

集中空调冷却水系统变流量研究综述与展望

郑鹏杰

深圳市华阳国际工程设计股份有限公司广州分公司

摘要: 本文对集中空调冷却水系统变流量以往的相关研究进行分析, 探讨其可行性及节能效果, 认为集中空调冷却水变流量是可行的, 但由于冷水机组和水泵能耗变化不同, 其节能效果需要数学计算模型或实验平台结合大量工程实测数据分析比较才会更贴合实际。并希望, 在往后的研究中, 能试图建立分地区的冷却水变流量计算模型, 对工程设计具有指导意义。

关键词: 集中空调; 冷却水; 变流量; 节能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.070

引言

为实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的“双碳”目标, 节能减排必然是我国实现可持续发展的重要措施。在建筑能耗中, 集中空调系统能耗约占建筑能耗的40%~50%。集中空调系统中, 冷却水系统能耗约占15%~20%。工程设计中, 集中空调系统设备一般是按照建筑最大计算负荷设计选型, 而集中空调系统大部分时间都是在部分负荷运行, 据研究^[1], 商业办公建筑集中空调系统有一半的时间运行在满负荷的50%。因此, 冷却水系统的节能设计对空调系统的节能设计具有重要意义, 对建筑节能有一定贡献。

一直以来, 业内对集中空调冷却水系统采用变流量是否节能存在不同的看法, 也有不少研究提出了不同的观点, 为此, 笔者对近20年来关于冷却水变流量相关研究进行分析, 探讨冷却水系统变流量可行性及节能效果。本文提到的冷却水变流量均是冷却水泵变频实现的。

一、集中空调冷却水系统简介

制冷系统都需要对主机冷凝器进行冷却, 当采用水冷式冷凝器时, 应设计合理的冷却水系统。按是否与空气直接接触, 分为开式系统和闭式系统。开式系统由于水与空气存在直接接触, 水中可能慢慢会存在溶解氧和杂质, 因而需要对水质进行处理; 闭式系统冷却水与空气不直接接触, 水质较好, 但在保证同样冷却效率的情况下, 闭式系统的投资通常高于开式系统。按使用的冷却水分类, 分为直流式系统和循环式系统。直流式系统中冷却水经过冷凝器之后直接排到系统之外, 不再重复利用, 存在水源浪费的可能, 因此适用于这种系统的一般为天然水, 如自来水、地表水、地下水等, 当采用后两者时, 需要综合评判水资源水质及环境影响, 因此该系统的使用存在一定限制的; 循环式系统, 冷却水经过冷凝器后升温, 并采取一定途径, 如与空气换热、地表

水、地下水、土壤等换热, 重新成为较低温的冷却水, 再输送至冷凝器, 形成循环^[2]。

目前, 集中空调冷却水系统通常采用了开式循环冷却水系统, 冷却水在带走冷凝器热量之后, 经冷却水泵输送至冷却塔, 在冷却塔与室外空气直接接触进行冷却, 再输送至冷凝器, 如此循环, 以确保冷凝器的热量能全部带走, 保证冷水机组安全高效运行(如图1)。

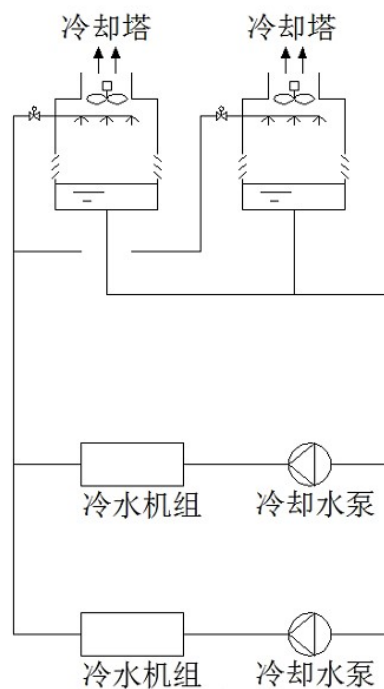


图1 集中空调冷却水系统示意图

二、关于冷却水系统变流量的研究现状

(一) 节能与否存在争议

张谋雄^[3]以电动离心式机组为例, 分析其在部分负荷下的制冷效率。得出在当主机不在满负荷运行时, 若冷水机组冷却水变流量运行, 会严重影响冷水机组的效率, 其综合节能效果不佳, 同时认为冷却环路没有变流量的要求, 不建议采用冷却水变流量运行。

徐菱虹^[4]认为采用加调节阀来调节的定流量冷却水系统会导致能源浪费, 采用冷却水泵变频调速, 并且当系统处于部分负荷时, 适当减少冷却水量, 同时搭配冷却塔风机的通断或变频运行, 冷却水系统的能耗会明显减小, 研究得出节能效果约30%, 且在运行时间较长的空调系统, 其初投资回收期一般在1~2年, 具有显著的节能和经济效益。

曾振威^[5]不赞成徐菱虹^[4]的观点, 提出仅在冷却水

泵上装变频器使其变频运行，虽然水泵有一定的节能效果，但会导致冷水机组冷凝温度升高，从而增加冷水机组能耗，计算得到的节能效果为12.3%（以冷却水泵和冷水机组的总耗电量为基准），另外冷却水变流量对冷水机组的安全运行、稳定性以及寿命均会产生不良影响，要综合考虑整个空调系统节能，不能因小失大。

孙一坚^[6]对曾振威^[5]计算结果提出修正意见，计算冷却水泵变流量运行产生的节能效果时，冷水机组本身的能耗不应计算在内，另外对该文提出的对冷凝器结垢和冷水机组寿命的影响，表示这种不利影响很小。并指出，冷却水变流量适用于大多数空调系统，其节能的关键在于控制系统程序设计的准确性，以及做好技术经济比较。

综上，集中空调冷却水变流量运行，业内仍存在争议。笔者认为，从理论上分析，集中空调冷却水变流量时会降低冷水机组能效，但水泵变频也能降低不少运行能耗，两者之间的“此消彼长”，需要寻求一个平衡点，冷却水变流量运行的节能效果实际上就是冷却水泵减少的运行能耗与冷水机组增加的能耗之间的差值。

（二）最佳控制策略

在实际工程中，影响空调水系统的因素很多，如工程的建筑类型、工程所在地气象条件、冷水机组及水泵性能、空调水系统控制方式等等。因此，讨论节能效果，固然离不开冷却水变流量的控制方式，胡磊^[7]曾提出影响集中空调冷却水变流量运行节能效果的一个关键可控要素就是其控制方式。目前，工程上常用的空调冷却水变流量控制方法有定冷却水供回水温差控制和定冷却水出水温度（也即定冷凝温度）控制两种。

李苏泷^[8]认为冷却水变流量运行的节能效果虽然受冷水机组性能影响，但更与控制方式相关，文中结合某台离心式冷水机组，对比了定温差控制法（工程上常用控制方式）和定冷凝温度控制法不同的节能效果，得出当水泵电功率相对于主机电功率大于1/10时，定冷凝温度控制法，比起定温差控制法，节能效果更好，控制上也简便易行。也指出了，冷却水变流量对冷水机组能效的负面作用相对水泵变频运行节能的正面作用要小，水泵相对冷水机组的电功率越大，节能效果越明显。

金星^[9]针对冷水机组制冷循环建立数学计算模型，模拟冷却水系统定、变流量运行对变频冷水机组性能的不同影响，计算结果表明，在限定条件下，随着系统负荷逐渐降低，冷却水定、变流量运行都会导致冷水机组冷凝温度都有不同程度的降低，系统COP会先增大后减小，部分负荷率大约为70%时系统COP值达到最大值。并提出，冷却水系统采用定、变流量运行时哪种方式更节能，需要通过技术比较，应考虑水系统中水泵总能耗占冷水机组总能耗的比重，水泵总能耗所占比重越大，变流量运行的节能效果越明显，这与李苏泷^[7]得出的

结果是一致的。

胡磊^[7]结合某实际工程，分析计算采用不同控制方式时，集中空调冷却水系统变流量运行的综合节能率，针对该工程得出采用定37℃冷凝器出水温度控制方式的节能效果最好，其综合节能率达25.3%。

曲凯阳^[10]提出了一种以实现系统冷却水泵和冷却塔风机最小能耗运行为目标的最优节能控制策略，通过系统调试确定不同外界条件下，如不同建筑冷负荷、室外干湿球温度等条件下，冷却水泵和冷却塔风机最小能耗运行对应的频率，某一外界条件均有对应的运行频率，系统运行时，调整水泵和风机运行频率与外界条件对应即可实现节能运行，但是需要大量的测试数据和调试工作，以建立数学模型计算，并通过工程实践数据改善数学模型。

杨露露^[11]结合某实际工程，建立集中空调冷却水系统的耗功率数学模型，包括冷水机组、冷却水泵及冷却塔风机的耗功率，在不同的系统负荷率及室外湿球温度下，对比分析在6种不同运行控制方式下的冷却水系统能耗，确定了不同负荷率时的最佳控制方式。负荷率100%时，最佳控制方式为定冷却水进出水5℃温差，求最佳冷却塔出水温度；在负荷率为70%~90%，最佳控制方式为定冷却水进出水4℃温差，求最佳冷却塔出水温度；在负荷率为60%时，最佳控制方式为定冷却水进出水3℃温差，求最佳冷却塔出水温度。

朱光勇^[12]在仿真软件上建立冷却水系统模型进行仿真模拟，根据某时刻室外湿球温度、冷却塔进水温度来控制冷却水泵和冷却塔风机的运行频率，采用不同的控制信号使冷却塔出水温度达到预定的值时，使冷水机组和冷却水泵能耗最小的控制策略。并在现场采集相关数据验证该控制策略效果优良，节能效果明显。

显然，在探索冷却水变流量的控制方式时，基本出发点均是在满足空调不同负荷率的前提下，使冷水机组、冷却水泵、冷却塔等设备能耗最少。

（三）节能量计算方法

在冷却水系统确定之后，这其中当然包括冷水机组选型、冷却水泵选型、控制系统及其控制策略等，冷却水变流量的节能量与两个条件有关：①运行期间空调负荷率分布；②运行期间室外空气湿球温度分布。那如何有效计算其节能效益？

文献^{[3]~[6]}虽然都计算了冷却水变流量的节能效果，其计算方法都是参照ARI标准中计算冷水机组IPLV的方法，或者修正ARI标准所采用的空调负荷分布，但曲凯阳^[13]认为文献中的计算方法只能用于总体上评价空调冷却水变流量是否节能，但用于计算某个具体系统的节能量，可能会与实际情况出现较大误差。该文通过计算系统某一负荷率下，在室外湿球温度分别为26.6℃和27.6℃时，冷却水定、变流量的能耗差别，得出冷却水

变流量运行的节能效果与系统负荷率有关,但受室外湿球温度影响不大。因此提出了在实际工程的计算中,只要计算室外设计湿球温度下不同系统负荷率时冷却水变流量的节能量,然后根据实际的空调负荷分布率就能计算出全年的节能量,计算结果可用于评价工程项目冷却水变流量的可行性。但该文没有给出具体的计算实例。

钱辉^[14]则根据曲凯阳^[13]提出的计算思路,针对某一实例,采用定温差控制法,得出在相同负荷率下,即使是不同的冷凝器进水温度(室外湿球温度),冷却水系统变流量运行的节能量相差甚小,从而论证了曲凯阳^[13]提出的结论是可行的。

李继路^[15]利用某工程项目构建在线实验平台,通过实测数据进行对比分析,说明冷却水变流量是否节能,并探讨了两种实验方法,单机实验方法更快捷,若能选到具备代表性的负荷段,建议采用;而并机实验方法更全面,可以作为优选方案。

王硕^[1]对一工程实例进行理论分析,结果显示集中空调冷却水系统变流量运行具有一定的节能潜力,该计算案例理论上全年可节约运行费用6.85%,并以一改造后实际运行项目为佐证,全年实际节约运行费用为8.15%,理论计算方法具备一定的参考性,但冷却水系统变流量节能效果与很多因素有关,具体应用需对冷却水系统方案进行技术性分析,再确定是否采用。

如前文所述,冷却水变流量是否节能以及节能量如何,由于影响系统的因素较多,是无法简单的通过理论分析推断,需要建立准确的数学模型或实验方法,并结合工程上的实测数据,才能针对性的具体分析项目中冷却水变流量系统的节能量。

三、结论与展望

(一) 结论

1) 集中空调冷却水变流量是可行的,但变流量时冷水机组和水泵之间能耗的“此消彼长”,需要寻求一个平衡点。

2) 众多影响因素中,变流量控制策略是影响冷却水变流量节能效果的关键可控要素,要尽量使冷水机组、冷却水泵、冷却塔等设备能耗最少。

3) 冷却水变流量节能量的计算,需要以数学模型或实验方法为基础,结合大量工程实测数据进行分析比较才会更贴合实际。

(二) 展望

1) 工程设计中设备选型不应过大,要有详细计算作为依据,如当地全年负荷模拟计算、水系统水力计算等。

2) 结合控制技术的发展,分地区测试实际工程在不同负荷率的大量运行数据,用于修正和优化数学计算

模型或实验平台。

3) 根据现有工程的运行数据和节能效果,结合当地气象条件,试图建立分地区的冷却水变流量计算模型,便于设计人员能在方案初期判断采用该系统的可行性及节能效果,具有指导意义。

参考文献

- [1] 王硕. 集中空调变流量冷却水系统节能分析[J]. 制冷与空调, 2016, 16(4): 49-51.
 - [2] 全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处. 全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021
 - [3] 张谋雄. 冷水机组变流量的性能[J]. 暖通空调, 2000, 30(6): 56-58.
 - [4] 徐菱虹, 王凌云. 集中空调冷却水系统的节能运行[J]. 暖通空调, 2000, 30(3): 82-84.
 - [5] 曾振威. 节能不能因小失大一兼与《集中空调冷却水系统的节能运行》商榷[J]. 暖通空调, 2002, 32(4): 32-33.
 - [6] 孙一坚. 关于集中空调冷却水系统节能运行一评《节能不能因小失大》[J]. 暖通空调, 2003, 33(2): 39.
 - [7] 胡磊, 卢军. 集中空调冷却水变流量节能研究[J]. 暖通空调, 2011, 41(9): 137-140.
 - [8] 李苏沈, 邹娜. 空调冷却水变流量控制方法研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(12): 51-54.
 - [9] 金星, 张小松. 变频冷水机组部分负荷下冷却水定变流量性能研究[J]. 建筑科学, 2008, 24(8): 85-89.
 - [10] 曲凯阳. 空调冷却水系统最优节能控制策略[J]. 暖通空调, 2010, 40(4): 110-114.
 - [11] 杨露露, 卢军. 空调冷却水系统节能控制策略[J]. 暖通空调, 2013, 43(4): 97-99.
 - [12] 朱光勇. 中央空调冷却水系统节能控制策略[J]. 科技与创新, 2017, 11: 51-52.
 - [13] 曲凯阳, 胡德祥, 王连吉, 吕凤海. 中央空调冷却水泵变频节能的讨论[J]. 建筑热能通风空调, 2009, 28(5): 82-84.
 - [14] 钱辉, 王健. 集中空调冷却水变流量问题讨论[J]. 制冷空调与电力机械, 2010, 135(31): 8-11.
 - [15] 李继路, 刘谨, 费良旭. 集中空调冷却水变流量与定流量系统能效在线比较方法探讨[J]. 暖通空调, 2020, 50(7): 103-105.
- 作者简介: 郑鹏杰(1989.11-), 男, 汉族, 广东汕头人, 工程师, 硕士, 主要从事暖通空调系统设计。