

微型机结构计算机软件系统

之十

砖 结 构 抗 震 验 算

曹俊一 姚行厚 编

北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

前 言

海城、唐山地震，砖结构房屋大量倒塌，造成了人民生命财产的重大损失，也引起了人们对砖房抗震设防的重视。对砖房做抗震强度验算，是正确估价砖房抗震能力的重要手段。尽管设计人员明白这点，由于用手工作业做抗震验算仍是一件很费时的事，设计人员在任务繁忙时就会凭经验确定而不做验算，这样难免会设计出不能满足抗震强度要求的房屋，为今后的居住者带来隐患，我们不应当忘记地震所造成的血的教训。

抗震验算是保证砖结构房屋在地震荷载作用下安全的重要手段，但不能因此而忽视抗震构造要求，必须在满足抗震规范、规程构造要求的基础上再来做抗震验算。

本程序自八六年投入使用以来，在全国数百家设计单位得到应用，经受了实践的考验，取得了实效，受到社会好评。

本程序按新的结构设计规范作了相应修改，涉及的规范有：

建筑结构通用符号、计量单位和基本术语（GBJ 83—85）；

建筑结构荷载规范（GBJ 9—87）；

砌体结构设计规范（GBJ 3—88）；

建筑抗震设计规范（GBJ 11—89）；

请使用本程序的单位，将应用程序过程中所发现的问题和意见，随时反馈给我们，以便不断改进。

（一） 功能

本程序可用于多层砖房，底层全框架及多层内框架房屋、空旷砖房的抗震验算，对前二者，包括了“规程”中的二种方法（程序称之为普通方法及折算截面方法）。程序具有数据查错功能，可查出大部分数据错误。

（二） 基本理论

程序编制依据：

建筑抗震设计规范（GBJ 11—89），以下简称规范；

多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程（JGJ 13—82）。

以下简称规程：

砌体结构设计规范（GBJ 3—88）；

建筑抗震设计手册，以下简称手册；

本程序所验算的房屋结构从力学模型上可区分成二类，一类为剪切型，一类为弯剪型，现分述于下：

1. 剪切型

多层砖房、底层全框架及多层内框架房屋及空旷砖房（如礼堂）的前厅或后台部分，以剪切变形为主，属此类。

1) 水平地震作用及地震剪力

规范第5.2.1条指出，多层砌体房屋的抗震计算，可采用底部剪力法。结构计算简图如图1所示。

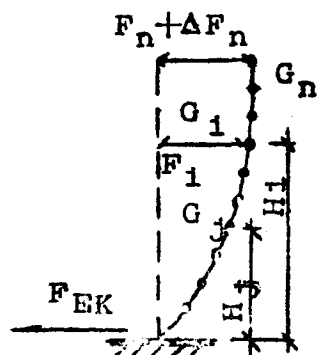


图1. 结构水平地震作用计算简图

结构底部剪力（即结构总水平地震作用标准值）：

$$F_{EK} = \alpha_1 \cdot G_{eq} \dots\dots\dots (1.1)$$

质点 i 的水平地震作用标准值：

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} \cdot F_{EK} (1 - \delta_n) \dots\dots\dots (1.2)$$

$$i = 1, 2, \dots\dots\dots, n$$

顶部附加水平地震作用:

$$\Delta F_n = \delta_n \cdot F_{EK} \dots\dots\dots (1.3)$$

式中:

α_1 ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数值, 取用 α_{max} , 当设计烈度为 7 度、8 度、9 度时, α_{max} 分别取 0.08, 0.16, 0.32;

G_i 、 G_j ——分别为集中于质点 i 、 j 的重力荷载代表值, 应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数, 按下表采用。

组 合 值 系 数

可 变 荷 载 种 类		组合值系数
雪 荷 载		0.5
屋 面 积 灰 荷 载		0.5
屋 面 活 荷 载		不 考 虑
按实际情况考虑的楼面活荷载		1.0
按等效均布荷载	藏书库、档案库	0.8
考虑的楼面活荷载	其它民用建筑	0.5
吊车悬吊物重力	硬钩吊车	0.8
	软钩吊车	不 考 虑

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，单质点应取总重力荷载代表值，多质点可取总重力荷载代表值的85%；

H_i, H_j ——分别为质点*i*、*j*的计算高度；

δ_n ——顶部附加地震作用系数，多层内框架砖房采用0.2，其它房屋不考虑；

质点*i*的楼层地震剪力为：

$$Q_i = \frac{\sum_{K=i}^n F_K}{\sum_{K=1}^n F_K} \cdot F_n \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$i = 1, 2, \dots\dots\dots, n-1, n$

突出屋面的水箱间、楼、电梯间，其地震剪力为：

$$Q_n = 2 \cdot F_n \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

2) 地震剪力分配

按规范规定，横向地震剪力全部由横墙承受，分给各横墙的剪力视楼盖类型而异，纵向地震剪力按墙体刚度比例分配给各纵墙。分三种情况：

①横墙并现浇（或装配整体式钢筋混凝土楼盖）楼盖或纵墙：

$$Q_{im} = \frac{K_{im}}{K_i} Q_i \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

式中

- Q_{im} ——第 i 层第 m 道墙段或墙（纵墙）分配的地震剪力；
 Q_i ——第 i 层的地震剪力；
 K_{im} ——第 i 层第 m 道墙段或墙（纵墙）抗侧力刚度；
 K_i ——第 i 层各墙段或墙（纵墙）抗侧力刚度之和。

②横墙并柔性楼盖（如木楼盖，加气混凝土屋面板等）：

$$Q_{im} = \frac{F_{im}}{F_i} Q_i \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

式中：

- F_{im} ——第 i 层第 m 墙段抗侧力的从属面积上重力荷载代表值；
 F_i ——第 i 层全部抗侧力从属面积上的重力荷载代表值。

③横墙并装配式钢筋混凝土之类中等刚度的楼盖，取上述两种分配方法所得结果的平均值：

$$Q_{im} = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{im}}{K_i} + \frac{F_{im}}{F_i} \right) Q_i \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

各道纵墙分得的地震力再按刚度比分给纵墙上各墙段。

3) 抗侧力刚度计算

①无构造柱墙或有构造柱墙并按规程普通方法验算；

当只考虑剪切变形（即砌体高宽比 $\rho = H/t < 1.0$ ）时：

$$K_{lm} = \frac{1}{\frac{\zeta \cdot H}{G \cdot F}} \dots\dots\dots (1.9)$$

式中：

ζ ——剪切不均匀系数，取 1.2；

G ——剪切模量， $0.4E$ ；

E ——砌体弹性模量；

F ——砌体的水平截面面积， $F = B \cdot t$ ；

t ——砌体厚度。

当考虑弯曲变形和剪切变形（即 $4 > \rho > 1.0$ ）时：

$$K_{lm} = \frac{1}{\frac{H^3}{12 \cdot E \cdot J} + \frac{\zeta \cdot H}{G \cdot F}} \dots\dots\dots (1.10)$$

式中：

$$J = \frac{B^3 \cdot t}{12} \quad \text{，其余符号同前}$$

将公式（1.9）、（1.10）合并并考虑孔洞影响，则成下式：

$$K_{lm} = \eta \cdot K_0 \cdot E \cdot t \dots\dots\dots (1.11)$$

式中：

$$\eta = (1 - 1.2P) \geq 0 \dots\dots\dots (1.12)$$

$$P = \frac{\text{开洞水平截面积}}{\text{全水平截面积}}$$

$$K_0: \text{当 } \rho < 1.0 \text{ 时, } K_0 = \frac{1}{3\rho} \dots\dots\dots (1.13)$$

$$\text{当 } 4 > \rho > 1.0 \text{ 时, } K_0 = \frac{1}{\rho^2 + 3\rho} \dots\dots\dots (1.14)$$

②有构造柱并按规程折算截面方法算:

$$K_{1.2} = \lambda \omega \frac{G + A_n}{H_n \cdot \xi} \dots\dots\dots (1.15)$$

式中:

A_n ——墙体水平截面毛面积;

$\lambda \omega$ ——带构造柱墙体考虑弯曲作用和开孔影响的刚度修正系数, 对于一般墙体取:

$$\lambda \omega = \psi \frac{A_n}{A_n} \dots\dots\dots (1.16)$$

对于孔洞间的墙段, 其高宽比 $\rho = H_n / B > 1.0$ 时取:

$$\lambda \omega = \frac{\psi}{\left(1 + \frac{G \cdot A_z}{12 E J_z} + \frac{H^2}{12 E J_z}\right)} \quad \dots\dots (1.17)$$

式中:

J_z ——将构造柱水平截面积 A_n 按 (E_n / E) 折算后与砖墙净截面一起按工字形截面面积计算的惯性矩;

A_z ——墙段折算水平截面面积:

$$A_z = A_{jz} + \eta_g \frac{G_n}{G} A_n \quad \dots\dots (1.18)$$

A_{jz} ——墙段扣除孔洞及构造柱截面积后的砌体水平截面净面积;

A_n ——墙段内构造柱水平截面之和;

η_g ——构造柱参加墙体工作系数, 当 $H/B > 0.5$ 时, 取 $\eta_g = 0.30$; 当 $H/B < 0.5$ 时, 取 $\eta_g = 0.26$;

G_n ——构造柱混凝土的剪切弹性模量, 取 $G_n = 0.4 E_n$;

E_n ——构造柱混凝土的弹性模量;

ψ ——开孔影响系数, 按附表 1 取值 (表中 Δ_p 是孔洞系数, $\Delta_p = A_j / A_n$, A_j 为墙体水平截面净面积)。

附表 1

Δ_p	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
ψ	0.98	0.94	0.88	0.76	0.68	0.56

程序用曲线拟合法, 将附表 1 归结成一公式:

$$\psi = -1.133 \times \Delta_p^2 + 2.313 \times \Delta_p - 0.18397 \quad \dots\dots (1.19)$$

当 $\triangle p > 0.95$ 时, 取 $\psi = 1$

4) 砌体抗剪强度验算

砌体沿阶梯形截面破坏的抗震抗剪强度设计值, 应按下式确定:

$$f_{VE} = \xi_N f_V \quad \dots\dots\dots (1.20)$$

式中:

f_{VE} —— 砌体沿阶梯形截面破坏的抗震抗剪强度设计值;

f_V —— 非抗震设计的砌体抗剪强度设计值, 按《砌体结构设计规范》GBJ 5-88 采用;

ξ_N —— 砌体强度的正应力影响系数, 按下式采用:

$$\xi_N = \frac{1}{1.2} \sqrt{1 + 0.45 \sigma_0 / f_V} \quad \dots\dots\dots (1.21)$$

σ_0 —— 对应于重力荷载代表值的砌体截面平均压应力。

墙验算公式:

$$V \leq \frac{f_{VE} \cdot A}{\gamma_{RE}} \quad \dots\dots\dots (1.22)$$

式中:

V —— 墙体剪力设计值;

A —— 墙体横截面面积;

γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数, 按下表采用

承载力抗震调整系数表

结构构件	γ_{RE}
自承重墙体	0.75
两端均有构造柱、芯柱的抗震墙	0.9
其它抗震墙	1.0

5) 地震弯矩计算

对底层全框架房屋还计算给出二向各轴线二层及二层以上墙体部分产生的作用在底层框架上的地震弯矩:

$$M_i = \sum_{j=2}^n Q_{ij} (H_i - H_1) \quad \dots\dots\dots (1.23)$$

M_j ——作用在 j 轴线框架上弯矩;

Q_{ij} ——第 i 层 j 轴线地震水平剪力;

H_i —— i 层质点高度;

2. 弯剪型

空旷砖房如礼堂的观众厅部分即属此类。

1) 计算基本周期

取其中一个开间的排架作为计算单元, 其基本周期 T_1 分别情况按公式 (2-1) 或 (2-2) 确定。

①观众厅无披屋 (图 2.1), 或者有披屋, 但披屋内横隔墙很多时 (图 2.2):

$$T_1 = 2 K \sqrt{W \cdot \delta} \quad (\text{秒}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

式中:

K 基本自振周期调整系数:

由钢筋混凝土屋架(或组合屋架)与砖柱组成的排架, $K = 0.9$ 。

由木屋架、钢木屋架或轻钢屋架与砖柱组成的排架, $K = 1$ 。

W 确定周期时折算到柱顶的一个开间的总等效重力荷载代表值, 等于屋盖重量 W_r 加上墙柱重量 W_w 的 25%:

$$W = 1.0 W_r + 0.25 (W_w \times 2) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

δ 单位力 (1 KN) 作用于排架的柱顶时, 该点所产生的侧移 (M)

排架计算高度: 对于图 2.1, 由观众厅室内地坪或室外地坪(取两者中的较低者)算起的檐口高度(米)加 0.5 米。当室内为坡地坪并按室内地坪起算时, 取平均高度(钢筋混凝土无檩和有檩屋盖)或最大高度(石棉瓦、瓦楞铁屋面, 瓦木屋盖)加 0.5 米。

对于图 2.2, 可近似地取自坡屋屋盖板底至观众厅口的高度(米)。

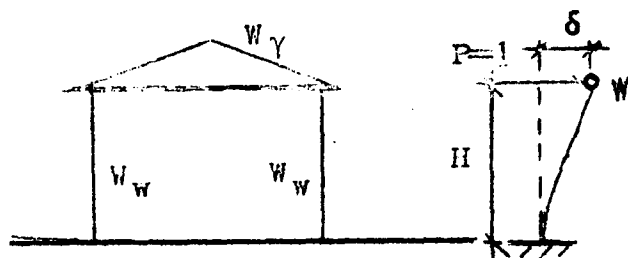


图 2.1 观众厅剖面 (一)

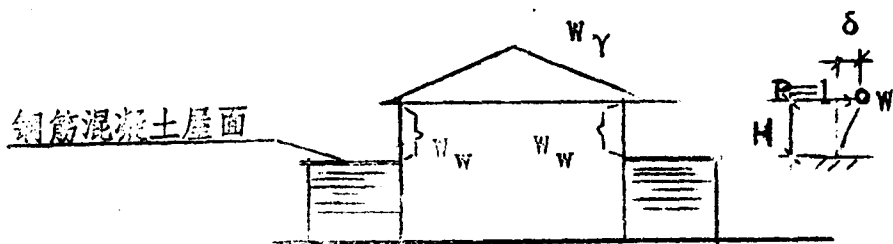


图 2.2 观众厅剖面 (二)

②观众厅有披屋，且披屋内横墙较少或无横墙时：

$$T_1 = 2 K \sqrt{\frac{W_1 \Delta_1^2 + W_2 \cdot \Delta_2^2}{W_1 \Delta_1 + W_2 \cdot \Delta_2}} \quad (\text{秒}) \quad \dots\dots (2.3)$$

式中：

W_1 、 W_2 ——分别为集中在披屋屋盖和观众厅柱顶处确定周期用的重量 (KN)。

图 2-3：

$$W_1 = W_{r1} + 0.25 (W_a + W_{b1}) + 0.6 W_{b2} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$W_2 = 0.5 W_{r2} + 0.4 W_{b2}$$

图 2-4：

$$W_1 = W_{r1} + 0.25 (W_a + W_{b1}) + 0.6 W_{b2} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$W_2 = W_{r2} + 0.4 W_{b2} + 0.25 W_c$$

$$\Delta_1 = W_1 \cdot \delta_{11} + W_2 \cdot \delta_{12} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\Delta_2 = W_1 \cdot \delta_{21} + W_2 \cdot \delta_{22}$$

Δ_1 、 Δ_2 ——整个排架 (图 2-4) 或半个排架 (图 2-3)，在 W_1 和 W_2 当作水平力的共同作用下，质点 1 或质点 2 处的侧移 (米)。

图 2-3：

$$\delta_{11} = (1 - X_1 \textcircled{1}) \delta_{11}^a$$

$$\delta_{21} = X_1 \textcircled{1} \cdot \delta_{21}^b = \delta_{12}^c = X_1 \textcircled{2} \cdot \delta_{11}^a$$

$$\delta_{22} = \delta_{22}^b - X_1 \textcircled{2} \cdot \delta_{21}^b$$

$$X1① = \delta_{11}^a / (\delta_{11}^a + \delta_{11}^b)$$

$$X1② = \delta_{12}^b / (\delta_{11}^a + \delta_{11}^b)$$

图 2-4:

$$\delta_{11} = (1 - X1①) \delta_{11}^a$$

$$\delta_{21} = X2① = \delta_{22}^c = \delta_{12} = X1② \cdot \delta_{11}^a$$

$$\delta_{22} = (1 - X2②) \cdot \delta_{22}^c$$

$$X1① = \frac{\delta_{11}^a \cdot (\delta_{22}^b + \delta_{22}^c)}{(\delta_{11}^a + \delta_{11}^b) (\delta_{22}^b + \delta_{22}^c) - (\delta_{12}^b)^2}$$

$$X2① = X1① \frac{\delta_{12}^b}{\delta_{22}^b + \delta_{22}^c}$$

$$X2② = \frac{\delta_{22}^c (\delta_{11}^a + \delta_{11}^b)}{(\delta_{11}^a + \delta_{11}^b) (\delta_{22}^b + \delta_{22}^c) - (\delta_{12}^b)^2}$$

$$X1② = X2② \frac{\delta_{12}^b}{\delta_{11}^a + \delta_{11}^b}$$

式中 δ_{11}^a , ……………, δ_{22}^c 分别为轴线 a、b 或 c 砖壁柱在单位水平力 ($P_x = 1 \text{ KN}$ 或 $P_y = 1 \text{ KN}$) 作用下的侧移 (M)。

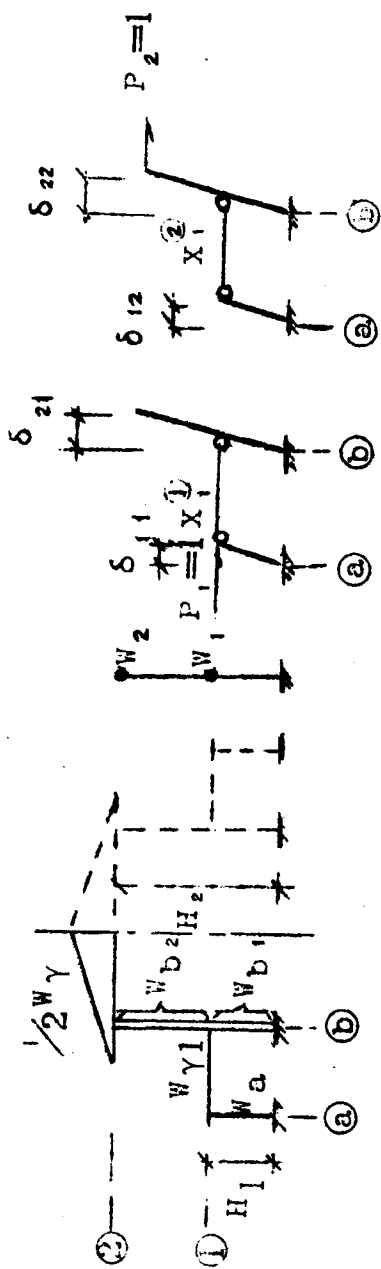


图 2.3 观众厅剖面图 (三)

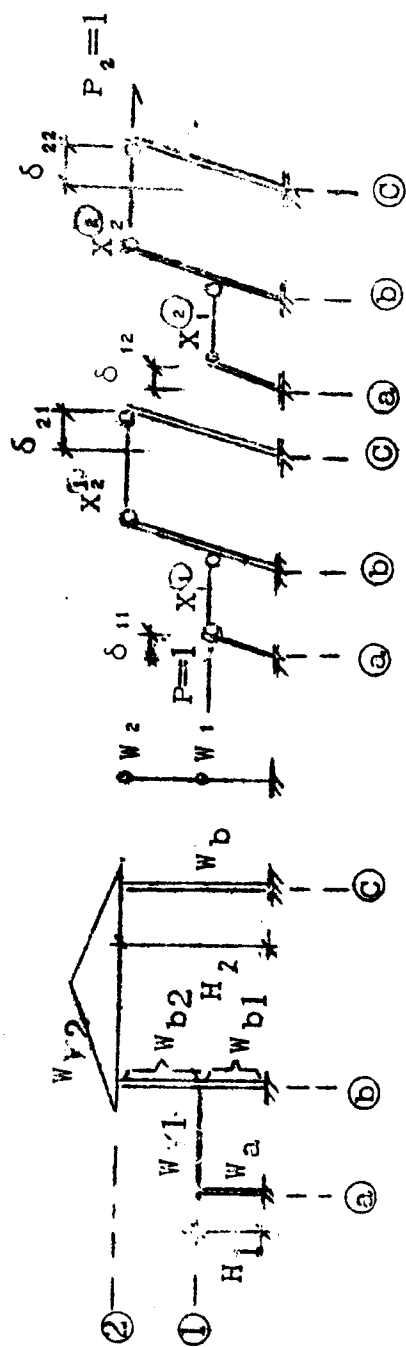


图 2.4 观众厅剖面图 (四)

2) 地震荷载

①观众厅无披屋，或者有披屋且屋内横隔墙很多时，作用于一个排架（一开间）上的水平地震作用标准值为：

$$P = \xi \alpha_1 W \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

式中：

ξ —— 空间作用折减系数，见规范附表 5.2；

α_1 —— 根据 T1 确定的水平地震影响系数值；

W —— 确定地震荷载用的折算到柱顶的一个开间的重量（KN），等于屋盖重量 W_r 加上墙柱重量 W_w 的 50%

$$W = 1.0 W_r + 0.5 (W_w \times 2) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

②观众厅有披屋，但披屋内少隔墙或无横隔墙时，作用于 1 个排架（图 2-4）或半个排架（图 2-3）上的结构底部剪力 Q_0 和集中质点地震荷载（ P_1 和 P_2 ）分别为：

$$Q_0 = \xi \alpha_1 (W_1' + W_2') \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

$$P_1 = \frac{W_1' H_1}{W_1' H_1 + W_2' H_2} Q_0 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$P_2 = \frac{W_2' H_2}{W_1' H_1 + W_2' H_2} Q_0 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

式中：

ξ 、 α_1 —— 见公式（2.7）；

W_1' 、 W_2' —— 分别为披屋屋盖处和观众厅柱顶处集中质点用于确定地震荷载的重量（KN）。

图 2.3：

$$W_1' = W_{r1} + 0.5 (W_a + W_{b1} + W_{b2}) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$W_2' = 0.5 W_{r2} + 0.5 W_{b2}$$

图 2.4:

$$W_1' = W_{r1} + 0.5 (W_a + W_{b1} + W_{b2}) \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

$$W_2' = W_{r2} + 0.5 (W_{b2} + W_{b1})$$

求出水平地震作用之后，程序接着再算得各截面在水平地震作用下的剪力、弯矩，供用户复核砖壁柱强度之用。

(三) 程序结构、特点及内定说明

1. 程序段及标识符说明

1) 程序段说明

本程序共十九个子程序段，现将主要程序段的功能叙述如下：

- a) YBD 主干子程序段；
- b) YBD1 验算多层砖房、底层全框架及多层全框架房屋数据简化入口；
- c) YBD2 验算多层砖房、底层全框架及多层全框架房屋数据非简化入口；
- d) YBD3 计算空旷房屋排架柱在地震荷载下的内力；
- e) QBH 对墙编号；
- f) QCH 去除虚墙后对墙重新编号；
- g) QQHZ 将楼板荷载化到墙上；
- h) FQD 划分墙段并形成地震质量；
- i) ODL 求地震作用剪力；
- j) FPQ 分配地震剪力并对墙验算安全度。

2) 标识符说明

这里将使用说明部分涉及不到的主要标识符号叙述如下：

- a) DXY (NX, NY) 节点信息数组；
- b) X (NJS) 节点的X轴坐标；