

面向图形理解的工程语义研究

陆国栋 晏群 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 首次提出了工程语义层次划分准则和分类原则,即根据工程图样投影表达过程划分为表达方式语义、投影关系语义和尺寸约束语义等3个层次,每一层次又根据信息表达的深度和语义描述的需要,划分为显式的低层语义和隐式的高层语义两大类,并较为系统地归类了显式语义和较为深入地挖掘了隐式语义,从而赋予了图样工程语义动态性、层次性、易于形式化等特征,为机械工程图样的理解奠定了较扎实的基础。

关键词 工程语义 表达方式 投影关系 尺寸约束 图形理解 机械工程图样

中图法分类号: TP301.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)10-0861-07

Research on Engineering Semantics Orient to Graph Recognition

LU Guo-dong, YAN Qun, PENG Qun-sheng

(State Key Lab. of CAD&CG at Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The level dividing rules and classifying principles of engineering semantics of the practical engineering drawings are advanced for the first time. According to the process of the projection expression, the semantics are divided into expression mode semantics, projection relation semantics and dimension constraint semantics. Furthermore, every level is classified to lower explicit semantics and upper hidden semantics, which the engineering semantics is characterized by dynamic, hierarchy and formalization through analyzing systematic the explicit semantics and digging deepening the hidden semantics.

Keywords Engineering semantics, Expression mode, Projection relation, Dimension constraint, Graph recognition, Mechanical engineering drawings

0 引言

任何信息(包括图形信息)在计算机内部都是以数字表示的,通常称这种数字集合为模型.虽然通常计算机已经具有很强的图形模型表达能力,即通过人工介入即可实现从“图”到“数”的转换,如二维交互绘图和三维几何造型,但计算机的图形理解能力较弱,包括从“数”到“图”的图形理解,如基于二维数据到三维形体的三维重建和基于三维模型的特征识别,也包括从外部世界实体到计算机内部模型的图形理解,如机器人视觉.可见,计算机内“数”与“图”之间的矛盾异常突出.

显然,图形理解需要相应的知识或语义描述.由于不同领域的图形表达,其语义千差万别,由于数字计算机的局限,也由于人脑科学的限制,要建立通用的图形语义描述相当困难,因此,有必要针对一定的图形特点进行研究,犹如人工智能领域的从追求通用问题求解进展到专家系统建立一样.本文即针对机械工程图样,研究分析机械图样的工程语义,期望对三维重建、特征识别、机器人视觉等相关领域的研究工作有所促进.

1 机械图样工程语义层次划分与分类

机械工程图样视图具有以下几个与工程语义有

直接联系的显著特征:

(1) 实形性特征 由于工程图样表达的是实形,因此基于这一特征,就可提供图形处理时尺寸间的可转换性。

(2) 封闭性特征 由于每一视图单位其外轮廓总是封闭的,且其轮廓组成,一般为粗实线或波浪线,特殊情况下,如视图对称时,则点划线成为边界之一,因此这一特征为视图划分提供了基本依据。

(3) 连续性特征 鉴于视图内部的轮廓线一般是连续的,其特例是基本立体相切时,可能出现轮廓线突然消失,故连续性为投影关系语义的获取奠定了基础。

(4) 协调性特征 由于机械图样的视图表达和尺寸标注是协调的、而不是干涉的,因而通过视图尺寸的相互关系,即可为工程语义的深入研究提供条件。

由于工程图样的工程语义具有隐含性、经验性和习惯性等特点,因此工程语义的描述较为困难,但工程语义描述是基于工程图样图形理解的重要前提。实际上,由于工程图样的工程语义分析是形体投影表达的逆过程,因此我们可以从分析形体投影表达的过程得到有益的启示。

形体投影表达过程可以分为以下4大步骤:

(1) 对形体进行形体分析

任何形体总是可以将其分解为由若干基本立体和扫描体所形成的不同组合,其中,基本立体包括棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、球体、环体等6类,且基本立体又称基元或基元体;扫描体则包括平移扫描和回转扫描,其组合方式包括叠加方式的相交、相接、相切和切割方式的截切,以及叠加和切割的混合方式等;

(2) 考虑表达方法

主要包括形体如何放置,选取哪个方向作为主视图的投影方向,用几个视图来表达,是基本视图还是非基本视图,还有每个视图采用什么表达方法,是直接投影的视图,还是全剖、半剖或者局部剖的视图等;

(3) 根据投影关系绘制投影

一般先绘制基本立体在几个视图上的相关投影,然后再表示基本立体之间的各种组合方式,此时涉及各种线型表示、剖切表示、各种规定画法以及习惯画法等等;

(4) 标注尺寸

尺寸标注仍然通过形体分析方法实施,即先标

注基本立体的定形尺寸,再标注基本立体之间的定位尺寸,最后标注组合形体的总体尺寸。

与投影表达过程相对应,本文将静止的工程图样的工程语义划分为表达方式语义、投影关系语义、尺寸约束语义等3个层次,每一层次则根据信息表达的深度又分为显式的低层语义和隐式的高层语义两大类,层次划分准则与分类原则如表1所示。

表1 工程语义层次划分与分类

工程语义层次	层次划分准则	工程语义分类	分类原则
表达方式语义	根据工程图样形成的投影表达过程进行划分,即在形体组成关系分析基础上,首先确定表达方式,然后明确投影关系,最后标注相关尺寸。	显式	各种表达方式特征
		隐式	各视图间的关系
投影关系语义		显式	基于线型、直线投影、平面投影关系
		隐式	面向基本立体、基本立体间的组合
尺寸约束语义		显式	各种尺寸本身的特征
		隐式	尺寸与图形、二维与三维之间的关系

2 尺寸约束语义分析

尺寸约束必须施加于图形才能体现其语义。尺寸约束语义可分为以下两类:第一类是显式的尺寸语义本身;第二类是隐式的尺寸与图形的关系语义和二维与三维的功能语义。

2.1 显式尺寸语义

每一个尺寸均可以作为一个实体而存在。以线性尺寸的组成为例,可表述如下:

(1) 一个尺寸由尺寸界线、尺寸线、尺寸箭头、尺寸数值4部分组成;

(2) 尺寸线一般为细实线,且与所标注的要素平行;

(3) 尺寸界线一般也为细实线,且从图形的轮廓线、轴线等处引出,或者直接利用轮廓线、轴线作为尺寸界线,此时尺寸界线为粗实线或点划线。

从尺寸语义本身来看,尺寸数值直接表示了尺寸的不同种类,根据前缀和后缀特征可以得到尺寸语义的不同类别,并可大致判别可能的单元体类型(如表2所示)。显式尺寸语义由于存在与图形元素的可分离性,因而较难提供高层的工程语义信息。

表 2 显式尺寸语义分类

尺寸分类	前缀特征	后缀特征	可能的单元体类型	备注
直径尺寸	ϕ	无	圆柱、圆锥、圆环	$S\phi$ 出现球体
半径尺寸	R	无	圆柱	SR 出现球体
角度尺寸	无	$^\circ$	出现斜面	
倒角尺寸	无	\times°	出现圆锥体	
螺纹尺寸	M, S, Tr	无	出现圆柱螺旋体	
管螺纹	G, Rc, Rp	无	出现圆柱或圆锥螺旋体	
线性尺寸	无	无	平面立体或定位、定形	最为复杂

2.2 隐式尺寸语义

隐式尺寸语义可分为尺寸关系语义和尺寸功能语义两方面。尺寸关系语义揭示了尺寸与图形之间的关系, 根据工程图样特征, 隐式尺寸关系语义主要有过渡特征关系、对称结构关系、均布特征关系、相切关系、相贯关系、截切关系等。尺寸功能语义则揭示了二维与三维之间的关系, 其分类如表 3 所示, 特别应该注意到尺寸功能语义与显式尺寸语义间的关系。

表 3 隐式尺寸功能语义分类

尺寸功能语义	具体功能	功能语义与显式尺寸语义的关系
定形尺寸	决定基本立体的形状	各种尺寸均可
定位尺寸	决定基本立体之间的相对位置	线性尺寸为多, 半径、直径
总体尺寸	决定整个形体的总长、总宽、总高	线性尺寸为多, 直径尺寸

在图样中, 二维尺寸实际上表示的是三维形体的空间关系, 如果一个结构没有被尺寸显式直接地约束, 也没有被尺寸通过投影间接地约束, 则它必然存在尺寸隐式约束语义。尺寸功能语义与形体特征识别之间存在互为因果关系, 可以认为, 完整、准确地理解尺寸功能语义就可以准确地识别形体特征。

3 投影关系语义分析

工程图样上的图形要素总体上可分为点、直线、圆弧、圆、连通域等 5 类, 一个图形要素在一个视图中的投影称为该要素的一个投影元素。根据表达的工程语义信息深度, 投影关系语义可分为显式的线、面投影语义和隐式的基本立体及其关系投影语义。

3.1 显式投影语义

(1) 基于线型的投影语义

线型的层次最低, 多表现为显式低层语义, 而且它能直接提供的工程语义相对较少。但线型通过与其他语义的集成, 可衍生出较丰富的语义内涵。常用

的图线及其一般含义如下:

粗实线 表示可见轮廓线和可见过渡线;

细实线 表示尺寸线、尺寸界线、剖面线、指引线、螺纹牙底线等;

虚线 表示不可见轮廓线和不可见过渡线;

细点划线 表示轴线、对称中心线、轨迹线、齿轮节圆线及齿轮节线;

双点划线 表示相邻辅助零件的轮廓线、极限位置轮廓线、中断表示等;

波浪线 表示断裂处的边界线、视图和剖视图的分界线;

在机械工程图样中, 粗实线严格符合显式投影约束; 细实线、点划线则不一定符合投影约束; 虚线则较少使用。

(2) 基于直线的投影语义

直线的投影特性表达了直线的显式投影语义, 显式表达的直线在一个视图中的投影可归纳为 5 种情况, 而进一步分析还可归纳出 3 类直线, 共 7 种约束, 即投影面垂直线、投影面平行线、投影面一般位置线 3 类线的约束(如图 1 所示)。而且工程图样中, 投影三元组中的轮廓线在组内必然满足 7 种约束中的一种。

情况 1 平行于主视图和俯视图的共同坐标轴

情况 2 平行于主视图和左视图的共同坐标轴

情况 3 不平行于任一坐标轴

情况 4 积聚为一点

情况 5 平行于左视图和俯视图的共同坐标轴

(3) 基于平面的投影语义

显式表达的平面, 其投影几何信息可能是二维面域或直线。根据投影约束, 平面投影三元组有且只有 3 类可能出现的组合情况(如图 2 所示)。

情况 1 F, L_s, L_s —平面垂直于两个坐标平面。

情况 2 F, F, La —平面垂直于一个坐标平面。

情况 3 F, F, F —平面不垂直于任何一个坐标平面。

其中, F 为一个二维单连通域, La 是一条一般位置直线, L_s 为一条与某一坐标轴平行的直线。

对平面投影再作进一步的分析, 则可发现平面投影隐含 3 类情况、7 种约束。在每一种组合方式中, 3 个视图的对应元素满足三维的包围盒约束关系。在图 2(b)、(c) 两种情况中, 多于一个视图有二维面域的存在, 同一投影三元组中的二维面以及与该三元组对应的三维平面都必须类似形, 这些面的轮廓线数必须一致, 且必须满足投影约束。

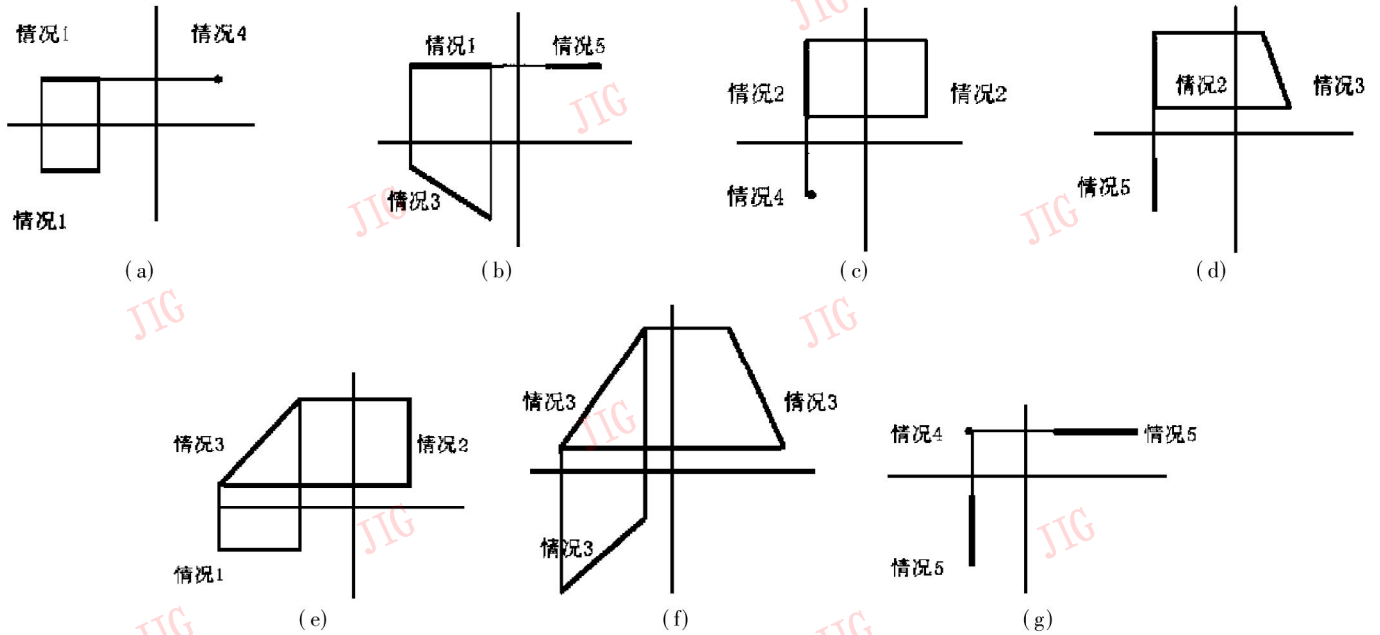


图1 直线的显式投影语义

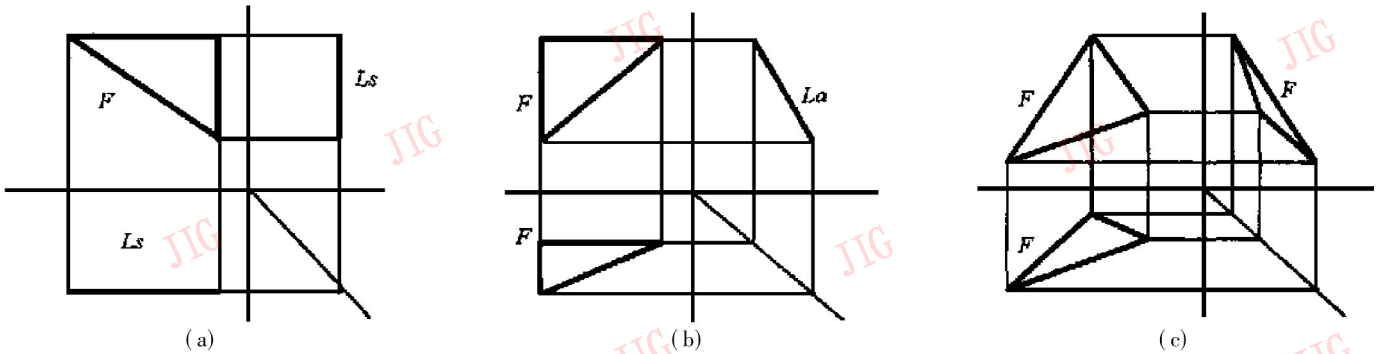


图2 平面的显式投影语义

3.2 隐式投影语义

3.2.1 面向基元识别的隐式投影语义

由于完整的基元投影在图样中很少出现,因此必须抓住基元投影的关键特征,即其所隐含的隐式投影语义.而有关圆柱体、圆锥体、圆球体、圆环体、棱柱体和棱锥体等6类常见基元的隐式投影语义如表4所示.

表4 常见基元体隐式语义

基元体	隐式语义			
圆柱体	点划线	与点划线平行的直线段	两相交的点划线	圆或圆弧
圆锥体	点划线	与点划线相交的直线段	两相交的点划线	圆或圆弧
圆球体	两相交的点划线	圆或圆弧	两相交的点划线	圆或圆弧
圆环体	三根两两相交的点划线	两个圆和两根切线	两相交的点划线、点划线圆	两个圆
棱柱体	若干投影面、平行面、垂直面的集成			
棱锥体	若干投影面、平行面、垂直面、一般位置面的集成			

基元识别时,因为基元体之间的组合以及投影的省略,因此不采用完全匹配模式.从表4可见,曲

面立体具有较为明显的隐式语义.

3.2.2 面向形体组合的隐式投影语义

在实际形体中(如图3),基本立体之间的组合是大量存在的,而几何元素的组合更使得组合体的投影含有丰富的深层隐式工程语义.虽然基本立体的组合大大增加了形体的复杂性和形体识别的困难性,但按一定规则组合的形体在图样表达中,通常仍具有明显的“痕迹”,因此利用5类图形元素的相关投影规则予以捕捉,就可以较好地提取工程图样中的工程语义.

(1) 以点为约束的隐式投影语义

组合体中的点,包含了非常丰富的隐式投影语义,可分为以下6种情况:

① 切点与悬空点的投影对应 当出现切点与悬空点投影时,必然出现平面立体与曲面的第一类相切情况,如图3中点A(相应投影分别为 a, a', a'');

② 一般极值点 当一类极值点位于劣弧中间,且该劣弧无半径尺寸标注时,则必然在此处发生圆柱与圆柱的相交组合,如图3中点B的 b' ;

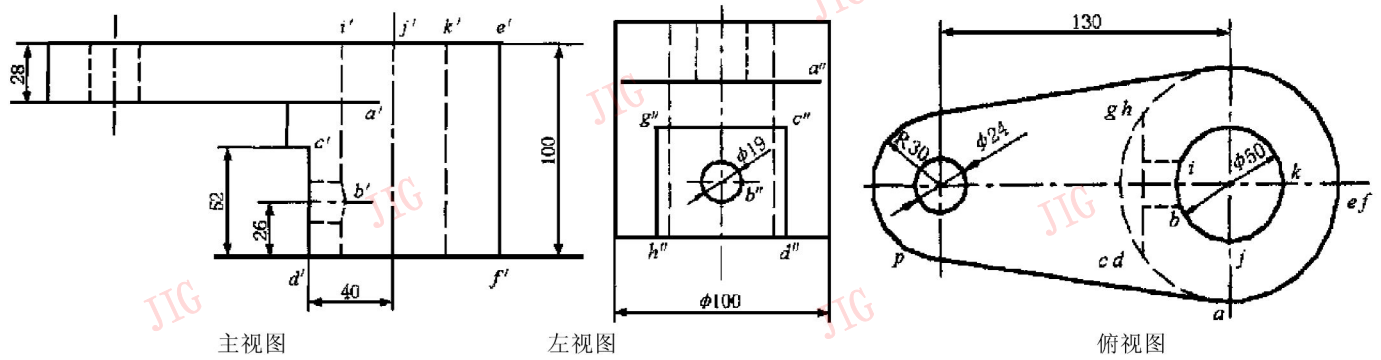


图 3 形体多种组合的隐式工程语义

③ 切点与空点的投影对应 当出现切点与空投影时,可能出现平面立体与曲面立体的第二类相切情况,如图 3 中点 P (投影为 p);

④ 极值点与极值点的投影对应 表现为球体或圆环体,也表示圆柱相贯情况,如图 3 中点 B 的 b' 与 b'' 对应;

⑤ 一般点与线段的投影对应 表现为一般垂直线情况,如图 3 中直线 CD (投影分别为 cd 、 $c'd'$ 、 $c''d''$);

⑥ 极值点与线段的投影对应 表现为圆柱之转向轮廓线,如图 3 中直线 EF (投影分别为 ef 、 $e'f'$).

(2) 以其它元素为约束的隐式投影语义大致可分为如下 6 种情况:

① 线段-线段约束表现为以下两种情况:一是交线,必然能在若干个投影上同时找到线的对应投影.二是平面的积聚性投影,这是最常见的情况,如直线 $CDGH$ (投影为 $cdgh$ 、 $c''d''g''h''$);

② 线段-圆约束 表现为圆平面的情况,如由 I 、 J 、 K 3 点决定的圆(投影为 i 、 j 、 k);

③ 圆-圆约束 与以点为约束的隐式投影语义④相同;

④ 圆角 劣弧和半径必须标半径,且必须标注

在反映圆弧的投影上,优弧和整圆必须标直径,且应该尽量标在不反映圆的投影上,因此,对于未标尺寸的劣弧,必隐含相应工程语义,主要体现在圆角的习惯标注和相贯线上,而铸造圆角的尺寸标注是省略的,因为它存在相切特性,而对称性则不一定出现;

⑤ 相贯线 若劣弧两端与直线不存在相切关系,且劣弧中间存在点划线,则可判断产生了相贯线;

⑥ 截交线 平面与立体相交,则产生截交线,表现为直线或圆弧,且不加尺寸标注,如直线 CD .

根据这些投影语义的分析,尤其对于图样省略表达中隐式语义的分析,工程语义形式化将逐步成为可能.如图 3 所示,左视图中截交线尺寸在图样中一定不加标注,因为这一平面含有截切信息,根据这一重要信息,通过一定手段即可进一步地找到截平面的位置.

4 表达方式语义分析

4.1 显式表达语义

显式表达语义主要从不同表达方式的相关特征出发进行分析(如表 5 所示).

表 5 不同表达方式的相关特征

表达方式	视图				剖视图			剖面图		局部放大图
	基本视图	局部视图	斜视图	旋转视图	全剖视图	半剖视图	局部剖视图	移出剖面	重合剖面	
视图类形					单一剖、阶梯剖、旋转剖、斜剖、复合剖					视图上以细实线圆和罗马数字标识
投影方式	相应处理				一剖二视三投影			剖而不视,即投影		视图或剖视图,与被放大部位无关
	直接投影									
剖视占视图的比例 (%)	0				100	50	$\neq 0 \neq 50 \neq 100$	100		0 或者 100
适用对象	表达外形				表达内形	表达内外形	表达内外形	表达断面		表达细节
表达特征	无剖面线				剖面线起止轮廓线	点划线分界	波浪线分界			罗马数字、波浪线分界
应用条件	无须表达内形				无须表达外形	机件对称	比较灵活	仅表达断面结构		需放大结构、尺寸标注实施

4.2 隐式表达语义

(1) 剖切表达语义

剖视与剖面图是表达零件内部与断面结构的常用表达手段. 剖切后形成的剖切面在投影图中用剖面符号表示出来, 其它视图和同一剖视图上的未剖切部分的表达不受影响. 在全剖视图和移出的剖面中, 整个视图都是剖切后产生的零件内部的投影, 而半剖、局部剖等表达手段的使用, 则使同一个视图中同时产生零件的外部轮廓和内部轮廓的投影.

通常, 半剖视图以点划线为边界轮廓标识, 局部剖视图以波浪线为边界轮廓标识, 全剖视图和移出的剖面则以视图轮廓线为边界轮廓标识, 由此, 点划线、波浪线和粗实线被附加了特殊语义.

(2) 视图关系语义

视图之间的关系通过两个方面来体现, 一是缺省位置匹配; 二是标注匹配. 其中, 缺省位置匹配主要是指6个基本视图位置上的匹配; 而标注匹配可以分为完全标注和省略标注两类情形. 图4是以主视图为根节点、其它视图为叶节点的树结构邻接关系图^[5].

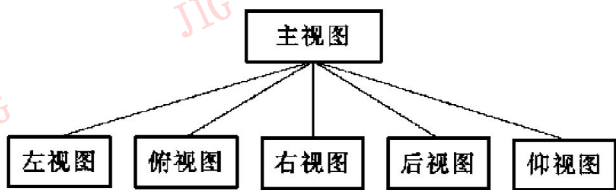


图4 基本视图树结构图

该树结构强调其它视图对主视图的依赖性和6个视图的整体性, 而主视图是在基本投影面展开时, 根据需要人为定义的. 客观上, 6个基本视图是无序的, 即其中的任意一个都可以作为主视图. 从其基本投影面三维邻接关系, 可以看到每一个基本视图都有4个相邻的视图, 而且每一组基本视图和它的相

邻视图在整个基本投影体系中的拓扑位置是一致的, 由此, 本文提出建立一个各基本视图间的网络关系图(如图5所示).

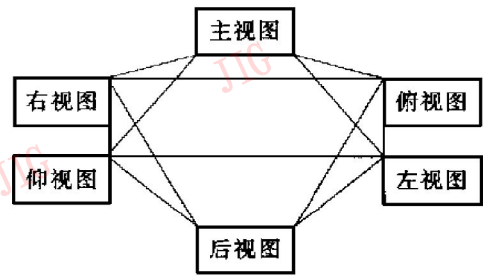


图5 基本视图网络关系图

图5中每一个节点代表的是一个视图, 而两视图间的边则代表视图间的邻接关系, 即每一条边所相连的两视图的投影面也是在空间相互垂直的两个面, 每个三角形对应的三视图间的投影面是两两垂直的, 这样的视图组展开后就是一个基本三视图. 不在基本位置上的基本视图, 一般可通过标注匹配来体现, 其中箭头标识了其于基本视图的位置关系(如图6). 一般局部视图、斜视图通常符合完全标注, 而旋转视图具有省略标注特征.

在基本视图关系图的基础上, 以基本视图为父视图, 可进一步地将斜视图、旋转视图、剖面图以及对剖切视图进行区域提取后产生的剖切子图, 全部链接到视图关系图中, 以建立起新的视图关系图. 以图6为例, 其中F、R、D、B、L、U分别与图5相应位置视图对应, 主视图F的半剖视图C₁是F的子图, 仍然与俯视图D垂直.

通过建立视图关系图, 统一了三视图与多视图(包括单视图、二视图)的处理机制, 且统一了基本视图与非基本视图的处理机制, 也统一了直接投影视图与剖切生成视图的处理机制. 这样就可进一步地将尺寸处理与视图的处理有机统一起来.

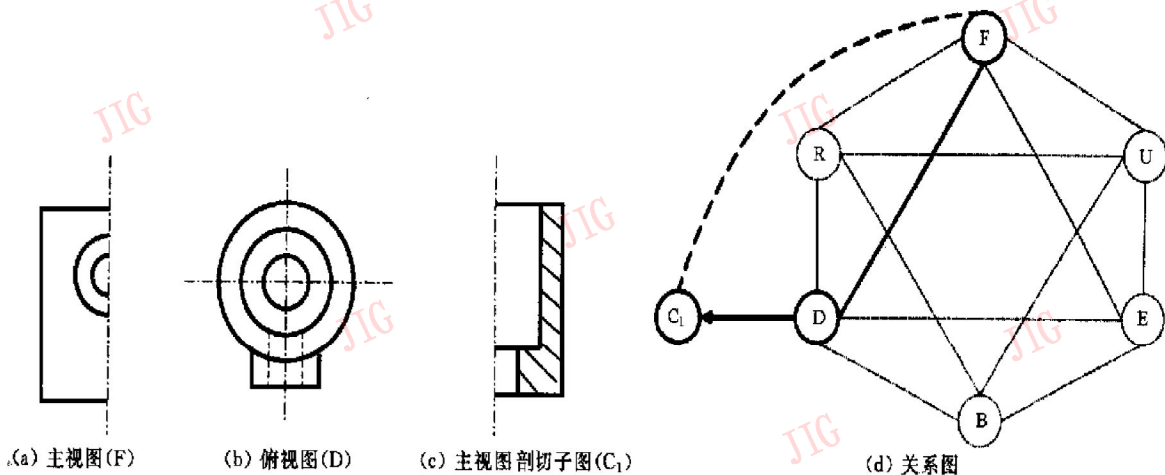


图6 多视图的网状关系图

5 结 论

工程图样工程语义的分析与提取对深层次理解图形包括三维重建、特征识别甚至机器人视觉等均具有重要意义, 由于工程图样表达的多样性、经验性、隐含性以及表达结果要求的完备性, 要完整、准确、清晰地描述和提取工程图样工程语义尚有许多工作需要进一步展开。根据工程图样投影表达过程, 本文提出了工程图样工程语义层次划分准则、分类原则, 并赋予图样工程语义动态性、层次性、易于形式化的特征, 具有较强的可操作性, 为进行工程语义的深入研究理清了思路。

参 考 文 献

- 1 Dori D, Dimensioning analysis: toward automatic understanding of engineering drawing, Commun. ACM, 1992, 35(1): 92~ 103.
- 2 Dori D, Tombre K. From engineering drawings to 3 D CAD models: are we ready now?. CAD, 1995, 27(4): 243~ 254.
- 3 Vosniakos G C. Knowledge-based interpretation of CAD-drawing annotation for mechanical-engineering components. CAD, 1992, 24(10): 547~ 555.
- 4 Meeran S, Pratt M J. Automated feature recognition from 2D drawings. CAD, 1993, 25(1): 7~ 17.

- 5 D B Lysak, Jr et al. View labeling for automated interpretation of engineering drawings. Pattern Recognition, 1995, 28(3): 393~ 407.
- 6 陆国栋. 基于工程语义的三维重建方法研究[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1999. 12



陆国栋 1963年生, 博士, 教授, 浙江大学工程及计算机图学研究所副所长. 主要研究领域为智能 CAD、三维重建、工程图样计算机理解等.



晏群 1960年生, 副教授, 浙江大学机械系高级访问学者, 华东冶金学院工程制图教研室主任. 主要研究领域为三维重建、工程图样计算机理解等.



彭群生 1947年生, 博士, 教授, 博士生导师, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任. 主要研究领域为计算机图形学、真实感图象处理、虚拟现实技术等.