

美国的水力发电

THE HYDROELECTRICITY OF THE UNITED STATES

林家豪

美国水力发电的装机容量和发电量均占世界首位。1979年底,美国的水电站总数为1,400余个,装机容量共7,500万千瓦(其中包括抽水蓄能电站的装机容量1,100万千瓦),当年水电的发电量为3,016亿度(1度电等于1千瓦·小时),均约占全国总装机容量和总发电量的八分之一。廉价的水电曾为早期美

国经济的发展提供了充足的能源,促进了美国广大地区的电气化。时至今日,美国两个水电较集中的邦涅维尔(BPA)电力系统和田纳西(TVA)电力系统,仍是全国电价最低的地区。研究美国水力开发的特点和经验,将有助于解决中国面临的能源问题和加速中国的现代化建设。

一、水电开发一直受到重视

美国可以开发的水力资源约为1.69亿千瓦,一年可发电6,750亿度。美国第一座水电站建于1882年,位于威斯康星州阿普尔顿(Appleton)的福克斯(Fox)河上,容量为12.5千瓦。1890年,美国第一条长为13英里的单相交流输电线路把威拉米特瀑布(Williamette Fall)水电站发出的电力送到俄勒冈州的波特兰市(Portland),电压为3.3千伏,当时被认为是个了不起的成就。

美国初期的水力开发大都选择较易开发和经济上最有利的水力资源,故单位千瓦投资较低。如本世纪二十年代水电投资每千瓦在150美元以下者比比皆是。而当时由于火电厂的容量也不大,每千瓦的投资常常反而高于水电。1920年时,美国电能中水电占40%。

1936年建成容量超过百万千瓦的胡佛水电站。大古力电站也在1942年投入运行。1950年水电装机容量已达1,770万千瓦,水电发电量为1,360亿度,占当年全部电量的29.2%。五十年代期间,又有几个容量超过百万千瓦的大水电站先后投入运行。如1954年完工的麦克纳利(McNary)水电站,容量为140万千瓦;1956年完工的契夫约瑟夫(Chief Joseph)水电站,

容量为150万千瓦;1957年完工的达力斯(The Dalles)水电站,容量为180万千瓦。上述三个水电站均位于哥伦比亚河上。到1960年,水电装机容量已达3,190万千瓦。从六十年代至今,每年增加的水电装机容量平均约200万千瓦。在美国目前容量超过100万千瓦的常规水电站共有11个。

美国的水力资源集中于华盛顿、俄勒冈、加利福尼亚和阿拉斯加等州。其中前三州共占有全国水力资源的37.3%,阿拉斯加约占20%。目前,濒太平洋的

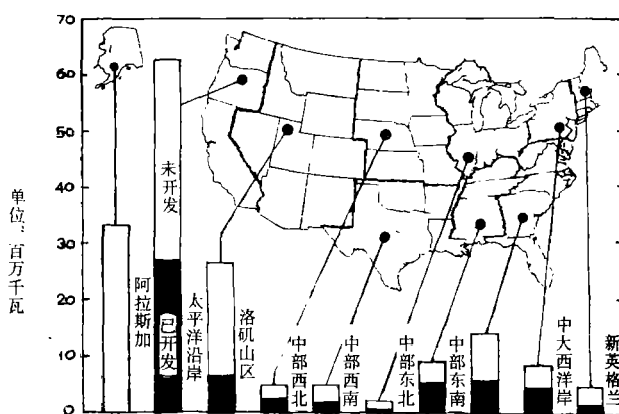


图1 美国各个区域水力资源的分布

林家豪(J. H. Lin) 伊利诺斯大学(University of Illinois, Urbana) 中国(天津大学)访问教授。

* 本文系作者为原计划1981年出版的《科技导报》第五期撰写的文章。

西北地区的水电发电量就占全国水电发电量的48%。阿拉斯加由于地理位置关系，其水力资源开发极少。

截至1978年1月，美国常规的水电装机容量为5,920万千瓦，全国水力资源的平均开发率为35.1%。如果考虑到美国大部分未开发的水力资源位于只开发了0.4%的阿拉斯加，则可以说水力资源是美国能源中开发较好的部门。如美国东南部田纳西河流域，水力已基本开发完毕，即使加上邻近几个州，其地区开发率也已高达65.7%。目前美国装机容量最大的大古力（Grand Coulee）水电站，位于华盛顿州的哥伦比亚河上，现有容量616万千瓦（最终容量可达978万千瓦），是世界上最大的水电站。

从1920年以来，美国的能源消费在60年内增长了四倍。但水电比重始终稳定在整个能源消费量的4%左右，说明水力开发的速度基本上与能源消费增长率保持一致。虽然在此期间美国利用廉价的进口石油和大量使用本国的天然气发电，使油电及天然气发电量猛增。例如油电在全部电量中的比重从1920年的5.6%增至1979年的13.5%，天然气发电量从1920年的1.5%增至1979年的14.9%，美国的能源消费中电能的比重也从1920年的3%增至1980年的32.8%，使得水电在整个发电量中的比重大为下降，从1920年的40%降至1979年的12.9%，但水电发电量仍大为增加，1979年已逾3,000亿度，大容量水电仍是目前美国最廉价的能源。

表 1 美国各个区域水力资源的开发率（至1978年1月1日）

地 理 区 域	州 名	水力蕴藏量 (万千瓦)	现有水电站 数目	现有设备容量 (万千瓦)	开发率 (%)
1 新英格兰	缅因、新罕布什尔、佛蒙特、马萨诸塞、罗德岛、康涅狄格	485.2	224	149.7	30.9
2 中大西洋岸	纽约、新泽西、宾夕法尼亚	872.6	152	423.7	46.6
3 中部东北	俄亥俄、印第安纳、伊利诺斯、密执安、威斯康星	229.3	209	95.4	41.6
4 中部西北	明尼苏达、衣阿华、密苏里、北达科他、南达科他、内布拉斯加、堪萨斯	489.2	73	280.0	57.2
5 南大西洋岸	特拉华、马里兰、哥伦比亚特区、弗吉尼亚、西弗吉尼亚、北卡罗来纳、南卡罗来纳、佐治亚、佛罗里达	1,294.6	154	582.2	44.8
6 中部东南	肯塔基、田纳西、亚拉巴马、密西西比	845.0	56	555.3	65.7
7 中部西南	阿肯色、路易斯安那、俄克拉何马、得克萨斯	460.9	40	225.5	48.9
8 洛矶山区	蒙大拿、爱达荷、怀俄明、科罗拉多、新墨西哥、亚利桑那、犹他、内华达	2,535.2	171	708.0	27.9
9 太平洋沿岸	华盛顿、俄勒冈、加利福尼亚	6,288.8	287	2,888.6	45.9
10阿拉斯加	阿拉斯加	3,358.7	32	12.7	0.4
11夏威夷	夏威夷	5.3	15	1.8	34.2
全国总计		16,865.0	1,413	5,920.9	35.1

资料来源：Charles Simeons M. A., "Hydro-Power", Pergamon Press, 1980.

表 2 美国历年常规水电装机容量和水力资源开发率

年 份	装机容量(万千瓦)	开发率(%)	年 份	装机容量(万千瓦)	开发率(%)
1921	370	2.2	1957	2660	15.6
1925	500	2.9	1960	3190	18.7
1930	780	4.6	1964	4020	23.6
1935	930	5.4	1968	4580	26.8
1940	1100	6.4	1972	5340	31.3
1945	1460	8.6	1976	5700	33.4
1950	1770	10.4	1978	5920	35.1
1953	2140	12.5			

资料来源：W. U. Garstka, "Hydro and Water Resources of the United States", *Water Power and Dam Construction*, Apr., 1979 pp.33—37

二、大规模的水力开发

早在本世纪初，美国的陆军工兵团（Army Corps of Engineers）就承担了全国许多大坝和水电站的

建造工作,成为开发水力资源的主要力量。直到现在,美国水力资源开发的各种报告和意见多由陆军工兵团提出。三十年代以后,美国水力开发的规模越来越大,容量动辄数十万千瓦乃至百万千瓦以上,往往牵涉到整条河流水力资源的合理利用和流域开发问题。必须同时考虑发电、航运(美国历来对水运十分重视)、防洪、灌溉、城市供水以至各种资源的保护等等。使得投资总额和每千瓦电力的投资均大大提高。从那时起,除陆军工兵团继续营造和管理一些水电工程外,美国政府又在一些流域成立了专门机构来负责流域开发和整条河流水力资源的综合利用。例如1933年成立的田纳西流域管理局(TVA),1937年成立的邦涅维尔电力管理局(BPA)等。由专门机构负责是美国水力开发收效较快的重要原因。

田纳西流域管理局(TVA)*

1933年美国国会通过的“田纳西流域管理局法案”规定该局的任务为:改进田纳西河的航运;控制田纳西河和密西西比河盆地的洪水灾害;利用水力资源发电;以及维持和经营美国政府在阿拉巴马州马瑟滩(Muscle Shoals)的两座硝酸盐工厂,研究生产便宜和有效的化学肥料以振兴当地的农业;等等。经过该局40多年的经营,目前田纳西河有1,000公里的河道可以终年通航,可与国内21个州的水系相连并直达五湖区出海。洪水灾害已被控制,昔日荒山秃岭今已成为游览胜地。马瑟滩已成为美国最大的肥料研究中心。田纳西电力系统更成了美国最大的电力系统,1980年的装机容量已逾3,000万千瓦,田纳西河的水力资源亦已全部开发完毕(其装机容量为371万千瓦)。整个田纳西河流域也从三十年代全国最贫穷落后地区之一变成中等收入地区。这一切都是综合开发的结果,绝非单纯靠水力发电所能解决。

田纳西流域管理局对水电和其它部门如航运、防洪等的投资分摊有一套比较科学的计算方法。他们先将各项工程的投资分别计算,然后加在一起作为总投资。再将达到同样效果的整个综合利用工程的投资算出,按一定比例由各部门合理分摊,而不是一切投资均由水电部门负责。

三、发展方向——抽水蓄能与小水电

由于有利的水力资源多已被开发,美国近30年来水电发展速度已不如前20年的油电和天然气发电,也不如近10年的核电。但由于美国社会用电量激增,能源消费中电能的比重日益增大,而石油价格自1973年以来暴涨,扩大烧煤发电又会引起更大的污染 and 环境保护问题,故近年美国对廉价、无污染、可再生的水力发电又有了新的兴趣。一些过去被认为是不经济、

邦涅维尔电力管理局(BPA)

濒太平洋的美国西北地区(Pacific Northwest),包括华盛顿、俄勒冈、蒙大拿、爱达荷等州水力开发的规模冠于全美。有名的邦涅维尔(BPA)电力系统即位于该地区。截至1980年9月,该地区各个电力系统的发电装机容量达3,657万千瓦,其中水电为2,852万千瓦,占78%。属于联邦机构的邦涅维尔电力管理局的所有30座水电站,容量即达1,793万千瓦,这是美国最大的水电系统之一。目前该局还有188万千瓦的水电容量即将投产。

邦涅维尔电力管理局是根据罗斯福总统于1937年8月20日签署的邦涅维尔工程法案成立的,并以哥伦比亚河上第一座大水电站邦涅维尔(Bonneville Dam)命名。该局成立后即以全面规划开发哥伦比亚河及其支流的水力资源为其主要任务,与田纳西流域不同的是此地区河流湍急,水力资源极为丰富,发电量大,故水力开发多着眼于电力。由于大量电力需要从偏僻的水电站送往较远的负荷中心,该局在超高压输电方面的研究一直走在美国的前列,新的电压量级的超高压输电线路往往由他们领先采用。1940年该系统有了345千伏的交流输电线路,1960年开始采用500千伏交流输电线路,1970年,该局将长为1,361公里、电压为800千伏的直流输电线路投入运行,将该地区多余的电力送往加州南部的洛杉矶。目前该局正在研究采用1,100至1,200千伏的交流输电线路,以减少输电损失和输送更多的电力。

哥伦比亚河流域的廉价水电对濒太平洋的美国西北地区的经济发展起了极其巨大的作用,尤其在第二次世界大战期间,美国为了节约汽油以支援前线,更加快了对水电的开发,廉价的水电为该地区的战时工业和蓬勃发展的经济提供了大量的动力,促进了以西雅图、波特兰为中心的工商业,特别是航空工业的发展。工商业的发展反过来又刺激了水力的开发。罗斯福政府在三十年代时就提出着手开发这一地区的水力资源,用廉价的、充裕的水电来吸引工商各业,这是一个有远见的方针。濒太平洋的西北地区的经济能取得今日的成就,同哥伦比亚河流域水电开发是分不开的。

较小的水力资源(即水头低于40米,容量在3万千瓦以下)也被重新考虑加以利用。例如美国新英格兰地区就有114处这样的小型水力资源引起人们的注意。据美国陆军工兵团的估计,全国有不少水头较低、当年只为防洪和灌溉而建的小水坝,目前并没有安装发电设备,共约有3,400万千瓦的容量可以利用。在现有电站中增加或更新机组,可得到2,100万千瓦的容

* TVA 请阅本刊第一期专文, BPA 将有专文介绍。

表3 美国已建成的抽水蓄能电站

站名	装机容量 (万千瓦)	总水头 (米)	投产时间	站名	装机容量 (万千瓦)	总水头 (米)	投产时间
Bear Swamp	60	234.7	1974	Ludington	18.7	110	1973
Blenheim Gilboa	100	348.4	1973	Muddy Run	80	125	1967
Cabin Creek	30	373.7	1966	Northfield Mt.	100	250	1972
Castaic	120	323.7	1976	Raccoon Mt	153	305	1975
Carters	25	130.3	1975	San Luis	9.5	53	1967
Degray	2.8	52	1969	Smith Mt.	5.7	104	1965
Edward G. Hyatt	29.3	190.5	1968	Thermalio	2.6	30	1968
Fairfield	51.8	46	1976	Harry S Truman	16	—	1977
Jocassee	61.2	90	1972	Yards Creek	34	230	1965
Kinzua	39.6	250	1970				

装机容量总计 1,107.6万千瓦

资料来源: Water Power & Dam Construction, Jan. 1981

量(但年利用小时数将相应降低)。通过开发新的水力资源, 近期又可得到4,000万千瓦左右。可见, 美国的水力开发仍有相当潜力。

近年由于美国核电发展很快, 为了提高核电厂的效率和满足峰荷的需要, 美国的抽水蓄能电站有了迅速的发展, 而且容量都较大, 水头较高的, 目前已有19座。例如1973年建成抽取密执安湖水蓄能的勒丁顿(Ludington)电站, 容量为187万千瓦。这种利用有利地形修建水库抽水蓄能的方式, 实际上已超出单纯的水力开发利用, 而是在创造水力资源了。在配合核电运行方面, 抽水蓄能电站具有无比的优越性, 它既能吸收核电厂在低负荷时的多余电力, 又能在用户需电量大的峰荷期间放水发电以满足需要。因为用水电来承担峰荷, 既灵活、可靠又非常经济。例如田纳西电力系统1979年度每度电的成本, 水电(包括容量为153万千瓦的Raccoon Mt. 蓄能电站)为美金1.1厘, 核电为6.7厘, 煤电为1.7分。该系统未建常规的烧油电厂, 只装了250万千瓦的烧油燃气轮机作调峰用, 每度电成本高达美金5.7分。这只是个特殊例子, 其它系统也有常规的烧油电厂, 成本没有那么多高, 但油电成本必然高于煤电, 故比水电高许多倍乃是必然的结果。

小水电在美国是不经济的, 平均每千瓦投资比核电高20%, 比烧油电厂高一倍以上, 其运行费用也高于大、中型水电。但问题是核电无法用来调峰, 而用油电调峰的成本又远较小水电高。故利用散布于全国各地唾手可得的小水电来满足峰荷时的用电需要, 可能是一条较好的出路。特别是近年美国国会通过了一系列关于环境和野生资源保护法案, 大型水力开发工程要考虑生态平衡和对环境的影响, 往往需要经过多

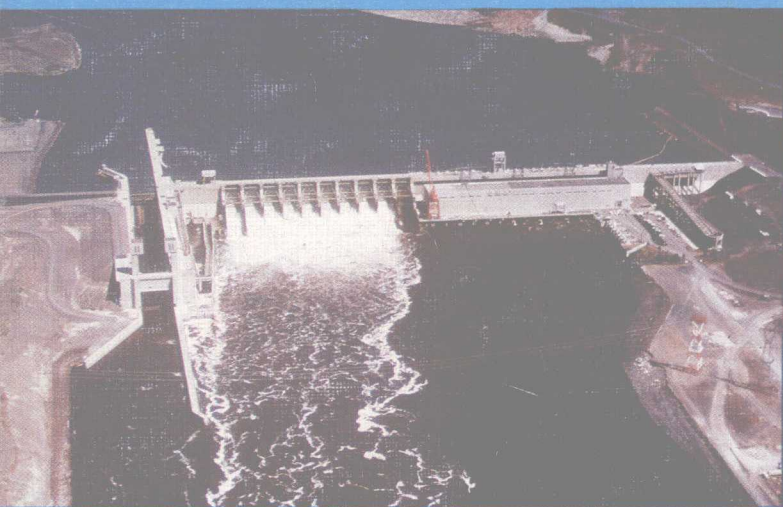
年周密的研究和设计才能取得政府的建造执照。有些甚至根本不能加以利用, 例如从1972年至1976年四年当中, 即有920万千瓦的水力资源由于国会通过的野生资源与河流的风景法案的限制而不能加以利用。这就使对生态平衡影响不大、能够迅速建造的小水电成为注意的对象。有人认为投资于小水电也是防止资金贬值的最佳办法。鼓励私人投资建造小水电, 在美国是可以做到的。美国还对适用于低水头发电的转桨式(kaplan)水轮机作了较大的改进, 使其效率大大提高, 以适应小水电的要求。能源部也采取补助和贷款等办法支持小水电的发展, 计划至1985年将约有100万千瓦的小水电投入运行。

从以上种种趋势来看, 八十年代美国水电的发展将比过去30年大大加速。由于水电将更多地作为调峰运行, 由核电和煤电承担基荷, 故水电装机容量将有较大增加, 而年利用小时数则将进一步降低。

中国具有世界最丰富的水力资源, 但截至1978年底, 其水力资源开发率只相当于美国1930年的水平, 相当于1950年时美国水电的装机容量。但中国的水电机组制造能力却比当时美国的制造能力高, 而且三十年来也积累了许多建设大水电站的经验。问题是中国的能源政策始终未对水电开发给予更多重视, 而且由于资金不足也限制了水力的开发。若能吸取国外经验并增加投资用以加速开发其丰富的水力资源, 则对中国经济发展将会产生巨大的促进作用。 完

本文完成于美国伊利诺斯大学, 并承周文德教授(Prof. V. T. Chow)指正, 作者谨以此文致悼。

美国的水力发电



普林斯顿大学

