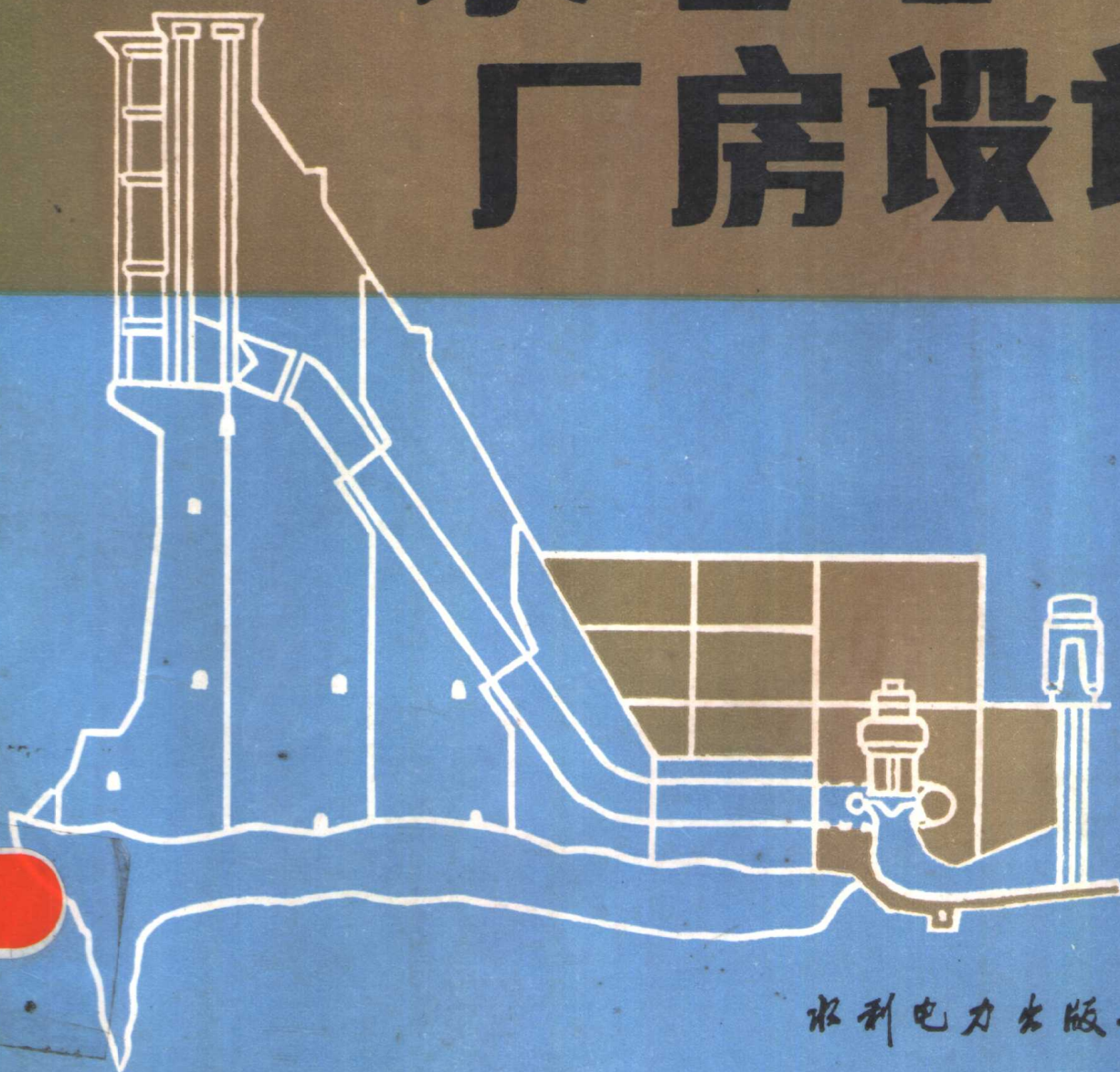


顾鹏飞 喻远光 编

水电站 厂房设计



水利电力出版社

98383

TU271
7171

水电站厂房设计

顾鹏飞 喻远光 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了大中型水电站厂房设计的技术资料、内容和方法。主要内容有厂区枢纽布置、厂房的内部布置、结构布置和结构设计；介绍的厂房型式，包括有坝后式、引水式、河床式、溢流式和地下式等。根据水电站厂房的特点，重点阐述了厂房水下部分块体结构，包括尾水管、蜗壳和机墩的结构设计和计算，并介绍有限元法分析蜗壳、地下厂房围岩应力。本书还介绍了厂房水上部分主要结构、变电站构架等设计。

书中给出了设计常用数据、图表和曲线，列举了工程实例和算例，供设计参考。

本书可供从事水电站设计、施工、运行的技术人员应用参考，也可供高等院校有关专业的师生教学参考。

水 电 站 厂 房 设 计

顾鹏飞 喻远光 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京印刷二厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 40.5印张 924千字

1987年7月第一版 1987年7月北京第一次印刷

印数0001—5740册 定价9.70元

书号 15143·6023

前 言

我国幅员辽阔，江河密布，蕴藏着丰富的水力资源，全国水能理论蕴藏量达6.8亿千瓦，其中可供开发的有3.8亿千瓦。建国以来，水电建设取得了很大的成就，水电总装机容量已超过2000万千瓦，在工农业生产和人民生活中发挥了重要的作用。

随着四个现代化建设的加速进行，对电力的需求将更加迫切。水力发电有它独特的优越性，有着广阔的发展前途，今后水电建设的任务将越来越重，对设计的要求也将越来越高。

多年来，我们在从事水电站设计中，就一直感到缺乏一本系统的大中型水电站厂房设计参考书。为了提高设计水平，加快设计进度，促进水电事业的发展，我们早就酝酿编写一部《水电站厂房设计》专著。因此在工作中随时悉心收集、整理和分析国内外有关资料，于七十年代初着手编写，到1978年完成初稿。初稿完成后，先由水利水电建设总局潘家铮同志进行初审，继而又请水电部天津勘测设计院，水电部长江流域规划办公室枢纽处，水电部西北、东北、成都、昆明和华东等勘测设计院从事厂房设计有经验的同志对本书书稿进行了评阅，并于1979年在上海组织一次集体审稿。根据上述评阅及审稿意见，我们作了较大的补充和修改，之后于1984年定稿。

本书内容共分13章，系统地介绍了大中型水电站厂房的设计和计算方法。第一、二章主要介绍我国水电建设发展情况和设计厂房所需的基本资料；第三章结合工程实际和运行经验，较为详细地介绍了厂区枢纽布置和厂房内部布置的原则和方法；第四、五、六章着重阐述了厂房水下特种结构（尾水管、机墩、蜗壳）的设计和计算，其中第六章第五节由卓家寿同志介绍了用20结点等参数空间有限元分析蜗壳结构应力的方法；第七、八、九章重点阐述了厂房水上部分主要结构和变电站结构的设计和计算；在第十、十一、十二章中又分别对河床式、溢流式、地下式厂房的布置和计算作了专门介绍，其中对河床式厂房的稳定分析、溢流式厂房的厂坝连接设计和振动分析、地下式厂房的有限元法分析围岩应力和喷锚支护设计作了详细的介绍；最后第十三章对设计工作量较大的各类施工详图的设计、绘制方法和应注意事项作了介绍。

在各章阐述布置和计算方法时，尽可能配以工程实例。为了设计方便，书末还附有厂房设计中常用的各种图表和资料，以供查阅。

我们对所有参加本书书稿评审和提供资料的同志，对关心、支持本书出版的同志，在此一并表示感谢。

限于我们的水平和时间，书中如有不当和错误之处，深望专家和广大读者不吝指教，深表感谢。

编 者

1985年7月

1985.11/20

目 录

前 言

第一章 概 论	1
第一节 我国水电站建设情况	1
第二节 水电站厂房的类型	4
第三节 水电站厂房的结构组成	15
第四节 水电站厂房的设计程序	16
第二章 与水电站厂房设计有关的资料	18
第一节 设计的原始资料	18
第二节 水轮机参数	19
第三节 水轮发电机参数	27
第四节 电气主接线资料	31
第五节 主变压器资料	33
第六节 起重机(吊车)资料	35
第七节 荷载资料	37
第八节 变电站有关资料	42
第三章 水电站厂房布置	49
第一节 主厂房主要尺寸的确定	49
第二节 厂区布置	56
第三节 厂房内部布置	64
第四节 厂房结构布置	76
第五节 变电站布置	81
第四章 尾水管结构设计	88
第一节 尾水管结构布置	88
第二节 尾水管的荷载、计算简图和假定	89
第三节 尾水管相邻平面框架间的不平衡剪力	93
第四节 尾水管按平面框架计算	97
第五节 尾水管弯管段计算	101
第六节 尾水管扩散段计算	105
第七节 尾水管顶板按深梁计算	110
第八节 尾水管分离式底板设计	112
第九节 尾水管的温度应力	115
第十节 尾水管的构造	116
第十一节 尾水管扩散段算例	122
第五章 水轮发电机机墩设计	148

第一节	概述	148
第二节	圆筒式机墩计算	150
第三节	定子基础和制动器基础的计算	166
第四节	墙式机墩计算	170
第五节	发电机风罩结构计算	173
第六节	机墩构造	176
第七节	机墩算例	179
第六章	蜗壳设计	195
第一节	概述	195
第二节	金属蜗壳外围混凝土结构设计	196
第三节	梯形断面钢筋混凝土蜗壳设计	214
第四节	圆形断面钢筋混凝土蜗壳设计	229
第五节	梯形断面混凝土蜗壳的空间有限元分析	239
第六节	蜗壳顶板垂直变位计算	261
第七节	钢筋混凝土和金属蜗壳的构造	263
第七章	水电站厂房吊车梁设计	268
第一节	概述	268
第二节	吊车梁的荷载	270
第三节	吊车梁的内力计算	271
第四节	吊车梁的截面设计	273
第五节	吊车梁的构造	282
第六节	钢吊车梁设计	284
第七节	吊车梁算例	295
第八章	水电站厂房排架设计	304
第一节	概述	304
第二节	排架的荷载与设计假定	305
第三节	厂房排架计算	308
第四节	牛腿的设计和构造	329
第五节	排架的构造	331
第九章	厂房楼面与变电站构架的设计与计算	334
第一节	厂房楼面的计算	334
第二节	厂房预制构件的设计与计算	343
第三节	变电站构架的设计与计算	352
第十章	河床式水电站厂房设计	363
第一节	水利枢纽布置	363
第二节	厂房总体稳定分析与计算	367
第三节	进口段计算	379
第十一章	溢流式厂房设计	384
第一节	概述	384
第二节	溢流式厂房布置	386

第三节	溢流式厂房结构计算	397
第四节	厂房顶水流脉动频谱分析和共振	409
第五节	溢流式厂房设计中的其他问题	414
第十二章	地下水电站厂房设计	420
第一节	地下水电站厂房布置	420
第二节	地下洞室围岩压力计算	429
第三节	地下洞室衬砌计算	440
第四节	地下洞室喷锚支护	458
第五节	有限元法计算地下洞室围岩应力	467
第十三章	水电站厂房施工详图设计	479
第一节	开挖图	479
第二节	浇筑分块图及浇筑图	481
第三节	钢筋图	485
第四节	止水排水设计图	488
第五节	观测设备布置图	490
附录一	部分大中型水轮发电机组、主变压器和起重机的有关资料	494
附录二	尾水管平面框架及顶板(深梁)计算表	510
附录三	截面梁在各种荷载作用下的角变系数计算表	531
附录四	吊车梁内力计算影响线	582
附录五	排架梁的反力系数C表、角变常数、柱和加腋梁的形常数、载常数计算 表和防水墙双向板计算用表	594
附录六	各杆件动力形常数、载常数计算和杆件震动形常数计算表	622
附录七	函数值 $\phi_1 \sim \phi_4$ 、 $\eta_1 \sim \eta_4$ 表	633

第一章 概 论

第一节 我国水电站建设情况

三十多年来,我国水力发电建设速度发展较快。据不完全统计,已建和在建的2.5万千瓦以上的大中型水电站有100多座,总装机容量已有2000多万千瓦,犹如颗颗夜明珠镶嵌在祖国大地上。而小型水电站更是星罗棋布,比比皆是。水力发电越来越显示出它的优越性。

我国幅员辽阔,江河密布,海岸线长达11000余公里,水力资源极其丰富。不仅在山区和丘陵地区有丰富的水力资源,而且沿海岸带还有不少可利用的潮汐水力资源。从最近资源普查的情况来看,全国水力资源理论蕴藏量为6.8亿千瓦,其中可开发利用的有3.8亿千瓦,居世界第一位。为了充分利用我国的水力资源,加速电力工业的发展,我国将大力发展水电。

随着我国四个现代化建设的加速进行,对电力的需求将越益迫切,水电又是取之不尽、用之不竭的再生性能源,且具有发电成本低、建成后收效大、综合效益好、能有效地满足地区发电、防洪、供水、灌溉、航运、水产养殖、旅游等方面的要求。我国水力资源得天独厚,加快建设水利水电工程往往对地区国民经济和社会发展产生多方面影响。因此,从发展我国国民经济的长远方针出发,国家决定今后在发展电力工业方面要因地制宜地发展火电和水电,并逐步把重点放在水电上。尤其在水力资源丰富、开发条件优越的长江、黄河中上游和红水河流域等地区,在本世纪内将建成一批大型水电基地,其中包括举世瞩目的长江三峡巨型水电站。

早在五十年代中期,我国水电技术人员一方面学习外国经验,一方面进行水电站的勘测、设计和施工,先后建成了一批中小型水电站,如官厅、上犹江、狮子滩、古田一级、大伙房等电站(见表1-1)。与此同时,着手进行一批大型水电站的勘测、设计和施工。六十年代初期,由于水电站前期准备工作做的比较扎实,较为顺利地建成了如新安江、新丰江、柘溪、盐锅峡等一批大型水电站(见表1-2);中、后期又陆续建成了西津、青铜峡、富春江、云峰、丹江口、刘家峡等水电站。七十年代又兴建了龚咀、凤滩等一批水电站,并改建三门峡水电站,使之发电(见表1-3)。进入八十年代以后,又兴建了和正在施工一批大型水电站,总装机容量近1000万千瓦(见表1-4)。我国自己设计和兴建的这些大型水电站,标志着我国水电建设正进入一个新的发展时期。在水电建设中也积累了较丰富的勘测、设计、施工和运行的经验。

新安江水电站是在周总理关怀下由我国自行设计、自己施工、自己制造设备和安装的大型水电站。装机容量为66.25万千瓦,总库容178.4亿立方米,是目前华东地区最大的水电站。电站拦河大坝的坝型为混凝土宽缝重力坝,泄洪方式为坝后式厂房顶溢流式,厂房

表 1-1

五十年代建成的若干中小型水电站及厂房型式

序 号	水 电 站 名 称	装机容量(万kW)	厂 房 型 式	第一台机组投产年份
1	官 厅	3.00	引水式地面厂房	1956
2	狮子滩	4.80	地面厂房	1956
3	流溪河	4.00	地下厂房	1958
4	水槽子	1.75	地下厂房	1958
5	黄坛口	3.00	地面厂房	1958
6	古田一级	6.20	地下厂房	1956
7	上犹江	6.00	重力坝坝内厂房	1957
8	梅 山	4.00	连拱坝坝后厂房	1958
9	大伙房	3.20	地面厂房	1958

表 1-2

六十年代建成的若干大中型水电站及厂房型式

序 号	水 电 站 名 称	装机容量(万kW)	厂 房 型 式	第一台机组投产年份
1	新安江	66.25	厂顶溢流式厂房	1960
2	新丰江	29.25	大头坝坝后式厂房	1960
3	柘 溪	44.75	岸边地面式厂房	1961
4	盐 锅 峡	35.20	坝后式厂房	1961
5	双 牌	13.50	坝后式厂房	1963
6	西 津	23.44	河床式厂房	1964
7	以礼河三级	11.40	引水式地下厂房	1966
8	云 峰	40.00	引水式地面厂房	1966
9	青铜峡	27.20	闸墩式厂房	1967
10	桓 仁	22.50	大头坝坝后式厂房	1968
11	丹江口	90.00	坝后式厂房	1968
12	富春江	29.72	河床式厂房	1968
13	古田二级	13.50	引水式地面厂房	1969
14	刘家峡	122.50	坝后式及地下式厂房	1969

表 1-3

七十年代建成的若干大中型水电站及厂房型式

序 号	水 电 站 名 称	装机容量(万kW)	厂 房 型 式	第一台机组投产年份
1	以礼河四级	14.4	引水式地下厂房	1970
2	陈 村	15.0	坝后式厂房	1970
3	映 秀 湾	13.5	引水式地下厂房	1971
4	龚 咀	75.0	坝后式及地下式厂房	1971
5	柘 林	18.0	坝后式厂房	1972
6	渔子溪一级	16.0	引水式地下厂房	1972
7	麻 石	10.0	河床式厂房	1972
8	三 门 峡	25.0	坝后式厂房	1973
9	枫 树 坝	15.0	坝内式厂房	1973
10	石 泉	13.5	坝后式厂房	1973
11	黄 龙 滩	15.0	岸边地面式厂房	1974
12	八 盘 峡	18.0	河床式厂房	1975
13	安 砂	11.5	引水式地面厂房	1975
14	碧 口	30.0	岸边地面式厂房	1976
15	凤 滩	40.0	坝内式厂房	1978

全长216.1米。新安江主体工程始建于1957年4月，建成于1960年4月。在五十年代末我国经济实力较为薄弱的情况下，仅用三年时间建成发电，这在我国水电建设史上是一个奇迹。二十多年来的运行实践证明，我国第一座大型厂顶溢流式电站的设计、施工、机电设备的制造和安装的质量是好的，它在华东电力系统中一直担负着调频、调峰和事故备用的骨干电站作用，它的综合经济效益亦十分显著。图1-1是新安江水电站的外景和内景，供参阅。

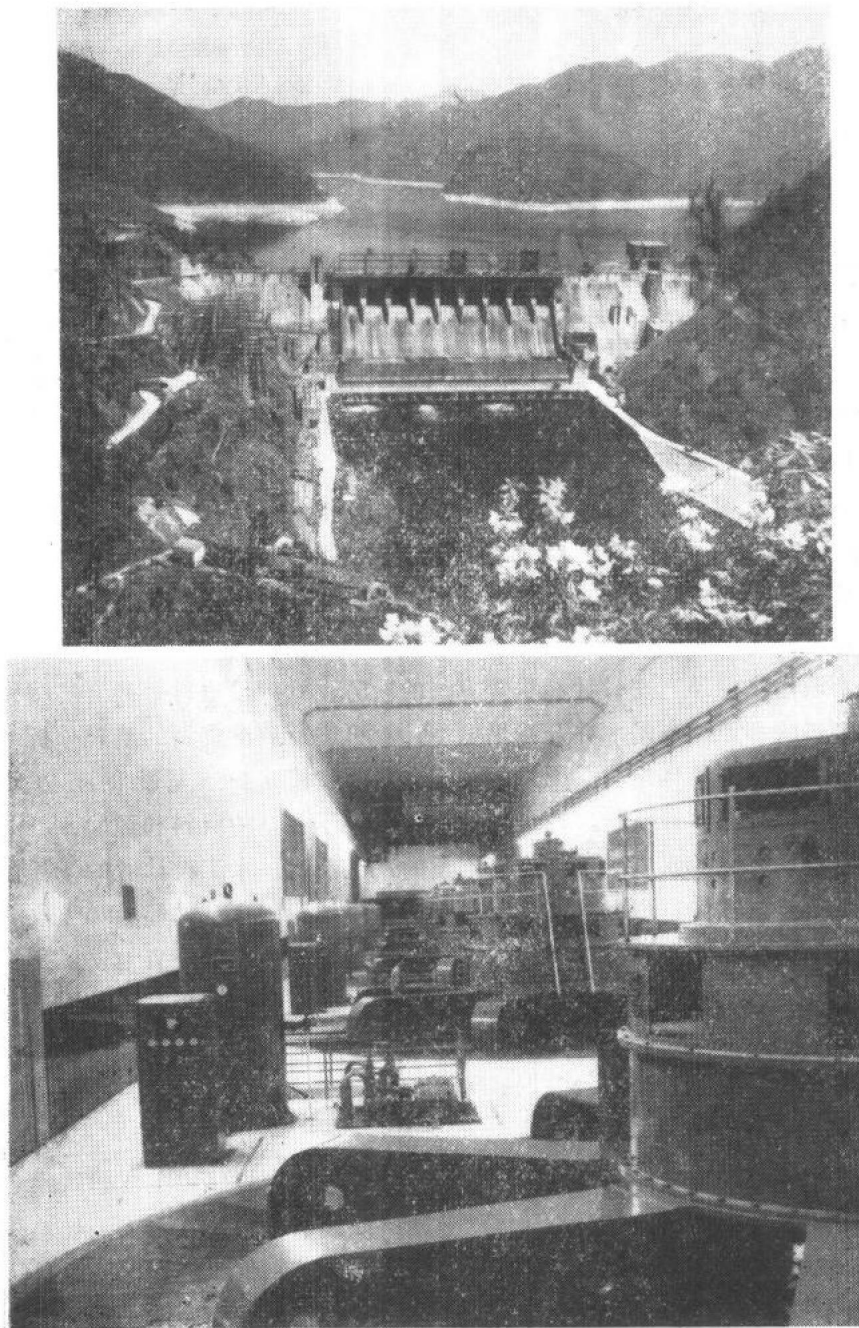


图 1-1 我国新安江水电站的外景和内景
(a)电站外景；(b)电站内景

表 1-4

八十年代正在兴建的若干大型水电站及厂房型式

序 号	水 电 站 名 称	装机容量(万kW)	厂 房 型 式	备 注
1	葛 洲 坝	270.0	河床式厂房	二江电站1981年发电
2	龙 羊 峡	150.0	坝后式及地下式厂房	正在施工
3	水 口	140.0	坝后式厂房	筹 建 中
4	白 山	90.0	地下式厂房	1983年发电
5	安 康	80.0	坝后式厂房	正在施工
6	乌 江 渡	63.0	坝后式挑流厂房	1981年发电
7	鲁 布 格	60.0	引水式地下厂房	正在施工
8	大 化	60.0	河床式厂房	1983年发电
9	紧 水 滩	20.0	坝后式厂房	正在施工
10	潘 家 口	45.0	坝后式厂房	1981年发电
11	红 石	20.0	河床式厂房	正在施工

已建的水电站中,发电厂房的型式是多种多样的。除一般的坝后式和引水式地面厂房以外,有大型的低水头河床式厂房,高水头引水冲击式厂房,大跨度地下式厂房,坝内式厂房和大型溢流式(挑流式)厂房等。厂房的水下结构部分,还成功地采用了静水头在30米以上的圆断面钢筋混凝土蜗壳和总水头在65米以上的梯形断面钢筋混凝土蜗壳。不少大型水电站的厂房水下结构采用了混凝土结构和少筋混凝土结构。主厂房的结构规模也越来越大,其总高度有的为80米以上,跨度有的为30米以上。地下厂房的开挖跨度也有超过25米的,并且成功地采用了喷锚支护结构型式。大量工程实践资料表明,我国水电站厂房的设计和施工已达到了一定水平。

在不断改进水电站厂房设计和手算方法的同时,我国已进行一些厂房结构如水下块体结构的模型试验和原型观测,并开始用电子计算机进行观测资料的整理分析,以及利用有限元法进行厂房水下块体结构、围岩的应力分析和喷锚支护、基础的应力和变形等电算。这些工作为提高设计质量,改进设计方法提供了有益的资料和经验。

可以预计,我国的水电建设将有着广阔的发展前途。水工设计者的任务在于加强调查研究和科学试验,重视原型观测及其资料分析,总结我国自己的经验和吸取国外的有益经验,不断探索厂房布置和结构设计的新型式、新方法,为多快好省地发展我国的水电事业作出贡献。

第二节 水电站厂房的型式

水电站厂房是将水能转换为电能的最终场所,是水利枢纽中主要建筑物之一。它必须能容纳水轮发电机组及其辅助设备和电气装置;必须有检修车间、安装场地和相应的对内对外交通;必须提供运行管理人员进行操作、检查和监视的工作场地。因此,水电站厂房设计人员不仅要考虑到水电站的运行方便,而且要投资较少和安全可靠。

水电站厂房的型式往往是随不同的地形、地质、水文等自然条件和水电站的开发方式、水能利用条件、水利枢纽的总体布置而定。

厂房按装置的水轮发电机组适用水头的大小，大致可分为低水头厂房（一般是水头 $H < 30$ 米），中水头厂房（ $30 \text{ 米} < H < 100$ 米）和高水头厂房（ $H > 100$ 米）三种。

厂房按水电站开发方式不同可分为河床式（集中开发）、坝后式（集中开发）和引水式（混合开发）等型式。所谓集中开发是指由筑坝（闸）抬高坝前水位，集中一次形成水头。混合开发是指由筑坝（闸）抬高一部分水头，利用江河落差开凿引水道（隧洞、压力钢管或明渠等）引水或跨流域开发引水，又获得一部分水头，最后水电站水头由两部分组成。

厂房按结构型式和布置的不同，又可分为地面厂房、地下厂房、坝内厂房、溢流（或挑流）厂房、露天或半露天厂房等。这些厂房的水下部分结构大同小异，主要差别在水上部分结构和围护结构，因而在厂区布置和厂房内部布置上有较大的差别。现将各种不同结构型式的厂房简述如下：

（一）坝后式厂房

厂房紧靠大坝之后，在结构上与大坝分开，不承受上游水库水压力，厂房顶不过洪水。坝后式厂房通常是高、中水头电站的地面厂房，图 1-2 为选择国内外三个水电站的坝后式厂房剖面图的图例。

（二）河床式厂房

河床式厂房一般为低水头电站所采用，厂房本身是挡水建筑物的一部分，厂坝结构在河床上衔接为一体，其型式有不带泄流孔、厂房顶也不溢流的普通河床式厂房，如图 1-3（a）、（b）；有带泄流孔的河床混合式厂房，如图 1-3（c），泄流孔宽 4 米 × 高 5.5 米，

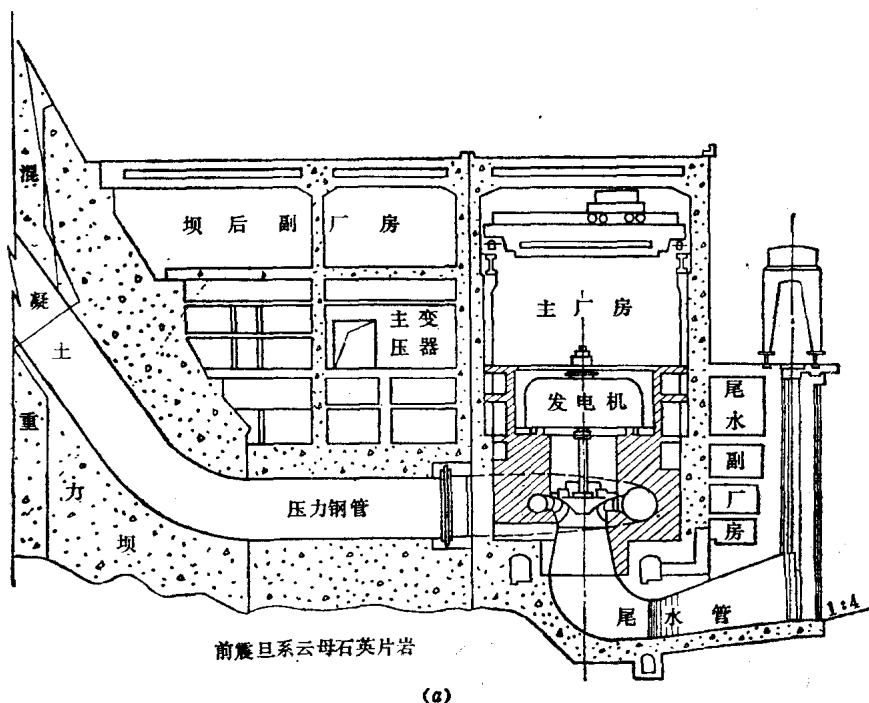


图 1-2 国内外三个水电站坝后式厂房剖面图
(a) 容量为 122.5 万千瓦的刘家峡水电站坝后式厂房

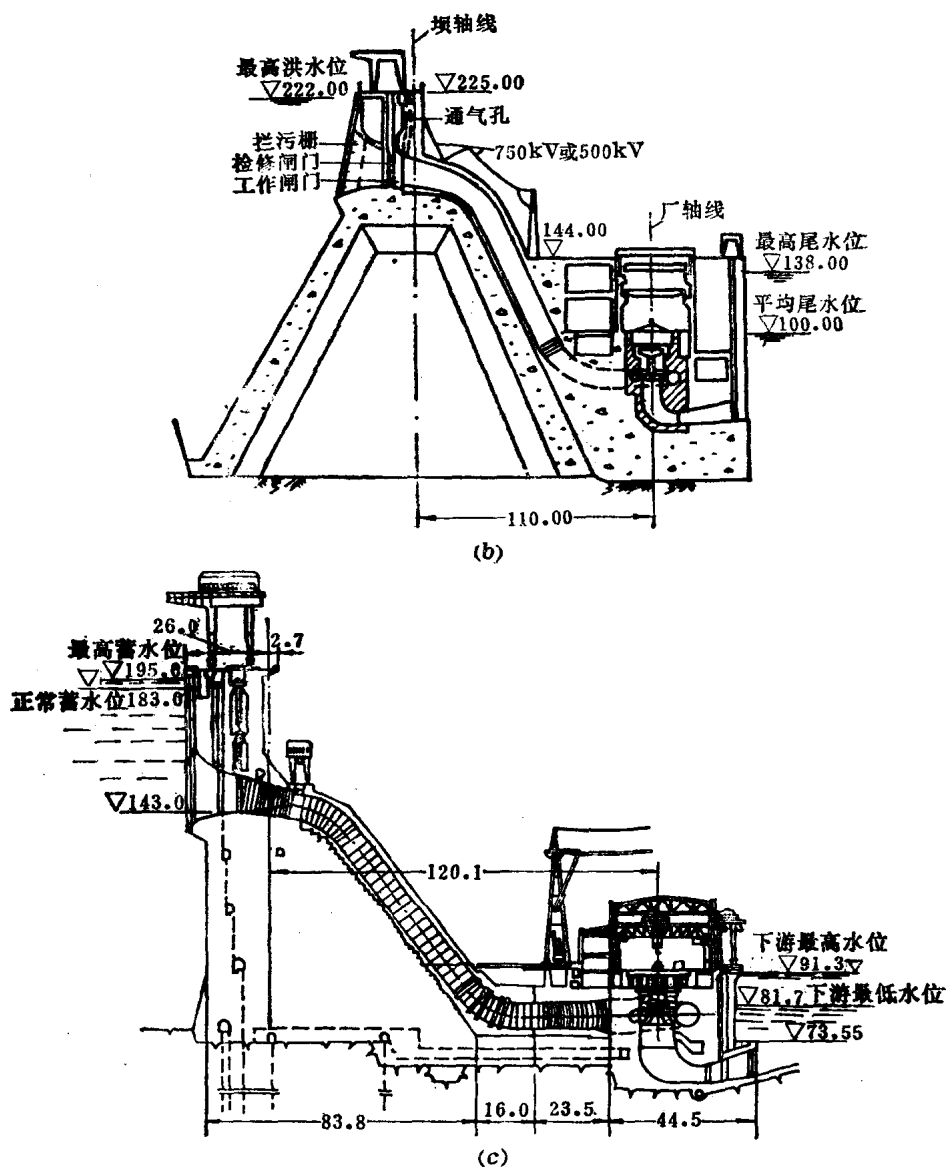


图 1-2 国内外三个水电站坝后式厂房剖面图

(b)容量为1260万千瓦的伊泰普水电站坝后式厂房；(c)容量为600万千瓦的克拉斯诺雅尔斯克水电站坝后式厂房

共6个，泄流量 $2658\text{米}^3/\text{秒}$ ；有厂房顶溢流的河床溢流混合式厂房，如图1-3(d)。我国目前主要采用第一种河床式厂房。

(三) 溢流式厂房

溢流式厂房位于坝后，厂房顶过洪水，在结构上厂房与大坝有一定联系，但不与大坝衔接为一体。由于厂房不直接承受上游水库水压力，因此它不同于上面提到的河床溢流混合式厂房。在我国和国外，这种溢流式厂房通常是承受中、高水头的电站厂房，如图1-4。

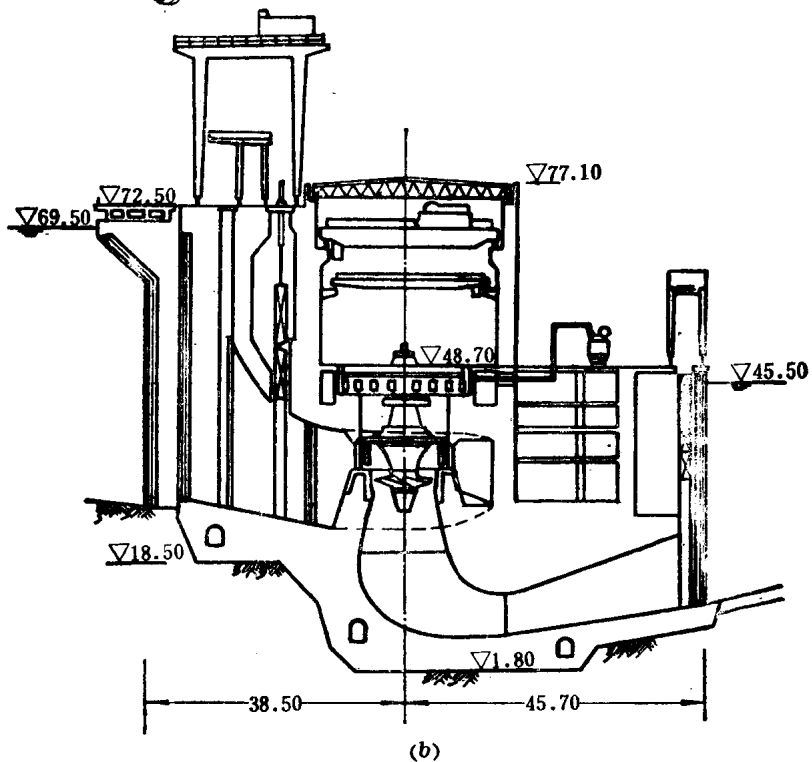
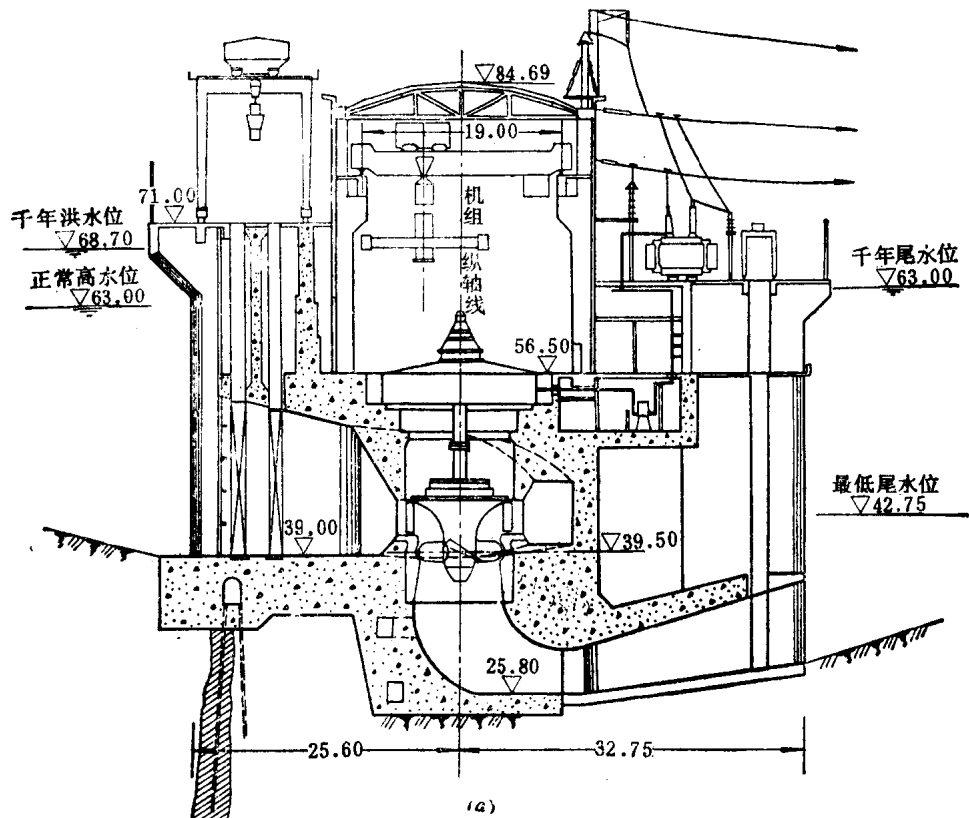
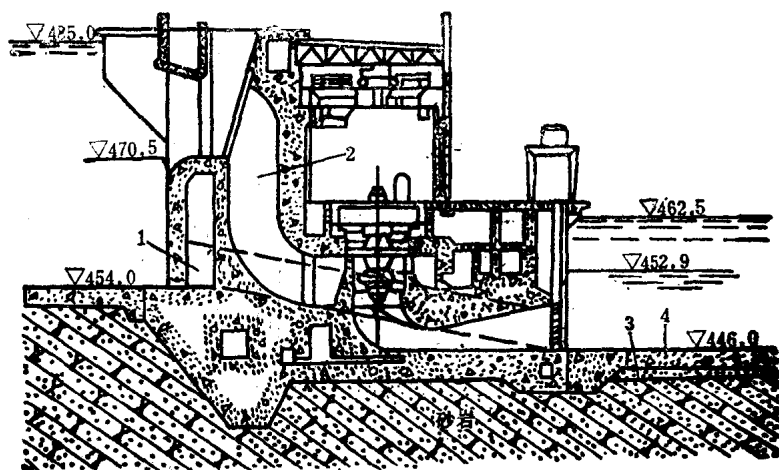
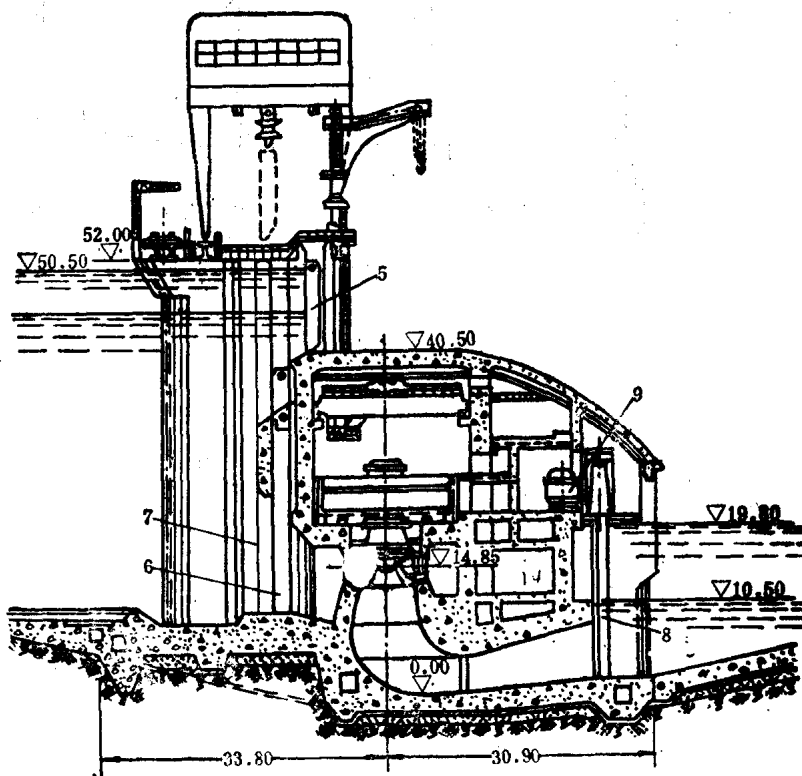


图 1-3 各种型式的河床式厂房剖面图
(a)葛洲坝河床式厂房剖面图；(b)铁门水电站河床式厂房剖面图



(c)



(d)

图 1-3 各种型式的河床式厂房剖面图

(c) 哥洛夫纳雅水电站带泄流底孔的河床混合式厂房剖面图; (d) 普烈文水电站厂房顶溢流的河床溢流混合式厂房剖面图
1—泄洪底孔; 2—水轮机进水口; 3—水平砾石排水垫层; 4—护坦; 5—溢洪道闸门; 6—事故修
理门槽; 7—拦污栅; 8—下游修理门槽; 9—变压器

(四) 地下厂房

地下厂房位于地下, 可布置在引水道的首部、中部或尾部, 随工程地质和水文地质条件、水利枢纽布置开发方式、对外交通条件以及施工总布置等不同而异。有的坝后式电站

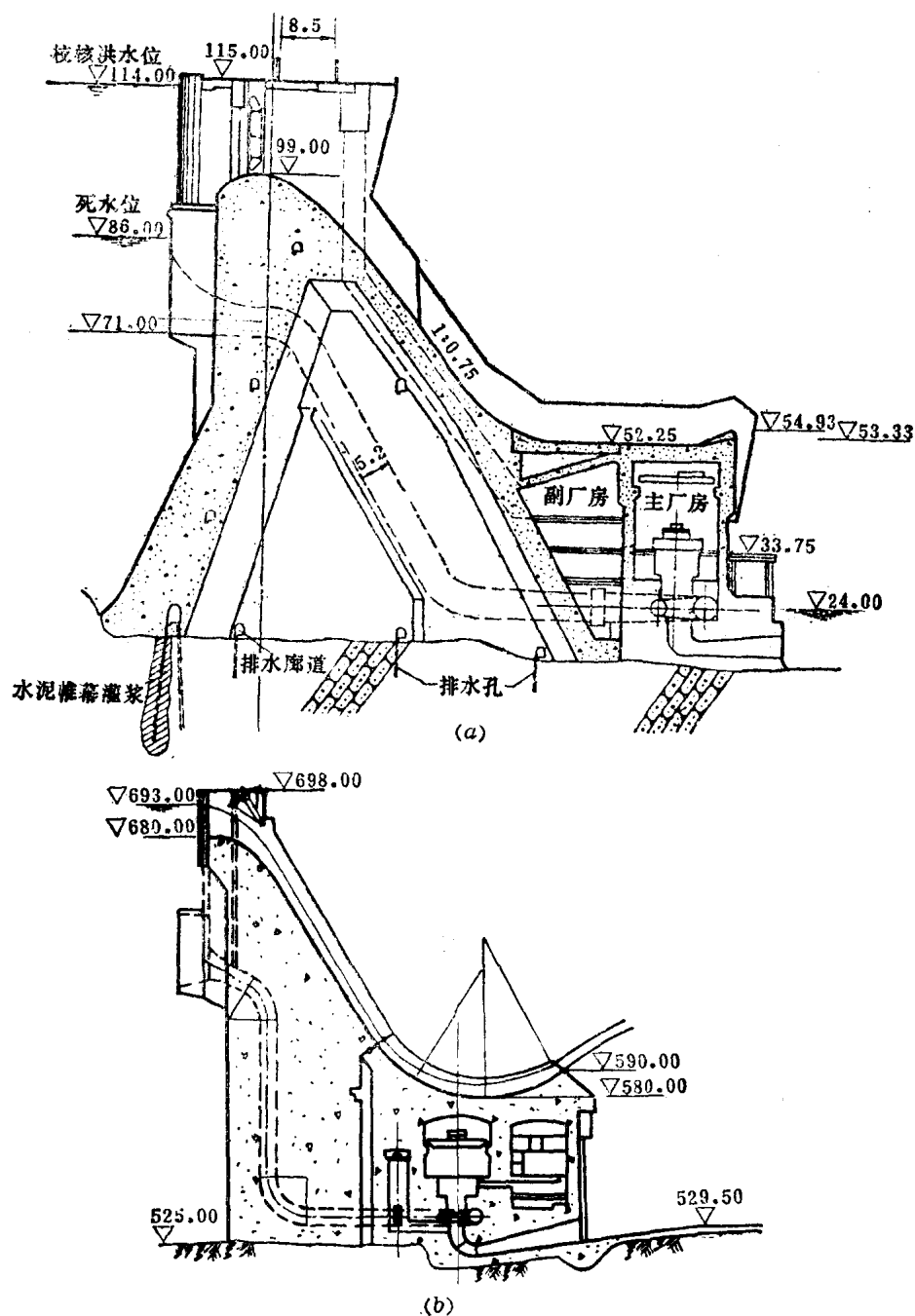


图 1-4 溢流式厂房剖面

(a)新安江溢流式厂房剖面图; (b)装机为180万千瓦的土耳其卡拉卡亚溢流式厂房剖面图

因受地形的限制也采用地下厂房,但这类电站不增加水头,通常就布置在坝下游岸边,紧靠大坝。地下厂房通常是承受中、高水头的电站厂房,如图1-5。

(五) 引水式地面厂房

引水式地面厂房多数用于混合式开布置,厂房通常位于引水系统的末端岸边。就厂

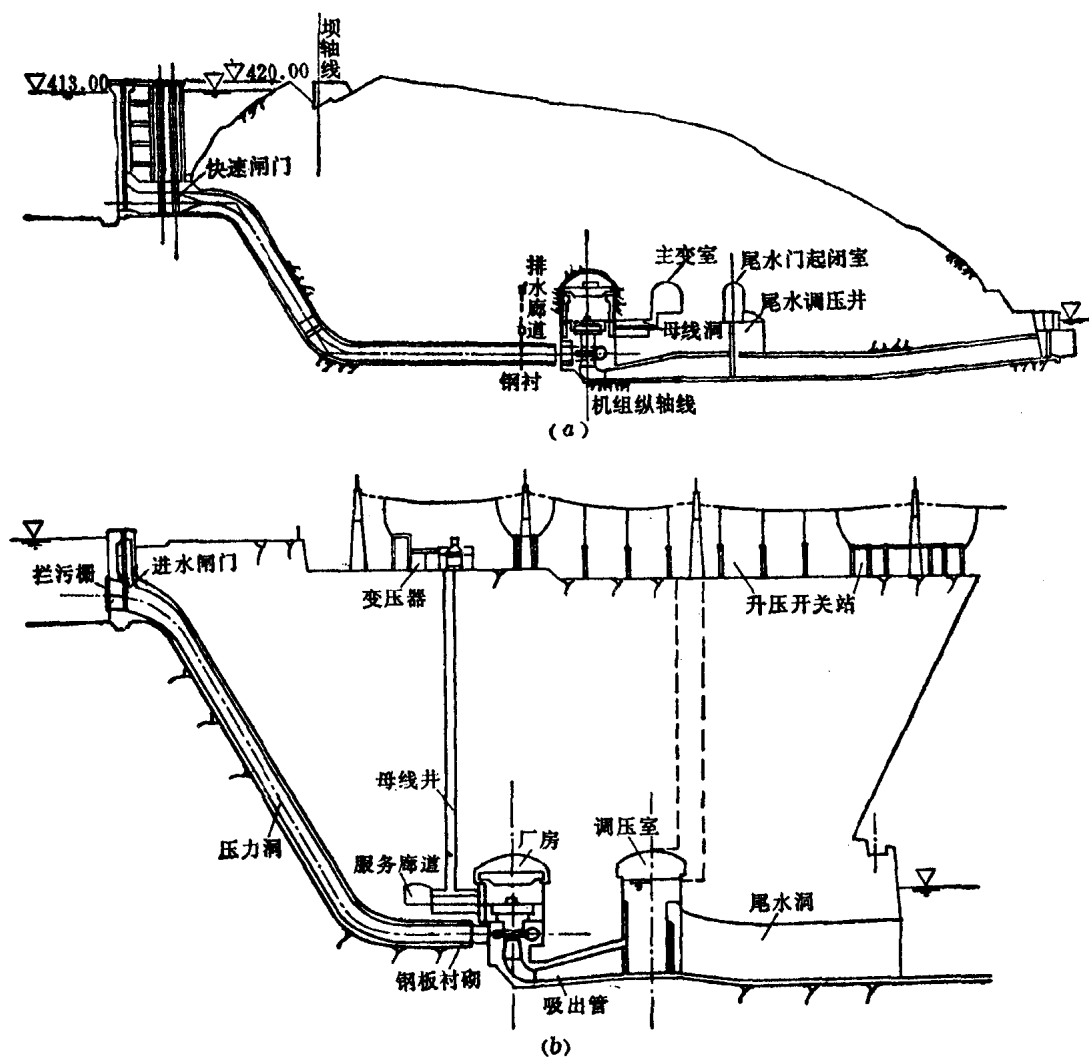


图 1-5 地下式厂房剖面

(a) 装机为90万千瓦的白山地下厂房剖面图；(b) 装机为532.8万千瓦的拉格朗德二级地下厂房剖面图

房本身的布置和结构型式来说，与坝后式地面厂房差别不大。引水式地面厂房通常也是承受中、高水头的电站厂房，如图 1-6 (a)；也有些当地材料坝因布置坝后厂房有困难而采用岸边地面厂房，如图 1-6 (b)。

(六) 坝内式厂房

坝内式厂房的机电设备大部或全部置于坝内，厂房与大坝合为一体，但它不同于上述河床溢流混合式厂房。坝内式厂房一般是坝顶较高或坝的体积较大，坝内的空间厂房安放水轮发电机组，如图 1-7 (a)；也有利用大坝结构上的大孔洞作厂房，如图 1-7 (b) 的空腹坝。坝内式厂房在我国采用不多，多用于中水头电站。

(七) 露天或半露天厂房

这种主厂房没有顶盖或仅在发电机上设一罩子。这种型式的厂房在国外有不少国家采用，且不受地区和气候所限，如美国、加拿大、巴西和苏联等国均有采用，见图 1-8。在