第一节 井下低压电网短路电流计算 | (1255) |
| 第二节 低压熔断器及其选择计算 | (1345) |
| 第三节 低压过电流继电器的整定计算 | (1366) |
| 第四节 热继电器及其整定计算 | (1372) |
| 第五节 电子式过电流保护装置 | (1376) |
| 第六节 高压配电箱的过电流继电器整定计算 | (1406) |

第一编

矿山供电与 井下照明概论

第一章 矿山供电概述

第一节 概述

一、矿山供电的重要性和基本要求

电力是现代煤炭工业的主要动力,在煤炭生产中占有十分重要的地位。电力可以方便、经济地远距离输送和分配,也可以方便地和其它各种能量形式相互转换,并且在使用中还具有便于调度、测量和实现自动控制的优点;在煤炭企业中,矿山的电气化还是煤炭生产自动化及最新科学技术成就在煤矿推广应用的技术基础;从安全的角度上讲,由于煤炭生产中存在着各种自然灾害,而这些灾害的预防、预报和排除,也直接或间接地取决于矿山供电的正常与否。由此可见,矿山供电工作不仅直接影响矿山企业的高效生产,而且关系着矿井和工作人员的人身安全。因此,煤炭企业对供电工作提出了严格的要求。

1. 供电可靠

供电可靠就是要求不间断供电。供电中断时不仅会影响矿井的原煤产量,而且可能损坏设备,甚至发生人身事故和造成矿井的破坏。例如矿井主要运输设备停电,会造成大量的减产;矿井提升设备突然停电,会使提升机紧急制动,产生很大的冲击拉力,使钢丝绳损坏;另外,煤矿井下的空气中含有瓦斯和一氧化碳等有害气体,并且有水不断涌出,突然停电,将会使排水和通风设备停止运转,可能造成水淹矿井,工作人员窒息死亡和引起瓦斯、煤尘爆炸,危及矿井和人身安全。因此,对煤矿中的重要用电设备,要求采用两个独立电源的双回路或环式供电方式,两路电源线路互为备用,当一路电源线路故障或停电检修时,则由另一路电源线路继续供电,以保证供电的可靠性。

2. 供电安全

供电安全具有两个方面的意义,即防止人身触电和防止由于电气设备的损坏和故障引起的电气火灾及瓦斯、煤尘爆炸事故。

煤矿井下空间狭小、潮湿阴暗,井下电气设备的受潮和机械损伤容易发生人身触电事故;供电线路和用电设备的损伤和故障产生的电气火花,会造成火灾或瓦斯、煤尘爆炸事故。因此,为了避免事故的发生,在煤矿供电工作中,应按照《煤矿安全规程》的有关规定,采取防爆、防触电、过负荷及过流保护等一系列技术措施和管理制度,消除各种不安全因素,确保供电的安全。

3. 保证供电质量

衡量供电质量高低的技术指标是频率的稳定性和电压的偏移。交流电的频率对交流电动机的性能有着直接的影响,频率的变动会影响交流电动机的转速。按照我国《电力工业技术管理法规》的规定,对于额定频率为50Hz的工业用交流电,其频率相对于额定值的偏

差不允许超过 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$, 即为额定频率的 $\pm 0.4 \sim \pm 1\%$ 。一般来说, 频率的保证是电力部门的任务, 但随着煤炭企业大功率晶闸管整流装置的应用, 使配电网中的谐波分量增加, 引起一些设备(如变压器、电缆和电力电容器等)的损耗增大, 造成绝缘老化、损坏而出现事故。所以, 必要时应采取相应的技术措施, 保证供电频率的稳定。

电压偏移是衡量供电质量的又一重要指标。所谓电压偏移, 是指用电设备在运行中, 实际的端电压与其额定电压的偏差。用电设备对一定范围内的电压偏移具有适应能力, 但随着电压偏移的增大, 用电设备的性能将会恶化, 严重时会造成设备的损坏。例如, 白炽灯在超过额定电压 5% 的电压下工作时, 其工作寿命将缩短一半; 交流异步电动机在一定的转速下, 转矩和电压的平方成正比, 当电压降为额定电压的 90% 时, 电动机的转矩仅为额定转矩的 81% 左右, 从而造成电动机转差率增加和电流上升, 使电动机绝缘老化, 甚至烧毁电动机。因此, 我国对用电设备电压偏移的允许值做了具体的规定, 例如电动机的电压偏移不允许超过其额定电压的 $\pm 5\%$, 白炽灯的电压偏移不允许超过其额定值的 $+3\%$ 和 -2.5% 。

4. 技术经济合理

技术经济合理是指在满足上述三项要求的前提下, 使供电系统的投资和运行达到最佳的经济效益。为此, 在供电设计中应考虑以下几个方面的因素。

- (1) 尽量减少矿山变电所的基本建设投资;
- (2) 尽量降低设备材料及有色金属的消耗量;
- (3) 注意降低供电系统中的电能损耗和维护费用。

此外, 供电系统应力求简单适用, 操作方便, 并留有发展、扩建余地。

上述各项基本要求, 是矿山供电工作的原则, 在工作中它们即是相互关联又是相互制约的。在解决具体问题时, 应进行综合分析, 以求得到最佳的技术和经济效益。

二、矿山电力负荷的分类

矿山供电系统中的各类用电设备称为矿山电力负荷。在矿山企业中, 由于各类用电设备的重要性和运行特点不完全一样, 它们对供电可靠性的要求也各不相同。根据矿山企业中电力负荷的重要性及对供电可靠性的不同要求, 把矿山电力负荷分为以下三类:

1. 一类负荷(又称一级负荷)

突然中断供电会造成人身伤亡事故或损坏重要设备, 给企业带来重大经济损失的用电负荷, 均属于一类负荷。在电力系统中, 矿山企业属于一类负荷; 在矿山供电系统中, 矿井主要通风机和分区风机, 井下主排水泵及立井经常提人的提升机等都属于一类负荷。对一类负荷应采用来自两个独立电源的双回路或环式供电。

所谓“独立电源”是指在数个电源中, 其中任一个电源发生故障或检修停电时, 都不影响其它电源的继续供电。符合下列条件之一的电源可认为是两个独立电源:

- (1) 两个电源之间无联系;
- (2) 两个电源之间有联系, 但符合下列要求:
 - ①发生任何一种故障时, 两个电源的任何部分均不致同时受到破坏;

②发生任何一种故障, 且保护装置动作正常时, 应有一路电源不中断供电。并且在发生任何一种故障且主保护失灵, 以致两个电源均中断供电后, 应能在有人值班的处所完成必要的操作, 迅速恢复一个电源的供电。

在矿山供电系统中,矿山地面变电所一般设有两台主变压器,分别与两个独立电源相联接。两路电源之间设有联络开关,可以方便地进行电源线路的转换,保证连续供电。两台主变压器的二次侧分别与一段6kV母线相联接,当一台变压器或6kV母线故障或检修时,另一台变压器或母线仍可以保证继续供电。矿山地面变电所的这两段6kV母线,可以看作是两个独立电源。因此,矿山的一类负荷,其两条电源线路应分别由地面变电所的两段6kV母线上引出。

2. 二类负荷(又称二级负荷)

突然停电会造成大量减产,或使生产停顿较长时间后才能恢复,给企业带来较大经济损失的用电负荷属于二类负荷。在矿山供电系统中,矿山集中运煤、提煤设备,空气压缩机、井底车场的整流设备及给综合机械化采煤工作面供电的采区变电所等都属于二类负荷。

对于大型煤矿的二类负荷,一般采用来自地面变电所不同母线的双回路或环式供电线路对其供电;对中、小型煤矿的二类负荷,一般采用单回路的专用线供电,并应库存有一定数量的变压器、电缆等供电设备,以便及时更换。必要时也可通过技术经济方案的比较来确定是否需要备用电源。

3. 三类负荷(又称三级负荷)

所有不属于一类和二类负荷的用户均列为三类负荷。如矿山的辅助性生产单位,机修厂、仓库、料场、办公楼及非生产照明和生活福利设施等都属于三类负荷。对三类负荷可采用单回路供电,并可以多用户合用一路电源,而不需要设置专用线和备用电源。

将矿山电力负荷进行分类,有利于实现经济、合理的供电。对于生产中的重要负荷,应首先保证其供电的可靠性和安全性;对于相对次要的负荷,就应注意考虑其供电的经济性。在供电系统出现故障或检修而需要限制用电量时,可根据负荷的等级,先停三类负荷的用电,必要时再停二类负荷的用电,确保一类负荷用电。

第二节 电力系统的基本概念

一、电力系统

电能有一个产生、传输、分配和使用的过程,该过程由发电、变电、输电、配电及用电设备和设施在瞬间完成。一般,电能由发电厂产生后,先经过升压,然后利用输电线路进行传输,再经过降压、分配后供给各用户使用。利用各种不同电压等级的电力线路,将一些发电厂、变电所和用户联系起来,所构成的发电、变电、输电、配电和用电的系统,称为电力系统。图1-1为一个典型的电力系统示意图。

1. 发电厂

电能是一种二次能源,它由其它形式的能源转换而来。发电厂(发电站)就是将自然界蕴藏的各种能源转换为电能的工厂。

发电厂按其所利用的能源不同可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂和太阳能发电厂等。根据我国的能源情况,水利资源特别丰富,居世界第一位,煤炭、石油等燃料的蕴藏量也居世界前列。因此,在我国电力系统中的

发电厂主要是火力发电厂和水力发电厂。利用原子能发电,是一种有着广泛发展前景的发电方式,目前我国已拥有了投入运行的原子能发电厂。由于原子能是取之不尽、用之不竭的巨大能源(1kg 铀全部裂变产生的热量相当于 2500t 优质煤燃烧产生的热量),并且原子能燃料裂变时不需要空气助燃。因此,可以将原子能发电厂建造在地下、水下、山峒和高原地区,它为人类展现了电力工业发展的美好前景。

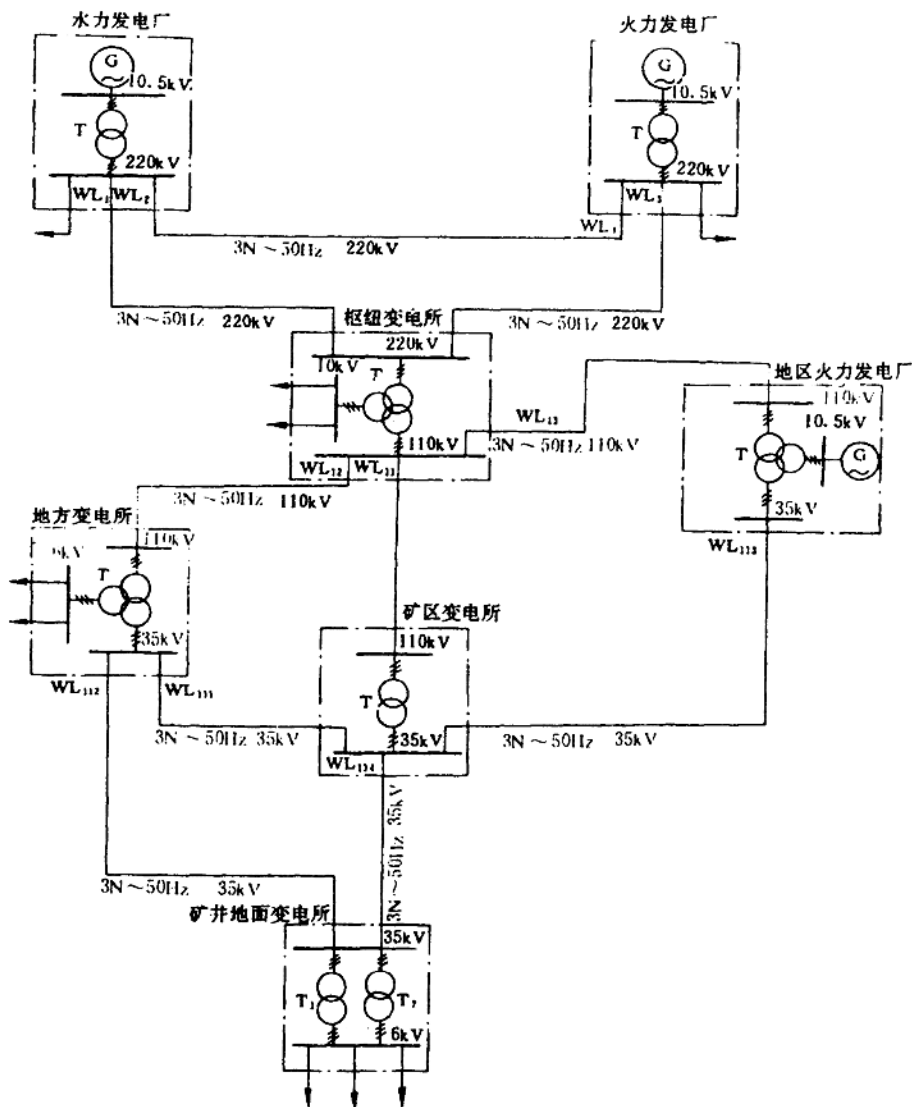


图 1-1 典型的电力系统

由于受到技术、材料和经济等因素的限制,发电机的输出电压一般不易太高。在电力