



中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

空气源热泵供暖工程应用技术发展

路 宾 教授级高工

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

2018年5月31日



Content

1

空气源热泵供暖技术背景

2

空气源热泵供暖工程应用的现状和问题

3

技术规程的重点和主要研究内容

4

空气源热泵供暖工程应用技术发展

一、技术背景

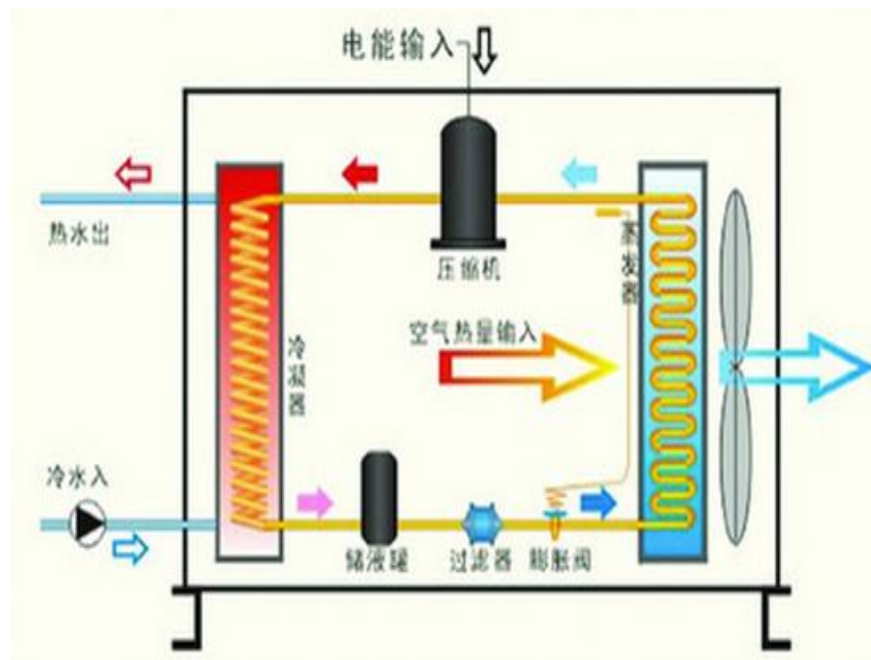
➤ 清洁取暖，宜电则电，宜气则气。

取消燃煤供暖小锅炉，土暖气，减少污染物排放。

热泵供暖技术得到重视和应用。

➤ 空气源热泵

以空气为低温热源制取热水或者热风的热泵。



一、技术背景

- 空气源热泵作为热泵技术的一种系统形式，具有使用成本低、易操作、供暖效果好、安全等多重优势，已成为我国重要的建筑能源系统形式。
- 空气源热泵作为清洁取暖技术之一，取代散煤取暖，对保护环境，减少排放具有重要作用。



空气源热泵作为替代燃煤供暖的重要技术手段进行试点推广：

- 北京市农村“煤改清洁能源”；
- 天津市农村“煤改电”；
- 河北省“美丽乡村建设”；
- 黑龙江、辽宁等省市“电化东北”；
- 新疆自治区“电化新疆”……

一、技术背景

- ✓ 1985年，中国建筑科学研究院在美国Oak Ridge National Laboratory的计算程序基础上，开发了**热泵(及空调器)计算程序**，对空气源热泵的设计计算以及机组性能提升进行了分析研究。
- ✓ 1993年在高档旅馆与办公楼利用热泵技术节约能源的可行性研究中，对空气源热泵的**节电效益与投资效益**进行调研分析，说明了其适用性与经济合理性。当时该类产品较少，并没有在标准中体现。2005年国标单独一条对空气源热泵热水机组应用提出规定。2012年版性能要求更高。
- ✓ 1996年开展了北京市办公建筑利用空气/空气型电动热泵采暖的实验研究，实验结果表明北京市办公建筑采用空气源热泵供暖的季节性能系数为**2.48**左右，综合能源利用效率约**69%~74%**，由此得出北京市办公建筑采用空气源热泵供暖技术上可行，且具有节能效益和经济效益的结论，并通过了技术成果评议。

一、技术背景

产品标准体系

序号	产品	标准号	标准名称
1	低环温空气源 热泵	GB/T 25127.2-2010	《低环境温度空气源热泵（冷水）机组 第2部分：户用及类似用途的热泵（冷水）机组》
2	普通型空气源 热泵	GB/T 18430.2-2008	《蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组 第2部分：户用及类似用途的冷水（热泵）机组》
3	热泵热水机	GB/T 23137-2008	《家用和类似用途热泵热水器》

- GB/T 25857-2010 《低环境温度空气源多联式热泵（空调）机组》
- JB/T 12841-2016 《低环境温度空气源热泵热水机》
- JB/T 12840-2016 《空气源热泵高温热风、高温热水机组》
- JG/T 401-2013 《空气源三联供机组》

一、技术背景

产品标准体系

序号	产品	介质	名义工况	低温工况
1	低环温空气源 热泵	空气侧	-12℃干球温度/-14℃湿球温度	-20℃干球温度
		水侧	41℃出水温度	41℃出水温度
2	普通型空气源 热泵	空气侧	7℃干球温度/6℃湿球温度	2℃干球温度/1℃湿球温度
		水侧	45℃出水温度	45℃出水温度

一、技术背景

目前，国内外研究主要致力于提升名义工况下空气源热泵性能参数，并已收到显著成效。但仍存在问题，制约了空气源热泵供暖在低温环境下的应用与推广。

空气源热泵机组

在实际运行中，尤其在低温高湿环境下运行机组频繁结霜、误除霜、运行不稳定、能效低影响了空气源热泵供暖系统的实际运行效果。

国家十三五重点研发计划“藏区、西北及高原地区利用可再生能源采暖空调新技术”对空气源热泵有效抑霜、高效控霜关键技术及低温空气源热泵设备开发等工作开展研究

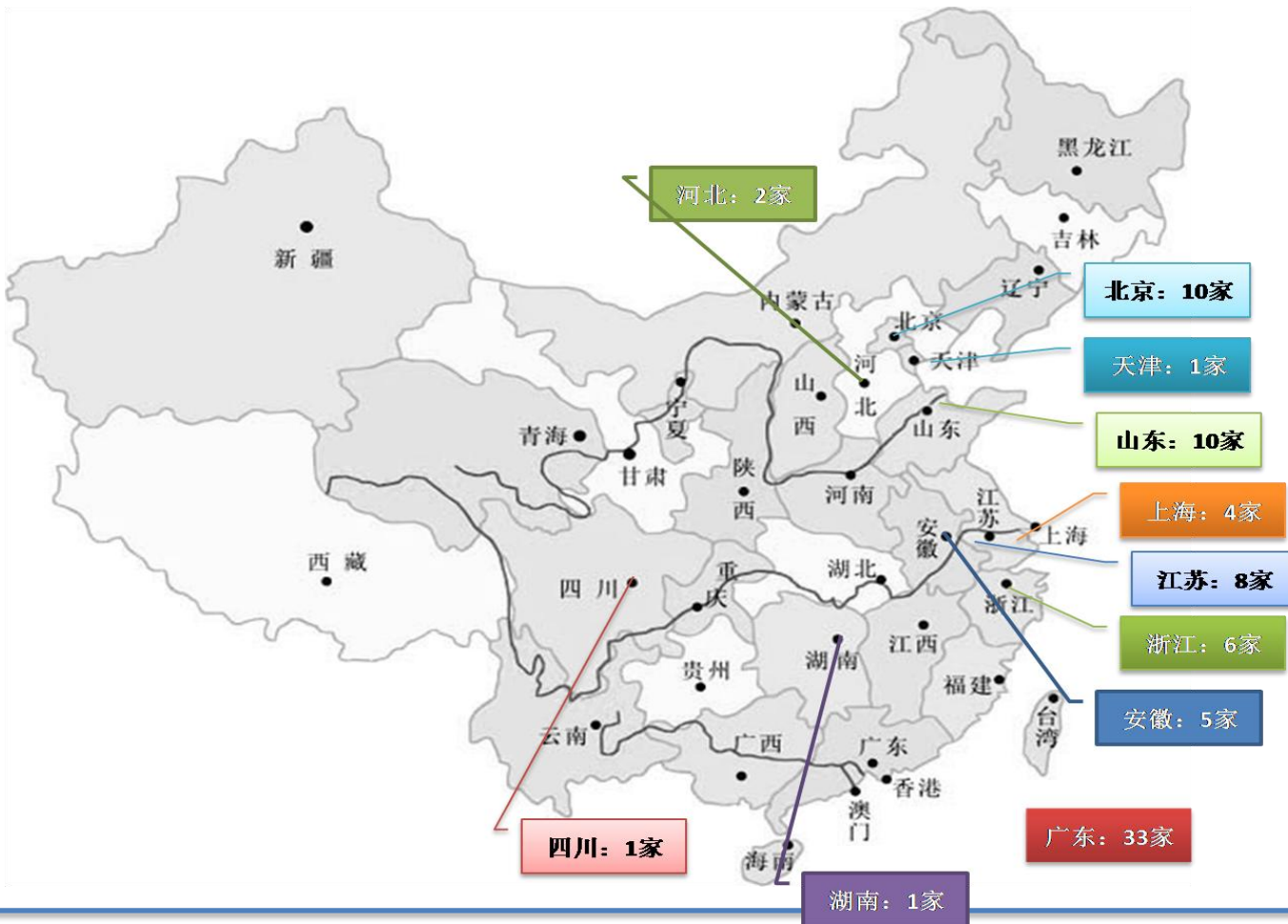
空气源热泵供暖工程

设计、施工、调试及验收没有统一的标准规定
工程质量、适用性和安全性均无法得到保障
多数工程经济性和技术先进性缺乏验收后评估

归纳总结研究成果的基础上
编制《空气源热泵供暖工程技术规程》
安全适用、经济合理、技术先进可靠
促进空气源热泵供暖工程在我国的发展

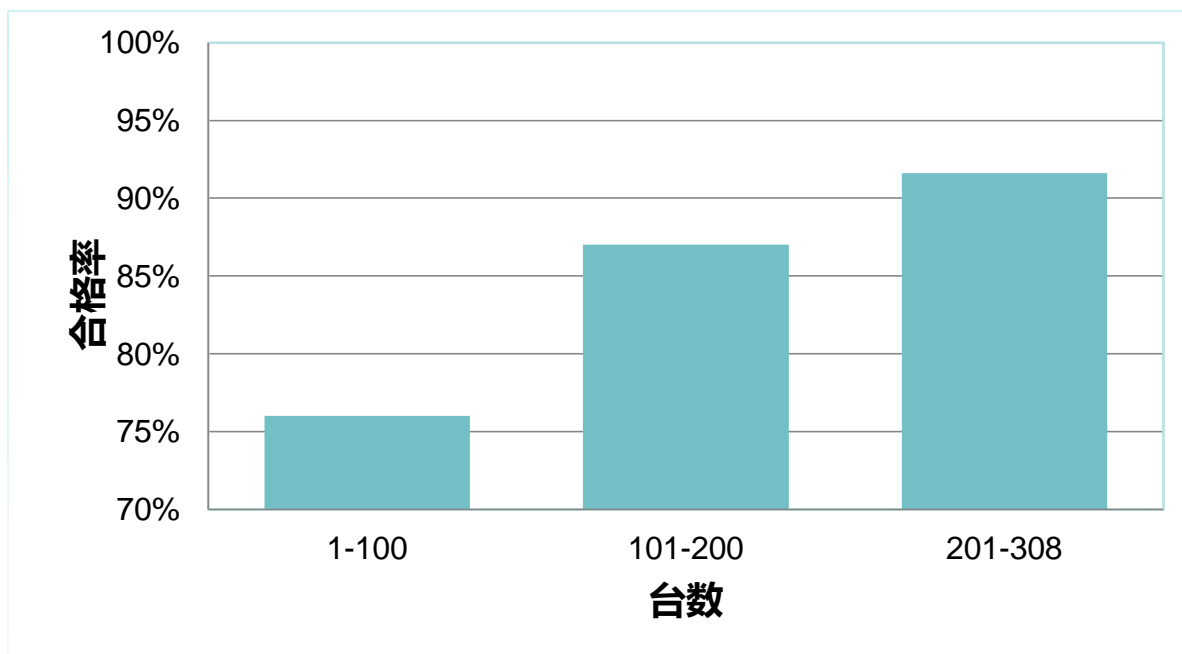
二、应用的现状与问题

- 北京煤改清洁能源，参与在线抽样检验的生产企业有81家。



二、应用的现状与问题

- 参与在线抽样检验的热泵共计300多台，总体合格率85.1%。



二、应用的现状与问题

➤ 参与在线抽样检验的**热泵分类**。

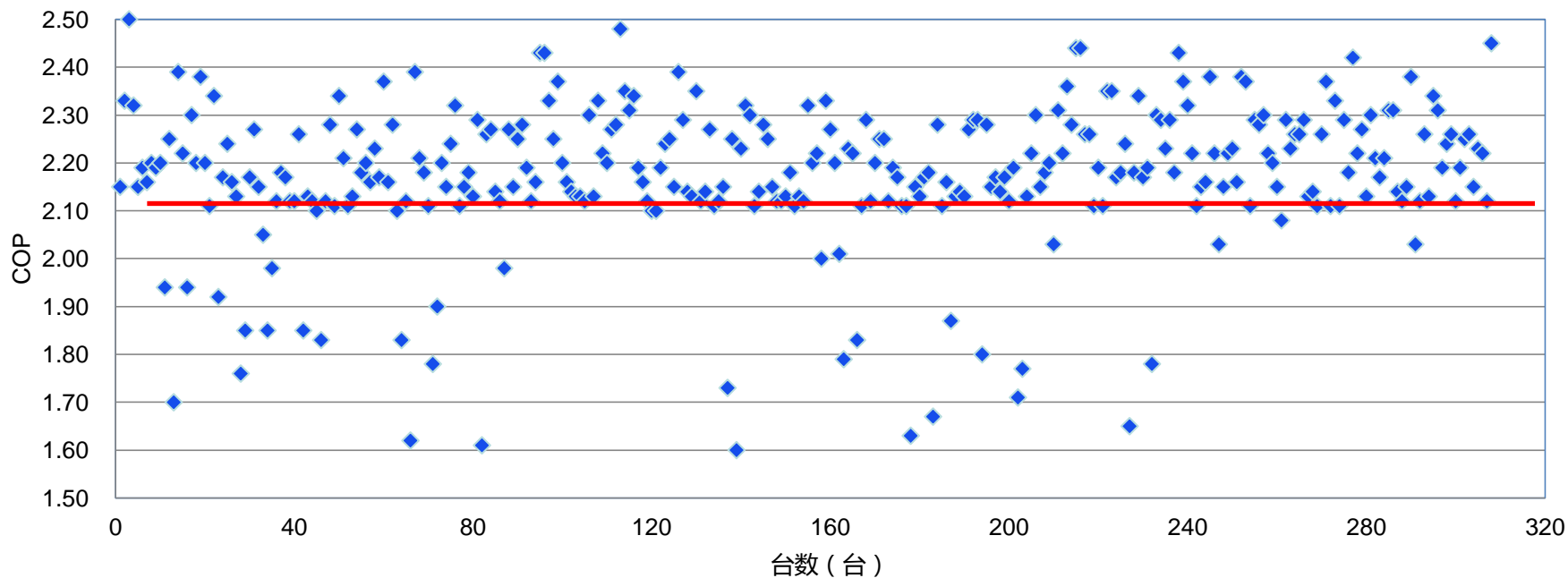
序号	结构型式	数量（台）	占比
1	整体式	182	59.1%
2	分体式	126	40.9%

序号	频率调节方式	数量（台）	占比
1	定频机	220	71.4%
2	变频机	88	28.6%

二、应用的现状与问题

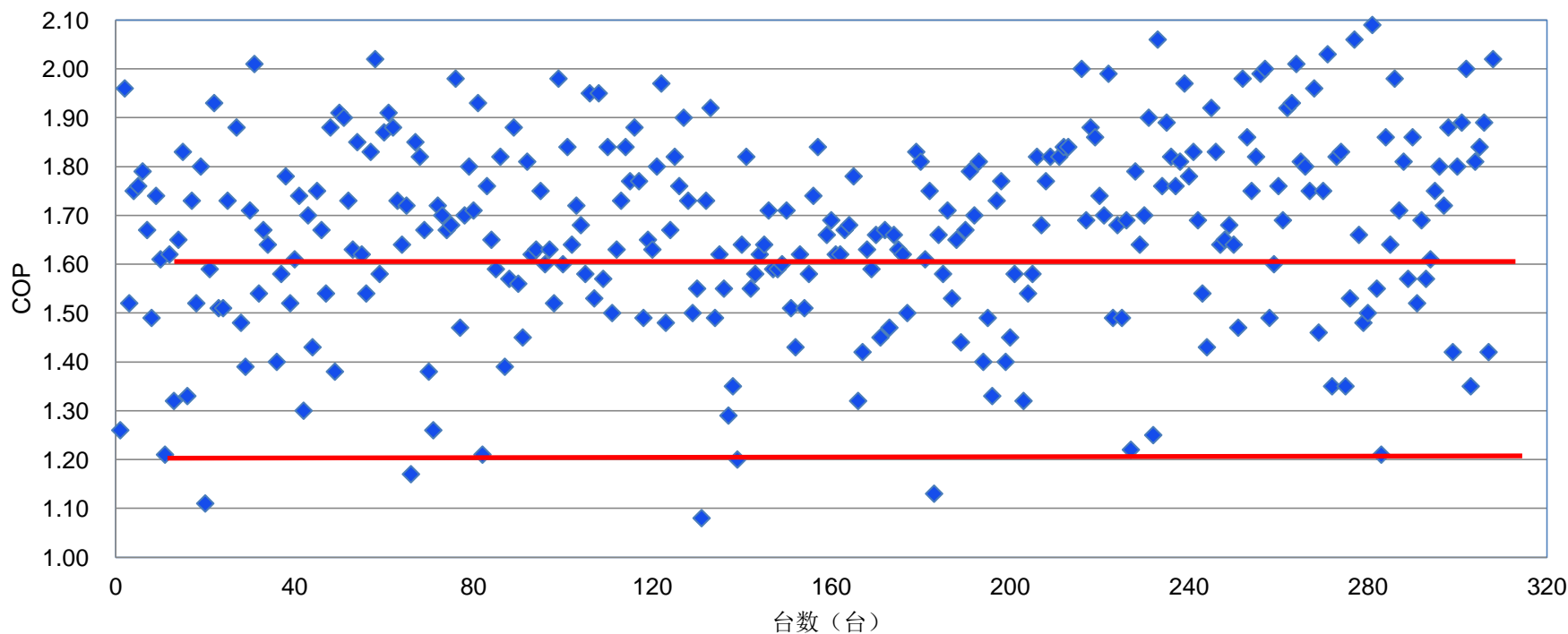
- 热泵机组的制热名义工况COP分布情况。85%以上达到2.1。

机组制热名义工况COP分布情况



二、应用的现状与问题

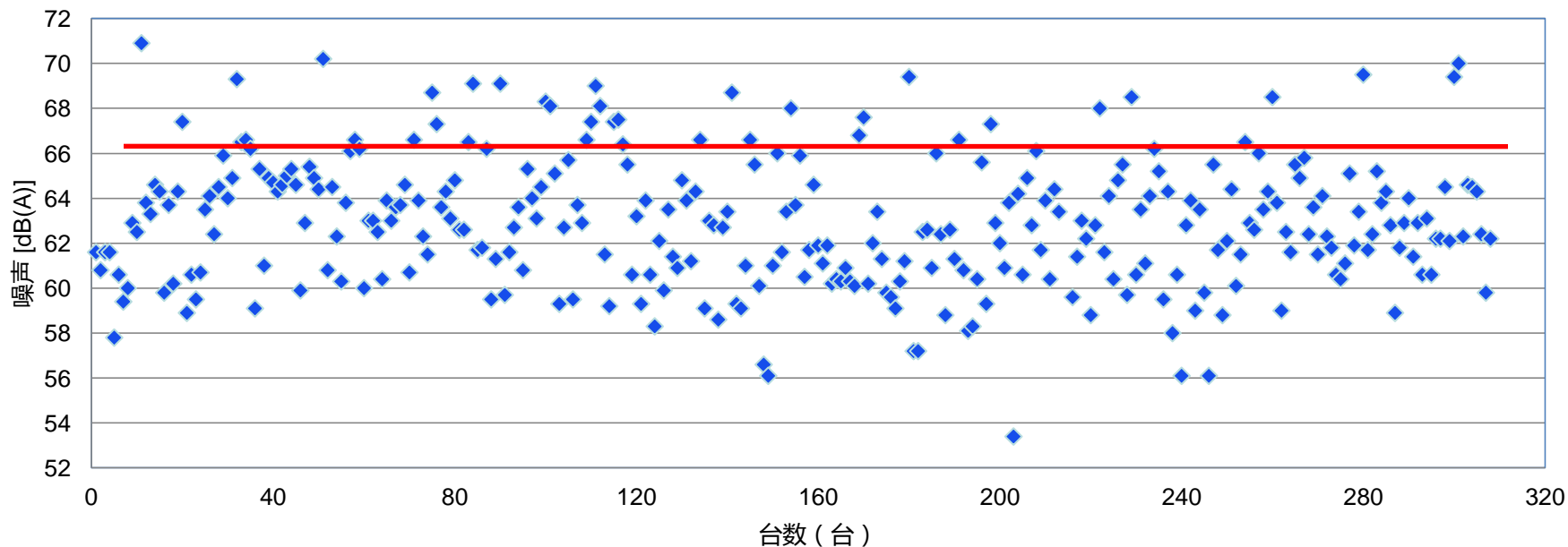
热泵机组的低温工况COP分布情况。60%超过1.6。



二、应用的现状与问题

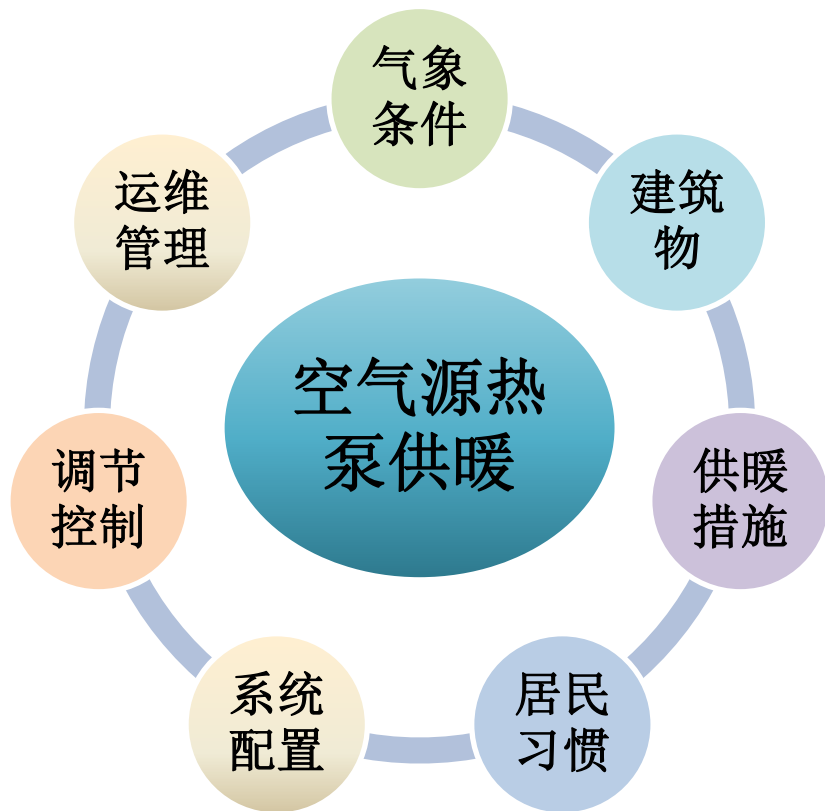
- 热泵机组的噪声分布情况。

机组噪声分布情况



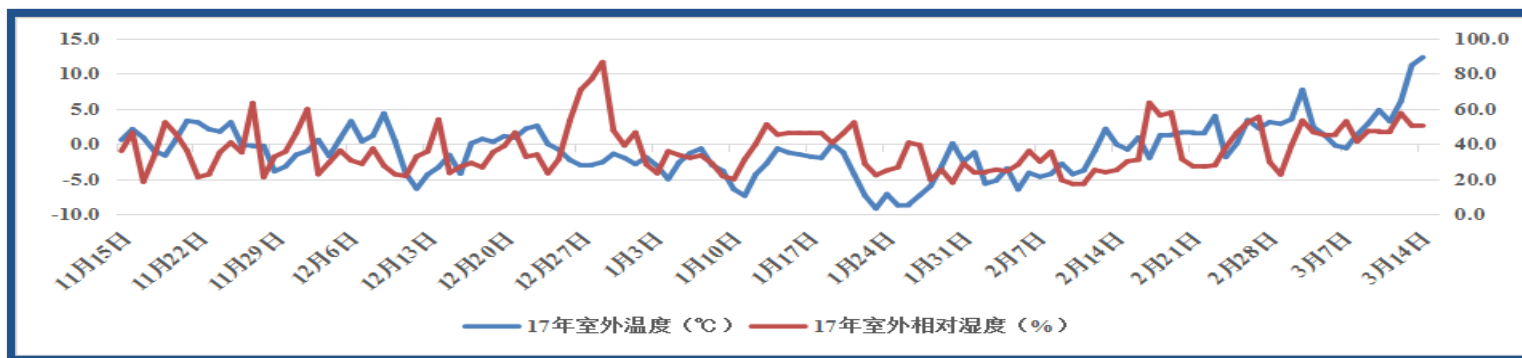
二、应用的现状与问题

运行分析1—空气源热泵供暖是系统工程



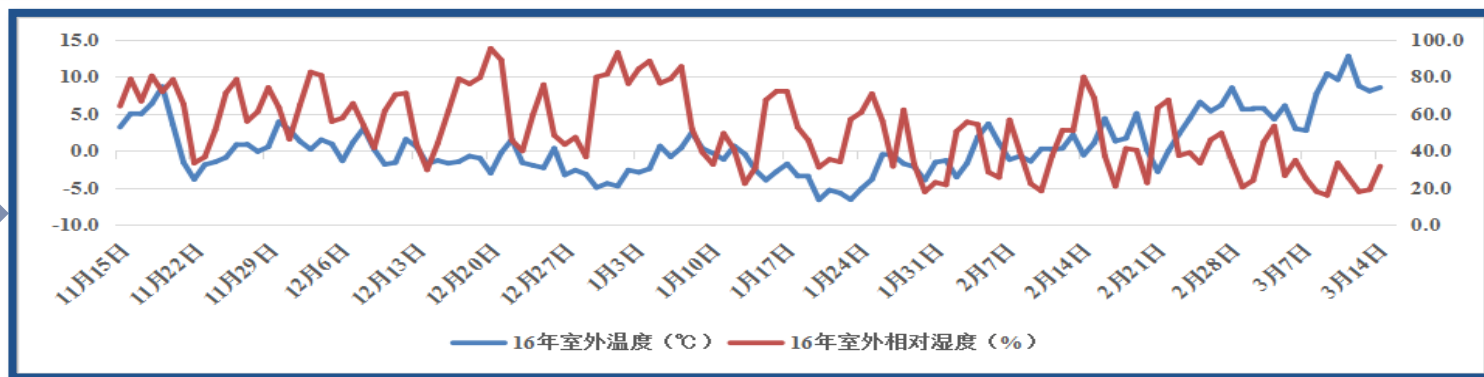
二、应用的现状与问题

运行分析1—气象条件



17年气象参数

16年气象参数



二、应用的现状与问题

运行分析1—气象条件

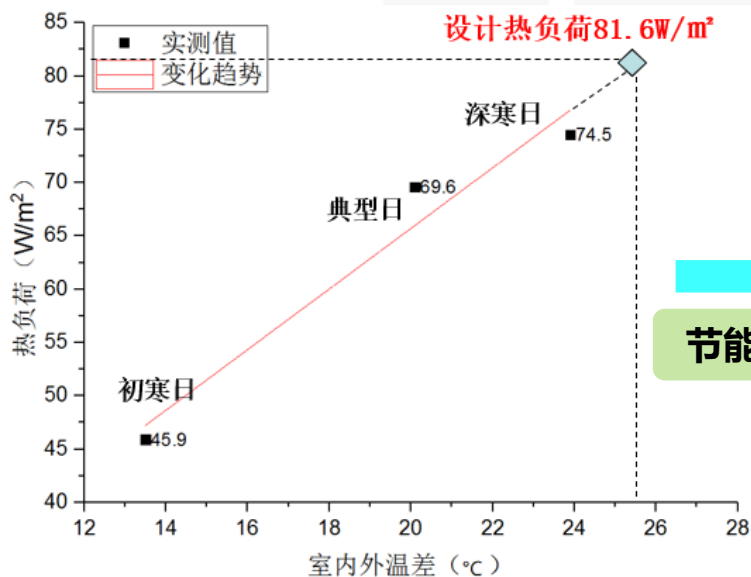
	干冬		暖冬		典型气象年	
	17年		16年			
	室外温度 (°C)	相对湿度 (%)	室外温度 (°C)	相对湿度 (%)	室外温度 (°C)	相对湿度 (%)
平均值	-1.1	36.7	0.6	51.5	0.2	43.0
日平均最高值	7.7	86.6	12.8	95.3	10.0	93.8
日平均最低值	-9.2	17.2	-6.6	15.9	-10.2	12.0
逐时最高值	13.1	96.0	19.4	97.0	17.7	99.0
逐时最低值	-15.0	4.0	-12.3	6.0	-14.0	2.5

➤ 影响热负荷需求

➤ 影响机组性能

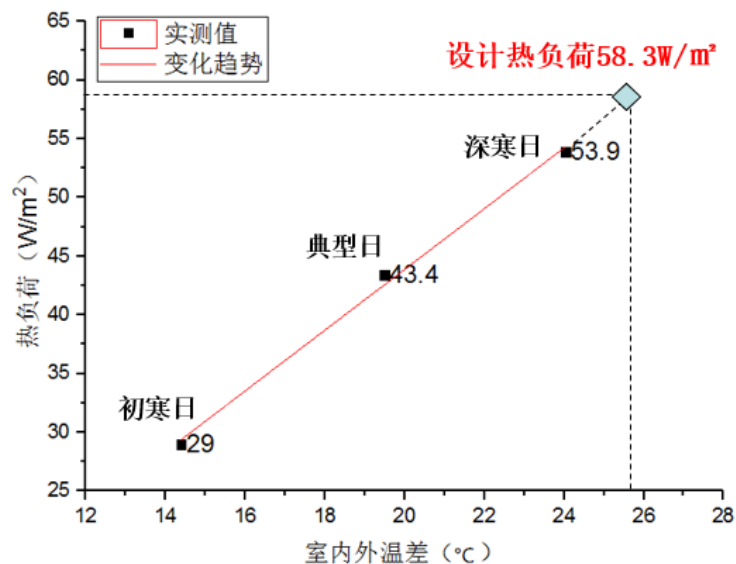
二、应用的现状与问题

运行分析2—建筑物热负荷



普通农宅热负荷

设计工况：室内温度 18.0°C ；室外温度 -7.6°C 。

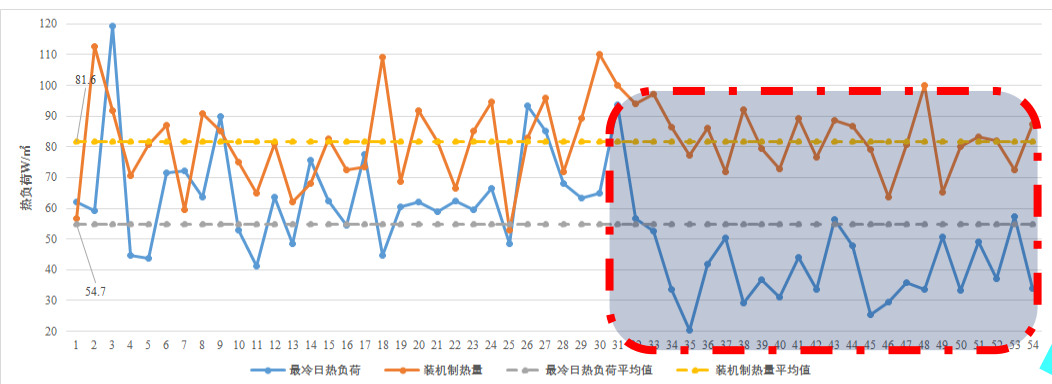


保温改造后的农宅热负荷

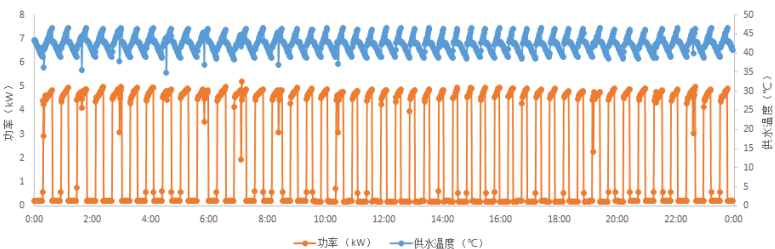
北、东、西墙保温+南窗、门节能改造

二、应用的现状与问题

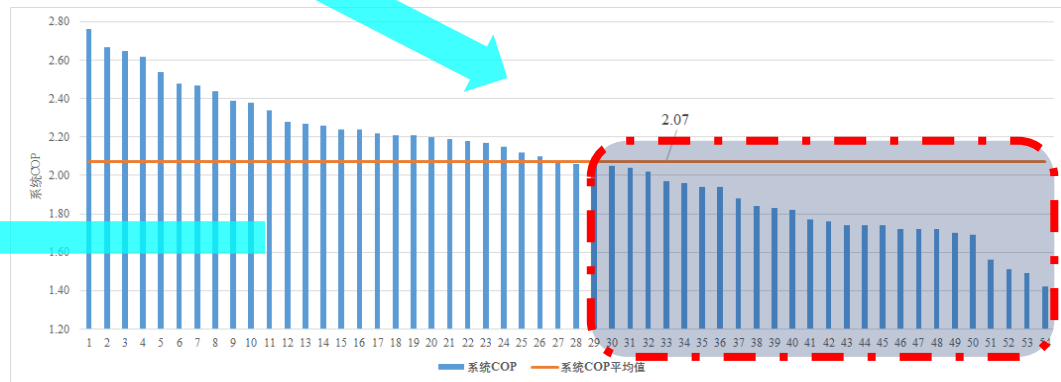
运行分析3—空气源热泵供暖系统运行情况



建筑最冷日供热量与供暖系统装机制热量能力



供暖系统COP分布



二、应用的现状与问题

运行分析4—居民习惯

100个用户，就可能有100种使用情况

对室内温度
需求的不同

01

昼夜水温
设定习惯

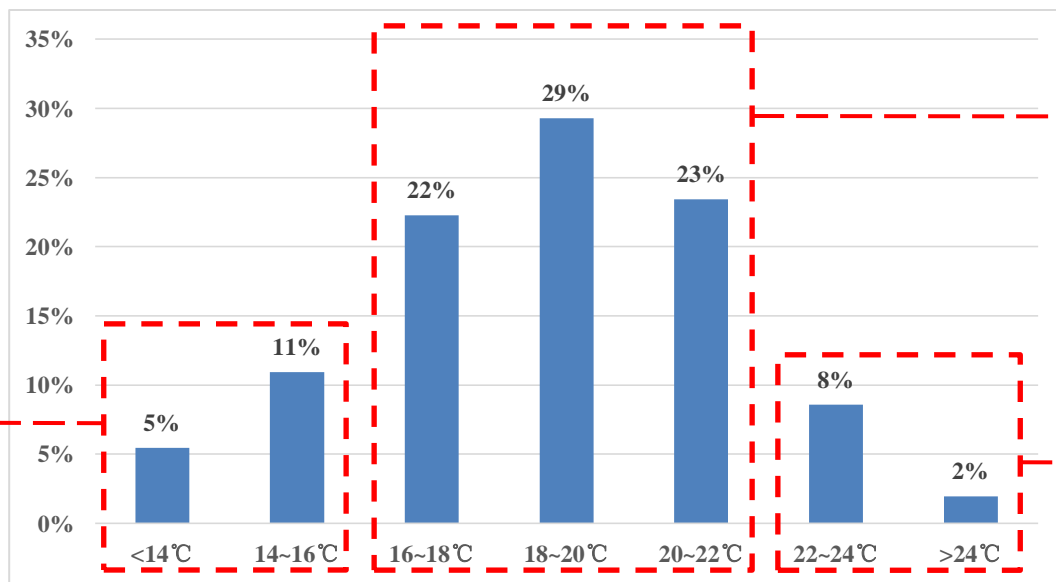
02

白天家里无人
机组开关习惯

03

二、应用的现状与问题

运行分析4—居民习惯



74%集中在16°C~22°C

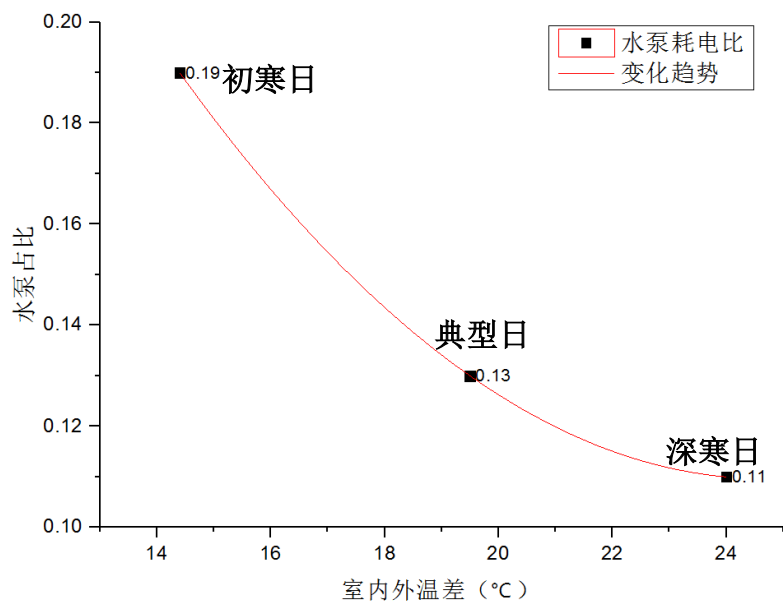
16%小于16°C，
省着用

10%大于22°C，
有较高要求

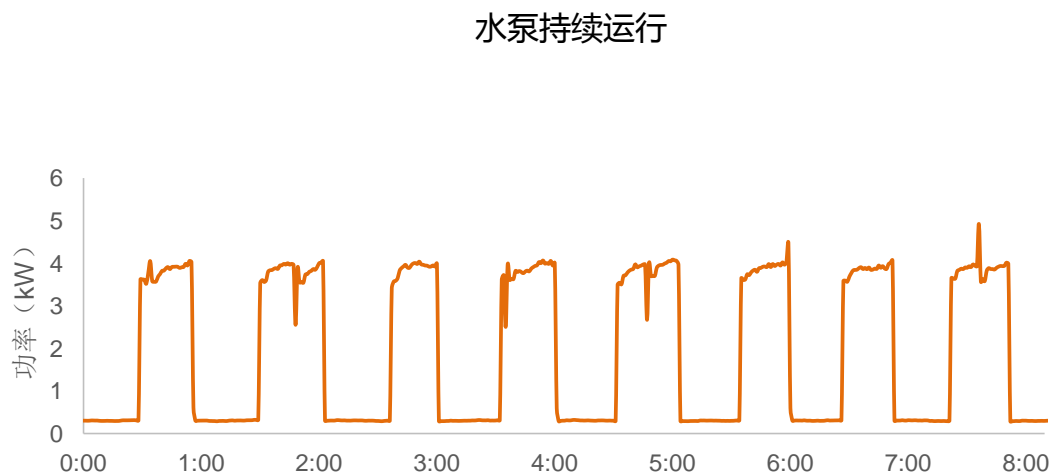
室温需求

二、应用的现状与问题

运行分析5—系统配置



水泵耗电占比

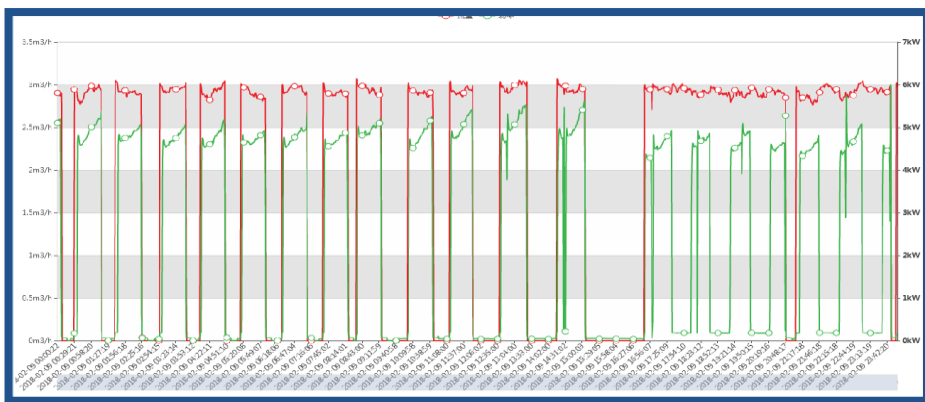


水泵运行策略

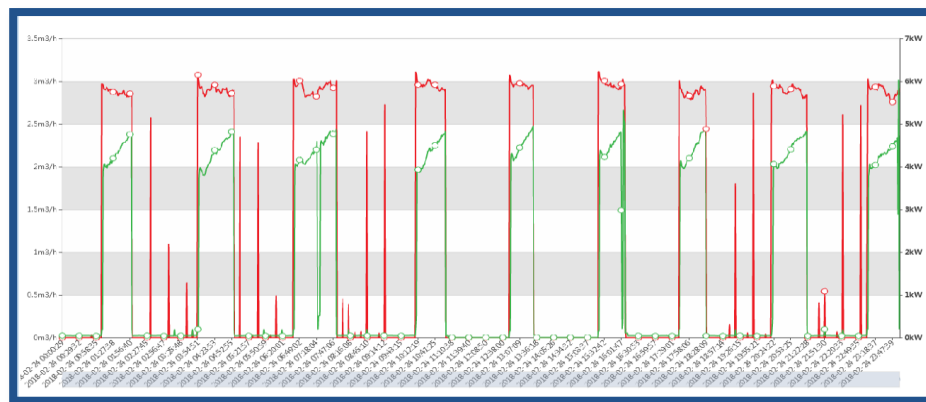
二、应用的现状与问题

运行分析6—调节控制

➤ 主机启停控制优化



优化前

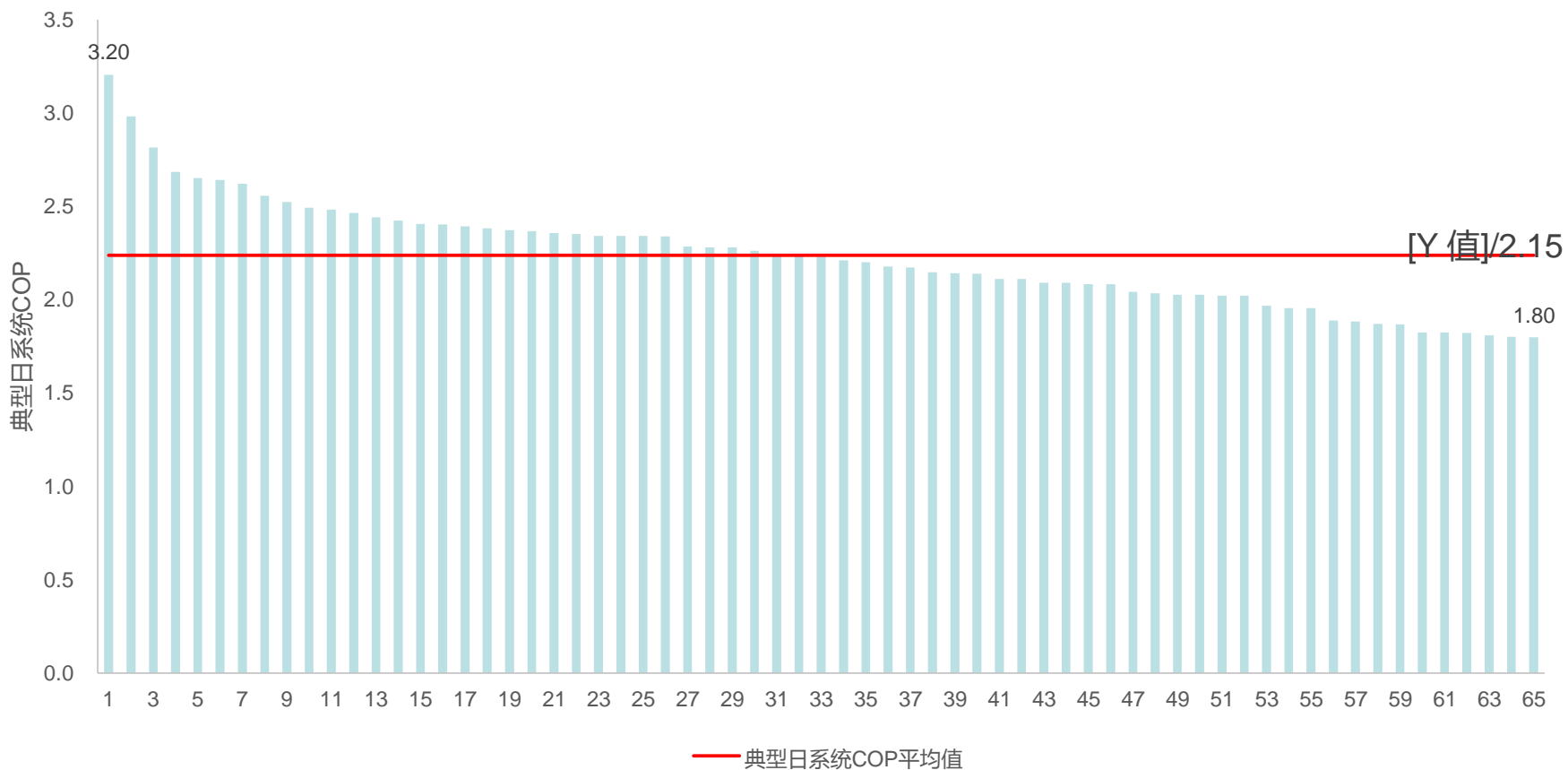


优化后

从上两图的对比可以看出，通过合理的室温控制，在保证室温符合要求的情况下，可以有效较少主机的运行时间。

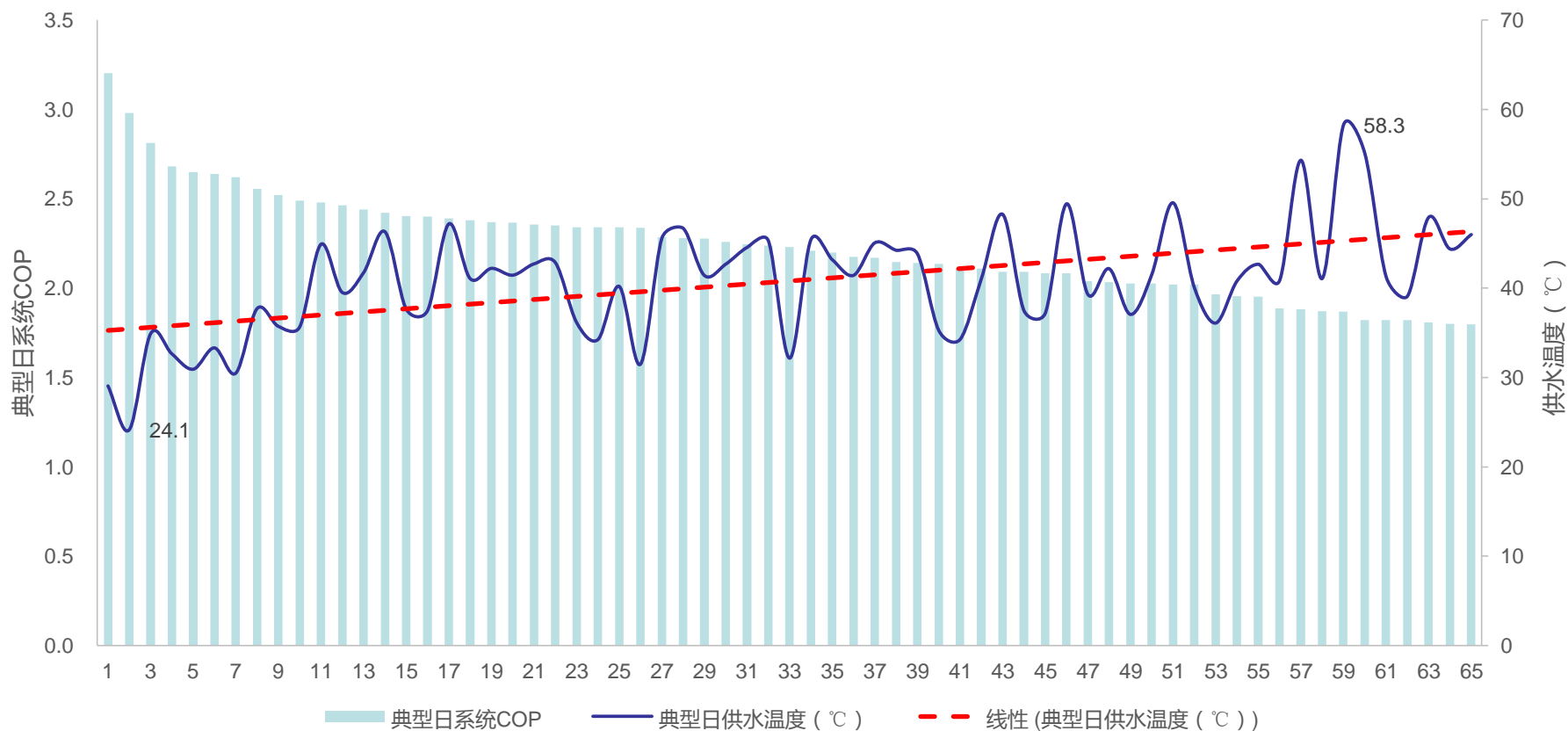
二、应用的现状与问题

系统COP--总体情况



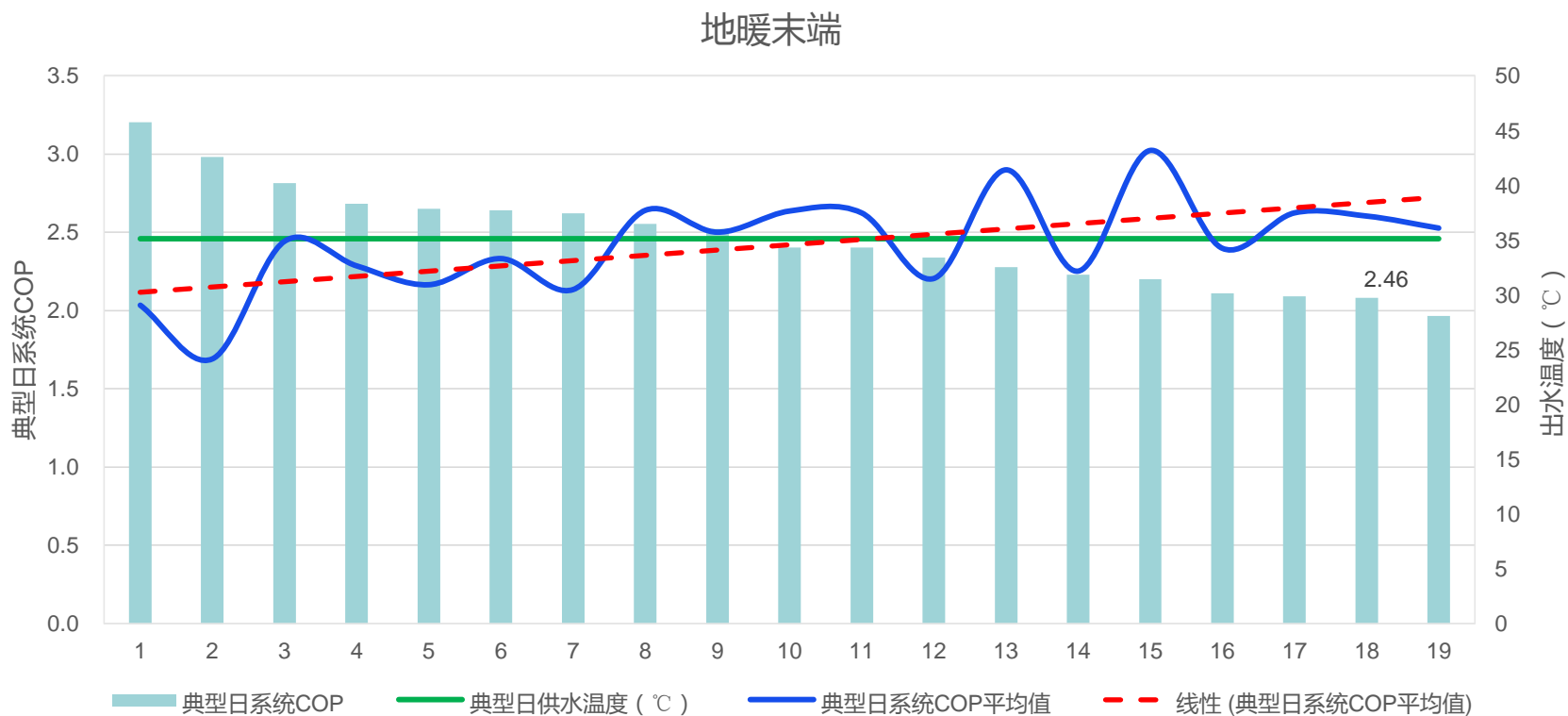
二、应用的现状与问题

系统COP—与供水温度的关系



二、应用的现状与问题

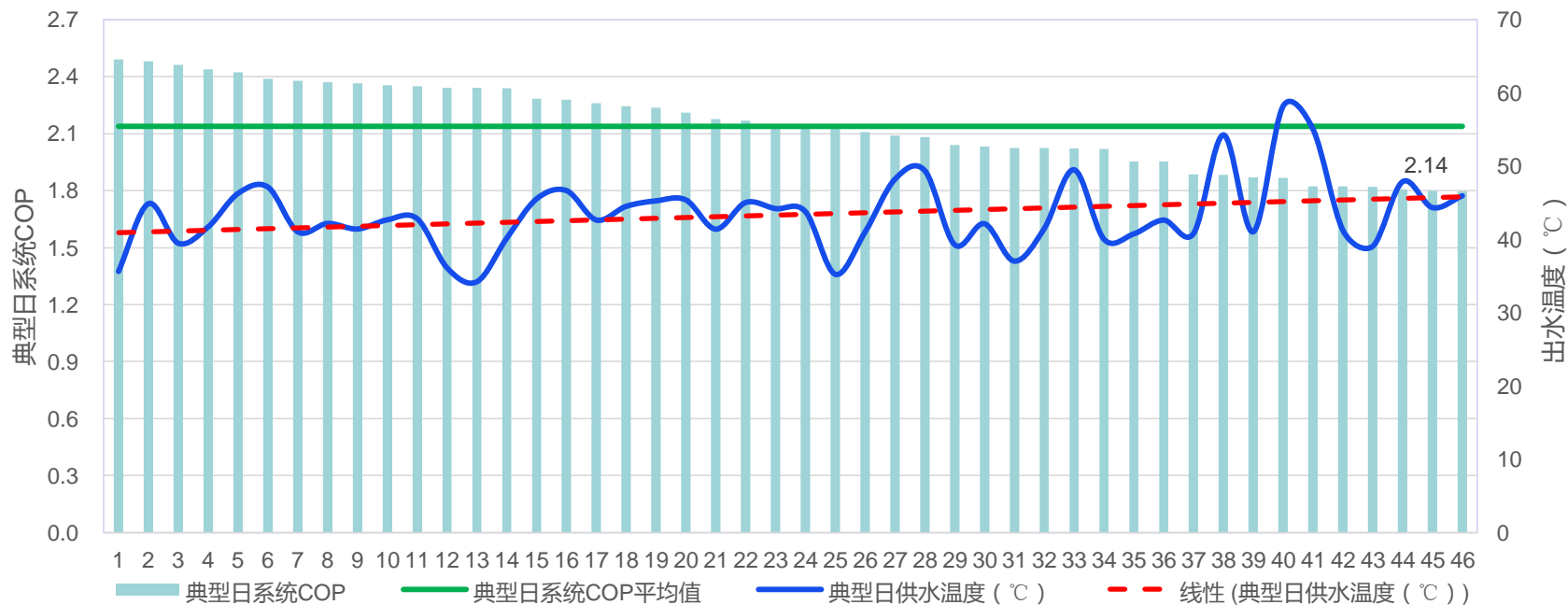
- 系统COP—末端型式
- 地暖：19个/78个样本典型日系统平均COP为2.46/2.39



二、应用的现状与问题

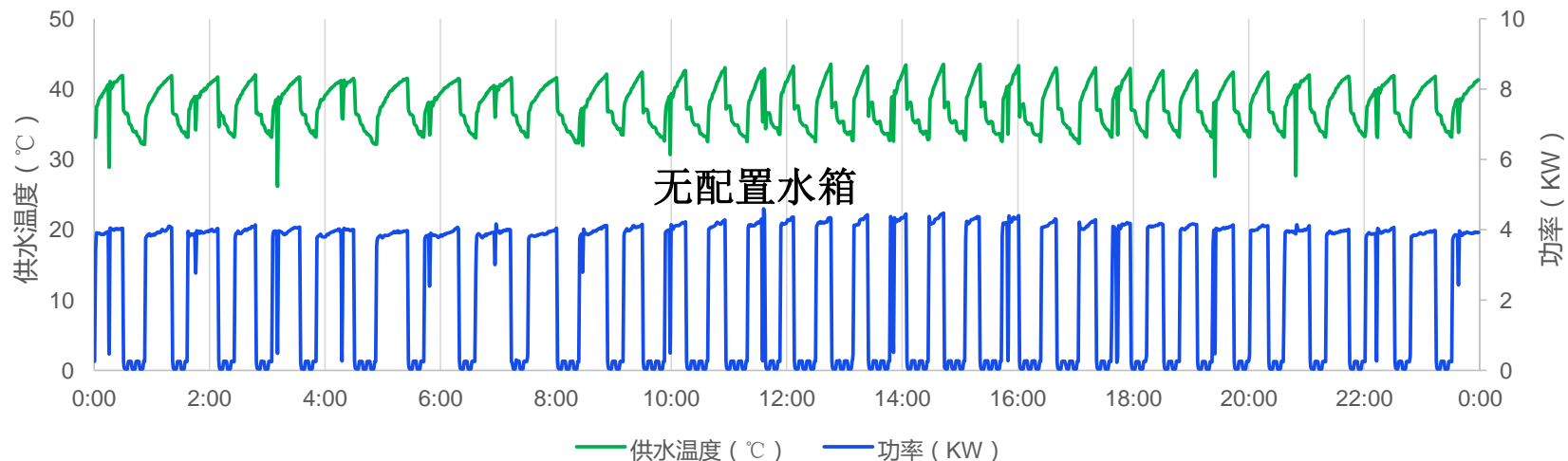
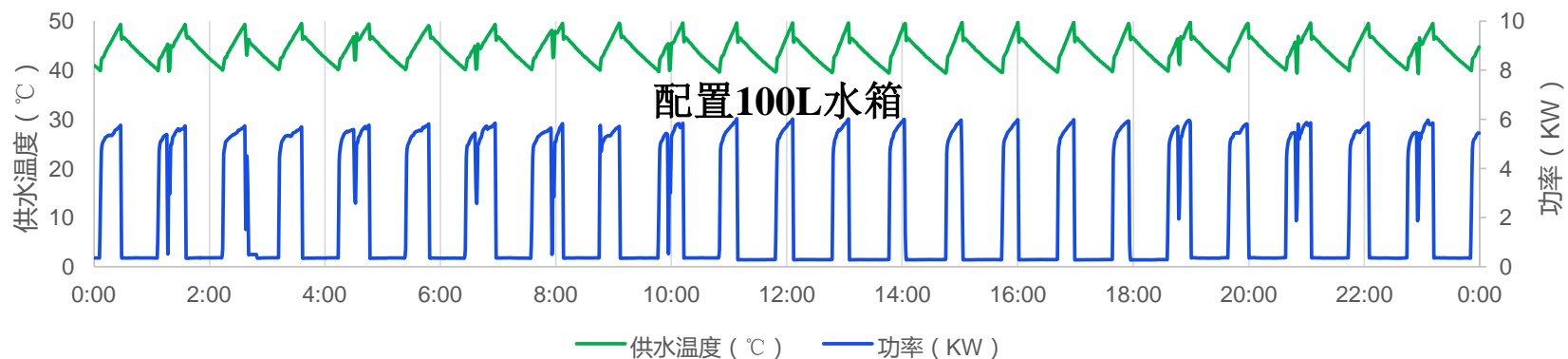
- 系统COP—末端型式
- 散热器：46个/174个样本典型日系统平均COP为2.14/2.04

散热器末端



二、应用的现状与问题

蓄能水箱的作用



存在问题分析--产品性能

- 机组控制面板操作过于专业
- 机组运行状态不稳定
- 机组除霜控制问题
- 机组噪声大



存在问题分析—系统运行效果

- 凝结水随意排放
- 机组除霜不尽
- 系统设计优化问题
- 旧暖气片供暖效果差
- 耗电量高低不一



三、技术重点和主要研究内容——任务来源

- 2016年5月25日，中国工程建设标准化协会发布《关于印发<2016年第一批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2016]038号）
- 《空气源热泵供暖工程技术规程》被列为制定项目
- 完成时间：2018年6月
- 主编单位：中国建筑科学研究院
- 归口管理：中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会

中国工程建设标准化协会 文件

建标协字[2016]038号

关于印发《2016年第一批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知

协会各分支机构和各有关标准主编单位：

由协会有关分支机构推荐和有关单位自主申报，经协会讨论研究，我协会组织制定了《2016年第一批工程建设协会标准制订、修订计划》，现印发给你们，请按计划抓紧落实，认真开展制订、修订工作。关于计划项目的执行情况，请各归口分支机构于每年年末报送我协会技术标准部。

附件：2016年第一批工程建设协会标准制订、修订计划

二〇一六年六月二十五日

抄报：住房和城乡建设部标准定额司



三、技术重点和主要研究内容——标准编制原则

本标准的编写将遵循以下几个原则：

1. 结合各地气候特点和建筑负荷情况，紧扣**空气源热泵供暖主题**（不考虑空调及生活热水系统设计），以**技术先进、安全适用、经济可行**为原则，实现合理的空气源热泵**机组选型、辅助热源匹配、输送系统以及供暖末端设计**，保证空气源热泵系统的供暖效果和综合效益。
2. 针对空气源热泵供暖技术现阶段的发展特点与实际情况，以实际系统运行的性能测试结果为基础，编制本标准，规范空气源热泵供暖**工程设计、施工、调试验收、运行维护以及效益评估全过程**。
3. 全面发掘空气源热泵供暖领域遇到的问题，提出**合理解决方案**。开展广泛调查研究和专题研讨，将行之有效的系统设计、技术措施以及效益评估方法编入标准，以**指导应用**。

三、技术重点和研究内容

1 总则

2 术语

3 统一规定

4 系统设计

4.1 供暖热负荷计算

4.2 空气源热泵选型与设计

4.3 辅助能源设计

4.4 电气与控制系统设计

5 末端供暖系统设计

5.1 地面辐射供暖

5.2 低温散热器供暖

5.3 风机盘管供暖

5.4 直接冷凝式供暖末端

6 电气与控制施工安装

6.1 配电系统

6.2 控制系统

6.3 安全防护

7 施工安装

7.1 一般规定

7.2 施工准备

7.3 安装

8 调试与验收

8.1 调试

8.2 验收

9 评价

9.1 评价指标与要求

9.2 性能分级

10 运行与维护

附录

三、技术重点和主要研究内容

1、不同区域、建筑类型空气源热泵供暖的适用性

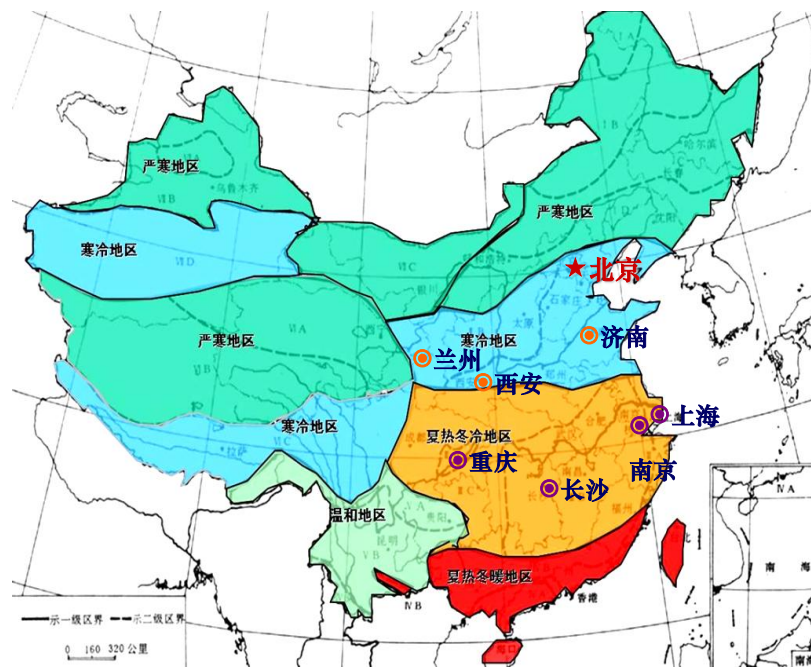
- 不同气候区域、不同类型建筑的建筑负荷特性、空气源热泵机组运行特性不同，对供暖效果有显著影响。
- 需要对不同地区、不同类型建筑应用空气源热泵供暖系统进行技术经济分析，确定空气源热泵供暖适用区划与建筑类型。

气候区域

- 严寒地区：哈尔滨、长春、乌鲁木齐、西宁
- 寒冷地区：北京、济南、西安、兰州
- 夏热冬冷地区：上海、南京、重庆、长沙

建筑类型

- 公共建筑
 - 办公建筑
 - 酒店建筑
 - 商场建筑
- 居住建筑



三、技术重点和主要研究内容

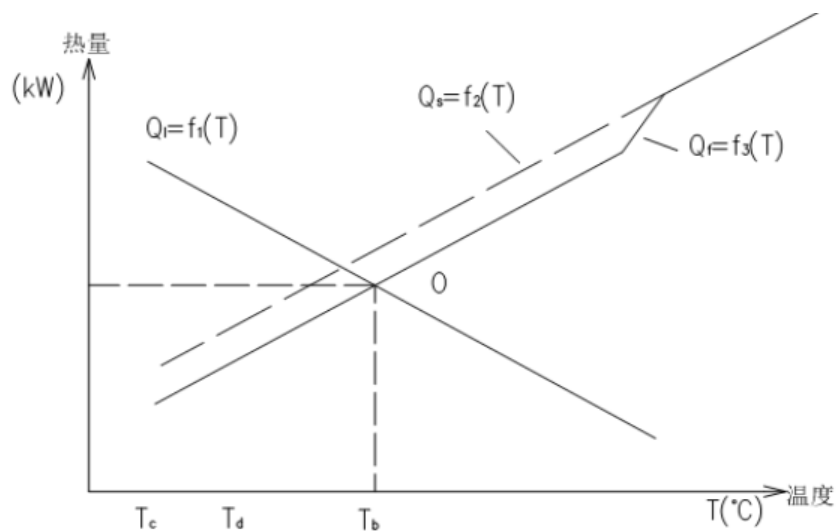
2、不同气候区域空气源热泵装机容量与辅助热源容量比例的确定

- 近些年来，空气源热泵作为供暖系统的热源得到广泛应用，但实测发现，空气源热泵的**装机容量普遍偏大**。
- 经过大量的测试表明，相当一部分项目（包括但不限于：寒冷地区和夏热冬冷地区的公共建筑、北京农村地区煤改电中的农宅）超过建筑实际所需热负荷的30%，甚至部分项目超过了50%。
- 不仅造成除**投资偏大**，也**降低运行效率**从而增加运行成本，影响着空气源热泵的推广使用。

三、技术重点难点和主要研究内容

2、不同气候区域空气源热泵装机容量与辅助热源容量比例的确定

- 根据GB 50736-2012《民用建筑供暖通风与空调设计规范》的要求，在进行空气源热泵选型时，需要考虑当地平衡点温度，合理配置辅助热源。
- 本标准编制中针对不同气候区研究空气源热泵装机容量与辅助热源容量。



三、技术重点难点和主要研究内容

3、不同气候区域及系统形式下，空气源热泵机组的性能参数要求

- 目前，空气源热泵产品标准多针对制冷性能进行分级
- 约束制热性能的标准很少

标准号	标准名称	供暖工况（或全年）的性能参数要求					
		额定制冷量 (kW)	Q≤8	8< Q≤16	16< Q≤31.5	31.5< Q≤50	Q>50
JB/T 10916- 2008	户用和类似用途采暖空调热水机组	制热COP (W/W)	2.75	2.80	2.85	2.90	/
		类型	不接风管		接风管		/
GB/T 17758- 2010	单元式空气调节机	APF	2.40		2.10		/
		制热COP (W/W)	2.40				2.60
GB50189- 2015	《公共建筑节能设计标准》中规定：在建筑冬季设计工况下， <u>空气源冷热风机组性能系数COP不应小于1.8，空气源冷热水机组性能系数COP不应小于2.0</u>						

三、技术重点难点和主要研究内容

3、不同气候区域及系统形式下，空气源热泵机组的性能参数要求

- 对空气源热泵机组制热性能参数的要求包括：
 - ◆ 保证运行的**最低环境温度**，
 - ◆ **运行最高供水（风）温度**
 - ◆ **名义和低温制热工况及对应的性能系数COP**
 - ◆ **抑霜、控霜等指标要求。**
- 空气源热泵机组性能参数要求受气候条件、系统形式、末端类型都相关，需要对不同气候区域及系统形式下，空气源热泵供暖系统的运行效果进行模拟和测试分析，确定空气源热泵机组的性能参数要求。

三、技术重点难点和主要研究内容

4、空气源热泵供暖效果测试及评价方法

- 目前有关空气源热泵供暖工程的测试和评价方法还比较欠缺。
- 空气源是不稳定的热源，环境空气的温度、湿度、风速及其他气象条件对测试结果影响较大，需要明确测试时的气象条件及运行工况要求；
- 空气源热泵机组在运行过程中会根据除霜判定条件进行周期性的除霜，且受室外温湿度及气象条件影响，除霜过程的不确定性导致测试和评价变得困难；
- 空气源热泵供暖效果和能耗不仅仅与产品质量、设计合理性、安装质量有关，还与建筑保温效果有很大的关系。
- 因此，需要提出系统能效来判定空气源热泵系统供暖运行效果。

分气候区，分成不同的能效级别

三、技術重點和主要研究內容

5、低供熱溫度下末端散熱器的选型與設計

◆ 對於供暖散熱器：

◆ 空氣源熱泵系統與常規散熱器供暖系統的主要不同是供水溫度低，不同系統供回水設計溫度和過剩溫度如下（室溫按18℃計）

□ 傳統散熱器標準工况：供水95℃ /回水70℃，過剩溫度64.5℃

□ 熱水型空氣源熱泵：

供水溫度45℃，回水溫度一般為40℃，過剩溫度24.5℃

供水溫度41℃，回水溫度一般為37℃，過剩溫度21℃

三、技术重点难点和主要研究内容

不同类型采暖散热器的低温性能研究结论：

不同类散热器不同过余温度下的片数修正系数

过余温度/℃	64.5	50	46	42	38	34	30	26	21	16
辐射型	1	1.38	1.54	1.73	1.97	2.27	2.66	3.19	4.20	5.94
自然对流型	1	1.41	1.58	1.78	2.04	2.37	2.81	3.41	4.55	6.57
强制对流型	1	1.30	1.42	1.56	1.73	1.94	2.20	2.55	3.18	4.21

经过研究，在进行散热器末端选型设计时，可以先根据散热器的额定散热量，按照《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012规定的选型方法计算得出散热器片数，再根据实际设计工况下散热器工作的过余温度，选定散热器该热力工况下的片数修正系数，直接修正即可。

三、技术重点和主要研究内容

除前述问题以外，需要调查研究的主要问题还包括：

- 6、循环水箱的配备及容量的确定
- 7、低环温空气源热泵除霜过程控制策略及除霜性能测试
- 8、防冻措施选择，包括防冻溶液浓度及对机组供热性能的影响
- 9、现场供暖末端的水阻力实际范围与水泵设计选型问题
- 10、空气源热泵系统碳排放量研究

中国建筑科学研究院

清华大学

天津大学

北京/哈尔滨工业大学

重庆大学

安徽省建筑设计院

四、技术发展与展望

- 空气源热泵供暖的系统形式有多种表现型态，涵盖了我国的多个气候区，这种供暖系统服务的对象也千差万别，生活习惯和要求不同，需要根据气候特点、空气源热泵性能和使用对象的要求，因地制宜的应用。
- 本标准针对空气源热泵供暖工程，从设计、施工、调试及验收、运行与维护等全过程进行条文规定，以保证该项技术应用的适用性、经济性、安全性和工程质量。
- 针对实际系统运行的结果，空气源热泵供暖需要从两个方面重点发展：一是研究空气源热泵机组运行稳定性，不同气候适应性，机组节能性的提高；二是空气源热泵供暖工程系统的优化设计与高效运行。
- 需要系统性的思维解决供暖问题。应关注建筑节能改造情况，与设备系统安装和运行维护相结合，并需要全行业不断总结和完善，共同促进空气源热泵供暖的推广应用。



中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

谢 谢!

2018-05

