电力系统故障诊断神经网络专家系统的一种实现方式*

顾雪平　盛四清　张文勤　高　曙　杨以涵

（华北电力学院电力系·071003·保定）

【摘　要】　对人工神经网络和专家系统结合应用于电力系统故障诊断问题进行了研究，提出了电力系统故障诊断神经网络专家系统的一种实现方式。该结构方案中，采用三层前向 BP 网络作为故障诊断的核心部分，与传统的专家系统相结合组成混合式的神经网络专家系统。基于该方案建造的故障诊断神经网络专家系统综合了专家系统和人工神经网络各自的优点，充分利用专家系统的推理判断能力和人工神经网络的学习和容错能力，比单独利用专家系统或人工神经网络的电力系统故障诊断系统具有更好的性能。

【关键词】　神经网络　专家系统　故障诊断　开发工具　电力系统

1　引言

电力系统发生故障时，要求调度人员迅速、准确判断故障元件和故障性质，及时处理故障，恢复系统正常运行。由于现代电力系统规模很大，当电力系统发生故障时一般会有大量的报警信息集中涌现，调度员要在极短的时间内抓住报警实质，判断故障元件有时十分困难。人工智能（AI）技术能够用来解释报警信息、诊断故障和辅助调度员进行恢复操作。

基于 AI 的电力系统故障诊断是根据保护动作信息和断路器的跳闸信息来判断故障元件和分析故障性质。目前研究的故障诊断方法的两种主要类型是：

（1）专家系统（ES）方法

ES 擅长逻辑推理和符号信息处理，所以适合于电力系统故障诊断问题。然而，ES 自身的一些缺点限制了它的广泛应用。

①ES 的推理时间取决于问题的复杂程度，在实际应用中，复杂问题的求解时间较长，可能不满足实时运行的要求；

②对于一个复杂的任务，ES 可能产生组合爆炸问题；

③ES 的容错能力较差，这使其处理在线环境中含噪声信息的能力较弱；

④ES 的知识获取能力较差，这是专家系统开发的一个瓶颈问题。

（2）人工神经网络（ANN）方法

近年来，国内外在 ANN 应用于电力系统故障诊断领域进行了大量的研究，基于 ANN 的故障

---

* 1995－01－23 收稿；国家自然科学基金和国家教委博士点科研基金资助项目。

顾雪平，男，1964 年生，硕士，讲师，主要研究领域为人工神经网络和专家系统在电力系统中的应用。

盛四清，男，1965 年生，讲师，在读博士生，主要从事电力系统故障诊断、专家系统和人工神经网络在电力系统中应用的科研工作。

张文勤，男，1935 年生，教授，主要从事电力系统分析与控制，电力系统稳定，专家系统、神经网络在电力系统中的应用等方面的科研和教学工作。

诊断系统具有执行速度快、鲁棒性好和学习功能强等特点。ANN 的响应时间与所求解问题的复杂性无关，然而，ANN 的某些缺点限制了 ANN 在线应用于大规模的电力系统。

①ANN 不具备表达电网拓扑结构的能力，一般仅能用于具有固定接线方式的小规模电网；

②ANN 与符号数据库交互的功能较弱（例如：ANN 难于同 SCADA 直接相连）；

③ANN 不擅长处理启发性知识；

④ANN 缺乏解释自身行为和输出结果的能力。

由于 ANN 和 ES 各有其自身的优缺点，以往孤立地对 ANN 或 ES 应用的研究都暴露出很大的局限性，所以将 ANN 和 ES 结合进行研究，开发神经网络专家系统（ANNES）已成为一个必然的趋势。目前，国内外都在着手进行这方面的研究[1~3]。本文研究了 ANN 和 ES 结合用于电力系统故障诊断的问题，提出了一个可以应用于大规模电力系统故障诊断的 ANNES 的实现方案。该 ANNES 结合三层前向神经网络和专家系统，包括故障诊断系统、知识获取系统、电网静态数据库的建立和维护系统、解释系统和人机界面系统，充分利用 ANN 和 ES 各自的特点，用 ANN 作为故障诊断系统的核心，故障诊断的知识库由 ANN 的连接权矩阵表达，ES 负责输入输出和解释功能，电网拓扑结构和保护配置用框架知识表达法形成电网静态数据库[4]，由 ANN 和 ES 结合构成的学习系统允许用户用故障实例训练 ANN，从而，ANNES 可方便地获取通用的故障诊断知识。基于该结构方案建造的神经网络专家系统综合了 ANN 和 ES 各自的优点，具有快速、容错和学习能力强等特点，将有可能在线应用于大规模电力系统的故障诊断。本文的实现方案，以辽西电网为对象，开发了一个用于故障诊断的原型系统，该电网包括约 20 个变电站和 40 余条线路，离线测试证明该方案是可行的。

2　电力系统故障诊断 ANNES 的总体结构

2.1　ANN 和 ES 的结合方式

研究 ANN 和 ES 结合运用的目的是充分利用 ES 的推理判断和知识表达能力及 ANN 的快速执行和学习能力，开发一个能在线运用于大规模电力系统的 ANNES。一个关键的问题是如何将两者有效地结合起来。目前研究表明，ANN 和 ES 的结合可通过两种途径实现。第一种途径是 ANN 和 ES 的全面统一，即由 ANN 全面代替 ES，完全用 ANN 来构成专家系统[2,5]。在这种方式中 ES 的知识表达和逻辑推理功能完全由 ANN 的数值运算来实现，该方式实现比较困难，并且实际上仅仅利用了 ANN，因而不能克服 ANN 的固有缺点；第二种途径是 ANN 和 ES 的局部结合[2]，该方式将 ANN 作为 ES 的功能模块，知识表达可由 ANN 和 ES 结合实现，由 ES 控制整个推理过程并负责 ANN 的输入输出，该种方式能综合 ANN 和 ES 的优点，实现也较容易，是一种比较可行的结合方式。

本文基于 ANN 和 ES 的局部结合方式提出了电力系统故障诊断 ANNES 的一种实现方法。该思路可由图 1 所示的模型来表达。

2.2　ANNES 的总体结构

一个用于电力系统故障诊断的通用神经网络专家系统的总体结构如图 2 所示。该神经网络专家系统包括（1）推理机；（2）ANN 运算器和连接权矩阵（ANNES 的知识库）；（3）静态数据库——电网拓扑结构与保护配置数据库；（4）动态数据库——包括实时信息、过程记录和推理结论等子数据库；（5）静态数据库管理系统；（6）学习系统（知识获取）；（7）解释系统和人机界面系统。

在该 ANNES 中，利用静态数据库管理系统，用户可方便地建造任何一个实际电网的静态数据库。然后，专家能够通过学习系统将其具有的故障诊断知识教授给神经网络专家系统。在完成

这些工作后，一个用于具体电力系统的神经网络专家系统即告完成。因此，该系统实际上是一个有效的专家系统开发工具。

基于 ANN 的系统不具备对自己行为的解释能力和与符号数据库的连接能力，以该 ANNES 中，解释系统和人机界面系统由 ES 构成。ES 负责系统和 SCADA 之间的接口，并对 ANN 的输入输出进行处理，对系统的行为和输出结果进行解释。

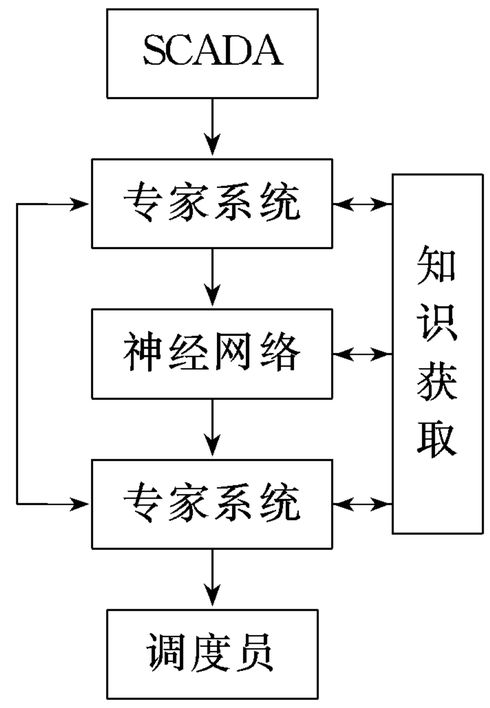

图1　ANN和ES的结合方式
Fig. 1　A way to integrate ES and ANN

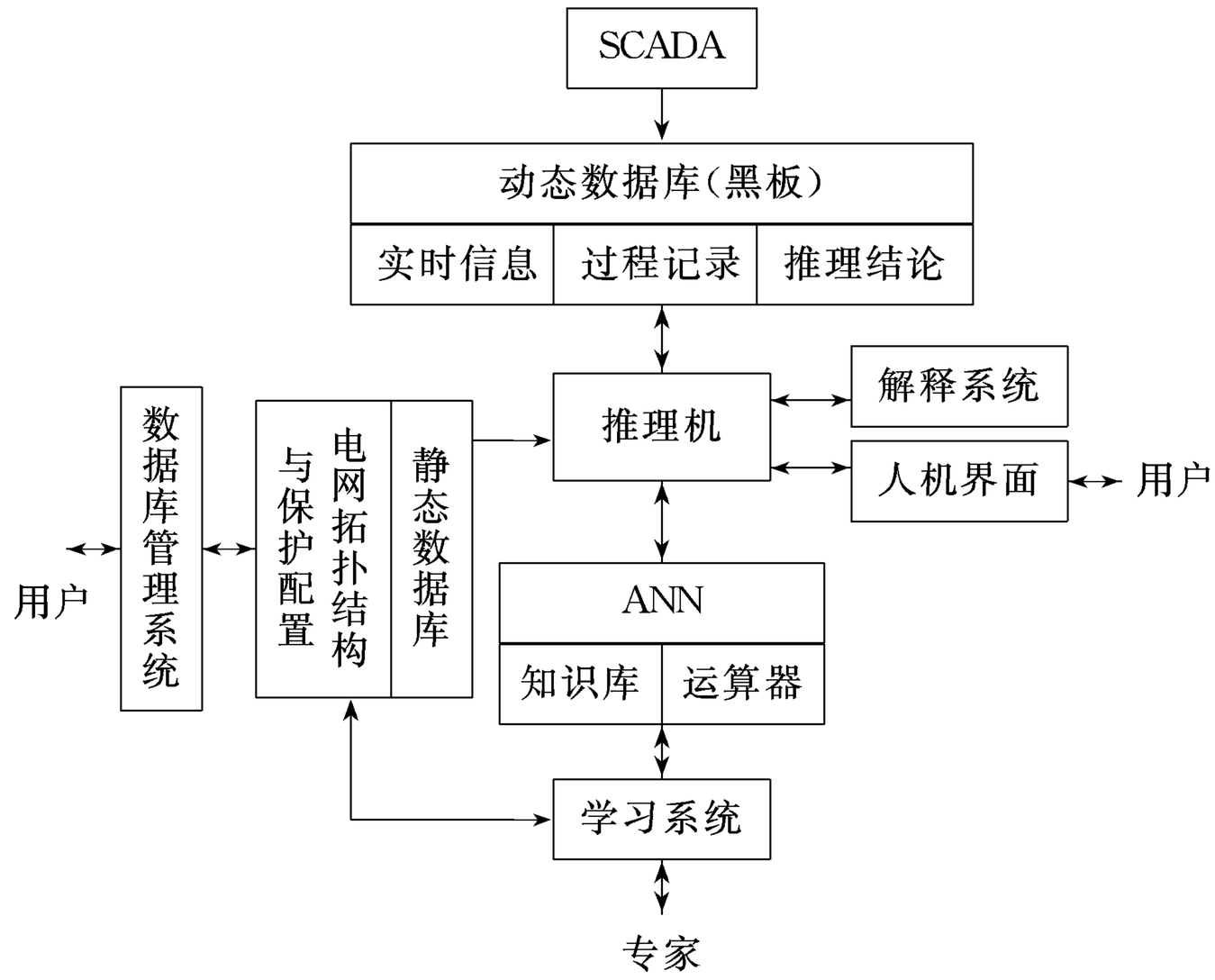

图2　神经网络专家系统的总体结构
Fig. 2　The general configuration of ANNES

3　ANN 模型和 ANNES 的知识库

ANNES 采用图 3 所示的三层 BP 网络作为诊断模块，其输入为经过 ES 处理的故障特征，输出为待诊断元件的故障状态。该诊断系统按电网元件的类型将 ANN 模块分为三类，他们是：(1) 用于母线故障诊断的 ANN；(2) 用于输电线路故障诊断的 ANN；(3) 用于变压器故障诊断的 ANN。ANNES 的电网故障诊断知识贮存在 ANN 的连接权矩阵中，权矩阵 **W** 即为知识库。在 ES 的控制下，ANN 模块对所有的可能故障元件依次进行诊断，最终找出真正的故障元件。

4　ANNES 的推理机构

神经网络专家系统的推理机是系统的核心，它负责控制整个推理流程，协调 ANN 和 ES 的工作。该系统的推理机采用模块化结构，由完成各种不同功能的 ES 模块和 ANN 模块组成。在推理过程中，推理机的各模块之间通过动态数据库或磁盘文件交换信息。推理机的结构如图 4 所示。

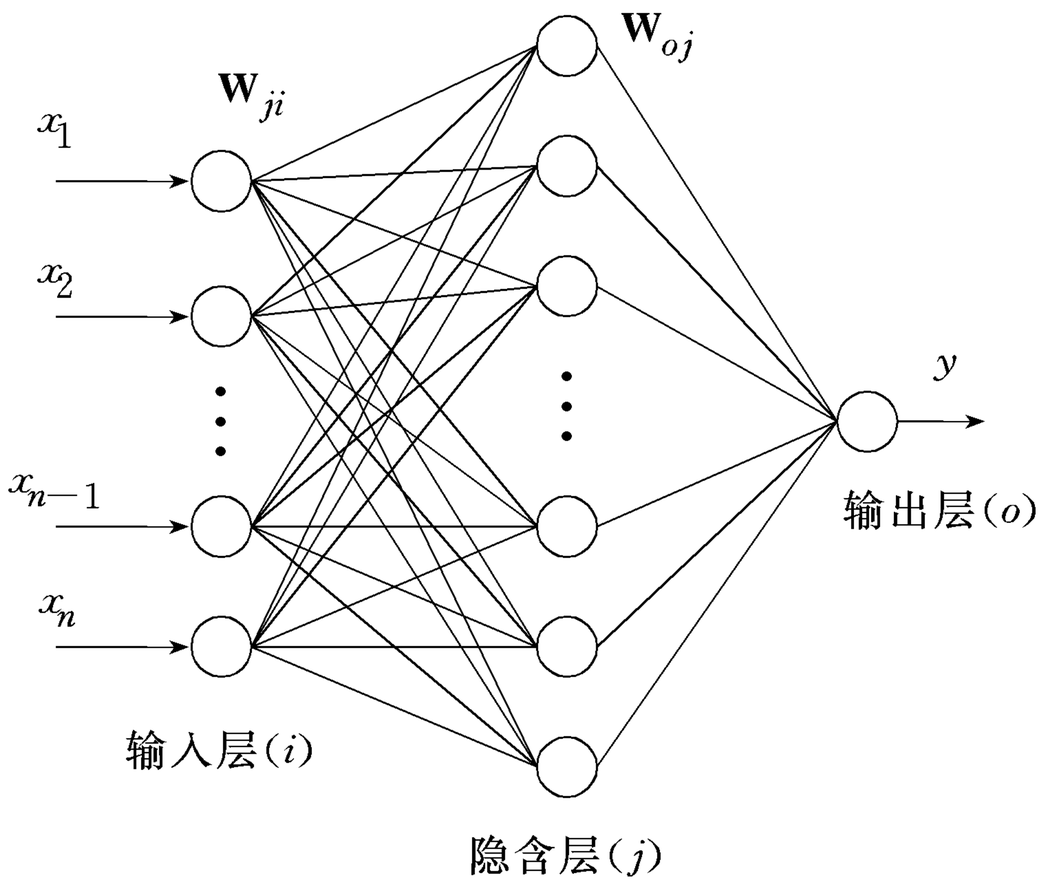

图3　三层前向ANN模型
Fig. 3　Three layer ANN model

5　ANNES 的电网静态数据库及其管理系统

5.1　通用的电网结构知识表达方法

ANNES 采用框架法表达电网的拓扑结构知识，这使得 ANNES 能用于大规模的电力系统克服了单独利用 ANN 时仅能用于小系统的缺点。文献 [4] 所提出的以电气设备为核心的电网结构知识的通用表达方法可表达任何电网的拓扑结构、保护配置和设备参数。

5.2 静态电网数据库及其管理系统

基于文献[4]的电网结构通用知识表达法，将电网的结构和设备参数表示为一个分层结构的静态数据库，数据库的结构如图5。为了方便数据库的建造和维护，ANNES诊断系统包括一个数据库管理系统，该管理系统，能方便地建造数据库，修改、扩充和查询数据库，并能对数据库的正确性和一致性进行验证。数据库管理系统的结构如图6。

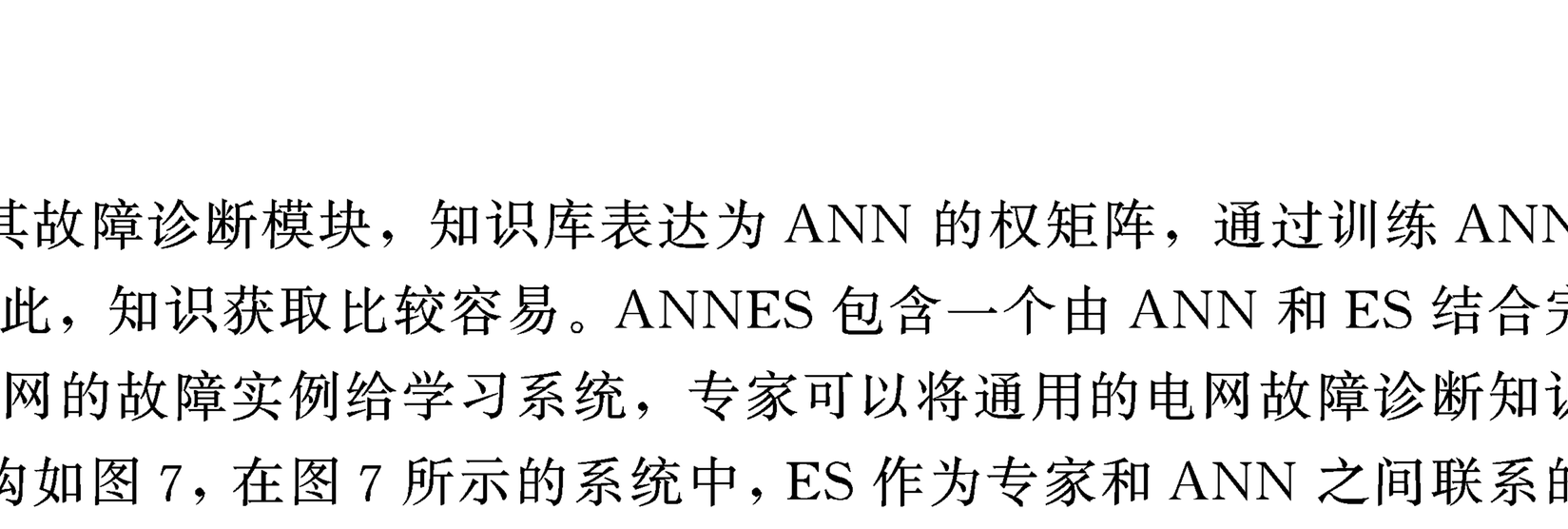

图4 推理机结构

Fig. 4 Architecture of inference engine

6 ANNES的学习系统

ANNES利用ANN作为其故障诊断模块，知识库表达为ANN的权矩阵，通过训练ANN修改其权矩阵完成知识获取，因此，知识获取比较容易。ANNES包含一个由ANN和ES结合完成的学习训练系统，通过输入电网的故障实例给学习系统，专家可以将通用的电网故障诊断知识教授给ANNES。学习系统的结构如图7，在图7所示的系统中，ES作为专家和ANN之间联系的桥梁，负责将故障实例转化为三类ANN的训练样本，并对样本进行检测和评估，然后ES调用合适的训练算法对三类ANN分别进行训练，产生含有通用的故障诊断知识的权矩阵(即ANNES的知识库)，在该系统中共有三个权矩阵代表三类不同元件的故障诊断知识库。

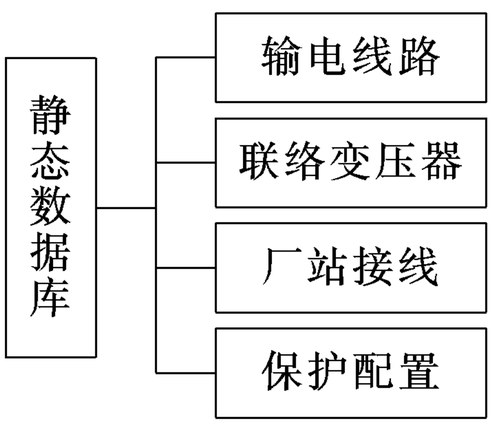

图5 电网静态数据库结构

Fig. 5 Static database of electric networks

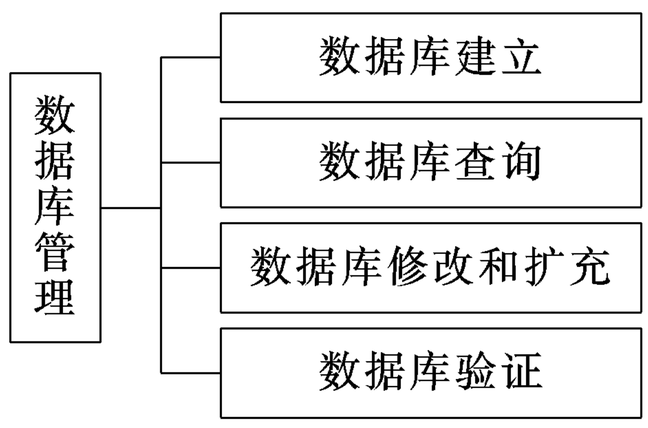

图6 数据库管理系统的结构

Fig. 6 Managing system of static database

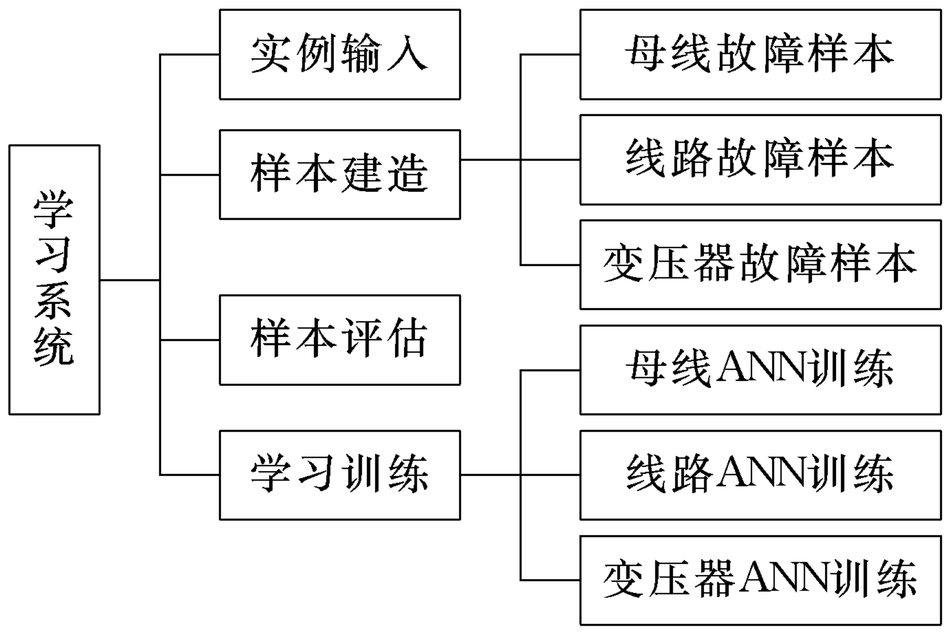

图7 学习系统结构

Fig. 7 Architecture of learning system

7 结论

本文提出了电力系统故障诊断ANNES的一种结构方案，用该结构方案可较方便地构造用于电力系统故障诊断的ANNES，该方法结合运用ANN和ES两者的优点，可有效地提高专家系统的运行速度、容错能力和学习能力。基于该方案开发了辽西电网故障诊断原型系统，证明本文提出的实现方案是可行的，这对大规模电力系统在线故障诊断问题的解决具有重要意义。

参 考 文 献

1 Gu X P, Yang Y H, Zhang W Q et al. Integration of Artificial Neural Networks and Expert Systems for Power System Fault Diagnosis. Proc of IPEC' 95, Singapore: 1995.2

2 何 定，唐国庆，陈 珩. 神经元网络、专家系统及其结合的研究. 全国高校电自专业第九届学术年会论文集. 南京：东南大学，1992.10

(下转第64页)

（上接第 29 页）

3 Khosla R, Dillon T. A Neuro—Expert SApproach to Power System Problems. Proc of ESAP' 93, Australia: 1993.1

4 盛四清，张文勤，顾雪平. 用于事故处理的电网结构知识的通用表达方法. 全国高校电自专业第九届学术年会论文集. 重庆大学，1993.11

5 焦李成. 神经网络系统理论. 西安电子科技大学出版社，1991

AN APPROACH TO BUILD EXPERT SYSTEMS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR POWER SYSTEM FAULT DIAGNOSIS

Gu Xueping, Sheng Siqing, Zhang Wenqin, Gao Shu, Yang Yihan

(North China Institute of Electric Power, Baoding)

Abstract This paper describes how to integrate ANN with ES for power system fault diagnosis. A feasible approach is presented to build an ANNES for power system fault diagnosis. In the approach, local mergence of ANN and ES is employed. Three layer BP networks are employed as main roles to diagnose fault elements, an hybrid ANNES can be built by means of the combination of ES and ANN. The advantages of ANN and ES are fully employed in the ANNES. Therefore, the ANNES is more powerful than a traditional expert system.

Keywords neural network expert system fault diagnosis expert system tools power system