利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺

崔国彪[1] 刘 阳[2] 安海燕[2] 陈建新[3]

1.西南石油大学研究生院,四川 成都 610500;

2.中国石油管道公司长庆输油气分公司,宁夏 银川 750000;

3.西气东输管道销售公司,陕西 榆林 718500

摘 要:中国是世界上最大的橡胶消费国,每年需要粉碎大量的废旧橡胶,目前常用的常温直接切割粉碎和低温深冷粉碎方法在粉碎效果和能耗方面都不理想,而利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺在满足粉碎效果的同时也大大节省了能耗,具有广阔的市场前景。此工艺利用空气作为中间冷媒,通过回收 LNG 汽化产生的冷量,对空气进行降温,然后用空气喷洒冷却胶粉。模拟后结果表明:利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺节能效果显著,制作每吨精细胶粉可降低能耗 349.5 kW·h 。

关键词:LNG 汽化站;冷能利用;橡胶粉碎;HYSYS

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2013.02.007

0 前言

LNG 是将常压下气态的天然气冷却至-162 ℃凝结成的液体。LNG 通过船舶、车辆运送至目的地,经汽化后变为气态天然气供民用或工业使用。

由于 LNG 的储存温度为-162 ℃,在汽化过程中会释放出大量的冷量,如果将这部分冷量加以回收利用,能起到节省能耗的作用[1]。目前,国内一些 LNG 接收站开始回收 LNG 冷能,用来淡化海水、发电等,但大部分 LNG 汽化站在 LNG 汽化过程中释放的冷能却被浪费掉。在国外,将 LNG 汽化站汽化过程中释放的冷能用于粉碎废旧橡胶已经非常普遍。

中国是世界上最大的橡胶消费国,也是最大废旧橡胶生产国之一,每年报废的废旧橡胶达 400×10^4 t[2],粉碎废旧橡胶的工作量非常庞大。按照常规低温深冷粉碎法,粉碎如此庞大数量的橡胶将会消耗巨大的能量[3],所以利用 LNG 冷能来对废旧橡胶进行粉碎在节能降耗方面具有重要意义。山东威海市内有大批橡胶企业,每年需要处理大量的废旧橡胶(如轮胎),本文以威海 LNG 汽化站为例,详细阐述了 LNG 冷能用于废旧橡胶粉碎的工艺[4-5]。

1 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺流程

威海 LNG 汽化站一期工程供气 4.0×10^4 m^3/d,属于卫星站。由于 LNG 卫星站汽化量较小,昼夜波动大,不适合利用 LNG 冷能制取液氮,所以把空气作为中间媒介。利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶的工艺流程见图 1。

由 LNG 储罐来的 LNG(-162 ℃,0.6 MPa)经过换热

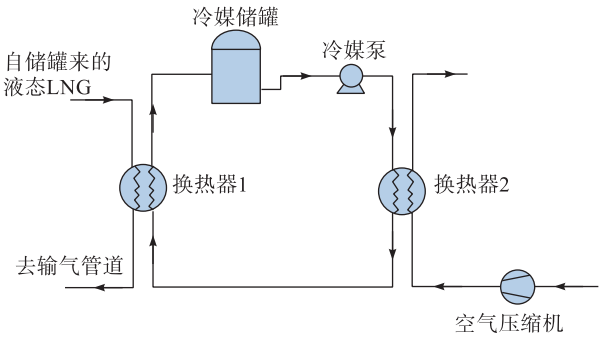

图 1 利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺流程

收稿日期:2012-09-21

作者简介:崔国彪(1987-),男,河北衡水人,硕士研究生,从事油气储运地面工程研究工作。

器 1，与冷媒二氟一氯甲烷(R22)进行换热，汽化后的 LNG(25 ℃、0.55 MPa)进入城市天然气管网。经过换热器 1 冷却后的冷媒 R22(−125 ℃、1.55 MPa)被输送至冷媒储罐，然后通过冷媒泵被送到换热器 2，与经过压缩机压缩后的空气(62.7 ℃、0.14 MPa)进行换热，空气经过冷却，温度达到−115 ℃，然后被喷洒到粗胶粉上进行冷却。

2　工艺流程模拟

利用 HYSYS 软件对工艺流程进行模拟，见图 2；LNG 的组分见表 1；工艺流程中各物流点参数的具体模拟结果见表 2；各设备运行参数见表 3。

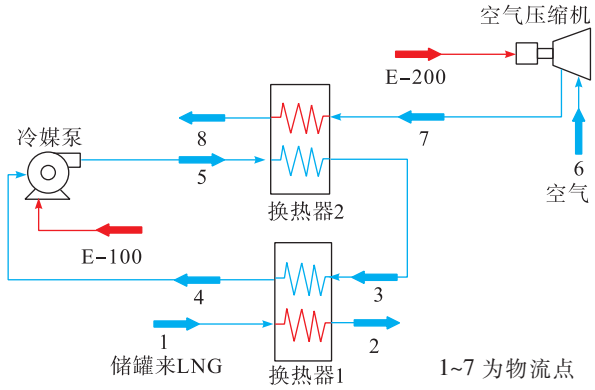

图 2　工艺流程 HYSYS 模拟

表1　LNG组成

组分	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4^+	N_2
含量 x/(%)	82.422	11.100	4.533	1.112 8	0.823 2

表2　工艺流程中各物流点参数

物流点	温度 /℃	压力 /MPa	流量 /(kg·h^{-1})
1	−162.0	0.60	660
2	25.0	0.55	660
3	34.2	1.60	3 433
4	−125.0	1.55	3 433
5	−125.0	1.60	3 433
6	25.0	0.11	3 178
7	62.7	0.14	3 178
8	−115.0	0.13	3 178

表3　工艺流程中各设备运行参数

设备名称	热负荷 /kW	效率 /(%)	UA/(kW·℃$^{-1}$)
冷媒泵	0.039	75	–
空气压缩机	33.7	75	–
换热器 1	157.4	–	3.46
换热器 2	157.3	–	12.7

注：UA 为总传热系数和换热面积的乘积。

3　结果分析

需从两方面来评价废旧橡胶粉碎方法的优越性：一是节能降耗；二是粉碎效果[6]。常温直接切割粉碎法节能降耗效果显著，但粉碎效果达不到标准，获得的颗粒大小不能满足工业要求。液氮冷冻法和空气涡轮膨胀冷冻法，粉碎效果非常好，但能耗较高，表 4 为两种低温深冷粉碎法的经济性比较[7]。

表4　液氮冷却法和空气涡轮膨胀冷冻法的经济性比较

项目	液氮冷冻法	空气涡轮膨胀冷冻法
万吨设备投资 / 万元	4 000	2 000
生产成本 /(元·t^{-1})	6 000	4 000
能耗 /(kW·h·t^{-1})	1 100	900
人工 /(人·班·t^{-1})	22	22
经济效益 /(元·t^{-1})	负数	负数

根据模拟结果，威海 LNG 汽化站利用 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺，一期工程可以获得−115 ℃的冷空气 3.18 t/h，冷空气携带的冷能约 102.17 kW·h，相当于 0.91 t 液氮产生的冷能。按生产 1 t 精细胶粉需要 1 t 液氮的冷量来计算，则−115 ℃、3.18 t/h 的冷空气可生产 0.91 t/h 精细胶粉。每年运行时间按照 5 000 h 来计算，可产 0.46×10^4 t 精细胶粉，处理 32 万只废旧轮胎。

采用空气涡轮膨胀冷冻法来生产同规格的冷空气，制功率约为 214.6 kW[8]，而 LNG 冷能粉碎废旧橡胶工艺中压缩机的功率为 33.7 kW，与空气涡轮膨胀冷冻法相比可节省功率 181 kW，1 a 省电 1.59×10^6 kW·h，折算生产每吨胶粉降低能耗 349.5 kW·h，节能效果显著。

4　结论

随着国内 LNG 产业的蓬勃发展，LNG 汽化站数目逐年增长，目前 LNG 汽化站已超过 100 座，按文中的废旧橡胶处理规模，每年每座 LNG 汽化站可以处理 32 万只废旧轮胎，100 座 LNG 汽化站就可以处理 3 200 万只，这个相当于国内半年产生的废旧轮胎量。因为卫星站不同于接收站，其分布范围较广，可以利用其冷能建设废旧橡胶低温深冷粉碎装置，就近粉碎当地的废旧轮胎，大大节约轮胎的运输成本。因此，利用 LNG 汽化站的冷能粉碎废旧橡胶不仅可以节约能源，提高 LNG 卫星站的经济效益，而且可以降低精细胶粉的生产成本，促进橡胶资源的循环利用，符合建设节约型社会的需要。

参考文献：
[1] 廖志敏，杜晓春，陈　刚，等. LNG 的研究和应用[J]. 天然气与石油，2005，23(3)：28−31.

Liao Zhimin, Du Xiaochun, Chen Gang, et al. The Research and Application of LNG [J]. Natural Gas and Oil, 2005, 23(3): 28-31.

[2] 熊永强, 华 贲, 贾德民. 利用液化天然气卫星站冷能的废旧橡胶低温粉碎装置[J]. 现代化工, 2009, 29(7): 59-62.
Xiong Yongqiang, Hua Ben, Jia Demin. Cryogenic Crushing Device for Waste Rubber by Using Cold Energy in Liquefied Natural Gas (LNG) Staellite Station [J]. Modern Chemical Engineering, 2009, 29(7): 59-62.

[3] 熊永强, 华 贲, 李亚军, 等. 废旧橡胶低温粉碎中 LNG 冷能利用的集成分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(12): 58-63.
Xiong Yongqiang, Hua Ben, Li Yajun, et al. Crushing of Integration Analysis Waste Rubber Cryogenic on LNG Cold Energy Utilization [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2009, (12): 58-63.

[4] 陈叔平, 谢振刚, 陈光奇, 等. 基于液化天然气(LNG)冷量的废旧橡胶低温粉碎工艺流程 [J]. 低温工程, 2009, 21(1): 46-48.
Chen Shuping, Xie Zhengang, Chen Guangqi, et al. Technological Process of Waste Rubber Cryogenic Crushing Based on Cold Energy of Liquefied Natural Gas (LNG) [J]. Cryogenic Engineering, 2009, 21 (1): 46-48.

[5] 邵铁民. LNG 冷能及其利用[J]. 油气储运, 2007, 26(11): 41-43.
Shao Tiemin. LNG Cold Energy and Its Use [J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 2007, 26(11): 41-43.

[6] Bilgili E, Arastoopour H, Bernstein B. Pulverization of Rubber Granulates Using the Solid-state Shear Extrusion (SSSE) process: Part Ⅰ. Process Concepts and characteristics [J]. Powder Technology, 2001, 30(3): 265-276.

[7] 李 琳. 废旧橡胶胶粉低温粉碎技术研究进展及趋势[J]. 再生资源与循环经济, 2011, 4(10): 38-41.
Li lin. Research Progress and Trend of Cryogenic Comminution Technology for Waste Rubber Powder [J]. Renewable Resources and Recycling Economy, 2011, 4(10): 38-41.

[8] 李蒙沂, 袁秀玲, 田怀璋, 等. 用低温粉碎法生产精细胶粉技术的进展[J]. 低温与超导, 2001, 29(2): 26-29.
Li Mengyi, Yuan Xiuling, Tian Huaizhang, et al. Fine Rubber Powder Production Technology by Using Low Temperature Crushing Method and its Progress [J]. Cryogenics and Superconductivity, 2001, 29(2): 26-29.