

基于改进关键链技术的抽水蓄能电站项目施工进度计划研究

陈朝阳

中国三峡新能源（集团）股份有限公司 北京 101100

摘要：随着能源结构的调整和优化，抽水蓄能电站工程作为重要的能源调节方式，其建设进度管理的重要性日益凸显。抽水蓄能电站工程具有规模大、技术复杂、建设周期长等特点，其进度管理的有效性直接关系到工程的质量和效益。关键链技术作为一种先进的项目管理方法，其在抽水蓄能电站工程中的应用，可以进一步提高工程进度管理的科学性和实效性。本文通过分析关键链技术在抽水蓄能电站工程中的应用，探讨了改进关键链技术在工程施工进度管理中的实际效果，以期为类似工程提供参考和借鉴。

关键词：关键链技术；抽水蓄能电站；施工进度管理；项目管理

1 绪论

1.1 研究背景与意义

在全球能源结构转型的大背景下，抽水蓄能电站作为一种清洁、高效的能源调节方式，对于平衡电网负荷、提高能源利用效率具有不可替代的作用。随着国家对新能源的重视和投资增加，抽水蓄能电站工程的建设数量和规模不断扩大，其施工进度管理的复杂性和挑战性也日益增加。因此，探索和应用更为科学、高效的施工进度管理方法，对于确保工程质量和效益、推动能源结构优化具有重要的现实意义。

1.2 研究方法

本文采用文献综述法、分析法和比较研究法，对关键链技术在抽水蓄能电站工程中的应用进行了深入分析，探讨改进关键链技术在提高施工进度管理效率中的作用。

2 关键链技术在抽水蓄能电站工程施工进度管理中的适用性分析

2.1 传统项目管理进度计划方法介绍

甘特图、关键路径法（CPM）、计划评审技术（PERT）和线性平衡法（LOB）是四种项目管理中用于规划和监控项目进度的常用工具。甘特图以其直观的条形图形式展示任务与时间的关系，但缺乏对任务依赖性的展示；CPM通过识别关键路径来确定项目最短完成时间，优化资源分配；PERT利用统计学方法评估项目时间，适用于不确定性高的项目，提供项目完成概率和期望持续时间；而LOB则专注于平衡重复性工作的资源和 workload，适用于建筑和制造行业，确保生产连续性和稳定性^[1]。

2.2 传统进度计划问题分析

尽管传统进度计划管理方法如甘特图、关键路径法、计划评审技术和线性平衡法在项目管理中提供了基本的时间规划和监控手段，但它们存在一些共同的问题，例如对任务依赖性和资源限制的考虑不足，以及在面对大型复杂项目时的适应性和灵活性有限。这些方法通常依赖于静态的时间估计，对于项目过程中的动态变化响应不够迅速，且在实际操作中可能需要大量的手动调整和更新。因此，现代项目管理实践中越来越多地采用更为灵活和集成的解决方案，以提高进度管理的效率和效果。

2.3 关键链技术在抽水蓄能电站工程施工进度管理中的优势和适用性

关键链技术（CCPM）在抽水蓄能电站工程施工进度管理中展现出显著优势和高度适用性，主要体现在其对资源优化分配、关键路径的精准识别与管理以及缓冲区设置的有效性上。这种技术特别适用于抽水蓄能电站这类规模庞大、技术复杂、且充满不确定性的大型工程项目，能够显著提升施工进度的科学性和实效性，其优势主要体现在：

（1）资源优化分配：关键链技术通过考虑资源的实际可用性，优化了资源在项目中的分配，减少了资源浪费和冲突，确保了关键任务能够获得必要的资源支持，从而提高了整体施工效率。

（2）关键路径与缓冲管理：与传统的关键路径法相比，关键链技术不仅识别项目中的关键任务链，还通过设置项目缓冲、汇入缓冲和资源缓冲，有效应对了施工过程中可能出现的延误和不确定性，增强了项目进度的

稳定性和可控性。

(3) 适应性与持续改进：关键链技术具有强大的适应性，能够快速响应项目范围的变更和施工条件的调整，通过持续监控关键链和缓冲区状态，为项目团队提供了实时反馈和改进的机会，确保项目能够持续向预定目标前进。

3 改进关键链施工进度计划方法

关键链缓冲区的作用是保障项目按时完成。常规关键链进度计划方法缓冲时间计算粗略，缓冲大小制定方法简单，没有考虑任务的差异，因此提出一种针对抽水蓄能电站特点的改进关键链进度计划方法，该方法通过调整缓冲时间的计算以适应不同作业的独特性，同时解决了传统进度计划工具在资源和风险管理方面的不足。

3.1 安全时间计算

计算安全时间是施工进度管理的重要组成部分。当项目负责人规划项目工期时，项目任务时间不是正态分布而是偏态分布，如图1所示。假设5天内完成任务A的概率是50%。并且给出了10天的作业，完成的概率是95%。

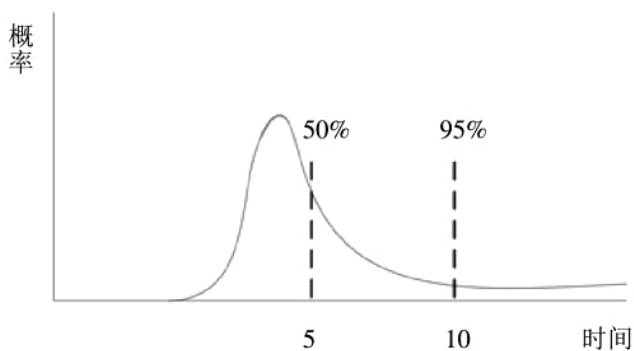


图1 偏态分配

由于添加到运行周期中的安全时间取决于不确定性程度，因此可以理解，添加到运行周期中的安全时间与其不确定性（风险）成正比。不确定性越高，安全期越长。本研究假设项目运行安全时间与其运行不确定性的比率是线性的。（如图2所示）。

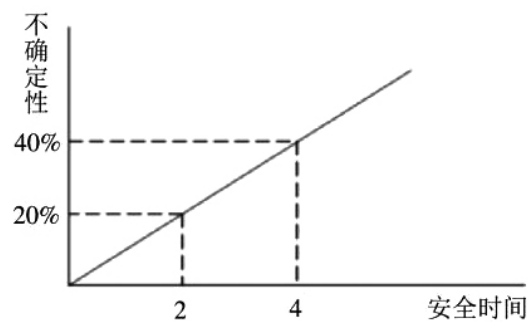


图2 安全时间与不确定性关系示意图

3.2 缓冲时间计算

(1) 缓冲时间的种类

关键链规划方法采用裕度控制机制来应对项目的不确定性。本研究中用于改进关键链规划方法的预留时间是基于Dr.高德拉特主要根据情况分为三种类型。其功能：

①项目缓冲区（PB）：设置在关键链末端，保障完成关键链的安全保护时间。

②Feeding Buffer（FB）：位于非关键链融入关键链的位置，主要用于保护关键链操作不受非关键链操作的干扰。

③资源缓冲区（RB）：RB可以设置在关键链上操作资源的过渡点，保护后续操作不干扰之前对资源的操作，RB也可以是不影响的警告缓冲区；操作施工期主要提醒项目人员资源需求即将临近，以便于资源准备。

(2) 缓冲时间计算方法

改进关键链计划缓冲时间计算方法是根据作业不确定性程度比例原则，根据作业不确定性风险占作业总施工时间的比例，计算缓冲时间为作为保护时间给出。工作不确定性水平越高，意味着工作项目路径越容易受到不确定性因素的影响，可能需要更长的保护时间，因此反之，如果工作不确定性水平越高，则表明缓冲时间越长如果较低，则表示路径比较稳定，不易受到影响，因此根据该比率计算出的缓冲时间较小^[2]。三个缓冲时间的计算如下：

①项目缓冲：定义获取率（ $P_i\%$ ）为安全运行时间（ S_i ）与原计划运行时间（ D_i ）的比值（如公式3-1）。计算项目缓冲区时，首先将关键链中每个作业的压缩作业周期（ C_i ，预定作业周期减去安全时间得到的周期）乘以每个作业的获取比例，总和就是项目buffer（如公式3-2给出）。

$$P_i\% = S_i/D_i \quad i \in \text{关键链} \quad (\text{公式3-1})$$

$$PB = \sum C_i * P_i\% \quad i \in \text{关键链} \quad (\text{公式3-2})$$

②导入缓冲区：同样，对于导入缓冲区的计算，获取率（ $G_j\%$ ）是非关键链中每个操作的安全时间（ S_j ）与原预定操作时间（ D_j ）的比率（如公式3-3所示），非关键链中每个操作的操作压缩时长（ C_j ）乘以每个操作的获取比例，总和就是导入缓冲区（如公式3-4式所示）。

$$G_j\% = S_j/D_j \quad j \in \text{关键链} \quad (\text{公式3-3})$$

$$FB = \sum C_j * G_j\% \quad j \in \text{关键链} \quad (\text{公式3-4})$$

③资源缓冲：资源缓冲主要根据各个项目的运作及其需求制定

下面的简单例子演示了缓冲时间的计算（如图3-4所示）。假设任务a的预定工期（ D_a ）为40天，其中安全期（ S_a ）为10天，以及实际需要的压缩施工时间（ C_a ）为30

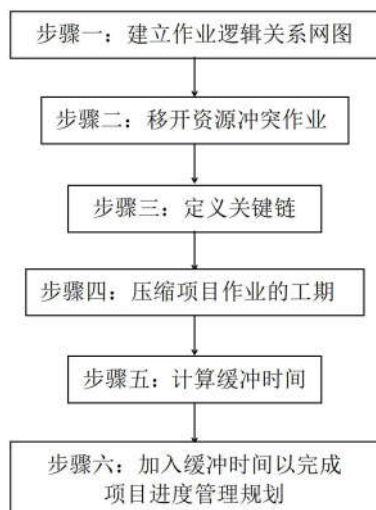
天。利用公式(3-1)计算,作业A的采集率(Pa%)等于该作业的安全时间与原计划施工时间-5)的比值和缓冲采集时间的值采用公式(3-2)计算,压缩操作时长,乘以获取比例,最后加上关键链中每个操作计算出的缓冲区获取时间值,形成项目缓冲区。(如计算式3-6式所示)。

$$Pa\% = Sa / Da = 10/40 = 0.25 \quad (\text{公式3-5})$$

$$\begin{aligned} PB &= \sum Ci \times Pi\% \\ &= \sum (Ca \times Pa\% + \dots + Ce \times Pe\%) \\ &= \sum (30 \times 0.25 + \dots + Ce \times Pe\%) \end{aligned} \quad (\text{公式3-6})$$

建立缓冲时间的目的是为了保护每一次操作以及整个项目不受不确定性的影响。缓冲设置是利用操作的不确定性程度来求得各个操作的各个特性的保护时间。考虑根据工程工作实际项目的特点,操作路径的不确定性程度越高,将按照更符合实际情况的比例保留更多的时间^[3]。

3.3 改进创建关键链计划的步骤



步骤一：创建任务逻辑关系的网络图

根据项目数据中各个任务之间的逻辑顺序关系,首先创建与项目执行顺序对应的基本项目网络图^[4]。

步骤二：删除资源冲突的任务

验证基础网络图中的操作是否存在资源依赖问题。如果项目中出现资源竞争,则对具有共同资源需求的操作进行时间分配,并进行资源平滑操作,避免流量资源冲突。

步骤三：定义关键链

关键链是同时考虑任务依赖性和资源依赖性的情况下连接的最长路径。

步骤四：压缩项目工期

去掉网络图中每个操作的安全持续时间,只留下操作实际需要的压缩时间。

步骤五：计算缓冲时间

根据本研究建立的缓冲时间计算方法计算不同的储备时间,并根据运行的不确定性程度给出保护时间,防止项目受到不确定性的影响。

步骤六：添加缓冲时间以完成项目进度规划

3.4 改进关键链进度计划的研究

当使用步骤改进关键链计划时,关键链路径可能会在第四步(删除操作的安全时间)期间发生变化^[5]。因此,需要强调的是,在使用关键链计划改进步骤时,需要遵循五个消除约束循环:

(1) 确认关键链:找到整个操作中任务依赖和资源依赖共同连接的最长路径。

(2) 减少工作时间:取消工作的安全时间。

(3) 导入缓冲:利用本研究建立的缓冲时间计算方法计算上一步去除的交通安全时间,并放置在适当的位置。

(4) 改变现有的行为和态度:项目参与者必须改变过去的习惯行为,以减少不良人为因素对项目的影响。

(5) 监控关键链:检查关键链路径是否发生变化。如果关键链路径发生变化,立即返回第一步,再次修改关键链计划,以妥善管理项目。

4 结语

通过将改进关键链技术在抽水蓄能电站工程中的应用,能够有效提高施工进度管理的科学性和实效性。通过合理设置缓冲区、优化资源配置、强化风险管理等措施,可以显著降低项目执行过程中的不确定性风险,提高工程质量和效益。通过计算作业的不确定性比例来确定缓冲时间,这种方法比传统统一比例计算更贴近实际工程需求,能有效提升工程效益,优化工期进度计划,降低作业延迟风险,提高项目执行效率。尽管规划过程可能较为复杂且耗时较长,但最终能带来成本节约和绩效提升。这种方法尤其适用于业主直接管理或项目负责人独立控制的项目环境,以期实现更高效的项目进度管理。

参考文献

- [1]肖广磊,王振明,李晓雯,等.“双碳”目标下抽水蓄能电站建设分析[J].水科学与工程技术,2023(02):93-96.
- [2]张秋菊,张政道,罗松峰,等.抽水蓄能行业前景及投资机会分析[J].四川水力发电,2023,42(增刊1):1-4.
- [3]张星.抽水蓄能电站土建施工难点与对策分析[J].水电站机电技术,2021,44(09):120-122.
- [4]李俊亭.关键链项目进度控制技术综合分析研究[J].工程管理学报,2015,29(6):129-133.
- [5]马国丰,严勇,尤建新,等.关键链项目进度计划的鲁棒优化的研究[J].系统管理学报,2014,23(5):704-710.