

# 人工读图机理分析及其在计算机读图中的应用<sup>\*</sup>)

杨华飞 杨若瑜 路通 蔡士杰

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

**摘要** 计算机读图是旨在提高建筑业的自动化、信息化程度的一种重要技术。通过从计算机读图的角度对建筑工程图表示特点的分析和对人工读图机理的分析,本文提出了基于建筑工程图表示特点、借鉴人工读图机理的按序、定向、整体的计算机读图思路,并在此基础上给出了建筑工程图自动识别的描述方法和实现技术。

**关键词** 人工读图机理,计算机读图,建筑工程图

## Mechanism of Human Reading-drawings and its Application in Machine Reading-drawings

YANG Hua-Fei YANG Ruo-Yu LU Tong CAI Shi-Jie

(State Key Laboratory for Software Novel Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract** Machine reading-drawings is an important technique that aims for improving automatization and information-based of construction industry. After analyzing representation characteristics of architectural drawings from the point of view of machine reading-drawings and mechanism of human reading-drawings, this paper proposes sequential, purposive, holistic idea for machine reading-drawings. Based on the idea, this paper gives a method for describing the process of automatically recognizing architectural drawings and also gives implement techniques.

**Keywords** Mechanism of human reading-drawings, Machine reading-drawings, Architectural drawings

### 1 引言

当今,计算机辅助设计和辅助绘图(CADD)工具已经被广泛应用到建筑业的设计工作中,但设计后各工序(包括审图、算量、钢筋放样、建筑施工管理等)的专业人员仍然只能通过人工读图从纸质的或电脑屏幕上的工程图中获取各自所需的各种设计信息。也就是说,CAD技术并未给建筑业设计后诸工序带来好处。人工读图不仅效率低下、差错率高,而且由于易受到诸多主观及客观因素的影响,不同的读图人对同一套工程图的读图结果可能会不同,这导致了建筑设计的数据在各种应用部门之间存在不一致性。实际上,在建筑设计与其后各工序之间存在一个巨大的信息鸿沟<sup>[1]</sup>。计算机读图技术旨在取代人工读图,提高建筑业工作的质量和效率,并消除这个鸿沟。

近年来,在建筑工程图方面,国内外已经有一些计算机读图技术的研究。Ah-Soon<sup>[2,3]</sup>分析了建筑图的特点并提出了基于网络的建筑符号识别方法;C. P. Lai<sup>[4]</sup>研究了工程图尺寸线的识别方法;T. Lu<sup>[5]</sup>提出了建筑结构图识别模型;席晓鹏<sup>[6]</sup>、罗志伟<sup>[7]</sup>、颜巍<sup>[8]</sup>、芮明<sup>[9]</sup>等也分别对轴网、柱、板、表格的识别进行了研究。但正如 Tombre<sup>[10]</sup>所指出的:“architectural drawings had not been given as much attention as other types of drawings”,对建筑工程图自动识别技术的研究还远远不够。

建筑领域常识和国家制定的建筑工程图制图规范是专业人员理解建筑工程图的基础,也必定是计算机读图的重要依据。但是,制图规范是离散的、静态的,而读图是制图规范融

合基础上的动态过程。人工读图虽然有前述弱点,但专业人员对读图过程的控制、对先验知识的运用、对制图规范的综合、对目标对象的判断能力却是计算机难于比拟的。因此,本文在分析建筑工程图表示特点的基础上,深入分析人工读图机理的特点,提出借鉴人工读图机理的按序、定向、整体的计算机读图思路,并以这种思路为指导,提出一组低冗余度的面向自动识别的特征项目来统一描述建筑工程图对象的识别过程,最后简单说明针对这种统一描述方法的实现技术。

### 2 建筑工程图表示特点

建筑工程图是传达设计信息的载体,G101<sup>[11]</sup>系列制图规范为各种建筑工程图给出了统一的图文描述标准。从计算机读图的角度来看,建筑工程图有以下表示特点。

**二维性** 当前的建筑设计基本上都采用的是二维平面设计方式,读图人员通过对二维平面图的理解及从总体说明、剖面图、标高表等文件中获得的数据,在脑中建立三维建筑物形象。

**分类性** 为了描述的简洁、清晰,G101规定,建筑工程图按照构件的类型分图绘制,如柱图、墙图、梁图和板图。各类工程图通过轴网统一定位。图1给出了柱图和梁图的例子(部分)。

**分层性** 建筑工程图一般按照楼层分层绘制,结构完全相同的楼层的同类构件图可绘制在一张图中,但是必须标明所表示的楼层范围。

**继承性** 由于每张建筑工程图中重点描述一类构件,其中必须出现的它类构件采用简化形态表示,其完整数据从该

<sup>\*</sup>)本文获国家自然科学基金(60603086)资助。杨华飞 博士研究生,主要研究方向为计算机图形学和图形识别;杨若瑜 副教授,主要研究方向为计算机图形学、计算机读图和图形识别;路通 博士,主要研究方向为计算机图形学、图形识别和CAD技术;蔡士杰 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机图形学、计算机读图、图形识别和CAD技术。

类构件的描述图中继承而来。例如,在梁图中不可以缺少的柱和墙的详细数据分别从对应的柱图和墙图中同位置的柱和

墙继承而来。图 1-(b)中左下角的柱是图 1-(a)中左下角的柱 Z1 的继承表示。

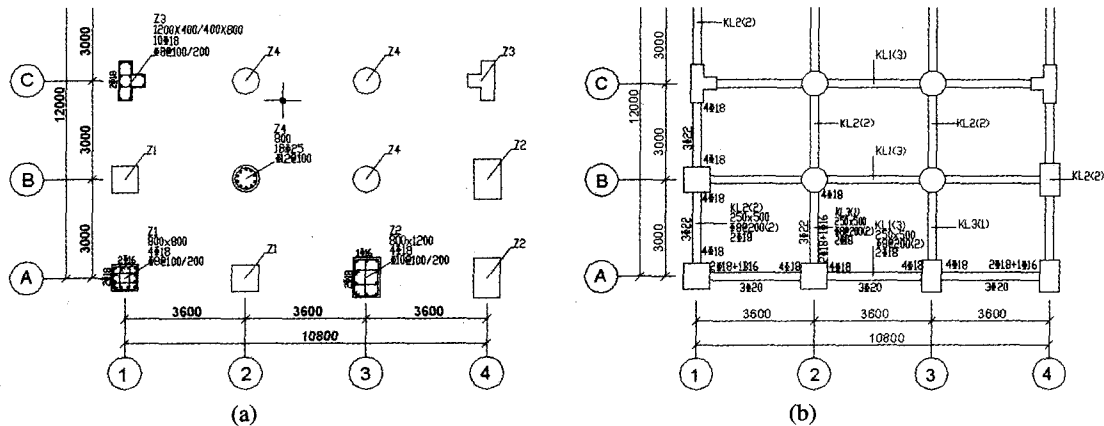


图 1 柱图和梁图的例子

**缺省性** 为了表示上的简洁,同一工程图中结构相同的多个构件中只有一个详细标注,其余均缺省标注。例如,引用柱仅用一个柱名字符串和柱平面轮廓表示(如图 1-(a)中最下面一排左起第二个柱 Z1),其钢筋结构信息及多数标注字符串都可从同名详细标注柱(图 1-(a)中左下角的柱 Z1)中获得。

**关联性** 各构件都不是孤立地、离散地存在于建筑工程图中,它们之间的各种各样的关联体现着不同的意义。例如,梁和柱之间的不同搭接关系决定搭接处内部钢筋的结构差别。

**相似性** 从几何上看,不同类型的对象可能有相似的轮廓。例如,很多柱子的轮廓是矩形或圆形,楼板上洞口的轮廓也可能是矩形或圆形。因此,必须全面地分析该对象的所有条件,尤其是明显区别于其它对象的那些条件,才能准确地确定一个对象。

**多样性** 在建筑工程图中,即便是同类对象在表示上也可能有多种形态。例如,柱平面轮廓可能是如矩形、圆形、L形、T形、十字形或其它任意多边形,因此在识别柱平面轮廓的过程中必须覆盖各种可能性,才能保证识别的完整性。

### 3 人工读图机理分析

面对任意复杂的建筑工程图,技术人员在相关知识和经验的支持下,总能读懂其中表达的建筑物设计方方面面的内容,提取出所需的数据。很好地利用人工读图机理的某些特点,能够给计算机读图提供很大的帮助。人工读图机理如下几个特点可以为计算机读图所借鉴:

**先验性** 在建筑相关单位工作的读图人员都是掌握一定领域知识并熟悉建筑工程图构图规则的专门人员。人工读图具有先验性,它要求读图人员必须具备一定的先验知识,例如领域内基本常识、构图规则、构件可能有的类型、表示形态,以及构件间的关系等,这些知识被用来支持人工读图过程以及指导人们对构件的确认。

**顺序性** 不同人员的读图过程在表面上虽然不尽相同,但是在本质上还是遵循相同的顺序,读图过程的差异往往导致不同的读图效率和准确性。人工读图所遵循的顺序性可以体现在以下几个方面:

• 一般情况下,读图人会首先了解为整个设计确定的一些“常用”数据,这些数据往往在设计总说明中出现,如“不加特别说明时,混凝土标号为 C25”,然后再对具体的各种类

型的工程图进行阅读。

• 由于在读图过程中会出现在认知某种构件时需要参考其它的构件,这样就需要那些被参考的构件需要提前被认知。例如:由于轴网是工程图的主要定位对象,在一张工程图中,读图人总是先读懂轴网然后再去找具体的构件;上面我们提到了建筑工程图中普遍存在着引用现象,引用构件需要从同名的详标构件得到缺省的描述信息,所以在认知引用构件之前需要先对详标构件进行认知。

• 读图人在认知一个具体的构件时总是先关注该构件较明显的组成部分,这样做可以让读图人以最快的速度锁定目标,提高读图效率。例如,在找一个详标柱的时候,读图人会首先去找最能体现详标柱存在的柱集中标注,然后再通过引线找柱平面轮廓,最后再去分析内部的钢筋结构。

• 由于继承现象普遍存在,这也对各种类型的工程图在读图的顺序上有了要求。例如,梁图中的柱是从对应柱图中继承而来,读图人需先读柱图再读梁图,因为柱间梁的长度、内部钢筋的具体几何形状均依赖于支撑该梁的所有柱。

• 通常情况下,在不同楼层之间,读图人按自下而上的顺序读图。这不仅体现了人们所熟悉的搭积木思想,而且建筑的施工过程按照力学原则也是按照自下而上的顺序进行的,这样的顺序更适合人们的习惯性思维。

**目标性** 具体类型的工程图中一定出现的和可能出现的构件都是确定的,所以读图人对每一张图中需要读取的内容都有明确的目标,而不会盲目地去找该图中不可能出现的构件。另外,构件一般在环境的特定条件的位置出现,因而读图人也往往在图中最有可能的位置寻找对象。这种目标性既提高了读图效率,又在一定程度上保证了读图的准确度。

**整体性** 工程图表示特点具有关联性,读图人在找到构件的所有表示条件后,可以根据关联性在整体环境中对构件进行判断。例如,读图人在找到一个候选引用柱后会去整个柱图中去确认是否存在同名的详标柱,如果没有同名的详标柱,则说明找到的这个候选引用柱是误识别。

**记忆性** 在人工读图过程中,读图人必须记住条件数据,才能进行结论的判定;数据缺省的情况,也依靠记忆来提供数据。当然,人的记忆能力有限,因此在有些数据记不住时,读图人必须回头去“复习”并找出必需的条件数据,再来判定结论。例如,读图人只有记住轴网的定位和尺寸数据,才能在认知其它构件时及时准确地定位;只有记住详标柱的完整描述信息,才能在认知引用柱和继承柱时及时补足缺省信息。

## 4 计算机读图思路

建筑领域常识和制图规范确定了建筑工程图表示特点,为计算机读图提供了可靠的基础,但它们是离散的、静态的,而读图过程是整体的、动态的,只有将静态依据和动态过程结合起来才能快速、准确地读懂建筑工程图。因此本文以建筑工程图表示特点为基础,借鉴人工读图机理,提出按序、定向、整体的计算机读图思路,用以指导研制既快速又准确地实现计算机读图的方法和实现技术

### 4.1 按序的计算机读图思路

由于建筑工程图表示特点表明了总体说明与个别具体图之间、不同层的同类型图之间、对应层各类型图之间、同一图内各组成之间、同一对象的各组成元素之间均存在数据的前后依赖关系,致使人工读图必须遵循明确的顺序,因此,计算机读图也必须按照上述依赖关系顺序地进行。

总体说明图给出了整个工程的一些“常用”数据,这些数据通常在个别具体图中用于补足缺省信息,故总体说明图应该在个别具体图之前进行识别。建筑结构图设计和建筑施工都根据力学原则按照楼层自底向上进行;上层柱的截面类型也往往与其邻接下层柱相同或相似。所以,不同层的同类型图应按照楼层的自低向上顺序进行识别。对应层各类型图之间按照柱图→墙图→梁图→板图的识别顺序,计算机的记忆能力可以弥补人类大脑记忆的弱点,避免因继承产生的“复习”现象,先识别的工程图被记忆下来,可以用来指导后继工程图的识别以及补足由继承产生的缺省数据。在同一图中,轴网因定位全局需最先识别;同类构建因数据依赖而先识别详细标注构件,不同类构建可按照力学原则决定的施工顺序进行识别,例如在梁图中按照轴网→继承柱→继承墙→详标梁→引用梁的顺序进行识别。对象的各个组成部分对该对象的被确认的贡献是不平衡的,先识别贡献大的组成部分也就以最快的速度缩小了搜索范围,而且还可以有效减少其它特征的匹配次数。

按序的计算机读图思路,使得整个识别过程更具条理性、更加稳定,可以有效地提高自动识别的效率和准确性。

### 4.2 定向的计算机读图思路

建筑工程图中的图元数量非常庞大,需要作为目标来搜索和识别的对象也很多,如何有效缩小识别过程中的图元遍历,关系到计算机读图的效率。回答“这里是不是存在某对象?”显然比回答“图中有什么对象?”更简单,借鉴人工读图的目标性机理,计算机读图在下列方面进行有目标的搜索和识别:

- 针对不同的图搜索和识别不同的构件对象。
- 在同一图中,利用不同构件对象之间的相互依存关系,从已识别对象出发搜索可能存在的与其相关的构件对象。
- 利用相关的几个图间同一对象的存在性及位置的一致性,计算机读图对有些目标可在确定存在性且确定位置的前提下搜索和识别。

• 一个对象的组成图元中往往有典型的元素,先把该典型元素作为目标,找到后再在该位置附近搜索该对象的其它组成图元,有较高的命中率。

定向的计算机读图思路可以进一步有效提高计算机读图的效率和准确性。

### 4.3 整体的计算机读图思路

读图人员在读图时不仅仅只是对各个独立构件的认知,他会在整体环境中建立构件之间的各种关系。对于构件来说,这种认知不是独立的、离散的,而是具有很高的整体性。

必须将这种整体性融入到识别过程才能使识别的结果更加准确。借鉴人工读图的目标性机理,计算机读图在下列方面需要进行整体性判断:

- 识别前判断先导构件是否已经识别。例如,柱还没有被识别,无法进行梁识别。
- 继承对象和源对象在整体环境中是统一的,是出现在不同图中的同一个对象。
- 识别后建立与其它对象的具体关系。例如,柱识别完成后通过轴网进行定位。

整体的计算机读图思路保证了计算机读图的结果是一个有机的整体而不是离散的构件集合,而且通过整体环境还可以检验构件识别的有效性,从而提高计算机读图的准确性。

## 5 建筑工程图自动识别过程的描述方法

计算机读图的实现需要有相应的识别顺序控制和识别方法支持,而每一类对象的识别时机和识别方法需通过适当的描述来表达,为各类对象给出统一的描述方法有利于计算机读图软件的研制与实现。以按序、定向、整体的计算机读图思路为指导,本文提出一组低冗余度的面向自动识别的内外特征项目,用它们来统一描述不同工程图、不同类型、不同层次对象自动识别过程。

### 5.1 外部特征项目

(1) 外部条件对象 指识别该构件对象所依赖的另外的对象,比如详标柱的定位依赖一个轴网坐标系,所以轴网必须先行识别。

(2) 外部引导对象 指为了识别该对象的方便必须参考的对象。例如,先找到引用柱的柱名字符串,再在其附近找柱平面轮廓比较方便,柱名字符串是柱平面轮廓的外部引导对象。

(3) 外部引导方式 给出该对象与外部引导对象的关系。比如,当柱名字符串通过引线指向柱平面轮廓时,引线连结是柱平面轮廓的外部引导方式。

(4) 外部方向参考 指定用于确定构件对象基本方向的外部对象或直接指定方向。

(5) 数据参考对象 对缺省表示的对象需指出获得所缺数据的来源。比如,引用柱的缺省数据源是同名详标柱;继承柱的缺省数据源是同位置柱。

(6) 参考数据及参考方式 指明需从参考对象中参考的数据及参考使用方式,包括补足缺省、形状匹配、同位重叠匹配等。比如,对引用柱而言,同名详标柱中的柱轮廓用来进行引用柱轮廓的形状匹配(位置、方向可能不同),各标注字符串及钢筋结构用作补足缺省。

### 5.2 内部特征项目

(1) 内部组成对象 指明了一个构件对象所包含的低一级对象或基本图元。复杂的对象可能由多个低一级对象组成,例如详标柱由柱集中标注、柱平面轮廓、柱钢筋结构及其相关的柱纵筋描述、定位尺寸线等低一级对象组成。

(2) 对象关系约束 描述用来确认组成对象有效性的内部组成对象之间的关系,识别时利用这些关系进行验证。

(3) 对象尺寸约束 指出构件对象几何上的约束条件源及约束条件,用以防止误识别。比如,柱集中标注柱中的柱平面轮廓尺寸字符串提供柱平面轮廓大小的准确性验证。

由于对象之间的差异性,上述面向外部和面向内部的特征项目并不是对每一对象均有意义。但统一按上述项目进行描述,有利于程序的自动识别处理。另外,组成对象顺序排列及按序识别,使在前导对象作为后继对象的外部条件对象时

不必再显式描述。

### 5.3 自动识别过程的描述方法

上述九个特征项目可以作为描述工程图、构件等各层次

对象的自动识别过程的公共特征项目,但各对象间有意义的项目可能不同。表1给出了几个不同层次对象的有效项目及描述(共涉及九个项目)。

表1 几个不同层次对象的有效项目及描述

对象	有效项目及描述
柱图	内部组成对象:轴网*,详标柱*,[引用柱*];
墙图	外部条件对象:同层柱图;内部组成对象:轴网*,继承柱*,详标墙*,[引用墙*];
详标柱	内部组成对象:柱集中标注,柱平面轮廓,柱钢筋结构,[柱纵筋描述*],[定位尺寸线];
引用柱	数据参考对象:同名详标柱;参考数据及参考方式:柱平面轮廓 形状匹配;柱集中标注、柱钢筋结构、柱纵筋描述 复制;内部组成对象:柱名字符串、柱平面轮廓;
柱集中标注	内部组成对象:柱名字符串,柱平面轮廓尺寸字符串,角筋描述字符串,箍筋描述字符串;对象关系约束:柱平面轮廓尺寸字符串 下靠 & 平行 & 左对齐柱名字符串,...;
柱名字符串	外部方向参考:水平;内部组成对象:柱名标识字符,柱编号;对象关系约束:柱编号 右靠 柱名标识字符
柱平面轮廓	外部引导对象:柱集中标注;外部引导方式:引线连结;内部组成对象:矩形 圆形 L形 T形 十字形 其它多边形;对象尺寸约束:柱平面轮廓尺寸字符串 尺寸约束

注:(1)\*表示多个对象;(2)[ ]表示可能有;(3)&表示关系的并列关系;(4)|表示选择关系;(5)表中斜体的词为有效项目名,有下横线的词如同层、形状匹配、复制、下靠、右靠、引线连结、尺寸约束等各描述一种关系,将引出相应的判断或操作。

## 6 计算机读图的实现技术

建筑工程图自动识别过程的描述既包含了建筑工程图表示特点和领域知识,还体现了人工读图的动态过程控制,利用它可以实现建筑工程图的完整识别。使用这种描述实现计算机读图可以有两种不同的方法。

第一种方法是用描述内容指导直接编程来实现计算机读图。该方法是把编程人员对描述内容的理解通过编程的形式直接实现。由于不同的对象有不同的识别过程描述,它们对应的识别程序也各不相同。一旦描述必须修改,对应的识别程序也必须修改。识别对象有所增加或对象形态有所添加时也必须增加有关程序。

第二种方法是通过计算机自动解释执行描述内容来实现计算图读图。该方法是用一种形式化方法(如BNF)表示描述,然后通过专门设计的解释程序对描述内容逐一解释,实现每一对象乃至整张工程图的识别。与直接编程的方法相比,该方法具有以下优势:

- 易于维护。对于建筑工程图对象的识别的认识和方法需一定的时间来逐步完善,所以描述不可能是一成不变的,它也需要逐渐完善。对于直接编程法来说,描述的任何变更都必须通过编程人员修改识别程序来体现新的变更,这严重影响识别程序的可维护性。该方法则不受此限制,它只有在需要增加底层基本处理的情况下才需要维护,而这种情况出现的几率相对较少。

- 易于扩充。在需要识别描述中没有涉及的新建筑工程图对象时,描述中需要增加新对象的内容。对于直接编程法来说,描述中增加的内容也必须通过编程人员在识别程序中增加相应的内容才能完成新对象的识别。利用该方法实现的识别程序则通过对描述的自动解释实现新对象的识别,在不修改识别程序的情况下完成扩充。

- 稳定性高。对于建筑工程图的设计来说,绘图规范会面临调整修改;在绘图规范的普及不是很理想的情况下,设计者在遵循主要规范的同时还会表现出不同于别人的绘图习惯。要想得到较高的识别准确度,描述必须要随时根据规范的修改和不同的个人习惯进行局部调整。对于直接编程法而言,这些调整也只有通过编程人员修改识别程序来最终体现,这使得识别程序的版本稳定性几乎不可能得到保障。对于该

方法而言,只要识别程序底层处理能力足够强大,识别程序不必随描述的调整而修改。

上述两种实现方法已分别在经过鉴定的VHRecQS和实验系统VHRecQS+中得以体现,并验证了上述比较。

**结束语** 本文总结了建筑工程图的表示特点,分析了人工读图机理几个重要特点,提出了基于建筑工程图表示特点、借鉴人工读图的按序、定向、整体的计算机读图思路。按序的计算机读图思路使得计算机读图过程更具条理性,可以提高计算机读图的效率和准确性;定向的计算机读图思路充分利用了人工读图机理的目标性特点,能进一步提高计算机读图的效率和准确性;整体的计算机读图思路保证了读图结果的准确性。在此思路的指导下,本文还提出了一组低冗余度的面向自动识别的特征项目来统一描述建筑工程图对象的自动识别过程,最后简单介绍了两种实现技术并比较它们的优劣,推荐使用对所述的识别过程描述进行解释执行的方法。

## 参考文献

- 1 蔡士杰,徐福培,高晓. 计算机读图与数字建筑. 系统仿真学报, 2002, 14(12): 1652~1654
- 2 Ah-Soon C, Tombre K. Variations on the analysis of architectural drawings. In: Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Ulm, Germany, 1997. 347~351
- 3 Ah-Soon C. A constraint network for symbol detection in architectural drawings. In: Proc. of the Graphic Recognition: Algorithms and Systems 2nd International Workshop, Berlin: Springer-Verlag, 1997. 80~90
- 4 Lai C P, Kasturi R. Detection of dimension sets in engineering drawings. IEEE Transaction of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(8): 848~855
- 5 Lu T, Tai C L, Su F, et al. A new recognition model for electronic architectural drawings. Computer-aided Design, 2005, 37(10): 1053~1069
- 6 席晓鹏,路通,糜宁芳,等. 建筑图自动识别中的坐标系处理方法研究. 南京大学学报(自然科学), 2002, 38(计算机专辑D): 268~272
- 7 罗志伟,颜巍,蔡士杰. 截面表示法柱平面图的自动识别方法. 计算机应用研究, 2003, 13(12): 1101~1105
- 8 颜巍,罗志伟,蔡士杰. 建筑楼板结构平面图的自动识别方法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 13(12): 1101~1105
- 9 芮明,路通,苏丰,等. 基于视觉的表格自动识别方法. 计算机应用研究, 2005, 22(4): 256~257
- 10 Tombre K. Ten years of research in the analysis of graphics documents: achievements and open problems. In: Proc. 10<sup>th</sup> Portuguese Conf on Pattern Recognition, Lisbon, Portugal, 1998. 11~17
- 11 中国建筑标准设计研究院. GJBT-611-2003 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图 03G101-1