



普通高等教育“十二五”规划教材



电网规划基础及应用

金义雄 王承民 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电网规划基础及应用

编 著 金义雄 王承民
主 审 李国庆



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书讲述了电网规划相关的基本理论和基本方法。全书共分为 11 章，主要包括电力规划及经济分析基础、电力系统负荷预测、电网规划的数学模型、电压等级规划、变电站规划、供电模式规划、电网规划、无功规划、配网自动化规划、电网规划评估。本书涵盖了大多数与电网规划相关的基础知识点，体系完整，内容深度适中，各章节都是工程电网规划实际设计方案中的主要内容。在介绍电网规划理论和方法时融合了 2006 年国家电网公司颁布的新版《城市电力网规划设计导则》的内容，更加贴近工程实际。

本书可作为电力系统相关专业的本、专科及研究生教材，也可作为电力行业培训教材，同时可供电力企业规划人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电网规划基础及应用/金义雄，王承民编著. —北京：中国电力出版社，2011.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-1564-8

I. ①电… II. ①金… ②王… III. ①电网-电力系统规划-高等学校-教材 IV. ①TM727②TM715

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 057096 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/>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7 印张 162 千字

定价 12.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

前言

电力工业的健康发展是国民经济健康发展的重要前提，而合理地进行电力系统规划是电力工业健康发展的前提。

本书以实际电网规划过程为纲，强调电网规划的基本理论和基本方法，涵盖了负荷预测、变电站规划、电压等级规划、网架优化规划、无功规划、自动化规划、电网评估指标体系等与电网规划相关的基础知识点，体系完整，内容深度适中，可使读者对电网规划问题有一个全面的了解。

编著者在电网规划方面有着相当丰富的研究基础和实践经验。两位编著者分别负责了国家自然科学基金和国家“863”项目的研究，还承担了多项省部级、市级纵横向项目的研究，获得多个奖项和专利。本书诸多内容正源自这些项目的成果，因此更加贴近工程实际。

本书由金义雄和王承民编著，其中第1、3~5章由王承民副教授编写，第2、6~11章由金义雄副教授编写，全书由金义雄副教授统稿。本书承蒙东北电力大学副校长李国庆教授主审，提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

本书在编写过程中，参阅了不少前辈的工作成果，同时得到了上海电力学院领导、专家和编者的许多同事、朋友、家人的帮助，在此一并向他们致以衷心的感谢。

本书中多项成果受到国家自然科学基金(50907039)资助。

谨将本书奉献给广大读者，希望它能成为各位读者了解、学习和研究电网规划理论和方法的良师益友。限于编者水平，书中不妥之处恳请指正。

编著者

2010年11月

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 电力规划的内涵	1
1.2 电力规划的基本原则	1
1.3 电力规划的类型	2
1.4 电力规划的基本内容	3
1.5 电力规划的方法	4
1.6 电力规划的流程	5
1.7 电力规划的评价标准	6
第2章 经济分析基础	7
2.1 概述	7
2.2 资金的时间价值	7
2.3 经济评价方法	9
第3章 电力系统负荷预测	12
3.1 基本概念.....	12
3.2 电力负荷的分类及特点.....	12
3.3 电力负荷曲线特性分析.....	14
3.4 负荷预测的基本程序.....	16
3.5 电力负荷预测方法.....	18
第4章 电网规划的数学模型	29
4.1 基本假设.....	29
4.2 变量确定.....	29
4.3 目标函数.....	30
4.4 约束条件.....	31
4.5 问题分解.....	32
第5章 电压等级规划	33
5.1 电压等级的选择原则.....	33
5.2 电压等级的选择方法.....	34
5.3 各电压等级合理的输送容量及距离.....	37
第6章 变电站规划	41
6.1 概述.....	41
6.2 降压变压器负载率取值.....	41
6.3 变电站选址定容的数学模型.....	43
6.4 模型求解.....	44

6.5 算例..... 49

第 7 章 供电模式规划 53

7.1 电网接线方式..... 53

7.2 中性点运行方式..... 56

第 8 章 电网规划 58

8.1 概述..... 58

8.2 电网规划的启发式方法..... 61

8.3 电网规划的数学优化方法..... 66

8.4 算例..... 72

第 9 章 无功规划 76

9.1 概述..... 76

9.2 无功功率负荷和无功补偿装置..... 76

9.3 电压调整措施..... 82

9.4 无功规划..... 85

第 10 章 配网自动化规划..... 89

10.1 概述 89

10.2 配网自动化的主要功能 89

10.3 配网通信系统规划 92

10.4 配网自动化对一次设备的要求 93

第 11 章 电网规划评估..... 95

11.1 概述 95

11.2 指标体系的建立 95

11.3 电网安全性计算 96

11.4 电网供电可靠性评价指标 98

11.5 灵活性评价指标..... 100

参考文献..... 103

第1章 概述

1.1 电力规划的内涵

简单地说,电力规划是电力工业规划的一种,是5年及5年以上的长远规划,是国民经济发展规划的重要组成部分。

具体来说,就是在整个国民经济规划的指导下,研究今后5年、10年、15年及更长时期内电力部门与其他国民经济各部门间的合理比例关系,电力工业内部发、输、变之间的比例关系,电力工业的发展速度、发展布局和发展规模,电力工业的科学技术进步和经济效果等重大问题。

电力规划的目的是做出长远的、科学的安排,指导电力工业的具体实施计划,保证电力工业高速和高效的发展,以满足国民经济各部门及人民生活对电力的需要。

1.2 电力规划的基本原则

1.2.1 正确认识电力生产的基本规律

电力生产的基本特点是发、输、配、用同时完成,即电能是不能储存的,整个电力工业都受这一特点的制约和支配。电网是一个统一的、不可分割的整体。

1.2.2 力求建设一个可靠、灵活、安全的电网

由于电力工业是服务性行业,是以满足国民经济各部门和人民物质文化生活对电力的需求为最高宗旨的,因此,建设一个可靠、安全、经济、稳定、灵活的现代化电网是电力规划的基本目标。

所谓可靠是指对用户连续供电的可靠程度。在城网规划中,应从满足电网供电安全准则和满足用户用电需求两方面来考核。

所谓灵活则是指电网的扩展性及运行方式能适应电网中潮流的变化。

所谓安全是指电网运行时可保证设备和人员的损失减至最低。

1.2.3 努力寻找经济指标好的规划方案

合理的电力规划方案是节约电力投资和降低电力生产成本的关键,因此,寻求经济指标好的规划方案应该作为电力规划的一个基本指导思想。当然,经济性是指在满足可靠性、安全性和灵活性的基础上,实现电网建设和运行费用的最低化。

1.2.4 合理利用各种发电能源和地方电力资源

我国的能源储备比较丰富,但是分布很不均匀,应该合理地安排电源项目,使整个能源的输送既经济又合理;在能源资源贫乏的地区,应该注重地方动力资源的开发和利用,注重可再生能源的利用和开发。

1.2.5 调整好电力工业内部的各种比例关系

在电力工业内部,长期存在重发、轻供、不管送的局面,电力规划是一个复杂的工程,在进行各部分规划的同时应该相互协调。近年来,由于严重缺电,外资、集资等多渠道资金

向电源建设的投入,使电源规划工作得到了较多的重视,并获得了快速的发展,但加强电网建设和相应的电网规划的工作仍处于被动和不够重视的状态。

1.2.6 注意电力工业发展的外部条件

电力工业发展的主要外部条件包括能源资源条件、外部运输条件以及环境等。能源资源和运输条件制约着电源规划及分布,同时也将影响各电网的发受电比例,从而最终影响网络的建设。国内外对环境因素的日益重视也制约着电网的发展,电能的生产和输送均受到环境、气候、生态的影响。在乡镇建设电厂和架设输电线路会占用大量耕地,在城市则很难找到站址和线路走廊。在环境和能源的利用效率上,又特别提出了节能减排的要求。这些因素都将对电力系统的规划产生重大影响。

1.2.7 积极引进和研发先进技术

只有在电力规划中适时地、正确地提出采用先进科学技术的问题,才可以大大加快我国科学技术部门对新技术的研究过程,促进新技术的引进工作。在这方面,如采用高效和清洁发电机组、可再生能源分布发电、设备节能、分布式储能、需求侧管理、灵活交直流输电、紧凑型线路、超导技术、配网自动化等技术,都将最终影响电力系统规划的方式和内容,将对电力系统规划产生重要而深远的影响。

1.3 电力规划的类型

电力规划是整个国民经济的一部分,必须与整个国民经济计划相适应,为了正确了解和处理电力规划中不同时期、不同阶段,以及不同组成部分的特点和任务,有必要将电力规划进行分类。电力规划有不同的分类标准,以下根据不同分类标准简述如下。

1.3.1 按照时间进行划分

电力规划按时间进行划分有以下四类。

(一) 长期规划

长期规划也叫远景规划,一般为15~30年,是战略性规划,解决电力工业发展过程中的重大问题。长期规划包括电力工业发展的战略目标、战略重点,调整电力产业结构,合理开发和利用动力资源,确定科学技术的发展方向,采取重大的技术经济措施等。长期规划必须与国民经济的长期规划相协调。长期规划将为中期规划提供依据。

(二) 中期规划

中期规划为10~15年规划,与长期规划有相同之处,也属于战略性规划,比长期规划要细致一些、明确一些。它是短期规划的依据。

(三) 短期规划

短期规划一般指5年规划,是执行计划,是电力工业发展计划的主要形式,主要解决电力工业的规划问题。是对中期规划的继续深入和细化,不确定性因素少。

(四) 滚动规划

滚动规划1年进行一次,是对短期规划的修改和补充,更加细致。

1.3.2 按照分级管理进行划分

电力规划按分级管理进行划分有中央电力规划、大区电力规划、地方电力规划三类。

（一）中央电力规划

中央电力规划由国务院电力主管部门制定，根据国民经济发展计划和科学技术发展计划，提出全国的电力发展规划和电力科学技术发展计划，是全国经济发展和科学技术发展的重要组成部分。

（二）大区电力规划

大区电力规划是指跨省区的电力发展规划，由电力系统工业管理部门制定。

大区电力规划是根据本区电力系统的具体情况，因地制宜地对该电力系统范围内的电力发展做出具体安排，对电力系统内的人力、物力和财力进行全面的综合平衡。

（三）地方规划

地方规划包括省、地、县等几级规划，地方电力规划与地方的经济发展计划相互协调。

至于电力企业的发展规划，一般不做单独的安排，而是分别纳入所属的上述几个等级的规划序列当中。

1.3.3 按照电力生产的环节进行划分

按照电力生产的环节，电力规划分为电源规划和电网规划。

（一）电源规划

电源规划是电力系统内电源布局的战略决策，主要包括确定合理的电源结构，确定各种形式发电厂的建设地点、建设时间等。这也是电力市场的发展对电源规划提出的新的挑战。

（二）电网规划

电网规划按照生产环节划分包括变电站选址、定容、网络规划等内容，按照区域进行划分包括大网规划、城市电网规划、小区和园区规划等。

1.3.4 不同规划类型之间的关系

上述规划按照不同的标准进行了划分，是对整个电力规划问题进行了不同形式的分解，但是这几种类型之间必须进行相互结合，如长期中央电源规划、短期地方电网规划等。不同规划类型之间的关系如图 1-1 所示。

不同类型的电网规划组合有很多种，中长期规划，以及中央、大区规划都是比较重要的和集中的规划，本课程的重点集中在短期的电源和电网规划方面。特别是城市电网规划以及园区规划。

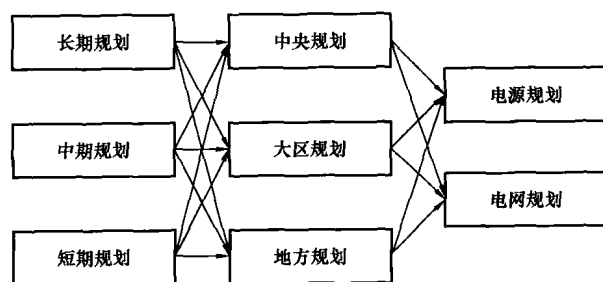


图 1-1 不同规划类型之间的关系

1.4 电力规划的基本内容

1.4.1 现状电网分析

对电力工业的现状以及电网的现状进行分析是进行电力规划的基础，分析电网现状所存在的问题，便于对未来的发展规划提供依据。

1.4.2 负荷预测

国民经济及人民生活对电力需求的不断增长是电力工业发展的基本推动力，电力规划与国民经济计划相互协调也主要体现在负荷需求上。因此，负荷预测工作是非常关键的。但是由于各种因素的影响，很难达到十分准确的程度。

1.4.3 分析能源条件、运输条件以及场地条件

电能是二次能源，是由煤、水、石油等一次能源转换而来的，因此，能源条件决定了电力工业的结构和布局。此外，能源工业的发展受运输条件的影响也很大。

在进行具体的电力规划，特别是城市电网和小区等的规划时，场地条件也是限制规划的一个重要因素。

1.4.4 确立电力规划的目标和基本任务

电力规划需确立的目标和任务有以下几方面。

- (1) 确定建设规模；
- (2) 制定电力建设方针；
- (3) 规划主电网网架；
- (4) 确定大中型电厂机组的选择；
- (5) 制定节能计划；
- (6) 提出应用新技术和新设备的要求；
- (7) 部署电力系统的设计任务；
- (8) 制定前期工作计划；
- (9) 编制专业规划；
- (10) 投资预测和资金筹措。

1.5 电力规划的方法

进行电力规划时需要用到以下几种方法。

1.5.1 调查研究

通过调查研究掌握电力工业发展所必需的基本数据和资料，是电力规划的基础工作。不同类型的规划，所需搜集的数据也不尽相同。

对于长期规划，需要搜集的数据主要有：规划期末国民经济的发展目标（如国民生产总值、工农业生产总值、国民收入等数据），规划期内国民经济构成及其变化，能源利用效率及用电比重变化，人口预测资料，人均收入水平，国家规划对能源基地、重工业基地及其战略项目的发展定位和布局，国家有关经济及能源政策、能源资源条件等。

对于中期规划，除了上述资料之外，还需要以下数据：各类工业的布局、各类工业的生产规模和生产量、产品种类及生产时间分布，能源基地的建设规模、生产规模和生产量，交通运输能力及各地区的运输能力的平衡状况，国家在电力部门的投资规模，各电力用户的用电水平指标，电力设备情况及科技发展情况等。

对于短期规划，除了搜集上述数据之外，还需要了解以下内容：大用户和新增用户的用电申请数量，新建企业的布局和产品种类、生产能力，新建企业和改建企业的生产方式和工艺特点，原有企业扩建和产量自然增长情况，电力工业内部的人力、财力和物力情况，现有

电力企业的生产能力和设备状况,电网中存在的主要问题等。

1.5.2 数理统计方法

由于调查所获得的数据是大量和零散的,可靠性较低,必须对这些数据进行去伪存真、由表及里的分析,因此,需要采用数理统计的方法。

近年来出现的数据挖掘技术是应用于规划的一项很好的技术,但是缺少统一的数据管理。

1.5.3 定性分析和定量计算相结合

在规划过程中,凡是能获得的信息、能用具体数字反映的情况,应尽可能采用数量经济学的方法进行分析和处理。对于难以量化的问题,则可以采用定性分析的方法,甚至是利用专家的经验来处理。

1.5.4 局部寻优和整体寻优相结合

规划问题是一个整体的优化问题,为了简化,可将问题进行分解,形成多个子问题进行局部寻优。

整体优化应该从全局性考虑问题,如长期规划、中央规划都必须考虑问题的主要影响因素。

1.5.5 综合平衡

规划的过程就是个平衡的过程,包括以下内容。

- (1) 电力工业的发展速度必须与国民经济的发展速度相适应;
- (2) 能源与资金等的平衡;
- (3) 电力工业内部的各种比例关系的平衡(各类能源结构,发、输、配电的比例,有功和无功平衡,内部资金平衡等);
- (4) 供需平衡。

1.6 电力规划的流程

电力规划包括电源规划和电网规划,以下分别介绍电源规划和电网规划流程。

1.6.1 电源规划流程

电源规划流程分为以下六步。

- (1) 资料的搜集和论证:主要是对厂址、发电能源及用户资料的搜集,并进行电力负荷预测。
- (2) 确定供电能力:根据用户需求及电力系统备用的要求,确定电力系统必须具备的供电能力。
- (3) 电力电量平衡:包括能源供需预测、电源结构论证,以及发电和输电项目的主要经济论证。
- (4) 提出各种可行的电源开发方案指根据地区内的动力资源条件和厂址条件提出各种可能的电厂建设方案。
- (5) 经济效益评估:对各种开发方案进行经济性比较分析。
- (6) 确定最佳的电源开发方案:在经济效益评估的基础上,对供电可靠性、能源的利用效率、对环境的影响等方面进行综合评估,以确定最佳的电源建设方案。

1.6.2 电网规划流程

电网规划流程介绍如下。

(1) 原始资料的搜集和论证：包括地区的用电需求预测、线路路径的选择、变电站站址的选择，了解电源的开发计划等。

(2) 现状电网分析：包括确定电网的薄弱环节、确定不经济运行的设备、确定因为社会环境变化而必须搬迁或改建的项目等。

(3) 变电站选址和定容：根据待选的变电站地址和负荷密度确定变电站的具体位置和容量。

(4) 电网规划：根据确定的变电站进行电网规划。

(5) 技术经济评价：包括经济型、供电可靠性、电能质量等几个方面的评价。

(6) 根据上述确定的各种指标，确定最佳的电网规划方案。

1.7 电力规划的评价标准

电力规划的评价标准主要有综合性、可靠性、灵活性、经济性、科学性五类，不同标准的内容介绍如下。

1.7.1 电力规划的综合性标准

评价电力规划综合性标准的基本方法就是综合分析法，主要包括以下几个方面。

(1) 是否满足国民经济按比例发展的要求（超前和落后都不可以）；

(2) 能源交通是否平衡；

(3) 资金是否平衡；

(4) 主要设备和技术供给的可靠性；

(5) 劳动力和科技人员的供需平衡。

1.7.2 电力规划的可靠性标准

电网必须保证对用户的可靠供电，对电网的可靠性评价主要有可靠性准则和可靠性指标两种方式。关于可靠性准则，我国规定电网必须满足“ $n-1$ ”准则；可靠性指标包括负荷点可靠性指标和系统可靠性指标，是定量的指标。

1.7.3 电力规划的灵活性标准

由于电力规划具有很大的不确定性和风险，要求所做出的规划具备一定的弹性，以适应规划方案修改的需要。

1.7.4 电力规划的经济性标准

电力规划的经济性标准主要体现在投资和运行成本两个方面，通常很难找出同时使这两个指标都最小的方案，一般是寻求两个指标的整体最小化。

1.7.5 电力规划的科学性标准

电力规划的科学性标准主要体现在：电力规划的原始资料是否可信及可信的程度，规划方案是否科学，是否从实际出发。



第2章 经济分析基础

2.1 概述

任何一个项目,当存在多种投资方案时,为了选择最优方案就必须对这些方案的技术经济效果进行定量分析。目前所采用的经济评价方法主要有:静态评价法、动态评价法、不确定性评价法。

2.1.1 静态分析法

在评价工程项目投资的经济效果时如不考虑资金的时间价值则称为静态评价法。静态评价法比较简单直观,但难以考虑工程项目在使用期内收益和费用的变化、难以考虑各方案使用寿命的差异,特别是不能考虑资金的时间因素,因此一般只用于简单项目的初步可行性研究阶段。对电力系统规划来说,由于工程项目的周期长,且涉及众多使用寿命不同的子项目,如火电厂、水电厂及输电线路等,在规划期内费用流比较复杂,故不宜采用。

2.1.2 动态规划法

目前世界各国的电源规划或电网规划模型大多采用动态评价法。该方法考虑了资金的时间因素,比较符合资金的运动规律因而所给出的经济评价更加符合实际。常用的动态评价法有:净现值法、内部收益率法、费用现值法、等年费用法四种。

2.1.3 不确定性评价法

不确定性评价法是考虑原始数据的不确定及不准确性的评价方法。对于电力工程来说,这种不确定性体现在电力负荷预测的误差、一次能源和电气设备价格的变化上。不确定性评价方法分为以下三种。

(1) 盈亏平衡分析:是指当某一参数未知时,分析这一参数在什么范围内方案是经济的,而在此范围外方案是不经济的。

(2) 灵敏度分析:是指当知道某一参数可能的取值但不知道这些参数出现的概率时,可以分析参数不同的取值对方案经济性的灵敏度。

(3) 概率分析:是指通过不确定性因素的概率分布分析方案经济性的概率分布情况,进而分析方案的损益和风险。但是这需要充足的数据和资料来确定不确定性因素的概率分布,因此实施起来比较困难。

2.2 资金的时间价值

资金具有时间价值(即一笔资金存入银行或进行固定收益的投资,经过一定时间,其价值将会增加,也即这笔资金在不同时间具有不同的价值),在工程中通常将不同时期的投资折算到同一时期,再进行比较。关于工程项目资金的时间价值有以下四种表示方式,示意图如图2-1所示。

(1) 现值(P):是指把不同时刻的资金换算为当前时刻的等效资金,也称为贴现值。这种换算称为贴现计算。

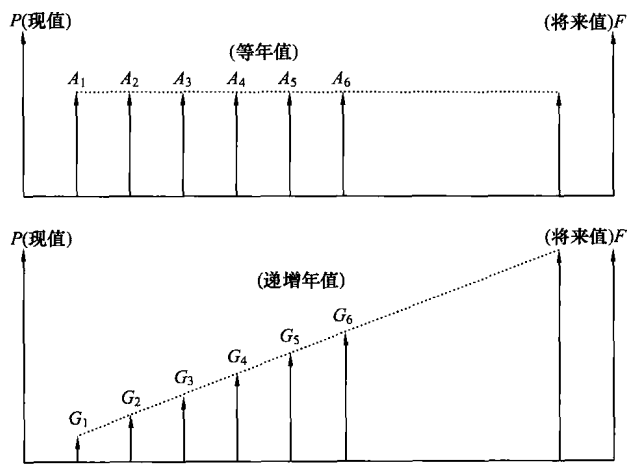


图 2-1 资金的时间价值

现值和将来值都是一次性支付的。等年值和递增年值都是多年支付的。

2.2.1 由现值 (P) 求将来值 (F)

由现值求将来值也称为本利和计算。假设利率（贴现率）为 i ，则第 n 年末的利息和本利和计算见表 2-1。

表 2-1 本 利 和 计 算

期末	期初的金额	本期利息	本利和
1	P	Pi	$P(1+i)$
2	$P(1+i)$	$P(1+i)i$	$P(1+i)^2$
3	$P(1+i)^2$	$P(1+i)^2i$	$P(1+i)^3$
n	$P(1+i)^{n-1}$	$P(1+i)^{n-1}i$	$P(1+i)^n$

则第 n 年末的将来值和现值之间的关系为

$$F = P(1+i)^n \tag{2-1}$$

式中： F 为第 n 年末的数值； P 为第一年的值； $(1+i)^n$ 为一次支付本利和系数，可记为 $(F/P, i, n)$ 。

2.2.2 由将来值 (F) 求现值 (P)

由将来值求现值也称为贴现计算。有

$$P = F/(1+i)^n \tag{2-2}$$

式中： $1/(1+i)^n$ 为一次支付贴现系数，可记为 $(P/F, i, n)$ 。

2.2.3 由等年值 (A) 求将来值 (F)

由等年值求将来值也称为等年值本利和计算。当等额 A 发生在每年的年末，则第 n 年末的将来值 F 就等于这 n 个现金流中每个 A 值的将来值的总和，为

$$F = A + A(1+i) + A(1+i)^2 + A(1+i)^{n-1}$$

即

$$F = \frac{A[1 - (1+i)^n]}{1 - (1+i)} = A \frac{(1+i)^n - 1}{i} \tag{2-3}$$

(2) 将来值 (F)：是指资金的将来值也称为终值，是把资金换算为将来某一时刻的等效金额。

(3) 等年值 (A)：是指把资金换算为按期等额支付的金额，通常每期为 1 年，所以称为等年值。

(4) 递增年值 (G)：是指把资金折算为按期递增支付的金额。

(5) 利率和贴现率：银行存款利率和工程上资金使用过程中的利率不同，因此，以贴现率代替利率。也就是说，利率和贴现率在概念和内容上是不同的。

式中: $\frac{(1+i)^n-1}{i}$ 为等年值本利和系数, 可记为 $(F/A, i, n)$ 。

2.2.4 由将来值 (F) 求等年值 (A)

由将来值求等年值的公式为

$$A = F \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (2-4)$$

式中: $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$ 为偿还基金系数, 可记为 $(A/F, i, n)$ 。

2.2.5 由等年值 (A) 求现值 (P)

由等年值求现值叫做等年值的现值计算。有

$$P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2-5)$$

式中: $\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ 为等年值的现值系数, 可记为 $(P/A, i, n)$ 。

2.2.6 由现值 (P) 求等年值 (A)

由现值求等年值公式为

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2-6)$$

式中: $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ 为资金回收系数, 可记为 $(A/P, i, n)$ 。是经济分析中的一个重要的系数, 写作 CRF (Capital Recovery Factor)。

2.3 经济评价方法

利用资金时间价值的换算公式, 可以形成 4 种经济评价方法。

2.3.1 净现值法

净现值 (NPV_j) 法是计算项目在使用寿命周期内总收益和总费用之差, 可以表示为如下数学模型

$$\max NPV_j = \sum_{t=0}^n [(B_{jt} - C_{jt} - K_{jt})(1+i)^t] \quad (2-7)$$

式中 j ——方案的标号;
 n ——方案 j 的使用寿命;
 i ——贴现率;

B_{jt} , C_{jt} , K_{jt} ——年收益、年投资和年运行成本 (每年可以不相等)。

当我们用净现值法对一个独立的工程投资方案进行经济评价时, 若 $NPV \geq 0$, 则认为该方案在经济上是可取的, 反之则不可取。

【例 2-1】 某电站投资为 1 亿元, 使用寿命 50 年, 年运行费用为 1000 万元, 若每年的综合效益为 3000 万元, 贴现率为 10%, 试计算其净现值。

解 收益现值为

$$P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 3000 \times \frac{(1+0.1)^{50} - 1}{0.1 \times (1+0.1)^{50}} = 29\,744.44 \text{ (万元)}$$

式中： P 为收益现值， A 为年收益。

运行费用现值为

$$P_c = A_c \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 1000 \times \frac{(1+0.1)^{50} - 1}{0.1 \times (1+0.1)^{50}} = 9914.814 \text{ (万元)}$$

式中： P_c 为运行费用现值， A_c 为年运行费用。

总支出费用为

$$P_{cT} = P_c + P_b = 9914.814 + 10\,000 = 19\,914.814 \text{ (万元)}$$

式中： P_{cT} 为总支出费用， P_b 为投资费用。

项目净现值为

$$NPV = P - P_{cT} = 9829.63 \text{ (万元)}$$

NPV 表示项目净现值，项目净现值为正，说明此时该建设是有赢利的。

当 $i=21\%$ 时，该方案的净现值为

$$NPV = P - P_{cT} = -476.8816 \text{ (万元)}$$

说明此时该建设是亏损的。

2.3.2 内部收益率法

内部收益率法又称为投资回收法。首先计算净现值为 0 的收益率，有

$$NPV_j = \sum_{t=0}^n [(B_{jt} - C_{jt} - K_{jt})(1+i')^t] = 0 \tag{2-8}$$

即首先求出内部的贴现率 i' ，再与标准贴现率进行比较，如果大于标准的贴现率，则说明此方案是优的。

此方法的缺点是在求取内部收益率时，计算量较大。

从 [例 2-1] 中可以看出，一个工程方案的净现值与所用的贴现率有密切关系，净现值随给定的贴现率的增大而减小。内部收益率法的关键是求出一个使工程方案的净现值为 0 的收益率，即

$$NPV = P - P_{cT} = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - A_c \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - P_b = 0$$
$$i \approx 19.9978\%$$

2.3.3 最小费用法

在对工程项目进行经济评价时，项目的收益往往难以确定，因此，采取最小费用方法，计算式为

$$\min \text{PVC}_j = \sum_{t=0}^n [(C_{jt} + K_{jt})(1+i)^t] \tag{2-9}$$

当最小费用法进行互斥方案比较时，应注意各工程项目的使用寿命问题。在各工程项目使用寿命不同的情况下，即使净现值或费用现值相等，其实际效益也不相同。为了使方案比较有一个共同的时间基础，处理使用寿命不同的问题可以用最小公倍法和最大使用寿命期法。

【例 2-2】 如表 2-2 所示两工程投资，贴现率取 9%，对此两种方案进行经济评估。

表 2-2 工 程 投 资 方 案

项 目	方案 1	方案 2	项 目	方案 1	方案 2
投资 (元)	5000	8000	使用寿命 (年)	6	8
残值 (元)	0	1000	运行费用 (元/年)	1600	1200

解 两方案使用寿命的最小公倍数为 24 年, 故计算期可取为 24 年。

对方案 1 共重复四次投资, 其费用现值为

$$PVC_1 = 5000 + 5000 \times \left[\frac{1}{(1+0.09)^6} + \frac{1}{(1+0.09)^{12}} + \frac{1}{(1+0.09)^{18}} \right] \\ + 1600 \times \frac{(1+0.09)^{24} - 1}{0.09 \times (1+0.09)^{24}} = 26\,349.558 \text{ (万元)}$$

$$PVC_2 = 8000 + 8000 \times \left[\frac{1}{(1+0.09)^8} + \frac{1}{(1+0.09)^{16}} \right] \\ + 1200 \times \frac{(1+0.09)^{24} - 1}{0.09 \times (1+0.09)^{24}} - \frac{1000}{(1+0.09)^{24}} = 25\,551.418 \text{ (万元)}$$

故方案 2 好。

如果忽略了使用寿命不同这个因素, 则会得出错误的结论。对 [例 2-2] 来讲

$$PVC_1 = 5000 + 1000 \times \frac{(1+0.09)^6 - 1}{0.09 \times (1+0.09)^6} = 12\,177.470 \text{ (万元)}$$

$$PVC_2 = 8000 + 1200 \times \frac{(1+0.09)^8 - 1}{0.09 \times (1+0.09)^8} - \frac{1000}{(1+0.09)^8} = 15\,143.650 \text{ (万元)}$$

结论则变成方案 1 好, 这就是因为忽略了使用寿命这个因素, 而导致结论不正确。

2.3.4 等年值法

将项目使用期内的费用换算成等年值, 然后利用等年值进行项目的比较, 在比较不同寿命期的方案时比较方便。等年值法计算式为

$$\min AC_j = PVC_j(A/P, i, n) \quad (2-10)$$

由表 2-2 数据得

$$AC_1 = 5000 \times \frac{0.09 \times (1+0.09)^6}{(1+0.09)^6 - 1} + 1600 = 2714.599 \text{ (万元)}$$

$$AC_2 = 8000 \times \frac{0.09 \times (1+0.09)^8}{(1+0.09)^8 - 1} + 1200 - 1000 \times \frac{0.09}{(1+0.09)^8 - 1} = 2554.721 \text{ (万元)}$$

可见方案 2 好, 与最小费用法正确结论一致。

因此, 我们可以看出等年值法和最小费用法是完全等效的。但等年值法计算要简单得多, 这正是等年值法的优点。