

## 目 录

摘 要.....	2
Abstract.....	3
第 1 章 绪 论.....	4
1.1 研究的必要性 .....	4
1.2 研究的目的和意义 .....	4
第二章 几种徐变模型.....	7
2.1 CEB-FIP 模型.....	7
2.2 ACI 模型.....	8
2.3 B-P 模型.....	9
2.4 GZ (1993) 模型 .....	9
2.5 GL2000 模型.....	10
2.6 中国公路桥涵设计规范 (2004) 徐变预测模型 .....	11
第三章 桥梁结构计算模型建立.....	14
3.1 桥梁结构的基本数据 .....	14
3.2 Midas 桥梁模型建立.....	16
3.2.1 设定建模环境.....	17
3.2.2 定义材料和截面.....	17
3.2.3 建立结构模型.....	18
3.2.4 定义并构建边界、支撑条件.....	19
3.2.5 定义施工阶段.....	20
3.2.6 预应力钢束的输入.....	21
3.2.7 荷载的定义和建立.....	22
第四章 混凝土徐变对连续刚构桥梁静力行为的影响分析.....	23
4.1 桥梁中混凝土的加载龄期相同 .....	23
4.2 桥梁中混凝土的加载龄期不同 .....	27
4.3 徐变模型的比较 .....	31
4.3.1 不同徐变模型下徐变系数的对比.....	31
4.3.2 不同徐变模型下桥梁变形的对比.....	32
4.3.3 不同徐变模型下桥梁内力——弯矩 $M_y$ 的对比.....	34
4.3.4 不同徐变模型下主梁顶部和底部应力的对比.....	35
第五章 结论和展望.....	37
5.1 结论 .....	37
5.2 展望 .....	37
参考文献.....	38
附 录.....	39
致 谢.....	44

## 摘要

连续刚构桥在当今的桥梁建设中被广泛地应用，但该桥型有跨中挠度过大、主梁开裂和桥面不平整等各种病害，这些病害的主要影响因素是混凝土徐变。徐变是混凝土的固有性质，混凝土徐变的过程中连续刚构桥内部会产生附加内力；并且施工阶段时间长短的变化也会对混凝土徐变造成影响，从而影响桥梁受力。

国内外关于混凝土徐变推出了多种徐变预测模型，不同预测模型中所考虑的徐变影响因素不同，并且参考因素的取值也不同。本文在以某 30m+50m+50m+30m 四跨的连续刚构桥为依托研究了以下内容：

- （1）学习和总结国内外各种混凝土徐变预测模型，并了解每种模型的影响因素；
- （2）在相同混凝土加载龄期下，成桥后的主梁在不同年份的变形、内力和应力的变化情况；
- （3）在不同混凝土加载龄期下，成桥后的主梁在不同年份的变形、内力和应力的变化情况；
- （4）在 CEB-FIP（1985）徐变模型和 JTG D62-2004 徐变模型两种模型下，主梁分别在（2）、（3）两种条件下的变形、内力和应力的变化情况；

**关键词：**混凝土徐变；连续刚构桥；阶段施工时间；徐变模型；CEB-FIP（1978）徐变模型；JTG D62-2004 徐变模型；静力行为

## Abstract

Continuous rigid frame bridge is widely used in today's bridge construction. But the bridge has excessive mid-span deflection, cracking of girder and bridge deck uneven, etc all kinds of diseases. These diseases are the main influencing factors of concrete creep. Creep is the inherent properties of concrete. In the process of creep of concrete, continuous rigid frame bridge will produce additional internal force. And the construction phase duration changes will also affect concrete creep, thus affecting bridge bearing.

At home and abroad about the concrete creep, the introduction of a variety of creep prediction models were launched. Influence of different factors of creep are considered in the prediction model of different. And the reference value of factors is also different. This paper studies the following contents in continuous rigid frame bridge based on a 30m+50m+50m+30m four-span bridge:

- (1) Learning and summarizing various kinds of concrete creep prediction model at home and abroad, and to understand the influence factors of each model;
- (2) Under the same concrete loading age, after the girder deformation, to survey internal force and stress of different years of changes;
- (3) Under the different concrete loading age, after the girder deformation, to survey internal force and stress of different years of changes;
- (4) Under the CEB-FIP (1985) JTG D62-2004 creep model and creep model, Respectively in (2), (3) deformation, main girder is changes of deformation, internal force and stress.

**Key Words:** creep of concrete; continuous rigid frame bridge; stage construction time; creep model; CEB - FIP creep model (1978); Creep model of JTG D62-2004; static behavior

## 第 1 章 绪 论

### 1.1 研究的必要性

连续刚构桥是一种主梁和墩台是刚性连接的变截面桥梁，是在 T 形和连续梁桥的基础上发展，不仅具备 T 形刚构桥施工方便、不转换体系、不设置支座等优点；也具备连续桥梁其行车平顺、无伸缩缝等优点；还具有桥下净空大、视野开阔、桥梁结构外形美观的优点。连续刚构桥连续刚构桥作为具备生命力桥梁，在现在施工工艺水平不断提高的情况下，已经被大家认可，并在现在桥梁建设中被广泛应用。

但连续刚构桥作为一种高次超静定结构，在混凝土收缩徐变、温度变化等内外因素的影响下就会在桥梁结构中产生附加内力；并且在设计过程中低估了混凝土长期徐变值，在施工过程中过分的追求施工进度，缩短了混凝土的加载龄期，以及混凝土的养护不充分造成混凝土的徐变过大等各种原因。从而引起桥梁跨中挠度过大，箱梁腹板和底板产生裂缝，墩顶零号梁段产生裂缝，箱梁外腹板混凝土表面存在许多蜂窝、麻面空洞、漏筋等病害。这些病害严重的影响桥梁的长期使用性能以及桥梁结构的耐久性。在影响因素和病害中可以看到混凝土的徐变显得尤为重要，收缩徐变可使预应力混凝土桥梁产生上拱或下挠，导致桥面线形不平顺，严重时将直接影响行车的舒适度，甚至危及桥梁安全。因此，开展混凝土的徐变模式对连续刚构桥静力行为的影响的研究具有较大的工程实际意义。

混凝土的徐变是指在荷载的长期作用下，混凝土的变形将随着时间的增长而增加，即在应力不变的情况下，混凝土的应变会随着时间的增长而继续增长。混凝土徐变的实质是在荷载长期作用下，混凝土凝胶体中的水分逐渐被压出，水泥石逐渐发生粘性流动，微细孔隙逐渐闭合，结晶体内部逐渐滑动，微细裂缝逐渐发生。

影响混凝土徐变的因素有混凝土在荷载作用下产生的应力大小、加荷时混凝土的龄期、混凝土的组成成分和配合比、养护及使用条件下的温度和湿度。并且荷载的大小和混凝土的组成和配合比是在设计时已经设计好的，当今在研究混凝土徐变的大小时，应该从加荷时混凝土的龄期和养护时的温度和湿度等方面考虑。

现阶段在对于混凝土的徐变对连续刚构桥的静力分析及计算中，国内外所采用的规范不同，并且其中徐变系数也不同。因此，本研究将从施工阶段的混凝土的龄期、养护的湿度和国内外的规范及其中不同的徐变系数来研究，从而得出混凝土徐变对连续刚构桥的静力行为的影响情况。

### 1.2 研究的目的和意义

通过毕业设计使我们的知识系统化，实践化，在锻炼我们调查研究，收集、查阅资料 and 阅读文献能力的同时，也可以培养独立操作能力。在研究中，以符合规范为前提，认真

研究，有所创新和发现，在提高自己全面分析能力的同时，还增强自己的创新意识。进一步熟悉专业结构设计软件 Midas/Civil。

熟悉桥梁结构分析验算的全过程，掌握连续刚构桥梁在建模中考虑龄期、湿度、徐变系数等变量变化的基本原则、基本方法、基本程序和基本技术，获得连续刚构桥在施工阶段的所完成整个桥梁徐变的变化情况。本次研究针对混凝土的徐变值的变化，从施工时混凝土的龄期和养护时的空气湿度的改变对其的影响；在计算时采用国内外的不同规范及其中不同的徐变系数；从而得出混凝土的徐变对连续刚构桥的静力行为的影响。培养综合利用理论知识和专业知识的基本技能，提高分析和解决实际问题的能力，为毕业后尽快适应实际工作奠定基础。

根据某四跨连续刚构桥梁，研究该桥梁的混凝土的徐变模式。基于该桥梁模型，并考虑实际情况，适当改变施工阶段的混凝土的龄期和养护时的空气湿度，并采用国内外的不同规范中及其中混凝土的徐变系数来分析和计算徐变大小的变化情况，从而得出连续刚构桥的徐变值的变化规律。

本次毕业设计根据原始资料中提供的某新桥的建设，从施工到成桥的过程，从而研究混凝土的徐变对连续刚构桥的静力行为的影响。通过对混凝土的龄期、养护时空气湿度和徐变系数改变的研究，得出徐变的大小分布情况，这样能通过改变这些条件使混凝土的徐变尽可能的减小，从而减弱混凝土徐变对桥梁使用的影响。

### 1.3 研究内容和技术方案

本次毕业设计题为混凝土徐变模式对连续刚构桥静力行为的影响分析，首先是该连续刚构桥的施工方法是悬臂施工法中的挂篮悬臂浇筑施工。箱型主梁的挂篮悬臂浇筑施工的施工操作为利用挂篮在墩柱两侧对称平衡地浇筑梁段混凝土（每段长 2-5m），每浇筑完一对梁段，待达到规定强度后张拉预应力筋并锚固，然后向前移动挂篮，进行下一梁段的施工，直到悬臂端为止。其中每一个箱型梁段的工艺流程为：移动挂篮——装底、侧模——装底、肋板钢筋和预留管道——装内模——装顶板钢筋和预留管道——浇筑混凝土——养生——穿预应力筋、张拉和锚固——管道压浆。

接下来，在明确该连续刚构桥的具体施工流程的条件下，利用 Midas/Civil 软件建立连续刚构桥的模型来进行混凝土徐变的研究，首先要做好施工阶段的分析即合理安排施工过程，接下来研究混凝土徐变对桥梁的内力、变形和预应力的影响。在计算时，对影响混凝土徐变的因素——混凝土在施工阶段的龄期和养护时的空气湿度进行分析，并且分别采用国内新旧规范数学模式和国外规范数学模式，并考虑他们的徐变系数的不同，从而得出对连续刚构桥静力行为的影响情况。

由于本次毕业设计内容一个全新的研究任务，是基于对一个新建桥梁的整个施工运营

中混凝土徐变的研究和计算。首先采用软件 Midas 建立准确的连续刚构桥模型，其中变截面连续钢构桥的基本尺寸已经确定；接下来对桥梁的施工进行合理的安排，即对的混凝土龄期变化的安排；最后就是计算徐变大小，假设在施工阶段徐变就全部完成，利用控制变量（龄期和湿度）来进行比较计算，并且是在国内外新旧规范得数学模式下计算研究。

## 第二章 几种徐变模型

混凝土这种材料本身的变异性很大，因此影响混凝土收缩徐变的诸多因素不能以确定途径予以考虑。国内为常见的一些收缩徐变模式都是根据大量实验结果总结的经验公式。由于对收缩徐变处理的侧重点不同，它们在处理问题时考虑的因素均有差异。

目前还没有一种可以理想的描述混凝土收缩徐变现象的数学模式，但通过近百年的研究，大量的数学模式从不同侧面对收缩徐变进行了描述，不断地逼近问题的本质。国际上所公开提出的徐变系数计算模型多种多样，大致分为两类：一类将徐变系数表达为一系列影响系数的乘积形式；另一类则是将徐变系数表达为几个性质不同的徐变分项系数之和。前者体现出徐变的各种影响系数“牵一发而动全身”；后者则将徐变按成不同性质（可恢复性或发展原理）细分为不同部分，有利于模型的修改，总的来说，两种形式各有优劣。并且国内外所处的环境不同，研究混凝土徐变时，所考虑的影响因素就不同了。

随着对混凝土徐变对结构的影响这一问题研究的不断深入，各种混凝土徐变模式也在不断地修正和完善。下面对国内外几种常见的收缩徐变预测模式作简要的介绍。

### 2.1 CEB-FIP 模型

欧洲混凝土委员会联合国际预应力混凝土协会（CEB-FIP）分别在 1970 年、1978 年和 1990 年提出徐变系数的三个计算模型，即 CEB-FIP（1970）、CEB-FIP（1978）模型和 CEB-FIP（1990）模型。下面简要的对 CEB-FIP（1978）模型和 CEB-FIP（1990）模型作简要介绍：

#### (1) CEB-FIP(1978) 模型

CEB-FIP(1978) 模型中的徐变系数属于各分项系数之和的形式，将长期徐变变形分成滞后弹性变形（和恢复徐变）和滞后塑形变形（不可恢复徐变）两部分，初始塑形变形，其表达式为

$$\epsilon_c = \epsilon_{d0} + \epsilon_{d(t)} + \epsilon_{f(t)} \quad (2-1)$$

式中：

—初始塑形变形

$\epsilon_{d(t)}$  —滞后弹性变形

$\epsilon_{f(t)}$  —滞后塑形变形

$\epsilon_{d0}$  —滞后弹性变形终极值与初始弹性变形之比

$\epsilon_{d0}$  —流动系数

CEB-FIP（1978）模型应用较为广泛，我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ 023-85）即采用此模型。但经过验证，按照此模型计算出的徐变系数前期发展较快而后期发展较慢；JTJ 023-85 规范中的计算方法，很多参数都是根据查图确定，

对精度造成影响；模型所考虑的参数偏重于强度和温度，相对于此，对加载龄期的影响估计较小；另外，该模型在滞后弹性变形的确定上，缺乏热力学方面的依据。

(2) CEB-FIP (1990) 模型

CEB-FIP (1990) 模型对徐变系数的预测采用的是乘积形式，给出一个因混凝土加载龄期而变的相对于最终徐变系数（即加载后无穷大时间后的徐变值）的名义徐变系数的概念，某时刻的徐变系数由名义徐变系数与徐变随时间发展的函数系数的乘积来表示。具体表达式如下：

$$\epsilon(t, t_0) = \epsilon_c \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^{RH} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^{t_0} \quad (2-2)$$

式中：

- $\epsilon_0$  — 名义徐变系数
- $\left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^{RH}$  — 加载后徐变随时间发展的系数
- $RH$  — 环境年平均相对湿度修正系数
- $\frac{f_{cm}}{f_{cm0}}$  — 混凝土强度修正系数
- $\left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^{t_0}$  — 加载龄期修正系数

CEB-FIP (1990) 模型综合考虑构件的尺寸、环境湿度、混凝土强度、水泥品种及温度的影响。众多实测资料表明，CEB-FIP (1990) 模型计算的徐变效应变异系数大约在 20% 左右，对徐变的预测较为合理。我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范（JGT D62-2004）》采用了这一模型。

## 2.2 ACI 模型

美国混凝土协会(ACI209)分别在 1982 年和 1992 年提出计算混凝土徐变系数的 ACI209 (1982) 模型和 ACI209 (1992) 模型。两种 ACI 模型均将徐变系数定义为双曲线行驶的时间函数和一个终极徐变系数（相当于 CEB-FIP 模型中的名义徐变系数）的乘积。

$$\epsilon(t, t_0) = \epsilon_0 \left( \frac{t - t_0}{10 + t - t_0} \right)^{0.6} \quad (2-3)$$

式中：

- $t_0$  — 加载龄期，规定  $t_0 \geq 7$
  - $\epsilon_0$  — 终极徐变系数，标准情况下为 0.35，偏离时需要作出修正
- 在 ACI209(1992) 模型中对  $\epsilon_0$  的修正方式是在将其与相对湿度、构件的尺寸、加载龄期、混凝土坍落度、细集料含量、空气含量等各种影响因素的修正系数连乘。ACI (1992) 模型每个系数均有明确的表达式，可直接用于电算：考虑混凝土徐变的影响



因素较为全面。但双曲线的系数确定，其他参数均与时间无关，说明影响混凝土徐变的其他因素均不对混凝土的发展速度，与实际情况不相符。且 ACI209 模式将徐变时间进程函数中的各参数均取为常数，无法反映不同强度等级混凝土徐变随时间发展的规律。

### 2.3 B-P 模型

B-P 系列模型提出一个全新的概念——将混凝土的徐变分为基本徐变和干燥徐变两部分。以 BP-2 模型为例，其函数表达式如下：

$$J(t, t_0) = J_0(t, t_0) + C_d(t, t_0) - C_p(t, t_0) \quad (2-4)$$

式中：

$J(t, t_0)$  — 加载龄期为  $t_0$ 、干燥龄期为  $t - t_0$ 、计算龄期为  $t$  的混凝土在单位应力作用下的徐变值。

$$J_0(t, t_0) = C_0(t, t_0) + C_d(t, t_0) - C_p(t, t_0) \quad (2-5)$$

式中：

$C_0(t, t_0)$  — 单位应力作用下混凝土的基本徐变

$C_d(t, t_0)$  — 单位应力作用下混凝土的干燥徐变

$C_p(t, t_0)$  — 干燥后混凝土徐变的减小值

大量文献资料表明：BP-2 模型对于混凝土徐变系数的计算具有精度较高。BP-2 模型和在其基础改进的 BP-3 模型目前的桥梁结构分析中应用相当广泛。

### 2.4 GZ (1993) 模型

1993 年，N. J. Gardner 与 J. W. Zhao 在对已有大量实验数据的统计分析的基础之上，提出了 GZ 模式。他们认为，大多数规范得收缩徐变预测模式，包括 ACI209 (1982) 模式以及 CEB-FIP90 模式均利用了收缩徐变具有终极值的观点，并采用 Ross 型的双曲线函数表达式来描述收缩徐变随时间的发展规律。然而，Troxell, Raphael, Davisz 和 Brooks 的长期试验结果表明，收缩和徐变并不存在极限值，两者随时间不断发展。Bazant、Panula 和 Nexille 的预测方程均没有利用收缩徐变有终值的观点。同时，Brooks 和 Necille 还利用时间的对数函数表达式，通过短期试验来预测长期变形。Bazant 与 J. W. Zhao 根据已有的大量试验数据，拟合出相应的徐变与收缩的计算表达式，简称 GZ (1993) 模式。国内对给模式的介绍较少，其预测收缩徐变的表达式简单介绍如下：

徐变系数

$$\epsilon_{t,t_0} = \frac{7.72}{17.18} \ln \frac{t}{t_0} + 1.57 \frac{t-t_0}{2.98} \left( \frac{f'_{cm28}}{f'_{cm0}} \right)^{0.25} \frac{25}{f'_{cm28}} \frac{1}{h^2} \frac{t-t_0}{0.1} \frac{V}{S^2} \quad (2-6)$$

$$\epsilon_{sh} = \epsilon_{shu} \frac{h}{t} \quad (2-7)$$

$$\epsilon_{shu} = 900 K \frac{25}{f'_{cm}} \frac{25}{f'_{cm28}} \frac{1}{10^6} \quad (2-8)$$

$$\epsilon_t = \frac{7.27}{17.18} \ln \frac{t}{t_c} + \frac{t-t_c}{0.0125} \frac{V}{S^2} \quad (2-9)$$

$$h = \begin{cases} 1, h < 0.99 \\ 0.2, h > 1.00 \end{cases} \quad (2-10)$$

式中

$h$  —环境相对湿度

$t$  —混凝土的计算龄期（d）

$t_c$  —混凝土开始干燥的龄期（d）

$t_0$  —混凝土的加载龄期（d）

$K$  —水泥品种影响系数，当为 I 型水泥， $K=1$ ；当为 II 型水泥， $K=0.7$ ；当为 III 型水泥， $K=1.33$

$V/S$  —混凝土构件的体表比（mm）

$f'_{cm28}$  —混凝土 28 天的平均抗压强度

$f'_{cm}$  —混凝土开始干燥时的平均抗压强度

## 2.5 GL2000 模型

基于 1999 年 ACI209 委员会通过的收缩徐变预测模式应满足的若干准则的基础上，Gartner 和 Lockman 对 GZ 模式加以修正，提出了 GL2000 模式。GL2000 模式一定程度上受到 CEB-FIP90 模式的影响，并通过修正，克服了 GZ 模式加载初期的负的应力松弛以及不合理的徐变恢复的缺点。此模式能适用于强度达到 70MPa 左右的高强度混凝土，且通过单独的一项考虑了加载前混凝土的干燥对加载后徐变变形的影响。GL2000 模式的收缩徐变计算式简要介绍如下：

徐变系数

$$\epsilon_{28,t} = \frac{t-t_0}{14} \left( \frac{t-t_0}{14} \right)^{0.3} \frac{7}{t_0} \left( \frac{t-t_0}{7} \right)^{0.5} + 2.51 \frac{1.086 h^2}{t-t_0} \left( \frac{t-t_0}{0.15 V/S^2} \right)^{0.5} \quad (2-11)$$

当  $t_0 \leq t_c$  时,  $t_c = 1$

当  $t_0 > t_c$  时,  $t_c = 1 - \frac{t_0 - t_c}{0.15V/S^2}^{0.5}$

收缩应变

$$\epsilon_{sh} = \epsilon_{shu} h t \quad (2-12)$$

$$h = 1 - 1.18h^4 \quad (2-13)$$

$$\epsilon_{shu} = 1000K \frac{30}{f'_{cm28}}^{0.5} 10^{-6} \quad (2-14)$$

$$t = \frac{t - t_c}{t - t_c} 0.15V/S^2^{0.5} \quad (2-15)$$

式中

$h$  —环境相对湿度，一小数表示

$t$  —混凝土的计算龄期 (d)

$t_c$  —混凝土的干燥龄期 (d)

$t_0$  —混凝土的加载龄期 (d)

$K$  —水泥品种影响系数，当为 I 型水泥， $K=1$ ；当为 II 型水泥， $K=0.7$ ；当为 III 型水泥， $K=1.15$

$V/S$  —混凝土构件的体表比 (mm)

$f'_{cm28}$  —混凝土 28 天的抗压强度平均值

## 2.6 中国公路桥涵设计规范（2004）徐变预测模型

我国在改进的公路桥涵设计规范（JTG D62-2004）中有关混凝土徐变的计算主要模型规定来自欧洲 CEP-FIP（1990）模式规范中的徐变预测模型计算公式。但 JTG D62-2004 模式规范中的徐变预测模型与 CEB-FIP（1990）模式规范中的预测模型完全两样，一个采用的是叠加形式，一个采用的是成绩形式。在我国铁路桥涵设计规范中，没有对混凝土的徐变计算模型做出明确的规定，在实际工程中主要参考公路桥涵设计规范相关规定。

徐变系数计算公式：

$$\epsilon_{sh} = \epsilon_{shu} h t \quad (2-16)$$

$$\epsilon_{shu} = 1000K \frac{30}{f'_{cm28}}^{0.5} 10^{-6} \quad (2-17)$$

$$h = 1 - \frac{1 - RH/RH_0}{0.46 h_0/h_0^{1/3}} \quad (2-18)$$

$$f_{cm} = \frac{5.3}{f_{cm} / f_{cm0}^{0.5}} \quad (2-19)$$

$$t_0 = \frac{1}{0.1 t_0 / t_1^{0.2}} \quad (2-20)$$

$$t_c = t_0 \frac{t_0 / t_1^{0.3}}{t_0 / t_1} \quad (2-21)$$

$$H = 150 + 1.2 \frac{RH^{18} h}{RH_0 h_0} - 250 \quad (2-22)$$

式中：

$t_0$  — 加载时的混凝土龄期 (d)

$t$  — 计算考虑时刻的混凝土龄期 (d)

$t_0, t_1$  — 加载龄期为  $t_0$ ，计算考虑龄期为  $t_1$  时的混凝土徐变系数

$\epsilon_0$  — 名义徐变系数

$\epsilon_c$  — 加载后徐变随时间发展的系数

$f_{cm}$  — 强度等级 C20-C50 混凝土在 28 龄期时的平均立方体抗压强度 (MPa)，一般可以采用公式  $f_{cm} = 0.8 f_{cu,k} + 8$  计算

$ORH$  — 环境年平均相对湿度 (%), 计算  $RH$  时, 当 40%  $RH$  70% 时, 取  $RH=55%$ ; 当 70%  $RH$  90% 时, 取  $RH=80%$

$h$  — 构件理论厚度 (mm),  $h=2A/u$ ,  $A$  为构件截面面积,  $u$  为构件与大气接触的周边长度

$f_{cm0} = 10\text{MPa}$

$RH_0 = 100\%$

$h_0 = 100\text{mm}$

$t_1 = 1\text{d}$

将上述计算公式中的常量及公式带入徐变预测模型公式中可以得到徐变系数的计算公式为：

$$t_c = t_0 \left[ 1 + \frac{1}{0.46} \frac{RH / 100}{h / 100^{1/3}} \frac{5.3 \sqrt{10}}{f_{cm}^{0.5}} \frac{t_0 / t_1^{0.3}}{1.5h + \frac{3RH^{18}}{250} - 250} \frac{t_0}{t_1} \right]^{0.3} \quad (2-23)$$

国内外多代用徐变系数来表征徐变变形的大小，徐变系数定义为混凝土的徐变变形与弹性变形的比值，其中徐变变形和弹性变形可表示为混凝土的应变，也可表示为混凝土构件的挠度和转角。目前国际上对徐变系数有两种不同的定义：

定义一：
$$\epsilon_{cr}(t) = \frac{\epsilon_c(t) - \epsilon_c(28)}{E_c(28)}$$

定义二：
$$\epsilon_{cr}(t) = \frac{\epsilon_c(t) - \epsilon_c}{E_c}$$

式中， $\epsilon_{cr}(t)$  为常应力  $t$  时刻作用于混凝土上至  $t$  时刻产生的徐变应变； $E_c(28)$  和  $E_c$  分别为混凝土28天和  $t$  天的弹性模量； $\epsilon_c$  为徐变系数。我研究的是混凝土的徐变模式对连续钢构桥静力行为的影响，并且是从施工持续时间和徐变模式两方面来研究，因此对于徐变系数的两种定义不做过多的介绍。

本章对国内外常用的几种徐变预测模式，特别是其中的徐变系数做了较为简单的介绍，并且仔细分析了在计算时所考虑的影响混凝土的因素。国内外常见的一些徐变模式基本上是在大量试验结果的基础上总结出来的经验公式，但是，它们在处理问题时所考虑的因素有所差异。

本次研究所采用的徐变模式是 CEB-FIP（1978）模式和中国公路桥涵设计规范（JTG D62-2004）模式；并且先研究时间因素对混凝土徐变的影响。

## 第三章 桥梁结构计算模型建立

### 3.1 桥梁结构的基本数据

该设计依托于荆州市某连续刚构桥，该桥的设计已经完成。通过本次的研究，合理地安排施工阶段的时间并精准徐变的计算，尽量做到混凝土的徐变对连续刚构桥的内力、变形等的影响降到最低。

桥梁的数据如下：

#### (1) 技术标准

- 1) 道路等级：公路 II 级；
- 2) 设计车速：40km/h；
- 3) 车道宽度：8.5m宽，2车道，3.5m/条，人行道宽1.25m
- 4) 路面横坡度：车行道1.5%（向外）
- 5) 桥梁设计基准期：100年（设计洪水频率：1/100）
- 6) 设计安全等级：一级
- 7) 桥梁设计汽车荷载：公路—II级、人群荷载为3.0kN/m<sup>2</sup>
- 8) 通航标准：IV(3)级航道，设计最高通航水位42.82m（56黄海高程，下同），设计最低通航水位30.21m
- 9) 抗震设防标准：抗震设防烈度为6度，地震动峰值加速度为0.05g，抗震设防措施等级为7度。
- 10) 环境类别：I类

#### (2) 桥梁构造

该桥主桥上部结构为(30+2×50+30)m四跨预应力混凝土连续刚构箱梁，采用箱型截面，单箱单室。引桥上部结构采用20m和25m预应力混凝土简支T梁。总体布置图如下：（由于研究的对象是主桥部分，因此引桥部分不做详细的介绍）

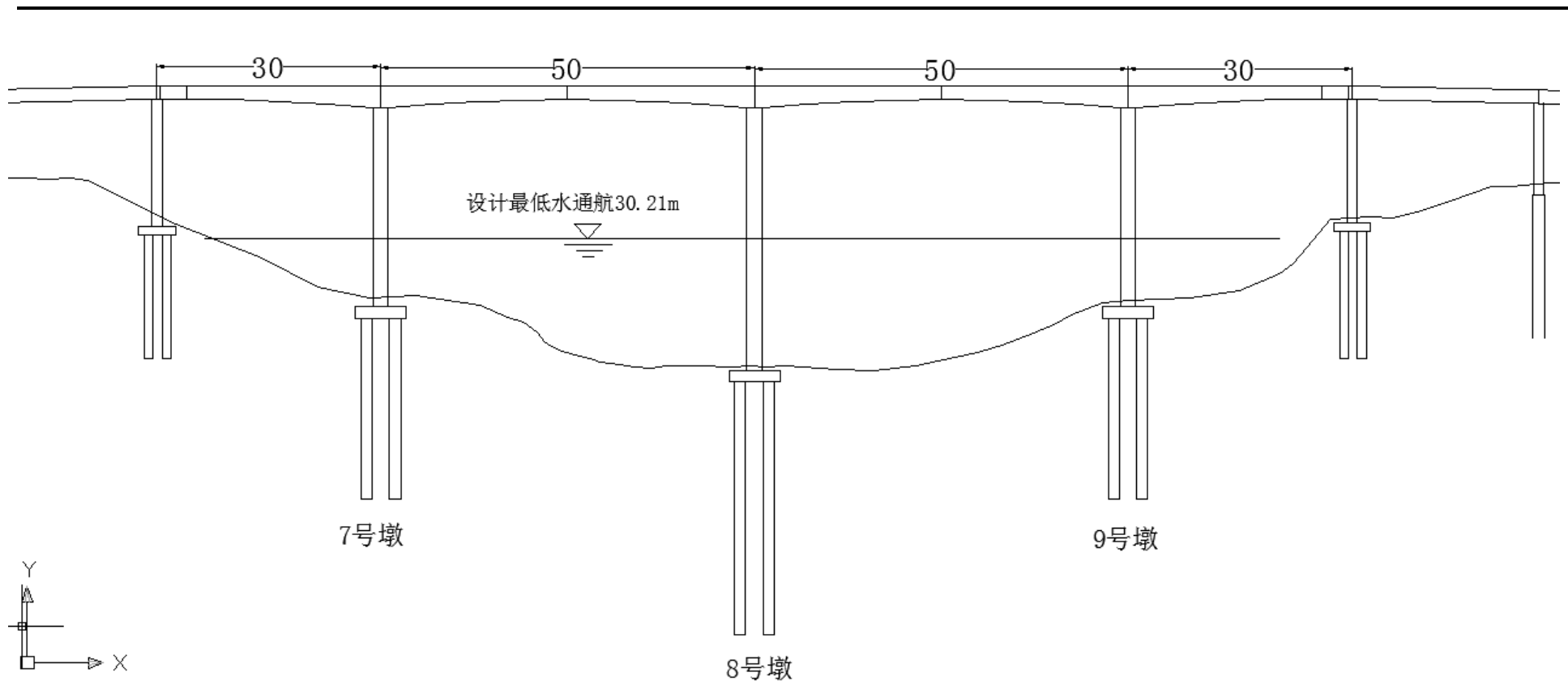


图3-1 该四跨连续刚构桥的主桥总体布置图

箱梁根部高度300cm，跨中高度180cm，箱梁根部底板厚50cm，跨中底板厚25cm，箱梁高度以及箱梁底板厚度按2次抛物线变化。箱梁腹板根部厚65cm，跨中厚45cm，箱梁腹板厚度从根部至跨中在一个节段内按直线段变化，由根部厚65cm变至跨中厚45cm。箱梁顶板厚度25cm。箱梁顶宽950cm，底宽500cm，顶板悬臂长度225cm，悬臂板端部厚15cm，根部厚60cm。横截面布置图如下：

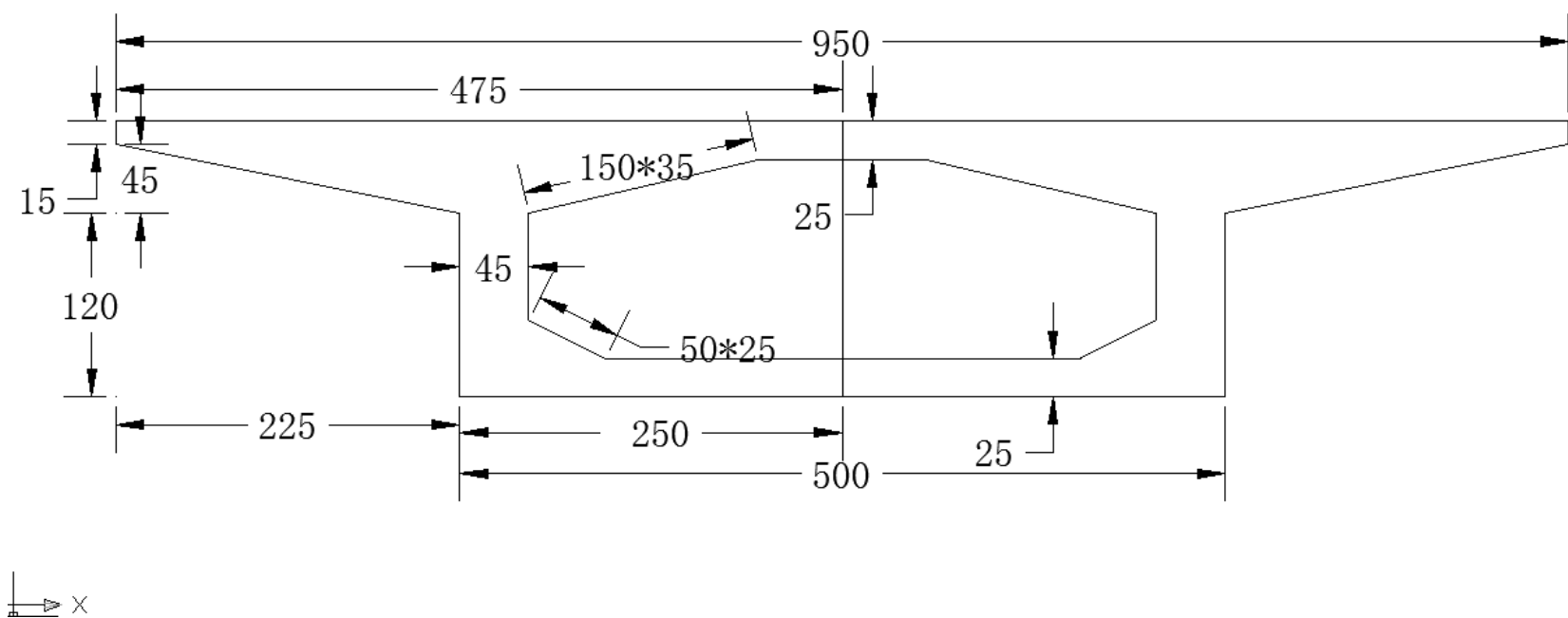


图 3-2-1 跨中横截面布置图

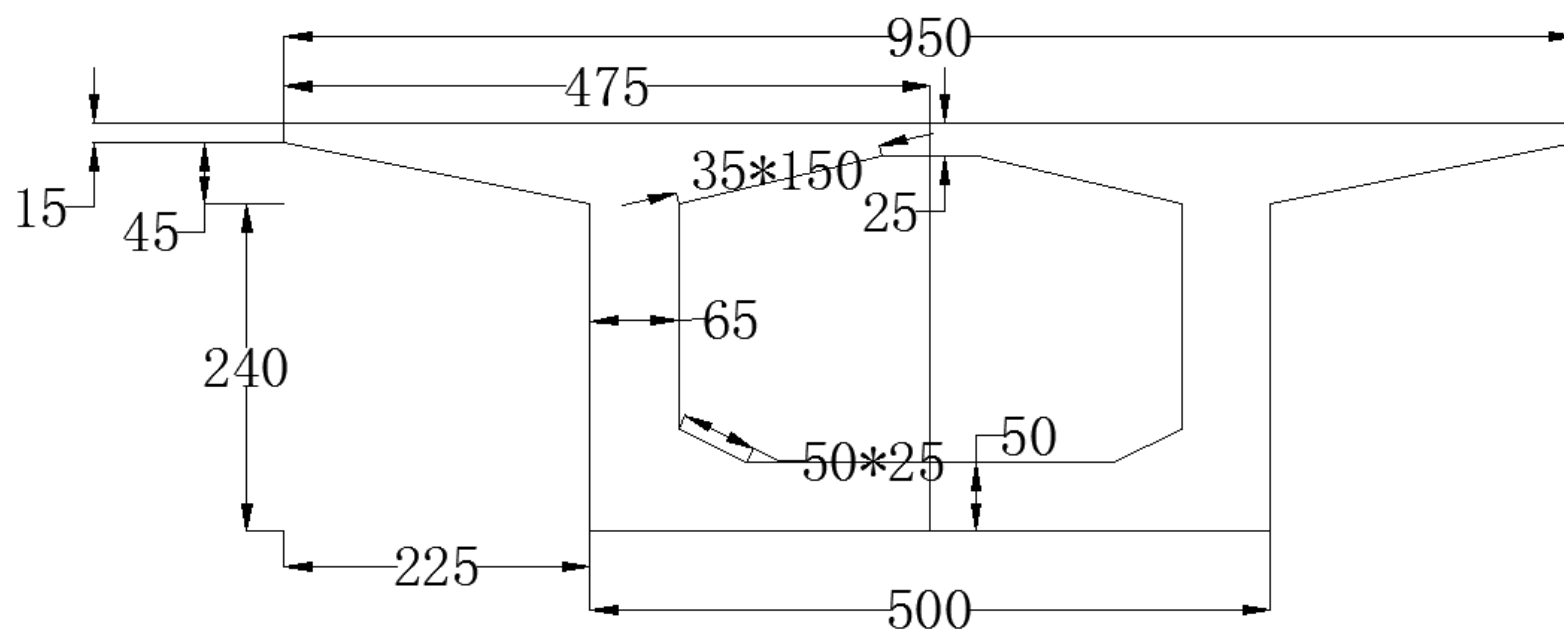


图 3-2-2 支座横截面布置图

主桥墩采用薄壁实心墩、钻孔灌注桩基础，7、8、9 号桥墩为主桥桥墩，墩柱采用等截面矩形薄壁实心墩，截面尺寸为  $500 \times 200\text{cm}$ 。主墩承台厚 2.5m，基础采用桩径 1.5m 的钻孔灌注桩。基桩按纵横向均两排布置，每墩共 4 根桩。

### (3) 施工要求

- 1) 主桥箱梁、桥面铺装采用 C50 混凝土，主桥墩采用 C30 混凝土；
- 2) 桥面铺装采用 7-12.2cm 钢筋混凝土 + 9cm 沥青混凝土；
- 3) 主桥施工采用悬臂浇筑法，三主桥墩同时施工（7、8、9 号墩）；
- 4) 边跨支座处采用满堂支架施工，先是边跨跨中合龙，再是二、三跨跨中合龙。

## 3.2 Midas 桥梁模型建立

从功能及计算效率考虑，选用空间杆系模型进行分析。由于主梁为箱型截面，各梁段采用空间梁单元模拟。本桥箱梁有 2% 的纵坡及 1.5% 的单向横坡，为建模方便，在不影响精度的情况下，不考虑桥梁的纵坡。但截面参数均保持不变，这样保证了截面面积不变，惯性矩变化可忽略不计。

Midas/Civil 中四跨连续刚构桥的建模步骤如下：

- 1) 设定建模环境
- 2) 定义材料和截面
- 3) 建立结构模型
- 4) 定义并构建边界、支撑条件
- 5) 定义施工阶段
- 6) 预应力钢束的输入



### 3.2.1 设定建模环境

在“文件>新项目”中，打开一个新项目。

在“文件>保存”中，以“四跨连续刚构桥模型”命名保存文件。

在“工具>单位体系”中，将单位体系设置为“kN”和“m”，如图 3-3-1 所示。

在“模型>结构类型”中，将结构类型设置为“3-D”，如图 3-3-2 所示。



图 3-3-1 单位体系设置

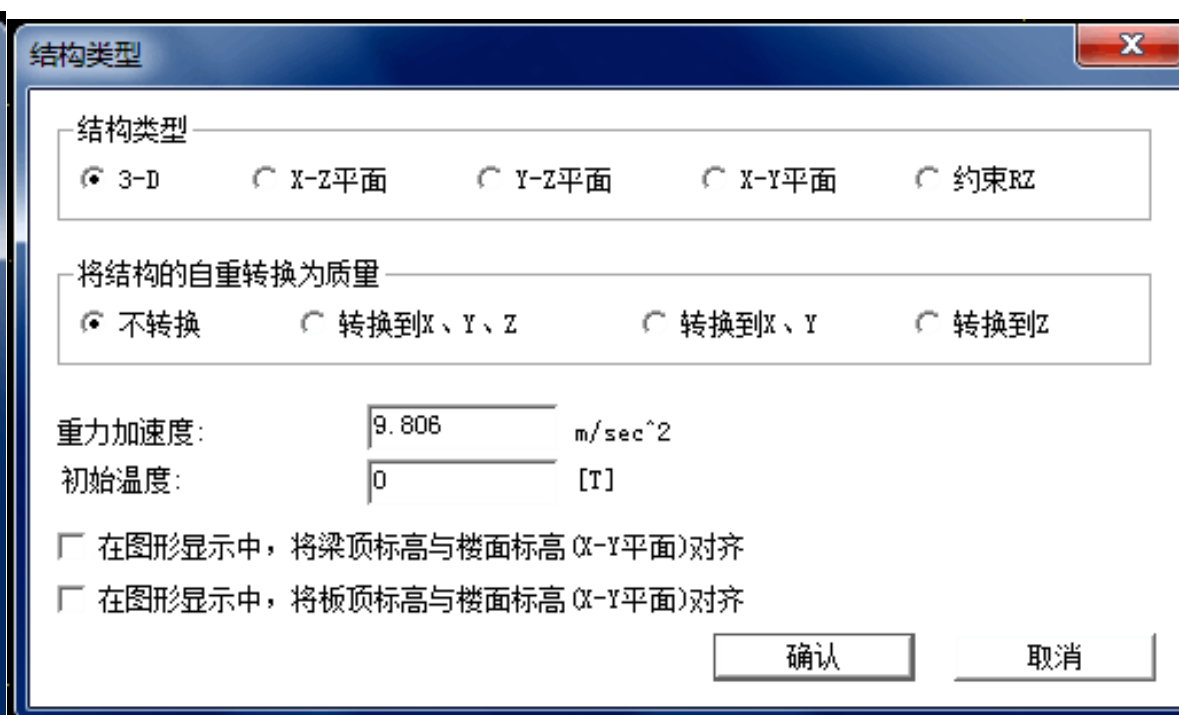


图 3-3-2 结构类型设置

### 3.2.2 定义材料和截面

在“模型>材料和截面特性>材料”中，选择程序内设数据库的规范“JTG04”中的“C50”和“C30”分别作为主梁和主墩的混凝土材料属性，以及“Strand1860”作为桥梁所用的钢材。见图 3-4。

在“模型>材料和截面特性>截面”中，添加截面并选择“PSC”定义全桥各节点处的截面并设置偏心为“中—上部”，选择“数据库/用户”定义主墩截面（H=2m，B=5m）并设置偏心为“中心”。

主梁梁高是按抛物线变化的，在“模型>材料和截面特性>截面”中，选择“变截面”中的“单箱单室”分别导入相应的左右截面定义各梁端截面，并设置 y 轴变化为“二次方程”，见图 3-5。

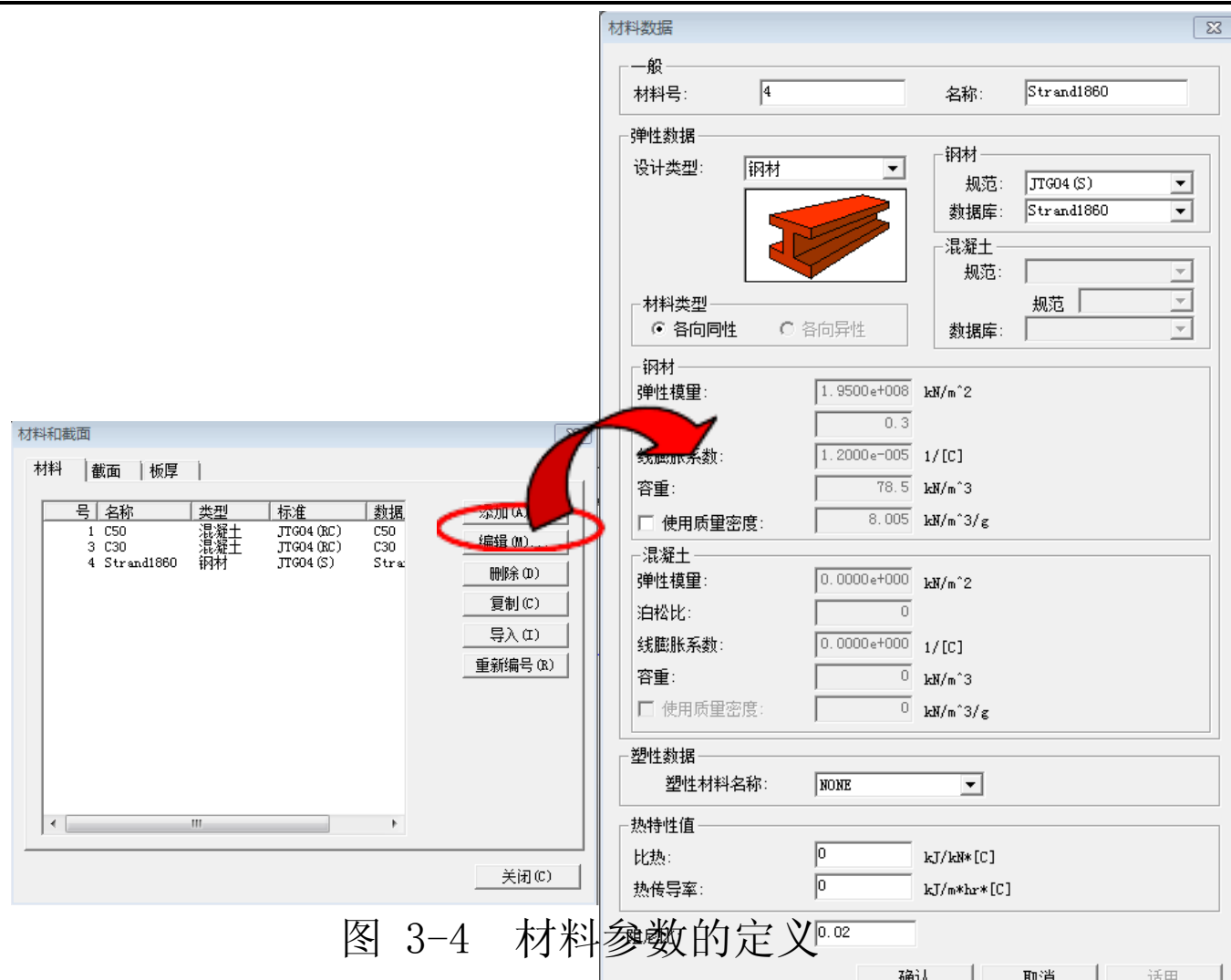


图 3-4 材料参数的定义

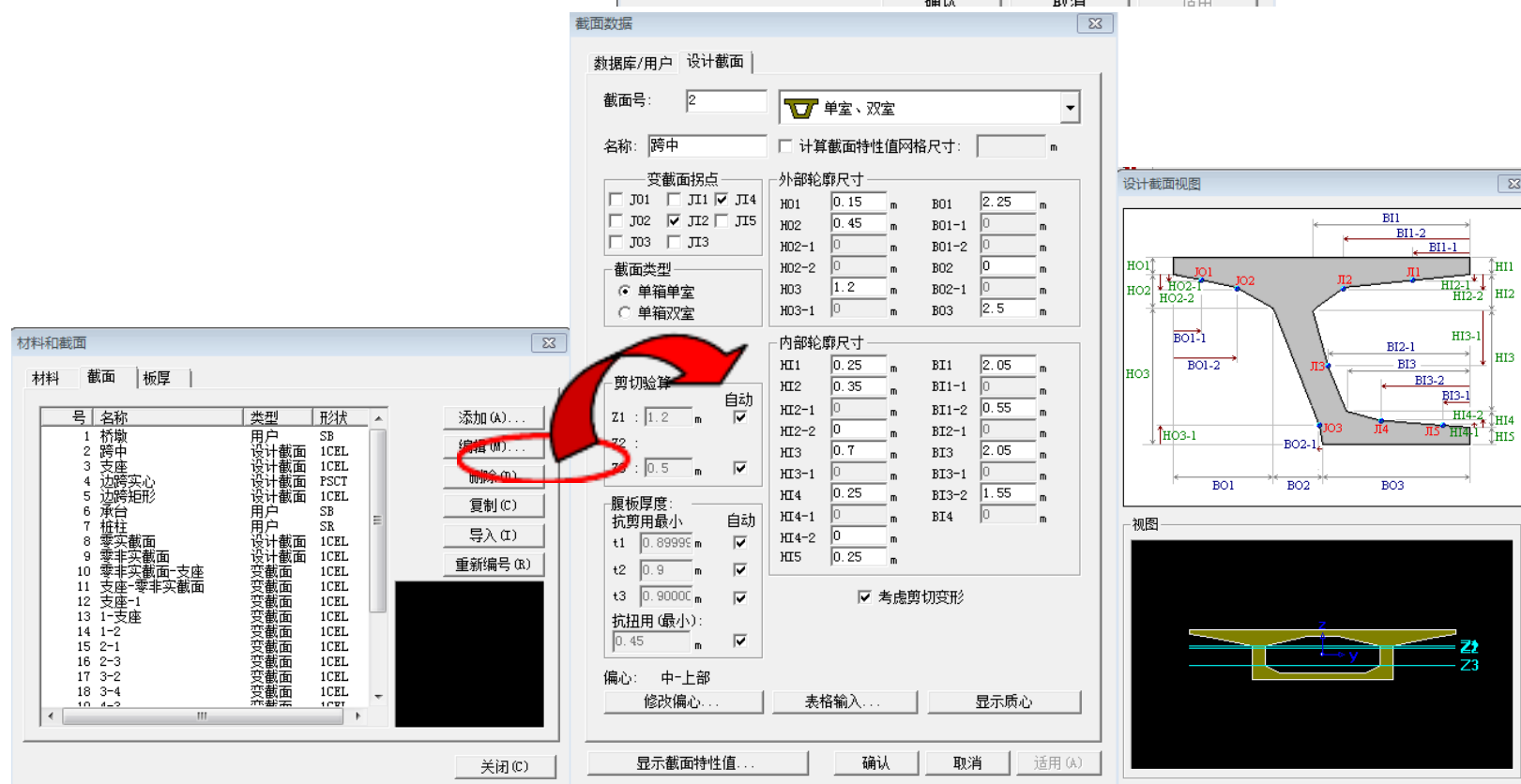


图 3-5 截面参数的定义

### 3.2.3 建立结构模型

在“模型>节点>建立”中建立主梁及桥墩的节点，节点位置依据“主桥箱梁一般构造图”中施工阶段确定，并且建立主梁单元时可以采用“拓展单元”来建立。主梁的单元的长度的划分主要是依据施工阶段中的施工长度来定义的。10m 长 0 号段+2×3.5m+3×4m，边、中跨合拢段长均为 2m，边跨现浇段长 4m。用同样的方法建立 7 号桥墩，并通过节点和单元的复制建立 8、9 号桥墩。示意图如图 3-6

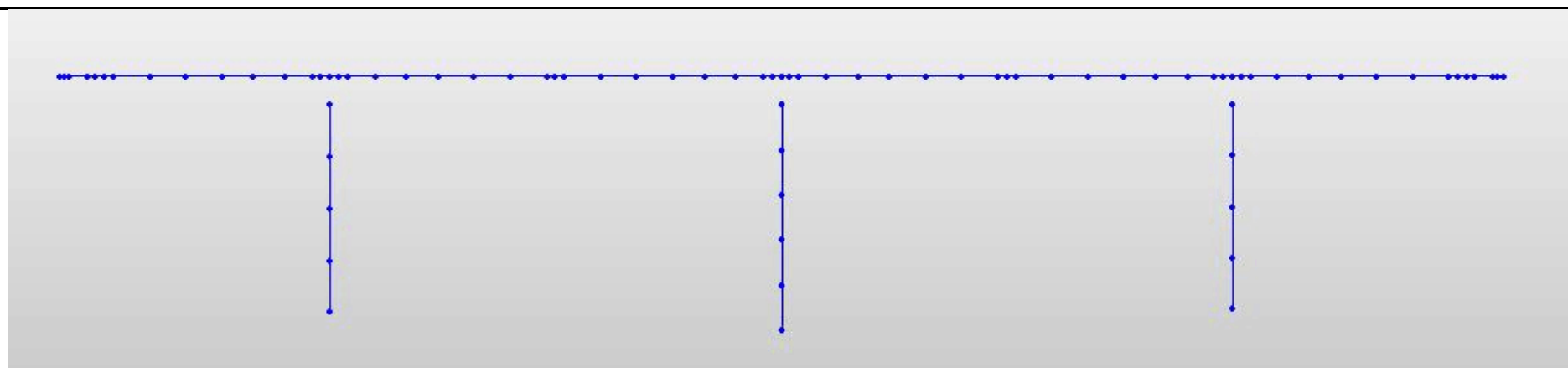


图 3-6 该连续刚构桥的节点、单元示意图

在“特定单元的选择”，“工作 > 特性值 > 截面”中截面和变截面的“拖放”；在“模型 / 群 / 结构群 / 定义结构群”中进行结构群的定义。桥墩、零号块、桥梁段等结构群的“单元选择和拖放”。

### 3.2.4 定义并构建边界、支撑条件

依据桥梁结构的连接和边界条件，进行边界组的建立，共建立的边界组有桥墩顶部、桥墩底部、边跨支座和边跨临时支座。

在“模型 > 边界条件 > 弹性连接”中，使用“刚性连接”建立桥墩顶部和主梁的连接、桥梁边墩的边跨支座和边跨临时支座分别与主梁的连接。

在“模型 > 边界条件 > 一般支承”中，边跨临时支座的所有方向的约束和边跨临时支座的  $D_y$ 、 $D_z$ 、 $R_x$  方向约束。

在“模型 > 边界条件 > 节点弹性支承”中，建立 7、8、9 号桥墩底部的六个方向的刚度（这里桩基础的刚度采用软件进行计算）。四个边界组的示意图分别如下所示：

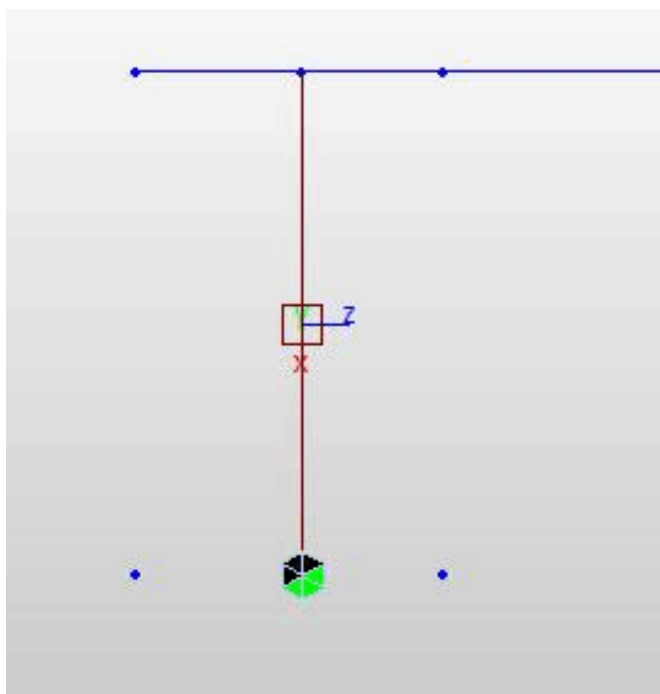


图 3-7-1 边跨支座

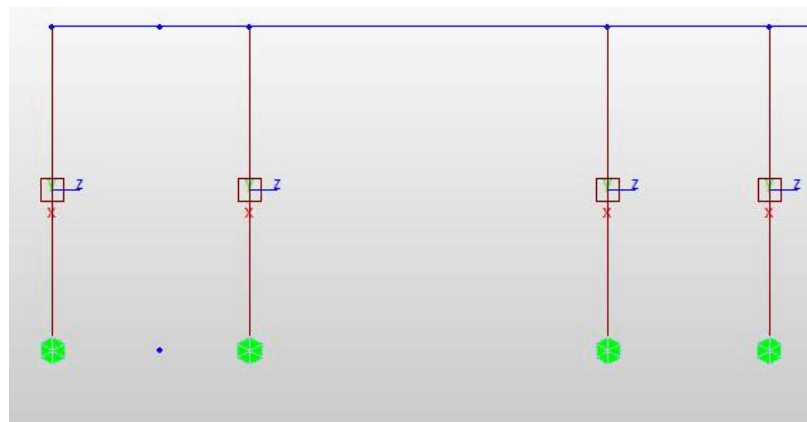


图 3-7-2 边跨临时支座

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/168130064142007000>