

摘要

工程项目的过程控制是否有效,对工程项目的最终经济、社会效益具有决定性的影响。而能否有效、准确地确定控制目标,并据其对项目实施有效的控制,则是工程项目实施管理成败的关键。从控制论的观点看,工程项目是一个由多个相互联系的目标系统,其中成本、进度、质量是三个至关重要的目标,在对项目实施控制的过程中,这三个目标常常成为整个建设工程项目的总控制目标。因此,运用集成控制理论和方法研究工程项目的成本具有重要的理论意义和实际价值。

本文以集成管理理论为理论基础,结合经济理论,现代控制理论等理论,提出了工程项目成本集成控制的理论和方法,即工程项目成本集成控制必须把工程项目管理的“三大要素”——成本、进度和质量构成一个目标系统,而后对其实行集成化管理。首先,本文将项目成本基础控制和集成管理的基本理论方法引入工程项目管理中,研究了工程项目成本集成控制的内涵和特征,即工程项目成本集成控制是以集成思想为指导,依据工程项目和工程项目管理的特点,以成本、进度、质量三个要素组成的项目目标体系为核心,以定性分析与定量分析相结合的集成方法论为基础,通过科学而巧妙的创造性思维,将集成贯穿于工程项目成本管理活动的全局和整个过程的项目管理模式,其特征是:综合性、全局性与系统性;工程项目成本集成控制应该遵循全面性、实时性、动态性、实用性的原则。其次,介绍了挣值法的基本概念和原理,并在此基础上再引入一个中间变量,设计出了一种工程项目成本集成控制的方法。第三,在工程项目成本集成控制的基础上,利用多属性效用函数理论,建立工程项目的成本—进度—质量集成控制模型,并在网络计划技术的基础上,使用改进遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多个近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。最后,通过实证分析进一步证实了工程项目成本集成控制的效果。

关键词: 工程项目, 成本, 集成控制, 遗传算法

Abstract

Whether the control progress of the project is effective, it will decide the final benefit of society and economy on the protect. However, it's the key of the success or failure whether we could validly and accurately fix the control goal and effectively command the project according to it during the project implementation. In the light of cybernetics, a construction project is a goal system composed of many goals and inherent interaction, among which cost , progress , quality are three essential goals. During the project implementation, these objects emerged as the total control object of the whole project. Thus, research on the theory and method of project cost integrated control is essential and necessary.

The dissertation will put forward the basic theory and method of project cost integrated control based on the theory of integration and management, economic and cybernetics.

Fist, we analyzed the theory and method of project cost control and integrated management ,introduced it in project management and put forward the connotation and characteristic of project cost integrated control which being defined as the project cost integrated control is the entire and whole mode of project management: Its guideline is the integrated management. Its core is the system of cost, progress and quality. Its base is the theory of integration of qualitative analysis and quantitative analysis. Its characteristic is comprehensive, general and systematic. Its principle is whole, timely, dynamic and practical.

Second, we introduced the conception and the principium of the earned value management, on the basis of which, the quality parameter is incorporated and project cost integrated management come into being.

Third, this paper presents the cost-progress-quality integrated control mode using multi-attribute utility theory. Applying network planning techniques and improved genetic algorithm, the most satisfied result can be obtained.

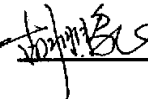
Last, we focused on typical case to show the effect of integrated control mode.

Key words: construction project, cost, integrated control, genetic algorithm

此页若属实，请申请人及导师签名。

独创性声明

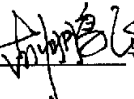
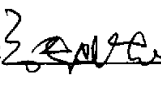
本人声明，所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名： 日期 2005.10.11

关于论文使用授权的说明

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

研究生签名： 导师签名： 日期 2005.10.11

注：请将此声明装订在论文的目录前。

第1章 导论

项目和项目管理在当今社会及各种组织的应用日益广泛,很多传统组织方法难以实现的目标,都可以通过项目管理的方式达到,因此,项目管理随着时代的发展日益重要,以至国外从20世纪60年代以来形成了项目管理研究和应用的高潮。

项目管理在国外已具有系统化、整体化的知识体系。美国项目管理协会(Project Management Institute,简称PMI)是以企业、大学、研究机构的专家为主要成员的全球最大的项目管理组织。PMI具有一套系统和完整的项目管理知识体系(Project Management Body of Knowledge,简称为PMBOK),把项目管理化分为9个知识领域和5个过程组,每个过程组有一个或多个管理过程。国际标准化组织以PMBOK为基础框架,制定项目管理标准ISO10006。

一个项目在实施过程中,主要对项目的质量、成本和时间进行有效控制,并采用相应的数学分析方法、价值工程、技术经济学等工具或技术对项目管理的知识领域进行分解、处理和控制在,使其沿事前确定的目标和方向发展。项目成本的管理和控制是项目的核心组成部分,项目的成本控制就是控制项目预算的变更并做及时调整以达到控制目的的过程。

1.1 选题背景

随着经济体制改革的不断深入,我国工程施工企业的状况也逐渐发生了变化,逐步从执行型转变为决策型;由对上级负责转变为对用户负责;由不重视经济效益转变为追求社会和企业的效益最大化;由单纯抓施工生产转变为注重经营管理。这四个转变导致了工程施工企业的职能发生了根本变化,而这一重大变化把经营管理问题突出地摆在了企业面前。同时,工程施工企业还面临的激烈的市场竞争,企业能否在市场竞争中站稳脚跟,立于不败之地,在于企业能否为社会提供质量高、工期短、造价低的产品。工程施工企业不但要在规定的工期内,以合格质量完成工程项目,而且成本控制成了企业提高经济效益的关键。工程施工企业在项目施工过程中,要以效益为中心就必须以成本为核心,向成本要效益。采取现代化管理手段和方法加强工程项目成本控制,降低消耗、提高效率,追求最佳经济效益,是工程项目成本控制的当务之急。

目前,虽然我国在推广项目管理方法上取得了一定成效,但由于在多年的工程项目管理中,一向重进度和质量,轻成本管理,从而造成项目的成本控制只停留在理论研究上,在工程建设中未能真正有效运用。目前全国许多工程施工企业结合财会制度的改革,正在进行成本控制管理方法的探索。一些先进工程施

工企业结合自身在工程项目成本控制方面的经验和工作方法,提出了一些工程项目成本控制的措施和手段,但总的来说,由于我国工程施工企业推行工程项目管理还处在初级阶段,因此工程项目成本管理的方法还不完善,主要表现为:

1. 尚未建立比较完善的成本管理体系;
2. 施工定额数据不准确,成本计划不具备实际指导意义;
3. 成本控制采用静态控制,中间控制缺乏;
4. 实际成本数据粗而不准,数据处理方法落后;
5. 成本信息收集不全,原始成本资料收集不完善;
6. 成本控制的手段落后,计算机应用的水平低。

随着市场经济的发展,在工程项目成本控制方面存在的问题,极大地阻碍了工程施工企业的发展,同时也减慢了我国工程施工企业加入国际工程总承包市场的进程,削弱了同国际上其他国家工程施工企业的竞争力。因此,及时开展成本控制方面的研究,吸收国外先进经验并应用于工程实际是十分必要和迫切的,它对于增强我国工程施工企业成本管理的综合水平具有非常重要的意义。

1.2 国内外工程项目成本控制研究状况分析

国外工程项目成本控制的研究起步比较早,上世纪 50 年代初,美国就已经提出了网络计划技术,国外许多国家对项目成本控制都非常重视,把项目成本控制视为一项系统工程,并设有专门的项目成本管理和研究的组织机构,如美国的成本工程师协会、日本的建筑学会成本计划分会、英国的造价师协会及丹麦的 CBC 系统。同时美国从事工程承包公司的内部也设有专门成本控制的人员和机构。

目前,国外研究机构的成果主要为动态控制、网络计划技术和成本优化。现在应用最多也是最广泛的是基于美国国防部 C.Spec 的向前看的挣值绩效法分析方法。英国的著名项目管理大师 F.L 哈里森在其《高级项目管理》一书中写道:“以挣值为基础的绩效分析为管理提供了一种有效的分析项目数据的方法,每个管理团队都能快速而有效获得对他们绩效的测量结果。这也可以大大增加它的积极性,特别是当它与工作在项目上的其他团队进行比较的时候。用任何一个项目控制的结构化方法都能够进行绩效测量,但是 C.Spec 成本/进度控制系统方法是最佳的。”

改革开放以来,我国通过学习国外先进的工程管理经验,工程项目管理水平有很大的提高,但与西方发达国家相比在许多方面仍存在一定的差距,如何缩短这一差距,使我国工程项目管理尽快与国际惯例接轨,是整个建筑业的一项重要任务。就工程项目的成本控制而言,我国目前与一些西方发达国家还存在较明显的差异。

1. 项目成本控制地位不够突出

在国外,工程项目成本控制有着极为重要的地位,因此成本工程或工料测量师有很重要的作用,要参与施工全过程的成本控制。在美国就有许多专门的估价公司,英国、香港也有专门的工料测量行,从事造价估算、标底编制、成本及进度控制,合同管理等工作。另外,美国还有专门的商业性公司从事编制、出版与工程造价有关的各种基础性数据资料,为社会服务。还有相当发达的社会化的计算机信息网络,通过网络可以方便的对设备、材料进行询价,可用于造价资料的互通和共享以及业务咨询等。上面提到的基础性资料不同于我国政府颁发的定额、指标、费率和预算价格,它们都是由商业公司编制的参考性资料,但很详细,而且每年更新,因此实用于市场实际情况。

2. 缺乏成本的事前和事中控制

工程项目成本控制不是一般意义上的会计成本核算,会计成本核算只是对实际发生的成本进行记录、归类和计算,是对成本结果的事后管理,成本核算仅作为对下一循环成本控制的依据。由于工程项目的生产具有一次性特点,因而其成本管理要适应这一特点,这就要求对工程成本控制有事先的能动管理。当前,许多项目管理部门对成本缺乏事先和事中的控制和管理,仅仅结束或进行到相当阶段才对已发生的成本进行核算,那显然以为时过晚,回天无力。

3. 施工过程对成本控制不严

传统的成本同目前实行的总分包管理体系不一样。项目管理的实质是合同管理,项目成本管理应着眼于项目合同成本管理,并应以总分包合同成本管理贯穿于项目成本管理的的全过程。比如,人工费的核算应按外包工月度完成的实物量或点工,凭开具的施工任务单作为月度预提人工费成本的依据。合同内容完成后,外包队伍要按项目经理部开具的施工任务单和外包合同与项目部办理结算,结算数与预提数差额再补进成本。由于施工任务单与核算结果反映外包结算数与合同预算数据往往偏差较大,致使人工费难以按合同成本进行控制,影响月度成本的真实性。又如,材料费核算在传统的成本控制中是以实际成本报耗为主要控制手段,作业施工人员与耗用材料之间没有经济利益关系,致使有的项目在竣工后,现场材料发生大量剩余,或材料用量超预算用量的现象十分严重,这样影响了成本核算的真实性。

4. 对质量成本缺乏风险管理。

对工程项目质量的监控不力而造成的质量低劣会带来惨痛的代价,这种代价既有经济方面,也有危及生命安全方面的,例如重庆_江虹桥倒塌就是因为工程质量低劣而造成人民生命财产和经济的重大损失。目前我国项目成本控制管理体系尚未建立起对工程项目质量成本风险监控体系,比如总包单位在进行工程转

包、分包中的压价行为,使得转包、分包单位的价格太低而由此带来的施工过程中偷工减料等现象时有发生,严重影响工程项目的质量。

1.3 研究的目的是和意义

在工程项目成本管理中,成本控制从工程项目招投标开始直到竣工验收的全过程都存在,它是企业全面管理的一个重要环节,工程项目的盈亏与成本控制的好坏息息相关。因此抓好成本控制的管理越来越被人们所重视。

1. 工程项目成本控制是工程项目综合质量的全面反应。工程项目成本的降低,表明施工过程中物化劳动和活劳动消耗的节约。活劳动的节约,表明劳动生产率的提高;物化劳动的节约,表明固定资产利用率的提高和材料消耗率的降低。所以抓住项目成本控制这个项,可以及时发现工程项目生产和管理中存在的问题,以便采取措施,充分利用人力和物力,降低工程项目成本。

2. 工程项目成本控制是增加企业利润,扩大社会积累的最主要途径。在工程项目建造价格一定的前提下,成本越低,盈利越高。工程施工企业的施工利润是工程施工企业经营利润的主要源泉,也是企业盈利的主要构成部分,故降低工程项目成本即成为工程施工企业盈利的关键。

3. 工程项目成本控制是推选实现项目经理责任制的动力。项目经理责任制中,规定项目经理必须对项目质量、工期和成本三大约束性目标负责。成本目标是经济目标的综合体现。项目经理要负其经济责任,就必须充分利用生产要素市场机制,管好项目,控制投入,降低消耗,提高效率,将质量、工期、成本三大相关目标结合起来进行综合控制。

4. 成本控制和经济责任制互补。成本控制是建立健全企业内部经济责任制的重要条件,而企业内部经济责任制又是保证成本控制有效实施的保证。

5. 强化成本控制是工程施工企业增强市场竞争力的需要。把竞争机制引入工程建设领域,实行招投标制后,在其他条件基本相同的情况下,标底的竞争就成为企业在激烈市场竞争中能否中标的决定性因素。而标底高低主要取决于项目成本的高低。因此,严格控制成本,就为合理降低标价,提高中标率创造了条件。

1.4 研究目标、内容和方法

1.4.1 研究目标

长期以来,人们一直把控制理解为目标值与实际值之间的比较(如计划成本与实际成本比较,计划进度与实际进度比较等)。当实际偏离目标时,分析其产生偏差的原因,并确定下一步的对策。在工程项目建设的全过程中实行这样的控制当然是有意义的。但问题在于,这种立足调查—分析—决策基础上的偏离—纠偏—再偏离—再纠偏的控制方法,只能发现偏离,不能使已发生的偏离消失,不

能预防可能发生的偏离,即无法做到事前控制和动态控制,因而只能说是被动控制。这种“亡羊补牢”式的成本控制方式,效果是事倍功半。

目前技术与经济相分离也是影响成本控制的一大因素。中国工程技术人员的技术水平、工作水平、知识面,跟国外同行比不分上下,但由于缺乏经济观念,在设计和施工时仅从技术角度考虑,认为对工程项目成本的控制完全是管理人员或财务人员的职责。而财会人员往往对工程知识不熟悉,只能根据规章制度办事。管理人员的成本控制基本上是一种经验性的控制,在施工阶段所采取的一些降低成本的措施很大程度上取决于管理人员及工人在实际操作中的经验。这不是我们提倡的科学管理和科学控制。当前需要广大工程技术人员多一点经济观念,在施工过程中把技术和经济有机结合起来,把成本控制的观念渗透到各项工程项目中去。

本论文在分析当前国内外工程项目成本控制现状的基础上,结合工程项目管理的过程与特点以及当前成本管理体制,研究阐述了目前工程项目成本控制方法存在的一个主要问题,即把成本控制与进度、质量的控制孤立起来。事实上,进度、成本和质量作为工程项目管理的三个主要目标,是相互影响、相互制约的,对任何一个目标的控制必然会影响到其他两个目标的实施。成本控制的目标就是寻求这些因素之间最优均衡的控制的结果。因而对工程项目的成本控制应同时考虑进度和质量,成本控制模型应综合考虑这三个目标的集成控制模型。

自 70 年代开始,人们将系统论和控制论的研究成果应用于项目管理后,将“控制”建立在预测的基础上并做出决策制定实施措施,通过“计划—动态跟踪—再计划”这个循环过程,来尽可能减少实际值和目标值之间的偏离,这种方法称为成本的主动控制。工程项目成本控制的方法很多,但主动式成本的控制主要体现在这两个方面,即成本管理信息和利用网络计划进行进度—质量的联合控制。本文正是基于这种思想,探求成本、进度、质量的结合模式。研究的重点在于消除传统成本控制的滞后性弊端,实现成本事前控制和动态控制(即跟踪控制)。

1.4.2 研究内容

本研究基于效用理论的工程项目成本集成控制方法。主要内容有这样几方面:

第一章 导论。主要介绍了本论文所研究的问题、国内外现状、论文的主要内容。

第二章 项目成本控制的基本理论与方法。主要介绍了项目成本控制的一般原理和方法,并提出了项目成本控制系统。

第三章 集成管理的基本理论。主要介绍了集成和集成管理的内涵和特征,

以及集成管理的理论基础。

第四章 工程项目成本集成控制基本理论。主要从工程项目成本集成控制发展状况入手,概括了工程项目成本集成控制的内涵及特征;归纳了工程项目成本集成控制的基本理论。

第五章 工程项目成本集成控制方法。本章首先介绍了挣值法的基本概念和原理,然后在此基础上再引入一个中间变量,设计出了一种工程项目成本集成控制的方法,最后介绍了集成控制步骤。

第六章 工程项目成本集成控制模型研究。本章是在前面工程项目成本集成控制的理论和方法的基础上,利用多属性效用函数理论,建立工程项目管理的成本—进度—质量集成控制模型。

第七章 实证分析。本章将以一个实际项目为例,详细说明本文所提出的工程项目成本集成控制的理论、方法及模型在实际工程中的应用效果。

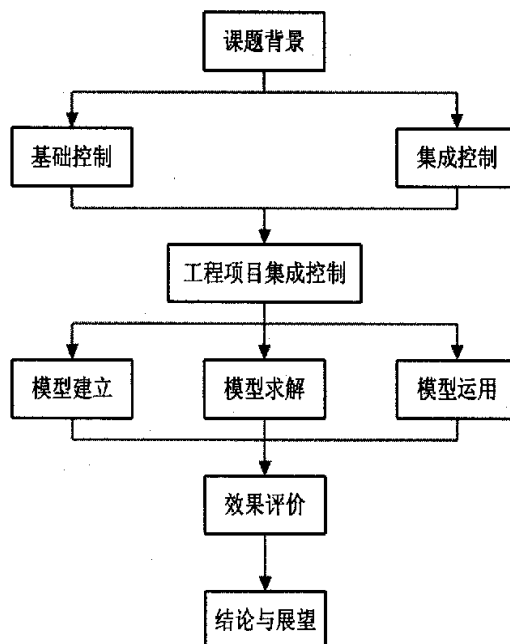
第八章 结论与展望。对全文进行概括,并对后续研究工作进行展望。

1.4.3 研究方法、技术路线

1. 研究方法

本选题拟采用理论与实证研究相结合、定性研究和定量研究相结合的方法,以系统论、集成论为基础,结合管理理论、效用理论和经济理论,提出工程项目成本集成控制理论与方法。

2. 技术路线



第2章 项目成本控制的基本理论与方法

项目的成本控制是控制项目预算的变更并做及时调整以达到控制目的的过程。具体讲,就是采用一定方法对项目形成全过程所耗费的各种费用的使用情况进行管理的过程。项目的成本控制主要包括监视成本执行以寻找与计划的偏差;确保所有有关变更准确地记录在费用预算计划中;防止不正确、不适宜或未核准的变更纳入费用预算计划中;将核准的变更通知有关项目干系人等等。

本章主要讨论成本控制的内容和步骤、成本控制的依据、成本控制的方法、成本控制的结果等几个方面。

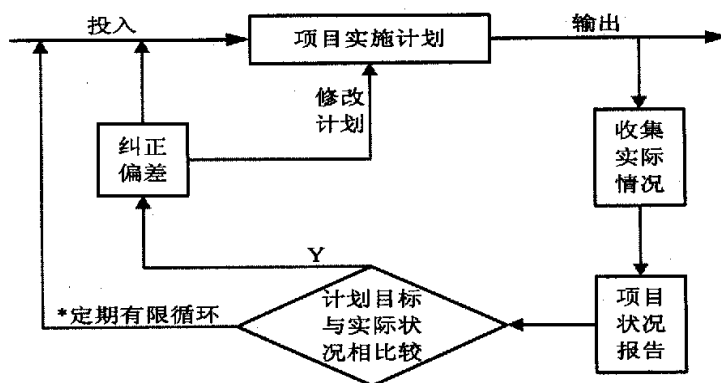
2.1 项目成本控制概述

在管理学中,控制通常是指管理人员按计划标准来衡量所取得的成果,纠正所发生的偏差,以保证计划目标得以实现的管理活动。管理首先开始于制定计划,继而进行组织和人员装备,并实施有效地领导,一旦计划实施,就必须进行控制,以检查计划实施情况,找出偏离计划误差,确定应采取的纠正措施,并采取行动。

2.1.1 控制的程序和基本工作环节

1. 控制的程序

控制程序如图 2-1 所示。



2-1 控制流程示意图

从图 2-1 中可以看出控制过程:控制是在事先制定的计划基础上进行的,计划要有明确的目标。项目开始实施,要按计划要求投入所需的人力、材料、设备、机具、方法等资源和信息。于是,计划开始实施,项目得以进展,并不断输出实际的项目状况和实际投资、进度、质量目标。由于外部环境和内部系统的各种因素变化的影响,实际输出的投资、进度、质量目标可能偏离计划目标。为了实现

计划目标,控制人员要收集项目实际情况和其他相关项目的信息,将各种投资、进度、质量数据和其他有关项目信息进行整理、分类和综合,提出项目状态报告。控制部门根据项目状态报告将项目实际完成的投资、进度、质量状况与相应的计划目标进行比较,以确定是否偏离了计划。如果计划进行正常,那么就按原计划继续进行。反之,如果实际输出的投资、进度、质量目标已经偏离计划目标,或者预计将要偏离,就需要采取纠正措施,或改变投入,或修改计划,或采取其他纠正措施,使计划呈现一种新状态,使项目能够在新的计划状态下进行。

控制的全过程就是由这样的一个个循环过程组成的。循环控制要持续到项目建成使用。控制贯穿项目的整个实施过程。

2. 控制过程的基本工作环节

从控制的每个循环中我们可以清楚地看到控制过程的基本工作环节。对于每个控制循环来说,如果缺少这些基本工作中的某一个环节,这个循环就不健全,就会降低控制的有效性,就不能发挥循环控制的整体作用。每一个控制过程都要经过投入、转换、反馈、对比、纠正等基本步骤。因此,做好投入、转换、反馈、对比、纠正等各项工作就成了控制过程的基本工作环节。

(1) 投入—按计划要求投入。控制过程首先从投入开始。一项计划能否顺利地实现,基本条件是能否按计划所要求的人力、财力、物力进行投入。计划确定的资源数量、质量和投入的时间是保证计划实施的基本条件,也是实现计划目标的基本保障。因此,要使计划能够正常实施并达到预计目标,就应当保证能够将质量、数量符合计划要求的资源按规定时间和地点投入到项目中去。

如果能够把握住对“投入”的控制,就把握住了控制的起点要素。

(2) 转换—做好转换工作的控制工作。所谓转换,主要是指项目实现总是要经由投入到产出的转化过程。正是由于这样的转换才使投入的材料、劳力、资金、方法、信息转变为产出品,如设计图纸、分项(分部)工程、单位工程,最终输出完整的项目。在转换过程中,计划的进行往往会受到来自外部环境和内部系统多因素干扰,造成实际工程偏离计划轨道。而这类干扰往往是潜在的,未被人们所预料或人们无法预料的。同时,由于计划本身不可避免地存在着程度不同的问题,因而造成期望的输出与实际输出之间发生偏离。比如,计划没有经过科学的资源可行性分析、技术可行性分析、经济可行性分析和财务可行性分析,在计划实施过程中就难免发生各种问题。

应当做好“转换”过程的控制工作,主要是跟踪了解项目进展情况,掌握项目转换的第一手资料,为今后分析偏差原因,确定纠正措施提供可靠依据。同时,对于那些可以及时解决的问题,采取“及时控制”措施,发现偏离,及时纠偏,避免“积重难返”。

做好转换工作中的控制工作是实现有效控制的重要工作。

(3) 反馈—控制的基础工作。对于一项即使认为制定得相当完善的计划, 控制人员也难以对其实施的结果有百分之百的把握。因为计划实施过程中, 实际情况的变化是绝对的, 不变是相对的。每个变化都会对预定目标的实现带来一定的影响。所以, 控制人员、控制部门对每项计划的执行结果是否达到要求都十分关注。例如, 外界环境是否与所预料的一致? 执行人员是否能切实按计划要求实施? 执行过程会不会发生错误等等。而这正是控制功能的必要性之所在。因此, 必须在计划与执行之间建立密切的关系, 需要及时捕捉项目信息并反馈给控制部门以便为控制服务。

反馈给控制部门的信息既应包括已发生的项目状况、环境变化等信息, 也包括对项目未来预测信息。信息反馈方式可以分成正式和非正式的两种。在控制过程中两者都需要。正式反馈是指书面的项目状况报告一类, 它是控制过程中应当采用的主要反馈方式。非正式信息反馈主要是口头方式, 对口头方式的信息反馈也应当给予足够的重视。当然, 对非正式信息反馈还应当让其转化为正式信息反馈。

控制部门需要什么信息, 取决于管理的需要。信息管理部门和控制部门应当事先对信息进行规划, 这样才能获得控制所需要的全面、准确、及时的信息。

为使信息反馈能够有效配合控制的各项工作, 使整个控制过程流畅地进行, 需要设计信息反馈系统。它可以根据需要建立信息来源和供应程序, 使每个控制和管理部门都能及时获得它们所需要的信息。

(4) 对比—以确定是否偏离。控制系统从输出得到反馈信息并把它与计划所期望的状况相比较, 是控制过程的重要特征。控制的核心是找出差距并采取纠正措施, 使项目得以在计划轨道上进行。

对比是将实际目标成果与计划目标比较, 以确定是否偏离。因此, 对比工作的第一步是收集项目的实际成果并加以分类、归纳、形成与计划目标相对应的目标值, 以便进行比较。对比的第二步是对比较结果的判断。什么是偏离? 偏离就是指那些需要采取纠正措施的情况。凡是判断为偏离的, 就是那些已经超过了“度”的情况。因此, 对比之前必须确定衡量目标偏离的标准。这些标准可以定量的, 也可以定性的, 还可以采用定量与定性相结合的方式。例如, 某网络进度计划在实施过程中, 发现其中一项工作比计划要求拖延了一段时间。我们根据什么来判断它是否偏离了呢? 答案是应当用标准来判断。如果这项工作是关键性工作, 或者虽然不是关键性工作, 但它拖延时间超过了它的总时差, 那么这种拖延肯定影响了计划工期, 理所当然地应判断为偏离, 需要进一步采取纠偏措施。如果它既不是关键性工作, 又未超过总时差, 它的拖延时间小于它的自由时差, 或

者虽然大于自由时差但并未对后续工作造成大的影响，那么就可能认为尚未偏离。

(5) 纠正—取得控制效果。对于偏离计划的情况要采取措施加以纠正。如果是轻度偏离，通常可以采用较简单的措施进行纠偏。比如，对进度稍许拖延的情况，可适当增加人力、机械、设备等投入量就可以解决。如果目标有较大偏离，则需要改变局部计划才能使计划目标得以实现。如果已经确认原定计划目标不能实现，那就要重新确定目标，然后根据新目标制定新计划，使工程在新的计划状态下运行。当然，最好的纠偏措施是把管理的各项职能结合起来，采取系统的办法实施纠偏。这就不仅要在计划上做文章，还要在组织、人员配备、领导等方面做文章。

总之，每一次控制循环结束都有可能使项目呈现一种新的状态，或者是重新修订计划，或者是重新调整目标，使其在这种新状态下继续开展。同时，还应当使内部管理呈现一种新状态，力争使项目的实施出现一种新气象。

控制过程各项基本工作之间的关系，如图 2-2 所示。

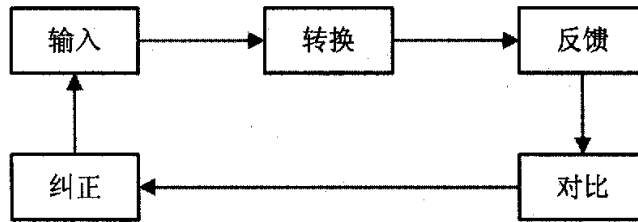


图 2-2 控制过程的基本工作

2.1.2 主动控制与被动控制

由于控制的方式和方法的不同，控制可分为多种类型。例如，按事物发展过程，将控制可分为事前控制、事中控制、事后控制；按照是否形成闭合回路，控制可分成开环控制和闭环控制；按照纠正措施或控制信息的来源，控制可分成前馈控制和反馈控制。归纳起来，控制可分为两大类，即主动控制和被动控制。

1. 主动控制

(1) 主动控制的含义。所谓主动控制就是预先分析目标偏离的可能性，并拟订和采取各种预防措施，以使计划目标得以实现。主动控制是一种面对未来的控制，它可以解决传统控制过程中存在的时滞影响，尽最大可能改变由偏差造成的已经成为事实的被动局面，从而使控制更为有效。

主动控制是一种前馈控制。当根据已掌握的可靠信息分析预测得出系统将要输出偏离计划的目标时，就制定纠正措施并向系统输入，以使系统因此而不发生

目标偏离。

主动控制是一种事前控制。它必须在事情发生以前采取控制措施。

当然，我们都不会否认，即使采取了主动控制，仍需要衡量最终输出，因为谁也保证不了所有工作都将做得完美无缺，保证不了在完成过程中再没有任何外部干扰。

(2) 主动控制措施。

① 详细调查并分析研究外部环境条件，以确定那些影响目标实现和计划进行的各种有利和不利因素，并将它们考虑到计划和其他管理职能中。

② 识别风险，努力将各种影响目标实现和计划执行的潜在因素揭示出来，为风险分析和管理提供依据，并在计划实施过程中做好风险管理工作。

③ 用科学的方法制定计划。做好计划可行性分析，消除那些造成资源不可行、技术不可行、经济不可行和财务不可行的各种错误和缺陷，保障项目的实施能够有足够的时间、空间、人力、物力和财力，并在此基础上力求使计划优化。事实上，计划制定得越明确、完善，就越能设计出有效的控制系统，也就越能使控制产生出更好的效果。

④ 高质量地做好组织工作，使组织与目标和计划高度一致，把目标控制的任务与管理职能落实到适当的机构和人员，做到职权与职责明确，使全体成员能够通力协作，为共同实现目标而努力。

⑤ 制定必要的备用方案，以对付可能出现的影响目标或计划实现的情况。一旦发生这些情况，则有应急措施做保障，从而可以减少偏离量，或避免发生偏离。

⑥ 计划应有适当的松弛度，即“计划应留有余地”。这样，可以避免那些经常发生，又不可避免的干扰对计划的不断影响，减少“例外”情况产生的数量，使管理人员处于主动地位。

⑦ 沟通信息流通渠道，加强信息收集，整理和研究工作，为预测工程未来发展情况提供全面、及时、可靠的信息。

2. 被动控制

被动控制是指当系统按计划进行时，管理人员对计划的实施进行跟踪，把它输出的项目信息进行加工、整理，再传递给控制部门，即使控制人员从中发现问题，找出偏差，寻求并确定解决问题和纠正偏差的方案，然后再回送给计划实施系统付诸实施，使得计划目标一旦出现偏离就能得以纠正。这种从计划的实际输出发现偏差，及时纠偏的控制方式称为被动控制。

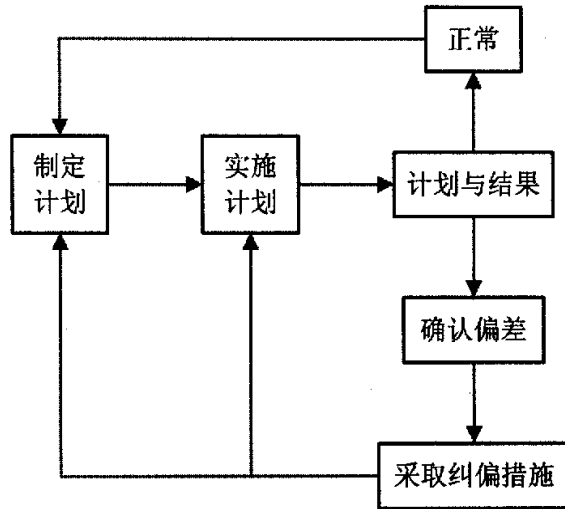


图 2-3 反馈控制过程

被动控制是一种反馈控制。它按照图 2-3 的过程实施控制。

在管理过程中，控制往往形成如图 2-4 这样的反馈闭合回路。这就是被动控制的闭合循环特征。

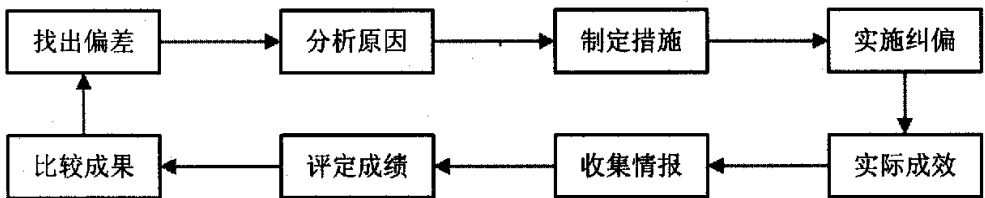


图 2-4 被动控制的反馈闭合回路

图 2-4 比较实际地说明了一个被动控制的循环过程：发现偏差，分析产生偏差的原因，研究确定纠偏方案，产生实际成效，收集实际实施情况，对实施的实际效果进行评价，将实际效果与预期效果相比较，找出偏差。

被动控制仍然是一种积极的控制，也是十分重要的控制方式，而且是经常运用的控制形式。

3. 主动控制与被动控制的关系

两种控制，即主动控制与被动控制，对项目控制而言缺一不可，它们都是实现项目目标所必须的控制方式。有效地控制是将主动控制与被动控制紧密结合起来，力求加大主动控制在控制过程中的比例，同时进行定期、连续的被动控制。

只有如此，方能完成项目目标控制的根本任务。

怎样才能做到主动控制与被动控制相结合呢？下面用图 2-5 来表明它们的关系。

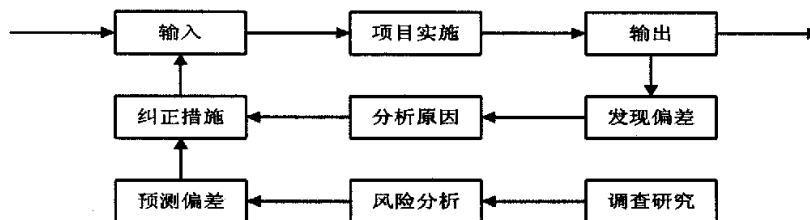


图 2-5 主动控制和被动控制相结合

注：图中“纠正措施”分别包括主动控制和被动控制所采取的纠正措施

实际上，所谓主动控制与被动控制相结合也就是要求进行目标控制，既要实施前馈控制又要实施后馈控制，既要根据实际输出的项目信息又有根据预测的项目信息实施控制，并将它们有机融合在一起。控制工作的任务就是要通过各种途径找出偏离计划的差距，以便采取纠正潜在偏差和实际偏差的措施，来确保计划取得成功。要能够做到这一点，关键有两条：一要扩大信息来源，即不仅从被控系统内部获得项目信息，还要从外部环境获得有关信息；二要把握住输入这道关，即输入的纠正措施应包括两类，既有纠正可能发生偏差的措施，又有纠正已经发生偏差的措施。

2.1.3 控制系统的构成

控制系统由被控制子系统、控制子系统和信息反馈子系统构成。信息反馈子系统把前两者联系起来，使之成为一个完成的系统。控制系统是与外部大环境相联系的开放系统，它不断与外部环境进行各种形式的交换。

控制系统又由存储分子系统、调整分子系统构成。它具有制定标准、评定绩效、纠正偏差的基本功能。

1. 控制子系统

(1) 存储分子系统

存储分子系统首先接受目标规划和计划，并将它们存储于控制子系统内作为控制的基本依据。同时，存储控制程序、评价标准、控制报告等资料。存储分子系统接受来自信息反馈子系统的项目状况报告，将被控制子系统输出的实际目标值和计划进行情况与本系统内存储的各方面控制标准加以对比，并将结果送到调整分子系统中。

(2) 调整子系统

调整子系统根据送达过来的经过加工处理的工程输出信息以及外部环境变

化情况进行分析研究,提出解决项目问题的方案。同时,分析预测项目发展趋势,并提出预防目标偏离的措施。决策后,决策信息输入到目标规划和计划系统,并按此实施。

同时,经过调整的目标规划和计划还应传送到存储分子系统,存储分子系统将变化了的目标规划和计划、控制程序和评价偏差标准等重新存储起来,以备下一循环用于控制。

2. 信息反馈子系统

将控制子系统内各分子系统以及将控制子系统与被控制子系统、外部环境相联系的是信息反馈子系统。

信息反馈子系统要分派人员专门从事对项目实施系统的监督工作,要跟踪工程进展情况。它不仅监督项目的完成情况,还要监督项目的投入和项目实施过程情况,并注意外部环境变化。它将项目情况和相关的信息不断收集起来进行分类、加工、整理,向控制子系统传递。

在新的控制循环开始之际,这个子系统还应当监督检查项目实施系统是否开始执行调整后的计划和方案。对于新计划或新方案的反映也应当及时反馈给调整子系统,以便采取下一步的对策。

信息反馈子系统联系着存储分子系统、调整分子系统。它把监督跟踪得到的关于项目输入、变换、输出情况和控制措施的执行情况传递给存储分子系统,并把从存储分子系统得出的对比结果传递到调整分子系统,以便拿出纠正措施;同时把来自调整分子系统的有关纠正措施的信息反馈给存储分子系统。信息反馈子系统通过信息的传递,使整个控制系统成为一体化运行的动态系统。

信息反馈系统通过纠正信息和项目状况信息把控制系统与被控制系统联系起来。又通过向外部环境输出并从外部环境收集信息,并控制系统乃至整个项目系统与外部环境联系起来,使控制系统成为开放系统。

控制系统各部分与环境的关系,如图 2-6 所示。

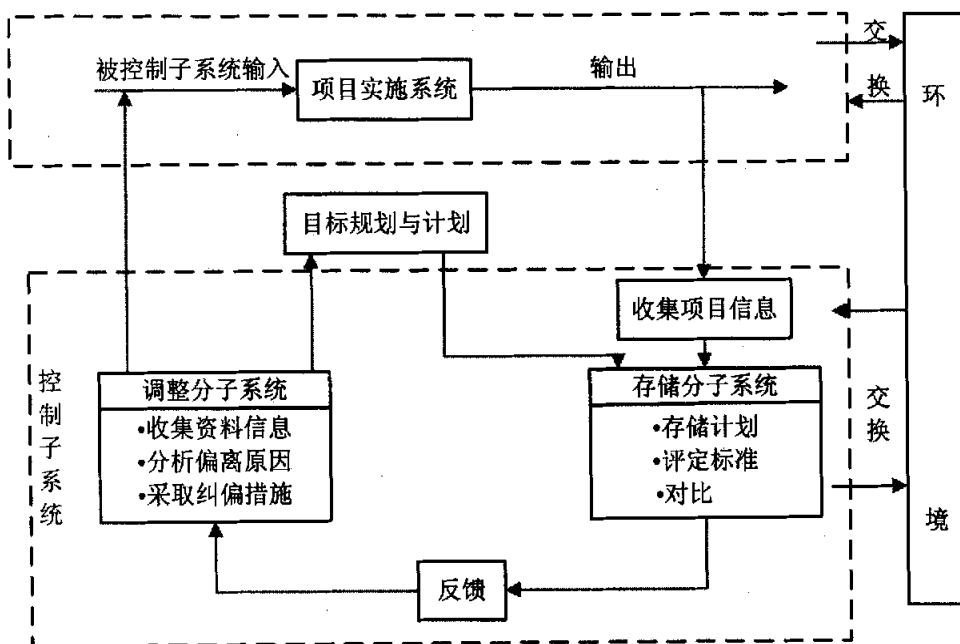


图 2-6 控制系统各部分及与环境关系

2.1.4 项目成本控制的内容和步骤

1. 项目成本控制的内容

成本控制实现的是对项目成本的管理，项目成本控制的主要内容包括项目决策成本控制、招投标费用成本控制、设计成本控制、项目施工成本控制等四个方面内容。

决策是项目形成的关键，其工作的好坏，将对项目建成后的经济效益与社会效益产生重要影响。为了能够对项目进行科学的决策，通常需要对项目的可行性，包括市场情况、施工环境、融资情况进行详细研究，而完成这些工作也需要资金，这些资金就构成了项目的决策成本，其预算和管理就构成了决策成本控制。

招标费用成本控制，是指对进行招投标工作时开支的费用所进行的控制。为了实现项目的最大效益，选择最佳的承建商进行项目实施，或希望通过竞争获得项目的承建权，业主或单位常常投入一定的人力和物力进行招投标工作，因此，作为整个项目成本的一部分，招标费用成本控制也是很重要的。设计成本控制，是对目标项目的各种设计，包括初步设计、施工图设计、复杂设计和其他技术设计等所需费用的管理和控制。以上三种成本控制中，由于他们在这个项目成本中所占的比重较小，因此，对项目成本控制的研究主要以项目施工成本控制为主。

当然，项目决策成本控制、招标费用成本控制、设计成本控制三种成本控制尽管涉及费用较少，但也是相对而言的，因此采用相关方法，在科学分析的基础上，对其进行适当的控制，也是很有必要的。

施工成本控制，是对整个项目施工所涉及的费用进行的管理和控制。通常一个项目涉及的成本主要有设备费、材料费、人力资源费、施工管理费等，这些费用共同构成了项目成本的主体。其中，设备费、材料费、人力资源费三种通常称为直接成本或直接费用，施工管理费用则称为间接成本或间接费用。项目总成本的四项费用，即项目决策成本、招投标费用成本、设计成本、项目施工成本之中，项目施工成本的费用是主要的，通常达 90% 以上。因此，项目的成本控制从某种意义上说，实际就是项目施工的成本控制。

成本控制除了确定一个成本范围之外，最重要的是对整个项目的成本费用的使用进行管理，特别是在项目发生了变化或正在发生变化时，对这种变化实施管理。因此，成本控制还包括查找出现正负偏差的原因。该过程必须同其他控制过程包括范围变更控制、进度计划控制、质量控制和其他控制等紧密地结合起来。例如，对成本偏差采取不适当的应对措施可能会引起质量或进度的问题，或引起项目在后期出现无法接受的风险。

2. 项目成本控制的步骤

(1) 成本控制的准备工作

- ① 熟悉合同条款。
- ② 分析研究进度计划表。
- ③ 分析研究材料的供应计划。
- ④ 编制工程的施工预算。
- ⑤ 分析研究奖金计划。
- ⑥ 对成本费用项目进行分类。
- ⑦ 熟悉工程内容和施工方法。
- ⑧ 整理涉及成本预算的其他资料。

(2) 项目成本控制的实施

- ① 监督成本执行情况以及对发现实际成本与计划的偏离。
- ② 要把一些合理的改变包括在费用预算计划（基准成本）中。
- ③ 防止不正确、不合理、未经许可的改变包括在费用预算计划（基准成本）中。
- ④ 把合理的改变通知项目的涉及方。

2.2 项目成本控制的基本方法

综合来看，项目成本控制是一个系统的过程，它包括三个方面的内容，即费

用变更控制、执行情况测量、补充计划编制。费用变更控制定义了改变费用计划应当遵循的程序。它包括书面文字工作、追踪系统以及核准变更必需的批准层次。执行情况测量有助于估算确实发生的任何变化的大小,它通过在成本控制过程中定期或不定期的检测来了解成本控制情况。成本控制的一个重要组成部分就是分析成本变化的原因并决定是否需要采取纠正措施。补充计划编制,是指在项目不能精确地按照预定计划进行的时候,项目费用所需要的新的或修订的成本估算或替代方法的变更说明。从成本控制的这些内容可以看出,成本控制涉及的过程往往比较复杂,有时需要利用许多数据、表格以及方法来进行成本分析和管理工作。

正是由于成本控制是一个系统过程,因此研究成本控制的方法就显得很重要,因为好的方法可以对项目的成本控制过程进行更加有效的管理,从而使项目的实施具有更多的成功概率。

成本控制的方法和技术很多,比如工作分解结构(WBS)技术,这里主要讨论成本累计曲线法、挣得值法和价值工程法。

2.2.1 成本累计曲线法

成本累计曲线又叫做时间—累计成本图。它是反映整个项目或项目中某个相对独立部分开支状况的图示。它可以从成本预算计划中直接导出,也可以利用网络图、条线图等图示单独建立。通常可以采用下面的三个步骤做出项目的成本累计曲线。

- (1) 建立直角坐标系,横轴表示项目的工期,纵轴表示项目成本。
- (2) 按照一定的时间间隔或时间单元累加各工序在该时间段内的支出。
- (3) 将各时间段的支出金额逐渐累加,确定出各时间段所对应的累计资金支出点,然后,用一条平滑的曲线依次连接各点即可得到成本累计曲线。确定各时间段的对应点时,横坐标为该时间段的中点,即该时间段的起始时间+(结束时间-起始时间)/2。

成本累计曲线图上实际支出与理想情况的任何一点偏差,都是一种警告信号,但并不是说工作中一定发生了问题。图上的偏差只反映了现实与理想情况的差别,发现偏差时要查明原因,判定是正常偏差还是不正常偏差,然后采取措施及时处理。

在成本累计曲线图上,根据实际支出情况的趋势可以对未来的支出进行预测,将预测曲线与理想曲线进行比较,可获得很有价值的成本控制信息,但前提是我们假定所有工序都是固定的。在网络分析中我们知道,大量非关键工序开始和结束时间都需要调整的。利用各工序的最早开始时间和最迟开始时间制作的成本累计曲线成为香蕉曲线,如图 2-7 所示。

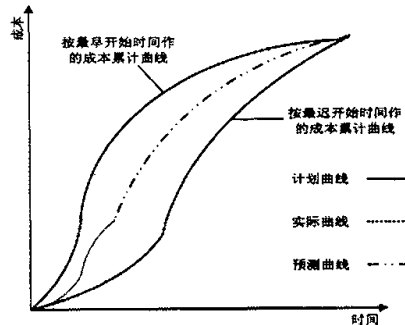


图 2-7 典型的香蕉曲线

香蕉曲线表明了项目成本变化的安全区间,实际发生的成本变化如不超出两条曲线限定的范围,就属于正常变化,可以通过调整开始和结束时间使成本控制在计划的范围内。如果实际成本超出这一范围,就要引起重视,查清情况,分析出现的原因。如果有必要,应迅速采取纠正措施。顺便指出,香蕉曲线不仅可以用于成本控制,还是进度控制的有效工具。

2.2.2 挣值法

项目控制过程要求项目管理人员能及时发现项目执行与项目计划之间的偏差并马上予以纠正,这需要对项目的执行情况进行有效的和经常性的测量。不然,即使是小的偏差,例如项目稍微超支,因为整个项目有一定的资源限制,几次小的超支的积累,偏差可能发展越大,而余下的可利用资源就越少。如果再出现一些不利因素,就会更加难于控制和协调,导致更大隐患。因此,越是提早发现项目的问题,就越有解决问题的主动权。挣值法是对项目进度和费用进行综合控制的一种有效方法。挣值法的具体内容在第五章作详细介绍。

2.2.3 价值工程法

价值工程法是应用价值工程,分析功能和成本的关系,以提高项目的价值系数;同时通过价值分析来发现消除工程设计中的必要功能,达到降低成本、降低投资的目的。

1. 价值工程的定义和基本原理

关于价值工程的定义,尽管有很多不同的说法,但都大同小异。比较简单的定义应该是:价值工程是以功能分析为核心,使产品或作业达到适当的价值,即

用最低的成本来实现其必要功能的一项有组织的活动。

(1) 价值、功能和成本的关系

价值工程的目的是力图以最低的成本使产品或作业具有适当的价值,亦即实现其应该具备的必要功能。因此,价值、功能和成本三者之间的关系应该是:

$$\text{价值} = \text{功能(或效用)} / \text{成本(或生产费用)}$$

用数学公式可表示为:

$$V = F / C \quad (2-1)$$

上述公式给我们的启示是:一方面客观地反映了用户的心态,都想买到物美价廉的产品或作业,因而必须考虑功能和成本的关系,即价值系数的高低;另一方面,又提示产品的生产者和作业的提供者,可从下列途径提高产品或作业的价值:

- ① 功能不变,成本降低。
- ② 成本不变,功能提高。
- ③ 功能提高,成本降低。
- ④ 成本略有提高,功能大幅度提高。
- ⑤ 功能略有下降,成本大幅度下降。

2. 价值工程在项目成本控制中的应用

(1) 制定提高价值的方案。根据用户对项目建设的要求,应用价值工程原理,制定提高价值的最佳方案,即在满足必要功能的前提下降低工程成本。

(2) 绘制功能系统图。根据本项目的特点,确定功能目标,绘制功能系统图。

(3) 计算功能比重因子。根据上述功能在分部工程中所起作用的大小(原始数据由技术部门提供),计算各种功能在分部工程中的比重。

(4) 修正功能比重。

(5) 计算功能系数。

$$\text{功能系数} = \text{分部工程得分} / \text{施工项目总得分} \quad (2-2)$$

根据分部工程功能作用分析表和功能作用修正表提供的数据,计算各分部工程功能系数。

(6) 计算成本系数和价值系数。根据上述资料和财务部门可提供的预算成本及目标成本,计算各分部工程的成本系数和价值系数。

$$\begin{aligned} \text{成本系数} &= \text{分部工程预算成本} / \text{总成本} \\ \text{价值系数} &= \text{分部工程功能系数} / \text{分部工程成本系数} \end{aligned} \quad (2-3)$$

(7) 确定价值分析的对象,制定改进措施。凡价值系数小于1者,均可作为价值改进对象,诊断存在问题,制定改进措施。

(8) 成果验收和总结。

2.3 本章小结

本章首先从项目成本控制的程序和基本工作环节、主动控制与被动控制的关系、控制系统的构成、成本控制的内容和步骤等几方面对项目成本控制的基本原理进行了讨论，最后从应用层面上对项目成本控制的方法进行了讨论，为后面章节的研究作了一个铺垫。

第3章 集成管理的基本理论

集成一词已经成为当今学术界一个非常流行的词语,并且越来越多的出现在各种学术期刊及专著中,不同学者根据自己对集成不同的认识,提出了不同的集成概念,以及建立在这些概念基础上的不同的集成理论。

3.1 集成与集成管理的内涵和特征

3.1.1 集成的内涵和特征

1.集成的内涵

集成一词从一般意义上可理解为聚集、集合、综合,《现代汉语词典》解释成为同类事件的汇集。Integration 源于 Integer 词根。它表示一个整数是一个完整的数,而不是一个分数,而 Integration 源于拉丁语的 in=in(内部)和 tangere=to touch(联系)。因此,Integration 在英语中解释为融合、综合、成为整体、一体化等。集成又被认为一个过程或一种活动的结果。

用系统论的观点,结合集成在社会、经济、科学技术发展中的作用,可将集成的内涵概括性的描述为:两个或两个以上的集成单元(要素、系统)集合成为一个有机整体系统的过程。所集成的有机整体(集成体)不是集成要素之间简单的叠加和堆积,而是按照一定的集成方式和模式进行的构造和组合,其目的在于更大程度地提高集成体的整体功能,适应环境的要求,以更加有效地实现集成体(系统)的目标。因此,从本质上讲,集成强调人的主动行为和集成体形成后的功能倍增性与适应性变化,这无疑是构造系统的一种理念,同时也是解决复杂系统问题和提高系统整体功能的方法。

2.集成的特征

集成有以下几方面主要特征:

(1) 主体行为性

集成的主体行为性特征表现为,集成是集成主体——人的有意识、有选择的行为过程,是为实现集成主体某一具体目的而进行的有意识的活动。因此,集成突出强调集成体的主体行为。

(2) 非线性

集成的非线性特征表现为,集成是一种以功能倍增或涌现出新增功能为结果的性质,因此,它不是集成要素之间简单的叠加和堆积,而是一种非线性功能变化或功能涌现。如集成电路,不仅大大提高分立元件所组成电路的功效,而且在抗干扰性、稳定性方面增加了新的功能。

(3) 整体优化性

集成的整体优化性特征表现为：集成是集成行为主体的有意识、有选择性过程，这种有意识、有选择的过程本身就包含着优化的思想方法，而且经过有目的、有意识地比较选择，以一种能充分发挥各集成要素的优势，并且最终能实现整体优势、整体优化目标。

(4) 相融性

集成的相融性特征表现为，各可集成单元之间有着内在的相互关系或联系，这种相互关系和联系，是各集成单元能否集成为一个整体的必要条件，当然这种相互关系和联系又是以具体的集成目标为前提。

3.1.2 集成管理的内涵和基本特征

1. 集成管理的内涵

基于对集成内涵的认识以及对集成管理现象的分析，我们将集成管理定义为：集成管理是以集成为指导思想，将集成的基本原理和方法创造性运用到管理实践中，以集成的组织和行为方式为核心，按照集成机制选择集成单元(集成要素)、建立集成关系、构建集成系统，以定性与定量相结合的集成方法论为基础，综合运用各种技术、方法和手段协调和集成管理活动，以实现集成者(集成主体或管理者)的集成目标。进一步说，集成管理就是集成主体(管理者或组织)，从集成这一新的视角来看待、分析人类有组织、有目的的社会活动，将人类与实践活动的各种资源要素纳入管理的范围，拓展管理的视野和疆域，并将组织内外的各种集成要素按照一定的集成模式进行整合，综合运用各种不同的方法、手段、工具，促使各种集成要素功能和优势互补与匹配，从而产生非线性的功能倍增或涌现的整体功效。

集成管理理念是系统论哲学思想的具体体现，集成管理的理论基础是集成理论和系统理论，其技术与方法已不仅仅是一种或几种科学管理方法，也不纯是某几种工程技术和手段，而是综合各类方法的，定性与定量相结合集成方法系统。集成要素包括：人、财、物、信息等基本集成要素，也包括各种不同类型的组织、子系统等。

集成管理有两个基本观点：一是集成观，即集成管理主体有明确的集成目标，各类集成要素—人、机、财、物、信息、组织等都是集成对象，集成活动是一项系统活动，集成过程是一个不断调整的动态过程；二是知识观，即集成管理的实质是通过对集成活动的管理，促进集成活动的知识生产、传播和应用，使知识成为生产力。集成管理的核心是知识，这是当今 21 世纪管理的本质所在。

2. 集成管理的特征

集成管理除了具有目的性、主体行为性、非线性性、整体优化性、互补性、层次性等集成的一般特征外，还具有以下几方面突出特征：

(1) 综合集成性

从资源角度来看,集成管理将企业内、外各种资源都纳入管理范围内,即不仅将企业的人、财、物、技术、信息等资源作为管理的资源要素,而且将企业外部的各种也纳入到管理者资源选择及集成的范围内,通过有目的的选择、评价与集成,实现集成管理主体(或集成管理施动者)的目的。从管理要素角度来看,在传统的管理活动中,人、财、物是基本管理要素。然而随着社会的发展和进步,在人、财、物这些基本管理要素的性质不断演化更新的同时,各种新的管理要素大量涌现,并且各管理要素的重要性也相继发生转换。当今信息技术时代及未来知识经济社会里,信息已成为极为重要的管理要素,知识也将成为未来社会里惟一有意义的资源。因此,在管理要素更加广泛多样的现代社会里,集成管理的要素范围必然更加广泛,从人、财、物到信息、知识、策略、组织等都是集成管理涉及的要素,既涵盖所有的软、硬件资源要素,尤其是集成管理强调知识的创造。因此,知识、智力在集成管理活动中占有较大比重。这些要素的有效集成既是决定集成管理成败的关键,也是通过集成管理使系统产生倍增或涌现的源泉。再有,从管理技术手段和方法角度来看,集成管理不仅涉及管理技术本身的集成,而且涉及管理技术与制造技术、信息技术等相互融合与综合集成,如 MRP-II, JIT, Lean-Production, BPR, CIMS 等,都是管理技术与制造技术、信息技术有机结合的综合集成技术。没有信息技术的支持,MRP-II 等是无法实现的。

(2) 复杂性

集成管理的复杂性表现在:其一,由于集成管理的要素不仅包含企业内部的各种要素,而且包含企业外部可供选择和集成的资源,因此,构成集成管理体系(系统)内的各要素(单元)间的联系广泛而紧密,每一要素的变化都会受到其他各要素变化的影响,并会引起其他要素的变化;其二,企业集成管理系统具有多层次、多功能的结构,每一层次均成为对构筑其上一层次的单元;其三,集成管理系统在其形成与发展过程中又会不断地学习并对其层次结构与功能进行重组和完善;其四,集成管理系统是环境产物,同时又随环境变化而不断演化;其五,集成管理强调集成主体的行为性,智能作用在集成管理中突出表现,而复杂系统最本质的特征恰恰是其组成部分具有某种程度的智能性,即具有了解其所处的环境,预测环境变化,并按预定目标采取行动的能力。

(3) 多样性

由于集成管理的内涵广泛,而且集成单元的内在性质各不相同,因此,集成管理呈现多样性。如管理理念集成(LAF-Lean Agile Flexible),管理技术与方法的集成(MRP-II 及 JIT 等),功能集成(MRP-III),过程集成(并行工程 CE-Concurrent Engineering,企业经营过程重构 BPR-Business Process Reengineering),企业内部资

源与外部资源的资源集成,跨部门工作小组的组织集成,不同行为主体间的网络组织集成(供需链、动态联盟)管理技术与设计、制造技术集成,管理系统与技术系统、制造系统集成(CIMS)等。

(4) 协同性

集成管理的目标是通过集成实现系统优势互补、聚合放大、功能倍增或涌现,这就要求各集成管理要素必须按照一定的集成方式或模式协调一致,集成管理系统的有序度越大,集成管理系统的整体功能越强;同时,由于集成管理的复杂性和综合性的客观存在,因此各集成要素必须高度协同。这种高度协同性,不仅表现为企业内部的市场研究、产品开发、生产制造、营销及售后活动等一系列的相互协同,而且表现为企业集团内部的生产经营活动、企业与企业之间的战略联盟等活动的战略协同。

(5) 创新性

由于集成突出强调人的主体行为性,而集成管理的主体行为性又突出表现为管理者以一种创造性思维方式和创新性的管理方法,将企业内、外资源进行有机整合和重构,从而产生集成前所无法达到的效果,实现集成体的功能倍增或涌现。因此,集成管理主体行为的创新性,没有创新性的行为,集成管理也难以达到集成所带来的功能倍增或涌现的效果。

3.2 集成管理的理论基础

3.2.1 一般系统论

系统一词最早出现于古希腊语中,原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置,也就是部分组成整体的意思。可是将系统作为一个重要的科学概念予以研究,则是由美籍奥地利理论生物学家贝塔朗非(Ludwing Von Bertalanffy)于1937年第一次提出来,他认为系统是“相互作用的诸要素的综合体”。

任何事物都是系统与要素的对立统一体,系统与要素的对立统一是客观事物的本质属性和存在方式,他们相互依存、互为条件,在事物的运动和变化中,系统和要素总是相互伴随而产生、相互作用而变化,它们的相互作用有如下三个方面:

1. 系统通过整体作用支配和控制要素

当系统处于平衡稳定条件时,系统通过其整体作用来控制 and 决定各个要素在系统中的地位、排列顺序、作用的性质和范围的大小,统率着各个要素的特性和功能,协调着各个要素之间的数量比例关系,等等。在系统整体中,每个要素以及要素之间的相互关系都由系统所决定。系统整体稳定,要素也稳定;当系统整体的特征和功能发生变化,要素以及要素之间的关系也随之变化。

2. 要素通过相互作用决定系统的特征和功能

一般来说,要素对系统的作用有两种可能趋势。一种是要素的组成成分和数量具有一种协调、适应的比例关系,就能够维持系统的动态平衡和稳定,并促使系统走向组织化、有序化;一种是如果两者的比例发生变化,使要素相互之间发生不协调、不适应的比例关系,就会破坏系统的平衡和稳定,甚至使系统衰退、崩溃和消亡。

3. 系统和要素的概念是相对的

由于事物发生和发展的无限性,系统和要素的区别是相对的。由要素组成的系统,又是较高一级系统的组成部分,在这个更大系统中是一个要素,同时,它又是较低一级组成要素的系统。

系统理论的创立,使人们的思维方式发生了根本性的改变,从时空分离走向时空统一,从局部走向整体,从分散方法走向系统方法。它使人们对客观过程的认识更加深刻,使人们的认识提高到一个新的水平。为解决现代科学技术和社会生活中的各种复杂问题,提供有效的工具和手段。贝塔朗非是一位生物学家,他针对生物学研究中的机械论和活力论,提出了机体论的思想。在此基础上创立了一般系统论。基本内容有:系统原理、系统技术、系统哲学、系统本体论、系统认识论、系统价值观。

系统论给人们提供了一种科学的思维方法,即系统思维方法。系统思维就是把研究对象作为一个系统整体进行思考、研究。它同传统的思维方法有很大的区别,有其独具的思维特征,它是一种整体的、多维的思维方式。其特征表现为系统思维的多维性、目的性、相关性和优化性。

4. 霍尔的“硬系统”方法论

自20世纪60年代以来,许多学者对系统工程的方法进行了大量的研究,但是要想找到一种能够处理所有问题的标准方法的想法是不现实的。实践证明尽管没有这样一种通用的标准方法,但总还可以找到一种比较能适应各种不同问题的思想方法。霍尔(A. D. Hall)于1969年提出了一种处理系统工程问题的一般方法霍尔模型,它用时间维、逻辑维、知识维这三维空间描述复杂系统分析与设计中在不同阶段时所采用的步骤和所涉及的知识,它是系统工程分析的方法,也是集成化管理系统分析与设计中的主要方法。该三维空间的主要内容是:

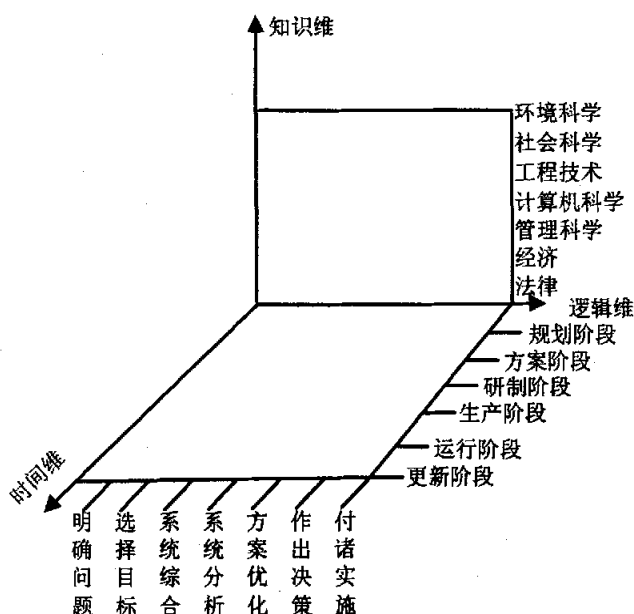


图 3-1 霍尔的三维结构体系

(1) 时间维

三维结构中的时间维，表示系统工程活动从规划阶段到更新阶段按时间排列的顺序，可分为七个工作阶段：

- 规划阶段，谋求系统工程活动的规划和战略；
- 拟定方案阶段，提出具体的计划方案；
- 系统研制阶段，实现系统的研制方案，并制定生产计划；
- 生产阶段，生产出系统的构件及整个系统，并提出装配计划；
- 装配阶段，将系统安装完毕，并完成系统的运行计划；
- 运行阶段，取消旧系统，代之以新系统或改进原系统，使之更有效地进行工作。

(2) 逻辑维

三维结构中的逻辑维，是对每一工作阶段，在使用系统工程方法来思考和解决问题时的思维过程，可分为七个步骤：

- 明确问题。通过系统调查，尽量全面地收集和提供解决问题的有关资料和数据；
- 系统指标设计。在问题澄清后，选择具体的评价系统功能的指标(目标)，以利于衡量所有供选择的系统方案；

- 系统方案综合。按照问题的性质及总的功能(目标)要求,形成一组可供选择的系统方案,方案中要明确所选系统的结构和相应参数;

- 系统分析。对可能入选的所有方案,通过比较进行精简,并对精简的方案进一步说明性能和特点,以及与整个系统的相互关系;

- 方案选择(最优化)。在一定的限制条件下,对入选方案选出最优者;

- 方案决定。根据更全面的要求,最后决定一个或几个方案予以试行;

- 实施计划。根据最后选定的方案,对系统具体实施。

(3) 知识维

三维结构中的知识维就是为完成上述各阶段、各步骤所需要的知识和各种专业技术。

3.2.2 控制论原理

控制论、信息论和系统论,几乎同时形成于20世纪40年代,它的主要创立者是美国数学家、学者维纳(Norbert Wiener)。在控制论产生后的短短几十年的历史中,它以神奇的力量迅速发展,并渗透到人类活动的各个领域,几乎与所有的学科都发生直接或间接的联系。控制论同信息论、系统论一样,也是一门跨越学科门类,具有浓厚方法论性质的科学。

控制论的定义曾有过各种表达方式,但其基本概念则相差无几。维纳把控制论定义为“关于实现系统自身的稳定和功能,系统需要取得、使用、保持和传递能量、材料和信息,也需要对系统的各个构成部分进行组织”,“控制论研究系统各个部分如何进行组织,以便实现系统的稳定和有目的的行为”。由此可见,控制论是研究系统调节与控制的一般规律的科学,它是自动控制、无线电通信、神经生理学、生物学、电子学、数学、医学和数理逻辑等多种学科互相渗透的产物。

控制论的发展过程大致分为三个阶段20世纪50年代末期之前为第一阶段,称为经典控制阶段;20世纪50年代末期至70年代末期为第二阶段,称为现代控制论阶段;20世纪70年代初期至现在为第三阶段,称为大系统理论阶段。经典控制论主要研究单输入和单输出的线性控制系统的一般规律,它建立了系统、信息调节、控制、反馈、稳定性等控制论的基本概念和分析方法,为现代控制理论的发展奠定了基础,它研究的重点是反馈控制,核心装置是自动调节器,主要应用于单机自动化;现代控制论的研究对象是多输入和多输出系统的非线性控制系统,其中重点研究的是最优控制、随机控制和自适应控制,主要应用于机组自动化和生物系统;而大系统理论的主要研究对象是众多因素复杂的控制系统,研究的重点是大系统的多级递阶控制、分解-协调原理、分散最优控制和大系统模型降价阶理论等。

根据维纳及其他学者阐述的控制论的基本概念、基本关系、基本思想，归纳出控制论的基本原理有：

- ①控制反馈原理和反馈方法
- ②可能性空间和可控原理
- ③目的、行为相似性原理和功能模拟
- ④输入输出原理和黑箱方法

3.2.3 信息论原理

信息论产生于 20 世纪 40 年代，它的主要创立者是美国的数学家申农 (G.E.Shannon) 和维纳。最早信息论仅局限于通讯领域，是一门应用概率论和数理统计方法研究信息处理和信息传递的科学。它的基本内容是研究信源、信输、信道及编码问题。后来信息论作为控制论的基础，它研究的是通讯和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律，同时也是研究如何提高系统的有效性和可靠性的通讯理论。随着现代科学发展的综合化、整体化、信息概念及其方法远远超出通讯领域，已经推广和应用用于其他学科如生物学、医学、仿生学、语言学、管理科学等，从而是局限于通讯领域的信息理论，发展成一种广义信息论。

信息论的基本思想和特有方法完全撇开了物质与能量的具体运动状态，而把任何通信和控制系统看作是一个信息的传输和加工处理系统，把系统的有目的的运动抽象为一个信息变化过程，通过系统内部的信息交流才使系统维持正常的有目的性的运动。任何实践活动都简化为多股流：即人流、物流、财流、能流和信息流等，其中信息流起着支配作用。通过系统内部的信息流作用，才能使系统维持正常的有目的的运动，它调节着其他流的数量、方向、速度、目标，并按着人和屋进行有目的、有规律的活动。因此，信息论可以说是控制论的基础。

信息论方法是对系统运行借助于信息的获取、传递、加工、处理而实现其有目的性的运动的一种研究方法。如图 3-2 所示。用联系的、转化的观点综合研究系统过程的方法。这种信息方法具有如下特点：

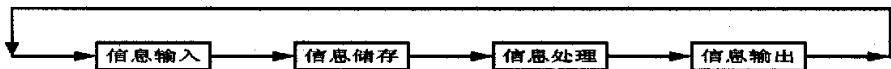


图 3-2 信息方法过程

- ①信息为基础，把系统有目的的运动抽象为一个信息变换过程
- ②直接从整体出发，用联系、转化的观点，综合研究系统的信息过程
- ③对抽象出来的信息过程能够作定性和定量分析

3.3 本章小节

本章从集成现象的分析入手,概括了集成与集成管理的内涵及特征;给出了集成管理的理论基础。具体研究内容如下:

1.用系统论的观点,可将集成的内涵概括性地描述为:集成是将两个或两个以上的集成单元(要素、系统)集合成为一个有机整体系统的过程。

2.集成以系统思想为指导,但集成不是简单地把两个或多个单元连在一起,它是将原来没有联系或联系不紧密的单元组成为有一定功能的、紧密联系的新系统。因此,集成属于系统综合与系统优化的范畴。

3.集成强调人的主动行为。要素间一般性地结合在一起并不能称为集成,只有要素经过主动的优化,选择搭配,相互间以最合理的结构形成结合在一起形成一个由适宜要素组成的、相互优势互补、匹配的有机整体,这样的过程才称为集成。因此,集成是主动地寻优过程。

4.集成管理的理论基础包括:一般系统论、控制论原理、信息论原理。

第 4 章 工程项目成本集成控制基本理论

4.1 工程项目成本集成控制

4.1.1 集成控制的现状与发展历程

项目集成管理的思想在很早以前就已经萌芽了,只是以前将这种项目管理的思想称为“系统”思想(例如,中国战国时期李冰父子组织修建的都江堰工程中就充分运用了系统管理的思想和方法)。特别是在二战之中和之后的一段时间内,系统思想对于项目集成管理的发展起到了很大的推动作用。例如,在美国宇航局开发的“阿波罗计划”(Apollo program)中,由于采用了基于工期的(Time Oriented)项目系统管理思想和方法,使得整个项目的工期大大缩短,并使该项目的管理成了传世杰作。然而,随着现代项目管理知识体系的逐步建立,这种系统管理的思想在项目管理中逐步演变成整个项目管理知识体系中的一个独立的部分,即“项目集成管理(Project Integration Management)”。

研究表明,虽然项目集成管理这一提法出现比较晚,但是相关的研究在 20 世纪 50 年代末期就开始了。美国国防部、能源部和 NASA 等美国政府性项目的主要业务部门,通过开展有关项目工期和项目成本的集成计划与控制方法的研究,开创了项目集成管理研究的先河。其中,1958 年由美国国防部组织美国海军研究推出的项目计划评审方法(PERT/COST),虽然不很成功,但是已经具备项目工期和成本集成管理的雏形了。特别是美国国防部 1967 推出(并几经改进,而且一直在使用)的由美国空军为主研究开发的“成本/工期控制系统规范”(Cost/Schedule Control System Criteria—C/SCSC),更是一种项目集成管理的实际应用方法。后来人们在此基础上开发出了“挣值管理(Earned Value Management—EVM)”的项目成本与工期的集成管理方法。直到今天,在美国国防部等主要政府性业务项目的招投标中都要求承包商采用这种项目工期与集成管理的方法以及相应的项目报告标准。

C/SCSC 这种项目集成管理的方法多年来一直是美国军方专用的,到 1995 年美国全国担保业协会(National Security Industrial Association—SIA)为代表的私营部门才获准进行有关“成本/工期控制系统规范”(挣值管理)理论和方法的评价与推广研究工作。经过一年多的调研,他们才制定出适合私营部门项目管理使用的“挣值管理”方法和规范。这一新的规范被称为“挣值管理系统”(Earned Value Management System—EVS),该规范在 1996 年得到了美国国防部的认可。至此,挣值管理的理论和方法才被名正言顺地用到了各种项目的集成管理之中。现在许多学术界和实业界的权威们都认为:“挣值管理系统”将会发展成为 21 世纪项目

管理的主导性方法之一。特别是近年来,美国项目管理协会(PMI)汇集了一大批相关的学者正在深入研究如何运用挣值管理理论开展项目集成管理的方法并已获得了一定的进展。

但是必须指出的是,这种挣值管理方法只是涉及了项目工期和成本两个方面(或要素)的集成管理,而一个现代化项目的成功涉及项目成本、工期、质量、范围、风险等诸多要素,因此必须设法对这些要素进行全面的集成管理,才能够真正实现项目相关利益者的期望和项目目标。所以项目集成管理的方法不应该仅仅局限于对项目 and 成本的集成管理,还应该进一步扩展为包括项目成本、工期、质量、范围、风险等诸多要素的项目全要素的集成管理。

4.1.2 集成控制的内涵

工程项目成本集成管理是以集成思想为指导,依据工程项目和工程项目管理的特点,以成本、进度、质量三个要素组成的项目目标体系为核心,以定性分析与定量分析相结合的集成方法论为基础,通过科学而巧妙的创造性思维,将集成贯穿于工程项目成本管理活动的全局和整个过程的项目管理模式。工程项目成本集成控制系统的运作框架如图 4-1。

工程项目的目标体系是工程项目成本集成控制系统的基础。它能够吸引各种各样不同的人员、资金、设备、智力资源、生产技能、管理经验等项目单元,使它们聚集成一个有机的整体,并担负着决定整个项目系统的发展方向的重任。该集成系统的目标具有多重性,它追求的不是项目单个目标的最优,而是要同时追求成本、进度、质量等多个目标的优化。不论是集成思想贯彻还是项目管理方法的运用,都是为了最终实现项目的目标,整个项目管理系统都是围绕项目目标系统展开的。

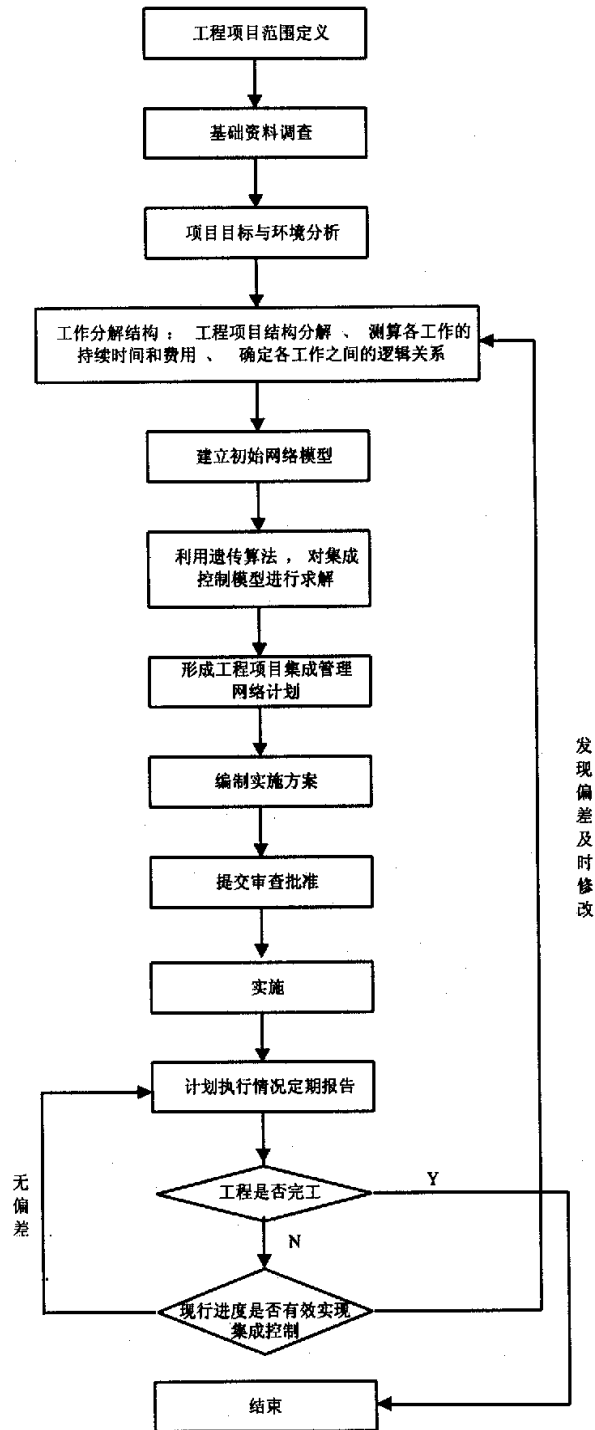


图 4-1 工程项目成本集成控制运作框架

工程项目成本集成控制从本质上说就是从全局的观点出发以工程项目整体

利益最大化作为目标,以项目各专项控制(包括:项目成本、进度、质量)的协调与整合为主要内容所展开的系统性项目管理活动。由于某个项目专项目标的实现与管理活动的变更会破坏另一个项目专项目标的实现,甚至改变另一个项目实施与管理活动的内容和要求,所以必须充分认识工程项目各专项工作之间的相互关系和相互影响,并通过开展项目成本的集成控制去全面地把握和管理好项目。

4.1.3 集成控制的特性

由于工程项目成本集成控制涉及到项目进度、质量等多方面的协调和整合,所以它是一项具有综合性、全局性与系统性的项目管理工作。项目成本集成控制的主要特性有:

(1)综合管理的特性

项目成本集成控制的最大特性是它的综合性,即综合项目各个方面和各个要素开展控制的特性。在一个项目中会有许多方面的专项管理工作,但是不管哪个专项都是针对项目的某一个特定的目标而开展的,所以就需要有一种综合性的管理工作来协调和综合这些专项管理的目标、工作和过程,项目成本集成控制正是为此而开展的一项综合协调性的项目管理工作。

(2)全局管理的特性

项目成本集成控制第二个特性是它的全局性,即从项目全局出发协调和控制项目各方面与各个局部的管理工作。一个项目通过项目分解会划分许多方面和许多局部的项目实施与管理工作,这些工作都是为实现某个具体的项目目标而开展的;而且这些专项和局部的工作也是分别由不同的部门或人员去实施的,特别是当项目的环境条件发生变化时会引发项目某个方面或某个局部的计划变更。这些都需要有一种全局性的管理工作来协调和统一,以便从项目全局出发控制和管理好项目的专项管理工作和各种变更,项目成本集成控制就是这样一项全局性的项目管理工作。

(3)内外结合的控制

项目成本集成控制另一个特性是它的内外结合特性,即全面控制和协调项目内部与外部的变化的特性。在项目的实施过程中,对于项目的管理和控制并不仅仅是对项目内部因素和条件的管理与控制,还需要对许多来自项目外部的环境和影响因素进行必要的管理与适应。这包括对项目相关利益者在项目实施过程中提出的各种项目目标和任务变更请求的协调,对项目所在地政府或社区提出各种干预和变更的适应,对项目供应商和承包商与项目业主的变更请求的协调等等。这些来自项目内部和外部的影响要求项目组织必须集成控制好项目内部和外部各种影响要素的综合作用,项目成本集成控制正是这样一种内外结合的项目管理工作。

4. 2 工程项目成本集成控制基本理论

4.2.1 成本、进度、质量相互之间的关系

1. 成本和质量的关系

质量要求越高，则施工成本越高。当质量达到一定程度，再需进一步强化时，其成本将成几何倍数增加。但在实际当中，人们对质量并不是无限要求的而是在一定范围之内。在这个范围之内，质量(Q)和成本(C)呈近似正比例关系，如图4-2所示。

在合同和规范规定的范围，业主对工程质量的要求，一般在 Q_A 与 Q_B 之间，即在优秀和合格之间，而不会无限扩散。

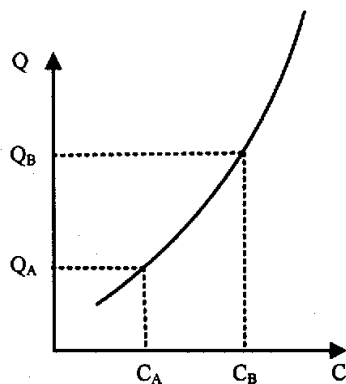


图 4-2 成本和质量的关系图

2. 进度和质量的关系

施工的进度和质量之间也呈近似的正比例关系，如图4-3所示，当工程项目由于特殊原因被返工，往往对工程质量要求有些放松，因此，工程工期宽裕些，施工质量就相对要好些，但工期过长，造成设备装置、资金占压人员窝工等，项目的成本就会增加。所以，在给定的工期内工程的质量在 Q_A 与 Q_B 之间。

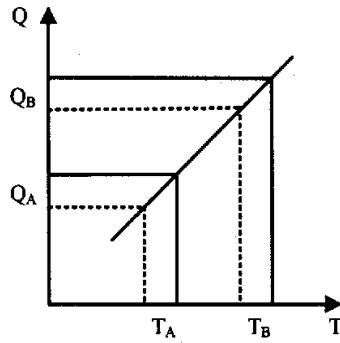


图 4-3 质量和进度的关系

3. 进度和成本的关系

施工进度和施工成本之间是凹形成本关系，即施工成本过大或过长都会造成施工成本大幅上升。这两者关系如图 4-4 和图 4-5 所示。

从图 4-4 可以看出，工期缩短，工程施工需要赶工，施工成本增加；工期延长，工程施工的固定费用会增加，也会导致施工成本增加，在图 4-4 中，可以看到阴影部分为合理的工期，即在时间允许下，工期在合理区域内可以保证施工成本得以有效控制，其中， T 为工程施工成本最低时所对应的最佳工期。

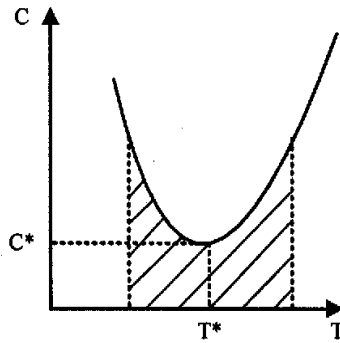


图 4-4 成本和进度的关系图

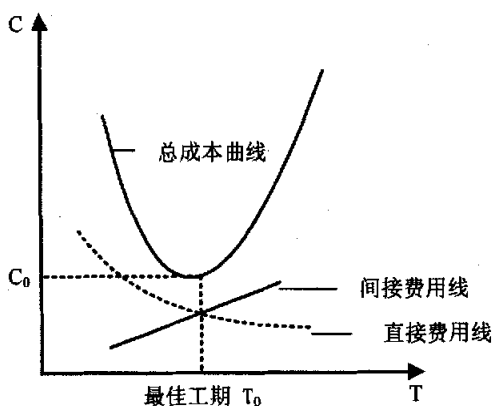


图 4-5 进度和成本关系曲线图

4.2.2 集成控制概念

如前所述,在施工阶段的成本集成控制不能仅仅考虑成本因素,把成本与进度、资源和质量隔离开来。事实上,成本控制的目标是寻找进度、成本和质量等各因素间的最优均衡的结果。工程项目管理中贯彻的一贯方针是“三监控、两管理、一协调”,“三监控”即质量、进度、成本的控制;“两管理”即信息和合同管理;“一协调”即各方关系的协调。

项目建设目标的理想状态是同时达到最短工期、最低造价和最高质量,但这在实际上是很难实现。由于项目的三大目标组成的目标系统,是一个相互制约、相互影响的统一体,其中任何一个目标的变化,都势必引起另外两个目标的变化,并受它们的影响和制约。他们之间的关系如图 4-6:

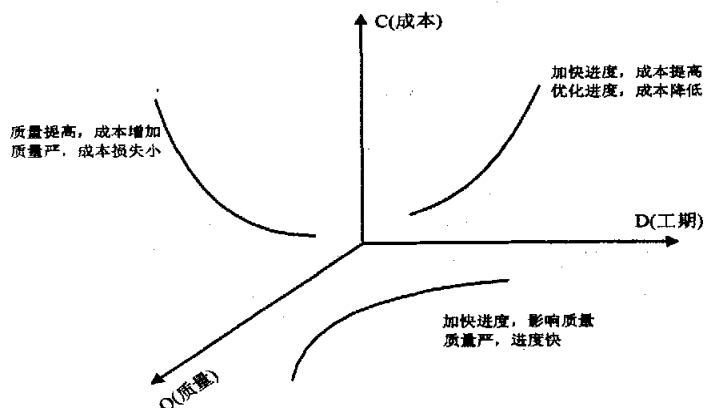


图 4-6 成本、质量、进度三者关系图

图中:

(1)成本与进度的关系是:加快进度往往要增加投资,成本提高;但是加快进度提早项目完工时间,则可以增加收入,提高投资效益。

(2)进度与质量的关系是:加快进度可能是影响质量,但严格控制质量,避免返工重做,则可以加快进度。

(3)质量与成本的关系是:质量好则可能要增加成本,但严格控制质量,可以减少材料费、人工费、机械使用费的损失,可以减少这些返工损失以及经常性的维护费用,质量好可以延长工程使用年限,又可提高投资效益。

一个质量要求很高的项目,必定在工期和造价上达到最优,只能形成质量倾斜型目标体系;如果要求最短工期,在造价和质量上势必有所牺牲,只能形成工期倾斜型目标体系;同理,如果造价要求压的最低,则在工期和质量上不可能达到最佳,只能形成造价倾斜型目标体系。所以只有同时考虑成本、进度、质量,即集成的管理、控制各种因素,才能有效、成功的管理、控制一个项目,集成控制方法正是基于这一基本原理。所谓成本集成控制,就是基于网络计划技术,将项目分解为一系列有前后逻辑关系的工序并赋予各自的持续时间、所需的资源及相关的成本。通过对该模型进行计算,从而实现对项目成本的控制,同时进行进度计划和资源安排。

本文利用多属性效用函数理论,建立工程项目成本集成控制的综合均衡优化模型,并在网络计划技术的基础上,使用遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。

4.2.3 集成控制系统功能分析

集成控制系统应是“事前”成本目标的制定、“事中”成本信息的采集处理、“事后”对成本状况的分析反馈的“三位一体”的系统管理过程;实时处理成本信息和分析成本发展状况的“实时控制”,以及通过实时的信息反馈机制,调整未来成本计划,有针对性地确立后续工作控制方向的“动态控制”,系统以项目成本预算或计划为基础,建立改进的计划预算体系,结合工程进度,实现施工过程中对日常发生的成本费用的实时采集、处理,随时提供阶段性成本统计分析结果,总结成本费用的节超支状况;并通过对成本的多角度分析,查找引起成本偏差的具体原因和施工环节,使项目管理人员在施工过程中能随时了解成本进展情况,以便对成本异常及时采取有效措施,有针对性地在后续施工中加强对成本异常环节的管理,其系统功能如图 4-7 所示:

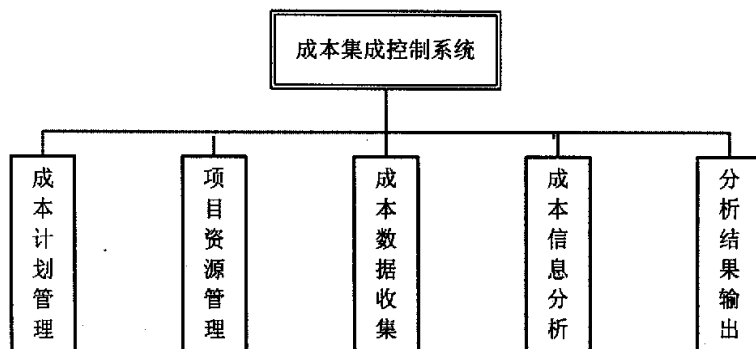


图 4-7 集成控制系统功能分析

(1)成本计划管理功能

包括对项目预算、定额、资源计划、进度计划的管理。

(2)项目资源管理功能

对项目施工中实际使用的人工、机械以及材料采购、库存的管理。

(3)成本数据采集功能

包括对每日完成的工程量，以及对日常发生的成本费用进行采集。

(4)成本信息分析和分析结果输出功能

可形成和输出多种有关成本及其结果的报表、图形。

系统的总体控制思路是：实际成本与预算成本的自动对比，通过自动对比来发现成本节超状况，并且结合项目进度计划，分析成本的实际进展状况，实现对成本的动态实时控制。

4.2.4 集成控制的基本原则

1.全面性

任何成本控制系统都会增加管理费用。通常，控制得越严，则该系统花得费用越大，因此存在一个收支平衡点。随着成本控制费用地增加，工程直接成本可望减少。然而，到了某一点后成本控制的加强并不能再降低工程成本，因此这是一条凹面向上的曲线。直接成本与控制费用相加就是工程总成本，工程成本在大多数情况下会达到一个最小值，然后有增加。因此，建立成本控制系统应全面考虑，以达到最优控制水平。

2.实时性

要想严格控制成本，科学管理，成本控制系统除了事先有合理计划，做好成本预测外，还应在计划的实施过程中，随时进行成本测算，随时了解成本的变动情况，随时根据所采取的应变措施修改原计划，做到实时、准确地控制成本。

3.动态性

传统地成本控制系统和工程施工行业中几乎所有其他系统都是回溯性地,也就是说,他们所提供的信息都是过去发生的事件,以至于经常来不及采取改正措施。要科学、主动的控制成本,成本控制体系应该是动态的。即能够事先预测成本发生的可能性。根据成本的实施情况,随时仿真剩下的施工工序,以决定应变措施是否有效。

4.实用性

成本控制系统中的一个关键就是管理者对所提供信息的反应。因此,任何管理信息系统要行之有效,都必须由成本意识强的职员在适当的激励机制下来运行。另外,计算机使成本控制工作变的非常直接,但收集工地上以完工的有关数据仍靠手工超作,成本控制系统应考虑如何使这两者协调并使一般的项目管理人员稍经培训就可以操作,使系统具有实用性。

4.3 本章小结

本章从工程项目成本集成控制发展状况入手,概括了工程项目成本集成控制的内涵及特征;给出了工程项目成本集成控制的基本理论。具体研究内容如下:

- 1.工程项目成本集成管理是以集成思想为指导,依据工程项目和工程项目管理的特点,以成本、进度、质量三个要素组成的项目目标体系为核心,以定性分析与定量分析相结合的集成方法论为基础,通过科学而巧妙的创造性思维,将集成贯穿于工程项目成本管理活动的全局和整个过程的项目管理模式。

- 2.工程项目成本集成控制涉及到项目进度、质量等多方面的协调和整合,所以它是一项具有综合性、全局性与系统性的项目管理工作。

3. 工程项目成本集成控制,就是基于网络计划技术,将项目分解为一系列有前后逻辑关系的工序并赋予各自的持续时间、所需的资源及相关的成本。通过对该模型进行计算,从而实现对项目成本的控制,同时进行进度计划和资源安排。

4. 工程项目成本集成控制应该遵循全面性、实时性、动态性、实用性的原则。

第 5 章 工程项目成本集成控制方法

从前面几章我们对工程项目成本集成控制概念的描述可以看出,要实现工程项目成本集成控制,就需要使项目中的各项活动都围绕项目成本目标展开,在工程项目的整个周期中综合考虑进度、质量等多个目标,编制出能够协调这些目标的集成计划,并通过确定的战略、设计相应的组织结构,并通过有效的协调沟通等手段保证该计划的贯彻实施,使项目成本集成计划变成项目产出物;同时在工程项目实施过程中,通过一定的技术方法,努力使项目的实施能够与项目成本集成计划保持一致,同时又能够对项目运行工程中出现的问题及时的调整。这些就构成了工程项目成本集成控制方法的重要内容。

5.1 挣值法基本原理

挣值法实际上是一种分析目标实施与目标期望之间差异的方法。故而它又常常被称为偏差分析法。挣值法通过测量和计算已经完成的工作的预算费用与已经完成的实际费用和计划工作的预算费用得到有关计划实施的进度和费用偏差,而达到判断项目预算和进度计划执行情况的目的。因而它的独特之处在于以预算和费用衡量工程的进度。挣值法取名正是因为这种分析方法中用到一个关键值—挣值(即是已经完成工作预算),而以其命名。

1. 挣值法的三个基本参数

(1) 计划工作量的预算费用(BCWS),即(Budgeted Cost for Work Scheduled)。BCWS 是指项目实施过程中某阶段计划要求完成的工作量所需的预算工时(费用)。计算公式为:

$$BCWS = \text{计划工作量} \times \text{预算定额} \quad (5-1)$$

BCWS 主要是反映进度计划应当完成的工作量,而不是反映应消耗的工时或费用。

(2) 已完成工作量的实际费用(ACWP),即(Actual Cost for Work Performed)。ACWP 是指项目实施过程中某阶段实际完成工作量所消耗工时(或费用)。ACWP 主要反映项目执行的实际消耗指标。

(3) 已完成工作量的预算成本(BCWP), ,即(Budgeted Cost for Work Performed)。BCWP 是指项目实施过程中某阶段实际完成工作量及按预算定额计算出来的工时(或费用),即挣得值(Earned Value)。BCWP 的计算公式:

$$BCWP = \text{已经完成工作量} \times \text{预算定额} \quad (5-2)$$

2. 挣值法的四个评价指标

(1) 费用偏差 CV(Cost Variance)。CV 是指按检查期间 BCWP 与 ACWP 之间

的差异, 计算公式为:

$$CV = BCWP - ACWP \quad (5-3)$$

当 CV 为负值时, 表示执行效果不佳, 即实际消耗人工(或费用)超过预算值, 即超支。如图 2-8a 所示。

当 CV 为正值时, 表示实际消耗人工(或费用)低于预算值, 即有节余或效率高, 如图 2-8b 所示。

当 CV 为零时, 表示实际消耗人工(或费用)等于预算值。

(2) 进度偏差 SV(Schedule Variance)。SV 是检查日期 BCWP 与 BCWS 的差异。其计算公式为:

$$SV = BCWP - BCWS \quad (5-4)$$

当 SV 为正值时, 表示进度提前(如图 2-9a 所示);

当 SV 为负值时, 表示进度延误(如图 2-9b 所示);

当 SV 为零时, 表示进度与计划一致。

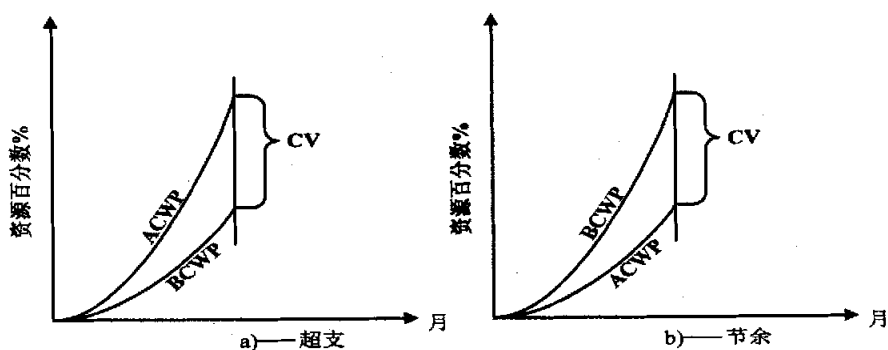


图 5-1 费用偏差示意图

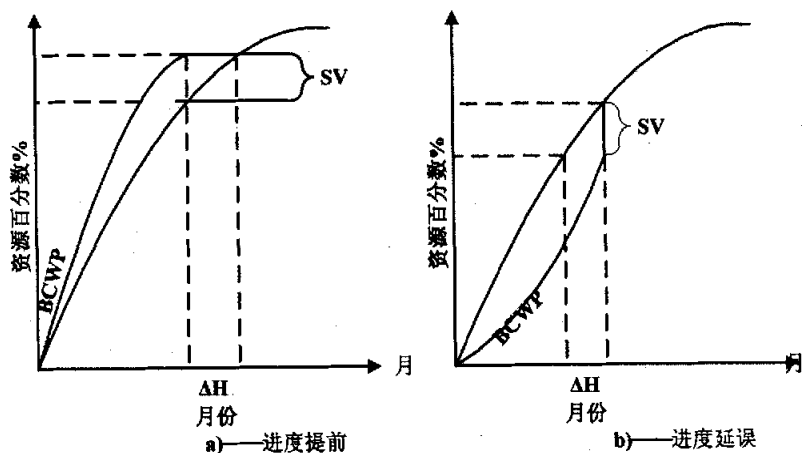


图 5-2 进度偏差示意图

(3) 费用执行指标 CPI (Cost Performed Index)。CPI 是指预算费用与实际费用值之比(或工时值之比)。计算公式为:

$$CPI = BCWP / ACWP \quad (5-5)$$

当 $CPI > 1$ 时, 表示低于预算, 即实际费用低于预算费用;

当 $CPI < 1$ 时, 表示高于预算, 即实际费用高于预算费用;

当 $CPI = 1$ 时, 表示实际费用和预算费用吻合。

(4) 进度执行指标 SPI (Schedule Performed Index)。SPI 是指项目挣得值与计划比, 即:

$$SPI = BCWP / BCWS \quad (5-6)$$

当 $SPI > 1$ 时, 表示进度提前, 即实际进度比计划进度快;

当 $SPI < 1$ 时, 表示进度延误, 即实际进度比计划进度慢;

当 $SPI = 1$ 时, 表示实际进度等于计划进度。

3. 挣值法评价曲线

挣值法评价曲线如图 2-10 所示, 图的横坐标表示时间, 纵坐标则表示费用 (以实物工程量、工时或金额表示)。图中 BCWS 按 S 型曲线路径不断增加, 直至项目结束到达它的最大值。可见 BCWS 是一种 S 曲线。ACWP 同样是进度的时间参数, 随项目推进而不断增加的, 而是 S 型曲线。利用挣值法评价曲线可进行费用进度评价, 如图 2-10 所示。CV<0, SV<0, 表示项目执行效果不佳, 即费用超支, 进度延误, 应采取相应的补救措施。

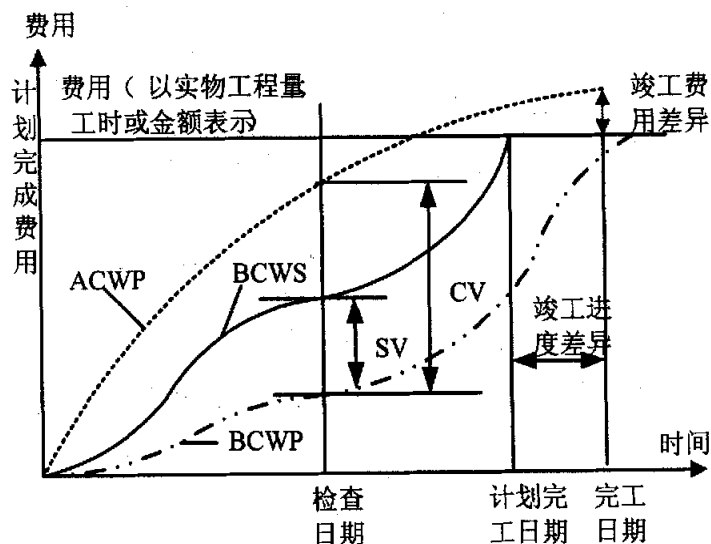


图 5-3 挣值评价曲线图

5.2 改进的挣值法——三维挣值法

进度、成本和质量称为工程项目的三大控制目标,三者之间相互依存、相互影响,形成一个辩证的统一体。工程项目控制的理想状态是同时达到最短的工期、最低的成本和最高的质量。但是我们从第四章知道,工程项目的进度、成本和质量三大目标之间存在着相互作用的因果关系。在工程项目控制不利的情况下,任何一个方面出现问题,都会影响三者关系的整体平衡,给项目实施带来不利的影响。但是,如果在工程项目管理中,合理地调整优化三大控制目标,将对于项目的顺利实施起着重要作用。如适当地加快工程的施工进度,不仅可以避免因意外原因而必须采取的赶工,保证工程的建设质量和工期,而且有可能项目提前完工或提早交付使用,从而尽早发挥项目的经济效益;严格地控制工程的质量,可以减少或避免工程返工,保证项目的建设进度,还可以减少项目的维护费用,提高项目的整体效益;严格地控制工程的成本,可以避免建设项目的费用超支,使得项目的资金按计划供应,从而保证工程的进度和施工质量。

工程项目成本集成控制方法的核心是要实现工程项目成本、进度与质量集成管理,这一方法的基本原理是在挣值法原理的基础上再引入一个中间变量,以用于分析由工程质量因素所造成的项目费用变动。为了将质量引入项目偏差的计算中,这里定义一个叫做“质量执行指数”QPI(Quality Performed Index)的新变量。

$$\text{定义: } QPI = (\text{实际质量水平} + \text{计划质量水平}) \times 100\% \quad (5-7)$$

借助于“质量执行指数”这个变量就可以把质量成本的概念引入到项目挣得值的计算中了。所谓质量成本是指项目为保证和提高产品质量而支出的一切费用,以及未达到质量标准而产生的一切损失费用之和,或者说与质量管理职能管理有关的成本。其计算公式为:

$$\text{已完成工作量的实际质量成本} = \text{已完成工作量} \times \text{单位实际造价} \times \text{质量执行指数} \quad (5-8)$$

$$\text{已完成工作量的预算质量成本} = \text{已完成工作量} \times \text{单位实际造价} \times \text{质量执行指数}(100\%) \quad (5-9)$$

上式(5-9)中,质量执行指数为 100%表示完成工作量的质量是合格的,符合规定要求的。

由上述变量,就可以进一步计算项目的质量偏差:

项目质量偏差值(Quality Variance, QV)是指检查期已完成工作量的实际质量成本与已完成工作量的预算质量成本之间的差异。其计算公式为:

$$QV = \text{已完成工作量的实际质量成本} - \text{已完成工作量的预算质量成本} \quad (5-10)$$

$$\text{项目质量偏差率} = \frac{\text{已完成工作量的实际质量成本} - \text{已完成工作量的预算质量成本}}{\text{已完成工作的预算质量成本}} \times 100\% \quad (5-11)$$

质量偏差率为负值,表示已完成作业的质量水平不达标。同时,质量偏差

率的大小，也表明了质量偏差的程度。如果偏差为负值，就需要及时发现问题，查找原因，并采取适当的纠偏措施。

下面举例来说明上述理论。

例：假设某个项目，总作业量为 M ，总预算为 C ，已经进展到了 50% 的工期时，此时项目花费了 45% 的预算费用，只完成了 40% 的工作量，已完成作业量的平均质量水平为 90%。则：

$$BCWS = 0.5C$$

$$BCWP = 0.4C$$

$$ACWP = 0.45C$$

$$\text{已完成工作量的实际质量成本} = 0.4C \times 90\% = 0.36C$$

$$\text{已完成工作量的预算质量成本} = 0.4C \times 100\% = 0.4C$$

$$\text{项目费用偏差率} = \frac{BCWP - ACWP}{BCWP} \times 100\% = \frac{0.4C - 0.45C}{0.4C} \times 100\% = -12.5\%$$

$$\text{项目进度偏差率} = \frac{BCWP - BCWS}{BCWS} \times 100\% = \frac{0.4C - 0.5C}{0.5C} \times 100\% = -20\%$$

项目质量偏差率

$$= \frac{\text{已完成工作量的实际质量成本} - \text{已完成工作的预算质量成本值}}{\text{已完成工作的预算质量成本}} \times 100\%$$

$$= \frac{0.36C - 0.4C}{0.4C} \times 100\% = -10\%$$

可见，经过本文对“挣得值”等概念的重新修正和定义，就可以在项目实施过程中的任何一点上明确地看出项目三个目标的偏差，并定量地计算出偏差的程度，从而有利于项目管理人员选择和采取正确的纠偏措施。挣值法的变量是根据统计学中的指数分析原理建立的。实际上“挣得值”等一系列中间变量并无实际经济含义，但是有了它们人们就可以对由于实际工作量的变动所造成的差异进行相对与绝对影响的分析，并通过分析找出项目在进度、成本与质量集成控制方面的问题，预测项目现状对于未来发展的影响，并依此制定和采取有效的纠偏措施，以开展对项目多目标的全面集成控制。

5.3 工程项目成本集成控制主要步骤

从理论上讲，网络进度与集成控制对网络计划的基本体系并没有改动，只是将成本作为一种特殊的资源加到了网络工序上，它的主要困难在于如何对每个工序计算出它的成本计划，是否方便分析它的实际支出和挣值。习惯的按估价体系来分解的费用结构与按计划体系分解的工序结构，两者之间存在着较大的差异。前者主要考虑工程量计算和财会原则，而后者主要考虑工序的时间顺序和工艺逻辑

辑原则，各自有各自的任务和特点，不能相互吻合。要解决这一矛盾，就必须兼顾估价体系的特点，并考虑组织结构的实际情况，建立项目分解的层次结构，在工序单元和费用单元之间确立一个相互联系的框架。

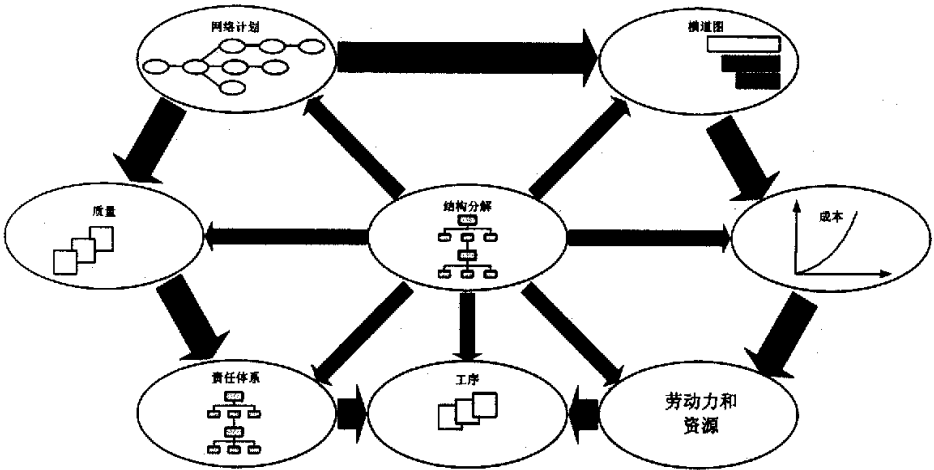


图 5-4 工程项目综合体系

项目分解首先要将工程按其固有的组成部分加以划分，并指派给相应的独立核算的组织结构来承担：就是要使工作分解结构(Work Breakdown Structure,简称 WBS)和组织分解结构(Organization Breakdown Structure,简称 OBS)相互匹配。工作分解结构，即项目结构分解 WBS，是把项目(目标、任务、工作范围、合同要求)按照系统原理和要求分解相互独立、相互影响、相互联系的项目单元，将它们作为项目的计划、实施控制和项目内信息传递等一系列项目管理工作对象，通过项目管理将所有的项目单元合成为一个工作整体以达到综合的计划和综合的控制要求。图 5-4 项目结构分解的工程项目综合体系。

由此，我们基于 WBS 方法可以对工程项目做出有效的集成控制，即先确定初始网络计划，并进行优化调整，如工期优化或资源优化等。经优化调整后即为基准计划，进度、成本、质量目标也同时确定。计划制定好后，关键是实施，及时发现偏差，及时采取措施调整愿计划。成本集成控制的一大优点就在于实时性，计划的及时调整非常重要，整个步骤如图 5-5：

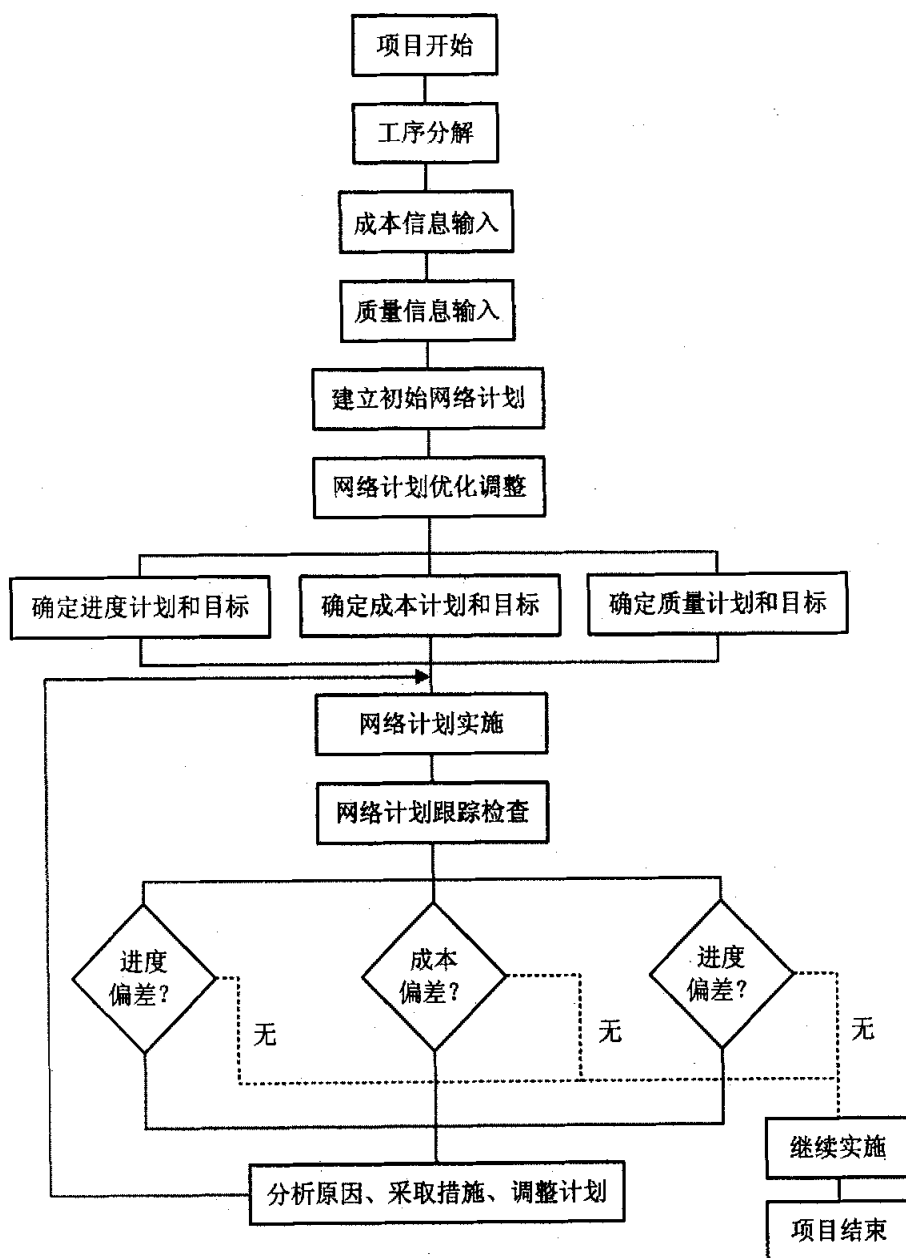


图 5-5 集成控制步骤

5.4 本章小节

本章首先介绍了挣值法的基本概念和原理,然后在此基础上再引入一个中间变量,形成了改进后的挣值法,最后介绍了集成控制步骤。具体研究内容如下:

1. 挣值法实际上是一种分析目标实施与目标期望之间差异的方法。故而它又常常被称为偏差分析法。

2. 挣值法的三个基本参数：计划工作量的预算费用(BCWS)、已完成工作量的实际费用(ACWP)、已完成工作量的预算成本(BCWP)。

3. 挣值法的四个评价指标：

费用偏差 CV(Cost Variance):

$$CV = BCWP - ACWP$$

当 CV 为负值时，表示执行效果不佳，即实际消耗人工(或费用)超过预算值，即超支。

当 CV 为正值时，表示实际消耗人工(或费用)低于预算值，即有节余或效率高。

$$SV = BCWP - BCWS$$

进度偏差 SV(Schedule Variance)

$$SV = BCWP - BCWS$$

当 SV 为正值时，表示进度提前。

当 SV 为负值时，表示进度延误。

当 SV 为零时，表示进度与计划一致。

费用执行指标 CPI(Cost Performed Index)

$$CPI = BCWP / ACWP$$

当 CPI>1 时，表示低于预算，即实际费用低于预算费用；

当 CPI<1 时，表示高于预算，即实际费用高于预算费用；

当 CPI=1 时，表示实际费用和预算费用吻合。

进度执行指标 SPI(Schedule Performed Index)

$$SPI = BCWP / BCWS$$

当 SPI>1 时，表示进度提前，即实际进度比计划进度快；

当 SPI<1 时，表示进度延误，即实际进度比计划进度慢；

当 SPI=1 时，表示实际进度等于计划进度。

4 工程项目成本集成控制方法的基本原理是在挣值法原理的基础上再引入一个中间变量，以用于分析由工程质量因素所造成的项目费用变动。

5. 质量执行指数 = (实际质量水平 + 计划质量水平) × 100%

已完成工作量的实际质量成本 = 已完成工作量 × 单位实际造价 × 质量执行指数
已完成工作量的预算质量成本 = 已完成工作量 × 单位实际造价 × 质量执行指数(100%)

项目质量偏差值(Quality Variance, QV)是指检查期已完成工作量的实际质量成本与已完成工作量的预算质量成本之间的差异。其计算公式为：

$QV = \text{已完成工作量的实际质量成本} - \text{已完成工作量的预算质量成本}$

质量偏差率为负值，表示已完成作业的质量水平不达标。同时，质量偏差率的大小，也表明了质量偏差的程度。如果偏差为负值，就需要及时发现问题，查找原因，并采取适当的纠偏措施。其计算公式为：

$$\text{项目质量偏差率} = \frac{\text{已完成工作的实际质量成本} - \text{已完成工作的预算质量成本}}{\text{已完成工作的预算质量成本}} \times 100\%$$

6.工程项目成本集成控制的步骤为：先确定初始网络计划，并进行优化调整，经优化调整后即为基准计划，进度、成本、质量目标也同时确定。计划制定好后，关键是实施，及时发现偏差，及时采取措施调整原计划。

第 6 章 工程项目成本集成控制模型研究

工程项目成本、进度、质量三大控制目标是相互影响,相互制约的。如何在保证工期、和质量的前提下,实现工程项目成本的最优化,是本节研究的问题。本文利用多属性效用函数理论,建立工程项目管理的成本—进度—质量综合均衡优化模型,并在网络计划技术的基础上,使用遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多个近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。

6.1 项目成本集成控制系统模型

根据集成控制的概念,可用图 6-1 所示的模型来表示。该模型是建立在网络计划的基础上,对一个网络计划中的各个工序分别赋予各种时间、资源、成本信息。其实质是将时间、资源、成本信息集成在网络计划的每个工序上。

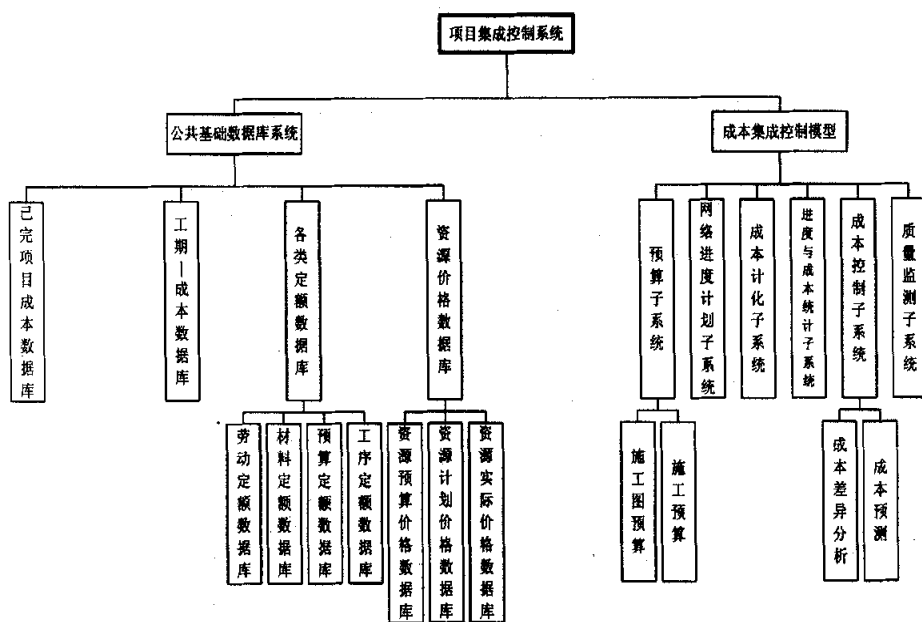


图 6-1 项目成本集成控制系统模型

6.2 成本—进度—质量多目标集成控制模型

6.2.1 成本—进度函数关系

对于一个工程量大而复杂的工程项目而言,其整个项目费用的组成是非常复杂的,因此要想在施工前预测出其总成本与总工期的函数几乎是不可能的。但在成本集成控制系统中,项目被分解为一个个具有前后逻辑关系的施工单元—工

序, 这些工序一般都是工程项目中较为独立的单元, 因此, 要确定其工序成本相对比较简单, 而且可以借鉴一些历史数据。

1. 工序成本概述

(1) 工序成本的基本概念

工序成本可简单分为固定成本、间接费用和资源成本三部分。其中固定成本是不随工序作业时间改变的部分, 主要是指完成工作所需的消耗性材料费, 即会随着工作的完成而消耗或转为工程实物的资源, 如钢筋、水泥、砂石等费用; 间接费用是分摊在个工序上的间接管理费, 随着工期的增长间接管理费增多, 分摊到各工序上的费用也较多, 可以根据间接费率乘上相应的作业时间计算出各工序的间接费用; 资源成本是指完成工序所需的各种非消耗性资源费用, 主要是设备费和人工费。

(2) 工序成本计算

为了便于优化分析, 我们考虑工程项目中的各项工作的实际持续时间、施工成本, 分别介于工作的正常持续时间和赶工持续时间、正常施工成本和赶工施工成本之间; 并假定工程项目中任何一项工作 i 在合理持续时间与最短持续时间之间的施工成本与该项工作的施工时间成线性关系。在这段时间区间内, 一项工作的成本与其持续时间成反比。

由以上条件可得:

赶工费率:

$$\beta_i = \frac{sc_i - nc_i}{nt_i - st_i} \quad (6-1)$$

上式中的赶工费率, 是作业的持续时间变化后, 作业成本变动的平均值。

工序成本与工序持续时间的关系:

$$c_i = nc_i + \beta_i (nt_i - t_i) \quad (6-2)$$

(6-1), (6-2) 式中

nt_i ——完成工作 i 的正常持续时间;

st_i ——完成工作 i 的最短持续时间($nt_i = st_i > 0$);

t_i ——工作 i 的持续时间($nt_i = t_i = st_i > 0$);

nc_i ——工作 i 的正常直接成本;

sc_i ——工作 i 的最大直接成本($sc_i = nc_i > 0$);

c_i ——工作持续时间 i 所对应的成本($sc_i = c_i = nc_i > 0$);

对于间接成本的优化, 通常用间接费的费用率进行间接费的处理。所谓间接费的费用率是指作业持续时间缩短(或延长)单位时间所减少(或增加)的间接费, 间接费的费用率一般根据实际情况确定。

2.成本—进度优化模型

前面我们已经知道,工序成本都包括固定成本、间接费用和资源成本三部分,其中固定成本是不随工序持续时间的变化的,间接费用和工期近似成正比例关系,资源成本和工期近似成反比例关系(成本-进度关系见图 4-4 和 4-5),因此,成本与进度的优化就是要找出一个能使成本达到最低的项目进度。

根据成本组成的各费用性质,得到成本—进度优化模型如下:

$$\min C = \min \sum_{i=1}^n (nc_i + \beta_i(nt_i - t_i)) \quad (6-3)$$

6.2.2 进度—质量函数关系

1.进度—质量模型建立前提

工程项目的质量是由施工过程中的工序质量决定的。每一道工序的质量好坏,最终都会直接或间接的影响工程质量,所以工序质量是形成工程质量最基本的环节。一般认为,时间如果缩短,工程质量水平会下降。但是许多现场的工程管理者都认为,即使缩短工作的时间,工序质量也不一定会下降。因此,要对工序的质量进行重新定义。

定义 1 每项工作的质量是对此工作的质量要求的严格程度。

定义 2 整个工程的质量是通过各个单项工作的质量加权平均得到。

本文采用 0~1 的连续数值,来表示一项工作的质量要求的严格程度。越接近 1 表示质量要求的严格程度越高,越接近 0 则表示对质量要求严格程度越低。由于一个工程往往都是由多项工作组成的,而每项工程对整个工程的贡献也是不相同的,因此,我们在分配各单项工作权重指标时需要考虑不同工作相对的重要性,对于某些对整个工程质量产生比较大的影响的工作,应分配较大权重指标。

2.进度—质量优化模型

我们在第四章第二节已经知道,进度和质量在一般情况下近似成正比例关系,从图 4-3 可以得到 T-Q 的函数关系:

T-Q 直线斜率:

$$\alpha_i = \frac{nq_i - sq_i}{nt_i - st_i} \quad (6-4)$$

工序质量:

$$q_i = sq_i + \alpha_i(t_i - st_i) \quad (6-5)$$

整个工程质量:

$$Q = \sum_{i=1}^n \omega_i(sq_i + \alpha_i(t_i - st_i)) \quad (6-6)$$

综合以上关系得到进度—质量优化模型:

$$\max Q = \max \sum_{i=1}^n \omega_i (sq_i + \alpha_i (t_i - st_i)) \quad (6-7)$$

(6-4), (6-5), (6-6), (6-7)式中:

a_i ——T-Q 直线斜率;

nq_i ——工作 i 的正常质量;

sq_i ——工作 i 的赶工质量; ($nq_i \geq sq_i > 0$)

q_i ——工作持续时间 i 所对应的质量; ($nq_i \geq q_i \geq sq_i > 0$)

ω_i ——工作 i 的质量相对于整个工程的权重; ($\sum \omega_i = 1, \omega_i > 0$)

6.2.3 成本—进度—质量优化模型

综合以上各单项模型得到成本—进度—质量优化模型:

$$\begin{cases} \min C = \min \sum_{i=1}^n (nc_i + \beta_i (nt_i - t_i)) \\ \max Q = \max \sum_{i=1}^n \omega_i (sq_i + \alpha_i (t_i - st_i)) \end{cases} \quad (6-8)$$

本模型是寻求成本—进度—质量的综合控制,使三个目标同时达到最优化,即在满足业主工程要求的前提下,达到成本最小,时间最短,质量最优。

6.3 遗传算法 (Genetic Algorithm—GA)

6.3.1 遗传算法基本概念

遗传算法的基本思想是基于 Darwin 进化论和 Mendel 的遗传学说的。

Darwin 进化论最重要的是适者生存原理。它认为每一物种在发展中越来越适应环境。物种每个个体的基本特征由后代所继承,但后代又会产生一些异于父代的新变化。在环境变化时,只有那些能适应环境的个体特征才能保留下来。

Mendel 遗传学说最重要的是基因遗传原理。它认为遗传以密码方式存在细胞中,并以基因形式包含在染色体内。每个基因有特殊的位置并控制某种特殊性质;所以,每个基因产生的个体对环境具有某种适应性。基因突变和基因杂交可产生更适应于环境的后代。经过存优去劣的自然淘汰,适应性高的基因结构得以保存下来。

由于遗传算法是由进化论和遗传学机理产生的直接搜索优化方法,所以在这个算法中要用到各种进化和遗传学的概念。这些概念如下:

一、串 (String)

它是个体 (Individual) 的形式,在算法中为二进制串,并且对应于遗传学中的染色体 (Chromosome)。

二、种群 (Population)

个体的集合称为群体，串是种群中的元素

三、种群大小(Population Size)

在种群中个体的数量称为种群的大小。

四、基因(Gene)

基因是串中的元素，基因用于表示个体的特征。例如有一个串 $S=1011$ ，则其中的1011这4个元素分别称为基因。基因所取的值称为等位基因(Alletes)。

五、基因位置(Gene Position)

一个基因在串中的位置称为基因位置，有时也简称基因位。基因位置在串中由左向右计算，例如在串 $S=1101$ 中，0的基因位置是3。基因位置对应于遗传学中的地点(Locus)。

六、基因特征值(Gene Feature)

在用串表示整数时，基因的特征值与二进制数的权一致；例如在串 $S=1011$ 中，基因位置3中的1，它的基因特征值为2；基因位置1中的1，它的基因特征值为8。

七、串结构空间 S^P

在串中，基因任意组合所构成的串的集合。基因操作是在结构空间中进行的。串结构空间对应于遗传学中的基因型(Genotype)的集合。

八、参数空间 S^P

这是串空间在物理系统中的映射，它对应于遗传学中的表现型(Phenotype)的集合。

九、适应度(Fitness)

表示某一个体对于环境的适应程度。

6.3.2 遗传算法基本理论

遗传算法GA把问题的解表示成“染色体”，在算法中也就是二进制编码的串。并且，在执行遗传算法之前，给出一群“染色体”，也就是假设解。然后，把这些假设解置于问题的“环境”中，并按适者生存的原则，从中选择出较适应环境的“染色体”进行复制，再通过交叉，变异过程产生更适应环境的新一代“染色体”群。这样，一代一代的进化，最后就会收敛到最适应环境的一个“染色体”上，它就是问题的最优解。很明显，遗传算法是一种最优化方法，它通过进化和遗传机理，从给出的原始解群中，不断进化产生新的解，最后收敛到一个特定的串 b_i 处，即求出最优解。

长度为 L 的 n 个二进制串 $b_i(i=1, 2, \dots, n)$ 组成了遗传算法的初始解群，也称为初始群体。在每个串中，每个二进制位就是个体染色体的基因。根据进化术语，对群体执行的操作有三种：

1. 选择(Selection)

这是从群体中选择出较适应环境的个体。这些选中的个体用于繁殖下一代。故有时也称这一操作为再生(Reproduction)。由于在选择用于繁殖下一代的个体时,是根据个体对环境的适应度来决定其繁殖量的,故而有时也称为非均匀再生(differential reproduction)。

2. 交叉(Crossover)

这是在选中用于繁殖下一代的个体中,对两个不同的个体的相同位置的基因进行交换,从而产生新的个体。交叉算子示意如图6-2:

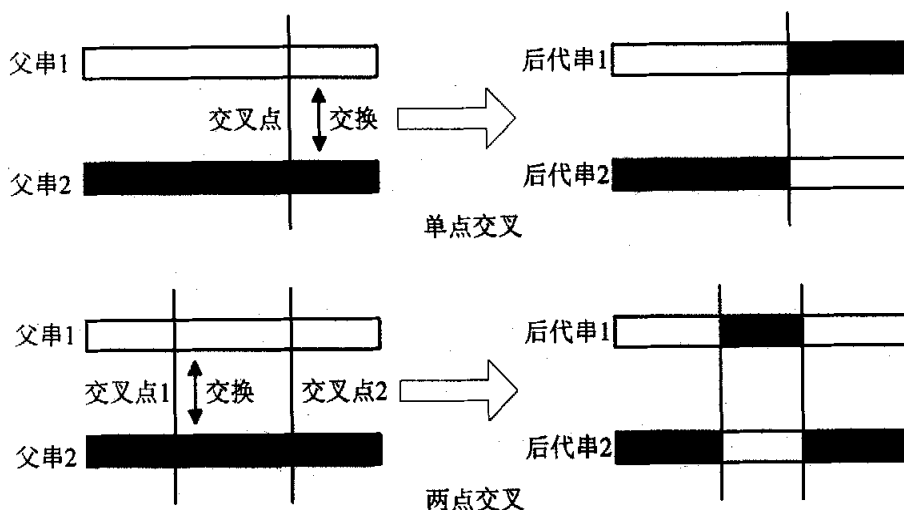


图6-2 交叉算子示意图

3. 变异(Mutation)

这是在选中的个体中,对个体中的某些基因按变异概率 P_m 执行异向转化。在串 b_i 中,如果某位基因为1,产生变异时就是把它变成0;反亦反之。

6.3.3 遗传算法的流程

1. 初始化

选择一个群体,即选择一个串或个体的集合 $b_i, i=1, 2, \dots, n$ 。这个初始的群体也就是问题假设解的集合。一般取 $n=30-160$ 。

通常以随机方法产生串或个体的集合 $b_i, i=1, 2, \dots, n$ 。问题的最优解将通过这些初始假设解进化而求出。

2. 选择

根据适者生存原则选择下一代的个体。在选择时,以适应度为选择原则。适

应度准则体现了适者生存，不适应者淘汰的自然法则。

给出目标函数 f ，则 $f(b_i)$ 称为个体 b_i 的适应度。以公式

$$P\{\text{选中}b_i\} = \frac{f(b_i)}{\sum_{j=1}^n f(b_j)} \cdot n \quad (6-9)$$

为选中 b_i 为下一代个体的次数。

显然，从上式可知：

(1)适应度较高的个体，繁殖下一代的数目较多。

(2)适应度较小的个体，繁殖下一代的数目较少，甚至被淘汰。

这样，就产生了对环境适应能力较强的后代。从问题求解角度来讲，就是选择出和最优解较接近的中间解。

3. 交叉

对于选中用于繁殖下一代的个体，随机地选择两个个体的相同位置，按交叉概率 P 。在选中的位置实行交换。这个过程反映了随机信息交换；目的在于产生新的基因组合，也即产生新的个体。交叉时，可实行单点交叉或多点交叉。

例如有个体

S1=100101

S2=010111

选择它们的左边3位进行交叉操作，则有

S1=010101

S2=100111

一般而言，交叉概率 P 。取值为0.25—0.75。

4. 变异

根据生物遗传中基因变异的原理，以变异概率 P_m 对某些个体的某些位执行变异。在变异时，对执行变异的串的对应位求反，即把1变为0，把0变为1。变异概率 P_m 与生物变异极小的情况一致，所以， P_m 的取值较小，一般取0.01-0.2。

例如有个体S=101011。

对其的第1，4位置的基因进行变异，则有

S'=001111

单靠变异不能在求解中得到好处。但是，它能保证算法过程不会产生无法进化的单一群体。因为当所有的个体一样时，交叉是无法产生新的个体的，这时只能靠变异产生新的个体。也就是说，变异增加了全局优化的特质。

5. 全局最优收敛(Convergence to the global optimum)

当最优个体的适应度达到给定的一阈值,或者最优个体的适应度和群体适应度不再上升时,则算法的迭代过程收敛、算法结束。否则,用经过选择、交叉、变异所得到的新一代群体取代上一代群体,并返回到第2步即选择操作处继续循环执行。

图6-3表示了遗传算法的执行过程

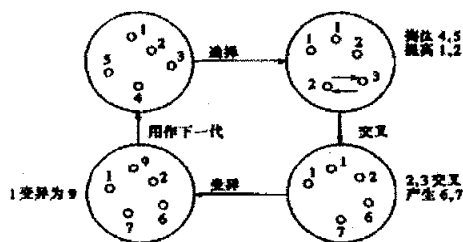


图6-3 遗传算法基本原理

6.3.4 遗传算法的特点

1.遗传算法以决策变量的编码作为运算对象。遗传算法不是直接以决策变量的值,而是以决策变量的某种形式的编码为运算对象。对一些无数值概念或很难有数值概念而只有代码概念的优化问题,编码处理方式更显出其独特的优越性。

2.遗传算法直接以目标函数值作为搜索信息。遗传算法又使用由目标数值变换来的适应度函数值,就可确定进一步的搜索方向和搜索范围,无需目标函数的导数值等其他一些辅助信息。因此它避开了函数求导这个障碍,同时直接利用目标函数值或个体适应度,也可使得我们可以把搜索范围集中到适应度提高的部分搜索空间中,从而提高了搜索效率。

3.遗传算法同时使用多个搜索点的搜索信息。遗传算法从由很多个体所组成的一个初始群体开始最优解的搜索过程,而不是从单一的个体开始搜索。

4.遗传算法使用概率搜索技术。遗传算法属于一种自适应概率搜索技术,其选择、交叉、变异等运算却是以一种概率的方式来进行的,从而增加了其搜索过程的灵活性。

6.4 遗传算法在工程项目成本集成控制中的应用

6.4.1 染色体表达(编码)

染色体表达是指对优化问题的解进行编码。此处我们称一个解的编码为一个染色体，组成编码的元素称为基因。编码的目的主要是用于优化问题解的表现形式和利于之后遗传算法中的计算。利用遗传算法对模型进行优化，首先要对我们进行优化的问题进行编码，编码内容包括：

(1) 编码变量的选择

根据工作持续时间与成本和质量的线性关系，选择工作持续时间作为基因值，可以较方便算出与之对应的工作成本和质量。

(2) 基因位置和基因值定义

根据本文要求解的模型，染色体的每一位基因代表两个含义：基因位置代表工作的序号；基因值代表该项工作的持续时间，如图 6-4， m 为工作数。

1	2	3	4	5	6		m
3	5	2	10	8	12		7

X——工作代号
Y——工作持续时间

图 6-4 染色体结构

(3) 基因值形式

基因值的形式一般有两种：二进制和十进制。传统一般选择二进制，但在本文所研究问题上，我们选择十进制作为基因值形式。

6.4.2 初始化种群

由多个染色体组成具有一定群体规模的染色体集合或称解的集合。遗传算法将基于这个集合进行遗传操作，每一轮操作（包括交换、突变、选择）后生存下来的染色体组成新的种群，形成可以繁衍下一代的群体。有些学者认为：初始群体应该随机选取，只有随机选取才能达到所有状态遍历，因而最优解在遗传算法的进化中最终得以生存。但是，种子的随机选取加大了进化的代数，延长了进化时间。有些认为应该用一些其他启发式算法或经验选择一些比较好的染色体种子作为初始群体。实际上，初始群体的选取，应根据实际问题来权衡。

前面在建立集成控制模型时，我们对每项工作都赋值了一个上限时间和下限时间，即正常时间 nt_i 和赶工时间 st_i ，初始个体的每个基因值是在相应序号工作的持续时间 $[st_i, nt_i]$ 区间内随机产生。个体基因的产生可以由左至右进行直至填满整个染色体。

6.4.3 遗传算子选择

群体初始化以后，后代群体的繁殖一般通过复制、交换、突变等遗传算子的操作来进行。

(1) 复制 复制是将亲代的个体原封不动地传递到子代。每代中的每一个个

体,按照其适应度函数的大小决定它能够复制到下一代的概率.通过复制,使得群体中的优秀个体数目不断增加,整个进化过程朝着更优解的方向进行,反映了“优胜劣汰”的原则.复制概率 Pr 取 $0.1 \sim 0.2$.

(2)交换 复制虽然可以使可行解群体朝着最优解方向移动,但只能在现有群体内寻优,它不能产生与亲代不同的个体.在遗传算法中引入交换算子,每一代的各个个体之间按一定的概率交换其部分基因,产生新的基因组合,使各个解有机会交流其优秀基因,可望获得比亲代更好的解的结构.执行交换的个体是随机选择的,通常按给定的交换概率 Pc (取 $0.5 \sim 0.8$),用轮盘算法按适应度大小选择被交换的个体.交换点的选择也是随机的.

(3)突变 复制和交换只能在现有的基因型的排列组合内寻找最优,而不能产生新的基因型.突变算子是对每个字符串的每一位按一定的概率由 1 变 0 或由 0 变 1,产生新的基因型,扩大寻优范围.突变个体的选择以及突变位置的确定,都是采用随机的方法产生.突变概率 Pm 取 $0.001 \sim 0.01$.

本文中由于工作号由基因的固定位置代表,因此本模型的求解采用最基本的一点交叉法.变异算子是随机产生一个小于等于工作数的正整数 a ,然后对 a 位的基因值重新初始化,即在第 a 个工作位的正常持续时间和最短持续时间范围内重新随机产生一个随机值.

6.4.4 适应度函数和遗传终止条件

适应度函数是用来区分群体中个体好坏的标准,是自然选择的唯一标准,选择的好坏直接影响算法的优劣.引入适应值调节和资源共享策略可以加快收敛速度和跳出局部最优解.对适应值进行调节就是通过变换改变原适应值间的比例关系,常用的比例变换有线性变换、乘幂变换和指数变换等;本文采用多属性效用函数对建立的模型进行调整.

1.多属性效用函数的定义

在成本—工期—质量集成控制中,本文应用效用分析的方法对其进行规范化.在此选择工期 T 、成本 C 和质量 Q 作为多属性变量于是多属性效用函数就由这3个具有不同属性(量纲或单位)的变量构成,其表达形式为:

$$u : (C, T, Q) \Rightarrow u(C, T, Q) \in U \subset R \quad (6-10)$$

R 表示实数集.

在这里我们认为效用函数中的三个变量,工期 T 、成本 C 和质量 Q ,对偏好关系 $>$, $<$, $-$, 满足以下关系:

$$(C', T', Q') \begin{bmatrix} > \\ - \\ < \end{bmatrix} (C'', T'', Q'') \Leftrightarrow u(C', T', Q') \begin{bmatrix} > \\ - \\ < \end{bmatrix} u(C'', T'', Q'') \quad (6-11)$$

则函数 $u = u(C, T, Q)$ 成为多属性效用函数。

以成本、工期和质量为变量的多属性效用函数 $u(C, T, Q)$ 可以看作是, 在工程项目计划和施工过程中, 通过对这 3 个目标进行优化和控制可提高效益。对于三者共同作用产生的效益, 应该是越大越好, 因此在进行分析的时候, 评价函数应是多属性效用函数 $u(C, T, Q)$ 取最大。而且业主和承包商对于风险都是采取防范的态度, 因此设多属性效用函数是凹函数。

2. 多属性效用函数的分解

依据多属性效用函数的分解定理, $u = u(C, T, Q)$ 可以采取线性分解形式:

$$\begin{aligned} u(C, T, Q) &= K_C u(C) + K_T u(T) + K_Q u(Q) \\ K_C, K_T, K_Q &\geq 0, K_C + K_T + K_Q = 1 \end{aligned} \quad (6-12)$$

其中: $u(C)$, $u(T)$, $u(Q)$ 分别为成本、工期和质量的单变量效用函数, K_C , K_T , K_Q 分别为所对应的权重系数。

3. 多属性效用函数的构造

由于多属性效用函数 $u(C, T, Q)$ 可以分解为单属性效用函数 $u(C)$, $u(T)$, $u(Q)$ 的加和形式, 因此, 这些单属性效用函数的构造或估计是定性向定量分析过渡的关键环节。本文使用解析法来构造单属性效用函数, 然后, 再通过多属性效用函数的分解定理获得多属性效用函数。

4. 评价函数

评价函数是用来我们模型解效用的尺度, 这里我们利用相对海明(Hamming)距离的测度, 在运用此测度之前我们做如下假设:

假设 1 设 T_0 为工期下限, C_0 为成本下限, Q_0 为质量上限, 则理想解为 $u_0 = u(C_0, T_0, Q_0)$ 。

假设 2 设 T^* 为工期上限, C^* 为成本上限, Q^* 为质量下限, 则负理想解为 $u^* = u(C^*, T^*, Q^*)$ 。

假设 3 某一解 $u(C_j, T_j, Q_j)$ 到理想解 $u_0 = u(C_0, T_0, Q_0)$ 的距离为:

$$s_j^+ = |u(C_j, T_j, Q_j) - u(C_0, T_0, Q_0)|, j=1, 2, 3, \dots, n \quad (6-13)$$

假设 4 某一解 $u(C_j, T_j, Q_j)$ 到负理想解 $u^* = u(C^*, T^*, Q^*)$ 的距离为:

$$s_j^- = |u(C_j, T_j, Q_j) - u(C^*, T^*, Q^*)|, j=1, 2, 3, \dots, n \quad (6-14)$$

假设 5 某一解 $u(C_j, T_j, Q_j)$ 到理想解 $u_0 = u(C_0, T_0, Q_0)$ 的相对接近度为:

$$R_j = \frac{s_j^-}{s_j^- + s_j^+}, 0 \leq R_j \leq 1, j=1, 2, 3, \dots, n \quad (6-15)$$

由上面的式子可以知道, 如果 $u(C_j, T_j, Q_j)$ 为理想解 u_0 , 则 R_j 为 1; 如果 $u(C_j, T_j, Q_j)$ 为负理想解 u^* , 则 R_j 为 0。一般的解的 R_j 处在 0 与 1 之间, R_j 值越接近 1, 则相应的方案越排在前面, 所以定义集成控制模型的评价函数为:

$$\max R_j = \frac{s_j^-}{s_j^+ + s_j^-} \quad j=1,2,3,\dots,n \quad (6-16)$$

5. 适应值调节

为了使遗传算法有效地工作,需要对种群个体的适值进行调整。这是因为,如果个体适值的差值很大,适值高的个体在短时间内大量繁殖,在种群数量占很大比重,这样就会减少种群的多样性,导致过早收敛,从而陷入局部最优。相反,如果适值的差异过小,高适值个体相对于低适值个体就不具有明显优势,被选中的几率几乎相同,这样选择就成了一个近乎随机的过程,搜索进程十分缓慢。因此,本文在运用遗传算法运算过程中对适值进行动态调节,适应值的调节包括两个主要步骤:

(1) 计算每个个体的原始目标值 f_j

我们可以利用公式(6-16)计算出个体的原始目标值 f_j ,但不难发现由于我们采用的是假设的理想点和负理想点,因此计算出来个体原始目标值和利用公式(6-12)算出的效用值在数值没有什么差别,前面我们已经讲过,如果适应值差异过小肯定会影响寻优的效果,为了让个体之间的适应值差别增大,突出优秀个体,淘汰劣等个体,实际计算中本文采用的理想点和负理想点分别为当前代群体中的效用最大个体和效用最小个体。

(2) 将目标值转化为相对适应值 p_j

因为模型处理的是最大化问题,所以目标值向适应值的转换按下式进行:

$$p_j = \frac{f_j}{\sum f_j} \quad (6-17)$$

p_j 也称作个体 j 的选择概率,在求得群体中每个个体的选择概率之后,使用轮盘赌方式进行选择操作,为加快收敛速度,每一代个体均保留其父代的最优个体。

6. 遗传终止准则

遗传算法是一种反复迭代的搜索方法,它通过多次进化逐渐逼近最优解而不是恰好等于最优解,因此需要确定其终止条件。最常用的终止方法是规定遗传的代数。当目标函数是方差这一类有最优目标值的问题时,可采用控制偏差的方法实现终止。一旦遗传算法得出的目标函数值与实际目标函数值之差小于允许值后,算法终止。终止条件也可通过检查适应度的变化来实现。如果群体平均适应度变化率和最优个体适应度变化率小于许可精度,则可以认为群体处于稳定状态,群体进化基本收敛,可结束群体进化过程,否则继续群体的进化过程。

6.4.5 算法流程

由于在简单遗传算法的操作过程,存在随机产生的初始群体性能较差,优良个体和劣质个体经受相同的交换和突变等缺点,导致优良个体易破坏,收敛速度

慢,算法稳定性差,因此,在这里我们采用改进后的算法流程,改进措施与步骤如下:

(1)人工方法产生初始群

先将优化问题的初始解转化为个体,然后在问题的解空间中用人工方法产生初始种群的其它个体,使初始群体的个体模式阶次较高、模式数目较大,具有多样性。这样通过适当选择字符串长度和群体规模,可以在开始的几代内找到各极值点所在的区域,加快搜索速度。

(2)上代群体的处理

对于上代群体,计算其个体的适应度,判别其是否满足终止条件。如果满足终止条件,停止遗传操作,输出最优解。否则,将上代群体全部放入中间群体,并对上代群体独立进行优选父代交换和大突变操作。

(3)优选父代交换

优选父代交换的主要思想是指在进行交换操作时,提高父代的质量,即选择较优的父代个体参与交换。具体过程是:从上代群体中随机选取两个个体,然后比较其适应度,保留适应度大的个体,再从上代群体中随机选取两个个体,同样保留适应度大的个体,以保留下来的两个个体作为父代个体。产生 $[0, 1]$ 之间均匀分布的随机数 s , 如果 $s < P_c$, 则两者进行交换,将交换后的两个新个体加入到中间群体,否则直接将保留下来的两个个体加入到中间群体。

(4)大突变操作

理论上,遗传算法的突变操作可以产生新个体,使算法跳出“早熟”。但为了保持算法的稳定性,突变操作的突变率通常取得很小,单靠传统的突变操作需要很多代才能变异出一个不同于其它个体的新个体。大突变操作的思想是:对上代群体,以一个远大于通常的突变概率的概率进行一次突变操作,并将突变后产生的新个体加入到中间群体。大突变操作能够随机、独立地产生许多新个体,从而能始终保持群体的多样性,使群体脱离“早熟”。

(5)基于 Metropolis 判别准则的复制策略

对于中间群体,运用基于 Metropolis 判别准则的复制策略,产生下一代群体。基于 Metropolis 判别准则的复制策略分为两步:

a. 实施最优保留策略 将中间群体中性能最好的个体无条件地复制到下一代群体中,这样就会保留中间群体中的最好解,使遗传算法可以以概率 1 收敛到全局最优解,保证了算法的收敛。

b. 实施 Metropolis 判别准则的复制策略 在中间群体中随机选取个体 i 和 j , i 和 j 竞争进入下一代群体的准则采用 Metropolis 判别准则:产生 $[0,1]$ 之间均匀分布的随机数 s , 如果 $s = \min(1, \exp(-(f(i)-f(j))/T))$ (式中, $f(i)$, $f(j)$ 分别为个体 i 和 j

的适应度, T 为控制参数), 则个体 i 复制到下一代群体, 否则个体 j 复制到下一代群体。

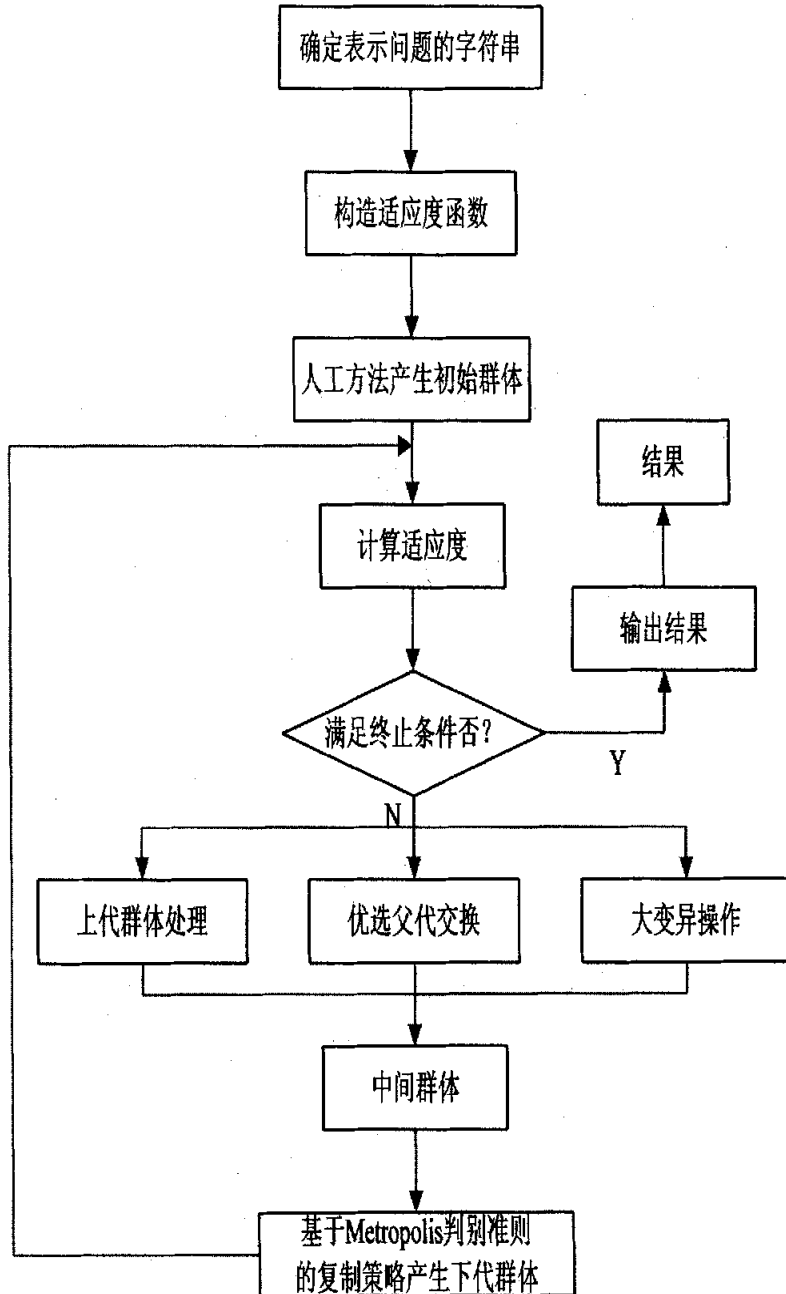


图 6-5 改进算法流程

6.5 本章小节

本章是在前面工程项目成本集成控制的理论和方法的基础,利用多属性效用函数理论,建立工程项目管理的成本—进度—质量集成控制模型,并在网络计划技术的基础上,使用遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多个近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。主要内容如下:

(1)工程项目成本集成模型是建立在网络计划的基础上,对一个网络计划中的各个工序分别赋予各种时间、资源、成本信息。

(2)工程项目成本集成模型表达式为:

$$\min C = \min \sum_{i=1}^n (nc_i + \beta_i(nt_i - t_i))$$

$$\max Q = \max \sum_{i=1}^n \omega_i(sq_i + \alpha_i(t_i - st_i))$$

(3)遗传算法(Genetic Algorithms)是基于生物进化理论的原理发展起来的一种广为应用的、高效的随机搜索与优化的方法。其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换,搜索不依赖于梯度信息。

第 7 章 实证分析

前面几章详细介绍了工程项目成本集成控制的基本理论、方法，以及集成控制模型，本章将以一个实际项目为例，详细说明本文所提出的工程项目成本集成控制的理论、方法及模型在实际工程中的应用。

7.1 项目背景

本文项目是某项目部一幢三层办公楼，由于工期短、自然和社会因素对其影响都相对比较小，可以认为影响工程质量的主要因素是进度和成本，而且在施工过程中的跟踪、调整时，在发生质量问题后及时发现成本和进度偏差，并在随后的工序中作相应的调整。在整个施工过程中把成本、进度、质量综合起来考虑，最终取得了较好的效果。具体工作如图 7-1:

表 7-1 工作安排和参数估计

工作名称	序号	工作内容	最后工作	m_0	m_1	$nc(\text{元})$	$pc(\text{元})$	nq_0	nq_1	ω_1
A	1	节点	2	0	0	0	0	0	0	0
B	2	基础	3	24	20	110527	154608	1	0.9233	0.0875
C	3	一层墙体	4, 5	18	15	85563	119788	1	0.9133	0.0772
D	4	一层梁板	7	30	25	135581	189816	1	0.9156	0.0637
E	5	一、二层楼梯	6, 7	13	12	9867	13813	1	0.8889	0.0557
F	6	一层现浇地面	9	7	5	9762	13667	1	0.8700	0.0356
G	7	二层墙体	8, 9	18	15	85563	119788	1	0.9033	0.0678
H	8	二层梁板	10	30	25	135581	189816	1	0.8989	0.0609
I	9	二、三层楼梯	10	13	12	9867	13813	1	0.8789	0.0533
J	10	三层墙体	11	20	16	100003	140007	1	0.8956	0.0661
K	11	三层梁板	12	30	25	135581	189816	1	0.8744	0.0594
L	12	屋面	13, 19	11	8	63315	88641	1	0.8822	0.0476
M	13	一层门窗及装饰	14, 15	13	9	67997	95193	1	0.8600	0.0316
N	14	一层设备安装	16, 17	4	2	15062	21086	1	0.8922	0.0508
O	15	二层门窗及装饰	16, 17	13	9	65332	91464	1	0.8689	0.0331
P	16	二层设备安装	18	4	2	15062	21086	1	0.8878	0.0523
Q	17	三层门窗及装饰	18	13	9	65332	91464	1	0.8700	0.0338
R	18	三层设备安装	21	4	2	15062	21086	1	0.8856	0.0509
S	19	外墙装饰	20	16	12	56246	79342	1	0.8644	0.0367
T	20	台阶、散水等	21	5	3	5505	7708	1	0.8700	0.0360
U	21	结束节点	-	0	0	0	0	0	0	0

7.2 项目管理计划制定

项目管理计划是实现项目既定目标的根本保证，计划一旦制定后，各工序的工期、计划成本和质量要求也随之确定，如果在施工过程中发生什么变化，要想及时修改也是比较困难，因此我们在做计划之前一定综合考虑项目“三要素”之

间的关系,尽可能做到兼顾各方面的效果,最到最优化。因此,本文利用成本—进度—质量多目标集成控制模型对案例确定合理的目标值。

7.2.1 网络计划图制定

本文集成控制模型是建立在网络计划基础上的,因此,在对建设项目确定目标值之前,我们必须制定本项目的网络计划图。这里我们考虑到绘图的方便性、逻辑关系的表达等一些因素,决定采取单代号网络计划图。该建设项目可划分为21项,确定工作和工作间关系后,初始网络计划图,如附录1所示。

7.2.2 参数估计

1.工期的确定

对任何一个工程项目而言,任何一项工作都存在两个工期参数—乐观工期(工序的最短工作时间)和悲观工期(工序的最长工作时间)。如何确定这两个参数,要根据的项目环境来决定。本项目的工期参数确定方法如下:

(1)各工序工期的确定是以劳动定额为基础,根据一般经验,实际工期会比定额工期提前,但一般规定工期提前不得超过定额工期的30%。所以本项目各工序的乐观工期是以定额工期的70%计算。

(2)悲观工期是在定额工期基础上考虑工程的特点和可能出现的一些不可预见因素,由项目经理部人员协商确定。

2.成本的确定

从第六章我们已经知道,工序成本是由固定成本、间接费用和资源成本三部分组成。工序的固定成本一般由用户根据工作的工程量计算出来,不随工序工期的变化而改变;间接费用是分摊在工序上的间接管理费,随着工期的增长间接管理费增多,分摊到各工序上的费用也较多,可以根据间接费率乘上相应的作业时间计算出各工序的间接费用;资源成本是指工序所需的各种非消耗性资源费用,主要是设备和人工费。由资源用量、投入时间长短和相应资源费率而决定。显然在工序工期存在两个参数的情况下,工序成本必然也存在两个参数,即与悲观工期对应的正常成本和与乐观工期对应的最大成本。

3.质量的确定

前面在第六章我们已经假定每项工作的质量是对此工作的质量要求的严格程度,所以,这里我们给出每一个质量参数都是一个相对值,即某项工作相对与其他工作的重要程度。由进度—质量关系们可以知道,每一项工作的质量和进度在一定范围内是成比例的,随着工期的提前,工作质量也会有不同程度的下降,那么,我们在确定质量参数的时候同样也必定是两个参数—正常质量和低劣质量。

4. 工序质量权重的确定

由于各项工作的质量是在比较其他工作情况的得到的,因此我们必须对个评价指标进行权数分配。这里我们可以利用层次分析法把整个项目分解成各项工作,并将这些工作按支配关系分组形成有序的递阶层次结构,通过两两比较确定层次中各项工作的相对重要性,然后综合人们的判断,以决定诸工作的相对重要性排序。

7.2.3 计算成本、工期和质量

1. 计算项目成本

整个工程的最小直接成本 C_0 和最大直接成本 C^* 分别等于各项工作的正常成本和最大正本之和, 最小直接成本 $C_0=1186808$ 元, 最大直接成本 $C^*=1662004$ 元

2. 计算项目工期

根据网络计划技术的关键路线法(CPM)可以得到整个建设项目的最小工期 $T^*=286d$, 最短工期 $T_0=226d$ 。

3. 计算项目质量

整个项目的最优质量 Q_0 和低劣质量 Q^* 分别等于各工作的正常质量和低劣质量乘上对应权重, 最优质量 $Q_0=1$, 低劣质量 $Q^*=0.8913$

7.2.4 建模与求解

1. 建立成本—进度—质量集成控制模型

(1) 建立多属性效用函数

对于工期 T , 成本 C 和质量 Q 的效用函数, 这里采用二次函数的形式, 即项目工期 T 的效用函数:

$$u(T) = \begin{cases} a + b(T - T_0)^2 & T \in [T_0, T^*] \\ 0, & T \notin [T_0, T^*] \end{cases} \quad (7-1)$$

将 $T^*=286d$, $T_0=226d$ 代入式(7-1)可得:

$$u(T) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{3600}(T - 226)^2 & T \in [T_0, T^*] \\ 0, & T \notin [T_0, T^*] \end{cases} \quad (7-2)$$

项目成本的效用函数:

$$u(C) = \begin{cases} c + d(C - C_0)^2 & C \in [C_0, C^*] \\ 0, & C \notin [C_0, C^*] \end{cases} \quad (7-3)$$

将 $C^*=1662004$ 元, $C_0=1186808$ 元代入式(7-3)可得:

$$u(C) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{475196^2} (C - 1186808)^2 & C \in [C_0, C^*] \\ 0, C \notin [C_0, C^*] \end{cases} \quad (7-4)$$

项目质量的效用函数:

$$u(Q) = \begin{cases} e + f(Q - Q_0)^2 & Q \in [Q^*, Q_0] \\ 0, C \notin [Q^*, Q_0] \end{cases} \quad (7-5)$$

将 $C^*=1662004$ 元, $C_0=1186808$ 元代入式(7-5)可得:

$$u(Q) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{0.187^2} (Q - 1)^2 & Q \in [Q^*, Q_0] \\ 0, C \notin [Q^*, Q_0] \end{cases} \quad (7-6)$$

由式(6-12), (7-2), (7-4)和(7-6)可得工期 T , 成本 C 和质量 Q 的效用函数表达式为:

$$u(C, T, Q) = K_C \left(1 - \frac{1}{475196^2} (C - 1186808)^2 \right) + K_T \left(1 - \frac{1}{3600} (T - 226)^2 \right) + K_Q \left(1 - \frac{1}{0.187^2} (Q - 1)^2 \right) \quad (7-7)$$

式(7-7)中的 K_C , K_T 和 K_Q 可以通过专家打分得到。这个三个系数反映了决策人对工程工期 T , 成本 C 和质量 Q 的不同偏好。本案例中取成本权重 $K_C=0.4$, 取工期权重 $K_T=0.3$, 取质量权重 $K_Q=0.3$ 。

(2)建立集成控制模型

集成控制模型可按式(6-3)和(6-7)建立得到。

2.遗传算法求解

本模型的求解是基于改进后的遗传算法, 利用 MATLAB 语言编程计算。

(1)输入原始数据。输入表 6-1 中所列的数据, 包括紧后工序序号, 各项工作正常持续时间、成本、质量, 各项工作的最短持续时间、最大成本、低劣质量, 以及质量权重参数。

(2)设定遗传算法参数: 群体规模 $N=100$, 交叉概率 $P_C=0.65$, 变异概率 $P_m=0.15$ 。

(3)输出: 根据本文设定的算法停止准则, 求解计算大约在 80 代左右寻找到最满意解, 输出整个工程的成本、工期、质量和每项工作的实际持续时间。解为:

$(C, T, Q) = (1370567, 225, 0.9458)$, 工作持续时间按工作序号顺序排列为

$(0, 24, 18, 29, 13, 5, 18, 29, 13, 19, 30, 8, 9, 2, 9, 2, 12, 3, 0)$, 效用 $u(C, T, Q) = 0.8038$

7.3 项目计划跟踪监控

项目计划目标值确定后,下一步就进入项目计划的实施阶段,在这一过程中,难免会出现和基准网络计划有出入的情况,那么如何保证项目计划目标得到顺利实现,项目计划跟踪监控就显得尤为重要。因此,在项目实施阶段,要定期收集项目有关信息,及时与基准计划比较,以迅速发现问题、解决问题。

本文采用集成控制方法的基本原理,利用 Project2002 跟踪实际的成本、进度和质量。通过实际成本、进度和质量与目标值进行比较,看到哪项工作超出最初预算,哪项工作花费时间长于计划,哪项工作质量未达到目标要求等等,重排项目的剩余部分,通过集成控制系统调整后续计划。

第8章 结论与展望

8.1 全文总结

本文以系统科学理论为理论基础,结合管理理论、经济理论等理论,从集成出发,提出了工程项目成本集成控制的基本理论与方法,并在此基础上建立工程项目成本集成控制模型,为研究工程项目成本的有效控制提供一条新思路。

在全文研究中,作者的主要创新点有:

1.将集成管理的思想引入工程项目成本管理中,提出了工程项目成本集成控制的基本理论。工程项目成本集成控制是以集成思想为指导,依据工程项目和工程项目管理的特点,以成本、进度、质量三个要素组成的项目目标体系为核心,以定性分析与定量分析相结合的集成方法论为基础,通过科学而巧妙的创造性思维,将集成贯穿于工程项目成本管理活动的全局和整个过程的项目管理模式;工程项目成本集成控制应该遵循全面性、实时性、动态性、实用性的原则;工程项目成本集成控制通过集成系统实现快速响应。

2.将集成控制论和项目成本挣值管理的原理相结合,提出了工程项目成本集成控制的基本方法。工程项目成本集成控制方法是通过对项目计划的目标实施跟踪控制,随时调整网络计划,真正做到事前控制和实时控制。

3.提出了利用多属性效用函数理论,建立工程项目成本集成控制的优化模型,并在网络计划技术的基础上,使用遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。

4.将改进后的遗传算法引入集成控制模型的寻优过程,克服了基本遗传算法收敛速度慢和稳定性差等缺陷,提高了算法收敛速度和算法的稳定性,节约了寻优过程的时间。

8.2 研究展望

本文的总体思路是希望从集成控制系统论的角度,根据工程项目管理的三要素的相互影响和相互关系来研究工程项目成本控制,建立工程项目成本集成控制的优化模型,并在网络计划技术的基础上,使用遗传算法对模型进行求解,可以得到最满意的决策方案和多近似满意的备选方案,作为工程项目管理中的控制目标。在项目实施阶段,对项目目标的执行情况实施跟踪控制,根据实际结果与目标值的偏差情况,对网络计划随时调整,重新安排后续计划。最初的愿望是美好的,并为形成这个完成的思路而欣慰,但一旦进入到论文研究阶段却发现困难远远超出自己想象,这一方面是由于作者的知识积累还远远没有达到完成这个思路的地步,另一方面由于时间和精力约束,相关资料的收集、整理和消化远远不

够。因此,本文所做的研究工作还是非常肤浅的,很多概念和理论也仅仅只是引入和初步提出设计与构想,并未对之详细论证、深入探讨和实践地检验。为此,后期需要进行如下方面的研究,以期圆满地完成自己最初的思路:

- 1.深入研究工程项目成本集成控制基本理论、方法和具体的实施步骤,并在实践中检验。

- 2.深入研究工程项目成本集成控制模型中的工序工期和工序成本的关系,更准确地确定其函数关系。

- 3.加强工程项目成本集成控制模型中质量参数量化标准的研究,减少一些二元性的判断标准。

- 4.建立研究工程项目成本控制预警机制,对不断再现的、易突变的管理环节进行预警和预控,减少事中和事后控制。

总之,工程项目成本集成控制理论和方法作为一种崭新的项目管理思想和管理模式还非常年轻,它的发展还有大量工作要做。

参考文献

- [1] 金和平. 三峡工程管理系统的设计、开发和实施[J]. 水力发电, 2000 年(6):52,54.
- [2] 唐殿峰, 秦桂娟. 工程项目质量工期费用控制模拟系统[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1998, 14(2):158—161.
- [3] 杜训. 建设监理工程师实用手册[M]. 南京: 东南大学出版社, 1994.
- [4] 翁龙年, 亢耀先. 运筹学[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.
- [5] 张宿. 工程目标成本与进度控制研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1998.
- [6] 周朝琦, 侯龙文, 孙学军等. 目标成本管理[M]. 北京: 经济管理出版社, 2000.
- [7] 杨劲, 李世荣. 建设项目进度控制[M]. 北京: 地震出版社, 1995.62-67.
- [8] 谢忠强. 质量、工期、成本三者之间的辨证关系[J]. 福建建筑, 1998, (57):65-70.
- [9] 陆力. 项目管理[M]. 成都: 电子科技大学管理学院, 2003.
- [10] (美) 哈佛商学院项目管理丛书. 北京: 中国财政经济出版社, 2003.
- [11] 王学青主编. 国际工程项目管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [12] 6σ 工作室. PMP 成功之路. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [13] 张德主编. 组织行为学. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [14] 毕星, 翟丽. 项目管理. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [15] (美) 拉乌夫·G·加塔, 桑德拉·L·麦基. 实用项目管理. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [16] (美) 沃德 (William A. Ward), 戴伦 (Berry J. Deren), 得西尔瓦 (Emmanuel H.D'Silva). 项目分析经济学. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [17] (英) F.L. 哈里森. 高级项目管理——一种结构化方法. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [18] 罗新星, 苗新华. 挣值法的理论基础和实际应用. 中南大学学报 (社会科学版), 2003 年 03 期.
- [19] 刘承水, 杜常俊. 工程项目成本动态控制管理系统. 山东矿业学院学报, 1995 年 03 期.
- [20] 何轶彬, 陈晓彬, 金和平, 何文. 工程项目成本/进度综合控制方法及应用. CHINA THREE GORGES CONSTRUCTION, 2001 年 07 期.
- [21] 王健, 刘尔烈, 骆刚. 工程项目管理中工期—成本—质量综合均衡优化. 系统工程学报, 2004 年 02 期.
- [22] 刘津明. 工程项目进度计划优化方法的研究. 天津大学学报, 2003 年 05 期.
- [23] 田志学, 叶剑, 张宿. 工程项目目标成本与进度控制方法研究. 北京航空航天大学学报, 2001 年 04 期.
- [24] 蓝林. 国际工程施工中的质量、进度和成本控制——由马尔代夫议会大厦项目得出的启示. 经贸实务, 1999 年 06 期.
- [25] 林乃善. 目标管理与过程控制相结合的集成成本管理. 科技情报开发与经济, 2003 年 12 期.
- [26] 王延树, 成虎. 大型施工项目集成管理. 东南大学学报, 2000, 7-100-104.

- [27] 李昌友. 土木工程经济与管理. 北京:中国铁道出版社, 2001.
- [28] 李慧民主编. 建筑工程经济与项目管理. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [29] 陈银栋,黄敏健. 论施工项目成本的管理与控制. 建筑技术开发, 2004 年 04 期.
- [30] 李济贵. 施工企业项目成本管理存在的问题及对策. 财苑·财务与成本, 2003 年 B9.
- [31] Lawrence Bennett F, Lu Ming ,Simjaan AbouRizk. Implified CPM/PEPT simulation mode[J].Journal of Construction Engineering and Management,2001(11).
- [32] McKim R, Hegazy T, Attalla M. Project performance control in reconstruction project [J]. Journal of Construction Engineering and Management,2000,126(2):137—141.
- [33] Rwelamila P D, et al. Total system intervention: An integrated approach to time, cost and quality management [J]. Construction Management and Economics, 1995,13:235—241.
- [34] Babu A J G, Suresh N. Project management with time, cost, and quality consideration [J]. European Journal of Operational Research,1996,88(2):320-327.
- [35] Do Ba Khang, Yin Mon Myint. Time, cost and quality trade-off in project management: A case study [J].International Journal of Project Management,1999,17(4):249-256.
- [36] Shin-Wen Hsiao.Fuzzy logic based decision models for product design [J]. International Journal of Industrial Ergonomics,1998,21:103-116.
- [37] Charles Gallagher. A note on PERT Assumptions. Man. Sci. 1987(10).
- [38] Christensen, Davis S. "he Cost and Benefits of the Earned Value Management Process" Acquisition Review Quarterly, Fall 1998.
- [39] PMI. A guide to the project management body of knowledge(2000 edition)[M]. USA: PMI, 2000.
- [40] James A. Bent, Applied Cost and Schedule Control. Marcel Dekker, New York, 1982.
- [41] Chris Hendrickson. Project Management for Construction [M]. Carnegie Mellon University,1998.
- [42] Charles Karelis. Education Technology and Cost Control: Four Models [M]. Syllabus Magazine,1999.
- [43] Adele, Hojjat, Asia Karin. "Scheduling/Cost Optimization and Neural Dynamics Model for Construction " . Journal of Construction Engineering and Management, Vol.123, No.4 December 1997.
- [44] Brandon, Daniel M. "Complementing Earned Easily and Effectively" .Journal of Project Management, June 1998.
- [45] Lewis, James P. Mastering Project Management: Applying Advanced Concepts of Systems Thinking, Control and Evaluation, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill,1998.
- [46] TcmPKins, Bill G. Project Cost Control for Managers, Houston: Gulf Pub.Co.,1995.
- [47] Anghel Patrascu, C.C.E. Construction Cost Engineering Handbook.USA: Marcel Dekker, inc, 1998.
- [48] Harold Kerzner. Project Management, A systems, Approach to Planning Scheduling and Controlling. USA: Van Nostvand Reinhold Company Inc., 1984.

致 谢

值此硕士论文完成之际，谨向在学习、生活上给予我帮助、关爱和支持的老师 and 同学致以诚挚的感谢。

首先感谢我的导师张武农教授。在近三年的学习和生活中，他给了我无私的帮助和无微不至的关怀，不仅让我在学业上受益匪浅，而且使我获得了许多人生教益。无论是做科研还是论文阶段，导师都对我进行了精心指导，并提出了很多宝贵意见和建议。张老师深邃的思想、良好的师德以及热忱的为人深深地感染着我，能够得到导师如此孜孜不倦地教诲是我今生的荣幸。

感谢科范教授、熊伟副教授、罗险峰副教授、叶厚元副教授在开题时给予的指导。

感谢管理学院研究生办公室的吴老师和研究生院全体老师，为我在学习期间提供的各方面支持和帮助。

感谢师兄成元、孙飞、付登迈、李智以及师弟吴承锋、张国金、徐洪刚等的帮助和关心，深深的同窗之谊将是人生中宝贵的财富。

感谢各专家对本文的批评指正。本文在撰写过程中引用、参考许多资料、文献作者的观点和思想给了我很大的启发，在此一并表示感谢。

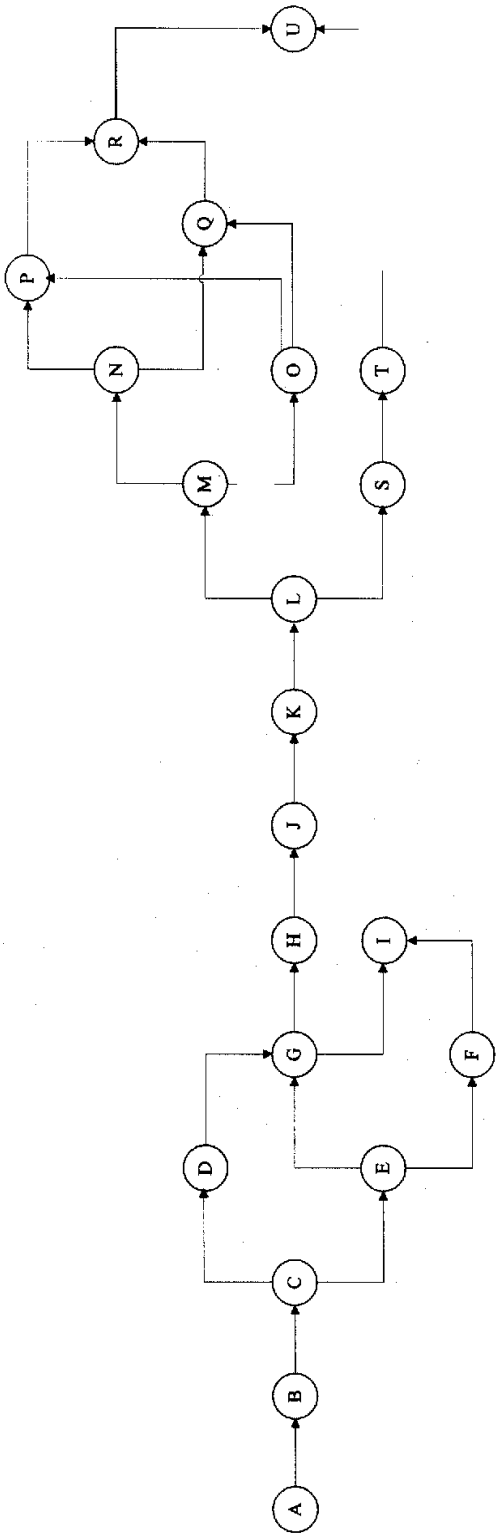
最后还要感谢父母的哺育之恩，正是他们的多年来对我的默默支持和无私付出才让我得以顺利完成学业。

回首三年难忘的时光，与老师和同学相处的情景历历在目，这份深沉的友谊是我毕生的怀念，它将激励和鞭策我永往直前！

攻读硕士学位期间发表论文

1. 胡鹏飞. 提高企业竞争力的必由之路——加强项目成本管理和控制[J]. 价值工程, 2005, 24 (6) : 86~88.
2. 胡鹏飞. 项目人力资源管理的角色和职责[J]. 中国水运理论版, 2005, 3(9): 125~126.
3. 成元, 胡鹏飞. 建筑企业竞争力的模糊评价[J]. 中国水运理论版, 2005, 3 (9) : 28~29.
6. 徐洪刚, 胡鹏飞. 工程项目成本、进度、质量集成控制的研究. 科技管理研究, 2006 年第六期已收录, 待发

附录一 网络图



附录二 程序代码

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      工程所需系数列表      %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

% N_w工序数量, nuber of work, 这里为19是因为去除了第一个和最后一个, 因为其系数都为0
global NofW
NofW = 19;

% 工作i的质量相对于整个工程的权重; ( $\sum \omega_i = 1$ ,  $\omega_i > 0$ )
global omega
omega =
[0.0875, 0.0772, 0.0637, 0.0557, 0.0356, 0.0678, 0.0609, 0.0533, 0.0661, 0.0594, 0.0476, 0.031
6, 0.0508, 0.0331, 0.0523, 0.0338, 0.0509, 0.0367, 0.0360];

% sqi为赶工质量
global sq
sq =
[0.9233, 0.9133, 0.9156, 0.8889, 0.8700, 0.9033, 0.8989, 0.8789, 0.8956, 0.8744, 0.8822, 0.860
0, 0.8922, 0.8689, 0.8878, 0.8700, 0.8856, 0.8644, 0.8700];

% nqi为工作i的正常质量, 都为1
nq = ones(1, NofW);

% sc为工作 i 的最大直接成本 ( $sc_i \geq nci > 0$ )
global sc
sc =
[154608, 119788, 189816, 13813, 13667, 119788, 189816, 13813, 140007, 189816, 88641, 95195, 210

```

86, 91464, 21086, 91464, 21086, 79342, 7708];

% nc为工作正常直接成本

global nc

nc =

[110527, 85563, 135581, 9867, 9762, 85563, 135581, 9867, 100003, 135581, 63315, 67997, 15062, 65332, 15062, 65332, 15062, 56246, 5505];

% nt为正常时间 normal time

global nt

nt = [24, 18, 30, 13, 7, 18, 30, 13, 20, 30, 11, 13, 4, 13, 4, 13, 4, 16, 5];

% st为赶工时间, 即最短持续时间 ($nt_i \geq st_i > 0$) 初始个体的每个基因值是在相应序号工作的持续时间 $[st_i, nt_i]$ 区间内随机产生

global st

st = [20, 15, 25, 12, 5, 15, 25, 12, 16, 25, 8, 9, 2, 9, 2, 9, 2, 12, 3];

% beta为赶工费率

global beta

beta = (sc-nc) ./ (nt-st);

% alfa为T-Q直线斜率

global alfa

alfa = (nq-sq) ./ (nt-st);

% C0为最小直接成本, Cx为最大直接成本

global C0

C0 = 1186808;

global Cx

Cx = 1662004;

% T0为最短工期, Tx为最大工期

global T0

T0 = 226;

global Tx

Tx = 286;

% Q0为最优质量, Qx为最低劣质量

global Q0

Q0 = 1;

global Qx

Qx = 0.8913;

% a, b 为函数 $u(T)$ 中的系数

global a

a = 1;

global b

b = -1/3600;

% c, d 为函数 $u(C)$ 中的系数

global c

c = 1;

global d

d = -1/(475196.^2);

```

% e, f 为函数u(Q)中的系数
global e
e = 1;
global f
f = -1/(0.187.^2);

% 成本权重
global Kc
Kc = 0.4;

% 工期权重
global Kt
Kt = 0.3;

% 质量权重
global Kq
Kq = 0.3;

% Metropolis准则中的调节参数M_T
global M_T
M_T = 0.1;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 遗传所需系数列表 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 群体规模为N
global N
N=100;

% 交换概率为Pc.
% 执行交换的个体是随机选择的, 通常按给定的交换概率Pc(取0.5~0.8), 交换点的选择是随机的
global Pc
Pc=0.65;

% 突变概率
% 突变个体的选择以及突变位置的确定, 都是采用随机的方法产生
global Pm
Pm=0.15;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 开始进行遗传操作 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (1) 初始化种群
% T0为初始种群, 由初始函数initialize函数得到, 将得到一个100*13的矩阵, 这里100为群体规模, 21为工序数量
GO = initialize(N, NofW);

```

```

% 将T0赋值到T进行操作, T0将完整保留下来
Gson = G0;
% 计算工程完成时间
T = sum(Gson');
% 计算工程成本C
for i = 1:N
    C(i) = funC(Gson(i,:));
end
% 计算工程质量Q
for i = 1:N
    Q(i) = funQ(Gson(i,:));
end
% 计算N个个体适应值函数
for i = 1:N
    Fit(i) = fit(C(i),T(i),Q(i));
end
Fmax = max(Fit); % 用来计算每一代里面最大的适应值
Fmin = min(Fit); % 用来计算每一代里面最小的适应值。
Fmaxlist = [Fmax]; % 用来记录所有的最大的适应值
Fminlist = [Fmin]; % 用来记录所有的最小的适应值
Num_GChange = 0; % 用来记录几代内基因没有发生变换
G_number = 0; % 用来记录进行遗传的代数

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (2) 开始遗传 终止准则为:u(c, t, q)>=0.86, 或十代内基因没有变化
while (Fmax < 0.86) & (Num_GChange < 10) % 判断是否满足终止条件
    G_number = G_number + 1; % 用来计算进行遗传的代数
    display('@@@@@@@@@@@@@@@@现在的代数是:');
    display(G_number)
    Gfather = Gson;
    Gson = Genetic(Gfather); % Genetic函数对父代Gfather进行遗传操作,
    % 其中包括复制(上代群体的处理), 杂交(优选父代交换),
    % 变异(大突变操作)生成中间遗传代Gtemp,
    % 然后从Gtemp中产生子代Gson(采用Metropolis准则)
    T = sum(Gson'); % 计算工程完成时间
    for i = 1:N
        C(i) = funC(Gson(i,:)); % 计算工程成本C
        Q(i) = funQ(Gson(i,:)); % 计算工程质量Q
    end
    % 计算N个个体适应值函数
    for i = 1:N
        Fit(i) = fit(C(i),T(i),Q(i));
    end
    Fmax = max(Fit); % 用来记录每一代里面最大的适应值
    Fmin = min(Fit); % 用来记录每一代里面最小的适应值
    Fmaxlist = [Fmaxlist, Fmax];
    Fminlist = [Fminlist, Fmin];
    if sum(sum(round(Gson-Gfather))) == 0
        Num_GChange = Num_GChange + 1; % 用来记录几代内基因没有发生变换
    else Num_GChange = 0;
    end
end
% 遗传操作结束之后, 可以求出最优工序时间安排optimal_T
    
```

```

posi = find(Fit == max(Fit));
optimal_Time = Gson(posi(i,1),:);
display(' 最优工序时间安排optimal_T为:');
display(optimal_Time);

% 最优的适应值为:optimal_Fitness
optimal_Fitness = Fmaxlist(end);
display(' 最优的适应值optimal_fitness为:');
display(optimal_Fitness);
% 工程总时间total_Time
total_Time = sum(optimal_Time);
display(' 最优工程总时间total_Time为:');
display(total_Time);

% 工程总费用total_C
total_C = funC(optimal_Time);
display(' 最优工程总费用total_C为:');
display(total_C);

% 工程总质量total_Q
total_Q = funQ(optimal_Time);
display(' 最优工程总质量total_Q为:');
display(total_Q);

plot(Fmaxlist);
grid on
title('u(C,T,Q)函数变换图像');
xlabel(' 遗传代数');
ylabel(' 适应值函数');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                % 初始化种群子程序 %
                                %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function t = initialize(n,nofw)
% 此函数是做遗传算法的初始工作,输入为种群个数和工序数量,输为n*nofw的二维矩阵,每一行
% 为一个个体.
t = zeros(n,nofw);
global st
global nt
for i = 1:nofw
    t(:,i) = round(unifrnd(st(i),nt(i),[n 1]));
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                % 遗传子程序 %
                                %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Gson = Genetic(Gfather)

```

```

% 次函数是用来进行遗传操作, 包括复制, 杂交, 变异后生成中间遗传代Gtemp, 然后从Gtemp中产生子代Gson
global N % 种群的规模
global NofW % 工序的数量
global Pc % 杂交概率
global Pm % 变异概率
global nt
global st
global M_T

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (1) 复制操作, 将Gfather中的所有个体全复制都中间群体Gtemp中
Gson = [];
Gtemp = Gfather;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (2) 杂交操作, 优选父代交换, 交换概率为Pc
Gcross = []; % 用来记录由于杂交而生成的新个体, 杂交完后将其加入到Gtemp中.
for i = 1:N/2
    g = Gfather(round(unifrnd(1, 100, 1, 4)), :); % 每次随机取出4个父代群体, 并两两选择适应值大
    if fit(funC(g(1, :)), sum(g(1, :)), funQ(g(1, :))) <
        fit(funC(g(2, :)), sum(g(2, :)), funQ(g(2, :)))
        g(1, :) = [];
    else g(2, :) = [];
    end % 两个if语句去掉了两个适应值小的个体, 还剩下两个用来做杂交
    if fit(funC(g(3, :)), sum(g(3, :)), funQ(g(3, :))) <
        fit(funC(g(2, :)), sum(g(2, :)), funQ(g(2, :)))
        g(3, :) = [];
    else g(2, :) = [];
    end
    % 产生一个随机数, 判断是否大于杂交概率, 是则再产生一个随机数作为交换位来进行交换
    if unifrnd(0, 1, 1) > Pc
        g0 = g;
        crossposi = round(unifrnd(1, NofW)); % 产生随机交换位
        gg = g(1, :);
        g(1, crossposi:NofW) = g(2, crossposi:NofW);
        g(2, crossposi:NofW) = gg(crossposi:NofW);
    end
    Gcross = [Gcross; g]; % 将发生交换的个体加入Gcross
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (3) 大突变操作, 选用比较大的变异概率Pm
Gmutate = []; % 用来记录由于突变而生成的新个体, 突变完后将其加入到Gtemp中.
for i = 1:round(N*Pm)
    gm = Gfather(round(unifrnd(1, 100, 1, 1)), :); % 每次随机取出4个父代群体, 并两两选择适应值大
    mutatesposi = round(unifrnd(1, NofW)); % 产生随机突变位
    % 在突变位置, 随机产生一个区间[sti, nti]中的工作时间值代替当前的基因位置的值, 从而

```

导致突变发生

```

    gm(1,mutateposi) = round(unifrnd(st(mutateposi),nt(mutateposi),1));
    Gmutate = [Gmutate;gm];
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% (4) 采用Metropolis准则,由中间群体Gtemp生成新群体Gson.
Gtemp = [Gtemp;Gcross;Gmutate]; % 将所有新生成的个体都合到中间群体Gtemp中
FitGtemp = [];
for i = 1:size(Gtemp,1)
    FitGtemp = [FitGtemp fit(funC(Gtemp(i,:)),sum(Gtemp(i,:)),funQ(Gtemp(i,:)))];
end
copyposi = find(FitGtemp == max(FitGtemp)); % 得出直接从Gtemp复制到Gson中的个体位置
% 将直接可复制的复制进去以后,其余用Metropolis准则选择
if length(copyposi) <= N
    Gson = [Gson;Gtemp(copyposi,:)];
else Gson = [Gson;Gtemp(copyposi(1:N),:)];
end

% Metropolis准则选择新个体
% Metropolis中的调节参数M_T
for i = 1:(N-length(copyposi))
    % 在中间群体中随机选择两个个体
    Metro_g = Gtemp(round(unifrnd(1,100,1,2)),:);
    % 计算Metropolis函数min(1,exp(-(f(i)-f(j))/M_T))
    f1 = fit(funC(Metro_g(1,:)),sum(Metro_g(1,:)),funQ(Metro_g(1,:)));
    f2 = fit(funC(Metro_g(2,:)),sum(Metro_g(2,:)),funQ(Metro_g(2,:)));
    Metro = min(1,exp(-(f1-f2)/M_T));
    if unifrnd(0,1,1) <= Metro
        Gson = [Gson;Metro_g(1,:)];
    else Gson = [Gson;Metro_g(2,:)];
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 目标函数子程序 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function cc = funC(Gsoni)
% 该函数是用来计算成本C
cc = 0;
global nc
global nt
global beta

cc = sum(nc + beta.*(nt-Gsoni));

function qq = funQ(Gsoni)
% 该函数是用来计算质量Q
qq = 0;
global sq

```

```

global st
global alfa
global omega

qq = sum(omega .* (sq + alfa.*(Gsoni-st)));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 适度函数子程序 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function fit = fit(C,T,Q)
%函数是用来求函数u(C,T,Q)=Kc*UC(C) + Kt*KT(T) + Kq*KQ(Q)的值，也即适应度函数
fit = 0;
global C0
global Cx
global T0
global Tx
global Q0
global Qx
global Kc
global Kt
global Kq
global a
global b
global c
global d
global e
global f

% 计算函数u(C)的值
uc = 0;
if C >= C0 & C<=Cx
    uc = c+d*(C-C0).^2;
end

% 计算函数u(T)的值
ut = 0;
if T >= T0 & T<=Tx
    ut = a+b*(T-T0).^2;
end

% 计算函数u(Q)的值
uq = 0;
if Q >= Qx & Q<=Q0
    uq = e+f*(Q-Q0).^2;
end

fit = Kc*uc + Kt*ut + Kq*uq;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

附录三 适值函数图

