

板式换热器间接连接热水供暖系统 集中供暖调节公式研究

崔明辉,孟德志,倪成名

(河北科技大学建筑工程学院,河北石家庄 050018)

摘要:板式换热器凭借其独特的优点成为供暖工程中的主导换热设备,但目前没有用于分析板式换热器间接连接热水供暖系统集中供暖调节的公式。针对供暖用户系统采用质调节,热水网路系统采用质量-流量调节的情况进行分析,推导出了供暖用户系统以及热水网路系统应用板式换热器间接连接热水供暖集中供暖调节公式。验算表明,该公式既适用于质调节又适用于不同流量优化调节系数的质量-流量调节。

关键词:供热与供燃气工程;板式换热器;集中供暖;质调节;质量-流量调节;数值计算

中图分类号:TU995.1 **文献标志码:**A

Formula study for plate heat exchanger in the central heating regulation of the indirect connection hot water heating system

CUI Minghui, MENG Dezhi, NI Chengming

(School of Civil Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: Plate heat exchanger has unique advantages and becomes dominant heat exchange equipment in heating engineering, but there is no heating regulation formula of plate exchanger applied in central heating regulation of indirect connection hot water heating. This paper analyzes the condition that the heating user's system adopts quality regulation method and the hot water network system adopts quality-flow regulation method, and obtains the regulation formulas of plate exchanger applied in central heating regulation of indirect connection hot water heating used for the above two systems. Empirical calculation shows that the formula can be applied to the quality regulation and the mass flow regulation of the different flow optimization adjustment coefficient, and it is an all-round formula.

Keywords: heat supply and gas supply engineering; plate heat exchanger; central heating; quality regulation; quality-flow regulation; numerical calculation

集中供热系统中板式换热器与壳管式换热器都具有水-水换热的功能,但由于板式换热器比壳管式换热器密封性较差,使得板式换热器的普及应用比壳管式换热器滞后了许多年。近年来,随着技术的发展,板式换热器在集中供热系统中得到了广泛应用,且已成为了主流换热设备。板式换热器具有传热系数高、压降

收稿日期:2016-05-04;修回日期:2016-09-08;责任编辑:冯 民

基金项目:河北科技大学研究生创新资助项目(201502)

作者简介:崔明辉(1962—),男,河北献县人,教授,硕士,主要从事人工环境系统优化与新能源利用方面的研究。

E-mail:cuiminghui666@163.com

崔明辉,孟德志,倪成名.板式换热器间接连接热水供暖系统集中供暖调节公式研究[J].河北科技大学学报,2016,37(5):522-526.

CUI Minghui, MENG Dezhi, NI Chengming. Analysis of plate heat exchanger in the central heating regulation of the indirect connection hot water heating system[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2016, 37(5): 522-526.

小、结构紧凑、质量轻,以及易实现规模化生产等特点,广泛应用于食品、机械、冶金、石油化工等领域^[1-16],但对板式换热器还没有相应的供热调节公式。本文将对此进行研究,力图推导出一个适用的公式。

1 间接连接热水供暖系统的调节

当供暖用户系统与热水网路采用间接连接时,与直接连接热水供暖系统的集中调节方式不同的是随室外温度 t_w 的变化,需同时对热水网路和供暖用户系统进行供暖调节^[17-18]。

间接连接热水供暖系统中为保持供暖用户系统的水力稳定性,通常对供暖用户系统按质调节方法供暖调节。热水网路的供回水温度 t_g 和 t_h 取决于一级网路采用的调节方法和水-水换热器的热力特性,通常采用集中质调节或质量-流量调节方法。本文针对供暖用户系统采用质调节方法,热水网路系统采用质量-流量调节方法的情况进行分析。

供暖用户系统平衡方程:

$$\bar{Q} = \frac{t_g + t_h - 2t_n}{(t'_g + t'_h - 2t_n)^{1+b}} = \bar{G}_n \frac{t_g - t_h}{t'_g - t'_h} \quad (1)$$

式中: t_g, t_h 分别为供暖用户的实际供回水温度,℃; t'_g, t'_h 分别为供暖用户的设计供回水温度,℃; t_n 为供暖室内计算温度,℃; \bar{Q} 为在某一室外温度下的供暖热负荷与设计热负荷之比,称为相对供暖热负荷比; \bar{G}_n 为在某一室外温度下供暖用户系统的实际流量与设计流量之比,称为相对流量比; b 为指数。

引进补充条件,即供暖用户系统的相对流量比为

$$\bar{G}_n = 1 \quad (2)$$

由式(1)和式(2)得供暖用户系统的质调节公式如式(3)、式(4)所示:

$$t_g = t_n + \Delta t'_s \bar{Q}^{\frac{1}{1+b}} + 0.5 \Delta t'_j \bar{Q} \quad (3)$$

$$t_h = t_n + \Delta t'_s \bar{Q}^{\frac{1}{1+b}} - 0.5 \Delta t'_j \bar{Q} \quad (4)$$

式中: $\Delta t'_s = 0.5(t'_g + t'_h - 2t_n)$,为热用户散热器的平均设计计算温差,℃; $\Delta t'_j = t'_g - t'_s$,为热用户设计供回水温差,℃。

热水网路系统的平衡方程为

$$\bar{Q} = \bar{G}_w \frac{\tau_g - \tau_h}{\tau'_g - \tau'_h} \quad (5)$$

式中: τ_g, τ_h 分别为热水网路的实际供回水温度,℃; τ'_g, τ'_h 分别为热水网路的设计供回水温度,℃; \bar{G}_w 为在某一室外温度下热水网路的实际流量与设计流量之比,称为相对流量比。

文献[19]中的相对流量比随相对热负荷比任意变化的通用公式为

$$\bar{G}_w = \bar{Q}^m, m \in [0, 1] \quad (6)$$

$$m = \frac{\lg \bar{G}_w}{\lg \bar{Q}} \quad (7)$$

式中: m 为流量优化调节系数,其物理意义是,在满足热用户供暖质量的前提下,系统优化运行中流量调节占供暖量调节的份额(对数值)。

由式(5)和式(6)得:

$$t_g - t_h = \bar{Q}^{1-m} (t'_g - t'_h) \quad (8)$$

换热器热平衡关系为

$$\bar{Q} = \bar{K} \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad (9)$$

式中: $\Delta t = \frac{(\tau_g - t_g) - (\tau_h - t_h)}{\ln \frac{\tau_g - t_g}{\tau_h - t_h}}$,为运行工况时,水-水换热器的对数平均温差,℃; $\Delta t' =$

$\frac{(\tau'_g - t'_g) - (\tau'_h - t'_h)}{\ln \frac{\tau'_g - t'_g}{\tau'_h - t'_h}}$,为设计工况时,水-水换热器的对数平均温差,℃; \bar{K} 为水-水换热器的相对传热系数

比,即在运行工况时,水-水换热器传热系数 K 值与设计工况时传热系数 K' 的比值,取决于它的传热特性。

对于板式水-水换热器,近似公式如式(10)所示:

$$\bar{K} = \bar{G}_w^A \bar{G}_n^B \quad (10)$$

式(10)仅限在 $a=0.6\sim 0.85, e=0.35\sim 1$ 条件下适用(a 为流体在板式换热器中通用对流换热特征方程($Nu=C Re^a Pr^b (\frac{\mu}{\mu_w})^p$)的系数; $e=\frac{\alpha'_1}{\alpha'_2}$, 其中 α'_1, α'_2 分别为一次侧(热侧)和二次侧(冷侧)表面传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$), A, B 为拟合系数, 取值见文献[20]中的表1。

将式(1)和式(6)代入式(10)中整理得:

$$\bar{K} = \bar{G}_w^A \bar{G}_n^B = \bar{Q}_w^{Am} \quad (11)$$

由式(9)和式(11)得:

$$\bar{Q} = \bar{Q}^{Am} \frac{(\tau_g - t_g) - (\tau_h - t_h)}{\Delta t' \ln \frac{\tau_g - t_g}{\tau_h - t_h}} \quad (12)$$

由式(8)和式(12)得:

$$\bar{Q} = \bar{Q}^{Am} \frac{(\tau_g - \tau_h) - (t_g - t_h)}{\Delta t' \ln \frac{\tau_g - t_g}{\tau_h - t_h}} = \bar{Q}^{Am} \frac{\bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) - (t_g - t_h)}{\Delta t' \ln \frac{\tau_g - t_g}{\tau_h - t_h}} \quad (13)$$

由式(2)和式(13)得:

$$\ln \frac{\tau_g - t_g}{\tau_h - t_h} = \frac{\bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) - (t_g - t_h)}{\Delta t' \bar{Q}^{1-Am}} \quad (14)$$

令

$$\beta = \frac{\bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) - (t_g - t_h)}{\Delta t' \bar{Q}^{1-Am}} \quad (15)$$

由式(14)和式(15)得:

$$\tau_g = e^\beta (\tau_h - t_h) + t_g \quad (16)$$

由式(8)和式(16)得:

$$\tau_g = \frac{\bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) - t_g + e^\beta t_h}{e^\beta - 1} + \bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) \quad (17)$$

$$\tau_h = \frac{\bar{Q}^{1-m} (\tau'_g - \tau'_h) - t_g + e^\beta t_h}{e^\beta - 1} \quad (18)$$

简化式(17)和式(18), 得到热水网路系统质量-流量调节公式:

$$\tau_g = t_g + \frac{e^\beta}{e^\beta - 1} (\beta \Delta t' \bar{Q}^{1-Am}) \quad (19)$$

$$\tau_h = t_h + \frac{1}{e^\beta - 1} (\beta \Delta t' \bar{Q}^{1-Am}) \quad (20)$$

2 计算实例

在某热水供暖系统中, 供暖用户系统与热水网路采用板式换热器连接(板式换热器特性系数 $a=0.75, e=0.65$)。热水网路和供暖用户($b=0.3$)的设计水温参数如下: $\tau'_g=120^\circ\text{C}, \tau'_h=70^\circ\text{C}, t'_g=85^\circ\text{C}, t'_h=60^\circ\text{C}, t_n=18^\circ\text{C}$, 试确定当采用质调节($m=0$)和质量-流量调节方式(m 分别取 $0.25, 0.5, 0.75, 1$)时, 在不同的供暖相对热负荷比 Q 下的供回水温度。

查表^[20]得: $A=0.48, B=0.35$ 。

计算结果见表1。

对比可知: ($m=0$)、($m=1$)时, 采用式(19)、式(20)计算结果与例题 11-4^[18]计算结果吻合, 进一步验证了该公式是一个既适用于质调节又适用于不同流量优化调节系数的质量-流量调节的较全面的公式。

表1 不同工况下的计算结果
Tab.1 Results under different conditions

相对热负荷 \bar{Q}		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
供暖用户系统	$t_g/^\circ\text{C}$	43.3	49.9	56.2	62.3	68.2	73.9	79.5	85.0
	$t_h/^\circ\text{C}$	35.8	39.9	43.7	47.3	50.7	53.9	57.0	60.0
热水网路,质调节($m=0$)	$\tau_g/^\circ\text{C}$	53.8	63.9	73.7	83.3	92.7	101.9	111.0	120.0
	$\tau_h/^\circ\text{C}$	38.8	43.9	48.7	53.3	57.7	61.9	66.0	70.0
热水网路质量-流量调节($m=0.25$)	$\tau_g/^\circ\text{C}$	58.5	68.5	77.9	86.9	95.5	103.9	112.1	120.0
	$\tau_h/^\circ\text{C}$	38.2	43.3	48.1	52.8	57.3	61.6	65.8	70.0
	\bar{G}_W	0.74	0.80	0.84	0.88	0.91	0.95	0.97	1.00
热水网路质量-流量调节($m=0.5$)	$\tau_g/^\circ\text{C}$	65.0	74.3	82.9	91.0	98.7	106.0	113.1	120.0
	$\tau_h/^\circ\text{C}$	37.6	42.7	47.6	52.3	56.8	61.3	65.7	70.0
	\bar{G}_W	0.55	0.63	0.71	0.77	0.84	0.89	0.95	1.00
热水网路质量-流量调节($m=0.75$)	$\tau_g/^\circ\text{C}$	74.1	81.9	89.0	95.8	102.2	108.3	114.2	120.0
	$\tau_h/^\circ\text{C}$	37.1	42.1	47.0	51.8	56.4	61.0	65.5	70.0
	\bar{G}_W	0.41	0.50	0.59	0.68	0.77	0.85	0.92	1.00
热水网路质量-流量调节($m=1$)	$\tau_g/^\circ\text{C}$	86.6	91.6	96.4	101.2	106.0	110.7	115.4	120.0
	$\tau_h/^\circ\text{C}$	36.6	41.6	46.4	51.2	56.0	60.7	65.4	70.0
	\bar{G}_W	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00

3 结 语

针对板式换热器在间接连接热水供暖系统集中供暖调节中的换热计算问题,提出并推导了供暖用户系统以及热水网路系统应用板式换热器间接连接热水供暖集中供暖调节的质量-流量调节公式,为板式换热器间接连接的集中供暖系统在运行调节、节能测试等方面提供了较好的参考。为了更好地达到经济运行目的,未来应进一步研究不同供暖规模时不同外网型式条件下的 m 值变化规律。

参考文献/References:

- [1] 栾辉宝,陶文铨,朱国庆,等.全焊接板式换热器发展综述[J].中国科学:技术科学,2013(9):1020-1033.
LUAN Huibao,TAO Wenquan,ZHU Guoqing,et al.All-welded plate heat exchanger development summary[J].Scientia Sinica:Technologica,2013(9):1020-1033.
- [2] DAGDAS A. Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach [J]. Renewable Energy, 2007, 32(6): 1020-1032.
- [3] 李明,温冬云.新型板式换热器在三甘醇脱水装置中的应用[J].石油与天然气化工,2004,33(6):419-423.
LI Ming,WEN Dongyun.Application of new type plate heat exchange in triglycol dehydration unit[J].Chemical Engineering of Oil & Gas,2004,33(6):419-423.
- [4] 何国庚,包相继.板式换热器在制冷技术中的应用与发展[J].化工装备技术,1996,17(6):46-50.
HE Guogeng,BAO Xiangji.Plate heat exchanger in refrigeration technology application and development[J].Chemical Equipment Technology,1996,17(6):46-50.
- [5] 周海成.板式换热器的技术进展及其应用[J].压力容器,1996,13(2):168-172.
ZHOU Haicheng.The development and application for plate heat exchangers[J].Pressure Vessel Technology,1996,13(2):168-172.
- [6] ZHANG Guanmin,TIAN Maocheng.Simulation and analysis of flow pattern in cross-corrugated plate heat exchangers[J].Journal of Hydrodynamics,2006,18(5):547-551.
- [7] 邵拥军,张文林.板式换热器的研究现状与应用进展[J].医药工程设计,2012,33(3):58-61.
SHAO Yongjun,ZHANG Wenlin.Current situation of research of plate heat exchanger and development of application[J].Pharmaceutical & Engineering Design,2012,33(3):58-61.
- [8] CIOFALO M,DI PIAZZA I,STASIEK J A. Investigation of flow and heat transfer in corrugated-undulated plate heat exchangers[J].Heat and Mass Transfer,2000,36(5):449-462.

- [9] FOCK W W. The effect of the corrugation angle on the thermohydraulic performance of plate heat exchangers [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1985, 28(8): 1469-1479.
- [10] OKADA K. Design and heat transfer characteristic of new plate heat exchanger[J]. Heat Transfer -Japanese Research, 1972, 1(1): 90-95.
- [11] BOND M P. Plate heat exchanger for effective heat transfer[J]. The Chemical Engineer, 1981, 88: 162-169.
- [12] 任改霞, 赵锋. 板式换热器在电厂中的应用研究[J]. 山西建筑, 2014, 40(2): 136-137.
REN Gaixia, ZHAO Feng. The application research on plate heat exchanger in power plant[J]. Shanxi Architecture, 2014, 40(2): 136-137.
- [13] 盛晓文. 间接连接热水网路的供热调节[J]. 煤气与热力, 1990, 10(3): 55-60.
SHENG Xiaowen. Hot water heating indirectly connected network adjustment[J]. Gas & Heat, 1990, 10(3): 55-60.
- [14] 陈阳, 邹平华, 马最良, 等. 板式换热器在供热系统中应用的若干问题[J]. 区域供热, 1992(1): 47-53.
CHEN Yang, ZOU Pinghua, MA Zuiliang, et al. Problems plate heat exchanger in the heating system application[J]. District Heating, 1992(1): 47-53.
- [15] 张金萍, 张强. 板式换热器及其在供热工程中的应用分析[J]. 甘肃科技, 2004, 20(11): 114-118.
ZHANG Jinping, ZHANG Qiang. Plate heat exchanger and its application in the analysis of the heating project[J]. Gansu Science and Technology, 2004, 20(11): 114-118.
- [16] 李德英. 供热工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [17] 冉春雨, 崔明辉, 王春清. 供热工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [18] 贺平, 孙刚. 供热工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [19] 崔明辉, 赵立川. 间接连接热水供暖系统集中供热调节分析[J]. 河北科技大学学报, 2010, 31(6): 584-587.
CUI Minghui, ZHAO Lichuan. Analysis of concentrated heating regulation for indirect connection hot water heating system[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2010, 31(6): 584-587.
- [20] 郑瑞芸, 姜永成, 方修睦. 板式换热器在变流量工况下的相对传热系数分析[J]. 暖通空调, 2010, 40(10): 85-88.
ZHENG Ruiyun, JIANG Yongcheng, FANG Xiumu. Analysis of relative heat transfer coefficient of plate heat exchangers under variable flow conditions[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40(10): 85-88.

《河北科技大学学报》《河北工业科技》双双荣获 “中国高校优秀科技期刊”

在中国高校科技期刊研究会组织的 2016 年度中国高校杰出·百佳·优秀科技期刊评选活动中,《河北科技大学学报》《河北工业科技》双双荣获“中国高校优秀科技期刊”称号。

本次活动共评选出中国高校杰出科技期刊 20 种、中国高校百佳科技期刊 104 种、中国高校优秀科技期刊 254 种、中国高校编辑出版质量优秀科技期刊 69 种。

新闻链接详见:<http://www.cujs.com/detail.asp?id=2534>

(河北科技大学学报编辑部)