

# 氟泵多联模块化空调系统 在存量通信机房的低碳化应用

Low-carbon Application of Fluorine Pump Multi-system in  
Existing Communication Room

丁昊<sup>1</sup>,雷宇<sup>2</sup>,刘艳飞<sup>3</sup>,程序<sup>1</sup>,王占军<sup>1</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联通河南分公司,河南 郑州 450000;3. 河南奥诺通信科技有限公司,河南 郑州 450000)

Ding Hao<sup>1</sup>,Lei Yu<sup>2</sup>,Liu Yanfei<sup>3</sup>,Cheng Xu<sup>1</sup>,Wang Zhanjun<sup>1</sup>(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China Unicom Henan Branch, Zhengzhou 450000, China; 3. Aonuo Communication Technology Co.,Ltd.,Zhengzhou 450000, China)

## 摘要:

2021年,国家明确提出2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标。因此,加快数据中心行业存量通信机房低碳化升级的进程和步伐,对于节能减排具有重要的示范意义。空调系统能耗作为通信机房能耗的重要组成部分,降低空调能耗是降低PUE的重要途径之一。针对存量通信机房的特点,从原理和工程上介绍了氟泵多联模块化空调系统,并介绍了该系统在存量通信机房中对降低PUE的贡献以及其优点和适用场景。

## 关键词:

存量通信机房;氟泵多联模块化空调系统;PUE

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.12.008

文章编号:1007-3043(2022)12-0037-05

中图分类号:TP308

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Abstract:

In 2021, the state sets the goal of carbon peak by 2030 and carbon neutrality by 2060. Therefore, promoting the process and pace of low-carbon upgrading of the existing communication room in the data center industry has important demonstration significance for energy saving and emission reduction. The energy consumption of air conditioning system is an important part of the energy consumption of communication computer room. Reducing the energy consumption of air conditioning is one of the important ways to reduce PUE. According to the characteristics of the existing communication computer rooms, it introduces the fluorine pump multi-unit air conditioning system from the principle and engineering, and introduces the contribution to reducing PUE in the existing communication computer rooms, as well as the advantages and applicable scenarios.

## Keywords:

Existing communication room; Fluorine pump multi-modular air conditioning system; PUE

引用格式:丁昊,雷宇,刘艳飞,等. 氟泵多联模块化空调系统在存量通信机房的低碳化应用[J]. 邮电设计技术,2022(12):37-41.

## 0 前言

目前,全国通信运营商的机房楼数量约为6 800多个,多数为自有业务,这些存量通信机房由于通信设备装机周期长、整体设备功率密度低、缺少统一规划等特点,空调形式主要采用风冷直膨式机房专用空调,且多为定频空调,气流组织较为混乱,节能措施较少。

近年来,随着双碳目标的落实与推进,老旧机房低碳化升级改造面临诸多矛盾,如空调室外机平台安装空间不足、室内外机之间的安装距离超长、室内外机高差超限、制冷效率低等。如何解决传统制冷系统的改造难点成为存量通信机房低碳化升级改造的主要研究方向。

为践行国家绿色发展理念,持续推进基础设施节能减排、落实国家“双碳”战略目标,一种可以充分利用自然冷源、全年能效比高、集中小型化、安装距离灵活的氟泵多联模块化空调应运而生。

收稿日期:2022-11-11

## 1 氟泵多联模块化空调系统原理

### 1.1 氟泵多联模块化空调系统介绍

氟泵多联模块化空调系统主要由室外主机(冷源部分)、室内空调末端和管网3部分组成。

室外主机采用模块化设计,可无缝拼接,成倍扩容。室外主机搭载全直流变频压缩技术、变频氟泵、2套冷却盘管,可充分利用自然冷源、实现按需供冷。

室内末端形式可选用房间空调、背板空调、列间空调、顶置式空调、机架式空调等形式或灵活组合,实现供冷侧与用冷需求侧的精准匹配。

管网可根据系统规模或建设标准采用环网设计,制冷剂通过氟泵动力循环,解决存量机房中大高差、超长连管安装的突出矛盾。通过多联管路实现冷源池冷量的分区共享和末端用冷设备的交叉备份,同时通过部分负荷运行提高制冷系统的能效比。

### 1.2 室外主机的运行原理

氟泵多联模块化空调具有机械制冷、混合制冷、自然冷却3种运行模式,系统可根据室内制冷负荷和室外环境温度变化,自动选择运行模式,实现自然冷源利用最大化的节能运行。氟泵多联空调主机的3种运行模式的流程如图1所示。

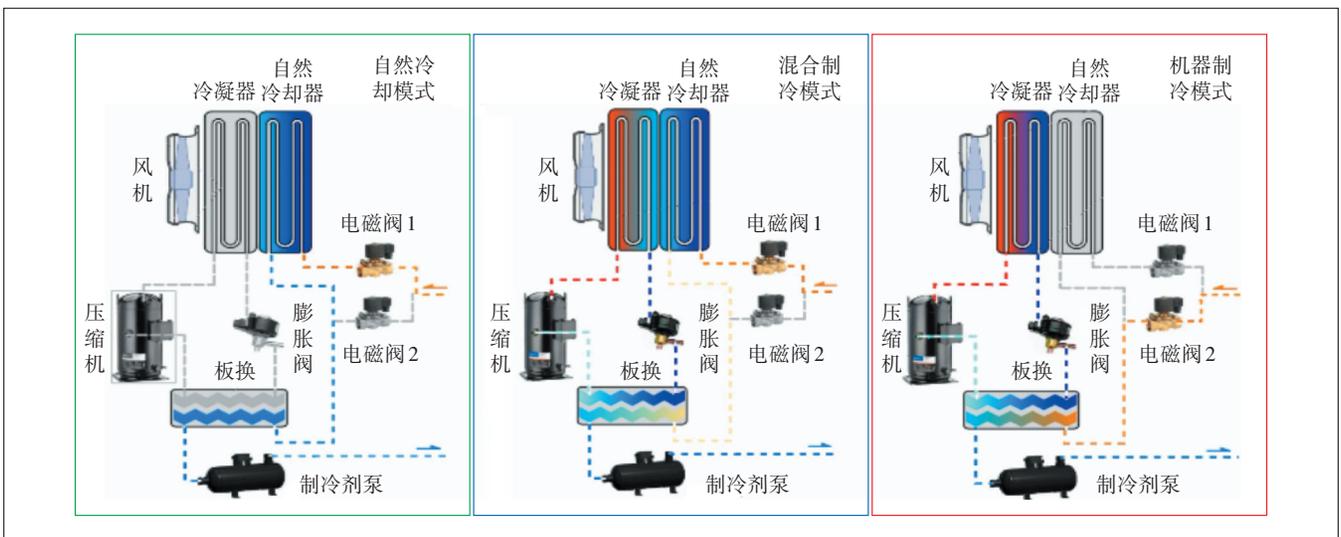


图1 3种运行模式流程图

a) 自然冷却模式。当室外温度很低(低于 $12^{\circ}\text{C}$ )时,汽态冷媒在自然冷却盘管中可完全冷凝成液体,压缩机制冷系统不启用。

b) 混合制冷模式。当室外温度较低( $12^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ )时,自然冷却盘管和压缩机制冷系统同时运行。汽态冷媒在自然冷却盘管中被预冷、部分冷凝成液体,其余冷媒继续通过压缩机制冷系统进行冷凝。

c) 机械制冷模式。当室外温度较高(高于 $20^{\circ}\text{C}$ )时,采用机械制冷模式,仅开启压缩机制冷系统,自然冷却盘管不启用。

以上为室内回风温度 $37^{\circ}\text{C}$ 、负载率70%时的测试数据,若实际运行时的室内机回风温度不同、负载率不同,各工况切换温度会随之变化。另外,为实现更大幅度的能效提升,室外机可配置水雾喷淋装置,通过蒸发冷却降低冷凝器进风温度,进而提高夏季或过渡季节的机械制冷效率。

### 1.3 氟泵多联模块化空调管网系统的特点

氟泵多联模块化空调引入冷冻水系统环网的设计理念,可设置2套冷媒主管路,平时2套主管路同时使用,降低冷媒输配系统能耗。当其中1套环路故障或需要检修时,可通过关断单侧主管路阀门将系统切换至另一侧主管路带载运行,满足在线检修要求,有效提高系统安全性。

每台室外主机模块并联在冷媒管环路上,可实现1~4台模块并联组网,并形成微型冷源池。室外主机的压缩机、风机、氟泵等均为变频组件,系统搭载智能控制平台,可自动根据各动力部件的能效曲线,通过优化算法实现自动加减载、自动切换工况,最大限度提升全年能效,降低机房PUE。

每台室内制冷末端同样并联在冷媒管环路上,室内侧最大可实现64台末端并联使用,每台室内末端通过电子膨胀阀实现冷媒系统的按需分配,每台末端风

机根据需求自动调节风量输出。

系统冷媒通过室外主机搭载的变频氟泵进行输送,不但解决长连管(大于300 m)、大高差(大于50 m)场景下的冷媒输送问题,而且通过室内末端电子膨胀阀实现了冷媒流量的精确分配和输配系统节能。另外,系统管路可按需预留接口阀门,满足统一规划、分期建设的要求,实现投资的精确控制,提高投资利用率。氟泵多联模块化空调管路流程如图2所示。

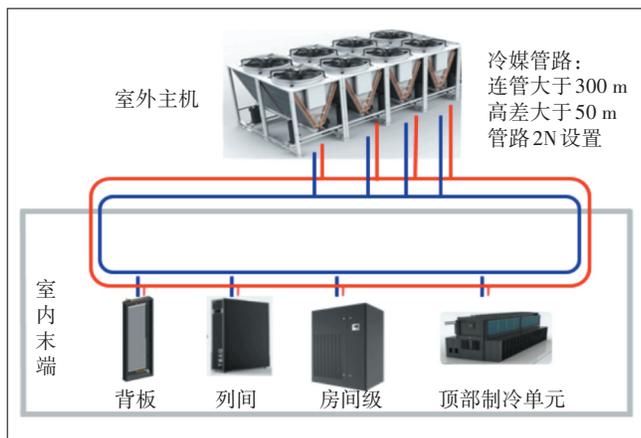


图2 空调管路流程图

## 2 氟泵多联模块化空调系统的优势分析

### 2.1 氟泵多联模块化空调系统的节能优势

以某国内知名品牌的空调为例,选取氟泵多联模

块化空调、风冷直膨式空调、智能双循环空调3种常用类型的机房空调进行能效分析。

以回风温度32℃、100%额定冷量输出为例进行测试,3种类型空调在室外环境温度从-15℃~40℃的能效比如图3所示。

根据上述测试结果,在额定输出条件下,3种空调在室外高温环境下的运行能效差别不大;当室外环境温度低于15℃时,3种空调的运行能效比均有所提高,但氟泵多联空调能效提升幅度及提升速率远超传统风冷直膨式空调和智能双循环空调。因此,在低温环境条件下,氟泵多联模块化空调利用自然冷源的优势明显,特别适合北方地区低碳化升级改造。

根据场景不同,以典型工况运行为例进行能效分析。

采用冷通道封闭(30℃回风)时,氟泵多联空调系统运行能效随负载率和室外温度变化如图4所示。采用热通道封闭(35℃回风)时,氟泵多联空调系统运行能效随负载率和室外温度变化如图5所示。

通过以上2种应用场景的对比可以看出,在相同室外温度条件下,适当降低空调负载率或适当增大空凋制冷冗余配置,可有效提升系统运行能效;若空凋配置不变,适当提高回风温度可以大幅提高氟泵多联空调的系统能效。因此,部分负荷时,氟泵多联模块化空调更加节能,特别适合通信机房低负荷运行的特

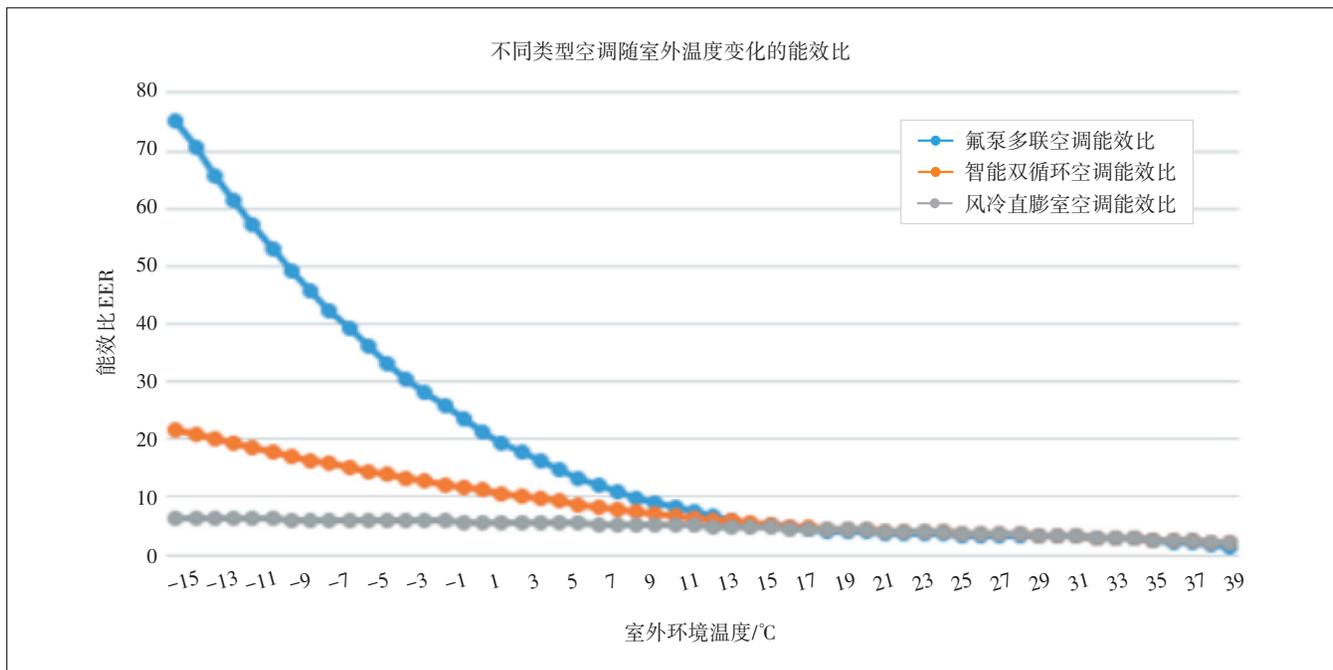


图3 3种空调能效比变化图

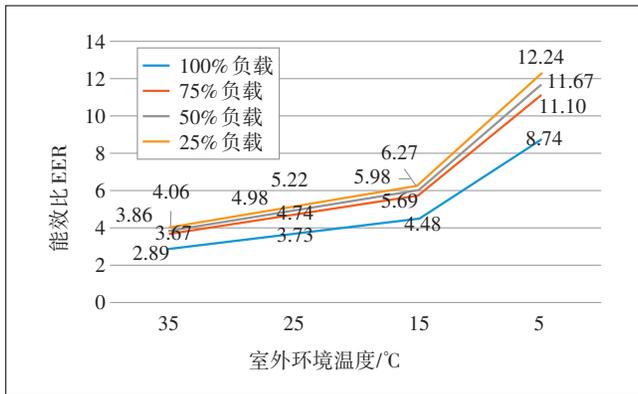


图4 氟泵多联空调(30℃回风工况)能效分析

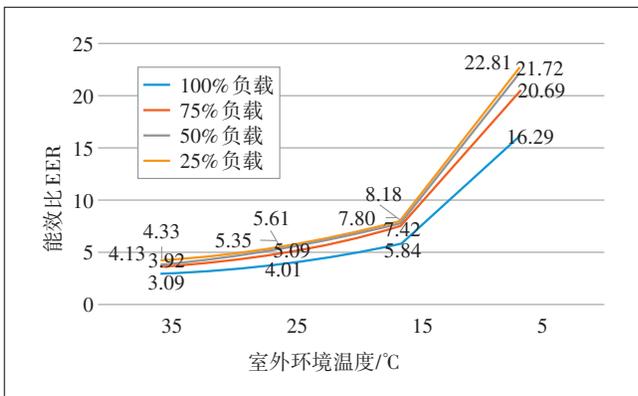


图5 氟泵多联空调(35℃回风工况)能效分析

点。

## 2.2 氟泵多联模块化空调系统的安装优势

与通信机房最常用的风冷直膨式空调和智能双循环空调对比,氟泵多联空调在安装高差、管长距离、自然冷源利用、自控水平、环境适用性等方面均具有一定优势,特别是大高差、长连管等传统空调无法解决的场景,氟泵多联空调均能正常使用。常用机房空调安装特点对比如表1所示。

表1 3种空调安装特点对比

对比项目	安装负高差/m	安装正高差/m	安装距离/m	自然冷效果	自控特点	适应环境温度/°C	低温启动性能
风冷分散式	≤5	≤20	60~100	差	启停或变频	-10~45	差
智能双循环	≤5	≤20	60~100	一般	启停或变频	-10~45	好
氟泵多联模块化	50~60	50~60	≥300	好	智能调优	-30~48	好

## 3 氟泵多联模块化空调在通信机房的应用

### 3.1 应用案例介绍

以某市某运营商通信云机房为例,该机房楼为高

层长途枢纽楼,共20层,建筑高度约为95 m。机房楼原有空调采用风冷直膨式空调,室外机布置在北侧室外机平台,由于功率密度提升,原有室外机平台已无剩余空间,室外机平台热岛效应明显,室外机经常出现连锁性停机保护,传统机房空调已无法满足机房扩容需求。

为解决13层通信云机房空调扩容改造难题,特引入氟泵多联模块化空调,将室外机布置在机房楼屋面(20层),室内、外机高差约为35 m,室内、外机距离约为120 m。

13层共布置2个标准机房,每个标准机房安装机柜228架,每个机房空调总显冷负荷约为1 030 kW,配置16台制冷量为100 kW(显冷量约90 kW)的房间级多联氟泵空调,每个标准机房的空调及设备布置如图6所示。



图6 空调及设备布置图

每个标准机房内的16台空调共分为4套系统,每套系统采用4台末端与4台室外主机进行组网。

### 3.2 系统运行能效分析

#### 3.2.1 全年能效理论测算

根据某市典型年气象数据,以及氟泵多联模块化空调在30℃回风、90%负载率下的理论数据,该地区全年各时段能效比如图7所示。

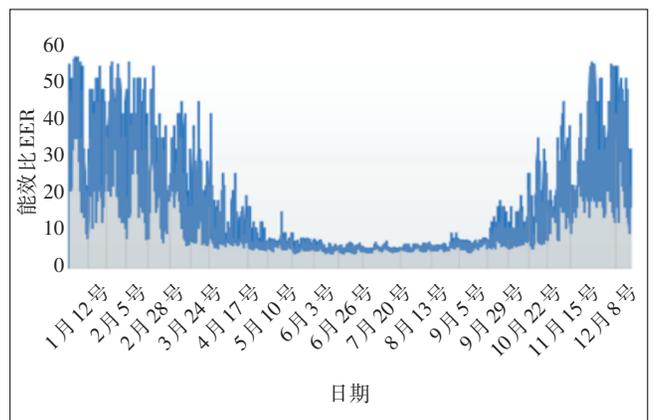


图7 某地区全年各时段能效比统计图

根据加权平均测算,该区域的全年能效比约为8.4,即标准机房的空调系统的PUE因子约为0.12。

### 3.2.2 监控系统实测PUE

根据项目投产后综合运营管理平台的监测数据,13层通信云机房近半年的月实测平均PUE如表2所示。

表2 2022年5月—2022年10月实测运行PUE统计表

月份	5	6	7	8	9	10
机柜负载/kW	226	323	340	430	469	486
平均PUE	1.34	1.38	1.42	1.51	1.36	1.12

从上述结果分析,实际运行能效与理论测算数据有一定偏差,其主要原因为2022年5月—2022年9月属于服务器上架调测期,服务器间断性运行,但机房空调长时间无负荷或超低负荷试空跑运行;从2022年9月底开始,上架业务集中开服,PUE运行值大幅下降至1.12。

根据空调BA系统运行数据,以某天昼间为例,其送、回风温度如图8所示。

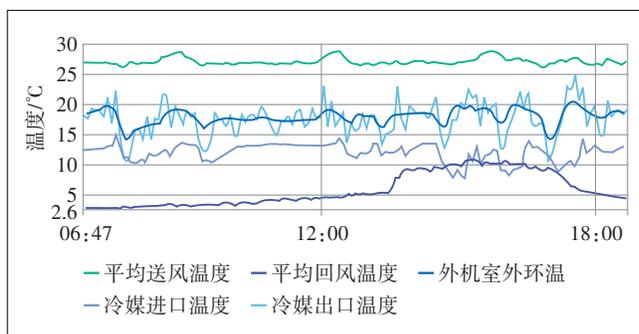


图8 送、回风温度运行曲线

通过运行曲线分析,试运行阶段空调平均送风温度为16~18℃,平均回风温度为26~28℃,运行工况的送回风温度低于设计值。

综上所述,由于当前回风温度较低,随着机房送回风温度的提高,氟泵多联模块化空调的效率将进一步提高。根据2022年10月上架业务集中开服后的运行数据,氟泵多联模块化空调的运行能耗趋势符合预期目标。

## 4 结论

a) 结合存量通信机房现状,氟泵多联模块化空调提供了高效节能、安全可靠、安装便捷、环境适应性强、占地面积小、末端多样化的新型制冷解决方案,可

有效解决存量通信机房低碳化改造中空调系统面临的改造难点。

b) 在能效方面,氟泵多联模块化空调深度挖掘了自然冷源利用和部分负荷的能效提升潜力,在低温环境条件下节能优势突出,可大幅度提升制冷效率、降低存量通信机房的PUE。

c) 在推广价值方面,氟泵多联模块化空调系统的推广应用,对降低制冷运行能耗,降低存量通信机房的运行能耗,助力“双碳”战略目标具有积极示范意义。

### 参考文献:

- [1] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数据中心设计规范:GB 50174—2017[S]. 北京:中国计划出版社,2017.
- [3] 中国标准化协会. 多联式低环境温度空气源热泵热风机性能规范:T/CAS 302—2018[S]. 北京,中国标准化协会,2018.
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 林郁聪,刘金平,许雄文,等. 基于氟泵增压的机房空调系统性能实验研究[J]. 制冷学报,2020,41(5):83-88.
- [6] 刘立贤. 降低机房空调运行能耗的热力循环理论分析[C]//2017年中国通信能源会议论文集. 北京:中国通信学会,2017:157-160.
- [7] 王振英,曹瀚文,李震. 数据中心制冷系统冷源选择及能效分析[J]. 工程热物理学报,2017,38(2):326-332.
- [8] 刘威,许新毅,邓重秋. 通信机房空调系统节能措施分析[J]. 暖通空调,2010,40(4):92-96,100.
- [9] 祝涵,宋梦譞,方遒,等. 数据中心动态温度估计模型[J]. 工程热物理学报,2016,37(3):602-608.
- [10] 郑跃波. 精密机房空调机冬季制冷节能运行的探讨[J]. 流体机械,2016,44(4):80-82.
- [11] 韩小磊,涂淑平,李学章. 应用于数据中心的氟泵自然冷却机组的模拟计算[J]. 制冷,2018,37(2):75-79.
- [12] 董宏涛. 通信机房中的节能降耗技术分析[J]. 中国高新技术企业,2012(20):132-134.
- [13] 吴雪莉,慈宏昕. 微雾水喷淋系统在传统风冷空调机组中的节能应用[J]. 中国管理信息化,2014,17(4):36-37,38.

### 作者简介:

丁昊,高级工程师,学士,主要从事数据中心空调系统设计及空调创新产品研发工作;雷宇,高级工程师,硕士,主要从事数据中心、双碳、云网基础设施的建维管理工作;刘艳飞,工程师,学士,主要从事数据中心空调系统设计及空调创新产品研发工作;程序,高级工程师,学士,主要从事数据中心空调系统设计及空调创新产品研发工作;王占军,高级工程师,学士,主要从事机房及数据中心设计咨询及造价咨询工作。