

加拿大的能源建设

——访加纪实之一
王民寿

(成都科技大学 成都 610065)

编者按:1992年秋至1993年夏,成都科技大学水利系王民寿教授在加拿大的有关工程公司、能源管理部门和高校进行了访问、考察。在加拿大期间,他除了完成既定的工作,进行了科研、学术交流外,同时还着重考察了加拿大的能源建设、一些在建和已建的土建工程,其中包括一些大型水电站。征得他的同意,现将他以纪实形式写的3篇访问心得,从本期开始,在本刊连续刊登。

“它山之石可以攻玉”文中介绍的情况,对关心我国能源建设工作的同志可能会有一定启发和帮助。

不久前,笔者对加拿大的能源建设进行了较为深入地考察。通过考察,笔者对加拿大的能源建设,特别是水电建设有了较为深入的了解和认识。现将考察访问的心得体会陈述一、二、以飨读者。

1 加拿大电力发展的方针

加拿大电力发展的方针是优先发展水力发电事业,这一方针是根据本国的实际情况确定的。加拿大的水能资源极为丰富,可开发的水能资源为15300万kW,名列世界第四位。按人均水能资源占有率计算约为6kW/人,人均年有水电电能高达28400kW·h/年·人,在世界上也是名列前茅的,不仅远远高于我国,也高于美国。基于这一实际情况,加拿大政府长期坚持优先发展水电的方针。今天加拿大水电在整个电力系统的比重近60%,包括已建和在建工程的水电装机容量,水能资源的利用程度已达50%。当前,加拿大的电能不仅可以充分满足本国工农业和日常生活发展的需要,还有多余的电能出口满足其它国家经济发展的需

要。主要出口供给美国北部接壤的地区用电。在加拿大除了工业、农业及第三产业用电外,民众日常生活用电也受到鼓励,由于水电开发程序合理,先建具有大库容调节性能好的电站,使系统内水电电力充足,供电稳定,电能品质高,更增加了广大用户对水电的信赖和开发水电的积极性。由于水电运行稳定,能适应负荷变化的要求,故对电能成本高的抽水蓄能电站一直未大力发展,近30年来抽水蓄能的装机容量较一般水电装机容量增加缓慢。

尽管火电一次投资较省,但从长远的综合经济效益来看,特别是对生态环境的保护远不及水电。因此,火电和核电的发展均次于水电开发的速度。

2 电力建设既有长远规划 又有短期调控

在能源建设电力开发中,加拿大政府特别注意工、农业及城市、交通发展对电力负荷和其他能源如煤、油、天然气的需求,注意负荷需求的地区性及其要求的轻重缓急。在能源建设和电力开发中不仅有中长期规划,如

电力发展七年、十年规划,同时还有短期过程调控、导向。虽然不少电力公司是私营的,但每个公司开发的具体项目、不同电站在电力系统中承担的任务是调峰、基荷、还是腰荷均有明确的意见。能源管理部门根据分区负荷要求,已投入运行电站的特点,对新建和拟建电站的任务都有具体的建议。这些建议的实施都是和各方面、各部门的经济发展和效益联系在一起。譬如电价随时间、地点、部门及负荷要求不同采取灵活的收费标准。在负荷需求部门能承受、供电部门效益有起码保证的前提下,双方的共识是:电力公司的发展离不开用电单位的发展,用电单位的生存和发展也离不开电力公司的高质量供电和合理收费。能源电力管理部门在电力公司和电力用户之间经常起调控作用,避免无谓的纠纷;协调和平衡各方面的利益。这种平衡、协调作用也在制订的电力管理政策中加以体现。随着时间的推移,生产及环境条件的变化,有计划、分阶段地调整政策。既防止能源电力管理政策条例长期不变而脱离实际情况,又防止变动过于频繁给管理工作造成被动,使平衡、协调工作过于烦琐。通过对加拿大电力发展管理工作的了解,使我深刻体会

到资本主义经济的发展也必须依赖市场和计划的结合;既不能只要市场不要计划,也不能只要计划不要市场,必须是二者正确的结合。社会主义经济要发展,无论那个部门也都不能强调市场需求而忘掉了计划或是相反。

在能源建设的具体开发中,政府规划部门不仅重视计划开发项目的选点。对工程量、投资大、效益高的工程给予高度重视。从可行性到施工图阶段,各个阶段的审查,把关极为严格,并形成制度,列入规程、规范。从工程费用、工期以及采用的施工技术的可行性均有详细审查的细目。

3 重视机电新产品新技术的开发

在电力开发中,加拿大政府不仅重视土建工程及其应用技术的开发,而且对机电工程新产品的研制也十分重视。对新技术、新产品的开发不仅着眼于本国需要,也力求满足国外需要;不仅只满足生产需要,也在攻关和尖端技术上下功夫。这样,在加拿大电力发展的整个过程中,机电设备制造业也蓬勃发展,经久不衰,长期处于世界先进行列。

表 1 加拿大生产的水轮发电机组的代表产品

使用国家	使用电站名称	运行年份	机 型	机组额定出力 (万 kW 万 kVA)	设计水头 (m)	转轮直径 (m)	转子重 (t)	制造厂家
美 国	大苦力三厂	1975	混 流	60	86.9	9.78		DEW
		1978	伞 式	71.8				1710
委 内 瑞 拉	古里二厂 古里一厂	1982	半 伞 式	70.0			1244	CGE
		1977	混 流	36.0			566	CGE
巴 西	伊拉索尔台拉	1973	转 桨	16.15	42	7.35		MIL*
	英霍托	1977	混 流	11.0	21.9	8.37		DEW
	圣西毛	1978	混 流	26.8	72	7.2		MIL*
法 国	谢 拉	1978	可逆混流	24.0	260			MIL*
中 国	七 里 堑	1975	转 桨	6.23	22	8.0		MIL*
加拿大	丘吉尔瀑布	1971	混 流	47.5	312.5	6.0		MIL*
		1971	伞 式	50	312.5		590	CGE
	勃拉左	1965	蓄 能	0.95	14			DEW
	买 加	1976	伞 式	45.7	170		700	CGE
	拉格朗德二级	1979	混 流	33.3	142			DEW

表中 MIL* 是玛林工业公司的缩写。

由表 1 可见,加拿大多米宁工程工厂 DEW (Dominion Engineering Work) 生产的单机 60 万 kW 的混流式机组,1975 年在美国大苦力(Grand Coolie)扩建工程第三期厂房投入使用。由加拿大通用电气公司 CGE (Canada General Electric Co) 生产的 71.8 万 kW 的发电机,1978 年也在美国大苦力三厂投入运行。最近几年,加拿大的机电制造业也瞄准了我国二滩和长江三峡等水电站对大机组的需求,积极开展可行性方案的研究。表 2 便是加拿大针对长江三峡水电站提出的各

类机组的匹配方案。

这些机型早在其它国家安装使用,积累了较长时间的运行经验,在技术上是可信的。近年来,为了摆脱经济危机,加拿大政府又采用低息设备贷款方式向我国和其它发展水电的国家销售单机容量 30 万 kW 以上的水轮发电机组。这些机组不完全是积压产品,不少还是新研制出具有竞争力的新产品。

加拿大杨子江水电开发联合中心 (CYJV) 编制的《三峡工程可行性研究报告》

表 2 三峡工程 175m 方案电站水轮发电机组方案

序号	技经指标项目	单位	I	II	III	IV	V (斜流式)
1	机组台数	台	22	24	26	30	26
2	水轮机额定出力	万 kW	81.6	74.0	69.0	59.8	69.0
3	转轮直径 D	m	11.5	11.0	10.6	9.9	10.3
4	额定转速	r/min	60	62.5	65.2	68.2	78.9
5	水轮机总重量	t	4550	3950	3680	3080	3500
6	装机总容量	万 kW	1795.2	1795.2	1794.0	1794.0	1794.0
7	单机造价比	%	100	93.0	89.5	77.5	90.0
8	全电站和水轮机造价比的百分率	%	2200	2332	2327	2325	
9	和 22 台机组造价比差额百分率	%	0	+1.45	+5.77	+5.68	
10	吸出高度 H	m	-5	-5	-5	-5	-10.9

表 3 加拿大的长距离超高压输电线路

输电起迄地点	开始运行年份	距离 (km)	电压 (kV)	线路回数	送电容量 (万 kW)
马尼克乌塔尔德电站—蒙特利尔	1965	650	735	3	550
戈登姆水电站—温哥华	1968	925	500	2	210
丘吉尔瀑布水电站—蒙特利尔	1971	1300	735	3	500
纳尔逊河水电站—温伯尼	1976	895	直流 ± 450 ± 500	2	362
拉格朗德水电站群—蒙特利尔	1979	1100	735	5	1000

表 4 加拿大的遥控水电站

水电站名称	容量(万 kW)	水电站名称	容量(万 kW)
大湾(Big Bay)	35	三姊妹(Three Sister)	0.3
大角(Big Hon)	10.8	鲁弟尔(Rvhdle)	4.5
浪花(Spray)	10	内湖(Interlakes)	0.5
马蹄(Horse Shoe)	1.5	波卡的里(Pocatterra)	1.7
鬼灵(Ghost)	5.5	门寨(Barrier)	1.29
克纳恩斯克(Kananoskio)	1.94	壶滩(Pots Beach)	122.4
小瀑布(Cascade)	3.0	马尼克-5(Manic-5)	129.25
熊爪(Bear jaw)	1.7		

除了发展水轮发电机组外,长距离、超高压输电线路的发展是又一特点,这方面在近

20年已有长足的进展。表3是几处长距离超高压输电的典型工程。

遥控集中管理小水电是加拿大在电力开发中的又一特点。人口少、劳工缺乏和工农业发展对劳工的需求形成尖锐的矛盾，加拿大全国总人口约2700万，不如我国贵州省的人口多。面对劳工缺乏，只有大力发展技术密集型的工业取代劳动密集型的部门。千方百计采用高科技，减少对劳工的需求。这方面在电力部门，特别是在小水电管理上，采用遥控集中电脑管理表现最突出，并且逐步朝大中型电站遥控集中管理方向发展。如表4所示。

加拿大的机电设备持续发展始终处于世界先进水平。这与重视电气设备生产厂家、研究机构和高校的研究力量密切结合是分不开的。同时他们十分重视科技攻关，并将先进的科技成果迅速转换成生产力。每当新产品问世，能及时征求用户意见，及时改进完善，直到用户满意、运行良好、性能稳定可靠为止。

4 加拿大水电开发的特点

加拿大由于水能资源丰富，又能实施优先发展水电的方针，带动了能源建设的全面发展。迄至1992年底，加拿大全国已建和在建的水电装机总容量约7500万kW。在电力

系统中水电约占总发电能力的60%。虽然水电开发已占水能资源储量的50%，优先发展水电的势头并未衰减。之所以出现水电发展的良性循环是因为加拿大政府，特别是能源管理部门，在水电开发和水工建设方面，从实际出发，扬长避短，充分发挥水电的优点。

4.1 优先开发调节性能好的大型水电站，提高水电的电能品质

一般来说，水力发电较火力发电的供电稳定性差。这是由于水力发电受河道天然迳流洪枯变化影响较大缘故。对于自身无调节而其上游又无具有调节能力的大水库尤其如此。加拿大能源管理部门在水电开发中充分注意了水电运行的这一重要特性。在水电开发程序上注意尽可能优先开发具有调节能力库容大的大电站。特别是河道上游具有调节能力的电站。从而解决了洪枯发电用水不平衡的问题和负荷变化要求发电供水不平衡的问题，保证了水电在电力系统中供电的稳定性，提高了供电的品质。在电力系统中由于水电自身的稳定性好，系统对火电、核电及抽水蓄能电站的发展要求相对较低。这一电力开发措施，把水电的缺点转变成优点，使其优点更加突出，对进一步发展水电增强了说服力，增加了电力用户对水电的信任和好感。

表5 加拿大部份大型水电站的容量和库容

电站名称	河流	运行年份	装机容量 (万kW)	坝高 (m)	坝长 (m)	库容 (亿m ³)	坝型
拉格朗德2	拉格朗德	1982	532.8	160	2835	195.27	土坝/堆石坝
拉格朗德3	拉格朗德	1982	192	98	3923	154.7	土坝/堆石坝
拉格朗德4	拉格朗德	1984	203.2	122	3784	70.75	土坝/堆石坝
丹尼尔约翰逊	马尼夸根河	1968	129.2	214	1314	1418.52	连拱坝
买加	哥伦比亚	1976	261	242	792	246.7	堆石坝
伯纳特W·A·C	皮斯河	1969	227	183	2042	703.1	土坝
勒维尔斯托克	依内西尔卫特	1983	268	153	1626	51.8	土坝/重力坝
伊诺夸伊士	圣劳伦斯	1958		20	603	299.6	重力坝
加德纳	南萨斯喀彻温	1968		68	5090	98.68	土坝

从表5可见，拉格朗德河梯级电站的开发，每个电站均有较大的调节库容。从开发程

序看，第二、三级电站优先于第四级投入运行。这样，在第四级投入运行时，便可得到二、

三级调节的好处,有利于提高其年发电利用小时,不仅可多发电,而且缓解了枯季供电不足的矛盾。马尼夸根河上的丹尼尔约翰逊水电站装机容量129.2万kW,却有一个容量达1418.5亿m³的多年调节水库,其库容之大仅次于前苏联的布拉茨克水电站,居世界第二位。该水库是由一座高214m的连拱坝形成的,它拦截了电站上游的大部分径流,保证了该电站具有出色的调节性能。由于地广人稀,修建大水库移民甚少,移民搬迁、库区淹没赔偿相对较少,建大水库几乎没有障碍。

4.2 选择有利于加快施工进度的坝型
工期长是水电建设中又一较大的缺点,在开发水电资源中,加拿大特别重视缩短建设周期。除了在施工技术和管理上下功夫外,在坝型选择中特别重视发展有利于快速施工的坝

型。加拿大水电开发中,由于地形限制,修建高坝不多,100m以上的高坝仅修建了9座,其中土石坝7座、混凝土重力坝1座、连拱坝1座。在高坝建设中以土石坝为主并非仅仅因为地质因素,而是因为冬季太长、气温太低、混凝土坝施工难度大、成本高、工期长;而土石坝有利于加快施工进度、降低成本、缩短工期。诚然,工期缩短是由于土石坝设计剖面日益紧凑,另一方面施工高度机械化,大型高效的施工机械不断出现的结果。土石坝的坝型结构设计方面加拿大有其自身的特点,在保证结构稳定的前提条件下,如何加快施工进度、降低工程成本方面已经形成系统的经验,不断纳入设计的规程、规范中,指导设计施工的实践。

表6 加拿大的大型地下厂房的主要技术指标

电站名称	装机容量 (万kW)	台数×单机 容量(万kW)	厂房尺寸 长×宽×高 (m)	设计水头 (m)	地质情况	发电时间
拉格朗德二级	532.8	16×33.3	483×26×47	137.1	火成岩、变质岩	1979
拉格朗德四级	263.7	9×29.3	257×33×46	112	花岗片麻岩	1984
丘吉尔瀑布	522.5	11×47.5	300×25×50	312.5	片麻岩花岗岩	1971
买加	261	6×43.5	237×24×57	170	花岗片麻岩	1976
戈登斯勒姆	241.6	8×22.7 2×30	270×26×40	152	砂岩、页岩	1968
马尼克三级	118.5	6×19.75	177×22×38	94	辉长岩	1975
波大基山	183	5×26.6	270×26×40	166	砂岩、页岩	1967

表7 加拿大部份大型水工隧洞的技术参数

工程名称	洞长 (m)	直径 (m)	断面面积 (m ²)	过流量 (m ³ /s)	工作面数	工期(年)	主要岩石 情况
凯马诺	16200	7.6	45.6	136	4	2	
伯尔西米斯	12200	9.4	70.0	425	6	2	
戈登斯勒姆	762	2条 14.5×20	尾水洞 290	共 2000	2	1	砂岩页岩
买加	361、457	2条 15.2×18.3	尾水洞	共 1800	2	1	石英长石片岩
拉格朗德二级	1230	4条 13.7×19.8	尾水洞	共 4300	2	1	花岗片麻岩
拉格朗德二级	762	2条 15×18	导流洞 246	共 7400	2	1	花岗片麻岩
丘吉尔瀑布	692	2条 13.7×18.3	尾水洞	共 2200	2	1	正长岩、片麻岩
马尼克三级	711	φ16.8	导流洞	2400	2	1	辉长岩
买加	893 1093	2条 φ13.7	导流泄水	共 4250	2	1	石英长石片岩

4.3 地下工程规模巨大、设计施工处于世界领先地位

如果说挪威的地下工程占所开发的水电工程的比重在世界上处于领先地位。那末,加

拿大的地下工程,特别是已成的地下厂房的规模在世界上现在仍处于领先地位。世界上最大和次大的地下厂房都在加拿大。这不仅是由于水电站枢纽布置受地形条件限制或从国防安全考虑外,更重要的原因还在于他们认为地下厂房不增加河床施工工作量有利于缩短工程总工期。同时由于加拿大在地下厂房的设计、施工中已经总结出一整套稳妥、可靠、费省、效宏的方法。从表 6 可见,地质良好是修建地下厂房的重要前提。表中除戈登斯勒姆水电站的地质情况稍差外,其余地下厂房的厂址地质情况都相当好。即便前者,通过工程处理,建成后投入运行、至今仍安全无恙。

在加拿大的地下工程中水工隧洞也是颇具规模的,其建设规模之大,施工进度之快也具有世界先进水平。

丘吉尔瀑布水电站落差近 300m,设计者主要利用瀑布落差筑低坝壅水发电。虽然坝体工程量较小,但地下工程量却很大。一座装机容量 522.5 万 kW 的水力发电厂全部建在地下,整个枢纽工程的总工期仅四年另三个月,该工程尽管 20 多年前就已建成,但这个建设速度至今仍然是先进的。凯马诺水电站 16200m 的长引水隧洞、直径 7.6m,实际施工工期(包括施工准备)仅两年,平均年单口(一个工作面)的进尺超过 2000m,该工程比我国大瑶山铁路隧道还长约 2km,但其工期却短 50%以上,足见其施工技术组织的先进、施工速度之快捷。其它几个采用钻爆作业的水工隧洞也具有典型意义,其主要技术参数如表 7。

4.4 专业教育企业化有利于培养专业人才

加拿大的能源建设,特别是水电开发是卓有成效的。这不仅和他们方针、政策正确、注重国际间的技术合作交流、适时引进国外先进技术密切相关,同时与他们重视培养和创造先进技术的人才分不开。在加拿大全国高等学校中,凡有工科专业的普遍设置了土

木建筑专业。培养的人才可以说是土建的通才,房建、铁路、公路、桥隧、水工都懂一点但谈不上深入。要适应某一方面的专门需要还有一段距离,这段差距一方面通过该专业的工作实践边干、边学;另一方面就是通过主管部门、企业在职培养。在职培养的特点,是企业提出教学计划、教学大纲、教学内容。根据实际需要和可能,教学时间可以是一个月、三个月、半年、一年或两年不等,时间的长短也和学员的基础程度有关。参加培养的师资,部分是全日制高校的教师,大多数是主管部门和企业内具有丰富实践经验的专家和工程技术人员,不少是高级工程师、经济师。办学的经费主要由企业、部门负担或某一项大型工程完工后的结余提成或奖励提成。

专业教育通过企业化的在职培养更有利于变通才为专门人才,更有利于实现在职人员的知识更新。这种在职培养方式、教学安排的针对性强,有利于将企业生产中面临需要及时解决的问题纳入教学内容,将先进的科学技术适时在教学中加以反映,从而使教学更易于达到学以致用目的。这种办学方式较为灵活,办学规模大小、层次高低、时间长短都根据企业自身的实际情况和学员的实际情况而定。这种培养方式受到普遍欢迎。在我们所访问的几个电力管理部门和工程建筑公司都有在职培养的职业学校或训练班。生产部门的中下层职工一般都在这类学校和培训班学习过。

4.5 灵活的组织管理调动职工的积极性

加拿大国内有各种土建工程公司,承建各种土建工程。如房建、机场、铁道、公路、大中型桥隧、港口码头、水利水电工程。根据不同公司的承建能力和主管部门同意该公司营业的地域范围,有跨国的、全国的、省市的以及地方部门的;均有营业执照,长的已有几十年的历史,在国内和世界上有的已有相当声誉。各个工程公司经济都是独立核算的,不同公司职工工资是不同的。但就总体而言,工程

施工单位的工资较设计单位高 40%~80%，同一个单位工资标准在一段时间变化不大，但职工的实际收入视不同时段公司的经营情况、职工承担任务的繁简、完成任务的多少、好坏而定。对于某些特殊艰巨的任务，除了公司的基本队伍中抽调一部分精兵良将外，还用高薪征聘一些技术水平高(或具有某种专门技术)、身体素质好的技术人员和工人。譬如，在加拿大北部严寒地区，年冰冻时间有的长达 8、9 个月，不仅工点上没有居民，从南部去沿途居民也极少。若为电站修建专用的施工交通运输线路，无论是修公路还是修铁路都不经济。不仅工程费用高、施工工期长，而且道路的养护也十分困难，电站建成后这类道路再难发挥效益。故在修建这些地区的水电站通常不修对外交通道路，或只修场外有价值的地段和场内施工道路。外运物资、器材设备绝大部分在解冻后用船运到工地备用，施工人员进场可乘船，但大部分时间是乘直升飞机往返于城市和工地之间。由于施工人员不多，且有休假限制，一年外出一般不超过一个月(在用人合同上有规定)。因此，空运任务并不重。施工人员在工地生活单调、工作辛

苦。但施工人员的这种损失公司用比在城市高 6~7 倍的高薪来弥补。譬如在渥太华一个工程师月薪约 8000 多加元，到这些艰苦地区施工，月薪可以高达 4~5 万加元，工程完成后可志愿解约另谋职业。所以这类招聘应聘的人往往比招聘的人多几倍；这些人员招聘时都要通过各种考核、择优录用。到工地后还有一套调动积极因素的奖励措施。所以一般不存在到了施工第一线不认真干工作的现象。倘有这种情况发生，用人部门很容易解雇这类人，被解雇者也很难受人同情。也很容易解决人员的顶替和补充问题。在施工第一线工资支出增加了，但由于施工效率提高了，相应地减少了劳动力需求。使施工的准备工程量大为减少，房建和交通工程设施简化，减少了施工准备费、缩短了“三通一平”时间。由于第一线生产管理人员的特殊待遇，带来的是生产积极性空前高涨，由此创造的经济效益是十分可观的。其投入和产出的效益比，往往是无法估量的。对于正处于深化改革的我国水电施工队伍，作为政策导向，加拿大的经验不能不说有可供借鉴之处。

(待续)

本刊 1994 年第 2 期要目预告

把加速水电资源开发放到战略高度 石万俭
 浅谈抽水蓄能电站的特点及其优越性 蒙尊潭
 以水电为主的四川电力系统中修建抽水蓄能电站的必要性
 初析 白春风等
 龙池——一个值得积极研究的大型抽水蓄能电站
 叶有珍
 论“引椒济岷”工程的必要性及可行性 ... 罗汉卿 阮基康
 枝叶截蓄与蒸散发模型及界面水分效应——森林流域水文
 模型研究之二 陈祖铭 任守贤
 龚嘴水库水量平衡计算中若干问题探讨 顾大勤

运用水情自动化测报系统对宝珠寺水电站的防洪调度 ...
 刘映德
 声波探查砼裂缝深度的数学分析与实践 王清玉
 重力坝深层抗滑可靠度分析探讨 兰仁烈
 世界上最深混凝土防渗墙的施工及观测——访加纪实之二
 王民寿
 挪威的沥青混凝土心墙堆石坝(二) 李子铮编译
 污染物在水环境中迁移扩散的基本理论
 新学科发展综述之二 李克锋等