

国外水电

美国水电开发考察启示

吴世勇, 姚雷

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

摘要:2013年8月第81届国际大坝会议在美国西雅图召开。借参会的机会,笔者对美国水电开发状况进行了考察,并形成报告。美国是世界上最发达的国家,其经济发展具有长期的活力。水电作为美国能源的重要组成部分,开发较早,开发程度高,其发展理念、应对策略等可对我国的水电开发提供有益的借鉴。

关键词:美国水电;大坝现状;哥伦比亚;瀑布电站

中图分类号:K712;TV74

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2014)01-0113-05

1 美国水电开发与大坝现状

1.1 美国水电开发

美国是世界上最早进行水电开发的国家之一,从1882年美国第一座水电站发电以来,美国的水电史已有130多年。美国的水能资源主要集中在田纳西河流域、哥伦比亚河流域、科罗拉多河流域、密苏里河流域等,其水电开发也集中在上述流域。美国20世纪30年代建设的科罗拉多河上胡佛电站、哥伦比亚河上大古力电站等,在二战期间发挥了重要作用,至今仍然正常发电。美国水电主要由美国工程师兵团(U. S. Army Corps of Engineers,简称USACE)、美国垦务局(U. S. Bureau of Reclamation,简称USBR)、公用事业公司(Public Utility District,简称PUD)和私人能源公司(private power companies)开发。

根据美国能源部电力年报,2011年美国总装机10.51252亿kW,总发电量41 006.56亿kW·h,其中常规水电装机7 865.2万kW,抽水蓄能电站装机2 229.3万kW,水电年发电量为3 193.55亿kW·h,水电占总发电量的7.8%,占可再生能源发电量的62%。在2001~2011年11年间,美国水电及抽水蓄能水电站装机统计情况分别见表1,由表可见,美国常规水电装机维持在7 800万kW左右,抽水蓄能装机略有增长。

1998年美国的传统水电装机7 920万kW。

表1 美国2001~2011年常规水电及抽水蓄能水电站装机容量表 /万kW

年份	水电	抽水蓄能
2001	7 891.6	1 966.4
2002	7 935.6	2 037.1
2003	7 869.4	2 052.2
2004	7 764.1	2 076.4
2005	7 754.1	2 134.7
2006	7 782.1	2 146.1
2007	7 788.5	2 188.6
2008	7 793.0	2 185.8
2009	7 851.8	2 216.0
2010	7 882.5	2 219.9
2011	7 865.2	2 229.3

根据美国能源机构1998年所做的评估,当时未开发的水电装机为2 978万kW。以美国可开发水电装机10 898万kW为基数,美国已开发水电占可开发水电总量的72%。

为了进一步开发利用水能资源,美国能源机构2012年完成了对所有已建但无发电功能的水利设施的评估,提出通过少量的改造可增加水电装机1 200万kW,增加年发电量450亿kW·h。美国可装机0.1万kW以上的大坝(目前无发电功能)分布图见图1。

1.2 大坝建设现状

大坝是美国基础设施至关重要的组成部分,为社会提供水电、水供应和娱乐,同时降低对人们、其它重要基础设施和环境的风险。据统计,美国大坝超过87 000座,分布情况见图2。按照美

收稿日期:2013-11-12

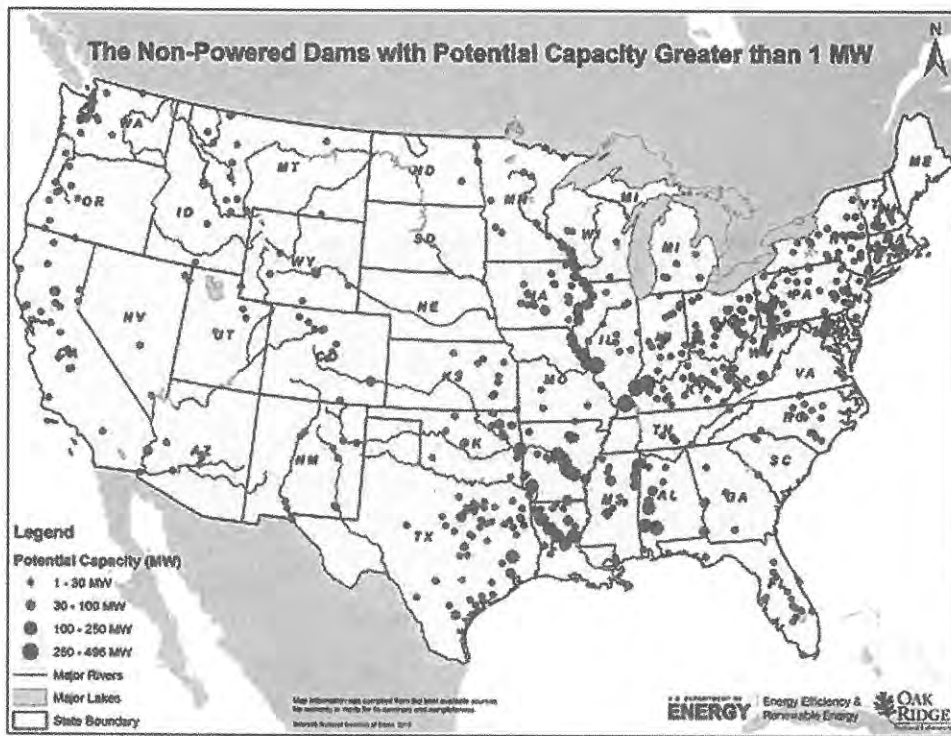


图1 美国可装机0.1万kW以上的大坝(目前无发电功能)分布图

国大坝数据库的标准统计,美国在过去25年里建设了超过8900座大坝。2012年在建有7座坝高超过30 m、16座坝高在15到30 m间、33座坝高低于15 m。

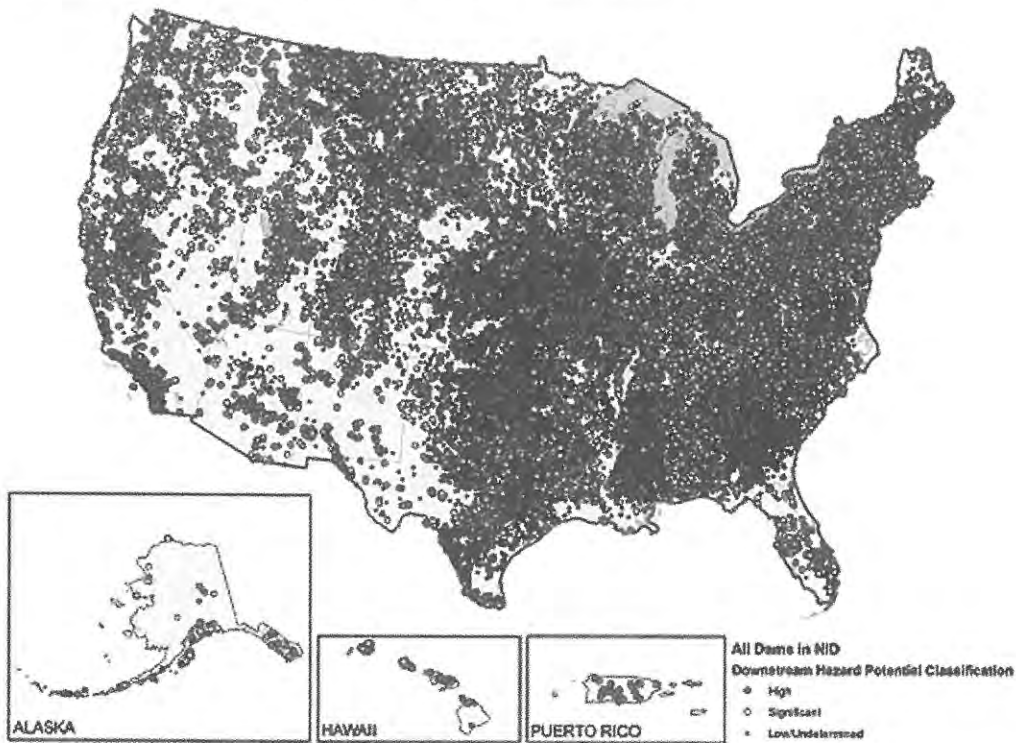


图2 根据对下游潜在危害程度进行分类的美国大坝分布图

美国大坝数据库中的大坝平均年龄是55年。过去的25年里开工建设了8900多座大坝,超过1500座大坝完成了修缮或改造。2012年在建的大坝有56座。

2 哥伦比亚河水电开发

2.1 开发概况

哥伦比亚河是一条国际河流,发源于加拿大不列颠哥伦比亚省落基山脉,流经美国华盛顿州、

俄勒冈州,注入太平洋。河流全长长2000 km,落差820 m,流域面积66.9万 km²。河流中下游在美国,长1200 km,落差393 m,流域面积56.7万 km²。河口平均流量7419 m³/s,是美国径流量排名第四的河流。

哥伦比亚河的水能资源极为丰富,美国在哥伦比亚河流域(含干支流)上已装机3067万 kW,哥伦比亚河干流电站情况见表2。

表2 哥伦比亚河干流电站情况表

名称	坝高/m	装机容量/万 kW	位置	大坝完工时间	开发业主
Mica Dam	244	180.5	加拿大不列颠 哥伦比亚省	1973	BC Hydro
Revelstoke Dam	175	248		1984	BC Hydro
Keenleyside Dam	52	18.5	美国华盛顿州	1968	BC Hydro
Grand Coulee Dam	168	680.9		1942	USBR
Chief Joseph Dam	72	206.9		1955	USACE
Wells Dam	49	84		1967	DouglasPUD
Rocky Reach Dam	57	134.7		1961	ChelanPUD
Rock Island Dam	40	62.4		1933	ChelanPUD
Wanapum Dam	59	103.8		1964	GrantPUD
Priest Rapids Dam	54	95.5		1961	GrantPUD
Mc Nary Dam	56	98		1954	USACE
John Day Dam	56	216		1971	USACE
The Dalles Dam	79	180.7	美国华盛顿州与 俄勒冈州交界	1960	USACE
Bonneville Dam	60	105	1937	USACE	
总计		2414.9			

美国西北主要大坝分布图(见图3)反映了美国哥伦比亚河流域主要大坝分布情况。由图可

见,哥伦比亚河干支流上布置了54座主要大坝。

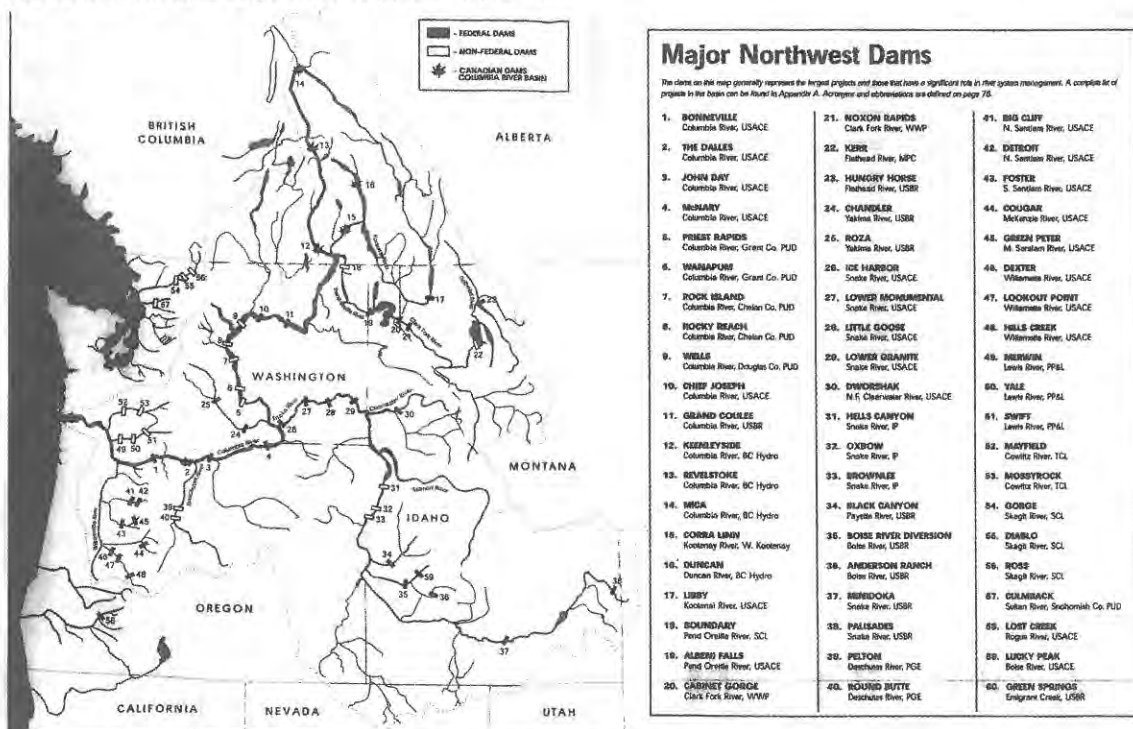


图3 美国西北主要大坝分布图

2.2 考察电站情况

此次考察主要集中在哥伦比亚河上游电站,包括瓦纳普姆水电站、石河段水电站、韦尔斯水电站、大古力水电站。

2.2.1 瓦纳普姆水电站(Wanapum Hydropower Station)

瓦纳普姆水电站坝址多年平均流量 3 400 m³/s。工程具有发电、防洪、航运、灌溉和旅游等综合效益。大坝由土坝与混凝土重力坝组成,坝轴线呈变形“Z”字型,坝顶全长 2 602 m,最大坝高 59 m。工程于 1959 年开工,1963 年 6 台机组投入商业运行,1964 年全部机组发电。电站总装机 103.8 万 kW。

电站枢纽建筑物有左右岸土坝、混凝土重力坝、左右岸鱼道、发电厂房和溢洪道。鱼梯有 2 条,分别位于溢洪道的右侧和电站厂房的左侧。每条鱼梯由前池供水。右岸鱼梯通过自流供水系统从前池将诱鱼水流。左岸鱼梯的集鱼系统建在厂房尾水管上,该系统的诱鱼水流是电站发电后的尾水。



图4 瓦纳普姆水电站

2.2.2 石河段水电站(Rocky Reach Hydropower Station)

石河段水电站坝址处多年平均流量 3 270 m³/s。工程以发电为主,兼有防洪、过鱼等综合效益。1956 年开工,1961 年首期投运 7 台机组。1969 年开始扩建,1971 年竣工,新增 4 台机组。1995 年电站对 11 台机组进行了升级,提高运行效率并使水轮机更加“鱼类友好化”。目前电站总装机 134.7 万 kW。

电站枢纽建筑物有大坝、溢洪道、厂房及鱼梯等。混凝土重力坝最大坝高 57 m,坝顶长 1 458 m。溢洪道布置在大坝左段,共有 12 个泄水孔,其中第 8、9 号溢洪道之间设有一个鱼梯入口。

发电厂房左、右(两侧)坝段均设有鱼道入口,右岸还设有鱼梯。左岸与岸边相接的是左坝肩截水墙,截水墙与溢洪坝段之间为左坝肩重力坝段,电站与右岸相接的一段为前池墙。



图5 石河段坝为幼鱼向下游的表层收集设施

2.2.3 韦尔斯水电站(Wells Hydropower Station)

韦尔斯水电站坝址处多年平均流量 3 190 m³/s。工程以发电为主。1963 年开工,1967 年第一台机组发电,1969 年 1 月全部竣工。电站总装机 84 万 kW。

韦尔斯水电站主要建筑物有复式大坝、东西土坝、鱼道与鱼类增殖站等。复式大坝为混凝土重力坝,最大坝高 49 m,溢洪、发电、过鱼及开关站全部都集中在此坝上。

溯河性鱼类的过鱼设施建在主坝的东西边墙中。过鱼设施由鱼梯及其相应的入口、集水池、出口、抽水泵和诱鱼喷管组成。电站还建设了鲑鱼产卵河道、鲑鱼育苗池和硬头鳟育苗池等鱼类保护设施。



图6 韦尔斯鲑鱼育苗池、硬头鳟育苗池

2.2.4 大古力水电站(Grand Coulee Hydropower Station)

大古力水电站是 80 年代中期以前世界上最大

大的水电站,是哥伦比亚河在美国境内最上游的一座梯级水电站。坝址多年平均流量 $3\ 051\ \text{m}^3/\text{s}$ 。有发电、灌溉、防洪等效益。其有效库容 $64.5\ \text{亿}\ \text{m}^3$ 。

大古力水电站主要建筑物有混凝土重力坝、坝后式发电厂房、抽水蓄能厂房及泄洪设施等。大坝最高 $168\ \text{m}$,坝顶长 $1\ 272\ \text{m}$,为哥伦比亚河上最大的水坝。

大古力水电站建于1933~1942年间。最初建造了两座发电厂房,首台机组1941年投产发电,1950年首期18台机组全部投产。由于加拿大境内在哥伦比亚河上游建设三座水库,为了充分利用水能、提高发电能力,1967~1974年间建设了第三座发电厂房,厂房机组于1975~1980年间先后投运。为了应对类似20世纪60年代出现的电力短缺问题,电站结合灌溉用水建设了抽水蓄能厂房,1984年抽水蓄能机组全部投运。经过发电机线圈重绕、新建厂房机组、机组更新等,电站总装机由最初的18台机组总装机 $197.4\ \text{万}\ \text{kW}$ 增加为目前的33台机组总装机 $680.9\ \text{万}\ \text{kW}$ 。

大古力水电站对洄游鱼类的保护措施为设置鱼类增殖站,在莱温芙丝、恩蒂亚特、温斯洛普建设了鱼类增殖站。相对于哥伦比亚河上其它电站洄游鱼类保护措施采用设置鱼梯的方式,大古力水电站显得较为突出。美国人认为对 $106.68\ \text{m}$ 的上下游高差过大,不适宜设置鱼梯。



图7 大古力水电站大坝

3 Snoqualmie 瀑布电站

会议期间,除对哥伦比亚流域水电考察外,还对100多年前建设的Snoqualmie瀑布电站进行了考察。斯诺夸尔米河(Snoqualmie River)是美国华盛顿州中西部的河流,源出西雅图东部的喀斯开山脉(Cascade Range),向西流 $72\ \text{km}$ 后转西北,在门罗(Monroe)附近与斯凯科米什(Skykom-

ish)河会合,形成斯诺荷米什(Snohomish)河。斯诺夸尔米瀑布落差 $82\ \text{m}$ 。

斯诺夸尔米瀑布位置建设了水电工程,由Puget Sound Energy运营。斯诺夸尔米瀑布电站有两座电厂。第一厂房建于1898~1899年,厂房位于距地面 $82\ \text{m}$ 的地下岩石中,是世界上第一座完全在地下的电厂,5台机组,总装机 $1.19\ \text{万}\ \text{kW}$ 。第二厂房位于瀑布下游 $400\ \text{m}$,建于1910年,1957年进行了扩建,安装2台机组,装机 $3.25\ \text{万}\ \text{kW}$ 。两座厂房共装机 $4.44\ \text{万}\ \text{kW}$ 。

斯诺夸尔米瀑布电站2009年开始再次更新改造,主要是更新发电机、改善进水口、压力管道、水流控制系统等。目前改造已经完成,总装机提升为 $5.44\ \text{万}\ \text{kW}$ 。

4 启示

经过对美国水电、大坝及哥伦比亚河流域水电和部分小电站的考察,得到以下几点启示:

(1)美国上世纪已基本完成水电开发,水电开发程度高(达70%以上),中国目前水电开发程度不足30%,需加快水电开发。

(2)美国大坝运行产生了巨大的效益,对美国经济发展和人民生活改善发挥了积极作用。美国的大坝平均年龄55年,在发电、灌溉、防洪、娱乐等方面发挥了且仍发挥着巨大效益。

(3)美国水电对生态环境保护十分重视,鱼类保护要求明确,鱼类保护的方式灵活。根据哥伦比亚河电站的考察,各电站均明确其鱼类保护措施是针对洄游性的鲑鱼和硬头鲑,但各电站鱼类保护的方式并不完全相同。大古力水电站的坝高较高,不适宜设置鱼梯,美国政府同意电站不设置鱼梯,而设置了鱼类增殖站。

(4)从美国水电的大中小型电站(包括100年以上的电站)及无发电任务的大坝改造研究可以看出,美国正尽可能地升级改造,挖掘水电潜力。

参考文献:

- [1] U. S. Energy Information Administration. Electric Power Annual 2011[R]. 2013. 1.
- [2] Douglas D. Boyer, Richard L. Wiltshire, Glenn S. Tarbox. Achievements and Advancements in U. S. Dam Engineering [R]. 2013.
- [3] U. S. Energy Information Administration. Annual Energy Review 2011[R]. 2012. 12

(下转第123页)