

前苏联和俄罗斯供热可靠性的 研究历程及主要研究内容^{*}

哈尔滨工业大学 邹平华[☆]

摘要 前苏联是世界上研究供热可靠性最早的国家之一,已形成一套比较系统的理论,提出了供热可靠性的评价方法和准则,并在《热力网设计规范》中明确规定了对供热可靠性的要求。介绍了前苏联和俄罗斯供热可靠性的研究历程和主要内容,阐述了供热系统备用的原则与备用形式、管网结构备用与输送能力备用、具备结构备用的管网形式、限额供热系数、计算管网输送备用能力的方法和提高供热管网可靠性的措施。

关键词 俄罗斯 供热可靠性 结构备用 输送能力备用 限额供热系数

Process and main contents of the research on reliability of heating system in the former Soviet Union and Russia

By Zou Pinghua[★]

Abstract Having created and proposed a set of systematic theory, rules and methods of assessment on the heating system reliability and defined the reliability requirements of heating system in the *Design specifications of heating network*, the former Soviet Union is among the countries that were first to study the reliability of heating system. Briefly presents the process and main contents of the research on reliability of heating system in the former Soviet Union and Russia. Expounds the principles and forms of the heating system backup, the network structure backup, the transfer capacity backup, the form of heating network with structure backup, the limit heating coefficient, the calculation methods of network

transfer capacity backup and the measures on improving reliability of heating system.

Keywords Russia, reliability of heating system, structure backup, transfer capacity backup, limit heating coefficient

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

前苏联的集中供热规模和水平及在集中供热理论研究和技术水平等诸方面一度在世界上占有最重要的位置和产生过重要影响。在 20 世纪 70 年代初热电厂总功率达到 5.5×10^4 MW, 保证了前苏联城市和工业 36% 的用热需求。40 年前功率为 300 MW 的大型超临界供热机组已研发并在莫斯科、列宁格勒、基辅、哈尔科夫和明斯克多个城市应用。在一些先进的热电站平均发电标准煤耗已达到 $170 \sim 180$ g/(kW·h)。前苏联集中供热的科学理论水平、规模、热化设备规格化和热化发展水平都一度占居世界第一的位置^[1]。莫斯科曾拥有世界上最大的集中供热系统。到 2000 年一些供热系统的供热半径已长达 $15 \sim 25$ km(基辅、伊尔库茨克、阿里母阿达等), 有的甚至达到 35 km(莫斯科、斯维尔德诺夫斯克等)^[2]。前苏联培养了一大批从事集中供热理论和实践研究的专家和学者, 形成了多个有影响力的研究团队。前苏联解体后集中供热事业有所停滞或后退, 例如: 1991—2000 年俄罗斯的总供热量降低 15.1%, 其中工业用热量降低 31.3%, 农业用热量降低 13%, 住宅用热量增加 9.8%^[3]。近年来有所振兴。

前苏联供热可靠性研究始于 20 世纪 60 年代末, 至今已有 40 多年的历程。虽然 1991—2000 年集中供热的发展放慢了步伐, 但供热可靠性研究还在不断前进, 在总结前期研究成果的基础上发表了大量成果。从前苏联时期开始的供热可靠性研究一直走在世界前沿, 几十年来发表了一系列供热系统(包括热源、供热管网和热用户)可靠性方面的专著、论文, 多次召开了有知名院士、学者和专家参加的供热可靠性专题研讨会^[4]。前苏联和俄罗斯在供热可靠性研究方面进行了长期、系统的研究, 迄今形成了一套理论, 并进行了实践。特别是将供热可靠性研究和实践的系列成果不断更新, 贯穿到历次颁发的热力网设计规范之中。他们在发展集中

供热过程中开展供热可靠性研究所走过的路程和得到的成果值得我国关注和借鉴。

1 前苏联和俄罗斯供热可靠性研究的发展历程

供热可靠性问题的研究与其他技术领域一样, 来源于工程实践的需要, 并用于指导工程技术向更高级阶段发展。供热可靠性研究与集中供热的发展息息相关。1924 年 11 月, 前苏联第一个以热电厂为热源的集中供热系统在前苏联热化事业先驱者 JI. JI. 金特和 B. B. 德米特里耶夫的带领下诞生于列宁格勒。紧接着 1928 年在莫斯科建成向工业企业供热的第一条公共用途的热力管道, 其热源是莫斯科热化事业的倡导者——全苏热工研究所的试验电站。列宁格勒和莫斯科第一批热化设备的投入运行激励了前苏联其他许多城市热化事业的发展, 在 1930 年召开的第一次热化代表会议之后奠定了将发展热化作为国家能源领域的主要政策^[2]。在发展初期, 供热热源都是一些不大的工业热电站, 供热系统较小, 主干线管径不大, 供热半径不长, 系统比较简单, 管网投入运行年限较短。当时供热系统也会发生事故, 但事故率比较低; 而且由于管径小, 一旦发生事故, 能在较短的时间内修复, 所产生的经济损失少、社会影响小。这就使得当时人们对供热事故的重视不够, 对建造高可靠性供热系统的认识不足。发展初期所呈现出的上述状况, 使所建造的管网大多数是没有备用性能的、可靠性低的枝状管网。在 1934 年规划莫斯科的供热管网时曾有学者提议建环形管网, 但未被认可和实施^[1,5], 由此可见一斑。

1931 年以后的几十年, 特别是第二次世界大战以后, 集中供热事业发展迅速, 在节省能源、改善环境和节省劳动力等诸方面显现出极大的优越性。前苏联政府高度重视并制定政策鼓励发展大型集中供热系统。1960 年以后集中热水供应普及, 供

① ☆ 邹平华, 女, 1944 年 4 月生, 教授, 博士生导师
150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院
(0451) 86282272
E-mail: zph@hit.edu.cn
收稿日期: 2013-11-12

热系统更加复杂,夏季维修时影响生活热水供应。由于未随着集中供热系统规模的增长和复杂性的增加提高供热可靠性,在一些城市每年都会发生几十次重大事故^[6-7]。大直径的管道修复复杂、耗时长,事故造成大面积停止供热,影响人们的身体健康和正常生活,造成严重后果。供热事故频发、事故率增加,使得对可靠供热的呼声也越来越高,许多大学和设计研究机构的专家和学者纷纷展开了供热可靠性的研究和讨论,其中俄罗斯科学院西伯利亚分院能源研究所、俄罗斯动力工业设计研究院、莫斯科建筑工程学院、全俄热工研究所、潘菲洛夫公用事业研究院、莫斯科动力学院等单位成果斐然,最有影响和代表性的人物有 Ю. Н. 鲁坚科(院士)、А. А. 约宁、Я. А. 科维尔斯基、Е. В. 谢诺娃、Н. К. 格罗莫夫、Е. Я. 沙柯诺夫、Н. М. 季恩哥尔等。

前苏联和俄罗斯的供热可靠性研究经历了从原理到运用、从简单到复杂、从元部件到分项(热源、供热管网、热用户)、从分项到系统(热源、供热管网、热用户的组合体)的过程。追溯其发展过程,可分为以下几个阶段。

1) 初始研究阶段

运用可靠性的一般原理研究供热系统的可靠性^[4];统计事故数据、分析事故原因^[4,8-9];提出用改善元部件质量的方法提高供热可靠性^[8];研究提高可靠性的合理途径,用元部件(包括管道、阀门和补偿器等)备用作为提高可靠性的基本策略和进行技术经济评价^[5]。

2) 系统、深化研究阶段

研究事故工况下热用户的不稳定工况及室内温度下降规律^[10-11];事故工况下限额供热及热用户的限额供热系数^[4,8-9];分段阀距离优化^[4,12];研究供热系统可靠性的指标体系和评价方法^[13-14];研究管网系统的备用和评价方法^[12,14-16];在一些城市开展供热系统可靠性的数量评价^[13,17-18]。

3) 建立规程、纳入规范

从研究中期开始建立可靠性评价准则。1990年由潘菲洛夫公用事业研究院公用能源部的德瓦列茨克夫等编制的《关于提高城市供热可靠性的规程》中规定了在运行过程中提高可靠性可采用的技术和组织措施^[19];20世纪70年代首次在《热力网设计规范》中写入事故工况限额供热的要求^[20];80—90年代由莫斯科动力设计研究院总工 Я. А.

卡维尔斯基主编的《热力网设计规范》中增加了供热可靠性要求^[21-22];在现行的《热力网设计规范》中用专门的章节列出供热可靠性的规定,全面强化了供热可靠性的要求^[23];反映了前苏联和俄罗斯多年来在供热可靠性方面的研究进展和实践成果。

2 供热可靠性的研究内容

前苏联和俄罗斯的供热可靠性研究涉及到设计、施工和运行管理各方面的问题,主要研究内容包括供热可靠性的理论、评价准则和评价方法,提高供热可靠性的方法和措施等。本文介绍其中部分研究内容。

2.1 从一般可靠性理论出发,研究供热可靠性的基本特点

供热系统有以下特点^[4,14]:

1) 供热系统是一个复杂的、庞大的工程技术系统。主干线管长甚至达到几十 km,由成千上万个元部件组成,连接有不同供热要求的众多用户,任何一个元部件损坏都可能导致系统事故。

2) 供热系统是一个空间系统。供热管线随地形延绵起伏,沿途参数随地理位置呈三维变化。

3) 供热系统是一个信息量不足、不全的系统。建造在不同的年代,管道所经过的地下管线、设施信息可能不全,元件故障和发生事故随机量的分布规律信息缺损。

4) 供热系统的正常运行与众多因素有关,不仅取决于系统自身,而且与周围环境(道路、土壤、其他管线、城市其他因素等)有关。各类影响因素可能随时间变化,存在偶然性。

由于供热系统有上述特点,供热系统和供热管网发生事故是难以避免的,不可能完全杜绝。近年来在莫斯科、圣彼得堡、下罗夫哥洛德、乌利曼斯克、乌里阳洛夫斯克、秋明、哈巴罗夫斯克等城市,导致整个区域长时期停止供热的重大事故也时有发生^[24]。

供热可靠性与一般可靠性理论的研究对象有相同之处和不同之处。相同之处在于:具有代表性;具有大量相互关联和相互作用的部件;功能复杂;具有分级结构,可将系统分为子系统;受外部介质和偶然因素的影响。不同之处在于:供热系统发生事故会造成重大的经济损失和社会影响;建筑物有热惰性,允许短时间停止供热和发生事故时降低供热水平,可以采取设置法减少事故。这就使得供热系统与其他管道系统应对事故的备用方法、可

靠性评价和计算方法不同。

2.2 供热事故数据和事故规律的研究

2.2.1 统计和分析事故数据

供热系统发生事故的次数、位置及时间都是不确定的,是偶然的随机事件,可用概率论的理论进行研究^[1]。许多单位和学者从着手研究供热可靠性的伊始就花费大量时间不遗余力地开展了供热事故调查。

1969—1981 年前苏联公用事业科学院、全苏动力工业设计研究院和莫斯科建筑工程学院等单位的研究人员分别统计了莫斯科和其他 15 个城市的供热事故数据^[4,8,10]。这些事故数据表面看起来杂乱无章,从不同年代、不同城市得到的数据差别也不小,但用概率论的方法加以整理,能分析发生事故的主要原因,找到规律。热力管道一般在投入运行 15~18 年后(管理较好的在投入运行 25 年后)进入损坏高峰期。文献^[4,9]给出了各类原因造成的事故所占的百分比。

腐蚀是发生故障最主要的原因,由此造成的故障占故障总数的 55%~75% 或更高;管道外腐蚀比内腐蚀严重;直埋敷设管道的腐蚀(主要发生在管道焊接处和管道穿过检查室处)一般多在管道下部;管沟敷设管道的腐蚀(主要发生在管道支架、特别是固定支架处和管道穿过检查室处)多发生在管道上部;85%~95% 的事故发生在供水管。

20 世纪 80 年代以后研究人员分别用这些数据得到了评价系统元部件的事故特征数据,这些特征数据在后来的研究中作为可靠性分析和数值计算的依据和基础数据被用于计算和评价可靠性指标^[13-14]及制定可靠性评价准则。

2.2.2 获取事故特征数据

统计和计算得到的事故特征数据主要有故障流参数和事故管道修复时间等。

1) 故障流参数

故障流参数用于表征事故发生频率。文献^[4]指出故障流参数的数值随运行年限的增加而增加;莫斯科的故障流参数比其他城市低,这是由于莫

斯科比其他城市的供热管网管理水平高。

莫斯科建筑工程学院的研究小组于 1973—1977 年对莫斯科 4 个小区的供热管网进行跟踪,得到了事故数据^[8,13]。根据这些统计资料并适当考虑技术进步,采用概率论的方法,取置信度为 0.95,得到故障流参数 ω :对不通行管沟和直埋管道, $\omega = 0.05 \text{ km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$;对钢制闸阀, $\omega = 0.002 \text{ a}^{-1}$ 。这些故障流参数的数值在一些有关供热可靠性的论文和著作中得到了应用^[4,15,25]。

2) 事故管道修复时间

事故管道修复时间包括发现事故并确定事故地点、将事故管段控制在局部、放水、修理、充水和恢复运转的全过程时间^[26]。事故管道修复时间是关系到管道系统的输送能力备用、管网投资、事故维修、基地建设费用和事故影响的重要数据。

不同专家统计和计算得到的事故管道修复时间不同。莫斯科动力学院的 E. Я. 沙柯诺夫等人认为事故管道修复时间与被修复管道的管长和管径有关,计算公式为^[16,26]

$$Z_p = a[1 + (b + d)d^{1.2}] \quad (1)$$

式中 Z_p 为热力管道修复时间, h; a, b, c 为常数; l 为热力管道的长度, km; d 为热力管道的管径, m。

对不通行管沟内的管道代入统计常数,得到

$$Z_p = 6[1 + (0.5 + 1.5l)d^{1.2}] \quad (2)$$

莫斯科建筑工程学院的 A. A. 约宁认为事故管道修复时间只与被修复管道的管径有关,经验公式为^[9]

$$Z_p = 5.06 + 14.93d \quad (3)$$

俄罗斯科学院西伯利亚分院的 E. B. 谢洛娃提出的公式为^[4]

$$Z_p = A + Bd \quad (4)$$

式中 A, B 为与管径有关的常数。确定常数 A 时还需考虑供热部门是否有维修基地,如无集中的维修基地,考虑到维修人员的集合时间, A 的数值要大一些。

表 1 为俄罗斯 2003 年颁布的《热力网设计规范》中给出的数据^[23]。

表 1 事故管道修复时间

修复时间 Z_p /h	热力管道管径 d /mm						
	300	400	500	600	700	800~1 000	1 200~1 400
	15	18	22	26	29	40	≤54

由此可见不同时期、不同专家由于依据的原始资料和考虑的因素不同,所提出的事故管道修复时

间计算公式也不同,得到的数值也有较大差别。这反映了从统计数据得到平均修复时间的难度。现

行规范中的数据应该是最有权威性的。

3 供热系统的备用原则与形式

3.1 供热系统的备用原则

提高供热系统可靠性的主要原则是采用可靠的元部件和重要元部件备用。当采用可靠的元部件代价太高或不可能时,提高供热系统可靠性的主要方法是元部件备用。

为了降低提高供热系统可靠性的代价,应将供热系统的各组成部分按可靠性分为不同等级^[8-9]。若不分级,投资额度则会大大增加,一般会增加12%~15%。

对不同等级的组分赋予不同的可靠性。热源和供热管网干线的可靠性等级为高级,各支干线或支线为低级^[26]。对高可靠性级别的供热管线赋予备用性能,使其发生不正常工作事件时,可以控制影响范围,最大程度地减少损失;对低可靠性级别的管线不赋予备用性能,但要保证其发生不正常工作事件时,不会造成整个系统故障和导致大面积用户受影响。

有备用的元部件不正常工作时可能导致系统故障或处于事故状态,应尽量减少事故状态的出现次数;无备用的元部件不正常工作时应将故障限制在较小的局部范围内。

按可靠性分级设计的供热管网的水力工况和热力工况应可控,否则即使有输送能力备用的管网,在事故工况下也会失调,达不到限额供热的初衷。

3.2 供热系统的备用形式

供热系统的备用形式有结构备用、时间备用、负载备用和功能备用^[4]。结构备用是利用系统中过余的元部件(设备或管道)作为备用。时间备用是利用系统完成规定任务后分出的多余时间作为备用,在热源处储备燃料和水及利用建筑物和供热管网的蓄热能力都属于此类备用。负载备用是在热源和供热管网中预先考虑利用元部件具有的承受超过额定荷载的能力作为备用^[5]。功能备用是元部件(或系统)在正常工况不执行、而在事故工况下实施特定功能的备用。

采用结构备用时,备用管道经常为负载备用^[5],备用设备一般为非负载备用,即在正常工作状态下备用设备不工作、备用管道工作,只不过备用管道在正常工作状态下承受的负荷可能比事故状态下要小。

在供热系统中可以采用公共备用(系统整体备用)和单体备用(各个元部件或成组元部件备用)。在热源处储备燃料和水、在供热管网中设置有备用能力的管道属于公共备用;备用元部件属于单体备用。

3.3 供热管网的主要备用方法

热网的可靠性评价和计算方法与其他管道系统有重大区别,由于热网是为热用户服务的技术系统,事故发生时室内温度降低,可能导致室内人员生病和工作能力下降,不希望发生此类事故;另一方面由于建筑物有热惰性,允许短时间停止供热和发生事故时降低供热水平。这是热网事故的两方面特点:不希望间断供热和允许短时间降低水平。为了保证事故工况下向热用户供热,管网采用结构备用和输送能力备用是基本的备用方法^[4,27]。

3.3.1 供热管网的结构备用

结构备用的管网一般是指管网布局具有备用性能。

从技术经济合理的角度而言,结构备用的管网一般是指干线具有备用性能。用分段阀将干线管段合理分段^[13],在事故工况下可以利用分段阀关断事故管段,改变部分管段的流向,重新分配流量,实现对未关断用户的供热,有利于减少停止供热时间和有效控制事故影响范围。非备用元部件损坏时不应导致整个系统故障^[8-9,14]。结构备用的主要措施如下。

1) 设置环形干线

设置环形干线的管网是具有结构备用能力的供热管网,在发生事故时不会出现全面停止供热的局面。大型供热管网规划时应考虑采用环形管网^[1,13-14]。为了减少初期投资,在建设初期可以先建成枝状管网,但管径要按满足规划期的热负荷需求进行计算,为远期实现环状管网打下基础,以避免重复建设和减少建成期的总投资。专家们对一定规模环状管网的环数及成环管道管径的选择进行了研究,认为环数不宜过多,各环内的管径差别不宜过大;建议对大型热电厂系统环数不超过4~6环^[9]。

2) 多热源联合供热

采用多热源联合供热是大中型供热系统管网热源互为备用的方式^[28-29],当一个热源或热源出口管线发生故障时,关断故障部分的热源或管线,未关断部分由其他热源供热。设置环形干线的管网最好采用多热源供热。

3) 枝状管网增设连通管

枝状管网增设连通管也属于结构备用。因为连通管使枝状管网局部构成环形,因此可以认为这是一种改良型的环状管网。这种方式适用于建设初期为枝状管网、后期发展成为环状管网的供热管网。俄罗斯发展集中供热初期,大量管网为枝状管网。为了提高其可靠性、改进水力工况和热力工况,20世纪60年代末前苏联学者提出了在枝状干线之间设置连通管的方案,并阐述了通过技术论证和经济计算确定连通管的位置和数量的方法,确定了在达到可靠性指标要求的前提下,投资增加值较小的方案为优选方案的原则^[1,5,29]。

前苏联在实践中采用该方式提高可靠性的管网为数不少。从1969年开始,莫斯科采用一系列措施提高供热系统的可靠性和供热质量,其中之一是在热源各干线之间增设连通管。图1为20世纪70年代莫斯科21#热电厂与5个区域锅炉房联合供热管网示意图,由热电厂引出4条干线I, II, III, IV,干线上设置有加压泵站,各干线之间用连通管(图中的虚线)连接^[29-30]。

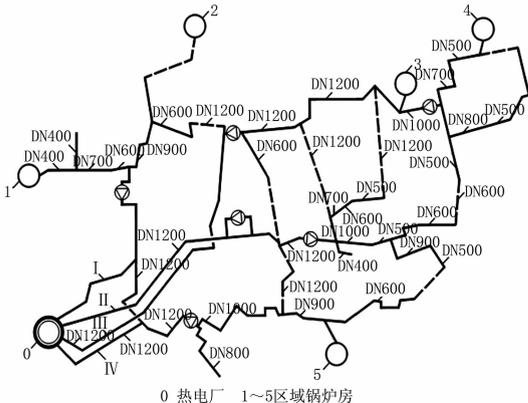


图1 莫斯科21#热电厂与区域锅炉房联合供热管网

4) 在干线和分支线连接点设置控制分配站

在备用干线和分配管线(或支线)连接点处设置控制分配热力站是进一步提高可靠性的措施^[1,29]。图2所示的管网由2个热电厂和1个区域锅炉房联合供热,与干线2相连的每条分配管线4都可从干线2的2个方向得到热量,在分配管线与干线连接点设置控制分配热力站7。这是具有结构备用的供热管网^[29]。正常工况下2条连接管线(阀门5所在管线)投入工作,事故工况下关闭相关的分段阀和其中的一条管线,另一条管线向分配管线(或支线)供热。因此,一般情况下干线管道发

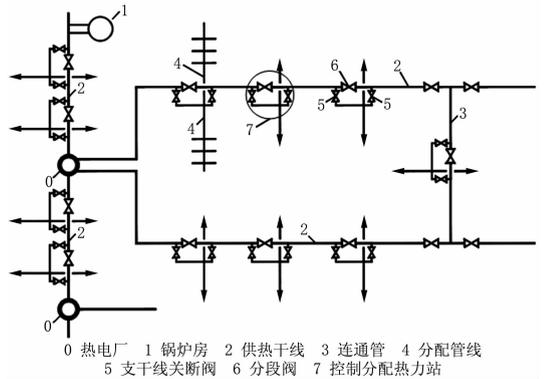


图2 设置控制分配热力站的有备用的供热管网

生故障不会导致用户停止供热,同时在该站设置水泵和控制装置,可以实现干线与用户的热力工况和水力工况的弱耦合^[1],是可靠性更高的系统型式。特别是对不允许中断供热的重要用户支线,设置控制分配热力站是非常有实际价值的。潘菲洛夫公用事业科学院和全苏动力工业设计研究院20世纪80年代在前苏联的哈尔科夫、车里雅宾斯克和克拉斯诺亚尔斯克几个大城市按上述原则建造了环形管网,并设置了控制分配热力站^[30-31]。

在图2中,从功率较大的热电厂引出辐射状管网(4个出口),多个出口可以减小每条供水管的供热范围和管径。因为2条供水管同时发生事故的概率较小,因而有利于控制事故范围和减少事故时的检修时间。

5) 相邻区域供热系统联网

相邻区域的供热系统正常工况下独立运行、事故工况下联网运行,也是互为备用的一种形式^[11,28]。

3.3.2 供热管网的输送能力备用

结构备用是提高供热管网可靠性的重要措施。实施输送能力备用是充分发挥结构备用的必要条件,否则有结构备用的管线也会出现用户流量不足的情况^[14]。可以设想,如果环形干线某段管道的管径很小,不能满足事故工况下流通能力的要求,则环形管网就形同虚设。也就是说具备结构备用的构架,但不具备输送能力备用,从而达不到备用的目的。因此进行供热管网的输送能力备用计算是实现结构备用非常重要的步骤^[15]。早在1960年,西伯利亚动力学院和其他单位就开展了供热系统技术经济优化的研究,在改扩建中按远期的热负荷确定合理的热网结构和参数,找出瓶颈,予以替换^[18]。

具有输送能力备用的管网一般是具有负载备用的供热管网,即在正常工况下有热媒流通,事故工况下热媒流通过程改变^[14]。如按 100%的设计流量来考虑备用,则干线的管径和管网系统的投资额会大幅增加^[9],显然这是不经济的和不可取的。由于建筑物具有蓄热性能,供热系统允许短时间降低供热水平,在发生事故时可以采取限额供热的策略来降低由于备用提高可靠性所增加的费用。具有输送能力备用的管网在最不利事故工况时应具有规定的限额供热能力。

供热管网的输送能力备用由限额供热系数来体现。限额供热系数是事故工况下的供热量与设计供热量的比值,用 K 来表示:

$$K = \frac{Q_s}{Q_0} \quad (4)$$

式中 K 为限额供热系数; Q_s 为供热系统事故工况下的供热量, MW; Q_0 为供热系统设计供热量, MW。

应对最严重的事故工况进行水力计算,并将限额供热系数转化为限额流量系数,用限额流量系数进行事故工况水力计算,确定有备用能力的管线的管径^[26]。

限额供热系数的数值越大,投资增加越多;反之,限额供热系数的数值越小,投资增加越少。最严重的事故工况出现在最冷天,因此限额供热系数用室外计算温度来确定。此外,限额供热系数的数值还与事故供热管道的管径、建筑物的热储备系

数、发生事故时建筑物允许的最低室内温度有关,并受到事故维修时间的制约。俄罗斯对限额供热系数的研究也经历了由简单到复杂、由粗到细的过程,表现在《热力网设计规范》中对限额供热系数规定的变化。

20 世纪 70 年代颁布的 СНиП II - 36—73《热力网设计规范》中规定限额流量系数不分条件,一律为 0.7,不考虑各项因素的影响^[1,8,20],反映了当时的研究水平。

1976 年在全苏动力工业设计研究院贝尔米实验室进行的大量研究的基础上形成了供热可靠性概念和确定可靠性的数量评价准则,在 СНиП 2.04.07—86《热力网设计规范》中所有与可靠性和备用有关的规定都是在这些准则的基础上制定的^[17],所以 20 世纪 80 年代和 90 年代的规范中规定的限额供热系数比 70 年代有所细化,考虑了某些影响因素。室外计算温度不同的地区、不同管径的热力管道,限额供热系数数值不同;但未建立限额供热系数与维修时间之间的关系,所给出的限额供热系数数值还不是很严格;对供暖室外温度较高的地区,热力管道管径较小时不要求限额供热^[21-22]。

2003 年颁布的 СНиП 41 - 02—2003《热力网设计规范》全面考虑了各因素对限额供热系数的影响,并进一步细化了其数值^[23],见表 2;增加了室外供暖计算温度较高地区、较小管径供热管道的限额供热系数的要求;建立了维修时间与限额供热系数之间的关系。

表 2 СНиП 41 - 02—2003《热力网设计规范》中的限额供热系数

供热管道管径/mm	维修时间/h	限额供热系数/%				
		$t_w = -10\text{ }^\circ\text{C}$	$t_w = -20\text{ }^\circ\text{C}$	$t_w = -30\text{ }^\circ\text{C}$	$t_w = -40\text{ }^\circ\text{C}$	$t_w = -50\text{ }^\circ\text{C}$
300	15	32	50	60	59	64
400	18	41	56	65	63	68
500	22	49	63	70	69	73
600	26	52	68	75	73	77
700	29	59	70	76	75	78
800~1 000	40	66	75	80	79	82
1 200~1 400	≤54	71	79	83	82	85

注:表中数值是针对不通行管沟和无沟敷设管道, t_w 为室外供暖计算温度。

提高可靠性的不同备用方案所附加的投资可在很大范围内变化,对方案进行结构备用和输送能力备用优化,可使其大为降低,优化时要比较不同方案的能耗和费用^[14]。

为了防止事故工况下水力失调,实现事故工况限额供热的系统必须完善自动监测和控制系统^[1,9]。

在研究供热管网结构备用与输送能力备用中,

确定了采用备用手段提高供热管网可靠性和费用增加额的关系,给出了确定元部件可靠性和供热管网结构可靠性的合理比例的方法^[15]。

输送能力备用的计算建立在对多方案进行比较的基础上,是在保证一定的可靠性要求条件下兼顾经济指标的管网结构优化过程,在对可靠性分级的系统中实现可控性,可在最小的投资下满足供热

可靠性要求^[9]。

4 研究并建立评价指标

在进行可靠性研究初期曾提出用事故给国民经济和居民健康带来的损失进行热网可靠性的数量评价,后因很难通过计算得到可信的金钱数值来反映事故损失,这一方法没有得到推广。1972年由E. B. 哈西列夫等人形成了热网可靠性和备用计算的一般原理,该方法基于节点指标的评价,然后又由西伯利亚能源学院进行了发展。在同一时期莫斯科建筑工程学院也提出了其他方法,并进行了扩展,然后莫斯科建筑工程学院又引进了节点可靠性指标。

从1972年开始已有专家提出用概率论的观点研究供热可靠性和备用的方法,提出考虑可靠性的供热综合优化建议:评价用户可靠性用节点指标;计算供热可靠性指标的概率方法和分析热网正常与事故水力工况的评价方法相结合;计算工况和事故工况。这一方法的缺点是偏复杂。

1982年全俄动力工业设计研究院研究了热网可靠性的数量评价方法,该方法简单、方便,应用者不需要有专门的技能,可节省时间和手工劳动量,并能得到较好的结果^[10]。

1997年全俄动力工业设计研究院已完成考虑可靠性的供热系统计算程序的编制^[17],并根据建筑物在事故修复过程中不稳定换热的数学模型和可靠性标准提出供热可靠性的2个评价参数:供热系统无故障工作概率指标 P 和工作质量系数(准备性系数) κ_r ,并给出了2个参数的数值^[14]。

俄罗斯动力工业设计研究院的总工Я. А. 卡维良斯基将上述研究成果引入现行规范СНиП 41-02-2003《热力网设计规范》中,明确供热系统用下述3个可靠性指标来考核;新建和既有供热系统应满足下述3个指标的要求,并应对每个用户进行可靠性指标计算^[23]。

1) 无故障工作概率指标 P

居住建筑房间温度低于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、公用建筑房间温度低于 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 被认为是供热故障。规范中规定系统发生故障的次数不得超过相应的标准,规定无故障工作概率指标为:对热源, $P_{\text{nr}}=0.97$;对热网, $P_{\text{nc}}=0.90$;对热用户, $P_{\text{nr}}=0.90$;对供热系统, $P_{\text{nr}}=0.86$ 。该指标规定了系统和各组成部分无故障工作(或发生故障)的概率,也就是从概率的角度规定了发生事故的次数。例如,对热网,正常工

作的概率为0.90,每100年发生事故的次数不得超过10次。

2) 工作质量系数(准备性系数) κ_r

工作质量系数定义为除允许供暖房间室内温度降低的时间以外,供热系统在正常运行状态下保持室内温度为设计温度的系统工作状态的概率。规范中规定工作质量系数 $\kappa_r \geq 0.97$ 。该指标规定了供暖房间室内温度低于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、但不低于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的总时间不超过供暖期延续时间的比例。

3) 生命力(持久性) μ

生命力(持久性)是指在事故(极端)条件下或长时间(超过54h)停止供热后,系统维持自身工作能力的性能。例如,位于非供暖房间内外、楼梯间、阁楼的热力管道的最低供热量,应足以维持发生故障后的整个修复期内水温不低于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5 结语

我国从20世纪90年代以后集中供热普及率快速提高,供热系统的规模和供热面积迅速扩大。不断发生的供热事故告诫我们,提高供热可靠性的任务已刻不容缓。

尽管供热系统事故不能完全杜绝,但减少事故是可以办到的。供热管网发生事故有其自身的规律,研究其规律并采取适当措施,可减少事故发生的次数和减小影响范围。

从设计、施工和运行管理各环节全面提高供热可靠性的任务还任重道远。在我国,借鉴国外,特别是前苏联和俄罗斯有关研究成果和经验,在新建和改扩建供热系统中建造高水平、高可靠性的供热管网无疑是非常有意义和重要的工作。

参考文献:

- [1] Николаев А. А. Основные вопросы развития теплофикации[J]. Теплоэнергетика, 1974(4): 25-26
- [2] Анотонов Е. А. Теплофикация Москвы[M]. Москва: Энергия, 1980: 9
- [3] Ковылянский Я. А. Развитие теплофикации в России [J]. Теплоэнергетика, 2000(12)
- [4] Сеннова Е. В. и др. Надежность систем теплоснабжения[M]. Новосибирск: Наука, 2000
- [5] Хасилев В. Я. и др. Об эффетиности нагруженного резервирования тепловых сетях[J]. Теплоэнергетика, 1974(7)
- [6] Такайшвили и. Хасилев Об основах методики расчета надёжности и резервирования тепловых сетях [J]. Теплоэнергетика, 1972(4)
- [7] Попырин Л. С. Надежность теплоснабжения [J].

- Теплоэнергетика, 1997(9)
- [8] Ионин А А и др. Теплоснабжение [М]. Москва: Стройиздат, 1982
- [9] Ионин А А. Надежность тепловых сетей [М]. Москва: Стройиздат, 1989
- [10] Соколов Е Я и др. Нестационарные тепловые режимы отопительных установок [J]. Теплоэнергетика, 1988(9)
- [11] Еелинский С Я и др. Натурные исследования теплоаккумулирующей способности пипловых жилых зданий[J]. Теплоэнергетика, 1971(10)
- [12] Юфа А И. Опимальное секциянирование вндыных тепловых сетей[J]. Теплоэнергетика, 1985(9)
- [13] Ю Г Грачев и др. О практической количественной оценки надежности тепловых сетей при их проектировании и в условиях эксплуатации [J]. Теплоэнергетика, 1997(5)
- [14] Ковылянский Я А и др. Практическая методика количественной оценки надёжности тепловых сетей при проектировании и в условиях эксплуатации[J]. Теплоэнергетика, 1997(5)
- [15] Ионин А А. Структурный и транспортный резервы тепловых сетей[J]. Теплоэнергетика, 1985
- [16] Соколов Е Я, Извеков А В. Количественный расчет надёжности систем теплоснабжения [J]. Теплоэнергетика, 1990(9)
- [17] Варварский В С, Ковылянский Я А. Новые направления работ в области теплоснабжения [J]. Промышленная энергетика, 1997(10)
- [18] Сеннова Е В и др. Комплексная методика для обоснования технико-экономических решений по развитию теплоснабжающих систем при их проектировании с учётом надёжности [J]. Теплоэнергетика, 1993(12)
- [19] Дворецков Н Г, Фаликов В С, Кузнецова Н А. Указание по повышению надёжности систем коммунального теплоснабжения[М]. Москва, 1990
- [20] СНиП II - 36—73 Тепловые сети [S]. Москва: Госстрой России, 1976
- [21] СНиП 2. 04. 07—86 Тепловые сети [S]. Москва: Госстрой России, 1986
- [22] СНиП 2. 04. 07—86 * Тепловые сети [S]. Москва: Госстрой России, 1998
- [23] СНиП 41 - 02—2003 Тепловые сети [S]. Москва: Госстрой Р Ф, 2004
- [24] Попырин Л С и др. Надёжность систем теплоснабжения[J]. Теплоэнергетика, 1997(9)
- [25] Ионин А А. Обоснование схем и расчет надежных тепловых сетей[J]. Теплоэнергетика, 1999(9)
- [26] Горин В И, Соколов Е Я, Зингер Н М. Пути повышения надёжности теплофикации [J]. Теплоэнергетика, 1982(8)
- [27] Громов Н К. Повышение надёжности теплоснабжения потребителей от ТЭЦ и котельных [J]. Водоснабжение и санитарная техника, 1985(11)
- [28] Попырин Л С. надёжности источников тепла и их объединений[J]. Теплоэнергетика, 1993(2)
- [29] Антонов Е А. Повышение надёжности тепловых сетей[J]. Теплоэнергетика, 1978(1)
- [30] Соколов Е Я, Зингер Н М. Работы ВТИ в области теплофикации и централизованного теплоснабжения городов[J]. Теплоэнергетика, 1971(7)
- [31] Громов Н К. Абонентские устройства водяных тепловых сетей[М]. Москва: Энергия, 1979; 16—21