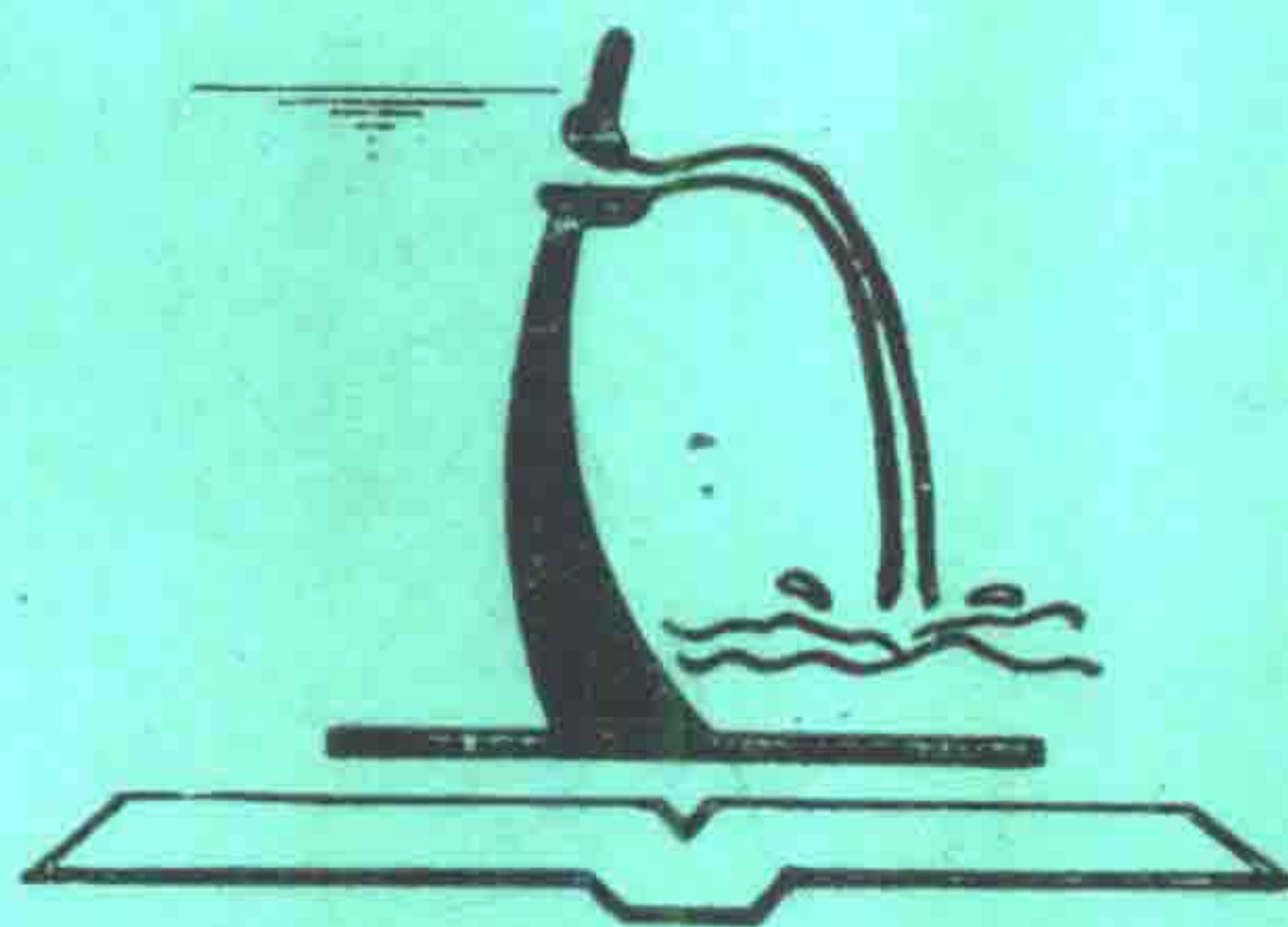


(内部资料)

国内外拱坝概况汇编



水利电力部第三工程局

一九七八年六月

自力更生
發圖強因地制宜
地充分利用我國
的能源資源加快
電力建設為實現
四個現代化作出
貢獻。

華國鋒 一九七七年
十二月

前 言

遵照英明领袖华主席发出关于“自力更生，奋发图强，因地制宜地充分利用我国的能源资源。加快电力建设为实现四个现代化作出贡献”的指示，我国的水电建设将要出现一个大跃进。我国的坝工建设技术势将出现一个新的飞跃。

拱坝是水电建设中一种既经济又安全可靠的坝型。我国的水力资源甚为丰富，多数河流处于深山峡谷之中，不少坝址地形地质条件对修建拱坝极为有利，拱坝必将得到广泛的采用。

伟大领袖和导师毛主席生前曾谆谆教导我们关于“古为今用、洋为中用。”“应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”的教导，我们翻译和编写了当前国外坝高在200米以上的16座拱坝及国内外部分较高拱坝的概况。本汇编在领导重视和关怀下，由金光夏、丁宪民等同志编写的。由于我们的资料短缺，时间仓促以及水平的限制，难免有许多挂一漏万或错误的地方，请予批评指正。

鄂河情报组

1979年九月于汉中

目 录

前言

国外坝高200米以上的拱坝:

1. 英古里	坝高271.5米	(苏)	(1)
2. 瓦依昂	262米	(意大利)	(8)
3. 萨彦诺——舒申斯克	242米	(苏)	(15)
4. 莫瓦桑	237米	(瑞士)	(22)
5. 契尔克	236米	(苏)	(26)
6. 康特拉	230米	(瑞士)	(36)
7. 鲍尔德(又名胡佛)	222米	(美)	(40)
8. 穆拉廷捷	220米	(南斯拉夫)	(44)
9. 格兰峡	216米	(美)	(49)
10. 奥 本	209米	(美)	(62)
11. 柳冲	208米	(瑞士)	(69)
12. 罗斯	204米	(美)	(71)
13. 帕赫拉维(又名台兹)	203米	(伊朗)	(76)
14. 阿尔曼德腊	203米	(西班牙)	(81)
15. 卡比尔	200米	(伊朗)	(88)
16. 科尔布赖恩	200米	(奥地利)	(93)

国内、外坝高200米以下的部分拱坝:

1. 黑部第四:	坝高186.0米	(日本)	(96)
2. 莫西罗克	184.0米	(美)	(107)
3. 大成	181.0米	(中)	(113)
4. 乌江渡	165.0米	(中)	(123)
5. 奈川渡	155.0米	(日本)	(135)
6. 蒙台纳尔	155.0米	(法)	(155)
7. 白山	150.0米	(中)	(162)
8. 罗泽兰	150.0米	(法)	(168)
9. 卡里巴	128.0米	(赞比亚、罗得西亚)	(176)
10. 格比坦	120.0米	(瑞士)	(183)

11.风滩	坝高112.5米	(中)	(189)
12.邦达瑞	110.0米	(美)	(195)
13.石门	88.0米	(中)	(203)
14.响洪甸	84.5米	(中)	(210)
15.泉水	80.0米	(中)	(213)
16.恒山	73.7米	(中)	(219)
17.马尔帕赛特	66.5米	(法)	(222)
18.希菲涅恩	52.5米	(瑞士)	(226)
19.修文	49米	(中)	(230)

附表一： 国外坝高120米以上拱坝工程特性表。

附表二： 国内坝高50米以上拱坝工程特性表。

英古里 (Ингури)

(苏 联)

一、主要指标:

坝高: 271.5米; 坝顶长: 566米;
 坝顶宽: 10米; 坝底宽: 58米;
 坝顶半径: 380米 坝顶中心角: 102度;
 拱坝砼量: 370万立方米; 总砼量: 565万立方米;
 坝基土石方开挖量: 254万立方米; 总开挖量: 524万立方米;
 水库库容: 11亿立米; (有效库容7.5亿立米)。
 装机容量: 180万瓩; (后增设坝后抽水蓄能电站100万瓩)
 投资: 4亿卢布, 后因工程地质处理增25%为5亿卢布。
 工期: 约17年 (1960~1977年)

表 1 建议的坝基岩石抗压强度表

序号	区域范围	岩石	按下述保证率的抗压强度 (公斤/平方厘米)		建议计算的抗压强度 公斤/平方厘米 (立方体强度)
			50%	75%	
	右岸高程45~105				
1	左岸高程45~140	V层裂隙的和渗水的白云岩	1140	940	1100
	河床部分(高程45-132)				
2	左岸高程100—160	V层少量裂隙的石灰岩	1200	920	1200
3	左岸高程120—260	IV层裂隙的和渗水的石灰岩	1400	1100	1100
4	左岸高程240—280	III层石灰岩	1320	980	1000
5	左岸高程270—300	I和II层薄的泥灰岩夹层的石灰岩	1300	1060	1300
6	右岸高程60—290	V层裂隙和渗水的石灰岩	1400	990	1000
7	右岸高程60—290	IV层的石灰岩	1560	1000	1000
		IV—2层白云岩	1160	960	900
8	右岸高程200—300	IV—3层白云岩	1160	960	600—700
		IV—4层白云岩	—	—	300
		IV—5层白云岩	—	—	—

表 2 坝区岩石的弹性特性表

层号	地 层 时 代	岩 石 名 称	变 化 范 围			动力弹性模量值 $E \times 10^3$ 公斤/厘米 ²								在构造区和 风化破坏区
			纵 波 速 公里/秒	波 系 数	弹 性 模 量 1×10^3 公斤/厘米 ²	河 部		床 分		斜		坡		上
						右 岸	左 岸	右 岸	左 岸	右 岸	左 岸	右 岸	左 岸	
I	下白垩纪	石灰岩	3.4~5.0	0.27~0.33	250~470	300~350	390~470	250	—	—	—	—	250~300	—
I	亚普第组		3.0~5.0	0.25~0.33	200~470	300~350	390~470	250	—	—	—	—	200~250	80~90
II	下白垩纪	石灰岩	2.9~3.7	0.25~0.29	180~290	250~290	180~200	250	—	—	—	—	180~200	80~180
IV		同	1.2~3.3	0.24~0.26	30~250	250	180~200	130~210	—	—	—	80~200	180~200	30~100
V	巴列	白云灰岩	1.2~2.8	0.24~0.25	30~170	140	70~170	—	—	—	—	30~80	70~140	30~100
	维组	石灰岩	2.0~4.4	0.25~0.33	90~410	190~410	210~270	200	300~400	130~200	200	—	200	90~130

• 拟定五个试验区进行50个承压板试验，并在大范围内用地震和超声波法进行研究，其资料如上表。

二、地质条件及其工程处理:

英古里水电站位于英古里河上,枢纽的地质构造由侏罗纪到现代沉积的岩层组成,构造复杂,有许多褶皱及局部断裂破坏。主要建筑物位于白垩纪石灰岩地区,顺水流方向倾角为 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。在现代滩地及河床范围内有3.5~4.0米顽石,砾石沉积物覆盖,在河谷边缘曾发现大块碎石,不太大的破碎带及一些裂隙。最显著的是峡谷左边坡上有巴列姆石灰岩块移动,其大小约4万立米。石灰岩的喀斯特不发育。地震烈度7—8级,设计按9级。坝基原设计进行固结灌浆,深度6—10米,设两排防渗帷幕,孔深83米。

建议坝基岩石抗压强度见表1。坝区岩石弹性特性见表2。

后在坝基开挖中,发现左岸有宽3—5米断层带,向下清除100米后回填砂,并进行灌浆。右岸顶部岩石软弱破碎,做了总长达3.5公里隧洞网回填成“水平桩”。这些洞子的轴线是沿拱的推力方向,洞径4.6米,其高程范围约自坝顶以下10.67米至坝顶以下122米之间。施工时工人沿着裂隙和断层向岸内开挖隧洞,裂缝平均宽度20~30.5厘米,延伸长度46~198米的都必须找到,以及填充泥和碎石的裂隙都必须清除掉回填砂。所有的加固工作一次完成,数千计的测量仪器布置在隧洞网内,以测量温度、应力和地质条件。又因透水性强,做了深100~180米的帷幕灌浆。

自1968年重新设计确定加固基础,靠岸坡的坝基加宽了,为较好的传递荷载至基岩上,作了支撑墙或人工垫座深入低凹的部分。

三、枢纽布置及组成: (见图1.2.3.4)

枢纽组成包括:双曲拱坝;深层隧洞式进水口、有压引水隧洞、双井调压塔、地下式厂房;坝体表面溢流堰。后增设坝后抽水蓄能电站。

1. 双曲拱坝:

英古里拱坝为对称双曲薄拱坝,坝体边界弹性地固定于基岩及大体积砂中,象一个楔子布置在峡谷的最窄地段。

坝体应力分析是应用新的(乌拉尔—2)电子计算机进行计算,原设计每层拱应用五个园心,结果坝面不很光滑,在曲率变化的地方产生应力集中,因而作了坝面曲线修匀以减少应力集中,据设计者说应力减少12%。同时还作了结构模型试验,据这一分析的结果,减少了垫座内原设计的钢筋数量。

大坝观测:编制了一项规模较大的原体研究工作计划,预定在拱坝中埋设各种观测仪器约2400件。仪器布置示于图7。

2. 坝顶溢流堰:

英古里河多年平均流量为156立米/秒,实测最大流量为950立米/秒,最小流量为17.9立米/秒。当频率为5%时,流量为930立米/秒,频率0.1%时,流量为2120立米/秒。

原设计溢流堰共6孔, 4×18 米,水头为3.5米,在泄放0.1%洪水时考虑水库调节作用可下泄1500立米/秒。泄放特大洪水时允许超高0.5米。坝中设4个中孔为第一期泄洪,

可泄950立米/秒。另有一底孔可泄水10立米/秒。

修改设计后，坝体表面溢流堰共3孔，坝体中孔5个，底孔4个。

3. 地下式水电站厂房：（见图4）

i) 电站引水隧洞，直径9.4米，15公里长，沿线坡度不变为0.0024，洞内水压为135~160米，124米位于水库内，开挖量为177万立米，隧洞内以砼和钢板衬砌，砼量34.5万立米。进水口共二条可引水460立米/秒，直径8.4米。进口设有控制闸门的竖井，深126米。

ii) 调压室为双层竖井式，竖井直径18米。下层调压室在地面以下115米，其开挖断面达130平米。上层调压室为明式的，其尺寸为40×185米，深10米，用砼衬砌。

iii) 地下式电站厂房：尺寸为15×128米，高47米。安置六台法兰西式水轮机，单机容量26.5万瓩。净水头382米。尾水隧洞长2.2公里，断面为11.4×13.8米城门洞。

在厂房布置时，用工厂制造的空心金属结构组成的装配式圆筒形机墩作为发电机基础，下面支在水轮机座环上，这样就可减少水轮机球形阀门与水电站厂房纵轴间的距离1米。下游修理用的阀门采用蝴蝶阀门式放在厂房内。桥式起重吊车有2个吊钩，起重量为2×250吨，这样就可降低厂房高度3米，减少吊车跨度1.5米。厂房中各层楼板、吊车桥及墙壁面板都采用装配式及部分予应力钢筋砼构件。

4. 坝后抽水蓄能电站，电站装机五台，其中两台为可逆式机组，总装机容量为100万瓩。抽水蓄能电站的进水管位于坝内和坝的下游面。

四、施工：

1. 简介：该工程1956年开始勘测，1961年准备，1964年开工，原计划70年完成，后因勘测设计粗糙，工期一再推延，到67年开挖基础，71年末浇砼，计划77年完工。原计划造价4亿卢布，由于基础不良，用钢筋加固等处理措施增加费用25%。

2. 导流：利用围堰隧洞导流的形式，导流隧洞长700米，其剖面为城门洞型，底宽16米，高14.8米。隧洞底部衬了一层厚40厘米砼，拱顶进行了喷砼，两边未加衬砌。

3. 砼系统：水泥用30公里专用铁路运输。天然砂石料经筛分后，原设计用3条长4.8公里的索道运到拌合厂。（后改用皮带机）为连续式拌和系统，布置稍靠坝下游，高于坝顶。砼工厂生产能力240立米/时。用2台25吨缆机，〈原设计4台〉，跨度约854米，横跨河谷，8立米吊罐运送砼。吊车行速度600米/分，吊罐下放速度130米/分。左右两岸坝肩用2台动臂起重机浇筑。砼浇筑能力每小时300立米，日最大浇筑强度4800立米，月最大浇筑强度8~8.5万立米。砼浇块高度为3米左右。施工工人为12,000人。

4. 隧洞等地下工程施工：

隧洞工程施工中全部采用流水作业法，岩石开挖采用钻眼爆破法，使用了硝铵炸药，主要采用迟发雷管进行电力引火爆破，用高频风钻钻孔。出碴用2Π—1型挖土机及具有气泵的MA₂—503型自卸汽车，隧洞通风的抽气供气同时进行。

参考资料：

1. 英古里河的开发规划 苏水工建设1961年12期
2. 英古里水电站 同上
3. 工程新闻记录（英） 1971年5期

4. 工程新闻记录 (英) 1974年12期
5. 国外大坝建设 水电部科技情室1973年5月
6. 国外水利电力消息。 1975年4月21日 第7期
7. 拱坝建筑 (俄) 1965年
8. 苏联大型水工建筑物的原体研究 水利水电译丛 1964年6期。

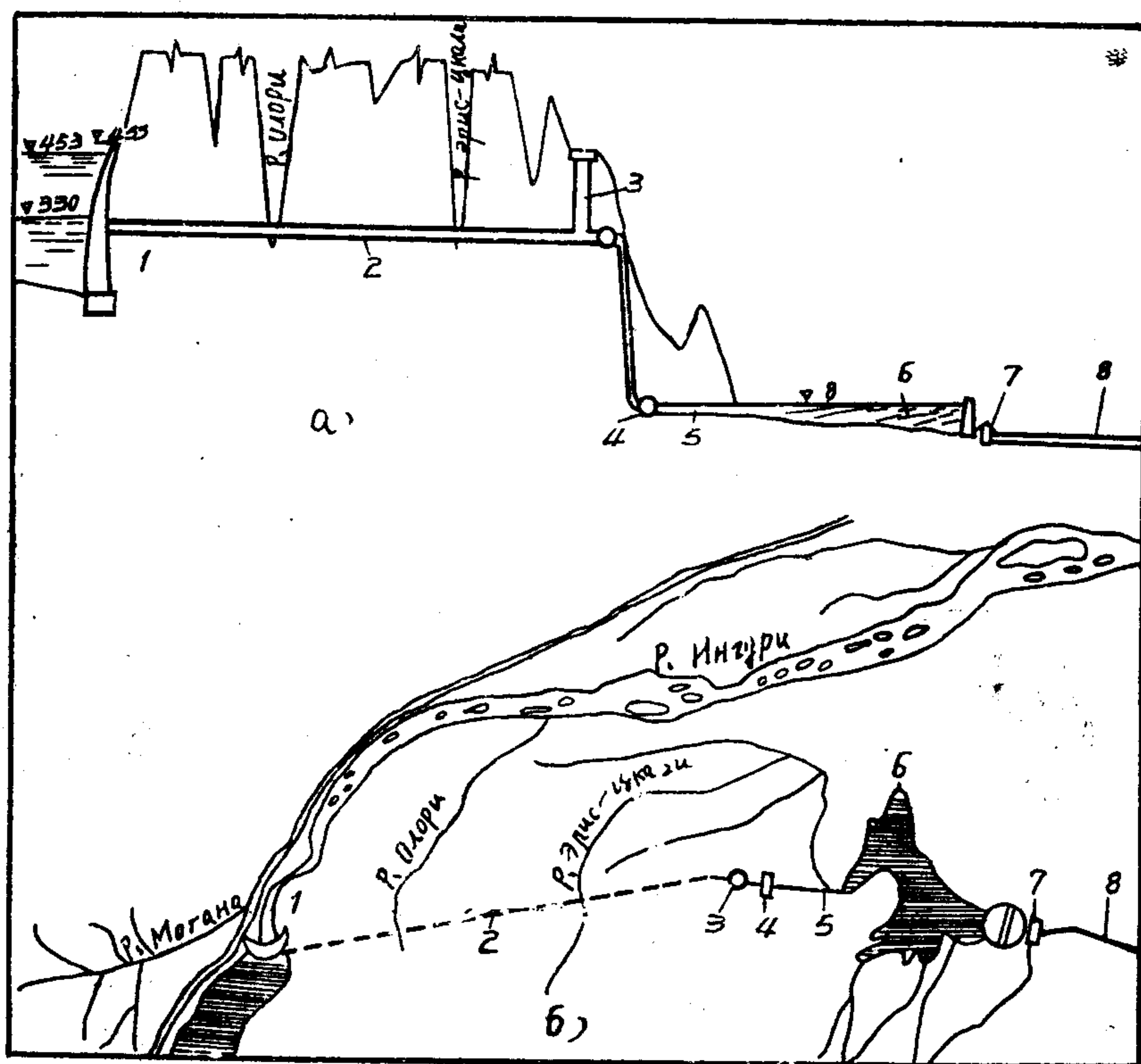


图1 英古里水电站示意图

- a. 水电站建筑物纵剖面图, 6. 平面图,
1. 形成查互尔水库的拱坝; 2. 压力隧洞, $L=15.5$ 公里; 3. 调压塔; 4. 水电站地下厂房; 5. 尾水隧洞 $L=2.2$ 公里; 6. 加尔水库; 7. 一号跌水水电站; 8. 尾水隧洞 $L=24.5$ 公里, 截直了埃里斯-茨加里河。

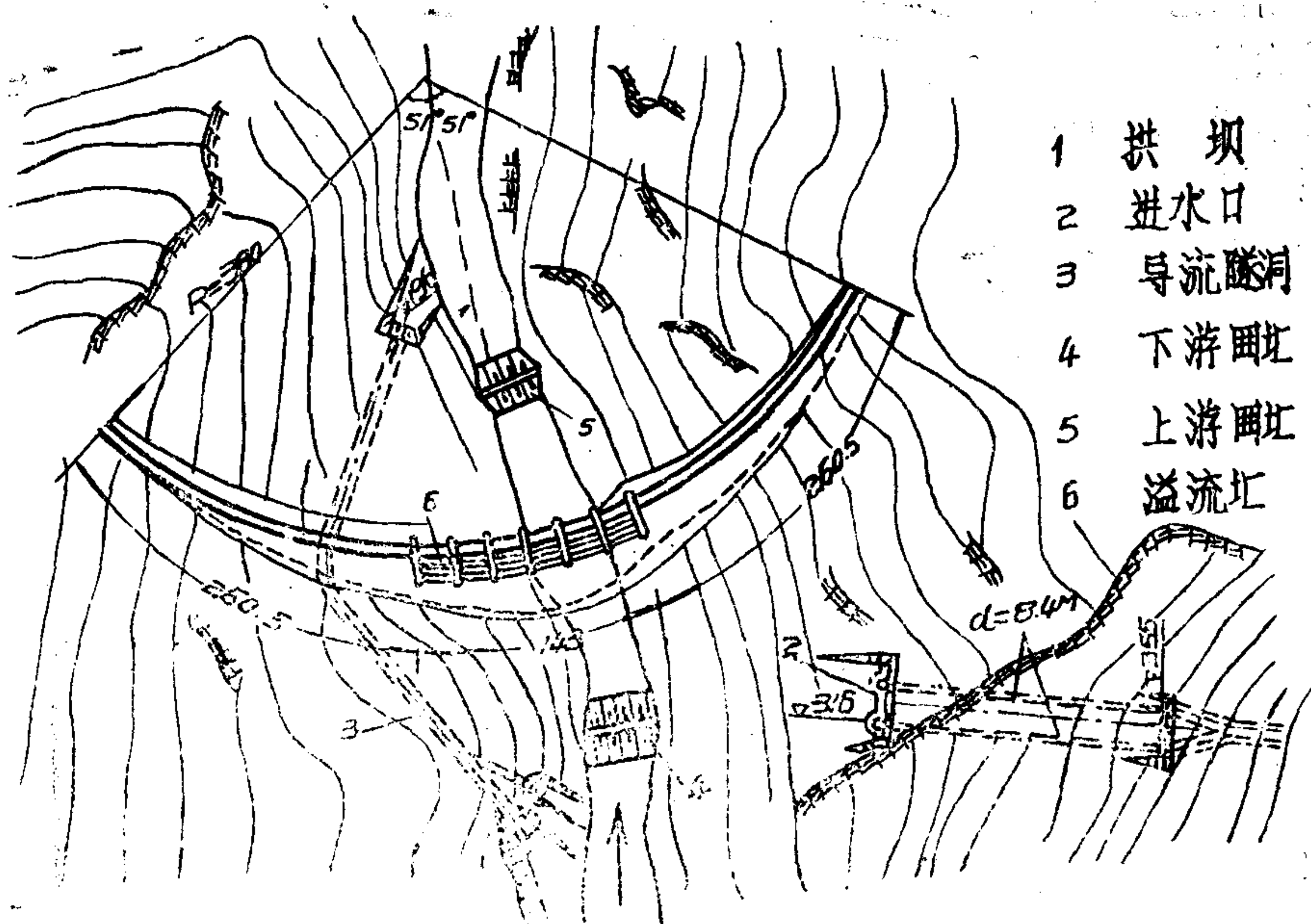


图2 英古里水电站首部枢纽平面

注：图1，2为原设计方案（苏水工建设61，12）

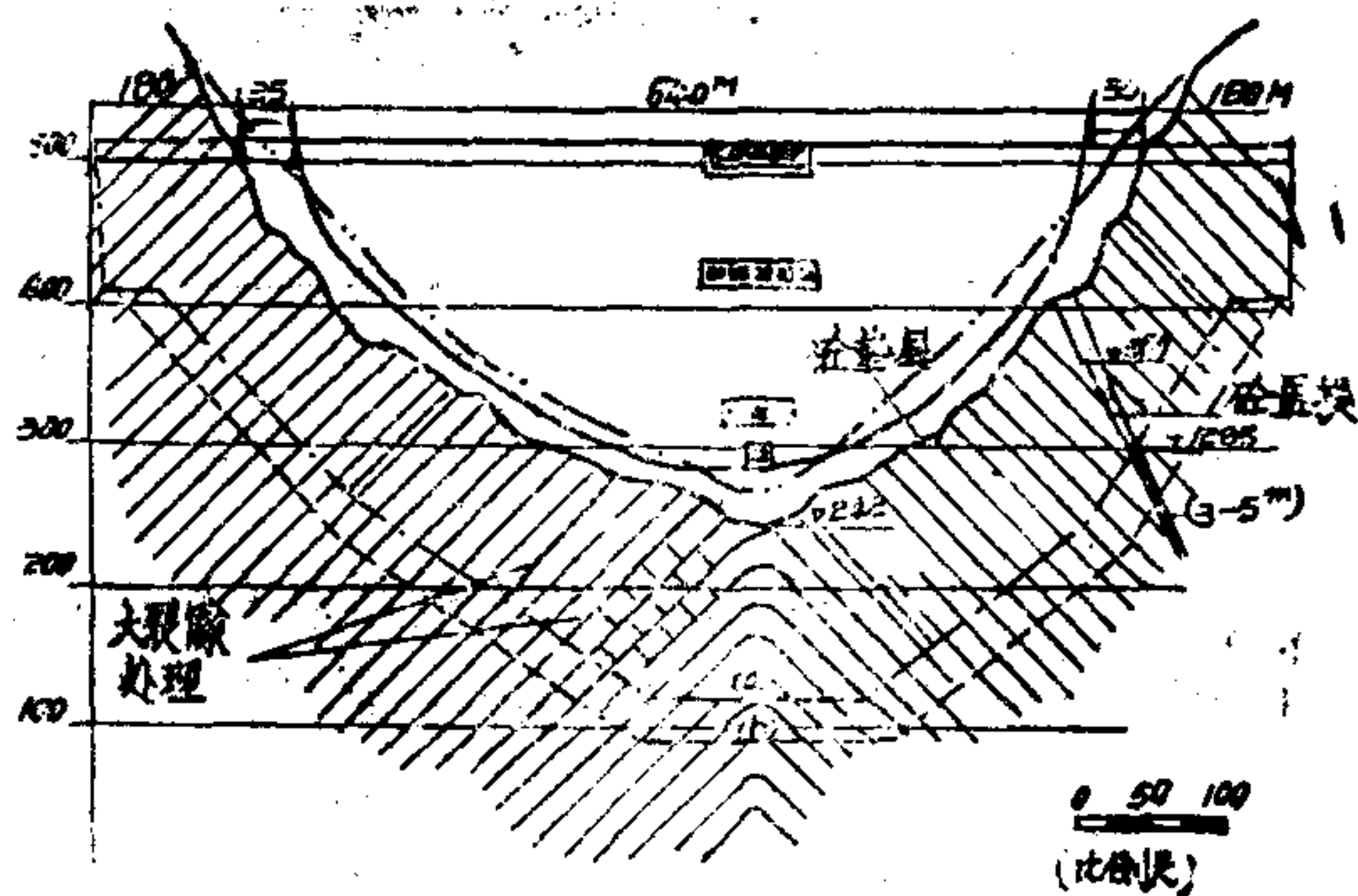


图3 英古里拱坝下游面展开图

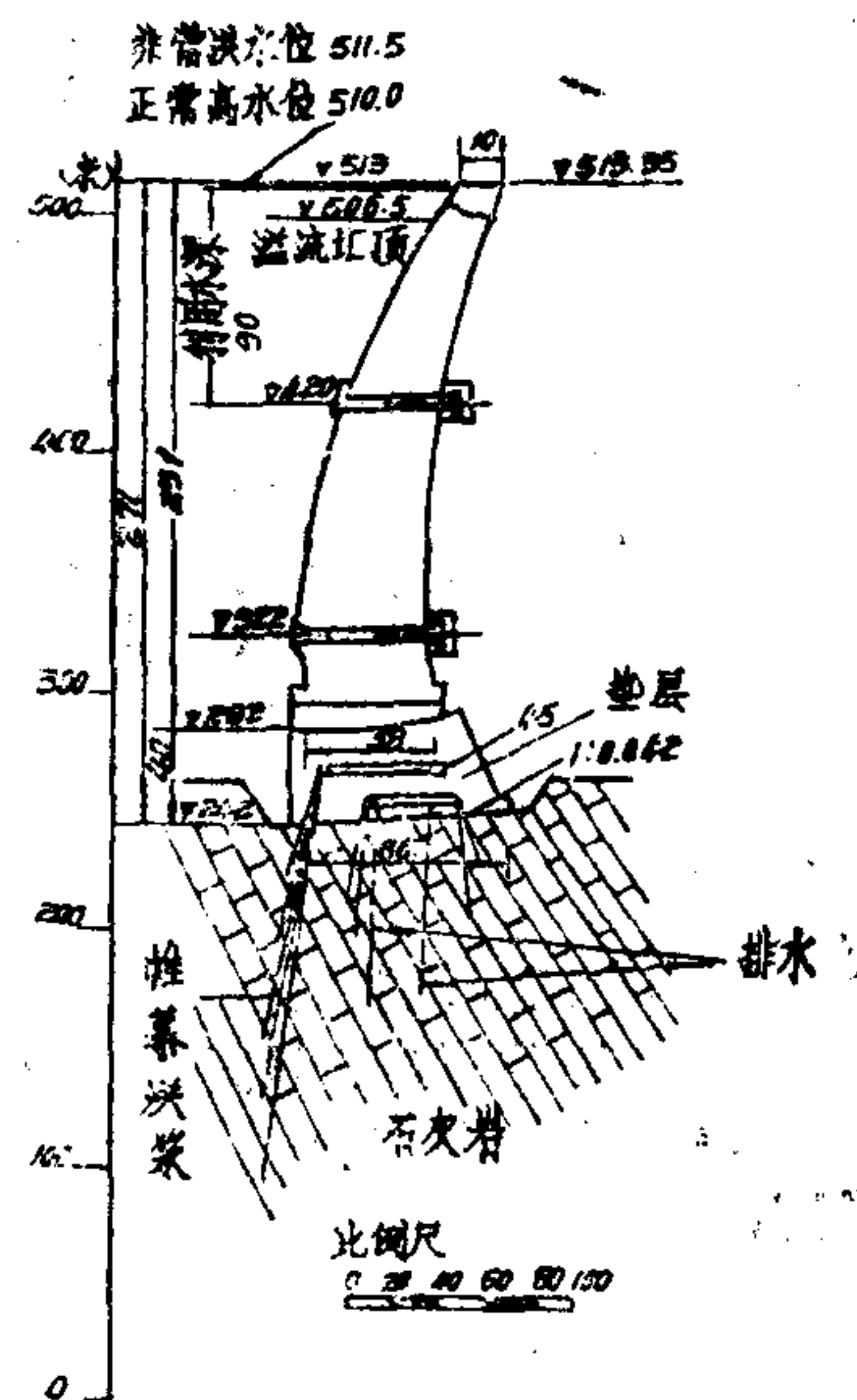


图4 英古里拱坝标准断面图

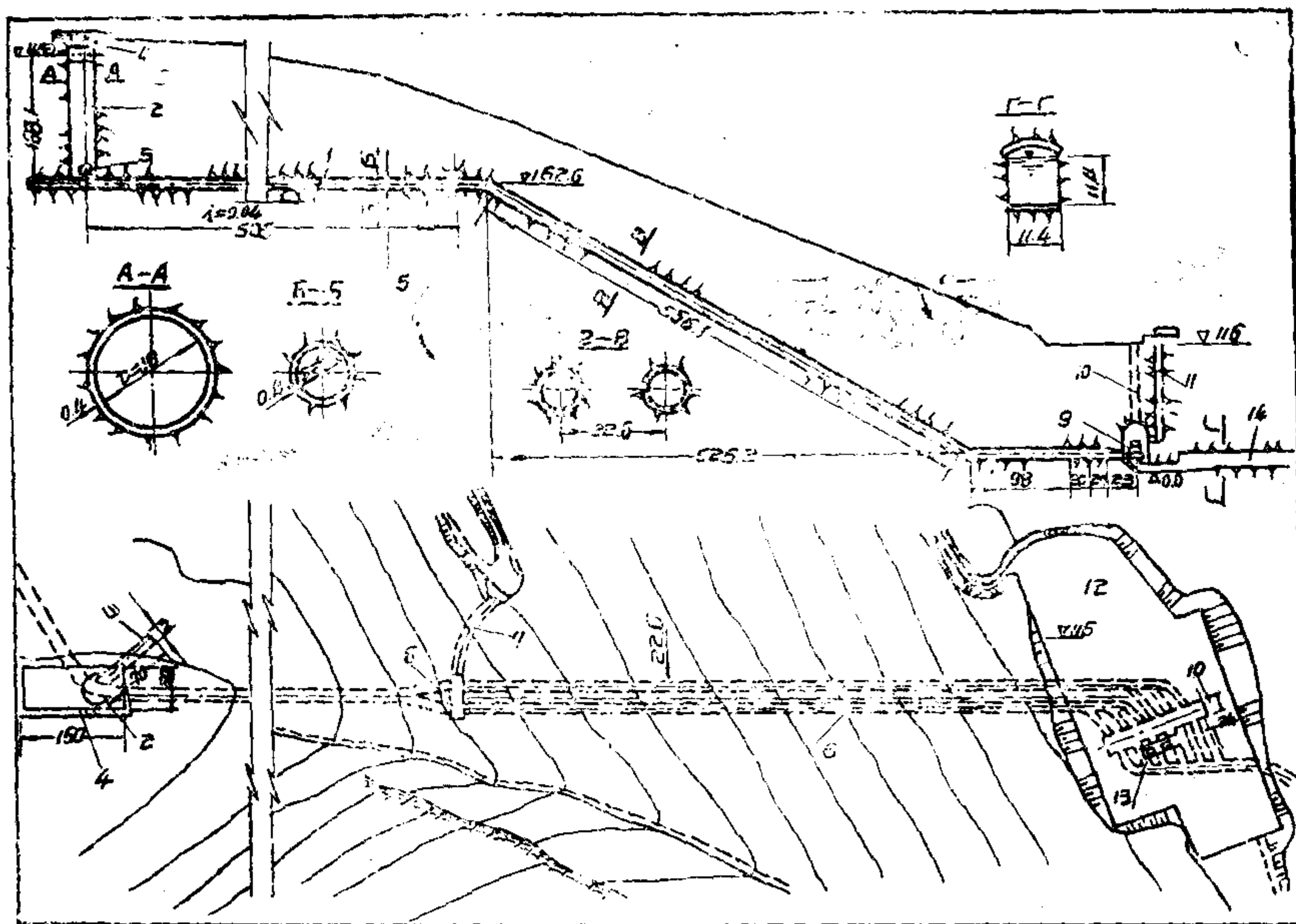


图5 英古里水电站压力隧洞厂房纵剖面 and 平面图

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. 压力隧洞 $D=9.4$ 米 | 2. 调压塔竖井 $D=18$ 米 |
| 3. 下调压室 | 4. 上调压室 |
| 5. 渐变段起点 | 6. 蝴蝶阀室 |
| 7. 交通隧洞 | 8. 两条水轮机压力水道 |
| 9. 地下水电站 | 10. 75 米的运输竖井 $D=6.3$ 米 |
| 11. 深 100 米的母线井 $D=6.3$ 米 | 12. 厂外配电装置场 |
| 13. 地面控制室 | 14. 尾水隧洞 |

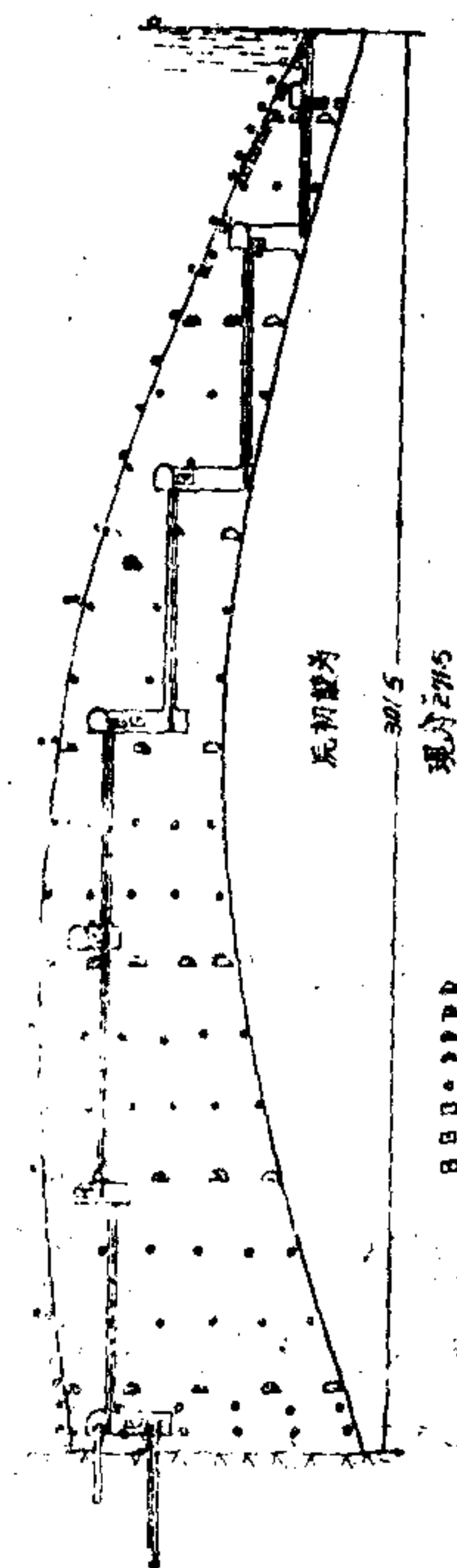


图6 英古里水电站拱坝中央悬臂内观测仪器布置图

- 1—4—由 4、5、7 和 9 个工作遥测应变计组成的应变观测点。
 5—遥测温度计。
 6、7—在两个互相垂直平面上的测斜仪。
 8—浪压力发送器
 9—正测锤
 10—反测锤
 11—测缝计

瓦依昂 (Vajont)

(意大利)

一、主要指标:

坝高:	261.6米	砼量:	35.3万立米;
顶长:	190米	土石方量:	41.7万立米;
顶宽:	3.4米	库容:	1.7亿立米
底宽:	22.1米	施工年限:	1956~1960年共5年
坝顶上游面半径 106米;			

二、工程地质条件及其处理:

大坝修建在皮雅威河的支流瓦依昂河上。坝址位于下白垩纪和上侏罗纪的石灰岩侵蚀的峡谷中,河谷两岸陡峭,底宽仅10米,岩层倾向上游,其内分布有薄层泥灰岩和夹泥层。基岩具有良好的天然不透水性。岩石节理裂隙发育。在基坑开挖中发现两组垂直裂隙甚为发育,它们都集中在形成 -45° 角的平面中,其中一个平面与河谷平行。岩石动弹模:在坝顶高程处最小动弹模为330,000,谷底为1,400,000公斤/平方厘米。

基础处理:主要进行了地基灌浆工程,包括防渗帷幕、固结灌浆和坝体与岩基接触灌浆。

1. 帷幕灌浆:二排孔,必要时设第三排孔。排距为1.5米,孔距为3.5~4.5米。孔深底板以下深度为85米,底部沿坝址延伸150米,上部于两岸各伸延60米,总面积为8万平米。灌浆工作自8条平洞中进行(每岸4条)。灌浆压力随灌浆深度而变自5至100个大气压。

2. 固结灌浆:孔深15~20米,每6平方米底板表面有1钻孔,压力自2~25个大气压。灌浆一直进行至岩石中用地震法每隔5分钟测得的弹性波扩展速度达到3公里/秒的最低速度为止。

3. 接触灌浆要求建筑物每米支承上打钻孔30米。

所有灌浆工程设计钻孔总量为160公里,即16万米。其中60年5月完成11.2万米。标准灰浆(50公斤水泥、1公斤膨润土、100公升水。)的平均耗量为每米钻孔75公斤。两岸灌浆前所测得动弹模为3万~10万公斤/平方厘米,灌浆后为7.5万~16万公斤/平方

厘米。

此外采用了予应力锚杆，加固范围从坝顶向下，在左岸为100米；在右岸30米之间、每高程差5米分别用100吨、50吨、30吨的钢丝绳，左岸125根、右岸25根，共用150根。

三、枢纽布置：

包括一个双曲拱坝，左岸地下式厂房、溢洪边及在其上设置的双车道公路桥。大坝建成后形成的瓦依昂水库，它是彼阿凡一波依特一麻埃一瓦依昂水电工程的一个组成部分，这个水电工程由一个中心电站（索凡才乃电站），三个二级电站和五个水库组成。下面主要介绍大坝。

1. 瓦依昂坝为略不对称的双曲薄拱坝，坝体设有表面泄水道、深水泄水道和底孔泄水道。总过水能力284万米³/秒。还考虑了16个溢流口，每个口宽度6.8米，总的流量为140立米/秒。

2. 大坝计算：除用各种计算拱坝方法（包括试荷载法）进行了一系列的分析计算之外，还用两个1:35的大比例尺模型试验。通过试验研究，在安全性增加同时，节约了大量砼，并且获得了良好的应力状态。由模型试验得到结构中最大压应力约为65公斤/平方厘米，它比计算值略大一些，拉应力则可以忽略不计。

3. 坝体上共布置有三种接缝；

i) 将穹窿与靴脚分开的周边缝；

ii) 平均间距12米的大致垂直的临时工作缝；（坝缝）

iii) 将坝体分为四个水平段的大致水平的接缝。这样一种坝体分块的必要性是通过模型试验查明的。在每条垂直缝的起点高程也有水平缝。垂直缝从水平廊道开始，以防止它们向下伸延；在这些区域内加配钢筋也是为了同一目的。上游侧的廊道用特制的装配式盖板盖住。上游侧的接缝设有塑胶止水（沿迎水面）和铜片止水（埋入距迎水面20厘米深处）。

4. 大坝观测：规定在坝体和基础中埋设量测仪器350件。温度计14个，伸长率温度传感器149个，压力温度传感器22个，温度膨胀计65个，预先安装有伸长率温度传感器的装配式砼砌块8块，安装在砼砌块上的压力温度传感器2个，带自动记录器的测斜计埋于坝体中5个，两岸岩盘中4个，坝体和左岸升降机井中各设摆锤1个，底面大的岩盘中埋设伸长率传感器26个。除控制量测仪器外，还设有三角测量、水准、视准等大地测量等坝体外部变形观测系统。

四、施工

1. 进度：1956年准备，原公路改线，修筑一条长6公里的环山公路。57年夏至58年8月基坑开挖。砼工程58年8月开始至59年施工季节末共浇29.8万立米，60年9月完工。

2. 施工导流，利用上、下游围堰，隧洞导流。基础开挖：峡谷底宽原为10米，开挖以后增大至32米。两岸几乎垂直的，高300米的峡谷，为防止石块坠落，在个别地方

曾用锚筋加固，共埋设锚筋约4700米。外围基岩表面又额外张拉了钢丝网约3万平米。基坑开挖外围区的装药钻孔深达30米，靠近坝基处的1.6米范围内。药包大小顺次减小，以便减少坝基岩体内出现裂缝的可能性。主要使用的是电雷管。

3. 砼施工：砼采用矿渣火山灰水泥250公斤/立米，（其中熟料160公斤/立米，火山灰90公斤/立米）28天水化热为60卡/克、骨料为天然的砂砾料，砂子二级，除掉粒径小于0.06毫米以下的粉砂（即脱灰处理）。骨料四级，最大粒径为100毫米。90天令期砼拉压强度平均为420公斤/平方厘米，均方差小于8%。水灰比0.44~0.46，加塑化剂及加气剂。

砼浇筑：利用缆机和4立米吊罐入仓；小型推土机平仓；用直径125毫米长90厘米的振捣器捣实，振动频率为11800振/分。已凝固砼表面用风水枪冲毛。砼浇块高度：底部72小时浇高2.4米，上部1.5米。分层浇厚底部60厘米，上部50厘米。用河水经由循环系统冷却，养护7天。

坝体浇筑和附属建筑的砼工时约为75万小时，工人总数约为250人。（不包括附属企业中和服务性的工人）

五、水库失事经过、原因、及其启示

1. 失事简介：

水库滑坡区紧靠拱坝左肩，1957年施工时即发现岸坡不稳定。1960年2月水库蓄水，同年10月左岸坡地面出现长达1800~2000米“M”形张开裂缝，并产生一面积为70万立米的局部崩塌，说明岸坡已失去稳定。当时采取了一些措施，如限制水库蓄水位；在右岸开挖一条放水洞，在洞径4.5米，长2公里，于61年完成等。在水库蓄水影响下，经过三年缓慢的蠕变，到1963年4月，其中2号测点的总位移量达338厘米，9月25日前后14天的日位移量平均达到1.5厘米。自9月28日至10月9日水库上游连续大雨，引起两岸地下水位升高，并使库水位壅高。10月7日对2号测点作了最后一次观测、测得其总位移已达到429厘米，其中最后12天位移量为58厘米。大片岸坡突然于1963年10月9日整体滑落，范围长达2.0公里，宽约1.6公里，滑坡体积达2.4亿立米。将坝前1.8公里长的库段全部填满，使水库报废。当时的库容为1.2亿立米。滑波涌浪高达250米，漫过坝顶，漫顶水深约150米，滑动体内质点的运动速度为15~30米/秒。使下游兰加隆镇全部被冲毁，共计死亡2600余人。涌浪之前，有巨大的空气冲击波，冲击波和水浪的破坏力极强，地下厂房的工字钢梁扭曲后被剪断，调压室钢门被推出达12米。崩坍所产生的地震波，被欧州地震台记录到，共两个地面波，第一个波的波速为每秒3.26公里，历时14秒；第二个波速为每秒2.55公里。水库失事时，在电厂值班及住宿的60名技术人员全部死亡，无一幸存。

崩坍及涌浪对拱坝共形成约400万吨的推力，由于坝体设计安全余量较大，施工质量较好，而且两岸坝肩经过锚固和灌浆处理，拱坝经受住了巨大荷载的冲击，除坝顶左肩坝顶砼被破坏一段，破坏的深度达1.5米，长度9米外，基本未受严重破坏。

2. 崩坍成因分析。

瓦依昂水库岸坡由下白垩纪和上侏罗纪石灰岩组成，冰期以后，河谷下切深度很大，

形成陡峭的岸坡。随着河床下切，石灰岩的原始构造应力逐渐衰减，岩体内产生卸荷裂隙，形成深度约100~150米的卸荷弱带。

在坝区上游，瓦依昂河谷切割于一个向斜褶皱内，两岸岩层均倾向河床。重迭分布的卸荷裂隙，与层面裂隙和构造断裂交错切割，使岸坡外侧的岩层脱离基岩，并构成一组倾向河谷的滑动面。沿着岩层的裂隙和层面分布有泥质冲填物，其内摩擦角为 25° 。滑坡区上部岩层倾向河床，倾角 33° 。由于河流的冲刷作用，岸坡上部岩层已失去支撑。

第三纪以来长期多次的岩溶作用，使得石灰岩内地下洞穴很发育，岸坡表面落水洞很多，为地面水渗入岸坡下部创造方便条件。地下水循环加强，不仅使静水压力升高，还使岩石软化。泥质充填物中的粘土颗粒迁水膨胀形成上托力，减少岸坡上部的压重。

水库失事前，8、9月份雨水较多，使岸坡上部饱水增重，而库水位上升的浮托作用，又使岸坡下部失重，致使岸坡稳定失去平衡。有人选出五个主滑面，就库水位为590、650、和700米分别进行滑坡体稳定验算。得出库水位为700米时，为了维持岸坡稳定，沿滑动面需要内摩擦角为 $27^{\circ}\sim 28^{\circ}5'$ 的数值，大于泥质冲填物的实际数值。当滑动面的剪力抵抗被克服之后，岩体的巨大位能，迅速转化成动能，逐渐使岸坡缓慢的蠕变滑动，转化为瞬时高速度的崩落。崩坍地区的地质剖面图见图5。

综上所述，卸荷裂隙、构造和层面裂隙对岩层的切割（构成主要滑面），泥灰岩和夹泥层迁水软化，地下水的强烈循环作用以及水库蓄水对岸坡的浮托，是造成瓦依昂水库库岸大崩坍的主要原因。

3. 几点认识：

- i) 在环境条件改变后，岩体的软化可在短时间内—数天、数周或数月内发生；
- ii) 一旦岸坡产生蠕变滑动后，岩体的强度将很快降低；
- iii) 岸坡蠕变滑动加速，应看成为岸坡失去稳定的警报信号，由蠕变加速到瞬时坍落只需要很短的时间；

IV) 岩体原始应力的释放作用，常常是降低深切河谷内地面岩体的强度并破坏其整体性的主要原因。由此产生的卸荷裂隙和岸边剪切裂隙，与地下水及水库浮托共同作用，易使岸坡失去稳定。

V) 高岸坡上已产生蠕变滑动的岩体具有巨大的位能。蠕变加快后，沿滑动面的抗剪强度随着降低，下滑岩体的巨大位能，可在短时间（数秒或数分钟内）转化为动能，使岩体象流动粘土或高塑性粘土一样，获得极大的滑动速度，高速下滑。

VI) 为了避免库岸大规模塌落造成危害，应加强水库区的地质工作，除一般坍岸及漏水问题外，还应着重查明库区岸坡的稳定性。为此，应了解水库区的地质条件及缺陷，过去地质事件对库区岩石特性的影响，水库蓄水对库区地质条件和岩石强度的可能改变及产生速度，以便查明岸坡有无大规模滑塌的可能和产生滑塌的地点。水库蓄水后，可用各种观测位移和变形的仪器，对不稳定库岸进行观测，监视其稳定，并通过远传设备，形成报警系统，一旦能产生滑塌，即可及时发出予报警告。

参考资料

1. 意大利北部的拱坝：瓦依昂拱坝施工。（俄）
苏水工建设，1961.2.P46—57.
2. 国外水库滑坡 水电部科技情室1974.4
3. 世界最高拱坝——意大利瓦依昂坝建成。
水利工程快报 1961年9期P10.
4. 意大利瓦依昂坝库区山崩事故情况。水利工程快报 1964年4期 P11； 6期 P11； 18期 P11.
5. 瓦依昂坝的事故 （日）发电水利 1964年9期第14～19页.
6. 瓦依昂坝。 六届国际大坝会议.

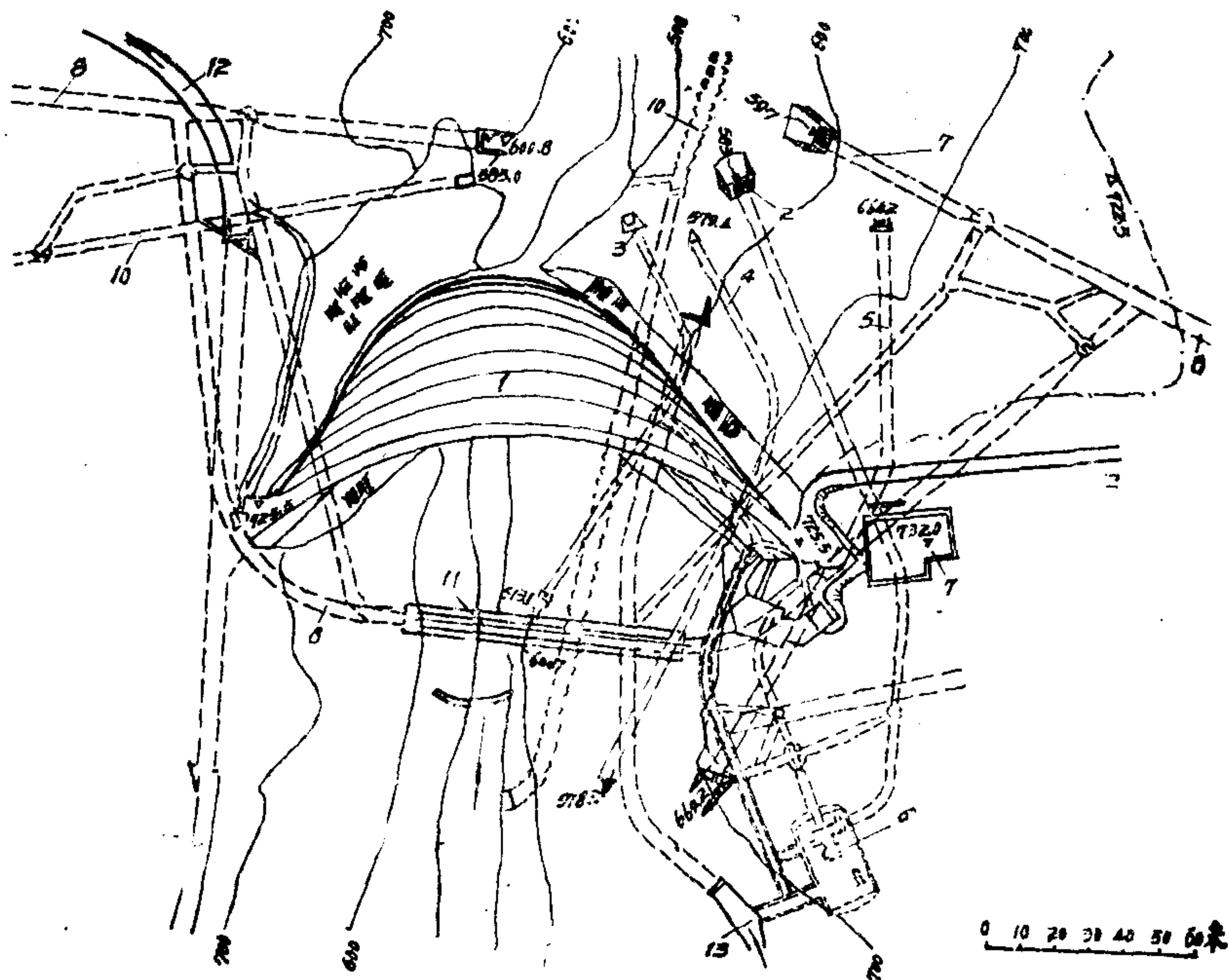


图 1 瓦依昂坝平面图

1. 坝 2. 引水建筑物 3. 泄水底孔 4. 中部溢洪道 5. 顶部溢洪道
6. 科隆贝尔水电站，其机组利用由于瓦依昂水库高出素维切纳水电站引水隧洞的水压线而形成的剩余水头。
7. 索维切纳水电站的直接引水处 8. 索维切纳水电站的底雅维一迪一科多列一瓦里一加林纳引水隧洞
9. 施工导流隧洞 10. 瓦依昂水库水沉补给隧洞（玛耶与波捷河径流引洞）
11. 渡槽 12. 公路新线 13. 公路归线