

Analysis and Prevention of Surge Phenomenon of Centrifugal Chiller in Data Center

Jie Cui Siqi Lu Wei Liu Yunqin Zhang Zhuzhe Shen

Data Center of ABC, Beijing, 100095, China

Abstract

Centrifugal water cooling unit is often used in the refrigeration system of data center because of its large refrigeration capacity, low energy consumption and high reliability. However, the centrifugal refrigeration compressor in the unit will surge when the load is too low or the condensation pressure is too high. When surge occurs, the performance of the compressor deteriorates rapidly, which reduces the refrigeration efficiency of the whole water-cooling unit and endangers the safe and stable operation of data center equipment. This paper studies the surge phenomenon of centrifugal water-cooled unit, analyzes the causes of unit surge, gives suggestions on surge prevention from the perspective of design and operation and maintenance, and puts forward the solutions to surge in the operation and commissioning stage of data center combined with practical cases, so as to provide reference for design, operation and maintenance.

Keywords

data center; centrifugal chiller; surge control; operation strategy

数据中心离心式冷水机组喘振分析及防治

崔杰 鲁思棋 刘薇 张雲钦 沈朱哲

中国农业银行数据中心, 中国·北京 100095

摘要

离心式水冷机组因其制冷量大、能耗低、可靠性高等优点常被用于数据中心的制冷系统中,但其机组内的离心式制冷压缩机在负荷过低或冷凝压力过高时发生喘振现象。喘振发生时,压缩机性能迅速恶化,导致整个水冷机组的制冷效率降低,危及数据中心设备的安全稳定运行。论文对离心式水冷机组的喘振现象进行研究,分析造成机组喘振现象的原因,分别从设计和运维角度给出喘震预防的建议,结合实际案例,提出了数据中心运行调试阶段喘振的解决方法,为设计和运维提供参考。

关键词

数据中心; 离心式冷水机组; 喘振预控; 运行策略

1 引言

连续稳定地将机房内产生的热量转移到外部环境中是数据中心制冷空调系统的主要任务,可靠的制冷系统有助于数据中心内部各系统的高效稳定运行。

离心式冷水机组具有制冷量大、占地面积小、能耗低、等优点,比活塞式和螺杆式的性能系数更高^[1],是大型数据中心制冷系统经常采用的冷水机类型^[2],机组的主要部件为离心式制冷压缩机、冷凝器、蒸发器、节流装置、制冷剂、制冷剂系统、润滑系统、控制系统等。

其中,图 1 为数据中心常采用的冷冻水空调系统简图。

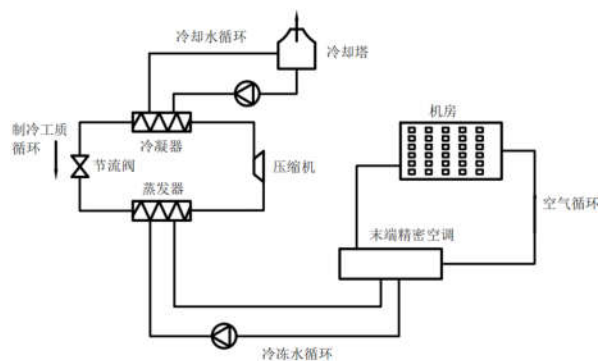


图 1 冷冻水空调系统简图

【作者简介】崔杰(1995-),男,中国内蒙古呼和浩特人,硕士,工程师,从事数据中心运维管理研究。

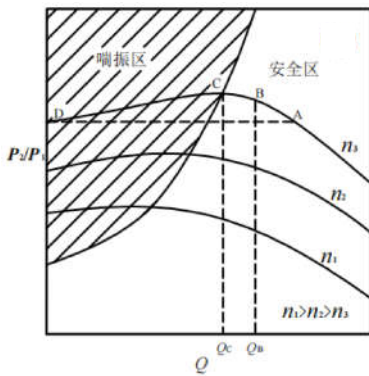
2 离心式水冷机组喘振现象

喘振作为离心式水冷机组固有的特性,在实际运行中,

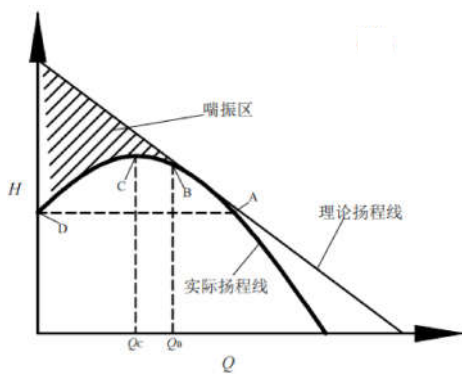
离心式压缩机会在负荷过低或冷凝压力过高时发生喘振现象,喘振发生时,压缩机性能迅速恶化,导致整个水冷机组的制冷效率降低。

2.1 喘振现象内在机理

图2(a)为实际工况时,离心压缩机在不同转速 n_i 下出入口压缩比随流量 Q 变化曲线。在转速一定时,曲线最高点C称作喘振点,也是压缩机扬程 H 随流量 Q 变化下性能曲线的最高点,见图2(b)。当机组在B点运行时,随着负荷的增加,而冷凝器不能被及时冷却时,为了向外界排放更多的热量,需要压缩机出口的制冷工质温度更高,压力更大,使工作点由B点向C点靠近。当负荷持续增加导致工质流量 $Q < Q_c$ 时,工作点会从C点跳到D点,压缩机出口压力变为 P_D ,而冷凝器的压力仍为 P_C ,导致压力差大于压缩机的扬程,工质倒流,喘振现象发生,冷凝器压力下降,直至其压力与压缩机出口压力相等,回到工作点A,由于负荷依然存在,又会到达工作点B,如此整个机组周期性的反复喘振现象发生。



(a) 离心式压缩机压缩比 P_2/P_1 随流量 Q 变化图



(b) 离心式压缩机扬程 H 随流量 Q 变化图

图2 离心式压缩机变化图

2.2 喘振危害

在数据中心建设运营初期,IT设备负载较低,此时数据中心冷却系统处于低负载运行,易发生喘振现象^[1]。机组

喘振发生时的危害主要体现在以下几个方面:

- ①运行时机组将伴随着剧烈的电压、电流波动,机组无法正常运行。
- ②在工质对叶片的连续冲击下,叶轮应力增加,加剧轴承磨损,损坏机组部件。
- ③压力、流量的波动造成系统内仪器、仪表的损坏。
- ④巨大噪声影响现场运维人员的正常工作。

3 喘振的原因与预防

3.1 喘振的原因

离心式冷水机组发生喘振的主要原因是冷凝压力过高或吸气压力过低,导致冷凝压力过高或吸气压力过低的外在原因主要包括以下四方面。

3.1.1 冷水机组选型原因

冷水机组选型偏大,前期IT设备投产前期,最低负荷与最小单机冷量不匹配。

3.1.2 冷凝器原因

对于水冷型冷水机组:

- ①冷却水流量不足。
- ②冷凝器结垢,导致小温差偏大。
- ③冷却塔散热性能差,且室外环境潮湿、炎热。

对于风冷型冷水机组:

- ①冷凝器散热空气流量不足。
- ②冷凝器结垢,导致小温差偏大。
- ③冷凝器散热性能差,且室外环境炎热。

3.1.3 蒸发器原因

- ①冷冻水流量不足。
- ②冷冻水出水温度设置偏低。
- ③蒸发器结垢,导致小温差偏大。

3.1.4 制冷剂原因

- ①制冷剂泄露或添加量不足。
- ②制冷剂中含油较多。

3.2 喘振的预防

对于数据中心,系统的安全稳定运行十分重要,需在系统设计及运维管理阶段针对喘振现象进行预防。

3.2.1 设计阶段

①机组设计选型时,严格地进行冷热负荷计算,预估数据中心运行前期最小的系统负载。在设备选型中,压缩机可以卸载以满足最小负载而不会出现喘振,如前期负载较小,可采用大小冷机搭配策略,或配备适当数量的螺杆式冷水机组。

②可按照比设计条件更高的冷却水温配置冷凝器,即冷凝器型号可偏大,虽然这会稍微降低设计效率,但它可确保在异常炎热的天气中避免喘振的发生。

③合理地选择冷却塔和冷却水泵,根据预期的最高环境湿球条件选择冷却塔,并在冷却水泵选择中保证足够的扬

程,以确保冷却水流量满足冷水机组的要求。

3.2.2 运维管理阶段

①结合运维最佳实践,设置合理的冷源控制逻辑,如同时开启多台冷却塔,避免冷却流量不足。

②低负载时,在确保末端空调提供足够冷量的基础上提高冷冻水供水温度设定值。在允许的条件下,降低冷却水温度设定值。

③重视对冷机、冷却塔等系统的维护,定期开展水质监测、水质加药处理以及冷却塔、冷凝器清洗服务,保障机组小温差在允许的范围,同时保证冷却塔保持较高的换热效率。

④结合系统架构和配置,从系统层面寻找防止喘振的最佳实践。

4 实际运行中喘振控制的最佳实践举例

某数据中心离心机组安装完成后,末端空调设备及相应的假负载还未完成安装,末端冷冻水路不通,冷机无法调试,即使通过分集水器进行冷冻水旁通,也仅仅使冷机能够开机运行,缺少热负荷,或者热负荷过小,无法达到冷机下限负荷,此时启用冷机会发生喘振。在实际运行中,可使用图3所示方法对冷机进行无负荷调试,该方法利用板式换热器将冷机冷凝器的热量传至蒸发器,带走蒸发器侧的冷量,从而使冷机冷量与热负荷相匹配。具体调试步骤为:

①开启分集水器中的旁通阀门,在末端空调没有安装的情况下,确保水路畅通形成循环。

②将冷冻水侧冷机和板换得阀门全开,确保冷机和板换水路畅通,冷机制取的冷水和板换充分换热,正常开启冷冻水泵,手动调整频率为45Hz以上,并确保水路循环正常。

③将冷机冷却水阀门全开,板换冷却水侧阀门部分开启,开启冷却水泵,确保水路循环正常,调整水泵频率为

41~45Hz,先不开启冷却塔风机。

④冷冻水和冷却水正常情况下,开启冷机,进行单机试运转。

⑤冷机冷却水温开始升高,冷冻水开始降温。

⑥将板式换热器阀门的开度在25%~100%进行调整,改变其换热能力。

⑦根据冷却水温情况部分开启冷却塔风机,以带走压缩机轴功率为准。

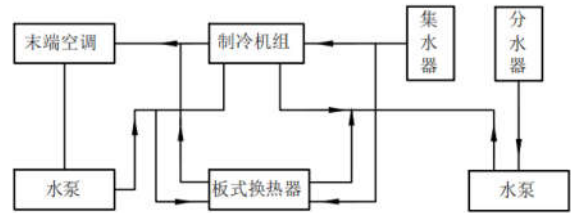


图3 板式换热器充当假负载进行冷机无负荷调试简图

5 结语

论文针对数据中心常采用的离心式水冷机组的喘振现象进行探讨,深入分析喘振的内在机理和危害,介绍了造成机组喘振现象的原因,分别从设计和运维角度给出喘震预防的建议,结合实际案例,提出了数据中心运行调试阶段喘振的解决方法,为设计和运维提供参考。

参考文献

- [1] 王跃峰.离心式冷水机组在空调系统中的应用分析[J].科学之友,2011(11):22-23.
- [2] 侯瑞.山西某银行数据中心冷水机组选用对比分析[J].山西建筑,2020,46(9):97-98.
- [3] 王亮.数据中心低负荷下制冷运行方案[C]//2017年中国通信能源会议,2017.