

重庆中长期负荷特性分析及预测

秦浩庭¹, 刘燕², 肖汉¹, 郑荡¹

(1. 西南电力设计院, 四川成都 610021; 2. 四川电力职业技术学院, 四川成都 610072)

摘要: 分析了重庆电网历史负荷特性, 研究了影响重庆负荷特性的主要因素, 通过对重庆电网分产业负荷特性调研收资, 掌握了重庆各产业及行业的综合负荷特性。研究了重庆气温与负荷变化的相关性, 采用基础负荷对比法提取了重庆温度敏感负荷曲线。根据重庆未来用电结构的发展趋势, 采用行业负荷曲线重构法, 量化预测了全社会综合日负荷特性, 定性预测了年负荷特性发展趋势。

关键词: 负荷特性; 影响因素; 曲线重构; 中长期预测

Abstract: Load characteristics of Chongqing power grid in history are analyzed and the main factors influencing the load characteristics of Chongqing are studied. Through the investigation and research, the load characteristics of the industries are extracted. The correlation of temperature and load is studied, and the temperature sensitive load curves are extracted with the foundation load comparing method. According to the future development trend of the electricity consumption structure of Chongqing, the development trend of synthetic daily load characteristics is forecasted with the method of industry load curve reconstruction, and the development trend of yearly load characteristics is qualitatively forecasted.

Key words: load characteristics; influencing factors; curve reconstruction; medium and long-term forecast

中图分类号: TM714 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)02-0045-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.02.011

0 研究的背景

负荷特性研究是电力规划中电力电量平衡和电源建设空间测算的基础。受客观条件制约, 重庆目前仍缺乏对全网负荷特性系统、全面的分析研究。负荷特性的研究是重庆“十三五”电力规划的重要先行工作和重要的设计依据。基于对历史负荷特性的详细分析, 对分产业(行业)负荷特性、空调负荷特性的详细调研, 提出负荷特性的主要影响因素及发展趋势, 为全网电力规划提出了必要的依据。

1 重庆历史负荷特性及影响因素分析

1.1 历史负荷特性分析

1.1.1 年负荷特性分析

重庆电网年内最大负荷一般出现在7~9月。主要原因是夏季气候炎热, 持续的高温及早情将导致降温负荷及农灌负荷持续上升。年内第二高峰一般出现在12月或1月, 主要原因在于企业年底加紧生产和冬季取暖负荷增加等; 年内最小负荷一般出

现在春季4、5月份。

1.1.2 日负荷特性分析

重庆电网夏季早高峰一般出现在11~13点, 近年来部分年份夏季早高峰出现在13~15点, 晚高峰出现在20~22点左右, 最小负荷出现在早晨5~7点左右。冬季早高峰一般出现在11~12点, 晚高峰出现在18~20点, 最小负荷出现在凌晨4~6点左右, 重庆历史负荷特性主要指标见表1。

表1 重庆电网历史负荷特性

年/指数	γ		β		ρ
	夏季	冬季	夏季	冬季	
2003	0.81	0.79	0.59	0.57	0.74
2005	0.85	0.83	0.64	0.65	0.82
2010	0.86	0.84	0.64	0.64	0.76
2013	0.84	0.83	0.62	0.61	0.74

1.2 负荷特性影响因素分析

从重庆电网多年的运行经验来看, 用电结构、产业(或行业)用电特性^[1, 2]、气温是影响其负荷特性的主要因素, 可作本次工作的主要分析对象。

1.2.1 重庆用电结构分析

重庆“十五”至“十二五”期间全市经济运行势

表2 重庆用电结构变化情况

项目/年份	单位/100 GWh				
	2005	2010	2013	“十一五”	“十二五”前三年
全社会用电量	350	626	813	12.3%	9.1%
用电结构/%					
(1) 第一产业	0.5	0.2	0.3	-14.3%	9.9%
(2) 第二产业	69.9	69.7	65.9	0.0%	-1.8%
(3) 第三产业	12.2	13.9	16.5	2.8%	5.8%
(4) 居民	17.5	16.1	17.3	-1.6%	2.4%

态良好,工业经济稳步增长,表现为以第二产业用电为主导的用电结构。但随着工业化进程的深入和产业结构的逐步调整,第二产业用电比重呈逐步下降趋势,第三产业和居民生活用电则稳步增长。重庆历史用电结构变化情况见表2。

1.2.2 行业典型用电特性分析

重庆第一产业用电比重极小,对负荷特性影响基本可忽略,第二产业用电主要为工业用电负荷,第三产业主要用电商业负荷。因此分产业的负荷特性研究,可进一步转化为对工业、商业、居民生活用电特性研究。

(1) 工业负荷特性分析

① 传统高能耗行业

重庆传统高能耗行业主要为冶炼、石化、建材制造等。通常为三班24小时工作制。年负荷曲线相对平稳,其中冶炼、化工等产业的各月最大负荷有缓慢递增的趋势,但增幅不大,建材制造生产的负荷水平在全年基本持平。高耗能行业日负荷曲线十分平缓,夏冬两季日负荷率及最小日负荷率均较高,夏季典型日的负荷率通常高于冬季。这部分负荷在全社会负荷中主要担任基荷部分,其用电量占比较大,对全网负荷曲线起“拉平”效应。重庆主要高耗能作业日负荷特性参数见表3。

表3 重庆主要高耗能行业日负荷特性参数

行业/指数	夏季		冬季	
	γ	β	γ	β
冶炼	0.91	0.83	0.91	0.83
石化	0.82	0.53	0.81	0.68
水泥	0.94	0.89	0.81	0.67

② 战略新兴行业

此类企业多数为一班制或两班制生产,少数企业为三班制生产,由于对市场的依赖使得这类行业

用电量变化呈现出明显的市场导向的周期性,全年波动较大。日负荷特性上两班制企业显现出明显的昼夜变化特点,如汽车制造业最低负荷时段出现在凌晨5~7点,最大负荷出现在上午10~12点;而三班制企业则24小时生产,全天负荷曲线相对平缓。总体来说,这类负荷的日峰谷差较大,日负荷率值较低,对全社会负荷特性呈“削尖”效应。重庆主要新兴行业日负荷特性参数见表4。

表4 重庆主要新兴行业日负荷特性参数

行业/指数	夏季		冬季	
	γ	β	γ	β
汽车	0.8	0.48	0.74	0.5
电脑	0.73	0.55	0.71	0.5
纺织	0.9	0.73	0.85	0.69

(2) 商业用电

对重庆典型商圈的综合用电特性调研分析,可知其年负荷特性表现出极强的时间性和季节性。而这种变化主要是这类用电部门越来越广泛地采用空调、电梯、制冷设备之类的与气候敏感电器所致。日负荷特性方面,高峰与平段负荷较高,低谷时段负荷很低,峰谷差极大,负荷率较低,与温度变化关系密切。典型的商业体从9点开始负荷急剧增加,大概在11~13点左右达到峰值,随后一直在高峰运行,直到20~21点左右急剧下降。高峰与平段持续时间长,峰谷差极大,日负荷率较低。全社会负荷曲线起到“挖谷平峰”,即加大峰谷差,但拉平峰段负荷的效应。

(3) 居民生活用电

对重庆典型社区的用电特性调研分析,其年负荷特性受季节性影响较强,夏季降温负荷对重庆居民用电负荷影响较大,居民夏季负荷水平普遍高于冬季负荷水平。这种变化主要是居民广泛地采用空

调、制冷设备之类的与气候敏感电器所致。日负荷特性方面:重庆居民生活用电一般会出现两个高峰,即早(次)高峰、晚高峰。峰谷差较大,对全社会负荷曲线的“削尖”效应明显。

1.2.3 气温敏感负荷分析

重庆是长江沿岸四大“火炉”城市之一,近年来空调负荷在地区负荷中比重日益增大。

(1) 夏季降温负荷

为研究降温负荷受气温的影响,以2013年夏季气温、负荷数据为典型研究对象,采用“相关系数”来确定各项指数对气象敏感负荷影响。相关系数计算公式如下,设 z 为相关系数, σ_{xy}^2 为序列 x 和 y 的协方差, σ_x^2 、 σ_y^2 为序列 x 、 y 的方差。经计算,重庆夏季最大负荷与最高温度相关系数约0.81,具有较强的相关性。

$$z = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

再采用基础负荷对比法估算夏季降温负荷,考察重庆历史气温变化情况,春季3月下旬~4月上旬气温通常在15℃~25℃之间,秋季10月下旬~11月上旬气温通常在15℃~23℃之间,上述时段的天气凉爽,基本无空调降温负荷,因此可以选作基础负荷曲线。

设春季、秋季典型日负荷曲线的负荷值分别用 $P_{sp \cdot h}$ 、 $P_{au \cdot h}$ 表示,则用于计算夏季降温负荷的基础负荷可表示 $P_{su \cdot h \cdot base}$ 为

$$P_{su \cdot h \cdot base} = \frac{\sum_{w=1}^{w=n} P_{sp \cdot h} + \sum_{w=1}^{w=n} P_{au \cdot h}}{2n}$$

式中 n 为春、秋季代表性工作日天数; $h=1, 2, \dots, 24$ 代表24小时。上述方法已消除了负荷自然增长的影响,故夏季工作日的负荷 $P_{su \cdot h}$ 与无降温基础负荷 $P_{su \cdot h \cdot base}$ 的差值可以作为当天降温负荷曲线,峰值即为当天最大降温负荷。

初步估算(结果见表5)表明,重庆电网“十二五”期夏季最大降温负荷均在5000MW以上,2012年因气温、经济等多种原因经历了小幅回落后,2013年迅猛回升,达到约6000MW。降温负荷曲线峰谷差较大,平均负荷率约为0.71~0.72,最小负荷率约为0.32~0.33,可以判断夏季降温负荷是加大重庆全网电力负荷峰谷差的重要因素。“十二五”期夏季典型日降温负荷计算曲线见图1。

表5 “十二五”期最大降温负荷估算

年/项目	统调最大降温负荷	统调最大负荷	统调降温负荷占比/%
2011	549	1 188	46.3
2012	500	1 190	42.0
2013	603	1 405	42.9

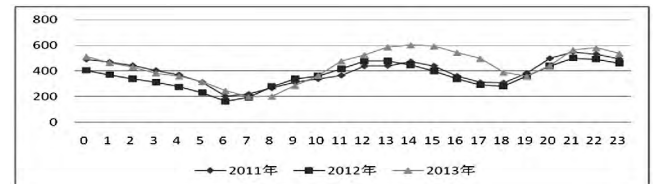


图1 “十二五”期夏季典型日降温负荷曲线

(2) 冬季取暖负荷

分析思路与夏季基本一致,经计算,重庆冬季最大负荷与最低温度相关系数约-0.46,即呈现一定的负相关性。计算表明重庆电网“十二五”期冬季最大取暖负荷均在2000MW以上,2013年超过2500MW左右。此外,降温负荷曲线峰谷差较大,平均负荷率约为0.65~0.70,最小负荷率约为0.23~0.3,因此可以判断冬季取暖负荷也是加大全网电力负荷峰谷差的重要因素。“十二五”期冬季典型日降温负荷计算曲线见图2。

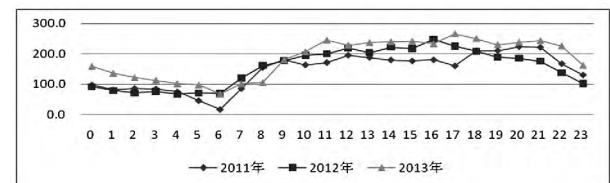


图2 重“十二五”期夏季典型日降温负荷曲线

2 负荷特性预测

负荷特性的预测分为日负荷特性预测和年负荷特性预测两部分。日负荷特性考虑采用基于分行业负荷曲线重构的方式,对于不同用电结构分情景进行定量分析;年负荷特性通过对历史特性的分析总结,宏观定性的预测其发展趋势。

2.1 基于行业负荷曲线重构的日负荷特性预测

以分产业负荷特性作为切入点,结合全社会用电结构的变化趋势,通过产业负荷曲线重构的方式,预测全社会综合负荷特性的发展趋势。基于行业负

荷曲线重构的日负荷特性预测方法流程图见图3。

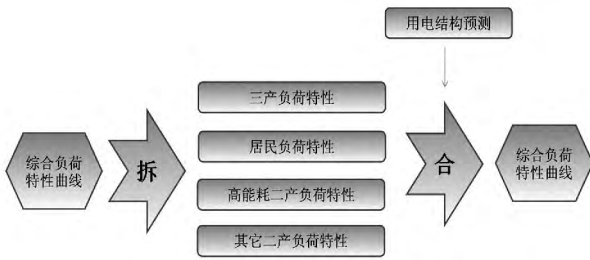


图3 基于行业负荷曲线重构的日负荷特性预测流程

2.1.1 用电结构预测

结合重庆近年用电增长和产业用电结构发展趋势,对重庆2020年、2030年分产业用电结构预测见图4。

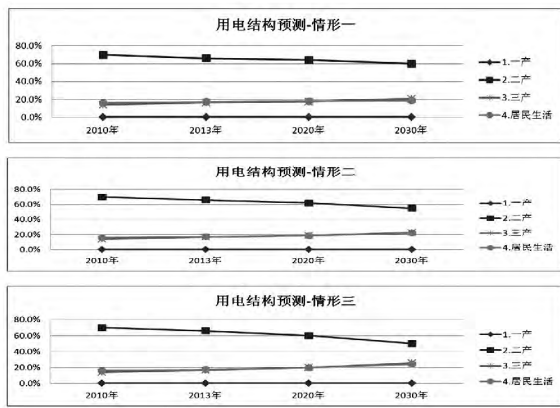


图4 重庆中长期用电结构预测

2.1.2 全网综合负荷曲线拆解

根据前述产业用电特性的研究结论,全网综合负荷曲线按产业可拆解为二产、三产用电曲线和居民生活用电曲线,其中二产用电曲线可进一步拆解为传统高耗能负荷和其他二产负荷曲线。具体步骤如下。

(1) 对调研数据进行必要的综合归纳,并对日负荷数据进行标么化,得到三产、居民生活负荷特性曲线 $P_c^*(i)$ 、 $P_r^*(i)$, $P_c^*(i) \in [0, 1]$, $P_r^*(i) \in [0, 1]$ $i=0, 1, \dots, 23$;

(2) 求取全网第三产业、居民生活负荷有名值曲线。设第三产业典型日用电量为 Q_c 。则第三产业典型日最大负荷 $P_{c-\max}$ 、典型日 t 时刻负荷可由如下方式求取,居民生活负荷有名值曲线求取方法相同。

$$P_{c-\max} = Q_c \div \sum_{i=0}^{23} P_r^*(i) \quad P_c(t) = P_{c-\max} \times P_c^*(i)$$

(3) 求取第二产业负荷特性曲线。由全社会负荷有名值曲线减去第三产业和居民生活有名值负荷曲线后,得到第二产业综合负荷有名值曲线,再进行标么化即可得到第二产业负荷特性曲线。

通过负荷曲线分解,得到“十二五”期重庆各行业的典型负荷曲线,各类行业综合负荷曲线主要日负荷特性指标见表6。

表6 重庆分产业日负荷特性指标

行业/指标	夏季		冬季	
	γ	β	γ	β
1. 第二产业	0.894	0.757	0.850	0.717
①高能耗行业	0.913	0.840	0.907	0.820
②其他行业	0.799	0.569	0.742	0.483
2. 第三产业	0.687	0.270	0.677	0.260
3. 居民生活	0.683	0.320	0.678	0.310

2.1.3 基于曲线重构的日负荷特性预测

结合未来用电结构的变化趋势,采用曲线重构的方式预测未来的全社会负荷特性曲线,曲线重构的步骤与2.1.2节分解的步骤正好相反,区别仅在于采用2.1.1节预测的用电结构。采用此方法,只需灵活修正未来分产业用电比例和分产业负荷特性,即可迅速得到未来全网综合负荷曲线。

针对前述用电结构情形,采用曲线重构法分别预测2020年、2030年日负荷曲线,结果见图5,日负荷特性指标见表7。计算可知,在不同的用电结构下全网综合负荷特性曲线特性呈现出一定的区别。其中用电结构情形一中第二产业及高电耗行业占比最高,其综合负荷特性相对平直,在此“拉平”效应下其负荷曲线的“峰谷差”相对较小,可以预见在此负荷特性下系统的调峰压力相对较小;反之用电结构情形三中负荷曲线的“峰谷差”相对较大,可以预见在此负荷特性下系统的调峰压力相对较大。

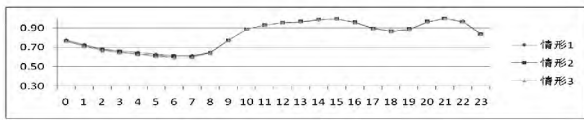
表7 重庆负荷特性指标预测

		夏季		冬季	
		γ	β	γ	β
2020	情形一	0.83	0.62	0.81	0.59
	情形二	0.82	0.60	0.80	0.58
	情形三	0.81	0.59	0.79	0.56
2030	情形一	0.81	0.59	0.79	0.56
	情形二	0.80	0.58	0.78	0.54
	情形三	0.79	0.56	0.76	0.50

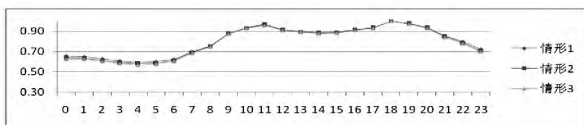
2.2 年负荷特性分析预测

随着重庆市社会经济发展及产业结构逐步调整升级成效显著,传统高能耗产业用电量增速明显放缓,战略性新兴产业快速发展,用电量稳步增长。第三产业用电比重稳步上升,居民生活水平不断提高,家用电器加大普及。反应在年用电趋势上,工业比

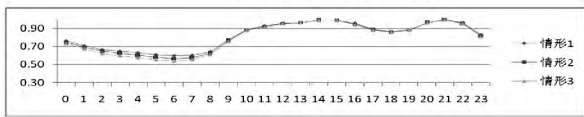
重将缓慢下降将对年负荷特性呈“削尖”作用,但考虑到重庆近年来逐年夏季夏季降温负荷在经历了一个高速增长时期后将逐步趋于饱和,而冬季取暖负荷及其他家用电器使用的比例提高逐年增加。预计重庆年负荷特性将逐步向着“双高峰”的方向发展,这对年负荷特性的发展又起到一定的“拉平”作用。重庆电网季不平衡系数与第二产业用电的变化趋势见图6。



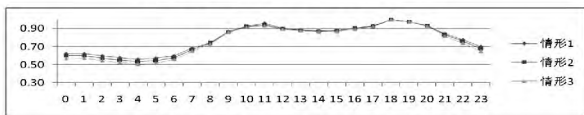
(a) 2020年夏季典型日负荷曲线



(b) 2020年冬季典型日负荷曲线



(a) 2030年夏季典型日负荷曲线



(b) 2030年冬季典型日负荷曲线

图5 2020年、2030年夏季、冬季典型日负荷曲线

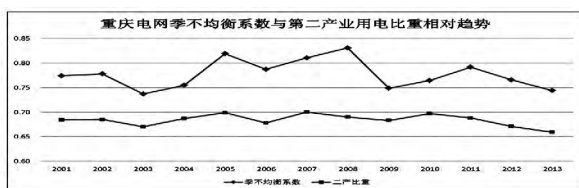


图6 重庆电网季不平衡系数与第二产业用电的变化趋势

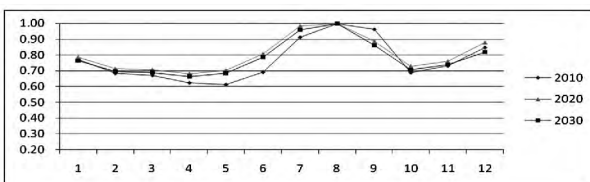


图7 重庆中长期年负荷特性曲线

综合近年来年负荷特性的变化情况,预计“十三五”期随着重庆战略新兴产业的布局逐步完成,年负荷特性相对平稳,ρ值变化不大。2020年以后,随着经济结构调整的逐步深入,第二产业用电的进一步降低,用电结构调整的累积效应将逐步明显,ρ值略有下降趋势。其中2020年ρ值约0.8左右,2030年ρ值约0.79左右。预测的重庆电网年负荷

曲线见图7。

3 结论

(1) 用电结构、产业(或行业)用电特性、气温是影响重庆负荷特性的主要因素,有以下5点。

① 用电结构方面,重庆电网目前仍以第二产业用电为主导,居民生活用电和第三产业用电次之。随工业化进程的深入和产业结构的逐步调整,二产用电比重呈逐步下降趋势,三产和居民生活用电比重稳步上升。

② 产业用电特性方面:重庆第二产业用电中传统高能耗行业日负荷率值较高,这部分负荷在全社会负荷中担任基荷部分,其对全社会负荷曲线起“拉平”效应。战略新兴产业和传统轻工业基本为非连续性生产企业,这类负荷的日峰谷差较大,日负荷率值较低,对全社会负荷特性呈“削尖”效应。商业负荷特性表现出极强的时间性和季节性,峰谷差极大,负荷率较低,但峰段负荷持续时间较长且相对平稳。对全社会负荷曲线起到“挖谷平峰”,即加大峰谷差,但拉平峰段负荷的效应。居民用电负荷与人口密度、气候变化、居民生活水平及生活习惯有关,日负荷特性基本上与人们的日常生活规律相一致,一般会出现双高峰,全天峰谷差较大。总体而言,居民生活用电峰谷变化对全社会负荷曲线的“削尖”效应明显。

③ 气温方面,重庆夏季最大负荷与气温具有较强的相关性,在温度26℃~37℃左右,电力负荷对温度的敏感度较高,在此区间负荷与温度拟合曲线基本呈同步增长,温度每升高1℃,负荷增加约408 MW;“十二五”期夏季降温负荷占比已达到全网负荷40%以上,降温负荷曲线峰谷差较大,平均负荷率低,是加大重庆全网电力负荷峰谷差的重要因素。

(2) 采用基于行业负荷曲线重构的日负荷特性预测方法,结合未来用电结构的变化趋势,可有效预测未来的全社会日负荷特性曲线。经预测,2020年夏季γ值约为0.81~0.83,β值约为0.59~0.62,冬季γ值约为0.79~0.81,β值约为0.56~0.59;2030年夏季γ值约为0.79~0.81,β值约为0.56~0.69,冬季γ值约为0.76~0.79,β值约为0.50~0.56。

(3) “十三五”期随着重庆战略新兴产业的布局逐步完成,年负荷特性相对平稳,ρ值变化不大。2020年以后,随着经济结构调整的逐步深入,第二产业用电的进一步降低,用电结构调整的累积效应将逐步明显,年

负荷率将降低 ρ 值略有下降趋势。其中 2020 年 ρ 值约 0.8 左右 2030 年 ρ 值约 0.79 左右。

参考文献

[1] 国家发展改革委经济运行调节局,等. 负荷特性及优化[M]. 北京:中国电力出版社,2013.

[2] 赵希正,等. 中国电力负荷特性分析与预测[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[3] 《中国电力年鉴》编辑委员会编. 中国电力年鉴[M]. 北京:中国电力出版社,2000-2013.

[4] 国家统计局编. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013.

[5] H. 钱纳里(H. Chenery) 等著 吴奇 等译. 工业化和经济增长的比较研究[M]. 上海:上海人民出版社,1995.

[6] 陈佳贵,等. 中国工业化进程报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2007.

[7] 郭克洛. 中国工业化的进程、问题与出路[J]. 中国社会科学,2000(3):60-71.

[8] 重庆市人民政府. 2013年政府工作报告[R].

[9] 国家统计局. 国家统计局数据库[DB/OL]. 北京,2014. [2014-06-10]. <http://data.stats.gov.cn/>

[10] World Bank. The world bank statistics database [DB/OL], 2013 [2014-06-15]. <http://data.worldbank.org/cn/>

[11] 战略和综合研究所. 我国中长期电力需求发展趋势研究[R]. 北京:国家电力规划研究中心,2012.

[12] 国务院. 国务院关于印发节能减排“十二五”规划的通知[R]. 国发(2012)40号,2012.

[13] 吴敬儒,等. 中国电力工业2010-2050年低碳发展战略研究[M]. 北京:水利水电出版社,2012.

[14] 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究[R].

[15] 胡兆光. GDP能耗与电耗的关系[J]. 中国能源,2006,28(7):11-15.

[16] 重庆市人民政府. 关于印发重庆市“十二五”节能减排工作方案的通知[R]. 渝府发(2011)109号,2011.

[17] 秦浩庭、肖汉、郑荡,等. 重庆电力负荷需求及特性预测[R]. 成都:西南电力设计院系统规划中心,2014.

[18] 重庆市委、市政府. 关于科学划分功能区域、加快建设五大功能区的意见[R]. 渝委发(2013)14号,2013.

作者简介:

秦浩庭(1981),工程师,研究方向为电力系统规划。

(收稿日期:2014-11-28)

(上接第9页)

JL/G2A-720/50 导线等方案 最高的是 8×JL/G1A-1120/90 9×JL/G2A-900/75 导线。年损耗在 4 500 h, 年费用最低的导线方案是 8×JL/G3A-1000/45, 最高的是 9×JL/G2A-900/75 和 10×JL/G1A-630/45 导线。总体来看,年费用最低的是 8×JL/G3A-1000/45。

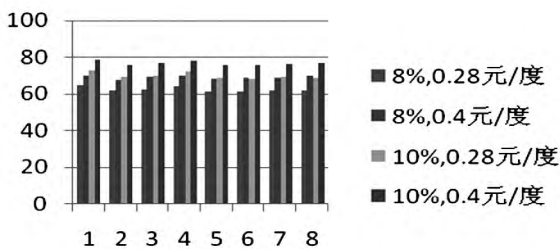


图2 导线年费用比较图(3 500 h)

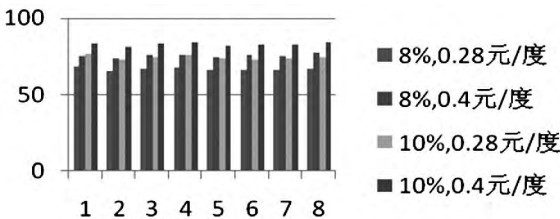


图3 导线年费用比较图(4 500 h)

5 结 论

±1 100 kV 特高压直流线路导线选择的主要控制因素是可听噪声,按海拔 1 000 m 时 45 dB(A) 限

值控制,有 6 种导线型式可供选择。最终结合经济性比较,建议选择 8×JL/G3A-1000/45 导线方式,分裂间距 450 mm。

参考文献

[1] 张文亮,陆家榆,鞠勇,等. ±800 kV 直流输电线路的导线选型研究. 中国电机工程学报[J]. 2007,27(27):1-6.

[2] 梁明,王永刚,周刚. ±800 kV 输电线路按电晕条件的导线选择. 高电压技术[J]. 2008,34(9):1875-1879.

[3] 中华人民共和国国家标准. ±800 kV 直流架空输电线路设计规范(报批稿) [S].

[4] 陆家榆,鞠勇. ±800 kV 直流输电线路电磁环境限值研究[J]. 中国电力,2006,39(10):37-42.

[5] 中华人民共和国国家电网公司企业标准. Q/GDW 145-2006, ±800 kV 直流架空输电线路电磁环境控制值 [S].

[6] GB/T 1179-2008, 圆线同心绞架空导线 [S].

作者简介:

李晓丽(1983),硕士,工程师,主要从事电力系统过电压与接地研究;

李先志(1982),硕士,工程师,主要从事送变电线路设计与研究。

(收稿日期:2014-10-27)