

第一篇

概 述



中华人民共和国成立以来，水电事业飞速发展，截止 1999 年末，全国运行水电厂总装机容量已接近 7297 万 kW，列居世界第二位。本卷内容主要是论述我国水电厂在运行管理技术方面的成绩、经验教训和已达到的水平，以及与国外先进水电厂的差距。在几十年运行实践的基础上，详细总结了我国水电厂在机电设备运行、维护、检修和现代化改造方面，在水工建筑物安全管理、监测和维修加固方面，以及在水情测报、预报和水库调度运行方面的先进经验、技术成果和新技术、新工艺、新理论、新方法、新发展。

本篇对截止到 1997 年末的我国大、中型运行水电厂基本情况做了统计分析，简要介绍了本卷所编写的各项技术内容，并阐述了我国水电在各类电网中的地位、作用和经济效益。

第一章

我国运行水电厂基本情况

本章对我国运行水电厂的装机容量、发电量、比重、规模、类型、水库、大坝以及机组等方面的基本情况，作了统计分析介绍，并介绍了我国水电在世界上的排名。

第一节 全国水电装机容量和发电量情况

根据电力工业部统计资料，1949年中华人民共和国成立时，全国水电总装机容量仅有163MW，主要是东北地区的丰满、镜泊湖水电厂及内地一些小水电厂，当年发电7.1亿kW·h。发展到1997年末，全国运行水电厂总装机容量已达到59730MW，当年发电量达1945.7亿kW·h。从1949年到1997年这48年来，我国水电装机容量增长了366.4倍，年均增长率达13.1%。水电年发电量增长了274倍，年均增长率达12.4%，这的确是一个飞跃的变化和发展。

下面列出了1949~1997年全国水电装机容量、发电量及比重表（不含台湾省），并依此绘制了水电增长过程线，分别见表1-1及图1-1。

表 1-1 1949~1997年全国水电装机容量、发电量及比重表

年份	电力工业总装机容量 (MW)	其中水电装机容量 (MW)	水电装机容量比重 (%)	电力工业总发电量 (亿 kW·h)	其中水电发电量 (亿 kW·h)	水电发电量占总发电量的比重 (%)
1949	1848.6	163.0	8.8	43.10	7.10	16.5
1950	1866.0	165.0	8.8	45.50	7.80	17.1
1951	1883.0	181.0	9.6	57.50	9.30	16.7
1952	1964.0	188.0	9.6	72.61	12.60	17.4
1953	2350.0	333.0	14.2	91.95	15.40	16.7
1954	2598.0	409.0	15.7	109.86	21.84	19.9
1955	2997.0	498.0	16.6	122.77	23.60	19.2
1956	3884.6	896.6	23.1	105.93	34.60	20.9
1957	4635.0	1019.0	22.0	193.35	48.20	24.9
1958	6288.1	1215.9	19.3	275.31	41.05	14.9
1959	9536.7	1620.4	17.0	422.89	43.60	10.3

续表 1-1

年份	电力工业总装机容量 (MW)	其中水电装机容量 (MW)	水电装机容量比重 (%)	电力工业总发电量 (亿 kW·h)	其中水电发电量 (亿 kW·h)	水电发电量占总发电量的比重 (%)
1960	11918.3	1940.6	16.3	594.24	74.12	12.5
1961	12855.9	2332.7	18.1	480.50	74.07	15.4
1962	13037.2	2378.7	18.2	457.95	90.42	19.7
1963	13328.7	2429.8	18.2	489.76	86.90	17.7
1964	14060.9	2682.9	19.1	559.76	105.96	18.9
1965	15076.3	3019.6	20.0	676.04	104.14	15.4
1966	17017.5	3637.8	21.4	825.22	126.17	15.3
1967	17993.0	3839.0	21.3	773.75	131.37	17.0
1968	19162.9	4387.6	22.9	715.87	115.00	16.1
1969	21036.2	5053.4	24.0	940.28	160.12	17.0
1970	23770.0	6235.0	26.2	1158.62	204.58	17.7
1971	26282.0	7804.0	29.7	1383.57	250.59	18.1
1972	29501.0	8700.0	29.5	1524.50	288.20	18.9
1973	33925.0	10299.0	30.4	1667.60	389.00	23.3
1974	38180.0	11817.0	31.0	1688.50	414.40	24.5
1975	43406.0	13428.0	30.9	1958.40	476.30	24.3
1976	47147.4	14655.0	31.1	2031.30	456.40	22.5
1977	51450.5	18765.0	30.6	2234.04	476.48	21.3
1978	57122.1	17277.4	30.2	2565.52	446.32	17.4
1979	63915.9	19110.4	30.3	2819.50	501.20	17.8
1980	65869.1	20318.0	30.8	3006.27	582.11	19.8
1981	69132.6	21933.4	31.7	3092.69	655.46	21.2
1982	72359.8	22959.3	31.7	3276.78	743.99	22.7
1983	76444.9	24164.6	31.6	3514.39	863.57	24.6
1984	80116.9	25599.7	31.9	3769.91	867.84	23.0
1985	87053.2	26420.0	30.3	4106.89	924.00	22.5
1986	93818.5	27583.0	29.4	4495.91	944.00	21.0
1987	102897.0	30193.2	29.3	4973.01	1002.29	20.2
1988	115497.1	32698.1	28.3	5450.65	1091.77	20.0
1989	126638.6	34583.3	27.3	5846.75	1184.54	20.3
1990	137890.0	36045.5	26.1	6213.18	1263.50	20.3
1991	151473.1	37883.5	25.0	6774.94	1248.45	18.4
1992	166532.4	40680.7	24.4	7541.89	1314.66	17.4
1993	182910.7	44592.5	24.4	8364.29	1507.43	18.0
1994	199897.2	49060.8	24.5	9278.78	1667.86	18.0
1995	217224.0	52184.0	24.0	10069.48	1867.72	18.5
1996	236541.6	55577.9	23.5	10793.58	1869.18	17.3
1997	254238.2	59730.2	23.5	11342.04	1945.71	17.2
合计				138997.1	26780.9	17.3

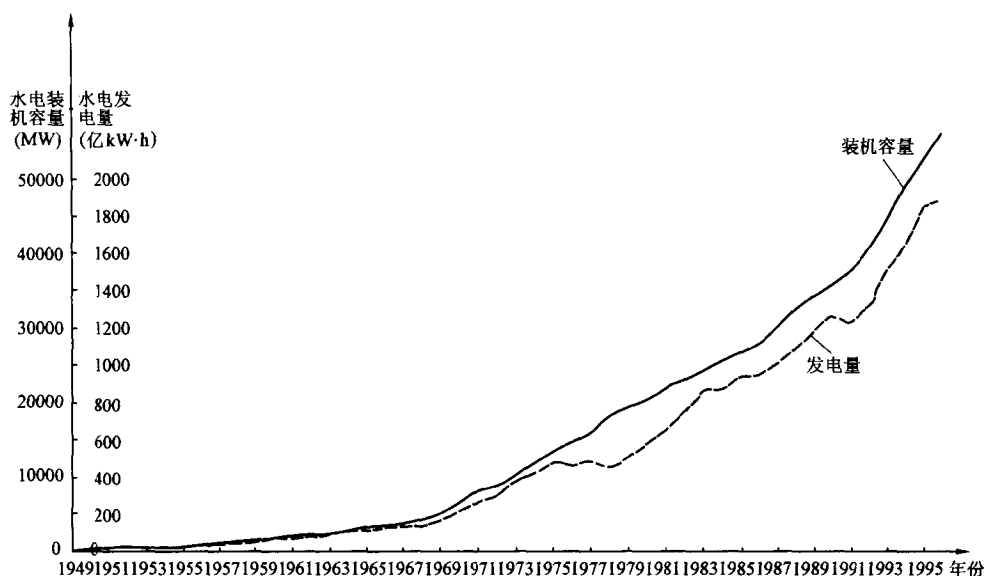


图 1-1 水电增长过程线

从图 1-1 中可以看出，水电装机容量增长速度在 50~60 年代相对较慢，70~80 年代发展速度加快，而在 90 年代增长速度最快。从水电发电量增长情况看，大体上也是这种趋势，但水电年发电量还与当年来水丰枯有很大关系，因此其增长过程线呈波浪形。从表 1-1 中可以看到，历年水电装机容量比重从 1949 年的最低点 8.8%，发展到 1984 年最高峰 31.9%，然后逐年下降，到 1997 年只有 23.5% 了。而历年水电发电量比重则呈起伏波浪形，大致在 15%~25% 之间波动，最小年份为 1966 年，全国水电发电量比重只有 15.3%，最大为 1957 年，水电发电量占全国总发电量的 24.9%，而 48 年中水电发电量平均比重为 17.3%。总而言之，我国电网电源结构长期以来一直以火电为主，大体上水电装机容量占四分之一。而水电发电量则占六分之一左右。

第二节 我国水电装机容量和年发电量在世界上的排名

根据《1997 年世界水电和大坝图集》（《Hydropower & Dams World Atlas 1997》）统计的 1996 年世界各国水电情况资料，我国 1996 年水电装机容量排名世界第三位，仅次于美国和加拿大，比巴西略多，超过第五位的俄罗斯约 23%。我国 1996 年水电发电量排名世界第四位，仅次于加拿大、美国和巴西，与俄罗斯相当。这说明了我国水电厂生产运行已进入世界前列。详见表 1-2 所示 1996 年水电世界排名前十名表。到 1999 年末，我国水电装机容量和年发电量均居世界第二。

表 1-2

1996 年水电装机容量和年发电量世界排名前十名

水电装机容量排名			水电年发电量排名		
名次	国家	水电装机容量 (MW)	名次	国家	水电年发电量 (亿 kW·h)
1	美国	74856	1	加拿大	3306.90
2	加拿大	64770	2	美国	2963.78
3	中国	52180	3	巴西	2500.00
4	巴西	51100	4	中国	1668.00
5	俄罗斯	39986	5	俄罗斯	1628.00
6	挪威	26000	6	挪威	1126.76
7	法国	23100	7	日本	913.01
8	日本	21171	8	印度	722.83
9	印度	20576	9	法国	655.00
10	瑞典	16450	10	瑞典	635.00

第三节 水电厂规模统计分析

根据我国现行规定，水电厂按单厂装机容量规模大小，分为大、中、小三类。装机容量 250MW 以上的为大型水电厂，其中 1000MW 以上的可称为特大型水电厂；装机容量 25~249MW 的为中型水电厂；装机容量 24MW 以下的为小型水电厂。

按此规定，我国 1997 年末，水电总装机容量为 59730.2MW，其中大、中型水电厂有 141 座，装机容量共 37729.1MW，占水电总装机容量的 63.2%。这里面有大型水电厂 40 座，装机容量共 29036.7，占水电总装机容量的 48.6%，将近一半，这是我国各个电网中的骨干电厂。中型水电厂有 101 座，装机容量共 8692.4MW，占 14.6%。大型水电厂中的特大型水电厂（按单厂计算）共有十座，其装机容量共 14192MW，占 23.8%，接近水电总装机容量的四分之一。详见表 1-3 所示的我国装机容量 1000MW 以上的特大型水电厂名单（按装机容量大小排序）。还有两座水电厂于 1998 年成为了装机容量 1000MW 以上的特大型水电厂，它们是李家峡水电厂（1600MW）和丰满水电厂（1002MW）。再加上 1999 年达到的天荒坪抽水蓄能电站（1200MW）和二滩水电厂（3300MW），到 1999 年末，我国已有 14 座投运的百万千瓦级水电厂。

表 1-3 我国装机容量 1000MW 以上的特大型水电厂名单（截止 1997 年末）

序号	水电厂名称	所在省（区）	所在河流	装机容量 (MW)	机组 台数	单机容量 (MW)	发电年份
1	葛洲坝	湖北	长江	2715	19/2	125/170	1981
2	白山	吉林	松花江	1500	5	300	1983

续表 1-3

序号	水电厂名称	所在省(区)	所在河流	装机容量 (MW)	机组 台数	单机容量 (MW)	发电年份
3	水口	福建	闽江	1400	7	200	1993
4	龙羊峡	青海	黄河	1280	4	320	1987
5	漫湾	云南	澜沧江	1250	5	250	1991
6	刘家峡	甘肃	黄河	1225	1/4	260/225	1969
7	隔河岩	湖北	清江	1212	2/2	300/306	1993
8	岩滩	广西	红水河	1210	4	302.5	1992
9	五强溪	湖南	沅水	1200	5	240	1994
10	广州抽水蓄能	广东	流溪河	1200	4	300	1993

按原电力工业部 1997 年统计,我国小型水电厂约有 11000 座(含一部分地方管辖的中型水电厂,未统计在电力口内的约有 65 座,装机容量约 2393MW),总装机容量 22001.1MW,占水电总装机容量的 38.2%,超过三分之一。对我国广大县、镇、乡、村地区,特别是偏远山区的供电有十分重要的作用。详见表 1-4 所示我国水电厂规模类型表(按单厂统计)。

表 1-4 我国水电厂规模类型表(按单厂统计)

水电厂规模类型	座数	装机容量 (MW)	比重 (%)	平均装机容量 (MW)
大型	40	29036.7	48.6	725.9
其中: 1000MW 以上特大型	10	14192.0	23.8	1419.2
1000MW 以下大型	30	14844.7	24.8	494.8
中型	101	8692.4	14.6	86.1
小型	11000	22001.1	36.8	2.0
大中型合计	141	37729.1	63.2	267.6
总计	11141	59730.2	100.0	5.4
小型中含的中型	65	2393.0	4.0	36.8
全部中型	206	11085.4	18.6	53.8
实际的小型	10794	19608.1	32.8	1.8

第四节 水电厂及厂房类型统计分析

水电厂类型一般按水头形成的方法来划分,基本上由筑坝而形成水头的水电厂称为坝式,主要或部分由引水道形成水头的水电厂称为引水式。到 1997 年未止,在已运行

的 141 座大、中型水电厂中，坝式的有 90 座，占 63.8%，引水式的有 51 座，占 36.2%。其中大型（含特大型）水电厂绝大多数是坝式，最大的坝式水电厂是葛洲坝水电厂（2715MW），最大的引水式水电厂是广州抽水蓄能电厂（1200MW）。

在坝式水电厂中，发电厂房相对于大坝的位置不同可分为河床式、坝后式、坝内式及坝下式等四种类型。河床式厂房共 25 座，都是低水头电厂，厂房为大坝的一部分，承受全水压，其中黄河青铜峡水电厂（302MW）情况比较特别，厂房分散设在溢流坝的闸墩中，一个闸墩就是一个厂房机组段；坝内式厂房有 6 座；坝后式厂房有 34 座，厂房紧靠大坝，由坝内压力钢管引水进厂房，坝后式厂房在布置上比较特别的有浙江省新安江水电厂（662.5MW）和贵州省乌江渡水电厂（670MW），它们的坝后式厂房房顶或其上方兼作溢流之用；坝下式厂房有 25 座，厂房设在坝下两岸，用引水隧洞或引水渠绕坝引水，一般引水道不长，厂房一般是地面式（也有地下式的）。

引水式水电厂有 51 座，其厂房可分地面式和地下式两种。地面式厂房有 34 座；地下式厂房有 17 座，其中有 2 座是半地下式厂房。引水隧洞长度超过 5000m 的有 11 座，最长的是四川省太平驿水电厂（260MW），为 10497m。

详见下表 1-5 所示我国大中型水电厂类型统计表。

表 1-5 我国大中型水电厂类型统计表

电厂类型	坝 式				引水式	
	河床式	坝内式	坝后式	坝下式	地面式	地下式
座数	25	6	34	25	34	17
小计	90				51	
合计	141					
此类型最大水电厂	葛洲坝	凤滩	李家峡	白山	天生桥二级	广州抽水蓄能
装机容量 (MW)	2715	400	1600	1500	880	1200

第五节 水电厂水库、大坝统计分析

全国 141 座大中型水电厂水库的总库容为 2929.8 亿 m^3 ，接近 3000 亿 m^3 。其中发电库容为 1352.3 亿 m^3 ，占总库容的 46.2%；防洪库容为 514.3 m^3 ，占 17.6%，其余为死库容 1060.2 m^3 ，占 36.2%。正是这些水库容积发挥了巨大的发电、防洪、灌溉、供水、养殖、航运、过筏、旅游、改善环境等综合利用效益。

全国具有 100 亿 m^3 以上库容的水电厂水库共有 7 座。总库容为 1243.9 亿 m^3 ，占全部 141 座水库总库容的 42.5%。详见表 1-6 所示具有 100 亿 m^3 以上库容的水电厂水库一览表。

表 1-6

具有 100 亿 m³ 以上库容的水电厂水库一览表(亿 m³)

序号	名称	所在省	所在河流	总库容	防洪库容	发电库容
1	龙羊峡	青海	黄河	274.4	51.8	193.6
2	新安江	浙江	新安江	216.3	47.32	102.7
3	丹江口	湖北	丹江	198.0	23.2	102.0
4	三门峡	河南	黄河	159.4		17.5
5	水丰	辽宁	鸭绿江	149.0	29.82	77.38
6	新丰江	广东	新丰江	139.0	15.0	64.91
7	丰满	吉林	松花江	107.8	26.74	53.49
合计				1243.9	193.9	611.6
比例 (%)				100.0	15.6	49.2

全国具有 10~99 亿 m³ 库容的水电厂水库共有 43 座, 总库容 1172.3 亿 m³, 占 141 座水库的 40.1%。其中防洪库容 253.9 亿 m³, 发电库容 582.2 亿 m³。

以上 50 座水电厂水库(库容在 10 亿 m³ 以上)的总库容为 2416.2 亿 m³, 占全部总库容的 82.6%, 这些都是骨干水库。

到 1997 年末, 全国已运行的 141 座大、中型水电厂中形成水库的大坝共有 139 座(不算副坝)其中混凝土坝 110 座, 占 79.1%, 土石坝 29 座, 占 20.9%, 各种坝型情况见表 1-7 所示各种坝型分类表。

表 1-7

各种坝型分类表

坝型	土石坝		混凝土坝								
	土坝	堆石坝	重力坝					重力拱坝	拱坝		支墩坝
			闸坝	重力	宽缝重力	空腹重力	拱形重力		拱坝	连拱坝	
座数	21	8	14	49	14	6	3	5	10	2	7
			86						12		
	29		110								
	139										
最大坝高 (m)	101.6	103.8	53.8	147	113.75	112.5	165	178	166	88.2	129
水电厂名	碧口	鲁布革	葛洲坝	刘家峡	云峰	凤滩	乌江渡	龙羊峡	东风	梅山	湖南镇
装机容量 (MW)	300	600	2715	1225	400	400	630	1280	510	40	270

这些大坝中，坝高超过 100m 的有 27 座，占大坝总数的 19.4%。最高的是青海省的龙羊峡大坝，为混凝土重力拱坝，高 178m。详见表 1-8 坝高超过 100m 的大坝一览表。

表 1-8 坝高超过 100m 的大坝一览表

序号	坝型	大坝名称	所在省（区）	坝高	本类名次	总排名
1	重力坝	刘家峡	甘肃	147	1	8
2		宝珠寺	四川	139	2	9
3		安康	陕西	128	3	11
4		漫湾	云南	126	4	12
5		故县	河南	121	5	13
6		黄龙滩	湖北	107	6	17
7		岩滩	广西	106	7	18
8		三门峡	河南	106	8	19
9		水丰	辽宁	106	9	20
10		水口	福建	101	10	27
11	宽缝重力坝	云峰	吉林	113.75	1	14
12		潘家口	河北	107.5	2	16
13		新安江	浙江	105	3	21
14	空腹重力坝	凤滩	湖南	112.5	1	15
15	拱型重力坝	乌江渡	贵州	165	1	3
16	重力拱坝	龙羊峡	青海	178	1	1
17		隔河岩	湖北	151	2	6
18		白山	吉林	149.5	3	7
19	双曲拱坝	东风	湖南	166	1	2
20		李家峡	青海	165	2	4
21		东江	湖南	157	3	5
22		紧水滩	浙江	102	4	25
23	支墩坝	湖南镇	浙江	129	1	10
24		新丰江	广东	105	2	22
25		柘溪	湖南	104	3	23
26	土坝	碧口	陕西	101.6	1	26
27	堆石坝	鲁布革	云南	103.8	1	24

表 1-8 中所有坝型均有高达 100m 以上的大坝。在高达 100m 以上的大坝中，混凝土坝 25 座，土坝 1 座，堆石坝 1 座。

第六节 水轮发电机组统计分析

全国 141 座大、中型水电厂中共安装有各类水轮发电机组 537.5 台（中朝界河鸭绿江上的水丰水电厂有 7 台机组，双方各 3.5 台），其中混流式机组 355.5 台，占 66.1% 轴流式机组 140 台，占 26.0%，冲击式机组 22 台，可逆式机组 15 台，贯流式机组 5 台。详见表 1-9 所示水轮发电机组统计表。

表 1-9 水轮发电机组统计表

	混流式	轴流式	冲击式	可逆式	贯流式	合计
台数(台)	355.5	140	22	15	5	537.5
百分比(%)	66.1	26.0	4.1	2.8	0.9	100
最大单机容量(MW)	400	200	36	300	18	400
所在水电厂	李家峡	水口	小江	广州蓄能	马迹塘	李家峡
最大转轮直径(cm)	830	1130	170	553	630	1130
所在水电厂	五强溪	葛洲坝	小江	潘家口蓄能	马迹塘	葛洲坝
最高工作水头(m)	327.7 (295~372.5)	47 (30~58)	602 (589~629)	816 (802~842)	6.55 (2.8~8.5)	602 (589~629)
所在水电厂	鲁布革	水口	小江	羊湖	马迹塘	小江

我国 300MW 档次的常规水电机组共有 4 厂 17 台（青海省龙羊峡水电厂 4 台、湖北省隔河岩水电厂 4 台、广西岩滩水电厂 4 台和吉林省白山水电厂 5 台）。

在所有机组中，引进机组有 58 台，占 11%，主要有广州抽水蓄能电厂 4 台 300MW 可逆式机组、湖北省隔河岩水电厂 2 台 300MW 及 2 台 306MW 混流式机组、北京十三陵抽水蓄能电厂 4 台 200MW 可逆式机组、云南省鲁布革水电厂 4 台 150MW 混流式机组、河北省潘家口抽水蓄能电厂 3 台 90MW 双转速可逆式机组以及湖南省马迹塘水电厂 3 台 18MW 贯流式机组等，其余为早期引进的机组，以上 58 台机组分别从美国、日本、法国、意大利、德国、加拿大、挪威、奥地利、捷克、俄罗斯、乌克兰、罗马尼亚及芬兰等 13 个国家引进的。另外还有 12 台机组为合作引进机组，引进技术，合作生产，这就是福建省水口水电厂 7 台 200MW 轴流转桨式机组及湖南省五强溪水电厂 5 台 240MW 混流式机组。以上这些引进机组运行情况良好。

装机 8 台以上的水电厂共有 5 厂 60 台机组，长江葛洲坝水电厂机组台数最多，为 21 台，其次是东北的丰满水电厂 12 台，浙江省新安江水电厂及黄河上的盐锅峡和青铜峡水电厂各 9 台。装机 4~7 台的有 67 个厂。

有关以上 141 座大、中型水电厂的地理位置，主要技术经济参数以及 1997 年实际运行情况，详见本篇附表《我国 1997 年大、中型水电厂生产运行情况及主要参数一览表》。

第二章

我国水电厂生产运行管理简况

本章首先简要讲述了我国水电厂生产运行管理的发展过程，然后分别对本卷以下各篇（机电设备运行、检修，水工建筑物安全管理、监测和维护加固，水情测报，预报和水库调度等）的基本内容作一概要介绍。

第一节 我国水电厂生产运行管理的发展过程

我国大中型水电厂生产运行管理方式经历了 50 多年漫长的发展过程。总的说来是：从最早的日本 40 年代的运行管理模式到一边倒照搬原苏联 50 年代的运行管理模式逐步过渡到我国自己的运行管理模式。改革开放以来，特别是 90 年代以来，引进了欧美发达国家先进的运行管理模式，使我国水电厂的生产运行管理逐步与国际先进水平接轨。

一、40 ~ 50 年代初采用日本当时的水电厂运行管理模式

早在 1949 年新中国成立之前，我国东北地区在日本占领下首先修建了牡丹江上的镜泊湖水电站（32MW，1942 年发电）及第二松花江上的丰满水电站（设计装机 8 台，共 560MW，1943 年 1 号机发电，到 1945 年日本投降时已运行 4 台，到 1949 年解放时只剩下两台），后者当时号称亚洲第一。另外，国内还有十几座小型水电站，总装机容量不到 12MW，其中最大的仅 3MW。当时东北的两座大、中型水电站是由日本人管理，雇用了一部分中国技术人员和技术工人，完全按照日本 40 年代的模式进行生产管理，1945 年日本投降后，日本的主要技术人员一直留用到 1953 年。因此可以说，我国水电站一开始是采用日本管理模式的，其主要特点是（以丰满水电站为例）：电厂运行工作由电气事务所管理，下设三个值及一个调度，电气值班员与机械值班员分开，值班员只管运行，不管维护和检修，后者由当时从事施工安装的各个工场负责；检修方式是事故检修；机组开停机等在中央控制室操作，机旁有人值守；没有操作票等制度，但上下级关系严格，下级对上级绝对服从。

二、50 ~ 60 年代初采用原苏联当时的水电厂管理模式

新中国成立后，从 1953 年起在原苏联的帮助下完建了丰满水电站，到 1960 年 8 台

机全部发电，这期间原苏联为东北的丰满、云峰、宁夏自治区的青铜峡、浙江省的富春江、广西自治区的西津和湖北省的丹江口等水电厂提供了机组设备和安装服务。当时在一边倒学习苏联的口号下，电力系统引进了苏联管理模式，照搬了苏联的各种生产运行管理法规、规程和规范，水电厂也不例外。1960年苏联专家全部撤走后，还沿用了很多年。当时在各水电厂实行的苏联生产管理模式主要特点是：采用当时苏联火电厂的生产管理方式，即运行、维护和检修一条龙方式，电气分场管电气运行、维护和检修，机械分场管机械运行、维护和检修，水工分场管水务、观测和维修；运行值班操作开始实行操作票、工作票及巡回检查等制度；检修方面采用预防性检修，即计划检修方式，到期必修，修必修好，主要设备已有了检修规程；另外，特别强调安全第一。

三、我国自己的水电厂管理模式

进入60年代，我国第一座自行设计、施工和设备制造安装的浙江省新安江水电厂投产发电（1961年、665MW），同期投产了广东省的新丰江（1960年、292.5MW）、甘肃省的盐锅峡（1961年、396MW）、湖南省的柘溪（1962年、447.5MW）、吉林省的云峰（1965年、400MW）、湖北省的丹江口（1968年、900MW）和甘肃省的刘家峡（1969年、1225MW）等一大批水电厂。为了搞好生产运行，这些厂派出大批人员到丰满水电厂实习，同时从丰满水电厂输出大批成建制的管理干部、技术人员和技术工人到这些新厂去搞生产运行，从而把丰满水电厂这一套生产运行管理方式和生产检修技术推广到全国。70年代我国又有四川省的龚嘴（1970年、700MW）、陕西省的碧口（1971年、300MW）、河南省的三门峡（1973年、400MW）和湖南省的凤滩（1978年、400MW）等大型水电厂投产发电。一直到80年代初期，葛洲坝（1981年、2715MW）、贵州省的乌江渡（1980年、630MW）和吉林省的白山（1983年、1500MW）等大型水电厂陆续投运，都有丰满水电厂输出的干部和技术人员到那里搞生产运行管理。因此，我们把丰满水电厂称为中国水电之母。

丰满水电厂这一套运行管理办法和生产维修技术主要是吸取了当时日本模式和苏联模式的长处，结合自己创造出来的经验（例如赵庆夫同志1952年提出的科学安全运行法等）并推行到了全国。

70年代，电力工业部在丰满和其他水电厂生产运行管理经验的基础上，吸取了苏联模式的长处，编制、颁发了全国性的水电厂各项生产运行管理规程和规范，逐步形成了我国自己的运行管理模式。这以后又不断地进行完善，一直实行到现在。

我国自己这套水电厂生产运行管理模式的主要特点是：根据水电厂生产运行特点，实行运行和检修分开的办法，一般都设运行分厂和机电分厂，运行分厂只管运行，机电分厂管维护和检修。水工方面的工作由水工分厂负责，水库调度一般归水工分厂管。在运行管理方面主要是严格执行“两票三制”（即操作票、工作票、交接班制、巡回检查制、设备缺陷管理制度）和四项工作制度（安全生产制度、运行分析制度、技术培训制度、生产岗位责任制度），在维护检修管理方面，主要是实行计划检修制度，在坚持安

全第一和质量第一的前提下，到期应修必修，修必修好。健全了各种设备的检修规程和检修定额，严格执行岗位责任制和技术监督、设备试验、缺陷管理、质量验收、技术档案以及安全管理等制度。水工方面也有相应的一套管理规程和制度，每年进行设备评级，定期进行大坝安全检查。后期又相继开展了设备可靠性管理、企业整顿、达标和创一流等指标考核活动，对加强水电厂生产运行管理都起到了很好的作用。

四、与世界先进国家的水电厂管理模式接轨

改革开放以来，从 80 年代后期开始，特别是进入 90 年代，我国装机容量在 1000MW 以上的特大型水电厂相继大批投产发电（见表 1-3），其中很多是引进了发达国家的先进设备，例如，广东省广州抽水蓄能电厂的 4 台 300MW 可逆式机组全部是法国设备，湖北省隔河岩水电厂 4 台 300MW（306MW）混流式机组全部是加拿大设备，福建省水口水电厂 7 台 200MW 轴流式机组是引进日本技术，中日合作生产的设备，湖南省五强溪水电厂 5 台 240MW 混流式机组是引进德国技术，中德合作生产设备，再加上云南省鲁布革水电厂采用挪威设备，湖南省马迹塘水电厂采用奥地利的贯流式机组等。在引进设备的同时必然地引进了这些先进国家的水电厂管理模式。特别是广州抽水蓄能电厂一开始就聘请了法国厂长，试行了法国的管理模式，同时考虑了我国的一些特点，取得了成功。全厂定员只有 80 多人，主要负责运行和维护，不设大修人员（法国设备在正常维护下，保证十年一次大修），将来大修时采取外包方式。全厂均由计算机监控，实行无人值班制（目前每值还有一人），维护工作实行定时巡回检查维护制及厂外随叫随到制（on call），有一套严格的防误操作系统，确保在人少情况下的安全操作和维护。岗位责任制很严格，要求人员素质很高，技术人员要一专多能，要求是多面手。电力工业部肯定了广州抽水蓄能电厂的经验，要求我国各水电厂向他们学习，逐步推行无人值班（少人值守）的生产运行管理模式，与国际先进水平接轨。

第二节 水电厂机电设备的运行和检修技术简述

本节简要介绍我国水电厂机电设备的运行和检修技术。由于水电厂的主要机电设备在半个世纪以来发展很快，特别是水电厂的监控设备，从而使它们的运行和检修技术随之发生很大变化，为此先简述水电厂机电设备的技术进步，然后阐述主要机电设备（水轮发电机、水轮机、主变压器、高压断路器、励磁装置、调速器、计算机监控系统）的运行维护和检修技术，最后介绍水轮发电机组的技术改造。

一、我国水电厂主要机电设备的技术进步

关于我国各种类型的水轮发电机组在单机容量、应用水头和转轮直径等方面的进展，已在本篇第一章第六节中讲过了。这里只是在设备性能、运行稳定性、可靠性、维护检修方便性等方面简略归纳一下机电设备的技术进步。

(1) 水轮发电机：如定子绕组绝缘材料从A级向B级和F级发展，定子铁芯发展到采用优质高导磁冷轧硅钢片现场整圆叠装热压工艺，多种型式的推力轴承和采用弹性金属塑料瓦，无风扇密闭通风等。

(2) 水轮机：不锈钢转轮，模压成形叶片，计算机设计高效率模型转轮等。

(3) 主变压器：单台容量已达360000kVA，电压已达500kV，冷却方式由自然风冷发展到强油风冷、强油水冷等。

(4) 高压断路器：由多油式、少油式、空气式发展到SF₆断路器和500kV SF₆组合电器(GIS)。

(5) 水轮机调速器：由机械调速器到电液调速器，再发展到微机调速器。

(6) 发电机励磁装置：从采用直流励磁机作电源，以磁放大器为主要元件的电压校正器、复式励磁调节器和相复励调节装置，到采用可控硅静止励磁装置，再发展到微机励磁装置。

(7) 机组自动控制系统：从以继电器和电磁元件为主的顺序操作，到晶体管逻辑电路自动化装置，再发展到目前的以PLC（可编程序控制器）为核心的监控系统和整个水电厂的计算机监控系统。

二、主要机电设备的运行技术

(1) 水轮发电机的运行：除了正常运行方式外，根据电网运行的需要，往往要求水轮发电机按特殊运行方式工作，主要是调相运行和进相运行，为电网提供或吸收无功负荷，以满足电网调压的需要，另外，在电网发生事故时，水轮发电机短时间处于不对称运行状态。对于以上特殊运行方式，我们积累了不少实践经验，并与科研单位做了一些理论研究，规定了确保安全运行的条件和技术措施。

(2) 水轮机的运行：主要论述水轮机在非设计工况下的运行问题，水轮机制造厂家对各类水轮机的稳定运行区是有明确规定的，这就是设计运行工况，但是在实际运行中，由于各种原因，被迫在非设计运行工况下运行，文中讨论了它的危害、造成危害的机理、原因、以及采取的措施等。

(3) 水轮发电机组的运行：着重对水轮发电机组在运行中的振动、摆度进行了分析和对推力轴承的运行故障进行了分析与处理。振动和摆度是机组运行稳定性的最重要的指标，而推力轴承又是影响机组运行稳定性的最关键的部件，我们根据长期实践中积累的宝贵经验，对此做了比较系统的归纳和论述。

(4) 抽水蓄能机组的运行：由于我国抽水蓄能电厂的建设起步较晚，经验不多，只做了一般性的介绍。

(5) 发电机励磁系统的运行：介绍了建国以来，水轮发电机励磁系统的方式、装置、功能、技术指标等的发展，运行性能的完善，目前达到的技术水平和采用的新技术、新方法、新材料等。并介绍了机组灭磁装置和电气制动的新技术。

(6) 水轮机调速器的运行：着重介绍了目前我国自己研制和普遍采用的现代调速器

的运行特性、功能和可靠性。

(7) 主变压器的运行：从主变压器的中心点接地方式、强迫油循环冷却、油的保护和故障监测等方面归纳、总结了我国水电厂主变压器运行技术。

(8) 高压断路器的运行：水电厂多地处深山峡谷，运行环境比较恶劣（严寒、酷暑、风沙、雨雪等），而电网要求水电厂工况变换频繁，这是水电厂高压断路器的两大运行特点，根据这些特点归纳介绍了我们的运行经验和技術。

(9) 计算机监控系统的运行：我国水电厂计算机监控系统从 80 年代开始试点，90 年代普遍推广。据统计，1990~1998 年我国已有 120 座水电厂完成了计算机监控系统的投运，同时有 20 多座水电厂引进了外国公司的计算机监控系统。这里介绍了我国水电厂采用的计算机监控系统的类型、结构、功能和运行性能，并列举了葛洲坝、四川省铜街子、湖南省五强溪及广州抽水蓄能等水电厂的计算机监控系统，评述了它们的实际运行情况。

三、主要机电设备的检修技术

我国水电厂在机电设备维护、检修方面积累了丰富的实践经验，创造了不少新工艺、新办法，研制了一些新材料、新技术。由于篇幅有限，这里只阐述主要机电设备及重要故障损伤的检修技术。

(1) 水轮发电机的检修：分电气和机械两部分论述。电气部分着重对定子、转子绕组绝缘老化和接头故障这两大常见缺陷，分析了原因，介绍了定子绕组首尾换位、线圈内灌注环氧复合剂、更换损伤线圈、用磷铜焊、中频感应银焊等方法修补接头等技术经验，并介绍了励磁机换向器保护膜与电刷涂技术。机械部分着重介绍机组轴线的处理与调整、推力轴承与导轴承的常见缺陷检修处理技术，并重点介绍了弹性金属塑料瓦的应用，并与传统的钨金瓦作了对比分析。

(2) 水轮机的检修：重点讲述水轮机转轮磨蚀破坏和叶片裂纹的检修技术。由于黄河泥沙含量大，泥沙磨损严重，为此成功地研制了一些抗泥沙磨损新型防护材料和施工工艺。介绍了各种密封（导叶密封、主轴密封、轮叶密封等）的损伤和修补技术。

(3) 主变压器的检修：介绍了变压器干燥、感应耐压试验和带电脱气等检修工艺，以及变压器油中溶解气体的色谱分析仪的综合判断法等。

(4) 高压断路器的检修：着重介绍 SF₆ 断路器和 SF₆ 气体绝缘金属封闭式组合电气 (GIS) 的日常维护和检修经验。

(5) 电气监控设备的维护和检修：这类设备繁多，技术进步和更新换代快，特别是计算机技术的应用，设备的微机化监控，改变了维修方式，我国这方面起步晚，运行经验不多。

四、水轮发电机组的技术改造

随着时间的推移，我国大、中型水电厂水轮发电机组运行超过 25 年的已有 300 多