

# 汽车发动机诊断专家系统 AEDES<sup>1)</sup>

郑小军 杨叔子

(北京系统工程研究所) (华中理工大学)

## 摘 要

本文运用作者提出的适用于复杂系统诊断的层次诊断原理对汽车发动机的故障诊断进行了探讨,提出了一个汽车发动机诊断专家系统 AEDES。该系统以层次诊断模型为基础,混合使用专家经验、系统的结构和功能分析以及波形信号理解等三方面的知识,以人机交互的方式寻找发动机故障的故障源和故障原因。该系统目前已形成原型系统,具有诊断和多种知识获取功能以及中文语言人机接口。

**关键词**——故障诊断,专家系统,发动机。

## 一、引 言

随着人工智能技术和汽车工业的发展,汽车发动机的维修诊断专家系统越来越受到重视。1982年,意大利米兰汽车工业大学首先成功地研制了包括点火系、充电系和起动系在内的汽车电系故障诊断系统<sup>[1]</sup>。此后不久,美国通用电气公司研制成功了内燃-电力机车故障排除和修理咨询专家系统 DELTA (又名 CATS-1)<sup>[2]</sup>。最近,日本日产汽车公司也在研制所谓的随车和离车的汽车发动机诊断专家系统<sup>[3]</sup>。这些系统实用性强,结构简单,但同时知识水平不高,所采用的知识类型和推理控制策略单一且过于简单,不足以反映诊断和维修技师的丰富经验。事实上,技师在工作时,他不仅能使用他自己未经系统化的经验知识,也使用系统化了的他人经验、逻辑推理知识和利用科学仪器的知识。

本文将要提出的的是一个用于汽车发动机诊断的专家系统。该系统以适合于复杂系统诊断的层次诊断模型<sup>[4]</sup>为基础,混合使用专家经验,系统的结构和功能分析以及信号理解等三方面的知识,以化繁为简为策略,以人机交互为主要方式,按预定要求逐步诊断出发动机故障的故障源和故障原因。

## 二、发动机诊断的某些具体考虑

汽车发动机是一个复杂的机、电、油综合系统。如果以该系统本身作为诊断对象,则这是一个复杂系统;而如果预定的诊断目的是寻找已发生故障的部件或元件,则这个诊断<sup>1)</sup>

本文于1987年11月23日收到。

1) 国家教委科学基金项目。

问题是个复杂诊断问题。因此，采用层次诊断模型对它实施诊断和实现相应的诊断专家系统是有意义的。

### 1. 汽车发动机的结构与功能分级

汽车发动机是由若干个子系统组成的。在发动机工作时，这些子系统都按照一定的规律工作，完成一定的功能，而且相互之间密切配合，以实现整个发动机的功能。同样，其各个子系统亦是如此。

汽车发动机的功能实际上就是通过油气混合气的燃烧产生所需的动力。为了完成这一主要目标，当然还需要一些辅助性功能，如起动、怠速运转、加速等，也会出现一些物理信号，如温度、噪音、振动和机油压力等。这些功能和物理信号中的任何一个产生异常都表明发动机产生了故障。

为了给发动机的故障诊断提供知识，首先给出发动机的结构分级和功能分级。

#### 1) 发动机的结构分级

如图 1 所示，在发动机的结构分级中，第一级是发动机本身；第二级包括组成发动机的各子系统，即机体与曲柄连杆机构、配气机构、冷却系、润滑系、燃料供给系、起动系和点火系等；第三级则是组成各子系统的各部件，如组成点火系的蓄电池、点火开关、点火线圈、分电器以及火花塞等。

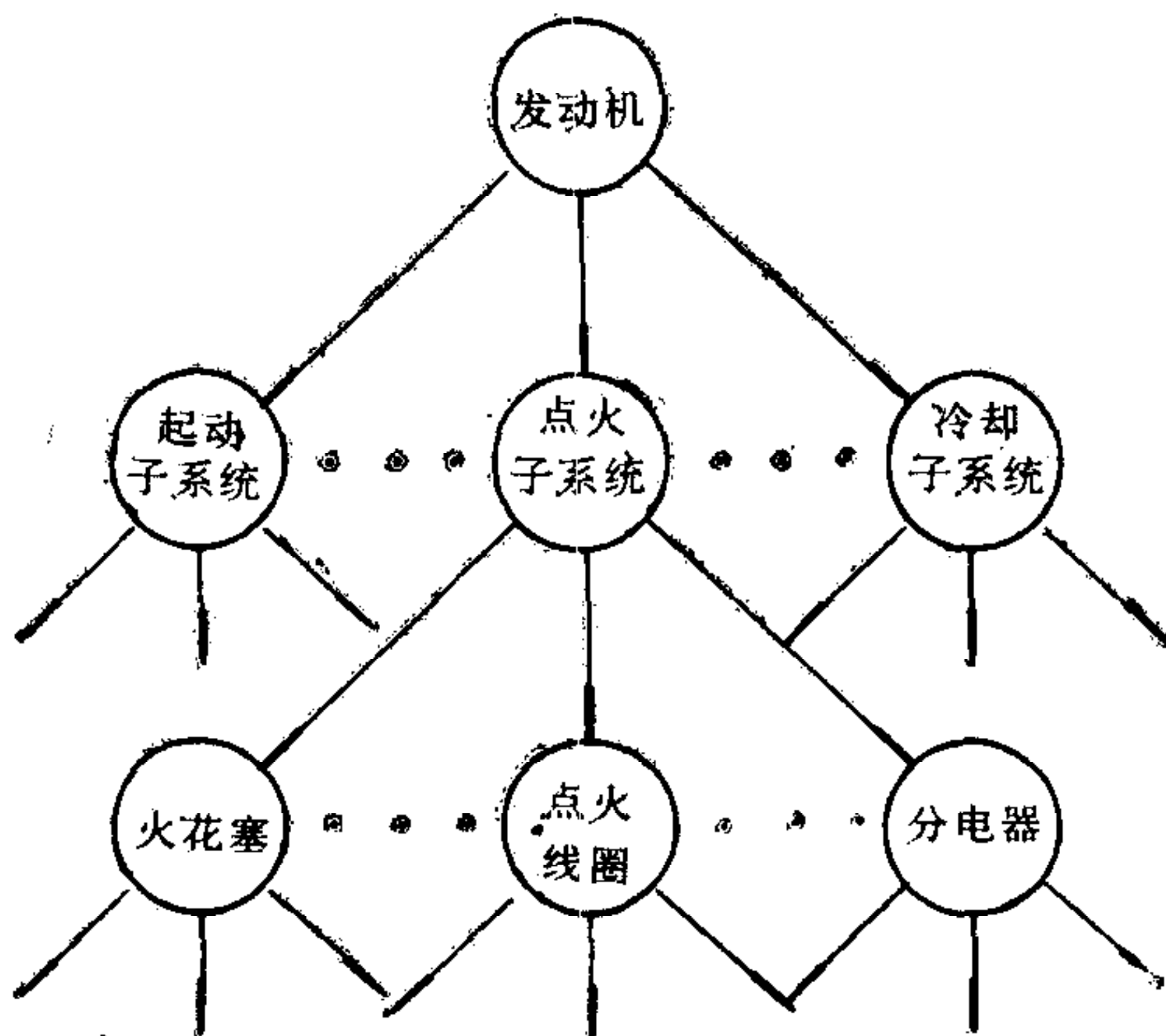


图 1 发动机的结构分级示意图

发动机的结构分级知识将直接用于形成相应诊断专家系统静态知识库中的结构库部分。

#### 2) 发动机的功能分级

如图 2 所示，发动机的功能分级的第一级(共一幅)表示该发动机的各子系统是如何以自己的功能以及相互之间的功能协调来实现发动机的功能的；第二级中的某一幅则表示在某一个子系统中，比如燃料供给系中，各部件是如何以自己的功能以及相互之间的功能协调来实现燃料供给系的功能的。

功能分级将同结构分级一道为基于

结构与功能的诊断方法提供知识基础。

### 2. 发动机的故障及有关概念

发动机的故障及其子系统、部件的故障分别为它们系统自身功能降低的表现。例如，发动机系统的故障可分为七类，即不能起动(包括起动困难)，怠速不良，功率缺乏，过热，声响，振动异常和润滑异常。燃料供给系统的故障可分为不来油，混合气过稀，混合气过浓三类。油泵的故障可分为供油压力不足，供油压力过高和不泵油三类。这三个层次的故障形成了发动机的故障分级。

图 3 是发动机的故障分级示意图。由上往下，上层故障为下层故障的主要功能征兆；从下往上，下层故障分别为上层故障的原因，且所处的位置为上层故障的故障源。例如，可

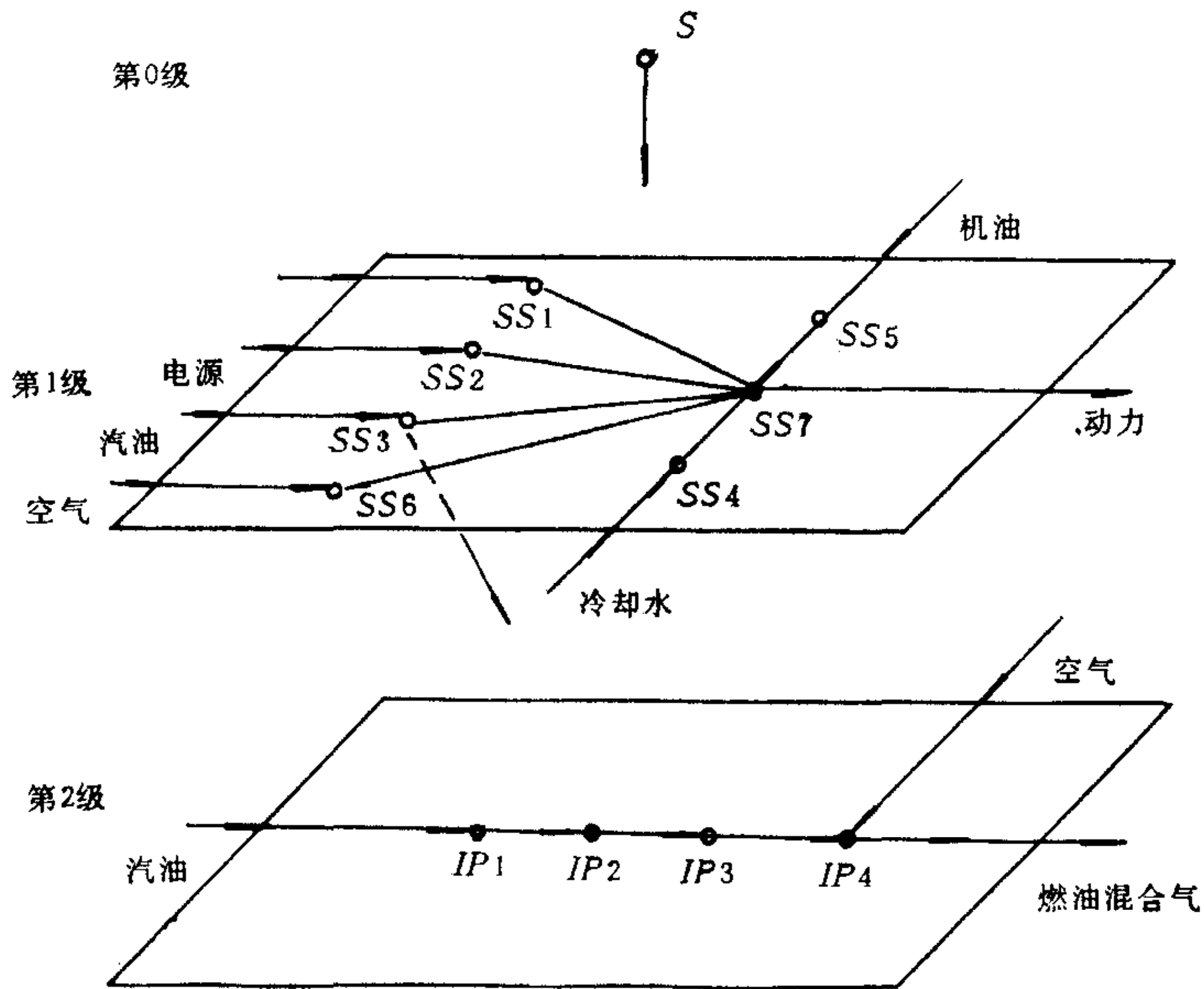


图2 发动机的功能分级示意图

S——发动机 SS1——起动机系统 SS2——点火子系统  
 SS3——供油子系统 SS4——冷却子系统 SS5——润滑  
 子系统 SS6——配气子系统 SS7——机体 IP1——油  
 箱 IP2——滤清器 IP3——油泵 IP4——汽化器

以说“发动机不能起动”的故障源是供油子系统，其原因是“供油子系统混合气过稀”；或者说故障源是油泵，且原因是“油泵不泵油”。也可以说“油泵不泵油”故障的主要功能征兆是“供油子系统混合气过稀”或“发动机不能起动”。

故障分级将直接形成相应的诊断专家系统静态知识库的故障库部分。

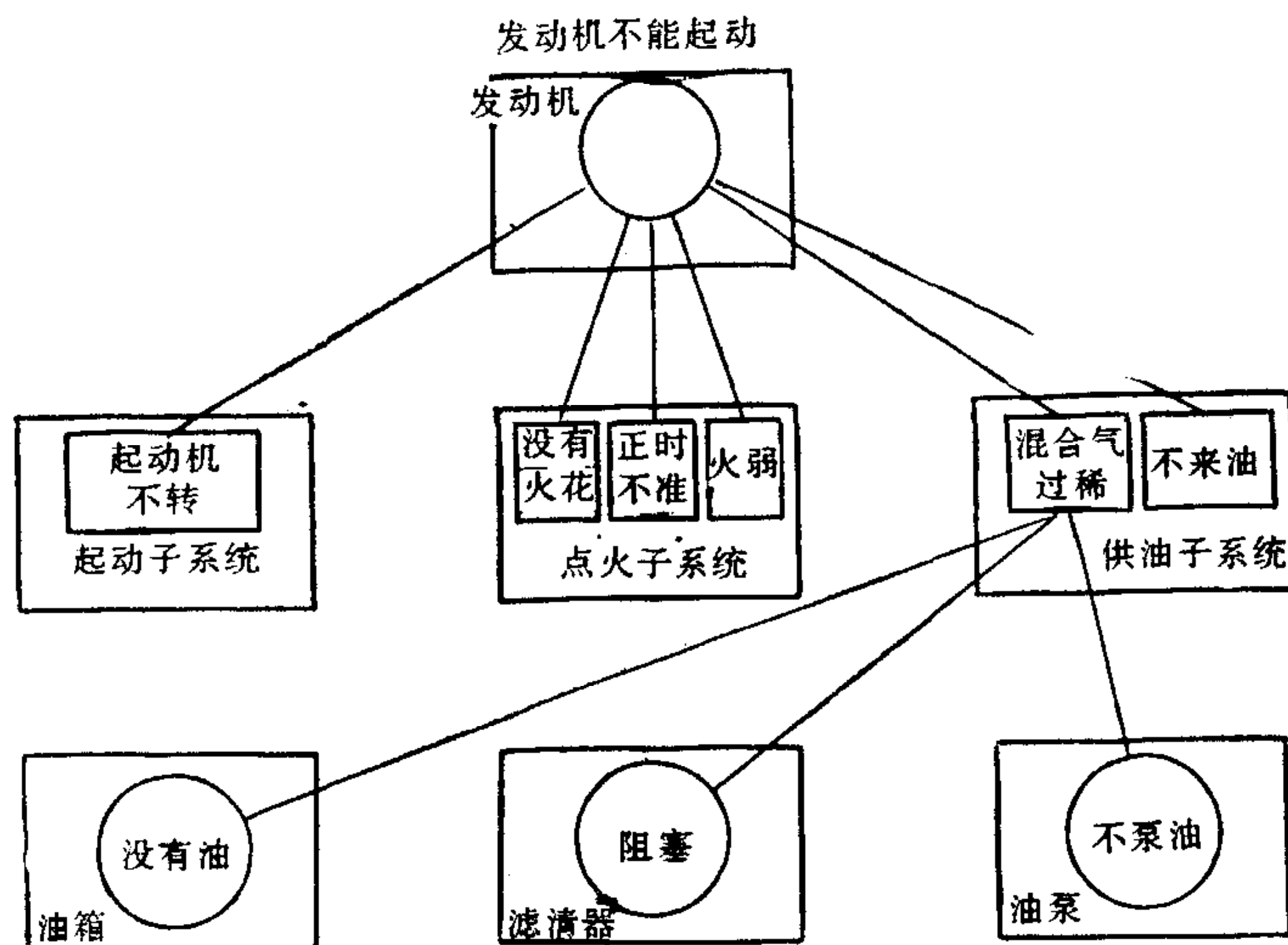


图3 发动机不能起动的故障分级示意图

发动机故障诊断的解是一个复杂的综合概念,它具有三个要素:

- 1) 要求诊断到的层次(在结构分级中的层次);
- 2) 在该层次中故障源的部位;
- 3) 引发该故障源的原因。

### 3. 具体诊断方法的应用

在发动机诊断中,除了需要前面讲到的三种分级以外,还需要同时采用三种具体诊断方法才能有效地得到该诊断问题的解。目前,对结构和功能关系比较明确的供油子系统和起动机系统,可采用基于深知识的功能分析法;对呈现较多征兆的发动机系统、润滑子系统和冷却子系统可采用基于浅知识的征兆分析法;而对征兆较少但有可以利用的综合信号的机械子系统和点火子系统,则采用基于信号理解的综合信号分析法<sup>[4]</sup>。

### 4. 诊断策略

在这里,采用了一种新的修正多步诊断策略<sup>[5]</sup>。该策略以浅知识形成高层控制,能灵活地采用分层知识将一个复杂诊断问题简化为多个简单诊断问题,然后分别视实际情况采用基于深、浅知识以及信号理解的诊断方法来求解这些简单诊断问题。

实质上,该策略的主要部分是三个过程,即故障检测、假设提出和假设验证。对一个待诊断的系统而言,故障检测的任务是指出该系统的故障类型。假设提出的任务是提出故障源的假设(下级故障所处的位置及类型假设),而假设验证的任务则是验证这些假设中哪些为真。以发动机为例,故障检测的任务是指出发动机的故障类型是“不能起动”、“功率太低”还是其它。假设提出的任务是指出有关“不能起动”故障的故障源的假设,如供油子系统、点火子系统等,而故障验证则是验证以上两个假设中哪个为正确解。

### 5. 该诊断任务的某些特点

由以上分析可知该诊断任务有以下特点: 1) 被利用的知识、信息种类较多; 2) 诊断任务本身是可以分解的。从横向可分解为若干个类型的故障来诊断,从纵向可将复杂诊断问题分解为若干不同层次的简单诊断问题来求解; 3) 诊断的某些中间结果可以共享; 4) 不同的诊断子任务需要采用不同的求解方式; 5) 诊断解是逐步形成的,需要若干个假设-测试循环。

## 三、发动机诊断专家系统的描述

### 1. 系统的总体结构

本系统具有 6 个基本模块,它们由一个模块管理系统来统一调度和控制,共同完成领域问题的完满求解。

模块管理系统是由 LISP 过程组成,具有良好的人机交互条件。其主要功能是: 1) 初始信息的输入和处理; 2) 初始模块的选择; 3) 有关模块的自动联网; 4) 组合式知识库的自动形成; 5) 咨询结果的输出。

故障检测模块的主要任务是当用户不能肯定被诊断对象的故障类型或甚至不能肯定是否出现故障时,通过人机交互和某些测试结果来推断出它的故障类型。

故障诊断模块是该系统的核心部分,它的功能是根据被诊断对象的故障类型,通过人

机交互和测量的方式进行逐层推理,最终得到系统故障的故障源和原因。

推理解释模块的功能是在推理完成后或经用户请求,为用户给出推理路线和推理前提、结论的解释。

静态知识获取模块的功能是获取诊断系统所需的被诊断对象的结构与功能以及故障与征兆方面的知识。

动态知识获取模块的功能是获取诊断系统所需的诊断经验和因果方面的知识。此外还提供获取诊断系统所需的高层次管理控制知识——元知识的途径。

知识库管理模块的功能是对各知识库中的元素实行增删、显示、特性处理和修改等工作。目前主要能对各知识库中的规则、框架和过程进行管理。

除了以上7个模块以外,以独立模块形式存在的还有过程模块。过程模块主要包括诊断系统的规则、框架中用到的一些函数和一些基本的诊断单元。

## 2. 诊断模块的结构

根据该诊断任务的特点,诊断模块采用黑板控制结构,它由黑板、推理控制机构、静态知识库和动态知识库四个部分组成,如图4所示。

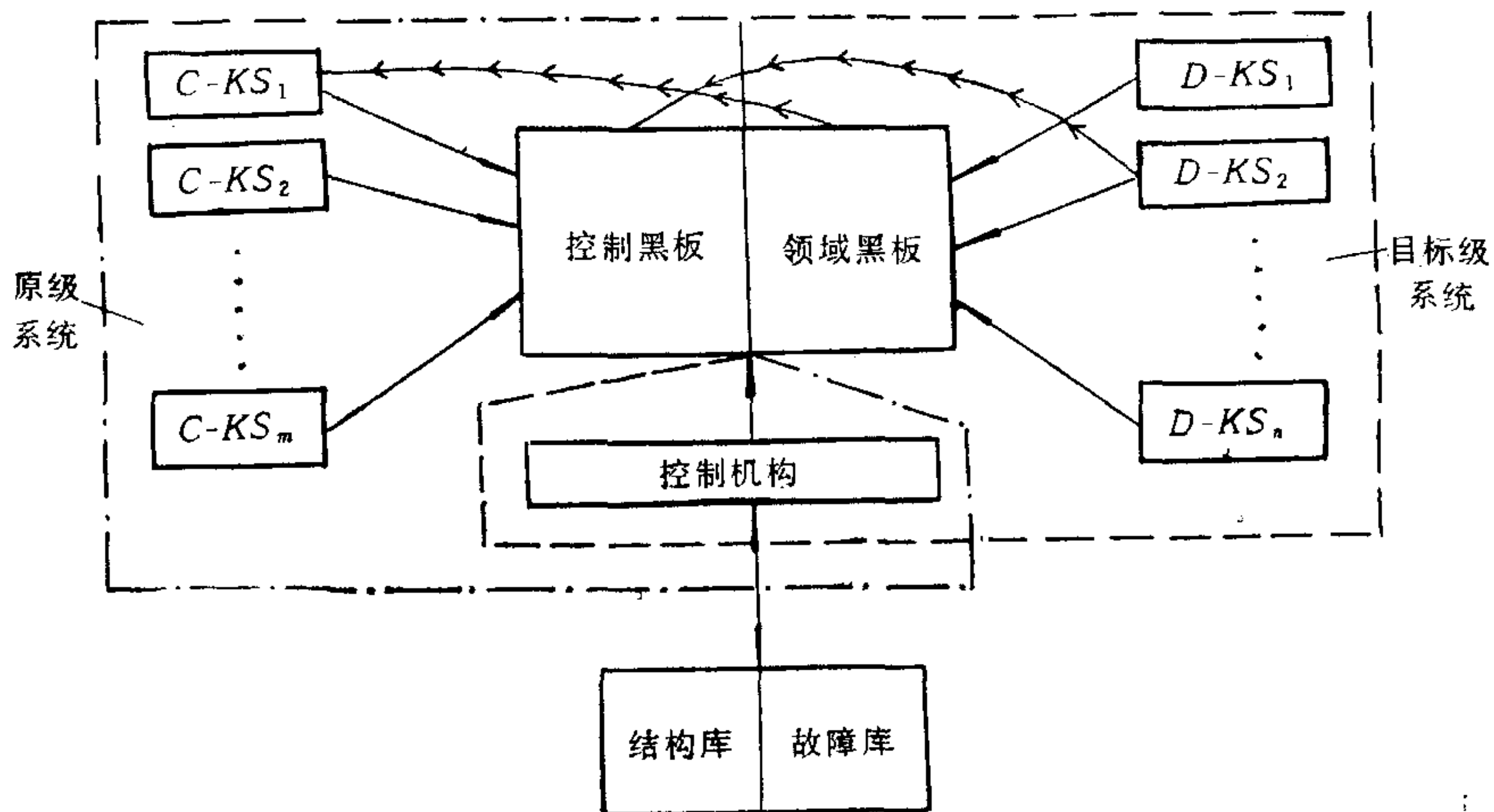


图4 诊断模块的结构

黑板分为控制黑板和领域黑板两部分,分别用来记录与控制同诊断有关的各种初始事实、中间结果、最后结论、推理路线和中间假设等综合数据。

推理控制机构相对而言比较简单,它采用的是直接求值和正反向混合推理的推理机制。

静态知识库有两部分,一是发动机的结构库,它是根据发动机的结构分级而形成的有关发动机结构与性能方面的事实集合;二是发动机的故障库,它是根据发动机的故障分级而形成的有关发动机的故障与征兆方面的事实集合。

动态知识库由许多知识源组成。由于黑板被分成控制黑板和领域黑板两部分,知识源也相应地分为控制知识源和领域知识源,这样实际上是将整个模块分解为原级和目标级两级系统。在原级中,控制知识源由元知识形成,对控制黑板进行操作,负责目标级中

的各领域知识源的协调和控制。在目标级中,领域知识源由领域知识形成,它只对领域黑板进行操作,专门负责实施各种具体的诊断子任务。领域知识源的划分是根据层次诊断模型按分层分块的原则来划分的<sup>[5]</sup>。

### 3. 知识表达

在本系统中,有静态、动态和过程知识等三种类型的知识需要表达。静态知识主要分为两种,一种是用来表示被诊断对象的结构和功能分级的知识,即结构库的内容;另一种是用来表示被诊断对象故障分级的知识,即故障库的内容。这两个库分别由若干组广义框架来表示,每个框架表示结构分级和功能分级或故障分级中的一个元素。

动态知识也有两类,一类是用于对诊断工作进行管理和协调的原知识,即原级系统的内容;另一类是用来实施具体诊断工作的诊断知识,即目标级系统的内容。原知识是用产生式原规则来表示的,适合于采用正向推理的方式来工作,目前所有的原规则均集中在知识源 MR 中。诊断知识采用规则和规则加函数的方式来表达。目标级知识库按分层分块的方式划分为若干个层次的模块,每个模块为一个知识源,包含着一组规则或一组规则加若干个函数。这些知识源基本上都是采用正反向混合推理或者全局正向、单步反向推理。

过程知识主要是指: 1) 诊断中某些最基本的诊断子任务; 2) 复杂数值计算方面的知识; 3) 规则、框架中使用的特殊谓词函数等。过程知识主要用 LISP 中的函数表达,它们属于过程模块的内容,适合于采用直接求值的推理方式。

### 4. 推理控制策略

在本系统中使用的宏观控制策略比较类似于自顶向下策略。但由于本系统控制机构简单,推理控制策略是由原知识源实现的,因而领域问题的求解是由原级知识源和目标级知识源间或穿插运行来完成的。首先由原级知识源提供一个目标,并调用能达到该目标的一个目标级知识源。然后每完成一个层次的推理,都需回到原级知识源,再确定下一步的目标,如此循环,直至求出所指定层次的解为止。

具体到运行某个知识源时,其推理策略由知识源本身的性质决定。在本系统中,原级知识源采用正向推理,纯过程型知识源采用直接求值的方式,以产生式规则为主体的目标级知识源有些采用全局正向推理,有些采用全局正向、单步反向推理方式。

### 5. 实现细节及其它

笔者在内存为 640KB 的 IBM-PC/XT 微机上用 IQLISP 语言和汇编语言实现了汽车发动机诊断专家系统的原型系统。目前该原型系统约有 200 条规则、90 多个框架和 100 多个过程,总程序量为 500KB 左右。它能对发动机的四种类型共十多个故障作出比较完整的诊断,正确率为 90% 左右。

本系统具有良好的人机接口,全部显示均采用中文自然语言,全部菜单均采用光标式菜单,全部输入均给予类型提示,并且具有一定的容错能力。

此外,在本系统的基础上,还研制了一个机械设备诊断专家系统开发工具 CEFDS-2。

## 参 考 文 献

- [1] 郑小军、杨叔子,专家系统与设备诊断技术, Proc. of CSMDT'86 Conference, 1986, 185—188.
- [2] Bonissone, P. P., DELTA: An Expert System for Diesel Electric Locomotive Repair, AD-P003

941, 1983.

- [3] 岸则政等, エキスパートシステムのエンジン診断への应用, 自動車技术, **40**(1986), 2, 211—215.  
[4] 郑小军、杨叔子等, 设备诊断专家系统的层次诊断模型, 华中工学院学报, **15**(1987), 2, 8—14.  
[5] Zheng Xiaojun, Yang Shuzi, et al. The Kernel Architecture for Diagnostic Expert Systems, Proc. of IMEKO Int. Symp. on Technical Diagnostics, FRG, October, 1987.

## AEDES: A DIAGNOSTIC EXPERT SYSTEM FOR AUTOMOBILE ENGINES

ZHENG XIAOJUN

(Beijing Institute of System Engineering)

YANG SHUZI

(Huazhong University of Technology)

### ABSTRACT

With the hierarchy diagnostic model (HDM) presented by the authors, an approach to fault diagnosis of automobile engines is described, and a diagnostic expert system for automobile engines—AEDES is presented. Based on HDM, knowledge of expertise, wave signal understanding, and structure and function analysis of a diagnosed object is utilized in the system. By means of man-machine interaction, the system can identify the sources and causes of a failure. Now a prototype of the system has been completed. It has the functions of diagnosis, acquisition of several kinds of knowledge as well as a user-friendly Chinese language man-machine interface.

**Key words** ——Fault diagnosis; expert system engine.

---

### 更 正

16 卷 4 期“机器人图形仿真软件”一文的作者应为李善平 (Li Shanping)、徐毓良, 本刊误为李善本, 特此更正, 并向作者致歉。