

《第 18 章 采矿 CAD 软件技术》(陈建宏, 共 41 页, 4 万字)

第十八章 采矿 CAD 软件技术.....	2
18.1 采矿 CAD 技术发展.....	2
18.1.1 采矿 CAD 现状.....	2
18.1.2 采矿 CAD 问题.....	3
18.1.3 采矿 CAD 研究方法.....	3
18.2 可视化采矿 CAD 系统结构.....	5
18.2.1 采矿设计过程.....	6
18.2.2 采矿 CAD 技术特点.....	7
18.2.3 采矿 CAD 系统结构.....	8
18.2.4 采矿 CAD 图形核心系统.....	10
18.3 采矿 CAD 系统基本图元集.....	12
18.3.1 矿山基本图元集构造.....	12
18.3.2 矿山基本图元描述.....	14
18.3.3 采矿 CAD 图元属性.....	18
18.3.4 采矿 CAD 图元数据模型.....	22
18.4 采矿 CAD 专业图形运算算法.....	26
18.4.1 矿山图形特征.....	26
18.4.2 多边形运算.....	29
18.4.3 任意区域面积计算.....	37
18.4.4 界线的追踪与连接算法.....	38
参考文献.....	41

第十八章 采矿 CAD 软件技术

18.1 采矿 CAD 技术发展

18.1.1 采矿 CAD 现状

市场需求是技术创新的原动力。二十世纪的一个重大变革是全球市场的统一，它使市场竞争更加激烈，产品更新周期加快。在这种背景下，CAD 技术得到迅速普及和极大发展。海湾战争结束当年，美国评出的二十世纪最具影响的十大技术中，CAD 便榜上有名。CAD 技术从最初的工业设计领域已渗透到人们日常生活的每个角落，从机械、电子、航空、航天、兵工、纺织、建筑、船舶、地质、采矿，一直到艺术、装潢、医疗、教学、旅游等，可以说无数不包，以 CAD 技术为基础开发的各类商业专业软件已超过 10 万个，其中以工程设计领域的 CAD 所占比例最大，发展和普及速度也最快，并且取得了显著的经济效益^[1-5]。

随着 CAD 技术的普及应用，CAD 技术正向着开放、集成、智能和标准化的方向发展。开发性是决定一个系统能否真正达到实用化并转化为现实生产力的基础，这主要体现在系统的工作平台、用户接口、应用开发环境及与其他系统的信息交换等方面。所谓集成就是向企业提供一体化的解决方案，通过集成能最大限度地实现企业信息共享，建立新的企业运行方式，提高生产效率。标准化是我国 CAD 软件开发及技术应用与世界接轨的必由之路。作为 CAD 系统的支撑环境，开放的操作系统，如：WINDOWS、UNIX 将是今后 CAD 系统的主流；面向对象的编程技术和数据库技术将为 CAD 系统的发展作出新贡献；系统的智能化结合专家系统、知识工程，将各个领域的专家经验融合于 CAD 系统中，并开发出智能化用户界面，使之更为广大工程设计人员所接受；系统的集成化是大势所趋，80 年代中期 CAD/CAM 技术的集成形成了 CIMS 高科技系统。概括起来今后 CAD 系统将会在以下几方面发展^[3, 4]：

1. 几何造型技术由二维向三维发展。几何造型技术解决了如何将三维图形转化为数学模型并存入数据库中的问题，三维造型方法主要有：线框模型、曲面造型和实体造型，三维图形技术与数据库技术相结合对 CAD/CAM 系统的发展具有极其重要的意义。
2. 与图形学发展相关的硬件支持，如：高速图形图象处理技术、三维显示和输入设备等。
3. 集成化技术将继续得快速的发展，从单一行业领域内的业务性集成，向多行业集成发展，如 CIMS 系统、工程设计建筑、水、电、暖一体化的集成。
4. 与 CAD 集成的工程数据库技术仍将继续发展，过去许多基于商用数据库开发的图形数据库，效果并不理想。开发集成化专用数据库是今后的发展方向，它既能支持几何信息，也能支持非几何数据，同时能够支持工程构件、零部件、产品等实体的多级描述及长时间的事务处理要求。
5. 基于网络和多媒体技术的分布式 CAD 系统将大力发展，网络环境下的分布式 CAD 系统，将各种不同的 CAD 作业、不同的硬、软件支撑环境集成于一个网络环境，或客户/服务器环境下；各种不同的信息表示与传输媒体，如声音、图形、图像、数据等集成于一个系统内，即多媒体 CAD 系统。
6. 智能化、专家系统技术也是一个热门研究方向，如何在 CAD 系统中应用人工智能和知识库，以提高系统的智能水平并加强人机之间的密切协作。
7. 以可视化技术和虚拟技术为核心的集成化和交互式 CAD 系统也是一个热门研究方向。

从 1985 年至今的文献资料来看，CAD 技术在开采设计中的应用日益广泛和深入。它作

为一种高速、精确的新型设计手段和工具，已广泛地为工程技术人员所接受，并对传统的设计手段和方法提出了挑战。目前，它已广泛应用于矿床开采设计的各个分支和侧面：如绘制通风辅助设计及绘制通风系统立体图、开拓系统图，各种井巷工程设计及绘图、巷道交叉点设计、提升系统设计、采矿方法设计、爆破设计、回采设计、排水系统设计与绘图、露天采剥计划辅助编制、露天矿境界圈定、露天汽车运输线路辅助布置、露天和井下运输系统的辅助调度、排土场规划与设计、地形图辅助绘制、各种地质平面图、剖面图的辅助绘制，地下采区布置图绘制等等。

18.1.2 采矿 CAD 问题

从目前文献调研和实际应用情况来看^[4, 5, 6, 9]，采矿 CAD 软件的开发和应用存在以下问题：采矿 CAD 技术的基础研究太少。对 CAD 技术在开采设计中的应用很少从理论上、技术上和方法上展开研究。如对数据采集、图元描述、图形运算、处理以及图形化数据结构、存取结构、算法研究不够。尤其对图形数据的规范化及其表示方法研究不够，目前还没有相应的标准可以遵循，这些都是采矿 CAD 技术深入研究和应用的严重障碍。

1. 对合适于计算机图形处理特点的采矿专业基本图元集和基本图形集研究不够，其重要性未受到应有的重视。
2. 系统性和集成性不强。目前采矿 CAD 技术的应用还停留在较低层次上，研制和开发的软件只针对某个侧面的具体问题而开发的，一般只解决局部问题。还很少出现以地质、测量、采矿、选矿为大系统来开发辅助设计软件。
3. 采矿辅助设计的专业特点不明显。对计算机辅助开采设计理解片面，常用它来进行一些采矿专业方面的图纸绘制工作，没有真正发挥它的作用和潜力。
4. 软件的商品化思想不够重视。要将计算机应用研究成果最终转化为生产力，则商品化软件是其唯一形式，但目前可以直接用于进行矿床开采辅助设计的软件却不多。
5. 国内采矿 CAD 软件的自主知识产权意识不够。目前，国内开发的绝大多数开采辅助设计方面的应用软件其图形与数据处理都建立在通用应用软件之上，如 AutoCAD、Graph、PHIGS 等，使应用软件的维护和发展造成困难，许多软件往往因通用平台软件的升级而无法适应用户的需求。

18.1.3 采矿 CAD 研究方法

设计是一种面向目标问题的求解活动，它包含问题的形成、创造性的构思、综合、分析、模拟及评价、判断和决策，到最后形成设计方案或局部设计方案，这是一个很复杂的过程。一个典型的设计过程通常包含以下几步，如图 1.1 所示。首先，设计者获得设计要求。包括功能要求、经济要求、制造技术要求、环节要求、审美要求等；第二步，设计师进行方案设计。这一步的信息源既来自设计要求，也来自设计师的知识。方案设计包括功能的满足、技术的可行和审美的满足等多方面思考，方案设计是整个设计过程中最活跃、最具创造性，也是智力活动最复杂的一个环节，方案设计是一种特殊的问题求解形式，也称构思。H. A. Simon 将这种形式称为综合 (Synthesis)，设计对象在此步骤中形成；第三步，设计对象的验证、修改、定型。这一步首先将大脑中的设计对象表达出来，然后根据功能要求、技术、经济、审美等各方面的详细要求和数据，对模型作进一步的计划，不合适之处予以改善，细节予以补充，最后定型；第四步，将定型的设计结果制作成技术文件，通常包括对象的三视图、剖面图、部件图、各种详细的说明等。

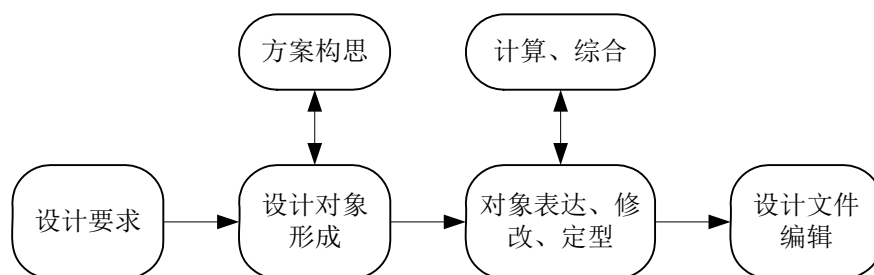


图1.1 典型设计过程基本步骤

随着计算机硬件技术的发展，研究 CAD 的手方法出现了几次革命性的发展^[3, 4, 7]。从 CAD 方法与典型设计过程层次的联系来分，目前研究 CAD 技术的方法主要流派有以下 5 种：

(1) 面向画面的 CAD 方法 (Picture Oriented, 简称 PO 方法)

这是一种最传统 CAD 研究方法。PO 方法的主要对象是画面上的各部分，因此，数据结构呈现较少的层次，表达的对象主要是二维。使用 PO 方法的 CAD 系统所提供的操作，主要为完成各种画面效果和制图要求服务，计算机内没有过错整的设计对象数据结构，而只有设计图面的数据结构。完整的设计对象保存在使用该系统的用户头脑中。PO 方法 CAD 系统主要用于编辑各种工程图纸或艺术效果图。它利用计算机对图形变换、拷贝、着色、修改及图像处理等强大的图形编辑能力而获得经济效益。尽管 PO 法只使用交互图形学的功能，但当它和数据库技术巧妙配合时，可以发展出一种相当实用的 CAD 方法——范例修改法。它是基于这样一种设计思想：即是很多设计并非从头创造，而是在以前的设计实例上，按目前的要求加以修改而已。因此，把优秀的设计范例图形存储起来，形成范例数据库。设计时，调出合适的范例加以修改，形成新的设计图纸。这种方法速度快、成本低，可以用于一些创造性要求较少的设计领域，市场上这种 CAD 系统占有很大的比例。

(2) 面向计算的 CAD 方法 (Computation Oriented, 简称 CO)

这类方法主要作用设计工程中的计算步骤。如：边坡分析，土建结构力学分析等，这类方法的应用前提是设计对象所含各物理量间的关系和约束可以用数学方法描述和计算，如：有限元、线性规划等。纯 CO 方法一般被认为仅是 CAD 的一种局部手段。但当 CO 法与 PO 法相结合时，可以构成基于计算和绘图的实用的 CAD 系统。

(3) 面向模型造型方法 (Model Oriented, 简称 MO)

这类方法主要用于设计过程中的对象模型表达、修改、定型阶段。MO 方法的 CAD 系统以设计对象模型为操作对象，一般表达为三维实体。最后的设计结果是由很多子实体构成，因此，数据结构需要较多层次。其主要操作是实体的几何变换和交、交、差等集合运算，用于实体的描述和修改。MO 方法在系统内保存设计对象的完整描述。这种描述可供计算步骤作分析效验的数据源，也能通过投影或其它变换而生成工程制图所需要的形状信息。当用 MO 方法产生工程图纸时不同的图纸信息是由同一对象实体的不同投影或分解而得，因此，MO 方法能自动保持不同设计文件之间的一致性。这就免去校核图纸之麻烦，这是 MO 方法的优点。MO 方法 CAD 的另一个优点是可以以三维真实感方式显示对象，因而使设计直观。使用 MO 方法好比建筑师采用做模型的方法而不是绘图纸的方法表现设计结果。而且在计算机上做模型比手工做模型有很多优越之处：它可以从各个视角来观察，具有比例上的真实感，它可以方便修改形状与颜色，并将这种修改自运输发解为图纸。在大多数情况下，使用实体

的组合生成设计对象的过程，是将设计对象输入系统的过程，而不是对象的真正综合过程。用户只有在头脑中形成了设计对象之后，才能用实体组合的操作来输入它。真正的综合在这之前已经基本形成。

(4) 面向综合的方法 (Synthesis Oriented, 简称 S0)。

这类方法的操作对象是设计条件和设计领域知识 (Domain Knowledge)，操作的结果产生一个或若干个符合条件的设计对象。它实现一个从设计要求到设计对象的映射。一个符合条件的几何实体是 S0 方法的生成结果。由于方案综合是设计过程中思维最活跃、最复杂的阶段，S0 方法经常需要采用人工智能中的搜索、推理、约束满足等技术，并结合形象思维的特点。

(5) 面向实体的可视化方法 (Visualization Oriented, 简称 V0)

这是一种面向实体世界，强调人体视觉和交互为中心的设计思想，从方案的构思、处理过程和最终结果都以实体图形或图像为基础。V0 方法和上面的 S0 方法是目前 CAD 研究的一个前沿和热点。

18.2 可视化采矿 CAD 系统结构

在矿业界，可视化技术的研究和应用主要集中在地质和矿山测绘领域，研究的方向主要包括矿体模型、实体建模、矿山 GIS、矿山测量数据的可视化等方面。在采矿领域，可视化研究处于起步阶段，人们对可视化的概念及其重要性尚没有足够的认识。这从 2001 年在北京召开的 29 届 APCOM 会议上可以得到的反映。同时，也从一个侧面反映了矿业不景气给矿山计算机应用带来的负面影响。与上世纪 80 年代计算机图形设备刚出现，矿业界就轰轰烈烈应用的情况形成了鲜明的对比^[9, 10]。

1985 年北京华远公司引进了大型数字化仪和绘图设备，这是我国最早的微机 CAD 外设，与之配套的 CAD 软件是 AutoCAD2.17 版本，这标志着我国微机 CAD 技术的开始。同年，鞍山矿山设计研究院也引进了一台数字化仪和一台绘图仪，配合当时先进的 AT 微机，建立了我国矿业界第一个微机 CAD 工作站。AutoCAD 以其出色的图形功能和可靠的外设驱动赢得了用户的青睐，9.0 版本推出后其 CAD 软件市场稳占 60% 以上。作为一个面向全球的通用辅助设计软件，AutoCAD 的卓越性能是无可非议的，但从矿业计算机辅助设计的角度，它有不可逾越的障碍。AutoCAD 是一种命令语言，不是普遍意义上的高级语言，因而不能用它直接编程，尽管它内置的 Autolisp 语言可以编程，但由于运行速度慢，不能读取二进制文件等障碍，最终没有成为开发矿业 CAD 软件的主流语言，国内外大多数矿业软件开发都选择高级语言开发自己的 CAD 系统，部分矿业软件把 AutoCAD 作为辅助图形输入/输出的工具，这 80 年代前后开发矿业 CAD 软件的主流技术^[14]。

由于矿山之间的行业差异（煤炭、冶金、建材等），同行业矿山之间的个体差异（开采方式、地质条件等），以及个例矿山生产过程中需处理的瞬息万变的难以预料的信息差异，使得 CAD 软件的开发具有较强针对性。总体上，矿业软件开发处于一种“各自为政”、“低水平重复开发”的状态，与其他行业同类产品相比存在许多不足，如使用的开发工具不统一、数据交换和信息传递困难、矿山工程信息表达不规范、界面缺乏可视性、软件可移植性差等。我们认为矿山各主要技术部门地质、采矿、测量之间的信息处理标准化、时效性、连续性和可视化是解决目前矿山生产设计信息处理分散、软件重复开发的关键。而重视矿山工程信息标准化处理，重视 CAD 系统结构分析和通用图形平台的研究是软件开发的“基石”。下面将从传统的手工采矿设计出发，结合采矿设计需要解决的实际问题，将可视化和集成化思想引

入采矿 CAD 系统开发中，对可视化集成采矿 CAD 系统的总体结构进行研究^[7]。

18.2.1 采矿设计过程

矿床开采的对象是各种地质体，目标是采出矿石，采矿设计（包括各种矿山工程设计）是工程技术人员根据约束条件，用工程手段改变环境，满足特定的要求所进行的一种智能活动。采矿设计除满足采出矿石外，应保护工程结构自身的存在，使它能够承受自然界和人工施加在其上的各种载荷和作用，以保证人员的安全和后续作业的进行，同时必须考虑工程设计经济性以及与合作的协调一致，保证以最低的成本和最小的环境破坏获取矿石资源。

采矿 CAD 是提高采矿设计水平和设计质量的重要手段，在采矿设计中采矿 CAD 技术，不仅可以完成手工无法完成的设计，而且还可以使常规设计效率得到成倍乃至成百倍的提高。由于行业特点、设计习惯、图样表达方式的不同，CAD 系统的设计者与用户必须在对设计过程的计算机辅助部分与其余部分之间接口的描述方法取得一致。因此，在进行采矿 CAD 系统设计之前，应对传统的采矿设计过程有清晰的了解。

传统采矿设计通常都要经历方案设计、初步设计和施工图设计几个阶段。每个阶段都有自己的设计目标，通常后面的设计阶段是对前面设计方案的进一步深入和具体化。设计过程中，工程师一般要经历如下几个过程：

1. 方案构思。工程师接到设计任务后，第一件事就是运用他们的设计经验和知识进行设计构思，在这过程中，会做出一些技术决策，确定设计原则，并对以后的设计过程和将要完成的设计有一个概念认识，主要工作包括：
 - (1) 搜集并研究采矿设计的背景资料和有关工程原始资料；
 - (2) 搜集已经成功的同类设计资料以及有关的设计资料 and 知识；
 - (3) 根据工程具体情况，运用其丰富的设计知识和经验，参考同类设计和相关资料，进行设计构思，确定设计原则和设计方案。
2. 工程结构参数计算分析。结构和参数分析的目的是要确定设计方案中有关工程结构的应力载荷、约束条件等，是采矿设计的重要方面。
3. 采矿图设计过程。包含对设计方案的调整 and 具体方案的设计，实际过程中，后者往往与施工图绘制同步进行。
4. 施工图绘制。施工图设计是采矿设计的具体表现，它们应以详尽体现设计意图为目的。长期的设计实践在采矿设计中已形成了行业的图样表达习惯和约定，施工图的绘制应能体现这种习惯。
5. 经济分析。经济分析是工程设计的重要方面，根据设计阶段的不同，主要包括概算和预算，概算是初步设计文件的重要组成部分，它是确定项目投资、编制 and 安排建设计划的依据。预算 is 施工图设计文件的重要组成部分，它是确定工程造价、考核工程成本 and 经济性的依据。

工程设计不是一个简单的逻辑推理过程，而需要将逻辑推理 and 非逻辑推理协调运用，是抽象思维 and 形象思维综合的结果。具体地说，工程设计是一种“面向目标问题的求解活动”，它包含问题的形成、创造性的构思、综合、分析、模拟及评价、判断 and 政策，直到最后形成设计方案，这是一个很复杂的思维过程。

与矿床开采有关的工程设计本身包括很多方面，涉及到地质、测量、采矿、总图等多个专业及其之间的协作，没有一个统一的模式能描述所有这些设计过程。但我们可以对其进行抽象。从 CAD 技术角度看来，传统手工设计过程，只是在地质资料、测量资料以及一些技术经济指标等的约束下，对某一矿床开采在特定方案下的“模拟”，而且这一过程是一个对地质资料的反复加工 and 利用的过程。CAD 系统研究的目的是辅助设计者完成工程方案的设计，

它们模拟设计领域的专家的思维进行工作。因此，从某种意义上来说，采矿 CAD 系统是对采矿设计专家的思维模拟。

18.2.2 采矿 CAD 技术特点

系统结构是软件开发的基础。系统结构的选择，一方面要考虑行业特点，另一方面要考虑技术发展水平，尽管目前 CAD 技术已经向三维实体、可视化和集成化发展，但对于矿山行业而言，还有相当长的路要走。因此，系统的定位必须重视矿山的应用特点和技术现状。归纳起来，CAD 技术在国内外矿山的应用具有如下特点：

- (1) 以提高设计质量，缩短设计周期为主要目标。通过使用 CAD 系统，使得工程设计过程更趋客观、直观、准确、高效和规范。因此，采矿 CAD 的设计要充分考虑矿山设计规范和工程师的设计习惯；
- (2) 使得矿山各主要技术部门——地质、采矿、测量，甚至选矿之间的信息处理、传输更富于时效性和可连续性，强调 CAD 系统的集成化和数据的共享；
- (3) 提高采矿 CAD 系统的通用性和可移植性。由于矿山之间的行业差异，同行业矿山之间的个体差异，以及个例矿山生产过程中需处理的瞬息万变的难以预料的信息差异，使得 CAD 技术在矿山行业的应用研究中具有较强针对性，应用研究的可移植性相对较差。因此，要重视集成图形环境、图形处理方法和数据接口技术研究；
- (4) 研究和应用表明，基于二维方式下的矿山 CAD 软件的应用研究有利于与传统设计方式衔接，有利于在短期内达到设计目标，也符合目前矿山计算机技术水平。因此，要摒弃过分追求“三维实体设计”的开发思路，从矿山工程师的实际需要出发进行开发和研究。
- (5) 国内外的研究表明，矿山生产设计过程的 CAD 软件开发正处在一个由基于二维平面的设计模式向基于三维空间的设计模式过渡。但由于存在大量技术上的障碍，这一过渡在数年内仍难以完成。不过可以预计，一旦有关的技术难题被攻破，如基于线框的三维实体构模技术、基于 GIS 的矿山空间工程数据技术等，将彻底改变矿山设计的面貌。

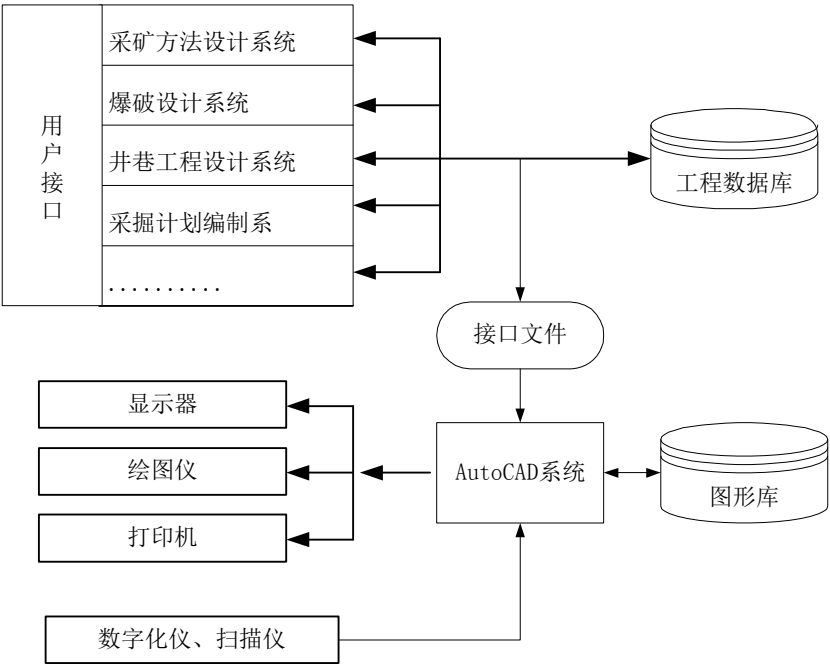


图2.1 基于AutoCAD采矿CAD系统结构

18.2.3 采矿 CAD 系统结构

1、 基于 AutoCAD 的采矿 CAD 系统结构

目前国内大多数涉及图形处理的工程软件为了缩短软件开发周期,都采用 AUTOCAD 作为图形处理核心。这种系统的基本结构如图 2.1 所示。采用这种系统结构的 CAD 系统,其主要优缺点:

- (1) 开发者可以在不考虑图形外设驱动、不考虑交互式 CAD 绘图软件包的情况下设计自己的应用系统,开发周期短。
- (2) 许多图形功能可以利用 AutoCAD 的图形核心处理功能,不须另外开发。
- (3) AutoCAD 不能直接为应用系统提供图形资源,只能通过图形数据文件接口方式,如图 2.2 所示。在 AutoCAD 中形成设计图后,在 AutoCAD 中修改的图形无法返回到后续设计过程中去。
- (4) 集成化程度低,软件升级受制于 AutoCAD。
- (5) 缺乏软件独立版权。

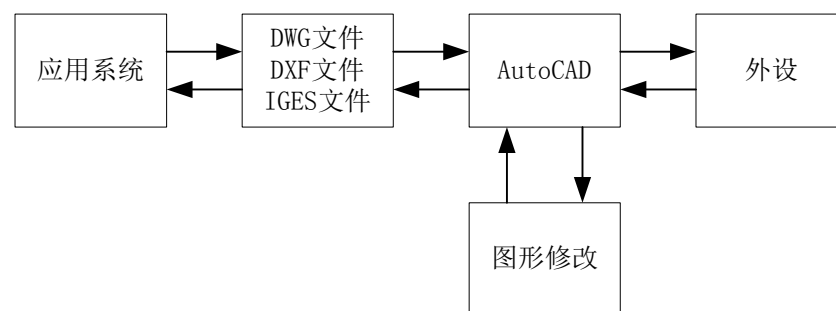


图2.2 AutoCAD接口

2、 集成化的采矿 CAD 系统结构

采矿设计是非常复杂的,无论是开拓系统设计、井巷设计、矿块设计、炮孔设计、境界圈、还是计划编制都需要图形环境的支持,包括图形交互、运算等。这种图形资源的支持不是单纯的图形生成过程,还需要考虑设计对象随设计变化的过程,包括与图形相关的结构计算、矿岩量统计、材料消耗计算等。因此,图 2.1 所示的 CAD 系统结构很难满足矿山地、测、采数据高度共享和集成的需要。集成化 CAD 系统结构是解决上述问题的方法之一。

图 2.3 是集成化采矿 CAD 系统结构的一种。它与图 2.1 之间的区别是:这一系统结构的全部设计过程均得图形核心系统提供的资源支持。它与 AutoCAD 之间的关系变成为一种并联关系,即系统设计图可以转化为 AutoCAD 默认的图形数据文件,与 AutoCAD 兼容。但整个应用系统是自成一体,系统设计过程与 AutoCAD 没有直接的关系,不受 AutoCAD 的影响,软件有独立知识产权。各采矿设计应用系统之间的数据通信及管理均由工程数据库来完成,工程数据库及图形核心系统构成了采矿 CAD 系统的核心。图 2.3 中的知识库是开发智能采矿 CAD 系统的基础,它和工程数据库一起,支持整个系统的采矿设计过程;用户接口既协调集成系统内部模块之间的关系,也负责为用户提供一个统一的界面;接口文件是用于采矿 CAD 系统与 AutoCAD 进行数据交换,方便用户将设计成果与其他软件系统共享。

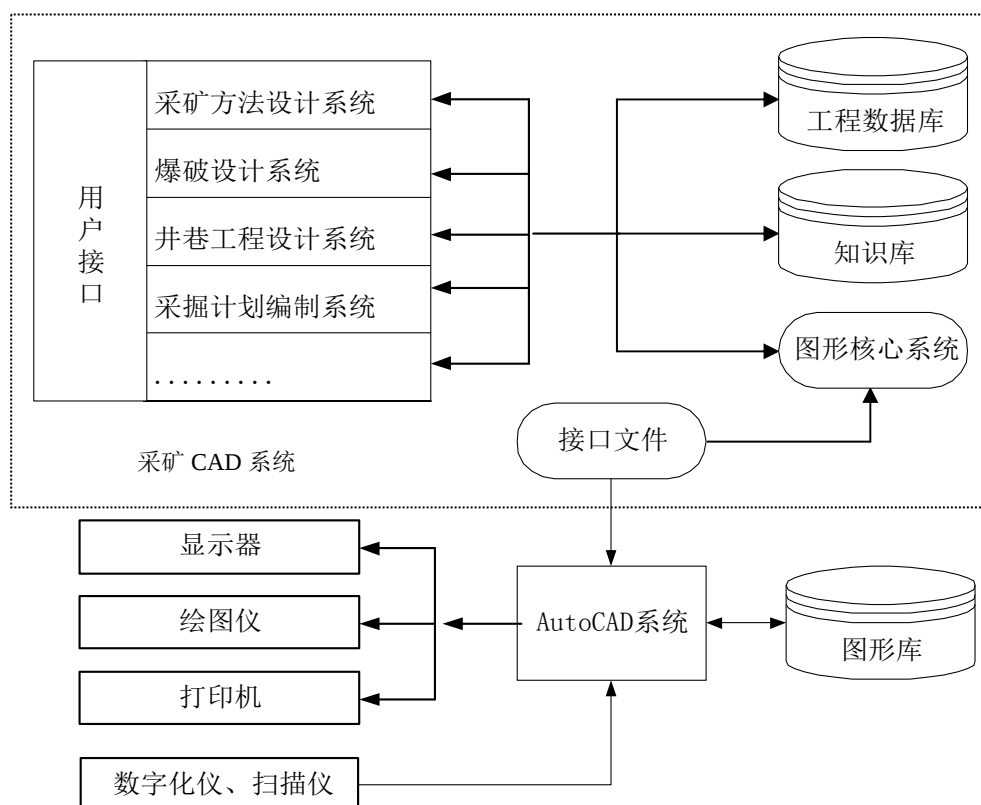


图 2.3 集成化的采矿 CAD 系统结构

3、面向对象的采矿 CAD 系统结构

实际上，图 2.3 将系统结构划分 3 个层次：物理层、逻辑层和应用层。物理层主要指工程数据库和知识库；逻辑层是指以图形输入、输出和处理为基础的中间层；应用层是指各类专业模块，并提供开放式方式用户接口。矿山绘制的基本图形对象大部分为平面图形，包括：曲线、多连线、园、椭圆、圆弧、文本、填充、尺寸标注等。通过这些底层图元对象构造次高层图形对象，如：矿体、钻孔、柱状图、巷道、井筒以及其它采矿符号。然后再根据次高层对象构造高层系统对象，如：开拓系统、出矿系统、通风系统、供电系统和排水系统等。底层对象组成高层对象的方法有很多种，如：基于框架的设计方法、约束满足法、综合推理法、原型法、信息流法等。研究表明基于框架的设计方法比较合适矿山图形处理和采矿工艺特点，在系统核心模块基础之上开发应用程序模块，以后在软件商品化时可以根据用户的不同需要以模块的方式提供，如：开拓系统设计、采准设计、炮孔设计、采掘工程平面图管理、巷道断面图设计、井底车场等。这种思想被很多国外矿业软件提供商所采用，如：Datamine、MineSight 等。采用这样一种面向对象的系统结构，有利于系统初期的需求分析，对应用面向对象技术进行系统开发也有很大的指导作用。

下面以井巷系统为例说明其面向对象的设计思想。

井巷系统可以看成是一棵复杂的对象树，它以矿井系统为根，叶子结点（溜井、采场、洞室等）为对象的属性，其中复合对象具有许多属性域或拥有多个复合对象和简单对象，简单对象的图形生成算法比较简单，它们拥有自己的 Drawing 方法。复合对象的图形绘制比较复杂，它需要调用自己的 Drawing 方法，同时调用子对象的 Drawing 方法，直到调用到最底层的简单对象为止。由于不同的系统可能包含同一个对象，为了避免数据冗余和数据处理异

常，分配给所有的简单和复合对象唯一的标识符。

18.2.4 采矿 CAD 图形核心系统

图形核心系统是以满足各种图形的绘制和管理为目的的。因此，在进行图形系统设计之前，必须了解采矿施工图的绘制和管理特点。

1、采矿施工设计图生成和管理特点

采矿 CAD 系统所绘制的施工设计图样必须满足现行的采矿设计规范，也必须满足行业对施工图样的表达要求和设计习惯^[17,18]。由于矿山现行图样表达规范方面基础工作的薄弱，不同的矿山行业（煤炭、冶金、有色、建材等）、同一矿山行业不同的采矿企业、甚至各个工程师都有自己的设计习惯，有些习惯已经变成了矿山设计的内部约定。采矿 CAD 系统设计必须考虑这些方面的要求，从而给图形系统设计造成了一定的难度。通过对采矿施工设计图样的研究和分析以及参考矿山行业设计标准，采矿施工图设计一般具有以下特点：

- (1) 施工设计图样一般均由线框构成，用线框模型就可以满足图样生成要求。
- (2) 施工设计图样一般是平面图形，常采用三平面视图的方式表示。
- (3) 施工设计图样一般包含一些特殊的符号，这些符号代表某种结构，是一种简化或习惯（约定）的表示方法，在绘图时并不要求按照比例要求。
- (4) 施工设计图中各种图元，如线宽、线型、说明文字、尺寸标注等等，都有一定要求，它们并不随图形比例而变化。
- (5) 施工设计图某些部位是不能严格按比例绘制，也不需要严格按比例绘制，大部分情况是示意性质的。如：炮孔、钻孔、溜井等，按比例是无法绘制或绘制后不直观，但为了满足表达方面的要求，实际绘制时不得不绘成实际更大一些的。
- (6) 施工设计图表达方面还有其它各种各样的要求，如矿岩界线、实测巷道等通常是光滑曲线等，因此，必须针对采矿设计特点和习惯进行开发。

2、设计系统对图形核心系统的要求

采矿设计对图形资源的要求是多方面的，它不仅需要能够被动地显示设计结果，而更需要能够在设计过程中以图形方式参与设计，将工程图形修改结果直接反映到后台数据库中，即图形修改和后台工程数据库的更新是同步进行的。以辅助采矿设计全过程的方式实现 CAD 系统。要做到这一点可视化技术和工程数据库的结合是一个很好的选择，因为，目前的可视化图形开发环境如 OpenGL 等在图形交互方面及数据库的接口方面有不错的表现。

3、集成化采矿 CAD 图形系统结构

通用 CAD 系统软件通常是一个封闭或半封闭的软件系统，它需要占用很大一部分计算机系统资源，以它为基础开发的应用系统很难与之联成一个整体。因此，这种方式开发的图形

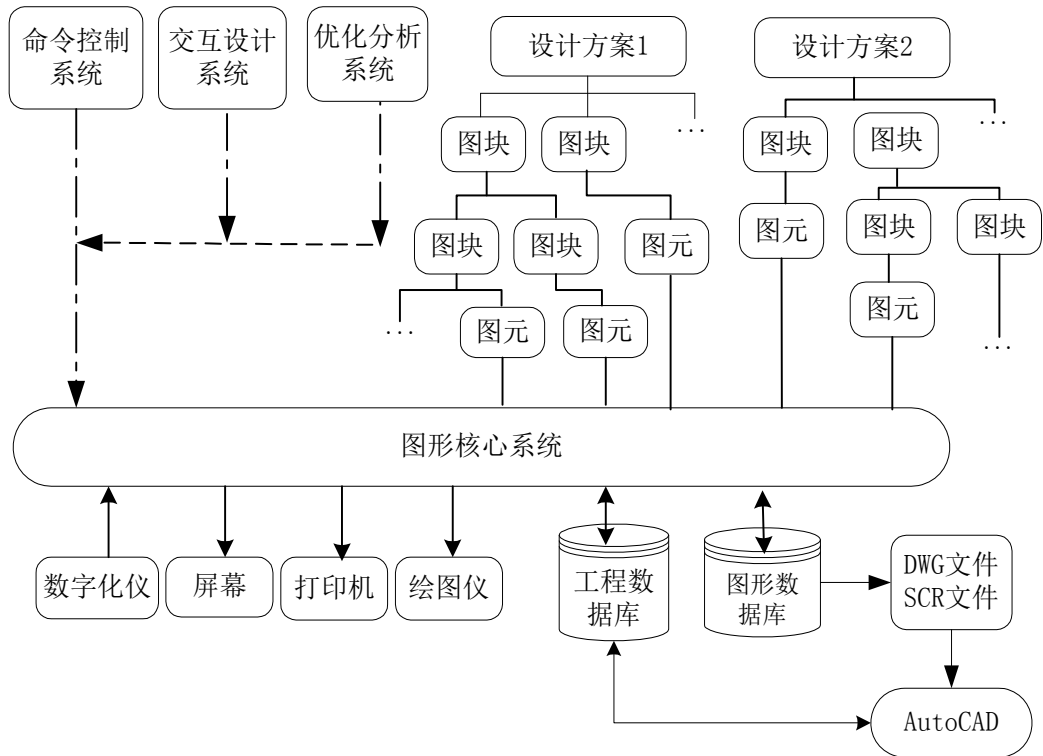


图2.4 采矿CAD图形核心系统结构

系统一般都是被动地显示图形，而无法主动地用图形方式来设计方案。采用集成化图形核心系统则可以很好地避免这种缺陷，使方案设计的全过程都能利用图形核心系统提供的图形资源支持，如图 2.4 所示。从图中可以看出，整个 CAD 系统的图形资源全部由图形核心系统所提供，CAD 应用系统与 AutoCAD 不发生直接的联系，而仅仅通过图形核心系统来实现图形资源的共享，这种结构组成的图形系统的特点是：

- (1) 图形核心系统支持整个 CAD 系统，与各种外设、其他 CAD 软件间的联系均通过核心系统来实现，使应用系统的设计不必考虑各种约束；
- (2) 各种应用子系统（如：矿块设计、爆破设计、开拓设计）等均可以和图形核心系统构成一个整体；
- (3) 制图子系统构成一个层次结构，设计图样由图块组成，图块又可以由下一层的图块或图元组成，这种结构比较适合矿山图形和采矿工艺特点；
- (4) 通过核心图形系统实现与通用 CAD 系统的图形资源共享，从而可以利用 AutoCAD 等系统丰富的图形处理功能来管理施工设计图样。

4、图形核心系统基本功能

由于采矿设计的典型工作是对各种线框形状的构造与显示，因此图形软件系统在 CAD 支撑系统中占有重要的地位，通常图形核心系统需具有如下功能：

- (1) 提供构成图形的基本元素，如：点、线、面、文字、符号、光标等，它们是组成各种工程图纸的标准构件。
- (2) 提供采矿设计常用的基本图元库，如：多边形图元、参数图元、尺寸标注图元、井巷图元等，允许用户自定义图元。

- (3) 提供图形元素变换的功能, 如: 移动、旋转、比例、拷贝、裁剪、透视等等。
- (4) 提供图形元素的多种方法, 如: 线框图、真实感图、纹理、阴影等。
- (5) 提供图形组成的结构层次, 如: 基元、图块、层、画面等等。
- (6) 提供人机交互的基本功能, 如: 选择集、批处理、定位、笔划等。
- (7) 提供各种图形外设的选择功能, 如: 图形显示器、绘图仪、数字化仪等。
- (8) 提供各种基本图形的运算功能, 如: 多边形交、并、差运算等。
- (9) 提供反映上述功能的可视化操作界面。

矿山各主要技术部门地质、采矿、测量之间的信息处理标准化、时效性、连续性和可视化, 是解决目前矿山生产设计信息处理分散、软件重复开发的关键, 因此, 重视矿山工程信息标准化处理, 重视 CAD 系统结构分析和通用图形平台的研究是软件开发的基础。

18.3 采矿 CAD 系统基本图元集^[17, 19]

采矿设计与机械和建筑设计不同, 采矿图没有象机械、建筑等行业那样标准, 图例的选择具有很大的随意性, 图形以实测的工程界线为主, 象地质界线、推进线、巷道线、爆破线等工程界线不仅有严格的“精度”要求, 还必须是“光滑曲线”, 这些特殊性给采矿 CAD 系统的研制带来了极大的困难。

一个高效的采矿 CAD 系统, 它首先应该是一个良好的图形系统, 在它的支持下, 来完成各种采矿辅助设计工作, 无论图形系统如何构造, 都要考虑图形的构造手段问题, 不同的构造方式其图形构造效率是绝然不同的。在机械 CAD 中, 图元集和常用零件库的构造已有大量研究和开发^[46]。但矿业领域对其重要性和作用重视不够。迄今为止, 在采矿 CAD 中, 很少考虑其基本图元集的构造问题, 国内煤炭行业有很少的研究, 在金属和建材矿山基本处于空白。实际上, 在采矿 CAD 系统中, 基本图元集的研究具有十分重要的地位, 它直接影响采矿 CAD 系统开发的难度、规模、开放性, 决定着采矿 CAD 软件实用性、适应性、运行效率、可维护性以及软件的生命周期。

本节将在分析矿山图形特点的基础上, 结合计算机图形处理理论, 提出用于指导采矿 CAD 软件研制的基本图元集构造原则, 在这一原则指导下, 对采矿 CAD 系统的基本图元集的构造及矿山图元的描述方法进行研究。

18.3.1 矿山基本图元集构造

一、基本图元集的构造原则

基本图元集的构造将直接影响到采矿 CAD 系统的设计难度、复杂性和工作量。它是采矿 CAD 软件设计的系统组织基础, 它决定着系统模型、数据结构、实现方法以及可扩展性, 最终将影响采矿 CAD 软件的质量。因此, 这是采矿 CAD 系统设计者必须慎重考虑的问题之一。一般来说, 基本图元集的构造要遵循以下原则:

- (1) 完备性原则。尽可能满足采矿工程设计的需要, 邓由基本图元经过一定的组合或变换能生成采矿工程设计中所需的图形。
- (2) 最小性原则。即尽可能地使图元集的数目最小, 这样可以减小系统设计难度。
- (3) 效率原则。即保证图形具有尽可能快的生成速度, 并能使整个设计周期尽量缩短。
- (4) 灵活性原则。即依赖于基本图元集的支持, 用户能对图形系统进行自由扩展, 能支持特殊图形的生成。

二、采矿 CAD 基本图元的选择

图元亦称输出基元 (Output primitive)，它是 CAD 系统进行操作和组成画面 (或图样) 的最基本的素材，一幅画面由图元组成，图元是一组最简单的最通用的几何图形和文字。图元集是完成工程图设计所需图元的最小集合。通常认为，采矿工程设计图是一种矢量图，可以看成由矢量最小组成单位——线段构成。由此而产生了一种观点：认为矢量线段是构造采矿工程设计图的基本图元，根据这一观点来研制软件，虽然也能绘制一些采矿工程设计图，但其图形生成与存储效率很低，无法达到全交互式设计的目的。在工程图设计中，常用图元通常包括：(1)点；(2)直线段；(3)曲线；(4)圆；(5)圆弧；(6)椭圆；(7)椭弧；(8)文字；(9)参图数；(10)尺寸标注；(11)自定义图元。

根据采矿制图标准及有关采矿设计习惯，我们对常采矿设计图形进行分析和归类，点图元可归入直线段图元中，即用具有两个重合点的直线段来描述几何，这样做虽然有些数据冗余，但点图元毕竟在设计图中用得较少，可以减少一种图元类型，节省大量程序代码；椭圆和椭弧图元在采矿设计图中几乎不会用到，即使用到，也可以用多个圆弧来逼近，因此，不把它收入基本图元集；圆图元可以归入圆弧图元中，把圆当作一种特殊的圆弧图元来处理。曲线图元可用有限多个直线段图元来逼近，单从作图角度来考虑这是完全可行的，可以减少一个图元类型，但从 CAD 角度，尤其是采矿 CAD 角度来看，曲线图元即多边形图元，有它存在的依据和理由：

- (1) 多边形图元是一个不可分割的整体。如用直线段来代替不能表达整体特性，而且将失去很多图形操作特性，如：图元运算、光滑、填充等。
- (2) 多边形图元具有与直线图元完全不同的几何意义。
- (3) 在采矿设计中，曲线用得最多，这是采矿设计与机械、建筑设计的重大差别。
- (4) 多边形图元节省存储量。如一个矿体、一条实测巷道通常都有几十个至上百个坐标点，如果用直线段来代替，其存储量将大量增加。
- (5) 多边形图元是各种图形运算的基础，如矿山使用很广的面积计算、品位计算、储量计算等，其实质是多边形的交、并、差运算。

因此，在采矿 CAD 中，曲线图元不仅需要，而且是这些图元中最重要的一种图元。通过分析和归并，作者认为采矿 CAD 基本图元集由 7 种图元组成比较合理，它们分别为：(1)直线段图元；(2)圆弧图元；(3)曲线图元 (作者称之为多边形图元)；(4)符号图元；(5)参数图元；(6)尺寸标注图元；(7)自定义图元。无论采矿专业图中的图形多么复杂，都可以用这 7 种基本图元来构成。

三、矿山图元的分类

根据计算机图形学理论，从图形处理与运算的角度出发，作者将以上讨论的 7 个基本图元分为三类：矢量图元、标量图元、混合图元。下面分别说明它们的含义和作用。

1、 矢量图元

矢量图元是指有方向的图元。这类图元具有方向性，它可参与图形的运算，如图形的交、并、差运算，图形自动连接与追踪，计算图形几何长度及面积等，而且，图形的精度是有实际意义的。这类图元包括：直线段图元、曲线图元、圆弧图元。这些图元是构成矿山设计图的主要手段，因此称之为主图元。

2、 标量图元

标量图元是指没有方向的图形。这类图元没有方向性，也不能参与图元运算。其图形的追踪、周长和面积的计算以及图元的定位精度等都是没有工程意义的。这类图元包括：符号图元、尺寸标注图元。这些图元常用于描述矢量图元的特征等信息，辅助矢量图元来表达完整的工程含义。因此称之为辅助图元。

3、混合图元

混合图元兼有上述两类图元的特点，它包括：参数图元和自定义图元。这两种图元实际上是用户自定义图素的两种表现形式，它真正具有哪种图形特征只有在用户定义了相应的图元后才确定。

18.3.2 矿山基本图元描述

直线图元和圆弧图元的表示方法比较简单，这里不再论述。下面对采矿 CAD 系统中比较特殊的三类图元：曲线图元、符合图元和尺寸标注图元的描述方法进行讨论。

1、多边形图元（曲线图元）

在采矿和地质制图中，地质界线或工程界线大部分以“曲线”的形式存在，因此，“曲线图元”是采矿 CAD 系统最重要的一种图元。曲线图元有以下几种表示方法：

- (1) 多项式拟合法。即用一个有限次多项式来描述任意几何曲线。这种表示方法可输出光滑连续的曲线，但其最大缺点是对散点适应程度差，而且多项式系数求取、图形运算中的交点求取、存储组织等都十分困难。因此，这种用“多项式”表示的曲线图元不适合采矿 CAD 系统。
- (2) 双圆弧逼近法。这种表示方法是将一系列有充散点所表示的曲线路由函数来。描述的曲线由一系列的双圆弧来逼近，即任何相邻两已知点之间可用两个圆弧段联结起来。它可使曲线达到二次光顺，常用于表示样条曲线或函数曲线。这种方法在模具、机械、建筑、汽车、造船等行业的 CAD 系统中用得较多，主要是用于外形造型和曲线放样。但在采矿设计中所用曲线常存在一些转折点（一次导数不连续，如图 3.1 所示），曲线的随意性很大，用这种方法很难描述所有曲线，而且会使曲线之间的运算增加几何复杂性，从而降低采矿 CAD 系统的效率，不适合在采矿 CAD 系统中使用。
- (3) 多边形逼近法。这种方法是将目标曲线离散化为首尾相接的有限个直线段，用它来逼近目标曲线。在图形输出时，可将这一系列直线视为一个整体，将其施加各种光滑方法、区域填充或线边填充等；在图形运算中，也可将它视为一个整体而进行图形的并、交、差运算。曲线的存贮也很简单，只需存贮一系列首尾相接的散点坐标。曲线图元在图形处理中和直线图元相比具有两个重点特点。

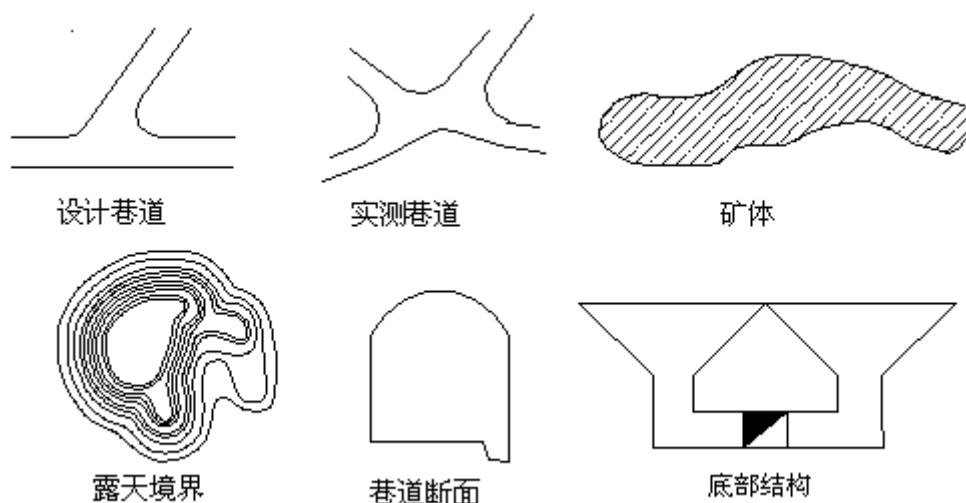


图 3.1 多边形图元表示的矿山图例

曲线图元是采矿 CAD 系统中描述几何形体、界线以及进行图形运算的基础。曲线的多边

形逼近表示法非常适合采矿 CAD 系统。作者推荐这种表示方法,除了上述原因外,还有一个非常重要的原因是,采矿设计是在地质工程图基础上进行的,而地形图、地质图都是通过数字化仪输入的,数字化仪输入的图形都是以首尾相连的坐标点存放的,其实质就是多边形。所以,采用多边形逼近法表示曲线刚好与数字化多边形重合。因此,在采矿 CAD 系统中,“曲线图元”可用“多边形图元”代替。

2、符号图元

在采矿 CAD 系统中,经常要用到符号来表示一定的工程意义,这就是符号图元。符号图元是一个形状相对固定、具有一定的长度和宽度、表示一定几何意义或工程意义的图形块。因此,符号图元应具有以下特性:

- (1) 图形块形状相对固定,是一个整体,不可分割;
- (2) 允许在二维平面上产生形变;
- (3) 符号图的绘制依赖于符号库的支持;
- (4) 由简单的数据模型和很少的数据存贮来实现复杂的符号;
- (5) 对于各种形状完全不同的符号,其处理过程是不变的。

依据符号图元的定义,采矿设计图中所用到的文字、工程符号、设备标记符都可视为一般意义上的符号图元,但它们所表达的意义是有差别的。因此,我们可以把符号图元分为几种类型:

- (1) 本文符号:这类符号常用于尺寸标注、文字注解、图名、标题栏填写及图形制表等。它主要包括英文字母、希腊字母、阿拉伯数字、汉字、标点、罗马数字、数学符号、ASCII 码中的符号等。
- (2) 设备象形符号:它用于在图中表示设备的位置、工作状态以及与工程实体之间的相互关系等,如汽车、电铲、列车、钻机、风机、破碎机等。
- (3) 示意符号:这种符号有时单独使用,有时和其它工程实体结合起来表示某种意义,如指北方向、污风和风流方向、水流方向、图例、断层产状等。
- (4) 工程符号:这种符号常用于表示某项工程及其范围,一般是指工程空间上的结构物、建筑物,如房屋、陡坎、井巷断面、炸药库、停车场、破碎站、机房等。

3、尺寸标注图元

尺寸标注的自动或半自动生成是 CAD 软件研制中的一个重要组成部分。从目前公布的 CAD 研究技术资料来看,人们往往只重视图样形状的生成,而对尺寸标注这一问题关注较少。这是因为,尺寸标注的种类繁多,情况多变,逻辑复杂,较难发挥计算机施行重复大量计算的固有优点,编制通用的自动或半自动尺寸标注程序较为困难。如果用多个孤立的直线段和文字符号来模拟尺寸标注,从满足制图要求的角度来看固然是可行的,但却违反了 CAD 技术的两个基本原则:效率原则和速度原则。这样,不仅会使 CAD 系统的存储效率降低,工程图的设计过程延长,而且会损害尺寸标注原有的整体性,增加用户与 CAD 系统的交互难度。因此,尺寸标注作为一种基本图元而存在是十分必要的。

采矿设计中的尺寸标注和机械设计中的尺寸标注相比,具有以下一些特点:(1)对尺寸标注的要求不高;(2)图纸中的尺寸标注量较小;(3)尺寸标注的类型较少;(4)尺寸标注方式的限制较少。根据尺寸标注对象的不同,可将尺寸标注的类型归纳为以下几种:

- (1) 直线尺寸:点与点、点与直线、直线与直线、直线与圆心、两圆心之间、直线到圆的切点处、两圆切点之间的距离尺寸;
- (2) 角度尺寸:两直线之间的夹角;
- (3) 圆弧尺寸,包括:圆的半径、圆的直径。

尺寸标注的几何描述取决于它与被标注对象的关系。这里存在两种做法：一种是将尺寸标注的描述建立在待标注对象的描述上；另一种是尺寸标注的描述独立存在，不依赖于待标注图元。前者是将尺寸标注描述为二叉树，如图 3.8 所示。图中 L1、L2 为指向需要标注尺寸的两个元素的指针，H 为尺寸标注类型，D 表示尺寸线的引出线自 L1 元素的终点到尺寸线之间的距离。这种尺寸标注的描述方法是比较科学的：尺寸标注图元依赖于被标注图元而存在，待标注图元的修改将自动反映到尺寸标注图元中来，能够完成自动标注，图中的尺寸标注工作量较少。但是，标注的灵活性较差，软件研制的难度较大。后者是一种半自动的尺寸标注形式，即用户选定了待标注对象和标注方式之后，将尺寸线、箭头、标注文字的位置都计算出来，这些和标注方式一起作为独立的参数进行存储，标注完成后，尺寸标注图元就独立于待标注图元而存在，目标标注图元的修改不会影响已经形成的尺寸标注。这种描述方式的灵活性好，编程容易。对于采矿 CAD 系统，采用后一种方式比较实在。

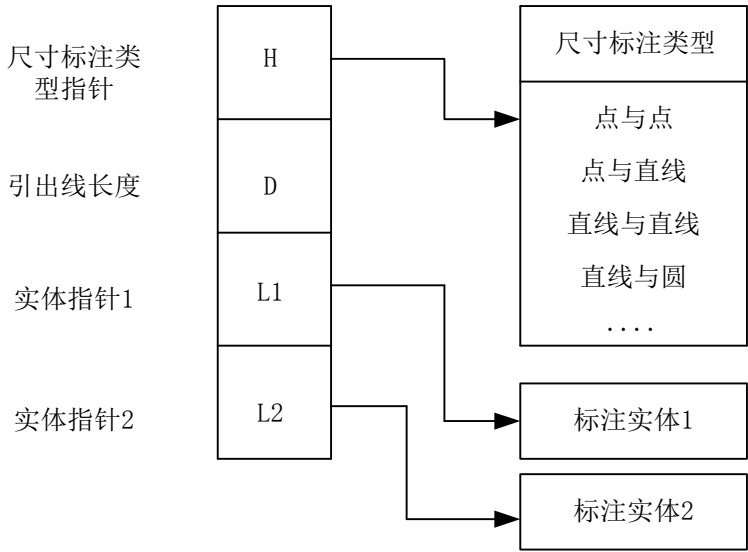


图3.8 尺寸标注的二叉树描述

CAD 技术已得到广泛应用，国外基于实体构模的采矿辅助设计软件也已开发成功，由于市场竞争激烈，目前公开发表的采矿 CAD 系统开发核心技术资料几乎没有。因此，要开发自主知识产权的采矿 CAD 软件还有许多工作需要解决。

4、采矿 CAD 参数图元^[24]

随着 CAD 应用的普及，CAD 系统的效率和开放性是成为用户评价系统性能的主要指标。因此，国内外 CAD 研究和开发人员，特别是机械 CAD 技术人员一直致力于专业图形的参数化研究。在矿山领域，由于工程图形缺乏标准，在参数化方面的研究起步很晚，目前尚没有成熟的方法。在基于线框构图的采矿 CAD 系统中，直线、曲线、多边形、圆弧等矢量图元是 CAD 中线框构图技术的最基本图元。一般来说，采矿设计中任何可以想象的复杂图形都可由这些基本图元来构成。但是，为了提高采矿 CAD 系统的运行效率，提供更好的开放环境，为用户提供更多的图形扩展手段，使采矿 CAD 系统更有效地为专业图形处理服务，必须引入二种新的图元——参数图元和自定义图元。所谓参数图元是以基本矢量图元为构造工具，以参数化的形式来构造图形的一种图元。自定义图元是用户根据需要对一些大量使用的固定图形和图形块作为一个整体进行调用的图元。调查表明，采矿 CAD 系统中引入参数图元和自定义图元来自有以下几方面用户需求：

- (1) 要适合采矿 CAD 各种图形处理的需求,基本图元集不可能穷举,用户需要时应允许定义;
- (2) 用户需要将一些彼此具有联系的图形视为一个整体;
- (3) 用户需要提高交互式图形处理的效率,使一些有规律的专业图形通过交互方式产生;
- (4) 用户需要对一些常用图形进行整理,从中提炼出一些参数,建立带有参数的专业图形库。

下面通过一个实际例子来考察参数图元存在的必要性。例如要绘制一半圆拱巷道,完全可以通过分别绘制三根直线段,然后在两直墙的上部绘制一半圆弧来完成,而且还要保证巷道底板线和两根直墙线垂直,半圆弧和两直墙相切。可以看出,其效率是很低的,如果在一张工程图纸上,布置这种巷道断面的地方很多时,用户将因为操作繁琐而厌倦 CAD 系统,而且这样做会失去了这一巷道断面图本来的整体性。如果通过参数图元来实现,其效果就大不一样了,可通过参数图元定义机制,先定义一帶有参数的半圆拱巷道图元,将其加入到参数图元库中,以后可用该图元的编号来访问。用户绘制半圆拱巷道时,采矿 CAD 系统向用户询问该图元的编号、巷道宽度、巷道墙高后,便可准确无误地绘制巷道断面图。这样,对用户来说,不仅降低了交互的难度,而且交互的效率和速度得到提高,图形的整体性增加。

5、自定义图元

在采矿 CAD 的应用中,常常会遇到这样的情况:用户对一些相对固定而又使用频繁的图形或图形块,需要提供高效率的会话与交互手段,如标题栏、图例、采矿方法中的底部结构、巷道断面、坐标网,甚至某幅图纸的部分或全部,都要作为一个整体来处理,以提高交互与图形处理效率,从而必须引入自定义图元。从某种程度上说,自定义图元是采矿 CAD 系统发挥其灵活性的重要工具。

在采矿 CAD 的图形环境中,对已经形成的由以上六种基本图元构成的图形通过目标选择方式,将一些具有一定联系的图元构造在一起,作为一个整体来看待,从而构成自定义图元。自定义图元实际上是参数图元的简化或特殊表现形式,但和参数图元相比,也存在较大的区别:(1) 不存在规范化问题;(2) 无参数;(3) 不存在图段间的连接问题;(4) 定义方式灵活;(5) 自定义图元库组织简单。

因此,自定义图元的描述相对来说较为简单。从目前的文献资料来看,还没有这一方面的研究报道,笔者将对这一问题提出一设想方案,供采矿 CAD 系统的研制参考。

从自定义图元的定义形式和作用来看,其几何描述取决于组成它的基本图元的数据模型,自定义图元实际上是前述六种基本图元实体的无序集合,而不是这六种基本图元的描述或定义的集合。因此,自定义图元的定义形成之后,它与前六种基本图元的描述无关。自定义图元的驱动将由各基本图元的驱动方法来完成,这一点将在以后的章节中探讨面向对象的图元组织技术时得到解决。因此,自定义图元描述的核心问题是要解决其库存储组织问题。

在自定义图元定义时,可给每个被定义的图元赋予一个唯一的名称,它可用字符串表示,这有利于用户对自定义图元的记忆和组织,这一名称将成为查找自定义图元信息的关键字。由于自定义图元存储信息的可变性,必须采用索引存储,其库存储组织如图 4.3 所示。图中的“基本图元实体”也是变体记录,其字节长度由基本图元的数据模型决定,该记录由相应的基本图元的驱动方法来拾取。

从原理上看,自定义图元属参数图元的一种,是参数图元的简化或特殊表现形式。本文提出的采矿 CAD 系统参数图元和自定义图元的构造方案,对基于线框构图技术的采矿 CAD 软件开发有一定的实用价值。

18.3.3 采矿 CAD 图元属性

采矿 CAD 的基本图元集的构造和描述解决了采矿 CAD 系统中的图形分类和图形构造手段的问题。我们知道,采矿设计是非常复杂的,无论是境界圈定、矿块设计、炮孔设计,还是采剥计划编制,都不是单纯的图形生成过程,还需要考虑设计对象随设计变化的过程,包括与图形相关的品位计算、矿岩量统计、材料消耗计算、结构计算等。采矿 CAD 系统不仅要提供面向采矿设计的准确、方便、灵活的构图手段,还要提供基于图形的一些辅助计算与处理手段,同时应把设计过程中所产生的图形连同它所代表的各种“工程含义”保存下来,随时供用户查询、统计和计算,这是计算机设计与手工设计的区别所在,国内许多设计院自称“100%”用计算机“设计”,确切地讲应该用计算机“描图”,作者认为真正的采矿辅助设计应该包括从方案设计、工程材料计算、图纸绘制,到项目文档全过程的自动生成。工程图形和机械图形不同,通常包含二重属性:空间位置属性(spatial attribute)和非空间属性(no spatial attribute),空间属性是指空间实体与空间位置有关的数据,非空间属性是指与空间实体有关的技术经济数据。因此,采矿 CAD 系统必须具备描述矿山非空间图形属性的能力。基于此目的,下面对采矿 CAD 系统线框构图技术中的图元属性的性质、作用和表述方法进行研究。

一、图元属性的定义

图形由点、线、区组成,它们被称为图元集(简称图元)。点指测点、采样点、高程点等;线可以是工程界线、地质界线、道路、河流等;区可以是矿体、采区、水体、岩体等。图元以空间坐标系中的空间位置属性和非空间属性加以定义。空间属性通常指三维坐标、几何拓扑关系等,非空间属性是指与工程图形有关的岩性、品位、面积、矿石类型、开采成本等技术经济数据。点图元属性一般由标识符、X、Y、Z 坐标,字符与字符有关的方向、大小、字体等属性构成。线图元属性一般由标识符、线标识码、坐标对序列、显示信息、非几何属性构成。区图元属性一般由标识符,组成区图元各弧段的空间坐标对序列,表示多边形形状的周长、面积、名称、分类等非空间属性数据,表示区域拓扑关系的拓扑数据组成。图元的空间属性一般变化不大,但图元的非空间属性在不同的应用领域则变化很大^[190]。以下主要对采矿 CAD 中图元的非空间属性进行研究。

二、矿山图元属性的含义、性质和作用

1、 矿山图元属性的含义

采矿 CAD 系统中涉及最多的图元是工程界线,它是指矿山工程图纸中各类工程实体的分界线或标识符(作者称之为矿山图元)。某一矿山图元可能是一个基本图元,亦可能由几个基本图元构成,它是一系列基本图元的有序序列(即具有方向性,这一特性在矿山图形中占有特别重要的地位)。矿山图元可能代表各种不同的工程含义,它可以代表各类地质界线,如:断层、矿体与围岩分界线、岩层分界线等;可以代表各类工程,如:各种井巷、矿块划分、运输线路、道路、钻孔、勘探线、各种结构物、各种构筑物、各种标志、方向等;可以代表一个区域,如矿体、围岩移动带、爆破危险区、含水带、破碎带、矿房矿柱、露天境界、露天排土场等;可以具有一定的数值含义,如:矿体品位、厚度、区域的面积、岩性代码、线路的长度等;同一矿山图元可能同时代表几重含义,如:对一描述矿体的界线来说,它既表示矿体的位置和大小(面积),同时又表示该矿体的平均品位,还可表示矿体的储量级别(如 A 级、B 级、C 级、D 级)以及矿体类型(如铜矿体、硫矿体、铅锌共生矿体)等。当然,矿山工程图中除了工程界线外,还存在一些辅助线,如:图框、坐标网、标题栏、剖面

线等，它们单独存在，但不表示任何工程意义，只在工程图中起辅助作用，在采矿 CAD 系统中应将它们纳入矿山图元中，与正规的工程图元一视同仁。为了表述这些复杂、多变的几何和非几何信息，必须研究一种适合矿山工程特点的矿山图元属性表述方法。

2、 矿山图元属性的性质

矿山图元的属性是对界线的特征、性质、类型等进行描述的信息，它属于非空间信息，一般不能（常常也不需要）在图纸上绘制出来，只能附着在图元的背后，在进行有关图形计算、操作时才使用，如：指定区域（多边形）矿岩量计算、平均品位计算等。如何有效地表述图元属性是图形属性处理中最关键的一环。一般来说，矿山图元属性需具备以下性质：

- （1） 图元属性的数据类型不确定。从计算机所能处理的数据类型来看，它可以是整型数、实型数、字符串，或者这些数据类型的集合。对矿山图元属性的数据类型选取完全由用户确定，系统不应作出任何假定。
- （2） 图元属性的域数目不确定。有的矿山图元只有一个属性域，有的矿山图元则有多个属性域，有的图元根本没有属性，实际也不需要，这些都是允许的，系统无法预先作出假设。
- （3） 对图元属性的解释不确定。属性如何解释以及属性作用如何，系统无法预知，实际上也不需要预先知道，它是由用户根据具体应用规定的。

3、 矿山图元属性的作用

一般来说，采矿 CAD 系统中的矿山图元属性定义能够为采矿辅助设计系统起到以下三方面的作用：

- （1） 可作为图元处理的有效手段，如：对图元的查找、过滤、分离、删除、修改、显示等操作可按属性成批进行，提高图形处理效率；
- （2） 加载非空间属性信息，以标识图形实体；
- （3） 加载非空间属性信息，以实现工程图有关技术经济数据、表格的自动计算和生成；
- （4） 携带附加非空间属性信息，提供给用户或其它应用系统。

三、采矿 CAD 图元属性的表述方法

近几年来，中南大学在开发 Mplan、AutoCone、DM&MCAD[]研究了很多种属性表示方法，都取得了成功，但以字符串法效果最好。属性的表述方法的选择应以不损失以上三个基本性质和四个重要作用为前提。以下对我们采用过的三种图元属性表述方法进行研究。

1、 代码法

代码法的实质是用一整型数值来表示属性，这一整型值所代表的含义从预先设置一张属性代码对照表查得（如图 5.1 所示）。这种方法节省存储，数据组织方法简单，存取与处理效率高。但属性只能用整型数表示，不能适应属性数据类型变化的需要，而且很难实现多种属性域的同时存取。这种属性表述方法只适应于一般的单一属性处理应用中。

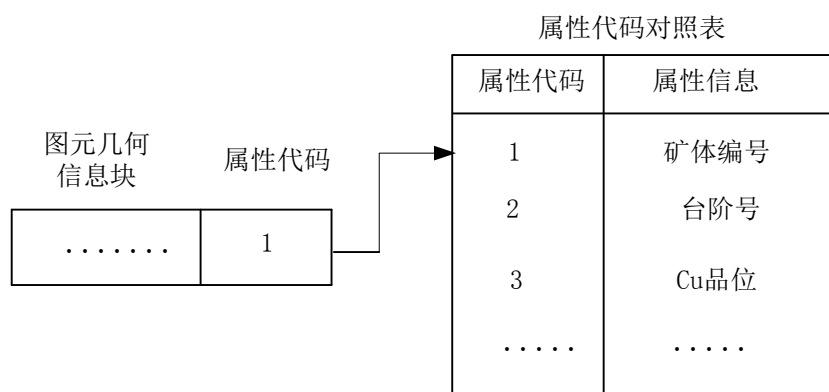


图5.1 代码法表示的属性

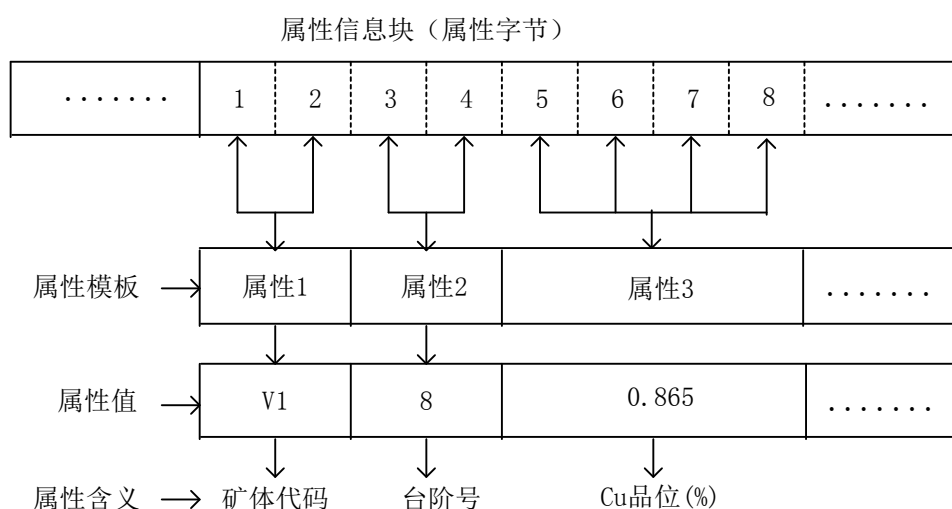


图5.2 信息块法表示的属性

2、 信息块法

为了克服代码法在表示属性时数据类型单一与不能存取多属性域的缺陷,可以引入信息块法(或称块存取法)。它实质上是將一系列表述属性的数据存储在—块连续的内存中,CAD系统在对它进行管理时作为一个无类型的信息块看待,只需知道信息块的长度便可。当访问属性中的某个数据时,必须设立一个属性访问模板,通过模板来访问(如图5.2所示)。这种方法的突出优点是可以存取数据类型变化、同时具有多个属性域的属性数据,从存取效率和属性数据组织方法实现的难易程度来看,无疑是十分优秀的。但是,对于某个特定的应用来说,访问模板是相对固定的(或者说,在某一特定应用中,不允许存在多个模板,否则会失去这一方法的优点越性),对属性变长的处理较为困难,因此,属性处理的灵活性较差是这一方法的唯一缺陷。

3、 字符串法

这种方法是将属性中各个属性域的数据都用字符串来表示,将这些字符串顺序的连接起来,域之间用—不常用的字符分隔开,因此,整个属性就是一个字符串。当访问属性时,只需给出属性的域编号,便可取出相应的字符串,而该字符串作为属性时,其具体含义将取决

于应用本身（如图 5.3 所示）。这一表示方法的最大优点就是借助了字符串的灵活性，可将任意数目、各种类型的属性放在一起作为一个整体进行管理，其存储与访问效率很高，完全实现了可变长、多类型的属性管理特性，允许属性的动态扩展和收缩，具有用户自定义级的灵活性。这是一种很好的属性表示方法，我们已成功地将其应用于露天矿采剥计划 CAD 软件系统中，效果非常好。笔者极力推荐使用这种属性表示方法。

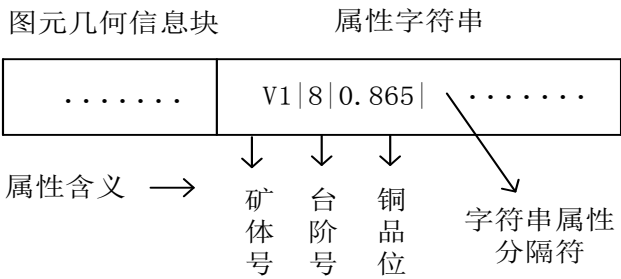


图5.3 字符串法表示的属性

四、采矿 CAD 图元属性表述实例

下面以我们开发的露天矿采剥计划 CAD 软件（MPLAN）中的多边形图元为例，举例说明字符串属性表示法的使用方法。在编制采剥计划时，工程师必须了解当时采矿场的地形、矿石质量、矿体形态、工作线位置、台阶和电铲位置等情况，同时，还必须了解计划编制前的有关情况，有时经常需要通过有关采剥线（多边形）的计算，才能确定下一工作线的大体位置。通常的做法是，在屏幕上或数字化仪上绘制一个或多个多边形，这睦多边形是以图元形式保存在内存中的，用户可以删除、修改、隐藏这些多边形，当用户执行模拟开采命令（MINING）时，系统提示用户选择多边形图元，用户选择需要开采的一个或多个多边形，每开采一个多边形，系统弹出一个会话框，提示用户输入该多边形区域的开采计划参数；然后弹出一信息窗，显示该多边形开采的矿岩量、平均品位等信息；最后将有关的计划信息和开采信息以图元属性的形式存放在该多边形中。共记录 12 个属性项，属性格式如下：

多边形号|年份|月份|台阶号|矿岩标志|电铲号|多边形体积|多边形矿量|平均品位|附产 1 品位|附产 2 品位

这些属性依附在多边形图元上，可以查询、修改和删除，由于它独立于品位模型及开采状态，因此只要将此开采多边形调入采矿 CAD 图形环境，就可以查询、统计、输出采剥计划。模拟开采过程中，所形成的图形文件已包含了实施计划所需的所有信息（以图元属性的形式与图元一起存储），用户要输出或查询采剥计划只需调入图形文件即可。

将采剥计划数据以属性的形式直接存储在采场现状图中，避免了传统采剥计划软件需要存储有关矿床模型、技术经济指标数据的麻烦，大大减少了数据的存储量，编制完成了计划只需一个文件就可完成绘图和工程量统计工作，对采矿 CAD 系统的设计和维护带来了极大的方便。实践表明采用字符串法表述矿山图元属性具有高效、编程简单的优点，该方法已在露天矿采剥计划 CAD 软件系统中获得成功应用。

18.3.4 采矿 CAD 图元数据模型

与机械和建筑设计不同,采矿设计大部分是在实际大地坐标系中进行的,设计的原始数据大多是绝对坐标,而不是相对坐标。因此,采矿 CAD 系统一般都以测点坐标为基础的线框构图技术为主。在基于线框构图技术的 CAD 系统中,基本图元集的组织 and 构造占有十分重要的地位,其中,图元数据模型的构造是其核心。它决定着 CAD 系统开发的难度、规模和开放性,对 CAD 软件的运行效率、可维护性以及软件的生命周期也有很大的影响。本节将在前一节的基础上,对采矿 CAD 系统中图元数据模型的构造进行研究,给出了一个用 C++语言描述的采矿 CAD 系统基本图元数据模型及其数据存取结构。

一、矿山图元数据模型的构造原则

根据前面的研究,采矿 CAD 系统的基本图元集的构成,共有 7 种基本图元:(1) 直线段图元;(2) 曲线图元(或称多边形图元);(3) 圆弧图元;(4) 符号图元;(5) 参数图元;(6) 尺寸标注图元;(7) 自定义图元,无论采矿专业图中的图形多么复杂,都可以用这七种基本图元来构成。

所谓图元数据模型是指图元数据存取结构的描述,也是图元数据的完备性描述。如何合理、高效、灵活地使用系统资源是任何 CAD 系统图元数据模型设计的关键,采矿 CAD 系统也不例外。图元数据模型的构造必须遵循以下原则:

- (1) 尽量提高数据存储效率,减少数据辅助存储单元;
- (2) 数据模型各参数能够方便、快速访问,特别是图元中的属性数据;
- (3) 尽量降低内存的破碎程度;
- (4) 数据结构能方便、快速地进行存储管理;
- (5) 允许数据模型的变长操作。

二、矿山图元数据模型的存取结构

根据图元数据模型的构造原则,作者研究采用了一种“可变长块结构、缓冲存取”的数据模型组织方法。即将每一基本图元的属性、参数、图形描述信息作为一个整体来进行存取分配和管理,每一种基本图元设立一个独立的缓冲区,图元的生成及图元信息的处理操作在其相应的缓冲区内进行,待处理正确无误后,将该图元的全部信息送入其对应的目标存储区。该图元存储区的首指针送交图元管理器进行管理。对于图元管理器来说,每一基本图元的内部信息访问和操作都是局部的,这样可以保证图元管理器与图元无关。

数据模型的存取结构描述采用 C++的结构描述方法。下面给出了采矿 CAAD 系统 7 种图元的缓冲区存取结构,它是基本图元的属性、参数、几何信息所需最大的存取区描述,缓冲区的定义将出现在各自图元的对象中。为了设置系统处理规模,预定义几个用于限界的宏:

```
#define TEXTCNT 512    //字符串最大长度
#define PNTCNT1 500    //多边形最大点数
#define ATTRCNT 512    //属性字节串最大长度
#define MAXPARM 100    //参数图元最大参数个数
#define MAXDEF 512     //自定义图元中最大的图元个数
```

(1) 直线图元

```
typedef struct{
    int ltype, color; //线型, 颜色
```

```

float scale;    //线型比例
float x1, y1, x2, y2; //直线两端点
int attrcnt;    //属性字节数
char attr [ATTRCNT]; //属性存储区
} LINETYPE;    //直线型图元类型

```

(2) 曲线图元（即多边形图元）

多边形图元较为复杂。这一图元包含了多边形区域填充、线边填充及其方式、曲线光滑等信息，这些信息采用一无名联合来定义。

```

typedef struct{
    lout ltype, color, //多界线型和颜色
    ftype; //线边填充或区域填充类型和颜色
    union{
        int param; //参数字，用于输入/输出访问
        struct {
            unsigned fc:4; //填充颜色，4 位
            unsigned reserved:1; //保留 1 位
            unsigned ver:1; //线边填充强制垂直母线
            unsigned over: 1; //以 fWide 产生线边填充平行线
            unsigned link:1; //线边填充端口封闭
            unsigned SmMethod:3; //曲线光滑方法，最多 7 种
            unsigned SmAllow: 1; //曲线光滑允许
            unsigned lfillAllow:1; //线边填充允许
            unsigned fillAllow:1; //区域填充允许
            unsigned areafill:1; //加载区域填充
            unsigned reserved: 1; //保留 1 位
        }pm;
    };
    int cnt; //多边形点数
    float fangle; //填充图案填充角度
    float fWide; //线边填充宽度/线宽
    float scale; //线型和填充比例系数
    int attrcnt; //属性字节数
}POLYBASE; //多边表参数类型
typedef struct{
    POLYBASE pb; //多边形参数块
    float pnt[PNTCNT*2]; //多边形点坐标数组
    char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}POLYTYPE; //多边形图元类型

```

(3) 圆弧图元

```

typedef struct{
    int ltype, clolor; //线型，颜色

```

```

float scale; // 线型比例
float x, y, //圆心/弧心坐标
      r., //圆弧半径
      a1, a2; //起始和终止圆心角
int attrcnt; //属性字节数
char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}ARCTYPE //图弧图地类型

```

(4) 符号图元

```

typedef struct{
int color; //符号颜色
int hzfnt1, //汉字字体
    chfnt; //西文字体（数值区表示4种符号）
float wide, high; //符号宽度，高度
float gap; //水平间隙
float x, y, //符号串起点坐标
    angle, dip; //旋转角，偏斜角
int textcnt; //符号字节数
int attrcnt; //属性字节数
}TEXTBASE; //符号参数类型
typedef struct{
TEXTBASE tb; //符号参数块
char text[TEXTCNT]; //符号字节数组
char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}TEXTTYPE; //符号图元类型

```

(5) 尺寸标注图元

```

typedef struct{
int mode; //尺寸标注方式
int color, //标注颜色
    hzfnt, chfnt, //标注串汉字与西文字体
    Larr, Rarr, //是否需要左/右箭头
    Lbase, Rbase; //是否需要左/右引出线
float arrs, //箭头宽度（长度为宽度5倍）
    tx, ty, //标注串起点坐标
    ta, //标注串旋转角度
    hi, wi, //标注串宽度，高度
    gap; //标注串间隙
float p[16]; //标注的辅助直线段数组
int textcnt, //标注串字节数
int attrcnt; //属性字节数
}DIMBASE; //尺寸标注参数类型
typedef struct{

```

```

DIMBASE db; //尺寸标注参数块
char text[TEXTCNT]; //被标注串字节数组
char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}DIMTYPE; //尺寸标注类型

```

(6) 参数图元

```

typedef struct{
int ltype, color; //缺省线型、颜色
float scale; //缺省线型比例
float x, y, //参考点坐标
int parNum; //对应参数图元定义号
int parment; //参数个数
char parm[MAXPARM*4]; //参数缓冲区
int attrcnt; //属性字节数
char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}PARMTYPE; //参数图元类型

```

(7) 自定义图元

```

typedef struct{
int color; //缺省颜色
float scale; //线型/填充比例
float x, y//极点坐标
int selfNum; //自定义图元数目
void far* self[MAXDEF]; //组成自定义图元的远指针数组
int attrcnt; //属性字节数
char attr[ATTRCNT]; //属性存储区
}SELFTYPE; //自定义图元类型

```

三、矿山图元的存取分配和访问

前已述及，图元的生成与处理在其相应的缓冲区内进行，因此，对于某一具体图元而言，待其生成后，其属性、参数、几何信息已经确定。从而，每一个图元实际需要分配的存储区大小可由图元的参数来计算。如：对于多边形图元，其一次分配的存取区大小可以通过以下表达式计算：

```

cnt=sizeof(POLYBASE)+2*pobj.pb.cnt*sizeof(WorldType)+pobj.pb.attrcnt+1;
//pobj是由POLYTYPE声明的缓冲区结构

```

又如：对于直线图元，其一次分配的存取区大小可按下式计算：

```

cnt=sizeof(LINETYPE)-ATTRCNT+lobj.Attrcnt+1;
//lobj是由LINETYPE声明的缓冲区结构

```

图元所需空间确定后，可以分配一块连续的空间来存储图元信息，这一空间可以使用一全32位的偏移指针来表示。该指针可指向常规内存，也可指向扩展内存，从而，实现了图元信息的变长存取。

图元实行缓冲存取，每一图元的访问操作被限制在对应的对象内部，图元管理器只对图元的指针进行管理，而这一指针对于图元管理器来说是一无类型远指针（实际上是一CAD

系统内部的 32 位偏移指针)。每当涉及到图元的处理时,图元管理器将图元的指针传给对应的图元对象,而该对象将指针指向的内存区域拷贝到该对象的缓冲区中,该对象的内部方法便可访问图元的各参数、属性及几何信息,待处理结束后,如需要可将缓冲区的信息拷贝至指针所指向的内存区域以保存修改值,这样就实现了图元信息的缓冲型访问。这一方法虽然存在由于间接访问所带来的效率降低问题,但从数据管理的方便性、可靠性与灵活性等方面来考虑,其优点是显而易见的。

采矿设计是非常复杂的,采矿 CAD 系统不仅要提供面向采矿设计的准确、方便、灵活的构图手段,还要提供基于图形的诸如平均品位计算、储量计算等辅助计算与处理手段,这是计算机设计与手工设计的区别所在。工程图形与机械图形不同,通常包含二重属性:几何属性和非几何属性。因此,采矿 CAD 系统图元数据模型必须具备描述矿山图形的二重属性的能力。

18.4 采矿 CAD 专业图形运算算法^[4, 18]

除了专业要求以外,衡量软件质量的最主要指标是软件运行的时空效率,而算法又是影响它的最主要因素。矿用专业软件研制的最大障碍常常是基本算法,算法的好坏直接影响软件的运行速度和编程的复杂程度,常因算法问题而无法实现某些功能,或者因速度问题使软件无法为现场人员所接受。采矿 CAD 系统(包括地测数据库管理、矿山图形处理等)所涉及的数据量一般都很大,数据类型也很复杂,如果没有很好解决由算法而引起的效率问题,软件肯定是无法实用的。算法研究是目前计算机软件开发的一个难点。我们在算法研究方面做了大量的工作,完成的算法设计和编程有:多边形裁剪算法,任意多边形的交、并、差运算;凹(凸)多边形平行外推(内缩)算法;矿山空间数据(三维或二维)搜索算法;样品组合体形成算法;有向多边形、有向多边形域、有向多边形序列面积算法;多种曲线光滑算法、任意区域的图元搜索算法;任意区域图元属性提取算法;多边形的矢量填充算法;基于矿体模型的多边形储量计算、平均品位计算算法;无级递归自动域编辑算法、命令驱动算法、设备驱动算法。其中,部分算法如任意多边形的交、并、差运算,凹(凸)多边形的平行外推或内缩目前尚无类似算法公开发表,AutoCAD 中尚无此功能。本节着重对采矿 CAD 系统中的一些关键算法进行介绍。

18.4.1 矿山图形特征

矿山图形与机械或建筑图形不同,通常具有几何意义,图形定位是以精确的大地坐标确定,而不象机械 CAD 图形以尺寸或距离来确定。另外图形具有方向性,对于诸如矿体、岩体等图形区域或实体,又具有面积、体积等几何意义。

在基于线框构图技术的采矿 CAD 系统中,通常使用周界线或边界线来描述区域或实体,而这些界线常是两个区域的分界线,从几何意义上讲,它们应同时属于这两个区域。但在 CAD 中,为了用线框准确描述实体,不允许它们具有二义性,因此,必须对界线图元规定方向,从而界线图形被描述为矢量图元,这些图形包括:直线、多边形、圆弧以及由这三种图元构成的参数图元和自定义图元。下面将对这些矢量图及建立在它们之上的矢量参数方向进行论述。

在解析几何中,平面曲线的表达式 $f(x, y)=0$ 可将平面分成三个区域:

$$G_0 = \{ (x, y) \mid f(x, y) = 0 \}$$

$$G^+ = \{ (x, y) \mid f(x, y) > 0 \}$$

$$G^- = \{ (x, y) \mid f(x, y) < 0 \}$$

若图形由封闭的几何段构成,上述表达式可以用来确定平面上的点是在封闭线外部还是内部。若平面曲线段不封闭,则上述表达式可以用来确定平面上的点是在曲线左边还是右边。这一关系推广到三维后,同样可以确定空间点与物体(或空间曲面)的相对关系。这些几何特性对图形的几何运算十分有用。在进行以下讨论之前,规定采用笛卡尔右手坐标系。

(1) 直线的方向和区域

平面上一条直线的最好表示方法是由方程: $ax+by+c=0$ 来定义,当 $a^2+b^2=1$ 时,就成为直线的法线式方程。对于直线的方向可这样来选取;当人沿这个方向行走时,其左手方向为正区域,右手方向为负区域,在图形的计算中,直线总是代表其正区域。

由此,由 P_1 到 P_2 和由 P_2 到 P_1 所建立的直线其方向是不同的(表现为其系数符号不同),如图 7.1 所示。

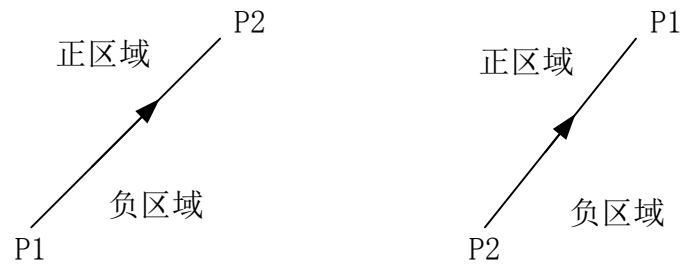


图7.1 由点 P_1 、 P_2 所确定的直线所代表的区域

(2) 多边形的方向和区域

多边形的方向定义是以平面直线段的方向定义为基础的。其方向这样确定:当人沿这一方向行走时,其左手方向为正区域,右手方向为负区域,在图形的计算中,多边形总是代表其正区域。

从而,对于具有 N 个点的多边形,由 $P_1, P_2, \dots, P_N$ 和由 $P_N, \dots, P_2, P_1$ 所构成的多边形的方向是不同的,其所代表的区域也不同,表现为多边形的存储序列不同,如图 7.2 所示。

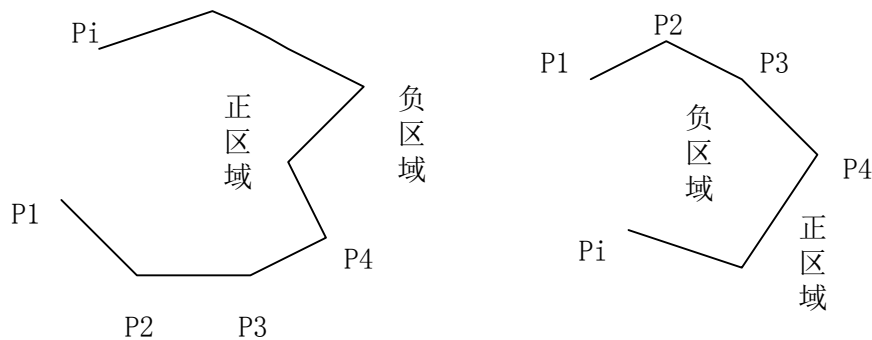


图7.2 由点 P_1 、 P_2 、 $\dots$ 、 P_i 确定的多边形方向

由以上定义可知,对于封闭的多边形,正区域为多边形的内部,负区域为多边形的外部。换言之,多边形为逆时针走向时,称该多边形为正;为顺时针走向时,称该多边形为负,如图 7.3 所示。

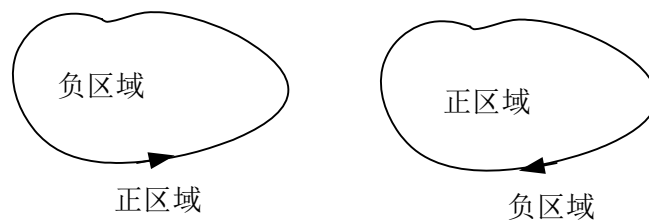


图7.3 封闭多边形所代表的区域

(3) 圆弧的方向和区域

圆弧图元的方向由其半径的符号来定义，半径为正时，称该圆弧段为正，圆弧段为逆时针走向；半径为负时，称该圆弧段为负，圆弧段为顺时针走向。圆作为特殊的圆弧段而存在。

(4) 角度的方向

所有角度都以逆时针绕向为正，顺时针绕向为负。

(5) 距离的方向

在界线上（包括直线、圆弧、多边形）行走的距离，其方向这样规定：顺着走向时，距离为正，逆着走向时，距离为负。

几何元素平移的距离，按几何元素的方向确定：移向正区域距离为正，移向负区域距离为负。这一点在平行线生成时十分有用。

(6) 面积的方向

由逆时针走向构成的封闭曲线面积为正，否则为负。

以上所讨论的方向及区域的规定，并非一定如此，也可采用其它方向与区域规定办法，但必须保证各种规定之间彼此协调。

1、曲线的光滑方法

在采矿 CAD 所设计的方案图和施工图中，不规则曲线的使用频繁。这也是采矿图纸区别于机械、电子等行业设计图纸的重要特点之一。由于多种原因，这些不规则曲线常常需要进行光滑处理，特别是对于数字化的图纸来说，尤其是这样，它需要借用光滑来消除手工数字化过程中的“抖动”现象。

曲线光滑的方法很多，根据其光滑原理可将其分为插值和拟合两种。插值是通过型值点的光滑方法，它只是在任意两相邻型值点之间插入一系列线段使曲线光滑，光滑的曲线通过型值点；拟合则是根据型值点的走向形态，形成一光滑曲线，最大限度地逼近型值点，它常能达到曲线的“光顺”，并对曲线有“修匀”作用。这两类光滑方法需根据具体需要选取。

在采矿 CAD 中，所涉及的曲线一般较为复杂，其型值点的多少及曲线的曲折程度无法做出假设，因此，所选择的光滑方法应适合这些变化情况，并具有尽量怜惜的计算速度，避免光滑曲线的奇异振荡情况发生，这是选择光滑方法的原则。

在诸多光滑方法中，拉格朗日插值方法、Bezier 方法、最小二乘方法，由于其计算工作量大，而且个别型值点的改变将影响整个光滑曲线，它们作为通用曲线光滑方法是不合适的；张力样条函数对型值点密而多且变化复杂的情况适应性较差，其光滑的曲线常出现“抖动”现象；圆弧逼近法对于大绕度曲线较难适应；一般样条函数不能解决大绕度、无穷大斜

率及多值问题。因此，参数样条函数、B 样条函数、自然参数曲线等是比较好的光滑方法。

有关光滑函数的推导过程在此不进行叙述，可参考文献[50]，以下只对各光滑方法及其适应性进行讨论。

(1) 三次参数 B 样条插值曲线

对任意给定的点序列 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 所构成的多边形，在两相邻的两顶点 P_m, P_{m+1} 之间可使用三次 B 参数样条函数插入有限段直线，使曲线光滑。该方法对型值点密集且变化复杂的多边形光滑效果较好。

(2) 三次自然参数插值曲线

该插值方法对于曲率较大的多边形，插值效果较好，能很好地贴近原有多边形，并保证曲线具有足够的光滑性。

(3) 三次样条参数插值曲线

该插入方法在进行插值前，必须使用“追杆法”解联立方程组，求解一阶导数矢量，当型值点较多时，将要花费较长时间。

(4) 均匀三次参数 B 样条拟合曲线

该拟合函数所产生的曲线十分光滑，在型值点很密使，是一种很好的曲线光滑方法，对局部曲线的“抖动”有修均作用。但在型值点很稀而又具有较大的曲率凸多边形，光滑曲线将偏离原有折线，并位于凸曲线的内侧。

(5) 插入中点的三次自然参数拟合曲线

该拟合方法拟合的曲线对于型值点较稀、曲率较大的多边形，其拟合效果较为理想。

以上这 5 种曲线光滑方法均已在系统中实现。另外，还提供了五点光滑、二次加权和圆角法三种光滑方法。用户发出曲线光滑命令 (Smooth)，系统弹出各种光滑方法供选择。

18.4.2 多边形运算^[18]

多边形的运算算法是采矿 CAD 系统中运用得最多的一种算法。它常用于区域划分与合并、品位计算、矿岩区域的求取、回采设计、储量计算、露天矿排土场规划、露天矿采剥计划的辅助编制等等，由于该算法在其他领域应用不多，目前大多数软件没有该功能，如 AutoCAD 中尚无此功能。但这是一个十分重要的采矿 CAD 基础图形算法。

一、多边形运算及其法则

当涉及到平面图中的区域时，一般是用多边形来表示的。在一个无限平面中，一个单连通多边形无限平面划分为两个区域，这两个区域由多边形的走向方向来区分。当多边形的走向确定时，其所代表的区域就已经确定。

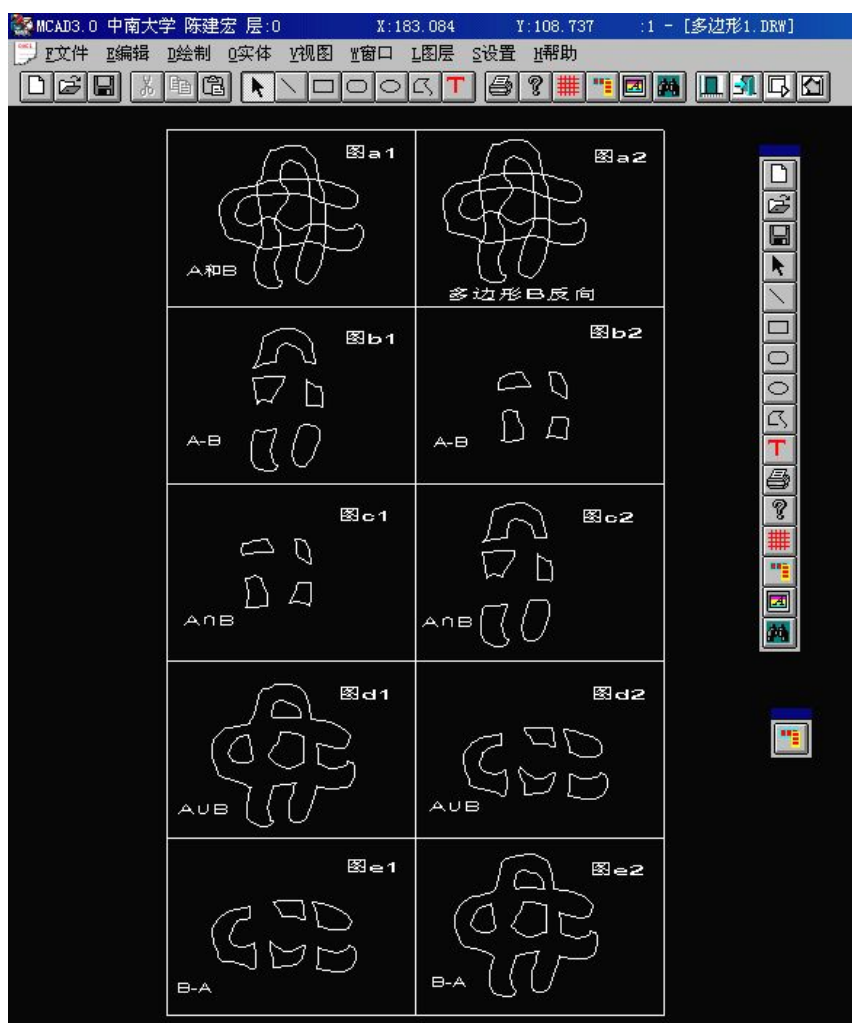


图 7.7 矢量多边形交、并、差运算实例（注意方向性）

二、多边形运算类型

当涉及到平面图中各种区域的推演时，就要用到多边形的几何运算，这些运算有三种类型：交运算、交运算和差运算。这些运算是以集合论为理论基础的。设有两个多边形 A 和 B，则多边形的几何运算有以下几种表现形式：

- (1) $C=A-B$ ，即执行差运算，其结果实现了 B 多边形对 A 多边形的“切割”（如图 7.7b1, b2 所示）。
- (2) $C=A \cap B$ ，或 $C=A \cdot B$ ，即“交”操作，其结果是仅仅保留了两个多边形的公共部分（如图 7.7c1, c2 所示）。
- (3) $C=A \cup B$ ，或 $C=A+B$ ，C 是 A 和 B 的“并”集，该操作实现了两个区域的“溶合”（如图 7.7d1, d2 所示）。
- (4) $C=B-A$ ，和上面相反，结果是 B 多边形与 A 多边形的重合部分被 A 多边形切割掉（如图 7.7e1, e2 所示）。

从图 7.7 可以看出，图形运算的结果与多边形的方向是密切相关的。多边形的方向与交点特征值是多边形运算的算法构造基础，多边形的方向决定了其所代表的区域，而交点的特征值决定了“入口”和“出口”的区别，这一点相当重要。

三、多边形运算的特性

首先给出简单多边形和复合多边形的概念。本文定义：若平面上的一个区域由一个外周界多边形唯一确定，这一多边形称之为简单多边形，它与几何上的单连通域相对应：如平面上的一个区域由一个外周界多边形及一个或多个内周界多边形围成，则这一系列多边形称之为复合多边形，它对应着几何上的多连通域。显然，复合多边形是由组成它的简单多边形交运算的结果。设 A 和 B 都是简单多边形，则在同一平面区域内多边形 A 和多边形 B 可能存在如下关系：

- (1) A 与 B 彼此相交；
- (2) A 包含 B，用符号记为 $A \cup B$ ；
- (3) B 包含 A，用符号记为 $B \cup A$ ；
- (4) A 和 B 既不相交也互不包含。

需要指出的是，多边形运算的结果仍然是多边形。其运算的结果可能是一简单多边形，也可能是一复合多边形，这要视 A 和 B 的相互关系确定。

假设 A、B、C 均为简单多边形，则其运算具有如下性质：

- (1) $A \cup B = B \cup A$, $A \cap B = B \cap A$
- (2) $A \cup (B \cap C) = (A \cap B) \cup C$, $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$
- (3) $A \cup (B \cap C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$, $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
- (4) $A - B = A \cap B$
- (5) $A - B = A - (A \cap B)$
- (6) $A - (B \cup C) = (A - B) - C = (A \cap B) \cap C$
- (7) $A - (B - C) = (A - B) \cup (A \cap C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$

上式中， B 表示将多边形 B 的走向反向，这样的数据处理操作来说是十分容易的。多边形运算的以上性质对多边形的复杂运算的简化是很有好处的，尤其是减运算可以简化为交运算来处理，以简化多边形运算的算法设计。

四、多边形运算的算法构造

1、多边形与多边形交点的求取

前已述及，平面图形是由边界来定义的，因此，图形的运算必须通过边界来进行。两个图形进行运算产生新的图形，也就产生了新的边界，即新的多边形。新多边形的边界由原来图形的各方的部分边界是构成，边界的改变却在参加运算的原多边的相交处。如能求出这些交点，则有可能组织成新多边形的边界。

为了便于叙述，将由封闭多边形构成的图形区域称作环。不管原来参加运算的两个环有多少条边，都必须将一环中的每条边与另一环的各边求交。因此，先要求出两个环之间的所有交点。两环之间各边向量的交点包括几何信息和特征值三个信息：

- (1) 这个交点是属于每个环哪个边向量？
- (2) 它在此边向量的几何位置？
- (3) 这个交点对另一环来说，是入点还是出点？

特征值的求解在 7.5 节中已述及，但几何信息却不能应用式 (7-1)、式 (7-2)、式 (7-3) 的方式确定。因为所给的参数 λ 和 μ 均为 $[0, 1]$ 之间的参数，无法判定它属于环的哪条边向量，为此，对几何参数的表示必须采用新的表示法。

$$\text{令 } L_1 = \{L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots, L_{1n}, L_{11}\}, L_2 = \{L_{21}, L_{22}, L_{23}, \dots, L_{2m}, L_{21}\}$$

二者分别有 n 和 m 条边向量， $L_{1n+1} = L_{11}$, $L_{2m+1} = L_{21}$ 。分别对 L_1 和 L_2 的边向量从 1 开始编号，即：

$P_{L1i}P_{L1i+1}$ 为 L_1 的第 i 条边向量 ($i=1, 2, \dots, n$)

$P_{L2j}P_{L2j+1}$ 为 L_2 的第 j 条边向量 ($j=1, 2, \dots, m$)

若这两条边有交点，其交点的参数分别为 $\lambda \in [0, 1]$ 和 $\mu \in [0, 1]$ ，则定义

$$\lambda_i = i + \lambda, \quad \mu_j = j + \mu$$

为两环对应边向量交点的几何参数。换言之，把环中对应边向量在各自环中的编号加入到 λ 和 μ 上得到交点参数。这样，交点参数便由两个部分构成：整数部分指出这个交点所在的边向量；小数部分指出交点在此边向量上的位置。相应地，环顶点的几何参数的小数部分为零。这个约定只有在一种情况下出现同一个点的两种表达形式：环的首点的几何参数可以是 1，也可以是 $n+1$ (或 $m+1$)，这是因为它可以认为是环的第一条边向量的起点，也可以认为是第 n (或 m) 条边向量的终点。

2、新环的组织

新环的组织实际上是对二环求交后所产生的交点，和环原有顶点按环运算的类型对环进行重新构造。现以一实例来说明两环求并运算 (如图 7.6) 中新环是如何组织的。

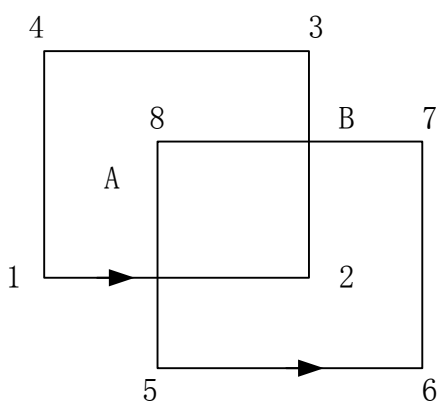


图7.7 两环求并示意图

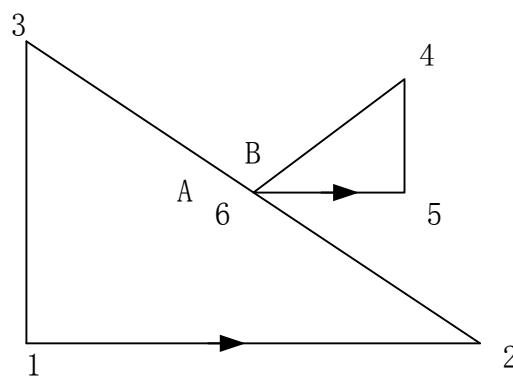


图7.8 两环出现重交点

1) 算法举例

已知：环 $L1=\{1, 2, 3, 4, 1\}$ ；环 $L2=\{5, 6, 7, 8, 5\}$ 。

求：环 $L3=L1 \cup L2$

首先要求取两环的所有边向量的交点 A 和 B。为区别起见，交点 A 对环 $L1$ 称为 $A1$ ，对环 $L2$ 称为 $A2$ 。于是， $A1$ 有正的特征值，记为 $+A1$ ； $A2$ 有负的特征值，记为 $-A2$ 。对交点 B 也作类似的处理。把两交点分别插入到各自的环中，(因为交点中包含了位于哪条边及边中的位置，因此这是可能的!) 于是得到两个中间环：

环 $L1'$: $1 \rightarrow +A1 \rightarrow 2 \rightarrow -B1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$

环 $L2'$: $5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow +B2 \rightarrow 8 \rightarrow -A2 \rightarrow 5$

如果从交点 $+A1$ 出发，注意此时它是环 $L1$ 上的点，且是入点，因为是求并运算，新环应改变方向进入到环 $L2$ ，即 $+A1 \rightarrow -A2$ ，虽然此时仍是同一交点，但有完全不同的意义——所在的环改变了，然后按 $-A2$ (它在环 $L2$ 上) 的方向走下出就得于是 $\rightarrow -A2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow +B2$ ，由于又碰到一个入点，环的走向要改变，由 $+B2 \rightarrow -B1$ ，再按 $-B1$ 方向走处出得到环： $+A1 \rightarrow -A2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow +B2 \rightarrow -B1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow A1$ ，得到的环已构成循环，新环就产生了。此时把交点合并，就得到一个真正的新环：

$L3: A \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow B \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow A$

删除已遍历的交点。由于所有的交点均已遍历，算法结束。产生的新环其走向也是自动决定的。

这个新环的组织是从某一交点出发进行的，因为交点的特征值能够根据运算的性质决定环的走向，计算工作量较少。如果不是利用交点出发组织新环，例如从环 L1 的首点或任意顶点出发组织新环，那么此顶点在另一环的内部还晚上部的判断工作是必不可少的，因为如果顶点在另一环的内部，那么对并运算就能从此项点出发（它不会在新环上）。这样就会使算法变得更为复杂，实际上是没有必要的，因为新环的组织是从原环的顶点开始学是从两环的交点开始对于新环来说是无关紧要的，因此，从算法的速度和可靠性方面来考虑，还是选用从环交点出发来组织新环最为合适。

3、重交点及其处理

以上方法对于环运算的一般情况是合适的。但是，当两环求交出现重交点时，即两环的交点交于环的顶点时，问题就变得复杂起来。考察如图 7.7 所示两环出现重交点时的求并运算：

设：环 $L1=\{1, 2, 3, 1\}$ ； $L2=\{4, 5, 6, 4\}$ 。两环有重交点： $+A1, -B1, -A2, +B2$ ，它们均和顶点 5 重点。如果插入交点到两个环中，可以得到插入交点后的两环：

$L1: 1 \rightarrow 2 \rightarrow +A1 \rightarrow -B1 \rightarrow 3 \rightarrow 1$

$L2: 4 \rightarrow 5 \rightarrow -A2 \rightarrow +B2 \rightarrow 6 \rightarrow 4$

从交点 $+A1$ 出发，求取环 L1 和环 L2 的并集有： $+A1 \rightarrow -A2 \rightarrow +B2 \rightarrow -B1 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow +A1$ 。这个新环实际上是环 L1 的另一种表示形式，显然，新环的结果并不是两环的并集。

如果把环的交、顶点排列改成如下形式： $4 \rightarrow 5 \rightarrow +B2 \rightarrow -A2 \rightarrow 6 \rightarrow 4$ 。那么仍从 $+A1$ 出发求取两环的并集得： $+A1 \rightarrow -A2 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow +B2 \rightarrow -B1 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow +A1$ 。合并重交点后可得： $5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5$ 。这才是一个正确的答案。

造成上述不同结果的原因在于重交点的几何参数是相同的，插入到各自的环中的次序可以是任意的，这就引起不同的结果。

实际上，就上例而言，重交点 A, B 的特征值代数和为零，从几何上它表示向量 23 从一侧穿过环 L2，并未真正进入环 L2 的内部，两个环只有一个点是公共的。若取消这个公共点，则视两环为相离状态，这也是未偿不可的。因此，在两环的交点求出后，必须对重交点的情况进行处理。

一般情况下，可采取以下原则来处理重点：将重交点的特征值累加，若特征值的代数和为零，则取消形成此重点的各交点，否则，合并为一个交点，并以代数和的符号作为该点的特征值。只有四重点的某些情况是例外的，不使用本规则。

(5) 对重边情况的处理

一般情况下，环与环的边向量求交时，入点和出点是交替的，且成对出现。因为环是连续函数构造的图形，有入点则必有出点。若出现两个环的边界重叠的情况，就会破坏这种出入相间的状态。这时，必须对特征值相同的相邻交点进行处理，以保证环运算算法的正确性。

从几何意义上讲，入点表示一环的边向量从此开始进入对方环所表示图形的内部。而连续两个入点的第一个入点并未真正进入对方环的内部，而是在对方环的边界上（互相重叠的边向量）上，只是具有进入对方环内部的趋势，直到第二个入点出现，才开始真正进入对方环的内部。从这个意义上讲，第二入点才是真正的“入点”。相反，第一个出点已是真正的“出点”。因此，在考察并运算在重边情况下的运算特性后（连续出入点处理的推导过程较

繁琐，在此不作详细讨论），可得出并运算的连续出入点处理规则：当两环的边向量互相求交运算后，对每一个交点按其几何位置插入到各自的环中，如果一环中的某一边向上的连续出现两个特征值相同的不同交点，而这两个交点均为正交点（入点），且两环的边向量的方向一致，则摒弃前一正交点；反之，若两个边向量方向相反，则摒弃后一正交点。如果两个交点均为负交点（出点），则和上述取法相反。显然，交运算中连续出入交点的取舍方法和并运算的取舍方法刚好相反。同理，由于差运算中可采用 $A-B=A \cap B$ 的运算法则，环 2 应予改变符号，从而交点的性质正好相反，因此，差运算的连续出入点的取舍规划和交运算的取舍规则相同。到此，可以得出在两环因重边而出现连续出入点的处理规则，如表 7.1 所示。

表 7.1 两环运算中出现连续出入点的取舍规则

运算类型	并运算		交、差运算	
连续交点符号	+	-	+	-
两边向量方向一致	取后一交点		取前一交点	
两边向量方向相反	取前一交点		取后一交点	

通过对上问题的讨论，可以得出多边形的交、并、差算法：

- (1) 初始化，形成各环的顶点结构，顶点的编号以各顶点的序号计算，每个环均从 1 开始，循环连接各顶点；
- (2) 如果是差运算，则改变环 2 的走向；
- (3) 求取两个环的边向量之间的所有交点，并插入到各自环的队列中；
- (4) 如果有重点则合并和取消重点；
- (5) 如无交点，则检测两环的包含关系，转（13）；
- (6) 取第一个交点为首交点；
- (7) 链接点于新环，对并（交、差）运算，若交点特征值为正（负），则转另一环，并对两环中的此交点置已遍历标记；
- (8) 取环上的下一节点，若为交点，则转（10）；
- (9) 连接顶点于新环，转（8）；
- (10) 若回到出发时的首交点，则转（11），否则转（7）；
- (11) 合并新环中相同的相邻节点，建立一个新环；
- (12) 如果还有交点，则转（6）；
- (13) 整理结果，算法结束。

五、 多边形交、并、差运算实例

设两个任意多边形 A 和 B，它们都是顺时针走向的，则按照以上多边形的运算算法，可求出 $A \cap B$ 、 $A \cup B$ 、 $A - B$ ，如图 7.8 所示。

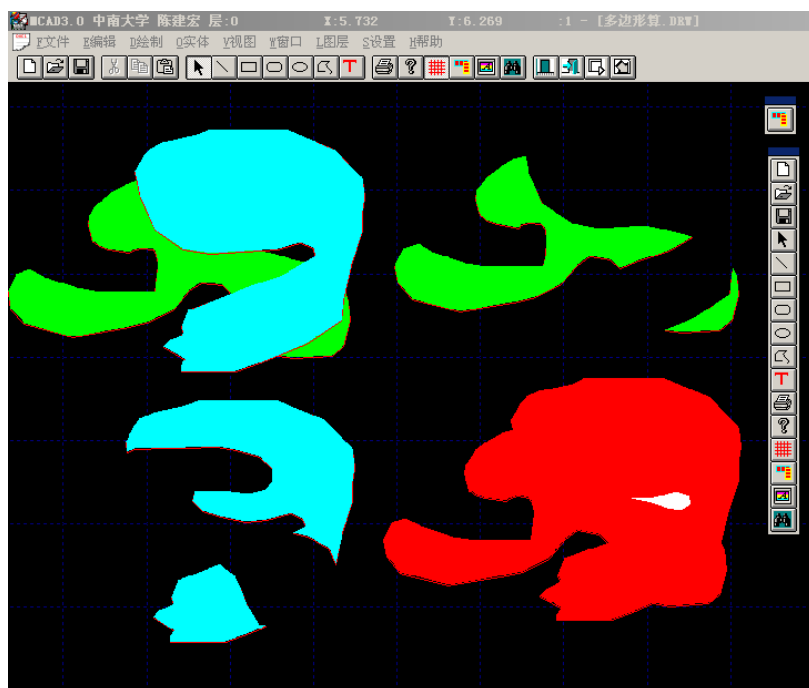


图 7.8 两任意多边形的计算实例

六、凹（凸）多边形平行外推与内缩^[18]

平行线生成算法在线边填充、露天矿计划编制、工作线的推进、矿体圈定等都有十分重要的作用，是一个不可缺少的基础算法。

1、直线的法线式

由于多边形或多连线是基于直线表示的，因此，在讨论平行线算法之前，必须首先回顾一下直线的表示法及其方向规定，这对研究多边形的平行外推算法十分重要。

对于平面上的一根直线，可表达为如下形式：

$$A_x + B_y + C = 0 \quad (7-7)$$

$$\text{式中： } A = y_1 - y_2; B = x_2 - x_1; C = Ax_1 + By_1$$

平面上任何点 $P(x_p, y_p)$ 到直线的距离可表示为：

$$D = \frac{(Ax_p + By_p + C)}{\sqrt{(A^2 + B^2)}} \quad (7-8)$$

当 $D > 0$ 时，表示 P 在直线的左侧，即正侧，当 $D < 0$ 时，表示 P 在直线的右侧，即负侧，当 $D = 0$ 表示 P 在直线上。

将式（7-7）两边除以 $\sqrt{A^2 + B^2}$ 得到直线的法向式表示法：

$$ax + by + c = 0$$

(7-9)

$$\text{式中： } a = \frac{y_1 - y_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

$$b = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (7-10)$$

$$c = ax_1 + by_2$$

在这个新的意义下， a 和 b 有明显的几何意义：

$$a = -\sin \alpha, b = \cos \alpha \quad (7-11)$$

其中 α 是直线正向与 x 轴正向之夹角（保证直线左侧为正，右侧为负）， c 是原点到该直线的距离。

2、直线的平行线

平行算法的第一步就是产生多边形的平行线。多边形由许多直线段组成，每段直线都表示为式（7-9）的形式，这样作平行线的过程就十分简单了，只需在式（7-9）中的参数 c 上减去一距离 d 便可。于是得：

$$ax + by + c - d = 0 \quad (7-12)$$

当 $d > 0$ 时，平行线作在多边形正区域；当 $d < 0$ 时，平行线作在多边形的负区域。

3、直线（线段）的求交

对于多边形 $L = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}$ 的任意两条相邻的边 $[P_i, P_{i+1}]$ 及 $[P_{i+2}, P_{i+3}]$ ($i=1, 2, \dots, n-3$)，其平行线的交点由下式得出：

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1 - d = 0 \\ a_2x + b_2y + c_2 - d = 0 \end{cases} \quad (7-13)$$

上式中 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 可由式（7-10）得出。式（7-13）的交点即为新多边形的经 $i+1$ 个顶点。将各新的顶点依次连接起来，就得到了平行运算后的多边形。

但对于开多边形，平行运算算法只能确定 $n-2$ 个顶点，多边形的首点和末点不能通过线段的平行相交而得出。解决办法是，在多边形的首边的首点和末边的末点作相应边的垂线，在垂线上量取 $+d$ (或 $-d$) 而得到的点便是要求的首末点。

以上讨论的只是一般情况，对于平行运算后所产生的多边形，其边向量有交叉边情况，即产生 8 字形多边形，这时必须对所产生的多边形进行处理。方法是：当新多边形不相邻边向量之间出现交点时，记下其特征值，如果满足条件：

$$Area * attr * d > 0 \quad (7-14)$$

式中： $Area$ ——原多边形的面积（正或负）；

$Attr$ ——所求交点的特征值（正或负）；

d ——产生平行多边形的距离（正或负）；

则从该交点开始直到重新回到该交点的所有多边形顶点删除。这样便可删除 8 字形多边形，得到的目标多边形其边向量不再交叉。多边形运算的实例如图 7.9 所示。

4、自动平行外推与内缩算法

- (1) 删除多边形中的重点，避免算法奇异；
- (2) 建立多边形向量的法线式方程，并将边向量平移距离 d ；
- (3) 求平移后相邻边向量的交点；
- (4) 将交点顺序地连接起来，构成新多边形；
- (5) 如原多边形不封闭，则处理其首末点；

- (6) 从第一点开始，检测新多边形不相邻边是否有交点，如无交点则转（8）；
- (7) 删除 8 字形多边形；
- (8) 算法结束。

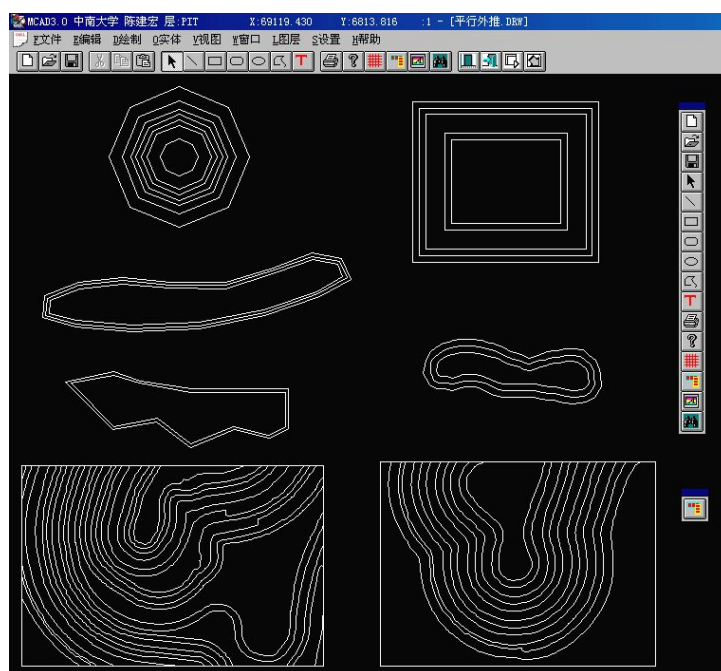


图 7.9 多边形自动平行外推（或内缩）运算实例

5、 多边形平行外推或内缩实例

如图 7.9 所示，演示了不同类型多边形的自动外推，共自动生成了 6 种不同类型的多边形。正八边形、正四边形、不规则凹（凸）多边形、光滑曲线的露天基坑、带运输道路的露天境界。算法运算速度非常快，奇异性少。

18.4.3 任意区域面积计算

任意区域的面积计算在采矿设计和计划编制中使用很广。在 7.2 节中已对矢量图元的方向进行了定义。在此基础上来讨论区域的面积就较简单了。对于在几何上首尾封闭的多边形，其面积是有意义的。

1、 简单多边形面积

简单多边形的概念前已述及，其面积由下式给出：

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_i Y_{i+1} - X_{i+1} Y_i) \quad (7-5)$$

上式中，当多边形的走向为逆时针时，面积结果为正，否则为负。

2、 复合多边形面积

复合多边形是由一个封闭的外周界多边形和一系列包含在其内部、彼此不相交、走向与外周界多边形相反的一系列多边形组成的。其面积的求算可利用式（7-5）面积的方向特性将每个多边形的面积相加而得到。设复合多边形中包含了 M 个简单多边形，每个简单多边形

由 N 个顶点构成，则其面积为：

$$S = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (X_i^{(j)} Y_{i+1}^{(j)} - X_{i+1}^{(j)} Y_i^{(j)}) \quad (7-6)$$

18.4.4 界线的追踪与连接算法^[4]

界线的追踪与连接算法是根据一定的规则将一系列彼此具有一定联系的矢量图元实体连接起来构成一个统一的整体，形成一个图元实体。它在采矿 CAD 中界线跟踪、区域的重新构造与圈定、平剖面图的自动生成中经常用到。

1、 界线的方向关系

参与连接的界线只能是矢量图元，以基本图元为基础，这些界线只能是直线、圆弧、多边形。当涉及到圆弧时，可用有限线段多边形来模拟，而多边形又由线段组成，因此，界线连接算法可以直线为基础。由于界线是有方向的，平面上的任意两条界线存在四种关系，如图 7.9 所示。

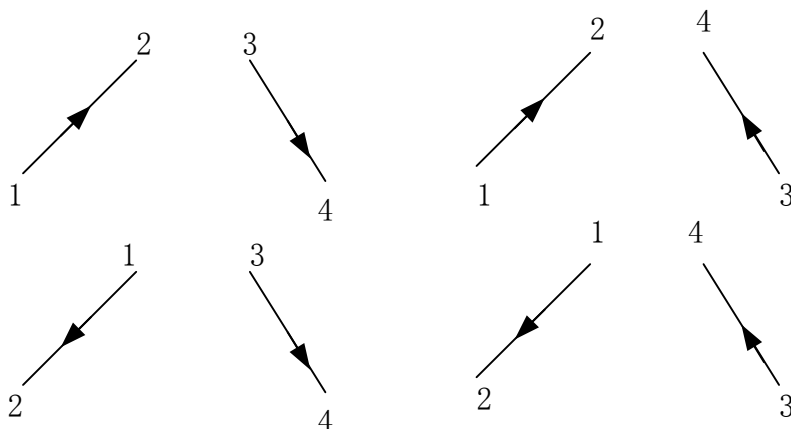


图7.9 界线之间的关系

2、 界线的追踪

界线的追踪在图元选择集中进行。其步骤如下：

- (1) 从选择集中先取出一个未遍历的图元，并置已遍历标记，如果不是多边形图元，则将其转化为多边形图元，如该选择集都已遍历，则转 (5)；
- (2) 在该多边形的末点上，以一半径为 R 的圆区域扫描选择集中未遍历的图元；
- (3) 如找到图元，再用夹角、属性条件来检验该图元（当然，这一条件可由用户选择），如满足这些条件，则按原多边形的方向将该图元连接于原多边形上，其连接方法如图 7.10 所示，如发生如图 7.11 的情况时，两图元应不予连接，并置该图元为已遍历，转 (2)，否则转 (4)；
- (4) 如以半径为 R 的区域内未扫描到图元，则该多边形的追踪结束，转 (1)；
- (5) 整理结果，算法结束。

3、 界线追踪应用实例

界线的追踪的应用最多的是在数字化已有的图形时，如矿区地形图的数字化输入，地形

等高线在 CAD 系统中是一个多边形或多连线，图元属性为标高。由于数字化输入过程中常常出现同一条等高线中段的现象，即变为 2 个或 2 个以上的多边形，我们希望将相同高程的等高线连在一起，变成一个多边形，这时可以使用界线追踪功能。图 7.12 为高村铁矿地形等值线图，其中有两条等高线线中断了。首先设置连接参数，命令为 Setlink，界面见图 7.13 所示，再用 Link 命令追踪连接这些多连线。输入 Link 命令后，系统询问选择图元对象？用户选择中段的等高线，则系统自动追踪连接，结果见图 7.13。

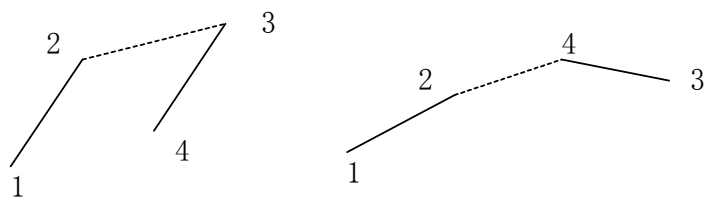


图7.10 两线段可以连接的方式

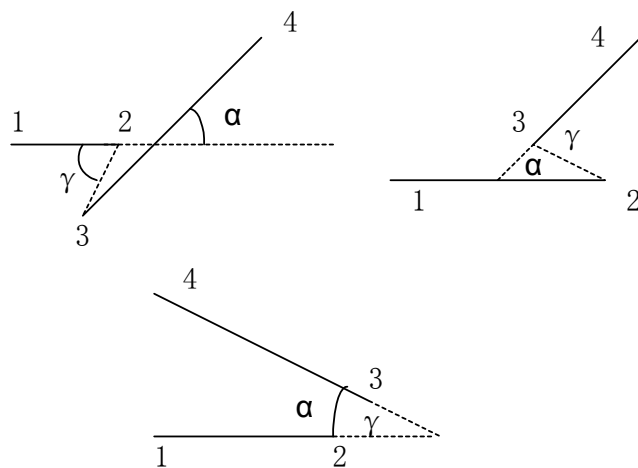


图7.11 两线段不予连接的方式

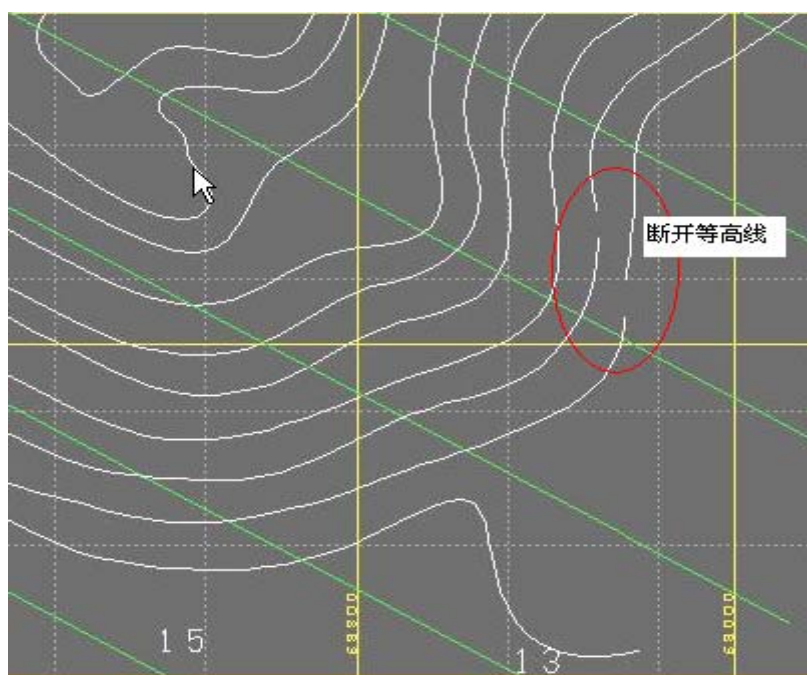


图 7.12 中断的地形等值线图

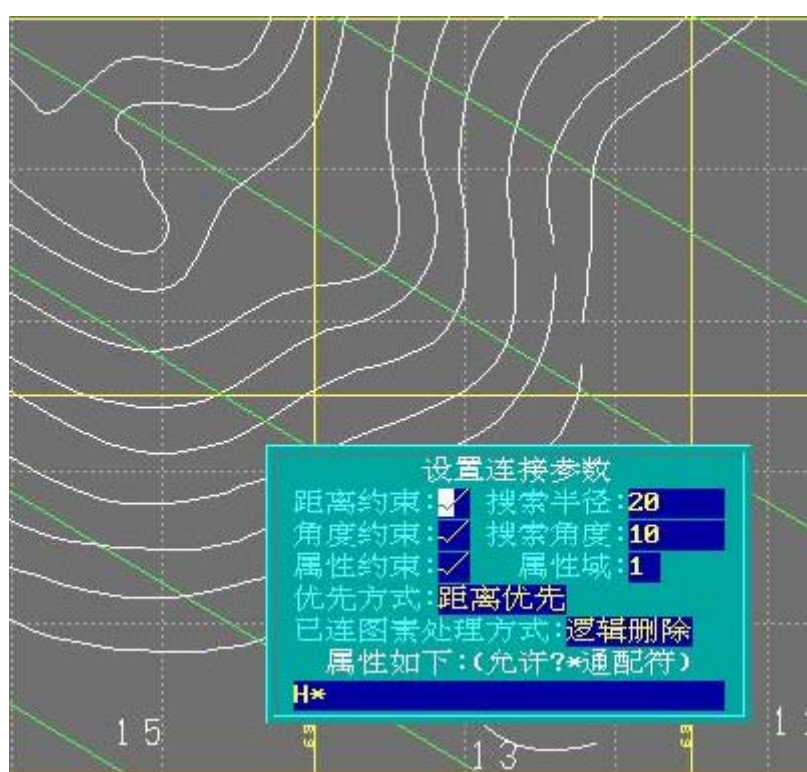


图 7.13 追踪连接参数设置

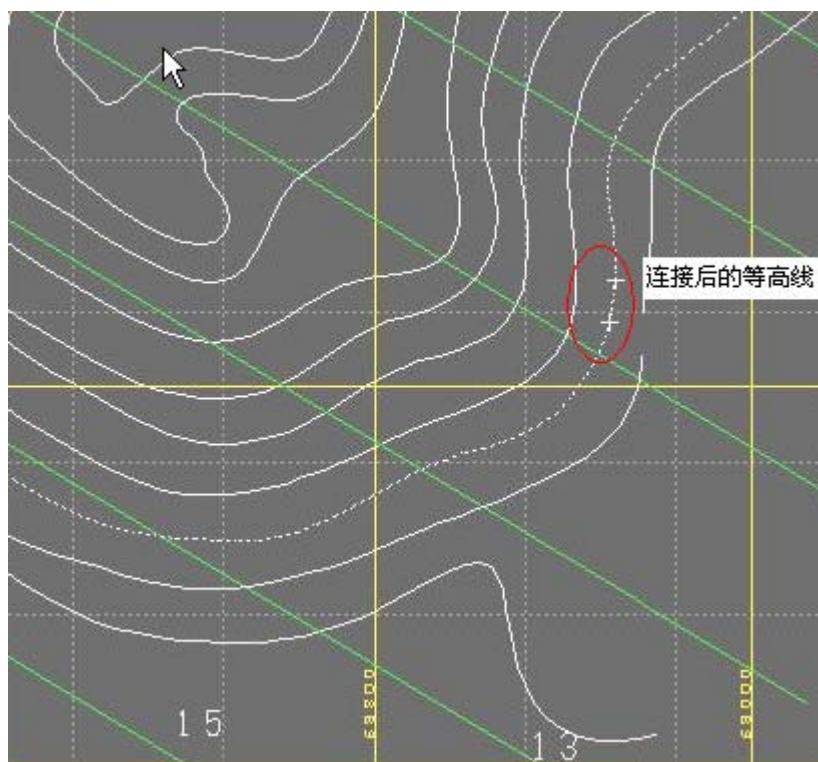


图 7.14 追踪连接后的地形等值线图

计算机图形运算算法研究一直是图形学领域研究的热点和难点,特别是专业图形的运算算法。由于算法研究需要很强的数学知识,而采矿专业技术人员往往是对工程方面的知识比较擅长,不太愿意进行数学理论很强的专业图形算法研究。因此,采矿 CAD 方面的专业图形运算一直是该研究领域的薄弱环节。我们对采矿 CAD 系统的一些专业图形运算进行了较多的研究,提出了近 10 种常用的图形算法。其中象多边形的交、并、差运算,界线的平行外推(内缩)算法,矿山空间数据搜索算法、公用边多边形的绘制等算法都是首次实现。每个算法均是经过了无数次的试验和反复,也倾注了作者和他的同事们很多个不眠之夜。其中的痛苦没有进行过图形算法研究的人是很难体会到的。

参考文献

- [1] 唐泽圣著. 三维数据场可视化, 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] 骆中洲主编. 矿山系统工程及 CAD 技术, 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [3] 蔡青, 高光涛. CAD/CAM 系统的可视化、集成化、智能化、网络化. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.
- [4] 陈建宏. 可视化集成采矿 CAD 系统研究[D], 中南大学博士论文, 2002 年.
- [5] 云庆夏, 陈永锋. 近年来我国采矿系统工程的成就, 中国矿业, 1997, 21 (3) .
- [6] 张幼蒂. 采矿系统工程研究现状与展望, 中国矿业, 1994, 3 (2) .
- [7] 陈建宏, 周科平, 古德生. 新世纪采矿 CAD 技术的发展: 可视化、集成化和智能化, 科技导报, 2004 (7) .
- [8] 吴立新, 殷作如, 再论数字矿山: 特征、框架与关键技术, 煤炭学报, 2003, 28(1).
- [9] B. L. Gibbs, 工业储量评估软件中构模技术的评述, 第 22 届 APCOM 国际会议论文集, 1990.
- [10] K. Diekmann, System modeling and simulation of processes for visualization. 29th,

APCOM, 2001.

- [11] 邵安林, 孙豁然, 刘晓军等. 我国采矿 CAD 开发存在的问题与对策金属矿山, 2004 (2) .
- [12] 张生贵. 用 CAD 技术在微机上编制采剥进度计划, 矿山技术, 1987 (1) .
- [13] 董卫军, 蔡美峰, 王双红. 有关采矿 CAD 开发技术的研究. 有色矿冶, 1999(1).
- [14] 张生贵, 黄丹戈. ADS—开发矿业 CAD 软件强有力的工具, 中国矿业, 1998, 7 (3) .
- [15] 林在康, 燕雪峰. 采矿 CAD 软件包体系模型, 中国矿业大学学报, 2000, 29 (1) .
- [16] 陈建宏, 邓顺华. 交互式图形环境露天矿采剥计划 CAD 软件开发, 中国矿业, 1996, 2 (3) .
- [17] 陈建宏, 古德生. 采矿 CAD 中图元属性表述方法的研究, 金属矿山, 2001 (8) .
- [18] 陈建宏, 古德生. 采矿 CAD 中多边形平行外推 (内缩) 算法研究, 湘潭工学院学报, 2002, 17(4).
- [19] 陈建宏, 古德生. 采矿 CAD 图元集的构造及多边形图元和标注图元的表述, 中国矿业, 2002, 11 (4) .
- [20] 沈玉明, 喻勇, 张生贵. 以 CAD 为平台开发短期采剥计划软件. 中国矿业, 1997 (6) ;
- [21] 王小平, 王斌, 张小平. 采矿工程图形 CAD 系统的研究动态. 计算机工程与设计, 1996 (8) .
- [22] 陈建宏, 周智勇, 古德生. 采矿 CAD 系统研究现状与关键技术, 金属矿山, 2004 (10) .
- [23] 陈建宏, 古德生. 采矿 CAD 中图元属性表述方法的研究, 金属矿山, 2001 (8) .
- [24] 陈建宏, 古德生. 采矿 CAD 图元集的构造及多边形图元和标注图元的表述, 中国矿业, 2002, 11 (4) .