

# 引入偏离度概念的变电站施工进度估计 BIM 模型设计

朱劲磊<sup>1</sup>, 谢剑翔<sup>1</sup>, 梁均海<sup>2</sup>, 张继<sup>3</sup>

(1. 广东电网有限责任公司广州供电局, 广东 广州 510000;

2. 广东天广能源科技发展有限公司, 广东 广州 510000;

3. 南方电网大数据服务有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:**施工进度估计是对整体施工过程的预测。因变电站施工现场复杂性较高, 影响因素较多, 导致施工进度不理想、施工进度延迟较大。为此, 设计基于 BIM 模型的变电站施工进度估计模型。汇总出影响变电站施工的主要因素后, 在进度估计模型中充分考虑施工进度影响因素的影响度, 以及进度估计的偏离度, 计算模型可靠度以及回归函数, 最终运用 BIM 技术将所有估计模型的项目相关数据以及资源分布集成, 得出最具说服力的施工进度估计结果。实验结果表明, 所设计模型的施工进度估计偏差小、估计效果好。

**关键词:** BIM 模型; 变电站; 最小二乘法; 施工进度估计; 估计模型

中图分类号: TP391; TU712 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)04-0174-04

## BIM Model Design of Substation Construction Progress Estimation by Introducing the Concept of Deviation Degree

ZHU Jin-lei<sup>1</sup>, XIE Jian-xiang<sup>1</sup>, LIANG Jun-hai<sup>2</sup>, ZHANG Ji<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510000 China;

2. Guangdong Tianguang Energy Technology Development Co., Ltd., Guangzhou 510000 China;

3. China Southern Power Grid Big Data Service Co., Ltd., Guangzhou 510000 China )

**Abstract:** The construction progress estimation is a prediction of the overall construction process. Due to the high complexity of the substation construction site and many influencing factors, the construction progress is not ideal and the construction progress is delayed greatly. Therefore, a substation construction schedule estimation model based on BIM model is designed. After the main factors affecting the substation construction are summarized, the influence degree of the factors affecting the construction progress and the deviation degree of the progress estimation are fully considered in the progress estimation model, and the model reliability and regression function are calculated. Finally, the BIM technology is used to integrate the project related data and resource distribution of all the estimation models to obtain the most convincing construction progress estimation results. The experimental results show that the deviation of construction schedule estimation of the designed model is small and the estimation effect is good.

**Keywords:** BIM model; substation; least squares method; construction progress estimation; estimation model

## 0 引言

经济的发展, 推动了电力系统的进步, 变电站的数量日益增多, 为了保证项目的质量、优化施工进度、提升施工效率, 需要对施工进度进行估计。变电站施工进度估计是指在电气施工过程中, 根据工期要求进行预测的方法。变电站施工进度估计结果将直接关系到整个工程项目的经济效益<sup>[1-2]</sup>。因此, 估计变电站施工进度具有重要意义。

Kurniady D A<sup>[3]</sup>等设计了一种新的评估模型, 通过比较项目进度和计划值, 在不同的风险情况下评估建设

项目的进度。利用输入指标的绩效、时间、工作进度和成本, 得到输入因子的实际值, 并与初始数据进行比较, 获取评估结果。但该模型在对变电站施工进度估计过程中没有汇总相关影响因素, 未能充分考虑影响施工速度的主要原因, 进度估计结果过于理想化, 不能确保实际进度与估计进度一致, 导致施工成本以及施工时间等超标, 施工进度估计易产生偏差。刘伟军<sup>[4]</sup>等统计出影响变电站进度的所有因素, 在此基础上利用 RBF 神经网络技术设计出变电站工程日进度完成预测模型, 结合以往项目完成度的相关数据, 得出变电站施工进度估计结果, 实现变电站施工进度估计。该方法在实际运算过程中没有计算每种因素的影响度, 仅仅得出影响施工进度估计的影响

\*基金项目: 广东电网有限责任公司项目 (2020GX004511)

收稿日期: 2023-10-10

因素,不能按照顺序计算每种影响因素的影响程度,极有可能忽略某个影响较大的因素,模型的可靠性较低。

为了解决上述方法中存在的问题,提出基于BIM模型的变电站施工进度估计模型设计方法。经研究发现BIM技术(建筑信息模型)可呈现信息化建筑模型,使得施工人员可视化变电站施工进度,有效提高变电站施工进度估计精度。首先汇总影响施工进度的因素,然后通过计算偏离度、可靠度构建施工进度的回归模型,得出施工进度估计值,最后基于BIM技术将所得数据集成处理,提高估计结果的准确性。

## 1 变电站施工影响因素汇总

变电站周围环境复杂,影响施工进度的因素较多<sup>[5]</sup>,但经总结可归纳成八大因素,分别是人为因素、物资供应、资金成本、施工技术、人员管理、施工环境、工程设计以及风险因素,经详细分析和统计得出影响因素的总结结果,如表1所示。

表1 变电站进度影响因素汇总表

编号	影响因素第一级	影响因素第二级
1	施工技术	变电站施工相关技术、策略以及安全措施
2	物资供应	建筑材料的质量、数量、及时性以及合格率
3	风险因素	经济、技术以及自然灾害等风险
4	人为因素	业主、建筑工人、监理以及政府等要求
5	人员管理	施工人员管理以及各个部门的协调能力
6	工程设计	变电站设计变化
7	施工环境	变电站施工周围环境以及社会环境
8	资金成本	变电站工程款支付

## 2 变电站施工进度估计模型设计

### 2.1 变电站施工进度估计模型的偏离度计算

假设变电站施工估计进度为 $Q_Y$ ,经过分解得到无数个变电站估计进度单元 $Q_Y^{(e)}$ ,两者之间的联系用下列表达式描述:

$$Q_Y = \sum Q_Y^{(e)} \quad (1)$$

根据式(1)得出变电站施工进度估计模型逻辑结构图,如图1所示。

设变电站施工目标是 $Q_M$ ,则施工估计进度与施工目标偏离度的计算公式为:

$$S = Q_M - Q_Y \quad (2)$$

偏离度通常分为以下三种情况。

(1) 偏离度大于零,即 $S > 0$

此时代表实际进度较估计进度快,会提前完成变电站施工项目。

(2) 偏离度等于零,即 $S = 0$

此时的实际施工进度与估计进度完全一致,可按时完成项目。

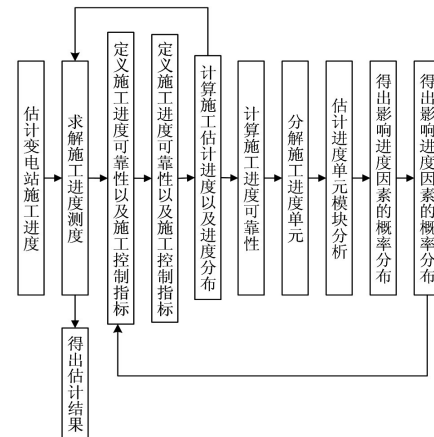


图1 变电站施工进度估计模型逻辑结构图

(3) 偏离度小于零,即 $S < 0$

此时的实际施工进度较估计进度有所延迟,无法完成施工目标。

### 2.2 估计模型设计

每种影响因素的实际影响度需要通过综合测评后获取,将影响度标记为 $\beta$ ,其绝对值通常小于1。则变电站施工进度估计数据模型为:

$$Q_Y(v) = \beta(v)Q_M + Q_M = Q_M(\beta(v) + 1) \quad (3)$$

式中, $v$ 代表某一个影响因素。

变电站施工进度估计计算过程中还需要确定其中的影响因素,在不同的环境下影响因素不同,因为在变电站施工进度估计数学模型中需要考虑到单个影响因素下的进度估计模型<sup>[6]</sup>,其中影响度的计算表达式为:

$$\beta(v) = \chi - nv \quad (4)$$

式中, $\chi$ 代表微量, $n$ 代表影响因素系数。

考虑到单个影响因素后的变电站施工估计进度计算模型为:

$$Q_Y = Q_M(\beta(v) + 1) = Q_M(\chi + 1 - nv) \quad (5)$$

在实际应用过程中施工影响因素是具有随机性的,所以无论是影响度 $\beta$ 还是施工估计进度 $Q_Y$ 均是随机变量。

设置出一个施工进度功能函数,其表达式为:

$$F = Q_M - Q_Y \quad (6)$$

关于施工进度功能函数的结果分为三种情况,分别为:

(1) 第一种, $F > 0$

这种情况下说明变电站施工进度状态较为可靠。

(2) 第二种, $F = 0$

这种情况下说明变电站施工进度状态较为极限状态。

(3) 第三种, $F < 0$

此种情况下的变电站施工进度预测状态是失效状态<sup>[7]</sup>。

经推导发现变电站的估计进度状态可分为可靠状态以及失效状态,两种状态分别对应两种概率,分别为可靠概率以及失效概率,设可靠概率为 $P_s$ ,失效概率为 $P_t$ ,在可靠

性指标 $\gamma$ 的帮助下得出估计进度的可靠程度,其表达式为:

$$\kappa_z = \frac{\gamma}{(P_s - P_t)} \quad (7)$$

通常情况下,可靠性指标 $\gamma$ 与失效概率结果具有相对性,即可靠性指标 $\gamma$ 值越大,则失效概率 $P_t$ 结果越小,则变电站进度估计准确性越高。

为了进一步保证变电站施工进度估计效果,可将影响因素设置到二级,此时施工进度回归模型为:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i x_i + \mu \quad (8)$$

式中, $x_i$ 代表第*i*个自变量, $\varepsilon_i$ 代表偏回归系数, $\mu$ 代表排除自变量影响后的任意误差,即扰动项。

通过上述求解出的施工估计模型以及最小二乘法<sup>[8-9]</sup>计算出每种施工进度影响因素的偏差回归系数,进而生成施工工期的估计值,其计算公式为:

$$\hat{Q}_n = \varepsilon_i x_i + \varepsilon_{i+1} x_{i+2} + \dots + \varepsilon_{i+n} x_{i+n} + \mu \quad (9)$$

式中, $\hat{Q}_n$ 代表变电站施工中第*n*个工序的估计工期结果。

将变电站施工估计值与施工工期估计值相结合即可得出变电站施工进度估计结果。

### 2.3 基于BIM技术的施工进度估计模型集成

集成的意义在于将所有可估计变电站施工进度的主要方法进行集合,得到最具实质性的施工进度估计模型,

集成系统实际上就是整个施工进度模型的构建集合,集成后的施工进度模型会得到更加准确的进度估计结果,集成管理也可理解成对某一特定对象的集成活动进行匹配等,进而有效控制整个模型,达到整合增效的目的。

集成系统<sup>[10]</sup>具有功能倍增性、整体优化性以及相容性的优点,在此基础上利用BIM技术进行施工进度模型的集成。

BIM技术相当于一个系统管理平台<sup>[11]</sup>,在BIM施工管理系统中,用户可直接获取某一个施工项目的开始时间以及持续时间等相关施工数据,在BIM平台中项目的实际完成时间需要用户手动输入,进而得出针对施工进度的影响因素,并采取相应措施。

施工进度估计模型主要利用计算机程序完成作业,在BIM系统的后台完成估计模型的集成,从而求解出影响施工项目进度的主要因素以及施工进度的预测等<sup>[12-13]</sup>,在BIM技术的帮助下最大程度地提升了施工进度的管理水平。

基于BIM技术的变电站施工进度估计集成主要是利用数据库以及施工项目相关动态数据的交互技术,或者人机交互技术获取每个变电站施工进度估计模型的项目相关数据以及资源分布,以此对施工进度数据进行整合,获取最全面准确的变电站施工进度估计结果。

基于以上分析得出基于BIM技术的变电站施工进度估计流程如图2所示。

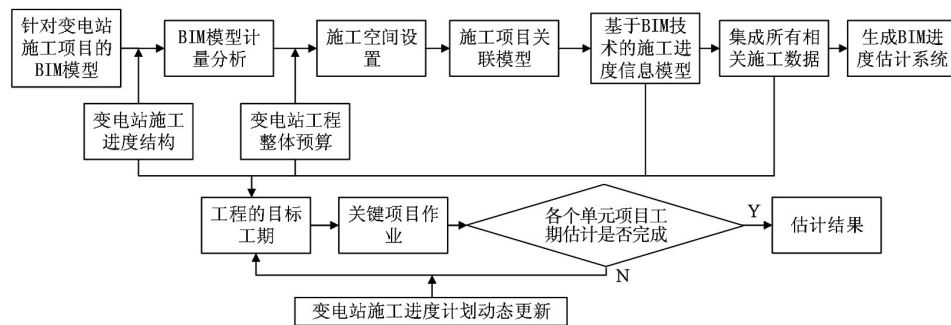


图2 基于BIM的变电站施工进度估计流程图

## 3 实验结果与分析

为了验证基于BIM模型的变电站施工进度估计模型的整体有效性,现对所设计模型、文献[3]模型和文献[4]模型,进行施工进度估计测试,测试结果如下所示。

### 3.1 施工进度估计效果分析

变电站在实际建造过程中对周围的环境以及气候的要求较高,需要实时探测施工进度并估计出施工工期,可有效控制成本预算,高效完成施工项目。

以秦岭北口的某一变电站施工现场为实验地点,对近期的施工相关数据进行统计。选取施工现场中的五组施工项目,利用三种模型估计施工进度。进度绩效指数(Schedule Performance Index, SPI)是衡量变电站施工进度绩效的基本指标。当 $SPI < 1$ 时,表示实际施工进度

低于估计进度;当 $SPI > 1$ 时,表示实际施工进度高于估计进度;当 $SPI = 1$ 时,表示实际施工进度与估计进度相符,此时的估计效果最好。

分别计算每种模型在不同项目下的施工进度估计效果,实验结果如图3所示。

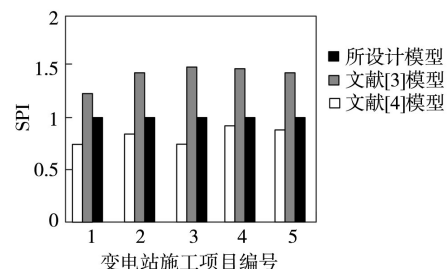


图3 三种模型的施工进度绩效指数分析

从图3的实验结果可以看出,针对不同的施工进度估计模型,估计效果也有所不同。对比三种模型在每组实验下得出的SPI值可知,文献[3]模型的SPI值大于1,说明该模型的估计进度较滞后;文献[4]模型的SPI值小于1,说明估计进度较提前;而所设计模型的SPI值等于1,说明所设计模型对施工进度的估计效果最好,可有效估计变电站施工进度。

由于所设计模型在估计变电站施工进度过程中对变电站施工影响因素进行了汇总,得出主要影响变电站施工进度的因素,在估计进度时充分考虑每种因素的影响程度,从而确保施工进度估计效果。

### 3.2 施工进度估计偏差分析

为了进一步验证三种模型的施工进度估计偏差值,利用所设计模型、文献[3]模型和文献[4]模型进行对比实验,测试6个月内,三种模型的施工进度完成量的估计偏差,如图4所示。

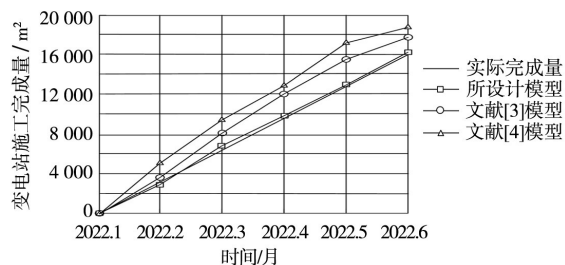


图4 三种模型的施工进度完成量偏差对比

由图4可知,三种模型的估计值均与实际施工完成量有所偏差。但所设计模型的估计值与实际施工完成量最接近,而文献[3]模型和文献[4]模型的估计值与实际完成量偏差较大。证明所设计模型的估计偏差最小。

## 4 结束语

大型施工现场中进度计划是工期控制的主要手段,项目中每种工序的进度估计精确程度直接影响变电站的进度控制,施工现场中各种外界干扰因为导致进度估计结果出现随机性以及模糊性,大型的施工现场存在多个阶段,因此每个工程需要投入大量的时间、精力以及财力,准确估算每个阶段的进度是加强整个工程效率的最优方法,设计基于BIM模型的变电站施工进度估计模型。汇总针对变电站施工的影响因素后,构建变电站施工进度估计模型,在BIM平台的帮助下集成所有模型,实现变电站施工进度估计,解决了施工进度估计偏差大以及估计效果不理想的问题。

### 参考文献:

[1] Sabillon C,Rashidi A,Samanta B,et al.Audio-based bayesian model for productivity estimation of cyclic construction activities[J].Journal of computing in civil engineer-

ing,2020,34(1):04019048.

[2] 李志宏,张书林,周鸿喜,等.基于大数据的数字化系统一体化调度信息集成模型[J].自动化技术与应用,2024,43(1):117-120.

[3] Kurniady D A,Komariah A,Huynh T H,et al.Construction project progress evaluation using a quantitative approach by considering time,cost and quality[J].International Journal of Industrial Engineering and Management,2022,13(1):49-57.

[4] 刘伟军,廖可懿.基于RBF神经网络的施工进度日计划完工率预测模型[J].土木工程与管理学报,2020,37(4):46-51.

[5] 刘天雄,陈辉华,李瑚均.复合地层盾构施工安全影响因素及安全事故致因机理[J].铁道科学与工程学报,2020,17(1):266-272.

[6] 赵梦琦,余佳,任炳显,等.地下洞室群施工进度纠偏的SD-DES模型[J].水力发电学报,2021,40(8):112-123.

[7] Manconi A.How phase aliasing limits systematic space-borne DInSAR monitoring and failure forecast of alpine landslides[J].Engineering Geology,2021(287):106094.

[8] 汤力,梁国迪,王菁,等.基于机器视觉技术的表单图像缺陷矫正及自动识别方法[J].自动化技术与应用,2024,43(10):52-55,138.

[9] 陶玉潘,余旌胡,丁义明.指数混合模型非线性最小二乘法的参数分辨率探讨[J].统计与决策,2020,36(17):24-27.

[10] Jeon S U,Noh J,Kang S,et al.Practical power management of PV/ESS integrated system[J].IEEE Access,2020(8):189775-189785.

[11] 兰峰涛,刘占省,李翰卿,等.基于BIM技术的轨道交通施工过程管理平台开发及应用[J].建筑技术,2021,52(6):706-709.

[12] 袁建霞.基于BIM正向设计的博物馆梁结构自动识别方法[J].自动化技术与应用,2023,42(4):146-149.

[13] 王天兴,张继勋,任旭华,等.基于BIM技术的水工隧洞施工进度仿真研究[J].长江科学院院报,2020,37(11):149-155.

[14] van der Krogt M G,Schweckendiek T,Kok M.Improving dike reliability estimates by incorporating construction survival[J].Engineering Geology,2021(280):105937.

作者简介:朱劲磊(1991-),男,本科,工程师,研究方向:高电压与绝缘技术、柔直换流阀技术、设备检修维护与电网全生命周期资产管理的研究与实践。