

基于 MATLAB6.5

毕业设计说明书

题目：基于神经网络的光伏电池建模

姓名：王晔楠

导师：仲志丹

学校：河南科技大学

学院：机电工程学院

专业：机械设计及其自动化

2008 年 5 月

前 言

太阳能电池根据光生伏特效应原理,将太阳光能直接转化为电能,在转化过程中,没有污染和噪声。太阳能是可再生能源,利用这种能源不仅能够减少燃料损耗,还可以改善环境污染和全球变暖给人类生存所带来的威胁,因而越来越受到人们的关注。

太阳电池阵列(也称为光伏阵)本质上是一种高度非线性功率源。其功率输出主要随太阳能日照和电池温度的变化而变化。目前已建立的模型大多是基于光伏阵的物理模型进行建模,对系统功率流进行计算,从而对系统的长期稳态性能进行评价。然而,这种方法需要有太阳电池和生产规格等详细的物理参数。对于用户而言,这些参数不容易获得,而且推导出的数学模型不一定准确,因此基于此法预测的最大功率点与实际情况相差较大[1]。其建模精度极为有限,而且这些模型表达式过于复杂,难以满足工程上对光伏系统的实时控制要求。

人工神经网络建模不需要任何光伏阵物理定义,因此在电力系统工程中吸引了人们越来越多的注意,大量的神经网络技术应用于光伏系统中[2~4]。这些方法大多采用反向传播多层感知器型神经网络(MLP - BP),然而,在训练中存在局部极值,不能建立最优模型或者不适用于特殊的系统。

基于以上原因,本文采用改进的BP神经网络辨识方法对光伏电池进行辨识建模,以太阳能日照、温度以及负载电压作为神经网络辨识模型的输入量,光伏电池输出电流为输出量,根据实验的输入输出数据建立光伏系统的电压/电流模型。实验结果表明,与传统的数学模型相比,BP建模的精度较高,训练时间短,更重要的是建模过程避免了复杂的解析建模,通过神经网络的计算,可以快速地得到电堆的输入/输出特性。这说明基于BP神经网络技术建立光伏阵这一个复杂非线性系统的模型是可行的

基于神经网络的光伏电池建模

摘 要

由于光伏电池具有高度非线性特性,难以建模,而传统的数学模型难以满足光伏控制系统设计和应用的要求。该文利用神经网络具有逼近任意复杂非线性函数的能力,将神经网络技术应用到光伏阵的建模中,避开了该模块内部的复杂性。

模型以太阳能日照、温度以及负载电压作为神经网络辨识模型的输入量,光伏阵输出电流为输出量,采用改进型BP算法,建立了光伏电池的动态响应模型,然后预测了最大功率点。文中给出模型的结构,训练步骤和仿真结果。仿真结果表明,方法可行,建立的模型精度较高,从而为设计光伏实时控制系统奠定了基础。

关键词: 光伏电池;神经网络;建模

Modeling of Photovoltaic - Array Based on Improved BP Neural Networks Identification

ABSTRACT

For the serious complexity of photovoltaic array (PV) , modeling of it is very difficult and the existing models are too complicated to be applied to designing and controlling the system, especially to online controlling.

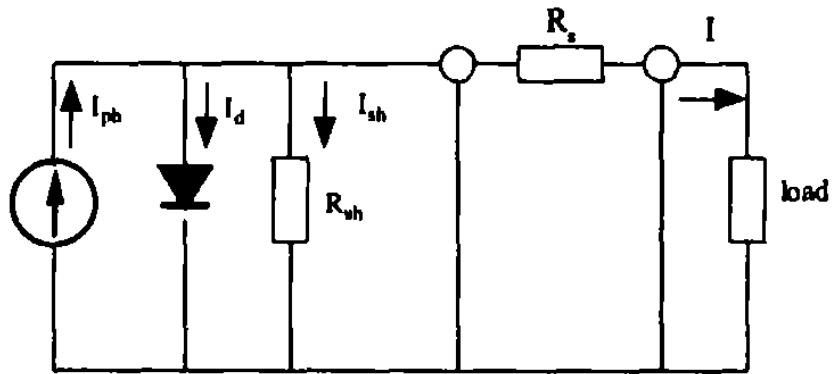
In this paper, we try to establish a voltage and current model of PV array by using neural networks identification techniques. The temperature, radiation and voltage of the solar cells are taken as the input and the current as the output of the neural networks model. In this way, we can avoid the internal complexity of PV module. The 595 group's experimental data are used, and the structure and the novel BP algorithm of neural networks identification system are given.

The validity and accuracy of the model are proved by the simulation results. The neural networks modeling makes it possible to design on - line controller of PV system.

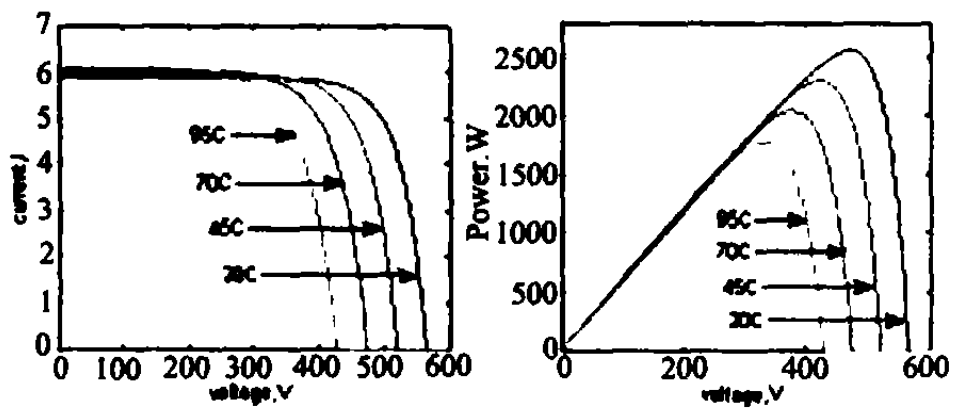
KEYWORDS: Photovoltaic array; Neural network; Modeling

目录

第一章 概述	6
§ 1.2. 国内外同类设计（或同类研究）的概况综述	7



.....0
图 1 单个光伏电池等效电路0



.....1
图 3 典型光伏电池 V - I、P - V 特性随温度变化曲线 ..1
第三章光伏电池的数学模型2

§3.1 光伏电池的数学模型的建立	2
总 结	26
参 考 文 献	27
致 谢	29
附 录	30

第一章 概述

§ 1.1 设计（或研究）的依据与意义

太阳能可以不分地域地辐射到地球的每一个角落，从而成为 21 世纪最具大规模开发潜力的新能源之一。在中国，太阳能资源较好的地区占国土面积 2/3 以上，主要集中在西部地区，尤其是西北和青藏高原，年平均日照时间在 2200 小时以上；中国陆地每年接受的太阳辐射量约合 24000 亿吨标准煤。

太阳能的转换利用方式有光-热转换、光-电转换和光-化学转换等三种方式。接收或聚集太阳能使之转换为热能，然后用于生产和生活的一些方面，是光-热转换即太阳能热利用的基本方式。太阳能热水系统是目前太阳能热利用的主要形式，它是利用太阳能将水加热储于水箱中以便利用的装置。利用光生伏打效应原理制成的光伏电池，可将太阳光能直接转换成电能加以利用，称为光电转换，即光伏发电。光化学转变尚处于研究试验阶段，这种转换技术包括光伏电池电极化水制氢、利用氢氧化钙和金属氢化物热分解储能等。

光伏发电应用首先要解决的是怎样将太阳能转换为电能。光伏电池就是利用半导体光伏效应制成，它是一种将太阳辐射能直接转换为电能的转换器件。由若干个这种器件封装成光伏电池组件，再根据需要将若干个组件组合成一定功率的光伏阵列，并与储能、测量、控制等装置相配套，即构成光伏发电系统。

中国是世界上最大的发展中国家，人口众多，工业化任务远未完成。国民经济建设的发展，人民生活水平的提高，社会各项事业的进步，必将对能源的供应提出更多、更高的要求。中国光伏发电的需求量巨大，市场广阔。各方面的预测表明，21世纪中叶太阳能将成为中国能源直接供应的一支主力军。

光伏发电已成为现实，并在全球范围内迅猛发展。如果说石化能源是21世纪的能源主体，那么可以说以太阳能为主体的新能源将成为21世纪人类能源的主体，“掌握了未来的能源就掌握了人类未来的命运”，光伏发电的时代正在向我们走来！

1. § 1.2. 国内外同类设计（或同类研究）的情况综述

当今世界各国尤其是发达国家对于光伏发电技术十分重视，针对其制定规划，增加投入，大力发展。美国能源部于1990年开始启动光伏制造技术的产业化计划，通过国家可再生能源实验室实施，并成立了国家PV中心，与产业界、大学和研究机构联合进行研究，以大幅度降低光伏电池的生产成本。这一计划的实施，已取得明显效果：商品化晶体硅光伏电池组件的光电转化效率达到12%-14%；生产规模从过去的1-5MWp/年发展到5-20MWp/年；生产工艺不断简化，自动化程度不断提高。在日本和欧盟各国，也有类似计划。2000年以来，世界晶体硅光伏组件的生产成本降低了32%以上，达到3美元/Wp左右。

紧紧围绕降低光伏发电成本的各种研究开发工作一直在发达国家中紧张地进行，其中以晶体硅材料为基础的高效光伏电池和各种薄膜光伏电池为基础的研究工作是热点课题。澳大利亚新南威尔士大学研制的高效单晶硅光伏电池效率已达 24.7%，美国、日本和德国也达到了 23%。薄膜光伏电池的研究工作主要集中在非晶硅薄膜光伏电池、CdTe 系光伏电池和多晶硅薄膜光伏电池等。非晶硅薄膜光伏电池主要是通过双结和三结迭层光伏电池克服衰减和提高效率。经过努力，已有许多新的突破，目前实验室效率已经超过 10%。CdTe 系光伏电池效率已达到 15.8%，CIS 系光伏电池效率已达到 17%，而且都已有了光伏电池效率约为 10%的中试生产线。多晶硅薄膜光伏电池的实验室效率已超过 17%，成为世界关注的新热点。美国、日本和俄罗斯等国均投入大量资金进行空间太阳能电站的研究试验，以期大规模利用太阳能为人类提供源源不断的电力，其前景十分诱人。光伏发电与建筑相结合是目前世界上大规模利用光伏技术发电的研究开发热点，美国、日本和欧盟各国都在作为重点项目积极地进行，除在屋顶安装光伏电池外，已推出把光伏电池装在瓦片内的产品和光伏幕墙。

从 20 世纪 70 年代中后期开始,光伏技术得到不断地完善，成本不断降低，形成了不断发展的光伏技术产业，成为 21 世纪世界能源舞台上的主要成员之一。

第二章 光伏电池特性

§ 2.1 光伏电池的电特性

§ 2.1.1 等效电路

光伏电池阵列由太阳电池串联和/或并联连接而成。每一个电池本质上是一个 P - N 结, 直接将光能转换成电能。

当太阳电池接上负载时, 光生电流流经负载, 并在负载两端建起端电压, 这时太阳电池的工作情况可用图 1 所示的等效电路来描述

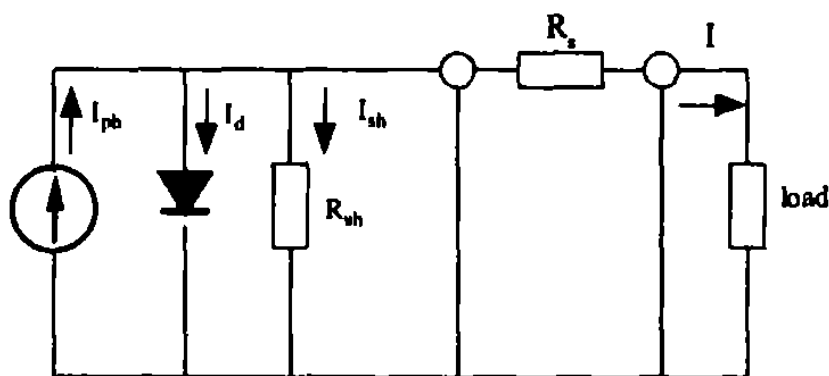


图 1 单个光伏电池等效电路

其中, I_{ph} 为光生电流。 I_{ph} 值正比于光伏电池的面积和入射光的辐照度。 1cm 光伏电池的 I_{ph} 值均为 $16\sim 30\text{mA}$ 。 I_d 为暗电流。无光照下的光伏电池的基本行为特性就类似于一个普通二极管。所谓暗电流指的是光伏电池在无光照时, 由外电压作用下 P-N 结自身所能产生的总扩散电流的变化情况。 I 为光伏电池输出的负载电流。 R_s 为电池的外负载电阻。 R_s 为串联电阻。一般小于 1Ω 。它主要有电池的体电阻、表面电阻、电极导体电阻、电极与硅表面间接触电阻和金属导体电阻等组成。 R_{sh} 为旁路电阻, 一般为几千欧。它主要是由电池表面污浊和半导体晶体缺陷引起的漏电流所对应的 P-N 结漏泄电阻和电池边缘的漏泄电阻等组成。

典型的光伏电池 $V - I$ 、 $P - V$ 特性如图 2, 图 3 所示。图 1 表示 $I - V$ 、 $P - V$ 随太阳辐射变化而变化的规律。图 2 表示 $V - I$ 、 $P -$

V 随环境温度变化的规律。从 V - I 特性曲线上可以看出, 太阳能电池既非恒压源, 也非恒流源, 也不可能为负载提供任意大的功率, 是一种高度非线性的直流电源。在一定的太阳日照下, 该曲线完全由电池的 P - N 结特性和电阻分散参数确定。

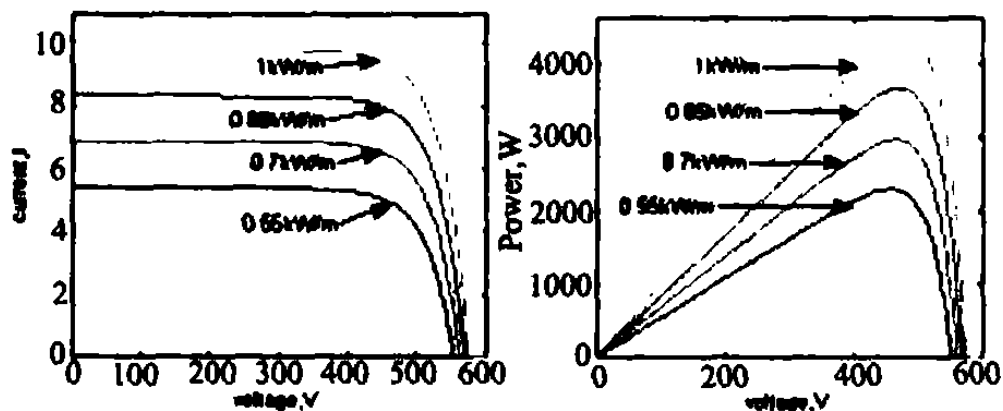


图 2 典型光伏电池 V - I、P - V 特性随太阳辐射强度变化曲线

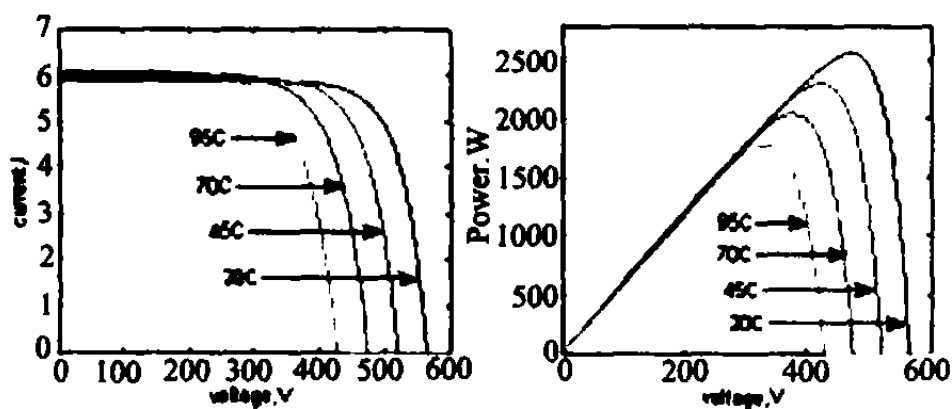


图 3 典型光伏电池 V - I、P - V 特性随温度变化曲线

§ 2.2 光伏电池的外特性

光伏电池工作环境的多种外部因素

, 如光照强度/环境温度/粒子辐射等都会对电池的性能指标带来影响, 而且温度的影响和光照强度的影响还常常同时存在. 为了保证光伏电池具有较高的工作效率和较稳定的性能, 其制造工艺、组合安装、以及在设计配套的控制系統时, 都要考虑改善光伏電池外特性的问题。

第三章光伏電池的数学模型

§ 3.1 光伏電池的数学模型的建立

光伏势能在本质上来说是存在于 2 种特殊物质之间的电子化学势能差(Fermi level), 当这 2 种物质结合在一起时, 它们之间的结将达到一个新的热动力平衡, 只有当这 2 种物质中的 Fermi level 相等时, 平衡才能达到。为了获得高功率, 需将许多的光伏電池串并联形成光伏模块直至光伏阵列。光伏電池的 I-U、P-U 曲线是随光照强度、温度变化的非线性曲线。

光伏電池的等值电路模型一般有 3 种。第 1 种是光伏電池的简单电路模型, 不考虑任何电阻, 该模型有利于理论研究, 适宜于复杂的光伏发电系统仿真; 第 2 种方法是只考虑光伏電池并联电阻的模型, 该模型精度稍高, 在实际应用中并不常见; 第 3 种是既考虑并联电阻, 又考虑串联电阻的较精确仿真模型, 其等值电路模型如图 1 所示。

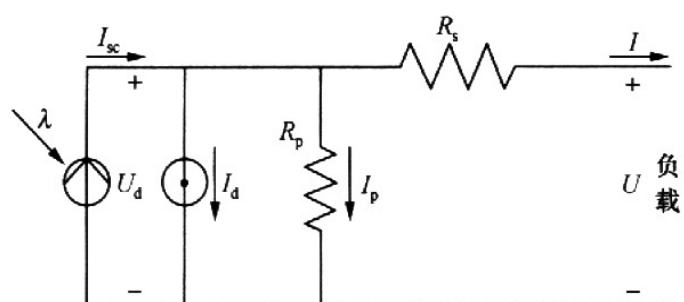


图 1 单个光伏电池精确的等值电路

根据如图 1 所示的光伏电池等值电路模型，应用 Kirchhoff 电流定律，可得流过负载的电流 I 与其端口电压 U 之间的关系

$$I = I_{sc} - I_o \left\{ \exp \left[\frac{q(U + IR_s)}{AkT} \right] - 1 \right\} - \left(\frac{U + IR_s}{R_p} \right), \quad (1)$$

其中： R_s 为光伏电池的内阻； R_p 为光伏电池的并联电阻。一般来说，质量好的硅晶片 $1 \text{ cm}^2 R_s$ 约在 $7.7 \sim 15.3 \text{ m}\Omega$ 之间， R_p 在 200 至 300Ω 之间。 I_o 为流过二极管的反向饱和漏电流； q 为电荷量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ； K 是 Boltzmann 常数，值为 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ； T 为光伏阵列的工作温度，单位为 K ； A 为二极管的理想常数，其值在 $1 \sim 2$ 之间变化。

式(1)是一超越方程，利用该式不可能求出负载电压 U 或电流 I 的显性表达式，常规方法是利用 Newton 迭代法求解。应用表格法求解，即

$$U_d = U + IR_s. \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得

$$I = I_{sc} - I_o \left[\exp \left(\frac{qU_d}{AkT} \right) - 1 \right] - \frac{U_d}{R_p}. \quad (3)$$

这样，将 U_d 的一系列连续增加的值放入表格的第 1 栏中，对于每一个确定的 U_d 值，可以非常容易得到一系列的与 U_d 相对应的电流 I 值，可得电压

$$U = U_d - IR_s. \quad (4)$$

利用 U_d 的值进行巧妙过渡，避免了直接利用 Newton 迭代法求解，可得到 I - U 、 P - U 曲线。在上述方程中，短路电流 I_{sc} 与光照强度成正比，这样可以非常容易得到光伏阵列在一系列不同光照强度下所形成的 I - U 曲线。

当光伏电池模板的温度升高时，光伏电池的短路电流将增加，而开路电压则会下降，根据经验应用式(5)对光伏电池的温度效应进行建模，并设在标准参考温度时，短路电流为 I_s ，开路电压为 U_{os} ，光伏模块的温度增加量为 ΔT ，有：

$$I_{sc} = I_s(1 + \alpha\Delta T), \quad U_{oc} = U_{os}(1 - \beta\Delta T). \quad (5)$$

如典型的单晶硅， α 为 $500 \mu A / ^\circ C$ ， β 为 $5 mV / ^\circ C$ 。因为增加的电流小于减少的电压量，温度每上升 $1^\circ C$ ，所以光伏电池的功率损失约为 0.45% 。

综上所述，根据光伏电池的伏安特性曲线的分析,以及光伏电池的物理模型,建立其数学模型：

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp(qV_j/nkT) - 1 \right] - (V + IR_s)/R_{sh}$$

$$\text{当 } R_{sh} \gg R_s \text{ 时, } I = I_{ph} - I_o [\exp \{q (V + IR_s) / AKT\} - 1]$$

$$\text{其中, } I_o = I_{or}\{T/T_r\}^3 \exp\{qEG/KA(1/T_r - 1/T)\} \quad (3)$$

$$I_{ph} = \{ I_{scr} + k_i (T - T_r) \} \lambda / 100 \quad (4)$$

在等式(4) 中,相电流 I_{ph} 与太阳日照 λ 成正比。 I_o 是反相饱和电流,随温度 T 的变化而变化。 R_s 是串联电阻。 R_{sh} 是并联电阻,表明电子穿过 $P - N$ 结时产生的电流损失。

由于一个光伏阵通常由几组太阳电池串联和/ 或并联连接而成,因此一个光伏阵等效的数学模型通常表示为：

$$I(1 + R_s/R_{sh}) = n_p I_{ph} - n_p I_o [\exp\{q (V + IR_s) / AKT\} - 1] - (V/n_s + IR_s)/R_{sh} \quad (5)$$

其中, n_s 表示太阳电池串联的数目。 n_p 为并联的数目。

光伏阵的输出功率是电流与终端电压的乘积,其数学表达式为:

$$P = n p I_{ph} V - n p I_0 [\exp \{ q (V + I R_s) / A K T \} - 1] V - (V / n s + I R_s) V / R_{sh} \quad (6)$$

§ 3.2 数学模型的优缺点

通过基于外特性的光伏阵列模型的数学描述以及其对光复阵列的模拟效果来看，该模型具有以下优缺点。

优点：

- ① 模型基于光复阵列的外特性，模型较简单。
- ② 参数不与光伏阵列的内部物理参数对应，常规电路仿真用户解读容易。
- ③ 模型参数与光伏阵列的内部物理参数的常规参数基本对应，参数求解容易。
- ④ 子电路接口简单，易于用于电路仿真。

缺点：

- ① 不考虑光伏阵列物理本质，不能精确反映其物理特性。
- ② 模型参数不与实际参数对应，仿真精度较低。
- ③ 对温度、光照等外围参数设定较困难。

虽然基于外特性的光伏阵列模型在仿真精度上存在着一定的不足，但其模型简单，容易理解，参数求解简单，基本反映了光复阵列的特性。在仿真应用中，具有一定的使用价值。

第四章 人工神经网络

人工神经网络是集脑科学、神经心理学和信息科学等多学科的交叉研究领域，是近年来高科技领域的一个研究热点。它的研究目标是通过研究人脑的组成机理和思维方式，探索人类智能的奥秘，进而通过模拟人脑的结构和工作模式，使机器具有类似人类的智能。它已在模式识别、机器学习、专家系统等多个方面得到应用，成为人工智能研究中的活跃领域。本章将简要介绍神经网络基本的概念、模型以及学习算法。

4.1 神经网络的基本概念及组成特性

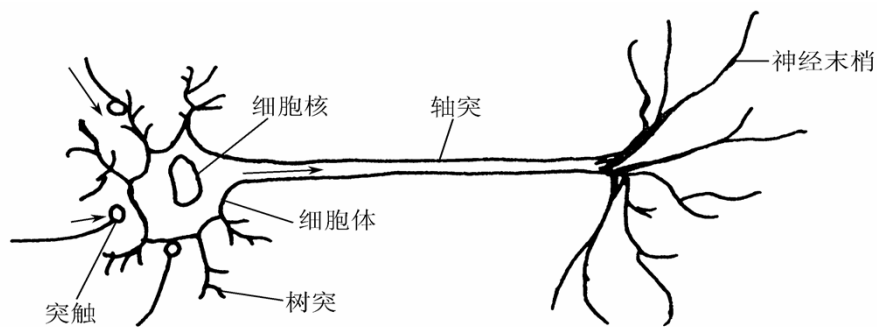
4.1.1 生物神经元的结构与功能特性

1. 生物神经元的结构

神经细胞是构成神经系统的基本单元，称之为生物神经元，简称

神经元。神经元主要由三部分构成：

(1) 细胞体 (2) 轴突 (3) 树突 (如图9.1)



突触是神经元之间相互连接的接口部分，即一个神经元的神经末梢与另一个神经元的树突相接触的交界面，位于神经元的神经末梢尾端。突触是轴突的终端。

2. 神经元的功能特性

- (1) 时空整合功能。
- (2) 神经元的动态极化性。
- (3) 兴奋与抑制状态。
- (4) 结构的可塑性。
- (5) 脉冲与电位信号的转换。
- (6) 突触延期和不不应期。
- (7) 学习、遗忘和疲劳。

4.1.2 人工神经网络的组成与结构

1. 人工神经网络的组成

人工神经网络（简称ANN）是由大量处理单元经广泛互连而组成的人工网络，用来模拟脑神经系统的结构和功能。而这些处理单元把它称为人工神经元。

人工神经网络ANN可看成是以人工神经元为节点，用有向加权弧连接起来的有向图。在此有向图中，人工神经元就是神经元的模拟，而有向弧则是突触—树突对的模拟。有向弧的权值表示相互连接的两个神经元间相互作用的强弱。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/507065024024006143>