

高职高专规划示范教材

供 配 电 技 术

主 编 葛廷友

副主编 张 晶 何 军 何根茂

主 审 何首贤



北京航空航天大学出版社



高职高专规划示范教材

供配电技术

主 编 葛廷友

副主编 张 晶 何 军 何根茂

主 审 何首贤

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书共有三部分,22章。第一部分为电力网,主要内容有电力系统的基本概念、电力线路、电力网的等值电路、电能损耗及无功补偿、电力网导线截面积的选择、安全用电与节约用电。第二部分为电力工程,主要内容有电弧的形成与熄灭、发电厂和变电所电气设备、短路电流的计算、电气设备的选择、配电装置和接地装置、变电所的二次接线、变电所的自动装置。第三部分为电力系统继电保护,主要内容有电力系统继电保护概述、电网的电流保护、电网的距离保护、电网的差动保护、电网高频保护、自动重合闸、电力变压器的继电保护、电力电容器保护、微型计算机继电保护等。本书的附录部分给出了电力网的常用参数,每章均附有复习思考题。

本书可作为高职高专院校相关专业教材,也可作为电力部门的电气工程技术人员培训教材,还可供电气技术爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术 / 葛廷友主编. —北京:北京航空航天大学出版社, 2009.8

ISBN 978-7-81124-771-8

I. 供… II. 葛… III. ①供电—高等学校—教材②配电系统—高等学校—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 070066 号

供配电技术

主 编 葛廷友

副主编 张 晶 何 军 何根茂

主 审 何首贤

责任编辑 董 瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:20.5 字数:525 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-81124-771-8 定价:34.00 元

前 言

本书在总结、吸取国内外同类教材经验的基础上,更加注重理论上的系统性和工程上的实用性,并介绍了大量当前电气工程采用的最新设备和最新知识。本书的特点如下:

- (1) 侧重于基本结构和基本原理的阐述,并强调实际应用。
- (2) 内容叙述力求简明扼要,通俗易懂,深入浅出,富于启发性。
- (3) 图形、文字符号均采用最新国家标准。

本教材共分三部分:电力网、电力工程和电力系统继电保护将“电力网”、“电力工程”及“电力系统继电保护”三门课程有机结合,既可作为电气自动化技术等专业的供配电技术教材,又可作为供用电技术等电力专业的电力网、电力工程、电力系统继电保护三门课程的教材。本教材的附录部分给出了电力网的常用参数,每章后面均附有复习思考题,方便读者学习。

本课程的授课学时为 120 学时,每章讲授的学时数和教材内容的取舍,各校教师可根据情况具体安排。

本书由大连水产学院职业技术学院葛廷友担任主编,并负责全书的统稿工作。第 1~3 章由四川职业技术学院何军编写,第 4~6 章由湖南永州职业技术学院何根茂编写,第 7~13 章由大连水产学院职业技术学院张晶编写,第 14~22 章及附录由大连水产学院职业技术学院葛廷友编写。大连水产学院职业技术学院何首贤教授担任本书的主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中不足和错误之处欢迎广大读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

第一部分 电力网

第 1 章 电力系统的基本概念	1
1.1 电力系统概述	1
1.1.1 电力系统的组成	1
1.1.2 电力系统的特点和运行的基本要求	4
1.2 电力负荷和负荷曲线	5
1.2.1 电力负荷的分级及其对供电的要求	5
1.2.2 负荷曲线	6
1.2.3 与负荷曲线和负荷计算有关的物理量	7
1.3 电力系统中性点的接地方式	10
1.3.1 中性点不接地系统	10
1.3.2 中性点经消弧线圈接地系统	12
1.3.3 中性点直接接地系统	13
1.3.4 各种接地方式的比较及应用范围	13
复习思考题	14
第 2 章 电力线路	15
2.1 杆 塔	15
2.1.1 钢筋混凝土电杆	15
2.1.2 铁 塔	17
2.2 电力线路	17
2.2.1 电力线路及其接线	17
2.2.2 架空线路的结构和敷设	18
2.2.3 电力电缆线路	21
2.3 金 具	27
2.3.1 金具的分类	27
2.3.2 电缆金具	28
2.3.3 金具的选择	28
复习思考题	29
第 3 章 电力网的等值电路	30
3.1 电力线路的参数及其等值电路	30
	1

3.2 变压器的参数及其等值电路	32
复习思考题	34
第4章 电能损耗及无功补偿	35
4.1 配电网功率损耗与电能损失	35
4.1.1 有功功率损耗的主要类型	35
4.1.2 电能损耗的计算	36
4.2 线损理论计算	36
4.2.1 线损理论计算的意义	36
4.2.2 线损理论计算的目的	36
4.2.3 线损理论计算的要求	37
4.2.4 线损理论计算的设备资料和运行资料	37
4.2.5 线损理论计算的范围	38
4.2.6 线损理论计算的对象和方法	38
4.3 降低线损的技术措施	38
4.3.1 降低线损的建设性措施	39
4.3.2 降低线损的运行措施	40
复习思考题	40
第5章 电力网导线截面积的选择	41
5.1 确定导线截面积的基本原则	41
5.2 导线截面积的选择	41
5.2.1 按导线的允许载流量选择导线截面积	41
5.2.2 按机械强度选择导线截面积	45
5.2.3 按允许电压损失选择导线截面积	45
5.2.4 按经济电流密度选择导线截面积	46
复习思考题	47
第6章 安全用电与节约用电	48
6.1 人身触电的基本知识	48
6.1.1 触电的种类	48
6.1.2 电击和电伤	49
6.1.3 影响触电者触电时的危险程度的因素	50
6.1.4 防止触电的措施	51
6.1.5 触电急救办法	51
6.1.6 触电医疗救护方法	51
6.2 防雷与接地技术	51
6.2.1 防雷击	51
6.2.2 接地技术	53
6.3 电气设备的防火	56

6.3.1 电气火灾形成的原因	56
6.3.2 电气线路火灾的预防措施	56
6.3.3 电气火灾的扑救	57
6.4 节约用电	58
6.4.1 节约用电的意义	58
6.4.2 节约用电的一般措施	58
6.4.3 国家鼓励的节约用电措施	59
6.4.4 电力变压器的经济运行	59
复习思考题	61

第二部分 电力工程

第7章 电弧的形成与熄灭	62
7.1 电弧的形成	62
7.1.1 弧隙中导电质点的产生	62
7.1.2 电弧的产生与维持	63
7.2 电弧的熄灭	63
7.2.1 电弧中的去游离	63
7.2.2 交流电弧的电压和电流	64
7.2.3 交流电弧的熄灭	64
复习思考题	66
第8章 发电厂和变电所的电气设备	67
8.1 熔断器	67
8.1.1 熔断器的工作原理	67
8.1.2 熔断器的工作性能	67
8.1.3 熔断器的种类	69
8.2 隔离开关	69
8.2.1 隔离开关的用途、要求与分类	69
8.2.2 户内隔离开关	70
8.2.3 户外隔离开关	70
8.2.4 隔离开关的维护	71
8.3 高压断路器	73
8.3.1 SF ₆ 断路器	74
8.3.2 真空断路器	79
8.4 绝缘子和母线	83
8.4.1 绝缘子	83
8.4.2 母 线	84
8.5 互感器	85

8.5.1 电流互感器	86
8.5.2 电压互感器	89
8.6 电抗器	92
8.6.1 普通电抗器	92
8.6.2 分裂电抗器	93
8.7 避雷器	95
8.7.1 阀型避雷器	96
8.7.2 管型避雷器	96
8.7.3 氧化锌避雷器	97
8.7.4 保护间隙	98
8.7.5 避雷器的运行维护	98
8.8 电气主接线	98
8.8.1 单母线接线	99
8.8.2 双母线接线	101
8.8.3 无母线接线	104
复习思考题	107
第9章 短路电流的计算	108
9.1 概述	108
9.2 无限大容量系统三相短路电流的计算	109
9.2.1 无限大容量系统	109
9.2.2 三相短路电流的变化过程	109
9.2.3 冲击短路电流 i_{sh}	111
9.2.4 无限大容量系统三相短路电流的计算程序	112
9.3 发电机供电电路内三相短路	114
9.3.1 短路电流曲线	114
9.3.2 三相短路电流的一般计算方法	115
9.3.3 应用运算曲线求任意时刻短路电流周期分量的有效值	116
9.4 不对称短路电流的计算	118
9.4.1 对称分量法	118
9.4.2 各序分量电流各自产生各序分量的电压降	118
9.4.3 序阻抗和序网络图的拟制	119
9.4.4 不对称短路电流的计算(采用标么值)	121
复习思考题	122
第10章 电气设备的选择	123
10.1 电气设备的电动力及发热计算	123
10.1.1 两平行圆导体间的电动力	123
10.1.2 两平行矩形截面导体间的电动力	124

10.1.3 三相母线短路时的电动力	124
10.1.4 校验电气设备动稳定的方法	125
10.2 导体的发热计算	126
10.2.1 概 述	126
10.2.2 导体的长期发热计算	127
10.2.3 导体短路时的发热量计算	128
10.3 电气设备选择的一般条件	132
10.4 母线电缆及绝缘子的选择	133
10.4.1 母线的选择	133
10.4.2 电缆的选择	137
10.4.3 绝缘子的选择	138
10.5 高压断路器、隔离开关和熔断器的选择	139
10.5.1 高压断路器的选择	139
10.5.2 高压隔离开关的选择	140
10.5.3 熔断器的选择	140
10.6 互感器的选择	141
10.6.1 电流互感器的选择	141
10.6.2 电压互感器的选择	143
10.7 限流电抗器的选择	145
10.7.1 按额定电压选择	145
10.7.2 按额定电流选择	145
10.7.3 电抗百分值选择	146
10.7.4 热稳定和动稳定校验	147
10.8 变压器的选择	148
10.8.1 变压器容量的选择	148
10.8.2 变压器台数的选择	149
10.8.3 变压器类型的选择	149
复习思考题	149
第 11 章 配电装置和接地装置	150
11.1 配电装置	150
11.1.1 概 述	150
11.1.2 屋内外配电装置的安全净距	151
11.1.3 屋内配电装置	153
11.1.4 屋外配电装置	156
11.2 接地装置	158
11.2.1 接地装置的作用	159
11.2.2 接地装置的接地电阻允许值	160

11.2.3 接地装置的布置	162
复习思考题	163
第12章 变电所的二次接线	164
12.1 二次接线的图纸	164
12.1.1 原理接线图	164
12.1.2 展开接线图	164
12.1.3 屏面布置图	166
12.1.4 安装接线图	166
12.2 二次接线的安装工艺	168
12.2.1 展开接线图上二次回路编号	168
12.2.2 安装接线图二次回路编号	170
12.2.3 接线端子排的编号	171
12.2.4 连接导线的编号——相对编号法	172
复习思考题	172
第13章 变电所的自动装置	173
13.1 备用电源自动投入装置	173
13.1.1 对备用电源自动投入装置的要求	173
13.1.2 备用电源自动投入的基本原理	173
13.1.3 两路低电压电源互为备用的 APD 电路	174
13.2 电力线路的自动重合闸装置	175
13.2.1 对自动重合闸的要求	175
13.2.2 电气一次自动重合闸装置	176
复习思考题	178

第三部分 电力系统继电保护

第14章 电力系统继电保护概述	179
14.1 电力系统继电保护的作用	179
14.1.1 电力系统的故障和不正常运行状态及引起的后果	179
14.1.2 继电保护装置及其任务	179
14.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成	180
14.2.1 继电保护的基本原理	180
14.2.2 继电保护装置的组成	181
14.3 对继电保护的要求及继电保护技术的发展	181
14.3.1 对继电保护的要求	181
14.3.2 继电保护技术的发展史	183
复习思考题	183

第 15 章 电网的电流保护	184
15.1 单侧电源电网相间短路的电流保护	184
15.1.1 电磁型继电器	184
15.1.2 晶体管型继电器	186
15.1.3 电流互感器	187
15.1.4 无时限电流速断保护(电流Ⅰ段)	188
15.1.5 限时电流速断保护(电流Ⅱ段)	191
15.1.6 定时限电流保护(电流Ⅲ段)	193
15.1.7 电流三段保护小结	195
15.1.8 电流保护的接线方式	196
15.2 多侧电源电网相间短路的方向电流保护	198
15.2.1 方向性电流保护的工作原理	198
15.2.2 相间短路方向继电器的 90° 接线方式	200
15.2.3 整流型相间短路方向继电器的构成原理	201
15.2.4 方向性电流保护的整定计算和三相原理接线图	202
15.2.5 对方向性电流保护的评价	204
15.3 中性点直接接地电网中接地短路的零序电流及方向保护	204
15.3.1 接地故障时零序电流、零序电压及零序功率的特点	204
15.3.2 零序电流过滤器	204
15.3.3 零序电压互感器	205
15.3.4 零序电流速断保护(零序Ⅰ段)	206
15.3.5 限时零序电流速断保护(零序Ⅱ段)	206
15.3.6 定时限零序过电流保护(零序Ⅲ段)	207
15.3.7 方向性零序电流保护	208
15.3.8 对零序电流保护和方向性零序保护的评价	210
15.4 中性点非直接接地电网中单相接地故障的零序电压、电流及方向保护	210
15.4.1 中性点不接地电网中单相接地故障的特点	211
15.4.2 中性点经消弧线圈接地电网中单相接地故障的特点	212
15.4.3 绝缘监视	214
15.4.4 零序电流保护	215
复习思考题	215
第 16 章 电网的距离保护	216
16.1 距离保护概述	216
16.1.1 距离保护的基本概念	216
16.1.2 时限特性	217
16.1.3 距离保护的组成	217

16.2 阻抗继电器	218
16.2.1 概述	218
16.2.2 具有圆及直线动作特性的阻抗继电器	219
16.3 影响距离保护正确工作的因素及采取的措施	222
16.3.1 短路点过渡电阻对距离保护的影响	223
16.3.2 电力系统振荡对距离保护的影响及振荡闭锁回路	224
16.3.3 电压回路断线对距离保护的影响	225
16.4 距离保护的整定计算	225
16.4.1 距离保护Ⅰ段	225
16.4.2 距离保护Ⅱ段	225
16.4.3 距离保护Ⅲ段	226
16.4.4 阻抗继电器的整定	227
16.4.5 精确工作电流校验	228
16.4.6 对距离保护的评价	228
复习思考题	228
第17章 电网的差动保护	229
17.1 电网的纵联差动保护	229
17.1.1 纵联差动保护的工作原理	229
17.1.2 纵联差动保护的不平衡电流	230
17.1.3 纵联差动保护的整定计算	231
17.1.4 纵联差动保护的应用	231
17.2 平行线路横联差动方向保护	231
17.2.1 横联差动方向保护的工作原理	231
17.2.2 横联差动方向保护的相继动作区和死区	232
17.2.3 横联差动方向保护的整定计算	233
17.2.4 横联差动方向保护的优缺点及应用范围	234
复习思考题	234
第18章 电网高频保护	235
18.1 高频保护的基本概念	235
18.1.1 概述	235
18.1.2 载波通道的构成原理	235
18.1.3 高频信号的利用方式	236
18.2 高频闭锁方向保护	237
18.2.1 高频闭锁方向保护的基本原理	237
18.2.2 高频闭锁负序方向保护	238
18.3 高频闭锁距离保护	239

18.4 相差高频保护	240
18.4.1 相差高频保护的工作原理	240
18.4.2 相差高频保护的相位特性和相继动作区	242
复习思考题	244
第 19 章 自动重合闸	245
19.1 自动重合闸的作用及要求	245
19.1.1 自动重合闸在电力系统中的作用	245
19.1.2 对自动重合闸装置的基本要求	246
19.2 单侧电源线路的三相一次自动重合闸	246
19.2.1 电磁式三相一次自动重合闸的构成	246
19.2.2 电磁式三相一次自动重合闸的工作原理	247
19.3 双侧电源线路的三相一次自动重合闸	248
19.3.1 双侧电源线路重合闸装置的特点	248
19.3.2 快速自动重合闸方式	249
19.3.3 具有同步检定和无电压检定的重合闸	249
19.4 自动重合闸与继电保护的配合	250
19.4.1 自动重合闸前加速	250
19.4.2 自动重合闸后加速	251
19.5 重合器与分段器	252
19.5.1 线路自动重合器的功能与特点	252
19.5.2 线路自动分段器的功能特点	253
19.5.3 重合器与分段器的配合	253
复习思考题	254
第 20 章 电力变压器的继电保护	255
20.1 电力变压器的故障类型,不正常运行状态及其保护措施	255
20.2 变压器的瓦斯保护	255
20.3 变压器的电流速断保护	257
20.4 变压器的纵联差动保护	258
20.4.1 变压器纵联差动保护的原理	258
20.4.2 变压器纵联差动保护在稳态情况下的不平衡电流及减小不平衡 电流的措施	259
20.4.3 暂态情况下的不平衡电流及减小其影响的措施	261
20.4.4 带制动特性的差动保护	265
20.5 变压器相间短路的电流和电压保护	266
20.5.1 变压器相间短路的过电流保护	266
20.5.2 低电压启动的过电流保护	267

20.5.3	复合电压启动的过电流保护	268
20.5.4	负序电流保护	269
20.5.5	变压器过负荷保护	270
20.6	变压器的零序电流保护	270
20.6.1	变电所单台变压器的零序电流保护	271
20.6.2	变电所多台变压器的零序电流保护	271
	复习思考题	273
第 21 章	电力电容器保护	274
21.1	电力电容器的保护原理	274
21.1.1	电容器数量较少,用交流操作电源的电力电容器保护	274
21.1.2	当电容器数量较多,有直流操作电源时的电力电容器保护	275
21.1.3	电力电容器接地保护	278
21.2	电力电容器的保护整定	279
21.2.1	电容器整组电流保护整定	279
21.2.2	电容器分组电流保护整定	280
21.2.3	电容器的接地保护整定	281
	复习思考题	281
第 22 章	微型计算机继电保护概述	282
22.1	微机保护系统简介	282
22.1.1	微机保护的应用和发展概况	282
22.1.2	微机保护的基本构成	282
22.1.3	微机保护的特点	282
22.2	微机保护的硬件框图简介	283
22.2.1	电压形成回路	283
22.2.2	采样保持电路与模拟低通滤波器	284
22.2.3	多路转换开关(MUX)	285
22.2.4	模数转换器	285
22.2.5	高度集成的数据采集系统 DAS	286
22.2.6	CPU 主系统	288
22.2.7	开关量输入、输出系统	288
22.3	微机保护的算法	289
22.3.1	数值滤波	289
22.3.2	正弦函数模型算法	290
22.3.3	傅里叶算法(傅氏算法)	291
22.3.4	解微分方程算法	291
22.4	微机变压器差动保护举例	291

22.4.1 概 述·····	291
22.4.2 微机差动保护的动作判据和算法·····	292
22.4.3 微机变压器差动保护的软件流程·····	293
22.5 提高微机保护可靠性的措施·····	296
22.5.1 抗电磁干扰的措施·····	296
22.5.2 模拟量的自纠错·····	296
22.5.3 故障自诊断·····	297
22.6 变电站微机综合自动化系统简介·····	299
22.6.1 变电站微机综合自动化的基本概念·····	299
22.6.2 变电站综合自动化系统的结构形式·····	300
复习思考题·····	301
附录·····	302
参考文献·····	311

第一部分 电力网

第 1 章 电力系统的基本概念

1.1 电力系统概述

1.1.1 电力系统的组成

电能可以方便而经济地实现远距离的传输和分配,又可以方便地和其他形式的能量进行互换,并且在使用时操作和控制都很容易,因此电能在国民经济和人们的日常生活中越来越重要,且不可或缺,电力工业的发展水平也标志着一个国家国民经济的发达程度。

1. 发电厂

发电厂将其他形式的能量转换为电能,经过变压器和不同电压等级的输电线路将电能输送给电力用户,通过各种用电设备将电能转换为适合用户需要的其他形式的能量。

发电厂是把其他形式的能量转换为电能的特殊工厂。按电厂利用能源的不同,可将其分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂及地热发电厂等。

(1) 火力发电厂

火力发电厂又分为凝汽式火电厂和兼供热的热电厂,二者的不同在于热电厂从汽轮机的中间段抽出一部分做过功的蒸汽供热给热力用户。火力发电厂是利用燃料的化学能生产电能,燃料主要为煤炭。为了提高燃料的效率,将煤块碎成煤粉,由喷燃器喷入炉膛,使其以悬浮状态充分燃烧。燃烧产生的高温使水冷壁中的水变成蒸汽,蒸汽经过加温、加压后经管道进入汽轮机,推动汽轮机旋转,带动发电机旋转,从而产生电能。火力发电的能量转换过程为:燃料燃烧产生化学能→热能→机械能→电能。图 1-1 为火力发电厂生产过程示意图。

(2) 水力发电厂

我国的水利资源丰富,地质条件好,而且水力发电效率高、发电成本低、无污染、综合利用价值高,因此,水力发电厂是我国大力建设的电厂之一。

水力发电厂分为坝式水电厂、引水式电厂和混合式电厂。水力发电利用水流的位能来生产电能,发电量的大小由上下游的水位差和水量决定。打开水流的控制闸门,水流通过引水管进入水轮机蜗壳室,冲击水轮机,带动发电机旋转产生电能。水力发电的能量转换过程为:水的位能→机械能→电能。图 1-2 为水力发电厂工作示意图。

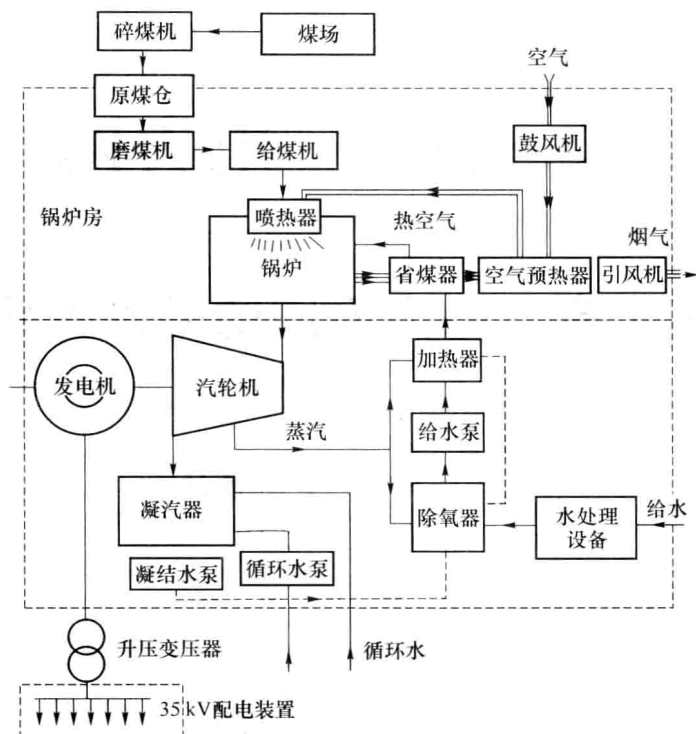
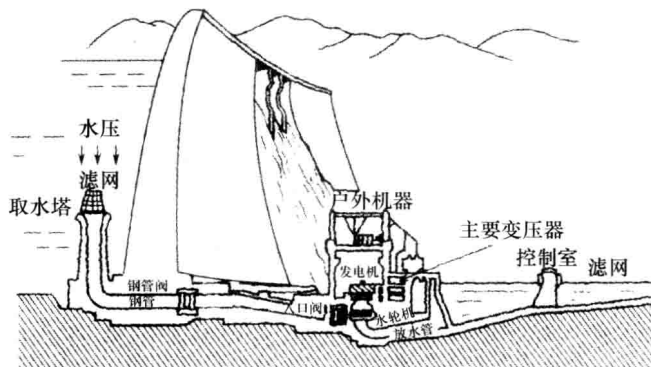
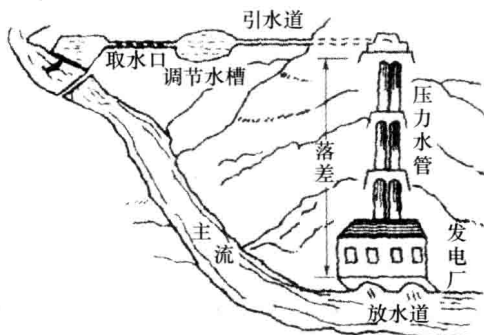


图 1-1 火力发电厂生产过程



(a) 堤坝式水力发电厂



(b) 引水道式水力发电厂

图 1-2 水力发电厂工作示意图