

# 瑞士大狄克逊梯级水电站设计

杨渭汶 编译

(四川省水力发电工程学会)

## 提 要

大狄克逊水电系统，六十年代中期建成两个高水头梯级，装机总容量67万kW。其开发方式，特别是跨流域引水，采用自流与抽水相结合，大大地增加了龙头水库的调蓄水量，并少占耕地，可供有条件的地区借鉴选择采用。

## 一、梯级电站布置及主要水文特性

瑞士是欧洲的一个内陆国家，全国土地面积4.13万km<sup>2</sup>，人口约650万人，是以水电为主解决了本国的电力供应。瑞士在水电建设史上，曾以先丘陵地区开发迳流式电站为主，到一定程度才开发具有调蓄性能的梯级电站，如大狄克逊梯级就是其中规模最大的一个。该梯级利用瑞士西南部罗纳河在雪虹市以南的几条支流，经一系列自流引水及水泵抽水到龙头水库调蓄。水库以下有两个高水头梯级及三个发电厂。整个系统的布置，相互关系及梯级纵剖面示意于图1、2。

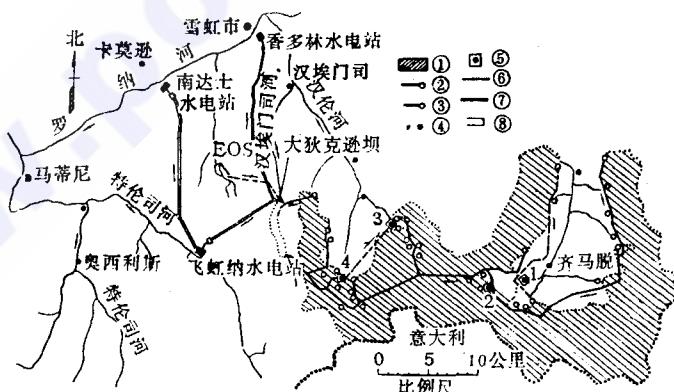


图1 大狄克逊水电系统平面图

- 注：①流域或集水面积； ②2400m高程集水隧洞； ③2000m高程集水隧洞；  
 ④市、镇； ⑤水泵站：1.齐缪脱、2.斯太弗尔、3.斐匹克尔、4.阿罗拉；  
 ⑥压力管道； ⑦引水隧洞(有压)； ⑧水电站。

大狄克逊坝位于支流汉伦河的一个分支——汉埃门斯河上，大坝本身控制的流域面积很小，主要利用其比较开阔的地形，较好的地质条件，修建一个坝高285m的龙头水库，总库容4亿m<sup>3</sup>。

水库来水主要引自相邻两条支流，总集水面积357km<sup>2</sup>，其中有冰川180km<sup>2</sup>。集

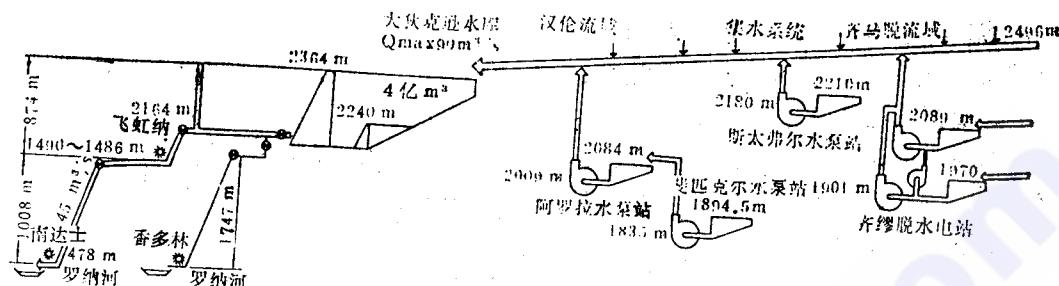


图2 大狄克逊水电系统纵剖面图

水面积中：

汉伦河流域年迳流量（平均） 1.5亿 $m^3$

齐马脱河流域年迳流量（平均） 2.7亿 $m^3$

以上合计年迳流量 4.2亿 $m^3$

这些水量，从相邻流域通过 75 个集水点，105km 的引水隧洞，从自流或抽水方式引入龙头水库。在年迳流量中，2.15 亿 $m^3$  来自自流（包括大坝以上本身的年迳流量）；2.05 亿 $m^3$  来自水泵抽水。这种想方设法利用可能的水能资源，来解决枯水季的补偿出力，是值得借鉴的。

## 二、大狄克逊重力坝及主要观测成果

**坝址选择** 坝段中有已投产的香多林水电站的旧坝，该旧坝高 85m，相应库容约 0.5 亿 $m^3$ 。新坝、旧坝相互位置见图 2。建新坝前曾考虑在旧坝上加高，鉴于加高过程要使老电站停止运行 1~2 年，且旧坝混凝土强度能否满足加高后的要求难以肯定，故放弃了此方案，改以旧坝作为新坝的上游围地。旧坝下游 400m 的河段坡降平缓，并裸露着比较均一的花岗片麻岩。片麻岩层面走向与坝轴线呈 16° 交角，倾角近于垂直，岩块弹模 24.51 GPa (250 000 kg/cm<sup>2</sup>)。基础岩体有三组裂隙，其中主要的一组以 50° 倾角倾向上游偏右岸。地基帷幕灌浆，在河谷部位深 200m，两岸部位分别为 100m（实际灌浆成果为：平均乾料单耗约 100kg，其中水泥 78kg，特别制备的粘土 22kg）。灌浆压力 5.88 MPa (60 kg/cm<sup>2</sup>) 效果良好。

**坝型选择** 在当时条件下，对这样异乎寻常的高坝 ( $H = 285m$ )，考虑到峡谷、防渗及建材条件，排除了修建堆石坝的可能。拱坝又由于两岸接头处理困难，特别是两岸陡峻，难以布置能照顾到拱坝全范围的施工缆机；如果坝址向上游移动，虽可获得满意的两岸接头，但河谷增宽所引起坝体混凝土量的增加，又抵销了其经济意义，最后仍采用了常规的混凝土实心重力坝，坝轴线主要部位为直线，两岸接头为适应地形地质条件呈折线布置，左岸微向下游偏转，右岸折向上游，坝顶总长 695m。

**坝体断面设计** 坝体最大断面见图 3。设计计算采用常规方法，除坝体稳定计算以外，应力计算主要考虑了两种情况。

第一，大坝浇筑到顶时，任何高程水平面上的上游边，其压应力必须大于静水压力的 85%。

第二，地震（设防烈度9度）时，上游面扬压力取100%，合力不超过三分点。根据以上情况计算结果为：

库满：正常情况，坝下游边最大压应力 $7.35 \text{ MPa}$  ( $75 \text{ kg/cm}^2$ )；地震情况，坝下游面最大压应力 $12.75 \text{ MPa}$  ( $130 \text{ kg/cm}^2$ )。

库空：坝上游边最大压应力 $7.16 \text{ MPa}$  ( $73 \text{ kg/cm}^2$ )。

混凝土应力安全系数，正常荷载不低于3，地震情况不低于2。值得指出的是，坝体上游面在高程2200m以下，为 $1:0.03$ 的负坡，目的是当库满时使坝基下游边压应力可适当减少，而又不增加坝廊宽度。

**大坝施工分期及接缝处理** 大坝混凝土总量 $596 \text{ 万 m}^3$ ，坝址距罗纳河汇合处约 $20 \text{ km}$ ，河床天然落差约 $1600 \text{ m}$ 。施工时对外运输有铁路通往香多林电站，再由公路及架空索道转运。其中水泥运输主要依靠长 $17.5 \text{ km}$ 的架空索道，上升 $1800 \text{ m}$ ，运输能力 $50 \text{ t/h}$ 。坝址高程位于 $2100 \sim 2400 \text{ m}$ 之间，冬季大雪封山，年浇筑混凝土的时间只有 $6 \sim 7$ 个月，最初计划每年浇筑约 $50 \text{ 万 m}^3$ ，分三期施工，中间间歇 $1 \sim 2$ 年，总工期 $15 \sim 17$ 年。实际上从1953年开始浇筑第一方混凝土起，浇筑速度远超过预计，到1957年完成第一期浇筑面貌时（如图3中粗线所示，这时大坝开始蓄水），相应最大坝高约 $183 \text{ m}$ ，其中1955及1956年浇筑量均达 $90 \text{ 万 m}^3$ ，1957年更突破了百万大关，达到 $101.2 \text{ 万 m}^3$ 。这时决定二、三两期合并，有的直线与一期混凝土柱状块直接接触（纵横缝均留有键槽），有些留有宽缝。宽缝净宽 $3.8 \text{ m}$ ，在相邻块达到稳定温度后，宽缝回填，所有直接接触的纵横缝，通过冷却及灌浆竖井（ $\phi 1.9 \text{ m}$ ，总长达 $14500 \text{ m}$ ）仔细地重复进行接触灌浆。

要附带说明的是，大坝距冰川山头不远，冰川消融补给的河水接近 $0^\circ\text{C}$ ，混凝土冷却直接引用这些河水，一般一个冬季即可使柱状块达到稳定温度，第二年春初气温回升时即可进行接触灌浆。

**大坝主要观测设备及成果** 大狄克逊坝至今仍为世界上最高的混凝土重力坝，从1961年建成以起，在库满时，整个大坝基础渗流量不超过 $23 \text{ L/s}$ 。坝上设有常规监测系统，计7条垂线，其中6条能自动测读纵横位移。库满时坝顶相对于坝基的最大位移为 $11 \text{ cm}$ ，基础最大位移 $2.5 \text{ cm}$ ，观测成果反映变形是周期性的变化，说明坝体处于完全的弹性工作状态。另外从一条新开挖的交通洞进入坝内，混凝土与基岩的接触极为良好，这些都说明大坝的设计和施工是成功的。

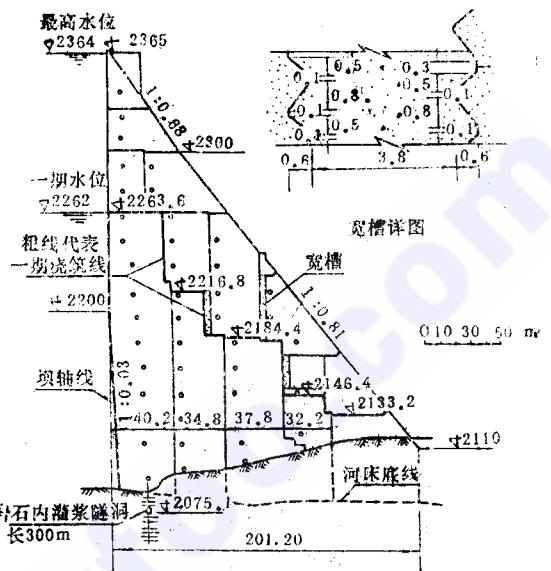


图3 大狄克逊坝剖面图

### 三、两个梯级三个电站的主要技术特性

龙头水库总库容 4.0 亿  $m^3$ ，其中 0.5 亿  $m^3$  作为被淹没香多林电站的补偿，余下的除去少量死库容外，为新建的飞虹纳及南达士两个梯级电站所利用。三个电站均为高水头引水式，其主要技术特性见表 1。

表 1 大狄克逊系统三个电站主要技术特性

项 目	单 位	香多村水电站	飞虹纳水电站	南达士水电站	备 注
开发方式		混合式	混合式	引水式	
集水面积	$km^2$	357	357		
水库或调节池最高水位	m	2240.0	2364.0	1486	
尾水位	m	493	1490~1486	478	
最大毛水头	m	1474	874	1008	
调节库容	亿 $m^3$	0.50	$\approx 3.50$		合计 1882
引水隧洞长度	m	8557	16247		合计 4.0
引水隧洞直径	m	$\phi 4.0 \sim 4.5$	$\phi 4.3$		
压力钢管长度	m	1113	1662		
压力钢管直径	m	$\phi 2.8 \sim 3.0$	$\phi 2.9 \sim 3.1$		
电站引用流量	$m^3/s$	10	45	45	
水轮发电机组	台 $\times$ 万 kW	$10 \times 1.4$	$6 \times 4.8$	$6 \times 6.4$	
电站装机容量	万 kW	14.0	28.8	38.4	合计 81.2
电站年发电量	亿度	2.6	7.5	9.3	合计 19.4
年平均利用小时	h	1870	2600	2420	合计 2390
投 资	亿瑞士法郎		合 计 16.0		包括集水系统

第一级飞虹纳，为了获得较大的调节库容隧洞进口中心线高程为 2164m，低于正常水位 200m。加上隧洞线路的沿程坡降，在库满时最大静水压力达 2.16 MPa (22kg/cm<sup>2</sup>)。洞线全长 8557m，通过岩层为片岩，开挖直径一般为 4.6m。支护有以下几种类型式：隧洞靠近调压井有段长 212m 因岩石比较破碎，用钢板衬砌；有 4650m 是临时支护后用钢筋混凝土衬砌，内径 4.10m；有 1050m 是喷混凝土，1135m 喷砂浆。其余的 1500m 则是以上各支护的混合式。

第一级引水隧洞的施工于 1956 年 12 月底完成，鉴于运行中内水压力达 2.16 MPa (22kg/cm<sup>2</sup>)，为了判断沿程是否需要补充灌浆，全线分四段进行水压试验，测得隧洞漏水量平均每延米为 0.57L/min，相应全长的漏水量为 81L/s。因数量较小，未再进行补充灌浆。本电站于 1985 年发电，当时大坝浇至第一期高程，挡水前沿顶高程为 2263.6m，相应库水位为 2262m。

第二级南达士电站，引水隧洞全长 16247m，最大静水压力 0.88 MPa (9kg/cm<sup>2</sup>)，最大动水压力达 1.25 MPa (13kg/cm<sup>2</sup>)。由于地质条件较第一级差，加上多处洞线上覆岩体较薄，故全线均用混凝土及钢筋混凝土衬砌。衬砌后内径 4.3m，开挖直径一般 5.2m，相应衬砌厚度约 0.45m。

#### 四、跨流域引水及集水建筑物

龙头水库虽然具有4亿 $m^3$ 的总库容，但大坝控制的流域面积很小，绝大部分的水量是从相邻的汉伦河及齐马脱河分别经过75个集水点汇集后，以总长105km的引水隧洞、四座水泵站，引入龙头水库。

**集水站点（见图4.5）** 这些集水站点分散，地处深山峡谷，到1965年才全部施工完毕。投入运行以来，除定期检查及更换自动记录卡片外，平时是无人值班的。

从图5纵剖面上看，当弧门后淤积到一定高程，弧门依靠浮筒及平衡重能自动开启，不需电力启闭，在淤积冲洗完毕后弧门能自动关闭。

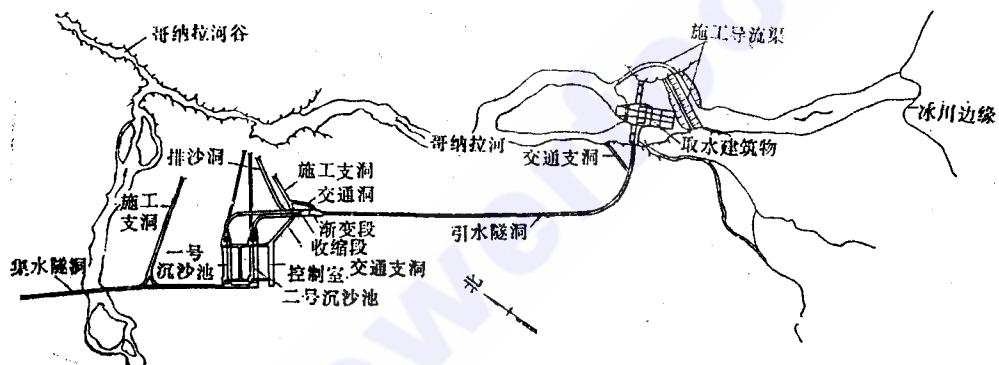


图4 集水站布置

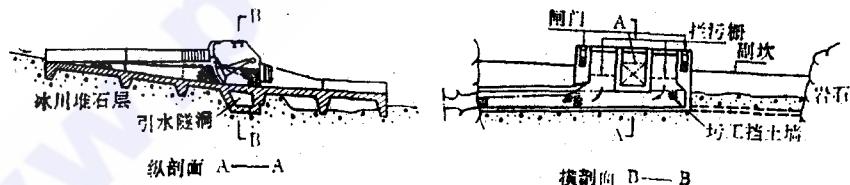


图5 集水站纵横剖面图

支沟水经弧门阻挡抬高水位，引取上部含泥沙较少，颗粒较细的水流再进入二次沉砂池，经二次沉砂后的水再输入集水隧洞。集水隧洞大致分为两个高程（2400m以上及2000m以上各一个）。其中2400m集水隧洞，可以自流进入龙头水库。2000m集水隧洞则经四座水泵站提升到2400m集水隧洞再流入龙头水库。2400m集水隧洞最大过水量为90 $m^3/s$ 。

在2400m集水隧洞跨越两条冰川时，曾修建了两处倒虹吸管，高差分别达400m与270m。倒虹吸管均采用竖井，并用钢板衬砌，内径分别为1.9及2.25~2.45m。

**水泵站** 四座水泵站的位置与集水隧洞的高差见图1、2。共装水泵14台，总功率19.2万kW，总抽水能力49.5 $m^3/s$ ，年总抽水约2.05亿 $m^3$ 。平均每年因抽水需耗电2.7亿度。各水泵站指标见表2。

表 2 四座水泵站的技术指标

项 目	单 位	阿罗拉水泵站	斐匹克尔水泵站	斯太费尔水泵站	齐缪脱水泵站	合 计
调节池型式		地下式	地面式	地面式	坝后式	
调节池最高水位	m	2084	1894.5	2210	1970	
调节池有效容积	m <sup>3</sup>	15000	100000	80000	300000	
水泵中心高程	m	2009	1835	2180	1901	
水泵台数	台	3	3	3	5	14
抽水量	m <sup>3</sup> /s	$3 \times 4.2 = 12.6$	$3 \times 2.8 = 8.4$	$3 \times 3.3 = 9.9$	$2 \times 5.5 = 11.0$ $2 \times 3.3 = 6.6$ $1 \times 1 = 1.0$	49.5
水 头	m	312	212	212	470 365 135	
水泵容量	万kW	$3 \times 1.62 = 4.86$	$3 \times 0.71 = 2.13$	$3 \times 0.88 = 2.64$	$2 \times 2.94 = 5.88$ $2 \times 1.7 = 3.40$ $1 \times 0.3 = 0.3$	19.2

以上不论总长 105km 的集水隧洞，或总容量为 19.2 万 kW 的 4 座水泵站，特别是地面或坝后式调节池，都分别在支沟中形成 10 万，8 万及 80 万 m<sup>3</sup> 库容，仅挡水坝已达相当大的规模。从以上可以看出，要集引这些水量，确实化了较大的代价。由于瑞士实行峰、谷时段不同的电价。例如，七十年代末或八十年代初，峰荷电价 0.132 瑞士法郎/度，而低谷时为 0.051 瑞士法郎/度因此利用汛期或低谷时的廉价电力抽水，经龙头水库调蓄，在枯水期或高峰负荷时发电，以高峰时电价出售，这样仍是有利的。

### 五、大狄克逊水电系统的经营管理

瑞士的水电站，不论单独电厂或梯级组成的电厂，都是一个经济上的实体，具有法人地位，自负盈亏，按协议向电网售电。电厂一般由企业集资或企业及地方共同集资（少数亦有国外合资的）。由集资者按股派出代表组成董事会，决定电厂大计。由董事会任命负责人在基建阶段选择设计单位及施工的招标、质检及验收工作。投产以后，负责运行及利润分配。由于水电站一旦建成，其发电成本远较火电为低，除去运行开支及应上交的利税，一般能保证每年分成均高出银行同期存款利息较多，所以企业及地方乐于在这方面投资。

大狄克逊水电系统，由洛桑瑞士西部电力公司、拜尔州、伯尔尼电力公司及巴登瑞士北部电力公司四家组成。其中西部电力公司集资 60%。其余三家各 13.33%。1950 年开始施工准备，大坝及两个梯级于 1961 年建成，跨流域集水工程于 1965 年建成。全部投资 16 亿瑞士法郎。两个梯级共装机 67.2 万 kW，平均每 kW 投资约 2380 瑞士法郎（1980 年比价，约合我国人民币 2140 元/kW）。

### 参 考 文 献

[1] 赵人龙、陆钦侃、杨渭汶，《水电部赴瑞士参加国际水电站改建、扩建技术总结》1979.4

[2] 中国大坝代表团，《关于瑞士大坝工程的考察报告》，水力发电，1986.2