广西制冷学会、广西勘察设计协会团体标准

T/×××××
T/×××××

高效制冷机房建设技术规程

Technical specification for construction of high efficiency chiller plant

（征求意见稿）

2024-××-××发布　　2025-××-××实施

广 西 制 冷 学 会
广西勘察设计协会　　发布

广西制冷学会、广西勘察设计协会团体标准

高效制冷机房建设技术规程

Technical specification for construction of high efficiency chiller plant

T/×××××

T/×××××

主编单位：广西桂物金岸制冷空调技术有限责任公司

华蓝设计（集团）有限公司

广西机电职业技术学院

批准单位：广西制冷学会、广西勘察设计协会

施行日期：2025 年 1 月 1 日

2025 南 宁

前　言

根据广西制冷学会与广西勘察设计协会联合立项批准，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考区内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本技术规程。

本规程共分 8 章，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、建设标准、设计、施工、调适与验收、运行与维护。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由广西制冷学会与广西勘察设计协会联合归口管理，由华蓝设计（集团）有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：南宁市华东路 39 号华蓝设计大厦 11 楼，邮政编码：530011），以供修订时参考。

主 编 单 位：广西桂物金岸制冷空调技术有限责任公司

华蓝设计（集团）有限公司

广西机电职业技术学院

参 编 单 位：南宁市希夷制冷设备有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目　次

1　总则 …… 1

2　术语 …… 2

3　基本规定 …… 4

4　建设标准 …… 6

4.1　设计评价 …… 6

4.2　运行评价 …… 6

5　设计 …… 9

5.1　一般规定 …… 9

5.2　负荷计算 …… 10

5.3　设备选型 …… 10

5.4　空调水系统设计 …… 12

5.5　监测与控制系统设计 …… 15

6　施工 …… 21

6.1　采购 …… 21

6.2　水系统安装 …… 21

6.3　监测与控制系统安装 …… 23

6.4　装配式施工 …… 23

6.5　BIM 应用 …… 24

7　调适与验收 …… 26

7.1　调适流程 …… 26

7.2　性能调适 …… 26

7.3　运行调适 …… 28

7.4　效果验证 …… 28

7.5　验收 …… 29

8　运行与维护 …… 31

8.1　运行 …… 31

8.2　维护 …… 31

用词说明 …… 33
引用标准名录 …… 34
附：条文说明 …… 35

Contents

1 General provisions ····· 1

2 Terms ····· 2

3 Basic requirements ····· 4

4 Construction standards ····· 6

4. 1 Design evaluation ····· 6

4. 2 Operational evaluation ····· 6

5 Design ····· 9

5. 1 General requirements ····· 9

5. 2 Load calculation ····· 10

5. 3 Selection of equipment ····· 10

5. 4 Airconditioning water system design ····· 12

5. 5 Monitoring and control system design ····· 15

6 Construction ····· 21

6. 1 Purchase ····· 21

6. 2 Water system installation ····· 21

6. 3 Monitoring and control system installation ····· 23

6. 4 Fabricated construction ····· 23

6. 5 BIM application ····· 24

7 Commissioning and Acceptance ····· 26

7. 1 Commissioning process ····· 26

7. 2 Performance commissioning ····· 26

7. 3 Operation commissioning ····· 28

7. 4 Effct testing ····· 28

7. 5 Acceptance ····· 29

8 Operation and maitanence ····· 31

8. 1 Operation ····· 31

8. 2 Maitanence ····· 31

Explanation of wording ····· 33
List of quoted standards ····· 34
Addition：Explanation of provisions ····· 35

1 总　则

1.0.1 为提高广西地区集中空调制冷机房系统能效比，促进制冷机房的发展，节约资源、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用电动机驱动的蒸气压缩制冷循环的水冷式冷水机组的新建、扩建和改建的非蓄冷型高效制冷机房评价、施工、调适、验收、运行和维护。

1.0.3 高效制冷机房应根据项目所在地的气候条件和建筑功能，在满足供冷需求的前提下，通过性能化设计、采用高能效设备与系统、精细施工、系统调适与监测以及节能优化运行等措施，提升系统运行能效。

1.0.4 空调末端设备的选型参数和控制策略应与高效制冷机房系统设计方案相匹配。

1.0.5 高效制冷机房宜采用 EPC 模式，项目参建各方如设计、施工、监理等应具有相应的资质。

1.0.6 高效制冷机房的设计、施工、调适、运行和维护除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术　语

2.0.1 制冷机房系统　chiller plant system

由冷水机组、冷却塔、冷却水泵和冷水泵为主要设备组成的集中空调源侧供冷系统。

2.0.2 高效制冷机房系统　high efficiency chiller plant system

全年能效比符合一定标准的制冷机房系统，简称高效机房。

2.0.3 高效机房性能化设计　performance oriented design for high efficiency chiller plant system

以制冷机房系统全年能效比为性能目标，对制冷机房系统设计方案进行逐步优化，最终达到符合性能目标要求的设计过程。

2.0.4 制冷机房系统能效比（*EER*）　energy efficiency ratio of chiller plant system

制冷机房系统的制冷量与冷水机组、冷却塔、冷却水泵和冷水泵总用电量的比值。

2.0.5 附属设备耗电比（λ）　power consumption ratio of auxiliary equipment

冷却塔、冷却水泵和冷水泵用电量总和与制冷机房系统总用电量的比值。

2.0.6 制冷机房系统全年能效比（EER_a）　annual energy efficiency ratio of chiller plant system

制冷机房系统全年累计供冷量与冷水机组、冷却塔、冷却水泵和冷水泵全年累计用电量的比值。

2.0.7 附属设备全年耗电比（λ_a）　annual power consumption ratio of auxiliary equipment

制冷机房系统附属设备全年累计用电量与制冷机房系统全年累计用电量的比值。

2.0.8 冷水机组全年性能系数（COP_a）　annual coefficient of performance of chiller

冷水机组全年累计制冷量与其累计用电量的比值。

2.0.9 动态负荷计算　dynamic load calculation

通过建立建筑热过程数学模型，与标准年逐时气象参数一一对应计算建筑全年逐时负荷值的方法。

2. 0. 10 冷却塔免费供冷 free cooling of cooling tower

在室外湿球温度较低的工况下，利用冷却塔的冷却水向用冷区域提供冷量的供冷方式。

2. 0. 11 逼近度 cooling approach

冷却塔出水温度与室外湿球温度的差值。

2. 0. 12 制冷机房调适 commissioning chiller plant

通过对制冷机房系统的检查、测试、调整、验证、优化等工作，保证制冷机房系统满足设计和使用要求，达到全工况高效运行的程序和方法。

3 基 本 规 定

3.0.1 高效机房能效等级应根据制冷机房系统全年能效比的大小确定，依次分为三级、二级、一级、领跑级 4 个等级。制冷机房系统全年能效比应不小于表 3.0.1 中能效等级所对应的指标规定值。

表 3.0.1 高效机房能效等级指标

气候分区	湿球温度子区	代表性市县	冷水机组总设计制冷量（kW）	制冷机房系统全年能效比 EER_a [（kW·h）/（kW·h）]			
				三级	二级	一级	领跑级
夏热冬暖地区	I区	南宁、北海、钦州、百色、崇左、桂平、灵山、涠洲岛	＜1758	3.8	4.3	4.5	4.7
			≥1758	4.3	4.7	5.0	5.2
	II区	柳州、梧州、河池、都安、那坡	＜1758	4.0	4.5	4.7	5.0
			≥1758	4.4	4.9	5.2	5.6
夏热冬冷地区	I区	桂林、蒙山、融安	＜1758	3.9	4.3	4.5	4.8
			≥1758	4.3	4.7	5.0	5.3

注：气候相近市县可参照代表性市县分区。

3.0.2 高效机房设计性能指标应包括制冷机房系统全年能效比、附属设备全年耗电比和冷水机组全年性能系数。

3.0.3 高效机房设计宜采用以制冷机房系统全年能效比为约束目标的性能化设计方法。

3.0.4 高效机房设计前期，应依据设计目标和要求编制高效机房设计方案。

3.0.5 高效机房设计应根据建筑功能设置、负荷特点和建设需求，以制冷机房系统全年能效比为目标，可利用仿真模拟工具，通过选择高效设备以及优化设备配置、供冷参数、空调水系统设计、控制策略等手段，实现预定的高效机房能效设计目标。

3.0.6 高效机房宜根据建筑物负荷特性、运行时间、当地气候条件等因素，合理设置冷却塔免费供冷以及冷凝热回收等节能措施。

3.0.7 采用冷却塔免费供冷的高效机房，应将冷却塔的供冷量计入制冷机房的总供冷量。

3.0.8 设备布置、管网综合等的深化设计及施工安装宜采用 BIM 技术，宜采用高效绿色节能的数字化加工制作及模块化、装配式施工等建造技术。

3.0.9 高效机房应进行整体调适。

3.0.10 调适与验收应建立调适团队并明确各方职责，调适团队宜包括建设单位、调适顾问、机电安装专业承包单位、设计单位、监理单位、机电设备供应商和运行管理单位等。

3.0.11 高效机房验收合格后应向运行维护单位正式交付，并应符合下列规定：

1 交付资料包括高效机房设计、施工、调适、验收过程形成的文件和成果；

2 高效机房交付时，应有配套运行管理措施，必要时对运行管理人员进行培训。

3.0.12 高效机房的设计、施工、调适、竣工、检修及运行管理记录等技术资料应齐全，并应电子化归档。

3.0.13 运行期间应定期对主要设备的实际运行能效以及控制策略和关键控制参数设置的合理性进行分析评价。

4 建 设 标 准

4.1 设 计 评 价

4.1.1 高效机房性能化设计完成后应进行设计方案评价。

4.1.2 设计方案评价指标应包括制冷机房系统全年能效比设计值和动态投资回收期。

4.1.3 设计方案应符合下列规定：

1 制冷机房系统全年能效比设计值不应小于目标值；

2 动态投资回收期不应大于动态投资回收期限值。

4.1.4 系统能效评价宜进行模型和模拟结果合理性检查。

4.1.5 确定动态投资回收期宜按下列步骤进行：

1 按下式计算机房全生命周期成本：

$$LCC = FC + \sum_{j=1}^{N} \frac{UC_j + MC_j}{(1+d)^j} \tag{4.1.5}$$

式中：LCC—— 指定时间段内制冷机房总成本现值；

FC—— 设备初投资；

UC_j——j 年的运行费用；

MC_j——j 年的维保费用；

d——折现率。

2 计算常规设计方案的全生命周期成本；

3 计算高效机房设计方案的全生命周期成本；

4 计算高效机房收益；

5 计算动态投资回收期。

4.2 运 行 评 价

4.2.1 高效机房应定期进行运行效果评价，评价应贯穿系统运行全过程，且应符合下列规定：

1 评价应以 1 年为周期，以制冷机房系统全年能效比作为评价依据；

2 制冷机房系统全年能效比计算应采用能效监测系统记录的全年运行数据；

3 能效监测系统记录的数据应真实、准确、齐全，不应外推和修正；

4 根据评价结果，应按本规程第 3.0.1 条进行系统能效等级认定。

4.2.2 高效机房评价应采用资料核查、现场检查和现场测试验证相结合的方法，并应按下列流程进行：

1 资料核查；

2 现场检查；

3 系统性能和室内效果测试；

4 能效监测系统准确性验证；

5 性能评价。

4.2.3 资料核查应包括下列内容：

1 设计方案、设计图纸等设计资料；

2 冷水机组、水泵、冷却塔等主要设备产品样本、检测报告等设备性能资料；

3 设备进场、安装、调适记录等施工调适资料；

4 运行监测记录和能耗数据等运行资料。

4.2.4 现场检查应符合下列规定：

1 设备性能和系统设置应符合设计要求；

2 设备和系统安装质量应符合国家相关验收规范要求；

3 能效监测系统设置和功能应符合本规程第 5.5 节的有关规定；

4 主要设备和自控系统应运行正常。

4.2.5 高效机房性能测试应至少包括下列内容：

1 制冷机房总用电量；

2 冷水机组、冷水泵、冷却水泵和冷却塔用电量；

3 冷水系统总流量以及供回水温度；

4 冷水各并联支路的回水温度；

5 冷却水系统总流量及供回水温度；

6 室外空气干球温度和湿球温度。

4. 2. 6 制冷机房系统能效比测试结果和能效监测系统之间的偏差不应大于10%。

4. 2. 7 系统性能测试时，应同时对典型区域的室内温湿度进行监测，测试结果应满足设计要求。

4. 2. 8 设备系统性能测试方法应符合现行行业标准《公共建筑节能检测标准》JGJ/T 177 以及《空调冷源系统能效检测标准》T/CECS 549 的规定，测试周期不应少于 3 日。

5 设　计

5.1 一般规定

5.1.1 高效机房设计性能指标的确定应符合下列规定：

1 制冷机房系统全年能效比设计值应根据高效机房能效等级和建设方需求，并经技术经济分析确定；

2 冷水机组全年性能系数设计值应按下式计算：

$$COP_a = \frac{EER_a}{1-\lambda_a} \tag{5.1.1}$$

式中：COP_a—— 冷水机组全年性能系数；

EER_a——制冷机房系统全年能效比；

λ_a——附属设备全年耗电比。

3 附属设备全年耗电比应根据冷水机组全年性能预估值和空调水系统形式、规模以及设计参数，结合类似工程经验进行预先设定。

5.1.2 高效机房性能化设计应按下列流程进行：

1 建筑负荷计算；

2 确定设计性能指标；

3 设备选型与性能验证；

4 空调水系统设计与性能验证；

5 确定控制策略；

6 设计评价；

7 编制设计报告。

5.1.3 设计目标值验证应按冷水机组全年性能系数设计值、附属设备全年耗电比预设值以及制冷机房系统全年能效比设计值的顺序依次进行。

5.1.4 高效机房设计报告应包括下列内容：

1 项目的概况和设计目标；

2 性能化设计专项说明；

3 设备及阀部件选型参数表；

4 设备材料技术规格书；

5 投资概算及动态投资回收期。

5.2 负荷计算

5.2.1 高效机房系统设计应进行动态负荷计算，并宜对负荷占比结构、全年和典型日逐时负荷分布、负荷累积概率分布等特征进行分析。

5.2.2 对于改扩建工程，高效机房系统冷负荷宜采用实测、运行数据分析和模拟计算相结合的方法确定。

5.3 设备选型

5.3.1 制冷机房系统设备的选型应以冷水机组全年性能系数设计值为目标，根据建筑物全年空调冷负荷变化规律及不同类型冷水机组的容量范围和能效特点选择确定。

5.3.2 冷水机组选型宜按下列步骤进行：

1 准备选型资料；

2 确定冷水机组总装机容量；

3 确定冷水机组单台容量和台数；

4 初选冷水机组性能参数；

5 冷水机组全年性能系数设计值验证；

6 确定冷水机组性能参数。

5.3.3 冷水机组的总装机容量，应根据计算的峰值冷负荷确定，不应另作附加；在设计条件下，当机组的规格不能符合峰值冷负荷的要求时，所选择机组的总装机容量与峰值冷负荷的比值不应超过 1.1。

5.3.4 冷水机组台数、容量及类型确定应符合下列规定：

1 冷水机组台数及单台制冷量的选择，应符合空调负荷变化规律及部分负荷高效运行调节要求，不宜少于 2 台；当小型工程仅设置一台时，应选用调节性能及部分负荷性能优良的机组形式；

2 冷负荷变化范围较大或制冷季较长且室外空气湿球温度变化幅度较大时，宜经技术经济分析全部或部分选用变频调速型冷水机组；

3 对于冷水机组台数设置较多的大规模制冷站，可选用台数调节的定频机组；

4 冷水机组类型选择宜按表 5.3.4 中的制冷量范围，经性能价格综合比较后确定。

表 5. 3. 4　冷水机组类型选择

单机名义工况制冷量（kW）	冷水机组类型
<1758	螺杆式、离心式
≥1758	离心式

5. 3. 5 冷水机组宜适应低冷却水温度的运行工况。

5. 3. 6 冷水机组应能适应蒸发器冷水流量和冷凝器冷却水流量的变流量运行。

5. 3. 7 冷水机组宜采取降低蒸发器和冷凝器压力降的措施。

5. 3. 8 冷水机组冷凝器应设置维持管路清洁的装置。

5. 3. 9 冷却塔选型应满足冷水机组选型时确定的冷却水供水温度设定值及流量，冷却塔逼近度宜取 2℃～3℃。

5. 3. 10 冷却塔选型应符合下列规定：

1 冷却塔类型应根据安装空间、周围环境要求、当地气候特点、冷却水质要求等条件选取；

2 当湿球温度和冷却水进出水温度和冷却塔选型工况不一致时，应根据生产厂家提供的冷却塔性能表，采用插值法修正确定设计工况下的冷却塔性能参数；

3 应选用保证布水均匀性及热力性能且流量调节范围广的冷却塔；

4 宜选用电机可变频调节，且风量随电机变频变化的冷却塔，电机效率应符合现行国家标准《电动机能效限定值及能效等级》GB 18613 规定的 2 级或以上能效的要求。

5 冷却塔风机效率不应低于现行国家标准《通风机能效限定值及能效等级》GB 19761 规定的 2 级及以上的能效值。

5. 3. 11 冷却塔选型宜按下列步骤进行：

1 准备选型资料；

2 确定冷却水总处理水量；

3 确定冷却塔单台容量和台数；

4 初选冷却塔型号；

5 冷却塔热力性能验证；

6 确定冷却塔型号。

5.3.12 冷却塔免费供冷应符合下列规定：

1 冷却塔供冷可行性和合理性应根据室外气象条件、建筑负荷特点以及系统形式等因素，经技术经济性分析确定；

2 开式冷却塔供冷宜采用间接供冷系统形式。

5.3.13 水泵类型宜根据单台水泵流量、扬程范围确定。

5.3.14 水泵选型应符合下列规定：

1 宜选择节能型水泵；

2 宜选用调速泵，水泵电机宜为变频电机；

3 末端设置电动两通阀的闭式空调水系统，设置定速泵时，宜选取性能曲线为平坦型的水泵；设置调速泵时，宜选取性能曲线为陡降型的水泵，且设计工况点宜位于水泵最高效率点的右侧区域；

4 宜选取最高效率点处于性能曲线中间位置且高效运行区较广的水泵；

5 调速泵在不增大电机和变频器容量的前提下，宜选择较大的叶轮直径；

6 宜根据系统特性曲线和水泵性能曲线，确定水泵运行工况范围；

7 宜结合系统流量全年分布特征，选取高效运行区与全年分布时间最长流量范围较为一致的水泵；

8 应在设计流量下校核水泵接口尺寸，水泵进出口流速应符合振动和噪声要求。

5.4 空调水系统设计

5.4.1 空调水系统设计应在保证系统安全稳定运行的前提下采取适当降阻措施。

5.4.2 高效机房空调水系统宜采用管网流体分析软件进行设计和优化。

5.4.3 空调水系统设计流程宜按下列步骤进行：

1 准备设计资料；

2 确定水系统形式；

3 管网设计；

4 水力平衡设计；

5 水泵选型；

6 水泵全年能耗计算；

7 附属设备全年耗电比预设值验证；

8 水系统辅助设施设计。

5.4.4 冷水系统形式宜根据项目规模、建筑特点、系统作用半径、冷源和末端设备形式、数量及容量等因素确定，并应符合下列规定：

1 冷水水温和供回水温差要求一致且各区域管路压力损失相差不大的中小型工程，宜采用变流量一级泵系统；单台水泵功率较大时，经技术经济比较，在确保设备适应性、控制方案和运行管理可靠前提下，空调冷水可采用冷水机组变流量系统。

2 系统作用半径较大、设计水流阻力较高的大型工程，空调冷水宜采用变流量二级泵系统。当各环路设计水温一致且设计水流阻力接近时，二级泵宜集中设置；当各环路设计水流阻力相差较大或各系统水温或温差要求不同时，宜按区域或系统分别设置二级泵。

3 冷源设备集中且用户分散的区域供冷空调冷水系统，当二级泵的输送距离较远且各用户管路阻力相差较大，或水温、温差要求不同时，可采用多级泵系统，且二级泵等负荷侧各级泵应采用调速泵。

5.4.5 变流量一级泵系统设计应符合下列规定：

1 水泵应采用调速泵；

2 应选择允许水流量变化范围和允许流量变化率大、具有减少出水温度波动控制功能的冷水机组；

3 供回水总管之间电动旁通调节阀的设计流量应取各台冷水机组允许的最小流量中的最大值；

4 冷水机组最小流量不应影响蒸发器换热效果和运行安全性；

5 冷水机组蒸发器侧应设置流量监测装置，流量监测装置可采用电磁或超声波流量计，也可采用高精度压差传感器。

5.4.6 二级泵系统设计应符合下列规定：

1 供回水总管之间冷源侧和负荷侧分界处应设置平衡管，平衡管宜设置在制冷机房内，应在设计流量下，选择适当流速确定平衡管管径和长度；

2 冷源侧一级泵和负荷侧二级泵均应采用调速泵。

5.4.7 冷却水系统设计应符合下列规定：

1 冷却水宜变流量运行，其最大流量取设计流量，最低流量应取下列值的最大值：

1） 冷却塔最低流量；

2） 冷水机组冷却水最低流量；

3） 冷却水泵最低流量。

2 应设置合理的水力平衡措施，多台冷却塔并联运行满负荷工况下，各台冷却塔的水流量与设计流量的偏差不应大于 10%；

3 设置多台冷却塔时，应以不同冷却塔间集水盘最大液位差作为资用压头确定连通管尺寸，连通管压降应低于最大液位差；

4 应设置避免系统集气影响正常运行的技术措施。

5.4.8 冷却塔布置位置应通风良好，其摆放方向宜与当地夏季季风方向垂直，且冷却塔不宜采用矩阵布置方式。

5.4.9 水泵采用并联形式布置时应根据并联水泵总性能曲线和系统特性曲线，确定水泵台数控制切换点。

5.4.10 空调水系统管径的确定应符合下列规定：

1 在方案和初步设计阶段，输配管网宜根据经济比摩阻，初步确定管径；

2 施工图设计阶段应以满足附属设备全年耗电比预设值为目标对管径进行优化。

5.4.11 降低空调水系统输配能耗宜采用下列技术措施：

1 水力平衡优化设计；

2 加大供回水温差；

3 调整管径降低比摩阻；

4 选用高效率水泵；

5 选择低阻力设备和阀部件；

6 管路合理布置。

5.4.12 规模较大、水系统输配能耗占比较高，或冷水供水温度较低的系统，宜采用大温差设计。

5.4.13 空调水系统采用大温差设计应符合下列规定：

1 供水温度和温差值应根据系统规模、系统形式以及设备特点等因素，采用优化分析方法确定；

2 宜选用大温差专用机组，包括冷水机组、风机盘管以及组合式空调机组等设备。

5.5 监测与控制系统设计

5.5.1 高效机房监测与控制系统应符合制冷机房的功能要求、运营管理和能效评价要求，并应实现设备安全、可靠、节能运行。

5.5.2 高效机房监测与控制系统宜以系统整体能效为目标，通过选择合理的控制策略，实现系统的高效运行。

5.5.3 高效机房监测与控制系统应根据系统设置，经技术经济比较确定监控范围和内容，监控设备范围应包括冷水机组、冷却塔、冷却水泵、冷水泵、补水泵以及水处理设备、电动阀门等附属设备及部件。

5.5.4 末端设备控制系统宜采用开放的数据接口协议，应与高效机房监控系统采用统一的系统框架结构，并应反馈末端实时负荷需求。

5.5.5 高效机房监测与控制系统宜采用数字信号实现主要设备的数据通信，宜采用开放式通信协议。

5.5.6 选用变频冷水机组和变速泵的高效机房，宜在靠近谐波源处设置有源或无源滤波装置。

5.5.7 高效机房监测与控制系统应具备下列功能：

1 监测功能；

2 设备安全保护功能；

3 就地和远程控制和自动启停功能；

4 自动调节和节能优化功能；

5 能效监测与分析功能；

6 管理功能。

5.5.8 对冷水机组、冷却塔、冷水泵和冷却水泵，应根据表 5.5.8 监测所列参数：

表 5.5.8　冷水机组、冷却塔、冷水泵和冷却水泵监测参数

设备类型	监测参数
冷水机组	**1** 蒸发器进、出口温度及压力； **2** 冷凝器进、出口温度及压力； **3** 蒸发器、冷凝器的水流量； **4** 制冷剂蒸发压力及温度； **5** 制冷剂冷凝压力及温度； **6** 压缩机运行功率、电流； **7** 蒸发器和冷凝器侧的流量开关状态； **8** 冷水机组启停和故障状态； **9** 冷水机组报警状态。
冷却塔	**1** 冷却水进、出塔水温； **2** 环境干、湿球温度； **3** 集水盘液位； **4** 风机变频器的频率或档位； **5** 冷却塔风机电流、电压及功率； **6** 风机的运行状态、手/自动状态和故障报警。
冷水泵和冷却水泵	**1** 水泵的运行状态、手/自动状态和故障报警； **2** 水泵频率； **3** 水泵电流、电压及功率； **4** 水泵的进出口压力。

5.5.9　监测与控制系统应能实现下列联锁保护功能：

1　根据设备故障或水流开关信号关闭冷水机组；

2　冷水机组最低冷却水温保护；

3　冷水机组最低流量保护；

4　离心机喘振保护；

5　水泵电流过载保护；

6　当发生设备故障时，能自动切换到其他可正常运行的设备上。

5.5.10　监测与控制系统应能实现下列远程控制和自动启停功能：

1　水泵和冷却塔风机等设备的启停；

2　监测和控制设定冷却塔和冷水机组电动阀的开闭；

3　通过设备自带控制单元实现冷水机组的启停；

4　冷水机组、冷却塔、冷却水泵、冷水泵以及阀门的顺序联动启停；

5　按照时间表启停冷水机组、冷却塔、冷却水泵以及冷水泵等设备。

5.5.11　监测与控制系统应能实现下列自动调节和节能优化控制功能：

1 冷水机组、冷却塔、水泵运行台数和转速的自动调节；

2 按照累计运行时间进行被监控设备的轮换；

3 冷水供水温度自动重设；

4 冷却水供水温度自动重设；

5 冷水压差自动重设；

6 当设置免费供冷功能时，冷水机组供冷/免费供冷/部分免费供冷工况转换。

5. 5. 12 能效监测系统应能监测下列参数，并应以图表等形式展示：

1 制冷机房总用电量和总供冷量；

2 单台冷水机组用电量、冷水泵、冷却水泵和冷却塔用电量；

3 冷水系统总流量以及供回水温度；

4 冷却水系统总流量以及供回水温度；

5 单台冷水机组冷水和冷却水流量；

6 单台冷水机组冷水和冷却水供回水温度；

7 冷却塔逼近度以及补水量；

8 室外空气干球温度和湿球温度。

5. 5. 13 能效监测系统宜能计算下列性能指标的瞬时值、累计值和平均值，并应以图表形式展示：

1 制冷机房系统供冷量；

2 制冷机房系统能效比；

3 冷水机组性能系数；

4 附属设备耗电比；

5 制冷机房系统全年能效比；

6 附属设备全年耗电比；

7 冷水机组全年性能系数；

8 冷水机组热平衡偏差；

9 冷水机组、冷却塔风机、冷却水泵、冷水泵等各类设备分项能耗占比。

5. 5. 14 传感器、信号调节、数据采集和接线系统的选用和设置应考虑其对系统测量精度的影响。

5. 5. 15 制冷机房系统全年能效比的测量不确定度应符合下列规定：

1 对于测量不确定度有高要求的应用场景，测量不确定度不应大于 5.0%；

2 对于测量不确定度无高要求的应用场景，测量不确定度不应大于 10.0%。

5. 5. 16 能效监测系统数据采集应符合下列规定：

1 模数转换器（A/D）宜具有 10 位以上分辨率；

2 脉冲输出电表的模拟输入应采用最小的分辨率；

3 数据采集系统应具备多种物理接口，应具有不少于 2 个 TCP/IP，2 个 485 总线接口，并应有一定的接口扩展能力；

4 应支持 ModBusTcp、ModBusRTU、Bacnet、Opc、MQTT 等多种通信协议；

5 数据采集系统宜具备实时连续采样能力，应以最小 1min 的采样周期在所有点采集数据，且不应对控制性能产生不良影响。

5. 5. 17 能效监测系统数据传输应符合下列规定：

1 数据传输应支持实时传输、定时远传、主动推送和按要求随时发送数据等多种方式，数据上传定时周期可根据需求设置；

2 应对数据包加密处理，加密方式应安全可靠；

3 应具备断网续传功能；

4 应具备将数据分别传输给多个服务器的功能，可用于与第三方系统共享数据。

5. 5. 18 能效监测系统应具备数据存储功能，并应符合下列规定：

1 应以统一采样间隔收集和存储采样点的数据，且不应影响控制性能；

2 应以一定时间间隔在数据库中存储，且存储间隔不应少于每天一次；

3 数据库应允许应用程序在数据库运行时访问数据，数据库不需要关闭，可提供对数据读写访问，从数据库中读取数据不应中断趋势数据的连续存储；

4 数据存储均应采用数据库文件格式；

5 数据均应至少存储 3 年。

5. 5. 19 监测与控制系统应实现下列管理功能：

1 人机交互功能；

2 与设备通信功能；

3 记录、存储和分析功能；

4 与其他系统进行数据交换的功能；

5 异常数据分级报警或提示功能；

6 系统或设备的预警、报警功能。

5.5.20 监测与控制系统配置文件宜包括下列内容：

1 设计说明；

2 控制策略说明及控制逻辑图；

3 监控原理图；

4 监控点表；

5 安装大样图；

6 制冷机房监控设备平面图；

7 设备材料表；

8 接口文件。

5.5.21 控制策略应根据制冷机房系统全年能效比设计值、制冷机房系统形式、设备配置、设备特性、气候以及负荷特点制定。

5.5.22 设备自动启停控制应符合下列规定：

1 当用户编制时间表时，制冷机房设备应按时间表规定开启；当用户未编制时间表时，宜根据室外天气温度和室内典型功能区温度，设置制冷工况识别策略自动控制设备启停。

2 当冷源系统连续运行时，应能进行冷水机组、冷却塔、冷却水泵、冷水泵、阀门等设备的顺序启停和联锁控制。

3 当冷源系统间歇运行时，制冷工况的启停宜根据时间表并结合最佳启停逻辑确定。

5.5.23 冷水机组、冷却塔、水泵等设备运行台数控制应符合下列规定：

1 冷水机组台数控制宜根据冷水机组效率与负荷曲线确定，应保证冷水机组在不同负荷工况下均处于高效运行区；

2 冷却塔在保证均匀布水、不影响换热效率的情况下，宜采用多台塔降低转速的运行方式；

3 冷水泵与冷却水泵台数控制，宜在符合流量要求下，根据水泵性能曲线与管网特性曲线确保水泵在不同工况下均处于高效运行区。

5. 5. 24 冷水机组、冷却塔、冷却水泵和冷水泵等设备变频调速控制应符合下列规定：

1 冷水机组变频调速宜自带控制单元，根据冷水供水温度、负荷率等自动调节；

2 冷却塔风机宜根据冷却水供水温度设定值与实测值偏差采用变频调节；

3 冷水泵宜根据压差变频调节，压差设定值应满足用户侧最不利环路上换热盘管的制冷需求；

4 冷却水泵宜根据冷却水温差、水泵性能曲线与管网特性曲线变频调节，冷却水温差设定值宜选取设计温差。

5. 5. 25 冷水供水温度宜采用动态设定。

5. 5. 26 冷却水供水温度，宜根据室外湿球温度动态设定。

5. 5. 27 二级泵系统应设置可靠控制措施，应保证一级泵环路和二级泵环路流量平衡。

5. 5. 28 设置冷却塔免费供冷功能时，应制定保证最大限度利用免费供冷量的控制策略。

6 施　工

6.1 采　购

6.1.1 当高效机房冷源设备有特殊要求时，应在设计说明中明确技术要求，并体现在设备招标文件中。

6.1.2 冷水机组、冷却塔和水泵等设备制造商应根据设计要求提供设备变工况性能参数。

6.1.3 当冷源设备有明确定制要求时，制造商应提供定制性能符合设计要求的出厂检验或第三方检验报告等证明文件。

6.1.4 过滤器、止回阀、平衡阀等部件的制造商应提供阻力特性等参数。

6.1.5 冷却塔应选用热力性能好、刚度好、耐腐蚀、抗老化、具有阻燃性能的填料。

6.1.6 冷却塔集水盘应确保开、关机时有足够的水深及容积，并应符合现行国家标准《机械通风冷却塔工艺设计规范》GB/T 50392 的规定。

6.1.7 冷却塔的飘水率应符合下列规定：

1 单塔冷却水量小于 1000m^3/h 的开式冷却塔，飘水率不应大于 0.010%；

2 单塔冷却水量不小于 1000m^3/h 的开式冷却塔，飘水率不应大于 0.005%；

3 单塔冷却水量不大于 500m^3/h 的闭式冷却塔，飘水率不应大于 0.005%。

6.1.8 管道和保温材料应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

6.1.9 空调水系统管路宜根据现场安装条件，配置低阻型连接构件。

6.1.10 空调水系统宜根据现场安装条件，配置低阻型辅助配件。

6.2 水系统安装

6.2.1 冷水机组及其他设备安装前准备工作应符合下列规定：

1 机组安装前，应进行设备基础验收并填写验收记录，基础应满足设备承重要求，表面平整；

2 设备到场后，建设单位、监理单位、施工单位及制造商应联合对设备开箱验收，并应记录；

3 当设备临时存放时，应采取防潮、防磕碰等措施；冷水机组不应在高温、低温环境下长时间存放；

4 应按设备、电气、给水排水等图纸核对预留孔洞、预埋件标高与位置、设备基础等；

5 设备安装应符合说明书及安装手册要求。

6.2.2 设备和水箱、集分水器、储水罐、阀门等附件应进行气密性或严密性试验，并应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

6.2.3 过滤器在安装前和安装后应及时清理。

6.2.4 水泵安装应采取防止气蚀的措施。

6.2.5 管道焊接质量和设备阀门附件连接质量，应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

6.2.6 上翻管道及机房管道最高点应安装自动排气阀。

6.2.7 隔振减振体系及柔性连接设置与安装应符合现行国家标准《民用建筑通风与空气调节设计规范》GB 50736 的规定。

6.2.8 管路系统应预留温度、流量等传感器验证的测试位置。

6.2.9 管道系统安装完毕，且外观检查合格后，应按设计要求进行水压试验。当设计无要求时，水压试验应按现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 执行。

6.2.10 管道压力试验合格后应进行管路冲洗，并应符合下列规定：

1 应按现行国家标准《通风与空调工程施工规范》GB 50738 的要求对管路反复冲洗，直至排出的水中不带泥沙、铁屑等杂质，且水色及透明度与入口目测一致为合格；

2 管路冲洗时应与设备及不允许参加冲洗的仪表及管道附件采取加装旁通管等隔离措施。冲洗水质达到要求且持续运行不小于 2h 后，方可与设备相贯通。

6.2.11 保温层厚度和保温材料的热工性能参数应符合设计要求。

6.2.12 保温施工质量应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

6.3 监测与控制系统安装

6.3.1 深化设计阶段，监测与控制系统的测量仪表应符合下列规定：

1 应提出监测仪表的测量范围、精度等级等技术要求；

2 应明确监测仪表的具体安装位置及安装要求。

6.3.2 传感器、执行器的测量及控制精度应符合设计要求，并应在检测合格有效期内。

6.3.3 传感器、执行器安装应符合说明书及设计要求，并应符合下列规定：

1 接线应按接线图和设备说明书进行，配线应整齐，不宜交叉；

2 接线应固定牢靠，端部均应标明编号。

6.3.4 水系统温度传感器、压力传感器、压差传感器、流量计、能量表应安装在水流平稳的直管段，应避开水流死角，且不宜安装在管道焊缝处。

6.3.5 传感器、执行器安装位置应留有足够的检修、维护空间。

6.3.6 监测与控制系统工作电源应符合使用要求，信号系统应采取屏蔽措施，系统运行不应受变频设备运行谐波及电磁辐射的干扰。

6.4 装配式施工

6.4.1 装配式施工宜符合下列规定：

1 宜将系统划分为设备及附件、管段管节和连接件等；

2 宜采用制造成品构件或工厂化预制成品构件。

6.4.2 装配式施工应采取预制加工图设计、工厂化预制加工预制加工件运输、预制构件装配等流程。

6.4.3 预制加工图设计宜采用施工现场结构复核、核对系统施工图初步优化管线、设备组件族创建、主管线建模、设备就位排布、主管线排布、支架核算及设置、设备连接支管、添加管道附件、分节确定后优化、出图添加加工说明等流程。

6.4.4 装配式施工的精度控制应符合下列规定：

1 宜减少翻弯数量；

2 宜在满足检修空间前提下紧凑管线；

3 靠近建筑结构墙体宜预留操作空间；

4 同一系统管线设备宜集中排布、成排统一水平定位和采用同一标高等。

6.4.5 预制加工装配图应整体反映施工部件，显示建筑结构。应将设备、设备附件和材料等与实物 1：1 对应，并应显示螺栓安装空间。

6.4.6 预制加工图阶段应确定法兰垫片空间、管道设备保温施工空间、后期阀门手柄和温度计压力表维保空间。

6.4.7 二次预制和装配宜设置精度修正管段。

6.4.8 预制管段宜充分考虑机房运输条件确定管段划分，宜按设备系统分段，并宜减少分段。

6.5 BIM 应用

6.5.1 BIM 应用应建立全过程施工 BIM 理念，推行 BIM 全过程深化设计，应用 BIM 实施进度、协调统筹、质量、成本等管理。

6.5.2 BIM 应用应建立 BIM 实施标准，专业模型应具有正确性、协调性和一致性。

6.5.3 BIM 应用应符合下列规定：

1 应结合设计参数、订货设备参数、现场环境条件、末端负荷需求、系统高效运行要求等进行优化设计；

2 应采取优化管路连接及采用大曲率半径弯头、顺水三通等措施降低系统的阻力损失；

3 应明确监测仪表的测量范围、精度等级、安装位置等技术要求及安装要求。

6.5.4 BIM 模型建立应符合下列规定：

1 模型元素几何形体应按 1：1 比例建模；

2 模型元素名称代码、缩写、线条颜色、线型、线宽等应统一设置；

3 模型建立应符合现行国家标准《建筑信息模型设计交付标准》GB/T 51301 的规定；

4 模型元素宜包括冷水机组、冷却塔、水泵、管道、桥架、管件、阀门、仪表、管道末端、管道设备支架；

5 元素信息宜包括机械设备、管道、管件、仪表、管道设备固定支架的名称、规格型号、材料和材质、技术参数等产品信息，以及系统类型、连接方式、安装部位、安装要求、施工工艺等安装信息。

6.5.5 BIM 模型宜体现最小操作空间、使用空间、放置和运输空间、安装空间、检测空间等。

6.5.6 进度计划宜应用 BIM 模型实施动态管理，应将实际进度信息添加或连接到进度管理模型，对施工作业程序和作业时间进行规划、实施、检查和分析。

6.5.7 机电加工模型元素宜在深化设计模型元素基础上，附加或关联生产属性、加工图、工序工艺、产品管理等信息。

7 调适与验收

7.1 调 适 流 程

7.1.1 调适前，应制定详细的调适需求文件和调适方案。

7.1.2 调适宜从设计阶段开始，涵盖设计、设备选型、施工、验收及交付和运行全过程。建设方可根据项目需求确定调适阶段。

7.1.3 设计阶段调适应基于调适工作整体实施要求，包括高效机房系统设计方案优化、设计图纸核查、自控系统设计方案核查等，并在此基础上编制调适需求文件。

7.1.4 施工阶段调适应包括符合性检查、缺陷检查、设备性能及系统调适、联合调适等工作。

7.1.5 运行阶段调适应包括对高效机房系统的性能持续跟踪、验证，处理前期调适遗留及运行过程中产生的问题；应对调适结果进行评估，并提出优化运行策略。

7.1.6 施工及运行阶段调适流程应符合下列规定：

1 检查应包括资料核查和现场检查；

2 性能调适应包括单机试运转、设备性能及系统调适；

3 运行调适应在制冷机房自控系统安装完成后实施，应包括传感器及控制器与执行器的准确性验证、控制功能验证、逻辑验证、系统联动验证、优化控制效果验证等；

4 项目交付阶段，调适顾问宜组织编写系统手册，必要时对建设单位和物业团队进行培训。

7.1.7 调适检查、测试、验证过程及结果宜以表格、照片等形式记录。

7.1.8 调适过程中出现安装不规范、缺陷等问题，调适顾问应协助建设单位以工程联系单的方式通知相关责任单位整改。

7.1.9 调适过程中，应及时编制各阶段调适进度报告；调适完成后，应编制调适总报告。

7.2 性 能 调 适

7.2.1 高效机房设备性能调适应包括冷水机组、冷却塔、循环水泵。

7.2.2 设备性能调适前应确认现场安全防护措施可靠，供电供水、排水等配套条件符合设计要求；设备性能调适应在单机试运转完成并符合设计要求后实施。

7.2.3 设备单机试运转前，应具备下列条件：

1 检查发现的问题已整改完成；

2 设备及管路冲洗、严密性试验已完成且符合要求；

3 相关阀门状态正确；

4 电气系统和设备安全性、供电稳定性应符合单机试运转要求。

7.2.4 设备单机试运转应符合下列规定：

1 设备应运行平稳、无异常振动和噪声，循环水泵、冷却塔风机等应转向正确；

2 应监测电流、电压等电参数，且应正常；

3 设备及设备与管路连接应无渗漏。

7.2.5 高效机房应结合实际条件及时开展设备性能调适工作；由于季节、使用率低等原因导致设备部分性能或全部性能调适不具备开展调适条件的，应进行记录并协调确认延期开展性能调适的时间。

7.2.6 设备性能调适首先应制定调适方案，明确调适工况参数、调适方法和判定原则；应记录调适工况、过程和结果；性能调适结果应满足国家现行相关标准的要求和调适需求。

7.2.7 水泵性能调适参数应包括流量、扬程、效率，应记录电机频率、电压、电流、功率因数、输入功率、噪声等参数。

7.2.8 冷却塔性能调适参数应包括冷却水流量、冷却塔进出水温度，应记录电机频率、电压、电流、功率因数、输入功率、噪声等参数。

7.2.9 冷水机组性能调适应在典型夏季工况下进行，机组负荷不宜小于其额定负荷的 80%，性能调适参数应包括机组的进出口水温、流量，应计算机组供冷量、能效系数，应记录机组蒸发器和冷凝器压降、输入电压、电流、功率因数、功率等参数。

7.2.10 冷却水系统和冷水系统应进行水力平衡调试，调试结果应符合国家现行标准的规定。

7.2.11 采用变频器调速的机组或水泵应采取抗谐波干扰的措施。

7.2.12 调适仪表准确度和精度等级应符合设计要求，并具有在有效期内的检定、校准或检测证书。

7.3 运行调适

7.3.1 运行调适应在设备性能调适完成、自控系统检查并符合要求后实施，并应根据系统形式和功能特点制定联合运行调适专项方案。

7.3.2 运行调适应包括下列内容：

1 现场控制设备单点调试；

2 受控设备单机调试验证；

3 系统联合运行与调适。

7.3.3 传感器、执行器和现场控制器安装应规范、合理、便于维护，供电应符合设计要求，功能应符合下列规定：

1 传感器、执行器的功能应符合下列规定：

1） 检查传感器的型号、精度、量程与所配仪表是否相符、安装位置是否合理，并进行读数误差校验，应达到产品技术文件要求；

2） 应进行执行器动作特性校验，执行器动作和动作顺序应与设计的工艺要求相符；

3） 控制器读取的传感器数据、执行器状态应与现场的测量值、状态一致。

2 现场控制器的功能应符合下列规定：

1） 通信正常，上位机停机或通信网络故障时，控制器应能保持正常工作；

2） 控制器失电，重新恢复供电后，控制器应能自动恢复失电前设置的运行状态。

7.3.4 制冷机房自动控制系统调适内容、控制功能验证内容应符合本规程第5.5节的有关规定，调适结果符合调适需求文件的要求。

7.4 效果验证

7.4.1 运行调适完成并满足要求后，应开展系统效果验证，开展前应制定效果验证方案。

7.4.2 效果验证应在典型工况下进行，验证内容包括系统控制功能、系统综合能效验证等。

7.4.3 系统综合能效验证宜包括制冷机房系统全年能效比、附属设备全年耗电比、冷水机组全年性能系数、冷水耗电输冷比、冷却塔逼近度、冷水回水温度一致性、冷水和冷却水供回水温差等参数。

7.4.4 效果验证宜基于制冷机房监控系统的监测和记录功能开展。

7.4.5 效果验证结果应符合设计及使用要求；对于不满足要求的，应进一步诊断分析，并采取整改措施。

7.5 验　收

7.5.1 高效机房竣工验收前应完成性能调适和运行调适。

7.5.2 竣工验收应由建设单位组织，设计、施工、监理、调适顾问等单位参加。

7.5.3 调适验收前应编制验收方案，确定验收时间、方式等，且应在项目整体竣工验收前进行。部分效果验证工作无条件完成时，可在验收完成后进行补充验收。

7.5.4 竣工验收前应提交下列调适资料，提交的资料均满足要求，则验收通过。

1 图纸会审记录、设计变更通知书和竣工图；

2 主要材料、设备、部品和仪表出厂合格证明及进场检验报告；

3 传感器、计量仪表的标定证书或准确性验证报告；

4 管道系统压力试验记录；

5 隐蔽工程记录；

6 设备单机试运转记录；

7 分部（子分部）工程质量验收记录；

8 观感质量综合检查记录；

9 安全和功能检验资料的核查记录；

10 调适需求文件、调适方案、阶段调适进度报告、调适总报告等调适记录。

7. 5. 5 高效机房观感质量应符合国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

7. 5. 6 高效机房调适结果应满足设计及国家标准的要求；对于标准中尚未规定或建设单位需求高于标准的内容，验收标准宜在调适需求文件中明确，并以此作为验收判定标准。

8 运行与维护

8.1 运　行

8.1.1 制冷机房实施节能运行策略应满足室内温、湿度等设计使用要求。

8.1.2 当冷水机组频繁启停时，应检查启停逻辑并调整。

8.1.3 冷水机组应根据负荷需求调整运行台数及时长，单机运行的冷水机组连续运行时间不宜超过 24h，同时冷水机组不应无需求运转。

8.1.4 冷水机组应根据实际负荷需求和冷水机组部分负荷工况的能效调整机组的运行负荷，使冷水机组尽量运行在高效率区域。

8.1.5 冷水机组运行过程中，应合理调整冷水流量及温差，冷水供回水温差宜大于设计温差的 80%。

8.1.6 冷水机组运行过程中，宜根据负荷变化对冷水供水温度进行重设。

8.1.7 冷水机组发生喘振现象时，应及时检修并调整冷水机组运行策略。

8.1.8 水泵运行过程中，应定时查看设定频率与反馈频率的一致性。

8.1.9 水泵应根据负荷需求调整运行时间及台数，水泵不应无需求运转。

8.1.10 冷却塔的出水温度逼近度应保持在设定范围内。

8.1.11 冷却塔运行过程中，应定时查看风机设定频率与反馈频率的一致性。

8.1.12 空调系统中的传感器应定期进行排查检修。

8.1.13 制冷机房运行中，可采用制冷机房系统能效比、水泵输送效率等指标衡量能效水平。

8.2 维　护

8.2.1 冷水机组、冷却塔、循环水泵、阀门、过滤器等设备及阀部件应定期维护，并应符合下列规定：

1 冷水机组冷凝温度和冷却水出水温度宜每天定时记录；当两者温差超过一定限值时，应检查冷却水水质并清洗冷凝器。

2 过滤器两端的压差应每天记录，当压差超过一定限值时应及时清洗过滤器。系统监测仪表、温控器、传感器、上位机、监测装置等关键器件，应每年进行至少一次校准和维护。

8. 2. 2 制冷机房系统中失效或缺少的计量仪表应及时更换或增设。

8. 2. 3 冷水机组、水泵及冷却塔等关键设备宜进行预防性维护。

8. 2. 4 制冷机房系统的运行和维护管理，可按广西制冷学会团体标准《制冷机房运行维护规程》T/GXAR 005 执行。

8. 2. 5 制冷机房系统可由具备制冷空调维修保养能力的专业机构负责维护管理，专业机构可按广西制冷学会团体标准《制冷空调维修保养机构能力等级评定标准》T/xxxx 进行能力分类。

用 词 说 明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1） 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4） 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243

《智能建筑工程质量验收规范》GB 50339

《空调通风系统运行管理标准》GB 50365

《机械通风冷却塔工艺设计规范》GB/T 50392

《通风与空调工程施工规范》GB 50738

《民用建筑通风与空气调节设计规范》GB 50736

《建筑信息模型设计交付标准》GB/T 51301

《电能质量公共电网谐波》 GB/T 14549

《电动机能效限定值及能效等级》GB 18613

《通风机能效限定值及能效等级》GB 19761

《清水离心泵能效限定值及节能评价值》GB 19762

《公共建筑节能检测标准》JGJ/T 177

广西制冷学会、广西勘察设计协会团体标准

高效制冷机房建设技术规程

T/×××××

T/×××××

条 文 说 明

目　次

1　总则 …… 37

2　术语 …… 39

3　基本规定 …… 40

4　建设标准 …… 44

4.1　设计评价 …… 44

4.2　运行评价 …… 44

5　设计 …… 46

5.1　一般规定 …… 46

5.2　负荷计算 …… 53

5.3　设备选型 …… 54

5.4　空调水系统设计 …… 64

5.5　监测与控制系统设计 …… 72

6　施工 …… 79

6.1　采购 …… 79

6.2　水系统安装 …… 80

6.3　监测与控制系统安装 …… 80

6.4　装配式施工 …… 80

6.5　BIM 应用 …… 81

7　调适与验收 …… 82

7.1　调适流程 …… 82

7.2　性能调适 …… 84

7.4　效果验证 …… 84

8　运行与维护 …… 86

8.1　运行 …… 86

1 总　则

1.0.1 2019年6月国家发展和改革委员会等七部委联合印发的《绿色高效制冷行动方案》提出到2030年，大型公共建筑制冷能效提升30%，制冷总体能效水平提升25%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高40%以上。

广西在绿色节能方面也出台了一系列的政策，如广西发展和改革委员会印发的《完善广西能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的实施方案》中提到的“落实新建建筑绿色低碳节能标准、绿色建造、可再生能源建筑应用、公共建筑能效提升等建筑节能标准，实施城镇新建民用建筑65%建筑节能标准，新建、扩建和改建建筑及既有建筑节能改造均应进行建筑节能设计”。广西机关事务管理局印发的《关于加强公共机构重点用能单位合理用能管理的指导意见》中明确“到2025年，全区公共机构重点用能单位的单位建筑面积能耗、人均综合能耗与2020年相比分别下降5%、6%，人均用水量下降6%，单位建筑面积碳排放下降8%”。

上述政策对集中空调系统的能效提出了更高要求，考虑目前广西区内制冷机房系统运行能效普遍较低，存在较大的节能空间，因此，制定可以科学合理地对高效制冷机房设计、建造和运行进行指导的标准是非常必要的。通过对评价指标、设计、设备采购、施工、调适、运行与维护等方面进行标准化，实现不同系统形式、不同规模制冷机房的高效运行。

1.0.2 本规程适用于采用电动机驱动的蒸气压缩制冷循环的水冷式冷水机组作为冷源方案的制冷机房，机组形式主要包括离心式和螺杆式。

采用水冷式冷水机组与其它热源联合运行的冷暖空调系统，其水冷式冷水机组及其附属设备可以单独进行评价。

采用蓄冷装置（包括水蓄冷和冰蓄冷）的制冷系统、风冷式冷水机组、蒸发冷却式冷水机组、溴化锂吸收式冷水机组等作为冷源方案的制冷机房不适用于本规程的评价标准。

本规程的各项技术措施，可根据需要部分应用于非高效制冷机房的建设中，以提高广西本地的制冷机房能效水平。由于高效制冷机房建设对设计、施

工、设备及材料、调适与运维等全过程的要求都非常高，考虑到广西本地的技术和经济水平，普通的制冷机房有条件时也建议尽量采用。

1.0.3 高效制冷机房以实际运行效果作为判定依据，需要以制冷机房性能目标为导向，设计、招投标、施工、调适和运行各个阶段协同配合，才能更好地保证运行效果。

本规程着眼于高效制冷机房建设的全流程，对评价方法、系统设计方法、自动控制与监测系统配置、设备与材料相关要求、施工工艺要求、调适管理、运行优化措施以及维护管理等内容进行了详细规定。

性能化设计不同于常规采用的“合规设计”，是一种基于目标的闭环设计方法，该方法以性能量化指标为约束目标，以节能措施集成与参数优化为基础，以全工况模拟分析为基本手段进行设计，并通过模拟仿真等手段验证，以判定是否满足目标值。

性能化设计方法的核心是以性能目标为导向的定量化设计分析与优化，系统形式和相关设计参数的选取均基于定量分析结果，而不是从规范中直接选取。

性能化设计是一个基于目标的迭代分析过程，当采用的技术措施不能满足系统性能目标要求时，需对相关参数或措施重新进行调整直至满足为止；同时随着分析过程的深入，可能发现系统性能目标难以实现或实现起来经济性不合理，此时可对系统性能目标进行调整。

高效制冷机房设计应以系统能效目标为导向，以“保证供冷需求、最小化全寿命周期成本”为原则，根据气候特征、建筑负荷特点以及建筑功能，结合建设方需求，选择适宜的设计方案。

1.0.4 开展高效制冷机房设计确定设计参数和控制策略时应与末端设备相协调，保证其热湿处理能力能够满足室内负荷需求，例如当冷水侧采用大温差供水方式时，应校核风机盘管、空调机组等末端设备的热湿处理能力或者选择大温差专用末端空调设备。

1.0.5 由于高效制冷机房是以系统能效目标为导向，采用 EPC 模式，由一家单位来整体负责及协调，容易保证最终结果满足要求；同时由于高效机房建设技术较复杂，施工难度大，要求项目参建各方具有相应的资质是保证项目顺利完成的重要措施。

2 术　语

2.0.1 制冷机房系统的能效比，当用于某一时刻或指定工况时，单位为W/W，当用于某时间段的累计工况时，单位为（kW·h）/（kW·h）。

3 基 本 规 定

3.0.1 高效机房能效等级依据制冷机房系统全年能效比的大小确定。

目前有多部标准涉及高效机房的能效等级指标，主要有《高效制冷机房技术规程》（T/CECA 1012-2022）、《高效空调制冷机房评价标准》（T/CECA 1011-2022）以及《高效空调制冷机房系统能效监测与分级标准》（T/CECA 20026-2023）。

考虑到广西本地的技术和经济水平，本标准能效等级指标参考《高效空调制冷机房系统能效监测与分级标准》（T/CECA 20026-2023）选取。其中，三级为最低等级。领跑级是在满足一级的主要技术要求基础上，采用领先技术，选用能效表现较高的设备得出，具备一定的引领性和前瞻性。

其中，湿球温度子区的判定条件见下表：

表 1　湿球温度子区的判定条件

气候分区	供冷季时间	湿球温度子区	供冷季室外平均湿球温度
夏热冬暖地区	4 月 15 日至 11 月 15 日	I区	＞23℃
		II区	≤23℃
夏热冬冷地区	5 月 15 日至 10 月 15 日	I区	＞21℃
		II区	≤21℃

3.0.2 制冷机房系统全年能效比是高效机房的核心指标，是开展高效机房设计的唯一目标值；附属设备全年耗电比和冷水机组全年性能系数是实现制冷机房系统全年能效比的基础指标，在高效机房性能化设计理念下，本规程未对λ_a和COP_a这 2 项基础指标进行硬性规定，设计者可根据项目特点、技术经济性或新技术示范应用等方面综合考虑，在实现制冷机房系统全年能效比的前提下，选择合适的取值组合。

3.0.3 区别于传统合规性的设计方法，高效机房性能化设计面向机房系统性能指标要求，通过目标分解，进行冷源设备选型、水系统设计和控制策略制定等工作，同时对各分项指标进行验证，在全寿命周期成本最低的原则下，通过不同组合方案的比选，选取最佳设计方案。与传统的机房设计方法相比，采用性能化设计方法具有以下优点：

（1）以性能目标为导向、以仿真模拟分析进行验证的迭代分析过程可以帮助设计人员对高效机房的设计方案具有更全面、更细致的了解，例如设备性能要求、运行策略以及初投资等，从而可以在设备采购、自控系统设计等环节提出更为明确的需求，有助于高效机房的有效实施。

（2）设计阶段以机房全年能效值为目标，进行全工况模拟分析，可使得设计人员充分考虑制冷机房部分负荷运行特性，保证设计参数与机房实际运行效果更为一致。

（3）性能化设计要求在设计阶段设定机房能效目标，并通过仿真模拟等手段评估各种设计措施对性能目标的影响，有助于业主或设计人员能够更好地理解机房性能指标的影响因素。

（4）性能化设计可帮助设计人员根据工程实际特点选取合理的技术措施，有助于提高高效机房设计的合理性，同时有助于激发设计人员对选用新材料、新工艺、新设备的创新动力。

3. 0. 4 在高效机房设计工作开展前期，需准备相关资料以便于开展后续工作。主要包括当地气象参数、相关专业设计图纸等。对于新建建筑，相关专业设计图纸主要包括建筑和结构专业图纸，应至少满足初步设计深度要求；对于改扩建工程，主要包括相关专业竣工图纸资料。收集设计图纸的主要目的是用于搭建建筑负荷计算模型、确定制冷机房面积、冷却塔布置位置和预留面积等事项；当采用 BIM 技术建立建筑信息模型时，应评估与全年逐时动态负荷计算软件的兼容性，避免负荷计算时的重复建模工作。

设计方案是详细说明为满足高效机房建设目标而采取的必要技术措施，并提交至建设单位审核的文档。方案编制以有关设计性能指标和功能需求为依据，明确采取的设计方法、进度计划、人员部署以及质量保证措施等。一般包括总体概述、设计依据、方案、主要技术措施、投资概算、经济效益分析、进度计划、人员部署以及质量保证措施等内容。

3. 0. 5 制冷机房本身具有复杂、相互耦合和动态变化特性，因此实现系统的优化设计需要建立设备和系统模型，借助仿真软件，对机房系统性能进行动态模拟分析，开展冷源方案比选、设备选型以及控制策略制定等工作，在确保设计目标实现的同时，将制冷机房的全生命周期成本降至最低。

为实现高效机房建设目标，设计者应根据建筑动态负荷特点、气候特征以及建筑功能，结合建设方项目定位，选取适宜的系统形式和设计参数，在此基础上，根据冷水机组、冷却塔形式和容量的不同组合，确定冷源备选方案，结合不同的控制策略等，将设计方案、设计参数与控制策略输入能耗模拟分析工具，定量分析是否满足预先设定的制冷机房系统能效目标，根据计算结果，不断进行循环迭代、优化控制策略和设计参数等，最终确定满足能效目标的设计方案。

3.0.8 对于增设的冷却塔免费供冷的高效机房，在进行制冷季或制冷机房系统全年能效比的计算评价时，应将冷却塔免费供冷量和冷却塔直接供冷系统的耗电量纳入制冷机房系统全年能效比的计算过程中。

3.0.11 建设单位的主要职责包含确定调适工作需求、确定调适顾问、确认调适目标、协调其他参与单位、配合调适工作、组织调适成果验收、确认；调适顾问的主要职责包含编制项目调适需求、总体调适计划和总体调适方案、组建调适团队、组织召开调适例会、审核机电承包商编写的具体调适方案和计划、组织调适团队实施调适工作并示范、组织调适过程中技术问题的讨论、对调适结果进行复验、组织总承包、机电专业承包、设备供应商等对运行管理团队开展培训工作、组织编写系统手册；总承包单位负责配合调适工作，协调相关部门和资源为调适工作服务；机电专业承包单位的主要职责包含编写系统、设备调适工作方案、组织实施各系统调适工作、安排相关人员参与调适工作、参与调适例会、对调适工作中发现的施工问题进行整改，并提交整改报告、配合调适顾问开展调适结果复验；设计单位主要职责包含提供必要的调适依据文件、参与调适过程中技术问题的解决、参与最终效果验证；监理单位职责包含参与调适例会和参与调适过程中技术问题的解决；设备供应商主要职责包含提供设备技术参数等相关资料、编写设备调适方案、开展设备调适工作，确保满足设计和使用要求、解决调适过程中发现的设备问题等；运行管理单位主要职责包含参与调适例会及主要调适过程、提出培训要求和建议、参加培训、协助调适顾问开展运行阶段的调适工作等。

3.0.14 在系统实际运行过程中，由于设计缺陷、使用功能、使用强度等变化或设备性能衰减等原因，可能造成设备和系统的实际运行能效的降低，因此需

要定期对主要设备能效以及控制策略和关键控制参数设置的合理性进行分析和评价。分析和评价工作应主要基于能效监测系统开展。

4 建设标准

4.1 设计评价

4.1.1 高效机房设计是一种基于目标的性能化设计方法，因此与常规设计流程相比，通过增设方案评审环节以实现设计目标的闭环控制。

4.1.3 动态投资回收期限值由建设方确定，并在设计任务书中明确规定。

4.1.4 模型的检查可以从几个方面入手：①检查输入错误；②检查输出文件；③模拟人员确认理解模拟软件的算法；④确认模型能否模拟实际的系统和过程；⑤尽可能提高模型的详细程度。

4.1.5 计算动态投资回收期，可先根据公式分别计算常规设计方案与高效机房设计方案1～15年截至每年累计的周期成本，之后比较两个方案的周期成本差值，得到截至每年的高效机房收益。当高效机房设计方案的周期成本首次小于常规设计方案的周期成本（即收益为正）时，该年限即为高效机房设计方案的动态投资回收期。

折现率是指将未来有限期预期收益折算成现值的比率。影响折现率的因素包括资金成本、资金供求状况、投资风险以及通货膨胀。计算资料不全时，一般可取6%～12%。

4.2 运行评价

4.2.1 考虑到系统实际运行能效受外部环境参数和内部使用情况的影响，短期的测试结果不能代表制冷机房系统全年的实际运行能效，因此评价应以能效监测系统运行数据为基础，采用制冷机房系统全年能效比作为评价依据，以保证评价结果的科学性和全面性。保证监测数据准确、监测系统稳定可靠运行，是实现系统能效持续提升的基础。通过此要求，可以提高相关各方对监测系统建设、运行和维护的重视程度。

由于数据的外推和修正会降低数据的准确性，影响评价结果的客观性，因此本规程要求按监测系统的实际运行数据进行能效评价，且不应对数据进行外推和修正。

4. 2. 5 判断高效机房能效等级的制冷机房系统全年能效比采用监测系统数据进行计算，因此需确保监测系统数据的准确性。选取典型工况，例如覆盖较宽范围的室外温度工况，通过对设备、系统性能进行测试并根据测试结果和监测结果的对比，从而对监测系统的数据的准确性进行验证。

4. 2. 6 根据高效机房性能测试数据，计算制冷机房系统全年能效比，并与测试期间能效监测系统的数据进行比对，两者之间的偏差不应大于 10%。本条主要通过比对的方式，对项目能效监测系统的准确性进行验证。

5 设　计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了高效机房设计性能指标确定的方法、原则。

1 制冷机房系统全年能效比设计值是指设计阶段由设计团队根据建筑功能、负荷特点和建设方需求所确定的高效机房设计目标值，是编制高效机房设计方案，开展性能化设计、性能调适以及测量与评价的重要依据。受设备制造水平和经济性的限制，高效机房设计目标值的设定并不是越高越好，应根据项目特点进行具体分析，在综合考虑当地气候条件、建筑功能和负荷特点、设备制造水平和经济性等因素基础上确定。高效机房设计目标值可根据项目进展和设计深度进行调整，例如在项目决策和方案阶段，由于资料不齐全，不具备进行建筑全年逐时负荷计算条件，无法掌握建筑负荷特点，在此阶段制定的能效目标值可能偏保守，在初步设计和施工图阶段，可根据建筑动态负荷计算和系统模拟仿真结果对能效目标值进行动态调整。

2 在制冷机房系统中，冷水机组是输出供冷量的唯一源头，冷水泵、冷却水泵和冷却塔作为附属设备并不直接输出供冷量，其耗电量的大小直接影响制冷机房系统能效比。由公式（5.1.1）可知，在制冷机房系统全年能效比设计值确定的情况下，冷水机组全年性能系数设计值只取决于附属设备全年耗电比。在制冷机房系统全年能效比相同的情况下，λ_a和COP_a二者数值大小呈正相关，λ_a和COP_a存在不同的取值组合，同时也代表了不同的技术措施组合和投资成本，由表 2 可知，以冷水机组总设计制冷量≥1758kW 为例，当制冷机房系统全年能效比EER_a=4.3，附属设备全年耗电比λ_a=20%时，冷水机组全年性能系数COP=5.38；若λ_a提高至 35%，则COP_a需提高至 6.62。由此可见，冷水泵、冷却水泵和冷却塔这 3 种附属设备的耗电占比越大，对冷水机组性能要求越高。降低附属设备耗电占比，在相同的制冷机房系统能效比下，可降低对冷水机组的性能要求，从而降低冷水机组初投资。

表 2　冷水机组全年性能系数计算明细示例

序号	附属设备全年耗电比λ_a	制冷机房系统全年能效比EER_a	冷水机组全年性能系数COP_a
1	20%	3.8/4.3	4.75/5.38
2	25%	3.8/4.3	5.07/5.74
3	30%	3.8/4.3	5.43/6.15
4	35%	3.8/4.3	5.85/6.62
5	40%	3.8/4.3	6.34/7.17
6	50%	3.8/4.3	7.60/8.60

3 在高效机房性能化设计过程中，当制冷机房系统全年能效比设计值确定后，可预先设定附属设备全年耗电比，进而根据式（5.1.1）确定冷水机组全年性能系数设计值。附属设备全年耗电比预设值代表了冷水泵、冷却水泵和冷却塔等附属设备选型的目标值，是判定冷却塔选型和水系统设计是否满足要求的依据之一，通过选择高效率的水泵和冷却塔，降低冷却水和冷水系统输配阻力，制定水泵和冷却塔优化控制策略等手段可降低附属设备全年耗电比，可有效缓解对冷水机组性能的要求，降低冷水机组初投资，但可能会增加水泵、冷却塔、管道及附属部件等初投资，因此应综合考虑分析确定合理的附属设备耗电占比。

当系统作用半径较大、设计水流阻力较高的大型工程采用二级泵系统时，或冷源设备集中且用户分散的区域供冷空调冷水系统采用多级泵系统时，除一级泵外，其余各级泵不计入附属设备耗电。

5. 1. 2 性能化设计流程如图 1 所示，体现了高效机房性能化设计的目标分解量化与验证、迭代分析与优化以及典型参数与运行工况预设定的 3 个典型特点。

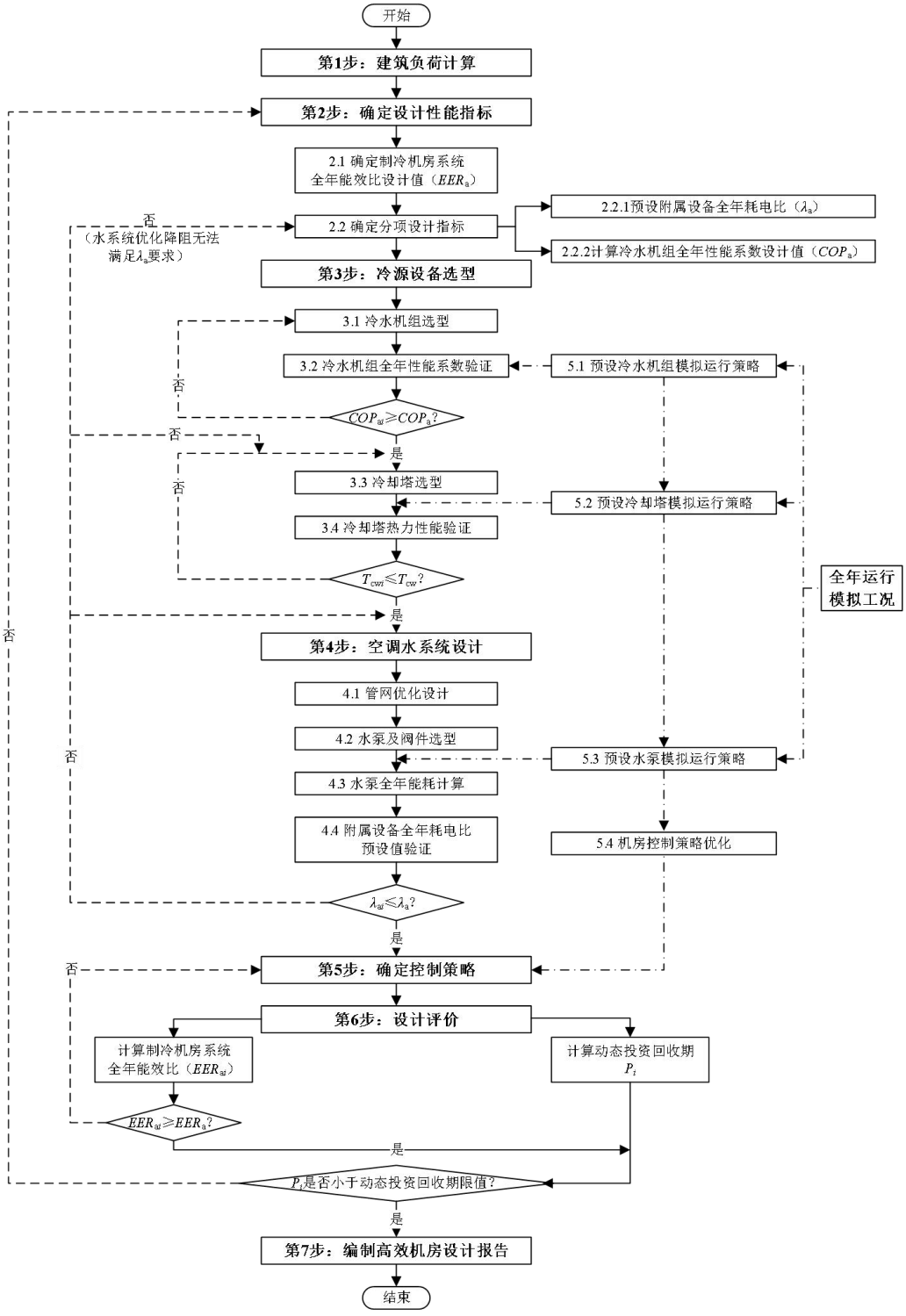


图 1　高效机房性能化设计流程图

高效机房系统性能化设计第 1 步应进行负荷计算和负荷特性分析，第 2 步应结合负荷特点，确定设计目标值，第 3 步和第 4 步依次开展冷源设备选型和水系统设计 2 项工作，同时应确定相应的全年运行模拟工况，并预设冷水机组、冷却塔和水系统的控制策略，在此基础上进行冷水机组全年性能系数设计

值和冷却水供水温度、附属设备全年耗电比预设值等分项设计目标值的模拟验证工作，若不满足以上 3 项分项目标值的要求，则应对设计技术措施中的相关参数进行优化调整直至满足设定值要求；第 5 步为确定控制策略，应以第 3 步和第 4 步确定的全年运行模拟工况为基础，以制冷机房系统全年能效比设计值为对象进行优化，确定最终的制冷机房自动控制策略；第 6 步为设计评价阶段，在自控策略确定后，对制冷机房系统全年能效比设计值进行验证，判断是否满足设计值要求，然后对投资回收期进行分析，评价设计方案的经济性是否合理，若以上 2 项指标满足要求，则表明高效机房设计方案满足需求，进入第 7 步的编制高效机房设计报告阶段；若不满足，则应对冷源设备、水系统设计和自控策略的相关技术措施进行调整并对各项指标进行再次验证，直至满足需求为止。

第 1 步：建筑负荷计算。

建筑负荷计算作为高效机房设计的基础工作，首先应收集资料并利用负荷计算软件搭建计算模型，进行动态负荷计算，根据计算结果确定设计日峰值负荷、全年逐时负荷分布并进行负荷特点分析，为后续设计工作提供依据，其结果的准确性直接影响设计方案的合理性、制冷机房节能效果和初投资。

第 2 步：确定设计性能指标。

该阶段的主要工作内容是确定设计性能指标的目标值，主要包括制冷机房系统全年能效比设计值、冷水机组全年性能系数设计值和附属设备全年耗电比预设值。

首先根据本规程表 3.0.1 及项目要求确定制冷机房系统全年能效比设计值，其次根据负荷特点、建筑规模、冷水机组性能平均值以及水系统形式等因素预先设定附属设备全年耗电比，最后根据公式（5.1.1）计算确定冷水机组全年性能系数设计值。

第 3 步：设备选型。

该阶段的主要工作内容是确定冷水机组和冷却塔型号及台数，基本思路是利用仿真工具分别搭建冷水机组和冷却塔性能仿真模型，在预设控制策略的基础上，验证该设计方案的冷水机组全年性能系数和冷却水供水温度是否满足设计目标值的要求，需要强调的是针对冷水机组和冷却塔的性能仿真均应基于全年运行工况。

首先进行冷水机组选型，根据设计日峰值负荷确定冷水机组总装机容量；然后根据全年逐时负荷分布特征确定冷水机组台数和容量划分，综合考虑建筑功能、项目所在地全年气象条件等因素确定冷水机组型号；最后利用仿真模型工具搭建冷水机组性能仿真模型，在预设冷水机组模拟运行策略的基础上，计算该方案下冷水机组全年性能系数（COP_{ai}），与设计值（COP_{a}）进行比对，若 $COP_{ai} \geqslant COP_{a}$ 则证明冷水机组选型方案满足要求，否则应调整冷水机组型号和台数并重新对 COP_{ai} 和 COP_{a} 进行比对，直至满足 $COP_{ai} \geqslant COP_{a}$。

需要强调的是冷却水供水温度是判定冷却塔选型是否满足高效机房要求的验证指标，因此在冷水机组选型阶段应对冷却水供水温度设定策略进行详细说明，例如若采用冷却水供水温度重设策略，应通过绘制冷却水温设定曲线或编制算法等方式，说明全年模拟工况下逐时室外湿球温度和冷却水温设定值的对应关系。

冷却塔选型时，应根据冷水机组选型阶段确定的冷却水额定流量、冷却水供回水设计温度和冷却水温设定策略，确定冷却塔型号和台数；利用仿真模型工具搭建冷却塔性能仿真模型，在预设冷却塔模拟运行工况的基础上，计算该方案下冷却水供水温度（T_{cwi}），并与冷水机组要求的冷却塔供水温度设定值（T_{cw}）进行比对，若 $T_{cwi} \leqslant T_{cw}$，则证明冷却塔选型方案满足要求，否则应调整冷却塔型号和台数并重新对 T_{cwi} 和 T_{cw} 进行比对，直至满足 $T_{cwi} \leqslant T_{cw}$。

第 4 步：空调水系统设计。

空调水系统设计包括冷水系统和冷却水系统。该阶段的主要工作内容是通过对空调水系统进行优化设计合理选取冷水泵和冷却水泵及其阀部件。

建议利用流体输配管网专用模拟工具搭建水系统仿真模型，设置边界条件（主要包括流体介质物性参数、流速、管段参数以及设备、阀部件流量特性参数等），在设计工况下对空调水系统进行动态仿真，识别最不利环路，计算并联环路不平衡率，以并联环路不平衡率在 10%以内为目标，开展水力平衡设计进而确定阀部件和水泵型号。

水泵型号确定后，应对附属设备全年耗电比进行验证以判断其是否满足预设值要求。具体方法如下：首先利用专用仿真工具搭建水泵性能仿真模型，结合第 3 步搭建的冷水机组和冷却塔仿真模型搭建制冷机房系统仿真模型，预设冷水泵和冷却水泵模拟运行工况，结合第 3 步确定的冷水机组和冷却塔模拟运

行工况，模拟计算制冷机房附属设备全年耗电比（λ_{ai}）并与附属设备全年耗电比预设值（λ_a）进行比对，若$\lambda_{ai} \leqslant \lambda_a$，则证明空调水系统设计满足要求，否则应通过采取管径优化、设备降阻以及管路布置等措施，在合理的流速范围内并保证系统水力平衡性的基础上，尽量降低冷水和冷却水系统输配阻力，并对阀部件以及水泵进行重新选型，更新制冷机房系统性能仿真模型，直至满足$\lambda_{ai} \leqslant \lambda_a$为止。

由冷却塔、冷水泵和冷却水泵组成的制冷机房附属设备中，相对于水泵，冷却塔的耗电量占比较低，因此当设计方案中λ_{ai}不满足预设值要求时，应优先对空调水系统进行降阻优化设计，若经过多次迭代优化仍不能满足要求时，可对冷却塔进行重新选型或者重新设定冷却塔模拟运行工况并依次验证冷却水供水温度（T_{cwi}）和附属设备全年耗电比（λ_{ai}）是否满足要求，在空调水系统和冷却塔选型经过多次迭代优化仍无法满足要求时，应对分项设计指标进行重新设定，修正附属设备全年耗电比预设值（λ_a），并重新开始性能化设计。

第 5 步：确定控制策略。

本阶段的主要工作内容是以冷源设备选型和空调水系统设计预设的全年运行模拟工况和控制策略为基础，从制冷机房系统整体出发，以安全性、稳定性以及节能经济性为原则，综合考虑全年室外气象条件、负荷特点、建筑使用功能以及设备性能等因素，确定最终的制冷机房自动控制策略。

第 6 步：设计评价。

本阶段的主要工作内容是从制冷机房系统全年能效比和投资回收期两个角度，评价设计方案的节能效果和经济合理性。

在完成第 5 步的控制策略制定后，首先应计算该方案下制冷机房系统全年能效比（EER_{ai}）并与目标值 EER_a 进行比对，若 $EER_{ai} \geqslant EER_a$，则证明高效机房设计方案满足需求书中规定的各项性能指标要求，否则应对自动控制策略重新进行优化调整，并对 EER_{ai} 和 EER_a 进行重新比对，直至满足 $EER_{ai} \geqslant EER_a$ 为止。

最后计算制冷机房动态投资回收期，并判断是否满足建设需求书的相关规定，若满足，可进入下一步设计报告编制工作，否则应对第 2 步确定的各项设计指标进行调整并按照流程图重新进行性能化设计。

第 7 步：编制高效机房设计报告。

该阶段的主要工作内容是对第 1 步～第 6 步性能化设计内容进行梳理，形成高效机房设计报告作为成果文件。

5. 1. 3 冷水机组全年性能系数设计值（COP_{a}）应根据下列判别关系式进行验证：

$$COP_{a} \leqslant COP_{ai} \tag{1}$$

备选方案 i 冷水机组全年性能系数（COP_{ai}）应按下式进行计算：

$$COP_{ai} = \frac{\sum Q_{ai}}{\sum W_{c-ai}} \tag{2}$$

式中：$\sum Q_{ai}$——全年运行模拟工况下，冷水机组全年累计制冷量（kWh）；

$\sum W_{c\text{-}ai}$——全年运行模拟工况下，冷水机组全年累计用电量（kWh）。

附属设备全年耗电比预设值（λ_{a}）应根据下列判别关系式进行验证：

$$\lambda_{a} \geqslant \lambda_{ai} \tag{3}$$

备选方案 i 附属设备全年耗电比应按下式进行计算：

$$\lambda_{ai} = \frac{\sum N_{chpi} + N_{cpi} + N_{ti}}{\sum N_{si}} \tag{4}$$

式中：N_{chpi}——全年运行模拟工况下，冷水泵全年消耗的电量（kWh）；

N_{cpi}——全年运行模拟工况下，冷却水泵全年消耗的电量（kWh）；

N_{ti}——全年运行模拟工况下，冷却塔全年消耗的电量（kWh）；

N_{si}——全年运行模拟工况下，制冷机房系统全年消耗的电量（包括冷水机组、冷水泵、冷却水泵和冷却塔）（kWh）。

制冷机房系统全年能效比设计值（EER_{a}）应根据下列判别关系式进行验证：

$$EER_{a} \leqslant EER_{ai} \tag{5}$$

备选方案 i 制冷机房系统全年能效比（EER_{ai}）应按下式进行计算：

$$EER_{ai} = \frac{\sum Q_{ai}}{\sum W_{t-ai}} \tag{6}$$

式中：$\sum Q_{ai}$——全年运行模拟工况下，制冷机房系统全年累计制冷量（kWh）；

$\sum W_{t\text{-}ai}$——全年运行模拟工况下，制冷机房系统全年累计用电量（kWh）。

5.1.4 本条规定了高效机房设计报告包含的主要内容。

2 性能化设计专项说明应包括负荷计算、冷源设备选型和空调水系统设计、优化控制策略及方案等内容。

5.2 负荷计算

5.2.1 动态负荷计算是指通过建立建筑热过程数学模型，采用标准年逐时气象参数，计算建筑的全年逐时负荷值。动态负荷计算一般需要通过专用负荷计算软件实现。

动态负荷计算除了可以确定峰值负荷外，更为重要的是可全面掌握建筑的全年逐时负荷分布特征，以便在保证满足规定的室内热舒适标准下，选择合理的冷源方案，制定节能可靠的自动控制策略，实现制冷机房全年的节能优化运行。

气象资料一般指典型气象年参数，可根据行业标准《建筑节能气象参数标准》JGJ/T346-2014 附录 D 或《中国建筑热环境分析专用气象数据集》等确定，用于全年逐时冷负荷计算、冷却塔选型、制冷机房系统全年能耗模拟以及控制策略制定等。

全年动态负荷计算宜采用计算机模拟软件，软件计算内核的准确性和计算结果的稳定性应满足要求。

在完成动态负荷计算，获得全年逐时负荷计算值后，可采用统计分析等方法，通过绘制图表、曲线拟合等手段对负荷占比结构、全年和典型日逐时负荷分布、负荷累积概率分布等一种或多种负荷特征进行详细分析，为冷源形式确定、设备选型以及自控策略制定提供依据。

负荷占比结构的分析对象主要包括分类负荷、分项负荷和分区负荷。

分类负荷是指不同建筑功能区域的负荷，通过分析不同功能区域的负荷比例，可识别影响建筑冷负荷的关键区域，结合考虑不同区域空调系统的同时使用系数，从而有针对性地制定机房运行控制策略。

分项负荷是指根据负荷构成，可将其分成围护结构传热负荷、外窗的日射得热负荷、冷风渗透负荷、内热源形成的冷负荷以及新风负荷。还可将负荷分成显热负荷和潜热负荷，通过分项负荷的分析，可以进一步了解负荷的具体构成以及负荷特点，为冷源形式的选择提供依据。

分区负荷是指在动态负荷计算的建模过程中，根据工程的建筑设计特点和使用功能划分的不同楼层和平面分区的负荷，可根据分区负荷的特点，对空调水系统和风系统的形式划分进行合理优化。

可通过绘制逐时负荷分布曲线的方式对全年和典型日的逐时负荷特征进行分析。全年逐时负荷分布曲线的主要作用是确定峰值负荷和反应负荷变化范围，为确定冷源方案和冷水机组装机容量提供依据，例如具有长时间低负荷的酒店和仅白天具有波动较大负荷的办公建筑，全年逐时负荷分布曲线显著不同，制冷机房的冷源方案也会不同；选取不同月份的典型日，绘制逐时负荷分布曲线，对其全天逐时负荷进行分析，负荷特性应结合室外干、湿球温度的变化规律进行分析，可对制冷机房运行策略进行模拟验证，以评估控制策略的合理性。

逐时负荷累积概率分布特征分析，可通过绘制累积概率分布图或拟合逐时负荷概率密度函数的方式，对逐时负荷值或逐时负荷率在全年范围内的时间分布概率进行统计分析，为确定冷水机组装机容量和机组形式提供依据。当负荷特性曲线中全天有稳定负荷时，可设置定频机组来满足稳定负荷的要求，对于波动较大的负荷区间，宜采用变频机组以满足部分负荷运行时同样能达到高效的目的。

5.3 设 备 选 型

5.3.1 冷水机组选型的实质是以运行效率最高为目标，实现建筑负荷动态需求和冷水机组动态特性的合理匹配。冷负荷特性曲线反映了空调冷负荷的动态需求，因此对冷负荷特性曲线和冷水机组动态特性的精确理解直接影响制冷机房系统设备的配置。

5.3.2 冷水机组选型流程如图 2 所示。

第 1 步：准备选型资料。

该阶段的主要内容包括建筑负荷特征分析、室外气象资料和市场主流产品样本收集、确定系统主要设计参数（例如冷水设计供回水温度、冷却水设计供回水温度等）。

第 2 步：确定冷水机组总装机容量。

该阶段的主要内容是根据建筑峰值负荷值确定冷水机组总装机容量。

第 3 步：确定冷水机组单台容量和台数（定频或变频）。

该阶段工作的主要内容是根据建筑全年逐时负荷分布特征和建筑使用功能划分冷水机组单台容量和台数，例如设置数据中心机房的办公楼，夜间存在冷负荷需求，可设置基载冷机负责此部分夜间负荷。

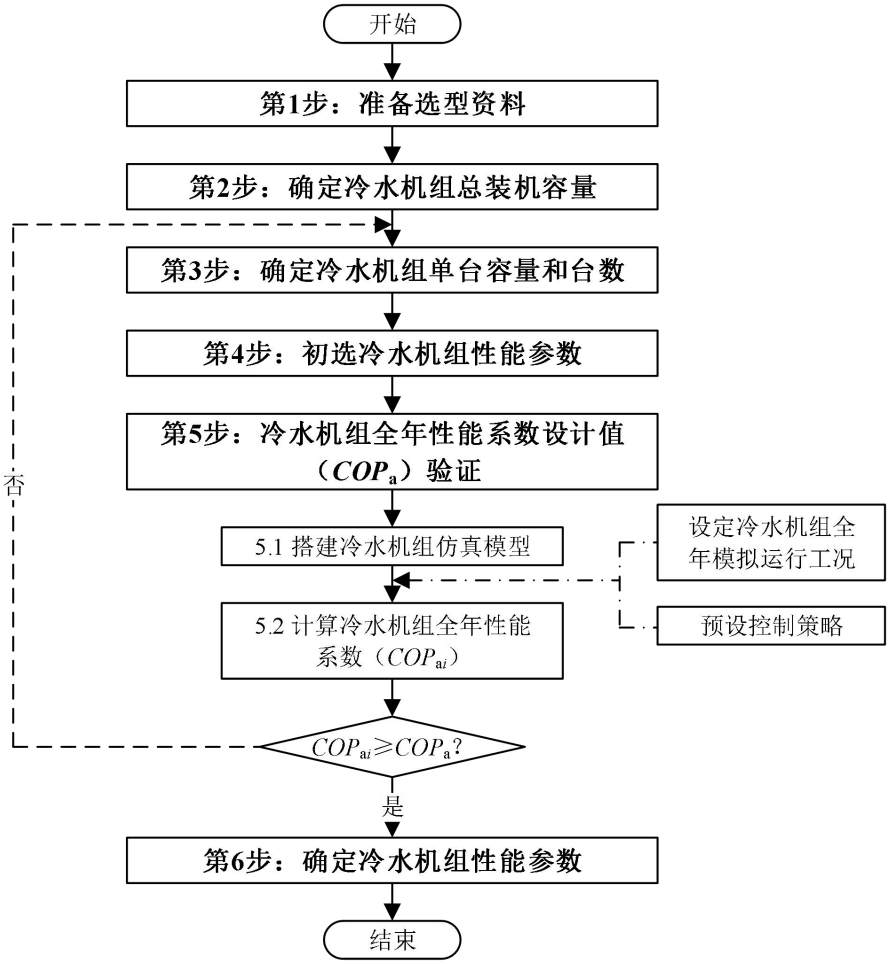


图 2　冷水机组选型流程图

第 4 步：初选冷水机组性能参数。

该阶段工作的主要内容是根据系统设计参数和冷水机组单台容量确定冷水机组选型参数（例如冷水设计流量和冷却水设计流量等），并结合市场主流产品性能特点，初步确定冷水机组形式和类型。

第 5 步：冷水机组全年性能系数设计值（COP_a）验证。

该阶段工作的主要内容是根据冷水机组厂家提供的性能数据搭建冷水机组仿真模型，并预设冷水机组全年运行模拟工况和控制策略，对冷水机组全年性能系数设计值进行验证，通过仿真计算全年性能系数（COP_{ai}），并与冷水机组全年性能系数设计值进行比对，若 $COP_{ai} \geq COP_a$，则证明冷水机组选型方案满

足要求，否则应调整冷水机组型号和台数并重新对 COP_{ai} 和 COP_{a} 进行比对直至满足 $COP_{ai} \geqslant COP_{a}$ 为止。

冷水机组模拟运行工况应至少包括下列内容：

（1）冷水供回水设计温度；

（2）冷却水供回水设计温度；

（3）冷水和冷却水额定流量；

（4）冷水供水温度设定策略；

（5）冷却水供水温度设定策略；

（6）冷水流量运行方式；

（7）冷却水流量运行方式；

（8）冷水机组台数控制方式。

在冷水供水温度保持不变的情况下，降低冷却水供水温度（即冷却塔出水温度），可降低冷水机组压缩机压头（冷凝压力-蒸发压力），提升冷水机组性能系数。根据相关研究，冷却水供水温度每降低 1℃，冷水机组性能系数可提高 2%～4%。

因此在冷水机组选型过程中，应将降低冷却水供水温度作为提升冷水机组能效的重要节能措施进行考虑。在预设冷水机组模拟运行工况时，可采取冷却水供水温度重设策略，在较低的冷却塔逼近度下，根据室外湿球温度逐时值进行动态设定，当室外湿球温度降低时，冷却水供水温度设定值相应降低，并通过控制冷却塔开启台数或风机转速等措施满足设定值要求。

需要强调的是在高效机房性能化设计过程中，冷却水供水温度是冷却塔选型阶段判定冷却塔选型是否满足要求的重要验证指标，因此在冷水机组选型阶段应对冷却水供水温度设定策略进行详细说明。

当采用冷却水供水温度重设策略时，应采取合理方法，描述全年模拟工况下冷却水温设定值。例如冷却水供水温度随逐时室外湿球温度进行动态设定，可采用绘制冷却水温设定曲线或编制算法等方式，说明逐时室外湿球温度和冷却水温设定值的对应关系。

第 6 步：确定冷水机组性能参数。

该阶段工作的主要内容是确定冷水机组的最终性能参数，编制设备参数表和冷水机组技术规格书。

5.3.3 目前大部分主流厂家的产品，都可以按照设计冷量的需求来提供冷水机组，但也有一些产品采用的是“系列化或规格化”生产。为了防止冷水机组的装机容量选择过大，本条对总容量进行了限制。对于一般的舒适性建筑而言，本条规定能够满足使用要求。对于某些特定的建筑必须设置备用冷水机组时（例如某些工艺要求必须24h保证供冷的建筑等），其备用冷水机组的容量不统计在本条规定的装机容量之中。值得注意的是：本条提到的比值不超过1.1，是一个限值。设计人员不应理解为选择设备时的“安全系数”。

5.3.4 本条提出了确定冷水机组容量、类型的要求。

1 在大中型公共建筑中，或者对于全年供冷负荷变化幅度较大的建筑，冷水机组的台数和容量的选择，应根据冷负荷大小及变化规律确定，单台机组制冷量的大小应合理搭配，当单机容量调节下限的制冷量大于建筑物的最小负荷时，可选一台适合最小负荷的冷水机组，在最小负荷时开启小型制冷系统满足使用要求，这种配置方案已在许多工程中取得很好的节能效果。如果每台机组的装机容量相同，此时也可以采用一台或多台变频调速机组的方式。

对于设计冷负荷大于528kW以上的公共建筑，机组设置不宜少于两台，除可提高安全可靠性外，也可达到经济运行的目的。因特殊原因仅能设置一台时，应选用可靠性高，部分负荷能效高的机组。

2 由于制冷季室外气象参数、内部使用情况的变化，冷水机组的实际运行工况是动态变化的，因此在冷水机组选型时，应以制冷机房系统全年能效比为目标，充分考虑系统的变负荷特性，结合机组在不同工况下的动态性能，选择合理的冷水机组形式。

3、4 水冷电动压缩式冷水机组根据压缩机类型，一般可分为往复式、涡旋式、螺杆式和离心式。前3种压缩机为容积型压缩机，第4种为速度型压缩机，往复式冷水机组因能效低已很少使用。高效机房选用的冷水机组一般为螺杆式或离心式冷水机组。

螺杆式冷水机组单机制冷量小，运行稳定可靠，通常的应用范围为350kW～1054kW，常用于低负荷时段的调节机组；离心式冷水机组单机制冷量大、能效高，通常的应用范围为1758kW～10000kW；对于单机制冷量范围在1054kW～1758kW时，离心式和螺杆式机组均可选用，可以通过性能价格比较后，选择合适的机组。

目前市场上离心式冷水机组已开始推广使用无油润滑轴承，如磁悬浮和气悬浮离心式冷水机组，磁悬浮机组采用磁轴承、轴承传感器和轴承控制器，气悬浮机组采用气轴承、供气系统和轴承控制器，运行时轴承悬浮避免了摩擦损失以及压缩机失油故障；磁悬浮机组不必控制油压差，可降低蒸发压力与冷凝压力差，提高冷水机组在部分负荷及低压力差时的运行能效。磁悬浮机组的容量范围比较宽泛，最小一般可以做到350kW，但磁悬浮机组的价格相对较高，需要综合考虑高效机房对冷水机组的能效目标和经济性，确定选择机组的类型。

定频冷水机组和变频冷水机组均具有一定的能量调节范围，定频螺杆机组常用滑阀作为调节机构，滑阀调节输气量可在10%～100%的范围内连续调节。50%以上负荷运行时，功率与输气量近似为正比例关系；50%以下负荷运行时，性能系数将有所下降。定频离心式冷水机组的能量调节方式有2种，一种是通过叶轮入口导流叶片调节，可以在30%～100%的负荷区间进行连续调节，但这种调节方式，在负荷低于50%时，对压缩机的效率影响较大；另一种调节方式为叶轮入口导流叶片加叶轮出口扩压器宽度可调的双重调节方法，制冷量可以在10%～100%范围内连续调节。变频冷水机组通过压缩机加装变频器，采用变频调速的调节方法适应不同工况的变化，通过控制电源的频率和电压，自动调节电机转速，同时配以相关调节装置，达到调节压缩机制冷量的目的，保证压缩机获得更高的部分负荷下的效率。

由此可以看出，变频冷水机组比定频机组具有更高部分负荷运行能效，因此，设备选型时应分析建筑的全年动态负荷特性，根据单台冷水机组承担空调负荷的变化规律确定选用定频机组或变频机组。对于承担稳定冷负荷的冷水机组可选用定频机组，对于承担变负荷，并且部分负荷运行时间较长的冷水机组宜选用变频机组。

5.3.5 冷却水温度随室外湿球温度的变化而变化，对于制冷季室外湿球温度较低的地区，以及对于全年制冷、有较长的制冷季初末期的地区，通过降低冷却水温度有利于提高冷水机组的运行能效，因此，建议选用能适应较低冷却水温度工况的冷水机组。

根据对多家冷水机组制造企业的调研结果，螺杆式冷水机组一般能适应的最低冷却水温度宜为18℃，离心式冷水机组一般能适应的最低冷却水温度为

15℃。对于电机采用制冷剂冷却技术，不适应较低冷却水温度工况运行的冷水机组，可在其冷却水系统设置旁通管路或其他措施使冷却水进水温度不致长时间过低，保证冷水机组可以正常启动并连续运行。

5.3.6 高效机房冷水、冷却水系统常设计为变流量系统，为了充分发挥变流量系统的节能优势，选用的冷水机组应能适应较大的变流量运行范围。根据对多家冷水机组制造企业的调研结果，冷水可适应最低 40%的额定流量，冷却水可适应最低 60%的额定流量。最小流量限值还会受设计进出水温度和温差的影响。

5.3.7 冷水机组蒸发器和冷凝器的压力降直接影响着冷水泵和冷却水泵的能耗，因此应尽量降低冷水机组两器的压力降。冷水机组的制造企业一般可通过优化换热器管径、数量等方式，实现降低两器阻力的目的。

5.3.8 由于冷却水系统通常为开式系统，室外灰尘等污物容易进入冷凝器影响冷凝器的换热效率。对冷却水处理、清洗冷凝器可以有效降低冷凝器的污垢热阻，保持冷凝器换热管内壁较高的洁净度，从而降低冷凝端温差（制冷剂冷凝温度与冷却水的离开温度差）和冷凝温度。冷凝器清洗有物理清洗和化学清洗两种方式。物理清洗可采用在线清洗方式，在线清洗装置主要是清洁球和清洁毛刷两大类产品，在应用中各有特点，使用过程中应保证清洗装置运行稳定、可靠和有效。

5.3.9 在高效机房的设计过程中，降低冷却水供水温度以提升冷水机组性能系数是一项非常有效和常用的节能措施，同时也对冷却塔的热力性能和控制方式提出更高的要求。实践表明，降低冷却水供水温度虽然会增加冷却塔初投资和运行能耗，但可显著降低冷水机组用电量，总体而言降低冷却水供水温度是一项经济性非常高的节能措施。

为充分提升冷水机组部分负荷下的性能系数，在冷水机组选型阶段确定全年运行模拟工况时，根据全年室外湿球温度分布特征，选择较低的逼近度（相对于冷却塔标准工况）降低冷却水供水温度。

标准工况下，冷却塔逼近度为 4℃，设计工况下广西地区的冷却塔逼近度宜取 2℃～3℃；在部分负荷工况下，可根据室外湿球温度值并结合冷却塔热力性能，对冷却塔逼近度进行动态调整。

在实际运行过程中，为保证全年运行工况下冷却水供水温度满足冷水机组要求，需要设置有效的控制策略。

5. 3. 10 本条规定了冷却塔选型的要求。

1 冷却塔按冷却方式分为直接蒸发式冷却塔（开式冷却塔）、间接蒸发式冷却塔（闭式冷却塔）和混合冷却式冷却塔；按水与空气的流向分为逆流式冷却塔、横流式冷却塔和混流式冷却塔。

逆流塔有引风式和鼓风式两种形式，引风式逆流塔空气和水逆向流动，换热效率高；换热段为负压，气流的分布较均匀；进出风口的高差较大，不容易形成出风气流的短路；塔体本身对空气形成一定的自然对流作用，可以使得同样冷却水量下的风机容量有所减少；逆流塔平面尺寸较小有利于安装布置。鼓风式逆流塔换热段为正压，气流分布存在不均匀现象；同样冷却风量下的电气安装容量比引风式高；鼓风式逆流塔适合于安装地点通风不良的场所。逆流塔的水噪声大、漂水率高，维护检修难度较横流塔高。

横流塔空气与水交叉流动，换热效率低于逆流塔；换热段为负压，气流的分布较均匀；进出风口的高差小，容易形成出风气流的短路；同样冷却水量下的风机容量略大于逆流塔；单位冷量平面占地面积大于逆流塔；塔体扬程一般小于逆流塔，有利于减少水泵的扬程。横流塔的水噪声低，飘水率低，易于检修维护。

闭式冷却塔冷却水走塔内的冷却盘管，不与室外空气直接接触，有利于保持冷却水的水质；闭式冷却塔含有风机和蒸发水循环泵，电气安装容量大；与开式塔相比，闭式塔的物理尺寸和重量都要大很多，价格也相对较高。闭式塔一般应用于对冷却水水质要求较严格的系统以及冷却塔安装位置低于冷水机组的场所。

高效机房冷却塔应根据项目现场安装条件、周围环境要求等因素选取适宜的冷却塔类型，宜选用塔体扬程较低的横流开式冷却塔。

冷却塔尺寸受冷负荷、冷却水供回水温差、逼近度和湿球温度的影响，当这 4 个参数中的 3 个保持常数时，冷却塔尺寸和冷负荷成正比，与冷幅、逼近度和湿球温度呈反比。一般来说，逼近度越低，冷却塔尺寸越大，因此所需成本越高。

3 高效机房冷却水系统一般设置为变流量系统，因此要求冷却塔在低于额定流量运行时，应保证填料表面能满布水膜，充分利用换热面积，提高冷却塔的换热效率。在低流量下运行如果填料布水不均，在填料的干湿交界处，溶解固体析出沉积在填料上，会导致填料上出现严重的水垢。

冷却塔可以通过配置高效变流量喷头、全联通布水、布水盘设置均流器等措施来保证冷却塔在低于额定流量运行时，仍能实现填料的均匀布水，达到充分换热、有效降低冷却水出水温度的目的。横流塔为盘式布水，采用变流量高效布水喷头后，一般可实现 30%～100%的额定流量范围运行时，保持将热水均匀地洒布到整个淋水填料上，保证充分利用换热面积进行换热。逆流塔为管式布水，采用变流量高效布水喷头后，一般可实现 70%~100%的额定流量范围运行时，保持布水均匀。

5. 3. 11 冷却塔选型流程如图 3 所示。

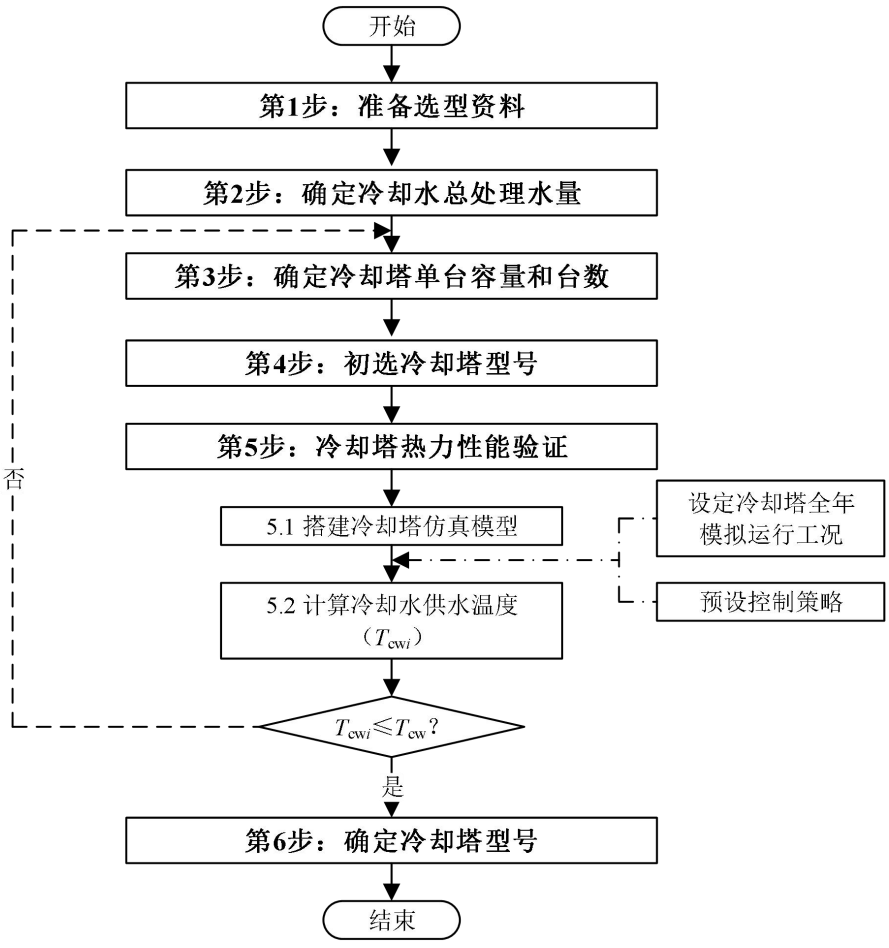


图 3　冷却塔选型流程图

冷却塔选型前，对室外湿球温度时间分布特征进行分析，确定不同湿球温度的全年时间占比，为选择合理的冷却塔逼近度提供参考依据，对于时间分布比重较大的湿球温度区间可选取较低的逼近度以降低冷却水供水温度，从而提升冷水机组的能效值；对冷却热负荷时间分布特征进行分析，可根据冷却水供回水设计温差获得冷却水流量分布特征，为确定冷却塔容量提供依据。

冷却塔选型时，应根据冷水机组选型阶段确定的冷却水额定流量、冷却水供回水设计温度和冷却水温设定策略，确定冷却塔型号和台数；利用仿真模型工具搭建冷却塔性能仿真模型，在预设冷却塔模拟运行工况和控制策略的基础上，仿真计算冷却水供水温度（T_{cwi}），并与冷水机组要求的冷却塔供水温度设定值（T_{cw}）进行比对，若 $T_{cwi} \leqslant T_{cw}$，则证明冷却塔选型方案满足要求，否则应调整冷却塔型号和台数并重新对 T_{cwi} 和 T_{cw} 进行比对，直至满足 $T_{cwi} \leqslant T_{cw}$。根据验证结果确定冷却塔的最终型号，编制设备参数表和冷却塔技术规格书。

冷却塔模拟运行工况应包括下列内容：

（1）冷却塔进出水设计温度；

（2）冷却塔设计流量；

（3）室外湿球温度设计值；

（4）冷却水供水温度设定策略；

（5）冷却水流量运行方式；

（6）冷却塔风机台数控制方式；

（7）冷却塔风机频率控制方式。

5. 3. 12 本条规定了冷却塔免费供冷的要求。

1 冷却塔免费供冷技术，是一种降低空调能耗的有效方法，它充分利用自然冷源，在常规空调水系统基础上通过增设部分管路、设备及自控阀门，在过渡季尤其是冬季，当室外湿球温度低于某值时，关闭冷水机组，通过阀门切换将空调水系统末端与冷却水系统直接或间接相连，通过冷却塔向水系统提供所需冷量，由于冷却塔、水泵等设备运行仍然需要消耗电能，因此冷却塔供冷并非绝对意义上的免费，但其减少了主机能耗。

冷却塔免费供冷主要适用于全年供冷地区或者有大量内区的场所，如当外区供热时内区仍需供冷的大型商业和大型办公场所。湿球温度是决定冷却塔免费供冷技术能否实施及节能空间大小的决定性因素，因此应根据室外湿球温度

的全年分布特征、计算空调末端需求的供水温度、冷却水能够提供的水温以及空调系统运行时间等因素分析冷却塔免费供冷全年时间，计算冷却塔供冷的节能量，结合初投资以及运行成本等进行经济性分析，判断冷却塔供冷系统的可行性和合理性。

2 冷却塔间接供冷系统通常采用加装板式换热器与制冷机组串联或并联连接，从冷却塔来的冷却水通过板式换热器与另一侧的封闭式冷水进行换热，提供建筑所需的低温冷水。相对于直接供冷系统形式，间接式的主要优点是可避免开式冷却水系统中杂质及微生物引起的管道堵塞、腐蚀等问题。

板式换热器与冷水机组并联连接，冷却塔须能够满足全部负荷时才能运行免费供冷模式，会降低免费供冷应用时间；板式换热器与冷水机组串联连接，即使在冷却塔供冷无法满足全部建筑负荷需求时，也能起到对冷冻水回水进行预冷的作用，从而可充分利用冷却塔免费供冷量，但串联连接会增加一部分环路阻力。因此具体连接形式应做经济性分析比较后确定。

5. 3. 13 空调系统常用的水泵类型有单级单吸清水离心泵、单级双吸清水离心泵和多级清水离心泵。对于单台水泵流量需求在 450m^3/h 以下时，宜选用单级单吸清水离心泵。对于单台水泵流量需求在 500m^3/h 及以上时，宜选用双吸泵。对于要求为小流量、高扬程的水泵，宜采用多级清水离心泵。

单级单吸离心泵根据电动机与叶轮的连接方式一般可分为直连泵和长轴泵。直连泵电动机的外伸轴直接与叶轮相连，占地面积较小，但维修困难；长轴泵电动机通过联轴器与叶轮相连，占地面积较大，但便于维修，可以在互不干扰的情况下拆卸电动机或叶轮。单级单吸离心泵根据电动机的安装位置可分为立式泵和卧式泵，立式泵是带有泵送配件的端吸泵，直接插入管道中或像卧式泵一样安装在基座上，可节省大量安装空间，但由于入口配件的原因，立式泵效率低于卧式泵，并且维修困难。卧式泵运行稳定、占地面积大、便于维修。卧式端吸泵一般用在小流量至中等流量的系统，卧式双吸泵用在大流量系统，卧式双吸泵运行稳定效率高，便于维修，但占地面积比单吸泵更大。

5. 3. 14 本条规定了水泵选型的要求。

2 普通电机采用变频调速，在低速时容易由于冷却量不足造成电机温升过高而烧坏，因此建议采用变频电机，以实现较大的流量调节范围。

3 通常按照水泵性能曲线（即 *Q-H* 曲线）的大致倾向可将其分为下列 3 种：平坦型、陡降型、驼峰型。具有平坦型 *Q-H* 曲线的水泵，当流量变动很大时能保持基本恒定的扬程。陡降型曲线的水泵则相反，当流量变化时，扬程的变化相对较大；至于驼峰型曲线的水泵，当流量自零逐渐增加时，相应的扬程最初上升，达到最高值后开始下降。具有驼峰性能的水泵在一定的运行条件下可能出现不稳定工作的情况，是应当避免的。

一般来说，将关死点扬程值约为最高效率点对应扬程值的 1.1 倍～1.2 倍的水泵性能曲线称为平坦型，对于末端装置设置电动二通调节阀的闭式空调水系统，选用平坦型水泵可减小低流量运行工况下系统压力波动范围，有利于提高系统稳定性。

4 水泵的高效运行区是指性能曲线中代表水泵内部各种能量损失（主要包括容积损失、沿程和局部阻力损失和撞击损失）之和最低的区域，可通过水泵性能曲线确定，一般将水泵最高效率值对应流量的 85%～105%范围称为高效运行区，考虑到水泵型号规格限制和实际运行调节范围，可将高效运行区扩大至水泵最高效率值对应流量的 66%～115%。

5 一般情况下，水泵的叶轮直径越大，水泵效率越高，因此选取调速泵时，宜在电机和变频器容量不增大的前提下，选取同系列中叶轮直径较大的水泵。

7 以系统设计流量和压降作为水泵最高效率点的水泵选型方法，并不一定能保证水泵运行能耗最低，因为在实际运行过程中，系统处于设计负荷工况下的运行时间往往很短，即水泵全年的运行效率大部分时间低于最高值。因此在水泵选型过程中，宜首先根据负荷特点分析系统流量分布特征，根据分布时间最长的流量区间进行水泵选型，尽量使水泵高效运行区与该流量区间保持一致，一般情况下选择在最高效率点的右侧区域，可保证水泵在全年处于高效运行工况的时间最长。

5.4 空调水系统设计

5.4.1 空调水系统进行降阻优化设计，可以显著降低输配系统运行能耗，是实现高效机房性能化设计目标的重要保证措施之一。在设计过程中，通过采用低阻力设备和阀部件、提高水系统温差设计值、适当扩大管径以及管路优化布置

（例如水泵与冷水机组水平对接、斜三通代替直角三通、减少最不利环路翻弯等）等措施，合理降低水系统流速及阻力，进而降低水系统输配能耗。

5.4.2 管网流体分析软件是一种专门针对流体输配管网的动态仿真工具，利用软件建立水系统仿真模型，设定边界条件，可实现管网水力计算、水力平衡设计、水泵选型及能耗计算、系统稳态或瞬态运行工况分析等功能。

在高效机房设计过程中，当水系统输配能耗过高导致制冷机房系统能效比无法满足设计值时，应采取相应技术措施降低输配系统能耗，借助管网流体软件，可实现不同降阻措施对降低输配能耗的定量分析。

5.4.3 空调水系统设计流程如图 4 所示，空调水系统设计主要包括准备设计资料、确定水系统形式、管网设计、水力平衡设计、水泵选型、水泵全年能耗计算、附属设备全年耗电比预设值（λ_a）验证、水系统辅助设施设计共 8 个主要步骤，详见如下：

第 1 步：准备设计资料。

开始设计之前，应该收集冷负荷计算书等资料并确认建筑规模、管路布置空间等信息，为后续确定管段设计流量和管路排布做准备。

第 2 步：确定水系统形式。

目前集中空调冷水系统负荷侧一般采用两通阀或电动调节阀进行变流量调节，很少采用三通阀的调节方式。针对负荷侧变流量系统，较为常用的冷水系统形式有定流量一级泵系统（冷源测定流量，配置定速泵）、变流量一级泵系统（冷源测变流量、配置变频调速泵）、变流量二级泵系统（冷源测定流量、一级泵为定速泵，二级泵为变频调速泵）以及多级泵系统。

不同的冷水系统形式根据自身特点具有相应的适用范围，设计者应根据项目规模、系统作用半径、系统阻力、不同区域水温设计参数、运行时间等因素综合考虑选择合理的冷水系统形式，冷水系统形式选择原则详见本规程第 5.4.4 条。

冷却水系统宜采用冷却水泵和冷却塔先并后串的系统形式，冷水机组、冷却水泵与冷却塔相互之间并非一一对应关系，在部分负荷下此种形式可采用多塔低频的运行方式，在保证系统稳定运行的前提下，尽可能降低冷却水供水温度，提升冷水机组能效，同时也能降低冷却塔风机耗电量。

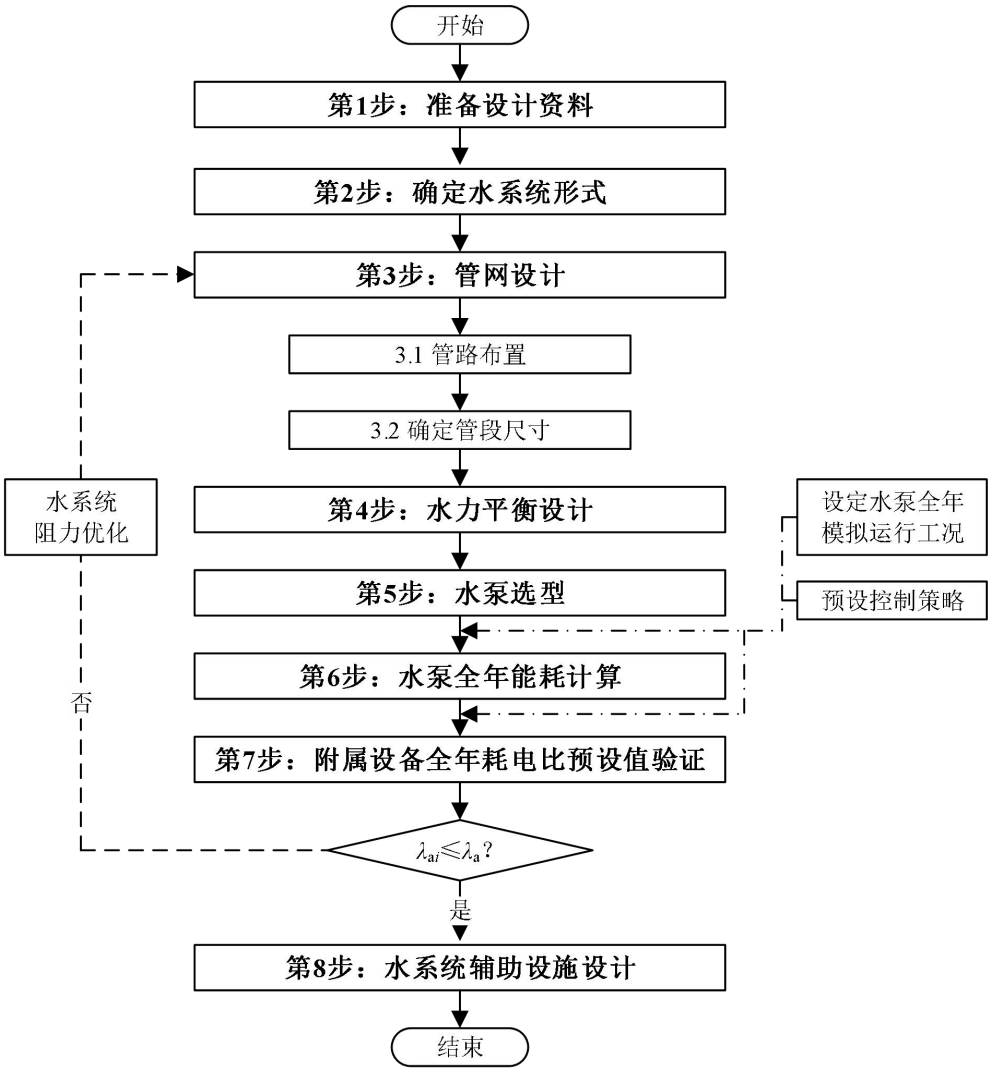


图 4　空调水系统设计流程图

第 3 步：管网设计。

本阶段主要工作包括管路布置以及根据设计流量和经济比摩阻初步确定管段管径。

第 4 步：水力平衡设计。

可借助 Excel 或流体输配管网仿真模拟软件开展水力平衡设计，主要工作内容包括并联环路压损平衡计算和确定水力平衡调节装置选型参数等。

当采用仿真软件时，应首先按照第 3 步确定的管路布置方式、管段参数、局部阻力部件、设备流量特性参数搭建水系统仿真模型，并设置流体物理参数、管道规格、管段流速和雷诺数限值以及系统输入流量和定压值等边界条件。当并联环路压力损失不平衡率不满足规范要求时，在合理调整管径的基础

上，通过使用仿真软件自带的平衡阀选型模块进行平衡计算，最后根据并联环路压损平衡计算结果确定水力平衡调节装置选型参数。

第 5 步：水泵选型。

完成水力平衡设计后，在系统设计流量下计算水系统循环阻力，结合设计流量可进行水泵选型，对于设计工况下配置多台泵并联运行的水系统，由于在进行仿真模拟计算时可以准确计算并联运行工况的管网特性，因此在水泵选型时不必因为考虑并联损失而增加流量冗余系数。

第 6 步：水泵全年能耗计算。

确定水泵额定选型参数后，利用流体输配管网仿真软件模拟计算典型部分负荷工况下水系统流量对应的循环阻力，拟合水泵特性曲线方程，结合全年负荷分布特征和水泵预设控制策略，借助流体输配管网仿真模拟软件或能耗模拟工具计算冷水泵和冷却水泵全年消耗电量 N_{chpi} 和 N_{cpi}。

第 7 步：附属设备全年耗电比预设值（λ_a）验证。

利用专用仿真工具搭建水泵性能仿真模型，结合本规程第 5.3 节设备选型过程搭建的冷水机组和冷却塔仿真模型完成制冷机房系统仿真模型搭建工作，结合冷水机组、冷却塔和水泵选型过程预设的控制策略，计算制冷机房系统全年消耗电量（N_{si}）冷却塔全年消耗电量（N_{ti}），并将第 6 步确定的水泵全年消耗电量 N_{chpi} 和 N_{cpi} 代入本规程条文说明式（4），计算附属设备全年耗电比（λ_{ai}）并与附属设备全年平均耗电比预设值（λ_a）进行比对，若$\lambda_{ai}\leqslant\lambda_a$，则证明空调水系统设计满足要求，否则应通过采取管径优化、设备降阻以及管路布置等措施，在合理的流速范围内并保证系统水力平衡性的基础上，降低冷水和冷却水系统输配阻力，并对阀部件以及水泵进行重新选型，更新制冷机房系统性能仿真模型，直至满足$\lambda_{ai}\leqslant\lambda_a$。在对水系统进行降阻优化时，可能存在多种降阻措施组合满足水系统阻力设计目标值，此时应通过技术经济性分析选择最优的组合方案。

第 8 步：水系统辅助设施设计。

水系统辅助设施通常包括定压补水装置、排气装置和水处理设备，其设计方法同常规系统，可参照相关标准或规范。

5. 4. 5 变流量一级泵系统常见形式如图 5 所示。

1 一级泵布置通常采用下列形式（图 6）：

（1）冷水机组和水泵一一对应（简称“一机一泵”）；

（2）先并后串式；

（3）设置常闭集管的一机一泵式。

形式 1 具有下列特点：当冷水机组型号不同，蒸发器压降不同时，水泵扬程不必相同，可减少水泵电机配用功率；台数控制较为简单，可使用冷水机组自带的控制面板对水泵进行连锁启停控制。

形式 2 具有下列特点：系统的备用性较好，任一水泵可服务不同冷水机组；对于未来改扩建的适应性较好，该形式便于增加水泵和冷水机组；在系统启停时，可通过调节电动阀开关速率的方式保持冷水机组流量变化稳定，以保证冷水机组安全稳定运行。

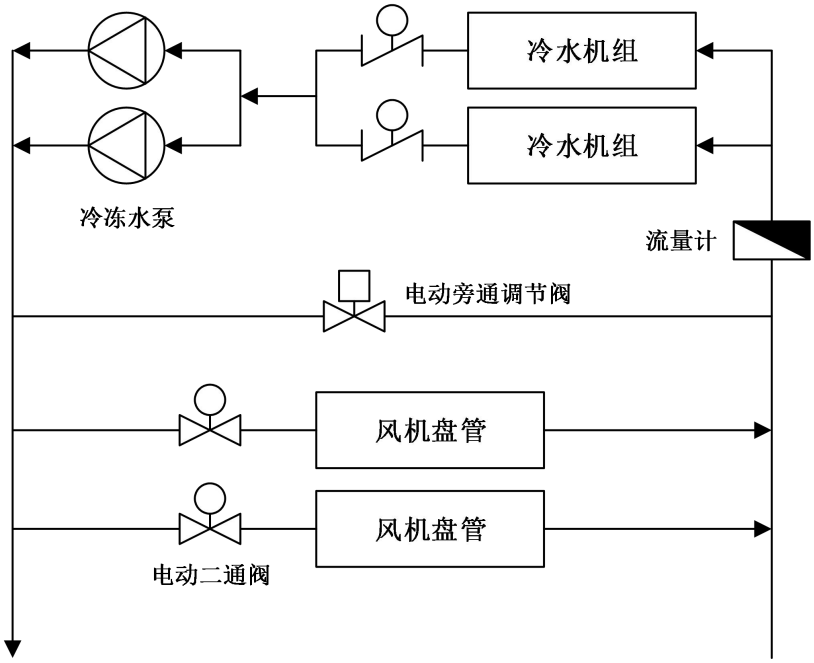
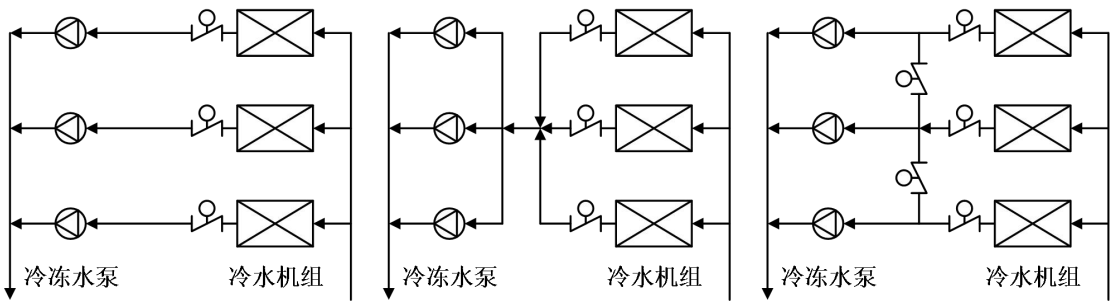


图 5　变流量一级泵系统常用形式



(a)形式 1：一机一泵　(b)形式 2：先并后串　(c)形式 3：一机一泵(常闭集管)

图 6　一级泵系统冷水机组和水泵连接方式示意

形式 3 具有下列特点：形式 3 通过在水泵出口设置常闭集管，同时结合了形式 1 和形式 2 的部分特点。在正常运行中，集水管上的阀门保持关闭状态，系统以“一机一泵”的形式运行，当某一台水泵处于故障或检修状态时，通过手动或自动的方式打开相应的集管阀门，保持冷水机组的正常运行。

2 对于可变流量的冷水机组，机组的流量变化范围和允许变化率，是 2 项重要性能指标，机组的流量变化范围越大，越有利于冷水机组的加、减载控制，节能效果越明显；机组的允许流量变化率越大，则冷水机组变流量时出水温度波动越小，机组允许流量变化率不宜低于每分钟 30%。先进的冷水机组控制器，不仅具有反馈控制功能，还具有前馈控制功能。因此不仅能根据冷水机组出水温度变化调节机组负荷，而且还能根据冷水机组进水温度变化来预测和补偿空调负荷变化对出水温度的影响。

3 电动旁通调节阀应保证通过当前运行冷水机组的冷水流量不低于最小流量限值。

5. 4. 6 本条规定了二级泵系统设计要求。

1 二级泵系统应进行详细的水力计算，根据计算结果确定平衡管管径，管径过小，可能导致管内流速过高，管路阻力损失过大，影响冷源侧和负荷侧水力解耦性能；过大增加占地面积和施工难度，平衡管的设计流量一般取各台冷水机组设计流量的最大值。

2 冷源侧一级泵和负荷侧二级泵采用调速泵，比仅采用台数调节更加节能，且冷源侧一级泵采用调速泵便于冷源侧和负荷侧实现流量平衡，降低平衡管出现混水现象可能性。

5. 4. 7 本条规定了冷却水系统的设计要求。

1 冷却水系统变流量运行需要充分考虑对冷水机组压缩机压比控制、冷却塔换热性能的影响，当冷却水温差设计值较小时，对应的冷却水设计流量较大，在部分负荷下，冷却水流量允许变化范围大，冷却水进行变流量运行可降低冷却水泵输配能耗；但当冷却水温差设计值较大时，对应的冷却水设计流量较低，此时在部分负荷下，冷却水流量允许变化范围可能较小，此时冷却水进行变流量运行，相对于增加的控制系统成本和操作复杂性而言，其节省的冷却水泵输配能耗可能并不明显。

2 多台塔并联运行时，应在管路系统上采取措施，避免分水不平衡影响冷却塔的效率。冷却塔并联进水管路的阻力偏差，以及并联出水管路的阻力偏差均不宜大于 10%；当并联管路阻力偏差较大时，可在管路上设置调节性能好的阀门。此外，还可在冷却塔本体采取一定措施，来保证循环水在塔间的均匀分布。

3 选用多台相同型号横流开式冷却塔时，也可采用共用集水盘的安装方式。

4 便于系统排气的技术措施主要包括：

（1）确定合理的管路流速，以便于气体可随冷却水水流经管路返回冷却塔排出；

（2）管路布置应合理，避免集气，例如管段最高点宜低于冷却塔进水接口高度。

5. 4. 8 冷却塔选型前首先要确定冷却塔布置位置、可用空间和结构荷载限值。冷却塔布置位置应通风良好，以保证冷却塔的散热效果。条形状摆放的冷却塔，其摆放方向宜与当地夏季季风方向垂直，且冷却塔不宜采用矩阵布置方式，以免相互影响。

5. 4. 10 本条规定了确定空调水系统管径的要求。

2 在建筑安装空间允许的前提下，宜根据尽量降低水系统输配阻力的原则适当扩大管径，虽然扩大管径会增加初投资，但可降低水泵运行能耗，长远来看，扩大管径是一种经济性较为合理的节能措施。

5. 4. 11 本条推荐了降低系统输配能耗的措施。

5 低阻力设备主要包含降低蒸发器、冷凝器阻力的制冷机组、低阻型空调机组等；低阻力阀部件主要含低阻型过滤器、止回阀等。

5. 4. 12 空调水系统采用大温差设计是优化空调系统各个设备之间的能耗配比，在保证室内舒适度前提下降低空调系统总体能耗的一种技术手段。

系统规模较大、水系统输配能耗占比较高（例如区域供冷）或冷水供水温度较低的系统（例如冰蓄冷和低温送风系统），采用大温差设计可取得较为显著的节能效果。

集中空调系统耗能包括 3 部分：空调冷热源能耗，空调末端设备能耗，水和空气输送系统能耗。在同一工程中，采用合理的大温差设计措施，可节约空

调水系统运行费用及系统初投资。例如可降低系统循环水量，相应地减少水泵运行费用；还可减小冷水泵，降低管路以及阀部件尺寸，减少防腐保温材料的用量等，从而降低空调水系统投资成本；同时由于水管管径减小也会降低空调系统建筑空间占比。

虽然空调水系统采用大温差设计会降低冷水机组性能和末端设备表冷器制冷能力，但经过项目实践和研究表明，通过确定合理的设计温差值，可降低空调系统总体能耗，因此近年来大温差空调水系统作为一项节能技术得到了积极推广。

5. 4. 13 本条规定了空调水系统大温差设计的内容。

1 大温差设计可降低水系统输配能耗和初投资，提高冷却塔换热效率，但同时会降低冷水机组在满负荷和部分负荷工况下的性能系数，降低末端换热设备（例如风机盘管、新风机组和空调机组）的制冷量和除湿能力。从空调系统整体而言，冷水系统和冷却水系统均存在最佳温差值，使得系统经济性最佳，因此在实际应用中，可以空调系统运行费用最低为目标，选择适当的约束条件，采用优化算法确定空调水系统的最佳温差值。

在确定水系统大温差设计参数时，还应考虑当前市场相关设备在不同温差下的性能特点和允许的温差变化范围。

2 风机盘管和组合式空调机组等末端设备的标准制冷工况相同：冷水进口水温为 7℃，进出口水温差为 5℃。根据标准工况生产的末端设备表冷器应用于大温差空调水系统中会因工况变化产生不同的换热效果，其水侧流速会随着温差的增大而减小，使水侧热阻增大而使表冷器的总传热系数降低。当水侧流速降至层流时，传热系数下降更为显著，导致表冷器制冷量降低，除湿能力下降。

因此常规的风机盘管和组合式空调机组应用于大温差空调水系统中，应借助生产厂家选型软件或者相关拟合公式对制冷量、除湿能力以及水阻力等关键性能参数进行修正，以保证在设备选型过程中，产品性能满足室内热湿负荷需求。

为满足空调水系统大温差设计需求，部分生产厂家已研发出适用于大温差设计的专用风机盘管和组合式空调机组产品，避免在大温差工况下常规末端设

备表冷器出现性能衰减现象，减小设备选型阶段的性能修正工作量，为大温差设计提供了更多的解决方案。

在冷水机组选型过程中，可根据温差设计参数，借助生产厂家选型软件通过压缩机、冷凝器、蒸发器和电机的不同组合选择出满足设计需求的冷水大温差机组。

5.5 监测与控制系统设计

5.5.4 末端设备控制系统与高效机房监控系统采用统一品牌或兼容产品可实现末端设备与环境参数及高效机房监控系统的数据共享。

5.5.9 本条规定了监测与控制系统联锁保护功能的内容。

2 当冷却塔供、回水总管之间设置旁通调节阀时，应能自动调节旁通阀开度，以保证冷水机组允许的最低冷却水温度。

3 当冷水系统总供、回水管之间设置旁通调节阀时，应能自动调节旁通阀开度，且保证冷水机组允许的最低冷水流量。

5.5.11 本条规定了自动调节和优化控制的内容。

6 在进行冷水机组供冷和免费供冷工况转换时，可采用半自动转换逻辑：系统根据负荷或者室外气象条件进行工况转换识别，并提示操作人员确认。经操作人员确认无误后根据自动控制程序自行切换相关设备运行状态。

5.5.19 本条规定了监测与控制系统的管理功能。

3 记录、存储和分析功能具体包括历史数据、故障、用户登录、操作、设备档案管理、设备维修及更换记录、信息记录、自动存档、统计分析及报表等功能。

5.5.21 受设备特性、冷水系统形式、气候特点以及负荷特点等多种因素的影响，制冷机房系统性能具有不确定性和多样性，很难确定一套通用的控制策略使得所有的制冷机房系统均实现高效运行。因此，应根据项目的具体情况，制定相应的控制策略。

5.5.22 本条规定了自动启停控制策略。

1 制冷工况识别可参考下列基本逻辑（控制逻辑图如图 7 所示）：

当 3*d* 移动平均室外最高温度高于制冷工况识别温度（例如 15℃，制冷工况识别温度是指控制制冷系统自动启停所设置的室外温度，设定值应根据当地

气候条件、建筑功能和负荷特点等因素确定）或 3*d* 移动平均室内（10%高温区域）温度高于室内空调设定温度加 1℃，开启制冷工况；

当 3*d* 移动平均室外最高温度低于制冷工况识别温度或 3*d* 移动平均室内（10%高温区域）低于室内空调设定温度减 2℃，关闭制冷工况。

2 设备启动顺序（图 8）：冷却水管路电动阀→冷却水泵→冷却塔风机→冷水电动阀→冷水泵→冷水机组；

设备停机顺序（图 9）：冷水机组→冷水泵→冷水管路电动阀→冷却水泵→冷却水管路电动阀→冷却塔风机。

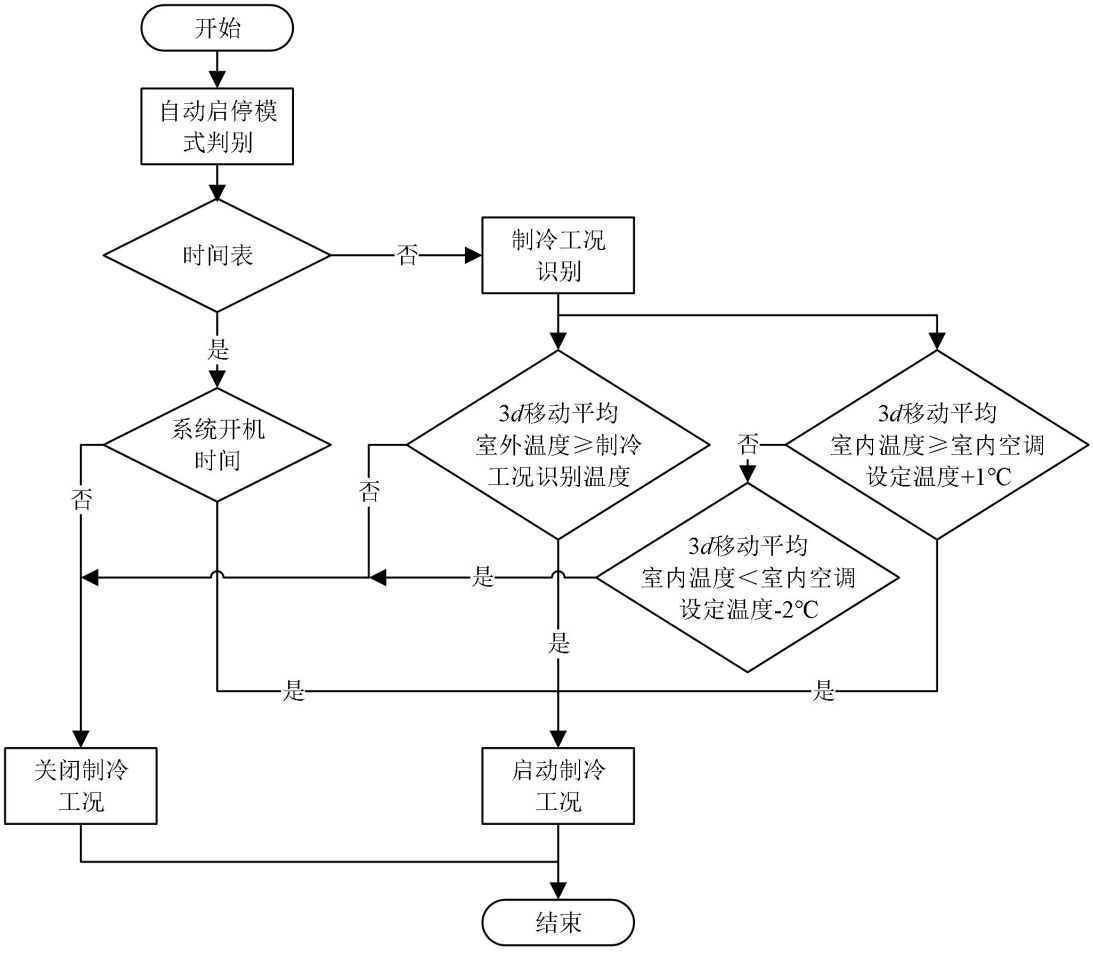


图 7　制冷工况识别控制逻辑图

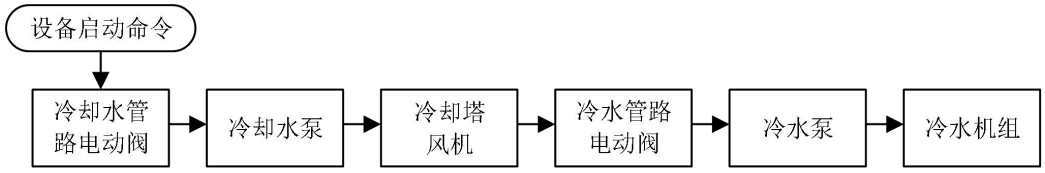


图 8　设备启动顺序流程图

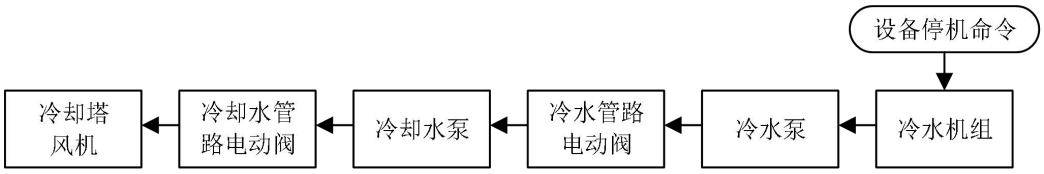


图 9　设备停机顺序流程图

3　最佳启停逻辑可参考下列基本逻辑：

计算 3d 移动平均系统降温系数α（初始值可取 2℃/h），根据典型区域室内（平均）温度与空调设定温度的差值（ΔT），实时计算最佳启动提前时间$\tau_s=\Delta T/\alpha$（h）；

当典型区域室内（平均）温度小于或等于空调设定温度＋0.5℃时，开启最佳停止逻辑，计算 3d 移动平均最佳停止提前时间τ_e（初始值可取 20min）。

最佳停止提前时间为制冷系统停止后（冷水泵仍然运行），典型区域室内（平均）温度上升 1℃所需的时间。

5. 5. 23　本条规定了台数控制策略。

1　制冷系统设备加减载，不只是简单根据实际负载，确定运行台数，应根据冷水机组效率与负荷曲线确定。当配备制冷量不同的冷水机组时，可根据 3d 移动平均机组运行负荷率（运行的第一个小时内），确定制冷系统启动时，冷水机组的开启方式。

5. 5. 24　本条规定了设备变频调速控制策略。

4　冷却水泵采用定温差控制策略，可参考下列控制逻辑（图 10）：

（1）阈值设定：主要包括冷却水泵允许运行频率范围和冷却水供回水温差设定值；

（2）判定冷却水泵运行工况：

1）当需要启动冷却水泵时，可参照本规程第 5.5.22 条、第 5.5.23 条推荐策略确定启停顺序和台数，水泵频率设定值为可允许的最大运行频率；

2）当冷却水泵处于正常运行工况时，转入第（3）步骤；

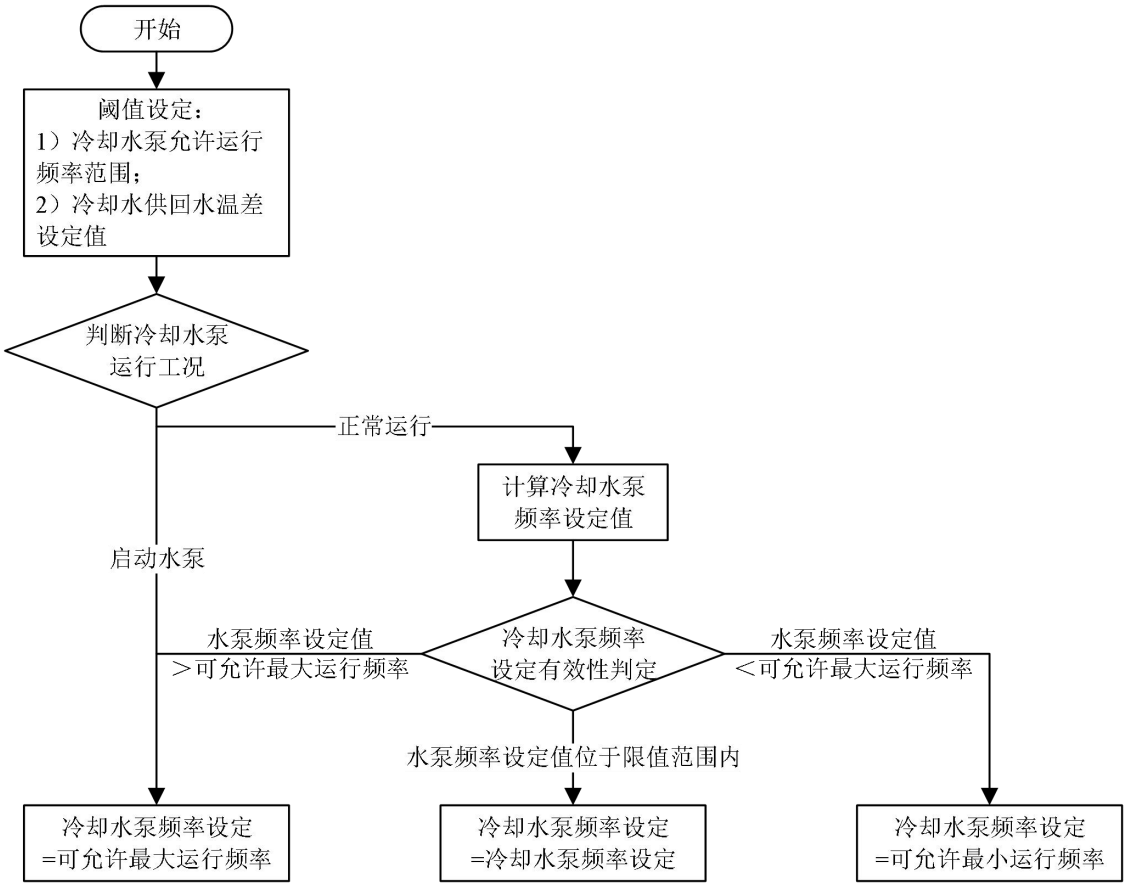


图 10　冷却水泵变频控制逻辑图

（3）计算水泵频率设定值，冷却水泵频率设定值可按照下列步骤确定：

1）计算冷却侧供回水温差瞬时值：

冷却侧供回水温差瞬时值=冷却水总管供水温度一冷却水总管回水温度。

2）计算冷却侧供回水温差平均值（20min）；

3）计算冷却水泵频率设定值：

冷却水泵频率设定值＝当前冷却水泵变频器频率反馈值×（冷却侧供回水温差平均值（20min）/冷却侧供回水温差设定值）。

（4）进行冷却水泵频率设定有效性判定：

1）当水泵频率设定值位于限值范围内时，水泵按照频率设定值运行；

2）当水泵频率设定值低于可允许最小运行频率时，水泵按照可允许最小运行频率值运行；

3）当水泵频率设定值高于可允许最大运行频率时，水泵按照可允许最大运行频率值运行。

5. 5. 25 冷水供水温度重设在满足末端除湿要求的前提下，可参考如下逻辑：

（1）负荷重设法

当系统冷负荷低于设计负荷的 30%时，冷水供水温度为 10℃～12℃（恒定值），同时考虑避免低负荷下离心机组可能产生的喘振现象；

当系统负荷高于设计负荷的 80%时，冷水供水温度为 5℃～7℃（恒定值）；

负荷在 30%～80%之间时，按线性关系计算。

（2）当无法获得系统冷负荷信息时，可以建立室外温度与冷水供水温度的线性关系，进行设定。

5. 5. 26 冷却水供水温度重设可采用如下逻辑：冷却水供水温度设定值＝室外湿球温度＋2℃～3℃（可调），且不低于冷水机组允许最低冷却水温度。

5. 5. 27 二级泵系统可采取下列措施保证一级泵环路和二级泵环路流量平衡：

（1）流量控制（平衡管流量计）

一级泵环路和二级泵环路均装设流量计，根据两侧流量值进行比较来控制一级泵速度；或者在平衡管上设置流量计，根据平衡管流量值控制一级泵速度。

（2）温度控制

可以通过将二级泵环路冷水供水温度和一级泵环路冷水供水温度进行比较控制一级泵速度，同时需确保总流量不低于所有运行冷水机组的最小流量之和。

5. 5. 28 在采用免费供冷具有节能效益的基础上，最大限度地利用冷却塔免费供冷。冷却塔免费供冷控制策略可参考下列方式：

（1）串联式冷却塔间接供冷控制策略（图 11）：

在串联模式中，冷水回水先经过板式换热器进行降温，自然供冷不足的部分由冷水机组承担。

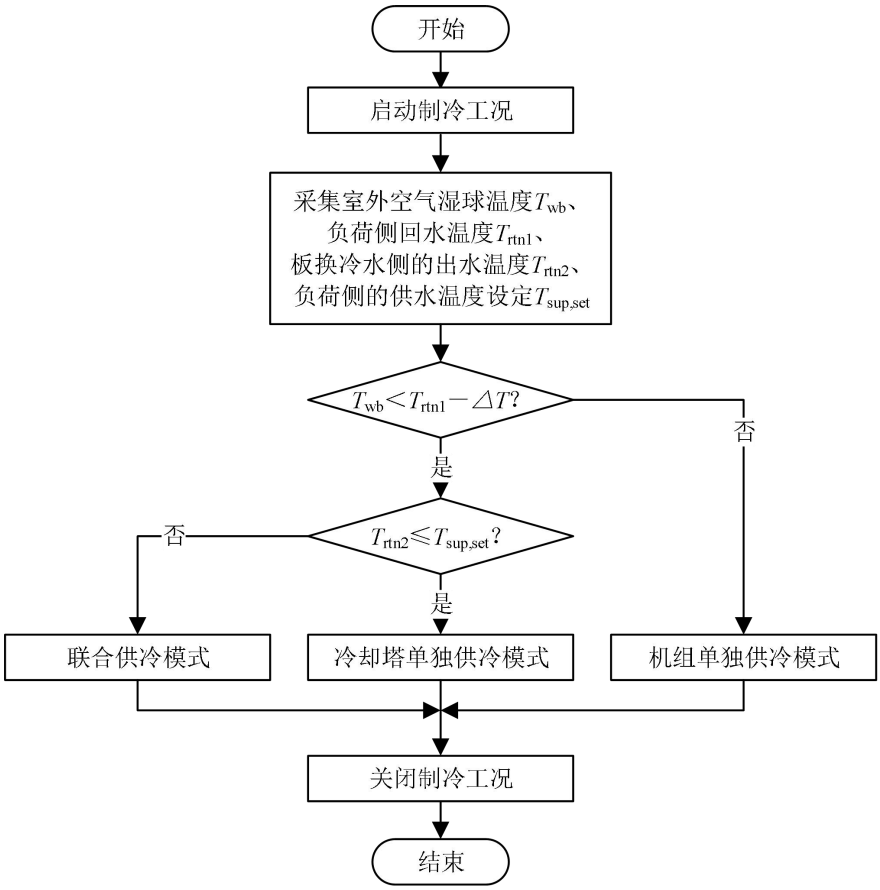


图 11　串联式冷却塔间接供冷控制逻辑图

当室外空气湿球温度（T_{wb}）低于负荷侧回水温度（T_{rtn1}）且有一定温差$\triangle T$时，说明可以部分或全部利用冷却塔进行供冷。反之，则说明只能用冷水机组供冷，即冷水机组单独供冷模式。

温差ΔT与板换的传热效率及冷却塔的效率有关，板换传热效率及冷却塔效率越高，ΔT可以选取的越小。

在采用冷却塔进行供冷时，当板换冷水侧的出水温度（T_{rtn2}）低于负荷侧的供水温度设定（$T_{sup,set}$）时，说明系统可以全部利用冷却塔进行供冷，即冷却塔单独供冷模式，反之，说明冷却塔的供冷量只能部分满足负荷的需求，还需冷水机组进行补充，即联合供冷模式。

（2）并联式冷却塔间接供冷控制策略（图 12）：

在并联模式中，当室外气象条件满足自然供冷时，冷水回水进入板式换热器，与来自冷却塔的低温水进行传热降温后作为冷水供水直接供给空调末端，反之，冷水回水进入冷水机组进行制冷。

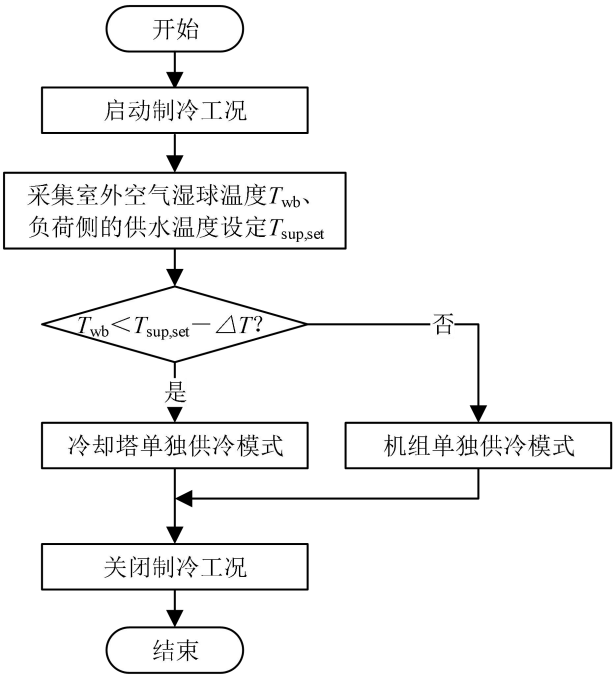


图 12　并联式冷却塔间接供冷控制逻辑图

当室外空气湿球温度（T_{wb}）低于冷水供水温度设定值（$T_{sup,set}$）且有一定温差$\triangle T$时（温差$\triangle T$应根据板式换热器效率和冷却塔逼近度确定），说明系统可以全部利用冷却塔进行供冷，即冷却塔单独供冷模式，反之，则说明只能用冷水机组供冷，即冷水机组单独供冷模式。

6 施　工

6.1 采　购

6.1.1 根据不同的项目特点，高效机房冷源设备可能会有一些特殊的设计要求，比如蒸发器冷水系统设计为大温差、冷水机组蒸发器和冷凝器阻力损失要求低于某一限值等，均应将具体要求列入设备采购技术文件中。

6.1.2 制冷季期间受室外气象参数的影响，建筑的冷负荷、冷却塔出水温度均会发生变化，在制冷季的初末期，冷水机组的冷水供水温度也可以适当提高，因此在整个制冷季期间冷源设备会涉及变温度、变流量工况的运行。为优化制冷机房系统的运行策略，并预测制冷机房整个制冷季的运行能效，需要确定冷源设备的变工况运行参数。

冷水机组制造企业应提供机组在不同冷水出水温度、冷却水进水温度、不同负荷率下、不同流量下的冷水机组的制冷量和输入功率等性能参数，并保证其准确性；高效机房系统的冷水泵、冷却水泵一般均设置为变频运行，因此水泵制造企业也应提供不同频率下水泵的流量扬程曲线、功率曲线、效率曲线等性能数据，对于并联运行的水泵还应提供并联水泵的流量扬程曲线，以及水泵并联运行时的变工况性能参数；对应室外湿球温度以及冷却水流量的变化，冷却塔的出水温度也会相应变化，冷却塔制造企业应能提供冷却塔变冷却水流量、变风量、变湿球温度工况下的冷却水出水温度。此外，设备的变工况性能参数应留存文档资料，为后期优化运行策略的制定提供依据。

6.1.6 冷却塔集水盘要有足够的水深，避免开机时空气进入冷却水管；同时，还需有足够的容积，避免关机时冷却水溢出。

6.1.9 为优化高效机房冷水、冷却水管路系统设计，降低管路系统的阻力，从而降低水泵扬程，节约水泵能耗，在制冷机房安装空间满足要求的条件下，冷水、冷却水管路宜选用低阻型的弯头、三通等构件。

常规制冷机房管路系统的设计一般采用90°弯头，根据《实用供热空调设计手册》，90°弯头的局部阻力系数高于2个45°弯头的组合，因此在机房空间允许的条件下，宜采用45°弯头以降低弯头的局部阻力。

常规制冷机房管路系统分支管与主管连接一般设计为直角三通，根据《实用供热空调设计手册》，直角三通分支管流向主管的局部阻力系数为1.5，而斜管三通分支管流向主管的局部阻力系数为0.5，因此建议在机房空间允许的条件下，宜采用斜管三通以降低三通的局部阻力。

6.1.10 为优化高效机房冷水、冷却水管路系统设计，降低水泵扬程，空调水系统宜选用低阻力型的阀门、过滤器等辅助配件。根据《实用供热空调设计手册》，相同管径的旋启式止回阀的阻力系数低于升降式止回阀，因此，在水泵出水管宜选用旋启式止回阀。同样，为降低水系统阻力，水泵进水管在满足过滤效果的前提下宜选用低阻型过滤器，在条件允许时可采用低阻力直角过滤器，将直角弯头和过滤器进行合并，以降低阻力。

6.2 水系统安装

6.2.3 本条是防止系统阻力增大的关注要点。防止过滤器堵塞导致阻力损失增大。

6.2.4 水泵气蚀可能影响水泵的性能甚至导致水泵不能正常运行，可采用顶平偏心变径接头、控制合适的进水高度等防止水泵气蚀的措施。

6.2.6 系统集气可能导致管网流量不满足要求，从而影响设备的正常使用工况，因此要防止管路系统集气导致管网水力工况恶化。

6.3 监测与控制系统安装

6.3.4 传感器的安装位置直接影响采集数据的准确性，其安装位置应能准确反映被测对象的实际参数。应按设计图纸并严格遵照产品说明书的要求进行安装。

6.4 装配式施工

6.4.5 施工部件包含所有管线、设备及其附件，预制加工装配图越接近实物尺寸数据，对装配式施工精度控制越有利。

6.4.6 若在预制加工图阶段未考虑如法兰垫片的空间、管道设备保温的施工空间、后期阀门手柄和温度计压力表的维保空间等因素，容易造成机房施工出现装配偏差、返工或维修操作不便等情况，不利于高效机房的长期运行。

6.4.8 分段对于装配式施工而言，是影响施工较为重要的环节，而对于系统而言，也意味着系统可能出现的漏点或能耗散失，所以施工与设计两个阶段要权衡考虑，为减少接驳隐患点宜尽量减少分段。

6.5 BIM 应用

6.5.1 全过程施工应用 BIM 理念可让机房形成的全过程变得可控，并实时与目标设计对比，进行纠偏。

6.5.4 本条依据国家标准《建筑信息模型施工应用标准》GB/T 51235，规定了符合机房设计的应用 BIM 技术建模的精度。此外，对 BIM 模型元素及元素信息作出限定是为了保证施工精度，保证机房施工质量，同时为机房后期运行提供必要信息，便于后期高效机房的维保。

6.5.7 本条规定了装配式机房 BIM 设计的要求，装配式机房模型应满足预制加工模型的精度要求，保证装配式机房施工的精度、与设计的吻合度。

7 调适与验收

7.1 调 适 流 程

7.1.1 调适需求文件是对项目调适目标进行指标分解、细化的综合文件，包括调适目标、参照标准、时间要求、成果文件要求、安全要求、培训要求、验收要求等；调适方案对项目实施层面的工作进行明确，包括调适工作内容、团队职责、沟通方式、过程文档提交方式、工作流程、步骤、时间计划等。

7.1.6 施工及运行阶段调适工作流程如图 13 所示。

1 资料核查应包括设计资料、设备资料和施工过程资料的核查；其中，自控系统资料核查应包括设计说明、设备材料表、系统图、控制逻辑说明、监控原理图、监控点表、平面图、安装大样图、监控机房、控制器/箱器箱内设备布置和配线连接图、接口文件等。

现场检查应包括符合性检查、施工缺陷检查，主要包括：

（1）符合性检查应包括设备安装位置、型号和铭牌参数符合性；系统形式、管路走向、管材质、管径规格、管道坡度、保温做法等符合性；阀门、传感器、执行器等附件规格符合性；

（2）施工缺陷检查应包括重点设备检查以及调节阀行程受阻、部件未留检修空间、温控器安装位置不当等系统管路的安装缺陷检查。

自控系统现场检查应包括下列内容：自控系统施工质量核查，核查结果应符合现行国家标准《智能建筑工程质量验收规范》GB 50339 的规定；检查确认流量、温度、湿度、压力等传感器安装位置，确认满足调适要求；检查确认电动开关阀、调节阀执行器安装位置、安装方向正确；检查确认控制器、模块安装位置正确、主备用电源线等连接正确，标识齐全且正确。

4 培训讲师宜包括调适顾问、设备与部件供应商代表、自动控制系统分包商代表；培训组织方应制定培训计划，确定培训内容、培训讲师，时间安排。

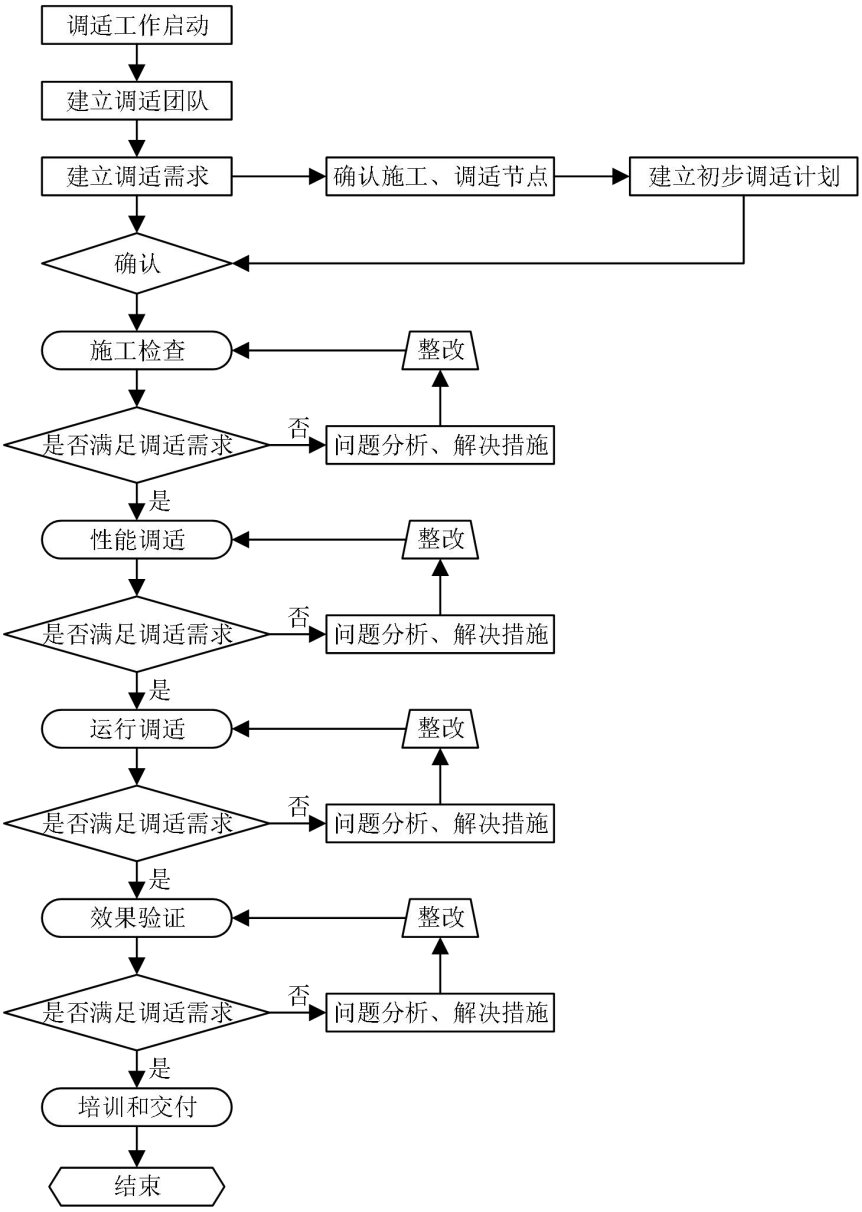


图 13　施工及运行阶段调适工作流程图

7.1.7　记录项目包含系统信息、位置、时间、结果、操作、见证人员等信息。调适顾问负责调适记录整理、归档，并作为调适报告的依据。

7.1.8　对于调适过程中不能快速解决的问题，应建立问题日志，日志中应记录问题发现、诊断、分析、解决处理及处理结果验证过程，相关测试数据、诊断报告等作为问题日志附件。

7.1.9　调适过程进度报告是描述调适过程中各项工作的完成情况和成果的文件。调适总报告是描述调适过程和最终调适结果的成果文件。

调适进度报告一般包括：高效机房进展概况，参与方工作完成情况、结果，工作中出现的问题及跟踪情况，尚未解决的问题汇总及影响分析，下一阶段的工作计划。

调适总报告一般包括：高效机房概况、调适范围、调适目标、调适周期、各系统调适过程、调适结果、发现的问题及处理、遗留问题及分析、后续建议等。

7.2 性能调适

7.2.3 在开展单机试运转前都应通过资料核查、现场确认等方式确认前期发现的问题是否整改完成并达标。单机试运转前应检查电气系统安装情况，确保供电稳定、相关设备的安全保护装置符合要求，保证人员及设备安全，另外单机试运转前需要设备厂家、工程总承包单位、机电设备安装专业承包单位、监理单位到场。

7.2.5 设备性能受室外气候参数、室内建筑负荷、现场测试条件等诸多因素的影响，导致设备性能调适过程中的性能测试工况可能会与产品标准要求工况存在偏差，因此在调适方案中应根据现场的实际情况予以明确。

7.2.6 当性能调适阶段处在过渡季，不具备制冷性能调适条件时，可开展部分性能测试，如水泵水流量、功率、效率，冷却塔风量等方面的调适。冷水机组性能调适在典型制冷季进行。

7.2.11 采用变频调速的冷水机组和变频泵一般功率均较大，所以产生的谐波不容忽视，由于谐波的产生是在机组和水泵运行时才会产生，并且与冷水系统的负载大小有关，因此需要在投入运行时首先测试各次谐波分量的大小，并根据现行国家标准《电能质量公共电网谐波》GB/T 14549 规定的方法计算出谐波总畸变率，如果设计时已配置了治理装置，则需要按照谐波干扰的大小对该装置进行调试并投入运行；如果设计时未设置治理装置，则需要分析各次谐波的大小，确定增加的谐波治理方案，并选择合适的治理装置。

7.4 效果验证

7.4.1 验证方案应获得建设单位的认可，确保验证方案的验证结果符合建设单位的要求。同时需同运行管理方进行充分沟通，保证方案实施过程中运行管理方的配合，效果验证前确保完成下列工作：

（1）运行调适时发现的问题已解决；

（2）评估未解决的问题对现有工作的影响程度，对后续调适工作方案进行适当调整。

7.4.4 效果验证时应对项目的运行记录进行核查，核查实际运行方式是否与系统功能相符，对于不相符的情况进行现场复核，提出分析结果和整改意见。核查的运行记录应至少包括运行人员的工作记录、制冷机房监控系统的运行记录。

7.4.5 一般情况下，效果验证局部系统性能等不满足要求是不可避免的，原因可能包括系统低负荷运行导致系统能效低，个别部件故障失灵、控制参数设定不合适等，应根据诊断分析原因采取相应整改措施。

8 运行与维护

8.1 运　行

8.1.2 “冷水机组频繁启停”具体表现为冷水机组使用过程中启动、停机过于频繁。造成该故障的可能原因包括：1）冷水机组启停策略不合理；2）冷水机组内部出现故障，无法正常启动或停机。建议检查冷水机组运行策略是否合理、检查冷水机组是否存在内部故障，确定冷水机组是否可以正常完成启停动作。冷水机组频繁启停故障会对冷水机组自身造成损坏，造成冷水机组寿命缩短，影响冷水机组正常工作和运行效果。

8.1.3 冷水机组运行应避免单机运行时间过长，“冷水机组单机运行时间过长”具体表现为原间歇运行的冷水机组，持续运行时间过长，或多台冷水机组未及时切换运行。可能发生的原因包括：①冷水机组启停控制策略不合适；②冷水机组原自动控制被修改为手动控制，且工作人员未及时手动关闭冷水机组；③远程控制的冷水机组通信故障，无法接收控制信号，无法实现正常停机动作；④手动控制的冷水机组未按时关机。建议检查冷水机组启停策略是否存在问题、检查冷水机组控制方式或检查传感器是否故障。该问题会造成冷水机组能耗过高、能源严重浪费，同时会影响冷水机组运行效果。

“冷水机组无需求运转”具体表现为冷水机组在无负荷需求的情况下依然运行，该建筑空调系统无末端空调（组合式空调箱、新风机组、风机盘管等）运转，但冷水机组正常运转工作，持续时间超过 30min。可能原因包括：①冷水机组 BAS 通信出现故障；②冷站按时间表运行，并未根据负荷水平进行自动调节；③冷水机组内部故障，无法正常启停。针对该故障建议核查是否有相应的关机控制策略或运行机制、排查通信是否存在问题、核对冷站运行时间表是否合理、排查冷水机组内部是否存在故障。该故障会造成冷站整体能耗过高。

8.1.4 应避免“冷水机组低负荷运行”，具体表现为冷水机组长期运行在较低负载率水平下，设备负荷率低于设定值的工况下连续运行总时长超过设定时长（只累计冷水机组运行时长，不计入冷水机组停机时长）。可能发生的原因包括：①冷水机组台数控制逻辑不合适；②冷水机组通信故障，无法实现根据负

载率自动调节控制功能；③冷水机组选型过大。建议检查冷水机组控制逻辑是否合理、检查冷水机组 BAS 系统是否正常运行、核算建筑负荷水平与冷水机组选型是否匹配。该问题会造成严重能源浪费、冷水机组能效低的后果。

8.1.5 应避免出现大流量、小温差运行，可能原因包括：①冷水出水温度设定过高；②水泵转速过高导致水量过大；③自动控制策略不合理；④末端空调设备无调节手段。针对该故障建议检查传感器是否正常工作、检查控制器接线、检查楼控系统通信是否正常。该故障会严重影响冷机能效水平，影响冷水机组运行效果。

8.1.6 “冷水供水温度重设”为机房典型控制策略之一，当冷水供水温度设定点在 1h 工作时段内变化小于 1℃，供水温度设定点低于最高设定点，且供回水温温差小于设计温差的 60%时，则认为供水温度无重设。可能原因包括：①无有效温度重设策略；②控制系统故障导致策略无法落实。建议核对具体运行策略的合理性并验证系统控制功能是否正常。冷水供水温度无法根据负荷情况进行设定值的调整，会导致系统整体性能降低，运行效果差，同时会造成一定的能源浪费。

8.1.7 机组喘振指冷水机组出现电流不稳定、大幅度波动，同时发出异常的气流噪声的现象。可能发生的原因包括：①机组冷凝压力过高；②机组蒸发压力过低；③机组运行负载较小；④压缩机内部存在故障。建议验证冷水机组关键运行参数是否正常、验证机组性能与建筑负荷是否匹配，尽量使负载率在 30%以上，检查压缩机是否存在内部故障。冷水机组喘振不及时处理，会造成机房噪声较大，同时会损坏压缩机。

8.1.8 设定频率与反馈频率相差过大说明水泵变频功能出现异常，水泵设定频率与反馈频率相差超过 30%，可能原因包括：①人为手动干预操作；②水泵控制器不能正常工作；③水泵频率反馈信号故障。针对该故障建议检查水泵运行策略、检查水泵是否按合理频率正常运行、检查传感器是否掉线等问题。该故障会造成水泵运行无法满足需求，影响水泵流量从而影响制冷效果，同时该故障还会造成能耗浪费。

8.1.9 水泵根据负荷需求调整运行时间及台数可以实现输配系统的节能，避免无负荷需求的情况下水泵依然运行，包括该建筑空调系统无末端空调（组合式空调箱、新风机组、风机盘管等）运转，二级泵系统中一次泵运转而二次泵停

转。可能原因包括：①自控控制策略不合理；②水泵控制信号通信出现故障；③水泵为手动控制，操作流程不合理；④水泵内部故障，无法正常启停。针对该故障建议排查通信是否存在问题、核对水泵运行时间表是否合理、检查水泵是否为手动控制且未及时关机、排查水泵内部是否存在故障。水泵无需求运转会造成冷站能源严重浪费，因此应避免。

8.1.10 当冷却水出水温度逼近度超过设定值，且持续一段时间，则认为冷却水温超过合理范围。可能原因包括：①冷却水供水量不足；②冷却塔冷却能力较低，换热效率较低；③冷却塔控制策略不合理；④冷却水泵控制策略不合理。针对该故障建议核查冷却水量是否合理、验证冷却塔性能是否正常、验证冷却塔控制策略是否合理。冷却水供水温度高，导致机组冷凝温度升高，冷凝压力升高，机组性能下降，还有可能出现机组高温报警；冷却水供水温度过低，可能导致排气温度过低，影响压缩机回油，引起压缩机故障。

8.1.11 设定频率与反馈频率偏差超过 30%，说明冷却塔风机变频功能出现异常。可能原因包括：①人为手动干预操作；②风机控制器不能正常工作；③风机频率反馈信号故障。针对该故障建议检查冷却塔运行策略、检查冷却塔是否按合理频率正常运行、检查传感器是否掉线等问题。该故障会造成冷却塔运行效果不佳，从而影响系统制冷效果，该故障还会造成能源浪费。

8.1.12 传感器数据不准确或读数故障会影响数据获取、基于传感器数据的控制、分析等功能，因此建议定期排查检修。如当传感器无读数持续时长超过 24h 时，可以认为该传感器出现了无读数故障。可能原因包括：①传感器损坏；②传感器掉线、通信故障。针对该故障建议检查传感器内部是否存在损坏、检查传感器通信问题。该故障影响数据获取，从而影响基于该数据的控制、分析等功能。

当传感器读数长时间保持不变，且时间超过 24h，则认为该传感器出现读数冻结故障。可能原因包括：①传感器损坏；②数据传输通信故障；③测量数据超出传感器量程。针对该故障建议检查传感器是否存在损坏等问题、检查传感器数据传输是否正常、核对传感器量程是否适用。该故障影响数据获取，从而影响基于该数据的控制、分析等功能。

8.1.13 通过衡量能效指标可及时发现目前系统存在的问题，制冷机房系统能效比低于合理值表明整体系统能效过低。可能原因包括：①重点设备存在故

障，如冷水机组、水泵、冷却塔；②运行策略不合理；③系统设计、设备选型不合理。建议验证冷水机组、水泵、冷却塔设备性能、验证系统运行策略的合理性、校核系统设计与建筑实际负荷需求是否匹配。制冷机房系统能效比是评价整个机房运行的重要指标，制冷机房系统能效比过低是设备、控制等多方面原因综合产生的结果。