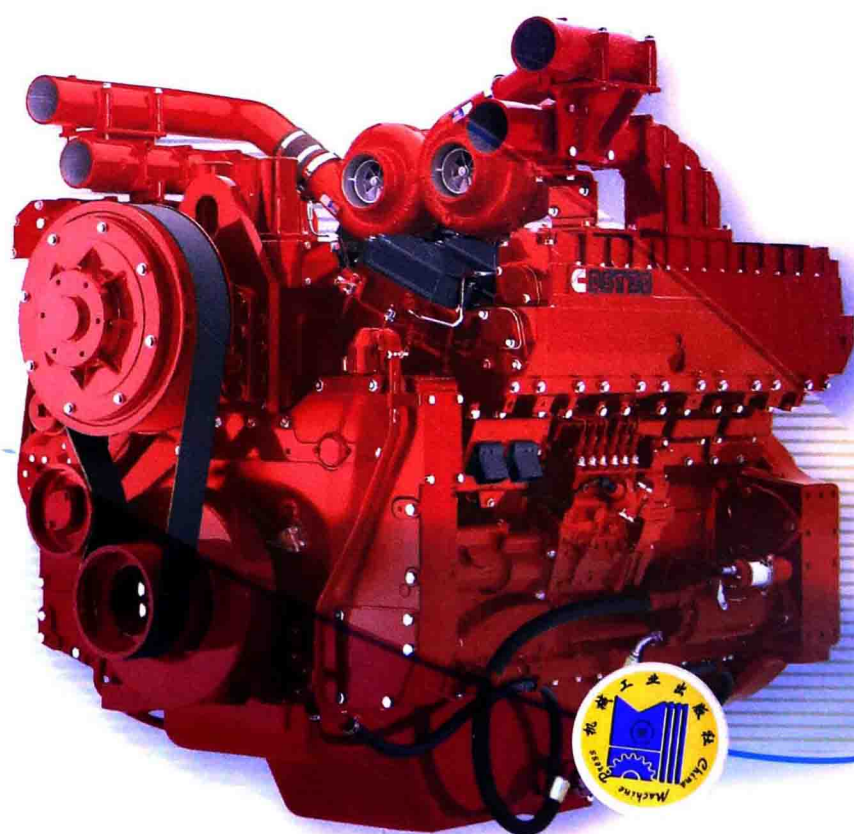


康明斯 柴油机构造及 常见故障分析

张卫东 梅华平 等编著



康明斯柴油机构造 及常见故障分析

张卫东 梅华平 等编著



机械工业出版社

本书较详细地介绍了康明斯柴油机的构造特点,并结合大量实际案例阐述了康明斯柴油机常见故障的分析和排除方法。重点针对康明斯柴油机曲轴连杆机构、增压系统、燃料系统及电子调速、电子监控、传感器、无刷发电机等系统部件进行了分析。内容新颖,通俗易懂,实用性强。

本书可用于相关专业院校师生、军队士官培训,也可供柴油机及汽车、工程机械使用维修人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

康明斯柴油机构造及常见故障分析/张卫东等编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-111-44184-7

I. ①康… II. ①张… III. ①柴油机—构造②柴油机—故障诊断
IV. ①TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 228309 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红

版式设计:常天培 责任校对:丁丽丽

封面设计:姚毅 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·508 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-44184-7

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

编辑热线(010) 88379778

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

康明斯柴油机是美国康明斯发动机公司生产的高品质柴油机，在汽车、船舶、动力机械和发电机组上都得到广泛应用。康明斯柴油机广泛采用增压和电子监控系统，以及集成化积木式设计，除装配柱塞式喷油泵外，还采用了独特的 PT 燃油系统，具有很好的经济性、动力性和可靠性。康明斯柴油机的广泛应用，直接带来了对该柴油机专业维修人才的迫切需求。为适应这一需要，提高康明斯柴油机使用维修人员的专业理论、故障分析和排除及解决实际问题的能力，特编写了本书。

本书将康明斯柴油机构造特点与故障诊断分析有机地融合起来。目前，内燃机工业有了很大的发展，一些新结构与新技术理论的采用使内燃机性能有了较大的提高，而这些技术发展都不可避免地反映在康明斯柴油机的结构和使用中。为此，本书力图将新技术结构与具体的康明斯柴油机结合起来，使读者能深刻理解其结构特点和工作过程，并能据此对其故障进行具体分析，从而有针对性地排除故障。本书结合大量的实际案例，重点阐述康明斯柴油机常见故障的分析查找办法，图文并茂，资料详尽。希望读者能借助本书消除实际使用中的疑问，并掌握康明斯柴油机故障排除的实用技术。

本书内容按柴油机总体构造的系统组成编排，书中各故障案例便于维修人员借鉴他人故障排除的经验和方法，提高自身的故障排除水平和技能。同时，对康明斯柴油机的一般维护方法也作了较详尽的介绍，以期读者能在康明斯柴油机的使用维护中做到科学使用，预防为主，避免故障的发生。

本书由张卫东、梅华平主笔，刘丽华、刘谊露、陈安、刘镇民合作完成。疏漏之处敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言		第五章 燃油供给系统构造及故障分析	87
第一章 概论	1	第一节 直列柱塞式喷油泵燃油系统	87
第一节 柴油机构造原理	1	第二节 PT 燃油系统	127
第二节 康明斯柴油机构造特点	5	第三节 VE 分配泵燃油系统	158
第三节 柴油机故障排除的原则和方法	9	第六章 润滑系统构造及故障分析	182
第二章 曲轴连杆机构的构造与故障分析	16	第一节 康明斯柴油机润滑系统构造	182
第一节 机体组构造	16	第二节 润滑系统故障分析	190
第二节 活塞连杆组构造	23	第七章 冷却系统构造及故障分析	204
第三节 曲轴飞轮组构造	28	第一节 康明斯柴油机冷却系统组成及工作方式	204
第四节 曲轴连杆机构故障分析	33	第二节 冷却系统典型故障分析	210
第三章 配气机构的构造及故障分析	51	第八章 电气和控制系统	220
第一节 配气机构的组成与工作过程	51	第一节 康明斯柴油机起动电气系统	220
第二节 气门组构造	51	第二节 康明斯柴油机监控电路	230
第三节 气门传动组构造	53	第三节 电气与控制系统故障分析	241
第四节 气门间隙与配气相位	57	第九章 康明斯柴油机综合故障分析	254
第五节 配气机构故障分析	60	第十章 康明斯柴油机使用维护与保养	266
第四章 进排气系统构造及故障分析	67	第一节 柴油机的正确使用	266
第一节 进排气系统的组成	67	第二节 柴油机分级技术保养	283
第二节 空气滤清器及进、排气装置	68	参考文献	290
第三节 废气涡轮增压系统	69		
第四节 进、排气系统故障分析	76		

第一章 概 论

第一节 柴油机构造原理

一、柴油机的基本工作原理

自然界中，存在各种能源，如风力、水力、燃料等。利用这些能源，通过机械的作用，产生动力，这种机械即为发动机。使用燃料（如柴油或汽油）在发动机气缸内部燃烧，将燃烧后释放出的热能转换为机械能的机器，称为内燃机。柴油机是内燃机的一种，它利用柴油燃烧产生的热能，推动活塞运动，对外输出机械能。

1. 柴油机的基本结构

如图 1-1 所示，圆筒形的气缸内装有一个活塞，气缸上部装有气缸盖，活塞顶部与气缸盖之间构成的密闭空间为燃烧膨胀空间。燃料燃烧推动活塞沿气缸中心线上下往复运动，活塞通过连杆与曲轴连接，将往复运动转换成曲轴的旋转运动。曲轴两端支承在曲轴箱的轴承上，曲轴的尾端装有盘形飞轮。气缸盖上安装有进、排气门，根据工作需要开启或关闭。

2. 基本名词术语

柴油机已发展成为一门比较成熟的技术学科，产生了一批专门的技术术语。在了解柴油机的基本工作原理前，要先了解下面基本名词术语的含义，如图 1-2 所示。

(1) 上止点和下止点 活塞往复运动到达的最高位置叫做上止点，最低位置叫做下止点。

(2) 活塞行程 活塞在气缸内由上止点移到下止点（或由下止点移到上止点）所运行的距离称为活塞行程，通常以符号 S 表示。

曲轴每旋转半周（即 180° ），移动一个活塞行程。用字母 R 表示曲臂旋转半径（曲轴的主轴中心到连杆轴中心的距离），则 $S = 2R$ ，即活塞行程等于曲臂旋转半径的两倍。

(3) 工作循环 柴油机每产生一次动力，必须经过的进气、压缩、做功、排气一系列连续过程称为柴油机的工作循环。

(4) 燃烧室容积 活塞位于上止点时，活塞顶与气缸、气缸盖之间所形成的空间（即活塞顶上方的容积）称为燃烧室容积，用 V_c 表示。

(5) 气缸工作容积 活塞自上止点移动到下止点所让出的空间称为气缸工作容积，又称活塞排量，用 V_h 表示。实际上，气缸工作容积就是上止点到下止点之间的气缸容积。

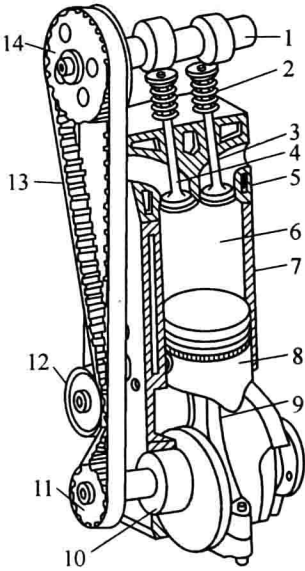


图 1-1 柴油机的基本结构

- 1—凸轮轴 2—气门弹簧 3—进气门
4—排气门 5—气缸盖 6—气缸
7—机体 8—活塞 9—连杆 10—曲轴
11—曲轴同步带轮 12—张紧轮
13—同步带 14—凸轮轴同步带轮

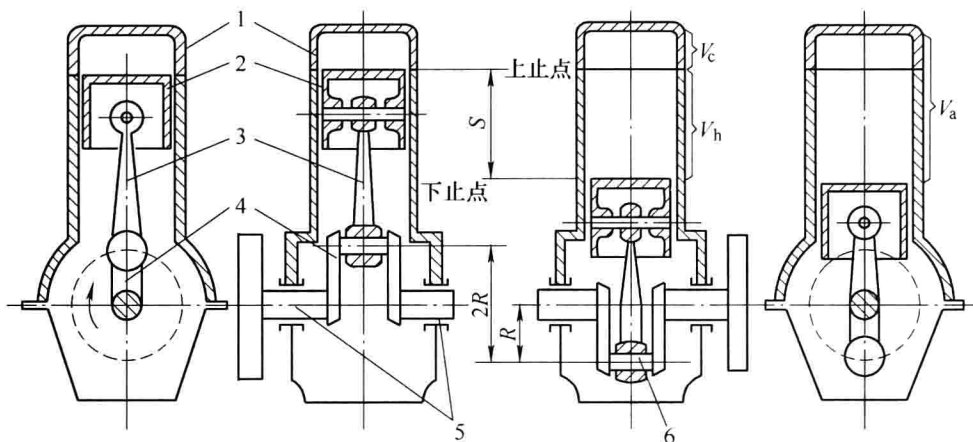


图 1-2 内燃机的基本名词术语图示

1—气缸 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5—主轴颈 6—曲轴连杆轴颈

若已知气缸的直径为 D ，活塞行程为 S ，则 $V_h = \frac{\pi D^2 S}{4}$

柴油机的排量即为所有气缸工作容积的和。

(6) 气缸总容积 活塞位于下止点时，其顶部上方的气缸容积称为气缸总容积，用 V_a 表示。

气缸总容积等于燃烧室容积与气缸工作容积之和。即 $V_a = V_c + V_h$

(7) 压缩比 气缸总容积与燃烧室容积的比值称为压缩比。换句话说，压缩比就是活塞从下止点到达上止点时，气缸总容积与气缸内气体被压缩后体积的比值，用 ε 表示。即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比是柴油机的重要指标，压缩比越大，柴油机气缸内工作条件越好。柴油机压缩比大于汽油机，因而具有更好的动力性和经济性。

3. 四冲程柴油机的基本工作原理

柴油机将柴油燃烧产生的热能转变为做功的机械能时，其每个工作循环都要经过进气、压缩、做功和排气四个过程。凡是活塞在气缸里上下运动四次、曲轴旋转两周（720°）完成一个工作循环的柴油机，称为四冲程柴油机。四冲程柴油机的工作原理可描述如下：

(1) 进气过程 进气过程是气缸内吸入新鲜空气的过程，如图 1-3a 所示。这个过程开始时，活塞位于上止点，当曲轴通过连杆使活塞从上止点向下止点运动时，气缸容积增大，气缸内压力降低，这时进气门开放，排气门关闭，在气缸内外气压差的作用下，外界空气被吸入气缸。活塞到达下止点时，进气门关闭，进气过程结束。此时，气缸内的压力约为 75 ~ 95kPa (0.75 ~ 0.95kgf/cm²)，温度约为 50 ~ 70℃。

(2) 压缩过程 压缩过程是提高缸内空气的温度和压力，为燃料的燃烧创造良好条件的过程，如图 1-3b 所示。当曲轴继续旋转，带动活塞由下止点向上止点运动时，进、排气门均关闭，进入气缸内的空气被压缩，气体的温度和压力升高。当压缩过程终了时，气缸内的压力可达 3.5 ~ 4.5MPa (35 ~ 45kgf/cm²)，温度可达 500 ~ 700℃。这个温度比柴油的自燃温度（柴油在空气中不用火焰去点燃而能自行燃烧的最高环境温度，一般为 300℃ 左右）高 200 ~ 400℃，从而保证喷入的柴油能自行着火燃烧。

压缩过程终了时气缸内的压力和温度，主要与压缩比有关。压缩比越大，压缩终了时气体的

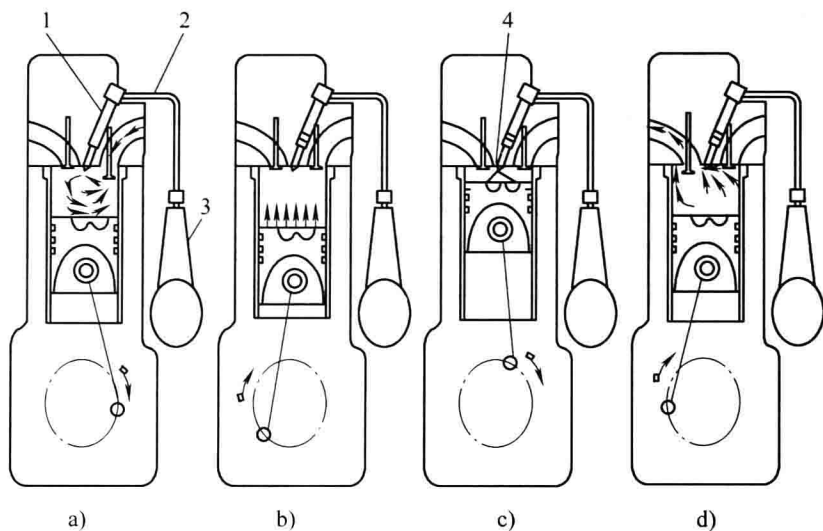


图 1-3 四冲程柴油机工作原理

a) 进气过程 b) 压缩过程 c) 做功过程 d) 排气过程

1—喷油器 2—高压油管 3—喷油泵 4—燃烧室

压力和温度便越高,这就有利于燃料的燃烧和燃气的膨胀,从而提高柴油机的功率和经济性。但柴油机的压缩比过大,燃烧时产生的最高压力将增加过多,以致机件受力过大,磨损加剧而使柴油机的寿命缩短。因此,现代柴油机的压缩比一般为 $16 \sim 20$ 。

(3) 做功过程 做功过程是指燃料燃烧和燃气膨胀做功的过程,如图 1-3c 所示。在这个过程中,进、排气门仍关闭。当活塞运动接近上止点时,安装在气缸盖上的喷油器将柴油以雾状喷入气缸,雾状柴油与高温空气接触,随后自行着火燃烧,故柴油机又称为压燃式内燃机。由于燃烧释放出大量的热,使气缸内的压力和温度迅速升高,燃烧时最高温度可达 $1700 \sim 2000^{\circ}\text{C}$,最高压力可达 $5 \sim 10\text{MPa}$ ($50 \sim 100\text{kgf/cm}^2$)。高温、高压的燃气急剧膨胀,推动活塞从上止点向下止点运动,带动曲轴、飞轮旋转,对外做功。由于喷油和燃烧要持续一段时间,所以虽然活塞开始向下运动,但气缸内的压力并不立即下降。随着活塞的继续下行,气缸内的压力和温度很快降低。活塞运动到达下止点,做功过程结束时,气缸内的温度下降到 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$,压力下降到 $300 \sim 400\text{kPa}$ ($3 \sim 4\text{kgf/cm}^2$)。

(4) 排气过程 排气过程是从气缸中排出废气的过程,如图 1-3d 所示。这个过程开始时,排气门开放,活塞借曲轴旋转的惯性力又从下止点向上止点运动,于是废气在气缸内残存的压力和活塞向上运动的推力作用下,被排出气缸。活塞到达上止点时,排气过程结束。由于燃烧室容积的存在,因此在排气过程中不可能将废气排除干净,气缸内仍留有少量的废气;又因废气在排出过程中,排气门、排气管、消声器等将产生一定的阻力,使废气难以顺畅排出,因而排气过程终了时,气缸内的压力仍有 $0.11 \sim 0.12\text{MPa}$ ($1.1 \sim 1.2\text{kgf/cm}^2$),温度为 $400 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

排气过程结束后,紧接着开始下一个工作循环,重复进行以上 4 个过程。如此周而复始,使柴油机不断地产生动力,将热能转化成机械能,对外做功。

4. 多缸机的工作顺序

从上面单缸四冲程柴油机工作原理可知,在 4 个冲程中,只有 1 个活塞冲程做功,其余 3 个冲程则是为做功冲程作准备。单缸柴油机曲轴每旋转两周,只有半周产生动力,其余一周半依靠惯性力来维持转动。因而,做功冲程的转速要比其他 3 个冲程的转速大,所以曲轴的转速是不均匀的,柴油机运转也是不平稳的。为了使运转平稳均匀,柴油机可采用有 2 个或 2 个以上的气

缸，各气缸的活塞与连杆都连接在同一根曲轴上，根据气缸数目和排列方式的不同，按照一定的工作顺序，使各缸的做功冲程相互间隔一定的曲轴转角，交错地进行工作。

常见的多缸机有 2、4、6、8、12 缸等。依据气缸排列方式的不同，又可分为直列式和 V 式等。

在多缸四冲程柴油机中，曲轴每转两圈，即在曲轴旋转 720°的时间内，每个气缸各自完成 1 个工作循环，且各缸工作冲程的间隔时间应当相等，即在 2 个依次着火的气缸之间，曲轴转过的角度应该一样。这个间隔时间靠曲轴上各个曲柄相互错开一个角度来保证。这个角度称为曲柄夹角，以符号 φ 表示。则

$$\varphi = \frac{720^\circ}{i}$$

式中， i 表示柴油机的气缸数，如 6 缸直列式柴油机，其曲柄夹角为 120°。

为了使用和管理的方便，多缸柴油机常将气缸编号。对于直列式，气缸编号从自由端开始为第一缸，向功率输出端依次编号。对于 V 形柴油机，气缸的编排顺序一般是先从右列（面对自由端看）自由端开始为第一缸，并向功率输出端依次编号，然后再从左列自由端接着排下去。

在多缸柴油机中，各个气缸并不是依气缸排列顺序着火，而是有一定的先后顺序，称之为着火顺序。如 4 缸直列式柴油机，其着火顺序为 1—3—4—2；6 缸直列式柴油机为 1—5—3—6—2—4。对于 V 形柴油机，一般采用“插入着火式”，即每一单列气缸的着火顺序及着火间隔完全相同，而总的着火顺序则在二列间相互嵌插。着火顺序可避免相邻两缸接连着火，从而提高柴油机运转的平稳性，使曲轴受力均匀，动力平衡性能好。

康明斯 6BT 型柴油机为 6 缸直列式柴油机，其工作顺序为 1—5—3—6—2—4。6BT 柴油机各缸工作状况与曲轴转角的关系见表 1-1。

表 1-1 6BT 柴油机各缸工作状况与曲轴转角关系表

曲轴转角 (°)	1 缸	2 缸	3 缸	4 缸	5 缸	6 缸
0 ~ 60	做功	排气	进气	做功	压缩	进气
60 ~ 120			压缩	排气		
120 ~ 180		进气			做功	
180 ~ 240	排气		进气	做功		
240 ~ 300					压缩	排气
300 ~ 360		压缩	做功	进气		
360 ~ 420	进气				排气	压缩
420 ~ 480			做功	进气		
480 ~ 540		做功			进气	压缩
540 ~ 600	压缩		做功	压缩		
600 ~ 660					排气	做功
660 ~ 720		排气	进气	做功		

二、柴油机的总体构造

柴油机主要由曲轴连杆机构，配气机构与进排气系统、燃料系统、润滑系统、冷却系统和电气设备等部分组成。

1. 曲轴连杆机构

曲轴连杆机构是柴油机的主要部件，它可分为固定机件和运动机件。

固定机件包括气缸、气缸盖、机体等，其功用是支撑、固定、安装柴油机的全部机件，并让燃油和空气的混合气在气缸内燃烧。

运动机件包括活塞组件、连杆、曲轴、飞轮等，其功用是承受燃烧气体的压力，并将活塞在气缸内的直线运动变成曲轴的旋转运动，使柴油机输出动力。

2. 配气机构与进、排气系统

配气机构与进、排气系统由正时齿轮、凸轮轴、进排气门、挺杆、摇臂、进排气歧管等机件组成，其功用是按柴油机的工作要求，定时开闭进排气门，让新鲜空气按时充入气缸和定时排除废气，以保证柴油机正常运转。

3. 柴油机燃料系统

柴油机燃料系统包括油箱、柴油滤清器、输油泵、喷油泵（又称高压油泵）、喷油器、调速器等机件，其功用是根据柴油机负荷大小，定时向气缸内喷入适量高压柴油，使其与气缸内空气进行混合燃烧。

4. 润滑系统

柴油机润滑系统包括机油泵、机油滤清器、机油散热器、机油表等机件。其功用是润滑运动机件的表面，以减轻摩擦，并带走机件表面的部分热量。

5. 冷却系统

柴油机冷却系统包括水冷式和风冷式两种形式，其主要功用是散去未转换成机械能的热量，使柴油机保持正常的工作温度。

水冷式柴油机冷却系统包括散热器、风扇、水泵、节温器及水温表等机件。

风冷式柴油机冷却系统包括风扇、导风罩、散热片等机件。

6. 电气设备

(1) 电源设备 柴油机电源设备主要包括蓄电池和交流或直流发电机。

蓄电池的主要功用是在柴油机起动时给起动电动机提供强大电流，并在柴油机停转或发电机电压较低时，向各用电设备供电。当发电机电压高于蓄电池电压时，蓄电池将发电机的一部分电能转换为化学能储存起来。

发电机在正常工作时，对所有的用电设备供电（除起动电动机外），并向蓄电池充电以补充蓄电池在使用中所消耗的电能。

(2) 起动电动机 起动电动机是柴油机电力起动的主要机件，采用串励式励磁方式，在柴油机起动时向其提供强大的起动转矩，以利于柴油机迅速、可靠地起动。

第二节 康明斯柴油机构造特点

康明斯（Cummins）柴油机是美国康明斯发动机公司（Cummins Engine Company）生产的柴油机。康明斯公司创建于1919年，是世界著名的柴油机制造商，创始人是克莱西·莱尔·康明斯。

康明斯柴油机除采用柱塞式喷油泵外，还发明了PT（压力-时间）燃油喷射系统。该系统结构简单、喷射压力高，被广泛应用于10 L以上的康明斯柴油机，具有良好的燃油经济性和大修间隔。康明斯B系列车用柴油机采用了VE型分配式喷油泵。

康明斯发动机广泛应用于汽车、船舶、农业机械、工程机械、建筑、铁路及发电设备领域。康明斯发动机公司还生产发动机部件、电子系统、滤清系统和天然气发动机，能满足不同市场的

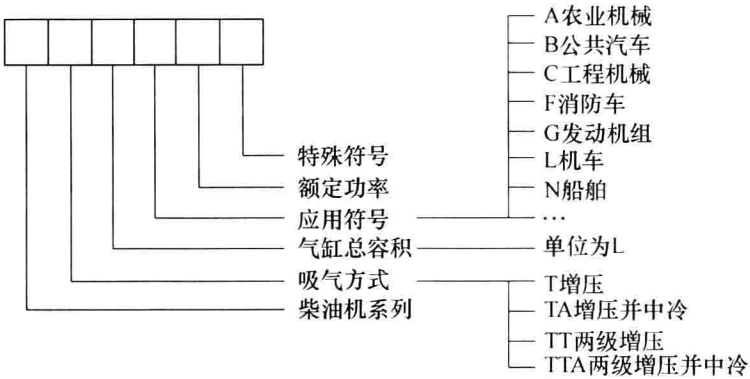
需要。工程机械柴油机的功率从40.4 kW（55 马力）到2572.50kW（3500 马力），排放控制也十分优异，全部满足当今世界上最为严格的环保标准。

一、康明斯柴油机产品系列

康明斯柴油机目前已生产有 A、B、C、M、L、N、V、K 等十个系列，其中 A、B、C、L、N、K 系列应用最为广泛。

1. 康明斯柴油机编号规则

康明斯柴油机的型号由以下六个部分组成：



- (1) 柴油机系列 用字母 A、B、C、N（NH）、V、L、K 等表示柴油机系列，其中 B、C 系列须加上气缸数，如“4B”“6C”。
- (2) 吸气方式 用字母组表示。T—增压；TA—增压并中冷；TT—两级增压；TTA—两级增压并中冷，无字母者为自然吸气。
- (3) 气缸总容积（总排量） 柴油机工作总容积用数字表示，单位为 L。
- (4) 应用符号 用字母表示柴油机的用途。A—农业机械；B—公共汽车；C—工程机械；F—消防车；G—发电机组，G1 ~ G7 代表不同的电站级别，Go 代表连续发电机组；Gs 代表备用发电机组；L—机车；N—船舶；P—电站。
- (5) 额定功率 用数字表示，有以下两种情况：① 汽车、公共汽车、农业机械、工程机械、电站，可用马力表示，也可省略；② 对于消防泵、发电机、机车和船用柴油机可用马力、千瓦或数字（1、2、3、…）表示其额定功率。
- (6) 特殊符号 用字母表示特殊汽车的特征。表 1-2 为康明斯柴油机系列主要机型的型号及数据。

表 1-2 康明斯柴油机系列主要机型的型号及数据

系列	气缸直径/mm	缸数	排量/L	功率范围/kW（HP）	活塞行程/mm	型 号
B	102	4	3.9	41.16(56) ~ 147.00(200)	120	4B3.9 4BT3.9 4BTA3.9
		6	5.9			6B5.9 6BT5.9 6BTA5.9
C	114	6	8.3	132.30(180) ~ 220.50(300)	135	6C8.3 6CT8.3 6CTA8.3 C8.3
M	125	6	10.8	183.75(250) ~ 257.25(350)	147	M11-G2
N	140	6	14	153(205) ~ 354(475)	152	NTA855-G1 NTA855-G2 NTA855-G4

(续)

系列	气缸直径/mm	缸数	排量/L	功率范围/kW (HP)	活塞行程/mm	型 号
K	159	6	18.9	588.00(800) ~ 1470.00(2000)	159	KTA19-G2 KTA19-G3 KTA19-G4
		12	37.8			KT38-G1KTA38-G2 KTA38-G5
		16	50.3			KTA50-G3

部分型号及含义如下：

4BT3.9—G1：4缸B系列，增压，排量3.9L，发电机组用。

6BTA5.9：6缸B系列，增压，中冷，排量5.9L。

6CTAA8.3：6缸C系列，增压，空空中冷，排量8.3L。

NTA855：6缸N系列，增压，中冷，排量14L。

KTA19：6缸K系列，增压，中冷，排量19L。

KTAA19：6缸K系列，增压，空空中冷，排量19L。

KT38—G1：12缸K系列，普通型，排量38L，发电机组用。

KTA38—G2：12缸K系列，增压，中冷，排量38L，发电机组用。

2. 康明斯柴油机铭牌主要内容

每台柴油机都有一个铭牌，且固定在齿轮室侧面上。根据这个铭牌，可以对该机型有个初步了解。以6BTA5.9柴油机为例，铭牌的主要内容有：

- ① 制造日期：采用8位数字。前4位为年，中间2位为月，后2位为日。例：1989年9月9日，打印成19890909。
- ② 排量：5.9L。
- ③ 机型：6BT。
- ④ 喷油正时：2.35mm（或角度）。
- ⑤ 着火顺序：1—5—3—6—2—4。
- ⑥ 气门冷态间隙：进气门，0.25mm；排气门，0.50mm。
- ⑦ 额定功率：117.6kW。
- ⑧ 额定转速：2600r/min。
- ⑨ 系列号：B系列。
- ⑩ 喷油器件号：3909533。
- ⑪ 柴油机号：采用6位数字，第一台打印为000001。

二、康明斯柴油机的特点

东风康明斯生产的B、C系列柴油机采用集成化积木式结构设计，使柴油机的零件总数比同类柴油机少25%，并在保证设计强度和严格考核试验的基础上，合理缩减了零部件尺寸，不但减小了柴油机的体积和重量，也大大降低了故障和维修费用。B、C系列主导产品采用增压和增压中冷技术，提高了动力性和经济性，带废气旁通阀的增压器使低速输出转矩更大；镍合金镶圈活塞和较大的主轴轴承承载区设计，保证了动力提升后的高可靠性要求。

B、C系列柴油机的共同特点是采用组合式铸造机体和整体式气缸盖，节温器座、冷却器座、水泵壳、机油泵壳等均铸造在机体上，曲轴也整体铸造，平衡重铸在曲轴上。但B、C系列柴油机在结构上也有不同之处：B系列连杆为斜切口，C系列为直切口；C系列有可更换的缸套，B系列没有；C系列有可更换的气门座圈和气门导管，B系列没有；C系列活塞两道气环槽镶耐磨

圈,而 B 系列只有第一道气环槽镶耐磨圈;C 系列凸轮轴有 7 个可更换衬套,B 系列只第一道轴颈有衬套。因此,B 系列发动机采用了“四不镶”的方式,即不镶气缸套、不镶气门导管、不镶气门座、不镶凸轮轴衬套(仅镶前端 1 个),但保留了镶嵌余地。

B、C 系列广泛采用结构轻小和简单的附件总成。如转子式机油泵、冲压叶轮及组合轴承式水泵、板翘式机油冷却器、旋装式燃油滤清器、旋装式机油滤清器和多孔管式机油吸油器等,提高了维护维修效率。

重庆康明斯生产的 NH、K、M11 三大系列柴油机,当输出最大功率时,其平均有效压力限制在 1.8MPa 左右,使柴油机的热负荷、机械负荷尽量减小。柴油机标定转速控制在 2100r/min,减少了柴油机的噪声和摩擦功率,保证了柴油机工作寿命的提高。

活塞采用共晶硅合金,仅用 2 道气环和 1 道组合油环,以减少摩擦功率损失。在第 1 道气环槽内,镶有镍合金的铸铁座,用以提高气环槽承受燃烧气体所产生的高压和高温的能力,同时减少环槽的磨损。采用锥形活塞销座设计方案,可使活塞销座及连杆小头衬套的单位压力大大降低。

曲轴采用全支承设计,其主轴颈的直径与缸径的比值较传统设计比值要大得多,同时主轴颈的重叠度也比较大,主轴颈采用圆角、淬火工艺,使曲轴具有良好的刚性和抗疲劳能力。曲轴结构设计的可靠性,使整个柴油机具有变形小、刚性好的特点。

配气机构多采用四气门机构,即每缸有 2 个进气门和 2 个排气门,提高了进气效率。气门由凸轮轴驱动,凸轮轴控制了气门的开闭次序,也控制 PT 燃油系统的喷油时间。

重庆康明斯柴油机均采用独特的 PT 供油系统。由康明斯公司独创的 PT 供油系统是利用供油压力和喷油时间来控制燃油量,与其他供油系统比较,有如下优点:①结构简单、灵活和适应性好,稍加改变就能适应较广的功率范围和转速范围。②燃油泵供油压力低,为 981 ~ 1471kPa,燃油不易渗漏。只有一根供油管,易检修保养。③喷油压力超过 100MPa,使燃油雾化程度高,无二次喷射和漏油的缺点,利于充分燃烧。故在各工况下都可省油,且排放性能良好。试验研究表明,高喷油速率和合适的喷油正时能在降低微粒排放的情况下,保证良好的燃油消耗率。采用高喷油速率时推迟喷油正时,微粒排放的增加程度要比低喷油速率时小得多,但 NO_x 却能有效降低。④没有一般供油系统所设置的那些容易影响喷油压力和喷油时间的各种机构,因此不需要经常校准和保养。⑤回油量大,燃烧所需油量占一次供油量的 20% 左右,其余经喷油器流回油箱。大的回油量有利于喷油器的冷却,延长其寿命和保养期,同时有利于加热油箱内的燃油,避免冬季结冰。⑥体积小,质量小,约 12 ~ 13kg,易拆卸和维护。

在康明斯公司专有的 PT 燃油系统中采用了分级燃油喷射正时控制(STC),使在不同的工况下的燃烧状态趋于完善。STC 的主要作用是在低怠速、低负荷燃油供油量小时,使喷油正时提前,保证燃烧在上止点附近就能完成。正时提前,能改善冷起动性能,改善寒冷气候条件下的怠速性能,减少冒白烟现象,提高低负荷时柴油机的燃油经济性。更重要的是,柴油机在低负荷时,如果正时不提前,燃烧将过于滞后,性能急剧恶化,就会造成炭烟大量形成。同时,STC 系统也可在大负荷条件下对柴油机正时适当延迟,为改善 NO_x 排放提供了条件。

由于采用 PT 供油系统,其喷嘴喷射燃油是由凸轮轴驱动,故凸轮轴的刚度直接影响柴油机的可靠性与耐久性,因而柴油机采用了大直径凸轮轴的设计方案。M11 系列柴油机采用 76.2mm 凸轮轴轴颈,N 系列柴油机采用 63.5mm 凸轮轴轴颈,K 系列柴油机采用 76.2mm 凸轮轴轴颈,比一般柴油机凸轮轴轴颈大,因此获得了较好的刚度。同时还采用滚轮式摇杆凸轮从动件设计,使从动件与凸轮表面的相对运动由滑动摩擦变为滚动摩擦,从飞溅润滑变为压力润滑,摩擦副的工作应力降低了,润滑条件改善了,故减少了磨损,提高了工作可靠性和使用寿命。

采用干式化学添加剂（DCA）对冷却液进行处理，是康明斯柴油机的一个共同特点。这种装有 DCA 化学药品的容器称为“水滤器”。DCA 由 9 种不同的化学成分组成，它的功能是使水软化，免除水垢的形成；中和水中形成的酸，使水维持在一个适当的酸碱度，以避免零件遭受化学腐蚀；抗泡沫作用，能减少泡沫的形成，并能在铸铁或钢制零件表面形成一层很薄的保护薄膜，以保护气缸套、水泵叶轮等零件免遭穴蚀的损坏。从而，使柴油机的工作可靠性和使用寿命有了很大的提高。

重庆康明斯柴油机有很多总成部件采用可更换式结构设计，以便在需要保养时，能迅速利用库存备件进行维修更换，减少停机时间和利于操作者掌握。例如可更换湿式气缸套，湿式气缸套给柴油机带来良好的冷却和大修简易性，当需要修理时，不必把柴油机从设备上拆下来就可进行气缸套更换。康明斯柴油机的滤清器（包括燃油、润滑油和水）均能迅速和方便地进行拆装与更换。此种设计不仅有利于维修保养，而且能提高零件通用性。

重庆康明斯柴油机在前端设计有齿轮传动系统，可直接传动附件装置（包括水泵、机油泵、燃油泵及风扇等）。与带传动附件比较，齿轮传动可保证传动准确、可靠，简化调整保养手续，降低维修保养费用，以及减少因传动带调整或因传动带断裂所造成的柴油机损坏故障。

重庆康明斯柴油机的所有运动部件均采用压力润滑结构设计，包括凸轮轴的滚轮从动件、活塞连杆小头衬套等，在设计上保证获得足够的压力润滑。这一设计特点，免除了因采用飞溅润滑造成润滑不足而产生轴承或衬套咬死的故障。此外除增压器的润滑油路外，柴油机其余所有润滑油路均设计在内部，此种内部油道可减少或避免因外部油路的管道、螺纹连接所造成的泄漏或损坏故障，提高了柴油机工作可靠性，简化了维修保养工作。

第三节 柴油机故障排除的原则和方法

一、柴油机故障的定义与分类

1. 柴油机故障的定义

柴油机是一种复杂的热力机械，工况复杂，工作条件恶劣。因此，使用中发生故障在所难免。柴油机故障是指在规定的条件下，不能完成其规定功能的事件。故障可以指一个或几个性能参数降至不能允许的程度，也可以指机器工作能力的丧失。柴油机故障范畴包括两个方面：

- （1）失效 引起柴油机立即丧失功能的破坏性故障称为失效，如柴油机烧瓦、抱轴等。
- （2）性能降低 使柴油机性能降低的故障，如柴油机冒黑烟、油耗增加等。

2. 柴油机故障的分类

柴油机故障可从以下不同方面进行分类：

（1）按故障的性质分类 柴油机故障按其性质，可分为本质故障、误用故障和从属故障三类。

1) 本质故障。在规定使用条件下，由于柴油机及其零部件本身固有的因素或缺陷而引起的故障称为本质故障，如柴油机连杆断裂等。

2) 误用故障。不按规定条件使用或由于外界因素而引起的故障称为误用故障，如因机油油量不足引起烧瓦等。

3) 从属故障。某一故障所引起的派生故障称为从属故障，也称为相关故障，如连杆螺钉断裂引起的机体裂纹等。

（2）按故障的严重程度 柴油机故障按其严重程度和造成的危害，可分为致命故障、严重

故障、一般故障和轻度故障四类。

1) 致命故障。凡造成重要零件报废、导致人身伤亡或造成重大经济损失的故障称为致命故障,也称为危险性故障,如连杆螺栓断裂、机体破裂等。这类故障属一类故障。

2) 严重故障。凡柴油机主要性能指标超过限值,主要零件损坏需解体才能排除的故障称为严重故障,如柴油机油耗过高、活塞环断裂等。这类故障属二类故障。

3) 一般故障。凡柴油机需停机检修,需要更换非主要部件,用随机工具即可排除的故障称为一般故障,如三漏(漏气、漏油、漏水)、盖板损坏等。这类故障属三类故障。

4) 轻度故障。凡一般不导致柴油机停机,不需要更换零件,用随机工具在短时间内即可排除的故障称为轻度故障,如柴油机密封部位渗漏、盖板螺钉松动等。这类故障属四类故障。

(3) 按故障出现时间的快慢分类 柴油机故障按其出现时间的快慢,可分为突发性故障和渐发性故障两类。

1) 突发性故障。这种故障在短时间内突然发生,不能靠早期诊断来预测,如连杆螺栓断裂、气门弹簧断裂等。

2) 渐发性故障。这种故障的发生有一个渐变过程,可以通过早期诊断进行预测,如缸套磨损、气门漏气等。

(4) 按故障发生的部位分类 柴油机故障按其发生部位,可分为整机性故障和零部件故障两类。

1) 整机性故障。也称为综合性故障,它影响整机性能,如起动困难、功率不足、飞车、转速不稳、压力异常、温度异常、声音异常、振动异常、突然停车等,其原因是综合性的。

2) 零部件故障。是指某一零件所发生的故障,如齿轮断裂、水泵泵量过小等。

(5) 按故障的原因和现象分类 柴油机故障按其原因和现象,可分为磨损性故障、错用性故障和薄弱性故障三类。

1) 磨损性故障。由于摩擦副磨损过大而造成的故障称为磨损性故障。这种故障是正常使用条件下,正常磨损过程中可以预料的故障,如活塞环过度磨损,造成严重漏气、功率不足等。这类故障一般不会造成严重后果。

2) 错用性故障。在实际使用条件下,产生的载荷超过了原设计能力所造成的故障称为错用性故障,如超负荷使用致使柴油机冒黑烟、轴系断裂等。

3) 薄弱性故障。在实际使用条件下,产生的载荷未超过设计能力,只是设计失误造成薄弱环节,导致零部件丧失工作能力的故障称为薄弱性故障。这类故障多发生在新开发机型上。一般表现为零件破损、轴系及支架断裂等。

(6) 按故障后果的性质分类 以可靠性为中心的维修指导思想认为,故障后果比故障频率更为重要,故障后果可以影响重要机件发挥正常的功能,可以造成更换故障件的费用支出,可以损坏整个系统设备,甚至造成人员伤亡。因此,故障后果决定了维修工作的先后次序和及时提出修改机件设计的建议。故障后果按性质可分为四类:

1) 安全性故障后果。这类故障能造成机毁人亡,需采用预防维修方式,使故障风险率减少到可以接受的水平;否则,有关机件项目就要重新设计。

2) 使用性故障后果。这类故障能干扰使用计划,会因该机件工作能力的下降,造成其他间接的经济损失(例如使用中经济性下降等)。在费用效果分析的基础上,可采取预防维修的方式来解决这些问题。

3) 非使用性故障后果。这类故障的后果对使用没有直接的不利影响。例如采用冗余度设计的装置,其中一个装置出现故障后,只需在方便时更换或修理。因此,非使用性后果可采用事后

维修方式。

4) 隐蔽性故障后果。这类故障后果一般不会产生直接的不利影响。但是,当具有隐蔽性故障后果的机件与另一个或几个机件的故障相关时,如果第一个机件的功能故障由于隐蔽原因未被发现,以至第二个机件又发生故障,从而造成多重故障,则将导致危险性故障,必须采取预防维护的方式减少造成这种风险的因素。

二、柴油机故障产生的过程及现象

1. 故障产生的过程

故障产生的过程实际上是一个积累与变化的过程,即零部件强度(技术状况)逐渐变化下降的过程。

渐发性故障多由磨蚀性磨损、咬接性磨损、点蚀磨损、机械腐蚀磨损等形式出现。另外,腐蚀故障(包括应力腐蚀、气蚀、硫蚀、钒蚀等)也属于渐发性故障。

突发性故障是当零件的强度低于外界载荷时才会发生。零件在初始工作阶段,强度变化较小,当外界载荷突然超过零件强度时,就会产生突发性故障。这种突发性故障是在外界载荷的意外峰值下偶然发生的。如柴油机飞车造成连杆螺栓断裂、挺杆脱落等。

突发性故障多以疲劳、过度变形等形式出现。除了如上所述由于零件强度(技术状况)和外界载荷的原因以外,润滑系统、冷却系统的堵塞和泄漏也会造成突发性故障。

2. 柴油机故障的现象

当柴油机发生故障时,一般会伴随以下现象:

(1) 声音异常 一台正常运转的柴油机,其发出的噪声有一定的规律。当出现故障时,会使声音变得异常。如活塞碰气门时出现金属敲击声、供油角过大时出现燃烧敲击声、气缸漏气时出现吹哨声、旋转件相碰时出现摩擦声等。

(2) 外观异常 如烧机油出现的冒蓝烟、燃烧不良出现的冒黑烟、密封面失效出现的漏油、漏气等。

(3) 温度异常 如供油提前角过晚或负荷过大出现的排气温度过高,轴承烧损时出现的轴承过热,冷却系统故障时出现的水温、油温过高等。

(4) 动作异常 如当平衡失效或基础不牢时出现振动过大、当调速失灵时出现飞车或游车、起动系统故障及柴油机无法起动等。

(5) 压力异常 如当气门、活塞环密封失效时出现的气缸压力过低、曲轴箱压力过高、润滑系统故障出现的油压过低、增压系统故障出现的气压过低或过高等。

(6) 气味异常 如电气系统故障出现焦糊味;烧机油出现的油烟味等。

3. 柴油机故障产生的原因

引起柴油机故障的原因是多方面的。有结构设计和选材不当引起的,有加工制造和装配、调试质量欠佳引起的,也有使用操作不当和维护保养不良引起的。在这里主要对操作、维护保养及加工制造等方面造成故障的原因予以简单介绍。

(1) 操作方面的原因 由于违章操作造成的柴油机故障,在柴油机故障中占有很大比例。这其中思想上的疏忽,技术上的不熟悉,也有错误的习惯作法。常见的违章操作有以下几个方面:

1) 起动时间过长。起动后未立即释放按钮、关闭开关。采用电动机起动系统时,电动机一次连续运转不得超过 10s,时间过长将因过热而烧坏电动机。有时还会发生柴油机倒拖电动机现象,导致电动机超速运转而损坏。

2) 冷车起动不经过暖车便快速加大负荷运转。此时由于油温低、粘度高,致使摩擦面润滑不良,从而导致异常磨损、拉伤等故障。

3) 磨合不充分便高负荷运行。新的或大修后的柴油机,特别是现场修复的柴油机,更换缸套、活塞或者活塞环等零件后,未经充分磨合,直接带高负荷运行。这样往往造成零件异常磨损,甚至出现拉缸、活塞卡滞等故障。

4) 带负荷急停车。停车时未经怠速降温,此时摩擦面保油不足,引起再开车时因润滑不良而磨损加剧,并可能由于应力变化大,造成不必要的故障。

5) 油量不足开车。油量不足,造成摩擦副表面供油不足,导致异常磨损或烧伤。

6) 水量不足开车。水量不足,冷却系统易产生气阻,柴油机得不到充分冷却,会因机件过热出现拉缸等事故。

7) 超负荷或者超速运转。由于柴油机内温度过高,造成零件损坏。

8) 水温、油温不正常而继续运行。运转中水温过低、过高或油温过低、过高,都会造成零件磨损加剧。

(2) 维护保养方面的原因 未按照规定进行维护保养也容易造成故障。常见的故障原因有以下几个方面:

1) 添加或更换机油不及时。这样容易造成机油量不足或机油过脏、恶化变质,使润滑变差,造成异常磨损、烧瓦等故障。

2) 清洗机油滤清器不及时。这样容易造成机油滤清器阻力过大,甚至阻塞,机油从旁通阀通过,使未经滤清的脏污机油流入润滑部位,引起异常磨损或损伤。

3) 清洗柴油滤清器不及时。这样容易造成柴油滤清器阻力过大,供油不足,引起功率不足,转速不稳等故障。

4) 清洗空气滤清器不及时。这样容易造成空气滤清器阻力过大、空气量不足,引起功率不足、冒黑烟或排气温度过高等故障。

5) 检查、调整气门间隙不及时。这样容易造成气门间隙过大或过小,引起柴油机功率不足、油耗升高、排气温度过高和气门磨损加快等故障。

6) 检查、调整供油提前角不及时。这样容易造成供油提前角过大或过小,从而引起柴油机燃烧粗暴,甚至烧活塞或者排气温度过高等故障。

7) 检查和调整喷油器不及时。这样容易造成喷油器雾化不良或针阀卡死,引起柴油机起动困难、功率不足、排气温度过高和冒黑烟等故障。

8) 检查和向蓄电池补充电解液不及时。这样容易造成蓄电池电力不足,引起起动困难等。

(3) 维修中拆装方面的原因 拆装错误也是引起柴油机故障的重要原因之一。其中有以下几个方面:

1) 活塞环安装位置不正确。活塞环开口位置未错开,扭曲环上下面装倒等,将引起窜机油现象和窜气现象。

2) 喷油器垫片安装不正确。喷油器中喷油嘴伸出气缸盖底平面高度有严格的尺寸要求,若因垫片漏装或多装而使该尺寸过大或过小,将引起燃烧恶化、积炭严重、功率不足、冒黑烟,或因漏装垫片造成从喷油器处漏气、烧坏气缸盖等故障。

3) 气缸垫安装不正确。气缸垫选用不当或者漏装,将造成气缸压力下降、漏气和活塞碰气缸盖等故障。

4) 齿轮啮合不正确。齿轮啮合记号装错,将导致气门碰活塞,供油提前角太大或太小,引起燃烧恶化、冒黑烟、排气温度升高或者活塞烧损等故障。