DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181543

基于 Matlab 神经网络算法的智能变电站光纤回路自学习及自动设计的研究

高 旭[1]，马迎新[1]，汤小兵[2]，陆小荣[2]

(1. 国网冀北电力有限公司，北京 100053；2. 南京国电南思科技发展股份有限公司，江苏 南京 211153)

摘要：随着智能变电站建设速度不断加快，大规模智能变电站新建和改扩建工程集中投产。在此背景下，由于设计人员和运维人员在经验、习惯方面的差异，智能变电站光纤回路标准化设计难度大，光纤回路设计与正确性校核靠人工完成，设计效率低、图纸正确性校核困难。针对以上问题，提出了一种基于神经网络算法的智能变电站光纤回路自动设计方案。通过采集海量变电站物理配置描述文件(SPCD 文件)，经过人工智能学习，建立神经网络决策树，实现根据二次系统设计要求自动输出光纤回路设计图纸。该方案利用人工智能技术提升了智能变电站光纤回路设计效率和质量，进而实现光纤回路设计的标准化、智能化。

关键词：智能变电站；光纤回路；人工智能；智能化设计

Study on self-learning and automatic design of smart station's fiber optic circuit based on Matlab neural network algorithm

GAO Xu[1], MA Yingxin[1], TANG Xiaobing[2], LU Xiaorong[2]

(1. State Grid Jibei Electric Power Company, Beijing 100053, China;
2. Nanjing SP-NICE Technology Development Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract: With the acceleration of intelligent substation construction, large-scale intelligent substation construction and expansion projects have been put into operation. In this context, due to the differences in experience and habits between designers and operators, it is difficult to standardize the design of optical fiber circuit in smart substation. The design and correctness check of optical fiber circuit are completed manually, the design efficiency is low and the correctness check of drawings is difficult. To solve the above problems, an automatic design scheme of optical fiber circuit in intelligent substation based on neural network algorithm is proposed. By collecting a large number of physical configuration description files (SPCD files) of substations and learning from artificial intelligence, the decision tree of neural network is established to automatically output the design drawings of optical fiber circuit according to the requirements of secondary system design. This scheme improves the efficiency and quality of the design of optical fiber circuit in intelligent substation by using artificial intelligence technology, and then realizes the standardization and intellectualization of the design of optical fiber circuit.

This work is supported by Youth Fund of National Natural Science Foundation of China (No. 61602251) and Research Project of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. (No. 52010117000G).

Key words: smart station; fiber optic circuit; artificial intelligence; intelligent design

0 引言

随着智能电网的高速发展，智能变电站建设速度进一步加快，大规模新建及改扩建工程集中投产，给变电站二次系统设计人员和运维人员带来沉重的工作负担。由于不同设计人员、不同地区运维人员在经验和习惯上的差异，导致智能变电站光纤回路标准化设计难度大，光纤回路设计效率低、图纸正确性校核困难。

基金项目：国家自然科学青年基金项目资助(61602251)；国网冀北电力有限公司研究项目资助(52010117000G)

如何利用人工智能技术提升智能变电站光纤回路设计效率和质量，实现智能变电站光纤回路设计的标准化、智能化，成为当前智能变电站建设的重要问题。目前智能变电站设计提出了以二次系统虚回路为基础，采用形成(Substation Configuration Description, SCD)和 CID 文件的方法进行变电站二次系统设计[1]；依托 AutoCAD 平台，基于一次电网模型和配置文件，对二次系统设计进行了可视化和一体化设计[2]；利用网络连接图、信息流图和二次回路图表对二次系统逻辑关系和信息交互方式进行总结，使物理回路信息流动方向清晰化，实现二次系统逻辑回路可视化设计[3-4]，但这些设计仍需要人工读图，进一步完成施工图纸，难以实现自动设计和标准化设计。

本文通过基于神经网络算法的智能变电站光纤回路的人工智能学习，实现智能站新建和改扩建工程光纤回路自动设计及图纸自动生成，实现设计的标准化、智能化。

1　人工神经网络及 BP 算法

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)是基于现代神经科学提出的一种模拟大脑信息处理模式的新模型。它针对分析问题的非线性、非凸性等性质，使用数据学习对网络模型进行逐步完善，达到处理非结构性数据的效果，具有很强的自适应、实时学习的特点[5-6]。

图 1 是一种前向神经网络的结构图，其中包含输入层、隐层和输出层。根据 Hebb 规则，神经网络的自学习过程主要发生在神经元之间的突触部位，突触间的联系强度随着神经元活动而变化，网络在学习中不断调整连接的权值，适应环境的转变。

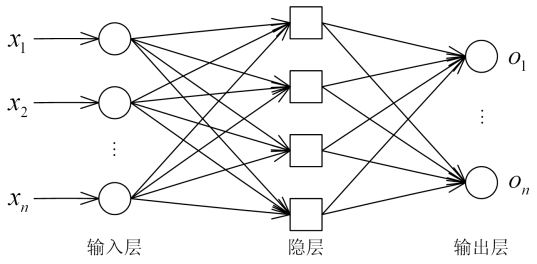


图 1　神经网络结构图

Fig. 1 Neural network structure

一般来说神经网络的输入输出层的神经元个数是确定的，而隐层神经元则可以指定数目。经验表明，经过自学习训练的神经网络的隐层神经元可以表示物体的某一特征，通过调整隐层神经元数目可以使得对象的特征点数量足够多，从而可以根据这些特征选取出符合要求的对象。

结构图中神经网络的每层节点之间没有连接关系，每一神经元都是多输入、单输出的节点，每级的输入仅来自上一级节点，而输出也只影响下一级节点，因此其每级输入输出关系可以表示为

$$h_i = f(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i) \tag{1}$$

式中：h_i 为节点输出；x_i 为上层输入信号；a_{ij} 为第 i 个节点与第 j 个节点之间的连接权值；f 为激活函数，较为常用的为 S 函数(Sigmoid)。

$$f(x) = \frac{1}{1+\mathrm{e}^{-x}} \tag{2}$$

在后向传播(Back Propagation, BP)算法神经网络中，定义输出与隐层间误差 E 为式(3)，算法在进行自学习时，对误差求取偏导，使用梯度下降算法不断调整网络连接权值，逐步逼近实际值，以减小网络输出误差，实现对数据的适应性。

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}[d_i - f(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i)] \tag{3}$$

神经网络的实现分为学习和使用阶段，学习阶段采用 BP 算法进行网络的训练，通过修改突触连接权值减小理想输出与输出级输出之间误差和网络收敛。在完成样本学习后，利用该网络进行信息量的输入、分析和判决，并根据判决结果进行输出和使用[7-8]。

2　基于神经网络的智能变电站新、扩建技术

基于神经网络算法的智能变电站设备及光纤二次回路自学习技术的研究是通过将光纤物理回路、信号逻辑链路的间隔、屏柜、设备、板卡、端口、信号、线缆、物理路径等配置信息抽象成神经网络输入层或输出层的神经元；通过收集大量的智能变电站 SPCD 物理回路模型配置文件[9-10]和光缆清册信息，自动搜索样本中所有间隔，提取出变电站中的设备型号，连接关系等关键信息，形成训练大数据集对神经网络进行训练，最终获得可以反映设计需求与设计结果之间的复杂联系的神经网络供智能变电站施工图纸的自行设计使用[11]。

2.1　构建智能变电站自学习技术的神经网络模型

根据智能变电站自动设计要求不同，需要使用不同的数据集训练间隔设备神经网络和光纤物理回路神经网络。

1) 间隔设备选取神经网络模型见图 2 所示，模型输入层的输入神经元主要为电压等级、间隔类型、SPCD 间隔设备信息等；隐层主要为不同电压等级的间隔配置(配置到最小单元为设备)信息；输出神

经元为各种具体的间隔配置(包括电压等级、间隔设备，设备型号(即厂家)、设备板卡信息，端口数量及信号等)。间隔配置信息(包括电压等级和间隔类型)，使用大量变电站 SPCD 文件中抽取的不同间隔内设备配置信息作为训练数据集，经过大数据集训练后的神经网络能根据给定的间隔描述信息输出权重最高的一整套包括间隔设备、板卡、端口、端口信号间隔配置清单[12]。

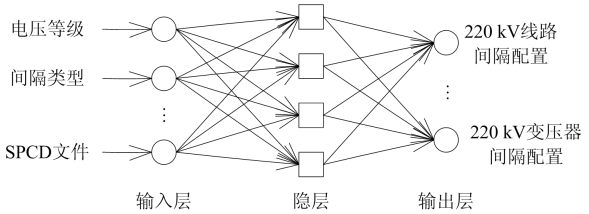


图 2 间隔设备神经网络结构图

Fig. 2 Interval device neural network structure

2) 光纤物理回路选取神经网络模型见图 3 所示，模型输入层的输入神经元主要为屏柜信息、装置端口信息、屏柜间光缆连接、屏柜内跳纤连接和设备连接关系(点对点或组网)。隐层主要为连接方式(SV&GOOSE 点对点、SV 点对点，GOOSE 组网、SV&GOOSE 组网等)信息、设备连接关系信息(合并单元-保护、合并单元-交换机、智能终端-保护、智能终端-交换机、保护-保护等)，线缆回路关系信息(线缆屏柜间直连、线缆屏柜间转接、设备端口到端口、设备端口到 ODF、设备端口到交换机等)。输出神经元为物理全路径信息，主要包括 SV 采样回路路径、GOOSE 跳闸回路路径、GOOSE 信号回路路径等。

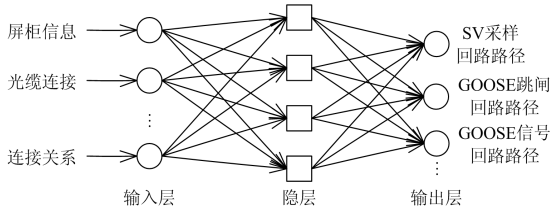


图 3 光纤物理回路神经网络结构图

Fig. 3 Optical fiber physical circuit neural network structure

光纤物理回路全路径信息使用变电站 SPCD 文件中抽取的屏柜信息、装置端口信息、屏柜间光缆连接关系、屏柜内跳纤连接关系作为训练数据集，经过大量数据集的训练后，神经网络能根据给定的连接方式、连接关系、线缆回路关系等信息输出信息权重最高的一整套物理连接路径[13]。

3) 训练样本的校核。为了保证训练样本的正确性和完整性，在抽取不同间隔内设备配置信息、屏柜信息、装置端口信息、屏柜间光缆连接、屏柜内跳纤连接和设备连接关系时，先按照智能变电站光纤回路建模及编码规范要求，对屏柜、设备、板卡、端口、连接关系进行规范化、标准化校对，保证训练样本信息的一致性和完整性，再按照标准化设计规范[14]中对间隔设备编号原则、板卡端口数量、端口信息等信息进行校核，保证训练样本符合设计规范的要求。最后将通过校核的训练样本纳入训练数据集中进行样本训练。

4) 神经网络模型优化。依据智能变电站的技术规范、检修规范等相关规范文件中的相关约束条件，对神经网络模型的中间隐层节点添加约束关系的设计条件，并进行逻辑分析优化，最终在神经网络输出层输出满足智能变电站基建、运行、验收、检修等相关规范要求的模型数据[14]。

2.2 基于神经网络的智能变电站新、扩建自学习设计过程

基于神经网络的智能变电站新、扩建方案自动生成流程如图 4 所示，其具体步骤描述如下。

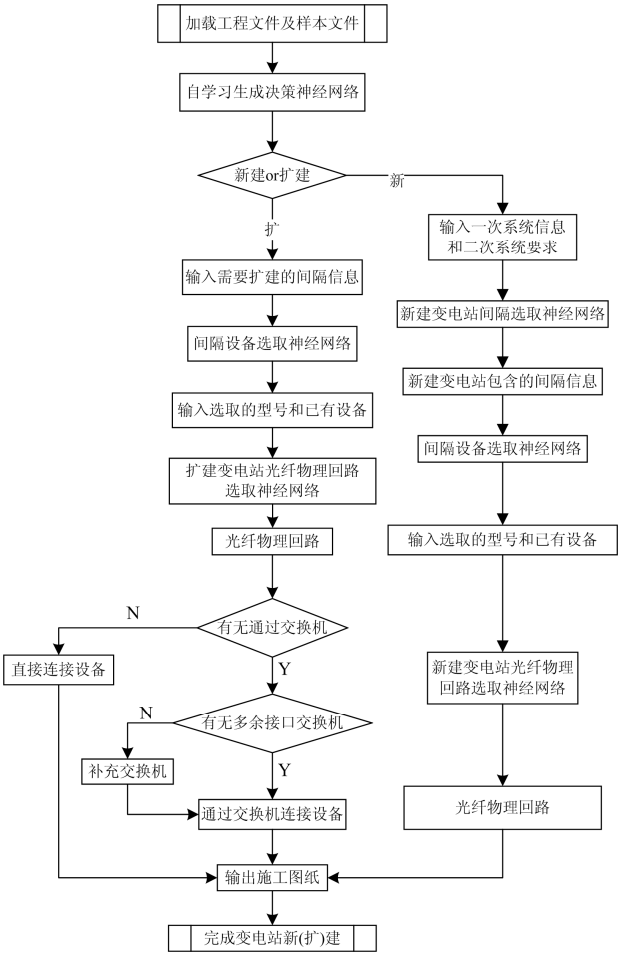


图 4 智能变电站新、扩建方案自动生成流程图

Fig. 4 Automatically generating flow chart of smart station new and expansion plan

1) 加载工程文件和文本文件。收集大量的智能变电站 SPCD 物理回路模型配置文件、电压等级和间隔类型，自动搜索样本中所有间隔，提取出关键信息(变电站中的设备型号，连接关系等)。

2) 确定神经网络的神经元个数和隐层数，给定一组初值。在网络的自学习过程，通过收集到的已建成变电站和待扩建变电站间隔信息训练神经网络，利用 BP 算法[15]调整各神经元权重，使神经网络生成两个神经网络：间隔设备选取神经网络(包括新建和扩建)，光纤物理回路选取神经网络(包括新建和扩建)。两个选取神经网络的具体信息如表 1 和表 2 所示。

表 1 间隔设备神经网络模型信息表

Table 1 Information table of neural network model for spacing equipment

输入层	隐层					输出层
	间隔分类配置	组屏/单装置权重	设备权重	板卡权重	端口权重	
1.电压等级： 1 000 kV、750 kV、500 kV、330 kV、220 kV、110 kV、66 kV、35 kV、20 kV、10 kV 2.间隔类型： 线路间隔、母线间隔、变压器间隔、电容器间隔、电抗器间隔等 3.SPCD 文件模型：屏柜信息、设备型号、板卡信息、端口信息 …	220 kV 线路间隔配置	单独组屏	线路保护设备 线路测控设备 过程层交换机 光纤配线架	保护板卡 测控板卡 交换机板卡 光纤配线架层数	保护板卡 测控板卡 交换机板卡 光纤配线架	220 kV 线路间隔配置
	220 kV 母线间隔配置	单独组屏	…	…	…	母线间隔 变压器间隔 电容器间隔 电抗器间隔
	220 kV 变压器间隔配置	单独组屏	…	…	…	
	…	…	…	…	…	
	110 kV 线路间隔配置	两间隔组屏 单间隔组屏	线路保护测控 过程层交换机 光纤配线架	…	…	
	…	…	…	…	…	
	35 kV 线路间隔配置	组屏 单装置	线路保护测控	设备板卡	设备端口	35 kV 线路间隔配置
	…	…	…	…	…	

表 2 光纤物理回路神经网络模型信息表

Table 2 Information table of optical fiber physical loop neural network model

输入层	隐层			输出层
	连接方式权重	连接关系权重	线缆回路关系权重	
1、屏柜信息：屏柜位置、屏柜 2、屏柜间光缆连接：起点信息、终点信息、光缆信息(长度、型号) 3、屏柜内跳纤连接：起点信息、终点信息、接口类型(ST、LC、FC 等) 4、设备连接方式：点对点、组网…	SV&GOOSE 点对点 SV 点对点，GOOSE 组网 SV&GOOSE 组网 …	合并单元-保护 合并单元-交换机 智能终端-保护 智能终端-交换机 保护-保护 …	线缆屏柜间直连 线缆屏柜间转接 设备端口到端口 设备端口到 ODF 设备端口到交换机 …	SV 采样回路路径 GOOSE 跳闸回路路径 GOOSE 信号回路路径 …

3) 判断当前的需求是扩建还是新建变电站，如果要新建变电站，则将新建变电站的一次系统信息和二次系统要求输入新建变电站间隔选取神经网络，输出新建变电站的所有间隔，然后通过间隔设备选取神经网络确定每个间隔的设备配置，再通过新建变电站光纤物理回路选取神经网络确定光纤物理回路；如果要扩建变电站，将需要扩建的间隔信息输入间隔设备选取神经网络，根据已有的变电站信息选取最佳的设备型号，然后将选取的设备型号连同变电站的现有设备输入扩建变电站光纤物理回路选取神经网络，从而得到二次系统的连接回路[16]。

4) 对于扩建变电站间隔，由于扩建间隔设备物理连接路径可以利用已经存在的设备，于是根据新建设备之间的信号对应，找到本站中的一条路径，路径信息中包含了经过的点的唯一标识信息和芯的唯一标识信息，遍历这些点，将原路径中经过的设备替换成对应的新设备。

(1) 若是交换机，检查交换机所有的端口连接的是交换机还是设备，如果连接的全部都是交换机则公用这个交换机；如果连接了非本间隔的智能设备则公用；如果连接的智能设备都是本间隔的，那么就在新间隔内新建一个对应的交换机，若已有则不

必新建。

(2) 若是光纤配线架，检查该设备是否是相似间隔内的设备，如果是，那么就在新间隔内新建一个对应的光纤配线架，若已有则不新建；否则，该设备为公用。

(3) 若是智能设备，替换成新间隔内的对应设备。

(4) 在充分利用了变电站内已有设备确定新建间隔设备的实际物理连接路径后，需要完善新路径中线缆或跳纤，相应做法是如果已有路径中存在未使用的路径则直接使用该路径，否则新建一条类似路径。

(5) 在确定好新建间隔设备具体信息和设备间连接的物理路径后，最后更新全变电站的 SPCD 物理回路模型配置文件，并且根据配置文件输出 CAD 设计图纸[17-18]。

3 新建智能变电站自动设计工程实例

基于神经网络算法的智能变电站设备及光纤二次回路自学习技术在新建祖寺站得到了应用。试点在完成二次系统虚实回路建模的基础上，通过一种基于人工神经网络的智能变电站新建图纸生成算法，实现了根据间隔、设备要求自动生成设备型号和施工图纸。同时，建立相关数据库，软件实现变电站新建设计可视化。提出了国内二次回路设计自动化的方法，解决了此前光纤回路设计不规范、扩建改建不方便等问题，并在祖寺变电站的建设中体现出了很高的应用价值。

新建智能变电站自动设计工程应用主要包括：样本智能学习、新建间隔设备、新建光纤物理回路、CAD 智能画图及工程图纸校核五部分。本文以新建祖寺站 220 kV 2211 线路间隔为例，自动生成 220 kV 2212 滩祖一线路间隔和光纤物理回路全路径及屏柜 CAD 设计图纸。

3.1 样本智能学习

通过加载大量的 SPCD 文件进行样本的智能学习，并产生经过多次学习和训练的间隔设备选取神经网络和光纤物理回路选取神经网络。

3.2 新建间隔设备

根据间隔设备神经网络模型及计算式(1)、式(2)，得出 220 kV 2212 线路间隔设备配置信息如表 3 所示。

表 3 间隔设备配置信息表

Table 3 Interval equipment configuration information table

输入层	隐层						输出层
	间隔分类配置	组屏权重	设备权重	设备型号权重	板卡权重	端口权重	
1、电压等级：220 kV 2、间隔类型：线路间隔 3、SPCD 文件：屏柜信息、设备型号、板卡信息、端口信息	220 kV 线路间隔配置	保护测控组屏 83.4% 保护测控单独组屏 8.4% 保护 AB 套单独组屏 8.2%	线路保护单套 0.0% 线路保护 AB 套 100%	PCS-931A-FA-G 31% CSC-103A-FA-G 19% WXH-803A-DG-G-R 8% PSL-603UA-DA-G 10% PRS-753A-DA-G 15% UDL-511A-JG-G 5% NSR303 12%	SV 采集板 1 块 80% SV 采集板 2 块 20% GOOSE 板 1 块 12% GOOSE 板 2 块 78.5% GOOSE 板 3 块 8.5%	4 口 3% 6 口 10% 8 口 67% 10 口 9% 12 口 11%	220 kV 线路保护设备配置
			线路测控单独装置 100% 线路保护测控设备 0%	PCS-9705AM-FA 62% FCK-851B/G-DG-GB-R1 23% NS3560 15%	SV 采集板 1 块 83% SV 采集板 2 块 17% GOOSE 板 1 块 19% GOOSE 板 2 块 81%	4 口 3% 6 口 19% 8 口 58% 10 口 9% 12 口 11%	220 kV 线路测控设备配置
			配置交换机 85.6% 不配置交换机 14.4%	PCS-9882BD 67% ZYJ-800 21% EPS6028E 12%	1 块板卡 92% 6 组板卡 8%	12 端口 5% 24 端口 95%	220 kV 线路交换机配置
			配光纤配线架 86.7% 不配光纤配线架 13.3%	HEAV-ODF24-2UB/FC/SM 19% XJ-ODFY48-M-ST48 14% SHR-ODF-2U-36LC/12S24M 12% NR-ODF-3U-ST48 37% GPX-1U-12-ST-S-B 18%	1 块板卡 5% 2 块板卡 32% 3 块板卡 12% 4 块板卡 51%	12 端口 8% 24 端口 12% 36 端口 15% 48 端口 65%	220 kV 线路光纤配线架配置

由表 3 所示，最终智能设计出 220 kV 2212 线路间隔设备配置如下：

1) 2212 线路保护测控屏柜 1 面；

2) 线路保护 A 套 PCS-931A-FA-G 1 台(包含 SV 采集板卡 1 块，GOOSE 板 2 块)；

3) 线路保护 B 套 CSC-103A-FA-G 1 台(包含 SV 采集板卡 1 块，GOOSE 板 2 块)；

4) 线路测控装置 PCS-9705AM-FA 1 台(包含 SV 采集板卡 1 块，GOOSE 板 2 块)；

5) 过程层交换机 PCS-9882BD 1 台(包含板卡 1 块)；

6) 光纤配线架 NR-ODF-3U-ST48 1 台(包含板卡 4 块)。

3.3 新建光纤物理回路全路径

根据光纤物理回路神经网络模型及计算公式 1、公式(2)，得出 220 kV 2212 线路间隔光纤物理回路配置信息如表 4 所示。

表 4 光纤物理回路配置信息表

Table 4 Optical fiber physical loop configuration information table

输入层	隐层			输出层
	连接方式权重	连接关系权重	线缆回路关系权重	
1、屏柜信息：屏柜位置 2、屏柜间光缆连接：起点信息、终点信息、光缆信息(长度、型号) 3、屏柜内跳纤连接：起点信息、终点信息、接口类型(ST、LC、FC 等) 4、设备连接方式：SV 点对点、GOOSE 组网 …	SV&GOOSE 点对点 8% SV 点对点，GOOSE 组网 85% SV&GOOSE 组网 9%	合并单元-保护 87% 合并单元-交换机-保护 13% 智能终端-保护 84% 智能终端-交换机-保护 16% 合并单元-测控 8% 并单元-交换机-测控 92% 智能终端-测控 9% 智能终端-交换机-测控 91%	线缆屏柜间直连 92% 线缆屏柜间转接 8% 设备端口到端口 12% 设备端口到 ODF 76% 设备端口到交换机 12%	SV 采样回路路径 GOOSE 跳闸回路路径 SV 采样组网回路路径 GOOSE 信号组网回路路径

由表 4 所示，最终智能设计出 220 kV 2212 线路间隔光纤物理回路配置为：

1) 2212 线路间隔采用 SV 点对点，GOOSE 组网的网络方式；

2) 合并单元、智能终端分别到保护(线路和母线间隔)采用点对点物理连接；

3) 合并单元、智能终端分别到测控装置采用交换机组网物理连接；

4) 屏柜间纤缆通过直连方式，屏柜内设备端口纤缆通过 ODF 转接；

5) SV 采样回路路径：合并单元端口->本屏 ODF->光缆->保护屏 ODF->保护装置端口；

6) GOOSE 跳闸回路路径：保护装置端口->本屏 ODF->光缆->智能终端屏 ODF->智能终端装置端口；

7) 组网回路路径：合并单元(或智能终端)端口->本屏 ODF->光缆->保护屏 ODF->本间隔过程层交换机。

3.4 CAD 智能画图

试点在完成间隔设备神经网络模型和光纤物理回路网络模型建立的基础上，通过选取神经网络模型树的学习样本，依据基于人工神经网络的智能变电站新建图纸生成算法，实现光纤二次回路 CAD 图形的智能生成。具体实现流程如图 5 所示。

1) 构建新增屏柜

加载扩增后的工程文件，根据组屏规则的权重信息，建立新增屏柜，构建新屏柜的相关信息。

2) 构建屏柜内设备

(1) 构建保护装置，确定板卡和端口信息后，画出保护装置图形；

(2) 构建测控设备，确定板卡和端口信息后，画出测控装置图形；

(3) 构建交换机，确定板卡和端口信息后，画出交换机图形；

(4) 构建光纤配线架，确定板卡和端口信息后，画出光纤配线架图形；

3) 保护装置端口 CAD 智能画图根据光纤物理回路模型端口连接关系模型表，画出端口相连接纤芯或跳纤的关系图，如图 6 所示。

4) 新增屏柜光纤配线架 CAD 智能画图

遍历新增屏柜，获取新增的光配，获取光配所有的端口，并按照端口 no 排序，画出用来表示光配端口信息的图，如图 7 所示。

5) 自动画出线缆联系图

(a) 遍历每个端口，查询是否有与端口相连的芯或跳纤，若有，检查是否有跳纤，有则跳纤在左，线缆在右；否则尾缆在左，光缆在右。若没有芯相连，则将其划分到上一条光缆上作为备用。

(b) 每次画一个端口的连接情况时，对比端口连接的线缆与之前记录的当前线缆，若是发现端口连接线缆与当前线缆不同时，将前面线缆包含的线芯合并到当前线缆，然后将端口连接的线缆作为当前线缆，继续查询下一个端口。自动画出的线缆联系图如图 8 所示。

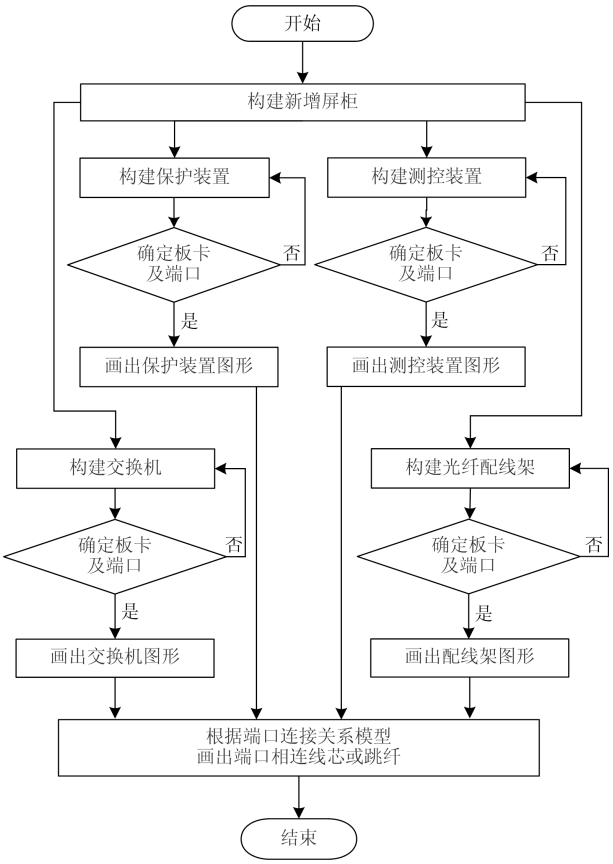


图 5 CAD 自动画图流程图

Fig. 5 CAD automatic drawing flow chart

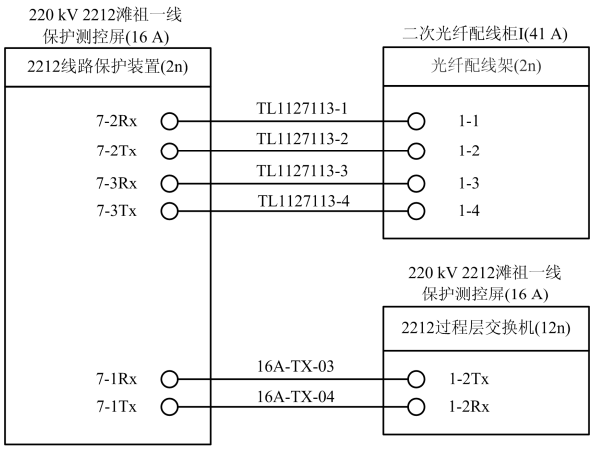
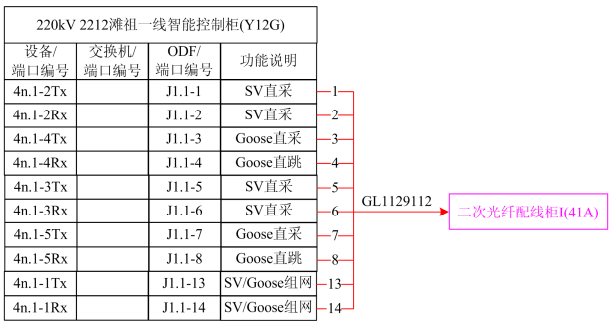


图 6 设备端口图

Fig. 6 Device port diagram



220kV 2212滩祖一线智能控制柜(Y12G)				
设备/端口编号	交换机/端口编号	ODF/端口编号	功能说明	
4n.1-2Tx		J1.1-1	SV直采	1
4n.1-2Rx		J1.1-2	SV直采	2
4n.1-4Tx		J1.1-3	Goose直采	3
4n.1-4Rx		J1.1-4	Goose直跳	4
4n.1-3Tx		J1.1-5	SV直采	5
4n.1-3Rx		J1.1-6	SV直采	6
4n.1-5Tx		J1.1-7	Goose直采	7
4n.1-5Rx		J1.1-8	Goose直跳	8
4n.1-1Tx		J1.1-13	SV/Goose组网	13
4n.1-1Rx		J1.1-14	SV/Goose组网	14

图 7 光纤配线架端口连接图

Fig. 7 Fiber distribution frame port connection diagram

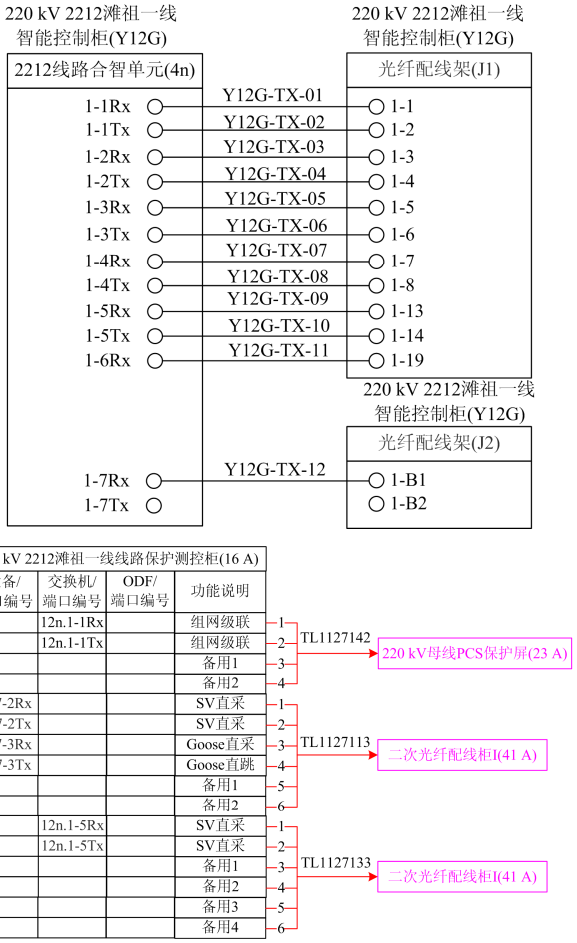


图 8 自动画出线缆联系图

Fig. 8 Automatically drawing the cable contact diagram

3.5 工程图纸校核

工程图纸校核通过人工使用专用校核工具软件对 CAD 智能设计图纸进行校核，校核内容包括 CAD 智能设计数据模型校核和图纸样式及画面的校核[19]。

1) CAD 智能设计数据模型校核。通过专用校核工具软件校核数据模型中屏柜编号和描述、设备编

号、设备板卡及端口描述、接口类型和方向、纤缆连接关系等是否符合光纤回路建模规范和设计规范要求，具体校核结果如图 9 所示。

191 行：这根跳纤端口 A(40n.1.1-Tx)不存在
191 行：这根跳纤端口 B(J1.1.1-RT)不存在
459 行: 线芯命名格式错误，正确格式：线缆名称-芯的编码，此处应该为 2E-GL101-1
1459 行: 线芯端口 A(JDP.BTIIJDG.9n.1.1-RT)不存在
1459 行: 线芯端口 B(ZKS.58PJ.1.1.1-RT)不存在
1460 行: 线芯命名格式错误，正确格式：线缆名称-芯的编码，此处应该为 2E-GL101-2

图 9 智能设计数据模型校核

Fig. 9 Intelligent design data model check

2) 图纸样式及画面校核。通过 CAD 图纸样式与图纸模板进行校核，检验图纸样式是否符合工程图纸的设计规范要求。画面校核主要是通过图形扫描检查线缆的线芯编号对线芯描述是否准确和完整；检查线缆走线、文字描述、端子排布是否存在重叠阴影，走线中断，排布错乱等现象。

4　结论

为实现智能变电站光纤回路设计标准化、智能化，本文提供了一种基于人工神经网络理论的智能变电站光纤回路自学习算法，实现了对海量 SPCD 文件的自学习[20]；提出了智能变电站光纤回路自动化、可视化设计方案[21-22]，有效解决了智能变电站光纤回路设计不规范、设计效率低、图纸正确性审核困难等问题，并在祖寺变电站的改扩建中成功应用，体现出了很高的应用价值。

参考文献

[1] 刘芳, 吕朋伟. 智能变电站二次系统设计方法分析[J]. 电子技术与软件工程, 2014(20): 146-147.
LIU Fang, LÜ Pengwei. Analysis of secondary system design method for intelligent substation[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2014(20): 146-147.

[2] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 124-128.
XIU Liming, GAO Zhanjun, HUANG Debin, et al. Study on the design method of secondary system of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 124-128.

[3] LI Siyuan, GAO Zhanjun, ZHU Yi, et al. Research on designing methods of the secondary system in digital substation[C] // 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), October 25-28, 2016, Xi'an, China: 289-293.

[4] 王增华, 窦青春, 王秀莲, 等. 智能变电站二次系统施工图设计表达方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 112-116.
WANG Zenghua, DOU Qingchun, WANG Xiulian, et al. A construction-drawing design expression method of secondary system for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(6): 112-116.

[5] 向德军, 王彬, 郭文鑫, 等. 神经网络的电力系统精细化安全运行规则[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(18): 32-37.
XIANG Dejun, WANG Bin, GUO Wenxin, et al. security rule for power system operation based on artificial neural network[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(18): 32-37.

[6] 包立公, 张瑞祥. 人工神经网络技术在电力系统中的应用[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(5): 52-55.
BAO Ligong, ZHANG Ruixiang. Application of artificial neural network in electric power system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2010, 29(5): 52-55.

[7] 田洪迅, 王宏刚, 万涛, 等. 基于 BP 神经网络的配电网可靠性关联因素灵敏度计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 71-77.
TIAN Hongxun, WANG Honggang, WAN Tao, et al. A methodology of computing sensitivity of distribution system reliability with respect to driving factors based on a BP neural network[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 71-77.

[8] 贾少锐, 李丽宏, 安庆宾. BP 神经网络算法在字符识别中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2007(2): 167-169.
JIA Shaorui, LI Lihong, AN Qingbin. Application of BP neural network algorithm in character recognition[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2007(2): 167-169.

[9] 智能变电站技术导则: Q/GDW383—2009[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.

[10] 智能变电站光纤回路建模及编码技术规范: Q/GDW 11765-2017[S]. 北京: 国家电网公司, 2017.

[11] 66~750 kV 智能变电站设计规范发布[J]. 上海电力, 2010, 23(1): 45.

[12] 高大文, 王鹏, 孙丽欣, 等. 人工神经网络输入层节点筛选规则的确定[J]. 高技术通讯, 2002, 12(6): 65-68.
GAO Dawen, WANG Peng, SUN Lixin, et al. Study on the screening rule of input nodes in artificial neural

network[J]. High Technology Letters, 2002, 12(6): 65-68.

[13] 张仲明, 于明光, 郭东伟. 基于聚类的神经网络规则抽取算法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2010, 28(5): 506-512.
ZHANG Zhongming, YU Mingguang, GUO Dongwei. Rules extraction from artificial neural network based on clustering[J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2010, 28(5): 506-512.

[14] 线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q / GDW 1161—2013[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.

[15] 房振勇, 游文虎, 冯汝鹏. 改进 BP 算法在模糊神经网络中的应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(11): 1321-1324.
FANG Zhenyong, YOU Wenhu, FENG Rupeng. Application of improved BP algorithm in fuzzy neural networks[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(11): 1321-1324.

[16] Laaksonen. Protection Principles for Future Microgrids[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(12): 2910-2918.

[17] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 106-111.
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, et al. Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 106-111.

[18] HE Jinghan, LIU Lin, DING Fanfan, et al. A new coordinated backup protection scheme for distribution network containing distributed generation[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 102-110. DOI: 10.1186/s41601-017- 0043-3.

[19] 笃峻, 叶翔, 王长瑞, 等. 智能变电站设计配置一体化功能规范研究及工具开发[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(20): 85-89.
DU Jun, YE Xiang, WANG Changrui, et al. Research on the functional specification of intelligent substation design and configuration and tool development[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(20): 85-89.

[20] FALAHATI B, FU Y, MOUSAVI M J. Reliability modeling and evaluation of power systems with smart monitoring[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(2): 1087-1095.

[21] 刘譞, 熊宇斌. 保护运行监测评估系统的层次化通信模型及其性能评估[J]. 智慧电力, 2018, 46(7): 84-91.
LIU Xuan, XIONG Yubin. Hierarchical communication model of protection operation monitoring and evaluation system & its performance evaluation[J]. Smart Power, 2018, 46(7): 84-91.

[22] 赵永柱, 张根周, 任晓龙, 等. 基于 RFID 的智能电网资产全寿命周期管理系统设计[J]. 智慧电力, 2017, 45(11): 57-61.
ZHAO Yongzhu, ZHANG Genzhou, REN Xiaolong, et al. Life-cycle asset management system design in smart grid based on RFID[J]. Smart Power, 2017, 45(11): 57-61.

收稿日期：2018-12-11；　　修回日期：2019-02-01

作者简介：

高　旭(1975—)，男，硕士研究生，研究方向为电力系统继电保护；E-mail: gxu2000@163.com

马迎新(1979—)，男，高级工程师，研究方向为电力系统继电保护技术与应用；E-mail: myx2299@163.com

汤小兵(1980—)，男，本科，高级工程师，研究方向为电力系统自动化。

(编辑 周金梅)