

石兆玉教授论文集

——供热技术研究

SELECTED PAPER OF PROF. SHI ZHAOYU
——RESEARCH OF HEATING TECHNOLOGY

石兆玉 著

中国建筑工业出版社

石兆玉教授论文集

——供热技术研究

SELECTED PAPER OF PROF. SHI ZHAOYU
——RESEARCH OF HEATING TECHNOLOGY

石兆玉 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

石兆玉教授论文集: 供热技术研究/石兆玉著.
北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-112-17090-6

I. ①石… II. ①石… III. ①供热-文集 IV. ①
TU833-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 152216 号

责任编辑: 齐庆梅

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 关 键

石兆玉教授论文集
——供热技术研究

SELECTED PAPER OF PROF. SHI ZHAOYU
——RESEARCH OF HEATING TECHNOLOGY

石兆玉 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31 字数: 772 千字

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月第一次印刷

定价: 80.00 元

ISBN 978-7-112-17090-6
(25245)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

祝贺论文集出版！

推荐人

王兆霖 二〇一四年
二月二十日

祝贺论文集出版！

推荐人 王兆霖

作者简介



石兆玉，男，清华大学建筑学院教授。1937年12月12日生，籍贯内蒙古，中共党员。1956年高中毕业，考入清华大学土建系暖通专业读本科，1962年毕业留校任教，至1999年退休。

大学三年级开始，抽调担任政治辅导员，曾任系学生会主席。毕业任教同时，曾兼任系分团委副书记，校团委组织部副部长，在校政治部学生组负责学生思想工作。改革开放以来，历任教研室党支部书记、热能系党委副书记等职。

在校担任党务工作30年的同时，坚持从事本科生、研究生的教学与科研工作。在供热空调与太阳能等学术领域积累了丰富的教学经验。在学术水平上，特别是供热行业，多有突出的创新。主要著作有：《供热系统运行调节与控制》（清华大学出版社，1994.1）、《流体网络分析与综合》（清华大学校内教材，1993.8）。在国内外学术会议上和有关杂志上共发表70多篇论文。所承担的科研课题“北京市农村太阳房试点工程研究”、“研究提高热力网技术”、“赤峰市城市集中供热网微机监控系统”、“小区供热节能控制技术”分别于1984年、1990年、1992年和1999年荣获北京市、教育部和解放军科技进步二等奖。

退休以来，仍然坚持专业的研究工作和社会上的技术培训工作。现任住房和城乡建设部供热专业标准化技术委员会名誉委员，住房和城乡建设部供热质量监督检验委员会专业委员，中国电子学会电路与系统分会图论与系统优化专业委员会名誉委员，中国中促会绿色建筑节能产业促进中心专业委员，北京市建筑热能动力学会名誉委员，北京市工程技术系列（水、气、热工程）技术顾问。

前 言

本论文集收入的 66 篇论文是作者近四十年来悉心研究供热技术的主要成果。其中 53 篇曾在有关杂志上刊出（论文的后注有说明），另有 13 篇在本书中首次刊出。为了系统介绍论文的研究成果，本论文集未按发表年份排序，而按十个专题汇编成集，即：技术综述、基础知识、工况分析、流量调节、分布式输配、优化计算、节能技术、计量收费、自动控制、技术管理。每个专题的论文排序，以发表年限为主，同时考虑了内容的衔接。

本论文集体现了如下研究成果：在国内外，首次提出热力工况概念，并阐明了热力工况与水力工况之间的关系，利用图论、网络理论更新了供热空调系统水力工况、热力工况的计算方法，为多热源（冷源）、多泵、多种负荷的环网系统的工况计算提供了可能；对我国在供热行业里长期推行的“大流量、小温差”落后的运行方式从理论上进行了深入的利弊分析，从而为我国克服供热、空调系统粗放型运行方式提供了理论上的支持；在供热、空调系统中，为克服冷热不均现象，提出了一系列行之有效的运行技术方案：更新了系统定压原理，提出了“变频调速旁通补水定压方式”、“模拟分析初调节法”、“简易快速初调节法”，为改善供热、供冷效果，及提高系统节能水平提供了可行措施；全面、系统地完善了供热、空调分布式输配系统的原理、设计方法和运行方案，有力地促进了行业的技术更新；创新性设计出了“户用供暖计量调控装置”，科学地解决了热用户热量分摊的难题，为供热计量技术的推广铺平了道路；在供热、空调行业里，首次应用“遗传算法”进行系统优化研究，为优化设计开辟了新思路。

我国的改革开放，迎来了真正的科学春天。在祖国圆梦的感召下，我毅然回归到了科技行列。为了弥补从 1957~1976 年之间近 20 年的荒疏，我只能加倍耕耘，汲取营养。20 世纪 80 年代初，为提高专业学术水平，在认真教学的基础上，承接了国家“六五”攻关科技项目“提高热网技术”课题，从此在行业泰斗王兆霖教授的带领下，开始了漫长的供热技术研究。本论文集，就是参与这项研究工作的老师、学生的成果结晶。回首往事，虽然平凡，但仍有成就感。我坚信：“行行出状元”是真理。不管干哪一行，只要自己喜欢，就钻进去，不搞出些名堂，决不罢休。在长期的研究工作中，我深切感受到：老专家有深厚的功底；年轻人有闪光的智慧；行外专业人员，有茅塞顿开的启迪；工程实践有无情的鞭策。因此，虚心向老专家学习，启发年轻人的聪明才智，真诚与行外专业人员的平等交流；严格接受工程实践的检验，这是指导研究工作必须遵循的一些基本原则。

在几十年的供热技术研究中，得到了许多同行的帮助，特别是不少高等院校的老师以及中国供热协会、中国建筑热动力学会、中国电子学会图论专业委员会以及有关厂家在技术切磋、资料交流方面，给予了大力支持。在这本论文集的编辑出版过程中得到了中国

建筑工业出版社、北京硕人时代科技公司史登峰、宋文涛以及齐庆梅、石莹等人的协助，谨此，作者表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，论文中的不妥之处在所难免，恳请读者批评、指正。

清华大学建筑学院 石兆玉

目 录

专题一 技术综述	1
1 关于当前供热系统在设计与运行中的几个问题的看法	2
2 对当前供热系统中几个问题的看法	6
3 当前供热技术中需要取得共识的几个问题	10
4 可调式水喷射泵的研制	18
5 适合我国国情的热力站机组应有的性能特点	22
6 有关供热技术的几点新思考	27
7 从可持续发展的观点评价供暖供热方式的优劣	32
专题二 基础知识	39
8 集中供热全年供暖热量的电算方法	40
9 供热系统热负荷的动态预测	49
10 室内单管供暖系统的工况分析	55
11 室内单双管采暖系统调节热特性的比较	65
12 单管系统在实行计量收费过程中的设计与改造	75
13 室内单管热水供暖系统水力模拟计算	82
14 环形供热系统模拟水力计算	87
15 带有生活热水负荷的供热系统结构研究	97
16 供热系统复杂工况下的定压	102
专题三 工况分析	109
17 关于运行中“大流量，低参数”恶化热网运行工况的分析	110
18 故障空间（FDS）法在热网故障诊断中的应用	116
19 供热系统的稳定性及同程系统的使用范围	120
20 变风量空调系统的工况分析	126
21 多热源共网热水供热系统运行方案优选	131
22 供热系统多热源联网运行的再认识	140
专题四 流量调节	149
23 热网水力工况模拟分析及其在初调节中的应用	150
24 应用“模拟分析法”进行热网初调节的实验室研究	156

25	应用“模拟分析法”进行热网初调节的现场试验	167
26	“模拟分析”初调节法在北京市龙潭小区热网中的应用	182
27	科学院中关村东南供热区初调节报告	189
28	水系统简易快速初调节法在某工程中的应用	197
29	再议供热系统的水力平衡	201
30	正确选择流量调节阀是实现供热系统流量平衡的关键	207
 专题五 分布式输配		221
31	调速水泵在变流量供热系统中的应用	222
32	变频调速在供热空调工程中的应用	230
33	供热系统循环水泵传统设计思想亟待更新	238
34	供热系统分布式变频循环水泵的设计	246
35	供热系统分布式混水连接方式的选优	255
36	实施分布式循环供热系统时应注意的几个问题	264
37	全网分布式输配供热系统的优越性	270
38	在多热源联网中分布式输配供热系统的应用	275
39	水泵在变频调速应用中的几个技术问题	280
 专题六 优化计算		291
40	应用多中位原理优化供热系统多热源选址	292
41	遗传算法在供热系统运行优化中的应用	299
42	遗传算法在供热系统多热源优化选址中的应用	303
43	应用遗传算法进行不等温降法计算的研究	308
44	空调二级泵水系统扬程最优匹配及能效分析	314
 专题七 节能技术		319
45	中小区供热能效分析及节能途径	320
46	供热系统大流量运行的能效分析	327
47	供热系统综合指标的探讨	333
48	提高我国供热系统能效的主要途径	344
49	提高供热系统能效是建筑节能的重要途径	350
50	供热系统节能潜力与节能技术	357
51	公共建筑节能设计标准和现代医院供热空调节能新技术应用	364
52	应用水电热泵供热的优势	374
53	从能源品位分析供热系统的节能途径	381

专题八 计量收费	389
54 关于供热系统计量收费的几个技术问题	390
55 我对供热系统热计量收费在实际应用中的一些看法	401
56 从供热商品化想到的几个问题	412
57 试论平均温度热量分配法的可行性	418
58 供热计量技术的推广如何实现健康发展?	426
 专题九 自动控制	 433
59 关于我国集中供热系统中计算机监控的几点认识	434
60 集中供热优化节能自动控制系统的优点	439
61 实施计量技术后, 供热系统的控制决策	449
 专题十 技术管理	 457
62 关于加强热网调节管理的几点建议	458
63 依靠技术进步, 发展城市集中供热	462
64 北欧供热技术之所见	467
65 加强技术管理是实现供热系统节能的重要环节	478
66 更新理念, 加快供热行业的技术进步	482

专题一 技术综述

1 关于当前供热系统在设计与运行中的几个问题的看法

清华大学 石兆玉 狄洪发

摘要：本文就设计供水温度、系统定压方式、用户设计阻力、直埋敷设、生活热水负荷和系统能效等六个方面问题提出了看法。分析力求以供热系统作为一个整体出发。上述问题是当前供热界共同关注的问题，所提看法，谨供同行们讨论、指正。

在当前供热系统的设计与运行中，有几个技术问题，在同行中一直存在着不同的争论。它严重影响着设计与运行质量、水平的提高。为了统一认识，现谈一些不成熟的看法，以供大家商讨。

一

关于室内供暖系统设计供水温度问题。现在有一种流行的看法，认为传统的 95℃ 设计供水温度偏高，脱离实际。而实际运行，供水温度不需要这样高，就能满足室温 18℃ 的要求。因此主张设计供水温度应改为 85℃、75℃，甚至 65℃。

这是一种表面的看法，并没有从基本原理上搞清问题的实质。诚然，当前在实际运行中，满足室温要求，确实很少需要达到 95℃。但事实只能反映本质，并不就是本质。从理论上讲，运行中的供水温度偏低主要是由两个方面的原因造成的：1) 散热器面积设计余量过大；2) 循环水泵选择过大、系统阻力选取过小。根据理论计算，对于一般住宅，设计供水温度为 95℃ 时，单位供暖建筑面积只需 0.35 片（四柱 813 型）散热器；如果考虑余量，单位供暖建筑面积实际选取 0.5 片散热器（型号同前），则供水温度只要 75℃ 就能使室温保持在 18℃。可见散热器面积选择的大小，才是影响供水温度高低的重要的直接原因之一。同时，我们还会发现，供热系统的实际供回水运行温差往往只有 15℃、10℃，甚至更小，真正达到 25℃ 设计供回水温差的微乎其微。这说明系统循环水量过大，在这种情况下，系统供水温度绝不可能达到 95℃。这是系统供水温度偏低的另一个重要的直接原因。

按照上述分析，在低温热水供热系统中，最经济的设计供回水温度仍应为 95/70℃（特殊设计另当别论）。那种降低供水温度的设计思想，本质上是迁就散热器余量过大、循环水量余量过大的思想。如果散热器、循环水泵的选择余量层层加码，那么设计供水温度的取值，势必继续下降，出现房间散热器摆不下的现象，这不但很不经济，而且是设计、运行水平的滑坡，应该尽快纠正过来。

二

关于系统定压方式问题。目前供热效果不理想的一个普遍原因是系统串气、存在倒空现象。这个问题的出现，绝大多数是由于系统定压方式不当造成的。通常的定压方式有膨胀水箱定压、补水泵定压、定压罐定压等。只要设计、运行合理，都可以达到满意的效

果。但现在普遍存在的问题是从设计到运行往往忽略了一些重要的技术细节,结果系统恒压点压力不能维持设计值,使系统定压运行变成了变压运行。对于膨胀水箱定压,由于最高建筑远离锅炉房,经常把膨胀管、循环管就近接到回水管上,这就使得循环水泵入口点不再是系统的恒压点了,由此而常常在热源与最高建筑物之间出现倒空现象。还需要提及的是,同一个供热系统切忌共用两个膨胀水箱,这一浅显道理,一般工程技术人员容易理解。但在特殊方式下,却又常常被忽视。这些年来,无压锅炉有相当市场,人们以为它安全可靠。但是,以无压锅炉作为热源的供热系统,实质上就是一个两个膨胀水箱共网的供热系统。因为无压锅炉本身是个低位膨胀水箱,靠它定压,系统是不能运行的。因此,必须靠其他技术措施建立一个相对高压的静水压线。结果系统更复杂了,安全性也更差了。

一般补水泵定压、定压罐定压,如果技术处理不当,容易引起压力大幅度波动,出现倒空或散热器爆裂事故。近几年来,变频调速旁通定压的使用实践证明,这是一种比较理想的定压方式。它的基本原理是靠频率的变化自动改变补水泵转速,进而调节补水量,通过循环水泵的旁通管控制系统恒压点恒定。优点是压力稳定、可靠、操作简便和节约电能。这种定压方式,无论最高建筑物如何变化,都能在热源进行简单操作即可适应恒压点的变化;它不同于膨胀水箱或定压罐,后者的体积容量因受供热系统的规模限制,设备比较庞大,而调频定压只需一个控制柜,结构小巧紧凑;一般定压系统,补水泵或者频繁启动或者在最大功率下运行,而调频定压的补水泵是在减速的状态下运行,因而节电效果非常明显。

调频定压在国外已普遍使用,在国内已逐渐被人们认识。调频定压在国内的广泛采用,必将为供热行业带来新的技术进步。

三

关于热力站与用户系统阻力问题。现在在建筑物单体供暖系统设计中,常常有意把管径适当加大。设计人员这样做,主要原因是担心暖气不热。与此类似的原因,在间接连接的系统中,也主张在热力站的设计中,换热站的阻力愈小愈好。这一设计思想并不合理。这里涉及两个基本概念:一是冷热不均现象如何消除?二是如何考虑系统的稳定性?首先讨论工况失调问题。一个供热系统出现冷热不均的主要原因是系统各环路管径匹配不当,引起水量分配不均所致。而不能简单理解为管径过细。国外立管直径只有 6mm,暖气效果很好就是证明。否则,管径普遍加粗,冷热不均的现象照样存在。消除冷热不均的正确做法,对于室内系统,应该采用不等温降法进行水力计算;对于室外系统,热入口的供水管道上应加装调节阀,同时要改变大流量的运行方式,提高系统的调节性能。至于调节方法,可参看有关文献,不再详述。

现在讨论系统的稳定性问题。室内供暖系统立管加大,室外供热系统换热器流速减少,都将引起热用户、热力站的阻力降低,导致系统的稳定性变差。系统稳定性不好,其突出的影响就是系统的水平失调严重,也就是冷热不均的现象加重。如果一个供热系统,其供回水干管的总阻力损失为 0.2MPa ($20\text{mH}_2\text{O}$),而热用户的阻力损失都为 0.01MPa ($1.0\text{mH}_2\text{O}$) 时,此时热用户的最大流量、最小流量之比为 4.5 倍;而在同样干管阻力损失下,热用户的阻力损失如果提高为 0.1MPa ($10\text{mH}_2\text{O}$),则热用户的最大、最小流量之比降为 1.5 倍。可见,提高系统稳定性,对于改善系统的冷热不均具有重要作用。人们只注意到了由于热用户资用压头不足,因而加大管径的必要;却忽略了正是由于管径的加大,

导致系统稳定性变差、热用户资用压头过小的后果。因此,某个技术措施是否合理,必须从系统的整体效果出发才能判断清楚。

为了提高系统的稳定性,首先要避免盲目加大立管管径,其次在热用户要加装阻力较大的调节阀。在热力站的设计中,适当加大流速,提高阻力是必要的(阻力在 0.1MPa 范围内)。特别对于板式换热器,提高流速(0.5m/s 左右)不但可以改善系统稳定性,而且能充分发挥其高效传热的特点。当然,热力站、热用户设计阻力的提高不应是盲目的,应该以系统设计水压图为依据。这样,热力站、热用户阻力的提高既有利于系统环路的压力平衡又不至于增加系统循环水泵的电功率。

四

关于直埋敷设问题。应该说,自从我国改革开放以来,在供热行业,直埋敷设是引进国外先进技术比较成功的项目之一。目前,国内不少工程已普遍采用直埋技术。直埋敷设的保温材料多采用聚氨脂。对于预制保温管,其保护层多为高密度聚乙烯管;对于现场发泡,保护层多用玻璃钢布缠绕。直埋技术与传统敷设方式相比较,突出的优点是价格便宜,经大量实际工程统计,其投资可比地沟敷设减少 1/3。对于地下水位高的地区,更适合采用直埋敷设。在当前推广直埋技术中,人们比较关心的是两个问题:一是采用什么样的补偿方法?二是蒸汽管道如何直埋?目前国内外热应力补偿计算方法有两种,第一种是弹性分析法,不允许管道有任何塑性变形,这种方法要求供水温度高于 50℃ 时,就需要安装补偿器。第二种是安定性分析法,允许管道有小量塑性变形。按照这种方法,供水温度不超过 120℃,不必设计补偿器,管道不会破坏。北欧国家以前主要采用弹性分析法,近几年来已开始采用安定性分析法。我国设计规范规定使用安定性分析法,但在实际工程中,为安全起见常常又设计有补偿器。应该说,在 95℃ 的低温热水供暖系统中,完全可以按安定性方法考虑,采用无补偿敷设,但在闸门、三通和弯头等峰荷应力集中的地方应采取保护措施,如就近安设小型补偿器或橡胶软接头;尽量避免 30°~60° 的拐弯等。

由于聚氨脂只能耐温 120℃,因此不能用于蒸汽管道直埋。为了适应蒸汽管道直埋,近年来发展了复合保温(内层用岩棉、外层用聚氨脂)、聚异尿酸酯保温(耐温 160~180℃)。后者已通过技术鉴定,正在推广使用中,但价格高于聚氨脂。目前从国外引进的酚醛泡沫塑料,其保温性能都可与聚氨脂比美,但其优点是长期耐温 160~180℃,价格比聚氨脂低 30%~40%。如果性能可靠,有可能发展为直埋蒸汽管道的理想保温材料。此外,近几年在国内无论波纹补偿器还是套筒补偿器,都开发成功了直埋型产品。这无疑对蒸汽管道直埋技术的发展是一个有力的推动。

五

关于生活热水负荷问题。到目前为止,我国绝大多数供热系统,只有单一的供暖热负荷,而没有生活热水负荷。随着人民生活水平的不断提高,解决家庭洗澡的迫切愿望已愈来愈明显地摆在了供热行业者的面前。

我国地域辽阔、人口众多,解决家庭洗澡问题,不可能有采取单一模式。实际上,在现实生活中,人们已经创造了多种多样的形式:有的合理,有的不尽合理。如有的地区,为了解决家庭洗澡问题,又重新点燃了 20 世纪 50 年代早已淘汰的煤老虎——火焰式铸铁

锅炉。因此,为了科学地解决生活热水负荷,有必要尽早提出一个可行的技术措施。

目前我国,解决家庭洗澡的方式主要有以下几种:太阳能热水器、电热水器、煤气热水器、家庭小型供热系统(小型燃油锅炉、土暖气)和多种负荷集中供热系统。太阳能热水器适应于日照好的地区。电热水器、煤气热水器分别适应于供电、供煤气充足的地区,具体来说,大城市相当比例的居民可能首先享用。家庭小型供热系统,短期内不可能在我国大力发展。通过以上分析,可以明显看到:解决家庭洗澡问题,主要途径还是多种负荷的集中供热系统。根据初步研究,这一技术途径,不仅可以解决人民生活之必需而且还能提高原有供热系统的经济性。

以往我们熟悉的是只有供暖负荷的供热系统。现在由于生活热水负荷的共网,对于供热系统,必须着手研究以下一些新课题:在结构上,是四管制好还是两管制好?对于四管制,供暖用的换热器与生活热水换热器采用并联形式还是串联形式?要不要设计储水箱?对于两管制,是采用热入口生活热水换热站还是家庭热水热水器?在运行调节中,是采用供暖负荷调节法还是综合负荷调节法?所有这些研究课题,在国外开展得很活跃,而且已有不少新成果。我们清华大学,也已开始了这方面的研究,希望不久能将研究成果与同行们共同交流。

六

关于提高供热系统的能效问题。衡量一个供热系统设计、运行水平的高低,主要看其供热效果和能量利用率。以往我们比较关注供热效果,因为这是关系到千家万户如何过冬的切身利益问题。但往往忽略了对供热系统能效利用率的考查。根据计算,我国目前的供热系统,其能效利用率(系统传入能量与有效能量之比)普遍只有30%左右。而系统的理想能量利用率为60.6%(在锅炉效率为70%、热网输送效率为90%时),尚有近30%的潜力可挖。通过上述分析,我们既看到了落后的现状,也找到了努力的方向。

为了提高供热的技术水平,首先要对供热系统进行量化分析。我国目前已有的几个运行指标,如用户室温合格率、供热能效指标、水输送系数、循环流量控制指标和煤耗指标等都从某个侧面反映了供热系统的运行状况,但不能一目了然地全面地反映供热系统设计与运行水平。为此,我们提出了供热系统综合能效指标,它考虑了供热系统热能、电能的总输入量,考虑了锅炉、热网的热效率,也考虑了用户冷热不均造成的有效能量的差异。总之,综合能效指标,可以同时对照供热系统的供热效果和能效水平进行量化分析,而且给出了主要影响因素,为进一步改进提供了依据。

提高供热系统能效,在《供热系统运行调节与控制》一书(清华大学出版社出版,1994.1)中,提出了七个方面的技术措施。从可操作性角度考虑,提高单位锅炉容量所能带的供暖建筑面积是当务之急。希望从设计人员到运行管理人员都能取得如下共识:从设计入手,把每1t/h锅炉所带供暖面积从传统的5000m²提高到8000或10000m²。只有这一技术措施先行,方能带动其他技术措施的跟进和到位,我国供热事业的设计、管理水平才能有长足的进步。

注:载自《区域供热》,1996.2期。

2 对当前供热系统中几个问题的看法

清华大学 石兆玉

摘要：本文对可调式喷射泵连接、系统定压方式、计算机监控和管道的防腐防垢等问题谈了一些看法。分析除力求讲清基本原理外，还介绍了一些相应的产品、设备。上述问题是当前供热界比较关注的问题之一，所谈看法仅供同行们讨论、指正。

关于喷射泵连接问题，这是属于老调重弹。记得 20 世纪 50 年代，当时学苏联，供热系统普遍采用了喷射泵连接。但 60 年代以来，逐渐被淘汰。现在，在全国范围内，几乎看不到还有喷射泵连接的系统。目前，在我国应用比较多的连接方式，除直接连接外，主要是采用换热器的间接连接，也有一些系统采用混水泵的连接方式。

直接连接简单方便，供热规模较小的系统，适合于这种连接形式。间接连接，运行可靠、便于调节，但初投资大，一个 5 万~10 万建筑面积的热力站，初投资约在 100 万元左右。这种连接方式比较适合于供热规模较大的系统。混水泵连接方式常用于调节工况比较复杂的系统，其缺点是耗电、增加了管理运行人员，且技术要求比较高。

近几年重提喷射泵连接，主要基于以下三个背景：1. 对于新建的供热规模在 50 万~100 万 m^2 的供热系统，采用间接连接，投资过大；采用直接连接，对于高温水热水锅炉按低温水运行并不经济。因此希望有更理想的连接方式。2. 原有直接连接的旧网需要扩建，但管网难以更新、又缺乏新建集中热力站的场地，在这种情况下，就希望寻求能适应只提高供水温度的连接方式。3. 已投运的供热系统，存在冷热不均现象，系统末端资用压头过小；系统近端，资用压头又过大，希望有更好的连接方式，将其吸收。

为了适应上述三种情况的使用要求，我们清华大学热能系与内蒙古赤峰热力公司协作，共同研制了可调式喷射泵。从 $DN50\sim DN200$ 共有 7 种规格型号，在资用压头为 8.0m 的情况下，流量在 5~100t/h 之间变化，亦即可带 2000~40000 m^2 的供暖面积。对于供热系统的近端，由于资用压头大，一台可调式喷射泵，最大可带 5 万多 m^2 供暖面积。当需要时，可调式喷射泵还可并联连接，以适应更大供热面积的需求。

1995 年供暖季，共研制了四台样机，口径为 $DN80$ 、 $DN125$ 、 $DN150$ 和 $DN200$ ，现已全部安装在了赤峰市供热系统现场，经测试，基本性能均达到了设计要求。这种可调式喷射泵最大的特点是喷嘴是可调的，混合比最大可达 1.4。也就是说，当一次网供水温度为 130℃ 时，经此喷射泵后，二次网供水温度能降为 95℃。

赤峰热力公司城镇集中供热系统，原设计 80 万 m^2 供热面积，系统形式为直接连接，热源为热电厂，采用低温水循环供热，供回水温度 68/45℃。目前供热面积已发展为 250 万 m^2 ，2000 年将达 460 万 m^2 ，但原有管网不可能有大的变更，为了适应供热规模的不断发展，该单位计划从热源近端开始，在热力站中逐渐加装可调式喷射泵。至 2000 年，随

着供热面积的增加,热源供水温度逐渐由 68°C 提高到 85°C ;相应地,喷射泵的喷嘴逐年调小,以保证二次网的供水温度始终保持为 68°C ,以满足热用户的供热要求。

这项研制工作还正在进行之中。可能有一些技术人员担心在运行中出现堵塞,资用压头不足进而影响使用效果的问题。堵塞问题可以通过安装过滤器解决。可调式喷射泵只要使用恰当,还会提高整个系统的资用压头,改善系统的稳定性,进而提高系统的调节性能。总之,可调喷射泵,有许多其他设备无法取代的优点,相信在供热同行们的共同关心下,一定会在供热行业中发挥更大作用。

二

关于计算机监控问题。为了提高供热质量和系统能效,为了适应计量收费,在我国,集中供热系统的计算机监控日益被提到了议事日程,国内研制设计的或引进国外技术的示范工程逐渐增多,其中有不少成功经验,但也有一些值得总结的教训。下面谈两点自己不成熟的看法。

1. 结合我国国情,采取多样化形式。我国地域辽阔、南北气候偏差大,东西经济发展不平衡。因此,解决供热的方式,也将呈多样化的发展趋势:三北地区,以集中供热为主;南方可能是集中供热、全空调、热泵或家庭式小型供热系统的结合。由于供热形式的多样性,自动调节、控制也应适合于多样化,不应强求一律。在我国目前财力物力和技术、运行管理水平都不高的前提下,应该分成计算机监控系统、计算机检测系统、自力式调节、控制和以手工调节、控制为主的四个不同层次进行。

计算机监控系统,是指供热系统的主要运行参数既要由计算机进行测试,也要由计算机进行调节、控制。目前,欧洲的计算机监控系统对供热系统进行四个环节的调节控制:散热器入口装温控阀,用户入口装一整套热力站自动监控系统,热源出口的自动监控以及锅炉的自动燃烧控制。这种自动监控系统当然是最理想的调节、控制方案,然而耗资巨大,要求运行管理水平高,在我国目前适合搞少数示范工程,广泛推广是不现实的。

有条件的地方,应该积极发展以计算机检测为主的自力式调节系统。这种系统,计算机主要用来测试运行参数,流量等运行参数的调节控制主要由自力式限流计或压差调节器来完成。条件再差一些的地方,可用手工调节阀如平衡阀、调节阀代替自力式调节阀。条件更差的地方,往往连计算机检测系统也用不起,在这种情况下,用传统的仪表测量运行参数,在管网上安装手工操作的平衡阀、调节阀,采用简单、易行的方法进行流量调节,只要管理得好,一样能够达到较好的供热效果。

2. 结合控制对象,采取简单、可靠的控制方法。一个计算机监控系统,能不能有效地进行调节、控制,关键是看对控制对象的特性是否有深入的了解。一些科班搞控制的技术人员,设计研制的供热微机监控系统效果并不理想,究其原因,主要就是对控制对象缺乏了解,而搞供热的协作人员技术档次又达不到要求水平。对于热网而言,系统的主要特点是大滞后,从控制理论上讲,对这种系统实现在线适时控制是比较难的;但这种系统存在的另一个特点是控制精度要求不高,因此,采取采样控制方法,往往能达到满意的效果。所谓采样控制,就是对控制参数,如回水温度,实行阶段调节(如一个小时控制一次),反而比适时控制效果更理想。再如在控制决策上,是采取集中控制还是分散控制,目前也有不同的争论。所谓集中控制,通俗而言,就是一切控制指令全由中央控制室集中下达;