

文章编号: 1671-6612 (2023) 03-422-06

# 西昌西站暖通空调系统节能设计

周昱雯<sup>1</sup> 王胜男<sup>1</sup> 张涂静娃<sup>1</sup> 彭金焘<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031;

2. 中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610041)

**【摘要】** 随着我国城镇化快速发展, 市域铁路建设持续扩容, 中小型高铁站房数量持续增加, 应重点关注其空调系统高能耗问题。结合西昌地区气候特征、站房建筑形式及使用特点, 对站房开展全年动态负荷模拟计算、分析负荷特征, 简要介绍暖通空调系统节能设计方案, 采用旁通变风道全空气系统、零机械防排烟、基于机器学习的建筑设备管理系统、冷凝回收自循环恒温恒湿型机房空调等技术, 为中小型站房节能减排设计提供参考。

**【关键词】** 铁路客运站; 暖通空调; 旁通变风道全空气; 冷凝回收自循环机房空调; 节能设计  
中图分类号 TU831 文献标识码 A

## Energy Saving Design of HVAC System in Xichang West Railway Station

Zhou Yuwen<sup>1</sup> Wang Shengnan<sup>1</sup> Zhang Tujingwa<sup>1</sup> Peng Jintao<sup>2</sup>

(1.China Railway Eryuan Engineering Group Co., Chengdu, 610031;

2.China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610041 )

**【Abstract】** With the rapid development of Chinese urbanization, the construction of municipal railways continues to expand, and the number of small and medium high-speed railway stations continues to increase. It is important to pay more attention to the high energy consumption of air conditioning system. Based on the climatic characteristics, building forms and use characteristics of the station building in Xichang area, this paper carries out the annual dynamic load simulation calculation and analysis of the load characteristics of the station building, briefly introduces the energy-saving design scheme of HVAC system, and adopts the bypass variable air channel system, zero mechanical smoke prevention, building equipment management system based on machine learning, condensation recovery self-circulating constant temperature and humidity type machine room air conditioner and other technologies, to provide a reference for the energy saving and emission reduction design of small and medium-sized station buildings.

**【Keywords】** railway station; HVAC; bypass variable air channel system; condensation recovery self-circulating machine room air conditioner; energy-efficient design

## 0 引言

公共建筑能耗由于具有显著的节能潜力而受到广泛关注, 目前, 国内建筑能源消耗年增长率高达 3.7%, 城市办公建筑能耗大约在 62.1-166.9kWh/m<sup>2</sup>, 商业建筑的平均能耗为 200kWh/m<sup>2</sup>[1-3]。交通建筑具有空间跨度大、功能复杂、人流密度高和空调系

统运行时间长等特点, 因此该类建筑的能耗特点及节能改造方向与普通公共建筑相比存在较大差异[4]。大量关于铁路车站系统能耗研究表明, 普通车站的暖通空调系统能耗约占到车站总能耗的 30-60%, 照明系统约占 10-20%, 电梯系统约占 5-10%, 其中节能潜力最大的部分是暖通空调系统

[5,6]。目前, 新建或已开通的铁路客运站中, 中小型站房数量众多, 据调查夏热冬冷地区铁路站房每平方米能耗指标高达 124~170kWh/m<sup>2</sup> (包含照明、电扶梯), 因此应重点关注中小型站房的节能问题[7]。

### 1 西昌西站概况

西昌西站位于凉山彝族自治州州府西昌市中心城区以西, 是成昆铁路扩能工程中最大客运站, 规模为中型站房。西昌西站设到发线 10 条 (含正线、机走线), 预留 1 条; 设 550m×10m×1.25m 基本站台 1 座, 550m×11.5m×1.25m 中间站台 3 座, 预留站台 1 座。西昌西站采用高架进站地道出站的流线模式, 主体由侧式站房及高架候车站房两部分构成, 站内可实现立体换乘, 站房主要功能分为客运用房、公安用房、设备用房、办公用房等。

站房按最高聚集人数 2500 人设计, 总建筑面积 14965.72m<sup>2</sup>, 其中, 建筑面宽: 126.00m, 站房建筑进深: 114.50m, 建筑高度 36.035m。地上共三层, 从下至上依次为: 出站层、进站层、高架层, 局部地下一层 (消防泵房)。其中, 地上一层建筑面积 2136.72m<sup>2</sup>, 二层建筑面积 2317.50m<sup>2</sup>, 三层建筑面积: 9373.44m<sup>2</sup>, 高架候车室夹层建筑面积: 909.79m<sup>2</sup>, 地下一层建筑面积 228.27m<sup>2</sup>, 车站已于

2022 年 1 月投入运营, 实景图如图 1 所示。

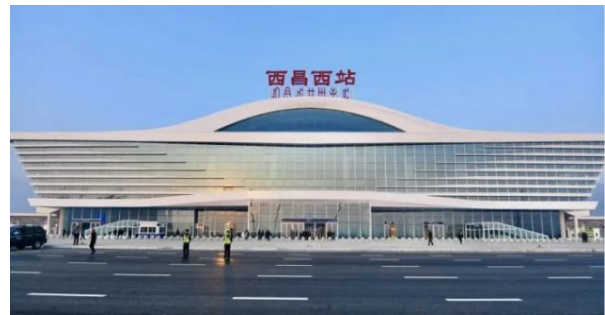


图 1 西昌西站实景图

Fig.1 Realistic view of Xichang West Railway Station

### 2 空调系统节能设计

充分考虑所在地能源条件及全年气候特点, 结合中小型铁路客运站建筑形式及使用规律, 系统设计在满足室内温度、湿度、空气品质、合理气流组织、噪声等要求的前提下, 从空调系统优化、建筑形式调整、智能运行控制等方面开展深入研究, 实现全寿命周期更好的经济性和节能减排, 同时采用安全可靠、便于高效运行管理的控制系统。

#### 2.1 全年逐时动态负荷模拟计算

根据国家及铁路相关规范[8], 结合项目具体情况, 确定室内设计参数如表 1 所示。

表 1 室内空调设计参数

Table 1 Indoor Air Design Conditions

序号	房间名称	温度 (°C)		相对湿度 (%)		噪声声级 (dB) A	最小新风量 (m <sup>3</sup> /h·p)	平均风速 (m/s)	
		冬季	夏季	冬季	夏季			冬季	夏季
1	进站厅	12~14	28~30	/	40~70	60	10	/	≤0.5
2	候车厅	18	26~28	/	40~70	60	10	/	≤0.5
3	办公、值班等	18	26~28	30~60	40~60	60	30	≤0.2	≤0.3
4	客服商业等	18	26~28	30~60	40~60	60	20	≤0.2	≤0.3
5	贵宾室	20	24~26	30~60	40~60	55	30	≤0.2	≤0.3
6	通信、信号、信息机房	温度 18~28°C, 相对湿度 30~75%							

以西昌地区全年 8760h 气象数据、高铁站典型日客流量变化情况、以及室内设计参数为计算依据, 利用 EnergyPlus 软件进行西昌西站全年逐时动态负荷计算分析, 计算模型如图 2 所示。

经计算, 车站空调面积总计 11163.9m<sup>2</sup>, 集中空调冷负荷综合最大值为 2781kW, 夏季设计日冷负荷为 2256kW, 设计单位空调面积冷指标为

202.1W/m<sup>2</sup>; 热负荷综合最大值为 1380kW, 冬季设计日热负荷为 1079kW, 设计单位空调面积热指标为 96.7W/m<sup>2</sup>, 系统全年负荷变化情况如图 3 所示。可以看出, 车站全年以冷负荷为主, 且持续时间长, 从 3 月初持续到 10 月底。同时, 3 月份出现明显的冷热交替现象, 冷热负荷波动较大。

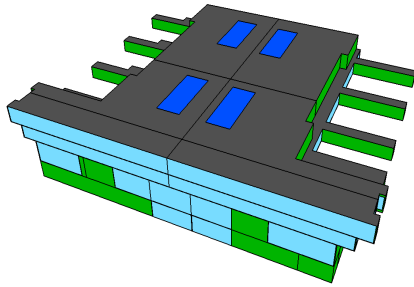


图2 西昌西站计算模型图

Fig.2 Calculation model diagram of Xichang West Railway Station

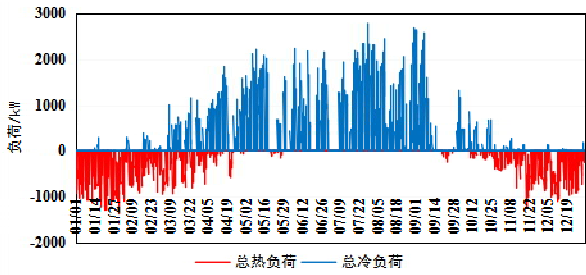


图3 高架候车厅全年动态负荷波动图

Fig.3 The annual dynamic load chart of high elevated waiting hall

### 2.2 冷热源及集中空调水系统

高架候车厅、进站厅、公共卫生间采用4台螺杆式高效风冷热泵机组提供冷/热水，每台风冷热泵机组总制冷量498.9kW，制热量492.4kW。空调

水系统为闭式机械循环，冷水供/回水温度为7/12℃，热水供/回水温度为45/40℃。系统每天运行时间为18h，风冷热泵机组位于站房东北侧屋面。贵宾室、办公、客服商业等采用变频多联空调+全热回收新风机组（带旁通），空调室外机集中设置在站房两端混凝土屋面上。通信、信息机房（通信机械室、信息设备间、信息机房）采用冷凝回收自循环恒温恒湿型机房空调。

空调水系统为一次泵变频变流量双管制系统，采用异程式、闭式机械循环，集中空调水系统原理图如图4所示。水系统采用冷量来控制热泵机组及其对应水泵的运行台数，通过分、集水器间的自力式压差平衡阀来控制水系统供回水总管的压差，使系统保持稳定。空调水系统采用气压罐定压补水，补水采用市政自来水，气压罐设于B端空调机房。热泵机组、水泵及其进出水电动蝶阀应进行电气联锁启停。组合式空调机组的出水管上设置动态平衡电动调节阀，通过其来实现控制空调送风温度及典型房间的相对湿度。动态平衡电动调节阀的理想流量特性为等百分比特性，常闭型。风机盘管的出水管上设置电动二通阀，其控制采用带三种风速选择开关、可冬夏季转换的室温控制器联动电动二通阀的自动控制。

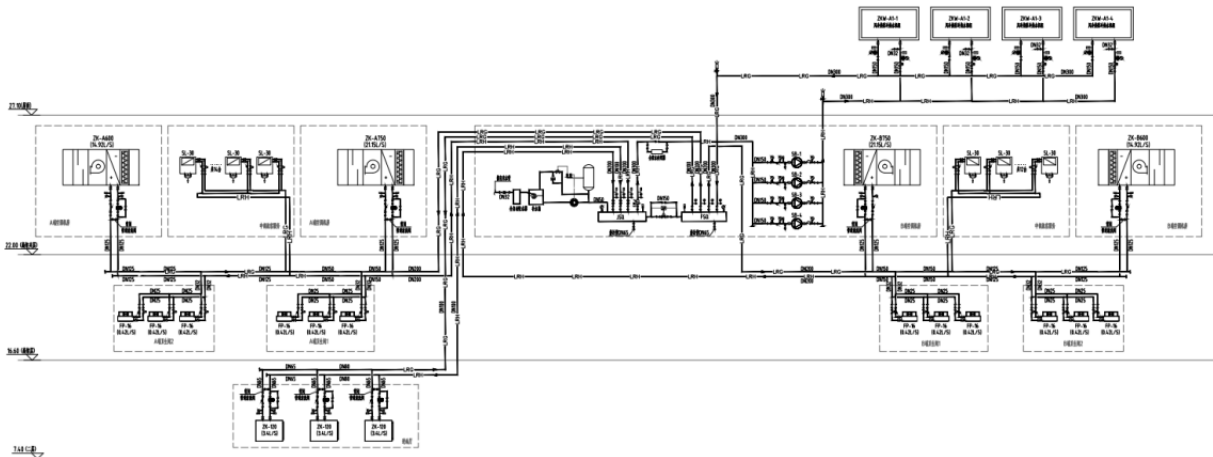


图4 集中空调水系统原理图

Fig.4 Schematic design of centralized air conditioning water system

### 2.3 旁通变风道全空气系统的应用

根据气象数据，西昌隶属温和地区，其低于18℃的小时数为3209h(占比36.6%)，在18℃~27℃之间的小时数为4538h(占比51.8%)，室外干球温

度高于27℃的小时数为1013h(占比11.6%)，如图5所示。据统计，西昌地区全年总通风利用率为31.7%，其中风压利用率为13.4%，热压利用率为18.3%<sup>[9]</sup>。为了降低空调系统能耗，应根据站房建

筑特点和负荷变化规律,在设计过程中充分利用复合通风技术,消除室内的余热和余湿,节能降耗。

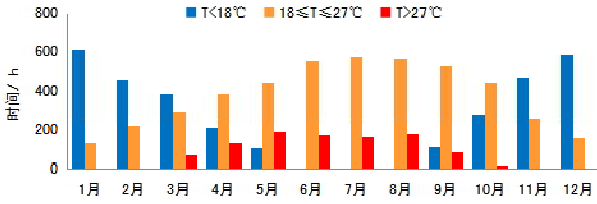


图 5 西昌典型气象年各月份温度分布时间

Fig.5 Temperature distribution time of each month in typical meteorological year of Xichang

因此,高架候车厅采用旁通变风道全空气系统,即采用旁通变风道方式,与一次回风全空气系统并联,旁通风道设置变频风机送风,过渡季节开启,原理图如图 6 所示,机房平面图如图 7 所示。旁通风量按照换气次数 8.5 次/h 计算,该换气次数下可最大限度延长通风系统使用时间,充分利用过渡季室外“免费冷源”。

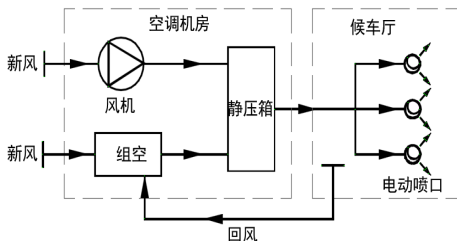


图 6 旁通式全空气系统原理图

Fig.6 Schematic design of the bypass variable air channel system

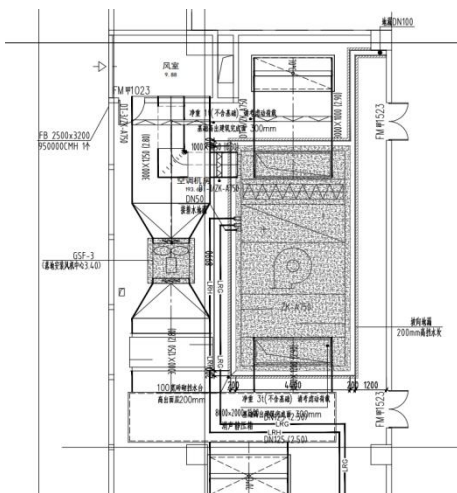


图 7 高架夹层空调机房平面图

Fig.7 Elevated mezzanine air conditioning room plan

### 2.4 零机械防排烟系统的应用

通过与建筑专业密切配合,在满足车站主要流线及使用功能的前提下,确定采用高架站房形式,优化建筑平面布局,在进站层及出站层沿顺轨方向横向布置,保证两端办公及设备区均至少有一面外墙可实现自然排烟;在高架层及夹层垂轨方向纵向布置两列商业及办公用房,两侧房间仍可保证一面外墙,中部候车大厅则采用顶部开窗自然排烟的方式。严格控制不得出现内区超过 50m<sup>2</sup>的有人房间,不得有超过 20m 的全封闭内走道。

因此,本工程全部采用自然排烟方式,无机机械排烟系统。防烟分区内任一点与最近的自然排烟窗(口)之间的距离不应大于 30m,自然排烟窗(口)应设置手动开启装置,设置在高位不便于直接开启的自然排烟窗(口),应设置距地面高度 1.3m-1.5m 的手动开启装置。候车大厅采用电动排烟窗,同时具有自动开启装置。同时,楼梯间全部采用自然通风方式,无机机械加压送风系统,并于顶部设置不小于 1 平方米的可开启外窗。

### 2.5 基于机器学习的 EBA 建筑设备管理系统

铁路站房负荷随客流量变化而不断波动,空调系统庞大,热惯性大,导致系统实际运行过程中无法根据现场情况及时动态调整,其温控系统控制复杂。为了保证系统始终处于最佳工作状态,常利用 PLC 控制、DDC 控制、模糊控制等智能控制措施,促使空调系统达到自动化、智能化控制管理目的,对降低空调系统运行能耗具有重要意义。

因此,车站内设置了一套 EBA (Environment/Equipment/Energy Building Administrator)建筑设备管理系统,系统监控点位将近 6000 个,监控设备近 368 台,可实现以下四种功能:能耗在线监测、空气质量监测、舒适环境调节、节能运行控制,系统架构主要由能源管理系统+环境控制系统+云数据平台三大部分组成,其中环境控制系统下有主控制模块,云数据平台下有数据分析模块,以上两个模块承担控制系统主要执行任务,系统架构如图 8 所示。

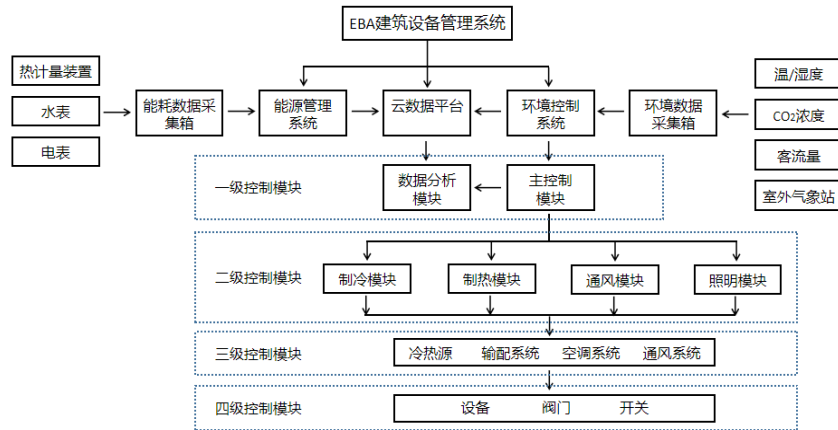


图 8 EBA 建筑设备管理控制系统构架

Fig.8 EBA building equipment management and control system architecture

它可对高铁站内的用能设备（空调、通风、照明、电梯）进行实时监控，实现远程终端操作，同时建立建筑能效监管模型，分析能源的使用情况，通过机器学习算法预测系统冷热负荷，以能源费用最小、人员舒适度最高为原则制定整体运行策略，优化调整机组新风量、送风量、水量、灯光照度、电动外窗开启数量，降低新风负荷，提高系统能源利用率，达到高效、统一的运维管理模式。

一级控制模块可根据环境数据采集箱反馈的历史数据、当前气象参数等进行数据分析，预测下一时刻冷热负荷。根据负荷预测结果判定系统工作状态，从而下发指令至三个子控制模块（制冷、制

热、通风）中执行。二级控制模块由三个子项组成：①制冷控制模块；②制热控制模块；③过渡季通风模块。二级控制模块负责接收主控制模块下达的工作状态指令，分析当前工作状态下需要执行的系统，并下发指令给三级控制模块，指定特定系统的运行状态。三级控制模块由：冷热源系统、输配系统、空调系统、通风系统组成。各系统中的设备均设置就地手动控制装置，并可通过远程/就地转换开关实现控制功能切换。该系统及控制算法已获批准计算机软件著作权，软件名称：大型半封闭建筑物热舒适度智能控制系统（软著登字第 6690042 号）<sup>[10]</sup>。系统平台应用界面详如图 9 所示。



图 9 EBA 建筑设备管理系统界面

Fig.9 EBA building equipment management system interface

## 2.6 冷凝回收自循环恒温恒湿型机房空调的应用

铁路四电(通信、信号、信息、电力)机房内的温湿度环境对其电子设备的安全运行具有重要影响,继而影响铁路行车安全。根据规范要求:机房内温度应控制在 $18^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应控制在 $40\%\sim 70\%$ 之间。而调查表明,目前已开通运营的机房内部常常因无法及时补水加湿而导致室内湿度普遍偏低。由于铁路规范明确规定,不得有任何水管进入四电机房内部,导致机房空调补水系统难以实施。但上述机房规模较小,若采用集中式系统需要设置空调机房,则会造成投资成本增加。

考虑到机房空调运行时会产生大量冷凝水,若能够将冷凝水回收后再用于加湿,实现设备内部自循环,可有效解决机房内部加湿问题,又可满足规范强条要求。由于四电机房为无人值守机房,无新风及人员散湿量,室内冷凝水量主要来源仅为室外空气渗透带来的加湿量。因此,房间单位面积冷凝水产生量可按下式估算:

$$W = \rho V n (d_w - d_N) / A$$

式中: $W$ 为单位面积冷凝水量, $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;  $\rho$ 为空气密度, $1.20\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $V$ 为房间体积, $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $n$ 为渗透风换气次数,取 $0.25$ 次/h;  $d_w$ 为室外空气含湿量, $\text{g}/\text{kg}$ ;  $d_N$ 为室内空气含湿量, $\text{g}/\text{kg}$ ;  $A$ 为房间面积, $\text{m}^2$ 。

以房间尺寸( $5\text{m}\times 5\text{m}\times 4.5\text{m}$ )为例,选用室内设计参数取(温度 $22^{\circ}\text{C}$ ,湿度 $50\%$ ,含湿量 $8.3\text{g}/\text{kg}$ ),室外空气计算参数取成都地区冬/夏季空调室外计算温湿度(冬季:干球温度 $1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $83\%$ 、含湿量 $3.4\text{g}/\text{kg}$ ;夏季:干球温度 $31.8^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $73\%$ 、含湿量 $21.9\text{g}/\text{kg}$ )。由上述参数可计算出夏季典型设计日冷凝水量为 $18.36\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,冬季典型设计日冷凝水量为 $-6.615\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

计算结果表明,夏季每小时单位面积冷凝水量可达 $18.36\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 以上,冷水量非常可观。冬季则需要加湿,补水量可根据冷凝水回收量和加湿器加湿水量的差值来确定。同时,对比各种加湿方式可以看出,湿膜加湿和高压微雾加湿的能耗比电热加湿低,尤其是湿膜加湿,不仅能耗低,且加湿效率也较高,节能效果明显。因此,根据理论分析结果,提出机房空调机组自循环湿度调节装置的设计方案,机组工作模式如下:应用冷凝水盘回收空调机

组冷凝水,回收的冷凝水可直接送入湿膜加湿水箱或先回至贮水罐后再送入加湿水箱进行加湿,冷凝水不足时,可以通过补水装置进行补水,而多余的冷凝水则通过排水管排出。研发的高效冷凝回收自循环恒温恒湿型机房专用空调机组已获取实用新型专利一项(专利号:CN201220361449.7)<sup>[1]</sup>,样机如图10所示。研发机组目前已在多个车站机房内成功应用,自循环加湿使机组能够在适当的湿度控制范围内正常稳定地运行,室内相对湿度可控制在 $45\%\sim 52\%$ 范围内变化。



图 10 带冷凝水回收的自循环装置图

Fig.10 Diagram of condensation recovery self-circulating constant

## 3 结论

本文通过对西昌地区全年气象参数及站房动态负荷特征进行分析,依据温和地区冬温夏凉、过渡季时间长的特点,介绍所采用的暖通空调系统节能设计方案,得到如下结论与建议:

(1) 采用旁通变风道系统可充分利用过渡季室外免费冷源、降低系统运行阻力,建议在候车大厅的全空气系统中推广应用;

(2) 四电机房内夏季每小时单位面积冷凝水产量可达 $18.36\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 以上,高效自循环恒温恒湿型机房专用空调机组采用冷凝水回收、湿膜加湿技术,节能增效,技术方案合理可行;

(3) EBA 建筑设备管理控制系统管理便捷、控制精度高、交互性好,可实现智能化管控,系统年节能效果可观,获得业主好评。

车站现已开通运营,系统运行效果良好,上述节能技术方案可在同类型铁路站房中推广应用。但目前的数据尚不能对系统作全面分析与评价,后续将结合系统实际运行情况进行跟踪监测,深入探讨各系统能耗数据差异,进行量化分析。(下转第 478 页)