

水电站水工隧洞

〔苏联〕Т·Г·祖拉波夫 О·Е·布加也娃 著

呂元平 譯



中国工业出版社

00-2200
218
7
1

水电站水工隧洞

(苏联) Г. Г. 祖拉波夫 О. Е. 布加也娃 著

吕元平 译

中国工业出版社

本书論述了水电站水工隧洞的勘察、設計和施工等問題。主要內容有：工程地质勘察和山岩压力、地层抗力的研究，隧洞尺寸的确定，衬砌的结构和計算，隧洞施工方法和施工的綜合机械化等。本书介紹了苏联和其他一些国家隧洞建造的經驗。

本书根据苏联国立动力出版社1962年版譯出。

本书可供从事水工隧洞設計和施工的技术人員閱讀，亦可供高等工业院校有关专业的师生参考。

Г.П.Зурабов О.Е.Бугаева
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТУННЕЛИ
ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА—1962

* * *
水电站水工隧洞

呂元平譯
*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $28^{7/8}$ ·插頁2·字数615,000

1966年1月北京第一版·1966年1月北京第一次印刷

印数0001—2,420·定价(科五)3.30元

*
統一书号: 15165·4202(水电-572)

目 录

第一章 水电站水工隧洞概述.....	1
§ 1-1. 隧洞在水电站系统中的应用.....	1
§ 1-2. 水工隧洞的分类.....	2
§ 1-3. 引水隧洞及其建筑物.....	2
§ 1-4. 排水隧洞.....	11
第二章 隧洞的线路和横断面.....	17
§ 2-1. 隧洞线路.....	17
§ 2-2. 隧洞横断面的形状.....	21
第三章 水工隧洞建设中的工程地质勘察.....	25
§ 3-1. 工程地质勘察的任务.....	25
§ 3-2. 工程地质测绘.....	26
§ 3-3. 地质勘探技术.....	28
钻眼和探坑.....	28
地球物理勘探方法.....	30
§ 3-4. 隧洞坑道的工程地质观测.....	31
§ 3-5. 隧洞建设中工程地质因素的考虑.....	32
第四章 山岩压力.....	43
§ 4-1. 概述.....	43
§ 4-2. 确定山岩压力值的解析法.....	45
§ 4-3. 试验室的试验.....	54
§ 4-4. 山岩压力的原型试验研究.....	59
对于量测仪器的基本要求.....	60
在隧洞永久性衬砌上的山岩压力的测定.....	61
隧洞坑道临时支撑上山岩压力的测定.....	70
地层应力的确定.....	74
第五章 地层抗力.....	77
§ 5-1. 隧洞衬砌设计时的地层抗力计算.....	77
§ 5-2. 地层抗力的试验测定法.....	78
§ 5-3. 试验资料的整理方法.....	87
§ 5-4. 试验资料的分析.....	92
第六章 水工隧洞衬砌.....	97
§ 6-1. 概述.....	97
§ 6-2. 衬砌材料.....	100
§ 6-3. 隧洞衬砌的构造.....	103
整体式衬砌.....	103
装配式衬砌.....	107

IV

混合式衬砌	112
预应力衬砌	118
第七章 水工隧洞尺寸的确定	132
§ 7-1. 恒定流	132
§ 7-2. 不恒定流	144
§ 7-3. 引水隧洞的水力情况	146
§ 7-4. 引水隧洞尺寸的确定	152
§ 7-5. 尾水隧洞的水力情况和尺寸的确定	157
第八章 隧洞衬砌的静力计算	162
§ 8-1. 隧洞衬砌的静力工作特征	162
§ 8-2. 荷载	162
§ 8-3. 岩石抗力	164
§ 8-4. 衬砌计算简图的确定	165
§ 8-5. 隧洞顶拱的合理形状	167
§ 8-6. 马蹄形隧洞衬砌的计算	170
隧洞衬砌拱的基本计算公式	170
弹性固端拱座低拱的计算	174
低拱计算的个别情况	177
弹性固端拱座高拱的计算	178
闭合结构的衬砌计算	193
闭合结构衬砌的个别情况	196
由拱和重力墙组成的衬砌的计算	208
马蹄形衬砌的计算方法	211
§ 8-7. 圆形衬砌的计算	216
直接计算内水压力作用下的衬砌应力	217
计及地层抗力的衬砌内力计算	220
软弱地层中衬砌的近似计算	229
考虑地层抗力的圆形衬砌的计算方法	230
§ 8-8. 预应力衬砌的计算特点	232
压挤式衬砌	232
拉筋式和钢箍式衬砌	238
§ 8-9. 按极限状态计算隧洞衬砌的基本前提	241
第九章 隧洞掘进	246
§ 9-1. 隧洞掘进的基本原则及掘进方法的分类	246
§ 9-2. 无横向扩大的隧洞掘进法	248
采用铅直面掌子或阶梯式掌子的全断面掘进	248
梯段法	250
§ 9-3. 横向扩大掘进法	252
第十章 掌子内地层的开凿	261
§ 10-1. 钻孔作业	261
电动式钻机	261
风动式钻机	262
钻杆	265

防止钻尘和岩层软化剂	266
在掌子内架立钻孔机的设备	267
钻架车和钻架	272
钻孔生产率	275
空气压缩设备	281
§ 10-2. 爆破作业	283
爆破效果	283
炸药和起爆材料	284
起爆方法	285
炮眼在掌子中的布置	285
炮眼数量、深度和直径	289
§ 10-3. 不利用钻爆作业的崩岩	291
风鎚	291
风罐	292
§ 10-4. 钻爆作业时的通风	292
第十一章 隧洞临时支撑	294
§ 11-1. 支撑的作用和种类	294
§ 11-2. 框架支撑	295
§ 11-3. 扇形支撑	299
§ 11-4. 多边形支撑	304
§ 11-5. 拱形支撑	310
§ 11-6. 锚栓支撑	312
第十二章 石碴装运	317
§ 12-1. 石碴装车	317
装岩机	317
隧洞式挖掘机	323
§ 12-2. 石碴运输	326
有轨运输	326
无轨运输	330
运输计算	331
§ 12-3. 调车设备	333
第十三章 衬砌的建造	340
§ 13-1. 拱架和模板	340
§ 13-2. 混凝土作业	351
混凝土浇筑机械	351
隧洞混凝土作业的組織	356
§ 13-3. 喷浆和喷混凝土作业	367
§ 13-4. 衬砌灌浆	372
第十四章 隧洞工程盾构法和掌子机械化开挖法	374
§ 14-1. 盾构掘进法的介绍	374
§ 14-2. 盾构	376
§ 14-3. 盾构掘进	384

准备工作	384
地层开挖和掌子支撑	385
石碴装运	386
衬砌修筑	388
施工组织与综合机械化	397
§ 14-4. 掌子的机械化开挖	397
洞磨机	398
机械化盾构	402
第十五章 地层加固的特种方法	409
§ 15-1. 地层加固方法的分类	409
§ 15-2. 水泥灌浆	410
水泥灌浆法介绍	410
水泥浆成分和钻孔灌浆	411
按不透水条件确定灌浆孔数	416
水泥灌浆的设备	417
预先进行灌浆的隧洞掘进	421
水泥粘土浆	424
§ 15-3. 硅酸盐灌浆	425
硅酸盐灌浆方法介绍	425
硅酸盐灌浆的设备	428
施工	428
§ 15-4. 沥青灌浆	430
沥青灌浆方法介绍	430
施工	432
第十六章 隧洞施工组织	434
§ 16-1. 隧洞施工组织的一般原则	434
§ 16-2. 隧洞施工的循环作业	435
§ 16-3. 施工进度图	439
§ 16-4. 组织隧洞快速掘进的主要措施	440
§ 16-5. 隧洞工程的施工组织和综合机械化的示例	441
附 录	448
参考文献	453

第一章 水电站水工隧洞概述

§ 1-1. 隧洞在水电站系统中的应用

用地下施工法修建的、纵向坡度不大于0.10的水道，称为水工隧洞。在显著的横断地形的地区内，利用隧洞可以使长距离的引水道成为几乎是直线的最短线路。水工隧洞与渠道或水槽相比较，它的优点是运行上的耐久性和可靠性、很少修理、没有山崩方面的危险等等。

众所周知，取得廉价电力的远大前途是与开发山区的水力资源分不开的。山区的地形及其地质（坚硬稳定的岩层），为在山区采用水工隧洞创造了非常有利的条件。在水电站中，隧洞具有不同的用途。

在组成引水式水力枢纽建筑物的全部体系中，即在首部枢纽、引水水道、调压井（调压塔）或压力前池、压力水管、电站厂房和尾水水道等建筑物中，水工隧洞最常采用在引水水道中（图1-1），在尾水水道中采用得稍少一些（图1-2）。在某些水电站中，隧洞也有当作压力水管用的（图1-3）。

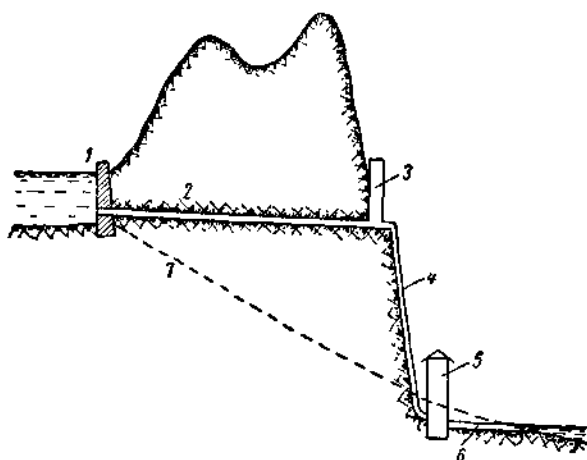


图 1-1 具有引水隧洞的引水式水电站示意图
1—首部枢纽；2—有压隧洞；3—调压塔；4—压力水管；5—电站厂房；6—尾水渠；7—天然河床

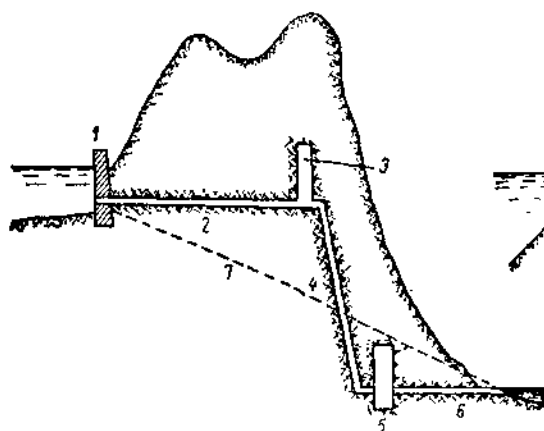


图 1-2 具有引水隧洞和尾水隧洞的引水式水电站示意图
1—首部枢纽；2—有压隧洞；3—调压井；4—压力水管；5—地下水电站；6—尾水隧洞；7—天然河床

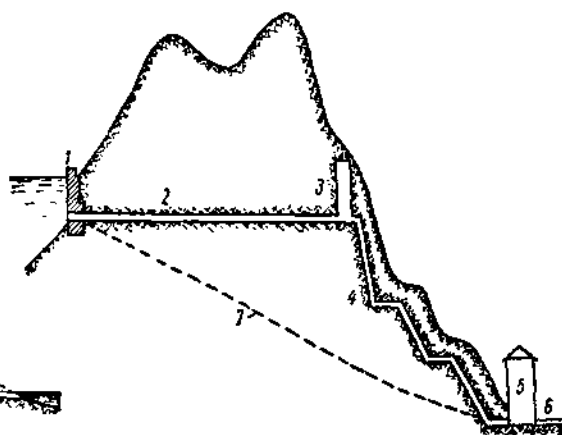


图 1-3 隧洞中具有水管的引水式水电站示意图
1—首部枢纽；2—有压隧洞；3—调压井；4—压力水管；5—电站厂房；6—尾水渠；7—天然河床

通常，在将引水至厂房的压力水管设计在由风化的、不稳定的、而且有可能滑坡的岩体所组成的山坡上时，或者当露天的水管会遭受山崩和雪崩的威胁时，特别是在严寒气候地区的情况下，最好是将压力水管布置在岩体内的斜井中。斜井可以靠近山岩的外坡开挖，并且根据山坡的地形，可以包括水平段（隧洞段）（图1-3）。

§ 1-2. 水工隧洞的分类

根据在现代水电站中的不同用途，将水工隧洞分为引水隧洞、排水隧洞和连接隧洞是比较合理的。

引水隧洞是用于将水引至水电站建筑物厂房枢纽的，或是作为同一目的水道（渠道、管道）的组成部分。

排水隧洞是将水从水电站、水库或引水道排至河道或蓄水池中。排水隧洞可以分成：
将水从水电站排出的尾水隧洞；

将水从水库、引水道和电站压力前池中泄出的泄水隧洞；

在施工期间或水利枢纽的其他水工建筑物（坝、电站厂房）修理期间导流用的施工隧洞。

连接隧洞是连接蓄水池（水库、水池）和水道用的。

根据工作情况的不同，水工隧洞可以分为：

有压隧洞——满流工作的隧洞；

无压隧洞——在隧洞断面部分充水情况下工作的隧洞。

§ 1-3. 引水隧洞及其建筑物

利用渠道、隧洞、管道和水槽，可以将水引至用水的地方。渠道和水槽属于无压水道。在大多数的情况下，管道是有压的。水工隧洞则可以有压的，也可以是无压的。上述各种类型中的每一种水道，都有其应用范围，有其特点、优点和缺点。

在平原地区，露天引水道在大多数的情况下是最合理的类型。在山地地形起伏区域，当河谷的岸坡陡峻和被干流、支流的凹地、山涧与深谷所切割的地形的情况下，露天引水道往往成为非常不合理的和造价很贵的引水道。为了适应地形，露天引水道不得不建造得非常弯曲并需做大量的土方工程。需要在引水渠道沿线，建造大量的渡槽和倒虹吸管。在这样的情况下，试图拉直渠道线路，也不会是经济的，因为不可避免地会有渠道的深挖方和高而庞大的渠堤。在由风化岩层和易于被侵蚀岩层形成的河谷陡坡情况下，当山坡地段发生崩塌和侵蚀时，就会发生露天渠道被淤塞和被堵住的危险。在这样的情况下，特别是当水道线路穿过坚固稳定的岩层时，以隧洞作为引水水道的方案将是合理的和有利的。

当水道线路穿越各个高岗和山脊时，或者从用水地点被山脊阻隔的湖泊或蓄水池引水时，几乎总是采用隧洞。

隧洞造价（按施工费用来说）常常是很高的，但隧洞也是引水至用水地点的最可靠的工具。隧洞是位于地表下的永久性水道，它不象渠道、水槽和管道那样需要经常的观测和时常的维修。隧洞周围介质的温度变化远逊于地表上的情况，因此隧洞内不可能发生冰冻

的障碍，而这种障碍在严寒地区内，不可避免地会发生在地面上水道的运行中。在国防方面，水工隧洞也具有显著的优点。

应当根据每一具体情况，特别是根据自然条件和既定的水利目标总体布置对水道的要求，来解决有关最合理的水道型式的问题。在选择水道型式时，在大多数的情况下，需要研究若干方案。只有在某些完全肯定的条件下，研究了所有的情况后，才能立刻决定水道的型式。

引水隧洞可以有压的，也可以是无压的（图1-4）。兹将它们的适用条件、某些优点和缺点，叙述于下。

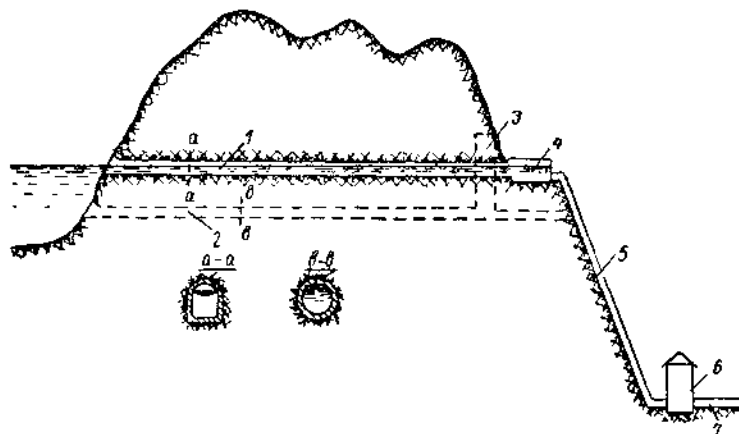


图 1-4 具有有压或无压的引水隧洞的水电站示意图

1—无压隧洞；2—有压隧洞；3—调压井；4—压力前池；5—压力水管；
6—水电站厂房；7—尾水渠

在上游水位变化很大的情况下，无压隧洞需要增大其横断面的高度；但是有压隧洞的横断面尺寸，则几乎与水位变化的幅度无关。

同样，在管道引水流量变化很大的情况下，采用有压隧洞也胜于无压隧洞。有压隧洞能很快地适应水轮机的各种负荷的变化，因此能以最佳的方式来利用全年所有的流量和水头。

在小流量的情况下，无压隧洞内的自由水面曲线近似于水平线。在这样的情况下，为了保持无压流动，无压隧洞末端部分的断面需要大加扩展。因此在这样的情况下，隧洞愈长，则采用无压隧洞将愈不合理。为了减小无压隧洞横断面的尺寸，有时在其末端建造空放泄水建筑物，以便当水位超过一定的范围时，能自动地泄水。为此，需要增建有时是很昂贵的、附加的建筑物。同时，水电站则又完全白白地损失掉这部分流经泄水建筑物的水量。

在水电站出力日变化的情况下，隧洞内引水流量会很快地和剧烈地变化，因而要求在采用有压隧洞的情况下，在其末端建造完全埋在地表下的调压室（调压井），或者建造露出地面的调压室（调压塔）。

调压井（调压塔）是一种很重要的和造价昂贵的建筑物，它会使整个水电站复杂化和造价高，但它有自己的独特用途。

- a) 保护隧洞不受水电站水轮机停机所产生的水击作用；
- b) 减小上述水击对压力水管的影响；
- c) 保护水轮机不受引水道内的全部水体对水轮机调节的影响。

在无压隧洞的情况下，是不必要建造调压井（调压塔）的。但须在无压隧洞的末端建造压力前池，压力水管自此开始。

当根据地形条件，有可能在隧洞末端建造容积足够大的调节水池（日调节水池）时，则采用无压隧洞是有利的。但是，假如没有可能建造这种调节水池，则必须根据在所有流量可能变化的情况下，水面与隧洞衬砌面之间必须留有—定空间的条件的条件，来设计无压隧洞。根据这样的条件所确定的、在日内流量变化很大的条件下运行的无压隧洞，其横断面的尺寸将是很大的，这将使建造无压隧洞比有压隧洞贵得多。

工程地质条件对引水隧洞型式的选择，也有某些影响。有压隧洞的衬砌，承受内水压力的附加作用，因此是重要的和造价贵的结构物。在不良的工程地质条件下，即在软弱而抗力低的地层中，在内水压力作用下对衬砌的变形不能给予抗力，无压隧洞胜过有压隧洞。同时，应当考虑当有压隧洞线路穿越软弱岩层时，在某些情况下需要将隧洞适当地布置在较深的地方，以避免不利的地质条件；然而在建造无压隧洞时，在平面上就不得不显著扭曲隧洞线路。

无压隧洞的取水建筑物总是比有压隧洞的深水取水口来得简单和便宜。

上述见解，简要说明了有关有压和无压引水隧洞的工作条件，也表明了必须相当详尽地和全面地研究和考虑所设计建筑物的所有特点和工作条件。

某一时期按无压隧洞来工作，而在另一时期又按有压隧洞来工作的隧洞，这种所谓中间方案，大多数是不合理的，特别是在非常不稳定的水流情况下更是如此。在这种隧洞内，有发生“呛噎”的危险，即随着水流充满整个断面，水流使隧洞内的空气遭受到强烈的挤压，空气被迫冲向外面；而在完全充水了的隧洞放空时，会在隧洞中发生真空，从而使外面的空气，以极大的力量冲向洞内。

当洞内水位沿纵向发生迅速的和不均匀的上升或下降时，便形成空气的局部挤压和真空，这些现象以巨大的速度沿着隧洞移动。当空气被挤压时，隧洞衬砌将承受附加的内压力；而当形成真空时，则将承受外压力。为了防止发生上述的现象，无压隧洞的空间，有时利用通气井与外面的空气连通。

从所有已经建成的隧洞来看，引水隧洞在总长度方面占居第一位。在各个引水式水电站中，引水隧洞有时长达几十公里。这种引水隧洞的造价是很贵的，往往也是水电站最重要的建筑物。

图 1-5 是拉兹丹河上的梯级水电站（亚美尼亚），其中包括了40公里的隧洞，30公里的渠道和10公里的管道。坝后式水电站的引水隧洞，一般都是比较短的。

水工隧洞可以是水电站引水水道唯一的组成部分，或者作为与其他建筑物——渠道、管道和别的隧洞共同组成的引水水道的一个组成部分。

在无压隧洞之前或在其后具有明渠段时，则必须在其连接地点建造连接墙，以使隧洞断面平缓地过渡到渠道断面。

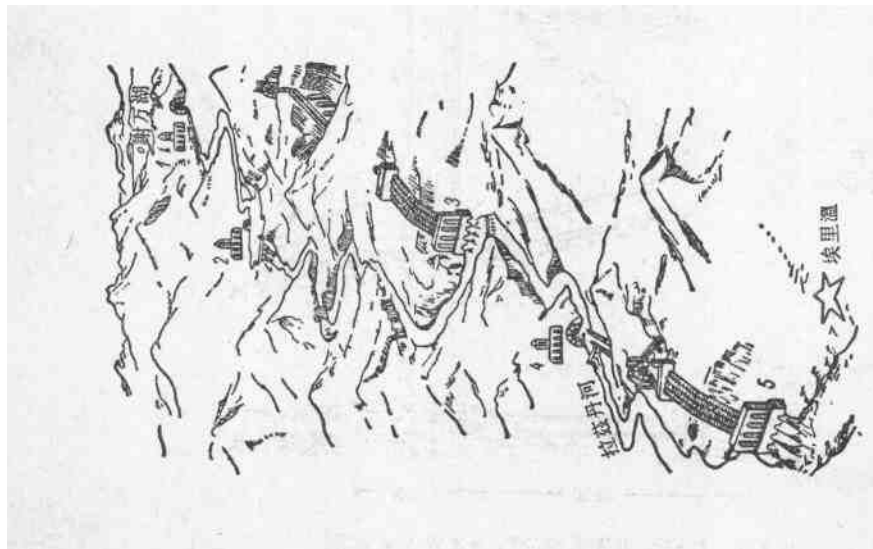


图 1-5 拉兹丹河上的梯级水电站

1—谢万福水电站；2—阿泰尔别坎水电站；
3—勾顿卡斯水电站；4—阿尔兹宁水电站；
5—卡那基尔水电站（第六个梯级水电站是埃里温水电站）

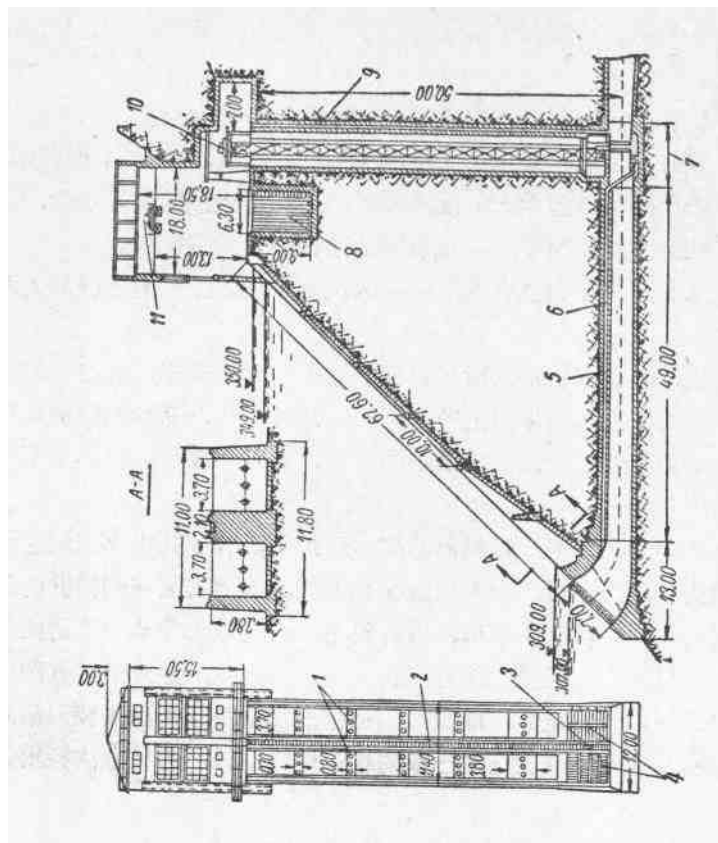


图 1-6 具有两个取水孔道的隧洞式有压取水建筑物

1— $d=5$ 厘米的排水孔；2—观测用的混凝土扶梯；3—产生平衡水压力管子的出口；4— 7.7×3.7 米的取水孔；5—厚为6厘米的喷浆；6— $d=10$ 厘米的管子；7—钢板衬砌段；8—貯存拦污栅的地方；9—通气管；10—校草；11—起重能力为130吨的起重吊车

在直接从水庫取水的引水隧洞首部，需要建造取水建筑物，为了防止漂浮物落入隧洞內，在取水建筑物处設有粗格拦污柵；为了防止小块浮冰和大冰块，在无压隧洞建造没入水內相当深的拦冰梁。

为了保证隧洞能够观测和維修，在取水建筑物中設有迭梁和閘門，利用这些装置就可以关闭和放空隧洞。有时利用迭梁来增大无压隧洞的进口跌水，例如当用堤坝形成的水庫的水位很高时，为了防止隧洞通过太大的流量或者为了降低隧洞的末端水位，可能有此需要。必須指出，只有在非常的情况下，才可以考虑这样調节的可能性。

取水建筑物的取水孔，应当布置在水庫淤沙的預定水位之上。有压隧洞的取水孔布置在水庫的最低水位之下。

取水建筑物的构造，孔口形状及其所有組成部分的尺寸的选择，都必须使水头损失为最小。取水建筑物的水流流速通常采用范围为0.8至1.6米/秒，即約为隧洞內的一般流速的二分之一。因而必須大大地扩大取水建筑物的宽度，并且要保证进口部分平緩地过渡到引水水道的正常断面。

图 1-6 是按泄水流量为 $42.5 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 設計的取水建筑物，为了减小水流流速而建造了两个取水孔道，它們紧接在閘門之后，与有压隧洞相連接。閘門安装在閘門井的加寬部分。为了关闭取水口的喇叭孔，可以利用絞車，沿着斜坡上的混凝土导牆放下迭梁閘門。为了保证水电站更可靠的运行，在有压隧洞的首部設有两个取水孔，并分別裝有閘門。

在沒有迭梁的情况下，为了能够修理閘門，在每一水道中，可以安装两扇閘門：手动式和自动式。当水道断面不大，可以应用一般的水管蝴蝶閘时，这种方法特別方便（图 1-7）。

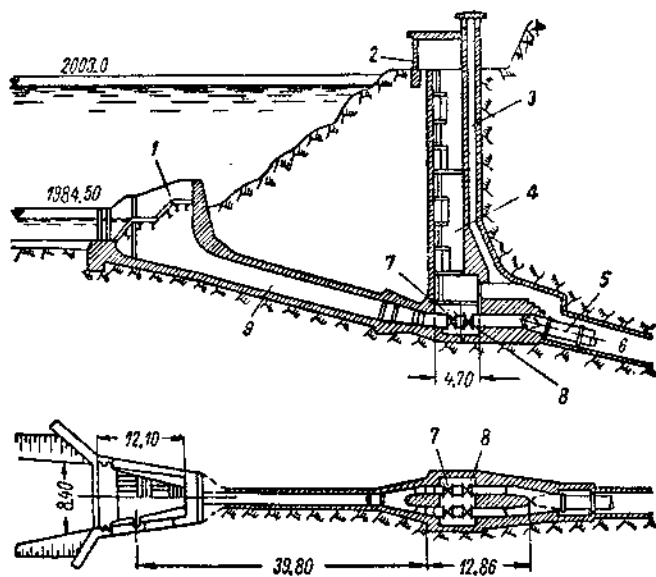


图 1-7 具有两扇蝴蝶閘的隧洞式取水建筑物

- 1—拦污柵； 2—保暖房； 3—通气管； 4—井； 5—管道； 6—有压隧洞； 7—手动閘門；
8—自动閘門； 9—隧洞取水段

假如从含有大量泥沙的河流取水至引水道内，则为了防止取水建筑物淤堵和泥沙磨损隧洞的衬砌以及安装在水电站上的设备，可使进入隧洞内的水流，预先通过沉沙池，进行人工澄清。在某些情况下，还不得不沿着隧洞轴线也建造沉沙池。

取水建筑物与水电站首部枢纽的其它组成部分之间的相互位置，具有重要的意义。

首部枢纽的设计和建造的实践，表明了在一具体的情况下，不论是取水建筑物的最好位置，或者是其外形的最合理形状，都只有通过试验的途径才能确定下来。为此，必须制作整个首部枢纽的模型，并在模型中全面地研究设计时所产生的所有疑难问题。

如前所述，在有压引水道的末端建造调压井（调压塔），在水电站负荷剧烈变化时是用来：减轻有压水道中发生的动压力现象；减小在这种情况下有压隧洞和压力水管中可能发生的压力升高以及改善水轮机的工作。

调压井可以有不同的结构。在上游水位变化很大的情况下，双室型调压井是很经济的方案，该型调压井是由升管和双室（上室和下室）所组成。当双室型调压井有可能全部布置在坚硬的岩层中时，这种结构是特别合理的（图1-8）。上室建造得比上游最高水位还要高，下室比上游最低水位还要低。上室是在丢弃负荷时应用的，而下室则应用在增大负

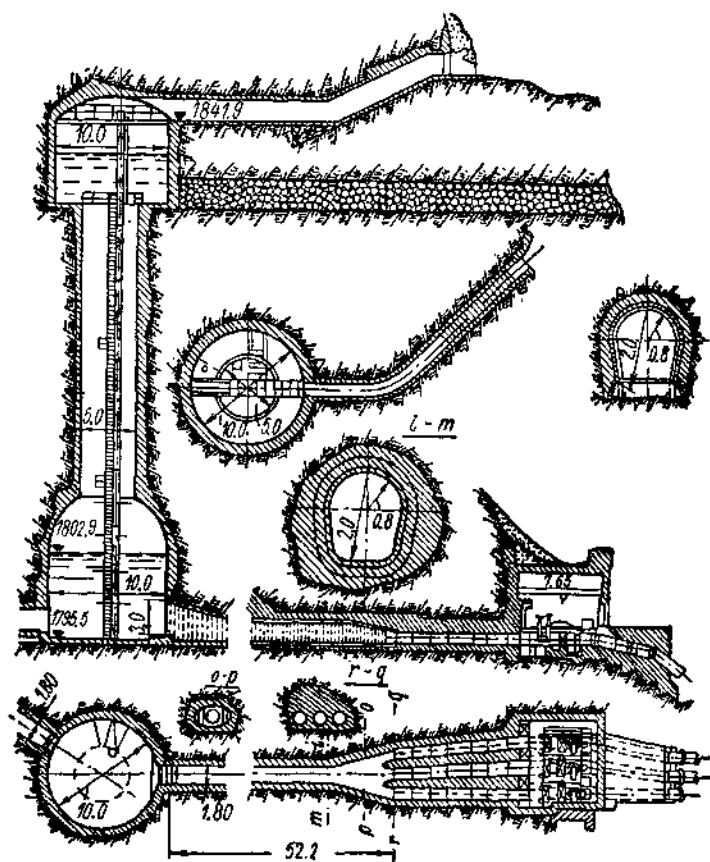


图 1-8 双室型调压井

荷时, 是为了限制水位的波幅。为了观测上室和在调压井水位波动时输进与排出空气, 另外建造了具有通向地面的出口的平洞。

当调压井布置在靠近地表时, 上室可能整个地或部分地露出岩体之外。在这样的情况下, 上室可建成钢筋混凝土水塔的形式(图1-9)。

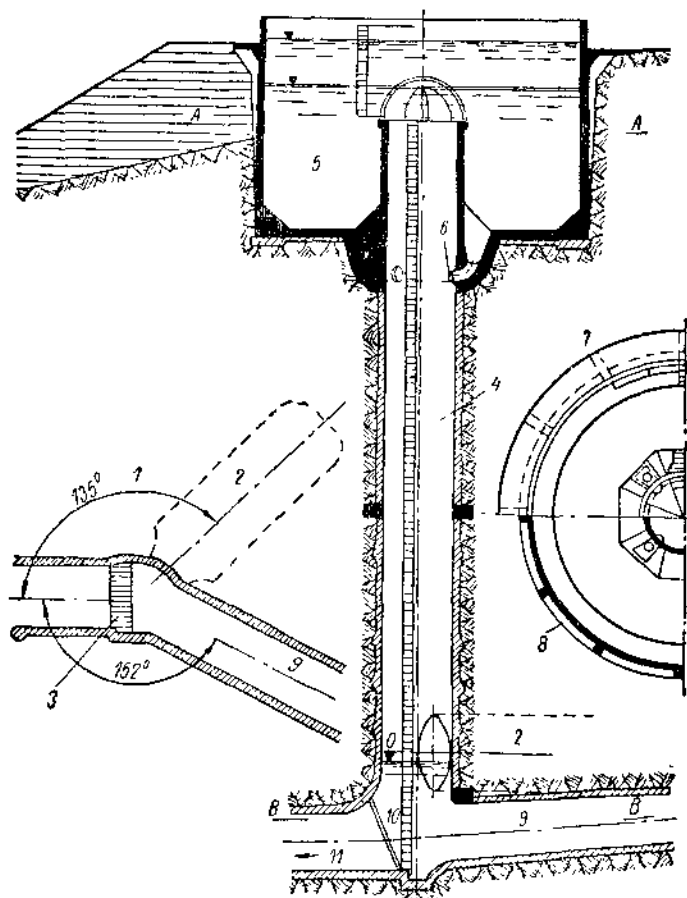


图 1-9 具有钢筋混凝土水塔形上室的调压井

1—B-B剖面; 2—下室; 3—拦污栅; 4—井; 5—上室; 6—逆止阀; 7—俯视图; 8—A-A剖面; 9—引水隧洞; 10—拦污栅; 11—通向管道

这种型式调压井的特点是升管位于上室高度范围内, 并在升管顶上建有溢流堰。设置溢流堰能使水位波动衰减得很快, 从而能使水轮机更稳定地工作。下室的形状像似隧洞, 其直径为3.4米, 长为50米, 与引水隧洞的轴线成一交角。

在无压引水道的情况下, 在其末端建造压力前池, 其主要作用是分配通向水轮机的各压力水管之间的流量。为此目的, 在压力前池中装有闸门, 以便单独地关闭每一水管; 此外, 还装有拦污栅, 以便第二次清理通向水轮机的水流。连接压力前池与无压水道正常断面的无压水道加宽部分, 通常称为前池。前池在很大的程度上是作为沉沙池用的。

为了冲掉沉积在压力前池中的或者紧靠前池一带的泥沙, 往往建造冲沙孔。

在有利的条件下，在无压隧洞和压力前池之间建造日调节水池（图1-10）。

在某些情况下，在长的无压隧洞的末端，邻近压力前池处建造空泄泄水建筑物，以阻止隧洞末端处水位上升过巨，并按照某种下限来限制流过隧洞的流量。这些泄水建筑物的尾水渠及其消能建筑物，通常都是按隧洞最大过水流量来设计的。

空泄泄水建筑物是封闭式泄水建筑物或者是虹吸管，很少用具有自动闸门的溢流堰。

在某些情况下，在山区有时不得不把压力前池布置在地下，

为了这个目的，在无压隧洞的尾段相当的长度内，要扩大横断面（图1-11）。由于开挖宽度很大而需要加固，特别是在软弱的和不稳定的岩层中，工程是相当复杂和昂贵的；因而经常在主引水隧洞的尾段，分成两条隧洞，用不太长的横向平洞来连接它们，有时在这个平洞段内布置着空泄泄水建筑物的取水部分。当压力前池布置在地下的情况下，空泄泄水建筑物也常常建造成隧洞式的。

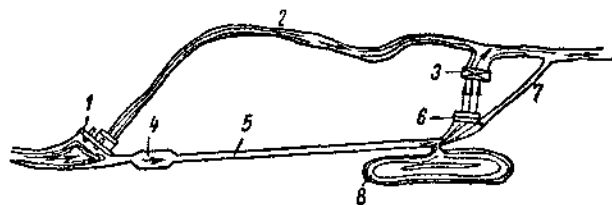


图 1-10 具有日调节水池的无压引水道示意图

1—坝；2—天然河床；3—水电站厂房；4—沉沙池；5—无压隧洞；6—压力前池；7—溢流建筑物；8—日调节水池

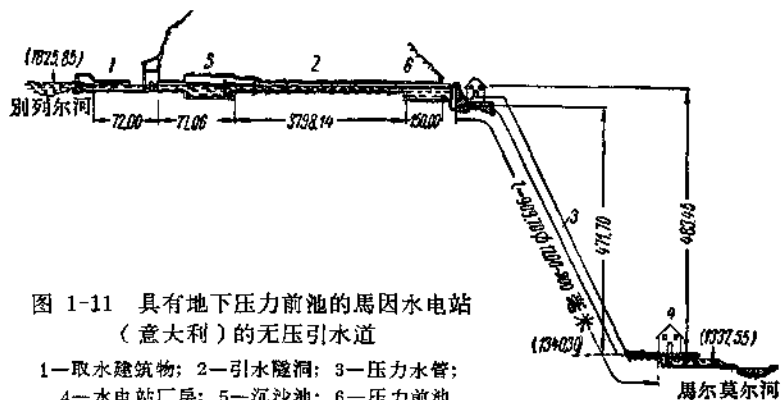


图 1-11 具有地下压力前池的馬因水电站（意大利）的无压引水道

1—取水建筑物；2—引水隧洞；3—压力水管；4—水电站厂房；5—沉沙池；6—压力前池

图1-12是下列类型的地下压力前池的例子。在这个例子中，隧洞在长为1.2公里的尾段中，分成尺寸稍大的两个隧洞，其轴线相距约20米。两个隧洞在其纵向中部，用较短的横向平洞来连接，自此开始净空直径为3.0米的空泄建筑物的斜隧洞（角度为45°）。当引水道末端水位升高时，水从位于靠近岸坡的引水隧洞中的溢流堰溢出，同时也从位于横向平洞中的带有自动闸门的溢流堰中溢出，而泄入泄水隧洞中。来自泄水隧洞的水流穿过顶部和底部的泄水孔，进入消能用的地下室。利用不长的水平隧洞，把流经消能设备的水流，引入明渠，从而流入河中。空泄泄水建筑物和消能设备，是按电站全部丢弃负荷时的最大泄流量（100米³/秒）来设计的。

当空泄泄水建筑物不适宜建造在配水建筑物附近时，可沿着隧洞线路布设，并尽可能地将它布置在靠近出口的末端。当直接从隧洞中棄水时，有时可采用虹吸式泄水建筑物。

在这样情况下, 棄水通常也是用隧洞引出。

有很多水电站是利用山地湖泊中高水位的水源。有时当湖泊水位很高而浸沒周围地区和使地区沼泽化时, 也从湖泊中引水。从湖泊引水时, 可以采用特地开挖的明渠或者用浚深发源于湖泊的河床的方法; 但是这两个方案有时都需要在高峻的湖岸上进行相当深的挖方, 以致在这样的情况下建造隧洞从湖中引水往往是較合理的。

在用隧洞方法从湖中引水时, 最复杂的任务是建造高围堰, 这是为建造远低于湖泊水位的取水口所必需的。为了便于工作, 通常是分期地开挖位于不同水位上的若干水平隧洞。这样就有可能在尺寸比較小的围堰后面, 建造每层引水隧洞的取水部分。

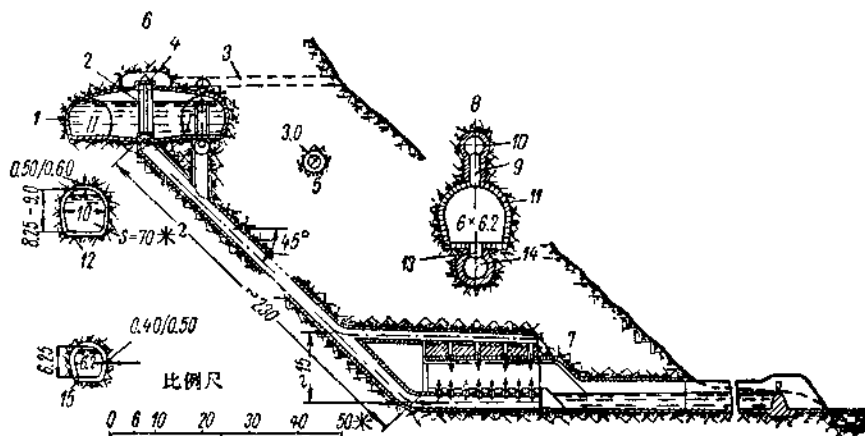


图 1-12 卡尔达諾水电站(意大利)的隧洞式空泄泄水建筑物

1—压力前池; 2—自动閘門; 3—通风平洞; 4—溢流堰; 5—泄水隧洞; 6—纵剖面; 7—消能设备; 8—横剖面; 9— $d=1$ 米鋼管; 10— $d=2$ 米鋼管; 11—浆砌块石衬砌; 12—压力前池的隧洞; 13— $d=1.5$ 米鋼管; 14— $d=3$ 米鋼管; 15—引水隧洞

当湖泊水电站运行中, 水位消落低于某期隧洞底部的高程时, 这时可以利用虹吸引水管来引取湖水。用这样的設施来建造位于下一层的隧洞时, 可以給施工工作带来某些方便: 减少围堰的高度, 降低湖泊的水头, 在爆破最后留下的隧洞首部与湖泊之間的岩石堵头后, 便于清理取水口附近河底的施工工作等等。

图1-13是利用亚娃烏克洛埃湖泊水利資源所采用的取水建筑物示意图。当湖泊水位逐

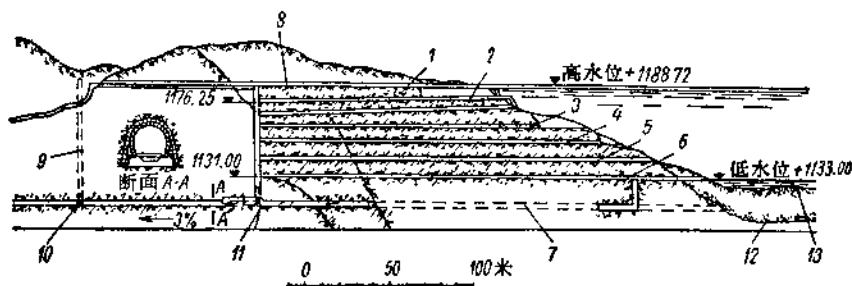


图 1-13 利用克洛埃湖泊水利資源的隧洞取水示意图

1~7—隧洞; 8—无压隧洞; 9—通气井; 10—有压隧洞; 11—閘門; 12—1919年的湖底; 13—1925年的湖底