

文章编号: 1000-5013(2013)01-0092-04

采用故障树法的 BT 项目进度风险分析及控制

陈曼英^{1,2}, 高轩能¹

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021;
2. 福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350108)

摘要: 采用故障树分析方法,根据建设-移交(BT)项目的特点,对影响项目进度的原因进行逐层分解,建立 BT 项目进度风险分析的故障树模型.以某市迎宾大道拓改建工程为例,通过求解该项目故障树的最小割集和底事件的结构重要度,并根据结构重要度的排序来探寻各因素对进度延误影响程度的大小,提出相应的进度控制措施.

关键词: 建设-移交项目;故障树分析;项目进度;风险控制

中图分类号: TU 72 **文献标志码:** A

近年来,随着我国城市化进程的加快,各级地方政府进行大量的城市基础设施和公共事业项目的建设,但项目在建设过程中却面临资金短缺的问题.建设-移交(build-transfer,BT)项目融资建设方式(简称 BT 模式)^[1]能较好地解决该问题^[2].国内学者对 BT 模式已进行了大量研究,研究内容主要为 BT 项目回购价款的确定与控制^[3-4],投、融资的模式和风险^[5],对 BT 项目进度风险的研究却不多见.进度延误不仅导致 BT 项目不能按时交付使用^[6],造成较大的负面影响,而且会影响 BT 项目的回购基价^[7],因此,对于项目进度风险的控制至关重要.国内外对于进度风险的分析和控制已有不少成果,主要采用网络计划的计划评审技术(PERT)^[8]、蒙特卡洛(Monte Carlo)仿真^[9]、关键线路法(CPM)等方法,这些方法最终均转化为关键线路法对项目的进度进行控制,但都不能体现某事件发生对项目进度延误影响程度的大小.故障树分析(fault tree analysis)方法作为安全系统工程的主要分析方法之一,在工程项目风险管理研究中也得到应用^[10-12].本文运用故障树法对 BT 项目进度风险进行分析,以探寻引起进度延误的原因及各因素的发生对项目进度延误影响程度的大小.

1 故障树分析方法

故障树分析法是一种演绎分析方法,实质上是一个布尔逻辑模型,描绘了系统中底事件之间的关系.这些底事件的组合最终导致一个不希望的结果发生,即顶上事件^[13].故障树分析是综合识别和度量风险的有力工具,其分析过程包括确定故障树的顶上事件、建立故障树和定性分析 3 个方面.

1.1 确定故障树的顶上事件

顶上事件是故障树分析的出发点和源头,通常情况下,把最不希望发生的事件作为故障树的顶上事件.在进行进度风险分析时,将 BT 项目进度延误作为顶上事件.

1.2 建立故障树

调查与事故有关的所有原因事件和各种因素,按建树原则,从顶上事件起,逐层往下分析各自的直接原因事件.根据彼此间的逻辑关系,用“与”、“或”、“非”3 种逻辑门连接上下层事件,直到所要求的分

收稿日期: 2012-06-16

通信作者: 高轩能(1962-),男,教授,博士.主要从事工程结构理论与项目管理的研究. E-mail:gaoxn1962@163.com.

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金项目(12YJA630015);中央高校基本科研课题资助项目(JB-JC1005);福建省教育厅科技项目(JA11181)

析深度,按照其逻辑关系,形成一株倒置的逻辑树形图,即故障树.

1.3 定性分析

定性分析是求出故障树的所有最小割集. 最小割集是指导致顶上事件发生的最起码的基本事件的组合,一般用上行法或者下行法求得. 建立故障树的结构函数,即

$$y = \phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_j k_j. \tag{1}$$

式(1)中: x_1, x_2, \dots, x_n 为故障树的 n 个基本事件; k_j 为第 j 个最小割集, $k_j = \prod_{x_i \in k_j} x_i$.

结构函数表示顶事件和基本事件的逻辑关系,按照布尔代数规则进行计算. 则第 i 个底事件的结构重要度 $I_{\phi(i)}$ 可表示为

$$I_{\phi(i)} = 1 - \prod_{x_i \in k_j} [1 - \frac{1}{2^{N_j-1}}], \tag{2}$$

式(2)中: k_j 为第 j 个最小割集; $N_j(j \in k_j)$ 为第 i 个事件位于最小割集 k_j 的底事件数; $x_i \in k_j$ 是第 i 个底事件属于第 j 个最小割集.

确定完最小割集,则可根据式(2)求解底事件的结构重要度. 底事件结构重要度从故障树结构的角度反映了各底事件在故障树中的重要程度. 分析结构重要度,排出各种基本事件的结构重要度顺序,从结构上了解各基本事件对顶上事件发生的影响程度,以便按重要度顺序安排防护措施,加强控制.

2 实证分析

某市迎宾大道(K196+950~K202+050 段)拓改建工程 BT 项目,全长约 5.1 km. 道路等级为城市快速路,双向 8 车道,设计时速主线 60 km · h⁻¹,道路宽度设计采用 70.5 m 断面方案. 项目总投资约为 6 亿元(不含征地拆迁费用). 施工工期为 15 个月,要求在规定的工期内尽早完成项目. 合同条款中还约定,若工期每延误 1 d 罚款 2 万元,工期延误罚款最高不超过合同价款的 5%.

2.1 建立 BT 项目进度延误的故障树

根据工程的特点,项目组对工程沿线进行细致调查,分析可能引起进度延误的各项因素并进行归纳总结^[14],得出如下影响项目进度的 3 个主要因素.

1) 资金因素. 由于项目建设期间的资金均由投资人出资,整个项目所需的资金一部分来源于投资人的自有资金,另一部分资金需向银行等金融机构贷款,这两方面无论哪一环节出现问题,资金无法到位,均会引起项目进度的延误.

2) 勘查设计因素. 该迎宾大道沿线地质情况比较复杂,地下管线多,施工中不可避免地出现局部地质勘查报告与实际情况不符、地下存在不明障碍物和设计图纸不明确等问题. 一旦出现问题,均要停止施工,待设计变更完成之后才能进行,而设计变更图纸的及时提供也决定了改造项目能否继续施工.

3) 施工阶段的因素. 施工期间的施工质量、现场管理及气候的原因也对工程能否按期完工有影响. 在检查过程中,监理发现施工质量问题并下达停工令,责令项目组对施工质量进行整改,直至符合要求才能进行下一道工序的施工,返工也将影响项目的进度. 同时,若施工现场管理混乱,对人员、材料、机械的管理不到位,均会引起项目进度延误. 再则,由于工程地处沿海城市,根据气象统计,每年出现台风及特大暴雨的概率较大,应考虑不可抗力的天气原因.

通过逐层分解的方法,找出导致该项目进度延误的原因,构建进度延误的故障树模型,如图 1 所示. 表 1 为各事件符号及含义.

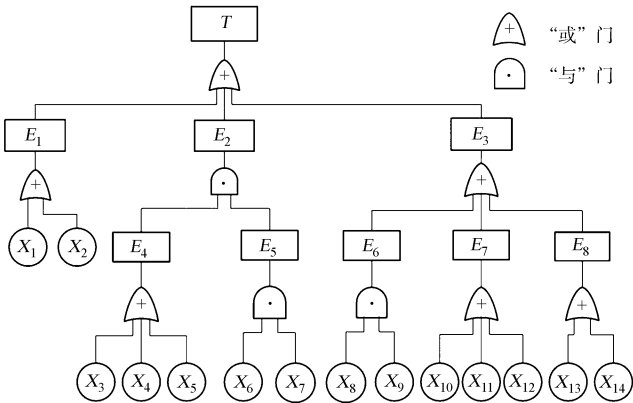


图 1 BT 项目进度延误的故障树分析图

Fig. 1 Fault tree analysis of BT project progress delay

表 1 故障树事件的符号及含义

Tab. 1 Symbols and meanings of fault tree events

事件名称	事件含义	事件名称	事件含义	事件名称	事件含义
T	BT 项目进度延误	E_8	不可抗力	X_8	质量不符合验收规范
E_1	资金问题	X_1	自有资金不足	X_9	监理下达停工令
E_2	勘察设计问题	X_2	融资能力不足	X_{10}	施工人员不到位
E_3	施工问题	X_3	地下发现不明障碍物	X_{11}	材料供应不及时
E_4	设计变更	X_4	局部地址状况与勘察报告不符	X_{12}	施工机械配备不合理
E_5	图纸提供不及时	X_5	设计图纸不明确	X_{13}	台风
E_6	施工质量问题	X_6	设计方管理不善	X_{14}	特大暴雨
E_7	施工现场管理问题	X_7	设计进度控制不合理		

2.2 确定故障树最小割集

$$\begin{aligned} T &= E_1 + E_2 + E_3 = (X_1 + X_2) + E_4 E_5 + (E_6 + E_7 + E_8) \\ &= (X_1 + X_2) + (X_3 + X_4 + X_5)(X_6 X_7) + \\ &\quad (X_8 X_9) + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \\ &= X_1 + X_2 + X_3 X_6 X_7 + X_4 X_6 X_7 + X_5 X_6 X_7 + \\ &\quad X_8 X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}. \end{aligned}$$

由此可故障树的最小割集： $\{ X_1 \}$ ， $\{ X_2 \}$ ， $\{ X_3, X_6, X_7 \}$ ， $\{ X_4, X_6, X_7 \}$ ， $\{ X_5, X_6, X_7 \}$ ， $\{ X_8, X_9 \}$ ， $\{ X_{10} \}$ ， $\{ X_{11} \}$ ， $\{ X_{12} \}$ ， $\{ X_{13} \}$ ， $\{ X_{14} \}$ 。每 1 个最小割集为导致 BT 项目进度延误发生的 1 条可能途径。

2.3 结构重要度分析

根据式(2)求解各底事件的结构重要度,并根据大小进行排序,则有

$$\begin{aligned} I_{\phi(X_1)} &= I_{\phi(X_2)} = I_{\phi(X_{10})} = I_{\phi(X_{11})} = I_{\phi(X_{12})} = I_{\phi(X_{13})} = I_{\phi(X_{14})} = 0.009\ 155\ 27 \\ &> I_{\phi(X_8)} = I_{\phi(X_9)} = 0.003\ 051\ 75 > I_{\phi(X_6)} = I_{\phi(X_7)} = 0.002\ 563\ 47 \\ &> I_{\phi(X_3)} = I_{\phi(X_4)} = I_{\phi(X_5)} = 0.000\ 366\ 21. \end{aligned}$$

由于施工现场管理的复杂性,任何 1 个事件的发生都有可能影响项目进度,结构重要度越大,表明该事件对 BT 项目进度延误的影响程度也越大.根据结构重要度的大小,对结构重要度大的事件预先采取防范措施,以保证项目按期完成.从结构的重要度可知,资金问题、施工现场的管理和不可抗力因素是影响该市迎宾大道拓改建工程进度的重要因素,施工质量问题次之,图纸提供延误和设计变更的因素影响较小.项目部应根据分析所得到的结果,制定相应的进度控制措施.

3 BT 项目进度控制措施

3.1 融资方案的制定

资金问题是影响项目进度的重要因素之一,除了自有资金,项目还需根据工程所需的剩余资金进行融资.为了保证该拓改建项目能够按期完工,投资人应制定切实可行的融资方案,资金不足部分考虑向银行贷款,并根据项目的实际进度计划,详细计算所需资金的时间及金额.在满足施工的要求下,尽量缩短资金滞留项目的时间,以减少资金成本,充分发挥资金的效能.在投资的过程中始终以“成本最低化,效益最大化”的工作方针来完成项目的融资.

3.2 施工现场的管理

施工现场管理的好坏,是反映施工项目管理水平的重要标志,它不仅体现整个公司的,也是项目施工生产能否顺利按期完成的关键.因此,加强现场管理是施工企业管理工作的重要方面,而加强施工现场人、材、机的管理则更加成为重中之重.

3.3 对 BT 项目的进度计划实行动态控制

由于该实例地处沿海,台风、暴雨等不可抗力因素发生的概率相对较高,项目组在编制施工进度计划时充分考虑台风天气带来的不利影响,编制出最优的施工进度计划.在进度管理上明确工程的完工目

标,同时把目标量化、细化,使施工现场的全体人员都明确月、旬目标.在项目实施的过程中,经常检查施工实际进度情况,并将其与计划进度相比较;若出现偏差,分析其原因和对工期的影响程度,找出必要的调整措施,修改原计划.如此不断地调整、循环,直至工程竣工验收.

4 结束语

运用故障树法对项目的进度风险进行分析,要求构建故障树的人员具有丰富的施工现场管理经验,才能建立符合现场实际情况的故障树模型.由于工程个体差异及统计数据的缺乏,使得该方法不适宜对工程项目的进度风险进行定量分析,无法计算工程项目进度延误的时间及发生的概率.但是,该方法对提高项目部的进度管理水平,增强项目进度风险的应对能力,保证工程顺利进行具有一定的作用,同时也为其他类型项目的进度风险分析提供方法借鉴.

参考文献:

[1] 姜敬波,尹贻林.城市轨道交通 BT 项目的回购定价[J].天津大学学报,2011,44(6):558-564.

[2] 钟炜,王博.BT 项目回购阶段业主方回购价款确定分析[J].建筑经济,2010(9):55-59.

[3] 高喜珍.BT 项目回购价款确定方法研究[J].铁道运输与经济,2010,32(9):21-24.

[4] 严玲,杨艳荣,杜亚灵.政府投资项目 BT 模式中回购基价的控制机制研究[J].建筑经济,2011(2):32-35.

[5] 杨诚.建设-转让(BT)模式工程项目融资风险管理[D].天津:天津大学,2008.

[6] 龙宏德,冯卫军,吴英俊,等.深圳地铁 5 号线 BT 工程进度管理[J].铁道建筑,2012(2):130-134.

[7] 林平,尹贻林,周金娥.BT 模式下可原谅的工期延误对项目回购基价的影响机理及防范[J].土木工程学报,2010,43(7):124-128.

[8] 徐志胜,宋平,贺志军,等.PERT 法评估特大桥梁工程施工进度风险[J].防灾减灾工程学报,2009,29(1):83-87.

[9] 吴伟,惠晓滨,沈建明,等.基于 Monte Carlo 仿真的重大型号工程进度风险研究[J].空军工程大学学报:自然科学版,2003(5):7-9.

[10] 赵振宇,刘伊生,杨华春.故障树法引入工程项目风险管理研究[J].现代电力,2002,19(2):95-99.

[11] 周红波,高文杰,蔡来炳,等.基于 WBS-RBS 的地铁基坑故障树风险识别与分析[J].岩土力学,2009,30(9):2703-2707.

[12] 郑俊杰,林池峰,赵冬安,等.基于模糊故障树的盾构隧道施工成本风险评估[J].岩土工程学报,2011(4):501-508.

[13] 孟爱国,庄红军,王池.矿用重型汽车作业现场碰撞事故模糊故障树分析[J].中国安全生产科学技术,2011,7(1):107-111.

[14] 张云波.工程项目工期延误原因分析[J].华侨大学学报:自然科学版,2003,24(4):369-373.

Progress Risk Analysis and Control of BT Project Based on Fault Tree Analysis Method

CHEN Man-ying^{1,2}, GAO Xuan-neng¹

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;
2. College of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)

Abstract: According to the characteristics of BT (build-transfer) project, the model of fault tree analysis was established to analyze the various reasons influencing the project progress, and to investigate BT project progress risk. Taking an urban Yingbin Avenue extension reconstruction as an example, the minimum cut sets of fault tree and the structure importance degrees of bottom events were found. The degrees of various factors affecting the project progress are ranked in accordance with the structure importance. The measures to control the progress are put forward.

Keywords: build-transfer project; fault tree analysis; project progress; risk control