

# 第一章

## 水 能 资 源

### 第一节 水能资源普查

我国地域辽阔，河流众多，长江、黄河、珠江、黑龙江、雅鲁藏布江、澜沧江、怒江等大江大河径流充沛，落差巨大，蕴藏着极为丰富的水能资源，是中国能源的重要组成部分。

中国多次对水能资源进行计算和统计，其中主要的有三个阶段，即 40、50 年代和 70 年代。根据几十年来逐步积累的较详细地形、径流等基础资料以及对河流水电规划设计工作的不断推进，中国水能资源普查成果的精度逐步提高。普查结果表明：我国水能资源居世界首位，并具有良好的开发条件。我国水电建设前景十分广阔。

我国水能资源普查工作历程简述如下。

#### 一、40 年代水能资源的估算

原国民党政府资源委员会水力发电勘测总队在 1943~1944 年估算过水能资源。其基本方法是分河段计算河流水能蕴藏量。采用的计算式是

$$N = 9.81 \eta QH \quad (1-1)$$

式中  $N$ ——功率，kW；

$\eta$ ——效率；

$Q$ ——流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$H$ ——落差， $\text{m}$ 。

其中  $H$  主要根据当时申报馆 1/200 万地形图量算，而  $Q$  则分别采用多年平均流量 ( $Q_a$ ) 和保证率为 95% 的枯水年平均流量 ( $Q_{95}$ )。以  $Q_a$  计算  $N_a$ ，以  $Q_{95}$  计算枯水年的  $N_{95}$ 。 $N_a$  间接反映多年平均年电量， $E_a = N_a \times 8760$ 。 $N_{95}$  反映枯水年的年电量， $E_{95} = N_{95} \times 8760$  统计结果全国  $N_a = 2.32$  亿 kW， $N_{95} = 7460$  万 kW。

这个指标不是真正意义上的“理论蕴藏量”，因为在算式中考虑了效率系数  $\eta$ ，并取  $\eta = 0.71$ ，所以这个指标属于比“理论蕴藏量”偏小的蕴藏量。但这个指标也不属于“技术可开发资源”，因为估算时未区别可能开发河段或不可能开发河段，而计算了全河

流的蕴藏量。

这次统计结果是个偏小的数据，还因为当时统计范围没有包括台湾、新疆和西藏；支流及小河流遗漏较多；高程 3000m 以上的河段都没有计算。

这次普查计算精度差，当时水文资料少，多用假定的径流系数根据降水量推算  $Q_a$ 。再按一定系数关系推算  $Q_{95}$ ；用 1/200 万地形图量算的  $H$ ，精度也低。

1946~1947 年，当时政府主管部门又用下式对所拟出的一些可能开发水电站进行计算并统计水能资源

$$N = 8.35QH \quad (1-2)$$

式中， $H$  为当时拟出的一些可能开发水电站的利用水头； $Q$  为流量，取值并不统一，一般采用经过水库调节计算的调节流量，但部分又用平均流量，一小部分还用最小流量；系数是在计算中考虑了水量利用系数  $\eta_w$ 、水头利用系数  $\eta_H$  和水轮发电机效率系数  $\eta_T$  基础上确定的，即  $9.81\eta_w\eta_H\eta_T = 8.35$ 。统计结果：全国水能资源蕴藏量为 1.49 亿 kW。

这个指标相当于“技术可开发资源”。但计算精度不高，因为采用的  $Q$  没有一定的标准，采用的  $H$  可能偏大（因为水库水位一般不可能经常保持在高水位），最主要的是系数 8.35 的采用缺乏根据。

由于当时所做的河流规划、选点等前期工作很少，统计中遗漏较多的河流，特别是对边远地区的河流，拟定可能开发水电站的站址很少，有些有可能开发的河段被忽略，没有统计。因此，这个统计结果也偏小。

## 二、50 年代水能资源理论蕴藏量普查

中华人民共和国成立后，原水力发电建设总局于 1955 年比较全面、正规地估算了全国的水能资源理论蕴藏量。估算采用当时苏联科学院建议的分河段计算方法，计算式为

$$N = 9.8[(Q_1 + Q_2)/2]H \quad (1-3)$$

式中  $N$ ——某一河段的水能功率，kW；

$Q_1$ 、 $Q_2$ ——分别为通过河段上游端断面和下游端断面的多年平均流量， $m^3/s$ ；

$H$ ——两端断面水面高程差，m。

当年估算统计出全国河川蕴藏的理论蕴藏量为 5.4451 亿 kW，相当于理论年电量  $E = 4.77$  万亿 kW·h。以流域分，长江流域干支流占全国资源量的 40%；以地区分，西南四省区（四川、云南、贵州、西藏）占全国的 72%。

此次普查没有统计“技术可开发资源”和“经济可开发资源”。与 40 年代统计结果相比，这次统计结果比 40 年代估算数据多 1 倍左右，主要原因是统计范围比 40 年代大。这次估算了干、支流共 1598 条河流，其流域面积占全国面积的 70% 以上，计算的

精度也有所提高。在流量数据方面，利用了当时 269 个水文站的实测资料。在缺水文资料地区利用我国及邻国的降雨量、流量资料，绘出等雨量线图及降雨量与径流之间的关系曲线，据此推算流量。在水位数据方面，当时部分河流已测有河道纵断面图，可以直接计算水位差数据，或者根据 1953 年军委测绘局出版的 1/150 万地形图量算。

此后，由于水力发电建设总局在 1955 年制定了《水力资源普查暂行规程 草案》，各地的水利水电勘测设计单位对部分河流进一步进行普查、勘测和规划工作，提供了许多新的实测资料。

根据这些资料，于 1958 年又补充和修正了 1955 年的统计结果。全国（包括台湾）理论蕴藏量由 5.4451 亿 kW 增加到 5.8326 亿 kW，相当于  $E = 51100$  亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$  年。

1958 年，同时收集了前期工作做得较多的 50 条河流的勘测、设计文件，统计出这 50 条河流技术可开发资源为装机容量  $C = 1.6649$  亿 kW，年电量为 8201.5 亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，而其理论蕴藏量为 1.5207 亿 kW，按这个比例推算全国技术可开发资源为  $C = 6.4$  亿 kW， $E = 3.2$  万亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

### 三、70 年代水能资源普查

1977~1980 年，水利水电建设总局又组织各地水利水电勘测设计单位进行了全国范围的水能资源普查。这次普查统一了计算方法和技术规范。计算理论蕴藏量的方法和公式与 50 年代相同，但这次明确了普查范围，如：必须统计水能理论蕴藏量在 1 万 kW 以上的河流。普查结果全国（不包括台湾）水能资源理论蕴藏量为 1 万 kW 以上的河流共 3019 条，合计理论蕴藏量  $N = 6.6$  亿 kW。此外，部分省还统计了一些水能理论蕴藏量 1 万 kW 以下的河流。包括这些，则全国理论蕴藏量为  $N = 6.76$  亿 kW ( $E = 59222$  亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ )。此次普查成果，由于补充统计了 50 年代没有统计的 1 千多条中小河流，全国水能资源理论蕴藏量又增加 1 亿 kW。

这次普查是我国第一次较系统地统计可开发水能资源。除统计“理论蕴藏量”之外，并根据国情、建设情况和前期工作情况将可能开发资源按拟定的水电站站址和六种类型统计，即：①1978 年以前已建水电站；②1978 年正建水电站；③一类资源（前期工作已达可行性研究及以上的水电站）；④二类资源（经过河流规划被选为宜先开发的水电站）；⑤三类资源（经过现场勘查后拟定的水电站）；⑥四类资源（经过室内研究，估算过工程量，进行过水能计算的水电站），参与统计的水电站规模必须是装机 1 万 kW 及以上的水电站。对位于国际界河上的水电站，统计其装机容量和年发电量的一半。由于梯级水电站上下游之间有十分紧密的水力联系，当上游存在具有良好调节性能水库时，对下游水电站的装机容量和年发电量也会有影响，即各水电站站址单独运行和梯级联合运行的能量指标会有所不同，此次普查统一采用单独运行指标，其数值显然小于梯级联合运行的情况。普查结果：全国（不包括台湾）装机 1 万 kW 及以上可能开发水电站共 1946 座，总装机容量  $C = 35707$  万 kW，年发电量  $E = 18184$  亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。有些省还统计了装机 500~10000kW 可能开发的水电站，如包括这些电站，则  $C = 37853$  万

kW,  $E = 19233$  亿 kW·h。这次普查具有统一的技术标准和明确的统计界限, 所以提出的成果具有一定的可靠性和科学依据。

由于这次普查没有给定判别电站经济性的界限, 所以成果数据只能属于“技术可开发资源”。但是经过可行性研究设计和从河流规划梯级中选出的宜先开发的水电站, 即一、二类资源可作为“经济可开发资源”, 因为这些电站在规划设计工作中都经过必要的经济比较工作, 明确肯定属于可经济开发的电站。对第三类资源, 即经过现场勘查后拟定站址的水电站, 根据我国设计经验, 这些电站的经济性虽没有经过一定的经济分析工作, 但参与勘查并拟定水电站站址的工程师们往往凭其经验估算认为经济可行才会拟定、提出这个项目, 考虑有些第三类资源中的水电站项目可能不够“经济可行”, 所以第三类资源中, 只能是大部分项目也属于“经济可开发资源”。据统计, 二类以上资源总装机容量 15303 万 kW, 占 43% 三类以上资源总装机容量 34927 万 kW, 占 98%。说明我国水能资源丰富、经济可开发资源的比重较大, 有良好的开发前景。

《国际水力发电与坝工建设》(International Water Power & Dam Construction) 1992 年 8 月刊登了“世界水能资源”, 列出了各国的理论蕴藏量、技术可开发资源和经济可开发资源三个级别的水能资源指标, 其中我国数据中未列出经济可开发资源数量, 该刊要求我国提出补充、修改意见。后由我国有关部门估算、审阅修改, 提出我国经济可开发资源为  $C = 2.9$  亿 kW,  $E = 1.26$  万亿 kW·h, 分别占技术可开发资源的 76.6% 和 69.3%。然而这一估算没有给定判别条件, 只是根据专家意见从“可能开发资源”选出一部分项目作为“经济可开发资源”。这一估算数据在 1993 年《国际水力发电与坝工建设》中刊出。

#### **四、台湾的水能资源普查**

70 年代水能资源普查统计数据及 1993 年英刊《国际水力发电与坝工建设》刊出的数据中, 均未包括台湾的水能资源。

台湾水资源统一规划委员会与台湾电力公司合作, 于 1983~1984 年进行了水能资源普查, 据到 1994 年为止完成的工作统计, 台湾省 76 条河流的常规水能资源理论蕴藏量为 1173 万 kW, 在 30 条主、次要河流内, “技术可开发资源”为 505 万 kW。这次普查没有统计“经济可开发资源”。

在 1995 年召开的海峡两岸能源研究会上, 据台湾专家介绍, 台湾现已开发 158 万 kW 水电站 尚可开发 100 万 kW 左右 即“经济可开发资源”约 260 万 kW。

#### **五、90 年代四川省水能资源复查**

四川省计划委员会于 1994 年组织对四川省水能资源进行复查工作。这次复查除进一步复核理论蕴藏量外, 重点研究了经济可开发资源。由于复查的河流范围扩大, 理论蕴藏量较 70 年代普查成果又有所增加。据统计, 四川省水能理论蕴藏量为 16519 万 kW (14471 亿 kW·h), 较 70 年代普查成果 15037 万 kW 增加 9.86%; 技术可开发资源

装机容量为 11049 万 kW，年发电量 5924 亿 kW·h，分别较 70 年代成果增加 20.5% 和 15.0%。1997 年，重庆市成为直辖市，四川省辖区减小。重庆市划出后，四川省技术可开发容量为 10334 万 kW，年发电量 5563 亿 kW·h。

四川省 1994 年水能资源复查工作重点为统计经济可开发资源。对技术可开发资源以单位电能投资指标衡量，逐一界定各水电站的经济性。对于龙头水库，则分析其梯级效益，不单纯以本站的单位电能投资指标判别取舍。同时还分析各水电站的环境因素的影响，对于一些淹没损失太大或涉及自然保护区，或因地质环境复杂可能导致建设难度很大的水电站，经综合分析，视影响大小及可能产生后果的严重程度决定取舍。经过以上筛选和界定，四川省经济可开发资源装机容量 7589.6 万 kW，年发电量 4003.22 亿 kW·h 分别占技术可开发资源的 73.4% 和 72%。

## 第二节 水能资源特点

### 一、中国水能资源占世界首位

据 1993 年《国际水力发电与坝工建设》的“世界水能资源 1993 年手册”全世界理论蕴藏量 35 万亿 kW·h，技术可开发水能资源 15 万亿 kW·h，经济可开发水能资源 9.35 万亿 kW·h，其中我国分别为 5.92 万亿 kW·h、1.92 万亿 kW·h 和 1.26 万亿 kW·h 各占 17%、13% 和 13%，均居世界首位。

### 二、分布不均衡

我国幅员辽阔，各地区的地形与雨量差异较大。地形条件决定河道的比降，比降陡的河段便于集中水头。降雨量决定河川的径流量。我国地势西高东低，山地、丘陵和崎岖的高原约占全国面积的 2/3。位于西南部著名的“世界屋脊”——青藏高原，平均海拔 4000m 以上，是我国最高的阶梯；青藏高原以北、以东下降到海拔大约 1000~2000m 的高原和盆地，构成第二阶梯，主要有云贵高原、四川盆地、黄土高原等；再往东则是 1000m 以下的丘陵和平原，如东北平原、华北平原、长江中下游平原、东南丘陵等。

我国位于欧亚大陆的东南部，濒临世界最大的海洋——太平洋，使我国具有明显的季风气候特点，各地降雨量随地区距海洋的距离的增加而递减。一般是东南多而西北少，局部因山地地形的影响而有所增减。多年平均年降雨量东南沿海从浙江到广西沿海一带为 1500~2000mm 华北地区一般为 600~700mm 东北地区为 500~1000mm，青藏高原为 600mm 以下，西北沙漠、盆地地区的降雨量最少，最少的地方还不到 50mm。

由于以上地形和雨量分布特点，我国水能资源主要分布在第二阶梯。在西南地区，由于河流坡降陡峻，降水充沛，水能资源极其丰富。青藏高原东北部与黄土高原接壤地带以及东南沿海丘陵地区的水能资源也较丰富。按地区划分，我国水能资源分布如表

1-1 所示。西南地区的资源占全国 2/3 以上。

表 1-1 我国河川水能资源地区分布概况

地区	理论蕴藏量		技术可开发资源		
		比重	装机容量	年发电量	比重
	亿 kW·h	%	万 kW	亿 kW·h	%
全国	59222	100	37853	19233	100
华北	1077	1.8	692	232	1.2
东北	1062	1.8	1200	384	2.0
华东	2632	4.4	1790	688	3.6
中南	5614	9.5	6744	2974	15.5
西南	41463	70.0	23233	13050	67.8
西北	7374	12.5	4194	1905	9.9

注：1. 资料来源：1977~1980年的全国水力资源普查成果；

2. 未包括台湾统计数字；

3. 可能开发资源按单站 500kW 以上电站统计；

4. 可能开发资源占全国比重按年发电量计算。

这个分布特点说明：我国东部经济发达地区缺少水能资源，而西部水能资源丰富；为使水电在各电网电源结构中占有一定比重，必须考虑“西电东送”。

按水系分布分析，我国的水能资源主要分布在一些大江大河及其主要支流，见表 1-2。

表 1-2 我国河川水能资源按水系分布表

水系或河流	理论蕴藏量			技术可开发资源		
	按 kW 计	按能量计	比重	装机容量	年发电量	比重
	万 kW	亿 kW·h	%	万 kW	亿 kW·h	%
一、长江	26801.77	23478.4	39.6	19724.33	10274.98	53.4
其中：干流(含金沙江)	9166.7	8030.0		9065.7	4722.7	
支流：雅砻江	2204.18	1930.9		2215.82	1355.14	
大渡河	2101.13	1840.6		2046.13	1088.01	
乌江	580.40	508.4		560.63	292.04	
二、黄河	4054.80	3552.0	6.0	2800.39	1169.91	6.1
其中：干流	2976.60	2607.5		2513.62	1036.99	
三、珠江	3348.37	2933.2	5.0	2485.02	1124.78	5.8

续表 1-2

水系或河流	理论蕴藏量			技术可开发资源		
	按 kW 计	按能量计	比重	装机容量	年发电量	比重
	万 kW	亿 kW·h	%	万 kW	亿 kW·h	%
其中：干流	1078.50	944.8		1184.40	539.70	
四、海滦河	294.40	257.9	0.4	213.48	51.68	0.3
五、淮河	144.96	127.0	0.2	66.01	18.94	0.1
六、东北诸河	1530.60	1340.8	2.3	1370.75	439.42	2.3
七、东南沿海诸河	2066.78	1810.5	3.1	1389.68	547.41	2.9
八、西南国际诸河	9690.15	8488.6	14.3	3768.41	2098.68	10.9
其中：澜沧江干流	2544.96	2229.4		2088.41	1132.79	
怒江干流	3640.74	3189.3		1000.00	597.3	
九、雅鲁藏布江及西藏其他河流	15974.33	13993.5	23.6	5038.23	2968.58	15.4
其中：雅鲁藏布江干流	7911.60	6930.6		4638.60	2765.04	
十、北方内陆及新疆诸河	3698.55	3239.9	5.5	996.94	538.66	2.8
合计	67604.71	59221.8	100	37853.24	19233.04	100

注：1. 资料来源：1977~1980 年的全国水力资源普查成果；

2. 未包括台湾省统计数字；

3. 可能开发资源按单站 500kW 以上电站统计；

4. 可能开发资源占全国比重按年发电量计算。

由表 1-2 可见，我国水能资源主要分布在长江、黄河、珠江、西南国际诸河、雅鲁藏布江及西藏其他诸河等大水系。上述水系的理论水能蕴藏量占全国的 88.5%，可能开发资源年发电量占全国的 91.7%。而这 5 个水系的可能开发资源又集中于长江干流及其主要支流雅砻江、大渡河、乌江，黄河干流，珠江干流（包括西江及其以上的南盘江、红水河），澜沧江，怒江和雅鲁藏布江。这 9 条河流的可能开发资源即占全国的 70.3%。

### 三、大型水电站占比重大

我国一些大江大河源远流长，集水面积大，径流丰沛，落差巨大，具有建设大型或巨型水电站的条件。例如长江三峡装机容量达 1820 万 kW，21 世纪初建成时，容量为世界之冠；长江上游金沙江还有可建成装机容量 1000 万 kW 以上的溪洛渡、白鹤滩等巨型水电站；黄河、红水河、澜沧江和长江主要支流雅砻江、大渡河、乌江等以及中俄界河黑龙江可建一大批百万千瓦以上的大型水电站。因此，我国可能开发的水能资源

中，大型水电站所占比重很大。

70年代普查成果可能开发资源中，单站装机容量大于25万kW的电站计有203座，其装机容量总和为28175万kW，占可能开发资源的79%。大于200万kW的电站装机容量为16982万kW，占可能开发资源的48%。90年代估算的经济可开发资源，总装机2.9亿kW，总年发电量1.26万亿kW·h中，单站装机大于25万kW的电站，其装机容量为2.2亿kW，占76%，年电量为0.99万亿kW·h，占总数的79%。

随着我国经济的发展，电网规模和范围不断扩大，已形成5个跨省联网的电力系统。据统计，至1995年底，除西北电力系统（青海、甘肃、陕西、宁夏）的装机规模为1300万kW外，其他东北（辽宁、吉林、黑龙江和内蒙古东部地区）、华北（北京、天津、河北、山西和内蒙古西部地区）、华中（湖北、湖南、河南、江西）和华东（上海、浙江、江苏、安徽）4个电力系统范围内的装机容量都已达2700~3700万kW。按省统计，装机容量超过2000万kW的有广东，超过1000万kW的有江苏、山东、浙江、河北、辽宁，超过500万kW的有福建、广西、山西、内蒙古、上海、吉林、黑龙江、安徽、湖南、云南。为了充分发挥各地区能源优势，我国将逐步向全国联网方向发展，三峡水电站投产后，华中和华东电力系统间的电力联系将大大增强。

由于电力系统规模巨大，电力需求增长迅速，促进了大型水电站的建设。大型水电站的经济指标一般比较优越，可以适应电力电量要求的迅速增长，适合当前电源建设的需要。例如岩滩、隔河岩、广东抽水蓄能电站、五强溪等百万千瓦级的水电站，投产后，容量很快就被电力系统吸收，社会和经济效益显著。建设大型以及巨型水电站可以长距离向缺乏能源的地区输电，解决水能资源和电力需求地区上分布不均衡的矛盾。针对水能资源集中于西部地区的特点，我国提出“西电东送”的战略。基于这一战略目标，已实现由南盘江的天生桥水电站和鲁布革水电站长距离向广东输电，为今后大规模开发西部丰富的水能资源、积极建设大型和巨型电网拉开了序幕。

### 第三节 水能资源在能源结构中的地位

#### 一、能源资源概况及水能资源所占比重

我国蕴藏有丰富的能源资源。我国能源以煤炭为主，水能和石油及天然气也占相当比重。

据1995年出版的《中国自然资源丛书 综合卷》，我国预测埋深在2000m以浅的煤炭总储量达4.5万亿t，石油总储量为890亿t，天然气总储量40万亿m<sup>3</sup>，水能资源5.92万亿kW·h。据《中国统计年鉴 1999》统计，全国煤炭保有储量达10024.9亿t（不包括台湾，下同）约折合标准煤7160亿t。

世界能源委员会《1992世界能源资源调查》中统计的我国能源探明可采总储量为：煤炭1145亿t，石油32.6亿t，天然气1.123万亿m<sup>3</sup>，水能资源1.92万亿kW·h。以

上 4 种资源折合为标准煤 1551 亿 t，其中水能资源占 40% 以上（按发电 100 年，每千瓦时抵火电煤耗 350g 计）

此外，在再生能源中尚有风能、太阳能等。

从以上能源资源储量分析，我国能源资源以煤炭和水能所占比重最大，其次是石油、天然气和风能。在这些能源中，水能和风能是可再生能源。水电站建成后，即可源源不断地获得能源，而且不会造成环境污染（包括大气污染和废弃物的污染）。风能利用尚处于起步阶段，风力发电场规模较小，在一定时期内尚不能形成规模。

我国各种能源资源在地区分布上极不均衡。煤炭主要集中分布在秦岭—昆仑山以北地区，华北、西北和东北占全国总储量的 84%；水能资源主要分布在西南地区，约占全国总量的 70%；石油资源现已探明的储量 85% 分布在长江以北地区。

我国人口主要分布于东、中部地区。东部沿海地区经济发达，是能源消费主要地区，然而东南沿海诸省、直辖市能源资源缺乏，需大量运入北方煤炭，以弥补其不足，给交通运输造成很大压力，成为东南沿海地区经济发展的主要制约因素，同时也给这一地区带来环境问题。西南地区虽然煤炭资源储量有限，但其水能资源十分丰富。开发这些水能资源在一定时期内除可为当地地区经济发展提供低成本、无污染的能源外还可以向东送至中南和华东，减轻这两个地区对煤炭的大量需求所带来的诸多问题。

因此，水能资源的开发在相当时期内对我国经济的可持续发展具有十分重要的作用。

## 二、水能资源开发

1949 年中华人民共和国成立时，全年能源生产总量仅为 2374 万 t 标准煤，其中原煤 3200 万 t，原油 12 万 t，天然气 700 万 m<sup>3</sup>，水电发电量 12 亿 kW·h。

我国能源工业发展十分迅速。据《中国统计年鉴 1999》统计，1998 年能源生产总量达到 12.40 亿 t 标准煤，比建国初增长了 52 倍，其中原煤 12.5 亿 t、原油 1.61 亿 t、水电发电量 1988.9 亿 kW·h 分别为 1949 年的 39 倍、1342 倍和 166 倍。水电、石油和天然气在一次能源生产中的比重均有所提高，由 1949 年一次能源基本为煤炭逐步向一次能源构成多样化、合理化发展。

各时期能源生产总量及构成见表 1-3。

表 1-3 历年能源生产总量及构成

年份	能源生产总量 (万 t 标准煤)	占能源生产总量的比重 (%)			
		原煤	原油	天然气	水电
1952	4781	96.7	1.3		2.0
1957	9861	94.9	2.1	0.1	2.9
1962	17185	91.4	4.8	0.9	2.9

续表 1-3

年份	能源生产总量 (万 t 标准煤)	占能源生产总量的比重 (%)			
		原煤	原油	天然气	水电
1965	18824	88.0	8.6	0.8	2.6
1970	30990	81.6	14.1	1.2	3.1
1975	48754	70.6	22.6	2.4	4.4
1978	62770	70.3	23.7	2.9	3.1
1980	63735	69.4	23.8	3.0	3.8
1985	85546	72.8	20.9	2.0	4.3
1986	88124	72.4	21.2	2.1	4.3
1987	91266	72.6	21.0	2.0	4.4
1988	95801	73.1	20.4	2.0	4.5
1989	101639	74.1	19.3	2.0	4.6
1990	103922	74.2	19.0	2.0	4.8
1991	104844	74.1	19.2	2.0	4.7
1992	107256	74.3	18.9	2.0	4.8
1993	111059	74.0	18.7	2.0	5.3
1994	118729	74.6	17.6	1.9	5.9
1995	129034	75.3	16.6	1.9	6.2
1996	132616	75.2	17.0	2.0	5.8
1997	132410	74.1	17.3	2.1	6.5
1998	124000	72.0	18.5	2.4	7.1

注：1. 电力折算标准煤的系数采用当年平均发电煤耗计算；

2. 资料源自《中国统计年鉴 1999》。

据统计，我国水电在电源结构中占有重要地位。水电装机容量占全国电力装机总量的比重最高曾达到 31.7% 在水能资源丰富的地区 如云南、广西、福建、青海等省、自治区 比重曾达 70% 以上。但在水能资源缺乏的山东、江苏、内蒙古等省、自治区 几乎没有水电。表 1-4 中列出了全国及水电比重较大的地区、省电力系统的水电装机比重。

表 1-4 我国历年水电装机占部分地区或省电力装机容量比重表 (%)

年份	全国	东北	华东	华中	西北	福建	广东	广西	四川	贵州	云南	西藏
1949	17.6	23.2	0	0	0	0	0	0	9.0	0	5.5	0
1955	21.8	37.2	0	0	2.0	31.5	0	2.6	7.0	21.3	21.5	0
1960	16.3	24.6	16.1	9.3	1.0	45.0	35.9	4.8	23.0	17.4	28.3	67.0
1965	20.0	22.3	22.9	20.8	16.7	45.0	41.3	39.4	26.8	21.7	25.0	74
1970	26.2	25.6	23.7	34.2	38.4	62.8	56.9	57.7	17.3	21.1	45.3	100
1975	30.9	20.7	19.4	26.0	52.8	68.3	55.2	83.5	41.4	23.1	58.1	100
1980	30.8	18.5	18.9	41.1	44.3	71.8	61.2	63.5	50.4	47.2	68.0	98.2
1985	30.4	22.7	14.8	42.7	41.3	63.2	60.3	68.5	52.9	60.1	65.8	76.4
1990	26.1	18.3	11.1	43.1	41.9	56.0	32.3	55.1	45.8	54.5	64.8	71.6
1995	24.0	17.3	8.1	39.0	39.8	61.6	20.5	60.7	46.0	48.2	74.7	73.3

注：东北包括辽宁、吉林、黑龙江三省；  
 华东包括上海、江苏、浙江、安徽四省市；  
 华中包括河南、湖北、湖南、江西四省；  
 西北包括陕西、甘肃、宁夏、青海四省自治区。

东北辽宁、吉林、黑龙江三省是新中国水电建设起步最早的地区。50年代即着手改建、扩建丰满和水丰水电站，1955年三省水电比重即占37.2%；60年代和70年代还在浑江、第二松花江及我国和朝鲜的边界河流鸭绿江上建设一些水电站，水电站在电力系统中比重变化在20%到25%之间；1970年为25.6%，之后有所下降；在1983~1984年因白山水电站投入，比重再回升到23%以后逐步下降到1995年的17.3%。

华东电力系统范围内上海、江苏、浙江、安徽四省（市）的水能资源主要在浙江省。1951年开始兴建黄坛口水电站（装机3万kW）；1957开工兴建新安江水电站，1960年第一台机组投产；1958年及以后又开工兴建富春江水电站及一批中小型水电站。自50年代初开始，结合淮河治理，在安徽省也建设一批中型水电站。1970年，水电在华东电网中比重达23.7%，以后受资源条件限制，比重逐年下降，到1995年为8.1%。为缓解电网调峰困难，逐步开展了抽水蓄能电站的建设，位于浙江省装机180万kW的天荒坪抽水蓄能电站1998年第1台机组投产，2000年可全部投产。

华中电力系统范围内湖北、湖南、河南、江西四省在新中国成立以前，水电是空白。50年代先建设一些中、小型水电站，1957年黄河干流的三门峡枢纽开工建设，1958年开工建设与水利结合的丹江口水利枢纽工程和以发电为主的柘溪水电站，70年代末开始建设葛洲坝水利枢纽。90年代建成五强溪和隔河岩水电站。湖北省从1971年开始，水电比重超过50%，以后一直维持在60%左右，1995年达到62.9%。湖南省从

1968年开始,水电比重超过50%,直到1995年一直维持在55%左右。从全系统分析,1980~1990年全系统水电比重都超过40%,最高为43%。1990年以后,比重有所下降,1995年为39%。

西北电力系统范围内甘肃、陕西、青海、宁夏四省、自治区的水能资源主要在青海和甘肃的黄河干流河段。1958年开工兴建青铜峡、刘家峡和盐锅峡水电站,60年代建成青铜峡和盐锅峡水电站,70年代建成刘家峡和八盘峡水电站,80年代建设龙羊峡水电站。从1970年到1995年,水电比重都在38%以上,1975年最高曾达53%。

福建省是新中国最早建设水电的省份之一,1951年就开始建设古田溪一级水电站,到70年代初,古田溪四座梯级水电站全部建成,总装机25.9万kW。80年代先后开工建设沙溪口和水口等大型水电站。1975年,福建水电比重达到68.3%,1980年又上升到72%,以后比重逐步下降,进入90年代因水口水电站投产比重有所上升,到1995年为61.6%。

广东省在1957年以前基本没有开发水能资源。从1958年开始建设流溪河和新丰江等水电站,到1970年,全网水电装机55.9万kW,占全系统比重为57%。到1982年,全网水电装机219万kW,比重61%。此后,比重逐渐下降。为解决调峰困难,1994年建成广州抽水蓄能电站一期,装机容量120万kW(其中60万kW供香港电网调度、利用)。到1995年广东电力系统水电比重为20.5%。

广西壮族自治区在50年代末,水电装机不到1万kW。1958年开始建设西津和澄碧河等水电站。1975年和1985年先后开工建设大化和岩滩两座大型水电站,1982年和1991年先后开工建设与贵州省交界的天生桥二级和一级水电站。到1970年,广西电力系统水电装机24.6万kW,比重达57.7%。到1975年,水电装机比重最高,达83.5%。此后比重有所下降,至1995年仍维持在60%以上。

四川省在1949年水电装机容量仅有0.47万kW。50年代建成了龙溪河梯级和大洪河水电站。60年代中期到70年代,又建成了龚嘴、映秀湾、渔子溪一级、磨房沟二级等大中型水电站。到1982年底全省水电装机215万kW比重55%。此后比重维持在50%左右。1995年水电比重为46%。二滩水电站建成投产后,比重又有所提高。

云南省水能资源丰富,50年代,根据当时国民经济发展需要,开工建设了一批中小型水电站,如以礼河、西洱河等梯级水电站以及绿水河、六郎洞等水电站。随着经济发展,80年代建设大型水电站鲁布革水电站(装机60万kW)和漫湾水电站(装机初期125万kW)。从70年代后期开始,云南水电装机比重一直超过60%。到1995年,比重达到74.7%。

贵州省按大中小并举的水电开发方针建设水电站。从50年代末开始建设猫跳河梯级水电站,70年代初开始建设乌江渡水电站(装机63万kW),80年代建设东风水电站(装机51万kW)和天生桥二级水电站(与广西自治区合建)。在1975、1985年和1995年,水电装机比重分别为23.1%、60.1%和48.2%。

在西藏自治区,尚未查清有足够供发电用的煤炭资源,而当地水能资源丰富,所以

水电是主要电源，比重一直在 70% 以上。

以上情况说明：从全国平均情况分析，水电是仅次于煤电的第二大电源，水电比重在 20%~30% 之间。在五个跨省的地区电力系统中，除华北电力系统的水电比重很小外，其他四个跨省电力系统中，水电都是重要电源。其中中华中和西北两个电网的水电比重至 1995 年尚有 40% 左右。在全国其他省独立电力系统中，还有一半（福建、云南等省）过去曾以水电为主，多数到 1995 年水电比重仍超过 40%。在全国除台湾以外的 31 个省、自治区、直辖市中，有 13 个省、自治区水电比重超过 1/3，其中 8 个超过 1/2。但应指出，东、中部地区电力系统发达，而水能资源相对较少，在总装机超过 1000 万 kW 的 9 个省电力系统中，仅有湖北、四川水电比重超过 40%，其他省、自治区水电比重很小，例如山东、江苏和内蒙古水电比重尚不到 1%。

## 第四节 水能资源开发条件

### 一、具有建设水电站的有利地形地质条件

水电站发电能力取决于能够取得的径流和水头。堤坝式开发水电站需要具有筑坝壅高水头并形成一定库容，以调节径流减小丰枯水年和年内丰枯水期径流量变幅的地形地质条件；引水式开发水电站需要河流具有坡降大或曲折河湾，可以用较短的引水道集中较大落差的地形地质条件。

中国河流特征各异，许多河流具有极其良好的地形地质条件，使得建设水电站的经济性更加突出。

例如黄河上游龙羊峡—青铜峡为一峡谷河段，河道全长 1023km，落差达 1465m，该河段的龙头水电站龙羊峡水库控制全河段 60% 以上的径流，在龙羊峡坝址建 178m 高的拦河坝即可获得 247 亿  $m^3$  总库容用以进行多年调节，使其下游李家峡、拉西瓦、公伯峡、刘家峡、黑山峡等一系列水电站都获得径流调节的效益。这些坝址具有良好的地形地质条件，可建 100~200m 坝高、装机 100 万~372 万 kW 的大型水电站。规划在这一河段共建设 24 座或 25 座大中型水电站，总装机容量约 1600 万 kW，年发电量约 564 亿 kW·h。

又如金沙江虎跳峡（石鼓）至宜宾河段，河道长 1332km，落差 1560m，龙头梯级虎跳峡水电站的水库亦为多年调节水库，可使下游各梯级水电站获得显著的径流调节效益。虎跳峡以下也有许多具有建设高坝的地形地质条件，其中白鹤滩和溪洛渡两座水电站装机容量分别达 1250 万 kW 和 1200 万 kW，其他梯级大多可装机 300 万~600 万 kW。该河段总装机容量 5000 万 kW 以上，年发电量可超过 2700 亿 kW·h，接近于 1 亿 t 标煤所发出的电量。

举世瞩目的三峡工程，更是一个明显的例子。三峡地形地质条件良好，坝高 175m，水电站装机容量 1820 万 kW，年发电量 847 亿 kW·h，在 21 世纪初建成时，将位居世界水电站榜首。

此外，澜沧江、南盘江、红水河和长江的支流雅砻江、大渡河、乌江等大江大河上许多坝址也都具有十分优越的建设高坝的地形地质条件。

我国还有一些河流的某些河段河道坡降非常陡，有利于建设引水式水电站。例如南盘江坝索以下长 14.5km 的河段集中落差达 181m，河道平均坡降达 12.5%，利用这一优越地形条件已建成的南盘江天生桥二级水电站是一座装机 132 万 kW 的引水式水电站，该水电站最大水头 204m 隧洞长仅 9520m。四川岷江的太平驿、映秀湾和渔子溪一、二级，云南的以礼河、福建的古田溪等均有相类似的条件，建成了一批引水式梯级水电站。

## 二、河流综合利用的要求对水能资源开发的促进与制约

我国水资源十分丰富，几千年来创造和积累了丰富的利用水资源经验，其技术水平曾居于世界前列，至今仍为世人称道。例如秦代李冰父子兴建的都江堰灌溉工程，使四川成为天府之国，延续至今，两千余年灌区持续受益并不断发展。黄河上游位于宁夏回族自治区的秦渠、汉渠和唐徕渠也都有千年以上历史，哺育了黄河干流两岸华胄。秦代开凿的灵渠沟通了珠江与长江水系航道，开人类建造运河之先河，为岭南和相关地区社会、经济和文化的发展曾起到辉煌作用。我国人民在利用水能资源上也有长远的历史，水碓、水磨代替了繁重体力劳动，提高了生产效率，黄河干流及其他地区曾大量利用水车提水灌溉，这是水能利用的雏形。

同时，由于人类大都傍河而居或于平原、盆地地区繁衍生息，以便于利用水土资源，然而，在自然条件下又常遭受水旱灾害。黄河被称为中华民族的摇篮，下游冲积平原和关中地区在历史上曾是历代政治、经济、文化中心地区，然而几千年来黄河下游不断发生洪水灾害。周定王五年（公元前 602 年）到 1938 年花园口扒口的 2540 年中黄河经历了 5 次大改道，洪灾波及范围北达天津，南抵江淮，纵横 25 万 km<sup>2</sup> 造成巨大灾难。

中华人民共和国成立后，提出兴利除害的治河方针。解放初期，即开展了大规模的治淮工程，采取筑坝拦洪、疏通河道泄洪等措施，减少洪涝灾害。在此期间，在淮河上游支流上分别修建了佛子岭、响洪甸、梅山水库。这些水库除具有防洪、灌溉效益外，还修建了水电站，虽然每座水电站装机容量仅有 3 万~4 万 kW，但在当时的电力系统是占有相当比重的重要电源。

此后，黄河干流三门峡枢纽和汉江丹江口枢纽等的兴建，也都贯穿了河流开发的综合利用方针，配套建设了水电站。

1994 年 12 月开工的三峡工程更是我国一项重大的综合利用工程。三峡工程的建成将提高其下游有关地区的防洪标准，同时，总装机 1820 万 kW 的水电站也将为华中、华东地区和重庆市提供强大的电力，而且筑坝壅高水位后，还改善了库区河段航运条件。

我国许多的河流开发治理工程都兼有防洪、发电、灌溉、城市与工业供水、航运以及旅游等综合效益。各综合利用部门之间存在着相互促进和相互依存的关系。以除害为目标的水库工程，同时也可利用于兴建水电站；以发电为目标的水电工程，往往也同时

具有防洪、灌溉和航运等效益。多目标开发常常促进水电或水利工程的开工建设。

由于各综合利用部门对工程的要求还有相互矛盾的方面。在坝高和库容一定的情况下，防洪要求在汛期留出库容，以随时准备拦蓄洪水；而发电和灌溉等用水部门则要求在来水较丰时期尽可能多蓄水，以加大枯水期的供水量。在发电、灌溉和航运等各用水部门之间，对水量的时空分布也有不同的要求。如从发电角度应按照电力用户要求供电，避免在年内各个时期出力变幅过大；而灌溉则要求在农田需水时期集中供水。水电站由于其调度的灵活性，对具有日调节以上调节性能的水电站应承担系统调峰、调频等任务，日内出力和下泄流量变幅大；而航运部门要求尽可能减少河道日内流量变幅，加大水电站基荷出力。

在水电建设中，往往还遇到各综合利用部门对河流开发治理的时间表和水电开发不一致而带来的问题。例如在某一不通航或仅分段有民间小船通航的河段建设水电站，而航运部门尚未将其列入开发治理日程，要求水电建设单位按照其规划建设通航过坝建筑物。此时存在两个问题：一是航运必须全线贯通才能形成航道，而单独一座枢纽即使建有通航建筑物也无法形成航道，造成投资积压，长期不能产生效益；二是没有承担这部分投资的单位。

我国在长期实行统收统支的计划经济期间，对具有综合利用效益的工程均视为一个整体，由国家拨款建设，各部门之间对工程要求的矛盾问题通过协商或由国家主管部门决策。在实行拨改贷之后，由于建设单位要负责归还贷款本息，“谁投资，谁受益”这一问题非常突出。在深化经济体制改革之后，水电建设已呈现投资多元化的新局面。由于水电具有初期投资较大但经营成本甚低，可获得长期经济效益的特点，逐渐引起投资者的兴趣。但是虽经过国家各有关主管部门和水电行业多年呼吁和研究，对于综合利用工程项目仍没有各部门投资分担的有关规定，实质上是水电企业承担了为取得发电之外的社会效益而增加的投资。对水电站而言，为满足其他部门的要求或者是增加投入大量投资或者是减少发电收益直接影响着水电项目的经济性从而影响投资者的积极性。

### **三、建设调节水库和水库淹没之间的矛盾**

我国大部分地区属东亚季风气候区，气候复杂多样，从而形成河川径流年际和年内变幅大，丰水年和枯水年以及年内汛期和枯水期流量差异较大的水文情势。为了使水电站在年际和年内发电比较均衡以满足电力系统供电的需要，在地形地质条件允许的条件下，兴建具有一定库容进行径流调节的水库，以减少发电的不均衡问题。

建国以来，先后兴建了多座调节性能非常好的大型水电站，包括新安江、丹江口、龙羊峡、刘家峡、白山、东江、天生桥一级等水电站，规划建设的还有金沙江的虎跳峡、红水河的龙滩、澜沧江的小湾和糯扎渡、乌江的洪家渡等水电站。这些水电站基本上都属于多年调节水库，并且是河流梯级开发的龙头，下游各梯级水电站都能受益而显著提高其发电等效益。

建设大型调节水库，必然带来水库淹没和移民。据统计，我国 1949 年以后水库移

民总数在 1000 万人以上（包括水利和水电），相当于一个中等国家的人口，水库淹没处理工作量和难度之大是显而易见的。

50、60 年代，对于中国的耕地问题还未感到十分突出。在水利水电建设时虽然也将水库淹没损失作为一项因素考虑，但尚未放到一个重要位置作为制约因素来权衡，在决策中较多偏于尽可能开发利用水能资源。例如 1959 年在湖南省耒水下游建设装机容量仅 2.1 万 kW 的白渔潭水电站，淹没耕地达 42500 亩，移民 33220 人。1958 年曾在福建省建溪开工建设安丰桥水电站，在浙江瓯江开工建设青田水电站，之后由于经济调整而停工。这两座水电站原计划分别装机 105 万 kW 和 83 万 kW，而淹没耕地分别为 64 万亩和 20 万亩，移民则均超过 30 万人。随着国民经济的发展和人口的不断增加，国家对土地重要性的问题日益重视，已将保护耕地列为基本国策，要求在工业和城镇建设中尽量少占耕地、不占好地。水电站水库淹没和移民问题日益成为规划和建设的制约因素。70 年代以后有些河流的水电开发规划已不得不考虑修改原设想方案。例如福建建溪安丰桥水电站和浙江瓯江青田水电站虽进行过设计并曾开工，但鉴于淹没损失过大，难以实施，开发方案均进行大幅度调整，修改为尽量减少淹没损失的低水头多级开发，虽然水能资源的利用程度大为降低，但权衡利弊得失，还是可取的。

我国水能资源主要分布于西南地区。这一地区虽然人口密度相对低于东部地区，但山地所占土地面积比例大，能够形成调节水库的河段往往是人口相对密集、农田相对集中的河谷或盆地，相应淹没处理和移民的难度随着经济的发展和人口的增加而加大。

如何处理好水电建设和水库淹没之间的关系，是合理开发我国水能资源十分关键的问题。为此，在河流规划中，一方面重视具有良好调节性能的龙头水库的建设，一方面对其下游则尽可能避免建设淹没损失很大而对径流调节作用不显著的水库，必要时采取多级开发，以减少淹没损失；在水电站设计中，也采取一些必要的减少水库淹没的措施，例如降低汛期限制水位以降低库区末端回水位，对有条件的地方，在经济合理的前提下，对一些淹没区采取防护措施等。

我国政府一向把移民作为政府负责的一项重要工作，并越来越重视。这是我国水电建设一个重要的有利条件。

## 第五节 水能资源开发利用现状和前景

### 一、水电建设在解放后取得举世瞩目的成就

我国水能资源十分丰富，但在 1949 年以前却长期基本上未得到开发利用。截至 1949 年，全国水电装机容量仅 36 万 kW，年发电量仅 12 亿 kW·h，与丰富的水能资源相比，是微不足道的。

建国以后，我国政府非常重视水能资源的利用，在解放战争尚未结束时，即着手抢修施工质量极其低劣并遭到破坏的丰满水电站大坝。

1950年8月，成立了燃料工业部水力发电工程局，正式建立全国性的水电建设机构。1953年4月，又改为水力发电建设总局，负责全国水力发电建设的规划、勘测、设计、施工、科研和教育等的组织领导工作。之后，虽然机构经过多次变更，但水电建设队伍不断壮大，技术水平迅速提高，形成了一支有实力的水电建设队伍。

1951年3月，新中国成立后第一座新建的水电站——福建古田溪一级水电站开工，第一期工程装机1.2万kW，拉开了新中国水电建设的序幕。

经过三年恢复时期和第一个五年计划到1957年全国水电装机容量已达101.9万kW。

1958年，全国大量开工建设水电站，虽然之后遇到经济困难时期有许多项目停建，但到1962年全国水电总装机仍达到237.89万kW。

在1963~1965三年经济调整时期，随着国民经济的调整，有计划地新开工或复工一批水电站。1965年，全国水电总装机为301.96万kW。

在1966~1975年期间，由于刘家峡、盐锅峡、青铜峡、新安江、丹江口等大型水电站以及以礼河、古田溪、猫跳河、西洱河等梯级水电站投产，水电总装机达到每五年翻一番的速度。

此后，“文化大革命”影响开始显现，1976~1985年十年期间，水电装机才翻一番。由于在一段时间内全国缺电严重，竞相安排应急的火电厂建设，水电投资比重有所下降，水电新开工项目规模偏小，使1986~1995年期间水电发展速度与前十年相当，也是十年仅翻一番。

虽然如此，也应看到，解放以后水电建设总的速度是相当高的，各个时期水电总装机和平均年增长速度见表1-5。

表 1-5 各时期水电总装机和平均年增长速度

年 份	水 电 总 装 机 (万 kW)	平 均 年 增 长 速 度 (%)
1949	36.0	
1952	38.5	6.94
1957	101.9	21.49
1962	237.89	18.48
1965	301.96	8.27
1970	623.50	15.61
1975	1342.8	16.58
1980	2031.8	8.64
1985	2641.5	5.39
1990	3604.55	6.41
1995	5218.36	7.68