

Analysis for the Heat Exchange Efficiency of Passive Low-Temperature Air-Cooler

Wenchao Zhang, Sichao Tan, Ruifeng Tian, Puzhen Gao

College of Nuclear Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin

Email: wenchaozhang84@163.com; tansichao@yahoo.com.cn

Received: Jul. 18th, 2011; revised: Aug. 9th, 2011; accepted: Aug. 12th, 2011.

Abstract: As weather is cold during a long period of time in the northeast of China, this paper presents a passive low-temperature air-cooler combining the passive low-temperature natural-circulatory technology. It builds a mathematical model which the heat exchange efficiency of the passive low-temperature air cooler was analyzed. The result indicates that the passive low-temperature air-cooler which makes use of the natural cooling source in the cold area can reduce the consumption of energy or even no consumption of energy. This can not only save a lot of energy but also protect the environment.

Keywords: Passive; Air-Cooler; Heat Transfer

非能动低温空冷器的设计

张文超, 谭思超, 田瑞峰, 高璞珍

哈尔滨工程大学核科学与技术学院, 哈尔滨

Email: wenchaozhang84@163.com; tansichao@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011年7月18日; 修回日期: 2011年8月9日; 录用日期: 2011年8月12日

摘要: 本文根据我国东北地区存在较长时间低温季节的现状, 结合非能动低温自然循环技术, 设计了一种非能动低温空气冷却器。建立了数学模型, 对模型的传热性能进行了计算分析。分析结果表明, 非能动低温空气冷却器能够有效利用寒冷地区的自然冷源, 实现制冷设备的低能耗甚至零能耗, 达到高效节能环保的目的。

关键词: 非能动; 空气冷却器; 换热

1. 引言

随着世界各国工业技术的飞速发展, 能源已经成为制约各国经济发展的一个重要因素。我国是一个资源短缺的发展中国家, 需要更多的开发和利用可再生资源。当前, 制冷行业对能源的消耗已经达到一定的比重, 利用自然资源制冷可节约大量的能源。

空气冷却器在石油、化工、制药等领域起着举足轻重的作用, 与水冷却器相比, 空气冷却器可在一定程度上减少对水资源的依赖, 延长设备的使用寿命, 保护环境^[1,2]。

我国东北地区冬季寒冷而且持续时间很长。表 1 为哈尔滨市 04、05、06 年十二月、一月、二月的气温记录。根据中国(1971~2000 年)气候标准值, 哈尔滨十二月、一月、二月的平均气温为 -15.6°C , 平均风速为 3.2 m/s ^[3]。目前由于制冷设备的运行原理, 虽然冬天外界环境温度非常低, 但是制冷设备仍然如其它时间一样运行, 浪费了高寒地区环境的冷源。因此, 充分利用秋冬季节气候寒冷的特点, 设计制造一种结构合理、经济适用的非能动空冷器, 取代高功耗的制冷机是可行的。

Table 1. The ratio of temperature which under X°C in Dec., Jan., Feb., of 2004, 2005, 2006 of Harbin^[4]
表 1. 哈尔滨市 04、05、06 年十二月、一月、二月中 X°C 以下所占的比例^[4]

X°C 以下	时间(小时/h)	所占的比例%
-13	1528	69.20
-14	1418	64.22
-15	1254	56.79
-16	1032	46.74
-17	833	37.73
-20	440	19.93

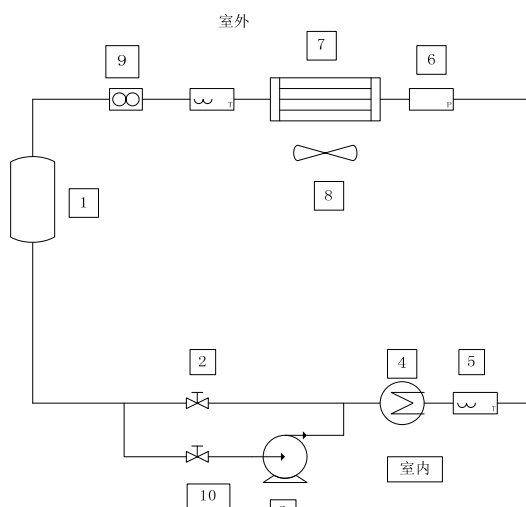
本文在普通空冷器的基础上,设计了一种非能动低温空冷器,并对其换热性能进行了计算。非能动低温空冷器可以有效的利用自然环境中的冷源,使石油化工等方面的生产大大的减少投入,从而达到节约资源、提高经济性的目的。

2. 数学模型

2.1. 非能动低温空冷器模型结构

见图 1。

非能动空冷器主要由冷媒箱、循环水泵、温度计、室外换热器、室内换热器、风机、流量计、控制阀等主要部分构成。其中冷媒箱用来储存流动介质;室外换热器由翅片管束组成,通过与外界大气的换热降低流动介质温度;风机与循环水泵在必要时用来调节换热功率,使之稳定于设计功率。



1) 冷媒箱; 2) 控制阀; 3) 循环水泵; 4) 室内换热装置; 5) 温度计; 6) 压力表; 7) 空冷器管束; 8) 风机; 9) 流量计

Figure 1. Diagram of passive low-temperature air-cooler
图 1. 非能动低温空冷器简图

非能动空冷器在不同的天气情况下的运行状态有所不同,具体情况如下:当大气温度围绕设计温度上下波动且波动范围不大时,利用大气与冷却介质的换热就可以达到设计功率;此时,关闭控制阀 10 和风机 8,开启控制阀 2,利用大气作为冷源,系统形成自然循环。

当大气温度高于设计温度时,大气与冷却介质的换热功率低于设计功率,非能动空冷器换热能力不足。为了使换热功率稳定于设计功率,一方面可以开启风机 8 和控制阀 2,关闭控制阀 10,利用风机加强冷却段管管外对流换热,以维持换热功率不变;另一方面也可以开启控制阀 10 和循环水泵 3,关闭控制阀 2 和风机 8,通过循环水泵调节系统流量加强冷却段管内对流换热,来保持换热功率不变。

当大气温度底于设计温度时,大气与冷却介质的换热功率高于设计功率,此时关闭控制阀 10 和风机 8,通过控制阀门 2 调节系统流量以维持换热功率不变。

2.2. 模型简化

为了便于分析,需要简化数学模型,作以下假设:制冷剂在冷却器中的流动过程为一维稳定的流动。

认为冷库的壁面和回路中的冷热管段是绝热的。冷库所需要的换热功率维持不变。

2.3. 制冷剂的选择

冷媒是制冷机中的工作介质,它在制冷系统中循环流动,通过自身的热力状态的变化与外界发生能量交换,从而实现制冷的目的。冷媒以液态载蒸发器与冷场所的冷却器之间循环,冷媒应保持液态,不挥发;对设备无腐蚀,对人体无害;载冷能力强;输送功耗少。一般从以下几个方面考虑:

首先,要求制冷剂无毒、安全,化学性质稳定,不污染环境;其次,闭合回路内的冷媒在不同的温度下应该有较大的密度差,从而在一定的高度差内产生较大的重力差,增强系统的自然循环能力;第三,在低温的条件下应具有较小的粘性,可以减小流动过程中的压头损失;最后,应具有较大的比热容,以增强在一定流量下的非能动低温空冷器的换热能力^[5,6]。综合以上要求,制冷剂 R507 比较适合^[7]。

2.4. 设计温度的确定

装置要求在设计温度下能够通过非能动冷却的方式达到设定的换热功率,因此,设计温度的选择十分重要。如果设计温度太高,那么非能动空冷器的换热面积会很大,占用大量空间,不利于维护,同时会增加非能动空冷器制造成本。如果设计温度太低,通过非能动方式运行的时间太短,不能充分利用室外的低温环境,同时增加了风机或泵的使用时间,增加运行成本,经济性较差。所以设计温度要适中,考虑以上因素,设计温度定为冬季大气的平均温度,约为-15.6℃。

2.5. 确定部分系统参数^[2]

部分系统参数根据普通空冷器的设计参数而定:

系统压力: 0.7 MPa;

换热功率: 30 kW;

传输管高度根据冷库的高度而定,本文定为 6 m;

传输管管径为 $\phi 25 \times 2.5$ mm 的光管;

室外换热管管径为 $\phi 25 \times 2.5$ mm 的 L 型低翅片管;

室内换热管管径为 $\phi 25 \times 2.5$ mm, 长度为室外换热管长度的 1/3;

换热装置单程管长: 9 m

2.6. 非能动空气器经济性分析

普通空冷器与大气无直接热量交换,从冷库中带出的热量需要制冷设备吸收,然后排到大气中,一般制冷机的工作效率为 20%,要从冷却剂中吸收 30 kW 热量,就需要消耗 600 kW 的外加功率。而本文设计的空冷器,在设计温度下,从冷库中吸收热量的制冷剂直接与大气交换热量,并且回路的设计可以使系统形成自然循环,因此不需要制冷机、泵等设备运行,实现低功耗运行。

2.7. 自然循环流量计算

当大气温度在设计温度周围波动时,系统可通过自然循环流动实现换热。

1) 确定阻力^[8]

a) 计算局部阻力

弯头:

$$\Delta p_1 = \sum \frac{q_m^2}{2\rho_i A^2} \times \xi_i \times \frac{n}{2}$$

式中: q_m ——系统流量, A ——管道内横截面积, ρ ——流体密度, n ——弯头个数, ξ_i ——局部损失系数

突扩、突缩:

$$\Delta p_2 = \sum_i \frac{q_m^2}{2\rho_i A_i^2} \times \xi_i$$

b) 沿程摩擦阻力确定:

$$\Delta p_3 = \sum_i \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{q_m^2}{2\rho_i A_i^2}$$

式中: λ_i ——沿程阻力系数, l_i ——管道长度, d_i ——管道内径

c) 流动阻力压降:

$$\Delta p_{add} = \sum_{i=1}^6 p_i$$

2) 驱动压头:

$$\Delta p_d = \Delta \rho g h$$

式中: h ——冷热管段的高度, $\Delta \rho$ ——冷热流体密度差

3) 计算流量 q_m

当 $\Delta p_{add} = \Delta p_d$ 时对应的流量即为自然循环流量 q_m 。

2.8. 传热计算^[9]

1) 冷却剂与管道内壁之间的对流换热^[9]:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}$$

2) 冷却管壁的导热热阻:

$$R_f + R_w = 0.0001548(m^2 \cdot ^\circ C) / W$$

式中: R_f ——翅片热阻, R_w ——管壁热阻

3) 冷却管外壁与空气之间的对流换热

以光滑管外表面为基准的低翅片管:

$$h_o = 412 v_{NF}^{0.718} W / (m^2 \cdot ^\circ C)$$

式中: v_{NF} ——标准迎面风速, m/s

3. 非能动空冷器设计分析

3.1. 非能动空冷器结构参数的确定

根据哈尔滨市三年来的气象资料确定设计温度为

-15.6℃, 设定风速为 3.2 m/s; 传输管高度和直径, 换热管直径等结构参数已经确定。还需要进一步确定的结构参数是额定换热功率下的室外换热管的长度。

不同冷却管长度对应的流量与换热功率不同, 当换热功率达到额定换热功率时对应的冷却管的长度为装置的冷却管设计长度。

通过计算得出: 当设计温度为-15.6℃, 换热功率为 30 kW 时, 需要的冷却管管长为 119 m 时, 此时系统流量为 0.1155 kg/s。由计算看出, 在大气温度长期较低的情况下, 可以充分自然冷源来冷却制冷剂, 而不需要外界能源, 如风机、泵等, 实现制冷设备的低能耗, 达到高效节能环保的目的。

3.2. 非设计温度下的计算结果

当大气温度与设计温度相差较大时, 非能动自然循环系统的换热量与设计功率相差较大, 不能满足使用要求, 而通过泵、风机和阀门的调节可以使换热功率等于额定功率。

3.2.1. 用风机调节

当大气温度高于设计温度时, 可以通过增加室外换热管道外表面的风速来强化换热, 使系统换热功率等于设计功率。

由图 2 为保持换热功率不变时, 不同大气温度下所需要的风速, 从图 2 可以看出, 大气温度越高, 需要的风机风速就越大, 并且随着温度的升高, 需要的风机风速呈指数增长。因此, 在一定温度范围内, 可以通过调节风机风速来维持换热功率不变。

3.2.2. 用泵与阀门调节

当大气温度高于设计温度时, 还可以启动循环水泵来增加系统流量, 通过使系统由原来的自然循环变为强迫循环来达到强化换热的目的; 当大气温度低于设计温度时, 可以减小阀门的开启程度, 增加系统流动阻力, 从而减小自然循环流量来维持冷库温度。

由图 3 是保持换热功率不变时, 不同大气温度下系统流量, 由图 3 可以看出, 大气温度越高, 需要的流量就越大。当大气温度介于-25℃ ~ -15.6℃时, 可以通过阀门减小系统流量维持换热功率不变。当大气温度介于-15.6℃ ~ -10℃时, 可以通过泵增加系统流量, 以维持换热功率不变。

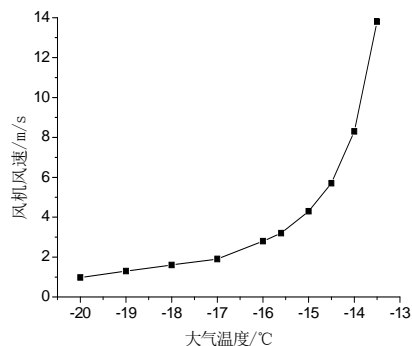


Figure 2. Atmospheric temperature vs. wind speed
图 2. 大气温度与风速之间关系

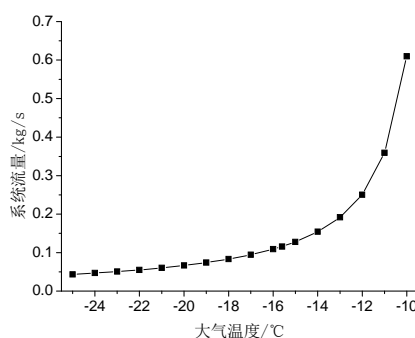


Figure 3. Atmospheric temperature vs. flow rate
图 3. 大气温度与系统流量之间关系

4. 结论

针对我国东北地区存在较长时间低温季节的现状, 结合非能动低温自然循环技术, 设计了一种非能动低温空冷器, 可以在设计温度下充分利用自然冷源来维持一定的换热功率, 实现了制冷设备的低能耗甚至零能耗, 达到高效节能环保的目的。

当大气温度介于-15.6℃ ~ -10℃时, 通过调节风机风速或者通过泵调节系统流量维持换热功率不变。当大气温度低于设计温度时, 可以通过阀门减小系统流量维持恒定的换热功率。虽然此时启动了风机和泵, 增加了能耗, 但是与传统空冷器相比, 由于自然冷源的利用, 风机和泵的能耗将会大大降低。

因此, 当大气温度在-25℃ ~ -10℃范围(占哈尔滨冬季时间的 70%以上)内波动时, 利用非能动低温空冷器冷却效果良好。

5. 致谢

由哈尔滨市创新基金(2007RFQXG021)资助。

参考文献 (References)

- [1] 宁德亮, 田瑞峰, 庞凤阁等. 低温空气冷却器制冷效果实验[J].应用科技, 2005, 32(1): 38-40.
- [2] 马义伟. 空冷器设计与应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 5-80.
- [3] 中国气象科学数据共享服务网资料[Z].
- [4] 黑龙江省气象档案馆气象资料[Z].
- [5] 王如竹, 丁国梁, 吴静怡等. 制冷原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 31-49.
- [6] 吴世功, 张善森等. 低温工程学基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991: 18-23.
- [7] 陈国邦, 包锐, 黄永华等. 低温工程技术数据卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 387-392.
- [8] 孔珑. 工程流体力学(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 95-149.
- [9] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 130-178.