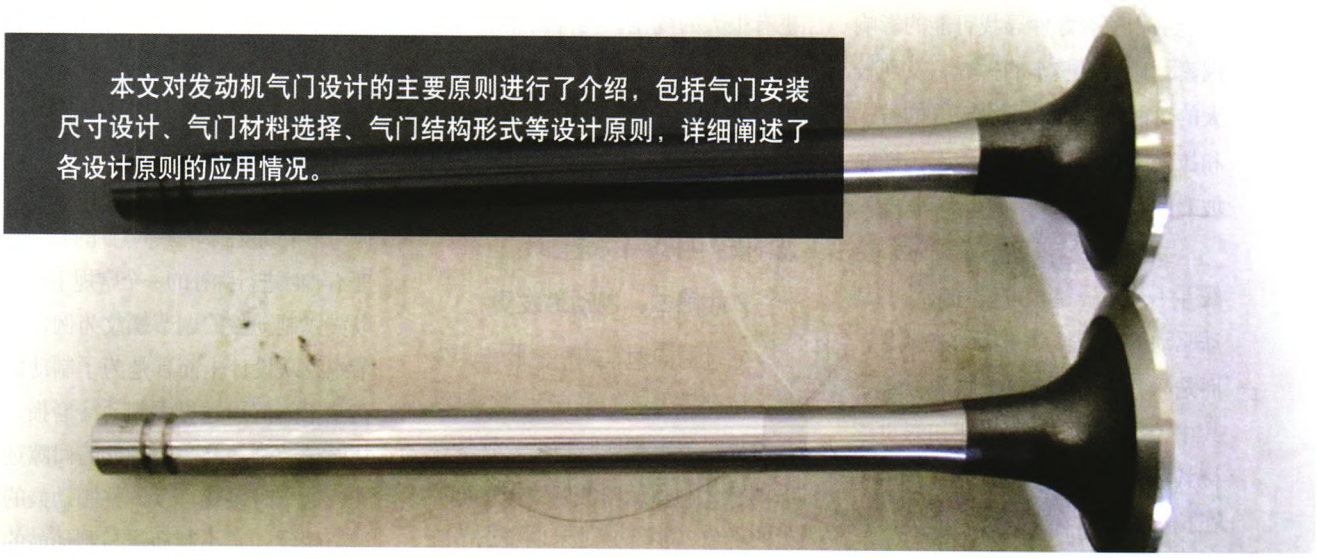
# 发动机气门设计

□ 湖南天雁机械有限责任公司/江文广

本文对发动机气门设计的主要原则进行了介绍，包括气门安装尺寸设计、气门材料选择、气门结构形式等设计原则，详细阐述了各设计原则的应用情况。



气门是发动机密封进排气口的关键基础零件，用于控制发动机的气体交换。其工作条件恶劣，不仅处在高温的氧化腐蚀性气氛中承受着反复的冲击负荷，还承受着起热应力及燃烧时气体压力等的共同作用，这要求气门具有合理的外形尺寸、足够的热强度、良好的耐磨性和使用寿命、良好的抗氧化腐蚀性能、良好的锻造及机加工性能等。因此气门设计时在考虑安装尺寸、气门强度和刚度、气门材料及表面处理方式等因素下，合理地设计对保证气门及发动机工作可靠性显得尤为重要。

## 气门设计的主要原则

### 1.气门安装尺寸设计原则

气门作为发动机配气机构的主要组成部件，设计时首先要保证其与其他配气机构零件的安装尺寸。目前国内发动机厂家在对配气机构总体设计时就已经完成了对气门安装尺寸的设计，一般各气门厂家再根据发动机厂提供的设计输入草图进行局部的修改。

气门与其他配气机构零件的安装尺寸有：气门锥面角度、锥面厚度、盘外圆直径、盘边高、盘总高、杆部直径、杆部长度、总长、锁夹槽结构形式、锁夹槽距离及颈部结构等。从这些安装尺寸可以发现除气门颈部细节尺寸外，气门外形尺寸已经确定，可供气门厂家独立设计的外形尺寸很少。对比外资气门厂家，它们拥有所有自主设计气门图纸能力及软硬件技术支持能力。基于这种情况，要提高气门的自主设计能力，在提高自身软硬件能力的同时，必须同步参与发动机厂的总体方案设计。

（1）气门锥面角度。锥面角度对气流流通能力影响很大，在气门开启的初期，流通面积与气门锥角的正弦成正比。所以较大的锥角有利于获得较高的单位时间流量，这对于要求高流量的进气门尤为重要，一般进气门选择60°锥角。

锥面角度选择，除考虑流通面积，还要考虑锥面角对气门座面上的单位压力，锥面角度越小，座面压力越大，锥面与座面之间的摩擦力越大。对于工作座面容易积碳的排气门大多选择45°锥角，以此获得较好的座合压力。这样，积碳很容易被压扁、压碎或擦掉。增大锥角主要是为减少磨损，这样的措施

经常使用在气体发动机上。因此，在燃料中较少或不含润滑成分的发动机中经常使用锥角为65°～75°的进气门，以提高气门抗磨能力。应该注意的是大锥角无法挤掉与座面之间的沉积物，因此，使用这种气门时主动旋转十分重要。

（2）气门盘外圆直径。为了得到良好的气体通过能力，气门盘外圆直径应尽可能大，但它受到气缸内径、每缸气门数量、火花塞或喷油器的布置以及缸盖上进排气通道、气缸间冷却水套的设计等因素制约。多数情况下盘外圆直径的确定是参考已有的类似机型气门设计数据进行模拟试验及修正。一般进气门的盘径为气缸盘直径的40%～50%。在自然进气情况下排气门与进气门盘径尺寸之比为（0.7～0.9）：1，在高负荷式涡流增压情况下的进排气门盘径尺寸之比可接近1：1。

（3）气门杆部。确定气门杆径的基本因素是气门盘部直径及其在发动机中的使用方式，一般情况下进气门盘径与杆径之比为（4～6）：1，为了简化缸盖加工，进排气门的杆径公称直径一般相同，但考虑到使用寿命及其他设计要素，也可以设计不同的杆径。

气门杆部长度尺寸取决于气缸盖、导管及气门弹簧等设计，一般情况下气门杆部长度为进气门盘径的2～2.8倍。气门导管与杆部配合长度，只要空间尺寸允许，气门导管应尽量长，经验数据为杆径的7倍。这样，可以使摇臂在气门杆端面上的横向滑动对导管的侧压力减少至最小，在气门机构不存在横向滑动的情况下，则导管长度可短些。

（4）气门锁夹槽。由于对气门锁夹进行了标准化，规定了具体细节，在保证质量的同时提供了相互间的互换性，因此，对应的气门锁夹槽同样实现了标准化、系列化。一般在设计时只要根据发动机实际需要选择所需的锁夹槽型式即可，而锁夹槽距离根据实际需要由发动机厂确定。

（5）气门颈部结构。除了流通性能外，气门头部（盘部和颈部）外形尺寸必须满足如下要求：盘径与厚度比例适当以保证有限密封，气门头部应力及温度要低以保证适应寿命。

气门形状设计有两种观点：一种观点认为气门头部刚性要高，因而颈部圆弧半径要大，盘部要厚；另一种观点认为，气门头部挠性要好，以利于随时适应缸头的各种变形，因此颈部圆弧半径要小，盘部要薄。根据应用经验，市场上绝大部分气门是采用刚性高、颈部圆弧较大的形状方案，而“弹性型”形状的气门用于转速较高的发动机气门、盘端面大凹坑不加工的气门或某些进气门，排气门和重型发动机气门应该避免“弹性型”形状结构。

气门颈部圆弧与杆部的过渡部同样影响气流，但更重要的是其尺寸，它起着整个圆弧部的应力水平分布平衡作用。一般说此处圆弧半径为盘径的20%～50%，排气门要比进气门大些。为提高气门使用寿命，过渡部也常设计为腐蚀和疲劳失效十分敏感，增加颈部锥度过渡可以在质量不增加或质量增加很少的情况下提高寿命，同时还克服了杆径增加而带来成本也增加的不足。在盘部和杆部过渡处增加颈部锥度角，同时适当加长颈部长度尺寸，这样既直接增加了气门颈部第二热点位置的，增强盘杆过渡处强度，又避免了盘杆过渡处与第二热点重合，使得两个应力集中位置分离，有利于提高气门颈部使用寿命。近几年随着发动机强化度的不断提高，采取在颈部与杆部过渡区增加颈部锥度角这一设计原则越来越多的被采用。

### 2.气门材料选择

由于进排气门工作温度、使用环境的不同，在材料选择上有着各自的选择范围。柴油机进气门工作温度一般在300～500℃，排气门的工作温度一般在600～750℃。进气门对材料的要求是有良好的耐磨性和足够的强度、韧性和耐冲击性。排气门对材料的基本要求是耐燃、耐磨和有足够的抗弯强度及防止头部下沉或颈部断裂的抗蠕变性能。

目前柴油机进气门材料大部分采用45Cr9Si3、4Cr10Si2Mo、85Cr18Mo2V马氏体钢，马氏体钢通过调质处理一般可以满足要求。45Cr9Si3是普通负荷进气门、单金属进气门的标准材料，另外也广泛应用在双金属气门的杆部材料上。85Cr18Mo2V是更高的合金冶炼材料，应用于较高负荷进气门，具有良好的抗氧化性和耐磨性。但随着温度的提高和机械负荷的增大，特别是近几年气体机的快速发展，也有一些强化度高的柴油机和气体机进气门采用21-2N、21-4N奥氏体钢。

排气门材料要求较高的热强性和抗腐蚀能力，一般要用奥氏体钢或高温合金。奥氏体钢气门一般

可承受600～750℃，瞬态可达800～830℃的高温。随着柴油机的强化，排气门温度的提高，正逐步采用低镍量的氮强化型奥氏体钢、高镍量的氮强化型奥氏体钢和高温合金。长期以来国内柴油机排气门材料大部分都是用的21-4N、23-8N、21-4NWNb和ResisTEL。

近几年随着发动机强度的提高，特别是气体机的快速发展，奥氏体钢不能满足发动机性能要求，而选用80A等高温合金生产成本较高，客户难以接受，因此一些新型的铁镍基高温合金正在被更多的发动机所使用。例如钢铁研究总院生产的LF2、LF4铁镍合金、申源特钢生产的Ni30铁镍合金、北京特冶生产的TS913、TS916铁镍合金、日立金属的HRV30（即NCF3015）、HRV40（即NCF4015）、HRV50铁镍合金。这些铁镍合金高温性能接近或超过80A高温合金，由于镍含量的降低，原材料价格比80A材料售价要低，未来将得到更多应用。

气门材料选择是气门设计工作中重要工作之一，材料常温、高温机械性能为排气门强度和寿命设计提供最基本的数据，这是选择材料第一步，而影响气门选材的决定性因素是气门工作温度。排气门的工作温度一般在600～750℃，有的甚至高达800～850℃。

气门材料国标GB/T12773-2008对各材料的高温机械性能已作说明，气门材料的高温合金高温短时抗拉强度与高温短时屈服强度详见“国标GB/T12773-2008附录A”，根据材料的高温性能及应用经验，国内应用的气门材料使用工况见附表。

**典型气门材料使用工况表**

| 序号 | 气门材料 | | 热处理状态 | 应用范围（柴油机） | | 最高许用使用温度/℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 材料类型 | 牌号 | | | | |
| 1 | 马氏体钢 | 45Cr9Si3 | 淬火+回火 | 进气门 | 中等负荷柴油机 | 570 |
| 2 | | 85Cr18Mo2V | 淬火+回火 | 进气门 | 重型柴油机 | 620 |
| 3 | 奥氏体钢 | 21-4N | 固溶+时效 | 进气门/排气门 | 中等负荷柴油机 | 720 |
| 4 | | 21-4NWNb | 固溶+时效 | 排气门 | 重型柴油机 | 750 |
| 5 | | X30CrMnNbN25-12 | 固溶+时效 | 排气门 | 更高负荷重型柴油机 | 800 |
| 6 | | Resis TEL | 固溶+时效 | 排气门 | | |
| 7 | 高温合金（低镍合金） | LF2 | 固溶+时效 | 排气门 | 高温重型柴油机 | 830 |
| 8 | | Ni30 | 固溶+时效 | 排气门 | | |
| 9 | | NCF3015 | 固溶+时效 | 排气门 | | |
| 10 | | TS913 | 固溶+时效 | 排气门 | | |
| 11 | 高温合金（高镍合金） | Pyromet31 | 固溶+时效 | 排气门 | 最高负荷下的柴油机 | 850 |
| 12 | | 751 | 固溶+时效 | 排气门 | | |
| 13 | | 80A | 固溶+时效 | 排气门 | | |

### 3.气门结构形式

气门按结构形式分为单金属气门、双金属气门、中空气门，商用车发动机气门常用单金属气门和双金属气门结构，中空气门主要应用于高转速的发动机，如赛车发动机。

在进排气门材料确定以后，其气门结构形式也基本确定。如果进气门采用45Cr9Si3或85Cr18Mo2V马氏体材料，则进气门结构为45Cr9Si3或85Cr18Mo2V整体单金属气门；如果气门采用奥氏体钢或高温合金材料，一般采用双金属气门结构，因为双金属气门使杆部（马氏体）和盘部（奥氏体或高温合金）各自的最佳材料的理想组合成为可能，两种材料通过摩擦焊连接。

对于有些发动机气门杆端面与摇臂不直接接触，两者之间有气门杆顶帽或挺住或气门桥，当气门采用奥氏体钢时，也可以不用双金属气门结构，而直接用单金属气门结构，因为这样在满足发动机性能要求的同时，双金属气门结构和单金属气门结构成本相差不大，但气门生产工艺简单，更重要的是还可以规避摩擦焊接失效风险。

## 结语

气门作为发动机重要零件之一，本文仅对常用的主要设计原则进行了阐述，在气门设计时需要考虑的因素很多，例如气门加工成本、气门加工工艺性、气门与座圈摩擦副等。必要时还需要进行一些试验，如选择气门材料时，必要时需要进行气门温度场试验、气门与座圈摩擦副选择时需要做高温强化磨损试验等，这就要求气门设计者拥有相当的设计经验，这对提高气门设计及发动机设计水平很重要。

AUTO1950