



北京理正软件设计研究院

BEIJING LEADING INSTITUTE OF SOFTWARE DESIGN CO., LTD.

预应力钢筋混凝土结构设计

工具箱

使用说明
技术条件

2004年5月

理正工程设计工具箱系列软件

目 录

目 录.....	1
第一部分 操作说明.....	1
1 功能概述.....	1
2 操作流程.....	2
3 交互界面.....	2
4 参数取值范围.....	5
第二部分 编制原理.....	7
1 编制说明.....	7
2 预应力损失计算.....	8
2.1 预应力损失.....	8
2.2 张拉控制应力 σ_{con} 允许值.....	17
3 预应力轴心受拉构件.....	18
3.1 使用阶段承载力计算.....	18
3.2 抗裂度验算.....	18
3.3 施工阶段验算.....	21
3.4 预应力钢筋面积估算.....	24
4 预应力受弯构件.....	25
4.1 正截面受弯承载力计算.....	25
4.2 斜截面受剪承载力计算.....	28
4.3 抗裂度验算.....	29
4.4 变形挠度验算.....	31
4.5 施工阶段验算.....	33
4.6 预应力钢筋面积估算.....	34
4.7 备注.....	36
附录 1 技术支持.....	37

附录 2 意见反馈表.....	39
附录 3 理正计算机辅助设计系列软件	40

第一部分 操作说明

1 功能概述

本程序适用于预应力混凝土轴拉构件、受弯构件的计算。主要进行预应力损失计算、承载力验算、抗裂验算、挠度验算、施工阶段验算，并输出相应的计算书。包括以下内容：

轴拉构件：

- (1) 预应力损失计算；
- (2) 正截面承载力验算；
- (3) 抗裂验算；
- (4) 放张时应力验算；
- (5) 局压验算。

受弯构件：

- (1) 预应力损失计算；
- (2) 正截面承载力验算；
- (3) 斜截面承载力验算；
- (4) 抗裂验算；
- (5) 挠度验算；
- (6) 放张时应力验算；
- (7) 局压验算；
- (8) 吊装验算。

注：有关软件总体风格、操作方法与特点以及相关功能介绍请参见《工具箱 5.0 总说明》。

2 操作流程

本程序的基本操作流程如下图 2-1 所示。

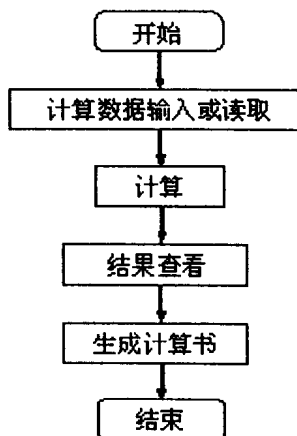


图 2-1 操作流程

3 交互界面

每个模块有两个主要界面：数据交互界面和结果查询界面。

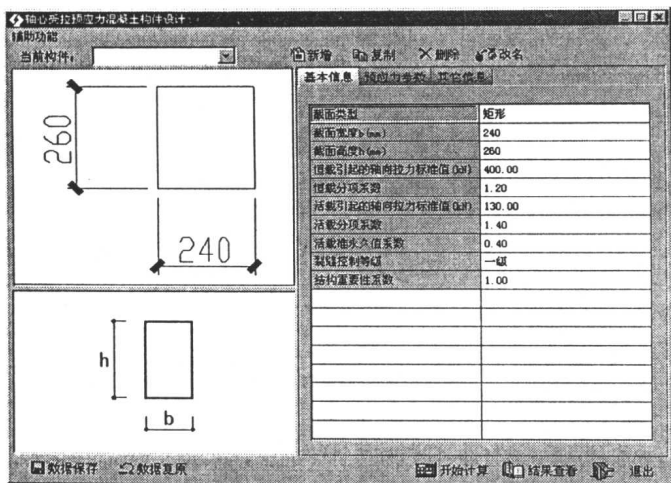


图 3-1 轴拉构件交互界面

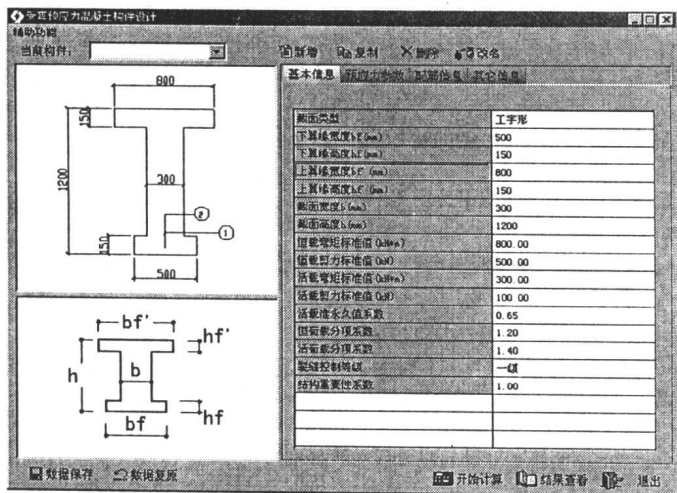


图 3-2 受弯构件交互界面

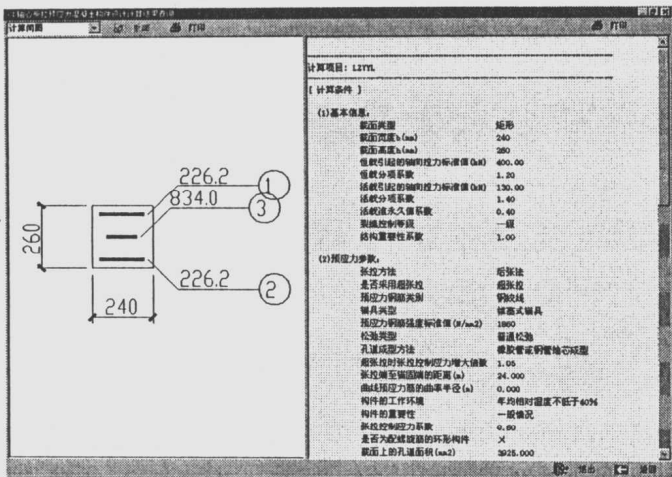


图 3-3 轴拉构件结果界面

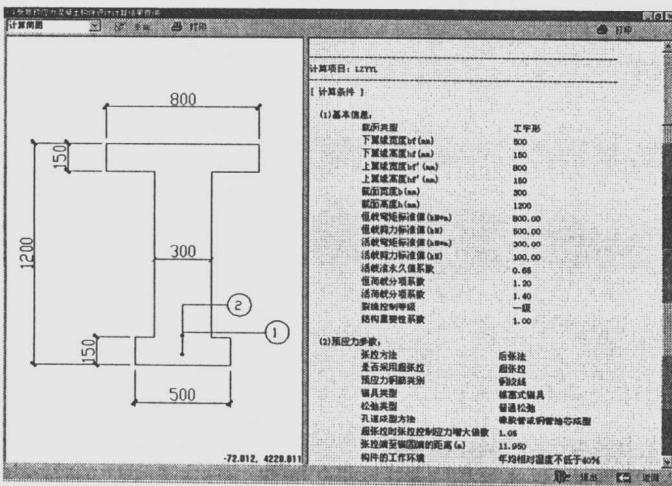


图 3-4 受弯构件结果界面

4 参数取值范围

程序中参数的取值范围如下表所示。

参 数	取 值 范 围
基 本 信 息	
截面类型	受弯：矩形、T形、工字形
	轴拉：矩形、圆形
恒载弯矩标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$
活载弯矩标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$
恒载剪力标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}$
活载剪力标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}$
恒载引起的轴向拉力标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}$
活载引起的轴向拉力标准值	$0 \sim 10^6 \text{kN}$
活载准永久值系数	$0 \sim 10$
恒载分项系数	$0 \sim 10$
活载分项系数	$0 \sim 10$
裂缝控制等级	一级、二级、三级
结构重要性系数	$0.5 \sim 2$
预 应 力 参 数	
张拉方法	先张法、后张法
是否采用超张拉	超张拉、一次张拉
预应力钢筋类别	钢绞线、消除应力钢丝、热处理钢筋
锚具类型	支承式锚具、锥塞式锚具、有顶压夹片式锚具、无顶压夹片式锚具、其他类型
松弛类型	普通松弛、低松弛
孔道成型方法	预埋金属波纹管、预埋钢管、橡胶管或钢管抽芯成型

构件的工作环境	年均相对湿度不低于 40%、年均相对湿度低于 40%
构件的重要性	一般情况、重要构件
张拉控制应力系数	0.4~0.8
超张拉时张拉控制应力增大倍数	1~10
张拉端至锚固端的距离	0~10 ⁶ m
曲线预应力筋的曲率半径	0~10 ⁶ m
截面上的孔道面积	0~10 ⁶ mm ²
其 他 信 息	
混凝土强度等级	C15~C80
非预应力钢筋级别	HPB235、HRB335、HRB400、RRB400
箍筋级别	HPB235、HRB335、HRB400
抗震等级	非抗震、一级、二级、三级
施加预应力时砼强度百分比	0.75~1
是否进行局部受压验算	√、×
计算跨度	0~10 ⁶ m
挠度系数 α	0~1
起吊动力系数	1~10
钢筋混凝土重度	0~100kN/m ³

第二部分 编制原理

1 编制说明

本部分是北京理正软件设计研究院开发的《预应力结构工具箱》软件的技术条件说明书，本软件的编制依据如下：

国家标准

- (1) 《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)
- (2) 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)
- (3) 《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2001)

参考资料

- (1) 《混凝土结构》(中国建筑工业出版社，江见鲸编)；
- (2) 《预应力混凝土结构》(中国水利水电出版社，王有志等编)；
- (3) 《钢筋混凝土基本构件》(清华大学出版社，滕智明主编)。

2 预应力损失计算

2.1 预应力损失

2.1.1 张拉端锚具变形和预应力钢筋内缩引起的预应力损失值 σ_{l1}

1、直线钢筋

$$\sigma_{l1} = \frac{a}{l} E_s \quad (2.1-1)$$

式中:

a —— 张拉端锚具变形和钢筋内缩值(mm), 参见表 2.1-1;

l —— 张拉端到锚固端之间的距离(mm), 由用户交互;

E_s —— 钢筋弹性模量 (N/mm^2)。

锚具变形和钢筋内缩值 a (mm)

表 2.1-1

锚 具 类 别		a
支承式锚具(钢丝束镦头锚具等)	螺帽缝隙	1
	每块后加垫板的缝隙	1
锥塞式锚具(钢丝束的钢制锥形锚具等)		5
夹片式锚具	有顶压时	5
	无顶压时	6~8

注: 对夹片式锚具无顶压, 程序中取 $a=7\text{mm}$ 。如果想自定义 a 值, 请选择“其他类型”。

2、后张法预应力曲线钢筋 (抛物线形)

抛物线形预应力钢筋可近似按圆弧形曲线预应力钢筋考虑。当其对应的圆心角 $\theta \leq 30^\circ$ 时, 预应力损失 σ_{l1} 计算如下:

$$\sigma_{l1} = 2\sigma_{con} l_f \left(\frac{\mu}{r_c} + \kappa \right) \left(1 - \frac{x}{l_f} \right) \quad (2.1-2)$$

$$l_f = \sqrt{\frac{aE_s}{1000\sigma_{con}(\mu/r_c + \kappa)}} \quad (2.1-3)$$

式中:

- σ_{con} —— 预应力钢筋张拉控制应力 (N/mm²);
 l_f —— 反向摩擦影响长度 (m);
 r_c —— 圆弧形曲线预应力钢筋的曲率半径 (m), 由用户交互;
 μ —— 预应力钢筋与孔道壁之间的摩擦系数, 详见表 2.1-2;
 κ —— 考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数, 详见表 2.1-2;
 a —— 张拉端锚具变形和钢筋内缩值 (mm);
 x —— 张拉端至计算截面的距离(m), 由用户交互;
 E_s —— 预应力钢筋弹性模量 (N/mm²).

摩擦系数

表 2.1-2

孔道成型方式	κ	μ
预埋金属波纹管	0.0015	0.25
预埋钢管	0.0010	0.30
橡胶管或钢管抽芯成型	0.0014	0.55

2.1.2 预应力筋与孔道壁摩擦引起的预应力损失 σ_{l2} (后张法)

$$\sigma_{l2} = \sigma_{con} \left(1 - \frac{1}{e^{\kappa x + \mu \theta}} \right) \quad (2.1-4)$$

当 $\kappa x + \mu \theta \leq 0.2$ 时, 可按以下近似公式计算:

$$\sigma_{l2} = \sigma_{con} (\kappa x + \mu \theta) \quad (2.1-5)$$

式中:

- x —— 张拉端至计算截面的孔道长度(m), 可近似取该段孔道在纵轴上的投影长度;

θ —— 张拉端到计算截面曲线孔道部分切线的夹角 (rad);

μ —— 预应力钢筋与孔道壁之间的摩擦系数, 详见表 2.1-2;

κ —— 考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数, 详见表 2.1-2。

注意: 程序只考虑预应力筋与孔道壁之间的摩擦, 不考虑在转向装置处的摩擦。

2.1.3 砼加热养护时的预应力损失 σ_{l3} (先张法)

$$\sigma_{l3} = 0.00001 \times \Delta t \times E_s \approx 2\Delta t \quad (2.1-6)$$

Δt —— 混凝土加热养护时, 受张拉的预应力钢筋与承受拉力的设备之间的温差 ($^{\circ}\text{C}$), 由用户交互。

2.1.4 应力松弛引起的预应力损失 σ_{l4}

钢筋应力松弛引起的预应力损失计算:

1. 预应力钢丝、钢绞线

1) 普通松弛:

$$\sigma_{l4} = 0.4\phi \left(\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} \quad (2.1-7)$$

$$\phi = \begin{cases} 1.0 & \text{一次张拉} \\ 0.9 & \text{超张拉} \end{cases} \quad (2.1-8)$$

2) 低松弛:

$$\sigma_{l4} = \begin{cases} 0.125 \left(\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} & \text{当 } \sigma_{con} \leq 0.7 f_{ptk} \text{ 时} \\ 0.2 \left(\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.575 \right) \sigma_{con} & \text{当 } 0.7 f_{ptk} < \sigma_{con} \leq 0.8 f_{ptk} \text{ 时} \end{cases}$$

(2.1-9)

f_{ptk} —— 预应力钢筋强度标准值 (N/mm^2)。

当 $\sigma_{con} / f_{ptk} \leq 0.5$ 时, 预应力钢筋的应力松弛损失值可取为 0。

2. 热处理钢筋:

$$\sigma_{l4} = \begin{cases} 0.05\sigma_{con} & \text{一次张拉} \\ 0.035\sigma_{con} & \text{超张拉} \end{cases} \quad (2.1-10)$$

2.1.5 收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{l5}

1. 一般情况:

混凝土收缩和徐变引起的预应力损失按表 2.1-3 计算。

收缩、徐变引起的预应力损失

表 2.1-3

项次	σ_{l5}	σ'_{l5}
先张法构件	$\sigma_{l5} = \frac{45 + 280(\frac{\sigma_{pc}}{f'_{cu}})}{1 + 15\rho}$	$\sigma'_{l5} = \frac{45 + 280(\frac{\sigma'_{pc}}{f'_{cu}})}{1 + 15\rho'}$
后张法构件	$\sigma_{l5} = \frac{35 + 280(\frac{\sigma_{pc}}{f'_{cu}})}{1 + 15\rho}$	$\sigma'_{l5} = \frac{35 + 280(\frac{\sigma'_{pc}}{f'_{cu}})}{1 + 15\rho'}$

式中:

σ_{pc} 、 σ'_{pc} —— 在受拉区、受压区预应力钢筋合力点处的混凝土法向压应力;

f'_{cu} —— 施加预应力时的混凝土立方体抗压强度 (N/mm^2);

$$f'_{cu} = \beta \times f_{cu,k}$$

β —— 施加预应力时, 混凝土立方体抗压强度与设计混凝土强度

等级值的比值, 由用户交互; 不宜低于 0.75;

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2);

ρ 、 ρ' —— 受拉区、受压区预应力钢筋和非预应力钢筋的配筋率; 对于对称配置预应力钢筋和非预应力钢筋的构件, 配筋率 ρ 、 ρ' 应按钢筋总截面面积的一半计算。

1. 先张法构件:

$$\rho = (A_p + A_s) / A_0 \quad (2.1-11)$$

$$\rho' = (A'_p + A'_s) / A_0 \quad (2.1-12)$$

轴拉构件:

$$\sigma_{pc} = \frac{N_{p0}}{A_0} = \frac{\sigma_{p0} A_p}{A_0} = \frac{(\sigma_{con} - \sigma_l) A_p}{A_0} \quad (2.1-13)$$

受弯构件:

$$\sigma_{pc} = \frac{N_{p0}}{A_0} + \frac{N_{p0} e_{p0}}{I_0} y_0 \quad (2.1-14)$$

$$\sigma'_{pc} = \frac{N_{p0}}{A_0} - \frac{N_{p0} e_{p0}}{I_0} y'_0 \quad (2.1-15)$$

$$N_{p0} = \sigma_{p0} A_p + \sigma'_{p0} A'_p \quad (2.1-16)$$

$$e_{p0} = \frac{\sigma_{p0} A_p y_p - \sigma'_{p0} A'_p y'_p}{\sigma_{p0} A_p + \sigma'_{p0} A'_p} \quad (2.1-17)$$

$$\sigma_{p0} = \sigma_{con} - \sigma_l \quad (2.1-18)$$

2. 后张法构件:

$$\rho = (A_p + A_s) / A_n \quad (2.1-19)$$

$$\rho' = (A'_p + A'_s) / A_n \quad (2.1-20)$$

轴拉构件:

$$\sigma_{pc} = \frac{N_p}{A_n} = \frac{\sigma_{pe} A_p}{A_n} = \frac{(\sigma_{con} - \sigma_l) A_p}{A_n} \quad (2.1-21)$$

受弯构件:

$$\sigma_{pc} = \frac{N_p}{A_n} + \frac{N_p e_{pn}}{I_n} y_n \quad (2.1-22)$$

$$\sigma'_{pc} = \frac{N_p}{A_n} - \frac{N_p e_{pn}}{I_n} y_n \quad (2.1-23)$$

$$N_p = \sigma_{pe} A_p + \sigma'_{pe} A'_p \quad (2.1-24)$$

$$e_{pn} = \frac{\sigma_{pe} A_p y_{pn} - \sigma'_{pe} A'_p y'_{pn}}{\sigma_{pe} A_p + \sigma'_{pe} A'_p} \quad (2.1-25)$$

式中:

A_0 —— 换算截面面积: 包括净截面面积以及全部纵向预应力钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积 (mm^2);

A_n —— 净截面面积, 即扣除孔道、凹槽等削弱部分以外的混凝土全部截面面积及纵向非预应力钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积之和 (mm^2);

I_0 、 I_n —— 换算截面惯性矩、净截面惯性矩 (mm^4);

A_p 、 A'_p —— 受拉区、受压区纵向预应力钢筋的截面面积 (mm^2);

A_s 、 A'_s —— 受拉区、受压区纵向非预应力钢筋的截面面积 (mm^2);

N_{p0} 、 N_p —— 先张法构件、后张法构件的预应力钢筋及非预应力钢筋的合力 (N);

σ_{con} —— 预应力钢筋张拉控制应力 (N/mm^2);

σ_l —— 混凝土预压前 (第一批) 的预应力损失值 (N/mm^2);

σ_{p0} 、 σ'_{p0} —— 受拉区、受压区预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于 0 时的预应力钢筋应力 (N/mm^2);

σ_{pe} 、 σ'_{pe} —— 受拉区、受压区预应力钢筋的有效预应力 (N/mm^2);

e_{p0} 、 e_{pn} —— 换算截面重心、净截面重心至预应力钢筋及非预应力钢筋合力点的距离 (mm);

- y_0, y_n —— 换算截面重心、净截面重心至所计算纤维处的距离 (mm);
- y_p, y_p' —— 受拉区、受压区预应力合力点至换算截面重心的距离 (mm);
- y_{pn}, y_{pn}' —— 受拉区、受压区预应力钢筋重心至净截面重心的距离 (mm)。

注意:

1. 对于对称配置预应力钢筋和非预应力钢筋的构件, 取 $\rho = \rho'$, 此时配筋率应按其钢筋截面面积的一半进行计算, 即

先张法构件:

$$\rho = \rho' = (A_p + A_s) / (2A_0)$$

后张法构件:

$$\rho = \rho' = (A_p + A_s) / (2A_n)$$

2. σ_{pc} 、 σ_{pc}' 不得大于 $0.5f_{cu}'$; 当 σ_{pc}' 为拉应力时, σ_{15}' 的计算公式中取 $\sigma_{pc}' = 0$;

3. 当结构处于年平均相对湿度低于 40% 的环境下, σ_{15} 和 σ_{15}' 值应增加 30%。

2. 重要结构构件:

1) 对重要结构构件, 当需要考虑与时间相关的混凝土收缩、徐变及钢筋应力松弛预应力损失时, 按以下方法 (《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002) 附录 E) 计算。

$$\sigma_{15} = \frac{0.9\alpha_p \sigma_{pc} \varphi_{\infty} + E_s \varepsilon_{\infty}}{1 + 15\rho} \quad (2.1-26)$$

$$\sigma_{15}' = \frac{0.9\alpha_p \sigma_{pc}' \varphi_{\infty} + E_s \varepsilon_{\infty}}{1 + 15\rho'} \quad (2.1-27)$$

式中: