

文章编号: 1671-6612 (2023) 04-562-06

冷却塔供冷系统设计方法探讨

罗 于

(成都市建筑设计研究院有限公司 成都 610095)

【摘 要】 介绍了冷却塔供冷的原理, 提出一种冷却塔供冷的设计方法, 通过对各设计参数进行分析, 说明设计方法。介绍了成都市第二人民医院龙潭医院项目用该方法进行冷却塔供冷系统设计的应用, 总结了冷却塔供冷系统的设计方法和步骤。

【关键词】 冷却塔供冷; 设计方法; 设计参数分析; 自力式压差控制阀; 冷却塔冷却特性

中图分类号 TU831 文献标识码 A

Discussion on Design Method of Cooling System by Cooling Tower

Luo Yu

(Chengdu Architectural Design & Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610095)

【Abstract】 Presents the principle of cooling tower cooling, puts forward a design method of cooling tower cooling, through the analysis of the design parameters, explains the design method. Presents the application of this method in the design of cooling tower cooling system in Longtan Hospital project of Chengdu Second People's Hospital, summarizes the design method and procedure of cooling tower cooling system.

【Keywords】 tower cooling; design method; design parameter analysis; self-operated differential pressure control valve; cooling characteristics of cooling tower

0 引言

公共建筑的內区在冬季也有供冷需求, 可以利用冷却塔供冷。《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 第 8.6.1 条和《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015 第 4.2.20 条也提到对冬季或过渡季有供冷需求的建筑, 可以利用冷却塔供冷。

目前, 关于冷却塔供冷设计, 设计手册没有给出明确的设计方法。笔者认为文献[1]是关于冷却塔供冷系统设计较好的参考资料。笔者在进行冷却塔供冷系统设计时, 参考文献[1], 结合当前空调水系统的特点, 提出一种冷却塔供冷系统的设计方法。本文将通过对冷却塔供冷系统各设计参数进行分析, 说明设计方法, 并以成都市第二人民医院龙潭医院项目为例, 介绍该项目的冷却塔供冷系统设计。

计。

1 冷却塔供冷的原理

冷却塔有开式和闭式, 冷却塔供冷系统有间接式和直接式。本文探讨的冷却塔供冷系统是在公共建筑內区或商业建筑中, 采用分区两管制或四管制空调水系统, 采用风机盘管加新风的末端系统, 有夏季制冷的开式冷却塔可利用, 在常规空调水系统基础上增设板换和一、二次侧水泵, 当室外气象参数达到某些特定条件时, 关闭制冷机组, 将冷却塔制备的冷却水通过板换间接向空调系统供冷的系统。冷却塔供冷的原理图如图 1 所示。

图 1 中, 冷却塔供冷的冷却塔在夏季运行的冷却塔中选择。若流量和扬程合适, 一、二次侧水泵可分别利用夏季制冷的冷却水泵和冷水泵。

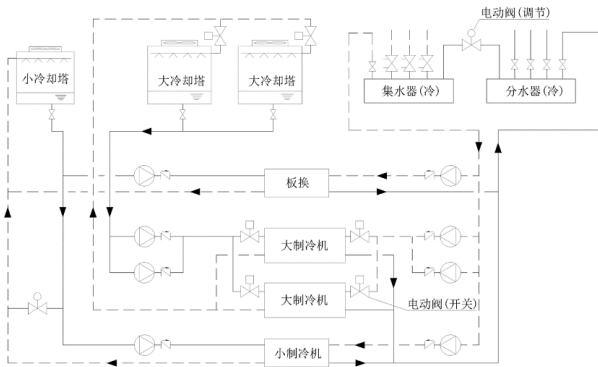


图 1 冷却塔供冷原理图

Fig.1 Cooling schematic diagram of cooling tower

2 冷却塔供冷系统设计方法

冷却塔供冷系统设计需要确定从夏季往冬季过渡时，刚好可以利用冷却塔供冷的各种参数，包括：室外气象参数（室外干、湿球温度）、室内设计参数、板换一、二次侧水流量及供水温度、供回水温差、冷却塔选择、冷却塔流量比，以及设备选型（板换、一、二次侧循环水泵）。此外，还可与当地典型气象年逐时参数^[2]进行比较，得出冷却塔供冷系统大致的运行时长，进行技术经济分析，提出系统运行的控制策略。

为了便于表述，把上述刚好可以利用冷却塔供冷的工况称为冷却塔供冷设计工况，下面将对冷却塔供冷系统设计工况的各种参数进行分析，说明设计方法。

2.1 室内设计参数分析

冷却塔供冷设计工况时，一般外区已开始供热，内区房间的室内设计温度建议高于外区房间 2℃ 或以上，在内外区气流混合时，产生混合得益^[3]，内区房间室内设计温度可取 22~25℃。

2.2 二次侧水流量的分析与确定

二次侧水流量，即室内冷水流量，当内区房间单独设置水环路，如部分分区两管制系统，若水力平衡措施为每个风机盘管水环路设置自力式压差控制阀，如图 2 所示，则冷却塔供冷设计工况时二次侧水流量的最大值为夏季内区设计工况各风机盘管环路水流量之和。因为对于设置自力式压差控制阀的风机盘管环路，环路压差恒定，一般夏季设计工况流量为该环路最大流量。

对于内区房间单独设置水环路，水力平衡措施不采用自力式压差控制阀，如采用静态平衡阀的情

况，或者内区房间没有单独设置水环路，如部分四管制系统，内、外区房间没有分别设置水环路的情况，冷却塔供冷设计工况时二次侧水流量可以超过这些区域夏季设计工况的水流量之和，在确定二次侧水流量时，为便于进行风机盘管换热量校核，需要将内区夏季设计工况水流量之和作为初始值，调整时整体等比例增大或减小流量（即每个风机盘管的水流量在夏季设计工况水流量的基础上增大或减小相同的比例）。

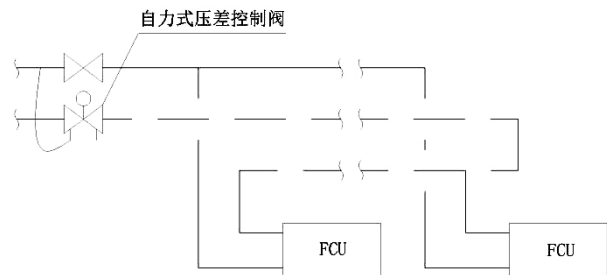


图 2 自力式压差控制阀设置示意图

Fig.2 Self-actuated differential pressure control valve setup diagram

不论水环路是哪种情况，设计时先计算出这些区域的夏季设计工况风机盘管水流量之和，将此流量作为设计工况二次侧水流量的初始值，调整时整体等比例调整水流量，这是本设计方法的重要一点。在调整水流量时，对于设置自力式压差控制阀的情况，当内区独立设置水环路时，水流量只能减小；当内区没有独立设置水环路时，流量增大的比例应使每个风机盘管环路的流量不超过该环路夏季设计工况流量；对于只采用静态平衡阀的情况，流量调整时没有上述限制。

2.3 房间负荷分析、风机盘管换热量校核、二次侧供水温度及供回水温差的确定

接着对房间进行负荷分析，结合风机盘管换热量校核，初步确定二次侧供水温度和供回水温差，此时，风机盘管干工况运行^[1]，新风承担部分室内显热负荷。

先设定室外新风温度，对房间夏季设计工况和冷却塔供冷设计工况的空调负荷进行对比分析，得到各房间冷却塔供冷设计工况风机盘管承担的室内显热负荷，与夏季设计工况风机盘管承担的全热负荷的比值（比值 1）。其中，冷却塔供冷设计工况风机盘管承担的室内显热负荷可按式（1）确定：

$$Q_f = \alpha Q_n - Q_x = \alpha Q_n - 0.337 L_x (t_n - t_x) \quad (1)$$

式中, Q_f 为冷却塔供冷设计工况风机盘管承担的室内显热冷负荷, W; α 为保证率, 根据设计标准和房间的重要性, 可取 1.0~0.8; Q_n 为供冷房间冬季室内显热冷负荷, W; Q_x 为冬季新风负担供冷房间的显热冷负荷, W; L_x 为冬季房间新风量, m^3/h ; t_n 为冬季内区供冷房间设计温度, $^{\circ}C$; t_x 为冬季室外新风温度, $^{\circ}C$ 。

风机盘管的换热量校核可由设备厂家提供夏季空调设计供回水温度时的换热量(若考虑风机盘管结垢的影响, 水流量不变, 供水温度不变, 供回水温差需乘以一定的富裕系数, 一般可取 1.2), 以及在此换热量对应的水流量时(两种工况的水流量相等), 各种供水温度的冬季换热量, 计算出各种供水温度时冬季换热量与夏季换热量的比值(比值 2)。可把满足比值 2 的最小值均大于等于比值 1 的最大值的最高供水温度初步确定为冷却塔供冷设计工况的二次侧供水温度。

负荷分析时, 根据风机盘管需要承担的室内总显热冷负荷、二次侧水流量, 按式 (2) 计算二次侧供回水温差:

$$t_{L2} - t_{L1} = \frac{0.86Q}{G_L} \quad (2)$$

式中, t_{L1} , t_{L2} 分别为二次侧供、回水温度, $^{\circ}C$; Q 为风机盘管需要承担的室内总显热冷负荷, kW; G_L 为冷却塔供冷时, 二次侧水流量, m^3/h 。

供回水温差不宜 $< 2^{\circ}C$, 若温差 $< 2^{\circ}C$, 可通过降低冬季室内温度、提高室外新风温度、整体等比例减小二次侧水流量的方式进行调整。当提高冬季室内温度、降低室外新风温度、整体等比例增大二次侧水流量时, 可提高冷却塔供冷设计工况的二次侧供水温度。若整体等比例增大或减小二次侧流量, 在进行风机盘管换热量校核时, 冬季换热量对应的水流量也应在夏季设计工况换热量对应的水流量基础上增大或减小, 增大或减小的比例与二次侧水流量增大或减小的比例相同。

下面按夏季设计工况 $7/12^{\circ}C$, 系统二次侧水流量等于夏季设计工况水流量之和, 设定室外新风温度 $10^{\circ}C$, 直接送入室内的条件下, 举例说明这一步工作。典型内区房间室内设计参数详表 1, 工程地点按四川省成都市, 典型内区房间负荷对比分析详表 2, 风机盘管换热量校核和对比分析详表 3。

表 1 典型内区房间室内设计参数

Table 1 Interior design parameters of typical inner room

典型房间名称	夏季		冷却塔供冷设计工况		新风量/ $m^3/h \cdot p(h^{-1})$
	干球温度/ $^{\circ}C$	相对湿度/%	干球温度/ $^{\circ}C$	相对湿度/%	
办公	25	55	22	40	30
诊室	25	55	22	40	(3)
候诊	25	55	22	40	20
商铺	25	55	22	40	20

注: 括号内新风量为换气次数。

表 2 典型内区房间负荷对比分析

Table 2 Comparative analysis of typical inner room load

	办公	诊室	候诊	商铺
人员密度/(人/ m^2)	0.2	0.3	0.7	0.3
设备+灯光/(W/ m^2)	50	50	30	60
夏季风机盘管承担的全热冷负荷/(W/ m^2)	76.8	90.2	156.7	114.3
冬季室内显热冷负荷/(W/ m^2)	65.8	73.7	86.7	84.3
新风带走的室内显热冷负荷/(W/ m^2)	24.2	36.4	56.6	24.2
冬季需要风机盘管承担的室内显热冷负荷/(W/ m^2)	41.6	37.3	30.1	60.1
风机盘管承担冬季显热与夏季全热负荷比值	54%	41%	19%	53%

注: 诊室净高按 3m。

表 3 某品牌风机盘管换热量校核表 (3 排管)

Table 3 Fan coil heat transfer check table of a brand (3 row pipe)

盘管型号	水流量 / (l/s)	进风干/湿球 25℃/18℃			进风干/湿球 22℃/14℃				
		进出水温度 7/13℃		进水温度 9℃		进水温度 10℃		进水温度 11℃	
		全热/kW	全热/kW	②与① 之比	全热/kW	③与① 之比	全热/kW	④与① 之比	
		①	②		③		④		
02-3S(H)	0.055	1.47	1.03	70%	0.95	65%	0.87	59%	
03-3S(H)	0.096	2.52	1.64	65%	1.52	60%	1.40	56%	
04-3S(H)	0.117	2.99	2.02	68%	1.87	63%	1.73	58%	
05-3S(H)	0.144	3.61	2.40	66%	2.22	61%	2.04	57%	
06-3S(H)	0.182	4.45	2.91	65%	2.69	60%	2.47	56%	
07-3S(H)	0.201	4.99	3.29	66%	3.05	61%	2.80	56%	
08-3S(H)	0.237	6.08	3.90	64%	3.61	59%	3.32	55%	
10-3S(H)	0.245	6.21	4.29	69%	3.97	64%	3.66	59%	

注：夏季和冷却塔供冷都考虑了盘管换热量富裕系数 1.2，换热量均为风机盘管高档风量下。

在表 3 中，冷却塔供冷时各进水温度均高于室内露点温度（成都冬季大气压，干/湿球温度 22℃/14℃即 22℃/41%，室内露点温度 8.3℃），风机盘管换热量中全热即显热，此时风机盘管为干工况运行。对比表 3 与表 2，若工程中选用上述盘管型号，冷却塔供冷设计工况二次侧水流量等于夏季设计工况各环路水流量之和，在表 3 中的各种供水温度下，各型号风机盘管换热量与夏季设计工况换热量比值（比值 2）的最小值，均大于表 2 中需风机盘管承担的冬季室内显热与夏季设计工况全热负荷比值（比值 1）的最大值，即风机盘管的换热能力能满足室内负荷要求，若计算得出的二次侧供回水温差≥2℃，则可选择最高水温 11℃作为冷却塔供冷设计工况二次侧供水温度。

2.4 一次侧供水温度、供回水温差、冷却塔流量比、室外湿球温度的确定

冷却塔流量比为冷却塔供冷设计工况的水流量与冷却塔额定流量之比，冷却塔额定流量指冷却塔在湿球温度 28℃，进出水温度 37/32℃时的处理水流量。

根据二次侧供水温度，考虑 1~2℃板换换热温

差，可确定一次侧供水温度，如上例中二次侧供水温度 11℃，考虑板换换热温差 1℃，冷却塔供冷设计工况一次侧供水温度 10℃。由冷却塔供冷设计工况需要风机盘管承担的显热量，设定供回水温差，可得一次侧水流量。然后选择冷却塔，根据冷却塔流量比、供回水温差、冷却塔出水温度，确定冷却塔供冷设计工况的室外湿球温度。确定室外湿球温度可参考文献[1]附录 F 中，由清华大学建筑技术科学系提供的冷却塔冷却特性模拟计算数据表。该表针对开式冷却塔，给出了在不同冷却塔流量比下，不同的冷却塔出水温度和供回水温差需要的室外湿球温度。表 4 为从中截取的部分数据。可调整供回水温差，选出最高的室外湿球温度，以延长冷却塔供冷时间。确定室外湿球温度后，需要交由冷却塔厂家进行校核，该湿球温度下，冷却塔实际的处理水流量应大于等于计算确定的一次侧水流量。

在选择冷却塔时，冷却塔流量比不应小于 30%，流量比过小会影响冷却塔布水均匀性。在确定冷却塔供回水温差时，一次侧供回水温差不宜小于 2℃。

表 4 冷却塔冷却特性模拟计算数据表 (部分数据)

Table 4 Cooling tower cooling characteristics simulation calculation data table (partial data)

低温冷却水供水温度 t/℃	供回水温差 Δt/℃	流量比/%							
		120	100	85	70	60	50	40	30
		湿球温度/℃							
8	2	1.15	2.37	3.27	4.12	4.67	5.17	5.56	5.88

续表 4 冷却塔冷却特性模拟计算数据表 (部分数据)

低温冷却水供水温度 $t/^\circ\text{C}$	供回水温差 $\Delta t/^\circ\text{C}$	流量比/%							
		120	100	85	70	60	50	40	30
		湿球温度/ $^\circ\text{C}$							
9	2	2.37	3.57	4.41	5.27	5.74	6.20	6.60	6.91
10	2	3.59	4.77	5.57	6.37	6.87	7.27	7.65	7.92
11	2	4.79	5.87	6.77	7.47	7.87	8.32	8.69	8.94
8	3	-1.55	0.47	1.87	3.17	3.94	4.67	5.31	5.80
9	3	-0.25	1.77	3.07	4.37	5.07	5.87	6.38	6.83
10	3	1.16	3.02	4.37	5.47	6.27	6.87	7.45	7.86
11	3	2.51	4.27	5.47	6.57	7.37	7.97	8.52	8.90
8	4	-4.73	-1.63	0.37	2.17	3.27	4.27	5.08	5.72
9	4	-3.45	-0.23	1.67	3.37	4.47	5.37	6.18	6.76
10	4	-1.43	1.17	3.07	4.67	5.67	6.57	7.26	7.81
11	4	0.00	2.57	4.27	5.87	6.77	7.67	8.34	8.85
8	5	-7.52	-4.03	-1.13	1.17	2.57	3.77	4.87	5.65
9	5	-5.97	-2.51	0.27	2.57	3.87	4.97	5.98	6.70
10	5	-4.65	-0.73	1.67	3.77	5.07	6.17	7.09	7.75
11	5	-3.11	0.76	3.07	5.07	6.27	7.33	8.20	8.80

2.5 板式换热器、一、二次侧循环水泵选型

板式换热器可根据换热量、一、二次侧的进出口水温,以及需要控制的水阻力进行选择。一、二次侧循环水泵则分别根据一、二次侧水流量、水阻力选择。根据前面确定的冷却塔供冷设计工况室外湿球温度,结合当地典型气象年逐时参数^[2]可统计出一年中利用冷却塔供冷的大致时间,此时,可以对前面的部分设定参数进行调整后按上述方法确定其他参数,也可以结合技术经济性比较,选择最优的冷却塔供冷设计工况参数。至此,冷却塔供冷设计工况的所有参数都已确定。

2.6 控制策略

冷却塔供冷设计工况的所有参数确定后,还应提出系统运行的控制策略,这往往容易被设计人员忽略。

在考虑系统控制策略时,系统二次侧的控制可采用根据末端压差,对二次侧水泵进行变频和台数控制的方式。系统一次侧的控制可结合一次侧水泵变频和台数控制,冷却塔风机的变频控制,若有多台冷却塔,需要考虑冷却塔的台数控制,以及对二次侧供水温度的控制。一次侧水泵的变频和台数控制应满足冷却塔均匀布水的要求。有冻结危险的地

区还需要采取防冻措施。

3 成都市第二人民医院龙潭医院项目冷却塔供冷系统设计

3.1 项目概况

成都市第二人民医院龙潭医院项目位于四川省成都市,属夏热冬冷地区,总建筑面积 17.7 万 m^2 ,地下 3 层,地上裙房 5 层,裙房以上包括 3 栋塔楼,分别是 2 栋 19 层住院楼,1 栋 12 层科研楼,建筑高度 78m,是一所科室较为齐全的综合医院。

夏季舒适性集中空调设有 2 套独立的空调系统,1 套温湿分控系统,采用高温水 (14/19 $^\circ\text{C}$),另一套为常规空调系统,采用常温水 (7/12 $^\circ\text{C}$)。高温水系统选用 3 台螺杆式冷水机组,配置 3 台额定流量 303 m^3/h 的开式横流冷却塔,常温水系统选用 2 台离心式冷水机组和 1 台螺杆式冷水机组,配置 2 台额定流量 739 m^3/h 和 1 台额定流量 244 m^3/h 的开式横流冷却塔,冷却塔供回水温度均为 32/37 $^\circ\text{C}$,湿球温度 28 $^\circ\text{C}$ 。

采用冷却塔供冷的内区房间总面积 5660 m^2 ,均属于常温水空调系统,采用风机盘管加新风,内

区均独立设置新风系统，新风送至风机盘管送风管，空调水系统为局部四管制，满足同时供冷供热需求，内区房间单独设置水环路，每个风机盘管水环路上设置自力式压差控制阀。内区房间主要功能有诊室、候诊区、办公等。

3.2 冷却塔供冷系统设计

内区房间的室内设计参数如表 1 所示，夏季设计工况风机盘管承担的室内总负荷 530kW，供回水温度 7/12℃，内区环路总水流量 91m³/h。冷却塔供冷设计工况二次侧水流量等于内区环路夏季设计工况总水流量。

最终设定室外新风温度 10℃（此处省略了室外新风温度的调整过程），内区房间负荷对比分析详表 2，风机盘管按高档风量选择，考虑结垢对换热量的影响取 1.2 的富裕系数，风机盘管换热量校核详表 3，对比表 2 和表 3，确定设计工况二次侧供水温度 11℃。内区冬季总显冷负荷 413kW，总新风量 50173m³/h，新风能承担室内显热负荷 202kW，需要风机盘管承担的显冷负荷为 413-202=211kW，根据系统水流量 91m³/h，计算出设计工况二次侧水温差 2℃，即二次侧供回水温度 11/13℃。

考虑板换换热温差 1℃，则一次侧供水温度 10℃，选择夏季流量为 244m³/h 的冷却塔，设定供回水温差 2℃，一次侧水流量 91m³/h，流量比 37%，查冷却塔冷却特性模拟计算数据表^[1]，室外湿球温度为 7.8℃（采用插入法）。经冷却塔厂家校核，该冷却塔在室外湿球温度 7.8℃，冷却塔进出水温度

12/10℃时的处理流量为 94m³/h，满足要求。选择一、二次侧水泵和板换。

根据冷却塔供冷设计工况的室外干、湿球温度 10℃、7.8℃，查成都典型气象年逐时参数^[2]，统计出冬季冷却塔供冷运行时间内（8:00~18:00），室外干球温度≤10℃，湿球温度≤7.8℃的总时长。经统计，从 12 月 1 日到次年 3 月 11 日，时间段从 8:00~18:00，空调运行总时长 1010 小时，有 701 小时可利用冷却塔供冷，占总时长的 69%。

系统运行控制策略为当室外干、湿球温度降至 10℃、7.8℃时，可利用冷却塔对内区房间供冷，此时冷却塔进出水温度 12/10℃，二次侧供回水温度 11/13℃。二次侧水泵根据末端压差变频控制，当达到最低频率后，开启空调供回水干管之间的旁通阀。一次侧水泵和冷却塔风机在二次侧水泵变频至最低频率之前定频运行，当二次侧水泵变频至最低频率后，一次侧水泵和冷却塔风机变频运行，一次侧水泵变频范围应满足冷却塔均匀布水的要求。对二次侧供水温度进行最低值设定（初次可设定为 7℃），当二次侧供水温度低于设定值时，开启一次侧供回水干管之间的电动二通调节阀，维持二次侧供水温度为最低值，冷却塔开始运行的干、湿球温度、设定的二次侧供水温度最低值可根据实际运行情况调整。

4 结论

综合上述参数分析和案例，总结冷却塔供冷设计方法和步骤如下（设计步骤的流程图见图 3）：

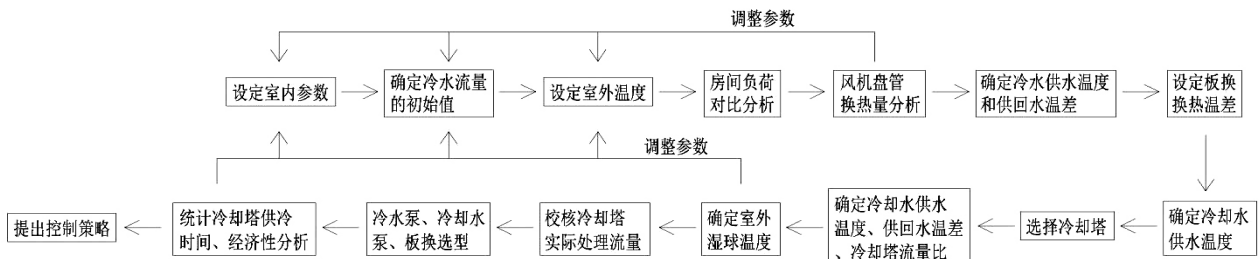


图 3 冷却塔供冷设计步骤流程图

Fig.3 Cooling tower cooling design procedure flow chart

- (1) 设定室内设计参数。
- (2) 设定二次侧水流量的初始值等于该区域夏季设计工况风机盘管的水流量之和。
- (3) 设定室外新风温度，进行房间负荷对比分析、风机盘管换热量校核，调整设定参数（二次侧水流量、室外新风温度、室内设计参数），确定二次侧

- 供水温度和供回水温差，供回水温差不宜小于 2℃。
- (4) 设定板换换热温差，确定一次侧供水温度，选择冷却塔，确定一次侧水流量、供回水温差、冷却塔流量比、室外湿球温度，校核冷却塔实际处理流量。一次侧供回水温差不宜小于 2℃。

（下转第 612 页）