

# 基于 EMD 分解与 ARMA 模型的电力负荷预测

邱 是

(四川大学电气信息学院,四川 成都 610065)

**摘要:**随着智能电网的发展以及整个社会用电的发展,短期负荷的预测对与整个电力系统来说越来越重要,笔者提出了一种基于 EMD 分解和 ARMA 预测模型的预测方法,对原始电力负荷数据先进性 EMD 分解,然后再对每个 EMD 分量单独进行 ARMA 模型预测,根据 MATLAB 仿真结果表明,笔者方法对比与直接用 ARMA 模型进行预测,预测精度明显提高。

**关键词:**经验模态分解;ARMA 预测模型;预测原理;仿真结果

**中图分类号:**B815.1;TU317+.1;F407.61;TM714 **文献标识码:** A

**文章编号:**1001-2184(2016)01-0112-05

## 1 概 述

电力负荷的建模以及预测对研究用电力系统的调度运行和生产计划以及电力系统的安全性和稳定性有重要意义<sup>[1]</sup>。电力负荷预测可以让人们掌握用电负荷变化规律,以及未来的发展趋势,从而为发电计划、离线网络分析和合理的调度安排提供数据,也为保证电力系统的安全、经济运行提供了保障。因此,针对电力负荷的建模和预测备受人们关注。

现有的电力负荷预测主要分为专家系统、人工神经网络和模糊逻辑系统三大分支,同时还有灰色系统理论、非线性系统理论、小波分析理论等<sup>[2-3]</sup>。但是灰色预测模型是一种指数增长模型,当电力负荷严格按指数规律持续增长是,此方法有预测精度高、所需样本数据少、计算简便等优点,但其不足之处是其位分方程指数解比较适合于具有指数增长趋势的负荷指标,当原始数据波动情况如上下连续波动、指数波动时,预测的精度就差了,所以他不适用于短期的电力负荷预测<sup>[4]</sup>。小波分析是一种时域—频域分析方法,由于该方法可以分离出原负荷序列中呈周期性变化的字符和序列,而对具有周期性的负荷进行预测的精度较高<sup>[5]</sup>。目前还有一些研究人员利用经验模态分解(EMD, empirical mode decomposition)方法对负荷的自相似性进行研究分析,但仅仅研究了 EMD 在电力负荷的自相似参数估计方面的应用<sup>[6]</sup>。

笔者针对电力负荷提出一种基于 EMD 分解

ARMA 模型的一种预测方法,首先利用 EMD 方法将电力负荷序列分解为若干个固有模态函数(IMF, intrinsic mode functions),由于 IMF 是短相关序列,从而将场相关序列建模预测问题转化为对若干个短相关序列的建模和预测,有效的地降低了模型的复杂度<sup>[7]</sup>,其次利用自回归滑动平均模型(ARMA)良好的短相关建模预测能力,对分解后的 IMF 序列进行预测<sup>[8]</sup>。并且针对 EMD 分解出来的高频分量应如何处理提出了两种方案的结果进行了对比得出了结论。结果表明笔者提出的预测方法预测精度高复杂度低,对短期电力负荷的预测精度高于直接运用 ARMA 预测模型。

## 2 预测原理及方法

### 2.1 EMD<sup>[9]</sup>

经验模态分解算法(EMD)是将信号分解为一系列表征时间尺度的 IMF 分量,而这些 IMF 分量满足一下条件:

(1)信号极值点的数量与过零点的数量必须相等或最多相差一个;

(2)在任一时间点上,信号的局部最大值与局部最小值定义的包络的均值为零。

EMD 算法是一个筛选的过程,这样的筛选过程有两个作用:去除叠加波和是数据波形更加对称。EMD 经过一系列的分解和筛选处理,可以从原始序列中分解出  $n$  个 IMF 分量和一个残余分量,而原始序列可以表示成他们的和。

EMD 具体步骤如下:

(1)找出原始信号  $s(t)$  所有的极大值点,并将其用三次样条函数拟合出原始信号的上包络

收稿日期:2016-01-11

线,再找出所有的极小值点,拟合出原始信号的下包络线;

(2)计算上下包络线的均值,记为  $m_1(t)$ ,令  $h_1(t) = s(t) - m_1(t)$ ,若  $h_1(t)$  满足 IMF 的条件,则  $h_1(t)$  即为第一个 IMF,否则将  $h_1(t)$  视为  $s(t)$ ,重复以上步骤,直到  $h_1(t)$  符合 IMF 的定义条件,所得到的均值趋于零为止,这样就得到了第一个 IMF 分量用  $C_1(t)$  表示,它代表信号  $S(t)$  中的最高频率的分量;

(3)将  $C_1(t)$  从  $S(t)$  中分离出来,即得到一个去掉高频分量的差值信号即:  $r_1(t) = s(t) - C_1(t)$ ,将  $r_1(t)$  作为原始信号,重复步骤(1)、(2)和(3),得到第二 IMF 分量以此类推,当  $C_n(t)$  或  $m(t)$  满足给定的终止条件时,结束程序。最终可得到若干 IMF 分量,记这些分量为  $C_i(t)$ ,最终残余量为  $r(t)$  则:

$$S(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r(t) \quad (1)$$

## 2.2 ARMA<sup>[10]</sup>

ARMA 模型(Auto - Regressive and Moving Average Model)是研究时间序列的重要方法,由自回归模型(AR)和滑动平均模型(MA)结合而成。

回归模型是用过去的值来预测未来的值,即将下一个观测值表示为当前和过去的若干个观测值以及白噪声的线性函数关系。回归模型在网络流量模型预测中被广泛应用。经过理论分析和电力系统短期负荷预测的长期实践证明,ARMA 模型用于电力负荷短期预测也有不错的效果。

### 2.2.1 自回归模型(AR 模型)

AR 模型采用自动回归法, $p$  阶自回归模型  $AR(p)$  可表示为:

$$x_t = \theta_1 x_{t-1} + \theta_2 x_{t-2} + \dots + \theta_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

式中  $x_t$  为下一时刻随机变量; $\theta_j$  是实数; $\varepsilon_t$  指随机干扰序列。AR(p) 满足三个限制条件:(1)模型的最高阶数为  $p$ ;(2)要求随机干扰序列  $\varepsilon_t$  方差为  $\sigma_{\varepsilon_t}^2$  的白噪声;(3)要求当前的随机干扰与过去的序列值无关。

定义一个延迟算子  $B$  为  $Bx_t = x_{t-1}$ ,则  $AR(p)$  过程可表示为:

$$\varnothing(B)x_t = \varepsilon_t \quad (3)$$

式中  $\varnothing(B) = 1 - \theta_1(B) - \dots - \theta_p(B)^p$ ,称为  $p$  阶自回归系数多项式。AR(p) 模型是常用的平稳

序列的拟合模型之一,判断 AR 模型是否为平稳序列,采用特征根判别。简单的说,如果  $\varnothing(B)$  的根在单位圆外,则  $x_t$  是平稳过程。

### 2.2.2 移动平均模型(MA 模型)

$q$  阶移动平均模型  $MA(q)$  形式如下:

$$x_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (4)$$

定义一个延迟算子  $B$ ,则  $MA(q)$  过程可表示为:

$$x_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (5)$$

式中  $\theta(B) = 1 - \theta_1(B) - \dots - \theta_q(B)^q$  称为  $q$  阶移动平均系数多项式。

自回归滑动平均模型(ARMA 模型)

自回归滑动平均模型  $ARMA(p, q)$  如下:

$$x_t = \varnothing_2 x_{t-1} + \varnothing_2 x_{t-2} + \dots + \varnothing_p x_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (6)$$

他等价于

$$\varnothing(B)x_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (7)$$

式中  $\varepsilon_t$  为随机扰动; $\varnothing(B)$  为自回归项(AR); $\theta(B)$  为滑动平均项(MA)。

显然,当  $q = 0$  时,ARMA( $p, q$ ) 模型简化为  $AR(p)$  模型;当  $p = 0$  时,ARMA( $p, q$ ) 简化为  $MA(q)$  模型。

## 2.3 预测模型

笔者利用经验模态分解对原始序列分解得到周期分量、随机变量等分量后,利用 ARMA 预测模型分别对每个分量进行预测,将所有得到的各个预测结果相加,从而得到最终的预测结果。预测模型如图 1 所示。

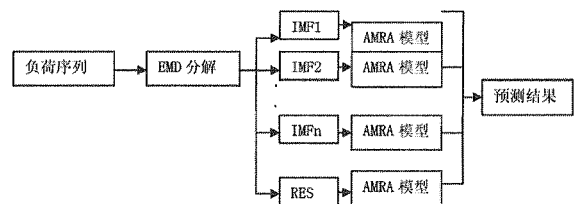


图 1 基于 EMD 分解的 ARMA 模型预测方法流程

对负荷序列进行 EMD 分解,通过分析各个分量发现,高频分量 IMF1 的规律性和周期性较弱,难以使用线性预测模型直接预测。所以这里出现了三种方案来对其进行优化,第一种是直接舍弃这个分量,第二种是对其直接进行预测。

笔者采用平均相对误差(MAPE)指标来衡量预测性能,该指标能够反映预测值与真实值的偏差的绝对值,其公式为  $MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - y'_i}{y_i} \right|$ 。

### 3 仿真结果与分析

笔者中所使用的仿真软件为 MATLAB R2013b, 仿真环境: CPU 为 InterL CORE I7 @ 2.00GHZ 2.50GHZ, 内存为 8.00GB, 操作系统为 Microsoft Windows 7。笔者的数据来源为四川省眉山市 2010 - 2012 用电负荷数据, 其抽样平率为每 15 分钟抽样一次, 每天共产生 96 个数据, 笔者

取历史数据中同一个抽样时间节点的前 670 个数据作为已知量来进行预测, 再与第 671 个数据进行比较来测算预测偏差。

根据 EMD 方法, 我们先对原始数据进行 EMD 分解, 经过 Matlab 仿真计算后, 原始数据被分解为 9 个 IMF 分量: IMF1 至 IMF9 (如图 2 至图 10)。

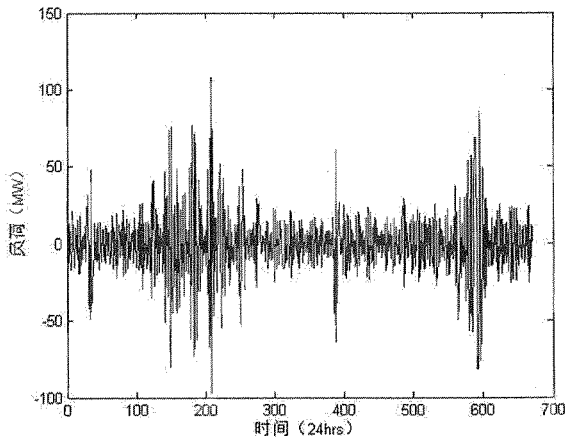


图 2 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF1 分量

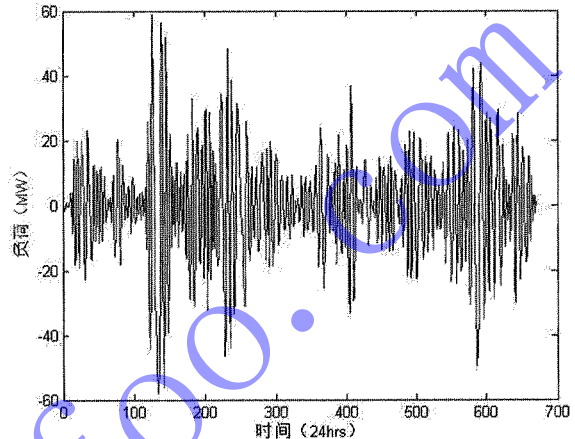


图 3 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF2 分量

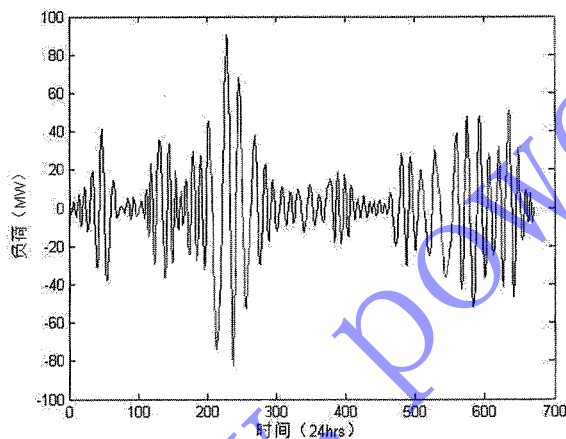


图 4 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF3 分量

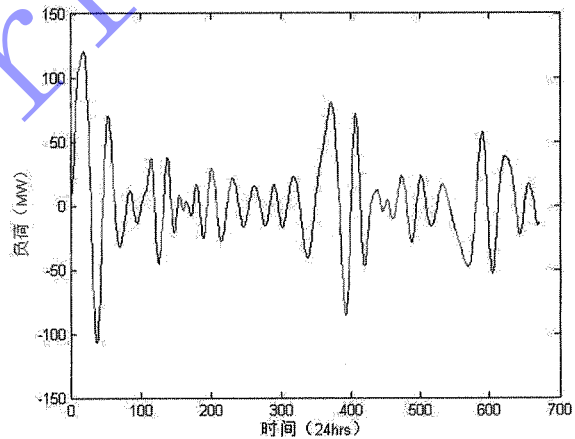


图 5 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF4 分量

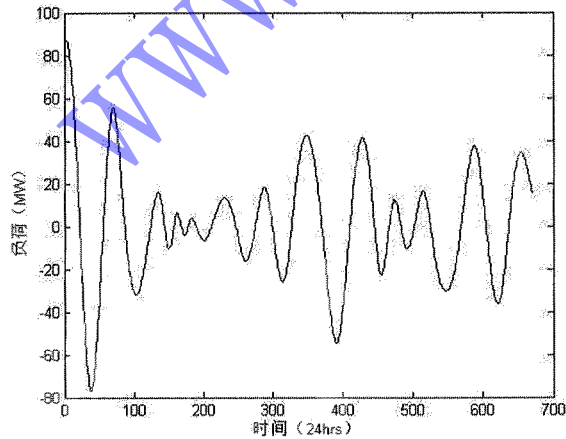


图 6 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF5 分量

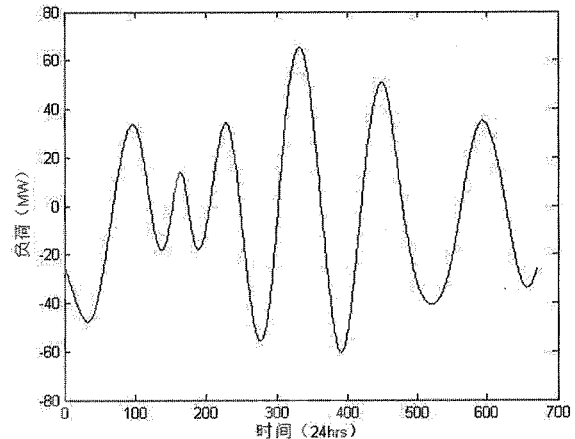


图 7 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF6 分量

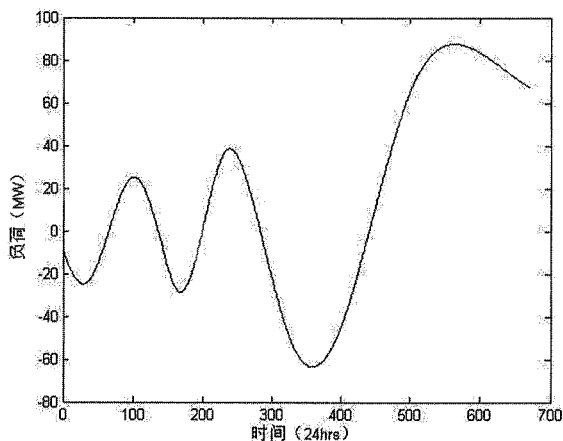


图 8 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF7 分量

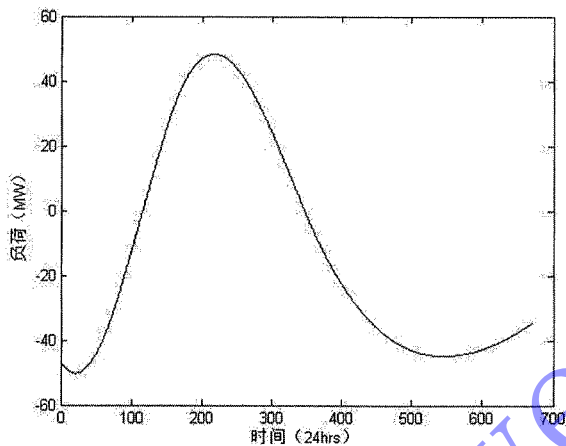


图 9 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF8 分量

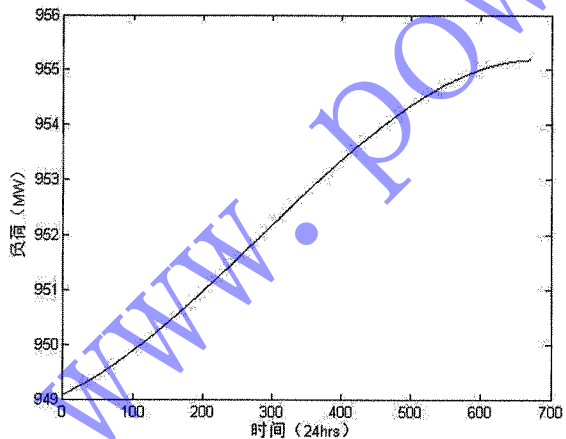


图 10 原始信号 EMD 分解之后得到的 IMF9 分量

从上述图表中可以很清晰的发现,随着每个分量的自相关系数呈现逐步增大的趋势,这是的其分解之后的波形逐渐接近正弦曲线,其随机性也大大减弱,具有一定的周期性,幅值较大,所以预测我们的预测重点主要放在 IMF4 到 IMF9 这 6 个分量上面,对这 6 个分量分别运用 ARMA 模型进

行预测再把结果累加起来可以的一个预测值,我们再对所有分量进行 ARMA 模型预测把其预测值进行累加的到另一个预测值,再用原始数据直接进行 ARMA 模型预测得到第三个预测值,比较三个预测值的误差如下图。

表 1 三种方法的预测结果对比

数据	直接 ARMA 模型 预测结果 均值	EMD 分解舍去 高频分量预测 结果均值	EMD 分解 ARMA 模型预测 结果均值
2010	3.49%	1.97%	1.39%
2011	3.31%	1.66%	1.43%
2012	3.57%	2.62%	1.76%

从表 1 我们可以看出,在三组电力负荷数据的预测中,把原始数据经过 EMD 分解之后再 ARMA 模型对所有分量进行预测之后的结果误差最下,所以我们可以得出结论:EMD 与 ARMA 模型与电力负荷的预测是有效的切精度符合低于 2% 的要求。

#### 4 结语

随着智能电网的发展以及整个社会用电的发展,短期负荷的预测对与整个电力系统来说越来越重要,笔者提出了一种基于 EMD 分解和 ARMA 预测模型的预测方法,对原始电力负荷数据先进性 EMD 分解,然后再对每个 EMD 分量单独进行 ARMA 模型预测,根据 MATLAB 仿真结果表明,笔者方法对比与直接用 ARMA 模型进行预测,预测精度明显提高,对于 EMD 分解过后的高频分量笔者也尝试了两种方法进行处理,结果表明把 IMF1 - IMF3 预测结果加入最终预测结果的预测精度要高于将其舍去的方法。通过实际仿真,笔者证明了把 EMD 用于电力负荷短期预测的可能性,但在对其分解之后的高频分量的处理方面还有所欠缺,希望未来能够找到更好的方法来处理分解之后的高频分量,进一步的提高预测精度。

#### 参考文献:

- [1] 于尔铿,韩放,谢开,曹放. 电力市场. 中国电力出版社, 1998.
- [2] 刘晨晖著. 电力系统负荷预报理论及方法[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987.
- [3] 牛东晓,曹树华,赵磊等编著. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [4] 李颖峰. 改进灰色模型在电力负荷预测中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(3): 10 - 11.
- [5] 姜竹楠,基于小波包负荷特征提取和径向基网络的短期负

- 荷预测新方法[J]. 电力科学与技术学报, 2007, 21(02): 34-38.
- [6] 单佩韦, 李明. 基于 EMD 的自相似流量 Hurst 指数估计[J]. 计算机工程, 2008, 34(23): 128-129.
- [7] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [A]. Proc Royal Soc London A [X]. 1998. 903-995.
- [8] 蒋传文, 袁智强, 侯志俭. 高嵌入维混沌负荷序列预测方法研究. 电网技术, 2004 Vol. 28, No. : 25-28.
- [9] N E. HUANG, Wu M. L, Qu W D. Applications of Hilbert - Huang transform to non-stationary financial time series analysis [J]. Applied Stochastic Models In Business And Industry, 2003, 361(19): 245-268.
- [10] LIU J K, SHU Y T, ZHANG L F, et al. Traffic modeling based on ARMA models [A]. Electrical and Computer Engineering, IEEE Canadian Conference [C]. Canadian, 1999. 162-167.
- 作者简介:  
邱 是(1989-), 男, 四川宜宾人, 四川大学电气信息学院信号及信息处理在读研究生, 研究方向电力负荷预测。  
(责任编辑: 卓政昌)

## 鸟东德水电站左岸地下厂房施工桥机吊装完成

2016年1月14日17时36分,金沙江鸟东德水电站地下厂房左岸地下厂房施工桥机第一根主梁吊装完成,用时18分钟;第二根主梁于1月15日19时38分吊装完成,用时10分钟。单根主梁重约30吨,起吊设备为130吨级伸缩臂汽车式起重机。为加快施工进度,左右岸主厂内均布置施工桥机,桥机为电动双梁双小车桥式起重机,额定起重量为160吨,起升高度为62米。施工桥机经后期组装、调试后,预计于3月份投入运行,施工桥机的安装标志着主厂房洞室开挖支护完成,转入混凝土浇筑阶段。另外,右岸地下厂房施工桥机已运输到位,将于春节前完成吊装。左右岸地下厂房预计于2016年3月开挖完成,随即转入尾水管肘管安装及混凝土浇筑,施工桥机的投入运行将大幅提升施工效率、加快施工进度。

## 天明发电公司2×100万千瓦新建工程建设用地取得批复

近日,四川能源天明发电公司2×100万千瓦新建工程取得了《四川省人民政府关于神华天明电厂新建工程项目建设用地的批复》(川府土[2015]921号),标明该项目建设用地正式获得四川省政府的批准。天明发电公司煤电一体化项目规划建设100万吨国家煤炭应急储备基地,同步建设4×100万千瓦燃煤电厂,分两期建设。一期工程建设50万吨国家煤炭应急储备基地,配套建设2×100万千瓦超超临界机组,并同步建设脱硫、脱硝、高效除尘等环保超低排放装置,机组能耗指标及主要污染物排放指标达到超低排放标准。项目总投资77.6亿元,于2015年7月获得四川省发改委核准,计划于2017年底两台机组投产发电。

## 2015年电力减排报告出炉

近日,中电联与美国环保协会发布《中国电力减排政策分析与展望——中国电力减排研究2015》。报告显示,电力行业的排放主要来自火电,火电机组的排放则集中于烟尘、二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳,其中,2014年全年烟尘排放量98万吨,二氧化硫排放620万吨,氮氧化物排放620万吨。从2006至2014年,累计减排二氧化碳共60亿吨。中电联预计,2015年将新投产发电装机约1亿千瓦,发电装机容量将超过14.7亿千瓦,其中非化石能源发电装机容量约5.1千瓦,占比提高至35%。烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放量比2014年下降69%、52%、52%。

## 锦屏二级水电站通过枢纽工程专项验收

近日,四川雅砻江锦屏二级水电站枢纽工程专项验收会议在成都召开。与会委员、专家和代表认真审阅了工程验收资料,并就枢纽工程专项验收条件和存在问题进行了研究和讨论,形成《四川雅砻江锦屏二级水电站枢纽工程专项验收鉴定书》,一致同意锦屏二级水电站工程通过枢纽工程专项验收。锦屏二级水电站是四川省除界河以外,水头最高、装机规模最大的水电站。电站装机8台,总装机容量480万千瓦,多年平均发电量242.3亿千瓦时。该工程引水隧洞群具有洞线长、埋藏深、洞径大等特点,地下洞室开挖量超过1000万立方米,是国内乃至世界上总体规模最大、综合建造难度最高的水工隧洞群。

## 溪洛渡拱坝荣获国家科技进步二等奖

日前,在2015年度国家科学技术奖励大会上,溪洛渡水电站拱坝智能化建设关键技术荣获国家科学技术进步奖二等奖。溪洛渡水电站装机容量1386万千瓦,是国内第二、世界第三大水电站。大坝坝高285.5米,是世界上已建成的三座300米级特高双曲拱坝之一。大坝位于长江干流上,安全要求特别高。其地震设防标准、坝身泄洪流量及泄洪功率位居世界特高拱坝之首,大坝结构复杂程度为世界拱坝之最,综合技术难度最大。溪洛渡拱坝建设首次提出了智能化建设理念,该成果引领水电行业由传统走向现代化、智能化,在溪洛渡特高拱坝的建设中得到了成功应用。实现了“无缝大坝”的建设目标,开创了智能高拱坝建设之先河。成果经鉴定委员会认为:“该成果是混凝土拱坝筑坝技术的重大创新,居于国际领先水平”。