

地下水电站

苏联 B.Л. 庫皮尔曼等著

陈 可 一 译



水利电力出版社

原作者序

苏联发展国民经济的第六个五年计划规定要建设相当多的水电站，其中也包括有厂房设在地下水电站(地下水电站)。

苏联地下水电站的总容量到1960年将要比现有的增加2倍，而到1965年将要增加4倍以上。

在国外的水电建设实践中，特别是最近，也普遍地在建造地下水电站，并且在其设计和施工方面已经积累了不少经验。

因此，有必要研究和总结国外地下水电站建设的先进经验，使其能广泛地运用到苏联的建设实践中，以提高设计质量、加速施工进度和减低工程造价，以及为水电站的正常运行创造必要的条件。

本书的意旨是：以按照布置及结构特点而提出的分类作为根据，分门别类地阐述一些具有特征性的国外地下水电站，并拟出关于地下水电站设计和施工的某些建议。

本书利用了国外期刊上的资料、全苏动力建筑公司莫斯科分公司科学研究所的著作以及水电设计院技术处的许多资料。在书末附有有关各个水电站的文献来源。

应该指出，对于同一个水电站，其容量、水头、流量以及建筑物的尺寸在不同的文献记述中并不相符。国外文献中的装机容量常常是按水轮机而言的。本书所说的水电站装机容量是指发电机容量，只是当缺乏发电机容量的资料时才用水轮机容量。

作者

目 录

第一章 緒論	3
1. 地下水电站建設的发展概述	3
2. 地下水电站的特点	5
3. 地下水电站布置图式的分类	6
第二章 首部式布置的地下水电站	7
1. 哈尔斯普蘭格梯水电站	7
2. 苏庇梯水电站	14
3. 拉塞列水电站	16
4. 阿姆布克拉鄂水电站	19
5. 伊拉福斯水电站	21
6. 撒拉蒙德水电站	25
第三章 中部式布置的地下水电站	31
1. 赤尔福尔森水电站	31
2. 桑塔-吉武斯梯納(太鄂)水电站	36
第四章 尾部式布置的地下水电站	41
1. 涅察科-克曼諾水电站	41
2. 伯尔西密斯水电站	50
3. 福尔撒卡华水电站	55
4. 索維尔津水电站	61
5. 印涅尔梯克尔承水电站	65
6. 溫斯特拉水电站	67
7. 雅布蘭尼卡水电站	72
8. 伊泽尔-阿尔格水电站	74
9. 菲昂尼水电站	80
10. 蒙梯庇撒水电站	84
11. 拉維水电站	87
12. 阿姆庇錯水电站	91
第五章 关于地下水电站設計和施工的某些总结	98
1. 布置图式	98
2. 主要設備在地下厂房中的布置	99
3. 厂房、隧洞和井式水輪机輸水道的护面結構	100
4. 地下厂房和隧洞的施工方法	103
結 語	106

第一章 緒 論

1. 地下水电站建設的发展概述

1904~1907年德国建造了第一个厂房設在地下的水电站(布赫伯尔格米列发电站)。过去50年来世界各国共有容量总数达1,200万千瓦的126个地下水力发电站投入运行,而現在又有大約100个地下水电站(总容量超过1,800万千瓦)正在建造或設計中。表1列出了地下水电站每十年增长的数字,从表中可以看出,大多数的地下水电站都是最近建成和建造中的。从1907年到1940年总共才建造了29个地下水电站,总容量約100万千瓦,而自1940年以来投入运行的則有97个,总容量达1,100万千瓦。

1940年以前,地下水电站主要是在欧洲各国(意大利、瑞典、瑞士、挪威、法国)建造。第二次世界大战結束以后,地下水电站的建設在北美和南美洲、非洲、亚洲以及澳洲各国也有了急剧的发展。

表1 地下水电站每十年增加数

年 份	1920年以前	1920~1930	1930~1940	1940~1950	1950~1955	建造和設計中的
地下水电站数	5	12	12	33	64	92

表2給出了世界各国地下水电站的分布情况。

表2 世界各国地下水电站的分布

順序	国 名	运行中的电站数	建造和設計中的电站数	順序	国 名	运行中的电站数	建造和設計中的电站数
1	澳大利亚	3	17	13	秘魯	1	0
2	奥地利	1	3	14	葡萄牙	1	0
3	巴西	1	4	15	薩尔瓦多	1	0
4	保加利亚	0	2	16	美国	2	1
5	英国	1	1	17	土耳其	0	1
6	德国	2	0	18	菲律賓	1	0
7	印度	1	1	19	法国及其殖民地	10	6
8	西班牙	1	0	20	捷克斯洛伐克	1	1
9	意大利	38	7	21	瑞士	10	14
10	冰島	1	0	22	瑞典	18	11
11	加拿大	1	1	23	南斯拉夫	3	2
12	挪威	26	12	24	日本	1	0

在很多国家中,地下水电站在发电量上所佔的比重是很大的,例如在意大利,超过全部水电站发电量的30%,在挪威則超过40%,而在瑞典約为50%。

表3列出了国外已建成或建造中的、容量超过10万千瓦的大型地下水电站。

表3

国外大型地下水电站(容量大于10万千瓦的)

顺序	电 站 名 称	国 别	建筑年代或 开工年代	设计装机容量 (万千瓦)	水 头 (公尺)	流 量 (公方秒)	附 注
1	涅察科 克曼诺	加拿大	1951~1954*	169.60	783.0	256.0	*第一期工程
2	伯尔四密斯	加拿大	1953(建筑中)	96.00	266.0	425.0	
3	帕乌卢-阿方苏	巴西	(建筑中)	90.00 (全部远景发展)	84.0	1260.0	流量系由公式推算
4	斯托尔诺尔福尔斯	瑞典	1953(建筑中)	52.00	75.0	850.0	
5	阿马里阿	法属几内亚	(设计中)	51.00	79.0	720.0	
6	里巴塔那	巴西	(建筑中)	39.00	718.0	64.0	流量系由公式推算
7	哈尔斯普兰格梯	瑞典	1949~1951	37.80	105.5	321.0	
8	塞尔-本申	法国	(建筑中)	36.00	107.0	300.0	
9	桑塔-马森卡	意大利	1952	35.50	610.0	74.0	
10	苏庇福	法属几内亚	(设计中)	31.00	110.0	328.0	
11	福尔撒卡华	巴西	1946~1952	30.00	312.0	132.0	
12	亦尔福尔森	瑞典	1947~1954	28.80	95.0	375.0	
13	克伦格德	瑞典	1931~1936	23.00	60.0	420.0	
14	阿乌拉	挪威	1947~1954	22.80	750.0	38.0	流量系由公式推算
15	索维尔津	意大利	1951	22.00	284.0	88.0	
16	印涅尔梯克尔承	瑞士	1940~1942	21.00	672.3	40.0	
17	桑-扎科马	意大利	1947	20.00	655.0	37.0	
18	哈尔塞列	瑞典	(建筑中)	20.00	56.0	450.0	流量系由公式推算
19	底印	挪威	1941~1946	19.20	970.0	23.5	
20	布罗马	法国	1928~1933	18.80	256.0	84.0	
21	阿维塞	意大利	1941~1952	18.00	1030.0	22.5	流量系由公式推算
22	莫尔	挪威	1941~1949	18.00	823.0	27.5	
23	里塞	瑞士	(建筑中)	18.00	630.0	35.7	流量系由公式推算
24	温斯特拉	挪威	1946~1951*	18.00	420.0	56.0	*第一期工程
25	哈雅尔塔	瑞典	1941~1950	18.00	86.0	282.0	流量系由公式推算
26	里格	瑞典	1954	16.00	40.0	509.0	流量系由公式推算
27	兰塞列	瑞典	(建筑中)	15.00	79.0	240.0	流量系由公式推算
28	斯撒	挪威	(建筑中)	15.00	896.0	12.0	流量系由公式推算
29	卡娜德尔帕托	秘鲁	1942~1946	15.00	420.0	30.0	
30	普罗维德卡	意大利	1949	15.00	255.0	60.0	
31	福尔斯基	瑞典	(建筑中)	14.50	35.0	500.0	1948年第一期工程 - 的7700千瓦投入 运行
32	雅布兰尼卡	南斯拉夫	1955	14.40	111.0	160.0	流量系由公式推算
33	坡尔友斯	瑞典	1910~1915 1935~1950*	14.20	58.0	255.0	*扩建
34	伊塞里-阿尔格	法国	1950~1954	13.00	153.0	100.0	
35	斯塔德斯福尔森	瑞典	1939~1951	13.00	27.0	300.0	流量系由公式推算
36	布列撒那涅	意大利	1940	12.80	—	—	
37	菲昂尼	瑞士	(建筑中)	12.75	471.0	34.5	
38	拉塞列	瑞典	(建筑中)	12.60	52.0	280.0	流量系由公式推算
39	梯列格斯列梯	瑞典	(建筑中)	12.00	142.0	105.0	流量系由公式推算
40	伊斯撒列-里那-梯彼撒	法国	1949~1955	11.90	667.0	22.3	流量系由公式推算
41	蒙梯底撒	法国	1950~1954	11.80	634.0	22.0	流量系由公式推算
42	汉德克II	瑞士	1946~1950	11.40	465.0	32.0	
43	雅尔彼日梯列曼	瑞典	1947	11.00	68.0	200.0	流量系由公式推算
44	桑-彼尔-刚也	法国	1950~1953	11.00	92.0	132.0	流量系由公式推算

續表

順序	電 站 名 稱	國 別	建築年代或 開工年代	設計裝機容量 (萬千瓦)	水 頭 (公尺)	流 量 (公方秒)	附 注
45	羅榮格	挪威	(建築中)	11.00	245.0	50.0	流量系由公式推算
46	蒙托里那	意大利	1952	10.60	258.0	55.0	
47	桑塔-吉武斯梯納(太那)	意大利	1939~1952	10.35	182.0	66.0	
48	哈友姆	瑞典	1939~1945	10.00	31.0	405.0	流量系由公式推算
49	斯托爾芬福爾森	瑞典	1954	10.00	49.0	250.0	流量系由公式推算
50	巴爾福爾森	瑞典	(建築中)	10.00	30.0	400.0	流量系由公式推算

近代地下水電站建設的特点是電站的容量一個個地有了很大的增加(超過 100 萬千瓦)。

某些國家為建造水電站而進行的地下工程的數量，亦達到了極其巨大的規模，例如在法國和意大利，自 1946 年~1953 年建造了 1,000 公里的隧洞和 330 萬公方混凝土的地下建築物。某些地下水電站的地下工程量也有顯著的增加，例如涅察科-克曼諾發電站，僅第一期工程的地下岩石挖方量就達到 130 萬公方左右。

2. 地下水電站的特点

廠房設在地下的水電站的特点是：發電站的大部分建築物都是地下建築物。

凡是地下水電站，不管它按集中水頭的方式而言屬於什麼類型(壩後式、引水式或混合式)，其特征是都必然具有一段或長或短的引水道。對於引水式或混合式發電站來說，引水道集中了全部或部分水頭，而對於壩後式，引水道則是為了適應廠房設在地下的布置特點而設置的。

從水力工作的觀點來看，地下水電站在布置圖式上有着一系列的特點(具有長尾引水隧洞，具有雙調壓池，下游調壓池系統)。

與地上水電站相比較，地下水電站有着如下的優點：

(1) 開發河段的選擇和建築物樞紐的布置比較靈活，如果在地質方面不加以任何限制的話，把水電站廠房布置在引水道上任何地方幾乎都是可能的。

把水電站廠房布置在地層深處，可以得到較好的地質條件。

(2) 由於縮短了引水道長度和在一定條件下用無壓的尾引水道代替了有壓的前引水道，減少了水頭損失，因而改善了動能指標；當引水道建入地下時，是有可能將其路綫選得較之地上引水道直些和短些的。但應指出，對壩後式的布置來說，有可能是相反的情況，即當廠房不建在地上而建入地下時，由於加長了進水和尾水道，使得水頭損失反而增加。

(3) 井式水輪機輸水道較之地上布置時要短些，這樣將改善了機組調節的條件，並減輕了輸水道和水輪機的結構；岩石堅硬時，由於一部分內水壓力所產生的荷載傳至周圍的岩石上，用鋼量可以得到節省；對高水頭和大流量的水電站來說，這一優點特別重要。

(4) 在干而堅固的岩石中，因為利用了岩石承載的性能，機房的構件(柱、吊車梁、牆、水下部分)可以得以減輕。

(5)在深窄的峡谷中,在地上布置厂房和压力输水道是比较困难的,同时还要造一些防止雪崩、山崩、落石的建筑物;当水电站的厂房和输水道布置在地下时,这些困难就不存在了;有时在如是的情况下,采用地下布置将成为唯一可能的解决办法。

(6)建筑工作可以整年进行,不受天气条件影响,这在恶劣的气候情况下特别重要。

(7)地下引水时,冬季运行条件可以得到大大的改善,因为水从水库流到水轮机的沿途上(和地上引水不同)不至受寒。

(8)厂房设在地下的水电站,化费在运行和建筑物检修方面的开支一般不会超过地上水电站,而在某些情况下还要节省些。

(9)可以免除压力厂房枢纽建筑物的特殊防护措施。

但是,在地下布置主要建筑物时,在施工和运行方面也有如下的缺点:

(1)地下水电站的工程稍大于地上水电站,与工程地质条件有关。只有在坚固且渗透性弱的岩石中,地下水电站才可以和地上水电站相媲美。地下水电站要求精密的地质勘探,因为不精确的工程地质资料可能会引起很大的意外损失。

(2)由于必须进行地下施工,所用的劳动力要求有较高的熟练程度。在一般气候条件的地区,地下施工时工人的劳动比较地面施工要艰苦些。

山地工作,特别是建造垂直和倾斜地洞时,需要复杂的建筑机械。

(3)甚至当只有很少量的水可能流入地下机房和布置有电路的建筑物中时,也必须采取防水以保护设备的特殊措施。

在地上布置升压变压器时,常常要设置很长的出线,因而增加了电能的损失。

(4)地下厂房必须有经常的人工照明和通风,这就增加了运行的费用;而在地下工作的运行人员,其工作效率在一定程度上也有所减低。

3. 地下水电站布置图式的分类

厂房在引水路线上的位置是地下水电站的布置图式的主要特征;这一特征决定了电站的水力工作情况,建筑物的组成和类型,以及施工和运行条件。根据这一特征可以将地下水电站分为下列三类:

(1)首部式——厂房的位置很接近取水口,没有前引水道,或者只有一段比尾引水道短得多的前引水道。

(2)中部式——厂房位于引水道的中部,前引水道和尾引水道的长度大致相等。

(3)尾部式——厂房位于引水道的末尾,尾引水道比之前引水道相对来说只有很短的一段长度。

在很多地下水电站实例中,本书选出了最近建成或正在建造的、在电站指标、结构和施工方法方面最有特征性的一些地下水电站。

在挑选时,曾考虑到必需最全面地包括有大小不同的容量和水头。我们偏重于挑选那些应用了最完善的技术和施工方法、而建筑期又比较短的地下水电站。

选入书中的地下水电站按其布置图式作了分类。一共是20个,其中6个是首部式布置,2个是中部式布置,12个是尾部式布置。将分属于上述三种布置图式的地下水电站

各編为一章，在每章中按电站容量的大小順次闡述。闡述各个水电站时，分別介紹了电站总体方面的一般数据、主要的建筑物以及施工的情况和建筑期。地下建筑物(引水道、調压池、水輪机輸水道和厂房)及其施工方法闡述得較為詳細些。并在闡述每个电站的最后，提出了它的一些最有意义的特点。

第二章 首部式布置的地下水电站

1. 哈尔斯普兰格梯水电站

所屬河流——卢雷亚河。

所在地——瑞典(北极圈内)。

装机容量——37.8万千瓦(第一期为28.35万千瓦)。

年发电量——18亿度(第一期)。

机組数——4(第一期为3个机組)。

水头——105.5公尺。

流量(最大时)——321公方/秒。

I 一般数据

本电站所利用的河段长11公里，自坡尔友斯水电站的尾引水隧洞的出口伸延至帕哥上滩。該河段的落差有107公尺。哈尔斯普兰格梯水电站的坝和厂房位于坡尔友斯电站尾引水隧洞出口的下流約7公里。

筑堆石坝将本河的水位抬高至311.3公尺(图1)。在坝的左岸布置了取水口，水从这里引入，經井式輸水道进至地下厂房中的水輪机。尾水用隧洞排入旧日列梯盆地。全部地下建筑物坐落在良好的花崗岩中。

本电站坐落处的河流多年平均流量为255公方/秒，特大洪水时达1,210公方/秒。平水年冬季流量等于250公方/秒，而在枯水年中則为210公方/秒；平常年份的洪水为670公方/秒。因为有苏鄂尔华湖調节了水流，使在最大电力負荷的冬季月份(11月~1月)，在平水年有可能得到常流

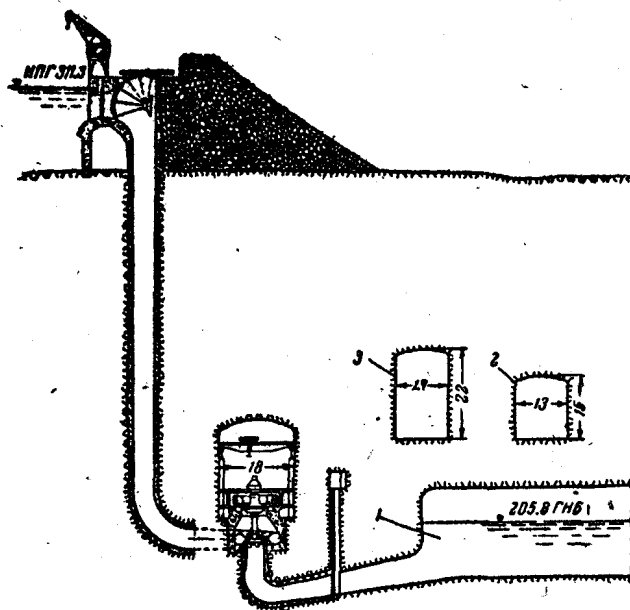


图1 哈尔斯普蘭格梯水电站压力厂房樞紐縱断面图
1—調压池；2—尾引水隧洞的横断面；3—調压池的横断面。

量270公方/秒，而在枯水年可得到240公方/秒。

由于后来在河的上游段建设某些调节径流的工程，将有可能增加被利用的流量，和装置与原有三台机组相似的第四台机组，使电站的总容量达到37.8万千瓦。

为了将电能送至国内中心区，建筑了长达1,000公里的380千伏的输电线路工程。

本电站的建筑工程曾在1919~1923年间进行过，经过一段长时间的停工以后，又在新的站址上复工，到1951年完成。

按1952年的币值，本电站每装机千瓦的价格约为650个瑞典克隆。

II 主要建筑物

(1) 坝。水库系借堆石坝而形成；坝高约50公尺，长1,430公尺，总工程量为150万公方。筑坝所用的主要石方都是建造地下建筑物时开挖所得。沿坝轴线有建在混凝土基础上的钢筋混凝土心墙，心墙旁接有3~4公尺厚的粘土层，这样便保证了坝的不透水性。在心墙的上游面铺设了作防水用的沥青层，使心墙和土体能够独立地沉陷。

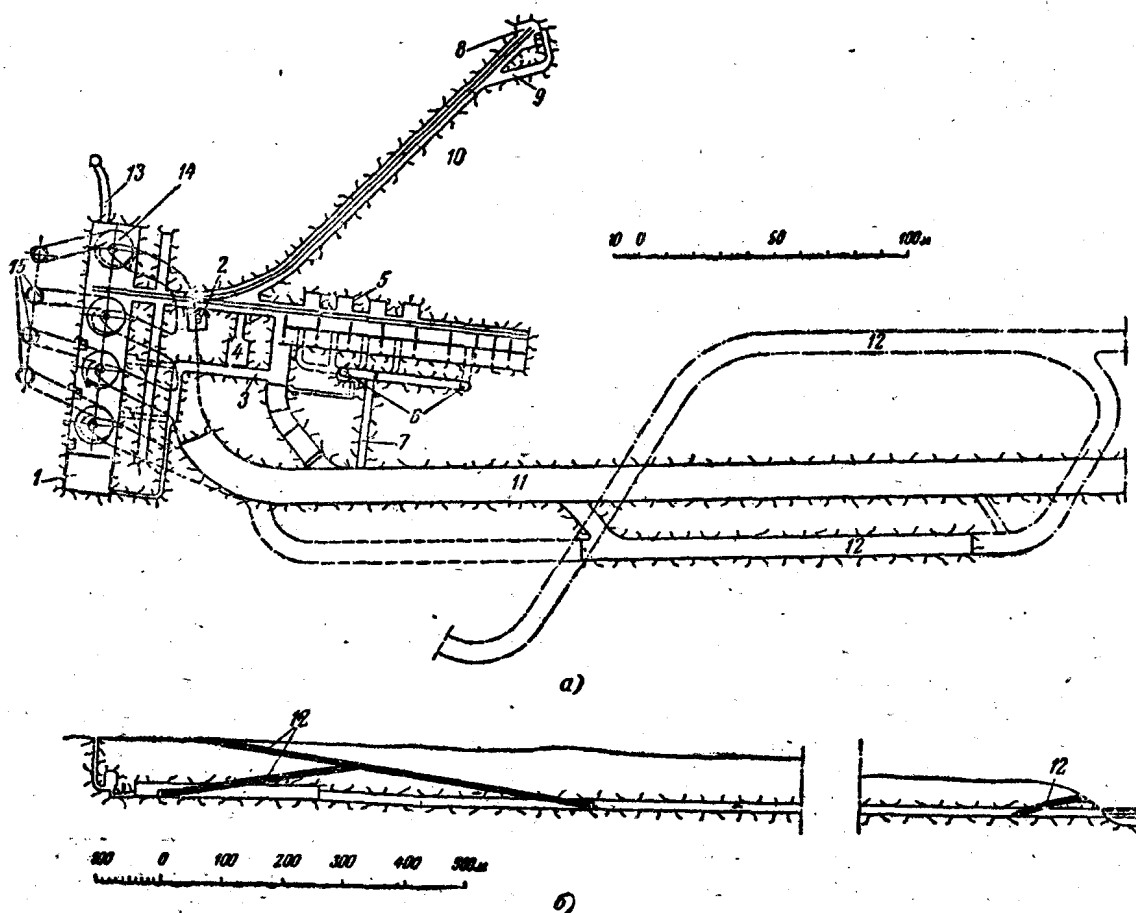


图2 哈尔斯普兰格梯水电站

a—厂房和变电站平面图；6—进厂交通示意图。

1—配电室；2—抽水站；3—母线廊道；4—通风和取油装置室；5—升压变电站；6—电缆井；7—排水隧洞；8—交通井；9—人行隧洞；10—进厂隧洞；11—尾引水隧洞和调压池；12—交通隧洞；13—事故出口；14—第二期机组；15—水轮机输水道。

右岸布置了钢筋混凝土的溢洪道，共有三孔，每孔上装有弧形闸门。还设有事故的备用溢洪道。

(2)取水口位于左岸，布置在复盖层较薄的地方。取水口是用钢筋混凝土建成的，按电站最后发展的水轮机数分为四孔。取水口的每孔均装设了带水力操作的弧形闸门。关闭闸门只需要10秒钟的时间。取水口上的四孔拦污栅用同一台吊车来管理，该吊车同时可供清理拦污栅时使用(参阅图1)。坝的钢筋混凝土心墙与取水口墩子的连接处设有沉陷缝。

(3)井式输水道。井式输水道的上部分用钢筋混凝土护面，邻近电站厂房的部分则用钢板衬砌，钢板与岩石之间为混凝土。对第一种情况，按岩石承受内水压力和混凝土承受外部地下水压力进行计算。对第二种情况，按钢板承受全部内水压力进行计算^①。

(4)水力发电站厂房。为避免电站厂房布置在破碎地层区内，所以使它离开河床而布置在岩体中。厂房拱顶在地表下60公尺处。

铁路支线引至地面上的转运场，转运场设有竖井通往和厂地板同一高程的场地上。再从这儿引出通往厂房的进厂隧洞和通往变压器室的支洞(图2)。为了通过竖井吊运货物和人，设置了一台起重能力为160吨的吊车(装在转运场内)、一台起重能力为1吨的吊车和一个可以乘坐六个人的快速载客电梯。竖井中建有备用楼梯。在靠近厂房处

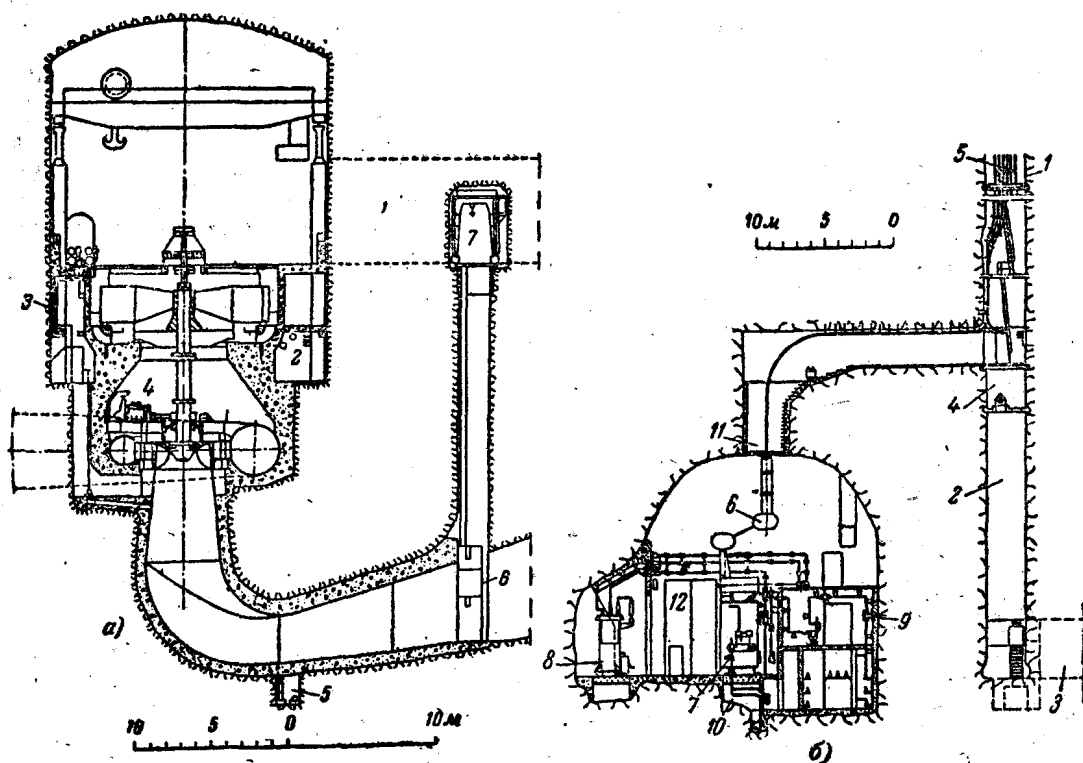


图3 哈尔斯普兰格梯水电站横断面图

- a. 厂房横断面图: 1—进厂隧洞; 2—通电缆和冷却水管的廊道; 3—母线(发电机电压); 4—作用筒;
5—排水廊道; 6—尾水管闸门; 7—闸门廊道。
- b. 升压变电站横断面图: 1—电缆井; 2—通风和排水井; 3—引进新鲜空气和排水用的隧洞; 4—通风
机; 5—电缆; 6—绝缘子; 7—380千伏单相变压器; 8—调节变压器; 9—断路器; 10—集油坑; 11—
输出电路; 12—钢门。

① 这可以用靠近电站厂房的一段输水道的重要性来说明。

建造了一个辅助性的竖井，其中装有乘载四个人的电梯，离开电梯后有不大的进厂隧洞通向厂房。

机房长 100 公尺，宽 18 公尺，从尾水管底部算起总高 43 公尺。这样的厂房尺寸容纳了四台水轮机组。在厂房的一端设置了配电盘室。

厂房顶拱部分没有衬砌。岩层是这样进行加固的：将 25 公厘直径的钢锚条埋入 3~5 公尺深的岩石钻孔内，并用压力灌入水泥浆。每平方公尺岩面布置一锚条。厂房顶拱部分的岩面进行了钢筋网喷浆（钢筋网锚定在岩石上）。已预先考虑到使有可能在必要时增建装饰的顶拱。厂房周壁没有衬砌。机房地板上在吊车柱之间用钢筋混凝土造了一道 1.8 公尺高的围墙。

厂房内安装了轴向辐流式水轮机，当流量为 107 公方/秒和转速 167 转/分钟时，每台水轮机的容量为 9.6 万千瓦。各水轮机中心距离为 20 公尺（图 3、图 4）。水轮机的高程位置低于当三台水轮机满荷工作时的下游常水位 2 公尺，高于下游最低水位 1 公尺。

为了防止空蚀，可以从水轮机轴的中孔通空气进去。水轮机的导叶借两个作用筒来推动。

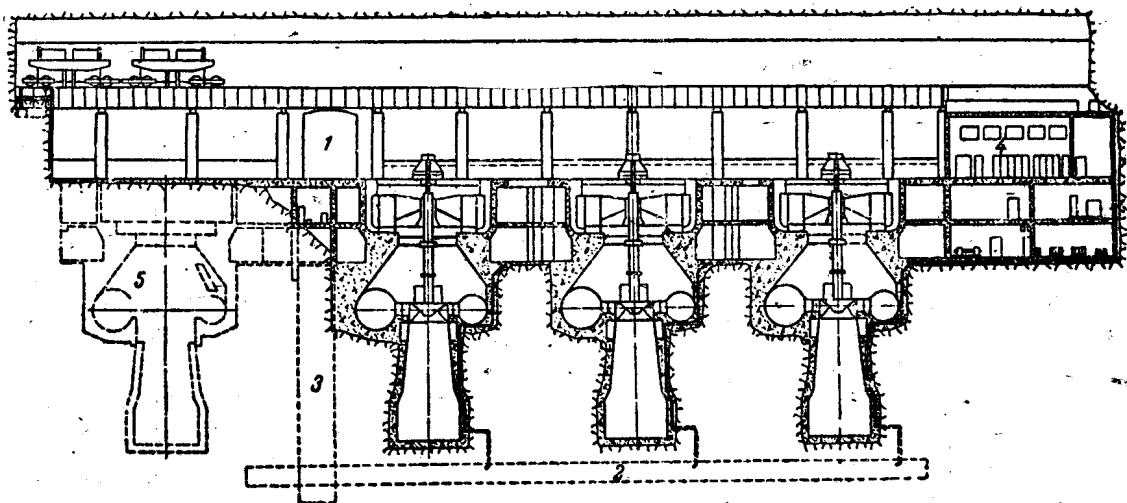


图 4 哈尔斯普兰格梯水电站厂房纵断面图

1—进厂隧洞；2—排水隧洞；3—抽水竖井；4—配电盘室；5—第二期机组。

发电机是伞式的，当 $\cos\varphi=0.9$ 时，每台容量为 10.5 万千瓦安。发电机在容量 11.8 万千瓦安以下工作不会过热。转子直径为 8,339 公厘，定子直径为 10,400 公厘。发电机的额定电压等于 16 千伏。每机组接连一台容量为 1,200 千伏安的、带有励磁机的辅助发电机。每台发电机的重量约为 800 吨。

电站厂房设有两台桥式吊车，总的起重能力为 460 吨，是和每台发电机转子的重量相适应的。

经电缆井进入厂房的空气是可以调节的，且有可能使进来的空气通过加热器（加热器利用变压器油的余热）。

图 5 所示为厂房的内景。

(5) 升压变电站。地下升压变电站长 100 公尺，高 18 公尺，宽 16 公尺，场地布置与

厂房相垂直。变电站用混凝土間壁分成一个个单室，各单室均設有鋼的洞門。地下变电站的周壁和頂部都沒有衬砌(參閱图2、图3)。每个变压器室的頂上設有孔洞，如果室內的压力过大时，孔洞将会自动打开。

主发电机接至鋼制的母綫組。联在这些母綫的有主变压器和三台补偿綫路电容的三相电抗器，每台电抗器的容量为4万千伏安。

借助于三台容量各为11.5万千伏安的单相变压器将电压升高至380千伏。高压繞組配置在三个型心上，平行联接，用一个高压引出端。原繞組也配置在三个鉄心上，有三对引出，与三台发电机相应的相位接連。这样的繞組配置方案大大地减小了短路电流(自12,500减至4,200安)。高压繞組为星形联接，其中和点通过三台專門的单相調节变压器接地，每台調节变压器的容量为9,300千伏安，各有19个位置，可以調节电压 $\pm 9\%$ 。調节变压器放在寬5公尺、高8公尺的横洞內。

还設有第四个备用的主变压器和調节变压器。

高压电从主变压器經用油絕緣的单相电綫引至地面上的配电所。电綫从豎井通过，豎井中設有楼梯和檢查电綫用的平台，以及設有通风装置。

(6)尾引水隧洞。尾引水隧洞是压力隧洞，沒有衬砌，长2.9公里，横断面为槽形，面积190平方公尺。隧洞寬13公尺，高15公尺。隧洞起始的300公尺一段兼作調压池用，高22公尺。

III 地下施工及其組織

(1)井式輸水道。豎井的开挖是用下述方法进行的。从地面借助于鋼纜冲击机，沿豎井的中綫鑽垂直孔至215公尺高程。其次又沿尾水管底部和沿井式輸水道的水平段軸綫鑽孔挖进(图6)。开挖是从交通隧洞进行的(參閱图2)。在豎井215公尺高程处挖一横槽，以安置直徑为2.4公尺的鑲套式鑽机装置。該装置用从地面上通过鑽孔放下来的鋼索吊起后，从鑽机装置向开挖面的頂部鑽进約3公尺。其后，該装置就脫开鋼索而放回下面的横槽內。岩石爆炸后落在下方，用扒渣机送至尾水管，再从这儿用汽車沿交通隧洞运往地面。鑽进与装渣結合进行，所以工作几乎是沒有間歇的。

从下而上挖通了直徑为2.4公尺的垂直井洞之后，再自上而下将井式輸水道扩大开挖；落下的岩渣用前述方法运出。

(2)厂房。从地面到尾引水隧洞首端挖有坡度約为12~14%的交通隧洞(參閱图2)。首先，从交通隧洞向尾水管挖进。然后从各个尾水管的挖空部分自下而上各开挖出通至厂房頂端的垂直井洞。厂房的全部开挖工作都是从上而下分层进行的。爆破出来的岩石

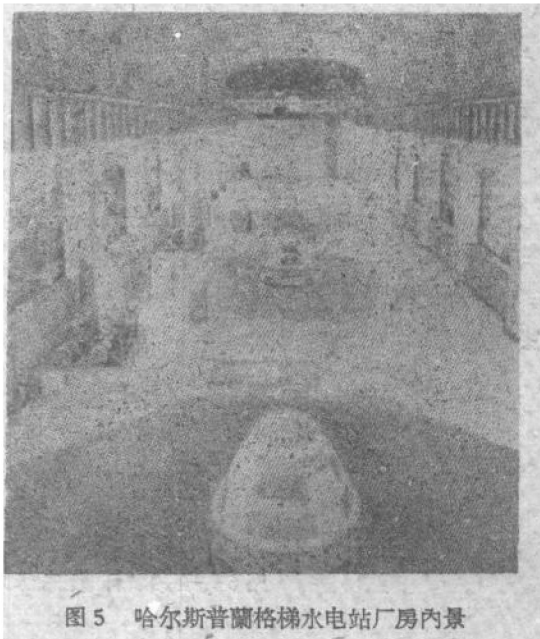


图5 哈尔斯普蘭格梯水电站厂房內景

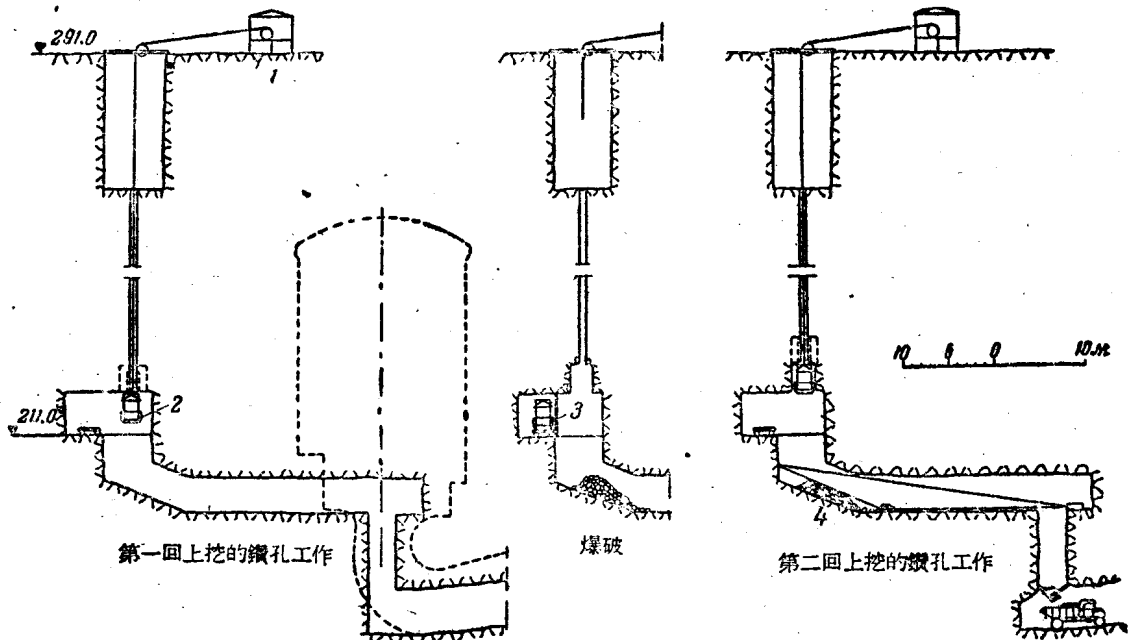


图6 哈尔斯普蘭格梯水电站井式輸水道的施工

1—吊起鑽机裝置的絞車；2—鑽机裝置；3—木板門；4—用扒渣机裝渣。

用鑽式扒渣机送至垂直井洞，使其落入尾水管的底部上。岩石从这儿用动力鏟装入自卸汽車“厄夫克里德”，沿交通隧洞运出地面。图7所示是施工的順序。

当頂拱部分的岩石挖完之后，开挖工作曾一度停止，以进行頂拱上的鋼筋网噴浆。

当机房全寬开挖完成的时候，井式水輪机輸水道亦已按設計断面挖完。

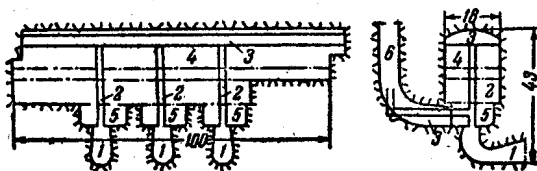


图7 哈尔斯普蘭格梯水电站厂房开挖示意图
(图中数字表示开挖順序)

(3)尾引水隧洞从三面挖进：隧洞出口和从交通隧洞引出的两个中間开挖面(参閱图2)。

由于尾引水隧洞的断面尺寸很大，决定分两次挖进。首先在隧洞的一段上在其全长开挖下导坑。导坑是按全断面进行开挖的。工作分三班进行：第一班鑽炮眼、

装药和爆破，第二、三班換气和装渣。鑽炮眼是在两个装有“阿梯拉斯-底塞尔”牌輕便鑽机的移动式鑽架上进行的。鑽架利用汽車拉至开挖面。鑽杆用“三德維克-哥罗滿梯”鋼制造，并鑲装了硬合金。杆头直徑为35~42公厘。鑽孔速度为每小时12公尺。爆破采用电气起爆法。岩渣用斗容量为2公方的动力鏟装在自卸汽車“厄夫克里德”上。下导坑的挖进速度大約为每昼夜5公尺。

隧洞断面的上部扩大的鑽孔是在气动支架上用輕便鑽机进行的。气动支架支承在岩渣上。因此，隧洞上部扩大的横断面是这样选定尺寸的：使上部爆破下来的岩石能在隧洞中堆起至便于进行鑽孔的高度。根据瑞典隧洞开挖的經驗，規定了下导坑断面为隧洞全部断面积的50%左右。距开挖面一定距离处的岩渣用动力鏟装入汽車中。这样，鑽进与装渣工作能同时进行。隧洞上部扩大的挖进速度达到每昼夜10公尺。

图8所示者为隧洞挖进的示意图。隧洞每公方岩石开挖的价格约为25个瑞典克隆(1952年币值)。

应该指出,此处开挖上部岩石所采用的方法只用在十分坚硬的岩层内。并应注意到,这时的工作也稍为变得复杂些,因为采用这种方法需要护理两次顶拱;此外,上部开挖下来的岩石块要比用普通方法开挖时大得多。

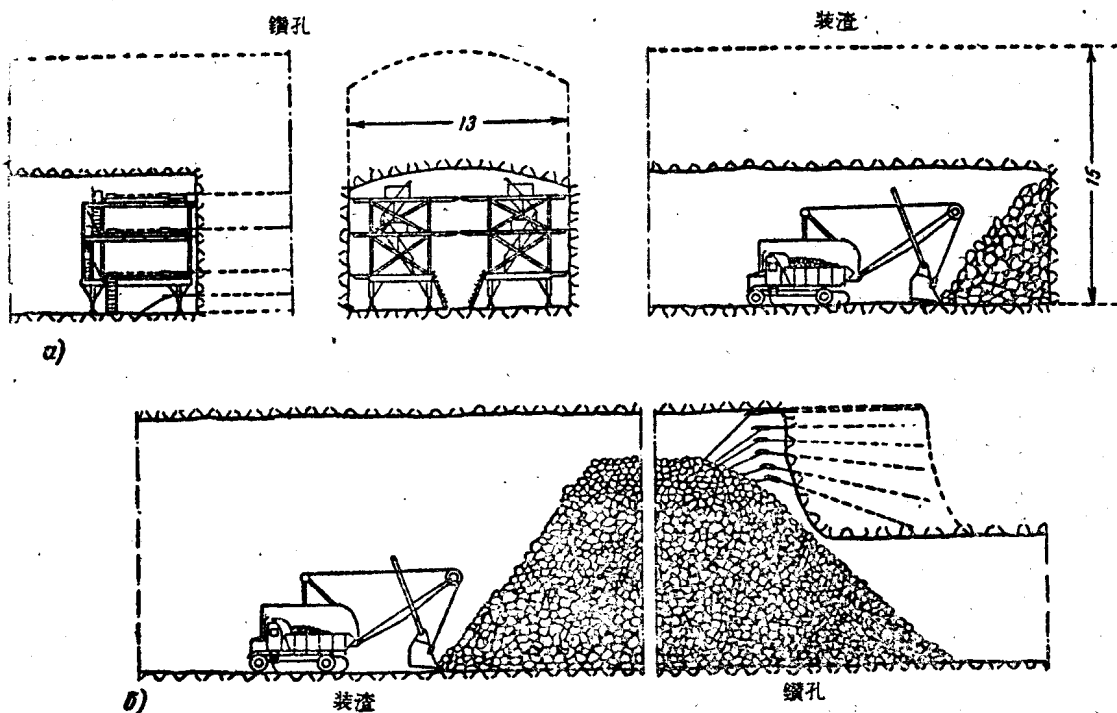


图8 哈尔斯普兰格梯水电站隧洞挖进示意图

a—隧洞的下部导坑; b—隧洞的上部扩大。

III 电站的特点

哈尔斯普兰格梯电站是最大容量的首部式布置地下水电站。下列各项应该算是它的特点:

a)采用了大容量的水轮机(每台9.6万千瓦),使得减少了机组数和减小了地下开挖的尺寸。

b)地下建筑物(厂房、升压变电站、尾引水隧洞)没有衬砌,使加速了施工进度和降低了工程造价。

b)采用了地下升压变电站和独创的电力结线图,后者可使短路电流减小,增加了电站运行的可靠性。

r)压力尾引水隧洞的断面尺寸很大(宽13公尺,高15~22公尺)。

d)每装机千瓦的价格低,这是由于瑞典在地下开挖方面得到进步(独创的竖井挖进和厂房挖进的方法,大型隧洞的全断面开挖,采用了高生产率的钻机,利用了大型装渣和运输设备,高压的压缩空气,优质的钢钻,强力的炸药)所使然。坚固而均质的岩石

使得挖进可以不用支撑，只是在岩石破碎的地方加以局部锚住即可，这也在很大程度上有助于工程造价的减低。

2. 苏庇梯水电站

所属河流——刚库列河。

电站所在地——法属几内亚(西非洲)。

装机容量——31万千瓦(水轮机容量)。

年发电量——20亿度。

机组数——4。

水头(最大时)——122公尺。

流量(最大时)——328公方/秒。

I 一般数据

在刚库列河中游苏庇梯上滩处，预定建筑一个自高程110~230公尺的坝，该坝将要形成一个大型水库。当水库水位为225公尺时，其容积有100亿公方，其中有效容积约42.5亿公方，可作径流的完全多年调节。水将从取水口进入井式输水道通向地下厂房中的水轮机，然后经尾引水隧洞返回刚库列河中。

在本电站下游的阿马里阿水力发电站已经进行了设计，其厂房也是布置在地下的，容量有51万千瓦，年发电量约为36亿度。

II 主要建筑物

(1)坝高达110~120公尺，坝顶长1,000公尺。第一次设计了110公尺高的混凝土连拱坝，拱与拱之间距为60公尺，并用了不同厚度的肋墩。浇筑连拱坝所需的混凝土方为100万公方，约相当于混凝土重力坝体积的40%。与研究混凝土坝的同时，还探求了建筑高达120公尺左右的土坝的可能性(这时比混凝土坝方案增高了7.5公尺，其中有5公尺是为了得到20亿公方附加库容以调节径流用的)。在河上建土坝的方案中，预定在左岸设置一个长850公尺、直径12公尺的施工隧洞。

(2)取水口和井式输水道。在河的右岸190公尺高程处设计了一个四孔的取水口，每孔上均设有拦污栅和闸门。取水口的每孔各通向直径为4.3公尺的、钢筋混凝土衬砌的井式输水道(图9)。在这样的长度下，每台机组各用单独的输水道，以避免在水轮机前设置闸门。

(3)厂房位于以均质粗玄武岩所组成的岩石体中，该岩层曾经作过勘探研究。厂房部分的开挖尺寸是：长70公尺，宽12.5公尺，高28公尺；装配场部分的开挖则为12.5，16和14公尺。总的挖方共3万公方。

四台垂直轴的轴流式水轮机，各自的计算流量为82公方/秒，在水头122~108公尺下运行，转速为214转/分钟。每台水轮机的容量为7.7万千瓦。

励磁机、辅助变压器、低压设备、出线控制室和防火设备布置在103.05公尺高程上。

閘門廊道內通有長約 600 公尺的母綫，借此把發電機聯接到地面升壓變電站的變壓器上。通過閘門廊道的母綫平行於閘門槽，母綫和閘門槽之間用混凝土板隔開。電站的廠用電是通過四台容量各為 100 千伏安的 1500/380 伏的變壓器從母綫引出的。輔助設備中包括有調節用的泵、機組冷卻水泵、排水泵、蓄電池、橋式吊車以及照明、通風和其他設備。輔助設備聯成四組，各有獨立的電源。備有四处轉換開關，當一台機組損壞時，可以轉換任一組輔助設備到另一台機組。

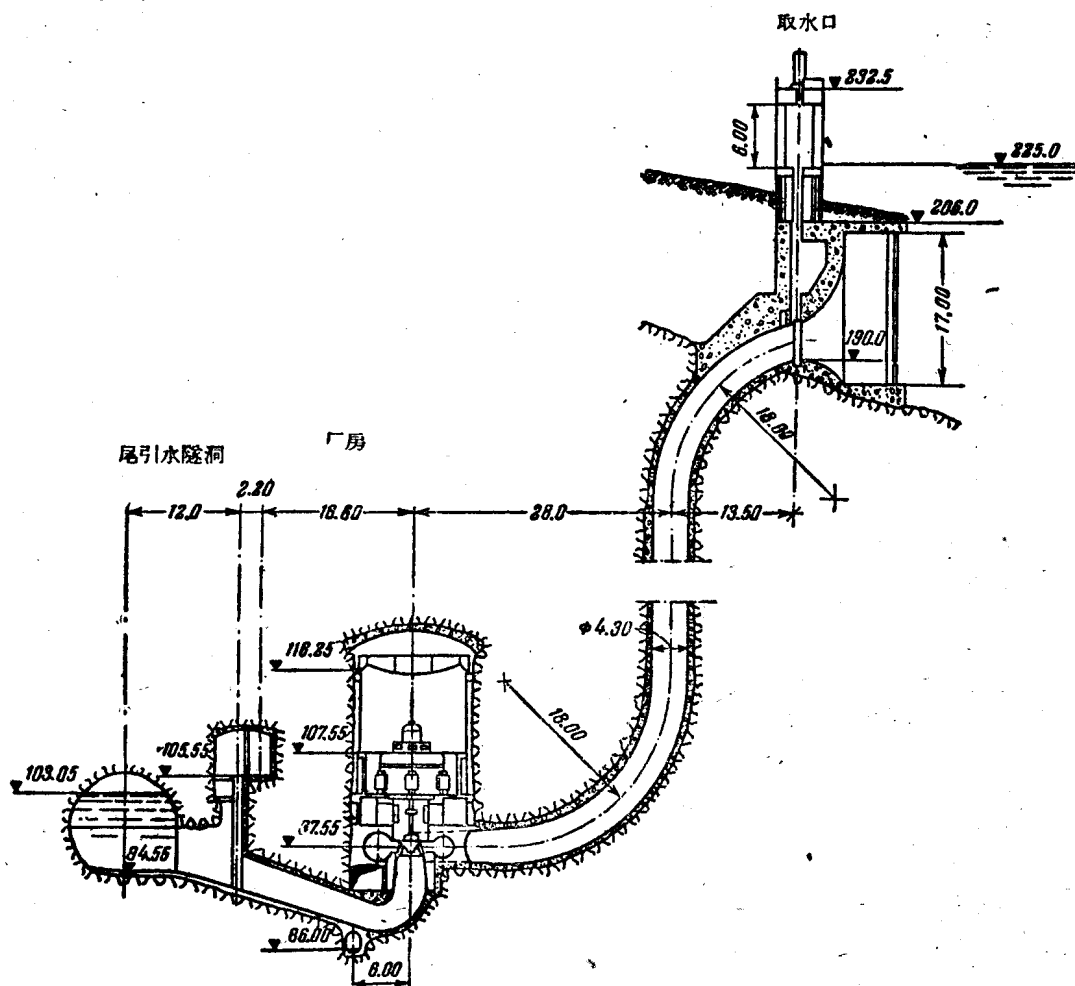


图 9 苏庇梯水电站厂房樞紐横断面图

电站事故时的用电依靠着两台容量各为 150 千伏安的柴油发电机(其中一台为备用)，它們都安置在升压变电站的控制室內。

有两台桥式吊車，每台的起重能力为 110 吨，可为整个厂房服务。

副厂房布置在主厂房入口的两边，与机房地板同一高程(103.06公尺)。副厂房包括有主要設備和輔助設備的場所、直流電設備(電池組和整流器)、壓縮空氣室、機械修配間、倉庫、淨水設備。厂房进口系經由 600 公尺長的交通隧洞，該隧洞从升压变电站的地面起，用 4% 的坡度向下引向厂房。

(4)尾引水隧洞。尾引水隧洞長 2,100 公尺，斷面積 113 平方公尺，沒有衬砌，尾水

流入剛庫河灘。

III 电站特点

本电站設計了高土坝(高 120 公尺)。厂房布置在坝旁的地下,使得有可能組成緊湊的坝后式樞紐,再用长 2.1 公里的尾引水隧洞,利用了河滩上的附加落差。采用了土坝和地下厂房,以及大部分地下建筑不加衬砌,使得混凝土工程量減至最小。

3. 拉塞列水电站

所屬河流——安格曼河。

所在地——瑞典中部。

装机容量——12.6 万千瓦。

年发电量——6.1 亿度。

机组数——2。

水头——52 公尺。

流量——280 公方/秒。

I 一般数据

拉塞列电站位于菲叶尔社河入安格曼河的会流口以上 8 公里的地方。距本电站不远处建有赤尔福尔森水电站,两者用高压輸电綫相連接。安格曼河在拉塞列电站以上的流域面积有 12,525 平方公里,本来可以被利用的年徑流量是 8.15 亿公方,但經過上游湖泊調节徑流以后,可以提高至 22 亿公方。本河在拉塞列处的多年平均流量有 178 公方/秒,最大洪水流量有 1,450 公方/秒。經過完全調节以后,平水年的冬季流量为 168 公方/秒,枯水年为 113 公方/秒。

河上建筑了堆石坝、混凝土的溢流部分和取水口。水从取水口进入井式輸水道引向电站的地下厂房。尾水經由压力尾引水隧洞和渠道在距取水口 2,700 公尺处返回安格曼河中。

本电站在 1952 年开始施工,第一台机组在 1956 年末投入运行。

II 主要建筑物

(1) 坝由擋水部分和溢流部分组成。擋水部分的堆石坝夹有防渗粘壤土心墙,坝頂长 290 公尺,頂寬 6 公尺,最大坝高 25 公尺。坝体的石块約 17 万公方,其中有 11 万公方的抛石是地下开挖出来的。混凝土溢流部分有三孔,每孔 15 公尺,均装設扇形閘門,总的过水能力为 1,698 公方/秒。在溢流部分和取水口之間布置有泻木槽,按 10 公方/秒流量設計,每小时可通过 2,000 根木头。

(2) 取水口为无压型,位于右岸,一共有二孔,均安設了拦污柵和扇形閘門;取水口上設有為它服务的門式吊車(图 10)。

(3) 从取水口引出两个垂直的井式水輪机輸水道,輸水道內部用鋼板衬砌,鋼板和岩石之間填以混凝土。