

第五屆世界动力會議 報告選集

(水电部分)

第二輯



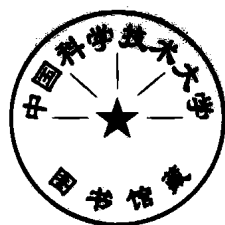
水利电力出版社

第五屆世界动力會議報告選集 (水电部分)

第 二 輯

G. 希聶特等著

覃 修 典等譯



水 利 电 力 出 版 社

內 容 提 要

关于世界动力會議水力工程方面的报告选集共分三輯出版。本輯比較集中地介紹了一些水电較發達的国家在水工建筑方面的成就和新發展。其中包括：瑞士和瑞典在水工建筑方面的新發展、奧地利的岩石挖空結構和大体积混凝土的施工經驗、加拿大著名的季馬諾地下水电站的設計和施工經驗、南斯拉夫在喀斯特地区进行水电建設的經驗、水庫的調节及其綜合利用等。

本輯中大部分論文所介紹的經驗均比較新穎、具体、其中不少經驗都是第一次總結出來的，这对目前正在大躍進中的我国水电建設，有很大的参考价值。

本書可供水工設計、施工及各級行政領導人員閱讀，亦可供高等学院及中等技术学校有关專業的师生參考。

第五屆世界动力會議报告选集（水电部分）

第二輯

羅修典等譯

8428120

水利电力出版社出版（北京西郊科學館二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 * 68印張 * 141.3千字 * 定价(第10类)1.00元

1958年7月北京第1版

1958年7月北京第1次印刷(0001—2,050册)

目 录

瑞士水电站建設的新发展	(2)
瑞典水力发电工程設計和施工的最近发展情况	(14)
南斯拉夫喀斯特区建造水电站的成就	(24)
水电站的岩石挖空結構	(37)
大体积混凝土工程的进步及其在奥地利水电建設中的应用 ...	(59)
季馬諾水电站設計和施工的先进經驗	(72)
多目标水利工程中的水电站及电力系統的建立	(81)
河床式水电站对航运的影响	(87)
低水头水电站建筑的基坑围堰	(100)
低水头水电站的洩洪和輸水道排水	(121)
装有螺旋式水輪机的水电站的效率控制	(128)
日調节电站設計与运轉的經驗	(137)
水电站的綜合利用的水庫	(145)
芬兰电力系統中的天然和人工水庫	(151)
引水式水电站輸水道中的小型蓄水池	(158)

195H/32

瑞士水电站建設的新发展

瑞士取里希工学院教授 G.希聶特
弗萊堡顧問工程師 H.及各脫

引 言

在第二次世界大战以后，由于电力需要的急剧上漲，瑞士的水电建設发展很快，直到現在，趨勢尚未減低。到1970至1980年，預計可經濟利用的水电蘊蓄量将全部开发。以下将分別按高水头及低水头說明設計与施工方面的重要发展方向。

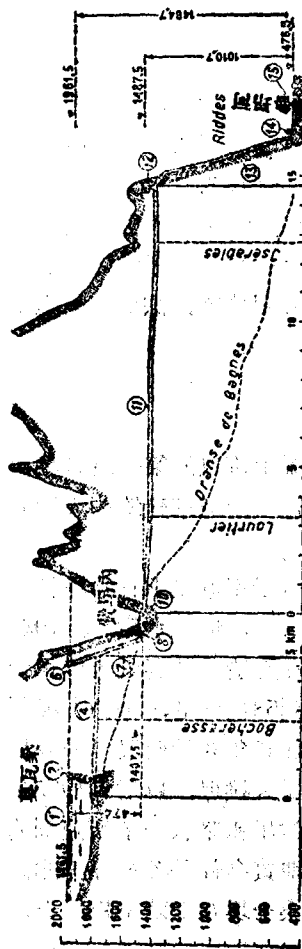
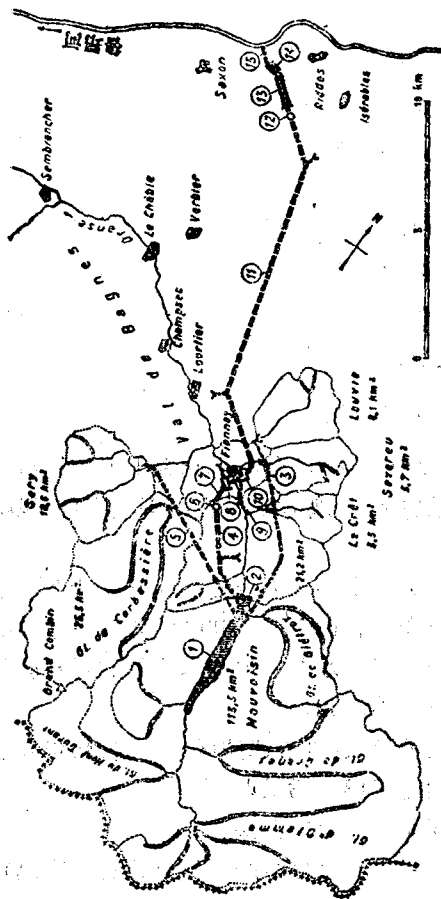
I. 高水头水电站

1. 总 論

瑞士高水头水电站开发的特点为流量小，水头高。尤其特殊的是90%的流量都在夏季前后半年內(四月一日至九月三十日)流下来，因此，对于流域的地質情况有重要意义。

在最初时期，常常选择最有利的河段来开发。但到后来，就确定了要按全河流系統地开发，充分利用落差与流量。由于冬季負荷日益上漲，因此有必要修建調节水庫，使落差集中，水量按最有利的方式来运用。作为集中使用落差的例子，如富列(1472公尺)，米耶未尔-沙浪費(1376公尺)，尚多林-狄桑士(1740公尺，不久以前为世界第一高水头)。每一个河谷，一般开发为二至三个梯級。如魏忌谷(建設期1919-25)及上哈斯礼梯級，后者为多級开发，經30年建設，将阿累河由其发源引到因奈尔特启尔欣附近(总落差1670公尺)，匯集了很多支流，由四座电站来加以利用(平均年发电量12.25亿度)。同样情况(图1)在瓦利斯的瓦尔德邦恩，将德兰斯河分兩級利用，落差共1490公尺。人工湖的蓄水量为1.77亿公方，拱坝高237公尺(年发电量7.61亿度)。上述两个例子都是用的本流域流量，但有的要由隣近河流集流以增加流量。最显著例子如大狄桑士亦在瓦利斯省(書末插图2)。这个計劃利用了瓦利斯省阿尔卑斯山北麓的水，高度为2300公尺，建立

图1 莫瓦桑水力工程总佈置图和縱剖面图



1—壩；2—右岸汇水道；3—左岸汇水道；4—莫瓦桑水电站；5—左岸汇水道；6—隧洞；7—压力竖井；8—莫瓦桑水电站；9—两台机组；10—德兰新河进山口；11—调节池；12—压力竖井；13—两台机组；14—莫瓦桑水电站；15—五台机组。

了有效庫容四亿公方的水庫，分兩級开发，利用总落差1700公尺，引水隧洞长105公里。坝的混凝土体积六百万方，年发电量16.5亿度。另一开发可能为利用高山的蓄水庫，将水流引到較低的邻河来利用。例如，馬及亚水电站(德新邦)及建造中的彻尔夫雷拉水电站(見書末插图6)。再有，就是利用高山水庫作抽水蓄水庫，与另一低的中心水庫联合利用，可得到更好的效率。

2. 开发限度

高水头蓄水电站的开发限度，用每年利用小时数来表示，随着电能价值的提高而有剧烈的变化。在几年以前，一个单纯蓄水电站(上面的梯級)的利用小时数以1860小时为平均数值，最近又要求降低到1300至1500小时，因此需要适当的扩充。蓄水的下游梯級，或高水头无調节电站，一般都有較高的利用小时数，暫无标准数字。地区条件、地理位置、供电区的距离、用电需要等等，都会影响开发限度。

3. 壩

a) 坝工壩

瑞士筑坝的第一段时期由1919至1935年，以狄桑士坝为最后一个。这一段时期建筑的大坝有巴白令、魏忌谷、史庇塔兰姆(格里姆塞河)。

由于用电要求日益增长，在大战末期及大战后，即开始建造一系列的大坝，造成水庫。由1942至今已有16个坝，其中部分已完工，部分尚在建造，总混凝土体积为一千三百万方。这些水庫总的存蓄能量将达到53亿度电，每公方混凝土可蓄能324度。

1942年开始建灵森得罗坝及雪拉坝(哥哈德流域)，接着45年开始建罗森大拱坝，以后到1955年共建了13座坝工壩。

这里祇略叙一下所碰到的問題及其解决办法。

地質条件是各式各样的。有些在花岗岩或片麻岩上(共有六座坝)，大狄桑士坝在卡薩納板岩上，莫瓦桑坝在石灰板岩上，夏梯洛坝和李昂坝均在石灰岩基础上，特殊的如罗森坝在軟砂岩上，以第一个高拱坝

而建在如此的基础上。

除了几个特殊地点的坝而外，一般选择坝型，不决定于地质而决定于地形。在个别情形，需作大量的防渗及固结工作。瑞士工程师有了拱坝方面的丰富经验，并了解其工程与经济上的优越性，愈来愈倾向于采用拱坝及重力拱坝。例如罗森坝等九处。祇有三个坝系重力式：雪拉、沙浪费和大狄桑士。卢森德坝系空心事（雷兹尼式），建于水泥缺乏时期，以节省水泥。同样设计的克雷孙坝，由于军事方面的考虑，部分改为实体坝。另有两个坝系按重力坝设计而加以节省，节省的空隙，为顺着接缝加宽（图3），不但混凝土节省，而且减少了上浮力。

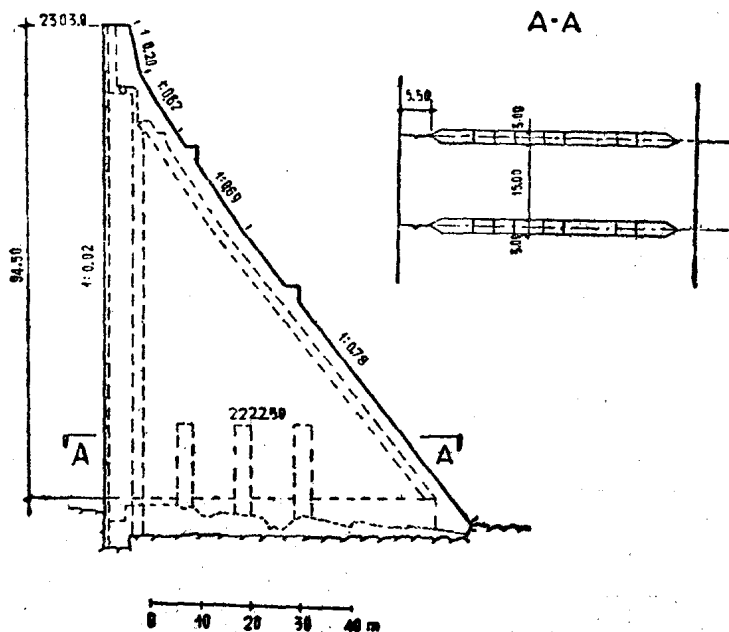


图3 上阿尔河拦河坝及其加宽的接缝

拱坝设计一般不强求对称形式，而寻求适合地形的建筑形式（图4a及4'）。

为了静力上力求合适, 采用约更孙式的变化半径方法设计, 以求最好的曲度。在罗森拱坝, 临水面的坝半径由顶上的 164 公尺减到底下的 120 公尺。另一办法为维奥受默孙重力拱坝, 其坝底部为抛物线形。

在坝形设计上, 倾向于双向曲面(壳形), 但真正的薄壳坝在瑞士不适用, 因政府规范要求在上部要有一定的厚度。

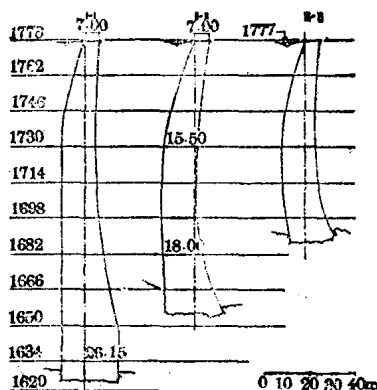


图 4b 林纳拱坝剖面图

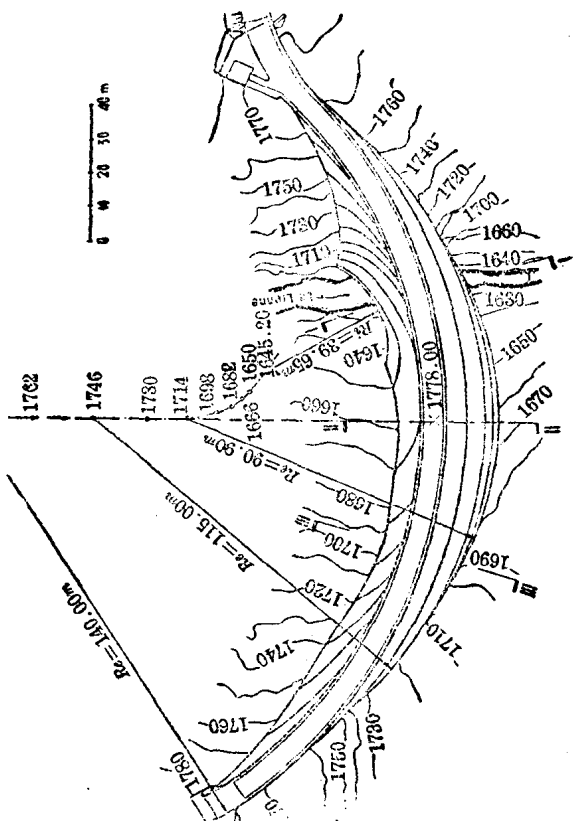


图 4a 林纳拱坝平面图

岩石基础方面, 目前趋势是儘量少开挖, 祇要达到新鲜岩石, 然后祇要挖成适合于作用力的方向的基础面即可。由于爆炸震裂了的, 或是由于条顿运动造成的裂缝, 需要灌浆固结。深度达到 5-10 公尺。另外, 自然还要帷幕灌浆, 有时达到极大的深度和宽度, 如莫瓦桑坝。

在堤的計算中，应用靜力学的方法。但在拱堤計算方面，自从罗森堤(1943)計算了基础变形的影响以后，这个方法就应用于所有拱堤。对于285公尺高的大狄桑土堤，还計算了三角形堤断面的彈性受力对于岩石的影响，以及因而生出的局部最大应力。

水泥方面，一般用波特兰水泥。其他品种水泥，如矿渣混合水泥等，至今尚未应用，因为不能肯定其技术上或經濟上的优点。由于經濟观点及热学观点之故，水泥用量逐漸减少。但还要应用最新的混凝土方面的成就，以得到最大的强度，使符合于日益提高的允許荷载力的規定。对于砂的顆粒組成尤予以最大注意，在所有工地都应用了水力分离法来分离砂的顆粒。

拌合均应用自动拌合樓，水灰比減到最低，为了达到必需的和易性，掺用了加气剂。

以前所用的条石护面，現已不用，而改用特种混凝土，用高量水泥，有时用較小的骨料。

混凝土的骨料在120—150公厘粒徑以下时，用高頻率震动器搞注。新近利用小推土机来推平由六公方斗子倒下来的混凝土。用启重20T的纜道运送。每层厚度，以前甚低，到罗森堤时用3公尺，因为这个厚度較为經濟。目前都用同样的浇筑厚度。

大狄桑土堤的施工特別小心，这一个堤分五期建筑，以节省資金。在每次浇倒时下游堤面都浇筑成階式的齿形面，齿的面系沿著应力綫网的方向。

对于冷却方面，瑞士的工程师非常注意，力求减少溫度升高，达到儘可能好的接縫。最好的方法，对于瑞士气候來說，还是水冷却(堤内埋置水管，波尔多堤的經驗)。这个方法比別的方法，例如預冷砂石骨料等都好。目前正广泛地应用。自罗森堤建筑以来即开始用，但那时还应用了冷却井道的办法，即在每一混凝土块中，作一豎井来冷却。

在高山地区施工，虽有很多条件限制，但冬季停工的事已成过去了。現在冬季可以作一些安装、岩石灌浆、伸縮縫灌浆及混凝土的冷却等(由廊道与井内进行)工作。

b) 土 壩

圪工壩需要好的基础条件，土壩則沒有这个限制。即使基础好，土壩也有时較圪工壩經濟，祇要有需要的土質和量。

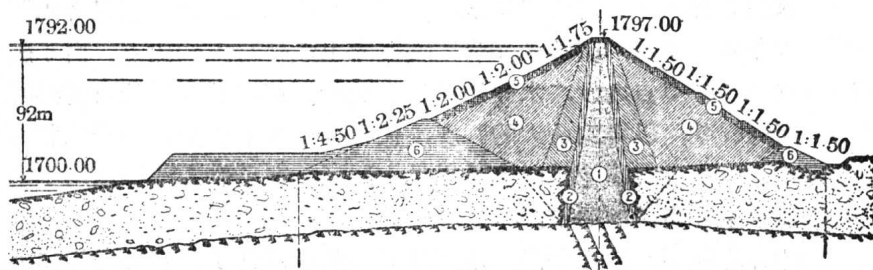


图 5 厥深阿尔浦土壩剖面图

1—心墙；2—过滤层；3—冲积材料；4—块石，最大块1/4公方；5—块石，最大块3/4公方（鋪实）；6—块石及隧洞开出石渣，最大块3/4公方。

第一次大战以前，瑞士即建筑了一座土壩，用以抬高天然湖的水位来蓄水。以后又筑了二座小型土壩和一些渠道的土堤。但直到最近才建筑了一座按着土力学設計和机械化施工的80公尺高的 270 万方的土壩（在格勞賓頓邦的馬尔摩銳拉壩）。許多大大小小的土壩已在建造或正在設計。其中特殊的是今年开始的 140 公尺高、770 万方的土壩（图 5）。其特殊之点为狭窄的心墙，用砂和粘土（或膨脹土）的混合物釐成，其两面均为抛石。其他国家的經驗，尤其是美国，都可以利用，但对于我們的特殊情况，須特別注意。如地質、填筑材料、气候、雨量（多雨增加施工困难及引起間断），这些因素都促成了瑞士自己的設計型式和建筑方法。

4. 壩的附屬建筑物

我們的导流方式几乎毫无例外地用隧洞导流，洞开得深入岩石，离壩端足够远，繞过去。施工过后，常常安上閘門，作为排洩孔。較高的壩，另外还有一个到两个調节洩水孔，放在不同高度，以便很快的将水位降下。

对于洪水排洩，常用虹吸溢洪道。水位超过正常水位时，即自动开始放水。低于正常高水位时即自动停止，无需安装閘門及机械。由于流域很小，虽有可觀的雨量，一般洪水量很小（例如莫瓦桑祇有100秒公方）。严格的保持正常高水位一般也不必需。有时亦用由閘門（弧形閘門，平板閘門）操縱的洩洪隧洞。

最近在下游較低的两個閘，采用一般的閘頂溢洪和水跃护閘跌塘等方式。

以上建筑物均用水工模型来改善設計图形。

5. 进水建筑

特別值得提及的是自携带大量砂石推移質的瑞士山溪中取水的佈置，俾自溪里取得清水，以供給調节和无調节水电站。一般在弯曲河道，設在凹岸，藉适当的佈置溢流閘与冲砂閘間的隔墩並适当的选定堰頂和进水口的高程即可取得清水。如为直的河道，則須利用丁閘和分水魚咀的适宜佈置，以促成所需的橫向水流。祇要引水量較底沙开始移动时的河中流量小过一半，就有引用清水的可能。水工模型可以帮助体会自然現象和正确的修改水工佈置。

6. 引水道

为了引水集中到用水中心，使之流入在尾水近旁的电站，常常需要长的引水道。这些水道在不能利用中間水池，使上段成为明流隧洞时，常常全部为压力隧洞（图7）。阿尔卑斯山谷两侧地質常常給隧洞的开凿以很多困难。穿过各种岩石地带如白云石、石膏、擠碎了的、或粉末状的岩体，有压力的含水层，都使得隧洞建筑的要求很高。因此隧洞无例外的都是圓形，大半有混凝土衬砌，常常里面加一层有筋的噴漿，祇有在特殊情形下使用鋼板护面。使用鋼制或鋁制模板即可获得光滑面而不再需要另加抹面。普遍进行灌漿填充，先以低压灌漿，填实岩石与混凝土間的孔隙，然后以高压灌漿，高压达到30公斤/公分²或者更多，視建成后的內压力而定。祇有在例外的情形才不用衬砌，而单用噴漿护面，厚約10公分。在这种情形，由于粗糙系数

大，断面須要相应加大。隧洞衬砌后，一般流速目前以3到3.5秒公尺最为經濟。开挖时一般用全面开挖方式，使用钻架車或輕型钻架。祇在深山的情形下或很坏的岩石时才使用导洞开挖。由于开挖技术提高，虽然战后工資材料价均高涨，开挖单价均能維持战前价格。

7. 調压井

調压井的重要意义不必重述了，須注意者为几个引水道共用一个調压井或一个水塔供应几个水道的情形，前者例如中途有支流引水道加入的情形，这种情形計算比較复杂。調压井一般有带有孔口的升管及上調压室或上下調压室。計算时要考虑到关-开-关，或开-关-开的情形对調压井水位上升及下降的影响的极限。調压井与隧洞脚接的地方要用鋼板护面，有时包括升管的全部或一部。复杂形式的調压井，須用模型試驗加以修正，孔口系数亦須由模型求得。

8. 压力豎井

由調压井經過閘門室（一般有蝴蝶閥，可以快速关闭）到电厂的压力水道，或在岩石中开挖豎井或在露天中采用压力管道。由于雪崩、滑坡的危險便于維護，及經濟上的考虑，在許可的情形下，多用压力水井及鋼板护面。一般中等岩石，即可帮助承受应力，节省护面厚度（但鋼板厚度不小于9公厘）。岩石彈性系数，須事先在試洞中加以試驗。經驗表明，除了內压力以外，还須特別注意外压力，以免在水道放空时，鋼板向內鼓出。保險的方法，是采取鋼的加固圈，浇在混凝土內，而混凝土則錨着在岩石上。仔細的灌漿，分多次灌好，是很須要的。加固圈有时作得很强，用角鉄作。不过用加固圈有一困难，即后面的混凝土填充很难作所以它的使用並沒有得到推广。某处的工程由直井上部直到280公尺压力处全部不用鋼板护面。在护面开始以上，用排水管将滲漏水引出地面。使用情形还好，在沒有鑲护的部份水的損失几乎等于沒有。

鋼板护面后面的混凝土浇灌很困难，須使浇筑后混凝土的体积縮減度儘量減小，以免在鋼板后形成空隙。在切弗瑞拉电站，使用了預

压骨料灌浆的方法，由下面渐渐将砂浆升上去。

9. 压力水管

压力水管有时用土掩盖，这样可以把锚墩伸缩接头等大部份省去。这仅用于个别情形。露天的水管一般用锚墩、支墩及滑座等支承。根据其他地方的经验及瑞士自己的研究，现已可以选造指标 $P \times d$ 达到 18,000 公斤/公分的压力水管〔压力(公斤/平方公分) $\times$ 直径(公分)〕。

制造水管的钢板除了通用的西門子馬丁钢板以外，对受力较大的钢管，则用高强度的锅炉钢板；它的抗拉强度达到 60—70 公斤/平方公

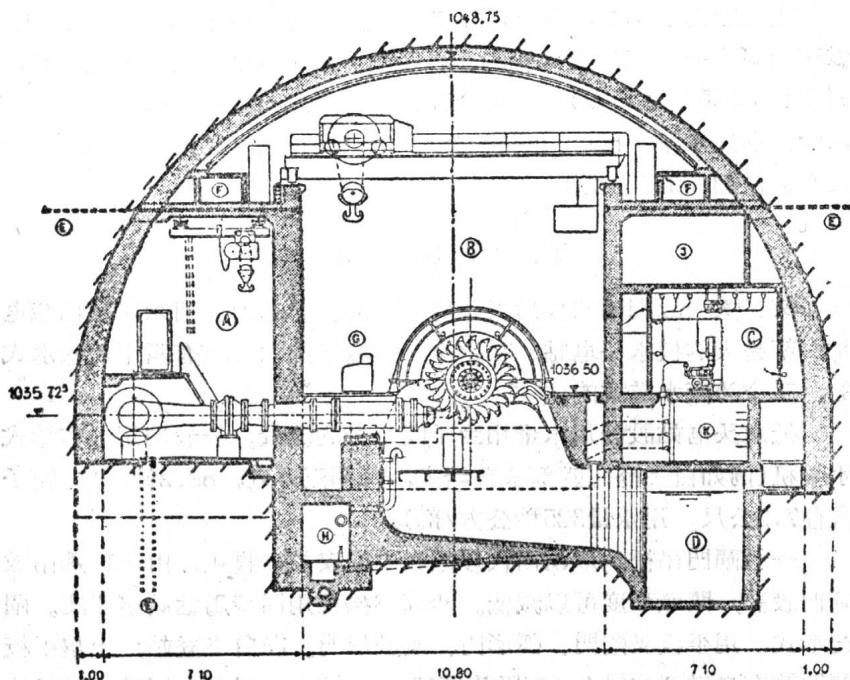


图 7 卡文諾水电站厂房横剖面图

A—閘門室；B—厂房机器間，雙派尔登水輪机二台，每合23,500瓩，有效起重
量45吨的起重機二部；C—12,000伏配电盤室；D—尾水渠；E—預应力錨栓，
40/80吨；F—通风廊道；G—操縱台；H—廊道（冷水管、水輪机通风及排水；
I—空气压缩机、倉庫等；K—電纜廊道。

厘。使用高强度的厚鋼板(厚度可到60公厘以上),可以减少鋼管数目而加大直径,减少水头损失。全部都是用的电焊(厂内的或是就地的)。焊接是极其仔细的,并且注意预热回火等步骤。检查用X光、放射线,或放射性同位素来进行。完工后的鋼管和每节工厂里的鋼管,都要进行水压试验才能验收。

10. 电 站

选用露天或地下式厂房,須根据許多自然条件如雪崩、滚石、大水和地质情况,以及岩石开凿难易强度、透水性等而决定。岩石情形是决定地下电站造价的根据。

瑞士已造各电站,有各种不同方式,有完全地下的、半地下的、露天而祇有一小截压力水管的、以及图7所示的地下式。一般須将閘門室(多数采用球形閘)与厂房分开。厂房形式与机组选择有关。目前佛兰西斯式水輪,已可用到500公尺水头(費昂内电站,有2部472.5公尺水头、43000瓩的机组)。

II. 低水头电站

第二次大战期间与战后兴建的莱茵河、鲁昂河、阿尔河等梯级电站,都是大的低水头电站。在这个时期建造的六处,有四个为壅水式的,二个为深水道式的。

低水头电站设计用水量相当于四个月的流量。一般均用卡布兰式水輪机(例如白飞登,四部卡普兰式,每部三万瓩,68.2轉/分,轉子直径7.2公尺,用水量325秒公方/部)。

一般閘門吊橋均取消而代以閘墩中間安放捲揚机。由于特殊吊放閘門設計,閘墩高度可以減低。两部捲揚机用同步馬达調整速度。閘門形式,用平板双閘門、弧形門、或鼓形門。在白飞登站,上扇平板閘門設有自动开启設備(下降速度15公分/秒),以免在突然关机时造成湧浪影响航运。对于各种水工結構在各种運轉情况下的水力情形,均藉水工模型加以研究。

摘 要

自第二次世界大战以后，由于电力需要的急剧上涨，瑞士的水电建设发展很快；到现在可以经济利用的水电蕴藏量已有半数已经开发了。在这个发展过程中水力利用的趋势是大力集中水量和水头，也就是大的水库、高的水头和大的装机容量。大的蓄水水电站有：在瓦利斯邦的大狄桑士和莫瓦桑，德新邦的馬及亚水电站，和格劳宾顿邦的御尔夫雷拉水电站。

文中叙述了有关工程方面的细节，如进水口、压力竖井、调压井、压力水管、以及发电厂房等。

由于瑞士水力利用的急剧发展促进了一些大坝的建筑。自1942年以来，已有16个坝，部份已完工，部份尚在建造中。其中三个为重力坝，四个是重力坝而加以节省的空隙，有九个是拱坝和重力拱坝。

特别值得提出的为大狄桑士坝，坝高285公尺。

在筑坝工程中采用了混凝土技术方面的新的成就，如用水力分离法来分离砂的颗粒，掺用加气剂，用高频率震动器捣注，以及混凝土的人工冷却等。还应指出的是，在高山地区的工程虽在冬季并不停工，而且有的工程仍进行着如安装、岩石灌浆、伸缩缝灌浆以及混凝土冷却等工作。

(覃修典 摘译)

60H/12

瑞典水力发电工程設計和施工的 最近发展情况

瑞典国家电力局土木工程主任 T. 尼尔逊

(一) 引言和概况

在瑞典电力供应以水电为主，火电仅作为枯水期或尖峰负荷时的补充。全瑞典可以经济利用的水力资源约800亿度，已经开发的约250亿度，估计1956至1960全国电力的增长约每年17亿度。

瑞典河流的开发利用，一般仅以发电为目的，水力资源的开发大多在瑞典北部。河流的特性是冬季水枯，夏季水多。而用电的要求则是冬季多，夏季少。因而需要大的调节水库。水库多利用上游拔海250~400公尺的天然湖泊，全河的水库和水电站成连续的阶梯开发。因地形关系，瑞典水电站的水头，很少超过75公尺，一般常低于35公尺。

瑞典水电站一般开发方式为在一连串的瀑布急滩上游建造一道低坝，将厂房置于坝的附近，而以尾水渠或尾水隧洞引通至下游。一般在坚硬岩石中，水头超过35公尺时，都采用地下式厂房，而以长的尾水隧洞通到下游，即所谓的“瑞典式”的布置方式。不但经济而且利于防寒、防空。此种方式所以特别经济也由于近代开挖爆破技术的不断提高之故。

瑞典第一个大型地下式水电站为1910—1915年在北极圈内建造的波久斯水电站，第一期容量50 000瓩，后期容量142 000瓩。至目前为止已建成的20 000瓩以上的地下厂房水电站共有2 000 000瓩，正在建造中的约有1 400 000瓩。

目前瑞典已运转和正在建造的各地下式水电站如下表所列。