

用于道路建设项目的虚拟工程技术

向乃姗

(东南大学工程管理学系,江苏 南京 210096)

摘要 :以道路建设项目为例,说明虚拟工程技术的实现过程,即采用计算机虚拟现实技术建立工程项目的信息模型,使实际工程转换为计算机可演示的虚拟工程,利用计算机强大的计算能力、快速的信息转换能力、广泛的网络传播能力实现工程项目的多目标优化控制。采用虚拟工程技术后工程项目管理可以实现管理规范、责任明确、计划优化、控制及时,可增强项目管理人员的决策与控制能力。

关键词 :虚拟工程;项目管理;道路工程

中图分类号 :U415.1

文献标识码 :B

文章编号 :1006-764X(2008)S1-0129-04

传统的项目管理模式是以严格的进度管理为主线,通过对项目过程中关键点的控制达到项目管理目的。而新型项目管理模式以严格的项目成本控制为主线,以此进行项目组织,根据项目的实际进度进行资源配置,追求最佳的资源调控方式。虚拟工程借助信息化集成技术,实现工程项目管理在虚拟环境下的映射,可以高效地解决建设项目的诸多问题,以降低费用、缩短工期、提高工程质量,最终为建设产品增值。

1 道路工程的特点

道路工程具有路线长、施工面广、施工时间长、工程量大等特点,并且通过的地带类型多,技术条件复杂,因而设计施工受地形、气候和水文地质条件等多方面的影响。面对地理、气候、技术、社会等多重风险,道路工程的项目管理难度很大。

近年来,由于客户要求不断提高,施工技术日趋复杂,建设项目的管理面临新的挑战。新型工程项目迫切需要现代科学技术和先进管理手段的支撑,虚拟工程技术就是新型工程项目管理模式中的一种。虚拟工程通过建立信息模型来模拟实际工程项目的实施,优化资源分配,控制工程进度与成本,预测风险,增强项目各级管理人员的决策与控制能力,从而使工程建设走出依赖经验的狭小天地,发展到全方位多目标优化管理的新阶段。

项目管理的目标有时会互相冲突,遭遇项目范围、时间和费用“三重制约”的问题,这 3 个因素之间

的权衡会对项目质量产生影响^[1]。在传统模式下,严格的进度控制无法适应异常情况,会出现资源配置与进度的不适应。而虚拟工程技术以项目的实时数据为基础,根据当前项目的实际情况进行资源配置与调控,充分体现信息集成化条件下控制的优越性,从而能在复杂多变的施工条件下应对自如。

2 虚拟工程

2.1 虚拟工程的定义及特点

虚拟工程是实际工程在计算机上的本质实现,采用计算机虚拟现实技术,实现工程的规划、设计、施工、验收及项目各级过程的管理。

与实际工程相比,虚拟工程的主要特点是:①工作流程与工作环境是虚拟模型,设计人员、管理人员和用户可随时进入虚拟环境,检查工程项目的设计与施工状况。②虚拟工程掌握项目的全部数据,可根据项目的实际情况利用计算机强大的运算能力随时进行资源优化配置,人工管理的效率无法与其相比。③利用网络,不同地点、不同部门的人员可在同一虚拟工程上同时进行管理与控制,实现信息交流和信息共享,无需生成大量纸质文档,可加快信息传递、减少差错、提高项目管理的协调性。

2.2 虚拟工程管理系统及基本要求

虚拟工程管理系统(virtual engineering managing system, VEMS)是基于虚拟工程技术实现的管理系统,是现实工程管理系统(real engineering managing system, REMS)在虚拟环境下的映射,涉及项目的整

个生命周期。从 REMS 到 VEMS 的映射应反映出 REMS 的本质,因此 VEMS 与 REMS 应具有功能一致性和结构相似性,VEMS 还应具有高度的柔性、集成化、可视性以及分布特性^[2]。

3 虚拟工程实现过程

3.1 建立工程项目管理模型

采用虚拟工程技术进行项目管理,首先要建立项目管理的信息模型,工程项目的不同阶段可以建立不同的模型。施工阶段的模型可采用网络计划模式由节点和路径构成,节点定义项目的任务,路径定义任务的执行顺序。一个好的信息模型不仅要反映出项目进展的状况,而且要能对工期、成本、质量进行控制,以确保项目顺利完成,因此任务节点应包括以下几类信息:

a. 任务的基本信息:任务标识符、任务名称、任务应完成的目标、必要的投入、任务负责人、质量负责人、费用负责人等。

b. 任务的质量信息:任务的质量检验标准和质量检验方式。

c. 任务的进度信息:任务的工作量和工作类型。任务的进度信息有 2 种表示方法,即工期方法和流水强度方法。前者在网络计划中直接用工期表示时间进度,并由此计算出最早开始时间(ES)、最迟开始时间(LS)、最早结束时间(EF)、最迟结束时间(LF),然后计算关键路径、时差及总工期。用工期方法表示时间进度简单直观,但不便于工期调整。流水强度方法采用流水强度计算工期^[3]:工期等于工程量除以流水强度。一般情况下工程量是已知的,而流水强度可以根据工程项目进展的具体情况进行调整,比如通过加班来增加工作时间,通过增加机械或人工来提高流水强度,所以用流水强度方法表示工程的时间进度具有更大的灵活性和可控性。

d. 任务的成本信息:固定费用和可变费用。固定费用包括本项任务的管理费用和整个项目管理费用的分摊,可变费用包括完成本项工程所需人员和设备的费用。可变费用与任务的工作量(或工期)成比例。

e. 任务的连接信息:连接矩阵。

3.2 工程项目的任务分解

为获取节点模型数据,应进行工程项目的任务分解。任务分解可分为纵向分解和横向分解。纵向分解是按项目阶段分解,横向分解是按项目资源分解。

3.2.1 项目纵向分解

工程项目大致可分为投标阶段、设计阶段、施工阶段、验收阶段。每个阶段应给出各阶段应达到的

目标和质量验收标准,并估计工作量、工期与费用。每个阶段又可细分为若干个子任务,并将各阶段的目标分解成若干个子任务的目标。当某阶段所有子任务均完成,则该阶段的目标任务完成。同样,该阶段的工作量、工期、费用应等于该阶段所有子任务工作量、工期和费用的总和。每个子任务又可细分为更低层次的子任务,最终结果是一个多层次的任务树,任务树的最底层是不包括子任务的节点(又称为叶节点),叶节点必须包括节点模型规定的各项信息。

所有叶节点任务均完成,则项目的总目标任务完成,如果所有叶节点任务均完成并提交产品,但项目的总目标却未能完成,说明项目的任务分解不完善。为避免出现这种状况,项目的任务分解应遵循以下原则^[4] ①确保项目任务信息的完整性,不能遗漏任何必要组成部分。②任务的划分既要有整体性又要有独立性,整体性保证项目信息的完整,没有目标或质量的欠缺;独立性保证任务与任务之间有明确的界线与不同的责任,任务的分解意味着责任的分解。③任务的分解应有利于项目的控制,包括工期控制、质量控制、成本控制。④任务分解应详细得当,任务分得过粗则自由度太大,不利于尽早发现和解决问题,任务分得过细则缺乏灵活性,在需求变更或发生意外事件时调整量过大,也不利于控制。⑤任务分解应有一定的弹性,由于任务分解很难始终满足完整性与独立性的要求,应首先满足任务分解的独立性要求,对于可能遗漏的部分,通过建立弹性任务节点来处理。给弹性任务节点分配适当的人力、工期与费用,在出现异常情况时由弹性任务节点来调节,避免计划的大量变更。

3.2.2 项目横向分解

项目的横向分解是按项目资源分解。资源可分为设备、人工、材料、资金等,横向分解具体给出工程项目各个阶段所需要资源的类别和数量。

完成项目任务的纵向分解和横向分解后,将各个任务节点的信息输入到节点模型中,即可建立本项目的模型实例。在项目模型实例的基础上,执行资源优化算法,在满足规定条件的情况下按某一衡量指标求解最优方案。例如,在人工、材料、机械设备和资金等资源有限的条件下,寻求工期最短;在规定工期的条件下,要求投入的资源数量最小;在最短时间内完成工程施工的条件下,要求成本最低等。

通过资源优化算法,可得到项目的时间进度计划、资源分配计划、资金需求计划和质量检验计划。这些计划将作为今后项目实施的指令性文件。任何变更都必须有严格的审批程序,审批通过后应立即

更改模型实例数据并发出变更通知。

3.3 项目实施过程中的调整与控制

项目控制贯穿于工程项目的每一阶段,在制订计划时实施控制,使输出的计划符合项目的总目标及工期、资源、资金的约束条件。计划制定之后,需要在项目实施过程中进行控制,以确保项目按计划执行,按计划完成。任何控制都有一个目标,在虚拟工程中这个目标可以是项目总目标,可以是项目阶段性目标,也可以是项目子任务目标,控制过程就是通过一系列步骤去实现控制目标。控制过程可分为启动、规划、执行、监控、收尾 5 个步骤^[1]。

节点任务在执行过程中可能受到内部或外部的各种干扰,从而导致任务不能顺利完成,导致任务的质量或工期或费用出现偏差。所以要及时检测任务的实施情况,并与计划进行比较,判断是否出现偏差,只有及时检测才能尽早发现并及时纠正小偏差,避免小偏差演变成大偏差。

当出现偏差时,要及时进行纠偏。偏差可大致分为 A B C D 4 级:A 级表示没有偏差,或虽有小的偏差但任务负责人有能力在任务小组内采取适当的措施纠偏;B 级表示有较小偏差,需要增加资源投入(加班或增加人员设备),任务负责人应向项目经理提交纠偏措施;C 级表示出现较大的偏差,已无法按计划完成该任务,需要项目经理介入,修改计划,在项目范围内进行调整,并报告开发方企业主管与客户方业务主管;D 级表示出现严重偏差,已无法按计划完成项目,需要开发方与客户方主管人员介入,重新确定项目目标及相关约束条件(质量、工期、费用等)。

4 工程实例

道路工程是一项非常复杂、涉及面很广的建设项目,下面的例子仅仅给出道路工程施工阶段的简化信息模型,作为用虚拟工程技术解决实际工程问题的一个尝试。

建立施工过程的信息模型是实现虚拟工程的关键,信息模型能解释特定对象的现实状态,预测对象的未来状况,并提供处理对象的决策和控制。道路工程项目施工过程的信息模型能对质量、进度、费用三大目标进行控制,生成多目标优化方案。建模过程如图 1 所示。

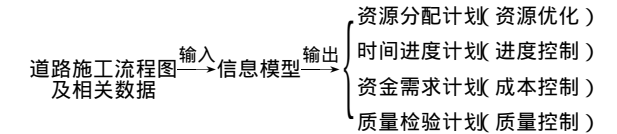


图 1 建模过程

首先进行任务分解,每个任务设立 1 个节点,给定节点名称,在节点中加入该任务的属性信息,建立

各个节点的先后次序关系,然后通过资源优化算法生成完整的时间进度计划、资源分配计划、资金需求计划和质量检验计划。

信息模型以任务节点为基本元素,节点属性主要分为任务节点信息、任务节点连接信息和任务所需资源信息 3 类。

在扬州富民东路工程中,将施工阶段的任务分解为 4 层:第 1 层为扬州富民东路工程整体,第 2 层为分部工程,包括 7 个子任务,每个子任务需要阶段性验收(图 2);第 3 层是对分部工程的细化(图 3);必要时可将第 3 层任务再细化为第 4 层任务。在图 2 和图 3 中,右边的流程图表示任务节点的执行顺序,数字表示节点序号。

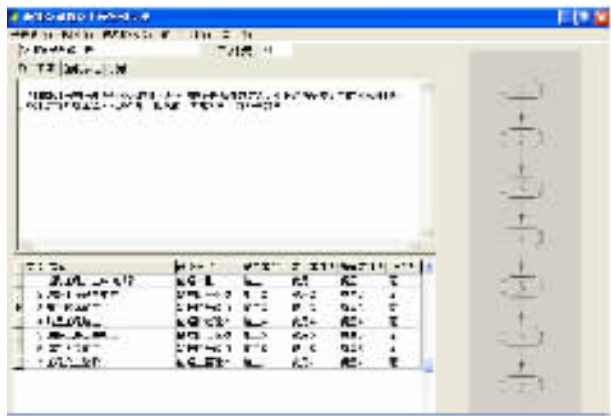


图 2 扬州富民东路工程的分部工程

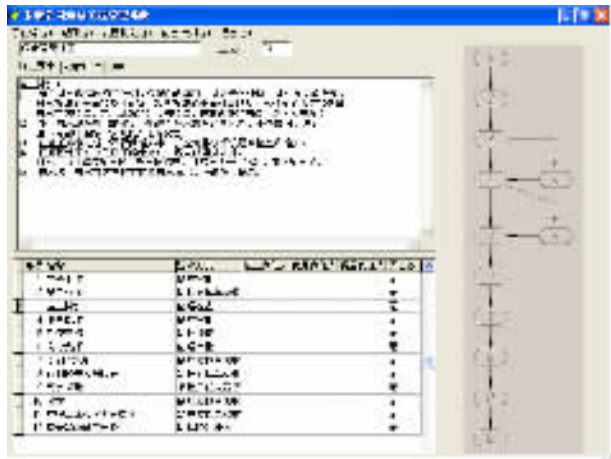


图 3 分部工程的细化

扬州富民东路工程第 2 层任务节点连接矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

矩阵元素 $A_{ij} = 1$ 表示任务节点 i 与任务节点 j

之间有连接, $A_{ij} = 0$ 表示没有连接。因为连接矩阵中大部分元素为 0, 运行效率较低, 也可以单独用行向量表示后续任务。对于 n 个子任务而言, 应有 $n + 1$ 个行向量, 其中第 1 个行向量表示起始节点, 其余 n 个行向量表示 n 个节点的后续任务。

任务节点所需资源可分为 3 类: 材料(表 1)、机械设备(表 2)和人工(表 3)^[5]。

表 1 材料

材料编码	材料名称	型号	可变费用/ (元·t ⁻¹)	固定费用/ 元
105001	粉煤灰		42	0
105009	生石灰		210	0
301024	水泥	32.5 级	290	0

表 2 机械设备

设备编码	设备名称	型号	可变费用/ (元·台班 ⁻¹)	固定费用/ 元
01001	履带式推土机	60 kW	270.00	258.00
01021	平地机	120 kW	600.00	243.00
01057	光轮压路机	12T	270.00	994.00

表 3 人工

工种编码	工种名称	可变费用/ (元·工日 ⁻¹)	固定费用/ 元
GR1	普通工	26.00	0
SZRCR	技术工	37.00	0

信息模型能对质量、进度、费用三大目标进行控制。控制工程质量的任务节点属性有 3 项, 即质量验收标准、质量责任人和质量验收方式。设立质量责任人体现了质量控制“三阶段”原则。施工前由质量责任人阐明施工任务质量验收标准, 施工中由质量责任人监督检查, 施工完成后由质量责任人验收, 如果发生质量问题由质量责任人承担责任。质量验收方式分为 2 级 9 种: 第 1 级为监理验收, 分为 5 种, 即监理工程验收、监理阶段工程验收、监理质检单签收、监理审批和监理检查, 每种验收方式都规定了严格的验收程序; 第 2 级为施工组自检, 分为 4 种, 即质量责任人签收、质量责任人检查、施工责任人检查和施工者自检。

信息模型中, 实现进度控制所用到的节点属性为工程量、设备和人工。为每个节点合理分配设备和人工, 可计算出各节点的流水强度, 根据节点的工程量和节点流水强度可计算出各节点的工期, 再根据网络计划图的关键路径计算出工程项目的总工期, 并生成时间进度计划。

信息模型中, 实现成本控制所用到的节点属性为费用及费用责任人。成本控制的重点是优化施工方案, 合理配置资源, 根据工程项目的特点、性质及项目施工的顺序实施资源的动态管理, 优化人工、材

料、机械设备的配置, 使之随时处于可控状态, 最大限度地发挥效能、降低成本。在虚拟工程中可以将费用开支细化到每个任务节点, 同时, 在每个任务节点设立费用责任人, 对该任务节点的费用开支负责, 使工程费用在每个任务节点、每个时段内都处于可控状态。

在虚拟工程中常用的资源优化算法有 3 种: ①工期最短算法(资源已知); ②资源最小算法(工期已知); ③工期费用合理算法。第 3 种算法兼顾进度控制和成本控制, 以实现进度与成本的综合优化。

5 结 语

采用虚拟工程技术进行工程项目管理, 可以实现管理规范、责任明确、计划详细、控制及时。项目进展情况全部以模型数据的形式保存, 精确规范, 查询方便。项目整体进展一目了然, 对质量、工期、费用、资源情况可以分项查询, 每个任务的执行状况、每个人的工作业绩都有据可查。通过信息共享, 客户方、施工方和监理方能够加强沟通, 增强互信。

将虚拟工程技术用于实际项目管理时, 有两点应引起注意: ①由于任务分解很难始终满足完整性与独立性的要求, 可以考虑建立弹性任务节点来处理。②对任务执行状况的实时检测是虚拟工程实时控制的关键, 要求每个任务小组及时报告工程进展情况。但施工现场环境复杂, 要使虚拟工程与实际工程完全同步很难做到, 应充分考虑施工现场条件, 合理选择与调整虚拟工程使之与实际工程基本同步。

虚拟工程技术本质上是一种项目管理模式, 不仅可用于道路工程, 也可用于房屋、场馆、水利等建设工程项目或其他非建设工程项目。笔者希望越来越多的工程项目采用虚拟工程先进技术, 逐步提高工程项目管理水平, 推动更多建设企业向信息化管理方向迈进。

参考文献:

[1] 美国项目管理协会. ANSI/PMI 99-001-2004: 项目管理知识体系指南[S]. 3 版. 卢有杰, 王勇, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005: 34-36.

[2] 范玉顺. 工作流管理技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 13-15.

[3] 余群舟. 建筑工程施工组织与管理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007: 27-29.

[4] 陆惠民, 苏振民, 王延树. 工程项目管理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2002: 91-92.

[5] 丁铭绩, 赵文杰. 道路工程施工问答实录[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 164-190.

(收稿日期: 2008-04-15 编辑: 骆超)