

文章编号: 1005-0329(2009)11-0042-04

经验交流

低温冷库中压缩机选择及其节能效果探讨

杨光, 祁影霞

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 低温冷库作为耗能大户, 一直受到人们的关注, 如何实现节能, 关系到冷库行业的发展。本文分别从理论和工程实例探讨在低温冷库中压缩机的节能选型, 针对低温冷库不同情况分别给出了选型建议, 为设计单位和使用单位在选取低温冷库压缩机时提供了依据。

关键词: 低温冷库; 活塞式压缩机; 螺杆式压缩机; 并联机组; 节能

中图分类号: TH45 **文献标识码:** B doi:10.3969/j.issn.1005-0329.2009.11.010

Best Selection and Energy-saving Effect of Compressor in Low Temperature Cold Storages

YANG Guang QI Yingxia

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: As a major energy using industry, the low temperature cold storage has long been concerned by people about the energy saving which is related to the development of the industry. The best selection of compressors in the low temperature cold storage is discussed in the view of the theory and the project. The suggestion which is useful for the selection of compressors is given according to the different low temperature cold storage.

Key words: low temperature cold storage; piston compressor; screw compressor; compressor unit; energy conservation

1 前言

目前, 国内许多学者开始关注低温冷库中压缩机的最佳选择以及低温冷库的节能等相关问题^[1~3]。在低温冷库设计时, 大多采用最大负荷来进行压缩机的选型^[4], 而实际运行过程中往往和初始设计不相适应, 出现“大马拉小车”现象, 增加能耗。文献[5]指出冷库用螺杆式压缩机的COP要高于活塞式压缩机, 尤其适合在负荷变化不大低温工况使用。文献[6]根据工程实例, 对低温冷库可选择的三种压缩机选型方案进行讨论, 最终认为由5台4H-15.2活塞式压缩机并联机组最节能, 为最佳方案。而文献[7]同样根据工程实例论证了在低温冷库系统中, 螺杆式压缩机相

对于活塞式压缩机在实际运行中节能效果明显, 大有代替活塞式压缩机之势。

实际上, 究竟哪种压缩机更加适合于低温冷库的特定工况, 目前的研究尚无定论^[7]。本文在借鉴各文献观点基础上, 综合考察影响低温冷库压缩机节能选型的各因素, 从理论和工程实例方面探讨如何实现低温冷库的最佳选择并分析不同压缩机的节能效果。

2 制冷压缩机节能选型理论分析

冷库是一个用电非常可观的生产单位, 在冷库的全年生产费用中电费往往占有较大的份额。据某肉联厂统计资料表明: 机房和冷库耗电约占

收稿日期: 2009-05-19 修稿日期: 2009-06-25

基金项目: 上海市浦江人才计划(08PJ1408300)和上海市重点学科建设项目(S0503)。

全厂用电总量的 90%左右。单是机房用电就占全厂用电总量近 60%，可见制冷压缩机的节能是一项不可忽视的工作。

2.1 理论分析

衡量压缩机最主要的两个性能指标是输气量和功率消耗，人们总是要求以最小的功率输入获得更多的输气量。压缩机的输气量主要取决于容积效率，影响螺杆式压缩机容积效率的因素与活塞式压缩机有不同程度的相似，虽然螺杆式压缩机存在泄漏三角形，但是由于它没有余隙容积，提高了密封效果，减少了泄漏，故螺杆式压缩机的容积效率比活塞式压缩机明显提高。活塞式压缩机由于存在吸排气阀和余隙容积，其实际循环严重偏离理论循环。如果螺杆式压缩机为固定内容积比，当运行工况偏离设计工况时，会发生过压缩和欠压缩的压缩过程，而螺杆式压缩机采用了高效转子型线和齿数比，使得压缩过程等熵效果更好，故其循环更加贴近于理论循环。

综上所述，螺杆式压缩机由于容积效率高与活塞式压缩机，故其实际输气量要高于活塞式压缩机；螺杆式压缩机虽然在工作过程中会发生过压缩和欠压缩的压缩过程，但由于其等熵效果好于活塞式压缩机，同时采用可变容积比技术避免了过压缩和欠压缩，故其实际循环比活塞式压缩机循环更加贴近理论循环，即消耗功率小于活塞机。由于螺杆式压缩机可以以较小的功率输入获得较多的输气量，经理论分析选用螺杆式压缩机的制冷装置更加节能。

2.2 性能特点比较

对目前活塞式压缩机和螺杆式压缩机发展水平和技术现状的对比发现，两种压缩机的某些性能特点比较如表 1 所示。

表 1 活塞式与螺杆式压缩机性能比较

比较项目	活塞式压缩机	螺杆式压缩机
制冷量范围	小	大
装置构成	简单	相对复杂 (多一个油循环系统)
部分负荷	有级调节	10% ~ 100% 无极调节
噪音	小	大
自动化程度	低	高
运行可靠性	差	好
维修保养	维修间隔短, 维修复杂	运行周期长, 维修方便

由表 1 可知，螺杆式压缩机的运行可靠性和能级调节具有绝对的节能优势。尤其在实际工

中，制冷压缩机大部分时间均处于部分负荷下运行，这就要求压缩机具有良好的输气调节性能，使制冷量与负荷相匹配。而活塞式压缩机只能有级调节，例如国产 8缸 170 单级制冷压缩机通常分为 100%，75%，50%，25% 四档进行调节，不能做到无极调节。而螺杆式压缩机的能量调节可实现 100% ~ 10% 范围内无极调节，并且在 100% ~ 50% 范围内压缩机的功率消耗可以实现成比例的减小，具有良好的节能经济性。分析表 1 可以看出，制冷压缩机的选取是一个综合性的问题，综合长期从事冷库设计者的实践经验，建议：对于新使用制冷压缩机的单位，在环境要求比较安静的场合，电力比较紧张的地区宜选用活塞式制冷压缩机；而在负荷变化较大，自动化程度要求较高以及可靠性要求高的场合宜选用螺杆式制冷压缩机。

2.3 低温工况下压缩机节能选型

一般冷库用压缩机运行的低温工况是指蒸发温度为 -35°C ，冷凝温度为 35°C ^[8]。在此工况范围内，一般采用单机双级活塞式制冷压缩机。新型的带经济器的螺杆式压缩机可以在低温工况很好地工作。利用经济器降低节流前高压液体的温度，在经济器中吸热蒸发的工质气体从压缩机之间补气口吸入，以提高制冷压缩机的性能系数。目前低温冷库常用的活塞式和螺杆式压缩机在低温工况下性能参数比较见表 2。

表 2 低温工况下活塞式与螺杆式压缩机性能参数比较

参数	活塞式压缩机			螺杆式压缩机		
	4ASJ17	8ASJ17	8ASJ25	IG16	IG20	IG25
制冷量 (kW)	81.4	163	423	122.4	246.6	548.9
轴功率 (kW)	42.75	83.9	234.6	72.2	153.7	312.5
COP	1.90	1.94	1.80	1.70	1.72	1.76
电机功率 (kW)	70	132	400	100	200	450
单位制冷量耗电 (kW)	0.86	0.81	0.95	0.82	0.76	0.82

比较表 2 中数据可知，在低温工况下，活塞式压缩机的 COP 值明显高于国产最新系列的螺杆式压缩机的 COP 值；但是在较大冷量范围内，活塞式压缩机配用的电机功率明显偏大，活塞式压缩机的单位制冷量耗电更大。在为低温冷库用压缩机选型时，建议不要只根据制冷压缩机 COP 值的高低进行选型，COP 值的高低仅仅反映了压缩机性能的优劣。所以除了考察 COP 值外，还要综合考虑压缩机的单位制冷量电机耗电。单位制冷量电机耗电最低值，即为耗电最低的压缩机。单位制冷量电机耗电值是由压缩机厂家为压缩机匹

配的电动机的额定功率计算所得。文献 [10] 研究发现, 国内很多知名压缩机厂家实际匹配的电动机均大于实际需要的功率。极端情况下, 实际匹配的电动机功率比需要值增大了 57.3%。这将在实际运行中出现“大马拉小车”的现象, 电动机在低效率、低功率因数下运行。

国产电机配置大的主要原因是制冷压缩机组标准化的结果。但需要指出的是, 我国《冷库设计规范》中关于氨压缩机和辅助设备的选择明确规定指出“选用压缩机时, 应根据实际使用工况, 对压缩机所需功率进行计算, 由制造厂选配适宜的电机”。而国内很少有厂家结合实际的工况重新来配置最佳的电动机, 所以从节能考虑, 选择好压缩机后可要求压缩机厂家根据电机功率和轴功率 1.05~1.1 倍的关系, 选配最佳的电动机, 这样配置电动机对于制冷系统的节能无疑具有重要的意义。

3 实际工程压缩机节能选型方案

北京某低温冷藏库工程: 冷藏间面积 4000m², 冷库计算吨位 4500t, 冷库平面图如图 1 所示。冷库位置距离居民区 40m 左右, 按规范^[1]要求不能使用有毒、易燃、易爆的氨工质, 本工程采用 R22 为制冷工质。该冷库需要制冷量为

表 4 不同选型方案比较

类型	型号	数量 (台)	压缩机制冷量	冷库需要冷量 (kW)	轴功率 (kW)	电机额定功率 (kW)	COP
螺杆	RXF-85E	2	229	450	120	132	1.91
活塞	8FS-12.5	3	160	450	82	132	1.95
螺杆并联机组	HSN7471-75-40P	6	75	450	49	55	1.53
活塞并联机组	S812.5	5	95	450	47	75	2.02

3.2.1 COP 和配置电动机功率的比较

由表 4 可知, 蒸发温度为 -33℃, 冷凝温度 38℃ 时, 活塞式压缩机的 COP 值明显好于螺杆式压缩机。但由图 2 可知虽然活塞式压缩机的 COP 值最高, 但是耗电量也大。方案二活塞式压缩机配置的电机功率比方案一螺杆式压缩机配置的电机功率大 50%, 这意味着采用方案一可实现 132 kW 的电机节能配置。因此, 选用不同类型压缩机时, 不能仅比较 COP 值, 最重要的还是要对比配置电机功率的大小。此外, 选用不同品牌的螺杆式压缩机时, 配置的电机功率也有较大的差距。选用方案一比选用方案三可实现 106 kW 的

450 kW (即 3.1 计算出的机械负荷值) 蒸发温度为 -33℃, 冷凝温度 38℃。

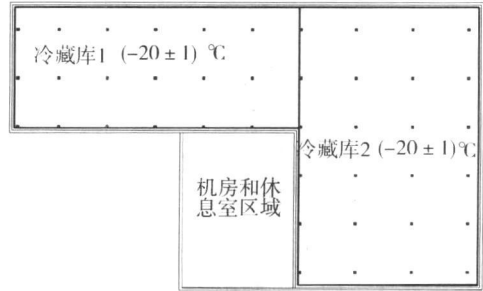


图 1 冷库平面示意

3.1 低温冷库负荷计算

我国的冷库设计规范中指出压缩机的选用应根据机械负荷来选择。所以第一步将计算该冷库的负荷。计算结果见表 3。

表 3 冷库负荷计算结果

项目	冷藏间 1	冷藏间 2
设备负荷 (kW)	280	300
机械负荷 (kW)	450	450

3.2 压缩机选型方案及其节能效果分析

根据该低温库的机械负荷选择了 4 种压缩机选型方案 (见表 4)。各方案压缩机的性能参数, 将从压缩机 COP、电机功率配置和部分负荷下的节能控制角度对不同方案进行比较, 为用户选择制冷压缩机提供参考。

电机节能配置, 即减少了 40% 的电机功率配置。

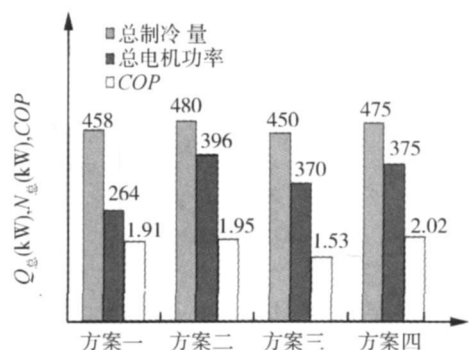


图 2 4 种方案的总制冷量 Q_0 、总电机功率 N_0 和 COP 值比较

3.2.2 部分负荷下的节能控制比较

文献[9]指出目前冷藏集装箱有 75%的运行时间处于部分负荷工况下运行,而常规冷库更是如此。造成低温冷库在部分负荷下工作的原因很多。最主要有两点:第一,压缩机一般是按设计工况所需制冷量进行选型,冷库制冷系统使用的环境温度横跨夏冬两季的极限高低温,因而其实际使用工况与设计工况存在一定得偏差。第二,许多冷库包含多个冷间,而各个冷间不一定都同时工作的,因此也造成制冷系统在部分负荷下工作。

分析表 4 中各方案可知,方案一可实现无极能量调节,而方案二只可实现有级调节,方案三和方案四均采用了多台机组并联的方式,部分负荷的节能控制可以通过压缩机台数的启停实现。本文主要对采用无极能量调节的方案一和采用并联机组的方案三进行比较(见表 5)。

表 5 部分负荷下方案一和方案三电机总功率比较

负荷百分比 (%)	方案一		方案三	
	运行台数	电机总功率 (kW)	运行台数	电机总功率 (kW)
30	1	132	2	110
35	1	132	2	110
40	1	132	3	165
45	1	132	3	165
50	1	132	3	165
55	2	264	4	220
60	2	264	4	220
65	2	264	4	220
70	2	264	4	220
75	2	264	5	275
80	2	264	5	275
85	2	264	5	275
90	2	264	6	330
95	2	264	6	330
100	2	264	6	330

从表 5 中数据可知,在 40%~50%和 75%~100%的部分负荷下,方案一明显优于方案三;在 55%~70%的部分负荷下方案三要明显优于方案一。所以建议在为冷库选择压缩机时,要首先确定该冷库常处于何种程度的部分负荷下运行,这样可以实现压缩机电机的节能配置。当然还要同时考虑部分负荷下压缩机的 COP 值变化。虽然方案一可以实现无级能量调节,并可以满足冷库的部分负荷下的节能运行,但它还是没有方案三所具有的一些优势。如采用方案三时,如果单台

压缩机出现问题,其他机组可以正常运行,冷库温度不会波动太大。需要说明的是,低温冷库制冷压缩机的启停,仅仅取决于库温波动情况。当库温达到上限时,压缩机启用;当库温达到下限时,压缩机停用。因此,方案三和方案四中所用的并联机组仅仅在一套机组对应多个低温冷藏间时才能更好进行压缩机的逐台控制,进而充分发挥节能的优势。冷库只有单一冷间时,并联机组的优势不能充分发挥。

4 结论

(1)理论分析结果显示,螺杆式压缩机由于容积效率高于活塞式压缩机,故其实际输气量要高于活塞式压缩机;螺杆式压缩机实际循环比活塞式压缩机循环更加贴近理论循环;螺杆式压缩机可以以较小的功率输入获得较多的输气量,故选用螺杆式压缩机的制冷装置更加节能;

(2)在低温工况下,活塞式压缩机的 COP 值明显高于国产最新系列的螺杆式压缩机的 COP 值;但是在较大冷量范围内,活塞式压缩机配用的电机功率明显偏大。建议在进行低温冷库压缩机选型时,不能仅仅比较压缩机的 COP 值,还要结合压缩机配置的电机功率进行分析。建议利用单位制冷量电机耗电,对压缩机进行节能选型比较。在较大制冷量时,选用螺杆式压缩机具有明显的节能效果;

(3)制冷压缩机的选取是一个综合性的问题,综合长期从事冷库设计者的实践经验,建议对于新使用制冷压缩机的单位,在环境要求比较安静的场合,电力比较紧张的地区宜选用活塞式制冷压缩机;而在负荷变化较大,自动化程度要求较高以及可靠性要求高的场合宜选用螺杆式制冷压缩机;

(4)国内生产的压缩机配置的电机功率普遍偏大,即配置电机的负载率普遍偏低,尤其是低温冷库用压缩机。建议国内的压缩机生产厂家,在条件允许的范围内,对压缩机组“一对一量身设计”,选配最佳的电机;

(5)多头并联机组和带无级能量调节的螺杆式压缩机在部分负荷下运行各有优势。建议在冷库带多个冷间时选用多机并联机组,冷库只有单一冷间时选用带无级能量调节的螺杆式压缩机。

(下转第 87 页)

差。表 4列出了室外侧半消声室声场反射偏差， 误差优于设计要求。

设计要求为 ≤ 2.0 dB 实测值为 $\leq \pm 0.5$ dB 测量

表 4 室外侧半消声室声场反射偏差

测点位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_w
声源标准值	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	86.4
1.0m实测值	78.9	78.9	79	78.7	79.1	78.8	78.9	79	79	78.9	86.5
反射偏差值	0.1	0.1	0.2	-0.1	0.3	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
1.5m实测值	76.3	76.4	76.2	76.7	76.3	76.5	76.4	76.6	76.5	76.4	86.8

5 结语

研究测试结果表明, 消声室内自由声场及测试误差均优于国际和国家标准规定, 提高了消声室测试精度, 尤其是动态测试精度。对空调器噪声进行频谱分析容易发现任何部件产生何种噪声, 技术人员有针对性得采取措施就可以降低空调器噪声, 产品的噪声性能就会更加优异, 经济效益和社会效益十分明显。

参考文献

[1] 洪宗辉, 潘仲麟. 环境噪声控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002 75-76
 [2] GB/T 6882-1986 声学 噪声源声功率级的测定—

消声室和半消声室精密法[S].

[3] ISO 3745 声学 噪声源声功率级的测定—消声室和半消声室的精密测定法 [S].
 [4] GB/T 4214.1-2000 声学家用电器及类似用途器具噪声测试方法 [S].
 [5] GB/T 7725-2004 房间空气调节器[S].
 [6] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
 [7] 彭飞, 林泽安, 陈敬良. 制冷空调用消声实验室的设计[J]. 流体机械, 2006 34 (9): 24 - 27.
 [8] 汤海娟, 李志远. 强制通风状态下消声室的设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008 34 (9): 1382-1385

作者简介: 崔海峰(1984-), 男, 硕士, 主要从事制冷空调测试技术研究, 通讯地址: 200093 上海市上海理工大学制冷技术研究所 07级制冷一班。

(上接第 45页)

参考文献

[1] 孙忠宁, 程有凯. 冷库现状及冷库节能途径[J]. 节能, 2007 7: 53-55
 [2] 王宇, 管伟康. 关于变频调速技术用于冷库节能的探讨[J]. 上海水产大学学报, 2001 1: 77-80
 [3] 连添达, 藏润清, 翟家佩. 制冷装置设计[M]. 中国经济出版社, 1994
 [4] 李夔宇, 王贺, 吴治娟, 等. 冷库节能途径探讨[J]. 制冷技术, 2008 2 1-4
 [5] 戴美芹. 冷库的节能设计[J]. 制冷技术, 2008 2 9-12
 [6] 王起霄, 王洪波, 相龙良, 等. 冷库改造工程设计与压缩机的最佳选择[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2008 6 755-758
 [7] 马麟, 邹同华, 孙欢. 比较螺杆式与活塞式压缩机在

冷库应用中的节能效果[J]. 保险与加工, 2007 1: 18-20

[8] 郑贤德. 制冷原理与装置[M]. 机械工业出版社, 2006
 [9] 杨昭, 谭晶莹, 李喜宏, 等. 制冷压缩机变频技术节能原理与经济效益分析[J]. 压缩机技术, 2005 5 24-26
 [10] 张建一, 赵进瓶. 国产 12.5系列双级压缩机的电机匹配[J]. 厦门水产学院学报, 1996 2 39-43
 [11] 冷库设计规范(GB50072-2001).
 [12] 秘文涛. 冷库装置节能运行及选型设计[D]. 上海海洋大学, 2008

作者简介: 杨光(1985-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事制冷装置节能优化及水合物能源开发, 通讯地址: 200093上海市杨浦区军工路 516号上海理工大学 8号信箱。