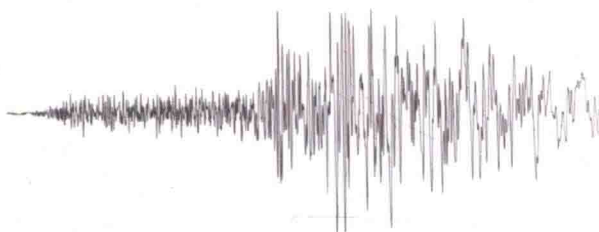


# 高层建筑

# 结构计算分析实用指南

焦柯 赖鸿立 吴桂广 ◇ 主编



中国建筑工业出版社

# 高层建筑结构计算分析实用指南

焦 柯 赖鸿立 吴桂广 主编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑结构计算分析实用指南/焦柯等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 3  
ISBN 978-7-112-21575-1

I. ①高… II. ①焦… III. ①高层建筑-结构设计-工程计算-指南 IV. ①TU973-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 292947 号

本书是作者多年工程设计经验的总结, 全书共 14 章, 包括: 小震下反应谱分析、小震下时程分析、中震下性能分析、大震下性能分析、风荷载分析、结构稳定性分析、地下室抗浮分析、楼板舒适度分析、温度效应分析、竖向构件收缩徐变效应分析、转换层抗震性能分析、加强层抗震性能分析、复杂节点承载力验算、基础方案分析。内容精炼, 具有较强的借鉴性和可操作性。

本书可帮助年轻结构工程师提高计算分析水平, 亦可作为结构专业技术人员的培训教材。

责任编辑: 王砾瑶 范业庶

责任设计: 李志立

责任校对: 姜小莲

## 高层建筑结构计算分析实用指南

焦 柯 赖鸿立 吴桂广 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 433 千字

2018 年 2 月第一版 2018 年 2 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-21575-1

(31238)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

随着我国高层建筑设计建造水平的快速提高，高度越来越高，平面布置和立面体形越来越复杂的高层建筑相继落成，高层、超高层建筑已经成为一座现代化城市的名片。由于高层结构设计的主要依据是结构计算分析结果，因此，合理地运用计算分析方法，准确地建立计算模型和输入相关参数，通过计算机软件得到可靠的计算结果，对确保高层建筑设计质量至关重要。

本书将高层建筑结构计算分析的工作内容归纳为 14 个专项分析，包括小震下反应谱分析和时程分析、中震和大震下抗震性能分析、风荷载分析、结构稳定性分析、地下室抗浮分析、楼板舒适度分析、温度效应分析、竖向构件收缩徐变效应分析、转换层和加强层抗震性能分析、复杂节点承载力验算、基础方案分析等。每一个专项首先简述了规范的计算要求，接着详细阐述了专项分析的技术要点、建模计算方法、结果分析与判断等内容，并对计算分析过程中的常见问题给出解决办法，最后是实际工程案例介绍，帮助读者快速掌握结构计算分析方法，并应用到工程实践中。

本书内容主要来源于作者对近年来完成的数十项复杂结构工程的计算分析成果总结。本书可作为常规高层结构计算分析和复杂高层结构可行性论证分析参考，也可以作为结构专业技术人员的培训教材，帮助年轻工程师提高计算分析水平。

广东省建筑设计研究院的同事们为本书编写提供了部分案例及资料，陈剑佳、张侃、李世龙等工程师也参与了本书部分内容编写工作，在此一并致以诚挚的谢意。

限于作者水平，书中所给出来的计算方法及分析结论难免有不恰当之处，恳请读者批评指正。

# 目 录

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 1     | 小震下反应谱分析 .....   | 1  |
| 1.1   | 规范要求 .....       | 1  |
| 1.2   | 技术要点 .....       | 2  |
| 1.2.1 | 反应谱法 .....       | 2  |
| 1.2.2 | 内力放大及组合 .....    | 3  |
| 1.3   | 建模计算 .....       | 7  |
| 1.3.1 | 计算参数 .....       | 7  |
| 1.3.2 | 计算流程 .....       | 8  |
| 1.3.3 | 常见问题处理 .....     | 8  |
| 1.4   | 结果分析 .....       | 9  |
| 1.4.1 | 分析依据 .....       | 9  |
| 1.4.2 | 计算结果判断 .....     | 10 |
| 1.4.3 | 常见问题 .....       | 12 |
| 1.5   | 小震弹性分析工程案例 ..... | 17 |
| 2     | 小震下时程分析 .....    | 24 |
| 2.1   | 规范要求 .....       | 24 |
| 2.2   | 技术要点 .....       | 24 |
| 2.2.1 | 时程分析法 .....      | 24 |
| 2.2.2 | 地震波的选择 .....     | 25 |
| 2.3   | 建模计算 .....       | 26 |
| 2.3.1 | 计算参数 .....       | 26 |
| 2.3.2 | 计算流程 .....       | 26 |
| 2.3.3 | 常见问题处理 .....     | 27 |
| 2.4   | 小震时程分析工程案例 ..... | 29 |
| 3     | 中震下性能分析 .....    | 34 |
| 3.1   | 规范要求 .....       | 34 |
| 3.2   | 技术要点 .....       | 35 |
| 3.2.1 | 中震计算方法 .....     | 35 |
| 3.2.2 | 承载力计算 .....      | 36 |
| 3.3   | 建模计算 .....       | 36 |
| 4     |                  |    |

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 3.3.1 | 计算参数                   | 36  |
| 3.3.2 | 计算流程                   | 37  |
| 3.3.3 | 常见问题处理                 | 37  |
| 3.4   | 结果分析                   | 42  |
| 3.5   | 剪力墙受拉分析工程案例            | 44  |
| 3.6   | 楼板应力分析工程案例             | 47  |
| 4     | 大震下性能分析                | 50  |
| 4.1   | 规范要求                   | 50  |
| 4.2   | 技术要点                   | 52  |
| 4.2.1 | 静力弹塑性分析                | 52  |
| 4.2.2 | 动力弹塑性分析                | 54  |
| 4.3   | 建模计算                   | 55  |
| 4.3.1 | 计算参数                   | 55  |
| 4.3.2 | 计算流程                   | 56  |
| 4.3.3 | 建模方法                   | 56  |
| 4.3.4 | 常见问题处理                 | 61  |
| 4.4   | 结果分析                   | 63  |
| 4.4.1 | 结果合理性判断                | 63  |
| 4.4.2 | 静力弹塑性分析常见问题            | 65  |
| 4.4.3 | 动力弹塑性分析常见问题            | 66  |
| 4.5   | 静力弹塑性分析工程案例            | 67  |
| 4.6   | ABAQUS 动力弹塑性分析工程案例     | 77  |
| 4.7   | PERFORM-3D 动力弹塑性分析工程案例 | 102 |
| 5     | 风荷载分析                  | 118 |
| 5.1   | 规范要求                   | 118 |
| 5.2   | 技术要点                   | 119 |
| 5.2.1 | 等效静态风荷载                | 119 |
| 5.2.2 | 结构体型系数                 | 120 |
| 5.2.3 | 结构风振系数                 | 120 |
| 5.2.4 | 变形控制                   | 121 |
| 5.3   | 建模计算                   | 121 |
| 5.3.1 | 计算参数                   | 121 |
| 5.3.2 | 计算流程                   | 121 |
| 5.3.3 | 常见问题处理                 | 123 |
| 5.4   | 结果分析                   | 126 |
| 5.5   | 风荷载下结构整体指标分析工程案例       | 126 |
| 5.6   | 舒适度分析工程案例              | 129 |

|       |                              |     |
|-------|------------------------------|-----|
| 6     | 结构稳定性分析                      | 132 |
| 6.1   | 规范要求                         | 132 |
| 6.2   | 技术要点                         | 132 |
| 6.2.1 | $P-\delta$ 效应和 $P-\Delta$ 效应 | 132 |
| 6.2.2 | 特征值屈曲分析方法                    | 133 |
| 6.2.3 | 刚重比计算方法                      | 133 |
| 6.2.4 | 等效计算长度                       | 135 |
| 6.3   | 建模计算                         | 135 |
| 6.3.1 | 计算参数                         | 135 |
| 6.3.2 | 计算流程                         | 136 |
| 6.3.3 | 常见问题处理                       | 140 |
| 6.4   | 结果分析                         | 141 |
| 6.5   | 结构稳定性分析工程案例                  | 142 |
| 7     | 地下室抗浮分析                      | 146 |
| 7.1   | 规范要求                         | 146 |
| 7.2   | 技术要点                         | 146 |
| 7.2.1 | 抗浮水位计算                       | 146 |
| 7.2.2 | 抗浮措施                         | 147 |
| 7.2.3 | 抗浮计算方法                       | 148 |
| 7.3   | 建模计算                         | 150 |
| 7.3.1 | 计算参数                         | 150 |
| 7.3.2 | 计算流程                         | 151 |
| 7.3.3 | 常见问题处理                       | 154 |
| 7.4   | 结果分析                         | 157 |
| 7.5   | 抗浮分析工程案例                     | 157 |
| 8     | 楼板舒适度分析                      | 162 |
| 8.1   | 规范要求                         | 162 |
| 8.2   | 技术要点                         | 163 |
| 8.2.1 | 自振频率分析方法                     | 163 |
| 8.2.2 | 规范计算方法                       | 163 |
| 8.2.3 | 时程分析方法                       | 164 |
| 8.2.4 | TMD 减振方法                     | 168 |
| 8.3   | 建模计算                         | 169 |
| 8.3.1 | 计算参数                         | 169 |
| 8.3.2 | 计算流程                         | 169 |
| 8.3.3 | 常见问题处理                       | 169 |

|        |                                 |     |
|--------|---------------------------------|-----|
| 8.4    | 结果分析 .....                      | 170 |
| 8.5    | 采用规范方法计算楼板舒适度工程案例 .....         | 172 |
| 8.6    | 采用时程分析方法计算楼板舒适度工程案例 .....       | 173 |
| 8.7    | TMD 减振分析工程案例 .....              | 175 |
| 9      | 温度效应分析 .....                    | 180 |
| 9.1    | 规范要求 .....                      | 180 |
| 9.2    | 技术要点 .....                      | 180 |
| 9.2.1  | 温度荷载类型 .....                    | 180 |
| 9.2.2  | 竖向温差效应计算 .....                  | 181 |
| 9.2.3  | 水平温差效应计算 .....                  | 182 |
| 9.3    | 建模计算 .....                      | 182 |
| 9.3.1  | 计算参数 .....                      | 182 |
| 9.3.2  | 计算流程 .....                      | 183 |
| 9.3.3  | 常见问题处理 .....                    | 184 |
| 9.4    | 结果分析 .....                      | 187 |
| 9.5    | 高层结构温度效应分析工程案例 .....            | 187 |
| 9.6    | 超长结构温度效应分析工程案例 .....            | 190 |
| 10     | 竖向构件收缩徐变效应分析 .....              | 192 |
| 10.1   | 规范要求 .....                      | 192 |
| 10.2   | 技术要点 .....                      | 192 |
| 10.2.1 | 中国规范的计算方法 .....                 | 193 |
| 10.2.2 | 欧洲规范的计算方法 .....                 | 194 |
| 10.2.3 | 收缩徐变计算的本构模型选择 .....             | 195 |
| 10.3   | 建模计算 .....                      | 196 |
| 10.3.1 | 计算参数 .....                      | 196 |
| 10.3.2 | 计算流程 .....                      | 197 |
| 10.3.3 | 常见问题处理 .....                    | 202 |
| 10.3.4 | 减小收缩和徐变的措施 .....                | 203 |
| 10.4   | SAP2000 考虑收缩徐变的施工分析工程案例 .....   | 203 |
| 10.5   | MIDAS Gen 考虑收缩徐变的施工分析工程案例 ..... | 207 |
| 11     | 转换层抗震性能分析 .....                 | 211 |
| 11.1   | 规范要求 .....                      | 211 |
| 11.2   | 技术要点 .....                      | 211 |
| 11.2.1 | 转换层结构形式 .....                   | 211 |
| 11.2.2 | 带转换层高层结构的特点 .....               | 212 |
| 11.2.3 | 转换梁截面计算方法 .....                 | 213 |



|        |                |     |
|--------|----------------|-----|
| 11.3   | 建模计算           | 214 |
| 11.3.1 | 计算参数           | 214 |
| 11.3.2 | 计算流程           | 214 |
| 11.3.3 | 常见问题处理         | 214 |
| 11.4   | 结果分析           | 215 |
| 11.5   | 转换层构件承载力分析工程案例 | 218 |
| 12     | 加强层抗震性能分析      | 226 |
| 12.1   | 规范要求           | 226 |
| 12.2   | 技术要点           | 227 |
| 12.2.1 | 结构变形及受力特点      | 227 |
| 12.2.2 | 超限判别及结构抗震性能设计  | 228 |
| 12.2.3 | 计算要点           | 228 |
| 12.2.4 | 加强层结构构件设计措施    | 229 |
| 12.3   | 建模计算           | 229 |
| 12.4   | 结果分析           | 230 |
| 12.5   | 带加强层结构分析工程案例   | 230 |
| 13     | 复杂节点承载力验算      | 242 |
| 13.1   | 规范要求           | 242 |
| 13.2   | 技术要点           | 242 |
| 13.2.1 | 节点受力状态         | 242 |
| 13.2.2 | 有限元分析方法        | 243 |
| 13.3   | 建模计算           | 244 |
| 13.3.1 | 软件选择           | 244 |
| 13.3.2 | 计算流程           | 245 |
| 13.3.3 | 常见问题处理         | 246 |
| 13.4   | 结果分析           | 247 |
| 13.5   | 节点有限元分析工程案例    | 247 |
| 14     | 基础方案分析         | 253 |
| 14.1   | 规范要求           | 253 |
| 14.2   | 技术要点           | 254 |
| 14.2.1 | 主要基础形式         | 254 |
| 14.2.2 | 零应力区           | 255 |
| 14.2.3 | 沉降缝            | 255 |
| 14.2.4 | 冲切验算           | 255 |
| 14.2.5 | 上部结构与基础共同工作    | 256 |
| 14.3   | 建模计算           | 256 |

|             |                          |            |
|-------------|--------------------------|------------|
| 14.3.1      | 桩基础建模.....               | 256        |
| 14.3.2      | 筏板基础建模.....              | 257        |
| 14.3.3      | 计算要点.....                | 257        |
| 14.3.4      | 常见问题处理.....              | 261        |
| <b>14.4</b> | <b>超限高层结构基础方案分析.....</b> | <b>262</b> |
| 14.4.1      | 超限项目基础数据统计.....          | 262        |
| 14.4.2      | 滨江海岸 14 号楼桩基础方案 .....    | 265        |
| 14.4.3      | 广州无限极广场桩基础方案.....        | 266        |
| 14.4.4      | 国通广场桩基础方案.....           | 267        |
| 14.4.5      | 海花岛 342 号楼桩筏基础方案.....    | 268        |
| 参考文献 .....  |                          | 275        |

# 1 小震下反应谱分析

根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)抗震设防的第一水准目标是小震不坏,即在多遇地震影响作用下,建筑处于弹性工作状态,宜采用振型分解反应谱法进行计算分析。

## 1.1 规范要求

表 1-1 列出了《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)中关于进行小震反应谱分析的规范要求。下文中《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)简称为《抗规》,《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)简称为《高规》,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)简称为《混规》。

进行小震反应谱分析的规范相关要求 表 1-1

|        | 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)                                                                                                                                                                                                  | 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)                                                                                                                                                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 抗震设防   | 第 3.1.1 条:抗震设防的所有建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别及其抗震设防标准                                                                                                                                                        | 第 4.3.1 条:1 甲类建筑:应按批准的地震安全性评价结果且高于本地区抗震设防烈度的要求确定;<br>2 乙、丙类建筑:应按本地区抗震设防烈度计算                                                                                                                                          |
| 地震作用方向 | 第 5.1.1 条:1 一般情况下,应至少在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用,各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。2 有斜交抗侧力构件的结构,当相交角度大于 15°时,应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。3 质量和刚度分布明显不对称的结构,应计入双向水平地震作用下的扭转影响;其他情况,应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。4 8、9 度时的大跨度和长悬臂结构及 9 度时的高层建筑,应计算竖向地震作用 | 第 4.3.2 条:1 一般情况下,应至少在结构两个主轴方向分别计算水平地震作用;有斜交抗侧力构件的结构,当相交角度大于 15°时,应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。2 质量与刚度分布明显不对称的结构,应计算双向水平地震作用下的扭转影响;其他情况,应计算单向水平地震作用下的扭转影响。3 高层建筑中的大跨度、长悬臂结构,7 度(0.15g)、8 度抗震设计时应计入竖向地震作用。4 9 度抗震设计时应计算竖向地震作用 |
| 竖向地震作用 | 大跨度空间结构的竖向地震作用,尚可按竖向振型分解反应谱方法计算。其竖向地震影响系数可采用本规范第 5.1.4、5.1.5 条规定的水平地震影响系数的 65%,但特征周期可均按设计第一组采用                                                                                                                             | 第 4.3.14 条:跨度大于 24m 的楼盖结构、跨度大于 12m 的转换结构和连体结构、悬挑长度大于 5m 的悬挑结构,结构竖向地震作用效应标准值宜采用时程分析方法或振型分解反应谱方法进行计算。时程分析计算时输入的地震加速度最大值可按规定的水平输入最大值的 65%采用,反应谱分析时结构竖向地震影响系数最大值可按水平地震影响系数最大值的 65%采用,但设计地震分组可按第一组采用。                     |
| 力学模型   | 第 3.6.6 条:3 复杂结构在多遇地震作用下的内力和变形分析时,应采用不少于两个合适的不同力学模型,并对其计算结果进行分析比较                                                                                                                                                          | 第 5.1.12 条:体型复杂、结构布置复杂以及 B 级高度高层建筑结构,应采用至少两个不同力学模型的结构分析软件进行整体计算                                                                                                                                                      |

| 续表       |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                        |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)                                                                             | 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)                                                                                                                                                            |
| 地震作用计算方法 | 第 5.1.2 条:1 高度不超过 40m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构,以及近似于单质点体系的结构,可采用底部剪力法等简化方法。2 除 1 款外的建筑结构,宜采用振型分解反应谱法 | 第 4.3.4 条:1 高层建筑结构宜采用振型分解反应谱法;对质量和刚度不对称、不均匀的结构以及高度超过 100m 的高层建筑结构应采用考虑扭转耦联振动影响的振型分解反应谱法。2 高度不超过 40m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的高层建筑结构,可采用底部剪力法。3 7~9 度抗震设防的高层建筑,下列情况应采用弹性时程分析法进行多遇地震下的补充计算 |

对于 10 层及 10 层以上或房屋高度大于 28m 的住宅建筑和房屋高度大于 24m 的其他高层民用建筑除了满足《抗规》的相关要求外,还需要满足《高规》的相关要求。

表 1-2 为根据规范要求列出的主要控制指标。

| 主要控制指标 |                                                                                                                                                                                                                  | 表 1-2 |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 周期比    | A 级高度周期比限值为 0.90,B 级高度及复杂高层结构周期比限值为 0.85                                                                                                                                                                         |       |
| 刚度比    | 《抗规》:该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%,或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%。<br>《高规》:框架结构本层与相邻上层的比值不宜小于 0.7,与相邻上部三层刚度平均值的比值不宜小于 0.8;框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框架-核心筒结构、筒中筒结构、板柱剪力墙结构,本层与相邻上层的比值不宜小于 0.9,当本层层高大于相邻层高的 1.5 倍时,不宜小于 1.1,对结构底部嵌固层,不宜小于 1.5 |       |
| 楼层承载力比 | 《抗规》:抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%。<br>《高规》:A 级高度楼层承载力比限值为 0.65,B 级高度楼层承载力比限值为 0.75                                                                                                                                 |       |
| 剪重比    | 详见《高规》表 4.3.12                                                                                                                                                                                                   |       |
| 层间位移角  | 框架结构层间位移角限值 1/550,框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、板柱剪力墙结构层间位移角限值 1/800,筒中筒、剪力墙结构层间位移角限值 1/1000,除框架结构外的转换层层间位移角限值 1/1000                                                                                                        |       |
| 位移比    | 《抗规》:楼层两端抗侧力构件弹性水平位移或层间位移的最大值与平均值的比值不宜大于 1.5,当最大层间位移远小于规范限值时,可适当放宽<br>《高规》:A 级高度位移比不应大于 1.5,B 级高度位移比不应大于 1.4                                                                                                     |       |
| 刚重比    | 剪力墙结构、框架-剪力墙结构、板柱剪力墙结构、筒体结构刚重比应大于 1.4,框架结构刚重比应大于 10                                                                                                                                                              |       |

1.2 技术要点

1.2.1 反应谱法

结构抗震计算方法主要有反应谱法和时程分析法。根据《抗规》要求,建筑结构抗震计算宜采用反应谱法,对于不规则且具有明显薄弱部位的结构,采用时程分析法做补充计算。

振型分解反应谱法是用来计算多自由度体系地震作用的一种方法。该法是利用单自由

度体系的加速度设计反应谱和振型分解的原理,求解各阶振型对应的等效地震作用,然后按照一定的组合原则对各阶振型的地震作用效应进行组合,从而得到多自由度体系的地震作用效应。反应谱法是基于随机振动理论推导而来的近似方法,其中最为广泛应用的是CQC振型组合法,它考虑了振型之间的耦合,计算精度较高。应用反应谱CQC法需要确定合理的组合振型数,目前我国规范规程和国内外计算机软件大都采用质量参与系数法来确定组合振型数。

振型分解反应谱法一般可计算两种类型的地震作用:不考虑扭转影响的水平地震作用和考虑平扭藕联效应的水平地震作用。

### 1. 振型参与质量

$$X \text{ 方向振型参与质量} \quad X_{\text{质}} = 100 \frac{\left( \sum_i G_i X_{ji} \right)^2}{\sum_i G_i} \quad (1-1)$$

$$Y \text{ 方向振型参与质量} \quad Y_{\text{质}} = 100 \frac{\left( \sum_i G_i Y_{ji} \right)^2}{\sum_i G_i} \quad (1-2)$$

$$\text{扭转方向振型参与质量} \quad \theta_{\text{质}} = 100 \frac{\left( \sum_i G_i \theta_{ji} \right)^2}{\sum_i G_i L_{ci}^2} \quad (1-3)$$

式中  $G_i$ ——集中质量;

$X_{ji}, Y_{ji}, \theta_{ji}$ ——X、Y、扭转三个方向的特征向量;

$G_i L_{ci}^2$ —— $\theta$  (扭转) 方向的质量;

$i$ ——层(点)号;

$j$ ——振型号。

### 2. 振型方向因子

$$X \text{ 方向振型方向因子} \quad D_X = \sum_i G_i X_{ji}^2 \quad (1-4)$$

$$Y \text{ 方向振型方向因子} \quad D_Y = \sum_i G_i Y_{ji}^2 \quad (1-5)$$

$$\text{扭转方向振型方向因子} \quad D_\theta = \sum_i G_i \theta_{ji}^2 \quad (1-6)$$

### 3. 振型方向角

振型方向角  $\alpha = \arctg(D_Y/D_X)$ ,  $\alpha$  取  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

## 1.2.2 内力放大及组合

### 1. 地震作用内力放大

在内力组合前,需要对地震作用内力进行放大,常见整体调整的情况包括:(1)剪重比不满足楼层最小地震剪力系数时的地震剪力放大。(2)薄弱层的地震剪力放大。(3)软弱层的地震剪力放大。(4)框剪结构中,框架部分地震剪力调整。(5)框支结构中,框支柱地震剪力调整。(6)转换层的地震剪力放大。

2. 内力基本组合

表 1-3 为构件内力基本组合表。表中  $V-D$ 、 $V-L$  分别为恒载、活载分项系数， $+X-W$ 、 $-X-W$  分别为  $X$  正负方向水平风荷载分项系数， $+Y-W$ 、 $-Y-W$  分别为  $Y$  正负方向水平风荷载分项系数， $X-E$ 、 $Y-E$  分别为  $X$  向、 $Y$  向水平地震作用分项系数， $Z-E$  为竖向地震作用分项系数。

构件内力基本组合表 表 1-3

| 组合号 | $V-D$ | $V-L$ | $+X-W$ | $-X-W$ | $+Y-W$ | $-Y-W$ | $X-E$ | $Y-E$ | $Z-E$ |
|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 1   | 1.35  | 0.98  | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 2   | 1.2   | 1.4   | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 3   | 1     | 1.4   | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 4   | 1.2   | —     | 1.4    | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 5   | 1.2   | —     | —      | 1.4    | —      | —      | —     | —     | —     |
| 6   | 1.2   | —     | —      | —      | 1.4    | —      | —     | —     | —     |
| 7   | 1.2   | —     | —      | —      | —      | 1.4    | —     | —     | —     |
| 8   | 1.2   | 1.4   | 0.84   | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 9   | 1.2   | 1.4   | —      | 0.84   | —      | —      | —     | —     | —     |
| 10  | 1.2   | 1.4   | —      | —      | 0.84   | —      | —     | —     | —     |
| 11  | 1.2   | 1.4   | —      | —      | —      | 0.84   | —     | —     | —     |
| 12  | 1.2   | 0.98  | 1.4    | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 13  | 1.2   | 0.98  | —      | 1.4    | —      | —      | —     | —     | —     |
| 14  | 1.2   | 0.98  | —      | —      | 1.4    | —      | —     | —     | —     |
| 15  | 1.2   | 0.98  | —      | —      | —      | 1.4    | —     | —     | —     |
| 16  | 1     | —     | 1.4    | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 17  | 1     | —     | —      | 1.4    | —      | —      | —     | —     | —     |
| 18  | 1     | —     | —      | —      | 1.4    | —      | —     | —     | —     |
| 19  | 1     | —     | —      | —      | —      | 1.4    | —     | —     | —     |
| 20  | 1     | 1.4   | 0.84   | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 21  | 1     | 1.4   | —      | 0.84   | —      | —      | —     | —     | —     |
| 22  | 1     | 1.4   | —      | —      | 0.84   | —      | —     | —     | —     |
| 23  | 1     | 1.4   | —      | —      | —      | 0.84   | —     | —     | —     |
| 24  | 1     | 0.98  | 1.4    | —      | —      | —      | —     | —     | —     |
| 25  | 1     | 0.98  | —      | 1.4    | —      | —      | —     | —     | —     |
| 26  | 1     | 0.98  | —      | —      | 1.4    | —      | —     | —     | —     |
| 27  | 1     | 0.98  | —      | —      | —      | 1.4    | —     | —     | —     |
| 28  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | —     |
| 29  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | —     |
| 30  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | —     |
| 31  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | —     |

续表

| 组合号 | $V-D$ | $V-L$ | $+X-W$ | $-X-W$ | $+Y-W$ | $-Y-W$ | $X-E$ | $Y-E$ | $Z-E$ |
|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 32  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | 1.3   | —     | —     |
| 33  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | -1.3  | —     | —     |
| 34  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | 1.3   | —     |
| 35  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | -1.3  | —     |
| 36  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | —     |
| 37  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | —     |
| 38  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | —     |
| 39  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | —     |
| 40  | 1     | 0.5   | —      | 0.28   | —      | —      | 1.3   | —     | —     |
| 41  | 1     | 0.5   | —      | 0.28   | —      | —      | -1.3  | —     | —     |
| 42  | 1     | 0.5   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | 1.3   | —     |
| 43  | 1     | 0.5   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | -1.3  | —     |
| 44  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | 0.5   |
| 45  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | -0.5  |
| 46  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | 0.5   |
| 47  | 1.2   | 0.6   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | -0.5  |
| 48  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | 0.5   |
| 49  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | -0.5  |
| 50  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | 0.5   |
| 51  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | -0.5  |
| 52  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | 1.3   | —     | 0.5   |
| 53  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | 1.3   | —     | -0.5  |
| 54  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | -1.3  | —     | 0.5   |
| 55  | 1.2   | 0.6   | —      | 0.28   | —      | —      | -1.3  | —     | -0.5  |
| 56  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | 1.3   | 0.5   |
| 57  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | 1.3   | -0.5  |
| 58  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | -1.3  | 0.5   |
| 59  | 1.2   | 0.6   | —      | —      | —      | 0.28   | —     | -1.3  | -0.5  |
| 60  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | 0.5   |
| 61  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | 1.3   | —     | -0.5  |
| 62  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | 0.5   |
| 63  | 1     | 0.5   | 0.28   | —      | —      | —      | -1.3  | —     | -0.5  |
| 64  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | 0.5   |
| 65  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | 1.3   | -0.5  |
| 66  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | 0.5   |
| 67  | 1     | 0.5   | —      | —      | 0.28   | —      | —     | -1.3  | -0.5  |

续表

| 组合号 | V-D | V-L | +X-W | -X-W | +Y-W | -Y-W | X-E  | Y-E  | Z-E  |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 68  | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | 1.3  | —    | 0.5  |
| 69  | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | 1.3  | —    | -0.5 |
| 70  | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | -1.3 | —    | 0.5  |
| 71  | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | -1.3 | —    | -0.5 |
| 72  | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | 1.3  | 0.5  |
| 73  | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | 1.3  | -0.5 |
| 74  | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | -1.3 | 0.5  |
| 75  | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | -1.3 | -0.5 |
| 76  | 1.2 | 0.6 | 0.28 | —    | —    | —    | 0.5  | —    | 1.3  |
| 77  | 1.2 | 0.6 | 0.28 | —    | —    | —    | 0.5  | —    | -1.3 |
| 78  | 1.2 | 0.6 | 0.28 | —    | —    | —    | -0.5 | —    | 1.3  |
| 79  | 1.2 | 0.6 | 0.28 | —    | —    | —    | -0.5 | —    | -1.3 |
| 80  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | 1.3  |
| 81  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | -1.3 |
| 82  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | 1.3  |
| 83  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | -1.3 |
| 84  | 1.2 | 0.6 | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | —    | 1.3  |
| 85  | 1.2 | 0.6 | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | —    | -1.3 |
| 86  | 1.2 | 0.6 | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | —    | 1.3  |
| 87  | 1.2 | 0.6 | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | —    | -1.3 |
| 88  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | 0.5  | 1.3  |
| 89  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | 0.5  | -1.3 |
| 90  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | -0.5 | 1.3  |
| 91  | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | 0.28 | —    | -0.5 | -1.3 |
| 92  | 1   | 0.5 | 0.28 | —    | —    | —    | 0.5  | —    | 1.3  |
| 93  | 1   | 0.5 | 0.28 | —    | —    | —    | 0.5  | —    | -1.3 |
| 94  | 1   | 0.5 | 0.28 | —    | —    | —    | -0.5 | —    | 1.3  |
| 95  | 1   | 0.5 | 0.28 | —    | —    | —    | -0.5 | —    | -1.3 |
| 96  | 1   | 0.5 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | 1.3  |
| 97  | 1   | 0.5 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | -1.3 |
| 98  | 1   | 0.5 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | 1.3  |
| 99  | 1   | 0.5 | —    | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | -1.3 |
| 100 | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | —    | 1.3  |
| 101 | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | 0.5  | —    | -1.3 |
| 102 | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | —    | 1.3  |
| 103 | 1   | 0.5 | —    | 0.28 | —    | —    | -0.5 | —    | -1.3 |



续表

| 组合号 | V-D | V-L | +X-W | -X-W | +Y-W | -Y-W | X-E | Y-E  | Z-E  |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|------|
| 104 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —   | 0.5  | 1.3  |
| 105 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —   | 0.5  | -1.3 |
| 106 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —   | -0.5 | 1.3  |
| 107 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | 0.28 | —   | -0.5 | -1.3 |
| 108 | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | —    | —   | —    | 1.3  |
| 109 | 1.2 | 0.6 | —    | —    | —    | —    | —   | —    | -1.3 |
| 110 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | —    | —   | —    | 1.3  |
| 111 | 1   | 0.5 | —    | —    | —    | —    | —   | —    | -1.3 |

1.3 建模计算

1.3.1 计算参数

表 1-4 列出了当前结构设计常用软件及软件接口，表 1-5 列出了常用设计软件在抗震计算中主要参数。

软件版本和接口 表 1-4

| 软件名称     | 版本号     | 研发单位                        | 软件接口                                        |
|----------|---------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| SATWE    | V3.1 版  | 中国建筑科学研究院                   | 与 ETABS 互导,PKPM 转 MIDAS Gen, PKPM 转 SAP2000 |
| GSSAP    | 18.0 版  | 深圳市广厦软件有限公司                 | YJK 和 PKPM 转 GSSAP, GSSAP 转 ETABS           |
| YJK      | 1.8.2 版 | 北京盈建科软件股份有限公司               | 与 ETABS、SATWE、MIDAS Gen 互导, YJK 转 GSSAP     |
| Building | 2014 版  | 北京迈达斯技术有限公司                 | PMSAP 转 Building, Building 转 ETABS          |
| ETABS    | 2016 版  | Computers & Structures, Inc | ETABS 转 SAP2000                             |

软件计算参数 表 1-5

| 计算参数   | 计算参数取值                                                                     | 备注           |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 地震影响系数 | 根据《抗规》表 5.1.4-1 自动取值或手工输入                                                  | 各软件的输入方法基本相同 |
| 抗震等级   | 手工指定                                                                       | 各软件的输入方法相同   |
| 场地类别   | 手工指定                                                                       | 各软件的输入方法相同   |
| 地震分组   | 手工指定                                                                       | 各软件的输入方法相同   |
| 重要性系数  | 手工指定                                                                       | 各软件的输入方法相同   |
| 双向地震   | 《高规》:当位移比大于 1.2 考虑。<br>广东《高规》:前三振型中某一振型的扭转方向因子在 0.35~0.36 之间,且扭转不规则程度为Ⅱ类考虑 | 各软件的输入方法相同   |
| 偶然偏心   | 手工指定                                                                       | 各软件的输入方法相同   |
| 特征周期   | 根据规范自动取值或手工指定                                                              | 各软件的输入方法相同   |