

大型机场航站楼建造总工期估算

贾广社, 牟强, 唐可为

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 从对国内 10 多个大型机场的进度总控咨询成果数据分析(2000—2016 年), 提出基于总控工序的航站楼总工期估算模型. 确定航站楼典型关键线路的总控工序顺序, 并拟合出工序间的未搭接时间分布. 在对 4 条可能关键线路进行工期分布拟合的基础上, 提出建造总工期的估算模型, 并应用到 3 个已完工航站楼的案例中, 验证了估算方法的可靠性. 通过引入总控工序的工期估算模型, 简化了应用传统风险计划方法评估大型工程工期的繁重工作.

关键词: 大型工程; 工期估算; 总控工序; 蒙特卡洛方法

中图分类号: F281

文献标志码: A

Estimating Construction Duration for Airport Terminal Megaprojects

JIA Guangshe, MOU Qiang, TANG Kewei

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A controlling-activity based model was proposed to estimate the construction duration of terminal megaprojects from the consulting achievements of project time-controlling for more than ten airport megaprojects in China (2000—2016). First, typical construction sequences of controlling activities for each possible critical path were determined, and the distributions of non-overlapping time between controlling activities were fitted. After that, based on fitting the duration distributions of four possible critical paths, a model for predicting the duration of terminal building was proposed and applied to three completed terminals. The results show that the proposed model reasonably predicts the construction duration for the case projects. Compared to traditional risk planning methods, the model proposed simplifies the complex work.

Key words: megaproject; duration estimation; controlling activity; Monte Carlo method

我国固定资产投资项目正逐年增长, 其中大型工程项目投资占固定资产总投资比例已达到 20% 以上^[1], 对区域经济社会的发展具有重大影响^[2]. 大型机场工程作为大型工程中最复杂的项目之一, 投资、进度、质量和安全仍然是工程控制的主要目标, 其中进度目标最为紧迫, 有时进度控制甚至是政治任务^[3]. 在整个机场工程的进度控制中, 航站楼工期是关键线路之一, 航站楼不仅包含了体量巨大的建筑及安装工程(一般在 10 万 m² ~ 60 万 m²), 而且还包含了复杂的机场专业设备的安装与调试工程. 如何对大型机场航站楼的总工期目标进行科学合理的估算, 对于整个机场工程的总进度目标, 以及航站楼单体项目的总进度计划的安排具有重要影响.

国内外已有不少对于工程项目工期估算的研究. Bromilow 提出的时间-成本模型(Bromilow's time-cost model, 简称 BTC 模型)是最早的工程项目工期估算模型^[4], 表示为 $T = KC^B$ (其中: T 为工期, C 为投资额, K 为建设进度绩效, B 为投资额与工期的关系常数). 后来在对 BTC 模型的进一步应用和发展中, 一些研究证明了 BTC 模型的可靠性^[5-6], 但也有一些研究证明了其不可靠性^[7-8]. 新近的研究结果表明, 该模型最大的缺点是它仅把投资额作为工期的单个影响因素, 没有考虑社会经济文化环境、天气、地质条件、技术手段、合同采购方式、项目类型、建造方法等因素, 因此 BTC 模型的应用受到了限制. 这些研究的思路多半集中在延续 BTC 模型的统计回归方法, 对不同地区、不同类型的项目进行统计分析, 验证 BTC 原始模型或改进模型(如考虑建筑占地面积^[7]、建筑层数^[9-10]、建造的材料和方法^[10]等因素)的有效性. 尽管 BTC 模型在不断地发展和应用, 但应用多元回归方法很少能对项目不确定性或风险因素进行分析^[11-12]. 而针对 BTC 模型存在的问题, 已有一些模型利用关键线路法(CPM)、计划评审

收稿日期: 2016-10-26

第一作者: 贾广社(1953—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为项目总控、项目管理成熟度和建设工程社会学等.

E-mail: jiagsh803@tongji.edu.cn

通讯作者: 牟强(1988—), 男, 博士生, 主要研究方向为项目总控. E-mail: muqiang51@qq.com

技术(PERT)与蒙特卡洛仿真(MCM)相结合^[13-14],对不确定性或风险下的工程项目工期进行仿真计算.但这类方法在实践中应用受限^[15],主要原因可能是结合 MCM 的工期估算方法需要一个详尽的风险计划^[16],在项目前期要求可操作性低.详尽计划本身就是一件复杂而耗时的的工作.

与一般工程项目相比,对于大型工程的工期估算研究还很少,其研究大致可以分为两类:一是直接建立一般化的工期预测模型(如多元回归或 BP 人工神经网络^[17]),没有考虑大型工程的具体类型和建造方式,如机场混合型工程与高铁、河流等线路工程的区别^[18],该类模型在具体类型工程的实践中不具有实用性;二是只针对大型单体工程的部分工期进行估算,如对重要建造材料的运输时间进行估算^[19],或者只对单体建筑的土建工期估算^[11],缺少对重要设备的安装调试工期的估算.因此,对于包含大量设备的大型机场航站楼工程的建设总工期,仍然缺少较为科学合理的预测方法.

本文基于对国内 10 多个大型机场的进度总控咨询成果(2000—2016 年),提出基于总控工序^[11]的航站楼总体工期估算模型.该模型从工程实践的数据提炼而成,运用 Crystal Ball 对工期分布进行拟合,克服了以往工期估算模型应用性不强等缺陷,尤其是对 BTC 及其改进模型对不确定性及风险因素考虑不足的缺陷.

1 航站楼总控工序的顺序及时间分布

进度总控^[3]作为支持大型项目最高决策层提供的咨询服务,从 2000—2016 年,已在国内 10 多个大型机场工程的总进度控制中发挥了重要作用.每个大型工程项目都是惟一的^[20],每个大型工程项目的关键线路也是不同的.但对于同个国家或地区的同类型的工程项目,比如机场航站楼来说,其关键线路可能是相似的^[11].本文主要针对航站楼的建造工期进行估算,一般以航站楼主楼桩基工程开始施工作为开始时点,以竣工验收合格作为完成时点.对航站楼的总控工序和顺序以及总控工序的时间进行分析的数据,来自于项目进度总控咨询成果、航站楼技术资料以及相关单位人员初步访谈结果等.

1.1 确定总控工序的顺序

我国的机场工程,参建单位(包括设计、勘察、施工、业主单位等)基本为国有企业的佼佼者,建造方法和水平大体相同.航站楼大部分都由 4 个分部工

程组成:主楼工程、指廊工程、登机桥固定端工程,以及楼前高架及相关市政道路工程.具体结构分解如图 1 所示.其中,每个分部工程又可以进一步分为土建工程和设备工程两个部分.通过对项目总控的咨询成果初步分析和相关总控人员的初步访谈,发现关键线路主要集中在主楼的相关工作,以及楼前高架及相关市政工程的工作.表 1 初步罗列出了航站楼主楼、楼前高架的土建工程的主要工作(标记为 A 类工序).设备工程包括建筑设备和系统(标记为 B1 类工序),以及机场专业设备和系统(标记为 B2 类工序)两个部分,其主要工作如表 2 所示,涉及的主要工作为专业设备的安装与调试.本文假设在专业设备安装调试之前所有的准备工作都已完成,即甲供专业设备的招标、深化设计、制作与到货等工作都不在关键线路上.

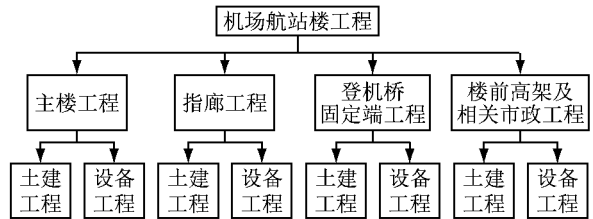


图 1 大型机场航站楼的主要项目结构分解(PBS)
Fig.1 Project breakdown structure (PBS) of airport terminal megaproject

表 1 航站楼主楼及楼前高架土建工程的主要工作
Tab.1 Major civil-engineering work of terminal main building and its trestle project

工作序号	总控工序名称
A1	主楼土建及建筑安装工程总承包、发包
A2	桩基工程施工
A3	主楼围护结构和土石方工程施工
A4	主楼基础和地下结构施工
A5	主楼上部混凝土结构施工
A6	主楼钢结构吊装工程(包括屋面钢网架)施工
A7	主楼屋面系统施工
A8	主楼主要幕墙施工
A9	航站楼二结构施工
A10	主楼楼内机电和弱电安装调试所需的相关供电系统安装与调试
A11	主楼装饰工程(公共区域和功能用房的主要装饰)施工
A12	楼前高架桥工程-桩基施工(与航站楼桩基同步)
A13	楼前高架桥主体结构施工(含补桩)
A14	楼前高架桥附属工程施工(道路、管道)
A15	楼前市政道路段的管道工程施工
A16	航站楼周边站坪管网工程施工
A17	主楼其他工程施工

在表 1 和表 2 所示的航站楼土建(A 类)和设备工程(B1 和 B2 类)的主要工作中,通过对多个机场航站楼的相关单位(业主、土建总包和设备厂商或设

备总包)进行第一轮访谈,确定总控工序的顺序,第一轮访谈主要包含两个问题:①从表 1 和表 2 中识别出航站楼工程的总控工序;②对识别出来的总控工序进行排序.问卷设计中,以工序之间的完成-完成(FE)时间关系作为排序的主要依据,如一个对土建工程总控工序的回复所示:A1→A2、A12→A3→A4→A5→A6→A7、A8、A10→A11→A17,其中“、”表示两个工序之间的并行关系,“→”表示两个工序之间为紧前和紧后工序关系.同时,对于专业设备的符号说明,如 B21 表示机场行李传输系统设备的安装与调试工作,B211 表示行李传输系统设备的安装工作,B212 表示行李传输系统设备的安装工作的单系统调试工作.

表 2 航站楼主楼设备工程的主要工作
Tab.2 Major work of equipment for terminal main building

设备类别	工作序号	总控工序名称
建筑设备和系统 B1	B11	楼内机电设备和系统安装总包招标(可并入土建总包招标)
	B12	楼内通风、空调系统(包括空调循环泵、多联机)
	B13	电梯(包括电梯、自动扶梯、自动人行道)
	B14	给排水系统(消防水泵(消防栓系统)、生活水泵、虹吸式屋面雨排水)
	B15	应急电源系统
	B16	照明系统(包括候机楼大厅照明、公共区域普通照明)
	B17	变配电系统(10 kV 干式变压器、10 kV 开关柜)
机场专用设备和系统安装与调试 B2	B21	行李传输系统
	B22	旅客登机桥
	B23	飞机泊位引导系统
	B24	飞机专用空调(含 400 Hz 电源)
	B25	安检系统
	B26	弱电系统(包括综合布线、BA 系统、消防报警、门禁系统、CCTV 系统、广播系统、智能照明)
	B27	信息集成系统(包括离港系统、航显系统等)
	B28	信息系统(移动通信、有线通信、安检信息、机场网络、机场内通、统计收费、呼叫中心)
	B29	楼内机房工程(航站楼运行中心(TOC)、站坪调度中心及飞行运行中心(ROC)、安防监控中心(SMC)、其他机房工程(DCR、SCR)等)

在对 12 家机场业主进行了“滚雪球”式访谈,得到相关的土建总包和机场专业设备的厂商或安装单位的联系方式,按照一家业主,发放 4~5 份问卷(业主项目管理人员 1 份,土建工程管理人员 1~2 份和专业设备管理人员 1~2 份).第一轮访谈共发放了 50 份问卷,回收 36 份,回收率为 72%. 回复的问卷中,其中 10 份来自机场的业主项目管理人员,18 份来自土建工程管理人员,8 份来自设备工程管理人

员.对第一轮问卷确定 7 种总控工序的顺序的汇总,分别对应图 2a~图 2g.表 3 为对第一轮问卷调查后确定的总控工序顺序的统计结果.

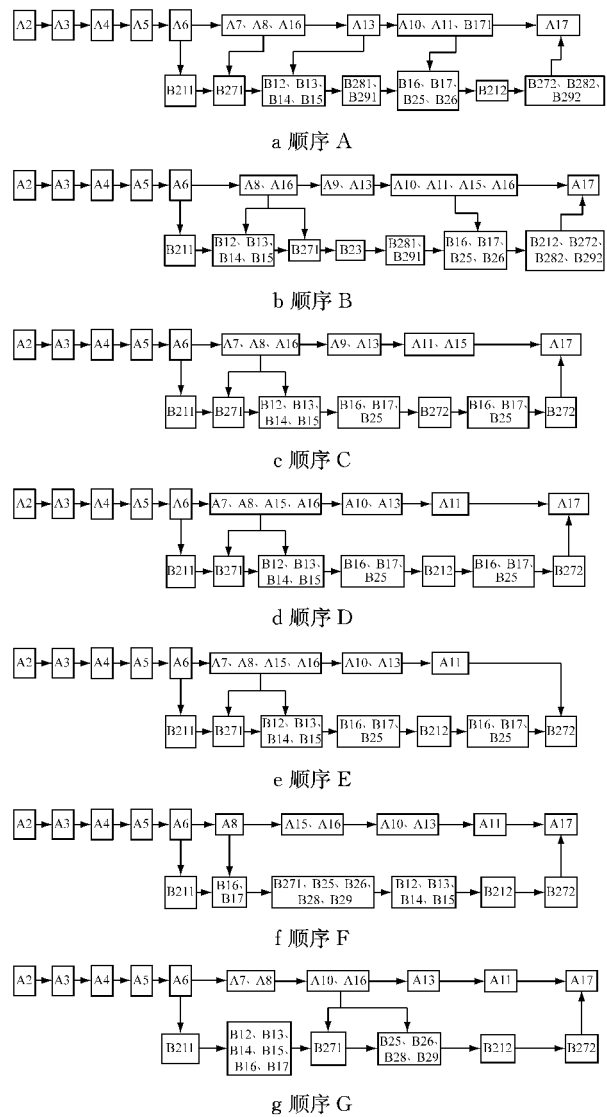


图 2 航站楼的总控工序

Fig.2 Controlling sequence for terminal megaproject

表 3 航站楼 7 种总控工序顺序的统计结果

Tab.3 Statistical results of seven controlling sequences for terminal megaproject

序号	总控工序顺序	频次	百分比/%
1	顺序 A	9	25.0
2	顺序 B	7	19.4
3	顺序 C	7	19.4
4	顺序 D	5	13.9
5	顺序 E	3	8.3
6	顺序 F	3	8.3
7	顺序 G	2	5.6

在统计结果的 7 种总控顺序中,前面 6 个总控工序的内容和顺序均相同(A1→A2→A3→A4→A5→A6),除了第 5 条线路,其余线路都是以 A17 作

为结束总控工序. 在中间的总控工序, 特别是土建工程与设备工程总控工序的交叉关系都不一样. 在估算总工期时, 如果把所有的 7 条线路都考虑进去, 不仅计算量大且耗时.

分析 7 条线路中总控工序的相互簇拥关系, 可以对相关工作进行合并简化运算: ① A7 屋面系统与 A8 幕墙系统为并行施工关系, 因此将两个工作合并为屋面系统与幕墙主要工作, 命名为 A8a; ② B12、B13、B14、B15 都为航站楼内的机电设备和系统工程, 可以合并为一类工作. 但 B16、B17 有时在 A11 (航站楼主楼装饰工程) 前完成, 有时在 A11 后完成, 且出现的概率相差不大. 进一步查看其工作内容, 可以发现在 A11 前完成的为与调试相关的供配电和照明系统, 在 A11 之后完成的部分为与调试无关的供配电和照明系统. 因此, 可将机电类设备与系统 B1 分为两个部分: 将在 A11 之前完成的与调试相关的供配电和照明系统, 命名为 B1a; 将与调试无关的机电设备和系统工程, 命名为 B1b. 同样, 在机场专业设备与系统部分, B25、B26、B28、B29 都为楼内的弱电信息设备, 可合并为一个工序 B2a. 每条线路都有 B21 行李传输系统与 B27 信息集成系统, 它们的安装与调试可单独分开为两个工序, 因此在机场专业设备安装与调试中, 这两个设备可能成为单独的关键线路. 综上所述, 结合每个总控工序的含义, 如图 3 所示, 为对总控工序顺序统计的整合分析结果, 共包含 4 条可能的关键线路.

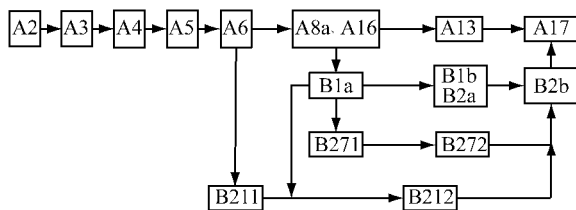


图 3 航站楼总控工序顺序统计的整合分析

Fig. 3 Integrating statistical analysis of controlling activity sequence of terminal megaproject

1.2 确定总控工序的未搭接时间

在识别并整合分析总控工序顺序的基础上, 本节主要研究确定总控工序的时间分布. 紧前、紧后工序可能会有搭接, 若搭接的时间不确定, 则总控工序的时间不确定, 整个建造工期也就不能直接估算. 借鉴类似的研究^[1], 本节调研未搭接部分的总控工序时间, 如图 4 所示, A 为紧前工序, B 为紧后工序, A 的持续时间为 t_1 , B 与 A 有一部分搭接, 按照规定调研其未搭接部分的时间为 t_2 . 第二轮访谈时也只考虑总控工序间的未搭接时间.

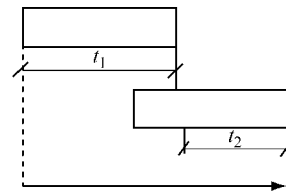


图 4 总控工序的未搭接部分时间

Fig. 4 Non-overlapping time between controlling activities

总控工序的时间取决于多种因素, 包括项目规模、项目投资、楼层建筑面积等. 对于每一个总控工序, 首先根据其工序特点概括影响总控工序时间的因素. 为简化运算, 提取其中一个代表性因素作为影响总控工序的决定变量. 同时, 为消除工程规模的影响, 以影响总控工序时间的决定变量为基数, 提出单位决定变量的总控工序时间.

下面分析总控工序的影响因素与决定变量. 航站楼主楼及楼前高架的桩基工序(A2)的建造时间, 取决于工程场地的地质及水文条件、桩基形式、桩长、打桩机数量、桩的总数量. 考虑大型机场工程通常为当地政府的重点工程, 其在资源获取、桩机及施工单位水平都会处于当地较高社会生产水平, 在这种条件下桩基工程的总时间主要取决于工程量. 因此, 选择工程总占地面积作为代表变量决定桩基工程施工的时间. 同样, 对于主楼围护结构和土石方工程(A3), 基础和地下结构(A4)的时间取决于场地条件、岩土参数、地下室防水、基础和地基基础设计等级、地下结构面积、基础和结构形式等, 综合考虑后选择土方工程量作为代表变量决定 A3, 选择地下建筑面积作为代表变量决定 A4 施工的时间. 按照同样的逻辑方式, 可以得到航站楼工程所有总控工序时间的决定因素, 如表 4 所示.

在确定了航站楼各个总控工序的顺序及各工序的时间决定变量后, 根据机场的基础资料(包括工程可行性研究、初步设计等), 可以统计出国内 12 个大型机场航站楼的总控工序时间的基础数据. 在此基础上, 进行第二轮访谈, 用以确定总控工序间的未搭接时间. 第二轮访谈仍然发放了 50 份问卷, 回收 31 份, 回收率为 62%. 表 5 是对第二轮问卷访谈回复的统计结果(示例). 其中, 由于桩型不同, 桩基工程的施工效率也不同. 统计结果表明, 大多数航站楼主楼下面使用的是钻孔灌注桩, 因此将另外两种桩型(预应力混凝土管桩、人工挖孔桩), 进行施工效率转换为钻孔灌注桩. 通过询问访谈对象, 单位预应力混凝

土管桩的施工效率是单位钻孔灌注桩的施工效率的 2 倍,而单位人工挖孔桩的施工效率是单位钻孔灌注桩的施工效率的 1/3. 由此,将预应力混凝土管桩、人工挖孔桩按此施工效率比值,统一转换为钻孔灌注桩的施工时间.

在确定了总控工序的顺序以及总控工序的时间之后,对单位决定变量的总控工序时间数据,利用软件 Crystal Ball 进行时间分布拟合. 为了消除项目规模对总控工序时间分布的影响,对单位决定变量的总控工序时间序列,利用 Crystal Ball 进行多种拟合优度分析 (Anderson-Darling, AD) 检验、卡方 (χ^2) 检验、柯尔莫哥洛夫及斯米尔诺夫检验 (Kolmogorov-Smirnov, 简称 K-S) 检验), 通过 Crystal Ball 的拟合功能对比相关参数, 自动确定可能关键线路工期的最佳分布. 每个总控工序的时间分布类型以及各分布对应的重要参数, 如表 6 所示.

表 5 第二轮访谈的航站楼总控工序间未搭接时间汇总 (示例)

Tab.5 Summary of non-overlapping time between controlling activities for terminal buildings from second survey (response examples)

总控工序的未搭接时间/月													
被访者序号	A2 航站楼及楼前高架桩基工程	A3 主楼围护结构和土石方工程	A4 主楼基础和地下结构工程	A5 主楼上部混凝土结构工程	A6 主楼钢结构吊装工程	A8a 主楼屋面系统和主要幕墙工程	B1a 主楼供电系统安装及调试	A11 主楼装饰工程	A16 航站楼周边站坪管网工程	B21 行李系统集成系统安装及调试	B27 信息集成系统现场安装及调试	B2b 弱电类设备和系统联调	A17 主楼其他工程
1	4.0	5.0	5.0	4.0	7.0	4.0	4.0	8.0	4.0	9.0	11.0	4.0	0.4
2	4.5	4.5	4.0	6.0	4.0	4.0	7.0	4.0	8.0	9.0	4.0	1.0	4.0

表 6 单位决定变量的总控工序时间分布表 (土建部分示例)

Tab.6 Time distribution of controlling activity under its single per representative factor (part of the civil section)

工序序号	分布类型	参数
A2	对数正态	平均值=1.146 24, 标准偏差=0.527 67, 位置=0.620 98
A3	对数正态	平均值=0.879 45, 标准偏差=0.707 68, 位置=0
A4	对数正态	平均值=5.240 79, 标准偏差=3.809 19, 位置=1.234 15
A5	对数正态	平均值=0.408 82, 标准偏差=0.202 54, 位置=0.041 39
A6	对数正态	平均值=9.931 06, 标准偏差=12.222 38, 位置=1.955 4
A8a	对数正态	平均值=0.965 75, 标准偏差=0.424 03, 位置=0.341 98

2 可能关键线路的工期模拟分布模型

在各个总控工序的未搭接时间的分布确定之后,按照第一轮访谈后确定的总控工序顺序(见图

表 4 航站楼总控工序时间的技术影响因素与决定变量

Tab.4 Technical influencing factors and single representative factor on controlling activity time

工作序号	决定变量
A2	占地总面积、桩机类型
A3	土石方工程量
A4	地下建筑面积
A5	地上建筑面积
A6	用钢量
A8a	屋面面积+幕墙面积
A13	总建筑面积+立面面积
A16	航站楼周长
A17	其他工程占总工期百分比
B1a	调试用电设备容量
B1b	总用电设备容量
B21	旅客吞吐量
B27	机房面积
B2a	总用电设备容量
B2b	专业系统种类

3),对获得的各个总控工序时间的随机变量进行组合,形成单位决定变量的可能关键线路的工期分布,包括形成对土建及建筑安装工程的两条可能关键线路的工期模拟分布,以及设备安装及调试工程的两条可能关键线路的工期模拟分布.

2.1 土建及建筑安装工程的工期分布

由图 3 可知,土建及建筑安装工程有两条可能关键线路,分别是:

可能关键线路 1

A2→A3→A4→A5→A6→A8a. A16→A11→A17

可能关键线路 2

A2→A3→A4→A5→A6→A8a. A16→B1a→B1b. B2a→B2b→A17

通过将可能关键线路所在工序的随机变量,按照关键线路的顺序进行组合,即通过求得多个随机变量和的分布,求得各可能关键线路的工期分布. 在进行拟合分布之前,由于不同的总控工序的单位是不同的,需要首先进行总控工序时间的量纲一化处

理.接着,对处理过的总控工序的时间序列,利用 Crystal Ball 对土建及建筑安装工程共两条可能关键线路的工期进行分布拟合,其工期模拟分布图及关键参数见表 7.

2.2 设备安装及调试工程的工期分布

由图 3 可知,专业设备安装及调试工程是与土建工程进行搭接进行的,主要有以下两条可能关键线路:

可能关键线路 3

A2→A3→A4→A5→A6→A8a, A16→B1a→

B27→B2b→A17

可能关键线路 4

A2→A3→A4→A5→A6→B21→B2b→A17

按照同样的方法,通过多个随机变量和的分布,利用 Crystal Ball 对专业设备安装及调试工程的两条可能关键线路的工期进行分布拟合,其工期模拟分布图及关键参数见表 7.

3 案例应用分析

在确定了 4 条可能关键线路的工期分布后,下面通过输入案例项目的基础数据,利用 Crystal Ball

对 4 条可能关键线路中工期最长的关键线路的工期进行蒙特卡洛模拟,得到航站楼总建造工期的分布.

表 7 可能关键线路的工期拟合分布及主要参数

Tab.7 Duration fitting distribution of four possible critical paths and their main parameters

可能关键线路名称	分布类型	参数
可能关键线路 1	Beta	最小值=2.229 05, 最大值=5.995 9, Alpha=0.785 47, Beta=2.643 95
可能关键线路 2	Beta	最小值=2.367 44, 最大值=6.865 25, Alpha=0.898 21, Beta=2.348 18
可能关键线路 3	Beta	最小值=1.807 05, 最大值=7.484 59, Alpha=1.777 28, Beta=6.124 18
可能关键线路 4	Beta	最小值=2.661 11, 最大值=8.046 52, Alpha=0.795 57, Beta=2.346 09

3.1 案例概况

选取国内已完工并已顺利投入运营的 3 个大型机场航站楼作为案例项目.这 3 大机场分别是虹桥机场扩建工程(简称为虹桥 T2 航站楼)、南京禄口机场二期工程(简称为禄口 T2 航站楼)、深圳宝安机场扩建工程(简称为宝安 T3 航站楼).表 8 总结了 3 个案例项目的基本信息,所选取的 3 个案例项目在主楼部分的桩基形式都为钻孔灌注桩,因此不需要进行施工效率的转换.

表 8 案例航站楼的项目基本信息

Tab.8 Project basic information of the case terminals

机场名称	总投资/亿元	旅客吞吐量/万人次	桩基形式	占地面积/万m ²	总建筑面积/万m ²	地上建筑面积/万m ²	地下建筑面积/万m ²	土石方工程量/万m ³	地上高度/m	用钢量/万t	周长/m	用电设备容量/kW	设备用房面积/m ²	实际总工期/月
虹桥 T2 航站楼	135.3	3 000	钻孔灌注桩	9.28	25.00	22.23	2.77	272.5	21.47	2.69	951.0	41 504.79	5 273.92	32.0
禄口 T2 航站楼	99.08	3 000	钻孔灌注桩	7.54	23.39	21.87	1.52	637.66	39.25	1.47	870.0	37 150.00	4 933.67	34.0
宝安 T3 航站楼	217.8	4 500	钻孔灌注桩	16.74	45.10	40.10	5.00	2 649.28	46.80	0.85	2 265.8	74 874.65	9 514.16	38.5

3.2 航站楼建造总工期模拟计算与分析

下面将利用航站楼可能关键线路工期分布模型,通过输入案例项目的基础数据,并借用 Crystal Ball 的仿真模拟功能,输出案例项目的总工期分布模型.

虹桥 T2 航站楼的总工期模拟分布图如图 5 所示.该分布为逻辑斯谛分布.通过统计值可以看出,该分布的平均值和标准方差分别为 33.8 个月和 2.6 个月.该总工期分布表明,虹桥 T2 航站楼最早可能在 26.1 个月内完工,最晚可能 48 个月完工.对比实际工期(32 个月),其处在该总工期分布的平均工期的一个标准偏差内(31.2~36.4 个月).因此,这些统计数据说明该模拟计算模型,可以合理地预测出

虹桥 T2 航站楼的总工期.

同理,可利用 Crystal Ball 的仿真模拟功能,输出禄口 T2 航站楼和宝安 T3 航站楼的总工期模拟分布图,如图 6 和图 7 所示.通过统计值可以看出,禄口 T2 航站楼的实际工期(34 个月)和宝安 T3 航站楼的实际工期(38.5 个月),都落在了各自总工期分布的平均工期的一个标准偏差内.因此,这些统计数据说明该模拟计算模型,也合理地预测出禄口 T2 和宝安 T3 航站楼的总工期.

3 个案例机场航站楼总工期的模拟分布及其参数,如表 9 所示.综上所述,通过以上 3 个案例航站楼的统计数据与实际总工期的对比,说明了估算模型预测出的航站楼建造总工期分布具备可靠性和科

学性.

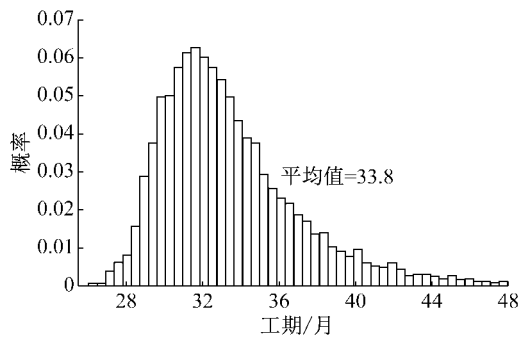


图 5 虹桥 T2 航站楼的总工期模拟分布

Fig. 5 Duration simulation distribution for terminal megaproject of Shanghai Hongqiao Airport

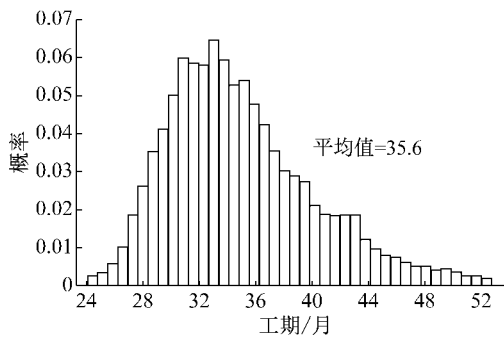


图 6 禄口 T2 航站楼的总工期模拟分布

Fig. 6 Duration simulation distribution for terminal 2 megaproject of Nanjing Lukou Airport

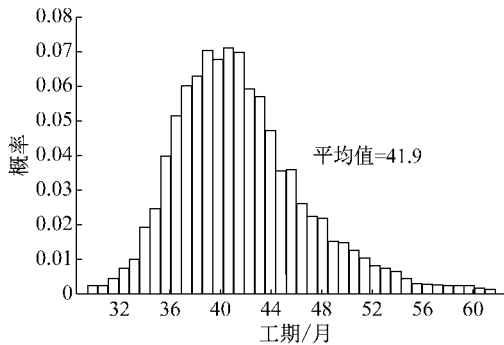


图 7 宝安 T3 航站楼的总工期模拟分布

Fig. 7 Duration simulation distribution for terminal megaproject of Shenzhen Baoan Airport

表 9 案例航站楼的建造总工期分布及主要参数

Tab.9 Duration simulation distribution and main parameters of case terminal megaproject

航站楼名称	模拟分布类型	主要参数	实际工期/月
虹桥 T2 航站楼	逻辑斯谛分布	平均值为 33.8 标度为 9.8	32.0
禄口 T2 航站楼	逻辑斯谛分布	平均值为 35.6 标度为 4.6	34.0
宝安 T3 航站楼	学生 T 分布	中点为 41.9 标度为 11.9 自由度为 2,760 37	38.5

4 结论与展望

4.1 结论与不足

针对大型机场航站楼的工作活动繁多,建造总工期估算不准确的问题,提出了一个基于总控工序的航站楼总工期估算模型.首先,确定大型机场航站楼的总控工序及其施工顺序,然后通过总控工序的未搭接时间序列,拟合出航站楼的 4 条可能关键线路的工期分布.最后通过 3 个已完工的航站楼工程作为案例,验证估算模型的可靠性和科学性.因此本文的主要理论意义在于:基于多个机场案例数据提出的航站楼总工期估算模型,弥补了 BTC 及其改进模型对不确定性及风险因素考虑不周的缺陷,也弥补了以往工期估算模型应用性不强的不足,简化了传统风险计划方法评估大型工程工期的繁复工作.

不同的建造方法和施工技术会极大地影响航站楼总工期的建造时间,比如在郑州新郑机场的航站楼建造中使用了逆作法施工,即地上、地下同时施工.虽然该方法相比于传统施工方法,可以压缩整个航站楼总工期的 25%~30%^[22],但同时也增加了施工过程中的安全、质量控制难度以及总投资.因此,在对于航站楼的总工期估算时,一方面需要考虑航站楼建造过程中使用的典型建造方法;另一方面也需要考虑近年来建造方法的进步,特别是新技术、新工艺、新材料的普遍采用对工期的影响,需与时俱进地将这类新技术归为典型建造方法,从而增强估算模型的可靠性和适用性.

4.2 展望

大型机场工程项目的建设是一个项目集,包含了航站区工程、飞行区工程、综合配套工程等.航站楼只是航站区工程的一个子项目,估算出航站楼单体工程的工期只是整个大型机场项目总工期的一部分.因此,准确而可靠地估算大型机场的总工期,需要考虑下面两个主要问题:① 估算大型机场工程中的其他单体项目的工期;② 将多个单体工程的工期整合在一起,形成大型机场工程的总工期,评价各个单体之间的界面对总工期目标的影响,这些是未来需要重点解决的问题.

参考文献:

[1] 发展改革委固定资产投资司.截至 2016 年 7 月底 11 大类重大工程包进展情况 [EB/OL]. (2016-09-14) [2016-10-18]. <http://www.sdp.gov.cn/fzgggz/gdzctz/tzgz/201609/>

- t20160914_818441.html.
Department of Fixed Asset Investment of National Development and Reform Commission. Progress of 11 major category megaprojects up to the end of July 2016[EB/OL]. (2016-09-14)[2016-10-18]. http://www.sdpc.gov.cn/fzgggz/gdzctz/tzgz/201609/t20160914_818441.html.
- [2] 毛如麟, 贾广社. 建设工程社会学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.
MAO Rulin, JIA Guangshe. Sociology of construction[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2011.
- [3] 贾广社, 王广斌. 大型建设工程项目总控模式研究[J]. 土木工程学报, 2003, 36(3): 7.
JIA Guangshe, WANG Guangbin. Study on project controlling model for the large AEC project in China[J]. China Civil Engineering Journal, 2003, 36(3): 7.
- [4] BROMILOW F J. Contract time performance expectations and reality [J]. Build Forum, 1969, 1(3): 70.
- [5] KAKA A, PRICE A. Relationship between value and duration of construction projects [J]. Constr Manage Econ, 1991, 9(4): 383.
- [6] WALKER D. An investigation into construction time performance [J]. Constr Manage Econ, 1995, 13(3): 263.
- [7] LOVE P, TSE R, Edwards D. Time-cost relationships in Australian building construction projects [J]. J Constr Eng Manage, 2005, 131(2): 187.
- [8] LE HOAI L, LEE Y. Time-cost relationships of building construction project in Korea [J]. Facilities, 2009, 27(13/14): 549.
- [9] JARKAS A M. Predicting contract duration for building construction: is bromilow's time-cost model a panacea? [J]. Journal of Management in Engineering, 2016, 32(1): 1.
- [10] HOFFMAN G, THAL A, WEBB T, *et al.* Estimating performance time for construction projects [J]. J Manage Eng, 2007, 4(193): 193.
- [11] NGUYEN L D, PHAN D H, TANG L M. Simulating construction duration for multistory buildings with controlling activities [J]. Journal of Construction Engineering & Management, 2013, 139(8): 951.
- [12] SKITMORE R M, NG S T. Forecast models for actual construction time and cost [J]. Build Environ, 2003, 38(8): 1075.
- [13] MCCRARY S W, LESLIE D. Validation of project time decision-support tools and processes [J]. J Ind Technol, 2007, 23(2): 2.
- [14] 刘永强, 邱云昌, 姚悦铃. 基于蒙特卡罗模拟仿真的工期估算 [J]. 工程管理学报, 2014(5): 88.
LIU Yongqiang, QIU Yunchang, YAO Yueling. Project duration estimate based on Monte Carlo simulation [J]. Journal of Engineering Management, 2014(5): 88.
- [15] BESNER C, HOBBS B. The perceived value and potential contribution of project management practices to project success [J]. Proj Manage J, 2006, 37(3): 37.
- [16] American Association of Cost Engineers (AACE). Integrated cost and schedule risk analysis using Monte Carlo simulation of a CPM model [Z]. Morgantown: AACE, 2011.
- [17] 祁神军, 丁烈云, 骆汉宾. 大型工程项目工序工期精准预测方法研究 [J]. 重庆建筑大学学报, 2007(6): 141.
QI Shenjun, DING Lieyun, LUO Hanbin. Study on large construction processes duration forecasting [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007(6): 141.
- [18] SALET W, BERTOLINI L, GIEZEN M. Complexity and uncertainty: problem or asset in decision making of mega infrastructure projects? [J]. Int J Urban Reg Res, 2013, 37: 1984.
- [19] AHMADIAN F, AKBARNEZHAD A, RASHIDI T, *et al.* Accounting for transport times in planning off-Site shipment of construction materials [J]. J Constr Eng Manage, 2016, 142(1):
- [20] FLYVBJERG B. What you should know about megaprojects and why: an overview [J]. Social Science Electronic Publishing, 2014, 45(2): 6.
- [21] 中国建筑工程总公司. 中国建筑两项新技术可大幅节能降耗缩短工期[EB/OL]. (2015-05-27)[2016-10-18]. <http://www.sasac.gov.cn/n86114/n326638/c1912641/content.html>.
China State Construction Engineering. Two new technologies of CSCE can significantly reduce energy consumption and shorten the construction period [EB/OL]. (2015-05-27)[2016-10-18]. <http://www.sasac.gov.cn/n86114/n326638/c1912641/content.html>.