

法国罗纳河 梯级开发概况

水电部珠江水利委员会科技情报处

1983, 12

引 言

罗讷河是法国第二大河，全长812公里，其中法境内长500公里，流域面积9.9万平方公里，法境内为9万平方公里。罗讷河具有丰富的水力资源(法境内的落差达330米)，可为缺煤的法国东南部地区提供大量的电力；该河在法国又是一条重要的通航河道，往南可达地中海，往北，通过运河，与莱因河连通，可达北海，从而大大缩短北海与地中海的航程；由于罗讷河沿岸有大片农田，因此，治理罗讷河对发展农业灌溉又有着重大的意义。

为使罗讷河在国民经济中发挥其最大的效益，法国从战后就大力从事该河的开发治理，并采用从出售电力和租售港口设施得到的收入来解决开发的资金问题，这就是人们称之为“罗讷河的开发模式”。经过三十多年的努力，目前，罗讷河的开发工程已接近完成。全河拟建20座梯级，上罗讷河7座，已完成4座；下罗讷河13座，已全部竣工。全河电站总装机307万千瓦，年平均发电量167亿度。自圣路易斯港至里昂，可通航3000吨的顶推船队。整治后的罗讷河可使大片农田免受洪水之患，并使灌溉面积扩大到35万公顷。罗讷河的开发是法国战后得以繁荣的一个重要支柱。

罗讷河的整治工程是成功的，在河流梯级开发、充分利用水资源方面具有一些值得借鉴的地方。本文根据所搜集到的有限资料，就其发电、航运和农业用水等开发情况作一综合介绍。鉴于编者水平的关系，文中定有不少谬误和不当之处，望读者给予批评、指正。

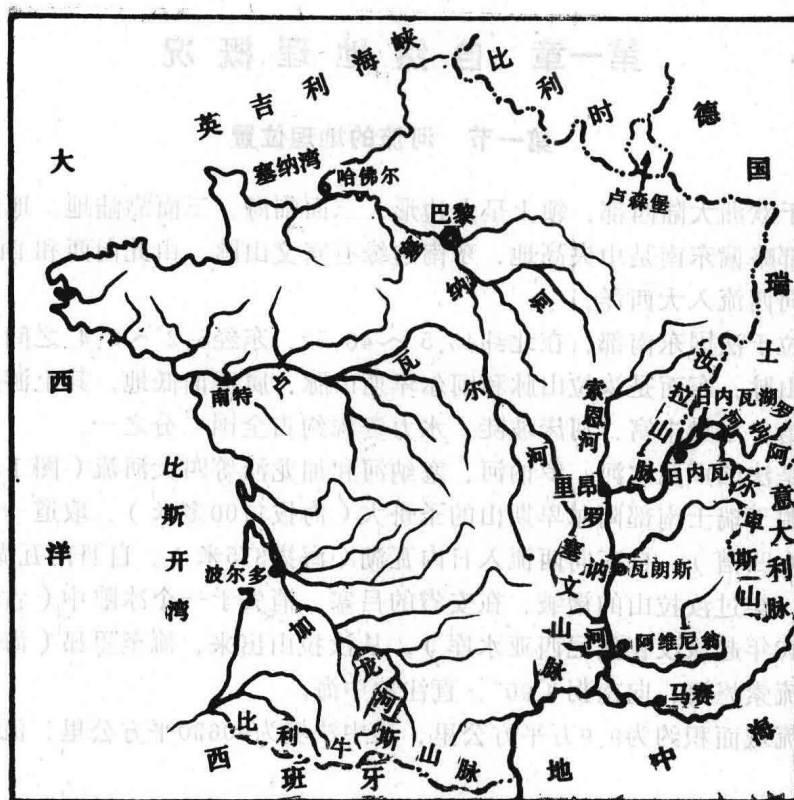


图 1b 法国四大河流位置示意图

表 1 罗讷河（法境）流经的二十个省份面积、人口统计表

省 名	面积（平方公里）	人口（括号内为年份）
罗讷河口省	5248	1632974（75）
沃克吕兹省	3578	387860（77）
阿尔卑斯上普罗旺斯省	6925	112178（75）
德龙省	6525.13	363282（79）
上阿尔卑斯省	6543	97358（75）
伊泽尔省	7467.18	896368（79）
萨瓦省	6035.57	311518（79）
安 省	5756.10	391278（79）
上萨瓦省	4391.37	484278（79）

目 录

第一章 自然地理概况	1
第一节 河流的地理位置.....	1
第二节 水文气象特征.....	3
第三节 洪水.....	8
第二章 罗讷河（法境）开发概述	11
第一节 罗讷河公司.....	11
第二节 总的开发计划和指导思想.....	11
1. 节约土地的原则	11
2. 综合利用的原则	16
3. 枢纽的典型布置	16
第三节 上罗讷河的开发及梯级简况.....	18
第四节 下罗讷河的开发及梯级简况.....	22
1. 下罗讷河中段（1947—1968）	22
2. 下罗讷河上段（1962—1980）	27
3. 下罗讷河下段（1966—1975）	30
第三章 罗讷河的综合利用	34
第一节 发电.....	34
1. 罗讷河梯级电站的特点	34
2. 灯泡式水轮机	35
3. 电站自动化	38
第二节 航运.....	39
第三节 灌溉、排水及防洪.....	44
第四节 城镇规划、旅游及环境保护.....	48
第四章 施工及运行管理	50
第一节 施工.....	50
第二节 运行管理及其自动化.....	56
结束语	58
主要参考文献	63

第一章 自然地理概况

第一节 河流的地理位置

法国位于欧洲大陆西部，领土呈六边形，三面临海，三面靠陆地。地势为东南高、西北低。中部略偏东南是中央高地，东南边缘有塞文山脉，由此向西和西北，地势渐降，河流多向西流入大西洋。

罗纳河位于法国东南部，在北纬 $43.5^{\circ}\sim 46.5^{\circ}$ ，东经 $5.2^{\circ}\sim 8.4^{\circ}$ 之间，西面是中央高地和塞文山脉，东面是汝拉山脉和阿尔卑斯山脉，属罗纳低地。其上游主要受高山冰川雪水的补给，水量丰富，河床坡陡，水力资源约占全国二分之一。

罗纳河是法国卢瓦尔河、罗纳河、塞纳河和加龙河等四大河流（图1a及b）中的第二大河，发源于瑞士南部阿尔卑斯山的圣哥大（海拔1700多米），取道一个长165公里的冰川深谷（凹槽），自东向西流入日内瓦湖（海拔375米），自日内瓦湖流入法境后，再向南而流，穿过汝拉山的褶皱，在安省的吕塞，消失于一个冰隙中（古称罗纳河“伏流”，于1948年起淹没在热尼亚亚水库）。从汝拉山出来，流至里昂（海拔161米），汇合北来的支流索恩河，向南拐了 90° ，直注地中海。

罗纳河流域面积约为9.9万平方公里，其中法境为90630平方公里，流经法境20个省份（表1）。

罗纳河在南部与右岸支流加尔河汇合后，开始称为罗纳河三角洲，此时，罗纳河分成大小罗纳河两支。小罗纳河位于西侧，长58公里，流量约占罗纳河的14%，在距地中海16公里处，再分支成“静罗纳河”和“动罗纳河”（详见图2）。

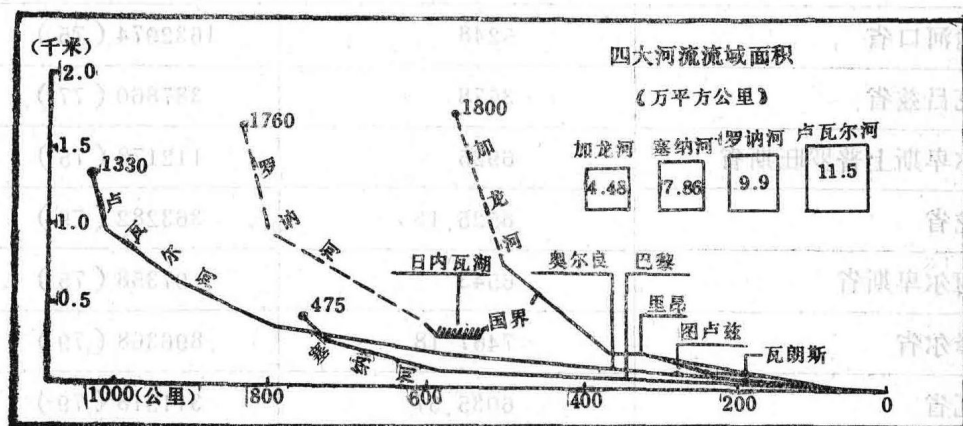


图1a 法国四大河流示意图

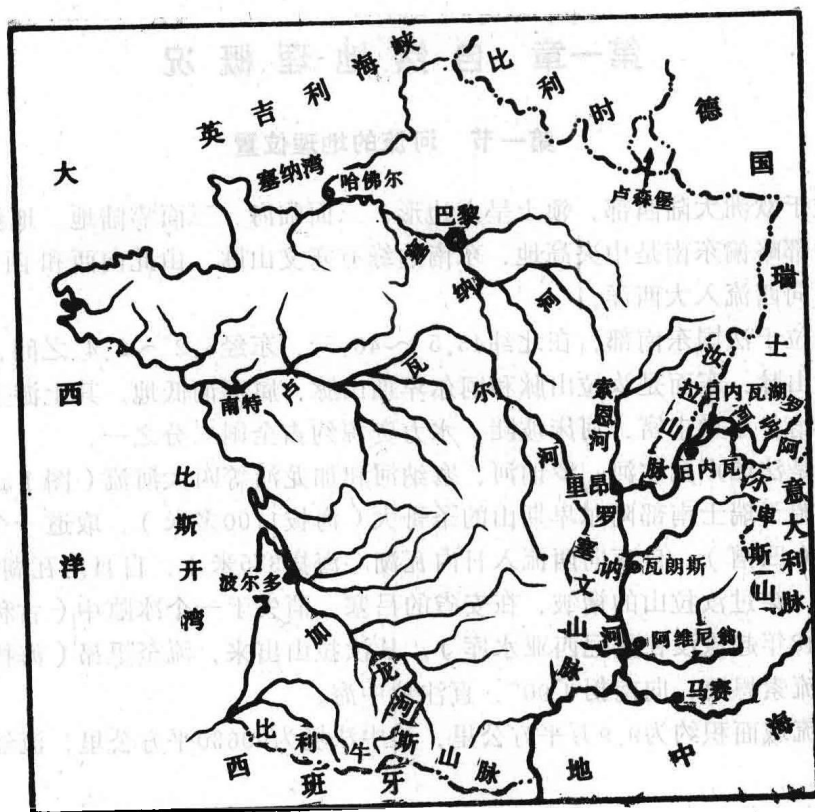


图 1b 法国四大河流位置示意图

表 1 罗讷河（法境）流经的二十个省份面积、人口统计表

省 名	面积（平方公里）	人口（括号内为年份）
罗讷河口省	5248	1632974（75）
沃克吕兹省	3578	387860（77）
阿尔卑斯上普罗旺斯省	6925	112178（75）
德龙省	6525.13	363282（79）
上阿尔卑斯省	6543	97358（75）
伊泽尔省	7467.18	896368（79）
萨瓦省	6035.57	311518（79）
安 省	5756.10	391278（79）
上萨瓦省	4391.37	484278（79）

汝拉省	5007.74	238856 (75)
杜 省	5228.41	471082 (75)
上索恩省	5375	222254
贝尔福地方	609.54	128125 (75)
加尔省	5848	494575 (75)
阿尔代什省	5556	251257 (79)
卢瓦尔省	4773.74	745769 (79)
罗纳省	3214.97	1471629 (79)
索恩—卢瓦尔省	8614	569810 (75)
科多尔省	8763	466900 (78)
上马恩省	6221	212304 (75)
合 计	111680.75	9949655

罗纳河全长812公里，其中法境内长500公里，除距地中海河口前50公里外，全河坡降较大。靠近瑞士国境的上罗纳河的峡谷地带，坡降为2.07‰；自伊泽尔河（罗纳河第一条最大的阿尔卑斯山系支流）汇流点上溯至离峡谷250公里处，坡降减到0.5‰，自伊泽尔河汇流点到阿尔代什河（中央高地）汇流点的100公里以上的河段，其坡降又增至0.77‰，自此以下，又降为0.5‰，并逐渐向地中海递降。从法、瑞边界至里昂一段，长约180多公里，称上罗纳河；从里昂至地中海一段，长约310公里，称下罗纳河(图3)。

由于水流湍急，冲刷强烈，因此，罗纳河的含沙量也较大，它挟带大量泥沙在河口沉积，形成一片面积为750多平方公里的三角洲，并造成下游河床淤浅，影响海轮进出。三角洲地势平坦，为最新冲积层构成，多洼地沼泽，不利于农业耕作。目前，三角洲仍在向南推进，年平均推进速度约67米，淤积量为2100万立方米。

第二节 水文气象特征

法国地势为东南高、西北低。罗纳河地处东南部，气候属亚热带地中海型气候。最冷月(一月)的月平均气温为6℃~8℃，但罗纳河谷冬季常吹寒冷凛冽的“密斯脱拉”风（穿过罗纳河谷的北风），气温降至0℃以下，使冬作物受到严重危害；最热月(七月)的月平均气温为20℃~23℃。年平均降水量从西北往东南由600毫米递增至1000毫米以上。

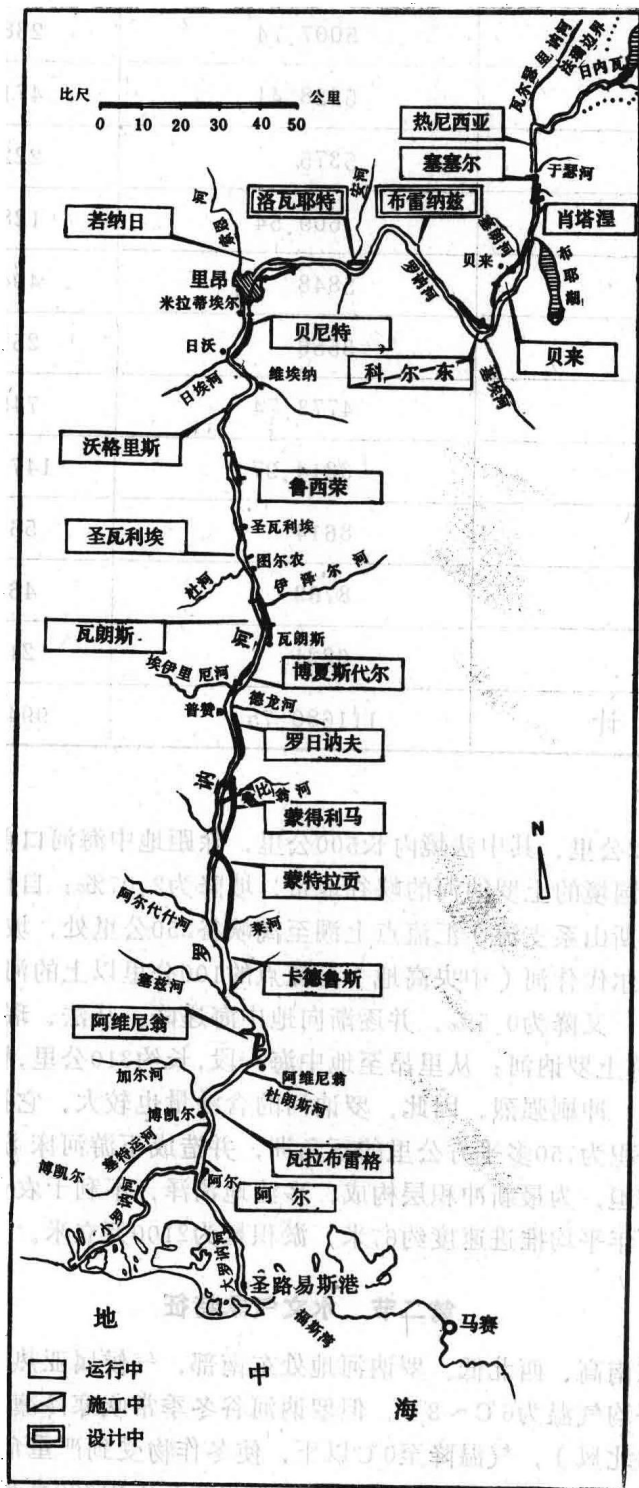


图2 罗纳河从法瑞边界到地中海的整治总布置图

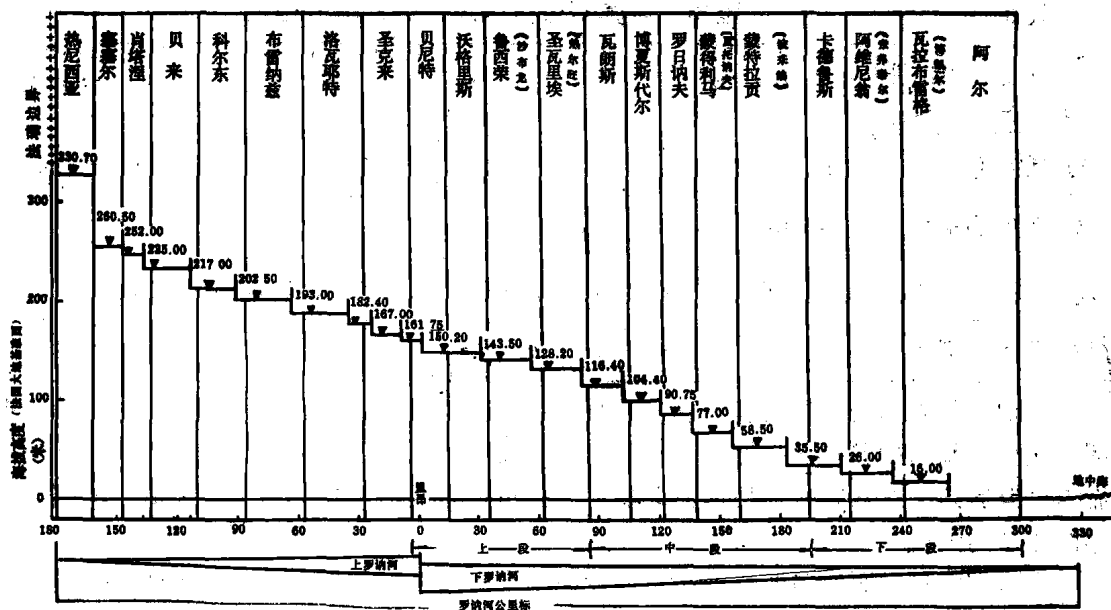


图3 罗纳河(法境)纵剖面图

马赛(地中海型气候)和里昂(大西洋渐弱型气候)两地气温、降水的对照情况列表如下(表2)。

表2

里昂、马赛两地气温、降水情况

		马 赛	里 昂
气 温 (℃)	1 月	5.5	2.1
	7 月	23.3	20.7
	年 平 均	14.2	11.4
结 冰 天 数 (日)		38	63
降 水	多年平均雨量(毫米)	546	813
	年均下雨天数(日)	76	145
	最早月份平均雨量(毫米)	11(7月)	46(2月)
	丰水年份平均雨量(毫米)	76(10月)	93(9月)

地中海型气候的特点是冬季温和、多雨,夏季炎热、干燥;霜期短,雨日和云量少,日照长,湿度小。地中海区为阿尔卑斯山系所围绕,周围形成一圈天然的障壁,阻挡了北方冷空气的入侵,使地中海冬季气温偏高。

表3列出里昂、马赛两地多年平均各月的气温和降水情况。

表 3

里昂、馬賽多年月平均气温及降水情况

地 方	月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
里 昂	气温 (°C)	2.1	3.3	7.7	10.9	14.9	18.5	20.7	20.1	16.9	11.4	6.7	3.1	11.4
	降水 (毫米)	52	46	53	56	69	85	56	89	93	77	80	57	813
马 赛	气温 (°C)	5.5	6.6	10.0	13.0	16.8	20.8	23.3	22.8	19.9	15.0	10.2	6.9	14.2
	降水 (毫米)	43	32	43	42	46	24	11	34	60	76	69	66	546

罗纳河与索恩河的径向构造槽谷，是一个很重要的通道，几乎穿过整个法国的东部。这个狭长的槽谷按其自然特征可划为一个特殊的区域。罗纳河谷地成为大气下层气流的重要通路，亚热带气流由此向北渗入。这里也是密斯脱拉风南下的通道，它带来干燥而寒冷的天气。

法国有些较大而完整的水系，主要发源于中央高地，流经西北和东南两个斜面入海，形成辐射状水系。就水特性的不同，可分为四个区域：大西洋平原区、一般山地区、阿尔卑斯高山区和地中海区。地中海区夏季蒸发强盛，河水往往干枯；春秋两季是主要涨水时期。本区温度较高，蒸发较盛，径流系数一般在3%以下。

罗纳河的水文可分为三类：①阿尔卑斯山型，由罗纳河左岸的支流伊泽尔河、杜朗斯河组成；②大西洋或半大陆的温湿型，由右岸的支流索恩河和杜河组成；③地中海型，由右岸的支流阿尔代什河和加尔河组成。总的说来，河流全年水量充沛，有阿尔卑斯山的融雪，以每年5~6月为甚，秋季降雨（10月）次之。夏季暴风雨时，出现猛烈的洪水。由于罗纳河是一条水流湍急的河流，加上接纳主要支流（见表4）来水，水量季节变化相当大。河口枯水流量仅为600秒立米，多年平均流量为1700秒立米，最大流量（千年一遇）达14000秒立米，洪、枯流量相差23倍左右。罗纳河的年平均径流量为568亿立米（表5）。

表 4

罗 纳 河 的 主 要 支 流

	河 名	长 度 (公里)	流域面积 (平方公里)	流 量 (秒立米)	
				年平均	最 大
左 岸	阿尔弗河	102	2060	35	1200
	纪埃尔河	48	555	10	150
	伊泽尔河	290	12140	425	2900
	德腊克河	78		150	1800
	德 龙 河	102	1735	15	3500
	杜朗斯河	350	15000	125/350*	10000

右岸	安 河	190	4183	50	2500
	索 恩 河	482	29580	432	4000
	杜 河	450	7826	62	1000
	阿尔代什河	112	2387	10	7900
	加 尔 河	113	2200	6/40*	

*多年平均的最小最大值

上罗纳河具有阿尔卑斯高山水文特性，如日内瓦湖下游到里昂，7月水位最高，1月水位最低。但索恩河则为大西洋平原水文特性，2月水位最高，8月水位最低。瓦朗斯河位于下罗纳河中段，水位春季较高，受地中海影响很显著。下罗纳河下段具有明显的地中海区水文特性，阿维尼翁的最大流量曾达10500秒立米。

表 5 法 国 四 大 河 流 概 况 对 照

	罗 纳 河	塞 纳 河 (至巴黎)	卢瓦尔河	加 龙 河
流域面积(平方公里)	99000	44300	115000	44800
多年平均流量(秒立米)	1700	400	650	350
枯水流量(秒立米)	600	50	75	100
年平均水量(亿立米)	568	87	270	

由于罗纳河支流众多，水文有各种类型，因此，在干流下游都有涨水可能，情况较为复杂。

根据上述情况，可以说，罗纳河流量属复合的变律型，它受到几种自然因素的影响(表6)。在它进入法国时，是融雪型变律，或是融雪降水混合型变律，热季水量最大(里昂)。

表 6 罗 纳 河 流 量 的 复 合 型 变 律

所 在 地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
里 昂	0.78	0.78	0.95	1.10	1.14	1.21	1.25	1.11	0.93	0.92	0.91	0.88
日 沃	1.09	1.07	1.16	1.15	1.03	0.96	0.93	0.82	0.73	0.85	1.05	1.12
瓦 朗 斯	0.95	0.95	1.07	1.14	1.17	1.16	1.02	0.84	0.74	0.87	1.02	1.04
博 凯 尔	0.99	0.95	1.08	1.15	1.20	1.14	0.90	0.73	0.70	0.93	1.12	1.07

注：表中数字为流量系数，即月平均流量与年平均流量的比值

在里昂下游，索恩河给罗纳河带来了同春季最大融雪水重合的 最大降水。在瓦朗斯，伊泽尔河的汇合，又使融雪水增大，热季最大水量再度增加。最后，罗纳河得到地中海区各流域的供水，无论是从杜朗斯河或是从右岸的一些支流（加尔河、阿尔代什河），都使春秋两季具有最大水量，并使变律部份得到平衡。在河口（博凯尔），罗纳河有两个最大水量期（春季和秋季），一个主要最小水量期（热季的和地中海旱季的）以及一月份的次要最小水量期（积雪未融）。

第三节 洪 水

罗纳河丰富的水量，往往又是造成严重洪灾的根源。1856年的洪水量达12000多秒立米，洪水量达13万立米，是迄今已知最大的洪水，该次洪水冲破了阿维尼翁的城墙，使拿破仑三世要乘船视察该城的灾情。据传，1910年和1935年的洪水亦相当大，使流域内数万公顷土地受淹。罗纳河千年一遇洪水估计为14000秒立米左右（图4）。

罗纳河的年输沙量为2亿立米。

该河多年典型流量见表7和图5。

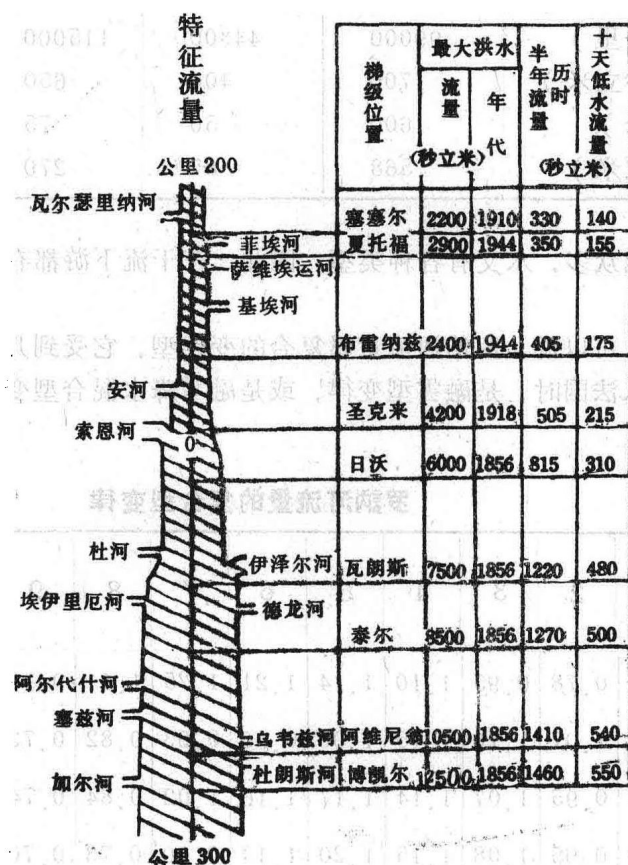


图4 罗纳河洪水示意图

表 7

罗讷河 (1920—1969年) 水文典型流量

类 别	总 或 然 率 (P)	累 计 频 率 (天/年)	流 量 (秒立米)				
			上罗讷河		下 罗 讷 河		
			热尼亚 PK160 1920— 1969	米拉蒂埃 尔 (包括 索恩河) PK 0.7 1920— 1959	瓦朗斯 (包括伊 泽尔河) PK109.7 1920— 1969	若维阿克 PK158.4 1920— 1957	博凯尔 PK 270 1920—1969
已知最小流量	—	—		200	300	360	
低水 (一年超 过355天)	0.027	355	145	320	480	510	600
一年超过9个 月的流量	0.25	274	210	560	830	870	1010
一年超过6个 月的流量	0.5	182.6	310	830	1220	1250	1480
平均流量	—	—	358	1023	1405	1487	1710
一年超过3个 月的流量	0.75	91	478	1310	1780	1880	2080
一年超过10天 的流量	0.973	10	768	2680	3280	3680	4380
年洪水 (一年 一天)	0.9973	1	975	4000	5000	5250	6600
十年一遇洪水	0.99973	1天/10年	1580	4700	5700	6500	8300
已知最大洪水	—	—		6000	8300	8500	
千年一遇洪水	$\frac{1}{2.74 \times 10^{-6}}$	1天/千年	2800	7500	9500	10000	14000
年平均水量 (10亿立米)			11.3	32.3	44.3		53.8

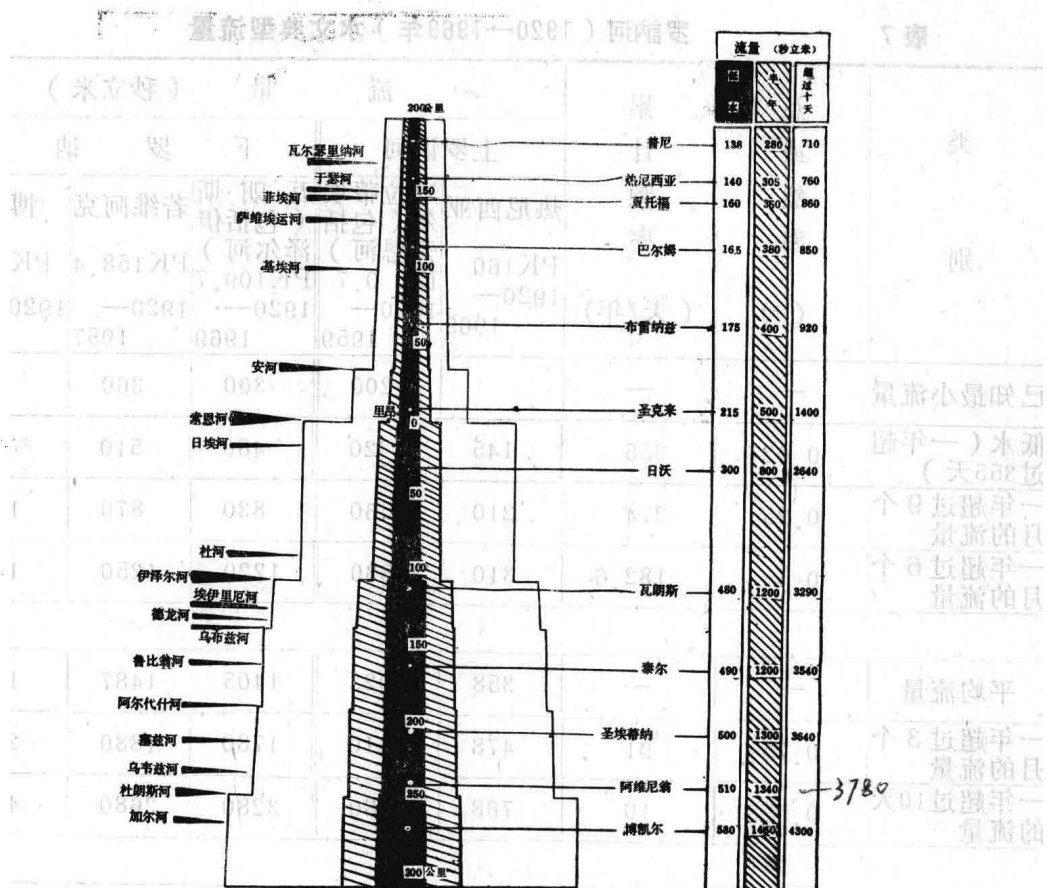


图5 罗纳河的特征流量

第二章 罗讷河（法境）开发概述

第一节 罗讷河公司

在十九世纪上半叶，原占有十分重要地位的罗讷河航运事业，由于里昂——马赛铁路的开辟而遭到严重的打击，使流域航运处在长期艰难的状态。然而，到了十九世纪末叶，出现了水力发电和水电工业大发展的可能性，一些罗讷河人士意识到该河段水力动能开发的可行途径，提出罗讷河可从开发水电中获得的利润进行整治，亦即通过向有关部门、团体供电或租借港口设施，将其所得收入用于整治工程。据认为，这是一种可行的“罗讷河整治模式”。

1921年5月21日，国会通过一项法案，批准由罗讷河各公共团体从水电、航运及农业用水三个方面对罗讷河进行综合整治，自此以后，经过长期磋商，于1933年5月27日成立了资本为2400万法郎，分成240万股的股份有限公司，称作罗讷河公司。1934年6月5日，接受了对罗讷河的经营和治理权以及将来工程的开发。

公司成立后，担负着开发罗讷河的发电、航运和灌溉三项主要任务。对以发电、灌溉、航运、港口整治为主要目标的电站、大坝建设和船闸、运河开挖、疏浚等综合开发工程，起到了促进的作用。

公司约有300人，其中工程技术人员为500余人。

第二节 总的开发计划和指导思想

罗讷河的开发整治分两部份进行，即：上罗讷河（从法国、瑞士边界至里昂，长约180公里）和下罗讷河（里昂至地中海，长约310公里）。在下罗讷河中，又分成长度大致相等的三段：上游河段、中游河段和下游河段（见图3和图6）。

1934年委托罗讷河公司负责的整治工程，只是第二次世界大战结束后的1947年才开始对全河进行规划和大规模地进行。目前，里昂至地中海这一段（即下罗讷河）的整治工程已全部竣工，1500吨的轮船和3000~5000吨的顶推船队能顺利从地中海上溯至里昂。

这项巨型的国土整治工程，由于其三十多年连续不断的施工及所完成的相当可观的工程量而引人注目。

下罗讷河所完成的工程量，计有：

- 土石方开挖量：3.39亿立方米；
- 混凝土浇筑量：554.7万立方米；
- 总投资（按各时期法郎币值计）92亿法郎。

1. 节约土地的原则

在罗讷河流域整治工程中，最大的约束是可用地占用问题。因此，罗讷河公司试

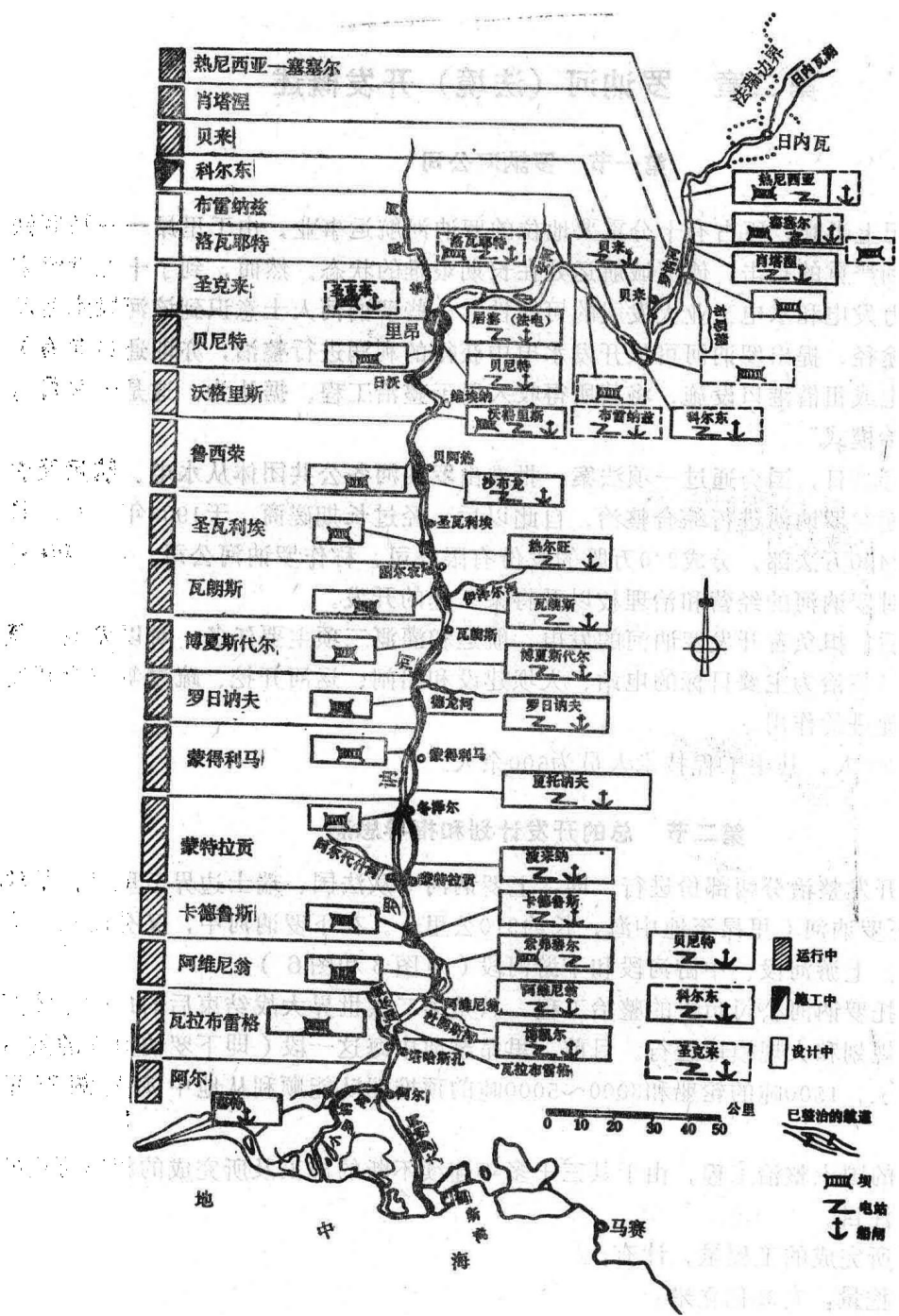


图6 瑞士与地中海间的罗纳河整治总布置图

图尽可能保留沿岸的可用地，除此之外，公司还试图在发电、航运和农业用水三者之间保持合理的平衡。

在规划过程中，为了对流量实行控制，充分利用其丰富的水力资源，在上游有必要建一座几十亿库容的水库，以削减洪峰和维持低水位。然而，这种方案耗用大量土地。如果上罗纳河流域处在西伯利亚或亚马逊等荒无人烟的地区，或是非洲的荆棘丛林，人们就可设想将坝建在宽度只有200米，高45米及基岩良好的彼埃尔夏代尔峡谷，形成一个回水直达上游45公里的热尼西亚处的水库，其面积可达180平方公里左右（相当于法国最大的湖泊布耶湖*的四倍多）（图7），从而可用低廉的成本每年发出10亿多度电，特别是可保证完全控制上罗纳河的流量，而对下游又可消除来自这河段的洪水 and 大大提高调节下游各梯级电站的发电能力。

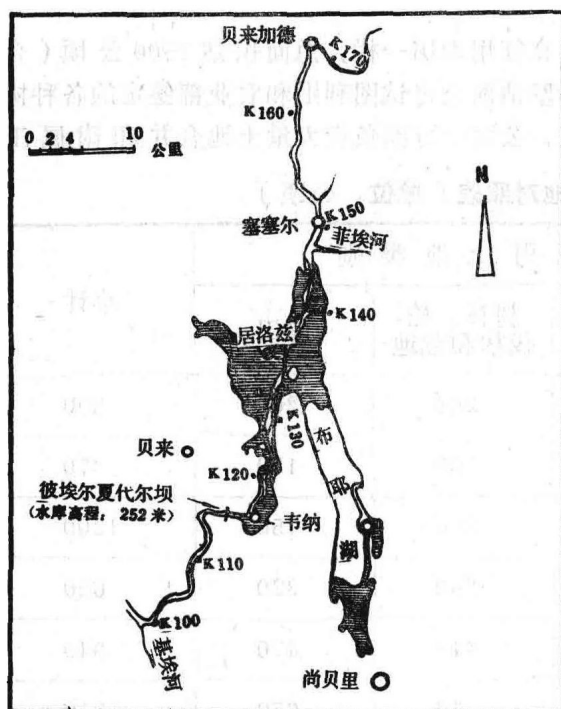


图7 上罗纳河彼埃尔夏代尔坝的设想方案

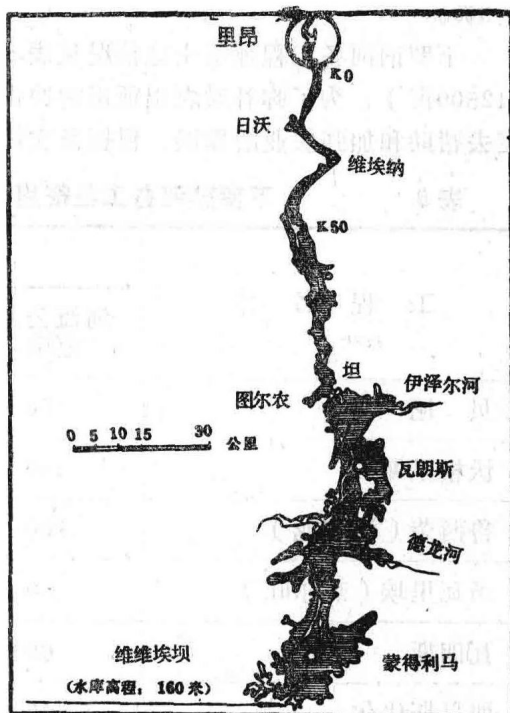


图8 下罗纳河维维埃坝的设想方案

若在下罗纳河冬泽尔峡谷上游的维维埃处再修建一座100米的高坝，水库将淹没蒙得利马、瓦朗斯、维埃纳和日沃（图8）。水库面积可达860平方公里，发电量达105亿度，接近世界上发电量最大的电站之一——苏联伏尔加河上的古比雪夫电站（发电量为110亿度，水库面积由于河流坡降平缓而更为可观，达6500平方公里）。

由于罗纳河两岸居民密集（约200万）以及流域内富庶的农业，上述方案占地太多，因此，对罗纳河来说，是不可想像的，也不容许修建这种规模的大坝。

故在规划过程中，对沿岸农业比较注意。为避免淹没大量农田和迁移人口，因而不考虑修建高坝大库，而是采取修建“低坝小库”*，节约土地的梯级方案。但由于要将

* 该湖的面积为44.6平方公里。

* 罗纳河上所建的坝和库，除上游热尼西亚外，其余实际上是“闸”和“蓄水河槽”。