

基于CAD图样特征识别的变电站二次回路数字化建模研究与实践

吕小浩

(河南送变电建设有限公司, 河南 郑州 450012)

摘要: 现有变电站二次回路相关的信息主要以图形和文字的形式承载在 CAD 图样内, 无法有效地实现数据信息的承载及应用, 因此需要对 CAD 图样信息进行数字化建模。提出基于 CAD 图样特征识别的变电站二次回路数字化建模方法, 利用 CAD 图样特征识别方法提取 CAD 图样内包含的变电站二次回路信息, 基于变电站二次系统数字化模型框架实现变电站二次回路数字化建模, 并将数字化模型用于二次全回路展示和辅助安措等高级工程应用。通过实际工程验证了所提方法的有效性。

关键词: 二次回路; 数字化建模; CAD 识图; 模型应用

Research and practice on digital modeling of substation secondary circuit based on CAD drawing feature recognition

LV Xiaohao

(Henan Power Transmission and Transformation Construction Co., Ltd., Zhengzhou 450012, China)

Abstract: The existing information related to the secondary circuit of the substation is mainly carried in the CAD drawings in the form of graphics and text, which can not effectively carry and apply the data information, so it is necessary to carry out digital modeling of the CAD drawing information. A digital modeling method of substation secondary circuit based on CAD drawing feature recognition is proposed. The information of substation secondary circuit contained in CAD drawings is extracted using CAD drawing feature recognition method. The digital modeling of substation secondary circuit is realized based on the digital model framework of substation secondary system, and the digital model is used for advanced engineering applications such as secondary full circuit display and auxiliary safety measures. The effectiveness of the proposed method is verified by practical engineering.

Key words: secondary circuit; digital modeling; CAD drawing recognition; model application

0 引言

电力行业近几年提出了电力数字化转型战略, 发布了《数字电网白皮书》等指导性文件。变电站二次回路部分作为输变电的重要节点, 其数字化建设是电力数字化中的重要组成^[1-4]。

现阶段变电站二次回路相关的信息主要以图形和文字的形式承载在CAD图样内, 而CAD图

样需要人工的理解, 无法有效地实现数据信息的承载及应用, 因此需要对CAD图样信息进行数字化建模^[5]。

本文采用特征识别方法对变电站二次系统CAD图样进行识别, 再通过数据转换生成变电站二次系统数字化模型, 最大限度地使用已有的技术资料, 减轻厂家和设计院的数字化建模工作,

在存量变电站的数字化建设方面优势更为突出。

1 变电站CAD图样模型化解析

变电站二次系统的CAD图样按物理层级可分为小室屏位布置图、屏柜布置图、柜内元件图、装置背板图、装置二次原理图、端子排图和光缆连接图，七类。如图1所示，图样包含信息有：小室、屏柜、元件、装置、板卡、板卡端子和端子排端子等物理对象，以及物理对象之间的连接关系，提取以上信息可以组成一个完整的变电站二次回路的数字化模型。

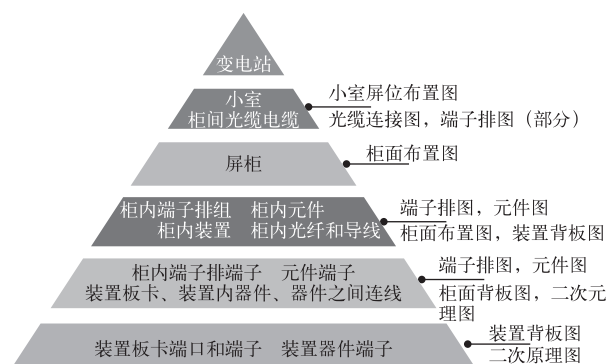


图1 CAD图样的二次系统信息

Fig. 1 Secondary system information of CAD drawings

变电站二次系统数字化模型（SLCD）^[6]框架图如图2所示，主要包含变电站二次系统物理对象的搭建和各对象之间的实际连接关系。

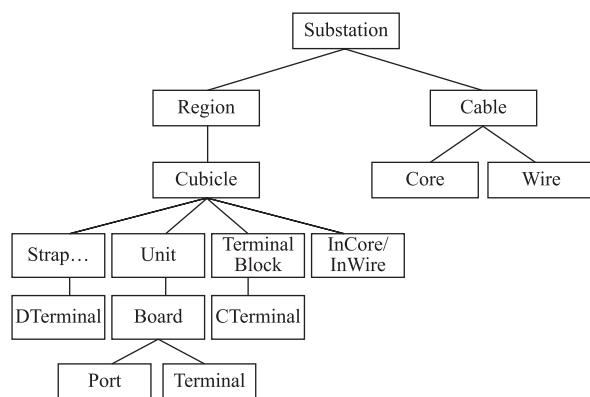


图2 变电站二次系统数字化模型框架图

Fig. 2 Digital model frame diagram of substation secondary system

通过对比图1和图2可知，变电站二次系统的CAD图样物理层级和SLCD所描述变电站逻辑层

级具有相互对应的关系，通过识别变电站二次系统的CAD图样可以得到创建SLCD模型所需要的各类信息。如从小室布局图中提取SLCD模型的屏柜信息，从屏柜图样中提取SLCD模型的设备信息，从装置背板中提取SLCD模型的设备板卡信息等。

2 CAD图样特征识别

CAD识图方法有多种，如解析DXF文件、边界查找和特征识别等。DXF将CAD图形还原成由组码和组值组成的数据状态，如直线的组码为0，组值为Line。基于解析DXF的CAD识别得到的信息是零散的，无法识别对象的逻辑关系，满足不了变电站数字化建模的需要。边界查找方法是通过分析边界的走向，识别图样的轮廓，主要应用自动化机械加工、机械图样识别等领域，不适用侧重点在于提取CAD内包含的文字信息和逻辑关系的变电站二次回路CAD图样的识别。特征识别是指从几何模型中识别出具有一定工程语义的几何形状，分为交互特征识别和自动特征识别两种方式，且两种方式相辅相成。

本文采用特征识别方法识别CAD，识别流程如图3所示。

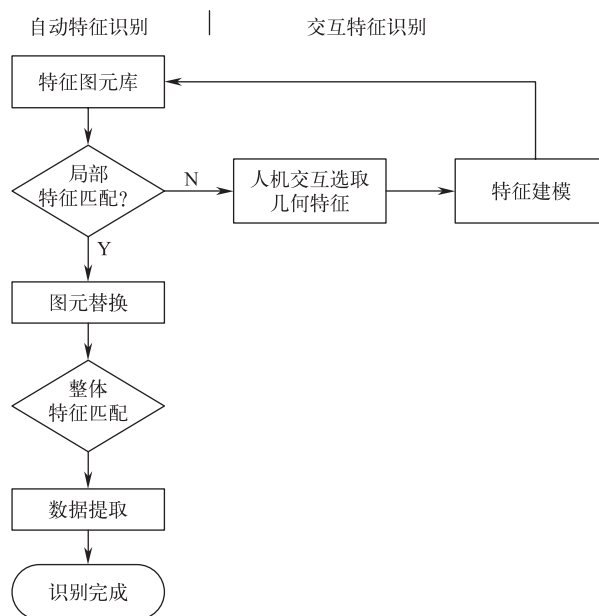


图3 CAD图样特征识别流程图

Fig. 3 Flow chart of CAD drawing feature recognition

自动特征识别基于特征图元库与CAD图形的比对。识别过程为：选取特征图元库的任意一个特征图元的某一部分元素，将此元素作为键值，取其关键属性遍历识别的CAD图样中的所有元素属性进行匹配，然后再依次匹配其他属性。如果所有属性均匹配，则键值元素匹配；如果匹配不成功，则在特征图元库内选取下一个特征图元，以此类推，将特征图元库内所有的特征图元和CAD图样内的图形进行匹配。

如果特征图元所含元素匹配成功，则进行图元替换，并提取该图形在CAD图中的坐标，将包含此元素的特征图元移动到待识别的CAD图形坐标位置。以此减小遍历图样的范围，提高识图效率。

然后重复使用键值属性匹配的方法，判断此图元覆盖区域内CAD图形其他元素的属性是否与特征图元的所有元素的属性一致。

再将匹配成功的CAD图形汇成一个图块，提取文字信息，并按照特征模型的定义，匹配文字对应的SLCD属性。

对于CAD图样所包含的同类图形的识别，重复上述特征匹配的方法，使用特征图元匹配整张图样。可以使用一个特征图元对包含相同图形和文字位置的同类图形全部匹配和识别，将一个设备图形作为特征图元，可同时识别出多个设备图形。

对于自动匹配未识别出的CAD图样部分，需要使用人机交互的特征识别方法进行再次识别。即将未识别部分选定为特征图元，然后再进行特征识别。

首先选取CAD图形和文字，创建为特征图元，其中图形的主要参数为图形的形状、大小和块属性等，文字的主要参数为文字相对应图形的位置、文字的长度等。将CAD图形作为第一要素，将文字作为第二要素进行识别匹配，具有相同CAD图形，不同文字特征的对象可以使用同一个特征图元进行识别。

然后CAD图形进行特征建模，建立设备名称（name）、设备描述（desc）、设备型号（type）、设备标识（ID）和设备批次（batch）等属性。

将特征图元分类存入特征图元库内，并以此方法不断充实特征图元库，从而提高自动识别率。人机交互的特征识别后续的识图过程同自动特征识别。

自动特征识别不需要人工干预，减少了识图的工作量，但是计算量偏大，将图样和特征库作分类处理以减少匹配次数，从而提高识别CAD图样的效率。再辅助交互特征识别进行查漏补缺，两种识别方法相互配合，保证了CAD识图的效率和识别率。

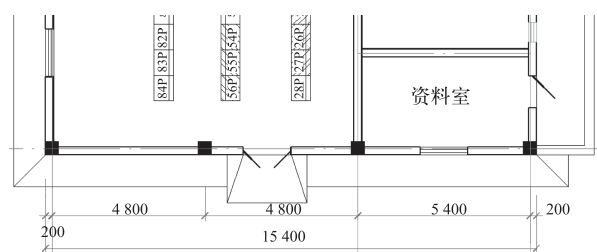
3 基于CAD识图的变电站二次回路数字化建模

基于CAD识图的变电站二次回路数字化建模，首先将变电站二次系统CAD图样进行分类，分别是小室屏位图、屏柜柜面布置图、元件图、装置背板图、二次原理图、端子排图和光缆连接图。

按分类对CAD图样进行识别及信息提取，具体过程如下。

(1) 识别小室屏位图

如图4a所示，小室屏位布置图包含小室的名称、小室内屏柜位置信息。如图4b所示，小室屏位布置图还包含有屏柜的编号、名称、样式、数量和当前状态信息。



(a) 小室屏位布置图局部1

屏台用途一览表

屏号	名称	型式/ (mm×mm×mm)	数量	备注
1P	主机服务器柜	2 260×800×1 000	1	本期
2P	数据服务器柜	2 260×800×1 000	1	本期
3P	综合应用服务器柜	2 260×800×1 000	1	本期
4P	II/III区数据通信网关机柜	2 260×800×1 000	1	本期
5P	I区数据通信网关机柜	2 260×800×600	1	本期
6P	智能辅助系统主机柜	2 260×800×600	1	本期

(b) 小室屏位布置图局部2

图4 小室屏位布置图示意

Fig. 4 Schematic diagram of cubicle screen position layout

选取屏柜建立特征图元，识别出如图4a所示小室内同类型的所有屏柜。使用相同方法可以识别其他类型的屏柜，从而识别出小室所包含的所有屏柜。从图4b所示屏台用途一览表中识别屏柜的名称、型式等信息，将此信息和上一步通过图元识别的屏柜图形结合，得到此小室包含的屏柜信息。同样的方法可以识别不同小室的屏柜信息。

(2) 识别屏柜柜面布置图

如图5所示，柜面布置图包含：屏柜内所含的装置的数量、名称、型号和位置信息；所含元件的数量、名称和位置信息；所含端子排段的名称、位置信息。

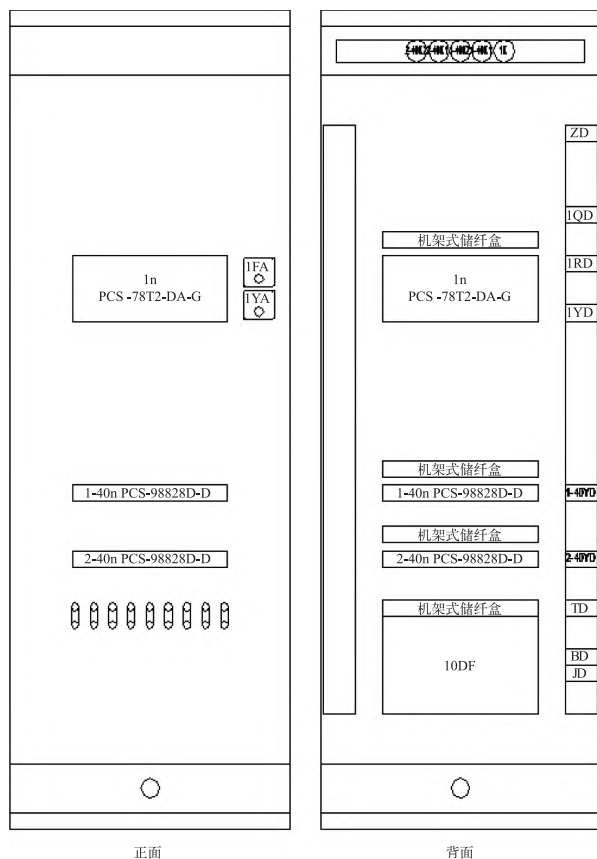


图5 柜面布置图示意

Fig. 5 Cabinet layout diagram

选取设备作为特征图元，识别出如图5所示屏柜内同类型的所有设备，同理再识别屏柜布置图内的其他设备和元件。屏柜布置图的正反面相应地表示设备的正反面，即左右两侧相同编号的

矩形框应表示相同的设备，在CAD识图后排除冗余的数据。识别屏柜布置图可以得到屏柜内设备和元件初步信息，然后与小室的屏柜信息以屏柜名称做媒介进行关联。

元件图、装置背板图和二次原理图的识别与上述的小室屏位图、屏柜布置图的识别基本相同，即识别不同图样获取相应的下一层级的信息。

(3) 识别元件图

识别柜内元件图，提取屏柜内断路器、压板等元件的数量、名称和型号信息，以及元件所含的端子编号、对侧端子信息。

(4) 识别装置背板图

识别装置背板图，提取装置背板的数量、名称和型号信息，以及背板内端口和端子的数量、名称、型号对侧端子信息。背板端口和端子的对侧端子信息和元件图、端子排图内对侧端子信息是重叠的，重叠的信息可以用作连接关系的相互校验。

(5) 识别二次原理图

识别二次原理图，提取端子排端子，以及元件和设备板卡端子之间的连接关系。

(6) 识别端子排图

端子排端子主体部分的识别和上述识别方法基本一致，柜间电缆部分需要通过CAD图样电缆表述先找对侧屏柜，确认电缆所连的两个屏柜信息，再通过回路编号找出两屏柜间对应的端子排端子的编号，从而识别整条电缆的完整连接关系。

如图6所示，端子排图包含有每个端子段所包含的端子排端子，以及端子排端子两侧的接线关系，柜内的接线描述使用的装置板卡端子或者元件端子的编号；柜间连接关系的描述使用回路编号，如图7中的“GPS+”和“GPS-”来表述，再引出线指示柜间电缆的编号、对侧屏柜名称和电缆的型号信息。而对侧屏柜所含的端子排图将会与本屏柜所含的端子排图相对应，从而可以推导出整条电缆所包含的连接关系信息。

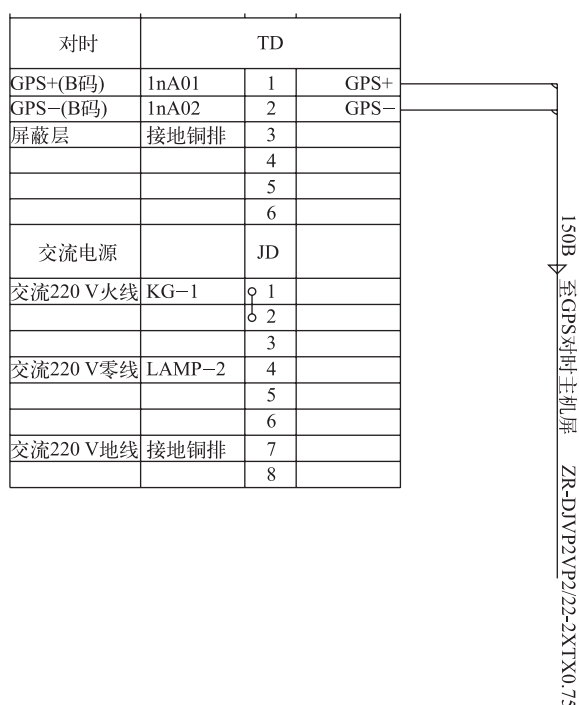


图 6 端子排图示意

Fig. 6 Schematic diagram of terminal strip

(7) 识别光缆连接图

光缆连接图以表格的形式，涵盖了与本屏柜有关联的光缆、尾缆的连接关系信息。包含了光缆、尾缆与本屏柜光纤配线架（ODF）的连接关系，本屏柜光纤配线架（ODF）与柜内设备的连接关系，以及光缆、尾缆对侧屏柜和设备基本信息。对侧屏柜所含的光缆连接图将会与本屏柜所含的光缆连接图相对应，从而可以推导出整个光纤回路的物理连接关系信息。

由此，通过识别七类CAD图样，即可获取从小室到板卡端子（口）六个层级的信息，再补充变电站的属性信息，经过数据转换即可生成SLCD模型，作为变电站二次回路的数字化模型。同样也可通过修改特征建模的参数，支持以二次回路的物理对象和连接关系为基础的其他规范所要求的数字化模型。

4 变电站二次回路模型的工程应用

基于CAD识图的变电站二次回路数字化建模，可以直接使用设计单位提供的CAD图册，再通过CAD图样特征识别技术提取图样中的信息，

最终形成涵盖变电站二次回路相关的物理对象和连接关系的SLCD文件。SLCD文件通过可视化工具，可展示变电站二次部分的全回路，也可以用于其他工程应用，如辅助安措、辅助查线等。

同时CAD图样可以导出基于XML语言模式的SVG（Scalable Vector Graphics）图形^[7]，SVG图与CAD图样在图形内容一致，且均为矢量图样。如本文CAD识图部分所述，在CAD识图时使用特征图元替换方式，识图后相应的CAD图形特征以块的形式存在，导出SVG以后，也会以g文件的形式，呈整体区域的状态展现，SVG的XML语言示例为

```
<g
id="d1b6050b-67f2-4343-8fdf-8be65aa0cf07" name="1-40n" handle="2180"
type="Unit" ox="-174145" oy="-55813"
oz="0" onclick="ShowData('2180')"
stroke="rgb(0,255,0)">
<text x="75.3811759975215"
y="166.181154366583" font-family="Helvetica,
Arial, sans-serif" stroke-width="0" fill="black"
font-size="2.5"
transform="rotate(0,75.3811759975215,166.1811
54366583)">1-40n</text>
<text x="94.5472591857542"
y="166.167109422764" font-family="Helvetica,
Arial, sans-serif" stroke-width="0" fill="black"
font-size="2.5"
transform="rotate(0,94.5472591857542,166.167
109422764)">PCS-9882BD-D</text>
...
</g>
```

通过索引SVG图样内的名称，即可定位到相应的图形上，基于以上原则，通过name属性的匹配，可以实现不同SVG图样之间的跳转查看，从而实现图样的快速查找。

SLCD文件包含二次回路物理对象以及物理对象之间的连接关系，通过关联数据查找的方法，并配合回路形成的物理原理，可以找到完整

的二次回路，再以元素图形模板和网格化布局的方式展示，即二次回路的全回路展示。

基于CAD图样特征识别的变电站二次回路数字化建模，在河南省某500 kV变电站试点使用。试点变电站为存量站，即已经设计完成，正在运行中的变电站，基于CAD图样识别的建模方法，不需要设计单位和厂家再次提供技术支持，只需要有全套的CAD图样即能完成变电站的数字化建模工作。本文建模方案在SVG图样跳转、二次回路全回路展示等应用上获得现场运维人员的好评。

5 结束语

本文提出了一种基于CAD图样特征识别的变电站二次回路数字化建模方法，可解决变电站二次回路数字化建模问题，促进了变电站数字化建设。现阶段基于CAD图样特征识别的方法，可以胜任变电站二次回路数字化建模工作，从而减轻设计单位和设备厂家对变电站二次回路数字化模型输出的压力。

参考文献

[1] 江秀臣，许永鹏，李曜丞，等．新型电力系统

背景下的输变电数字化转型[J]．高电压技术，2022，48(1)：1-10．

[2] 罗克伟．变电站电气二次数字化设计技术优化方案[J]．能源与环境，2020(4)：33-34，81．

[3] 刘千宽，刘宏君，丁晓兵，等．服务于变电站数字化设计的二次设备建模技术研究[J]．电力系统保护与控制，2021，49(2)：166-172．

[4] 蒋贤明，数字化变电站电气二次设计探究[J]．华东科技，2020(12)：302-303．

[5] 耿维忠，于江饶，焦跃军．一种高效的CAD模型简化方法[J]．机械工程与自动化，2022(1)：197-199，202．

[6] 郝晓光，耿少博，任江波，等．智能变电站二次电缆回路建模方法研究与应用[J]．电力科学与技术学报，2020，35(4)：161-168．

[7] 柳玲，李百战，杨明宇．CAD文件转换为SVG文件的探讨[J]．计算机应用，2006(S1)：51-53．

作者简介

吕小浩（1983—），男，本科，高级工程师，主要研究方向为智能化变电站调试、网络安全、继电保护和高压试验。

（收稿日期：2022-10-27）