

智能变电站

运行与维护

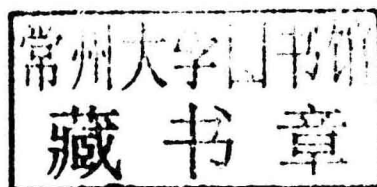
宁夏电力公司教育培训中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能变电站 运行与维护

宁夏电力公司教育培训中心 编



内 容 提 要

本书依据国家及行业标准系统地阐述了智能变电站设备基本原理,以及设备运行及维护的方法和要求。主要内容有电子式互感器、智能终端、数字化继电保护及装置、智能变电站的通信网络系统、变电设备在线监测。

本书可作为变电运行、变电检修、继电保护及自动化专业岗位职工的培训教材,也可作为电力系统及自动化专业本、专科教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站运行与维护/宁夏电力公司教育培训中心编. —北京:中国电力出版社,2012.10

ISBN 978-7-5123-3644-5

I. ①智… II. ①宁… III. ①变电所-电力系统运行-维护 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第247727号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年11月第一版 2012年11月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 272千字

印数0001—3000册 定价36.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《智能变电站运行与维护》

编 委 会

主 任 唐 平

副 主 任 施江辉 王波海

成 员 张莉君 尹正伏 杨新勇 姜纪宁
刘岳玲

编写组组长 马全福

成 员 杨慧丽 闫敬东 杨小龙 耿卫星
刘春玲



序

有幸为宁夏电力公司教育培训中心自主研究编写的《智能变电站运行与维护》一书写序。智能化是社会发展的必然方向，建设坚强智能电网更是经济社会智能化的重要前提。2009年5月，在北京召开的“2009特高压输电技术国际会议”上，国家电网公司正式发布了“坚强智能电网”发展战略。同时国家电网公司开展了建设坚强智能电网课题的研究，提出了坚强智能电网的总体发展目标及其基本特征和内涵。智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑，是电网运行数据的采集源头和命令执行单元，与其他环节联系紧密，是统一坚强智能电网安全、优质、经济运行的重要保障。

现阶段智能变电站采用“一次设备+智能终端+传感器”的模式实现一次设备智能化，以及对一次设备的在线监测和状态检修；采用“常规互感器+合并单元”模式实现信息采集数字化，部分变电站采用了电子式互感器；变电站自动化系统采用“三层两网”结构，保护采用直采直跳方案；对少量二次设备进行优化整合，如在110kV电压等级采用保护测控一体化集成装置；配置顺序控制、智能告警与分析等高级应用功能。

智能变电站的整体建设实施工作在国家电网公司“统筹规划、统一标准、试点先行、整体推进”工作方针的指导下，按照“统一规划、统一标准、统一建设”的工作原则，在不同电压等级、不同地域选取新建或改造变电站作为试点工程，所有试点工程均已投产，标志着智能变电站建设试点工作结束，取得了阶段性的成果。在不断完善和推进的过程中，2012年智能变电站建设进入了全面推进阶段。

目前，智能变电站运行管理的培训工作大都以专题性为主。而本书则是由宁夏电力公司教育培训中心多年从事电网运行、检修的培训师组成研究编写组，历经近两年的时间，从理论学习研究、现场实践总结到系统组织编纂的专业智能变电站培训教材，有助于促进电网智能化知识的普及，并可有效解决专业培训和现场工作的学习需要。宁夏回族自治区在电力发展和电网建设方面不断取得新成效，电网智能变电站试点工作建设的3座智能变电站均已投入运行，今年还将有近10座智能变电站投入运行，《智能变电站运行与维护》一书的出版恰逢其时。该书的出版将为渴望学习智能电网和智能变电站运

行管理相关知识的人员带来极大方便，同时也是对参与研究、编写的工作人员的莫大肯定。在此，深深地感谢该书编写人员的辛勤劳动，也由衷希望该书能够帮助广大读者在学习研究中获得启迪。

A handwritten signature in black ink, consisting of two characters: '唐平' (Tang Ping).

2012年10月

前言

智能变电站是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求，自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能，并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站。

智能变电站的智能主要体现在智能设备和智能高级应用两个方面。智能设备是指一次设备和智能组件的有机结合。其中，智能组件是二次设备的统称，包括测控装置、保护装置、状态监测装置、智能终端等，也可以是几个装置的集合，如 GIS 汇控柜、屏柜等。这些智能组件就像一次设备的“管家”，帮助一次设备做好传输和分配电能的工作，还具有测量、控制、保护、计量等功能。

智能高级应用方面，目前，传统的变电站已经实现了自动化，但是相对于调度机构来说很“听话”，也是被动的，而智能变电站则可以与调度机构友好互动。因为智能组件的广泛应用，智能变电站采集的数据是全景式的，因而信息量非常大，但这些数据不是不加分析就传输给电网调度机构，而是通过站内的信息一体化平台及变电站自动化系统高级应用模块，对数据进行初步的挖掘、分析，实现智能告警、顺序控制、设备状态可视化、事故综合分析决策等。例如，通过对变压器在线检测的运行数据进行分析可发现设备存在的隐患，系统会进行统计评估，对越限值发出告警信息。

智能变电站强调全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化。此外，还具有功能集成化、结构紧凑化、状态可视化等显著技术特征，易扩展、易升级、易改造、易维护，被认为是变电站发展历史上的一次革命。

随着光电技术的研究在传感器应用领域的突破，IEC 61850 标准的颁布实施，以太网通信技术的应用，以及智能断路器技术的发展，变电站自动化技术有了崭新的发展机遇。这些相关技术的发展和应用实现了变电站内各种信息的有机整合，提高了系统的集成化度和信息应用的效率，以交换式以太网技术和光缆为媒介的信息通信模式将有效地实现整个变电站自动化系统的运行监视，一、二次系统定期检修向状态检修模式的过渡，并将对常规变电站自动化系统的工程实施、运行、检修、更新模式产生巨大的影响，同时能够提高电网的安全运行水平。

本书在编写过程中通过对国内多家公司进行的智能变电站数字化技术的研讨，了解了国外主要制造商开展智能变电站数字化技术研究和应用的情况。

由于编者对于智能变电站应用技术的理解程度有限，书中许多观点需在未来智能变

电站的运行中进一步验证和完善，希望能对智能变电站运行与维护工作起到积极作用。

目前，国内缺少讲述智能变电站相关设备调试、运行、检修和维护方面的著作，本书则对这些方面作了较详细的介绍，并具有以下特点：

(1) 理论联系实际，以国家和行业标准、规范为依据，以理论为指导，结合当前智能变电站二次系统出厂前的联合调试情况，系统介绍各类智能设备的结构原理、调试情况，以及设备运行和维护等方面的技术知识。

(2) 内容丰富，涵盖了智能变电站涉及主要设备的结构原理、运行维护的技术知识。

(3) 适用范围广，可作为变电专业岗位职工的培训教材，也可作为电力系统相关专业本、专科的教材。

本书共分六章。第一、六章由杨慧丽编写；第二章由马全福编写；第三章由闫敬东编写；第四章由杨小龙编写；第五章由耿卫星、刘春玲编写。全书由马全福统稿并担任主编。

本书在编写过程中，得到了各方面的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者
2012年9月

目录

序 前言

第一章 概述	1
第一节 智能变电站简介	2
第二节 一次设备智能化简介及设计原则	3
第二章 电子式互感器	7
第一节 概述	7
第二节 电子式电流/电压互感器	23
第三节 光电式电流/电压互感器	26
第四节 组合式电子电流/电压互感器	38
第五节 电子式互感器的数据接口	42
第六节 电子式互感器的测试	46
第七节 电子式互感器对二次系统的影响	48
第八节 运行与维护	55
第三章 智能终端	66
第一节 智能终端的基本原理	66
第二节 智能一次设备	80
第三节 智能终端的运行与维护	89
第四章 数字化继电保护及装置	94
第一节 数字化继电保护概述	94
第二节 数字化继电保护及自动装置	98
第三节 数字化继电保护实施方案	103
第四节 数字化继电保护测试技术	108
第五章 智能变电站的通信网络系统	112
第一节 IEC 61850 标准	112

第二节	基于 IEC 61850 标准的智能变电站通信网络系统	134
第三节	IEC 61850 工程配置及调试	158
第六章	变电设备在线监测	162
第一节	系统概述	162
第二节	变压器（电抗器）在线监测	167
第三节	断路器（GIS）在线监测	176
第四节	避雷器在线监测	181
第五节	容性设备在线监测	183
第六节	软件系统设计	185
参考文献	188



第一章

概 述

智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑,属于变电领域的前沿技术,是国家电网公司根据智能电网的发展趋势及关键设备的研究经验提出的国际首创的技术体系。在智能变电站中,高压设备是电网的基本单元,高压设备智能化(简称智能设备)是智能电网的重要组成部分,也是区别传统电网的主要标志之一。智能设备不仅仅是测量与控制方面的技术革新,而且对变电站设计、电网运行乃至高压设备本身的技术发展,都有重大影响。智能设备将使整个变电站向更加简约、可靠和智能的方向发展。智能设备是附加了智能组件的高压设备。智能组件可通过状态感知和指令执行元件,实现状态的可视化、控制的网络化和自动化,为智能电网提供最基础的功能支撑。变压器、电抗器、断路器、封闭式组合电器 GIS、电力电缆、高压套管等高压设备,或故障率相对较高,或故障影响较大,具有自检测的需求,但是传统的高压设备是静态、孤立的系统,对于自身的运行状态缺乏有效的判断手段。而智能组件应能反映智能化的基本思想:“自我参量检测、就地综合评估、实时状态预报”,这与原有的高压设备、监测设备的结构形式及功能实现方式有根本性的区别。

根据智能电网的发展目标及智能设备在电网中的作用,对智能设备总的要求是测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化、信息互动化。原有的在线监测系统在结构和功能上都需要有全面的提升。智能组件中的在线监测功能组应具有以下特点:

(1) 系统架构网络化。站内系统架构按照站控层、间隔层、过程层三层二网结构,即 Q/GDW 383—2009《智能变电站技术导则》中规定的系统层及设备层两层网络结构,系统按照 IEC 61850 协议进行网络化的数据传输和网络化控制。

(2) 监测信息数字化。对高压设备本体或部件进行智能控制所需设备状态参量进行就地数字化测量,测量结果可根据需要发送至站控层网络或/和过程层网络。设备状态参量包括变压器油温,有载分接开关分接位置,开关设备分、合闸状态等。

(3) 设备状态可视化。系统基于自检测信息和经由信息互动获得的设备其他信息,通过智能组件的自诊断,以智能电网其他相关系统可辨识的方式表述自诊断结果,使设备状态在电网中可观测。

(4) 通信协议标准化。全站实现通信协议标准化（遵循 IEC 61850 标准），站控层具有智能高级应用，可对外提供统一的网络服务接口，系统满足《电力二次系统安全防护总体方案》和《变电站二次系统安全防护方案》要求。

(5) 监测功能模块化。监测功能可根据需求对《智能变电站技术导则》等标准中规定的监测项目进行灵活配置，各监测功能模块基于统一的通信协议，具有“即插即用”的特点。

(6) 监测目标全景化。对整个变电站关键设备包括变压器、开关设备等进行全面的状态监测，实现监测目标全景化。

(7) 信息展现一体化。支持信息一体化平台应用要求，站内数据信息集中共享；满足集中监控、顺序控制、状态检修等要求；站控层采用一体化平台与电力数据网相连。站内系统信息平台把经过整合的信息资源进行展现，提供全方位监测和故障诊断信息，提高信息系统的易用性和效率，实现信息展现一体化的建设目标。

第一节 智能变电站简介

一、智能变电站的定义

智能变电站是由先进、可靠、节能、环保、集成的设备组合而成，以高速网络通信平台为信息传输基础，自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能，并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级应用功能的变电站。

二、智能变电站的特征

集成化是变电站自动化技术的发展方向和趋势。从常规变电站到数字变电站，再到智能变电站，是变电站内的设备和系统集成化程度越来越高的过程。

智能变电站与数字变电站有着密不可分的联系。数字变电站是智能变电站的前提和基础，是智能变电站的初级阶段，智能变电站是数字变电站的发展和升级。从站端角度出发，智能变电站与数字变电站的差别主要体现在以下两个方面：

(1) 数字变电站主要从满足变电站自身的需求出发，实现站内一、二次设备的数字化通信和控制，建立全站统一的数据通信平台，侧重于在统一通信平台的基础上提高变电站内设备与系统间的互操作性。而智能变电站则从满足智能电网运行要求出发，比数字变电站更加注重变电站之间、变电站与调度中心之间信息的统一与功能的层次化。智能变电站需要建立全网统一的标准化信息平台作为平台的重要节点，提高其硬件与软件的标准化程度，以在全网范围内提高系统的整体运行水平为目标。

(2) 数字变电站已经具有一定程度的设备集成和功能优化的概念，要求站内应用的所有智能电子装置（IED）满足统一的标准，拥有统一的接口，以实现互操作性。IED 分布安装于站内，其功能的整合以统一标准为纽带，利用网络通信实现。数字变电站在以太网通信的基础上，模糊了一、二次设备的界限，实现了一、二次设备的初步融合。而智能变电站设备集成化程度更高，可以实现一、二次设备的一体化、智能化整合

和集成。

三、智能变电站的结构

智能变电站设备分为过程层、间隔层、站控层。

1. 过程层的主要功能

- (1) 电气运行实时的电气量检测。
- (2) 运行设备的状态参数检测。
- (3) 操作控制执行与驱动。

2. 间隔层的主要功能

- (1) 汇总该间隔过程层实时数据信息。
- (2) 实施对一次设备保护控制功能、该间隔操作闭锁功能、操作同期及其他控制功能。
- (3) 对数据采集、统计运算及控制命令的发出具有优先级别的控制。
- (4) 承上启下的通信功能，即同时高速完成与过程层及站控层的网络通信功能。

3. 站控层的主要功能

- (1) 通过两级高速网络汇总全站的实时数据信息，不断刷新实时数据库，按时登录历史数据库。
- (2) 按既定规约将有关数据信息送向调度或控制中心，接收调度域控制中心有关控制命令并转间隔层、过程层执行。
- (3) 具有在线可编程的全站操作闭锁控制功能、站内当地监控功能、人机联系功能。
- (4) 具有对间隔层、过程层各设备的在线维护、在线组态、在线修改参数的功能。
- (5) 具有（或备有）变电站故障自动分析和操作培训功能。

第二节 一次设备智能化简介及设计原则

一、智能一次设备概述

变电站设备主要包括变压器、断路器、互感器、母线等一次设备和自动化系统、辅助系统、智能组件等二次设备。

智能一次设备通过先进的状态监测手段和可靠的自评价体系，可以科学地判断一次设备的运行状态，识别故障的早期征兆，并根据分析诊断结果为设备运行维护管理部门合理安排检修和调度部门调整运行方式提供辅助决策依据，在发生故障时能对设备进行故障分析，对故障的部位、严重程度进行评估。大规模间隙发电和分布式发电接入，要求电网具有很高的灵活性，而智能一次设备是满足这种要求的重要基础。

把智能一次设备的信息传输至信息一体化平台，建立变电站状态监测系统，智能变电站通过状态监测单元实现主要一次设备重要参数的在线监测，为电网设备管理提供基础数据支撑。实时状态信息通过专家系统分析处理后可作出初步决策，实现站内智能设备自诊断功能。

智能断路器是智能一次设备的重要部分，它是由微电子、计算机技术和新型传感器建立的新的断路器二次系统。其主要特点是由电力电子技术、数字化控制装置组成执行单元，代替常规机械结构的辅助开关和辅助继电器。新型传感器与数字化控制装置相配合，独立采集运行数据，可检测设备缺陷和故障，在缺陷变为故障前发出报警信号，以便采取措施避免事故发生。智能断路器实现电子操动，变机械储能为电容储能，变机械传动为变频器经电动机直接驱动，机械系统可靠性提高。

智能断路器具有以下优越性：

(1) 使断路器实际操作大多是在较低速度下开断，从而减小断路器开断时的冲击力和机械磨损，不仅可减少机械故障、提高可靠性，还能提高断路器的操作使用寿命，在工程上有较大的经济效益和社会效益。

(2) 有可能改变目前的试探性自动重合闸的工作方式，而成为自适应自动重合闸，即做到在短路故障开断后，如故障仍存在，则会拒绝重合，只有故障消除后才能重合。

(3) 实现分相合闸，降低合闸操作过电压，取消合闸电阻，进一步提高可靠性。

(4) 实现分相分闸，控制实际燃弧时间，使断路器起弧时间控制在最有利于燃弧的相位角，不受系统燃弧时差要求的限制，从而提高断路器实际开断能力。

(5) 实现集成开关设备，从而实现紧凑型变电站。

二、各类主要一次设备智能化的实现

1. 主变压器

主变压器包括油中溶解气体在线监测、油中微水在线监测、套管绝缘在线监测（含环境温湿度监测）、局部放电在线监测、温度负荷在线监测等单元，实现对变压器油溶解气体、油中微水、局部放电，变压器铁芯和夹件电流，套管绝缘介质损耗、电容值、泄漏电流值、温度负荷趋势、油温、油位、风扇状态、油泵状态等的在线监测功能。

总体而言，变压器状态监测功能方面已有一定突破，实现了将各自独立的监控系统集成为一个系统，可以对变压器所有主要部件进行监控；但变压器智能化的核心——专家诊断系统，还需要积累大量运行数据，挖掘设备运行特性，研究诊断方法，开发分析系统，从而实现设备状态诊断智能化。另外，考虑到传感器的使用寿命，尤其是内置传感器，对于主设备本体运行的影响，监测量的选择和传感器布点方面仍有待研究。

2. 开关设备

GIS 密度微水在线监测系统实现了 SF₆ 气体的密度、微水监测功能；GIS 局部放电在线监测系统实现了在线监测功能；GIS 设备光纤测温在线监测，利用温度传感器采集 GIS 内部温度数据，可以直观地反映 GIS 内部温度变化。

目前 GIS 绝缘在线监测最有效的方法是局部放电监测，可以发现 GIS 设备制造、安装及维修时引入的导电微粒及其他杂物，电极表面产生的毛刺、刮伤等损伤，导电或接地接触不良，支持绝缘内部的气隙等缺陷，多点监测可以实现故障定位。

断路器在线监测系统实现了断路器的 SF₆ 气体密度、微水，分合闸线圈电流的波形状态，断路器的特征分合闸速度，储能电动机的电流波形、储能状态、储能时间、频率等参量的在线监测功能。

3. 避雷器设备

避雷器在线监测系统实现了避雷器的全电流、泄漏电流值，以及计数器动作次数的在线监测功能。

4. 电容性设备

主要实现介质损耗因数、电容量，以及三相不平衡电流的监测，掌握其绝缘特性。

5. 电缆

主要监测电力电缆的局部放电、介质损耗因数、直流分量等参量，掌握其绝缘特性。

6. 电子式互感器

电子式互感器由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成，用于传输正比于被测量的量，供测量仪器、仪表和继电保护或控制装置。国际上将有别于传统的电磁式电压/电流互感器的新一代互感器统称为电子式互感器。电子式互感器的高压平台传感头部分具有需用电源供电的电子电路，在一次平台上完成模拟量的数值采样，采用光纤传输将数字信号传送到二次侧的保护、测控和计量系统。电子式互感器的关键技术包括电源供电技术、远端电子模块的可靠性和采集单元的可维护性等。电子式互感器按其一次传感器变换原理不同，可分为电学型和光学型。

电学型电子式互感器利用电磁感应等原理感应被测信号。对于电子式电流互感器 (electronic current transformer)，采用罗氏线圈；对于电子式电压互感器 (electronic voltage transformer)，则采用电阻、电容或电感分压等方式。罗氏线圈为缠绕在环状非铁磁性骨架上的空心线圈，不会出现磁饱和及磁滞等问题。

光学型电子式互感器中光学电子式电流互感器可分为全光纤、磁光玻璃和磁光晶体三种类型。其典型代表是基于法拉第磁旋光效应原理的光学电流互感器，线性偏振光通过置于磁场中光学材料，偏振角发生偏转，偏振角的偏转与电流瞬时值成正比。光学电子式电压互感器基于普克尔效应原理，即某些晶体在电场作用下发生线性双折射，通过光学原理检测线性双折射可间接测量电压。

光学型电子式互感器的关键技术包括光学传感材料的稳定性、传感头的组装技术、微弱信号调制解调器、温度对精度的影响、振动对精度的影响、长期运行的稳定性等。

与传统电磁感应式电流互感器相比，电子式互感器具有以下优点：高、低压完全隔离，具有优良的绝缘性能；不含铁芯，消除了磁饱和及铁磁谐振等问题；动态范围大，频率范围宽，测量精度高；抗电磁干扰性能好，低压侧无开路和短路危险；互感器无油可以避免火灾和爆炸等危险，体积小，质量轻；经济性好，电压等级越高效益越明显。

三、在线监测设计原则

智能变电站的一次设备与数字变电站及传统变电站相比，具有如下特点：

- (1) 一次主设备采用在线监测设备实时监测设备状态，即设备状态可视化。
- (2) 在线监测装置及保护装置采取智能组件方式，就地安装，以减少信号及控制电缆的长度。
- (3) 状态监测参量的通信符合 IEC 61850 标准。

(4) 状态监测参量集成在集控室信息一体化平台中。

(5) 互感器均采用电子式或光电式。

智能变电站一次设备在线监测参量的选取应根据国家电网公司企业标准 Q/GDW 393—2009《110（66）kV ~ 220kV 智能变电站设计规范》及 Q/GDW 394—2009《330kV ~ 750kV 智能变电站设计规范》。一次设备监测参量包括：主变压器油中溶解气体；220kV GIS 中 SF₆ 气体密度、微水；110kV GIS 中 SF₆ 气体密度、微水；避雷器的泄漏电流、动作次数；220kV GIS 局部放电应综合考虑安全可靠、经济合理、运行维护方便等要求，通过技术经济比较后确定。

根据以上标准，需认真考虑例如主变压器的超高频局部放电、套管介质损耗、绕组温度等在线监测参量是否选取，是否需要增加其他有效的在线监测参量。

在线监测智能终端采用就近安装，即室外运行。智能单元本质上仍是电子元件，工作年限一般不超过 12 年，与一次设备（20 年及以上）不匹配，因此其长时运行的使用寿命有待检验。

根据已投入的在线监测设备运行经验，在线监测装置易发生误报警。应在主变压器、开关设计之初就考虑融入智能传感器、控制设备等，使主设备结构更加紧凑、设计更加合理、绝缘更加可靠、监测参量更加精确。

电子式互感器

第一节 概 述

电子式互感器 (electronic instrument transformer) 由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成, 用于传输正比于被测量的量, 供测量仪器、仪表和继电保护或控制装置使用。

一、分类

国际上将有别于传统的新一代电磁式电压/电流互感器统称为电子式互感器。电子式互感器按其一次传感器传感方式不同, 可分为电学型和光学型。

电学型电流互感器采用罗氏线圈和低功率线圈 LPCT 将一次大电流信号转变为二次小电压信号; 光学型电流互感器采用光学玻璃或光纤传感环将一次大电流信号转变为偏振光角度信号。

电学型电压互感器采用串级式电容分压器或同轴电容分压器将高电压分压为二次小电压信号; 光学型电压互感器采用普克尔 (Pockels) 晶体测量电压电场下光学偏转角信号。如图 2-1 所示。



图 2-1 电子式互感器分类