

抗震性能设计

一、规范规定

《建筑抗震设计规范统一培训教材》中指出：

抗震性能化设计仍然是以现有的抗震科学水平和经济条件为前提的，一般需要综合考虑使用功能、设防烈度、结构的不规则程度和类型、结构发挥延性变形的能力、造价、震后的各种损失及修复难度等等因素。不同的抗震设防类别，其性能设计要求也有所不同。

鉴于目前强烈地震下的结构非线性分析方法的计算模型和计算参数的选用尚存在不少经验因素，缺少从强震记录、设计施工资料到设计震害的详细验证，对结构性能的判断难以十分准确，因此在性能设计指标的选用中宜偏于安全一些。

建筑的抗震性能化设计，立足于承载力和变形能力的综合考虑，具有很强的针对性和灵活性。针对具体工程的需要和可能，可以对整个结构、也可以对某些部位或关键构件，灵活运用各种措施达到预期的性能目标——着重提高抗震安全性或满足使用功能的专门要求。

例如，可以根据楼梯间作为“抗震安全岛”的要求，提出确保大震下楼梯间具有安全避难的具體目标和性能要求；可以针对特别不规则、复杂建筑结构的具体情况，对抗侧力结构的水平构件和竖向构件分别提出相应的性能目标，提高其整体或关键部位的抗震安全性；对于地震时需要连续工作的机电设备，其相关部位的层间位移需满足设备运行所需的层间位移限值的专门要求；其他情况，可对震后的残余变形提出满足设施检修后运行的位移要求，也可提出大震后可修复运行的位移要求。建筑构件采用与结构构件柔性连接，只要可靠拉结并留有足够的间隙，如玻璃幕墙与钢框之间预留变形缝隙，震害经验表明，幕墙在结构总体安全时可以满足大震后继续使用的要求。还可以提高结构在罕遇地震下的层间位移控制值，如国外对抗震设防类别高的建筑，其弹塑性层间位移角比普通建筑的规定值减少 20%~50%。

《抗震规范》附录 M 对结构抗震性能设计的要求做了规定，分别给出在设防烈度地震、罕遇地震时，按照设计值和标准值进行计算的相关公式。

《高规》3.11 节最先提出结构抗震性能设计分为 1、2、3、4、5 五个性能水准，并对每一个性能设计水准规定了具体的计算公式和方法。

《广东高规》3.11 节对《高规》的五个性能设计水准给出了更明确的计算公式，比如《广东高规》规定了不同性能水准下的构件重要性系数及承载力利用系数，特别是《广东高规》对第 3、第 4、第 5 性能设计水准不再像《高规》那样提出“应进行弹塑性计算分析”的要求，明确了可按线弹性有限元计算出的内力位移进行性能设计的公式，这些规定便于软件实现，使软件可以直接利用线弹性有限元结果进行性能设计。

《上海抗规》附录 L 对抗震性能化设计做了规定。

二、软件实现

抗震性能设计的计算参数如图 3.9.1 所示。

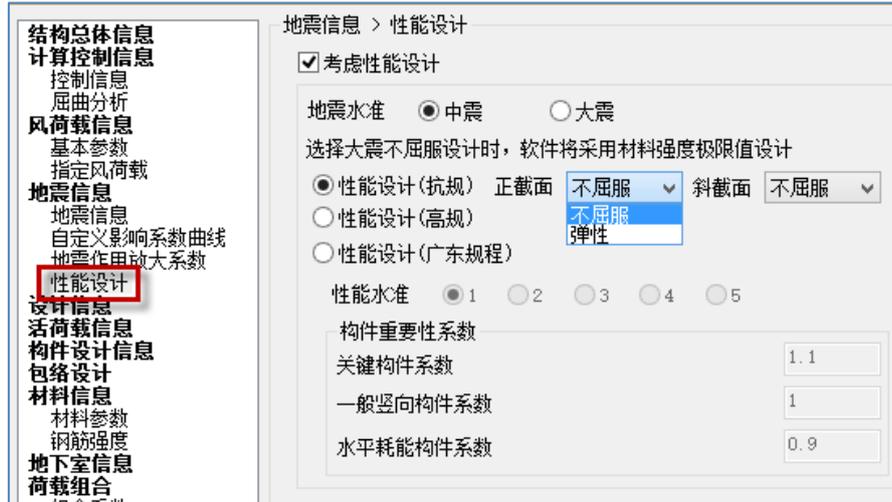


图 3.9.1 性能设计对话框

1、性能设计包括中震、大震两种地震水准

如果用户在地震信息中勾选“考虑性能设计”参数，就意味着当前的设计计算需要按照中震或者大震的要求进行。

勾选性能设计参数后首先需要在中震和大震这两个地震水准项中选择，如图 3.9.2 所示。中震、大震对应着《抗震规范》中设防地震、罕遇地震的概念。

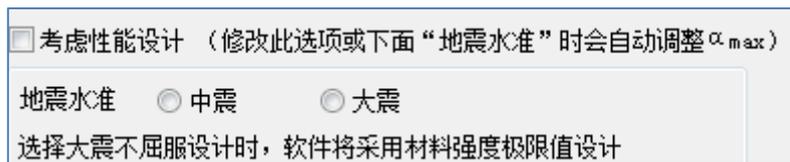


图 3.9.2 地震水准

用户勾选中震或大震后，软件将自动按照《抗震规范》设防地震或罕遇地震规定的地震影响系数最大值调整参数 α_{max} 。

软件提供按规范选择性能设计计算的方法，包括抗规、高规、广东高规。

无论按何种规范进行性能设计，均不考虑地震效应和风效应的组合，不考虑与抗震等级有关的内力调整系数。

2、按《抗震规范》的性能设计

《抗震规范》M.1.2-2：“结构构件承载力按不考虑地震作用效应调整的设计值复核时，应采用不计入风荷载效应的基本组合，并按下式验算。。。”

《抗震规范》M.1.2-3：“结构构件承载力按标准值复核时，应采用不计入风荷载效应的地震作用效应标准组合，并按下式验算。。。”

《抗震规范》M.1.2-4：“结构构件按极限承载力复核时，应采用不计入风荷载效应的地震作用效应标准组合，并按下式验算。。。”

这里提到了承载力计算三个不同层次的计算方式，对应设计值和基本组合、标准值和标准组合、极限值和标准组合。

对应这三个不同层次的计算，软件提供了“弹性”、“不屈服”两个选项，中震或大震“弹性”大致对应《抗震规范》M.1.2-2 按设计值和基本组合的承载力计算；中震“不屈服”大致对应《抗震规范》M.1.2-3 按标准值和标准组合的承载力计算。大震“不屈服”大致对应《抗震规范》M.1.2-4 按极限值和标准组合的承载力计算。

这里的参数“弹性”、“不屈服”的叫法是多年来在超限审查中专家对《抗震规范》M.1.2 中三个不同层次计算的习惯提法。

在按《抗震规范》进行性能设计时，用户还需要区分正截面、斜截面，分别选择“弹性”或“不屈服”，这是为了适应用户可分别对正截面、斜截面选择《抗震规范》M.1.2中三个不同层次的计算。

选择中震或大震弹性、不屈服设计时，软件自动处理的内容如下：

弹性：

- (1) 不考虑风荷载参与地震组合；
- (2) 不考虑与抗震等级有关的增大系数；

不屈服：

- (1) 不考虑风荷载参与地震组合；
- (2) 不考虑与抗震等级有关的增大系数；
- (3) 不考虑荷载分项系数；
- (4) 不考虑承载力抗震调整系数；
- (5) 材料强度：中震时为标准值，大震时为极限值；

3、按《广东高规》的性能设计

《广东高规》3.11节对结构的抗震性能设计给出了4个性能目标及每个性能目标下不同地震水准对应的性能水准。与《高规》不同的是，《广东高规》规定了不同性能水准下的构件重要性系数及承载力利用系数，更便于软件实现。

《广东高规》3.11.3 结构在小震作用下应满足弹性设计要求，结构构件的承载力和变形应符合本规程的有关规定。不同抗震性能水准的结构设计在中、大震作用下可按下列规定进行：

1 第1性能水准的结构在中震作用下，全部结构构件的抗震承载力宜符合下式要求：

$$S_{GEk} + \eta (S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk}^*) \leq \xi R_k \quad (3.11.3-1)$$

式中： R_k ——材料强度标准值计算的构件承载力；

ξ ——承载力利用系数，压、剪取0.6，弯、拉取0.69；

S_{Ehk}^* 、 S_{Evk}^* ——分别为水平和竖向中震作用计算的构件内力标准值，不需乘以与抗震等级有关的增大系数；

η ——构件重要性系数，关键构件可取 $\eta=1.05-1.15$ ，一般构件可取 $\eta=1.0$ ，水平耗能构件可取 $\eta=0.7-0.9$ 。

2 第2性能水准的结构在中震作用下，结构构件的抗震承载力宜符合式(3.11.3-1)的要求，式中承载力利用系数 ξ ，压、剪取0.67；弯、拉取0.77。

第2性能水准的结构在大震作用下，结构构件的抗震承载力宜符合式(3.11.3-2)的要求：

$$S_{GEk} + \eta (S_{Ehk}^{**} + 0.4S_{Evk}^{**}) \leq \xi R_k \quad (3.11.3-2)$$

式中： R_k ——材料强度标准值计算的构件承载力；

S_{Ehk}^{**} 、 S_{Evk}^{**} ——分别为水平和竖向大震作用计算的构件内力标准值，不需乘以与抗震等级有关的增大系数；

ξ ——承载力利用系数，压、剪取0.83，弯、拉取1.0；

3 第3性能水准的结构在中震作用下，结构构件的抗震承载力宜符合式(3.11.3-1)要求，承载力利用系数 ξ ，压、剪取0.74；弯、拉取0.87；大震作用下，竖向构件的受剪截面宜满足式(3.11.3-3)。

$$V_{GEk} + \eta V_{Ek}^{**} \leq \zeta f_{ck} b h_0$$

式中： V_{GEk} ——重力荷载代表值作用下的构件剪力标准值；

V_{Ek}^{**} ——大震作用下的构件剪力标准值，不需乘以与抗震等级有关的增大系数；

ζ ——剪压比，取 $\zeta=0.133$ 。

4 第4性能水准的结构在中震作用下，结构构件的抗震承载力宜符合式(3.11.3-1)的要求，承载力利用系数 ξ ，压、剪取0.83；弯、拉取1.0。在大震作用下，竖向构件的受剪截面宜满足式(3.11.3-3)，取 $\zeta=0.15$ 。

5 第5性能水准的结构在大震作用下，竖向构件的受剪截面宜满足式(3.11.3-3)，取 $\zeta=0.167$ 。

从以上条文可以看出，《广东高规》明确了可按线弹性有限元计算出的内力位移进行性能设计的公式，这些规定便于软件实现，使软件可以直接利用线弹性有限元结果进行性能设计。

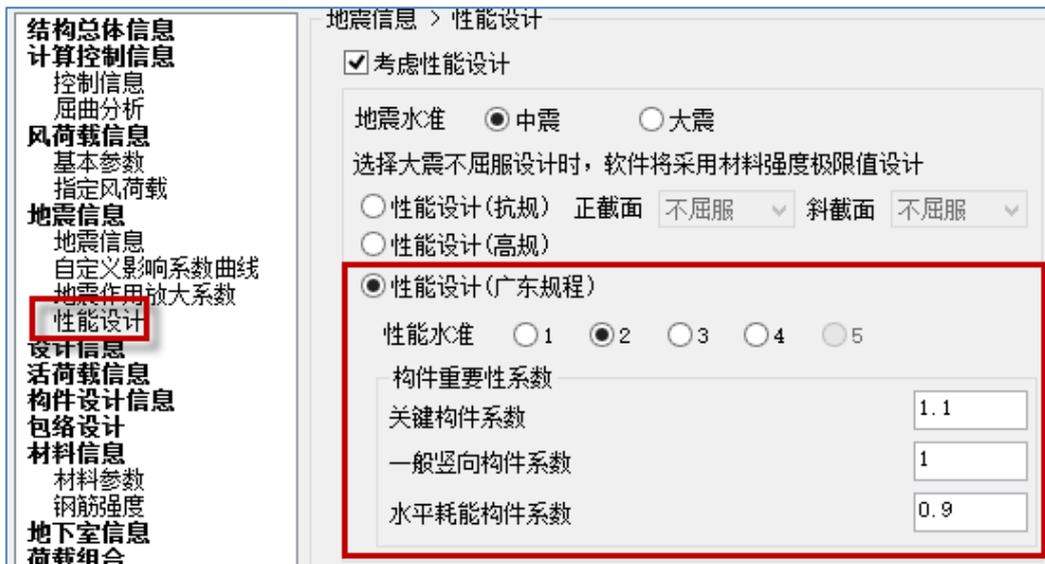


图 3.9.3 广东高规性能设计

勾选“性能设计（广东规程）”后，须按性能水准选择，如图3.9.3所示。其中，中震时可选1、2、3、4，大震时可选2、3、4、5。其中，构件重要性系数可以在参数中设置，并可在特殊构件定义中交互修改，软件根据输入的构件重要性系数及性能水准自动按照规范规定的相关计算公式计算。

构件区分关键构件、一般竖向构件和水平耗能构件，三类构件用构件重要性系数加以区分。软件默认剪力墙为关键构件，柱、支撑为一般竖向构件，梁为水平耗能构件。如果实际设计的构件与默认不符，用户可在【前处理及计算】的【重要性系数】中修改单构件的重要性系数，软件在计算前处理设置了【重要性系数】菜单，可对梁、柱、墙柱、墙梁、支撑按单构件分别设置重要性系数，如图3.9.4所示，就是配合《广东高规》的需要。重要性系数菜单仅当采用《广东高规》进行性能设计时起作用。



图 3.9.4 广东高规构件重要性系数设置菜单

按照广东高规进行性能设计时，荷载效应均采用标准组合，材料强度以标准值为基准，

对于《广东高规》公式3.11.3中的承载力利用系数 ξ 、竖向构件剪压比 ζ ，选择不同性能

水准的软件具体实现如下：

中震性能1：承载力利用系数 ξ ，压、剪取 0.6，拉、弯取 0.69；

中震性能 2：承载力利用系数 ξ ，压、剪取 0.67，拉、弯取 0.77；

中震性能 3：承载力利用系数 ξ ，压、剪取 0.74，拉、弯取 0.87；

中震性能 4：承载力利用系数 ξ ，压、剪取 0.83，拉、弯取 1.0；

大震性能 2：承载力利用系数 ξ ，压、剪取 0.83，拉、弯取 1.0；

大震性能 3：竖向构件剪压比 ξ 取 0.133；

大震性能 4：竖向构件剪压比 ξ 取 0.15；

大震性能 5：竖向构件剪压比 ξ 取 0.167；

4、按《高规》的性能设计

《高规》首次提出了可按 5 个性能设计水准设计的具体方法，但是在《高规》3.11.3 条中，对第 3、第 4、第 5 性能水准的结构都首先提到“应进行弹塑性计算分析”，因此在 YJK 的早期版本中没有提供专门按照《高规》的性能设计方法。

《广东高规》取消了《高规》对第 3、第 4、第 5 性能水准的结构“应进行弹塑性计算分析”的提法，从而明确了按照线弹性有限元计算分析方法进行 5 个性能水准性能设计的公式，同时很多用户建议对《高规》的 5 个性能水准的计算也依据线弹性有限元分析方法的内力结果，因此 YJK 新版在性能设计的规范选项增加了按《高规》计算。

勾选性能设计（高规）后，须按性能水准选择，其中，中震时可选 1、2、3、4，大震时可选 2、3、4、5。定义好结构的关键构件、一般竖向构件、水平耗能构件属性后，软件自动按照《高规》3.11.3 关于某一性能水准下按构件属性分类的正、斜截面的相关公式和规定执行。

和《广东高规》流程类似，软件默认剪力墙为关键构件，柱、支撑为一般竖向构件，梁为水平耗能构件。如果实际设计的构件属性与默认不符，用户可在【前处理及计算】的相关菜单中修改构件的性能设计属性。

三、性能设计相关的前处理及计算

1、特殊构件定义

如果选择按《高规》进行抗震性能设计，则可以在特殊构件定义中指定构件重要性类别，分为耗能构件、一般竖向构件、关键构件，软件根据构件类别自动生成默认值，工程师可仅针对所关心的关键部分进行查改。

如果选择按《广东高规》进行抗震性能设计，则可以在特殊构件定义中交互修改构件重要性系数，软件根据构件类别自动生成默认值，工程师可仅针对所关心的关键部分进行查改。

2、荷载组合

由于同一性能水准下构件的正截面、斜截面设计可能存在差别，软件区分了正截面设计、斜截面设计时的荷载组合。如果正截面、斜截面设计时的荷载组合不同，则工程师可在构件信息文本中分别查看正截面、斜截面设计时的荷载组合。

对于钢构件、钢管混凝土构件，软件不区分正截面、斜截面设计的荷载组合，均按斜截面设计要求进行荷载组合。

无论按何种规范进行性能设计，均不考虑地震效应和风效应的组合，不考虑与抗震等级有关的内力调整系数。

3、不同地震水准下的性能设计

目前软件一次计算所包含的性能设计内容均为同一地震水准下，规范中关于性能目标的规定是包含小、中、大震（即多遇地震、设防烈度地震、罕遇地震）等不同地震水准下的性能水准要求的。对此，工程师可采用软件提供的包络设计功能实现，将工程复制成 3 份，分别对应小、中、大震的计算结果，然后根据工程实际情况指定需要包络设计的构件，进行包络设计即可。

4、性能设计时标准内力的调整处理

对于剪重比、薄弱层、 $0.2V_0$ 调整等需要参数设置的调整项目，软件将仍然按用户设置的相关参数进行，例如，用户已经在参数中设置了剪重比自动调整、薄弱层自动放大调整、 $0.2V_0$ 调整等项目，软件在进行性能设计时仍进行这些调整，不会因为进行了性能设计而不再执行相关的参数，因此用户应在性能设计计算时，取消原来对多遇地震计算设置的相关调整选项。

对于框支柱地震内力调整等不需要参数控制而由软件自动进行调整的内容，软件自动取消调整。

5、性能设计常见问题

（1）哪些参数需要手工修改？

剪重比、薄弱层、 $0.2V_0$ 调整等提供参数选项的内容需要手工修改；