

# 论特高压输电技术在促进四川水电资源 开发中的关键作用

金健可

(四川省电力公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**四川省水电资源丰富, 加快开发并实现大规模外送是四川省变资源优势为经济优势的重要举措, 对促进全省经济社会发展、能源消费结构调整、减少温室气体排放具有重要意义。随着四川水电资源开发进度的进一步加快, 输电走廊瓶颈问题日益凸显, 迫切需要应用特高压输电技术, 发挥特高压电网在促进四川优势资源开发, 实现更大范围内电力资源优化配置的关键作用。

**关键词:**特高压输电; 水电资源; 资源配置

**Abstract:** Sichuan province has abundant hydroelectric resources. As an important measure accelerating the development of hydro-power plants and realizing the large-scale transmission of electric power is critical for Sichuan to turn natural resources into economic advantages, which is of great significance in promoting the economic and social development of Sichuan, adjusting the structure of energy consumption and reducing greenhouse gas emissions. With the further acceleration of hydro-power plants development, the constraints in transmission line corridor have become an increasingly prominent issue. Now it is of urgent need to adopt ultra-high voltage transmission technology, and exert its significant advantages in promoting the development of hydroelectric resources in Sichuan, and achieving optimal allocation of electric power resources to the full extent.

**Key words:** ultra-high voltage power transmission; hydroelectric resource; resource allocation

**中图分类号:** TM723 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)06-0055-03

## 0 引言

近年以来, 应对气候变化、减少温室气体排放、保护生态环境已成为世界热点, 大力开发包括水能、风能、太阳能等可再生能源在内的清洁能源, 改变传统能源消费结构已成为世界各国的共同选择, 能源发展进入新的重要转折时期。水电是现阶段最优质的可再生能源, 四川作为全国重要的水电基地, 发展前景十分广阔。为进一步促进四川水电开发, 带动经济社会全面发展, 积极应用特高压输电技术, 加快特高压输变电工程建设已十分迫切和必要。

## 1 四川水电资源及开发情况

### 1.1 四川省水电资源概况

四川省拥有丰富的水电资源, 根据 2004 年全国水力资源复查成果, 四川省水力资源理论蕴藏量 143.51 GW, 技术可开发装机容量 120.04 GW, 年发

电量 612 200 GWh, 占全国的 27% 左右, 位居全国之首。四川省幅员面积大, 因地形和降水条件差异, 形成了全省水力资源在地域上分布的不均衡, 全省水力资源分布西多东少, 西部金沙江、雅砻江、大渡河三大流域, 大中小型电站众多, 尤其大型电站特别集中, 可开发资源占全省的 84.5%。一直以来, 四川省历届政府都非常重视水电资源开发, 将开发丰富水电资源, 变资源优势为经济优势作为发展经济的一项重要的既定方针。在国家启动新一轮西部大开发, 重点支持西部地区发展优势产业的政策扶持下, 四川水电开发还将进一步加快。

截至 2009 年年底, 全省电源总装机容量 38.72 GW, 其中水电装机容量 26.47 GW, 占总装机容量 68.4%, 水电年发电量 95 600 GWh, 占总发电量 65.4%。四川已建成水电主要集中在海拔较低的盆地和盆周山区, 且多为中小型电站, 开发程度相对较高的河流主要有岷江、嘉陵江、渠江等流域, 主要大型电站有雅砻江干流二滩 (3 300 MW), 大渡河干流龚嘴 (730 MW)、铜街子 (600 MW)、瀑布沟 (360 MW),

表 1 四川省各水系水力资源分布表

流域	理论蕴藏量 /MW	技术可开发量		经济可开发量		论蕴藏 量比重 /%	技术可开 发量比重 /%	经济可开 发量比重 /%
		装机容量 /MW	年发电量 /GW h	装机容量 /MW	年发电量 /GW h			
金沙江	33 440	31 720	156 800	26 290	133 200	23	26	26
雅砻江	38 140	34 610	184 000	30 570	161 300	27	29	30
大渡河	33 620	31 480	154 400	28 940	141 200	23	26	25
青衣江	5 820	3 680	18 700	3 320	16 900	4	3	3
岷江	14 770	7 920	43 900	5 830	32 000	10	7	7
沱江	1 300	490	2 700	460	2 500	1	0	0
涪江	4 070	3 010	14 300	2 950	14 000	3	3	2
嘉陵江	4 580	3 480	15 500	3 410	15 200	3	3	3
渠江	1 530	900	4 300	900	4 300	1	1	1
长江上游干流	5 760	2 690	17 200	560	2 500	4	2	3
其它	490	70	400	40	200	0	0	0
合计	143 510	120 040	612 200	103 270	523 300	100	100	100

表 2 四川省电源建设规模

电源类型	2009年		2010年		2015年		2020年		2030年	
	容量 /MW	比例	容量 /MW	比例	容量 /MW	比例	容量 /MW	比例	容量 /MW	比例
合计装机	38 720	100.00	44 210	100.00	92 320	100.00	133 110	100.00	176 950	100.00
1. 煤电	11 980	30.94	12 590	28.48	14 440	15.64	16 680	12.53	20 680	11.69
2. 气电	250	0.65	250	0.57	1 370	1.48	1 740	1.31	1 740	0.98
3. 水电	26 470	68.36	31 350	70.91	76 290	82.64	114 470	86.00	150 310	84.94
4. 抽蓄										
5. 核电									4 000	2.26
6. 风电										
7. 太阳能										
8. 生物质能	24	0.05	24	0.05	224	0.24	224	0.17	224	0.12

白龙江宝珠寺 (700 MW)、岷江干流福堂 (360 MW)、紫坪铺 (760 MW) 等。目前全省已建成水电装机仅占技术可开发量 24.3%，后续具有广阔的发展前景。

### 1.2 四川省水电开发规划

四川的水电资源按其地理特性可以岷江为界，分为东、西两大部分。目前东部地区的水电已基本开发完毕，后续开发的水电项目主要分位于省内西部“三江（金沙江、雅砻江、大渡河）”流域。这些电站装机容量大，调节能力较好，计划在“十二五”、“十三五”期间陆续建成投产，四川电网即将迎来水电项目投产高峰期。

“十二五”期间，四川规划新增水电装机 44 950 MW，2015 年四川全省水电装机将达到 76 290 MW。西部“三江”流域共规划新增 40 600 MW，占“十二五”新增水电装机的 90.3%，其中金沙江 17 030 MW，雅砻江 14 610 MW，大渡河 8 950 MW；其他流域 4 360 MW，占规划新增水电电源的 9.7%。

“十三五”期间，四川规划新增水电装机 38 180 MW，2020 年四川全省水电装机将达到 114 470 MW。

西部“三江”流域共规划新增 35 550 MW，占“十三五”新增水电装机的 93%，其中金沙江 12 920 MW，雅砻江 7 240 MW，大渡河 15 400 MW；其他流域 2 630 MW，占规划电源的 7%。“十三五”以后至 2030 年，四川还规划有新增水电装机约 35 840 MW，到 2030 年四川水电资源将基本开发完毕，全省水电总装机规模将达到 150 310 MW。

## 2 大力实施水电外送战略

中国能源生产和消费结构以煤为主，污染物和温室气体排放量较大，环境保护压力日益加重。根据测算，要实现中国 2020 年单位产值能耗降低 40%，可再生能源在能源消费中占到 15% 的目标，非化石能源发电装机占电力总装机的比例要达到 35%。水电是现阶段技术最为成熟的可再生能源，四川水力资源得天独厚，作为国家重要水电产业基地，后续开发潜力巨大。因此，加快四川水电资源开发，推进水电基地建设，将在调整能源消费结构、减少温室气体排放、应对

表 3 四川电力需求预测

项目	2005年	2010年	2015年	2020年	2030年	平均增长率 /%			
						十一五	十二五	十三五	2021~2030
全社会用电量 /GW·h	94 300	150 000	250 000	335 000	498 000	9.7	10.8	6.0	4.0
最高负荷 /MW	16 220	26 000	43 800	58 800	88 000	9.9	11.0	6.1	4.1

气候变化,保障国家能源安全等方面发挥关键作用。

按照四川国民经济和社会发展“十二五”规划基本思路,预计 2010 年全省 GDP 将达到 17 000 亿元,2015 年突破 30 000 亿元,“十二五”期年均增长 12%。根据负荷预测,2015 年全省全社会用电量、最大负荷将分别达到 250 000 GW·h、43 800 MW,“十二五”期间实现年均增长 10.8%、11.0%,电力需求将保持较快增长;2020 年全社会用电量、最大负荷将分别达到 335 000 GW·h、58 800 MW,“十三五”期间年均增长 6.0%、6.1%。

根据电源开发规划和负荷预测结论,显示出四川在满足自身用电需求以后,“十二五”、“十三五”期间逐年均有较多的富余电力,到 2015 年和 2020 年将分别达到 35 600 和 55 350 MW。因此,大力实施四川水电外送战略,开拓省外电力市场,让本省水电资源参与全国一次能源平衡,在更大范围进行电力资源优化配置也就成为消纳四川丰富水电,促进四川水电资源加快开发,和实现国家能源消费结构优化调整的必然选择。

### 3 特高压输电技术的应用

目前四川正在开发和将要开发的水电项目大部分位于省内西部,尤其以甘孜、阿坝、凉山等地最为集中,这些地区距离成都、德阳、绵阳、乐山等主要负荷中心均在 600 km 以上,沿途地势险峻,地形复杂,气候恶劣,交通困难,国家级、地方级保护区众多。根据目前已经开展的电力送出通道勘察工作,四川西部地区由于输电通道极为有限,线路走廊十分紧张,不具备新建大量输电线路的条件。而且四川西部地区生态较为脆弱,自身也难以承受新建大量输电线路对环境所带来的巨大压力,如果电网建设仍然延续以 500 kV 电压等级为主导,势必将因为输电线路走廊不足因素而使电网发展受到严重制约。因此,为满足四川水电大规模开发和送出的需要,必须大幅度提高单位输电通道的送电能力,最大限度地节约有限的线路走廊。

2009 年 1 月 6 日,中国第一条特高压交流线路——晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 特高压交流试

验示范工程投运,目前已持续安全稳定运行近两年。2010 年 7 月 8 日,世界上电压等级最高、输送容量最大、送电距离最远的直流输电工程——向家坝—上海±800 kV 特高压直流示范工程投入运行。这两项特高压工程的顺利投产和在运行中的良好表现,显示了特高压输电技术在实现更大范围内电力资源优化配置的突出能力和不可替代的地位,并为后续特高压输电技术的大范围应用积累了宝贵的经验。

随着四川水电资源的加快开发,输电走廊的瓶颈问题日益凸显。由于特高压输电线路在远距离、大容量输电上具有明显优势,其送电能力为 500 kV 输电线路的 4~6 倍。在四川积极应用特高压输电技术,加快建设特高压输变电工程,实现电网输电能力的跨越式升级,是破解电力送出走廊瓶颈难题,保障水电大规模外送的唯一途径。

### 4 四川特高压电网发展展望

四川作为中国重要的水电基地,“十二五”到“十三五”期间有相当规模的大中型水电站陆续建成投产,在满足四川自身的用电需求之后仍有较大规模的富余电力需要外送。在下一步电网发展中,积极采用特高压输电技术,加快特高压输变电工程的建设,不仅可以提高线路走廊利用效率,节省宝贵的土地资源,同时也能够简化 500 kV 网架,避免大量川电东送潮流穿越重庆、华中东四省及华东 500 kV 电网,降低了输电网损。针对川电外送大容量、远距离的特点,遵循远近结合、统筹兼顾的原则,应考虑采用特高压交直流混合输电方式,提高电网的适应性和灵活性。

#### 4.1 特高压直流输电

“十二五”期间,为满足雅砻江锦屏 I、II 级和官地水电站(总装机容量 10 800 MW),以及金沙江溪洛渡电站左岸机组(容量 9×770 MW)送电华东的需要,将建成锦屏—苏南、溪洛渡—浙西两回±800 kV 特高压直流线路,送电容量分别为 7 200 MW、7 500 MW。

“十三五”期间,为满足金沙江乌东德电站(容量 8 700 MW)和白鹤滩电站(容量 14 400 MW)送电华

(下转第 66 页)

表 3 四川电网输变电设备污闪按瓷绝缘爬距统计  
(1971—2009 年)

污闪瓷件爬电比距 (cm/kV)	1.6~1.7	1.71~1.99	≥ 2.00	总计
污闪次数	115	19	4	138
占总污闪 /%	83.23	13.86	2.91	100

表 4 四川电网输变电设备污闪事故每 6 年平均

起止年份	平均污闪事故率 / (次 / 百公里 · 年)
1980—1985	0.006 2
1986—1991	0.097 0
1992—1997	0.040 0
1998—2003	0.001 9
2004—2009	0.000 7

表 5 四川电网变电设备污闪事故每 6 年平均

起止年份	平均污闪事故率 / (次 / 百站 · 年)
1980—1985	1.1772
1986—1991	1.5405
1992—1997	0.7392
1998—2003	0
2004—2009	0

(上接第 57 页)

东、华中的需要,将建成乌东德—福建 ±1 000 kV 特高压直流线路,送电容量 9 500 MW,以及白鹤滩—湖北和白鹤滩—湖南两回 ±800 kV 特高压直流线路,送电容量均为 7 500 MW。

#### 4.2 特高压交流电网

在满足省内自身用电需求和直流特高压外送电力后,在 2015、2020 年四川电网仍有约 11 600 MW 和 19 300 MW 剩余电力,主要考虑通过交流特高压通道外送。“十二五”期间将建成雅安、乐山两座 1 000 kV 特高压变电站,形成雅安—乐山—重庆 1 000 kV 特高压交流送电通道,实现川渝与华中东四省交流特高压联网。“十三五”期间,还将建成绵阳、成都两座 1 000 kV 特高压变电站,形成雅安—绵阳—万县第二回 1 000 kV 特高压交流送电通道,进一步加强川渝特高压电网结构。

为满足四川西部雅砻江、大渡河等流域大中型水电站的外送,“十三五”期间将建成甘孜、阿坝两座 1 000 kV 特高压变电站,以及甘孜—雅安、阿坝—绵阳特高压交流送电通道,通过交流特高压电网实现电力大规模外送。其中甘孜特高压变电站主要汇集雅砻江中、上游两河口、牙根、新龙等梯级大型电站,最终汇集容量约 9 000 MW,阿坝特高压变电站主要汇集大渡河上游双江口、巴底、丹巴等大型梯级电站及部分中小型水电,最终汇集容量约 10 000 MW。

到 2020 年,四川电网将与重庆电网通过 4 回

中的各类型绝缘子,尤其是大吨位绝缘子的积污特性、污闪特性,四川电网应将运行情况深层次加以论证研究。

#### 参考文献

- [1] 顾乐观,孙才新编著. 电力系统的污秽绝缘 [M]. 重庆:重庆大学出版社,1990.
- [2] 张仁豫主编. 绝缘污秽放电 [M]. 北京:水利电力出版社,1993.
- [3] 日本电气学会通文教育会编. 绝缘子 [M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [4] 西安高压电器研究所翻译. 高电压外绝缘电气强度 [M]. 北京:水利电力出版社,1977.
- [5] GB 311—83. 高压输变电设备的绝缘配合 [S].
- [6] 四川电网历年防污闪工作总结 [R].

(收稿日期:2010—08—19)

1 000 kV 特高压交流线路联网,与西北、华中、华东电网形成 ±500 kV、±800 kV、±1 000 kV 共计 7 回特高压直流线路联网的“多直、多交”并列运行格局,输电能力将实现跨越式升级,电力资源配置能力显著增强,四川电网作为全国电力交换大枢纽、大平台的地位进一步确立。

#### 5 结 论

大力开发水电并实现大规模外送是变资源优势为经济优势的重要举措,对促进四川经济社会发展具有重要意义。随着四川水电资源加快开发,为破解日益凸显的输电走廊瓶颈问题,迫切需要应用特高压输电技术,加快特高压输变电工程建设。四川特高压电网通过“十二五”和“十三五”期的发展,输电能力将实现跨越式升级,外送能力超过 60 000 MW,将为四川水电加快开发创造有利条件,对促进四川由能源资源大省向电力大省、经济强省的转变具有极其重要的意义。

#### 参考文献

- [1] 刘振亚. 特高压电网 [M]. 北京:中国经济出版社,2005.
- [2] 陈秀山主编. 西电东送工程区域效应评价 [M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [3] 四川省发改委. 四川水电基地调研报告 [R].

#### 作者简介:

金健可 (1976),男,工程师,从事电力市场和电网规划方面的管理工作。  
(收稿日期:2010—10—09)