

余压透平发电技术在合成氨工艺中应用研究

马亮, 薛树琦, 闫文召

(河北科技大学机械工程学院, 河北石家庄 050018)

摘要:以余压透平发电技术在合成氨脱碳工艺中的应用为基础,将脱碳工艺中产生的高压液体能量回收。通过透平做功驱动发电机发电,实现能量的转化。对能量回收过程中流量、压力控制进行了优化调节,使系统能稳定、高效地回收液体压力能量。提出了应用静叶调节来控制透平的转速,实现透平转速的自动控制。采用异步发电机可控晶闸管软并网方式,并以PLC、触摸屏和现场传感器等设备,对发电并网过程中的参数进行监控和调节。

关键词:余压回收;透平发电;发电并网

中图分类号:TP277

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)06-0118-04

Application of residual pressure turbine power generation technology in ammonia process

MA Liang, XUE Shu-qi, YAN Wen-zhao

(College of Mechanical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: By virtue of residual pressure turbine power generation technology in the process of synthetic ammonia decarburization, the high-pressure fluid energy generated in the decarburization is recovered. The energy conversion can be obtained based on the turbine driven generator. The optimized adjustment of flow and pressure in energy recovery process leads to the stable and efficient recovery of the energy. The automatic control of the turbine speed is achieved with vane adjustment. At the same time, the process of power grid can be monitored and regulated by using thyristor controlled asynchronous generators, PLC, touch screen, field sensors and other equipment.

Key words: pressure recovery; turbine power generation; power grid

近年来,化石能源日益枯竭,环境压力日益增长,已经成为许多国家所面临的挑战,发展可再生能源和节能减排的需求迫在眉睫。因此,国内外许多科研人员致力于节能环保技术的应用研究。国家《“十二五”节能减排综合性工作方案》中明确指出,将余热余压的利用列为国家实施节能减排的重点工程^[1]。在当前工业中,钢铁、冶金、化工等行业,生产过程中往往产生大量多余的压力能量,通过应用余压能量回收技术,将其产生的余压合理利用,可以有效地解决生产过程中余压能量的浪费。余压透平发电技术正是将工业生产过程中的多余的压力能回收,通过透平做功输出功率,驱动发电机发电,将压力能转化成所需的电能。该技术不仅能够做到节能、提高资源利用率,而且对环境不造成任何形式的污染。

1 余压透平发电技术应用介绍

余压透平发电技术已经广泛应用于钢铁、冶金行业,并且取得了良好的经济效益,目前国内化工行业内余压利用只是用于能量回收,应用于发电方面

还很少。本文中主要介绍余压透平发电技术在化工行业的应用。主要应用于以煤为原料的化肥企业精炼工艺高压富液的能量回收,同时也适用于化肥厂“双甲”工艺的高压水洗液的能量回收和其他类似高压洗涤工艺的液体能量的回收^[2]。将其工艺中产生的高压液体压力能回收,通过透平做功驱动发电机发电,其产生的电能不仅可以供车间厂房使用,剩余的电能也可与市电并网。从而节约电能,降低了企业的生产成本。

1.1 合成氨原料气湿法脱碳工艺流程

在合成氨工艺中,脱碳主要是将CO₂从原料气中分离出来,脱除CO₂是一个非自发的过程,因此需要消耗大量的能量,其能耗约占整个合成氨工艺过程的10%左右。脱碳常用的方法有湿法脱碳和干法脱碳2种。结合国内外液体余压能量回收技术发展状况,主要介绍合成氨原料气湿法脱碳工艺中液体余压的回收和利用。湿法脱碳又叫溶液循环法,根据其吸收原理不同又可以分为化学吸收法和物理吸收法。化学吸收法主要利用CO₂酸性气体的特点,用含有化学活性物质的溶液对原料气进行

洗涤,CO₂与洗涤液进行反应生成介稳化合物或者加合物,然后在减压条件下通过加热使生成物解吸释放CO₂,解吸后的溶液循环使用。化学法典型代表为碳酸钾溶液作吸收剂的脱碳工艺。物理吸收法CO₂被溶剂吸收时不发生化学反应,富液在减压条件下解吸释放CO₂,解吸后的溶液循环使用。其常用的方法有变压吸附法和低温甲醇法等。在常用的湿法脱碳工艺中,无论是化学法还是物理法,吸收总是在加压的条件下进行,解吸再生总是在减压的条件下进行。

在湿法脱碳工艺中,贫液在高压状态下吸收原料气中的CO₂、酸性气体,富液在低压状态下进行再生,再生后的贫液通过贫液泵增压至高压状态,以此形成循环。高压富液进入再生塔时不需要高压能量,通常采用减压阀将其高压能量减掉,从吸收塔底部流出富液的高压能量大部分消耗在减压阀上,而且不做任何有用功,造成了高压富液压力能浪费,因此应该合理回收和利用富液中余压能量。同时,湿法脱碳工艺中吸收塔的压力越高,越有利于CO₂的脱除,如果不高效地回收脱碳工艺中高压富液的能量,脱碳工艺的电耗是很难降低的。

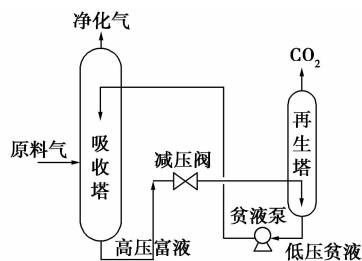


图1 湿法脱碳基本工艺流程

根据国内外余压回收技术和湿法脱碳工艺最新进展,可以采用余压透平发电装置回收和利用高压富液压力能,不仅可以降低工艺过程中能耗,而且可以大大提高经济效益^[3]。湿法脱碳基本工艺流程如图1所示。

1.2 湿法脱碳工艺中富液余压回收方案

针对湿法脱碳工艺中高压富液压力能浪费的情况,可以在吸收塔和再生塔之间增加透平发电装置代替原来的减压阀。该装置由透平机和发电机构成。吸收塔底部流出高压富液经过透平发电装置减压后进入再生系统,然后从再生塔流出的低压贫液泵入到吸收塔顶部。过程中高压富液压力能作用于透平叶轮,使其旋转做功转化成机械能,再由透平机主轴将其能量传递到发电机,驱动发电机发电,实现机械能到电能的转化。将其产生的电能供车间厂房机电设备使用,达到节省电能的目的。该装置独立设置,便于输送和布置管路,对系统性能参数适应性强,极大地回收和利用工艺过程中的余压能量。节能降耗,一举两得。湿法脱碳工艺流程如图2所示。

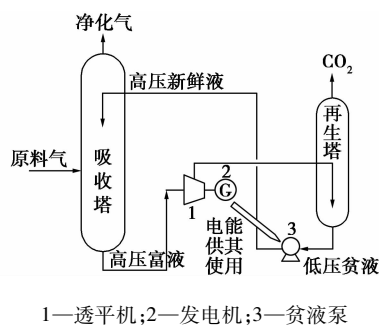


图2 应用透平发电装置湿法脱碳工艺流程

(上接第117页)

2种材料类似。总之,通过对比可以得出,316L的钝化行为要优于其他2种材料。

文献[4-5]也表明,当不锈钢中Mo含量增加时,会改变金属基体的电化学状态,使金属晶体中的电子更加趋向不容易失去;Mo也能提高不锈钢的点蚀抗力和硫腐蚀抗力来改善其耐环烷酸腐蚀性能。大量实验证明,含有Mo元素的316L不锈钢在有机酸介质中比304L不锈钢具有更好的抗腐蚀和冲蚀性能。所以决定材料改用316L,这样设备寿命将会大大提高。

3 改造效果

该设备于2009年由本公司改造使用至今,一直

运行正常,内筒体未发现变形及开裂现象,传热、传质的效率基本上和原来一致。筒体减薄现象不明显,未影响设备本体的强度。证明了在选材方面研究的正确性。

参考文献

- [1] 中国特钢企业协会不锈钢分会. 不锈钢实用手册[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [2] 化学工业部化工机械研究院. 腐蚀与防护手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.
- [3] 肖纪美. 应力作用下的金属腐蚀[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990.
- [4] 刘永祥, 张佩芬. 金属腐蚀学原理[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [5] 左景伊. 腐蚀数据手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994. ■

2 余压透平发电技术控制过程设计

2.1 压力、流量的控制

要想使余压透平发电装置稳定发电,必须保证余压回收的高效率,也就是必须将合成氨脱碳工艺过程中液体余压能量充分回收。然而在运行过程中,存在着一些影响液体压力、流量稳定的因素,因此得采取必要的措施来保障余压回收稳定运行。

常用的调节方式有调节阀控制,通过控制阀门的开度来调节系统内液体的流量和压力。但是由于调节阀控制过程中容易造成液体管路发热和产生泄露,同时停车后工作部件再启动时也会产生启动冲击,严重影响了恒压、恒流的工艺要求,因此采用变频调速的方法控制调节系统管路内液体流量和压力。为了充分利用变速调节对管路内压力、流量的调节功能,以及实现远程操作和监控的功能,将变频器与可编程控制器(PLC)相连,从再生塔流出的新鲜液体要经过增压泵进入吸收塔,用压力传感器和流量传感器将采集新鲜液体的压力和流量信号传送到 PLC 中,PLC 经过计算分析给变频器一个调速命令,从而改变泵的转速来调节液体的压力和流量。当流量计和压力表检测到管路中的流量和压力在系统正常运行范围内时,变频器控制泵工作在设定频率状态,一旦流量或者压力超出正常运行范围,现场检测元件将采集的信号传送到 PLC 中进行分析,此时 PLC 一般将采用 PID(比例-积分-微分)功能,及时调整测量参数和设定参数的误差,改变变频器的输出功率,从而调节泵的转速来改变管路内的压力和流量,使其达到最优状态。压力、流量控制结构如图 3 所示。

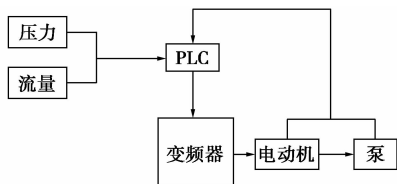


图3 压力、流量控制结构图

2.2 透平转速调节控制

为了使得余压透平发电运行在最优工作状态下,还需对透平发电装置的转速进行有效的控制和调节。同时转速的调节也决定了能否实现发电并网。

可以通过调速阀和静叶调节来实现透平转速控制。从吸收塔流出的高压液体进入透平管道,

这时,以一定的速率打开调速阀,当透平转速达到 1 000 r/min 时投入 PID 自动调节,直至最后稳定在设定值 3 000 r/min。静叶调节是通过调节静叶的角度来控制透平转速,通过速度传感器将检测到的透平转速信号送到 PLC 中,根据转速设定值进行 PID 调节,PLC 输出调节信号去控制静叶的开度,从而调节透平的转速,直至最后稳定在 3 000 r/min。通过对比和论证分析决定采用静叶调节控制转速,不仅可以节约设备投资,也减少了管网阻力造成的能耗。同时实践表明,在系统控制参数充分优化的前提下,使用静叶控制转速的效果非常理想^[4]。

根据透平转速的不同控制静叶角度,静叶的开度位置由电液伺服控制系统来控制,如图 4 所示,当 PLC 发出控制信号,经过伺服控制器与油缸实际位置信号比较、放大后,送入到电液伺服阀,伺服阀按一定的比例将电信号转换成液压油流量推动油缸运动,位置传感器发出的反馈信号不断在改变,当与 PLC 发出的指令信号相等时,油缸停止运动停在指定的位置,此时透平静叶稳定在此开度上。可见通过静叶调节可以使透平转速实现自动调节控制。

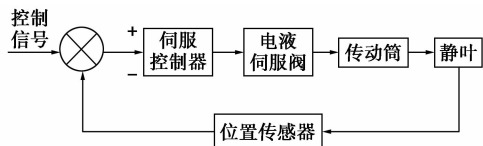


图4 静叶调速控制框图

3 发电并网设计

透平作为动力机构驱动发电机,当发电机的转速达到额定转速时,余压透平发电机组将与市电并网,调节透平的转速,当透平转速超过发电机的额定转速时,发电机由电动状态变为发电状态向电网输送电能。鉴于异步发电机维护方便、稳定性好,因此本系统采用异步发电机,其产生的电能供车间厂房自用,剩余的电能可以与外网并网,同时当用电不足或者发电装置出现故障时,也可以从外网补给。

3.1 并网过程

余压发电并网运行前,需满足以下几个条件:①发电机的电压应与电网的电压大小相等、相位相同;②发电机的频率应与电网频率相同;③发电机的相序应与电网的相序一致^[5]。并网过程中,由于异步发电机并入电网运行时是靠滑差率来调整的,其输出的功率与转速近似呈线性关系^[6]。只要异步

发电机的转速接近同步转速,便可发电并网向电网输送电能,然后通过调节透平转速增加发电机的转速,提高发电机的输出功率。当需停机时,可以通过透平机降低发电机的转速,使输出的有功功率降低为零,然后断开发电机即可。但是异步发电机在并网瞬间往往会产生较大的冲击电流,使电网电压瞬时下降。过大的冲击电流会使发电机与电网连接回路中的自动开关断开,从而导致发电并网的失败。因此必须采取合理的并网方法。本系统采用双向可控晶闸管软并网。在异步发电机的定子与电网之间在每相串入一只双向晶闸管,双向晶闸管的两端与并网自动开关 K 并联。通过调节晶闸管使导通角逐渐增大,可以将发电并网瞬间产生的冲击电流控制在允许范围内,从而可以平稳发电并网。

并网过程如图 5 所示,余压透平发电机组启动前,先检查发电机的相序是否与电网一致,若相序正确,合上并网开关,发电机组开始启动。异步发电机产生的电能首先经过整流器整流变成直流电,然后经过逆变器逆变成交流电,最后经过晶闸管与交流电网并网。当发电机转速接近同步转速时,双向晶闸管的控制角由 180° 到 0° 逐渐打开;此时,双向晶闸管的导通角由 0° 到 180° 逐渐增大,并网自动开关 K 未动作处于打开状态,异步发电机通过晶闸管平稳地并入电网;随着发电机的转速逐渐升高,发电机的滑差率逐渐趋于零,当滑差率为零时,并网自动开关 K 闭合,双向晶闸管被短接,其异步发电机输出的电流不经过双向晶闸管,而是直接通过并网自动开关流入电网。

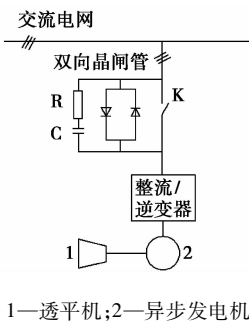


图 5 异步发电机晶闸管并网

3.2 并网过程中监控设计

采用机组控制柜控制和保护余压透平发电机组

发电并网过程中的运行情况。通过现场测量设备采集电网转速、电压、频率等参数传送到机组控制柜 PLC 中,然后与逆变器输出的电压等参数进行比较,PLC 分析后传送给触摸屏,从而可以将现场的运行情况实时显示出来。发电机组的控制柜上也装有电压、频率、相序等保护继电器,工作人员调节机组电压、频率以及相位角,使并网发电机的状态尽可能与外部电网一致。同时也设有报警和并网指示灯。当透平发电机组电压、相序等参数与电网一致时,相应的继电器常闭触点闭合开始并网,这时并网指示灯亮。当发电机组相序与电网不一致或者电压、频率、转速等参数出现故障时,报警指示灯亮,这时工作人员可以通过触摸屏远程地对发电机组参数进行调节,以满足并网运行。结构控制图如图 6 所示。

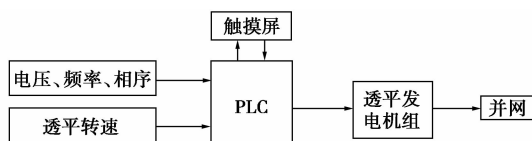


图 6 发电并网控制系统结构图

4 结束语

余压透平发电技术将合成氨工艺中液体压力能量合理回收和利用,有效地缓解了企业用电紧张的局面,产生了良好的经济、环境和社会效益。具有很好的示范效应和推广价值。同时该技术也可以广泛应用于石油、化工、海水淡化等行业,节能环保,符合可持续发展的理念和要求。

参考文献

- [1] 曲良军. 余热余压发电浅析[J]. 资源节约与环保, 2012, (3): 39-41.
- [2] 杨守智, 李姝娟, 李金强, 等. 应用能量回收机改造铜洗工艺技术经济分析[J]. 化肥设计, 2003, 41(6): 50-52.
- [3] 王照成, 李繁荣, 周明灿. 余热能量回收装置在湿法脱碳工艺中的应用[J]. 化肥设计, 2013, 51(3): 46-49.
- [4] 马琴, 王玉玲, 赵佳, 等. 高炉 TRT 发电机组自动控制系统研究[J]. 冶金动力, 2005, (5): 88-90.
- [5] 孙昆. 余热、余压发电对电网的影响[J]. 农村电气化, 2011, (9): 57-58.
- [6] 刘志华, 王海宁. 风力异步发电机的并网与控制系统[J]. 内蒙古石油化工, 2013, (2): 64-65. ■