

浅谈沼气发电机运行

袁哲增，郝秋华，蔡军峥，张永兵，袁亚林
(北京城市排水集团有限责任公司，北京 100022)

摘 要：本文简要介绍了污水处理厂内沼气发电机用途，根据高碑店污水处理厂实际情况进行分析，提出更为安全可靠的运行模式，并针对现有情况进行经济分析。

关键词：沼气；沼气发电机；污水处理厂

沼气发电是污泥处理的一个重要环节。就国内目前的沼气利用来说，大型污水处理厂沼气发电的实例基本没有。自 2000 年，高碑店一期沼气发动机开始试运转以来，我们一直从机械和自控方面摸索运行经验。下面简单介绍如下。

1 水处理厂沼气利用

经科学研究认定，沼气的主要成分为甲烷，一般体积含量为 60% ~ 70%，甲烷对大气的危害是二氧化碳的 24.5 倍。如处置不当，排放到大气中，对局部环境危害极大。随着人们环保意识的不断增强，人们对沼气的利用越来越重视。在经济不断发展的今天，沼气成为一种较为环保的能源。沼气可以燃烧产生热能，也可以用来发电。

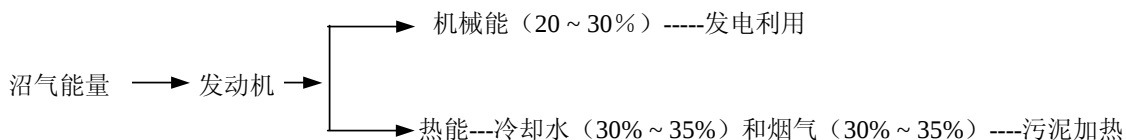
在污水处理厂的污泥消化处理工艺中会产生大量的沼气，主要用于沼气发电。沼气发电系统主要分为两大部分：沼气储存系统和沼气利用两大部分，工艺流程如下：

气柜 → 沼气增压机 → 球罐 → 沼气发电机

以高碑店污水处理厂为例，其沼气储存系统，主要包括 3000 立方米的低压湿式气柜、沼气增压机和 2000 立方米的球罐；沼气利用系统是指利用污泥消化产生的沼气，通过气体燃烧，进行能量转换，达到利用目的的系统。

2 沼气发动机的用途

沼气发动机的基本原理是利用沼气在气缸内燃烧，将热能转换成机械能，进而转换成电能的过程。沼气发动机的能量转化可表示为：



沼气发动机有两种利用形式，一种是驱动发电机发电。沼气发动机的机械效率一般在 20% ~ 30% 之间，即沼气中的能量有 20% ~ 30% 转化成了电能，60% ~ 70% 转化成了热能，这部分热能回收后，可作为消化池加热的热源。另一种利用途径是带动鼓风机为生物池曝气，在青岛的一些污水处理厂应用的比较普遍。

3 研究的基本情况

高碑店污水厂一期运行的沼气发电机为美国库伯公司生产的 6GTLB 型单缸直列式沼气发动机。单台发电每小时输出功率为 470 千瓦，沼气耗量为 276 立方米/小时。

该机可根据设定的程序，实现自动启动、停车。在运行过程中，可将运行的状况，如内燃机气缸的工作温度、排气温度、转速、输出功率等主要参数显示在计算机屏幕上，帮助值班人员了解机组的运行状况和判断出现故障的原因。

4 沼气发动机运行状况

4.1 发电机的启动系统

启动过程有以下部分：

① 扫气过程：当发动机开始曲柄转动，扫气过程就开始了，并持续足够的时间将燃料从气缸中排出。通常有 10 秒的时间就足够了。扫气过程中，点火系统接地，启动燃料阀关闭，运行燃料阀处于放空位置。

② 启动过程：发动机扫气后，(a) 点火系统解除接地；(b) 运行燃料阀从放空转换到关闭位置；(c) 启动燃料阀，以控制速度开启，逐渐增加燃气总管压力。

预燃室和主燃室有了足够燃料后，发动机将启动，并增加空转速度，启动燃料室阀几乎全部打开，调速器进入控制，通过控制燃气测量阀来控制发动机的速度。

③ 调节：

a 控制板的启动系统部分有三个可调元件：偏压重设；针状阀跃升；针状阀闭合延时。

因偏压重设及闭合延时阀厂方已设置好，因此，我们只根据发动机本身的温度和环境温度来调整针状阀跃升。

b 在发动机的启动系统上只有两个可调元件：启动燃料阀和气动接地开关。

启动燃料阀控制压力为 4 PSIG 时打开，通过转动一个外部可触螺母增加或减少弹性偏压来获得所需的压力。

启动接地开关被设置为 20 PSIG 时开启，可拆下端盖进行调整。

表 1 发动机的常见启动系统故障分析

故障现象	可能原因	解决方法
发动机启动困难	启动控制板“跃升速度”设定太快 启动燃料阀调节设定太低	调节“跃升速度”针阀 以 4 PSIG 信号压力调节启动燃料阀
启动时间过长	启动控制板“跃升速度”设定太低 启动燃料阀调的太高 盘车速度不够	调整“跃升速度”针阀 调到信号压力 4 PSIG 时打开 调到 70 转/分以上以提供足够的磁机电电压
发动机不点火	接地开关接地 火花塞潮湿 一次接地损坏	检查接地开关并调整 更换火花塞 更换一个高压线

启动成功后，应特别注意观察发电机的以下几方面：

① 发动机油压不低于 20 PSIG (1.4 kg/cm²)，全速运转时，应为 35 ~ 45 PSIG (2.5 ~ 3.5 kg/cm²)

② 发动机油温、水温均不低于 72℃ 时，方可开始加载。

③ 输出水温过高（超过 90℃）或过低（低于 78℃）为水系统工作异常的标志，应引起注意。

4.2 点火系统

发动机点火系统是采用一个有永磁交流发电机供电的电子、电容放电系统。为了使发动机在转速范围内高效、正确的工作，对点火定时的改变和火花塞间隙的调整是十分重要的。

在发动机运转过程中，发现气缸温度过高或过低，可检查点火定时（正确值应为止点前 13 度）。如果发现点火定时不正确，可松开发电机的固定螺钉，旋转交流发电机，直至调到正确定时，并重新紧固固定螺钉，这一过程在发动机运转时可完成。

通过这几年的经验，我们认为发动机启动困难，低速不点火或负荷不稳定，通常是由于火花塞间隙过大导致的。当火花塞的间隙过大时，电压要求火花隙增大，随之会增加点火系统的故障和维修次数。

当发动机的一个气缸不点火或几个气缸工作不正常，就会造成发动机输出功率下降。未燃烧的燃气通过不点火的气缸可能造成排气系统回火，严重损坏发动机。建议热车停车后，再次启动应间隔 5 ~ 10 分钟，并进行盘车。

为确保点火系统的正常运行，应每周清洗一次火花塞，并注意调整间隙（火花塞间隙为 0.46 mm），还应用清洁、干燥的布擦拭绝缘体表面的油污及杂质，从而降低“闪灭”和导电的可能性。

目前，通过监控排气温度计、排气声音和空气管路压力读数的变化来判断点火不良，并及时的矫正，以延长火花塞及发动机的使用寿命。

4.3 润滑系统

润滑系统是发动机的一个简单系统，其重要性不可低估。它主要有以下功能：冷却发动机零件；降低机件磨损；清洗轴承表面脏物和颗粒；给气缸起到密封作用。

在日常工作中，观察润滑系统油压十分重要（最低能低于 1.4 kg/cm^2 ，正常时为 $2.5 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ ），它显示系统工作是否正常。当发动机温度低时，油压自然高于正常压力，当发动机工作正常时，油温升高，油压就会下降。

此外，润滑油过滤器滤芯每运行 1000 小时，或当压差达到 $1 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ 时，应予以更换。发动机的润滑油每运行 1000 小时应更换。

从发动机两年的运行看，因沼气中含有硫化氢气体，硫化氢燃烧后，可能产生酸性物质，因此应定期（约 500 小时）检查润滑油的酸值（酸值表示润滑油中有机酸的含量，有机酸容易腐蚀机件，所以酸值越大，对铜及合金产生腐蚀的可能性就越大，同时也增加磨损和油泥）。

为了适应润滑要求和改善润滑油某方面的性能，建议添加润滑油添加剂（如我厂沼气发动机的润滑油可添加抗氧化、抗腐蚀添加剂，如硫磷化烯烃钙盐），因为抗氧化抗腐蚀添加剂能与油中物质氧化生成过氧化物，从而起到抑制油氧化的作用。

4.4 空气进气系统

空气进气系统主要有凸轮轴、进气门和排气门空气过滤器等组成。保证定时、定量的向发动机供给清洁的空气。

在工作中，空气进气系统主要考虑以下三个因素：空气的温度、流量和清洁度。

① 空气温度不可过高，也不可过低。进入燃气室的空气温度应在 $15 \sim 32^\circ\text{C}$ 比较好。空气温度过高，空气密度就小，含氧量降低（空气每升高 6°C ，发动机功率就会降低 1%），导致发动机不完全燃烧，并增加燃料消耗。同时，空气进气温度过高，可使排气温度也升高（空气进气温度每升高 6°C ，排气温度将上升 17°C ），这样会影响零件（如气门，气缸头）的寿命。因此，在炎热的夏季，

对室外风冷器采取喷淋降温，使经过中间冷却器的水温下降，以保证合适的进气温度。若进气温度过低，特别是当发动机低负荷运行时，空气温度低，可使点火滞后，功率降低，增加积碳，润滑不良，导致发动机过度磨损。

② 气量不足，如空气量供给不足，将使发动机燃烧不完全，从而在气缸头、气门和活塞顶部产生积碳，从而降低发动机的功率。因此，定期检查吹扫空气过滤器是非常必要的。同时，定期更换空气过滤器也是非常重要的。定期更换或清扫空气过滤器可提高空气的清洁度，减少灰尘进入发动机，从而提高发动机的使用寿命。

③ 空气的清洁度：空气的清洁度主要是对空气中颗粒物等的要求，对高碑店的发电机来说，进气有空气过滤器，定时更换空气滤网即可。

4.5 排气系统

排气系统的作用是将燃料燃烧产生的废气从发动机排出。排气系统在整个系统的重要之处在于发动机的背压。背压高，可降低发动机的功率，并使气缸温度过高，加速器磨损。

发动机的进气燃烧后产生的硫化物会从排气管排出，有很多反应残余物会附着在余热回收装置的气管内壁，时间长，会造成气管内有效内径变细，从而使排气背压升高，并腐蚀废气热交换器。因此，定期清扫余热回收装置是一件非常重要的工作。

因发动机排气管较长，冷凝下来的水会附着、凝结和集聚在排气管壁上。为避免停机后冷凝水流入气缸，应定期打开涡轮增压器后的放水螺栓，以排出管壁上的冷凝水。

4.6 冷却系统

燃气发动机一般通过三个热交换系统排出热量。

- ① 发动机水套主要吸收气缸套、气缸头和排气总管的热量；
- ② 油冷却器主要冷却发动机润滑油，使润滑油温度控制在 87℃ 以下；
- ③ 中冷器主要冷却涡轮增压器送往气缸的空气，使进入燃烧室的空气为 15 ~ 32℃。

在日常工作中，发动机冷却系统主要应注意系统内的水温，最高温度不超过 90℃，最低水温不低于 70℃。还有一个重要的是注意膨胀水箱的水位。膨胀水箱在冷却系统中主要是控制水泵的压力。从膨胀水箱底部到水泵的入口用一根静压管控制水泵的入口压力。如果水泵压力高，冷却液就回流。膨胀水箱液位上升，直至平衡。反之，冷却液下流，从而保证水泵正常工作。

因此，在日常工作中，应注意观察并保证膨胀水箱的正常液位，否则，会造成水泵损坏和发动机过热。

5 沼气发动机运行成本分析

高污厂一期发动机（单台）按使用要求，每工作 1000 小时需更换润滑油，再加上平时添加量，共需润滑油 500 升，折合人民币 6500 元。单台每运行 1000 小时需更换 30 个火花塞，每个火花塞为 500 元人民币，共需人民币 15 000 元。发动机运转 1000 小时，其他零配件约需 20 000 元人民币，人工费用约为 64 000 元人民币（2000 元×16 人×2 个月=64 000 元），则总成本为 105 500 元。

而 1000 小时运行（平均按 450 千瓦/小时计算），发电 450 000 度，按照每度电市网电费 0.5 元人民币计算，1000 小时发电量折成人民币 22.5 万元，其消耗占总收益的 47%。

由此可见，沼气利用于内燃机发电在污水处理厂中应用具有较好的经济效益。

6 建议

由于发动机对燃气有较高的要求，一般要求沼气中的硫化氢含量小于 1150 mg/m^3 。而目前我厂沼气系统净化后，硫化氢的含量一般都还在 0.5% 以上，最高可达 2.6%。由于硫化氢严重超标，燃烧后产生的二氧化硫等物质对发动机的气缸和余热回收系统都产生严重的损坏，影响了发动机的正常运行。因而，污水处理厂内加设沼气发电机组要注意沼气的脱硫，高效的脱硫技术对于沼气发电机的正常运转起到决定作用。