

(1) 工时定额化。对工人提出科学的管理方法，以便有效利用工作时间，提高工作效率；研究工人工作时动作的合理性，去掉多余的动作，改善必要的动作；规定完成每一个工作单位操作的时间，制定出合理的劳动时间定额。

(2) 分工合理化。对工人进行科学的选择、培训和晋升；选择合适的工人安排在合适的工作岗位上；培训工人使用组织定义的标准操作方法，使其在工作中逐步成长。

(3) 程序标准化。制定科学的工艺规程，使工作流程中的工具、机器、材料标准化；对作业环境标准化，并用文件形式固定下来，从而实现工作程序的标准化。

(4) 薪酬差额化。把工人工作任务完成情况与工人的工资收入相关联，实行具有激励性的计件工资制度，对完成和超额完成定额任务的工人以较高的工资率计件支付薪酬，对不能完成定额任务的工人，则按较低的工资率支付薪酬。以此激励工人的工作效率和积极性。

(5) 管理职能化。管理和劳动工作分离，管理者和劳动者在工作中密切合作，但职责不同，以保证工作按标准的设计程序进行。

量化管理理论在很多方面吸收了科学管理的管理理念，包括：①任务定额化：量化管理理论强调管理者首先应确定标准的工作任务或者可量化的工作目标，然后对其逐步细化分解，并以量化的方式监控工作的进展，以此实现对工作进展、人员能力的量化管理和评价；②程序标准化：量化管理的一个重要前提是为每一个具体的管理对象和工作环节制定标准的工作流程，这样就能提高工作执行的一致性，降低流程的变异性，确保数据趋于一致，为数据的统计和分析奠定了基础；③薪酬差额化：根据量化结果实行“按劳取酬”，把完成工作的质和量与工作人员的报酬紧密联系，从而达到激励的目的。

泰勒的科学管理原理为量化管理提供了有效的理论支撑，同时在科学主义的影响下，组织执行量化管理，注重吸收和借鉴自然科学的方法和手段来解决管理问题，把管理活动抽象成数学模型，运用各种数学方法对管理结果进行统计、计算和分析，追求管理结果的数量化和精确化，这些都在一定程度上促进了管理的科学性、严谨性。

彼得·德鲁克（Peter F. Drucker, 1909—2005）曾经说过：没有度量，就没有管理。量化管理当前已经被各个行业广泛采用，旨在提升管理的精细化程度和管理效率。在信息系统项目管理领域，量化管理同样为组织和项目的数字化管理、精细化管理提供有效支撑。

2. 统计过程控制

统计过程控制（Statistical Process Control, SPC）是指应用统计技术对工作过程中的各个阶段进行分析、监控和评估，建立并保持工作过程处于可接受的并且稳定的水平，从而确保产品与服务符合规格要求的一种管理技术。

1924年，统计学家休哈特（W. A. Shewhart）将数理统计用于制造过程的质量控制，创立了以控制图为核心的统计过程控制（SPC）理论，目的在于预防或减少生产过程中出现不合格品的概率，从理论上实现质量管理从事后把关向事前预防的转变。这个方法直接引领了20世纪欧洲、美国和日本等国家企业的产品质量管理从事后检验阶段迈向了统计质量控制阶段，并为质量管理的第三个阶段（全面质量管理阶段）奠定了基础。统计过程控制的应用领域非常广泛，被各个行业的组织用来收集度量数据，进行量化的分析和预测，做到量化地理解过去、控制现

在以及预测未来。

统计过程控制是一种预防性方法，强调全员参与。并且统计过程控制强调整个过程，重点在于过程。多数管理模型认为，过程不单指流程，而是包括流程、工具、方法和人员。统计过程控制技术重点解决组织的两个问题：一是工作过程运行的状态是否稳定，通常使用控制图这一统计工具进行分析和判断；二是过程能力是否满足规格要求，可使用过程能力分析的方法进行判定。

统计过程控制理论认为，过程的能力是存在波动性的：一种波动是正常的波动，任何组织或个人执行过程的能力都会有一定的波动性，这是正常的；另一种波动是异常的波动，可能有特殊成因造成了能力的异常波动，这是异常情况，需要识别并管理。既然过程存在波动，那么通过度量的方法就可以找到其特征参数的数据值，这些数值可能会有一定的规律，应用统计学就可以找出这些数据的规律。统计过程控制的方法可以了解某些隐含的特征。运用合理的抽样方法就可以选择合适的调研样本进行研究，通过样本的分析结果来推断总体的过程状况。

统计过程控制使用的控制图基于正态分布的原理。如果过程的数据服从正态分布，那么将有约 69% 的数据点会落在均值 ± 1 个标准差 ($Sigma, \sigma$) 的范围之内；将有约 95% 的数据点会落在均值 ± 2 个标准差 ($2Sigma, 2\sigma$) 的范围之内；将有约 99.73% 的数据点会落在均值 ± 3 个标准差 ($3Sigma, 3\sigma$) 的范围之内。也就是样本数据落在 ± 3 个标准差之外的概率为： $1\%-99.73\% = 0.27\%$ 。根据统计学的通用规则，一般小于 5% 的概率称为小概率事件。在生产过程中，一旦出现小概率事件，意味着过程出现了异常情况。通过正态分布原理，可以从控制图上分清波动是正常成因还是异常成因。

统计过程控制的原理对量化管理提出了非常有效的理论基础，指导了各个行业的生产、制造、研发在量化管理的转型和实践工作。基于数据统计分析的量化管理行为可分为 3 个层面：

- (1) 描述和分析组织或项目的特征（现状、结构、因素之间的关系等）。
- (2) 分析组织或项目的运行规律与发展趋势（动态数据）。
- (3) 对组织或项目的未来状态进行预测（建立预测模型）。

3. 量化管理应用

在项目管理过程中对量化管理的应用正日趋完善，在统计过程控制原理的基础上，行业经过发展和完善形成的较为典型的理论有六西格玛管理体系和 CMMI 模型。

1) 六西格玛 (Six Sigma, 6σ)

六西格玛是一种改善组织质量流程管理的技术，强调“零缺陷”的预防控制和过程控制，带动组织质量大幅提升，同时降低生产和交付成本的方法。六西格玛背后的原理是，如果检测到项目中有多少缺陷，就可以找出如何系统地减少缺陷，使项目尽量完美的方法。一个组织要想达到六西格玛标准，那么按照正态分布特征，它的出错率不能超过 0.00034%。六西格玛在 20 世纪 90 年代中期开始从一种全面质量管理方法演变成为一个高度有效的组织流程设计、改善和优化的技术方法，并提供了一系列适用于设计、生产和服务的新产品开发工具。六西格玛逐步发展成为以客户或服务对象为中心来确定产品开发设计的标准，追求持续改进的一种管理哲学。

六西格玛的实施模式是对需要改进的流程进行区分，找到最有潜力的改进机会，优先对需

要改进的流程实施改进，以此提高改进效率。如果不确定改进优先级，组织会多方面出手，就可能分散有限的改进资源和精力，影响六西格玛管理的实施效果。六西格玛认为业务流程改进遵循5步循环改进法，即DMAIC模式：

- (1) 定义(Define)。识别需要改进的产品或过程，确定改进项目所需的资源。
- (2) 度量(Measure)。定义缺陷，收集产品或过程的表现作为工作基准，建立改进目标。
- (3) 分析(Analyze)。分析在度量阶段所收集到的各方面数据，以确定一组按重要程度排列的影响过程和产品质量的变量。
- (4) 改进(Improve)。优化业务流程，并确认该方案能够满足或超过项目质量改进的目标。
- (5) 控制(Control)。建立有效的控制手段，确保过程改进一旦完成能够继续保持下去，不会返回到改进前的状态。

六西格玛的5步实施流程并不是单一的，而是各个管理流程实施改进时相互关联的统一体。六西格玛是一种基于数据统计分析的管理方法，强调用数据来客观体现管理流程的能力。其代表特征是管理流程、管理指标的量化。

2) CMMI

CMMI即能力成熟度模型集成。该模型将组织的管理成熟度共划分5个级别，成熟度级别越高，对量化管理的要求越高。当达到CMMI模型的4级（量化管理级）和5级（优化级）时，要求组织针对过程的管理能够量化分析和量化预测，以此提升管理的能力和精细化程度。CMMI认为，当组织的管理达到高成熟度时，要能够使用统计的思维管理组织和项目的能力，高成熟度组织的主要特征包括：

- 建立量化的目标管理机制：从组织的战略规划到业务目标，再到质量与过程性能的目标，都能够以量化的形式来表达和管理，并且要把组织或项目的量化目标分解到各个过程、子过程中，从而实现对各个执行过程的量化监控。
- 建立过程能力量化监控机制：组织能够对过程能力建立量化能力指标，从而量化理解组织各项能力的当前状态，识别能力的稳定性，发现过程变异的特殊成因并及时采取修正措施。
- 建立目标的量化预测能力：组织能够对量化的目标进行预测，从而对目标的可达成情况进行量化的预测和分析，及时调整过程投入或方式，提高目标的可达成性。
- 建立基于量化的持续优化机制：组织能够预测变化对过程和投资回报的影响，能够量化地预测和评价过程改进对组织业务目标达成的支撑情况，能够建立持续的过程改进和效益提升机制。

20.4.2 组织级量化管理

组织开展量化管理工作的前提在于该组织已经定义了产品或项目管理的组织级标准过程，各个产品或项目团队能够遵循组织统一的管理流程、规程和产出要求开展工作，组织收集的度量数据才具备统计意义，可供开展量化管理建设。

CMMI模型和六西格玛均为组织级量化管理工作提供了方法和实践的指导。建立组织级的

量化管理体系的内容主要包括：定义组织量化过程性能目标、识别关键过程、建立度量体系及数据收集、建立过程性能基线和建立过程性能模型。

1. 定义组织量化过程性能目标

组织采用量化管理的方式加强项目的精细化管理，首先需建立在项目管理方面量化的性能目标。项目管理性能目标的达成是支撑组织业务目标达成的关键组成部分。组织项目管理方面量化性能目标在 CMMI 模型中称为质量与过程性能目标（Quality and Process Performance Objectives, QPPO），该目标通常包括质量方面和过程性能方面。根据行业基准数据的统计，组织重点关注的项目管理能力量化目标通常包括生产率、交付缺陷、交付工期偏差、客户满意度等。项目管理能力量化目标的设定必须支持组织战略规划和业务目标的达成，并确保目标可量化、可验证。目标定义过程中可应用 SMART（S=Specific、M=Measurable、A=Attainable、R=Relevant、T=Time-bound）原则检验目标是否合适。

组织在定义目标过程中，还应依据质量和过程性能目标对战略规划及业务目标的影响程度，为量化目标排定优先级，从而解决组织有多项管理能力目标需要满足时的优先排序问题。当组织存在多个目标需要达成，且达成目标的条件互相制约和影响时，可使用优化组合方法遍历不同的过程方案，选择最能达成目标的最优过程组合方案。

组织的质量与过程性能目标定义以后，需组织管理层以及相关部门、业务部、产品线、项目负责人等干系人共同评审确认，确认业务目标和质量与过程性能目标的支撑关系的合理性、目标及分解目标的可达成性。当组织共同确认后，方可正式作为组织的管理能力量化目标进行发布。组织需要检查质量及过程性能目标与实际的偏差和适应性，并修订目标的情况，主要包括：

- 业务目标发生变化时；
- 组织的标准过程体系结构及过程发生变化时；
- 实际的质量与过程性能同制定的目标严重偏离时；
- 组织架构进行重大调整时。

在组织质量与过程性能目标制定过程中，需要依据历史能力基线数据分析目标的达成情况，确保目标是合理的、可达成的。组织历史项目管理过程性能数据由已完成的各个项目组成，因此过程能力基线是一个范围。对于定义且实施了项目管理标准过程的组织，其影响目标的各过程在统计意义上是受控的。依据组织历史能力基线范围对照目标范围可使用能力分析或预测的方式判断组织当前能力现状对目标能力要求的满足程度。信息系统项目较传统制造过程存在较大区别，组织在管理能力判定时，可采用过程能力指数（Process Capability Index, CPK）的方式判定目标的可达成性。

当 CPK 大于或等于 1.33 时，代表组织当前过程能力现状可满足目标能力要求，过程能力良好，状态稳定；当 CPK 为 1.00 ~ 1.33 时，代表组织当前过程能力现状可满足目标能力要求，但组织过程能力状态一般，稍有过程因素变异即可能导致目标无法达成；当 CPK 为 0.67 ~ 1.00 时，代表组织当前过程能力现状对满足目标能力要求存在不稳定性，达成目标存在一定的风险，需要进行改进活动提升能力方可达成目标；当 CPK 低于 0.67 时，通常代表组织当前过程能力不能满足目标能力要求，且达成目标存在较大风险，必须考虑重新定义相关管理流程或大规模调

整资源投入方可达成目标，或者重新制定可达成的目标。

在组织质量与过程性能目标定义的过程中，还需要对目标进行有效分解，方可对目标进行有效的阶段管理或过程中监控和调整，从而实现量化管理、精细化管理的目的。信息系统建设的管理特征决定该领域组织主要项目管理模式可以划分为两类：强矩阵型和职能型管理模式，组织可按管理架构选择按职能部门分解建立各过程的分级目标。对于强矩阵型管理模式，组织级目标应根据业务条线和项目集特征，分解至各个项目；对于职能型管理模式，组织可依据职能划分，将量化管理目标分解至负责需求、设计、开发、测试、集成和运维等职能部门，以便于目标的管理和监控。分解目标需要随同组织级目标在组织范围内由各干系人共同评审，得到各干系人的承诺，确保分解目标的可达成，从而确保通过各个分解目标的达成支撑组织目标的达成。

2. 识别关键过程

组织质量与过程性能目标确定后，通常项目工程和管理的各个环节均对项目量化目标可能产生影响。组织的资源通常有限，为确保管理效率，需要根据已定义的质量和过程性能目标选择出对目标达成关键的过程或因素，定义其度量属性并开展量化管理。关键过程的选择首先须定义关键过程选择准则，通常关键过程的选择准则可参考表 20-1 所示的内容。

表 20-1 关键过程选择准则

序号	过程选择准则
1	过程或子过程是质量与过程性能目标的主要贡献者
2	过程或子过程是质量与过程性能目标的重要预测器
3	过程或子过程对了解达成质量与过程性能目标的关联风险是重要的因素
4	过程和子过程与关键业务目标是强相关的
5	过程或子过程在过去已证明是稳定的
6	过程或子过程相关的有效历史数据是当前可使用的
7	过程或子过程将具有足够频率产生数据以便统计管理
8	过程或子过程关联的度量方法与度量数据的质量足够好

组织选定的对目标有关键影响的过程和子过程，可以重点为其建立数据度量与分析体系，从而了解这些关键过程的过程能力以及稳定性。当出现一些情况时，组织需要检查目标与过程的对应关系，并且修改过程或子过程的选择。这些情况主要包括：①出现业务目标、组织质量及过程性能目标变化；②基本的质量与过程性能变化；③组织的过程结构及过程内容变化。

在项目过程中，技术过程可大致分为两类：开发性活动和验证性活动。需求开发、软件设计、编码实现、产品集成等活动均为开发性活动，此类活动在整个项目中所占工作量相对较大，对生产率或项目工期的影响较大；技术评审、代码走查和测试类活动为验证性活动，此类活动重点关注缺陷的移除，对交付质量的影响相对更大。在关键过程选择时可据此作为基本指导思路进行选择。

3. 建立度量体系及数据收集

当组织识别与量化目标有关键影响的过程后，应根据已确定的组织质量和过程性能目标、

组织度量与分析技术指南以及被选定的过程或子过程，定义已选择过程或子过程的合适属性的度量。

为确保数据样本的充分性与可用性，保证后续数据分析与可预测模型的建立，建立度量属性过程中除各过程能力的“结果数据”外，须重点识别过程能力结果产生潜在影响的“过程数据”。识别过程数据可采用思维导图的方式，从人、机、料、法、环、测等多个方面识别可能影响过程能力结果的因子指标。信息系统建设项目不同于生产制造项目，人的因素影响比重较大，包括人员级别、人员数量、技能、业务熟练程度、角色完整程度等，均对项目的效率或质量产生较大影响。同时，研发方法、遵循流程、生命周期选择和研发管理工具，以及验证活动的频率、方法、工具等因素，也是影响团队目标的重要因素。可控因子的数量及收集到的样本数据数量直接影响过程性能模型的建立，不同组织必须针对组织的项目管理流程和工具使用情况，识别潜在的影响因子并纳入度量分析体系。

为确保度量属性的可用性，选择度量时需要考虑的准则主要包括：

- 应选取与组织质量和过程性能目标适合的度量项，以保证度量可验证目标的达成或者减少偏差情况；
- 度量属性必须全面覆盖产品的全生命周期；
- 该度量项是可操作的；
- 清晰地定义度量数据的收集频率；
- 度量属性是可控的；
- 该度量项可代表使用者对有效过程的观点（即确保选择的属性、统计的数据与使用者的观点一致）。

选择度量后应对其进行可操作的定义，包括意义说明、度量公式、度量数据、数据来源、收集频率、负责人等，形成过程度量说明文件，用于后续指导各项目团队的数据度量与分析工作。度量说明必须清晰、完整，以保证度量数据采集、存储和分析的可操作性和适用性。

度量体系建立后，需要经过组织内部各相关角色的共同评审，确保数据度量项的正确性与有效性，同时需要确认度量项收集工作可在预期工作量范围内完成。组织需要定期对度量指标的可用性和有效性进行评估。当组织的业务目标、标准过程及工作方式发生变化时，必须及时维护组织度量体系，以确保度量体系的正常运行和对组织管理所需数据持续有效的支持。

依据已建立的度量体系在组织内进行宣贯，推动组织各个角色及项目团队了解组织定义的度量分析说明，并遵循其开展过程度量数据的采集工作。组织级支持、管理团队以及各项目团队在工作执行过程中，需要识别组织级的度量数据要求、客户或服务对象要求以及其他相关干系人的管理信息需求，依据组织级度量说明进行裁剪，定义项目级的度量与分析计划。计划中需包括项目的度量目标、度量项、度量说明、分析方法说明及数据质量审查机制，用于指导各项目团队成员进行度量数据的收集和验证工作。

量化管理使用到的技术通常包括过程性能基线、过程性能模型、控制图、变异分析、回归分析、置信区间或预测区间、敏感度分析、蒙特卡洛模拟和假设检验等。

度量数据收集后，项目管理者必须依据度量数据的质量审查规则对度量数据的质量进行审

查。数据质量审查方式包括基准对照、溯源分析、数据自回归等方式，从而确保度量数据的质量，以及数据可准确地支持管理决策或作为后续项目的有效参考。

4. 建立过程性能基线

建立过程性能基线（Process Performance Baseline, PPB）的目的是通过历史数据刻画组织当前项目各个过程的能力，确定过程能力的稳定范围，为管理决策提供数据化支持，并为后续项目的估算、计划与管理工作提供可参考的数据基准。建立过程性能基线的步骤主要包括：获取所需数据、分析数据特征、建立过程性能基线、发布和维护过程性能基线。

1) 获取所需数据

组织依据建立的度量体系收集项目过程能力数据，建立组织度量数据库，组织需根据发展需要及项目周期情况选择合理的范围，从组织度量数据库中获取所需数据，用于能力基线的建立。为确保过程能力在统计意义上的可用性，建立过程能力基线必须确保足够的样本数量。根据统计过程控制关于数据样本选择的惯例，通常建立过程能力基线的初始样本数据应不少于 32 个，组织需收集足够的同类过程或同类项目的数据样本以供过程性能基线的建立。

2) 分析数据特征

获取样本数据后，必须验证过程能力的数据特征，判断其是否需要分组。如果从数据特征上判断能力存在分层情况，则必须对数据进行分组，并分别建立能力基线，以避免后续数据结果的偏差和误导。

判断数据是否需要分组，可使用正态性检验等方式验证过程能力数据是否符合正态性分布，对于不符合正态性分布的数据，可能需要分组；通过正态性检验的过程数据，也仍然存在可分组的可能性，需要组织对过程能力进行进一步的分析，确认其是否需要分组。对需要分组的数据，通常需要尝试用多种方式分析数据的分层情况，并分组建立过程性能基线。

3) 建立过程性能基线

组织可使用控制图（Control Chart）的方式建立过程性能基线，以历史能力均值作为能力的中心线（Center Line, CL），以中心线上 3 个标准差作为过程能力的控制上限（Upper Control Limit, UCL），以中心线下 3 个标准差为过程能力的控制下限（Lower Control Limit, LCL）。对于符合正态分布的过程能力，由前述可知：过程能力位于 $CL \pm \sigma$ 区间的概率约为 68%；过程能力位于 $CL \pm 2\sigma$ 区间的概率为 95%；过程能力位于 $CL \pm 3\sigma$ 区间的概率为 99.73%，以此作为过程能力的基准。控制图示例如图 20-8 所示。

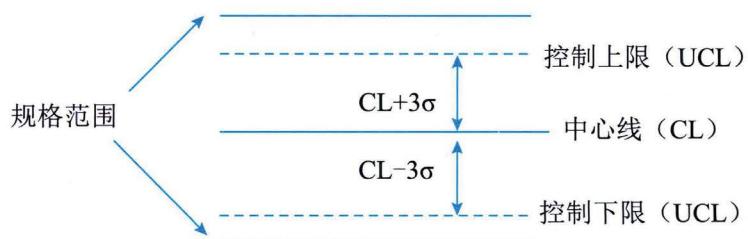


图 20-8 使用控制图建立过程能力基线示例

过程能力基线建立后，组织必须判定选定过程的当前能力是否存在异常点，如存在异常点则需要进行分析，并选择适当的方式处理该异常点，得到过程的真实能力范围。基于控制图可使用标准差的形式建立判定准则，识别小概率事件的发生情况，将小概率事件的发生识别为异常点，从而对异常数据进行分析和处理。通常在项目管理过程中使用控制图对小概率事件的判定准则如表 20-2 所示。

表 20-2 过程能力异常判定准则

序号	判定准则
1	单独 1 个点掉出 3σ 控制范围之外
2	3 个连续的点里有至少 2 个点在中值的同一侧并且掉在 σ_a 之外
3	5 个连续的点里至少有 4 个点在中值的同一侧并且掉在 1σ 之外
4	至少有 8 个连续的点掉在中值的同一侧
5	连续 7 个点在中心线同一侧，或连续 7 个点持续上升或下降

对于异常数据需进行深入分析其原因，如果异常数据属于特殊成因，必须识别该特殊成因的内容，删除或校准该数据后再使用；如果异常数据属于正常成因（即过程存在的“噪声”），则需要接纳该数据，从而形成最终的过程性能基线。

过程性能基线代表了组织在一定条件之内的能力范围，组织在建立过程性能基线的过程中，需要注明该过程性能的前提条件范围。例如：项目工期偏差率控制在 10% ~ 20% 的前提是项目使用的项目经理级别均为 P6 ~ P9 级。超出前提条件范围时该能力基线的范围很可能发生变化。

4) 发布和维护过程性能基线

过程性能基线建立或调整后，需要协调组织管理层、改进团队、各过程负责人等对过程性能基线进行评审，确保组织建立的能力基线能够取得各相关干系人的共识。当组织的业务目标、过程性能目标或标准过程发生变化时，组织需要及时维护过程性能基线从而对后续项目起到持续有效的指导作用。

5. 建立过程性能模型

基于过程性能模型（Process Performance Model, PPM）的目的在于，依据组织的可量化目标，使用组织已建立的度量体系及收集数据建立的过程性能基线，通过回归的方式建立过程性能模型，识别组织或项目过程能力量化目标与过程因子之间的解释关系，实现对组织的目标量化预测与解释，支撑组织和项目量化目标的分解与跟踪。建立过程性能模型的步骤主要包括：识别建模因子、建立过程性能模型、检验过程性能模型以及评审和发布过程性能模型。

1) 识别建模因子

过程性能模型相较于其他模型最显著的特征是包含可控因子（Controlled Factor）。识别建模因子的步骤是，首先识别组织的质量与过程性能目标作为模型的输出（Outcome），然后识别与模型输出相关的过程能力因子，且必须包含可控因子。识别过程因子的方法包括鱼骨图、德尔菲法（Delphi）或头脑风暴等。依据组织的历史数据和已建立的过程性能基线，使用 Person 相

关系数判定各个因子数据与结果数据的相关性，每个因子记为 x ，输出记为 y ， x 与 y 相关性系数 $r(x,y)$ 计算公式如下所示。

$$r(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$r(x,y)$ 的计算结果在区间 $[-1,1]$ ，根据计算结果，识别因子与目标结果相关性关系如下：

- 当 $0.8 \leq |r| \leq 1$ 时，认为该因子与目标结果存在强相关关系；
- 当 $0.5 \leq |r| < 0.8$ 时，认为该因子与目标结果存在中度相关关系；
- 当 $0.3 \leq |r| < 0.5$ 时，认为该因子与目标结果存在弱相关关系；
- 当 $0 \leq |r| < 0.3$ 时，认为该因子与目标结果基本不相关。

根据相关性分析的结果，通常选择相关性相对较大的因子参与过程性能模型的建立。同时，考虑到多元回归分析建模的需要，各个因子之间不可存在较高相关性，否则会引起多重共线问题，导致所建立回归模型的逻辑混乱甚至失败。

2) 建立过程性能模型

组织依据收集到的过程性能数据，通过相关性分析识别到的跟质量与过程性能目标（因变量）相关的建模因子（自变量），通过回归的方式建立过程性能模型。由于组织在项目管理方面的质量与过程性能目标存在多个，因此组织建立的过程性能模型通常有若干个或若干组。

在建立预测模型的过程中，由于影响最终交付质量与过程性能的因素较多，如果直接面向最终的交付质量与过程性能目标建立预测模型，通常难度较大，且影响因子过多会造成模型不易使用。以软件交付质量为例，在自变量（解释变量）的选择中，软件项目十几个执行过程、百余个因子均有可能对交付质量产生影响。如果直接面向交付质量选择过程因子进行建模，会导致解释变量过多模型难以使用，或部分过程未涉及因而无法对过程监控和调整。组织可考虑采用多层级模型的方式，第一层级面对最终质量与过程性能目标建立过程性能模型，确保最终质量与过程性能目标的可预测和有效分解；第二层级面向需求开发、设计、编码、测试和评审等过程建立过程性能模型，实现过程性能目标向过程可控因子的分解。以多级模型实现组织和项目研发管理过程能力量化目标的逐层分解、逐步精细化管理和监控，确保组织量化管理目标的有效分解和实施预测。

3) 验证过程性能模型

组织依据收集到的过程性能数据，通过相关性分析识别到的跟质量与过程性能目标（因变量）相关的建模因子（自变量），按回归的方式建立过程性能模型。由于组织在项目管理方面的质量与过程性能目标存在多个，因此组织建立的过程性能模型通常是若干个或若干组。

通过多元回归方式建模后，需要通过建模结果的关键参数判定模型的可靠性程度。根据假设检验方法，当参与建模的每个因子的值 P 小于0.05时，认为该因子与模型结果显著相关，可以保留；如 P 大于0.05，需要进行进一步分析因子的可用性。另根据回归平方和 R^2 （即R-sq值）作为判定系数的要求，R-sq越趋近于1，认为模型可靠性越高。根据金融领域软件研发项目的

特征，通常选择当 R-sq 值小于 0.7 时，认为模型可靠性较弱，需要重新选择因子；当可信度大于 0.7 时，认为此模型基本可靠。

模型建立后，需要从逻辑上验证模型的正确性。由于建立多元回归模型过程中因子较多，需要严格审查各因子逻辑的正确性，逐个验证模型的因子与模型的结果输出之间的逻辑关系，避免多元回归模型由于多重共线导致的逻辑混乱。

逻辑验证通过后，还需要通过对残差值建立散点图判断残差的正态性；对残差建立直方图判断残差的趋势情况；建立趋势图判断残差是否随着时间趋势准确性有所变化等。通过残差验证模型的正确性或可靠性趋势。

4) 评审和发布过程性能模型

过程性能模型建立或调整后，需要协调组织管理层、改进团队及各过程负责人等对过程性能模型进行评审，确保组织建立的可预测模型能够取得各干系人的共识。

20.4.3 项目级量化管理

1. 项目过程性能目标定义

组织每个项目启动时，项目团队应依据组织级质量与过程性能目标要求、客户或服务对象交付要求及其他相关干系人的管理要求，结合项目团队自身项目过程能力数据，设定项目质量与过程性能目标。该目标需要优先保证客户或服务对象要求，同时兼顾组织及其他干系人的需要，且保证目标设置的合理性，避免不合理目标影响项目的有效策划。

项目质量与过程性能目标设定后，项目管理者可使用过程性能基线和过程性能模型，采用蒙特卡洛模拟的方式预测项目质量与过程性能目标达成的概率。对于目标达成概率未达到预期的情况，项目应识别到以组织当前过程性能达成目标存在风险，此时需要论证目标的合理性，识别风险并制定应对措施，从而提升目标达成的概率。

2. 过程优化组合

项目建设的各个过程存在不同的子过程或执行方式，且通过度量数据的采集识别到不同过程执行方式的性能数据存在分组，证明不同的过程组合方案，可带来不同的质量与过程性能结果。

项目的质量与过程性能目标设定时通常存在多个目标，对项目各个过程的执行方案组合的选择需要同时权衡多个目标的达成情况，以此满足各相关干系人对项目的需求、期望和限制。由于组织各个过程的基线分组较多，可使用蒙特卡洛模拟的方法遍历每一种过程组合，从而判定满足项目质量与过程性能目标的最优过程组合方案。

3. 过程性能监控

在项目执行过程中，目标分解的目的是将项目的质量与过程性能目标量化分解至各个过程或阶段，再分解至对过程或阶段产生关键影响的因子。而过程性能监控是目标分解的逆向过程：首先监控关键影响因子是否满足分解要求，其次监控过程性能的稳定性和符合性，最后监控整个项目质量与过程性能目标的达成情况。

对项目已选择的对目标产生关键影响的过程，项目团队可采用统计或其他量化技术主动监控过程的能力。针对每个过程收集其度量数据，例如，在编码过程中收集每个任务的效率数据，或每次代码走查发现的缺陷密度数据，使用控制图进行分析并监控它们的性能。过程性能的量化监控至少包含两个方面：①监控过程性能是否稳定，可根据控制图的稳定性判定准则通过小概率事件判定来识别异常情况并解决；②监控过程性能是否满足规格要求。分解到该过程性能的目标即可作为规格范围的上限（Upper Specification Limit, USL）和下限（Lower Specification Limit, LSL）。通过对比当前过程能力上限和下限（UCL 和 LCL）与规格上限和下限（USL 和 LSL），判断该过程是否从性能上满足规格要求。

当过程性能出现不稳定或不能满足规格要求时，项目团队需要识别其影响因素，开展根本原因分析，找出影响过程能力的根本原因并加以解决，从而确保项目过程性能目标的达成，并预防同类问题在后续过程中再次发生。

4. 项目性能预测

在项目各过程性能的稳定性及符合性满足后，需要在每个阶段或里程碑处，对项目最终质量与过程性能目标的达成性进行量化预测，从而了解项目当前的进展情况是否可达成最终的项目质量与过程性能目标。

在项目每个阶段或里程碑完成时，项目此阶段的性能数据将不再是过程性能基线中的分布值，而变为过程性能的实际值。项目此时使用蒙特卡洛模拟的方法使用已完成阶段的实际值和未完成阶段的基线值重新预测过程性能目标达成的概率，可以得到更新的目标达成概率。根据组织设置的置信区间，判定过程性能目标达成的概率是否在可控范围之内，如预测的结果显示信心不足，需调整后续里程碑或阶段的分解目标，确保项目最终质量与过程性能目标的达成。

在项目最终结束时，项目团队需根据实际数据计算项目最终质量与过程性能目标的达成情况，量化地总结分析项目目标达成情况，并将经验教训、过程性能数据贡献给组织作为后续工作的指导以及 PPB、PPM 更新的依据。

20.5 项目管理实践模型

随着项目管理理论和实践在全球范围内的不断发展和积累，多个组织开发并发布了项目管理的最佳实践集合，其中得到广泛使用的是 CMMI 模型和 PRINCE2 模型，用于指导各个领域组织的项目管理活动。利用 CMMI 模型和 PRINCE2 模型的最佳实践，能够迅速将项目管理者的管理经验理论化、体系化，提升管理的全面性和完整性。

20.5.1 CMMI模型

CMMI（Capability Maturity Model Integration，能力成熟度模型集成）模型主要用于指导组织项目管理过程的改进，以及进行项目管理能力成熟度的评估，当前版本为 CMMI 2.0。CMMI 模型广泛应用于各个领域的研发管理等，有效地促进了交付效率的提高和交付质量的提升。

1. CMMI 模型实践

CMMI 将所有收集并论证过的最佳实践按逻辑归为 4 大能力域类别：

- 行动（Doing）：用于生产和提供优秀解决方案的能力域。
- 管理（Managing）：用于策划和管理解决方案实施的能力域。
- 使能（Enabling）：用于支持解决方案实施和交付的能力域。
- 提高（Improving）：用于维持和提高效率效能的能力域。

4 大能力域类别共包含了 9 个能力域。CMMI 模型将共 196 条实践分组，形成 20 个实践域，并将 20 个实践域分别归属于 9 个能力域，如表 20-3 所示。

表 20-3 CMMI 开发模型实践域汇总

序号	能力域类别	能力域	实践域
1	行动 (Doing)	确保质量 (Ensuring Quality)	需求开发与管理 (Requirement Development and Management)
2			过程质量保证 (Process Quality Assurance)
3			验证与确认 (Verification and Validation)
4			同行评审 (Peer Review)
5		设计和开发产品 (Engineering and Developing Products)	技术解决方案 (Technical Resolution)
6			产品集成 (Product Integration)
7		选择和管理供应商 (Selecting and Managing Supplier)	供应商协议管理 (Supplier Agreement Management)
8	管理 (Managing)	规划和管理工作 (Planning and Managing Work)	估算 (Estimating)
9			策划 (Planning)
10			监督与控制 (Monitor and Control)
11		管理业务弹性 (Managing the Resilience)	风险管理与机会管理 (Risk and Opportunity Management)
12		管理员工 (Managing the workforce)	组织培训 (Organizational Training)
13	实现 (Enabling)	支持实施 (Supporting Implementation)	原因分析与解决 (Causal Analysis and Resolution)
14			决策分析与解决 (Decision Analysis and Resolution)
15			配置管理 (Configuration Management)
16	提升 (Improving)	维持习惯性和持久性 (Sustaining Habit and Persistence)	治理 (Governance)
17			实施基础 (Implementation Infrastructure)
18		提高效率效能 (Improving the Performance)	过程管理 (Process Management)
19			过程资产管理 (Process Assets Development)
20			管理效率效能与度量 (Managing Performance and Measurement)

每个实践域中都包含了同类的行业最佳实践，用于指导组织建立适用于自身的标准过程以及在项目中开发管理工作的执行。

2. CMMI 级别与表示方法

CMMI 共划分了 5 个成熟度级别，分为 1 ~ 5 级。每个等级的提升都基于之前的等级，然后增加新的功能或熟练度，随着成熟度级别的提升，组织的管理能力和效率效能也随之提升。1 ~ 5 级成熟度分别如下：

(1) 第 1 级 初始级：各个实践域的活动应该能够在组织中得到基本的执行，例如，在软件研发和管理方面组织能够执行需求开发、编码实现、系统测试及项目计划和监控这些工作。其级别特征主要包括：

- 满足实践域意图的初步方法能够得到基本实现；
- 没有一套完整的实践来满足实践域的全部意图；
- 开始专注于能力问题。

(2) 第 2 级 管理级：所有第 1 级的要求都已经达到，另外，组织在项目实施上能够遵守项目团队既定的工作计划与流程，对需求、任务、产出物、度量数据、相关的实施人员能够实现相应的管理，对整个流程进行监测与控制。达到成熟度 2 级水平的组织对项目有一系列管理方式，避免了组织完成各个项目目标的随机性，保证了组织内项目实施的成功率。每个项目都可以使用自己的方式达到实践域的目标，其级别特征主要包括：

- 简单但完整的一组实践，能够满足实践域的全部目的；
- 不需要使用组织资产或标准；
- 对项目的各个方面实现了管理；
- 实践的意图可以基于项目以各种方式得到满足。

(3) 第 3 级 定义级：所有第 2 级实践的意图和价值都已经达到，并且组织能够根据自身的情况定义适用于自身的标准过程，将这套管理体系与流程实现制度化。同时，要求组织能够建立过程资产，基于历史项目的可复用过程资产（包括管理资产和技术资产）得到有效的复用，从而提高项目的成功率。组织不仅能够在当前同类项目上取得成功，也能够在其他项目上成功。组织的管理流程成为组织的一种文化，成为组织的财富。其级别特征主要包括：

- 采用组织标准流程开展各项工作；
- 能够依据项目特征对组织的标准流程进行裁剪以解决特定的项目和工作特征；
- 项目能够使用和向组织贡献过程资产。

(4) 第 4 级 量化管理级：所有第 3 级实践的意图和价值都能够达成。另外，组织的管理实现了量化，实现了可预测。通过统计或其他量化技术来实现过程性能的稳定性监控和复合型监控，实现管理的精细化，降低项目在过程能力和质量上的波动。组织能够通过历史数据构建可预测模型，对组织和项目的质量和过程性能目标实现可预测。其级别特征主要包括：

- 使用统计和其他量化技术来监测，完善或预测关键过程领域，从而实现组织或项目的质量与过程性能目标；
- 以统计和量化管理的方式了解组织或项目的效率效能变化，并根据质量和过程性能目标

的情况管理组织和项目的效率效能。

(5) 第5级 优化级：所有第4级实践的意图和价值都能够达成。另外，组织能够充分利用其管理数据和量化的方法对组织在项目实施的过程中可能出现的不符合策划的内容进行预防。组织能够主动地改进标准过程，运用新技术和方法实现流程的持续优化。其级别特征主要包括：

- 使用统计和其他量化技术来优化效率效能并改善组织目标的实现，包括业务、度量和效率效能以及质量与过程性能目标；
- 能够通过基于量化的持续优化来持续支持组织业务目标的达成。

每个演进的等级都基于之前的等级，增加了新的功能或熟练程度，从而提升能力。CMMI的第4级和第5级被称为高成熟度等级，以量化方式关注管理效率效能提升和持续改进。

3. 基于CMMI的过程改进

组织基于CMMI的改进工作主要包括：

(1) 定义改进目标。组织过程改进工作都服务于组织业务目标或战略规划的达成。采用CMMI模型开展改进工作首先要明确改进目标，使效能改进与组织的战略规划或业务目标相一致。

(2) 建立改进团队。过程改进团队在组织的改进工作中起到至关重要的作用，通常过程改进团队由组织内各部门或岗位关键角色构成，负责依据组织业务目标进行改进目标的建立和分解，协调改进相关资源，策划和执行改进工作，建立和推广组织标准过程和过程资产等，对改进工作的结果负责。

(3) 开展差距分析。组织开展改进工作必须了解组织当前管理过程现状。参照CMMI模型期望的成熟度级别及组织业务目标对管理过程的要求开展诊断工作，识别组织当前过程差距，明确关键改进点及优先级。

(4) 导入培训和过程定义。依据差距分析结果制定导入培训方案，开展CMMI模型的培训工作，确保改进团队了解行业最佳实践。改进团队依据组织的管理现状，结合CMMI模型的实践定义或完善组织的标准过程，确保建立或优化的标准过程能够满足组织战略规划或业务目标的需要，满足质量与过程性能目标的改进要求。组织通常还需建立执行工作所需的过程资产以支撑管理工作的开展，通过加强技术资产或管理经验的复用提升研发管理和服务交付等能力。

(5) 过程部署。由改进团队在组织内开展标准过程的宣贯和部署，在组织内对管理流程全面实施组织的标准过程。在部署过程中组织还需建立质量保证机制，对标准过程的执行进行监督和审查。确保管理规范和改进工作的落实执行，提升组织研发管理能力。

(6) CMMI评估。CMMI V2.0有3种评估方法，分别是基准评估(Benchmark Appraisal)、维持性评估(Sustainment Appraisal)和评价评估(Evaluation Appraisal)。基准评估和维持性评估是可以产生评级的评估类型，评价评估是基准评估的裁剪实施，不产生评级。组织的标准过程及改进在全面部署之后，可选择适当的评估方法开展评估，验证改进工作进展，判定组织成熟度等级。评估工作并不意味着改进工作的结束，多数优秀的组织均具备常设的改进团队，持续开展组织过程性能的改进工作。

20.5.2 PRINCE2模型

1. PRINCE2 概述

PRINCE2 (PRoject IN Controlled Environment, 受控环境下的项目管理) 是当今在世界范围内广泛使用的项目管理方法之一，是一个基于经验的结构化项目管理方法。PRINCE2 是这种方法的第 2 个重要版本，由英国政府商务部 (OGC) 于 1996 年开始推广。PRINCE2 的主要特征包括：①建立在既定的和被证实的最佳实践及治理基础上，用于项目管理的指南；②其可量身剪裁，以满足组织的具体需要；③可以应用于任何类型的项目，并且可以结合专家以及行业模型（例如，“工程模型”和“开发生命周期”）进行融合应用；④被广泛认知和理解，并为所有项目参与者提供了统一的词汇表。这样做促进了项目工作的一贯性，有助于实现项目资源的可再用性。它还有利于员工的流动，并降低人员流动或交接带来的影响；⑤确保参与者关注与其立项评估目标相关的项目可行性，而不是简单地将项目的“完成”定义为竣工。它确保在规划和制定决策时，能够恰当代表利益干系人（包括项目发起人和资源提供者）；⑥促进学习项目经验。

PRINCE2 结构包括原则、主题、流程和项目环境，如图 20-9 所示。

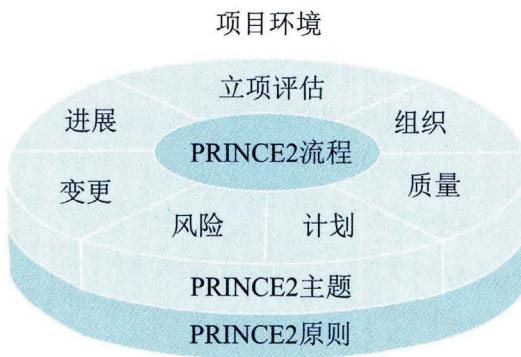


图 20-9 PRINCE2 的结构

- PRINCE2 原则：指导性的原则和最佳实践。其可以判断一个项目是否真正应用 PRINCE2 进行管理。只有 7 个原则全部得到应用，才可称得上是一个“PRINCE 项目”。
- PRINCE2 主题：描述了项目管理中，必须持续关注的项目管理的几个重要方面。这 7 个主题解释了针对不同项目管理学科，PRINCE2 要求实施的具体处理手段及其必要性。
- PRINCE2 流程：描述了项目的进展，从项目准备的前期活动，到项目生命周期中的各个阶段，再到最后的项目收尾。每个流程都有与其相关的建议活动、产品和相关职责的核查清单。
- 项目环境：组织通常希望使用一致的方法来对项目进行管理，剪裁 PRINCE2 以创建其专属的项目管理方法。这种方法届时会根植到该组织的工作方式中去。

2. PRINCE2 原则

PRINCE2 的设计初衷是考虑到项目的规模、组织、地域和文化，使其可以用于任何类型的项目。其旨在助力项目的成功，而不是为项目带来官僚作风引起的负担。主题、流程和产品描

述说明了我们应该做什么，而不是如何做。

PRINCE2 是基于原则创建的，而不是硬性规定的，其原则具有如下特点：

- 通用性，因为可应用于每个项目；
- 自我验证性，因为已经在多年实践中得到验证；
- 自主性，因为这些原则赋予了从业人员方法论，提高了从业人员的信心和能力，使他们可以更有效地进行项目管理。

PRINCE2 的原则为参与项目的人员提供了良好的实践框架，且 PRINCE2 的原则是从成功和失败的项目中吸取经验教训而得出的，如表 20-4 所示。

表 20-4 PRINCE2 的 7 个原则

序号	PRINCE2 原则	关键信息
1	持续的业务验证	应用 PRINCE2 方法的项目必须持续地进行业务验证
2	吸取经验教训	项目团队吸取以前的经验教训，在项目生命周期中发现、记录和应对
3	明确定义的角色和职责	基于 PRINCE2 的项目定义了项目的组织结构，并就其中的角色和职责达成一致，这将保证业务、用户和供应商的利益
4	按阶段管理	项目是在逐个阶段基础上进行计划、监督和控制
5	例外管理	项目对每个项目目标都定义了容许偏差，来建立授权的限制范围
6	关注产品	项目关注产品的定义与交付，特别是产品的质量要求
7	根据项目剪裁	根据项目的环境、规模、复杂性、重要性、团队能力和风险，进行剪裁

3. PRINCE2 主题

PRINCE2 主题描述了项目管理中，因为随着项目在整个生命周期内的进展，必须持续关注的方面。例如，由于会发生变更及风险需要管理，项目合理性需要在整个项目期进行更新和再验证。然而，PRINCE2 的优势在于 7 个主题有机结合的方式，这种优势得以实现是借助于每个主题特定的 PRINCE2 处理方式，它们被精心设计以便能够有效地联系在一起，如表 20-5 所示。

表 20-5 PRINCE2 的 7 个主题

序号	PRINCE2 主题	描述
1	立项评估	项目从一个被认为对相关组织具有潜在价值的想法开始。本主题说明了这个想法如何发展成组织的一个可交付的投资建议，项目管理如何在项目中保持对组织目标的持续关注
2	组织	发起项目的组织需要将工作分配给各级经理，负责推进项目直到完成。项目是跨职能的，因此，正常的直线型职能结构并不适合项目。本主题描述了为有效管理项目所需要的临时性项目管理团队中的角色和职责
3	质量	最初的想法将仅仅作为一个宽泛的概要来理解。本主题解释了概要如何逐步发展，使所有参与人员都理解了交付产品或服务的质量特点，然后项目管理如何确保这些要求能够在后来被交付
4	计划	项目是按照一系列经过批准的计划向前推进的。本主题通过描述制订计划所需步骤和所应用的 PRINCE2 技术，对质量主题进行补充。在 PRINCE2 中，计划要与组织中不同层次人员的需求相匹配。计划是项目生命周期中沟通和控制的重点

(续表)

序号	PRINCE2 主题	描述
5	风险	项目对每个项目目标都定义了容许偏差，来建立授权范围的限制
6	变更	本主题描述项目管理如何评估和处理对项目基线（项目计划与已经完成的产品或服务）可能产生潜在影响的问题。问题可能是没有预料到的难题、变更请求，或者产品或服务质量并没有达到其规定
7	进展	本主题关注计划持续的可交付性，解释了批准计划、监督实际绩效的决策流程，以及如果项目没有按照计划执行确认的流程，项目是否应该和如何继续

剪裁会影响主题的应用方式。对主题的影响取决于项目团队在实施其每一个主题时，是有其高度的自主性，还是需要严格遵守规范。PRINCE2 的 7 个主题必须全部应用在项目中，但是应该按照相关项目的风险、规模、特点属性和复杂程度或简化程度进行剪裁，要始终确保主题中任何一个最小细化要求能被满足。

4. PRINCE2 流程

PRINCE2 是一种基于流程的项目管理方法。流程是为完成特定目标而设计的一组结构化的活动，它需要一个或多个确定的输入并将这些输入转变成确定的输出。

PRINCE2 有 7 个流程，它们提供了成功地指导、管理和交付项目所要求的一系列活动，如表 20-6 所示。

表 20-6 PRINCE2 的 7 个流程

序号	PRINCE2 流程	目的
1	项目准备流程	通过回答“是否有一个可交付的、值得做的项目？”这样一个问题，确保项目启动的先决条件已经具备。开始项目的决策必须是明确的，而项目准备的活动发生在决策之前
2	项目指导流程	使项目管理委员会能够对项目的成功负责。具体来说，是由项目管理委员会做出关键决策，并进行总体控制，而把项目的日常管理委托给项目经理
3	项目启动流程	为项目建立坚实的基础，使组织在承诺大笔投入前，能够了解为了交付项目产品或服务需要完成的工作
4	阶段控制流程	分配需要完成的工作，监督这些工作，处理问题，向项目管理委员会报告进展，以及采取纠正性行动来确保该阶段仍保持在容许偏差范围内
5	产品交付管理流程	通过提出有关验收、执行和交付的正式要求，控制项目经理与小组经理之间的联系
6	阶段边界管控流程	项目经理向项目管理委员会提供充分的信息，使之能够： <ul style="list-style-type: none"> ● 评审当前阶段的成果 ● 批准下一个阶段计划 ● 评审更新的项目计划 ● 确认持续业务验证和风险的可接受性
7	项目收尾流程	提供一个固定点来确认对项目产品的验收，认可项目启动文件中最初设立的目标已经实现（或实现了已批准的对目标的变更），或者项目不再有更多的贡献

20.6 本章练习

1. 选择题

- (1) 关于项目集管理的理解，不正确的是_____。
- A. 项目集经理是承诺将组织的资源应用于项目集，并致力于使项目集取得成功的人
 - B. 组件项目或项目集不能促进共同目标或互补目标的实现时，则使用项目组合管理的效果更好
 - C. 项目集管理绩效域包括项目集战略一致性、项目集效益管理、项目集干系人参与、项目集治理、项目集生命周期管理
 - D. 项目集效益管理的主要活动包括效益识别、效益分析和规划、效益交付、效益移交、效益维持

参考答案: A

- (2) 组织级项目管理（OPM）框架包括_____。

- A. OPM 方法论、知识管理、人才管理
- B. OPM 方法论、流程管理、资源管理
- C. OPM 治理、OPM 方法论、流程管理、资源管理
- D. OPM 治理、OPM 方法论、知识管理、人才管理

参考答案: D

- (3) 关于统计过程控制方法的描述，不正确的是_____。

- A. 统计过程控制是一种预防性方法，强调全员参与
- B. 统计过程控制技术可以判定工作过程运行的状态是否稳定，也可以判断过程能力是否满足规格要求
- C. 统计过程控制方法认为任何组织或个人执行过程的能力都会有一定的波动性，这是正常的
- D. 统计过程控制方法认为项目团队或人员的能力应该是恒定的，不应发生波动

参考答案: D

- (4) 关于六西格玛的描述，不正确的是_____。

- A. 五步循环改进法即 DMAIC 模式，包括：定义（Define）、度量（Measure）、分析（Analyze）、改进（Improve）、控制（Control）
- B. 六西格玛是一种基于数据统计分析的管理方法，强调用数据来客观体现管理流程的能力
- C. 六西格玛的代表特征是组织有了统一的管理流程、管理指标
- D. 六西格玛的五步实施流程并不是单一的，而是各个管理流程实施改进时相互关联的统一体

参考答案: C

(5) 关于量化管理中建立过程性能模型的描述，正确的是_____。

- A. 建立过程性能模型的因子只能选择当前过程性能基线中已有的因子
- B. 对于相关性系数达到强相关 ($|r| > 0.8$) 的因子，方可纳入建模因子
- C. 对于过程性能模型的校验，重点关注 P 值、R-sq 值，通常无须关注残差值
- D. 基于统计的量化技术主要包括：过程性能基线、过程性能模型、回归分析、蒙特卡洛模拟等

参考答案: D

2. 思考题

请指出项目、项目集、项目组合管理的差异，以及与 OPM 的关系。请列举适宜使用项目组合管理的场景，并说明其对战略目标的支撑效果。

参考答案: 略

第21章 项目管理科学基础

科学管理的实质是反对凭经验、直觉、主观判断进行管理，主张用最好的方法、最少的时间和支出，达到最高的工作效率和最大的效果。其突破性进展是在第二次世界大战时期，为解决国防需要产生的“运筹学”，发展了新的数学分析和计算技术。例如：统计判断、线性规划、排队论、博弈论、统筹法、模拟法、系统分析等，特别是随着电子计算机技术突飞猛进的发展，为组织管理过程中运用数量方法和科学方法提供了广阔的空间，进一步成就了“管理科学理论”。

管理科学认为，解决复杂系统的管理决策问题，可以用电子计算机作为工具，寻求最佳计划方案，以达到组织的目标。管理科学其实就是管理中的一种数量分析方法，它主要用于解决能以数量表现的管理问题，其作用在于通过管理科学的方法，减少决策中的风险，提高决策的质量，保证投入的资源发挥最大的经济效益。从管理科学的名称来看，似乎它是关于管理的科学，其实，它不是主要探求有关管理的原理和原则，而是依据科学的方法和客观的事实来解决管理问题，并且要求按照最优化的标准为管理者提供决策方案，设法把科学的原理、方法和工具应用于管理过程，侧重于追求经济和技术上的合理性。

21.1 工程经济学

21.1.1 资金的时间价值与等值计算

1. 资金的时间价值与等值计算的概念

将资金投入使用后，经过一段时间，资金便产生了增值。资金的时间价值是指不同时间发生的等额资金在价值上的差别。把资金存入银行，经过一段时间后也会产生增值，这就是利息。客户按期得到的利息是银行将吸纳的众多款项集中投资于各类项目所获得的盈利的一部分，盈利的另一部分则是银行承担资金风险运作的收益。盈利和利息是资金时间价值的两种表现形式，都是资金时间因素的体现，是衡量资金时间价值的绝对尺度。在技术经济分析中，对资金时间价值的计算方法与银行利息的计算方法是相同的，银行利息就是一种资金时间价值的表现形式。

资金时间价值的大小取决于多方面因素，从投资角度看，主要取决于投资收益率、通货膨胀率和项目投资的风险。投资收益率反映该项目方案所能取得的盈利大小；通货膨胀率则反映投资者必须付出的因货币贬值所带来的损失；而投资风险往往又和投资回报相联系，通常投资回报越高，风险越大，投资风险的分析、判断、评估则会涉及政治、经济、金融、资源和市场等多方面的因素。

资金的时间价值表明，在不同的时间付出或得到同样数额的资金，其经济价值是不等的。也就是说，一笔数额确定的资金的经济价值随着时间的不同而不同；同样，根据资金时间价值的概念，数额不等的资金在不同的时间因素作用下可能会具有相同的经济价值。例如，在年利

率为 5.22% 的条件下，当年的 100 元与下一年的 105.22 元是等值的，即

$$100 \times (1 + 5.22\%) \text{ 元} = 105.22 \text{ 元}$$

而当年的 100 元又与上一年的 95.04 元等值，即

$$\frac{100}{(1 + 5.22\%)} \text{ 元} = 95.04 \text{ 元}$$

资金等值是指在时间因素的作用下，在不同的时期（时点），绝对值不等的资金具有相等的价值。如上所述，可以认为在年利率为 5.22% 的情况下，当前的 100 元与一年后的 105.22 元是等值的，与一年前的 95.04 元也是等值的。

在比较项目方案时，应该对项目方案的各项投资与收益进行对比，由于这些投资或收益往往发生在不同的时期，所以就必须将其按照一定的利率折算至某一相同时点（等值计算），使之具有可比性。等值计算是工程经济学中的一个重要内容，在工程经济分析中，对资金时间价值的计算方法是根据银行计算利息的方法得到的。实质上，银行利息也是一种资金的时间价值。

2. 利息、利率及其计算

利息或利润是占用（利用）资金的代价（成本），或者是放弃资金的使用所获得的补偿。如果将一笔资金存入银行（相当于银行占用了这笔资金），经过一段时间以后，资金所有者就能在该笔资金之外再得到一些报酬，即利息。通常，存入银行的资金就叫作本金。本利和的计算公式为公式（21-1），式中， F_n 为本利和； P 为本金； I_n 为利息（ n 表示计算利息的周期数）；计息周期通常为“年”“季”“月”等。

$$F_n = P + I_n \quad (21-1)$$

利息通常由本金和利率计算得出，利率是指在 1 个计息周期内所应付出的利息额与本金之比，一般以百分数表示。利率的计算公式为公式（21-2），式中， i 为利率； I_1 为 1 个计息周期的利息。

$$i = \frac{I_1}{P} \times 100\% \quad (21-2)$$

利率是银行根据国家的政治、经济形势及政策方针确定的，它可以反映国家在一定经济发展时期的经济状况及特色。利率的经济含义是每单位本金经过 1 个计息周期后的增值额。利息的计算方法分为单利法和复利法两种。

1) 单利法

单利法是每期均按原始本金计息，即不管计息周期为多少，每经过一期，按原始本金计息 1 次，利息不生利息。单利计息的计算公式为公式（21-3），式中， I_n 为 n 个计息期的总利息； n 为计息期数； i 为利率。

$$I_n = P \times n \times i \quad (21-3)$$

n 个计息周期后的本利和计算公式为公式（21-4）。

$$F_n = P + P \times n \times i = P (1 + i \times n) \quad (21-4)$$

例如，存入银行 1000 元本金，年利率为 6%，共存 5 年，每个计息周期的本金、当年利息及本利和，如表 21-1 所示。

表 21-1 单利法的本金、当年利息及本利和 (单位：元)

年份	本金	当年利息	本利和
1	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 = 1060$
2	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 \times 2 = 1120$
3	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 \times 3 = 1180$
4	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 \times 4 = 1240$
5	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 \times 5 = 1300$

2) 复利法

复利法按上一期的本利和计息，除本金计息外，利息也生利息，每一计息周期的利息都要并入下一期的本金，再计利息。复利计算公式为公式 (21-5)。

$$F_n = P(1+i)^n \quad (21-5)$$

表 21-1 中的数据若按复利法计息，其本金、当年利息及本利和如表 21-2 所示。

表 21-2 复利法的本金、当年利息及本利和 (单位：元)

年份	本金	当年利息	本利和
1	1000	$1000 \times 0.06 = 60$	$1000 + 60 = 1060$
2	1000	$1060 \times 0.06 = 63.60$	$1060 + 63.60 = 1123.60$
3	1000	$1123.60 \times 0.06 \approx 67.42$	$1123.60 + 67.42 = 1191.02$
4	1000	$1191.02 \times 0.06 \approx 71.46$	$1191.02 + 71.46 = 1262.48$
5	1000	$1262.48 \times 0.06 \approx 75.75$	$1262.48 + 75.75 = 1338.23$

从上面的例子可看出，同一笔本金，在 i 、 n 相同的情况下，用复利计息所得本利和比用单利计息所得本利和要多，而这二者之差会随着 i 、 P 或者 n 的增大变得越来越大。由于经济活动中实际占用资金的情况正是复利计算所表达的，复利计息更符合资金在社会再生产过程中运动的实际，因此，工程经济分析中一般采用复利计算。

3. 资金的等值计算

资金等值是指在考虑了时间因素之后，在不同时刻发生的数值不等的资金可能具有相等的价值。由于资金时间价值的存在，在不同时点发生的资金流入或流出，在计算时不能直接相加减求代数和，因为不同时点发生的资金流在时间上不可比。为了达到资金流入或流出满足时间可比性的要求，就必须进行资金的等值计算。

资金的等值计算是以资金时间价值原理为依据，以利率为杠杆，结合资金的使用时间及增值能力，对项目方案的现金流进行折算，以期找出共同时点上的等值资金额。未来某一时点的资金金额换算成现在时点的等值金额的过程称为“折现”或“贴现”。与现值等价的将来某时点的资金价值称为“终值”或“未来值”。现值是指资金现在的瞬时价值。将未来某时点发生的资

金折现到现在的某个时点，所得的等值资金就是未来那个时点上资金的现值。终值则是资金现值按照一定的利率，换算到未来某时点的等值资金金额。

注意：现值并非专指一笔资金现在的价值，这是一个相对的概念。一般地，将 $t+k$ 时点上发生的资金，折现到第 t 个时点所得的等值金额就是第 $t+k$ 个时点上资金金额的现值； $t+k$ 时点的资金金额是 t 时点的现值在 $t+k$ 时点的终值。

资金的等值计算要借助于普通的复利利率进行，计算公式与复利公式相同。

21.1.2 项目经济评价

根据是否考虑资金的时间价值，投资项目经济评价方法可分为两类：静态评价和动态评价。

1. 静态评价方法

静态评价是指在进行项目方案效益和费用的计算时，不考虑资金的时间价值，不计利息。因此，静态评价比较简单、直观，使用方便，但不够精确，常用于初步可行性研究，对方案进行粗略分析评价和初选。静态评价方法主要有静态投资回收期法、投资收益率法等。

1) 静态投资回收期法

投资回收期法又叫投资返本期法或投资偿还期法，是指以项目的净收益（包括利润和折旧）抵偿全部投资（包括固定资产投资和流动资金投资）所需的时间，一般以年为计算单位，从项目投建之年算起。投资回收期有静态和动态之分，动态投资回收期将在动态评价中介绍。

静态投资回收期的计算公式为公式(21-6)，式中， CI 为现金流入量； CO 为现金流出量； $(CI - CO)_t$ 为第 t 年的净现金流量； P_t 为静态投资回收期(年)。

$$\sum_{t=0}^{P_t} (CI - CO)_t = 0 \quad (21-6)$$

静态投资回收期亦可根据全部投资的财务现金流量表中的累计净现金流量计算求得，其计算公式为公式(21-7)。

$$P_t = (\text{累计净现金流量开始出现正值或零的年份数} - 1) + \frac{\text{上年累计净现金流量的绝对值}}{\text{当年净现金流量}} \quad (21-7)$$

用投资回收期评价投资项目时，需要与根据同类项目的历史数据和投资者意愿确定的基准投资回收期相比。设基准投资回收期为 P_c ，判别准则为

若 $P_t \leq P_c$ ，则项目可以考虑接受；若 $P_t > P_c$ ，则项目应予以拒绝。

【例 21-1】某项目现金流量如表 21-3 所示，基准投资回收期为 5 年，试用静态投资回收期法评价方案是否可行。

表 21-3 某项目现金流量表

(单位：万元)

年末	0	1	2	3	4	5	6
现金流出	900	0	0	0	0	0	0
现金流入	0	200	300	400	400	400	400

用公式(21-6)求解，过程如下：

$$\sum_{t=0}^{P_t} (CI - CO)_t = -900 + 200 + 300 + 400 \text{万元} = 0 \text{元}$$

则 $P_t = 3$, $P_t < P_c$, 所以方案可行。

静态投资回收期指标的优点包括: ①概念清晰, 反映问题直观, 计算方法简单; ②该指标不仅在一定程度上反映项目的经济性, 而且能反映项目的风险大小。项目决策面临着未来不确定性因素的挑战, 这种不确定性所带来的风险随着时间的延长而增加, 因为离现时越远, 人们所能可知的东西就越少。为了减少这种风险, 投资回收期越短越好。

静态投资回收期指标的缺点包括: ①没有反映资金的时间价值; ②舍弃了回收期以后的收入与支出数据, 故不能全面反映项目在寿命期内的真实状态, 难以对不同方案的比较选择提供有力支撑。

2) 投资收益率法

投资收益率是指, 项目达到设计生产能力后的一个正常年份的年息税前利润与项目总投资的比率。对生产期内各年的年息税前利润变化幅度较大的项目, 则应计算生产期内平均年息税前利润与项目总投资的比率。投资收益率法适用于项目处在初期勘察阶段或者项目投资不大、生产比较稳定的财务营利性分析。

总投资收益率 (Return on Investment, ROI) 的计算公式为公式 (21-8), 式中, TI 为投资总额, 包括固定资产投资和流动资金投资等; $EBIT$ 为项目达产后正常年份的年息税前利润或平均年息税前利润, 包括组织的利润总额和利息支出。

$$ROI = \frac{EBIT}{TI} \times 100\% \quad (21-8)$$

投资收益率指标不考虑资金的时间价值, 也不考虑项目建设期、寿命期等众多经济数据, 故一般仅用于项目初步可行性研究阶段。

用投资收益率指标评价投资方案的经济效果, 需要与同类项目的历史数据及投资者意愿等确定的基准投资收益率 (R_b) 做比较, 判别准则为:

若 $ROI \geq R_b$, 则项目可以考虑接受; 若 $ROI < R_b$, 则项目应予以拒绝。

【例 21-2】某项目的投资及收益如表 21-4 所示, 现已知基准投资收益率为 15%, 达产年为第 5 年, 试以总投资收益率指标判断项目的取舍。

表 21-4 某项目的投资及收益

(单位: 万元)

项目	年末											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
建设投资	180	240	80	0	0	0	0	0	0	0	0	
营业收入	0	0	0	300	400	500	500	500	500	500	500	3700
总成本	0	0	0	250	300	350	350	350	350	350	350	2650
利息	0	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50	400
年息税前利润	0	0	0	100	150	200	200	200	200	200	200	1450
累计净现金流量	-180	-420	-500	-400	-250	-50	150	350	550	790	950	

解：由表 21-4 中数据可得

$$ROI = 200 / 500 \times 100\% = 0.4 \times 100\% = 40\%$$

$ROI > R_b$, 故项目可以考虑接受。

静态评价方法主要适用于方案的粗略评价。

静态评价方法也有一些缺点。例如，不能准确反映项目的总体盈利能力，因为它未计算偿还完投资以后的盈利情况；未考虑方案在经济寿命期内的费用和收益变化情况，未考虑各方案经济寿命的差异对经济效果的影响；没有引入资金的时间因素，当项目运行时间较长时，不宜用这种方法进行评价。

2. 动态评价方法

动态评价是指，在进行项目方案的效益和费用计算时，考虑资金的时间价值，采用复利计算方法，把不同时点的效益和费用折算为同一时点的等值价值，为项目方案的经济比较确立相同的时间基础。动态评价主要用于项目详细可行性研究阶段，是项目经济评价的主要方法。常用的动态评价方法主要有净现值法、净现值率法、费用现值法、动态投资回收期法、内部收益率法等。

1) 净现值法

净现值指标要求考虑项目寿命期内每年发生的现金流量。净现值是指按给定的折现率（也称基准收益率），将各年的净现金流量折现到同一时点的现值累加值。换句话说，用给定的折现率计算 $n=0$ 时的等值净现金流量。净现值的计算公式为公式 (21-9)，式中， i_0 为基准折现率； NPV 为净现值； n 为计算期。

$$NPV = \sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1 + i_0)^{-t} \quad (21-9)$$

净现值的判别准则为：

对单一方案而言，若 $NPV \geq 0$ （残值为零），表示项目实施后的收益率不小于基准收益率，方案予以接受；若 $NPV < 0$ ，表示项目的收益率未达到基准收益率，应予以拒绝。寿命期相等的多方案比较时，以净现值大的方案为优。

【例 21-3】某项目设计方案总投资 2995 万元，投产后年经营成本为 500 万元，年营业收入额为 1500 万元，第 3 年末工程项目配套追加投资 1000 万元，若计算期为 5 年，基准收益率为 10%，残值等于零，试计算投资方案的净现值。

解：建立计算表如表 21-5 所示。

表 21-5 例题计算

(单位：万元)

年份	第 0 年	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
投资	2995			1000		
收入		1500	1500	1500	1500	1500
成本		500	500	500	500	500
净值	-2995	1000	1000	0	1000	1000
现值	-2995	909.1	826.4		683	620.9

$$NPV = -2995 + 909.1 + 826.4 + 0 + 683 + 620.9 \text{ 万元} = 44.4 \text{ 万元}$$

可知项目 NPV 为 44.4 万元，大于 0，说明项目实施后的经济效益除达到 10% 的收益率外，还有 44.4 万元的收益现值。

净现值法的优点是：反映了投资项目在整个项目寿命期的收益；考虑了投资项目在整个寿命期内更新或追加的投资；反映了纳税后的投资效果；既能对一个方案进行费用效益的可行性评价，也能对多个投资方案进行比较。

净现值法的缺点包括以下两方面：①需要预先确定基准折现率 i_0 ，基准折现率是评价项目方案经济性和选择方案的决策标准。 i_0 定得越高， NPV 就越小，方案可行性就越小； i_0 定得越低，方案可行性就越高。因此，科学合理地确定 i_0 非常重要，但有一定难度。②没有考虑各方案投资额的大小，不能反映资金的利用效率。例如，有 A、B 两个方案，A 方案投资额 K_A 为 1000 万元， $NPV_A = 10$ 万元；B 方案投资额 $K_B = 50$ 万元， $NPV_B = 5$ 万元。若按净现值法进行方案选择，由于 $NPV_A > NPV_B$ ，就会认为方案 A 优于方案 B；但这是错误的，考虑到 K_A 是 K_B 的 20 倍，而 NPV_A 仅仅是 NPV_B 的 2 倍，显然，方案 B 的资金利用率远高于方案 A 的资金利用率。

2) 净现值率法

净现值率和净现值都是反映建设项目在计算期内获利能力的动态评价指标，但净现值不能直接反映资金的利用效率。为了考查资金的利用效率，可采用净现值率作为净现值的补充指标。净现值率是按基准折现率求得的，净现值率的计算公式为公式 (21-10)，式中， $NPVR$ 为净现值率； K_p 为项目总投资现值。

$$NPVR = \frac{NPV}{K_p} \quad (21-10)$$

净现值率表示单位投资现值所取得的净现值额，也就是单位投资现值所取得的超额净现值。净现值率的最大化，将有利于实现有限投资取得的净贡献的最大化。

用净现值率评价方案时，净现值率法的判别准则如下：

当 $NPVR \geq 0$ 时，方案可行；当 $NPVR < 0$ 时，方案不可行。用净现值率进行方案比较时，以净现值率较大的方案为优。净现值率一般作为净现值的辅助指标来使用。净现值率法主要适用于多方案的优劣排序。

【例 21-4】某项目有 A、B 两种方案均可行，其现金流量如表 21-6 所示，当基准折现率为 10% 时，试用净现值法和净现值率法比较评价方案优劣。

表 21-6 A 方案、B 方案现金流量表

(单位：万元)

年份		0	1	2	3	4	5
投资	方案 A	2000					
	方案 B	3000					
现金流入	方案 A		1000	1500	1500	1500	1500
	方案 B		1500	2500	2500	2500	2500
现金流出	方案 A		400	500	500	500	500
	方案 B		1000	1000	1000	1000	1000

解：按净现值计算如下。

$$NPV_A = -2000 + (1000 - 400) / (1 + 0.1) + (1500 - 500) / (1 + 0.1)^2 + (1500 - 500) / (1 + 0.1)^3 + (1500 - 500) / (1 + 0.1)^4 + (1500 - 500) / (1 + 0.1)^5 \text{万元}$$

$$= -2000 + 545.5 + 826.4 + 751.3 + 683 + 620.9 \text{万元} = 1427.1 \text{万元}$$

$$NPV_B = -3000 + (1500 - 1000) / (1 + 0.1) + (2500 - 1000) / (1 + 0.1)^2 + (2500 - 1000) / (1 + 0.1)^3 + (2500 - 1000) / (1 + 0.1)^4 + (2500 - 1000) / (1 + 0.1)^5 \text{万元}$$

$$= -3000 + 454.5 + 1239.7 + 1127 + 1024.5 + 931.4 \text{万元} = 1777.1 \text{万元}$$

$NPV_A < NPV_B$, 所以方案 B 为优选方案。

按净现值率计算如下：

$$NPVR_A = 1427.1 / 2000 = 0.7136$$

$$NPVR_B = 1777.1 / 3000 = 0.5924$$

可知, $NPVR_A > NPVR_B$, 所以方案 A 为优选方案, 这与用净现值法评价的结论相反。

由此可见, 当方案的投资额不相等时, 除用净现值法外, 往往需要用净现值率作为辅助评价指标, 才能做出合理的评价。

本例中, 方案 A 的净现值率为 0.7136, 其含义是方案 A 除了有 10% 的基准收益率外, 每万元投资现值尚可获得 0.7136 万元的收益现值。当净现值率与净现值得出不同结论时, 应以净现值大的为准; 如果是互斥项目决策, 先看项目寿命期是否相同, 寿命期相同, 选净现值大的, 寿命期不同, 用共同年限法或等额年金法再做分析, 可以选择共同年限法下净现值大的, 或选择等额年金法下永续年金现值大的项目。

3) 费用现值法

在对多个方案进行比较选优时, 如果各方案产出价值相同, 或者各方案能够满足同样需要, 但其产出效益难以用价值形态(货币)计量时, 可以通过对各方案费用现值或费用年值的比较进行选择。

费用现值是不同方案在计算期内的各年成本, 按基准收益率换算到基准年的现值与方案的总投资现值的和。费用现值越小, 其方案经济效益越好。

费用现值实际上为净现值的特例, 其计算公式为公式(21-11), 式中, PC 为费用现值或现值成本; C 为年经营成本; W 为计算期末回收的固定资产余值; S_V 为计算期末回收的流动资金。

$$PC = \sum_{t=0}^n CO_t (P/F, i_0, t) = \sum_{t=0}^n (K + C - S_V - W) (P/F, i_0, t) \quad (21-11)$$

【例 21-5】某项目有三个方案 A、B、C 均能满足同样的需要。其费用数据如表 21-7 所示。在基准折现率为 10% 的情况下, 使用费用现值法确定最优方案。

解:

$$PC_A = 200 + 80/(1 + 0.1) + 80/(1 + 0.1)^2 + 80/(1 + 0.1)^3 + 80/(1 + 0.1)^4 + 80/(1 + 0.1)^5 + 80/(1 + 0.1)^6 + 80/(1 + 0.1)^7 + 80/(1 + 0.1)^8 + 80/(1 + 0.1)^9 + 80/(1 + 0.1)^{10} \text{万元}$$

$$= 200 + 72.7 + 66.1 + 60.1 + 54.6 + 49.7 + 45.2 + 41.1 + 37.3 + 33.9 + 30.8 \text{万元} = 691.6 \text{万元}$$

$$PC_B = 300 + 50/(1 + 0.1) + 50/(1 + 0.1)^2 + 50/(1 + 0.1)^3 + 50/(1 + 0.1)^4 + 50/(1 + 0.1)^5 + 50/(1 + 0.1)^6 + 50/(1 + 0.1)^7 + 50/(1 + 0.1)^8 + 50/(1 + 0.1)^9 + 50/(1 + 0.1)^{10} \text{万元}$$

$$\begin{aligned}
 &= 300 + 45.4 + 41.3 + 37.6 + 34.1 + 31.1 + 28.3 + 25.7 + 23.3 + 21.2 + 19.3 \text{ 万元} = 607.3 \text{ 万元} \\
 PC_C &= 500 + 20 / (1 + 0.1) + 20 / (1 + 0.1)^2 + 20 / (1 + 0.1)^3 + 20 / (1 + 0.1)^4 + 20 / (1 + 0.1)^5 + 20 / (1 + 0.1)^6 \\
 &\quad + 20 / (1 + 0.1)^7 + 20 / (1 + 0.1)^8 + 20 / (1 + 0.1)^9 + 20 / (1 + 0.1)^{10} \text{ 万元} \\
 &= 500 + 18.2 + 16.5 + 15 + 13.7 + 12.4 + 11.3 + 10.3 + 9.3 + 8.5 + 7.7 \text{ 万元} = 622.9 \text{ 万元}
 \end{aligned}$$

表 21-7 三个方案的费用数据 (单位: 万元)

方案	总投资(第1年初)	年运营费用(第1年到第10年)
A	200	80
B	300	50
C	500	20

根据费用现值最小的原则优选，方案 B 最优，方案 C 次之，方案 A 最差。

在运用费用现值法进行多方案比较时，应注意，各方案除费用指标外，其他指标和有关因素应基本相同，如产量、质量、收入。在此基础上比较费用现值的大小，被比较的各方案，特别是费用现值最小的方案，应是能够达到盈利目的的方案。因为费用现值只能反映费用的大小，不能反映净收益情况，所以这种方法只能比较方案的优劣，而不能用于判断方案是否可行。

4) 动态投资回收期法

动态投资回收期是指，在考虑资金时间价值条件下，按设定的基准收益率收回全部投资所需的时间。动态投资回收期法主要是为了克服静态投资回收期法未考虑时间因素的缺点。动态投资回收期可由公式 (21-12) 求得，式中， i_0 为基准收益率； P_D 为动态投资回收期。

$$\sum_{t=0}^{P_D} (CI - CO)_t (1 + i_0)^{-t} = 0 \quad (21-12)$$

公式 (21-12) 是指用基准收益率将投资与各期净收益折现为净现值，使净现值等于零时的计算期期数。 P_D 也可用项目财务现金流量表中的累计净现金流量计算求得，其计算公式为 (21-13)。

$$P_D = (\text{累计折现值开始出现正值或零的年份} - 1) + \frac{\text{上年累计折现值的绝对值}}{\text{当年折现值}} \quad (21-13)$$

用动态投资回收期评价投资项目的可行性，需要与基准动态投资回收期相比较。设基准动态投资回收期为 P_b ，判别准则为：若 $P_D \leq P_b$ 项目可以被接受；否则应予以拒绝。

【例 21-6】 使用表 21-8 的数据计算动态投资回收期，并对项目可行性进行判断。基准折现率为 10%，基准动态投资回收期为 9 年。

表 21-8 例题计算

项目	年末					
	0	1	2	3	4	5
净现金流量	-6000	0	0	800	1200	1600
累计净现金流量	-6000	-6000	-6000	-5200	-4000	-2400
折现值	-6000	0	0	601.05	819.62	993.47
累计折现值	-6000	-6000	-6000	-5398.95	-4579.33	-3585.86

(续表)

项目	年末				
	6	7	8	9	
净现金流量	2000	2000	2000	2000	
累计净现金流量	-400	1600	3600	5600	
折现值	1128.95	1026.32	933.01	848.20	
累计折现值	-2456.91	-1430.59	-497.58	350.62	

解：从表 21-8 中不难看出，“累计折现值开始出现正值或零的年份数”是 9，“上年累计折现值的绝对值”是 $|-497.58|$ ，“当年折现值”是 848.20，则

$$P_D = 9 - 1 + \frac{|-497.58|}{848.20} \approx 8.6 \text{ 年}$$

按动态投资回收期评价，该方案小于 9 年，可以接受。

动态投资回收期没有考虑回收期以后的经济效果，因此不能全面地反映项目在寿命期内的真实效益，通常只宜进行辅助性评价。

5) 内部收益率法

内部收益率又称内部报酬率，它是除净现值以外的另一个重要的动态经济评价指标。净现值是求所得与所费的绝对值，而内部收益率是求所得与所费的相对值。

内部收益率是指项目在计算期内各年净现金流量现值累计值（净现值）等于零时的折现率。内部收益率可用公式（21-14）来定义，式中， IRR 为内部收益率。

$$\sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1 + IRR)^{-t} = 0 \quad (21-14)$$

内部收益率的判别准则：求得的内部收益率 IRR 要与项目的基准收益率相比较，当 $IRR \geq i_0$ 时，表明项目可行；当 $IRR < i_0$ 时，表明项目不可行。

公式（21-14）是一个高次方程，直接用公式（21-14）求解 IRR 是比较复杂的，因此在实际应用中通常采用“线性插值法”求 IRR 的近似解。

3. 投资方案的选择

对项目方案进行经济评价，经常遇到两种情况：①单方案评价，即投资项目只有一种方案或虽有多个方案但相互独立；②多方案评价，即投资项目有几种可供选择的方案。对单方案的评价，采用前述的经济指标就可以判断项目是否可行。在实践中，由于决策结构的复杂性，往往只有对多方案进行比较评价，才能决策出技术上先进适用、经济上合理有利、社会效益大的最优方案。

多方案动态评价方法的选择与各可供选择项目方案的类型，即项目方案之间相互关系有关。按方案之间的经济关系，可分为干系人方案与非干系人方案。如果采纳或放弃某一方案并不显著地改变另一方案的现金流序列，或者不影响另一方案，则认为这两个方案在经济上是不相关的。如果采纳或放弃某一方案将显著地改变其他方案的现金流序列，或者会影响其他方案，则认为这两个（或多个）方案在经济上是相关的。

21.2 运筹学

运筹学是一门基础性的应用学科，主要是将社会经济建设实践中经济、军事、生产、管理、组织等事件中出现的一些带有普遍性的问题加以提炼，然后利用科学方法进行分析、求解等。前者提供模型，后者提供理论和方法。运筹学主要研究系统最优化的问题，通过对建立的模型进行求解，为决策者进行决策提供科学依据。

21.2.1 线性规划

1. 线性规划建模

线性规划是运筹学的一个重要分支，是现代管理决策的主要手段之一。线性规划主要研究和解决以下两类问题：一是在有限资源（人力、物力、财力）条件下，如何制订一个最优的经营方案，以取得最佳的经济效益；二是在任务确定的前提下，怎样合理安排、统筹规划，使完成该项任务所消耗的资源最少。就其实质而言，线性规划问题是一类特殊的极值问题，它是在一定的线性约束条件下，追求某一个目标函数的最大值或最小值。这个目标函数可以是产值、利润、成本、耗用的资源等，而约束条件可以是原料的限制、设备的限制、市场需求的限制等。

线性规划问题的数学模型包含三个要素，即决策变量、目标函数和约束条件。下面举例说明建立其数学模型的方法和步骤。

【例 21-7】某工厂用甲、乙两种原料生产 A, B, C, D 四种产品，其现有原料数、单位产品所需原料数及单位产品可得利润如表 21-9 所示。

表 21-9 生产情况表

项目		产品 /kg · 件 ⁻¹				现有原料 /t
		A	B	C	D	
原料	甲	1	10	2	3	18
	乙	3	2	5	4	13
单位利润 / 元		8	20	12	15	

问：如何组织生产，才能使利润最大？

解：

(1) 确定决策变量。

设置决策变量，一般采取“问什么，设什么”的方法。本例问“如何组织生产”，也就是问如何安排这四种产品的产量。因此，可设 x_1, x_2, x_3, x_4 分别为产品 A, B, C, D 的产量。

(2) 确定目标函数。

问题的目标是希望总的利润最大，根据每件产品可获得的利润和产品的产量，最大利润可按下式计算。

$$S_{\max} = 8x_1 + 20x_2 + 12x_3 + 15x_4$$

(3) 确定约束条件。

本例的约束条件体现在两种原料的供应有限量。因为原料甲的供应量最多为 18t，而生产每件 A, B, C, D 的需要量分别为 1kg、10kg、2kg、3kg，于是有

$$x_1 + 10x_2 + 2x_3 + 3x_4 \leq 18000$$

同理，原料乙的约束条件为

$$3x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 4x_4 \leq 13000$$

并且，产量 x_1, x_2, x_3, x_4 只能取非负值，即

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0$$

所以，该问题的线性规划模型为：

求一组变量 x_1, x_2, x_3, x_4 的值，使目标函数达到

$$S_{\max} = 8x_1 + 20x_2 + 12x_3 + 15x_4$$

且满足约束条件

$$\begin{cases} x_1 + 10x_2 + 2x_3 + 3x_4 \leq 18000 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 4x_4 \leq 13000 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \end{cases}$$

2. 图解法求解

对于仅含 2 个变量的线性规划问题，可用图解法求解，此方法简单直观，有助于理解线性规划问题求解的基本原理。

【例 21-8】 求

$$S_{\max} = x_1 + 3x_2$$

$$\begin{cases} x_1 \leq 3 \\ x_2 \leq 4 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

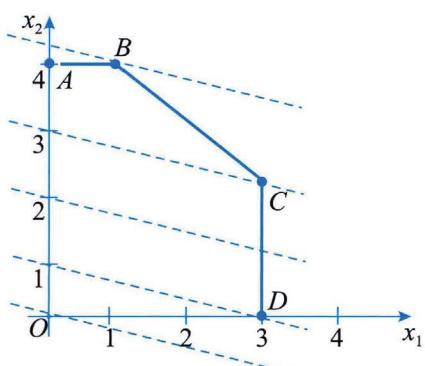


图 21-1 例 21-8 用图

解：

首先建立一个平面直角坐标系，如图 21-1 所示，设 x_1 为横坐标， x_2 为纵坐标，这样变量的一组值就对应了平面上的一个点。由于 $x_1, x_2 \geq 0$ ，所以约束条件所允许的范围只可能在第一象限。即满足所有约束条件的点集为图 21-1 中凸多边形 ABCDO 所示范围。因为凸多边形上任一点的坐标都满足约束条件，因此，凸多边形 ABCDO 上的任意一点都是该线性规划问题的一个可行解，而整个凸多边形就是该线性规划问题的可行解集（可行域）。

下面我们来寻找最优解，即在凸多边形 $ABCD$ O 中寻找使目标函数值最大的点。为此，令目标函数等于一个参数，即令 $x_1+3x_2=S$ ，并让 S 取一些不同的值，如 $0, 3, 6, 9, \dots$ ，这样就在平面上得到一组平行线。由于位于同一直线上的点具有相同的目标函数值，因而称它为等值线。由图 21-1 可知，当 S 值越大，直线离开原点越远。于是，这一问题变为：在上列平行线中，找出一条，使之与凸多边形 $ABCD$ O 相交，而又尽可能离原点最远。显然，经过 B 点的一条直线 $x_1+3x_2=13$ 即符合要求。它同可行解集的交点（即最优解）是 $B(1, 4)$ ，且使目标函数取得最大值 13。即解

$$\begin{cases} x_2 = 4 \\ x_1 + x_2 = 5 \end{cases}$$

得最优解为

$$x_1 = 1, x_2 = 4$$

相应目标函数的最大值为

$$S_{\max} = 1 + 3 \times 4 = 13$$

21.2.2 运输问题

一般的运输问题就是要解决以下问题：把某种产品从若干个产地调运到若干个销地，在每个产地的供应量与每个销地的需求量已知，并知道各地之间的运输单价的前提下，如何确定一个使得总运输费用最低的方案。

【例 21-9】 假设某产品有三个产地 A_1, A_2, A_3 ，四个销地 B_1, B_2, B_3, B_4 ，其供应量、需求量和单位产品运价如表 21-10 所示。试求使总运费最低的运输方案。

表 21-10 单位运价表

产地	销地				供应量
	B_1	B_2	B_3	B_4	
A_1	2	3	2	1	3
A_2	10	8	5	4	7
A_3	7	6	6	8	5
需求量	4	3	4	4	

表上作业法是一种求解运输问题的特殊方法，其计算过程如下。

1. 确定初始解

(1) 从运价表中找出最低运价为 1（从 A_1 运到 B_4 的单位产品运价），首先将 A_1 的产品供给 B_4 。因为供应量 3 小于需求量 4，在表的 A_1 行 B_4 列的交叉格内填上 3。由于 A_1 的产品供应完毕，将 A_1 行的运价划掉，同时在 B_4 的需求量中减去 3。

(2) 从运价表中未划去的运价中再找出最低运价 4，确定 A_2 能供应 B_4 地 1 个单位产品，使 B_4 的需要得到满足，并将 B_4 列所对应的运价划去，同时需求量减去 1。

(3) 在运价表中再从未划去的运价中找出最小运价5, 这样一步一步地进行下去, 直到运价表中所有元素划去为止。最后在产销平衡表上得到一个调运方案, 如表21-11所示, 这个方案的总运费为: $S=1\times 3+4\times 1+5\times 4+10\times 2+6\times 3+7\times 2=79$ 。

表 21-11 最小元素法求解

产地	销地				供应量	运价			
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A ₁				3	3	2	3	2	1
A ₂	2		4	1	7	10	8	5	4
A ₃	2	3			5	7	6	6	8
需求量	4	3	4	4					

注意: ①在产销平衡表上每填入一个数, 在运价表上就划去一行或一列, 表中共有m行n列, 总共可划m+n条直线, 如运价表中只剩一个元素时, 在产销平衡表上填此数时, 应在运价表上同时划去一行和一列。这时把运价表上所有元素都划去了, 相应地在产销平衡表上填了(m+n-1)个数字, 即给出了(m+n-1)个基变量。未填数的格内的变量的值均为零, 它们表示非基变量。本例中m=3, n=4, m+n-1=6, 作为初始方案要求填写数字的格也恰有6个。②当有几个格子的运价相等, 又都成为最小运价时, 可任选其中一个运价, 并在对应格子中填写数字。③当选定一个最小元素后, 若出现该元素所在行的产量等于其所在列的销量, 这时在产销平衡表上填一个数, 运价表就要划去一行和一列。为了使调运方案中的填数格仍为(m+n-1)个, 这时要在产销平衡表的相应行或列的任一空格上填写一个“0”, 这个填写“0”的格当作有数格看待。

2. 方案检验

在运价表中, 把有调运数的那些运费加上圈, 如表21-12所示。再把同一行(或同一列)的各数加上或减去一个相等的数, 这称为位势, 使圈中数字逐步都变成0, 这时表中其他各数便是检验数的相反数。具体做法是:

表 21-12 位势法检验

产地	销地				
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	
A ₁	2	3	2	①	-1
A ₂	⑩	8	⑤	④	-4
A ₃	⑦	⑥	6	8	
	-6	-6	-1		

- (1) 把运价的第A₁行各数减1, 第A₂行各数减4。
- (2) 把运价的第B₁、B₂、B₃列分别减去6、6、1。
- (3) 把运价的第A₃行减1, 第B₂列加1, 得到表21-13。

表 21-13 位势法结果

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A ₁	-5	-3	0	①
A ₂	①	-1	①	①
A ₃	①	①	4	7

于是各空格的检验数为: $\lambda_{11} = 5$, $\lambda_{12} = 3$, $\lambda_{13} = 0$, $\lambda_{22} = 1$, $\lambda_{33} = -4$, $\lambda_{34} = -7$ 。

3. 方案的调整

如果所得到的初始调运方案经判别不是最优方案, 像单纯形法一样, 需要迭代, 求出新的基本可行解, 其步骤如下。

首先, 在所有正的检验数中找出一个值最大的检验数, 以它对应的非基变量为换入基变量; 其次, 以此空格为出发点, 做一个闭回路; 然后, 在闭回路上, 我们称奇数次转弯处的最小调运量为调整数。在奇数次转弯处减去调整数, 在偶数次转弯处加上调整数, 便得到新的调运方案。

现将用最小元素法得到的初始方案列表调整如表 21-14 所示。

表 21-14 方案调整

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	供应量
A ₁	+2			3 ⁻²	+1	2		1 ⁻¹	3
A ₂	-2	4	1 ⁺²				4 ⁻¹	3 ⁺¹	7
A ₃	2	3			-1	2	3	+1	5
需求量	4	3	4	4	4	3	4	4	

最后得表 21-15。

表 21-15 调整结果

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	供应量
A ₁	3				3
A ₂			3	4	7
A ₃	1	3	1		5
需求量	4	3	4	4	

表 21-15 即为最优调运方案。注意每次调整后, 必须重新计算检验数。

21.2.3 指派问题

所谓指派问题是指这样一类问题: 有 n 项任务, 恰好有 n 个人可以分别去完成其中任何一项, 由于任务的性质和每个人的技术专长各不相同, 因此, 各人去完成不同任务的效率也不一样。于是提出如下问题: 应当指派哪个人去完成哪项任务, 才能使总的效率最高?

类似的指派问题还有: n 台机床加工 n 项任务; n 条航线安排 n 艘船或 n 架客机去航行等。

先看一个具体例子。

【例 21-10】某公司有 B_1, B_2, B_3, B_4 四项不同的任务，恰有 A_1, A_2, A_3, A_4 四个人去完成各项不同的任务。由于任务性质及每个人的技术水平不同，他们完成各项任务所需的时间如表 21-16 所示。

表 21-16 工作时间表

人员	时间			
	任务 B_1	任务 B_2	任务 B_3	任务 B_4
A_1	2	15	13	4
A_2	10	4	14	15
A_3	9	14	16	13
A_4	7	8	11	9

问：怎样指派任务才能使这项工程花费的总时数最少？

解：

第一步：从效益矩阵的每行减去各行中的最小元素，再从每列中减去各列的最小元素，得

$$(C'_{ij}) = \begin{pmatrix} 2 & 15 & 13 & 4 \\ 10 & 4 & 14 & 15 \\ 9 & 14 & 16 & 13 \\ 7 & 8 & 11 & 9 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{减去各行中的最小元素}} \begin{pmatrix} 0 & 13 & 7 & 0 \\ 6 & 0 & 6 & 9 \\ 0 & 5 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\xrightarrow{\text{减去各列中的最小元素}} \begin{pmatrix} -4 & -2 \\ -4 & -2 \end{pmatrix}$$

这里 (C'_{ij}) 称为初始缩减矩阵。各行各列所减去的数之总和称为缩减量。本题的缩减量为 $S = 2 + 4 + 9 + 7 + 4 + 2 = 28$ 。

注意：如果某行（或列）有 0 元素，就不必再减。

第二步：找出一个指派方案，以寻求最优解。

经过第一步变换后，初始缩减矩阵中每行每列都已有了 0 元素，还需要找出 n 个独立的 0 元素，即找出 n 个位于不同行不同列的 0 元素来。若能找出，则以这些 0 元素对应的元素位置为 1，其余为 0，便得到一个解矩阵，从而得到最优解。

寻找 n 个独立 0 元素的方法如下。

(1) 从第 1 行开始检查。若某一行只有一个 0 元素，就对这个 0 元素打上 Δ 号，然后划去 Δ 所在列的其他 0 元素，记作 ϕ 。

(2) 从第 1 列开始检查。若某列只有一个 0 元素，就对这个 0 元素打上 Δ 号（不考虑已划去的 0 元素），然后再划去 Δ 所在行的其他 0 元素，记作 ϕ 。

(3) 重复 (1) (2) 两步，直到所有 0 元素打上 Δ 号或被划去。

现用前面得到的 (C'_{ij}) 矩阵按上述步骤运算，最后得

$$\begin{pmatrix} \phi & 13 & 7 & \Delta \\ 6 & \Delta & 6 & 9 \\ \Delta & 5 & 3 & 2 \\ \phi & 1 & \Delta & \phi \end{pmatrix}$$

从而得最优解为

$$(x_{ij}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

这表示 A_1 去完成任务 B_4 , A_2 去完成任务 B_2 , A_3 去完成任务 B_1 , A_4 去完成任务 B_3 所需总时间最少, 这时:

$$S_{\min} = C_{14} + C_{22} + C_{31} + C_{43} = 28$$

注意: (1) 如果在矩阵中能得到位于不同行不同列的 n ($n=4$) 个 Δ , 那么就完成了求最优解的过程;

(2) 如果矩阵中的所有 0 元素打上 Δ 号, 或被划去 (ϕ), 而不是每一行都有打 Δ 号的 0 元素, 那么解题过程还没有完成。这时应进行第三步, 如例 21-11。

【例 21-11】 求缩减矩阵 (C'_{ij}) 的分配问题的最优解。

$$(C'_{ij}) = \begin{pmatrix} 0 & 8 & 2 & 5 \\ 11 & 0 & 5 & 4 \\ 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 4 & 5 \end{pmatrix} \rightarrow C' = \begin{pmatrix} \Delta & 8 & 2 & 5 \\ 11 & \Delta & 5 & 4 \\ 2 & 3 & \Delta & \phi \\ \phi & 11 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

第三步: 做覆盖所有 0 元素的最少数量的直线, 以确定系数矩阵中最多的独立元素数。具体步骤如下。

- (1) 对没有 Δ 的行打 \checkmark 号;
- (2) 在已打 \checkmark 号的行上, 对有 0 元素的列打 \checkmark 号;
- (3) 再对打 \checkmark 号的列上有 Δ 的行打 \checkmark 号;
- (4) 重复步骤 (2) (3) 直到得出新的打 \checkmark 的行、列为止。
- (5) 对没有打 \checkmark 的行画横线, 对所有打 \checkmark 的列画纵线, 这就得到覆盖所有 0 元素的最少直线数。

在矩阵 C' 中依次进行上列各项工作: 按步骤 (1), 在第 4 行打 \checkmark 号; 按步骤 (2) 在第 1 列打 \checkmark 号; 按步骤 (3), 在第 1 行打 \checkmark 号。然后按步骤 (5), 在第 2、3 行画横线, 在第 1 列画纵线, 得到覆盖所有零元素的最少直线。

$$\xrightarrow{\text{第三步}} \begin{pmatrix} \Delta & 8 & 2 & 5 \\ 11 & \Delta & 5 & 4 \\ 2 & 3 & \Delta & \phi \\ \phi & 11 & 4 & 5 \end{pmatrix} \quad \checkmark \quad \text{为什么我只有右下角那个}\checkmark$$

第四步：修改缩减矩阵，使每行每列都至少有1个 Δ 元素，具体方法如下。

- (1) 在第三步得到的矩阵中，对没有被直线覆盖的部分找出最小元素；
- (2) 在打 \checkmark 号行的各元素中都减去这个最小元素；
- (3) 在打 \checkmark 号列的各元素中都加上这个最小元素。

从而得到一个新的缩减矩阵。如果它已有 n 个不同行不同列的0元素，则求解过程已完成，如果还没有得到 n 个0元素，则返回第三步重新进行。

在上述第三步结果中，没有被直线覆盖的部分最小元素是2；在打 \checkmark 号行的各元素都减去2；在打 \checkmark 号列的各元素都加上2，便得

$$\xrightarrow{\text{第四步}} \begin{pmatrix} 0 & 6 & 0 & 3 \\ 13 & 0 & 5 & 4 \\ 4 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 9 & 2 & 3 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \phi & 6 & \Delta & 3 \\ 13 & \Delta & 5 & 4 \\ 4 & 3 & \phi & \Delta \\ \Delta & 9 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

至此，已经出现 $n(n=4)$ 个不同行不同列的 Δ 元素，解题过程完成。最优解的矩阵形式如下。

$$(x_{ij}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

21.2.4 动态规划

1. 最短路径问题

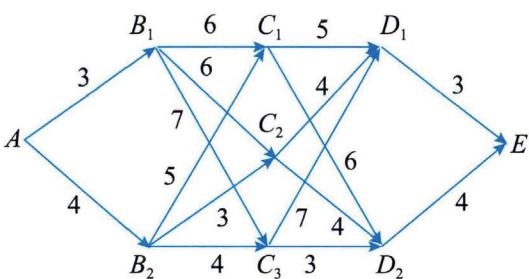


图 21-2 最短路径问题例图

【例 21-12】计划从 A 地铺设一条输油管道到 E 地，中间须经过三个中间站。第一个中间站可设在 B_1 或 B_2 ，第二个中间站可以有 C_1 、 C_2 、 C_3 三种选择，第三个中间站可取 D_1 或 D_2 。各地之间的距离（单位为km）标在箭线旁边，如图21-2所示。要求确定一个方案，使得从 A 到 E 的距离最短。

从图21-2可知，从 A 到 E 可分为四个阶段。

在第一阶段以 A 为起点，终点有 B_1 和 B_2 ，这时有2种选择，即可取 B_1 或 B_2 。若选择 B_1 为中间站，则 B_1 就是在第一阶段决策的结果，它既是第一阶段的终点，又是第二阶段的起点。在第二阶段，从 B_1 出发，又有3种选择，即 C_1 、 C_2 或 C_3 。