

STRAT 时间过程计算原理与使用

——一种新型有限元计算模型

1 技术背景

STRAT V4.0 版本中开发了时间过程计算功能。这是一种新型的有限元计算方式。在其它软件中，与此类似的是模拟施工过程的计算功能，但 STRAT 软件中时间计算模型，其功能和适用范围，大大超过模拟施工的计算范畴。时间计算模型时软件开发者在博士论文中提出，在未公开的 V2.5 版本中即已开发完成。V3.0 版本中已经包含相关的设置，但未开放给用户使用。

众所周知，结构的建造本身是一个随时间变化的过程，结构上的荷载也是随建造过程逐步加载。在结构建造完成之后，会长期承受风荷载作用。裸露于大气中的结构，钢材会锈蚀，混凝土会老化。长期荷载作用，混凝土产生收缩徐变，钢材会应力松弛。在意外情况下，结构遭受地震作用，甚至遭受的爆炸、火灾破坏。在建筑功能变更时结构会改变，拆除部分构件，增添另外的构件。等等。所有这些结构本身的变化、结构上作用力的变化，都是随时间开展的过程。更重要的是，所有这些作用过程，实际上都是相互关联、相互影响的。例如，已经老化的结构，再遭遇地震作用，其抗震能力会明显降低。

现有的结构计算方法，实际上是结构全过程中一个理想化的时间点的计算，或者一个相对单一的时间段的计算。上述多种可能的作用，分属不同计算领域，在不同的计算模型中计算，各种计算不能包含相互间的影响。

时间计算模型，将各种结构作用，以时间为线索，在时间概念统一起来。试图建立一种能包含多种作用的统一的模型，能做到从建造到使用，再到破坏的全过程、全寿命的模拟和计算。

2 模型简介

在时间计算模型中，所有的有限元计算元素，包括有限元单元、荷载、材料、构件截面、约束等，均具有时间的属性，均可以随时间变化而变化。

计算元素的时间属性由广义时间函数定义。广义时间函数包含两个部分，即持续时间和时间变化函数。持续时间函数指计算元素存续的时间，由一系列包含起点、终点的时间段定义。时间变化函数描述计算元素随时间变化的特性。

工程结构纷繁复杂的作用过程，归纳起来就是持续时间问题，和随时间变化的问题。由时间持续、时间变化这两种时间函数的组合，可以反映各种可能的过程。

由持续时间确定各种计算元素，在计算过程中处于激活、活动、灭活、不活动等四种状态，决定计算元素参与结构的方式。时间计算模型的核心机制，是能量的累积、保持、释放和转移。利用这种核心机制，能够将各种不同的作用在时间上统一起来，采用同一机制进行处理。

时间模型还包括很多其它的概念和方法，这里不一一详述。

3 使用方法

在前处理 Prep 中，时间模型的处理不需要激活(不同与非线性部分)，随时可以使用。

在荷载、材料、组合截面、约束、强制位移等大多数计算参数设置对话框中，都有时间函数的设置按钮“持续时间”和“时间变化”。

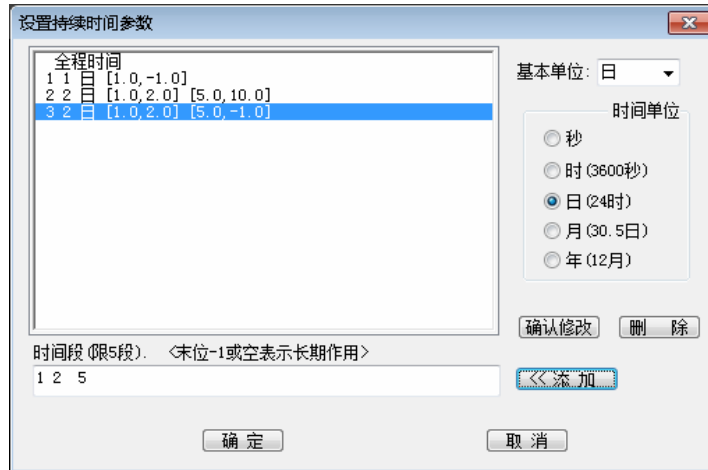
部分只有“持续时间”按钮，如组合截面、约束、梁柱自由度释放等。

部分同时具有这两种时间参数设置，如荷载。

在设置这些参数的同时，如需要设置时间属性，点击这些时间按钮，将调出统一的时间参数对话框，设置时间属性。不特别设置时间属性的参数，程序隐含为两种特例，对于持续时间是“全程”，对于时间变化函数是“常量”。

输入梁柱、墙、板等图形单元时，单元即具备当前持续时间属性。当前持续时间，通过热键 F7 修改。通过属性修改命令(Change,Ch)可以修改单元的持续时间设置。

在楼层复制命令中，也有时间增量项。表明楼层建造过程的时间增量。



持续时间 (菜单: 属性/持续时间; 热键 F7)



时间变化函数 (菜单: 属性/时间变化)

持续时间由一组包含起点、终点的时间段定义。如时间单位是“天”，则[1,5, 10,-1]表明，第 1 天参与结构，第 5 天退出，第 10 天再次参与结构，末尾-1 表明此后一直参与结构。程序容许输入 5 个时间。输入时间段时，如输入数值个数是奇数，程序自动在末尾补-1。如仅输入“11”，则表明持续时间段为[10, -1]。

时间函数是一个包含时间变量的函数表达式。STRAT V4.0 中开发有先进的解析公式求解器，能直接进行基本运算、乘方开方、三角函数、反三角函数、对数、指数等计算。时间变量用“(t)”表示。例如 $10*\sin[20*(t)]+20*\cos[25*(t)]$ ， $\text{acos}\{\sin[(t)*(t)]+\cos[\log(\sin(t))]\}$ 。再如，一个 10kN 的节点力，虽时间按正弦变化，可以表达为 $10*\sin[(t)]$ 。只要语法正确，计算式可以任意嵌套。(有关公式求解器详见相关说明)。

在 *Strat* 计算模块，时间计算功能总是激活的，对各种结构都可以进行时间计算。在时间计算之前，需要设置计算点，计算按照计算点进行。

4 工程应用

应用一：全过程模拟施工

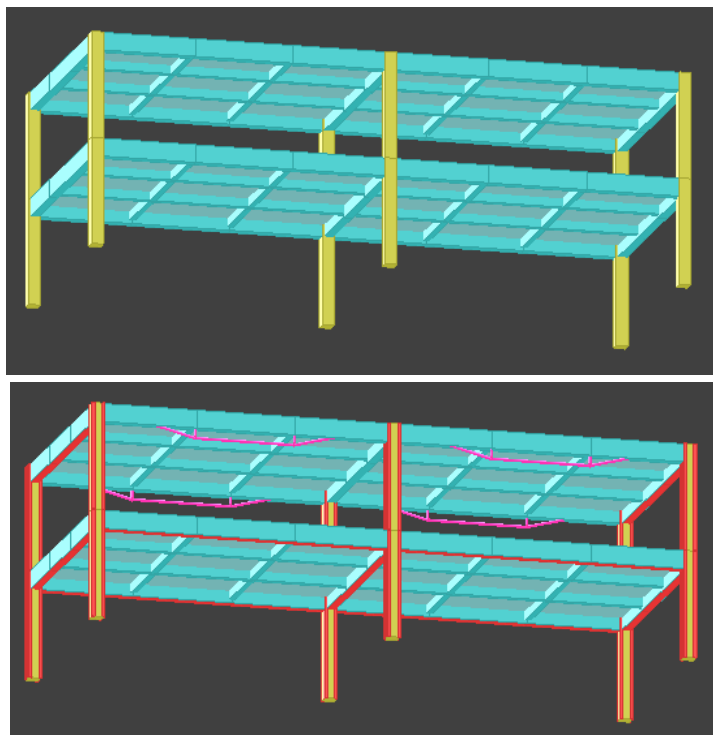
STRAT 软件通过时间计算模型，模拟大跨、超高层结构的模拟施工，其功能超过一般软件的模拟施工的计算功能。

首先在处理机制上，对于不参与结构作用的单元，一般软件实际上是仍然参与结构作用，只是刚度乘以极小数。在 STRAT 软件中，这些单元在计算模型中就被剔出，程序通过自由度检测对处理变结构中的空自由度。

其次在模拟功能上，STRAT 软件随时间发展，不但可以加构件、加荷载，而且可以拆构件、卸荷载。这些过程可以交替进行，可以多次重复。例如，大跨桥梁结构中的临时支撑，可以在一定时间点加上支撑，参与受力，然后再在一定的时间点拆除构件。

STRAT 不但可以模拟构件、荷载的过程，而且可以模拟边界条件。例如钢结构的节点，在施工初始阶段需要设为铰接，在一定时间加节点板改为固结。

应用二：加固、改造工程



加固改造工程也是一个变截面、变荷载的过程。并且更为特殊的时，结构截面的类型也在变化。一个加固改造工程，首先是对原结构的卸载。然后拆除部分构件，对原有构件进行加固、补强，形成新构件截面。最后再施加新的使用荷载。

加固改造工程，按照有关规范的要求，需要进行多阶段设计。在加固构件强度、稳定计算中，需要区别对待已有内力、新加内力。但在现阶段，由于计算手段限制，多数设计未能达到这种要求。

STRAT 软件完全能够按照加固过程进行全过程计算。对于粘钢、包钢加固截面，能够按照实际情况，先普通截面、再复合截面进行计算。预应力加固时，可以模拟分批张拉过程。

应用三：混凝土收缩徐变计算

混凝土收缩徐变计算，是 V4.0 版本的新增的重要功能之一。混凝土收缩、徐变，在时间模型中计算。在时间计算参数中，设定处理混凝土收缩、徐变，即可包含收缩、徐变产生的变形和内力。

早期收缩、徐变受初始加载龄期影响大，因此需要考虑建造过程，即同时模拟施工过程。对高层钢-混凝土混合结构，这种模拟施工同时考虑收缩徐变尤其重要。

应用四：大跨预应力结构的分阶段、分批张拉

大跨预应力结构需要分批张拉，对于转换大梁一类的预应力构件，还需要在上部结构的建造过程中，分阶段张拉。

STRAT 时间过程计算模型，能很好地模拟这种过程。STRAT 中预应力荷载，也具有时间属性，可以定义随时间变化的函数。

应用五：结构整体二阶变形计算

高层结构需要计算二阶变形。现有大多数软件的方法，实际上是一种近似计算方法，由单独计算得到竖向荷载、侧向荷载下的变形和内力，按比例法得到二阶变形，没有真正进行几何非线性计算。

STRAT 时间计算模型，可以实现考虑二阶效应的、结构整体几何非线性计算。

应用六：结构大变形计算

对于大跨柔性结构，在不需要考虑构件本身的几何非线性的情况下，可以利用 STRAT 时间过程模型，实现结构整体的大变形计算。

将荷载设置时间变化函数，选择“包含结构变形影响”，按时间逐级加载，就可以计算结构大变形。

时间过程模型，是一种包络万象的新型有限元模型，上面所列的只是其中的部分应用。我们将继续扩充各种基本的计算功能，使时间计算模型包含更多的内容。用户也完全可以根据自己的需要，利用其基本原理和方法，挖掘其应用潜力。