

集中空调系统的可靠性分析

青岛理工大学 李春娥[☆] 董 华 李 丽
中国建筑发展有限公司 张永全

摘要 运用系统可靠性理论,结合集中空调系统的功能特点,建立了可靠性数学模型。在空调系统各组成单元故障模式分析的基础上,分别建立了集中空调系统和制冷系统的故障树。采用最小割集分析法确定了导致制冷系统失效的主要因素,提出了改善集中空调系统可靠性的途径。

关键词 集中空调系统 制冷系统 可靠性 故障模式 故障树

Reliability analysis of central air conditioning systems

By Li Chun'e[★], Dong Hua, Li Li and Zhang Yongquan

Abstract Based on the reliability theory and the function analysis of central air conditioning systems (CACS), establishes a mathematic model of the system reliability. Analysing the failure modes of each component, constructs the fault trees of both CACS and refrigeration system. Finds out the main factors causing the refrigerating system failure by the minimal cut set analysis (MCSA). Proposes the measure to improve the reliability of CACS.

Keywords central air conditioning system, refrigeration system, reliability, failure mode, fault tree

★ Qingdao Technological University, Qingdao, Shandong Province, China

①

0 引言

可靠性是集中空调系统的重要性能参数,指系统在规定的条件下和规定的时间内完成规定任务的能力。它是一个综合性能参数,与空调系统的其他许多性能相联系,其中包括下列三种特性:无故障性、耐久性、可维修性。集中空调系统的无故障性是指集中空调系统在规定时间内没有任何干预条件下连续不断地保持其工作能力的性能。在决定集中空调系统可靠性的各种性能中,无故障性是最基本的,正是由它来保证系统完成自身的功能。系统的耐久性 is 保持其工作能力持续到因技术维修而使工作能力必须间断的极限状态的性能。它研究的是系统在整个使用期内的工作情况,且认为若不采取修理和预防措施去恢复在使用过程中丧失了的工作能力,系统是不可能长期工作的。可维修性是说明系统具有适应技术维修的性质,即是否适于通过修理和维护保养手段来预防系统故障和损坏,发现其原因及消除其后果的性质,它仅仅

在系统维修时才表现出来。系统的耐久性直接关系到系统必须在什么时候停止工作,以便维修和保养,所以系统的可维修性只是耐久性指标的一个组成部分。

故障的存在对集中空调系统非常有害,不仅会导致能源的浪费,而且还会影响室内的舒适性,缩短设备的使用寿命,严重地影响集中空调系统的可靠性。我国在 20 世纪 60 年代首先在电子工业部门进行了可靠性技术开拓性工作,经 70 年代逐步发展,至 80 年代在现代武器装备中开始全面推行可靠性、维修性、保障性,取得了显著的成绩。但在暖通空调领域对其系统可靠性的分析尚处于研究

①☆ 李春娥,女,1977 年 1 月生,在读硕士研究生,助理工程师
266033 青岛理工大学 284 信箱
(0532) 85071258 (0) 13658689824
E-mail: sophie_lce@163.com

收稿日期:2005-06-08

一次修回:2005-10-25

二次修回:2006-03-06

1 集中空调系统的组成及功能分析

集中空调系统是由相互作用和相互依赖的多个单元组成的有机整体,其功能由多个单元共同作用来实现,通过自上而下的功能分解,可得到系统功能的层次结构。

在建立可靠性模型时既要考虑可能发生的故障引起的维修及保障要求,即基本可靠性模型,也要考虑系统在执行任务过程中完成规定功能的概率,即任务可靠性模型。基本可靠性模型是用以估计产品及其组成单元可能发生的故障引起的维修

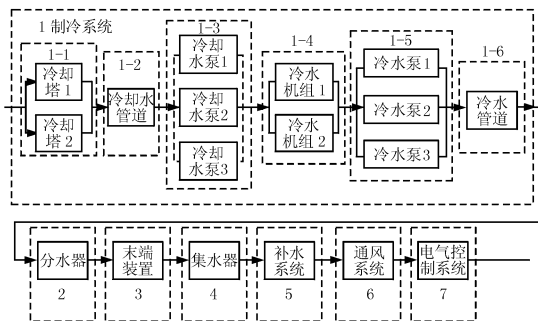
式中 R_s 为整个集中空调系统的可靠度; $R_i, R_{1-j}, R_{1-j-k} (i=1\sim 7, j=1\sim 6, k=1\sim 3)$ 分别为各层次单元的可靠度。

在整个集中空调系统运行期间,凡是影响空调系统工作,造成室内工况不能满足规定要求的事件都称作故障事件。集中空调系统中如果有一个部件

```

graph LR
    In(( )) --> CT1[冷却塔 1]
    CT1 --> CT2[冷却塔 2]
    CT2 --> CW1[冷却水管道]
    CW1 --> CWP1[冷却水泵 1]
    CWP1 --> CWP2[冷却水泵 2]
    CWP2 --> CWP3[冷却水泵 3]
    CWP3 --> BWP[补水泵]
    BWP --> BWP2[补水泵 2]
    BWP2 --> CWU1[冷水机组 1]
    CWU1 --> CWU2[冷水机组 2]
    CWU2 --> CWP4[冷水泵 1]
    CWP4 --> CWP5[冷水泵 2]
    CWP5 --> CWP6[冷水泵 3]
    CWP6 --> CW2[冷水管]
    CW2 --> WD[分水器]
    WD --> ACWP[空调供水管]
    ACWP --> CWT[集水器]
    CWT --> ACWR[空调回水管]
    ACWR --> VS[通风系统]
    VS --> ECS[电气控制系统]
    ECS --> Out(( ))
  
```

任务可靠性模型是描述完成任务过程中产品各单元的预定作用并度量工作有效性的一种可靠性模型^[2]。显然,系统中储备单元越多,其任务可靠性就越高。集中空调系统的任务可靠性框图如图3所示。



可以看出,任务可靠性模型是串、并联混合模型。根据可靠性框图,建立任务可靠性数学模型,如下:

虽然集中空调系统非常复杂,但也是由不同层

次的系统组成,比如冷却水系统、冷水系统、制冷剂系统、补水系统、自动控制系统等,所以发生的故障总是隶属于某一层级;在这一层级中,总有一个或几个特征参数的变化与之相对应。集中空调系统可能出现的故障很多,也很复杂,根据不同的特征,可将它们进行分类归纳。根据故障显现的程度,可分为显性故障和隐性故障,如风机停转、导线脱落这种易察觉的故障属于显性故障,换热器结垢、制冷剂渗漏等不易察觉的故障属于隐性故障;根据故障对系统造成的影响程度,可分为软故障和硬故障,如风机停机、电动机烧毁等使设备完全失效的故障为硬故障,阀门关闭不严、仪表漂移、设备性能下降等故障为软故障;根据故障发生的时间长短可分为突发性故障和渐进性故障;另外,根据故障发生的部位,可分为机械性故障、空气处理过程和设备及空气分布部分的故障、配电和自动控制部分的故障等。

制冷系统是集中空调系统的核心,同时也是容易发生故障的单元。图 1 所示系统中冷水泵及冷却水泵的第三台为备用,制冷系统的故障树如图 4 所示。

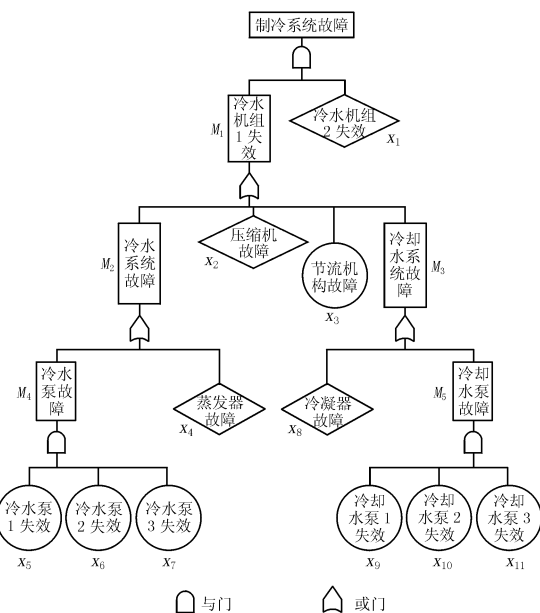


图 4 制冷系统的故障树

图中 $M_1 \sim M_5$ 为中间事件, $x_1 \sim x_{11}$ 为底事件。根据故障树的结构从顶事件开始逐层向下寻查,找出割集^[2]。下行法的过程见表 1。

共得到 18 个割集:

$\{x_1, x_2\}, \{x_1, x_3\}, \{x_1, x_4\}, \{x_1, x_5, x_6, x_7\},$

$\{x_1, x_4, x_5\}, \{x_1, x_4, x_6\}, \{x_1, x_4, x_7\}, \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_1, x_4, x_5, x_7\}, \{x_1, x_4, x_6, x_7\}, \{x_1, x_8\}, \{x_1, x_8, x_9\}, \{x_1, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_8, x_{11}\}, \{x_1, x_8, x_9, x_{10}\}, \{x_1, x_8, x_9, x_{11}\}, \{x_1, x_8, x_{10}, x_{11}\}, \{x_1, x_9, x_{10}, x_{11}\}。$

其最小割集为 $\{x_1, x_2\}, \{x_1, x_3\}, \{x_1, x_4\}, \{x_1, x_5, x_6, x_7\}, \{x_1, x_8\}, \{x_1, x_9, x_{10}, x_{11}\}。$

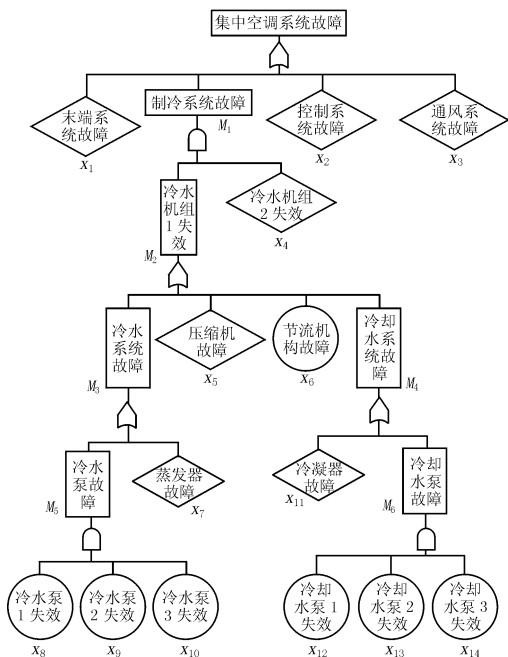
表 1 下行法的过程

	步 骤			
	1	2	3	4
过程	x_1, M_1	x_1, x_2 x_1, x_3 x_1, M_2 x_1, M_3	x_1, x_2 x_1, x_3 x_1, x_4 x_1, M_4 x_1, x_8 x_1, M_5	x_1, x_2 x_1, x_3 x_1, x_4 x_1, x_5, x_6, x_7 x_1, x_4, x_5 x_1, x_4, x_6 x_1, x_4, x_7 x_1, x_4, x_5, x_6 x_1, x_4, x_5, x_7 x_1, x_4, x_6, x_7 x_1, x_8 x_1, x_9, x_{10}, x_{11} x_1, x_8, x_9 x_1, x_8, x_{10} x_1, x_8, x_{11} x_1, x_8, x_9, x_{10} x_1, x_8, x_9, x_{11} x_1, x_8, x_{10}, x_{11}

根据每个最小割集的数目(阶数),在各个底事件发生概率比较小且相互差别不大的条件下,阶数越小的最小割集越重要,即 $\{x_1, x_2\}, \{x_1, x_3\}, \{x_1, x_4\}, \{x_1, x_8\}$ 的影响最大。可见要提高制冷系统的可靠性,设置备用机组非常重要,同时提高压缩机、节流机构、蒸发器及冷凝器的可靠性是提高整个制冷系统可靠性的关键,也是提高整个集中空调系统可靠性的关键。

集中空调系统的故障由多个单元故障引起,各个单元的故障又由多个小故障引起,从上到下逐层、逐级展开可建立如图 5 所示的故障树。

从图 5 可以看出,故障事件的逻辑关系有逻辑与、逻辑或及表决门。根据或门、与门、表决门及割集的定义,采用下行法可以找出集中空调系统故障树的割集及最小割集。找出最小割集对降低集中空调系统潜在故障发生的风险具有重要意义。如果在设计中能做到使每个最小割集恒不发生,则顶事件不发生,从而可以在设计阶段尽可能把系统潜在故障的发生概率降至最低。找出最小割集后在其所在的层次或更高层次增加与门,即设置备用装置,可以提高整个系统的可靠性。



图例同图 4

图 5 集中空调系统的故障树

4 结论

集中空调系统可靠性研究在暖通空调领域还

是一个新的课题，它涉及到多学科的应用（模糊数学、数理统计、暖通空调、自动控制、计算机技术等）。本文从空调系统的功能和组成出发，运用可靠性理论建立了集中空调系统的可靠性框图和可靠性模型。针对集中空调系统故障的特征进行了故障模式分析，建立了系统故障树，并且建立了集中空调系统的核心单元——制冷系统的故障树，并进行了故障树分析。故障树分析有定性分析和定量分析两类，笔者通过定性分析找出了制冷系统故障树的最小割集，可以帮助分析人员发现潜在的故障，发现设计的薄弱环节，以便改进设计，也为以后进行定量分析提供了依据。定量分析需要掌握故障模式之间的逻辑关系以及各种故障发生的概率等，可靠性数据的收集是一项长期的过程，需要大量的有经验的技术人员长期的积累。

参考文献

- [1] 吕春华. 采暖通风空气调节设计图说[M]. 山东: 科学技术出版社, 2004
- [2] 曾声奎, 赵廷弟, 张建国, 等. 系统可靠性设计分析教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001