T CECS XXX-2019

# 中国工程建设标准化协会标准

# 波纹钢组合框架结构技术规程

Technical Specification for Frame Structures with Corrugated

Steel Plate Components

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

波纹钢组合框架结构技术规程

Technical Specification for Frame Structures with Corrugated

Steel Plate Components

TCECS XXX-2019

主编单位：上海欧本钢结构有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：XXXX年XX月XX日

前言

为规范波纹钢板组合框架结构在建筑工程中的应用，规程编制组经过广泛调查研究，进行大量试验分析，参考了国内外近期的研究成果，认真总结工程实践经验，并在广泛征求意见的基础上制定了本规程。

本规程主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.结构分析；5.甲壳梁、优端梁设计；6.甲壳柱设计；7.构件及节点抗震设计；8.防护设计;9.制作与施工；10. 质量验收。

本规程某些内容涉及专利，涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本规程的主编单位协商处理，本规程的发布机构不承担识别专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理，由上海欧本钢结构有限公司负责具体技术内容的解释，使用过程中如有意见或建议，请寄送上海欧本钢结构有限公司（地址：上海市浦东新区茂兴路88号2楼，邮政编码：200127）。

主编单位：上海欧本钢结构有限公司

江南大学

参编单位：上海应用技术大学

郑州大学

中国海诚工程科技股份有限公司

华东建筑设计研究总院

同济大学建筑设计研究院

中机中联工程有限公司

上海市机电设计研究院有限公司

中国建筑设计研究院有限公司

上海联境建筑工程设计有限公司

上海天华建筑设计有限公司

北京工业大学

上海联创设计集团股份有限公司

主要起草人员：邹 昀 陈 明 吴艺超 王城泉 胡大柱 张 哲

徐灵通 包联进 吴宏磊 向渊明 汪 崖 李天祺梁淑萍 霍文营 曾朝杰 李伟兴 曹万林 魏丰登

唐 鹏

主要审查人员：周绪红 李国强 汪大绥 王立军 余海群 王玉银

张 瑾

目次

[1 总则 1](#_Toc28706870)

[2 术语和符号 3](#_Toc28706871)

[2.1 术语 3](#_Toc28706872)

[2.2 符号 4](#_Toc28706873)

[3 基本规定 7](#_Toc28706874)

[3.1 一般规定 7](#_Toc28706875)

[3.2 材 料 15](#_Toc28706876)

[3.3 结构体系和规则性要求 18](#_Toc28706877)

[3.4 水平位移和舒适度要求 19](#_Toc28706878)

[3.5 构件承载力设计 21](#_Toc28706879)

[3.6 甲壳梁、优端梁、优腹梁构造要求 22](#_Toc28706880)

[3.7 甲壳柱构造要求 25](#_Toc28706881)

[4 结构分析 28](#_Toc28706882)

[4.1 一般规定 28](#_Toc28706883)

[4.2 计算原则 29](#_Toc28706884)

[5 甲壳梁、优端梁设计 31](#_Toc28706885)

[5.1一般规定 31](#_Toc28706886)

[5.2承载能力极限状态计算 32](#_Toc28706887)

[5.3裂缝宽度验算 36](#_Toc28706888)

[5.4挠度验算 39](#_Toc28706889)

[6甲壳柱设计 41](#_Toc28706890)

[6.1一般规定 41](#_Toc28706891)

[6.2承载能力极限状态计算 42](#_Toc28706892)

[7构件及节点抗震设计 54](#_Toc28706893)

[7.1 甲壳梁 54](#_Toc28706894)

[7.2 甲壳柱 57](#_Toc28706895)

[7.3 柱脚节点设计及构造 61](#_Toc28706896)

[7.4 梁柱节点设计及构造 66](#_Toc28706897)

[8防护设计 74](#_Toc28706898)

[8.1防腐设计 74](#_Toc28706899)

[8.2 防火设计 76](#_Toc28706900)

[8.3 隔热设计 77](#_Toc28706901)

[9制作与施工 79](#_Toc28706902)

[9.1 构件制作 79](#_Toc28706903)

[9.2 钢甲壳安装与连接 85](#_Toc28706904)

[9.3 混凝土施工及检测 88](#_Toc28706905)

[10质量验收 92](#_Toc28706906)

[10.1 一般规定 92](#_Toc28706907)

[10.2 甲壳柱、甲壳梁的验收 94](#_Toc28706908)

**[附录A 甲壳柱、甲壳梁的组成](#_Toc28706909)** [96](#_Toc28706909)

[A.1 甲壳柱 96](#_Toc28706910)

[A.2 甲壳梁 99](#_Toc28706911)

[A.3 节点 100](#_Toc28706912)

[A.4 优端梁 102](#_Toc28706913)

**[附录B 甲壳柱钢甲壳截面特性](#_Toc28706914)** [103](#_Toc28706914)

**[附录C 甲壳梁钢甲壳截面特性](#_Toc28706916)** [106](#_Toc28706916)

**[引用标准名录](#_Toc28706919)** [109](#_Toc28706919)

**[条文说明](#_Toc28706920)** [109](#_Toc28706920)

1 总则

* + 1. 为合理应用波纹钢板组合框架结构，做到技术先进、安全适用、经济合理、施工方便、确保质量，制定本规程。

条文说明：1.0.1随着老百姓购买方式的转变，国内对各种物流仓储建筑需求量巨大，而随着土地成本的增长，工业仓储建筑的层数越来越多，建筑高度越来越高，此类建筑的特点是：大跨、重载、层高高、构件重。现有的结构形式存在各种不足：混凝土现浇框架结构需要巨量的满堂脚手架,用工量大、工期长且施工安全隐患高；全钢框架结构用钢量大、建造成本高；装配式混凝土框架结构的施工困难、建造成本高且抗震性能弱。类似地，还有一些框架结构的公共建筑和工业建筑等，也具有上述的同样问题。

波纹钢板组合框架结构由甲壳柱-甲壳梁或甲壳柱-钢梁组成，钢甲壳既是施工阶段的模板，又替代使用阶段的受力钢筋，施工方便，受力合理。经过大量的构件试验、节点试验和有限元分析，表明波纹钢板组合框架结构具有良好的承载能力和抗震性能，目前已有多个实际工程应用案例，具有良好的经济效益。

为满足工程应用的需求，编制本规程。

* + 1. 本规程适用于抗震设防烈度为6度至8度地震区的工业与民用建筑和一般构筑物的波纹钢板组合框架结构的设计、制作、安装及验收。

条文说明：1.0.2根据《中国地震动参数区划图》GB18306-2015,我国已无不抗震设防的地区，波纹钢板组合框架结构尚无9度区的应用经验，因此本规程的适用范围为抗震设防烈度6度至8度的地震区。

* + 1. 波纹钢板组合框架结构的设计与施工，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

条文说明：1.0.3本规程中的很多参数，如材料和连接的强度等，都引用了国家现行有关标准的规定，因此，除本规范有明确的规定外，设计时还应遵守国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 波纹钢板组合框架结构 frame structures with corrugated steel plate components

由甲壳柱、甲壳梁、钢梁、优端梁等构件组成的预制装配整体式框架结构,包含框架结构体系和框架-支撑结构体系。

条文说明：2.1.1 波纹钢板组合框架结构的形式，根据框架柱梁的组成构件的不同，分为以下几种形式：

1. 甲壳柱-甲壳梁框架结构。
2. 甲壳柱-钢梁框架结构。
3. 甲壳柱-混凝土梁框架结构。
4. 甲壳柱-优端梁框架结构。

以上框架结构，可设置支撑，形成波纹钢板组合框架-支撑结构。

2.1.2 甲壳柱 corrugated plate-concrete filled steel tubular columns

由四角钢管与侧壁板焊接形成多腔体钢甲壳，并在腔体内填充混凝土，组合成整体受力的钢-混凝土组合柱。

条文说明：2.1.2 甲壳柱钢甲壳的截面构成特征为四角钢管与侧板焊接而成，四角钢管可为方管、矩形管；侧板可为横向波纹板或平钢板；当四角为方管或矩形管时，为防止混凝土浇筑时涨模，宜在柱高范围内间隔设置”X”形拉结板或“口”形拉结板，也可以在混凝土施工时设置临时外抱箍；当四面侧板均为波纹板时，按本规程规定进行设计；当两面侧板为平钢板或四面侧板均为平钢板时，侧板对截面抗弯、抗压、抗拉、抗剪的贡献同矩形钢管混凝土柱，且均不考虑截面套箍系数。

2.1.3 甲壳梁steel-encased concrete composite beam with corrugated steel webs

由上下翼缘及双波纹腹板组成U形截面钢甲壳，内加普通钢筋，并填充混凝土的钢-混凝土组合梁。

2.1.4 预应力甲壳梁 prestressed steel-encased concrete composite beam with corrugated steel webs

内设预应力筋并施加预应力的甲壳梁。

2.1.5 优端梁 section steel with corrugated steel sheet concrete composite beam

两端为甲壳梁、中段为实腹式H型钢或波纹腹板H型钢的梁。

2.1.6 优腹梁 H-shape steel beam with corrugated web in the middle and flat web at both ends

两端为平腹板、中段为波纹腹板的焊接H型钢梁。

2.1.7 免模免支撑板 floorslab without formwork and support

施工期间无需模板和支撑的组合楼板，可为压型钢板组合楼板（开口型、缩口形、闭口型）、钢筋桁架组合楼板、优肋免拆模组合楼板等。

条文说明：2.1.7 优肋免拆模组合楼板是由预先制作的优肋组合模板、钢筋和后浇混凝土组成。优肋组合模板是将冷弯薄壁型钢肋与纤维增强水泥板采用平头钻尾螺钉在工厂装配连接为一体的组合模板，组合模板的纤维增强水泥板作为楼板的免拆底模，同时作为施工阶段的作业平台；Z形肋可以代替肋方向的受力钢筋。现场安装优肋组合模板，配置少量附加钢筋，浇筑混凝土即可完成楼板的施工，施工简单、便捷。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

——型钢（钢管、钢板）弹性模量；

——混凝土弹性模量；

——钢筋弹性模量；

——型钢（钢管、钢板）抗拉、抗压强度设计值；

——型钢（钢管、钢板）抗拉、抗压强度标准值；

——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

——混凝土轴心抗拉强度设计值；

——钢筋抗拉、抗压强度设计值；

——预应力筋的抗拉强度设计值；

2.2.2 作用和作用效应

——弯矩设计值；

——轴向力设计值；

——剪力设计值；

——正截面承载力计算中纵向钢筋的受拉、受压应力；

——正截面承载力计算中型钢翼缘的受拉、受压应力；

——最大裂缝宽度。

2.2.3 几何参数

——混凝土全截面、型钢全截面、受拉钢筋总截面、受压钢筋总截面的面积；

——型钢（钢甲壳）波纹腹板截面总面积

——预应力筋面积；

——纵向受拉钢筋合力点、纵向受压钢筋合力点、受拉预应力筋至混凝土截面近边的距离；

——甲壳梁截面考虑长期作用影响的刚度；

——甲壳梁截面短期刚度；

——混凝土矩形截面宽度；

——型钢（钢甲壳）翼缘宽度；

——混凝土保护层厚度；

——轴向力作用点至纵向受拉钢筋和型钢（钢管、钢板）受拉翼缘合力点之间的距离；

——附加偏心距；

——初始偏心距；

——轴向力对截面重心的偏心距；

——混凝土截面高度；

——型钢(钢甲壳)截面高度；

——型钢（钢甲壳）受拉翼缘和纵向受拉钢筋合力点至混凝土截面受压边缘的距离；

——纵向受拉钢筋、型钢（钢甲壳）受拉翼缘截面重心到混凝土截面受压边缘的距离；

——型钢（钢甲壳）波纹腹板高度；

——型钢（钢甲壳）截面惯性矩；

——混凝土截面惯性矩；

——型钢（钢甲壳）翼缘厚度；

——型钢（钢甲壳）腹板厚度；

——混凝土受压区高度。

2.2.4 计算系数及其他

——钢与混凝土弹性模量之比；

——混凝土相对受压区高度；

——考虑偏心率影响的承载力折减系数；

——考虑长细比影响的承载力折减系数；

——甲壳柱大腔内填充混凝土抗压强度套箍增强系数。

——方钢管内填充混凝土抗压强度套箍增强系数。

条文说明：2.2.1~2.2.4符号根据现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132、《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083并结合本规范的具体情况给出。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1波纹钢板组合框架结构，除应符合本规程的要求外，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011规定的抗震设计原则。

3.1.2 波纹钢板组合框架结构的抗震设防烈度需按国家审批、颁发的文件确定；一般情况下，抗震设防烈度应采用根据中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度。

3.1.3 抗震设防的建筑，应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223确定其抗震设防类别和相应的抗震设防标准。

注：本章甲类、乙类、丙类建筑分别为现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223中特殊设防类、重点设防类、标准设防类建筑的简称。

3.1.4 波纹钢板组合框架结构设计时，应按《建筑抗震设计规范》GB50011确定房屋的地震作用。

条文说明：3.1.1~3.1.4 根据《建筑抗震设计规范》 对波纹钢板组合框架结构的抗震设计原则、抗震设防烈度、设防类别、设防标准、地震作用进行规定。

3.1.5 设置少量支撑的框架-支撑结构，在规定水平力作用下，当底层框架部分所承担的地震倾覆力矩大于结构总倾覆力矩的50%时，其最大适用高度、最大高宽比、抗震等级均应按框架结构确定。

条文说明：3.1.5 框架-支撑结构体系，底层支撑按刚度分配的地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的50%，实际工程应用中也有设置少量支撑的结构，此类结构应按框架结构的标准执行。

3.1.6 抗震设防烈度为6度至8度的乙类和丙类建筑的最大适用高度应符合表 3.1.6 的规定。平面和竖向均不规则的波纹钢板组合框架结构的最大适用高度宜适当降低。

表 3.1.6 波纹钢板组合框架结构的最大适用高度（m）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | | 抗震设防烈度 | | | |
| 6度 | 7度 | 8度 | |
| 0.20g | 0.30g |
| 框架结构 | 甲壳柱-甲壳梁，  甲壳柱-钢筋混凝土梁 | 60 | 50 | 40 | 35 |
| 甲壳柱-钢梁 | 70 | 60 | 50 | 40 |
| 框架-支撑  结构 | 甲壳柱-甲壳梁-支撑，  甲壳柱-钢筋混凝土梁-支撑 | 95 | 85 | 70 | 55 |
| 甲壳柱-钢梁-支撑 | 220 | 200 | 180 | 150 |

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2 超过表内高度的建筑或8度区的甲类建筑，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施；

3 6度和7度区的甲类建筑宜按本地区抗震设防烈度提高一度后确定其最大适用高度。

条文说明：3.1.6 波纹钢板组合框架结构的最大适用高度，框架结构及甲壳柱-钢梁-支撑结构按《钢管混凝土结构技术规范》GB50936执行，甲壳柱-甲壳梁-支撑结构按上海市工程建设规范《建筑抗震设计规程》DGJ08-9关于钢支撑-混凝土框架的规定执行，即不超过钢筋混凝土框架结构和钢筋混凝土框架-剪力墙结构二者适用高度的平均值。

3.1.7波纹钢板组合框架结构的高宽比不宜大于表3.1.7 的规定。

表 3.1.7 波纹钢板组合框架结构适用的最大高宽比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 抗震设防烈度 | | |
| 6度 | 7度 | 8度 |
| 框架结构 | | 5 | 4 | 3 |
| 框架-支撑结构 | 甲壳柱-甲壳梁-支撑 | 6 | 5 | 4 |
| 甲壳柱-钢梁-支撑 | 6.5 | 6 | 5 |

注：1 计算高宽比的高度一般从室外地面算起，当塔形建筑底部有大底盘时，从大底盘顶部算起。

条文说明：3.1.7 框架结构：6度区取《钢管混凝土结构技术规范》与《高层混凝土结构技术规程》规定的中间值，7、8度区取《高层混凝土结构技术规程》的规定值；甲壳柱-甲壳梁-支撑结构：6度区取《高层混凝土结构技术规程》中关于框架-剪力墙的规定值，7、8度区取《高层混凝土结构技术规程》中框架结构与框架-剪力墙结构的平均值；甲壳柱-钢梁-支撑结构：6度区取《钢管混凝土结构技术规范》与《民用建筑钢结构技术规程》的较小值，7度、8度取同《钢管混凝土结构技术规范》。

3.1.8 波纹钢板组合框架结构丙类建筑的抗震等级应按表 3.1.8 确定。框架中的钢梁的抗震等级可按钢结构构件确定, 并应符合国家现行规范《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关要求。 当建筑场地为Ⅲ类、Ⅳ类时，对设计基本加速度为0.15g和0.30g的地区，结构抗震构造措施宜提高一个抗震等级。

表3.1.8 波纹钢板组合框架结构房屋的抗震等级

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 设防烈度 | | | | | |
| 6度 | | 7度 | | 8度 | |
| 框架 | 房屋高度(m) | ≤24 | >24 | ≤24 | >24 | ≤24 | >24 |
| 甲壳柱、甲壳梁、钢筋混凝土梁 | 四 | 三 | 三 | 二 | 二 | 一 |
| 大跨度框架 | 三 | | 二 | | 一 | |
| 甲壳柱-  甲壳梁-  支撑 | 房屋高度(m) | ≤24 | >24 | ≤24 | >24 | ≤24 | >24 |
| 框架 | 四 | 三 | 三 | 二 | 二 | 一 |
| 支撑框架、支撑 | 三 | 二 | 二 | 一 | 一 | 特一 |
| 甲壳柱-  钢梁-  支撑 | 房屋高度(m) | ≤50 | >50 | ≤50 | >50 | ≤50 | >50 |
| 框架 |  | 四 | 四 | 三 | 三 | 二 |
| 支撑框架、支撑 | 四 | 三 | 三 | 二 | 二 | 一 |

注：1 建筑场地为I类时，除6度外允许按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低。

2 大跨度框架指跨度不小于18m的甲壳柱-甲壳梁框架。

3 当地下室顶层作为上部结构的嵌固端时，地下一层相关范围的抗震等级应按上部结构采用， 地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级；地下室中超出上部主楼相关范围且无上部结构的部分，其抗震等级可根据具体情况采用三级或四级。

条文说明：3.1.8 波纹钢板组合框架结构的抗震设计，应根据设防烈度、结构类型、房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施规定。带甲壳梁、钢筋混凝土梁的框架结构及框架-支撑结构的抗震等级按《建筑抗震设计规范》中的钢筋混凝土框架结构进行取值，较严格。钢梁按钢结构构件确定。带钢梁的框架-支撑结构的抗震等级按《高层民用建筑钢结构技术规程》取值，

3.1.9 波纹钢板组合框架结构在多遇地震作用下的结构阻尼比可按表3.1.9取值，在罕遇地震作用下的结构阻尼比可取0.050。风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时，阻尼比可取O.02~0.04; 结构舒适度验算时的阻尼比可取O.0l ~0. 02 。

表3.1.9 多遇地震下波纹钢板组合框架结构阻尼比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 结构高度 | | |
| H≤50m | 50m < H ≤ 100m | H > 100m |
| 框架 | 甲壳柱-甲壳梁（钢梁） | 0.040 | 0.035 |  |
| 甲壳柱-钢筋混凝土梁 | 0.045 | 0.040 |
| 框架-支撑 | 甲壳柱-甲壳梁（钢梁）-支撑 | 0.040 | 0.035 | 0.030~0.020 |
| 甲壳柱-钢筋混凝土梁-支撑 | 0.045 | 0.040 | 0.035~0.025 |

注：当波纹钢板组合框架中设置减震构件时，结构阻尼比为表中阻尼比值与计算得到的附加阻尼比值之和。

条文说明：3.1.9 结构阻尼比按《钢管混凝土结构技术规范》取值，比《组合结构设计规范》的规定严格。

3.1.10 结构的重力二阶效应及结构的整体稳定应符合下列规定：

1 当结构满足下列规定时，弹性计算分析时可不考虑重力二阶效

应的不利影响

甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）组成的框架结构：

甲壳柱-钢梁组成的框架结构：

甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）-支撑组成的框架支撑结构：

甲壳柱-钢梁-支撑组成的框架支撑结构：

式中：——第楼层的弹性等效侧向刚度，可取该层剪力与层间位移的比值；

——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度，可按倒三角形分布荷载作用下结构顶点位移相等的原则，将结构的侧向刚度折算为竖向悬臂受弯构件的等效侧向刚度；

——第楼层层高；

——结构计算总层数；

——分别为第楼层重力荷载设计值；

——房屋高度；

2 当结构不满足上述第1条的规定时，结构弹性计算时应考虑重

力二阶效应对水平力作用下结构内力和位移的不利影响。重力二阶效应可采用有限元法进行计算，也可以采用对未考虑二阶效应的计算结果乘以增大系数的方法近似考虑。近似考虑时，结构位移增大系数、以及结构构件弯矩和剪力增大系数、可分别按下列规定计算，位移计算结果仍应满足本规程第3.4.1条的规定。

对甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）组成的框架结构，可按下列公式计算

对甲壳柱-钢梁组成的框架结构，可按下列公式计算

对甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）-支撑组成的框架支撑结构，可按下列公式计算

甲壳柱-钢梁-支撑组成的框架支撑结构，可按下列公式计算

3 结构的整体稳定性应符合下列规定：

甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）组成的框架结构：

甲壳柱-钢梁组成的框架结构：

甲壳柱-甲壳梁（钢筋混凝土梁）-支撑组成的框架支撑结构：

甲壳柱-钢梁-支撑组成的框架支撑结构：

条文说明：3.1.10 带甲壳梁或混凝土梁的框架结构及框架-支撑结构，其重力二阶效应及整体稳定按钢筋混凝土结构的框架及框架-支撑结构考虑，带钢梁的框架结构及框架-支撑结构，其重力二阶效应及整体稳定按钢结构的框架及框架-支撑结构考虑，

3.1.11 波纹钢板组合框架结构的防震缝设置，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关要求，防震缝宽度应分别符合下列要求：

1 对于甲壳柱-钢梁框架及甲壳柱-钢梁-支撑结构，当高度不超过15m时不应小于150mm；高度超过15m时，6度、7度、8度分别每增加高度5m、4m、3m，宜加宽30mm。

2 对于甲壳柱-甲壳梁框架、甲壳柱-钢筋混凝土梁框架、甲壳柱-甲壳梁-支撑和甲壳柱-钢筋混凝土梁-支撑结构，当高度不超过15m时不应小于125mm；高度超过15m时，6度、7度、8度分别每增加高度5m、4m、3m，宜加宽25mm。

条文说明：3.1.11 甲壳柱-钢梁框架按钢结构控制，取钢筋混凝土框架的1.5倍，甲壳柱-甲壳梁和甲壳柱-混凝土梁框架，取钢筋混凝土结构与钢结构的中间值，即钢筋混凝土框架的1.25倍，与层间位移角的控制指标相对应。

3.1.12 组合楼板的设计、施工、验收应符合现行行业标准《组合楼板设计与施工规范》CECS 273的相关规定。

条文说明：3.1.12 免拆模优肋组合楼板的设计同现浇钢筋混凝土楼板，钢肋等强度代换为普通钢筋。组合楼板在施工阶段及使用阶段的强度及变形均需满足相关标准的要求。

3.1.13波纹钢板组合框架结构的构件除进行使用阶段的计算和验算外，还应进行施工阶段的承载力及变形验算；甲壳柱、甲壳梁的钢甲壳在施工阶段作为模板，应进行施工阶段承载能力及变形验算，甲壳柱的四角钢管在施工竖向荷载作用下的应力不应大于钢管抗压强度设计值的0.6倍。甲壳梁在施工阶段宜保持弹性变形状态。

条文说明：3.1.13 甲壳柱施工阶段主要验算波纹钢板和四角钢管在湿混凝土浇筑过程中涨模力作用下的承载力及变形。四角钢管通过设置十字拉板或“口”型拉板减小钢管的计算跨度，甲壳柱施工阶段的竖向应力限值取同钢管混凝土柱。甲壳梁主要验算钢甲壳在混凝土浇筑过程中混凝土自重引起的内力及挠度，挠度可按《波纹腹板钢结构技术规程》的相应公式进行计算。

3.2 材 料

3.2.1 波纹钢板组合框架结构中钢材的牌号及标准、材料选用、设计指标和设计参数应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的相关规定，并应符合下列规定：

1 波纹钢板用钢材，不宜采用 Q420 及以上的高强度钢。

2 矩形钢管可采用焊接钢管，也可采用冷成型矩形钢管，当采用冷成型矩形钢管时，应符合现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178中I级产品的规定。

3 冷弯型材，其力学性能指标应满足国家标准《冷弯型钢结构技术规范》GB50018 的相关规定。

**4** 框架柱、框架梁及支撑所用钢材,屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于0.85,应有明显的曲服台阶，且伸长率不应小于20%,应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

**5** 采用焊接连接的钢构件，当接头的焊接拘束度较大、钢板厚度不小于40mm且承受沿厚度方向的拉力时，钢板厚度方向截面收缩率不应小于国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313关于Z15级规定的容许值。

**6** 压型钢板质量应符合现行国家标准《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的规定，压型钢板的基板应选用热浸镀锌钢板，不宜选用镀铝锌板。镀锌层应符合现行国家标准《连续热镀锌薄钢板及钢带》 GB/T 2518 的规定。

条文说明：3.2.1 波纹钢板采用Q420及以上的高强度钢时，难以加工成型。矩形钢管、冷弯型材、压型钢板及钢材的抗震要求在《钢结构设计标准》中未明确，加以补充。

3.2.2 波纹钢板组合框架结构中，钢连接材料的型号及标准、材料选用、设计指标和设计参数应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的相关规定。

条文说明：3.2.2 波纹钢板组合框架结构中，连接形式主要为：螺栓连接、焊接连接、锚栓连接，其各项规定均按《钢结构设计标准》GB50017执行。

3.2.3 波纹钢板组合框架结构中混凝土的选用应符合下列规定：

1混凝土的材料性能应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 执行；当采用 C80 以上高强混凝土时，应有可靠的依据。自密实混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定。

2 甲壳梁的混凝土强度等级不宜低于C30，不宜超过C50；预应力甲壳梁的混凝土强度等级不宜低于C40，不宜超过C50；甲壳柱的混凝土强度等级不宜低于C30,甲壳柱采用Q390、Q420钢管时，混凝土强度等级不宜低于C40；抗震设防烈度为6度、7度时甲壳柱的混凝土强度等级不宜超过C80，抗震设防烈度为8度时甲壳柱的混凝土强度等级不宜超过C70；抗震等级为一级的框架梁柱及节点的混凝土强度等级不应低于C30；免模免支撑板的混凝土强度等级不宜低于C25。

3甲壳梁内填混凝土可采用普通混凝土；甲壳柱内填混凝土宜采用自密实混凝土，也可采用普通混凝土，当采用普通混凝土时，应采取减少收缩的技术措施，采用合适的配合比、塌落度并采取合理的施工措施保证密实性和施工质量。

条文说明：3.2.3 甲壳梁的混凝土选用原则同钢筋混凝土梁，甲壳柱的混凝土选用需综合考虑地材特性和施工工艺，减少收缩并保证密实度。

3.2.4 波纹钢板组合框架结构中栓钉应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433的规定，其材料及力学性能应符合表3.2.4规定。

表 3.2.4 栓钉材料及力学性能

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 极限抗拉强度（N/） | 屈服强度（N/） | 伸长率（%） |
| ML15、ML15Al | ≥400 | ≥320 | ≥14 |

3.2.5 一个圆柱头栓钉的抗剪承载力设计值应符合式3.2.5规定：

（3.2.5）

式中：——栓钉的抗剪承载力设计值；

——混凝土弹性模量；

——混凝土受压强度设计值；

——圆柱头栓钉钉杆截面面积；

——圆柱头栓钉极限抗拉强度设计值，取360N/。

条文说明：3.2.4~3.2.5 栓钉的材料选用及承载力计算按《组合结构设计规范》执行。

3.2.6波纹钢板组合框架结构中钢筋的选用应符合下列规定：

1普通钢筋及预应力筋的材料性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定；预应力筋用锚具和连接器选用的规定应符合现行国家标准《预应力混凝土结构设计规范》JGJ369的相关规定。

2普通钢筋宜采用热轧带肋钢筋，当采用现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB1499.2中牌号带“E”的热轧带肋钢筋时，其强度和弹性模量应按《混凝土设计规范》GB50010的有关规定采用。

3按一、二、三级抗震等级设计的框架和斜撑构件的纵向受力普通钢筋，其抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25，屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于1.30，最大拉力下的总伸长率实测值不应小于9%。

条文说明：3.2.6 钢筋的选用按《混凝土结构设计规范》执行。

3.3 结构体系和规则性要求

3.3.1 波纹钢板组合框架结构体系应与实际建筑功能相匹配。

3.3.2 波纹钢板组合框架结构可与装配式混凝土结构、钢结构等预制装配系统同时使用。

3.3.3框架柱沿房屋高度宜采用同类结构构件。当采用不同类型结构构件时，应符合本规程有关柱与柱连接的构造的规定。

3.3.4 波纹钢板组合框架结构，当框架梁为钢梁时，部分柱可采用钢管混凝土柱，钢管混凝土柱及节点应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936的规定。

条文说明：3.3.1~3.3.4 对于各种装配式结构，可根据建筑功能的需求灵活择优选用不同形式的构件及结构体系，打通各种结构形式之间的壁垒，同时需进行整体分析，注重结构抗侧力构件的竖向连贯性。

3.3.5波纹钢板组合框架结构的楼盖结构应具有良好的水平刚度和整体性，对转换层、加强层以及有大开洞楼层，宜采取有效技术措施确保水平力的可靠传递。

条文说明：3.3.5 对转换层、加强层以及有大开洞楼层，宜采用钢筋桁架组合楼板或优肋免拆模组合楼板，当采用压型钢板组合楼板（开口型、缩口形、闭口型）时，宜增加楼板的有效厚度。

3.3.6 波纹钢板组合框架结构的建筑设计应根据抗震概念设计的要求，明确建筑形体的规则性；宜择优选用规则的形体；不规则的建筑方案应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定采取加强措施；特别不规则的建筑方案，应进行专门研究和论证，采用特别的加强措施；严重不规则的方案不应采用。建筑形体及其结构布置的规则性判别原则应按《建筑抗震设计规范》GB50011执行。

3.3.7 波纹钢板组合框架结构及其抗侧力结构的的平面布置宜规则、对称，并应具有良好的整体性；在满足建筑使用功能要求的条件下，应避免平面布置凸出或凹进所产生的传力中断现象；建筑的立面和竖向剖面宜规则，结构的侧向刚度沿竖向宜均匀变化，竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小，应避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变。

条文说明：3.3.6~3.3.7 按《抗震设计规范》的要求，对结构的规则性进行规定。

3.4 水平位移和舒适度要求

3.4.1 波纹钢板组合框架结构在风荷载或多遇地震标准值作用下,按弹性分析方法计算所得的最大楼层层间位移与层高之比不宜大于表3.4.1的限值。

表3.4.1 波纹钢板组合框架结构弹性层间位移与层高之比限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 限值 |
| 框架，框架-支撑 | 甲壳柱-钢梁 | 1/300 |
| 甲壳柱-甲壳梁 | 1/350 |
| 甲壳柱-钢筋混凝土梁 | 1/450 |

条文说明：3.4.1 结构试验表明，甲壳柱-甲壳梁框架结构在层间位移角达到1/300前均保持弹性，甲壳柱-钢梁框架结构在层间位移角达到1/250前均保持弹性。3.4.1表中的限值，甲壳柱-钢梁按《钢管混凝土结构技术规范》取值，甲壳柱-甲壳梁取钢结构与混凝土结构的中间值，甲壳柱-混凝土梁取更严格。

3.4.2 波纹钢板组合框架结构在罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性位移与层高之比，不应大于1/50。

条文说明：3.4.2 结构试验表明，甲壳柱-甲壳梁及甲壳柱-钢梁框架结构的破坏位移角，均大于1/40,本条规定与《建筑抗震设计规范》保持一致。

3.4.3 波纹钢板组合框架结构应用于不小于150m的高层民用建筑结构时，应满足风振舒适度要求。在现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 规定的 10 年一遇的风荷载标准值作用下，结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度计算值不应大于表 3.4.3的限值。结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度，可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的有关规定计算，也可通过风洞试验结果判断确定。

表3.4.3 波纹钢板组合框架结构顶点的顺风向和横风向风振加速度限值

|  |  |
| --- | --- |
| 使用功能 | 风振加速度限值（m/s²） |
| 住宅、公寓 | 0.20 |
| 办公、旅馆 | 0.28 |

3.4.4 波纹钢板组合框架结构中楼盖应具有适宜的舒适度。楼盖结构的竖向振动频率不宜小于 3Hz，竖向振动加速度峰值不应大于表3.4.4 的限值；有特殊工艺要求的工业结构，尚应满足其工艺振动频率要求。楼盖结构竖向振动加速度可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的有关规定计算。

表3.4.4 竖向振动加速度限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 人员活动环境 | 峰值加速度限值（m/s²） | |
| 竖向自振频率不大于2HZ | 竖向自振频率不小于4Hz |
| 住宅、办公 | 0.07 | 0.05 |
| 商场及室内连廊 | 0.22 | 0.15 |

注：楼盖结构竖向频率为2Hz～4Hz 时，峰值加速度限值可按线性插值选取。

条文说明：3.4.3~3.4.4 按《高层民用建筑钢结构技术规程》规定取值。

3.4.5 甲壳梁的最大挠度应按荷载效应的准永久组合，预应力甲壳梁的最大挠度应按荷载效应的标准组合，并均考虑长期作用的影响进行计算；甲壳梁施工阶段的最大挠度应按施工阶段恒荷载标准值计算，其计算值不得超过表3.4.5规定的挠度限值。

表3.4.5 甲壳梁挠度限值

|  |  |
| --- | --- |
| 跨度 | 挠度限值（以计算跨度计算） |
| ＜7m | /200（/250） |
| 7m≤≤9m | /250（/300） |
| ≥9m | /300（/400） |
| 施工阶段 | /400 |

注：1 表中的为构件的计算跨度，悬臂构件的按实际悬臂长度的2倍采用；

2 构件有起拱时，可将计算所得的挠度值减去起拱值；对预应力甲壳梁，尚可减去预应力所产生的的反拱值。

3 表中括号中的数值适用于使用上对挠度较高要求的构件。

4 构件制作时的起拱值和预加力所产生的反拱值，不宜超过构件在相应荷载组合作 用下的计算挠度值。

3.4.6 甲壳梁负弯矩区段按荷载效应的准永久组合，预应力甲壳梁负弯矩区段按荷载效应的标准组合，并均考虑长期作用的影响时，其混凝土的最大裂缝宽度不应超过表3.4.6规定的最大裂缝宽度限值。

表3.4.6 甲壳梁负弯矩区段混凝土最大裂缝宽度限值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐久性环境等级 | 无预应力甲壳梁 | | 有预应力甲壳梁 | |
| 裂缝控制等级 |  | 裂缝控制等级 |  |
| **一** | 三级 | 0.30(0.40) | 三级 | 0.20 |
| 二a | 0.20 | 0.10 |

注：1 对处于年平均相对湿度小于60%地区一类环境下的受弯构件，其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值。

2 甲壳梁不宜用于二b、三a、三b、四、五类环境中。

条文说明：3.4.5~3.4.6 按《混凝土结构设计规范》规定取值，甲壳梁无需考虑正弯矩作用下的裂缝。

3.5 构件承载力设计

3.5.1 波纹钢板组合框架结构的构件应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

3.5.2 波纹钢板组合框架结构的构件承载力应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

（3.5.2-1）

2 地震设计状况

（3.5.2-2）

式中:——构件内力组合设计值，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定进行计算；

——构件的重要性系数，对安全等级为一级的结构构件不应小于1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于1.0；

——构件承载力设计值；

——承载力抗震调整系数，其值应按表3.5.2的规定采用。

表3.5.2 承载力抗震调整系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 构件类型 | 组合结构构件 | | | | | | | | 钢构件 | |
| 梁 | 柱、支撑 | | | | 各类构件 | | 节点 | 梁、柱、支撑 | 柱、支撑 |
| 受力特性 | 受弯 | 偏压  轴压比小于0.15 | 偏压  轴压比不小于0.15 | 轴压 | 轴拉、偏拉 | 局压 | 受剪 | 受剪 | 强度 | 稳定 |
|  | 0.75 | 0.75 | 0.8 | 0.8 | 0.85 | 1.0 | 0.85 | 0.85 | 0.75 | 0.80 |

条文说明：3.5.2 抗震调整系数按《建筑抗震设计规范》和《组合结构设计规范》的规定取值，

3.6 甲壳梁、优端梁、优腹梁构造要求

3.6.1甲壳梁的钢甲壳由上翼缘、下翼缘、双波纹腹板组成，其截面如图3.6.1所示，其零部件名称宜符合附录A.2的要求；梁端腹板宜采用平钢板过渡；甲壳梁钢筋的构造要求及间距应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的要求，钢筋施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关要求。



图3.6.1甲壳梁截面

图中：-甲壳梁截面宽度;-甲壳梁截面高度;-钢甲壳截面高度;-波纹腹板高度;-钢甲壳下翼缘截面宽度;-钢甲壳下翼缘截面厚度;-钢甲壳上翼缘截面宽度;-钢甲壳上翼缘截面厚度;-波纹腹板壁厚;-波纹腹板波高。

条文说明：3.6.1 钢甲壳内的普通钢筋及预应力筋宜采用专用固定卡件进行定位及固定，也可采用点焊短钢筋的方式进行定位及固定。

3.6.2甲壳梁的上下翼缘宽厚比宜符合《波纹腹板钢结构技术规程》CECS291的规定，甲壳梁的上翼缘宽度不宜小于80mm，厚度不宜小于8mm。波纹腹板厚度不宜小于1.5mm，波形宜采用图3.6.2所示波形；波纹腹板的高厚比不宜大于600；甲壳梁上翼缘之间宜设置拉结钢板，拉结钢板间距不宜大于1000mm，甲壳梁上翼缘与楼板应采用栓钉或抗剪键连接。



图3.6.2 波纹板的波形

3.6.3 甲壳梁宽度超过300mm时，下翼缘上表面中部宜设置栓钉，栓钉与波纹腹板之间的间距及栓钉与栓钉之间的间距不宜大于200mm，在甲壳梁端自柱边算起1倍梁高的长度范围内，栓钉与波纹腹板之间的间距及栓钉与栓钉之间的间距不宜大于100mm。甲壳梁上翼缘与混凝土板之间设置的栓钉宜达到部分抗剪连接的要求。

条文说明：3.6.2~3.6.3 为方便制作加工，波纹腹板的高度宜采用50mm的模数，当上翼缘的抗剪键采用栓钉时，上翼缘板厚宜满足《组合结构设计规范》的相关规定，为保证地震作用时甲壳梁具有足够延性，对梁端部下翼缘的栓钉进行加密。当甲壳梁的波纹腹板采用其它波形时，应通过试验确定，确保波纹腹板的屈服强度低于屈曲强度。

3.6.4 优端梁的两端为甲壳梁，中间段为实腹式或波纹腹板H型钢梁，其零部件名称宜符合附录A.5的要求。优端梁甲壳部分的构造要求应符合甲壳梁的要求，H型钢梁部分的构造要求应符合钢梁的要求。

条文说明：3.6.4 优端梁分段处的过渡，宜考虑内力的均匀变化，不宜有激烈的刚度突变和应力集中。

3.6.5 优腹梁的两端为实腹板H型钢梁，其构造要求应符合H型钢梁的要求，中间段为波纹腹板H型钢梁，其构造要求应符合波纹腹板H型钢梁的要求。

条文说明：3.6.5 优腹梁分段处的波纹腹板与平腹板，宜沿腹板高度全长焊接。

3.6.6 优端梁及优腹梁宜根据梁的承载及内力分布进行分段。

条文说明：3.6.6 梁端与跨中的分段，与梁的实际承载及内力相关，对于承受多个竖向集中荷载的主框架梁，一般在第一集中力作用处分段，对于承受均布竖向荷载的次方向框架梁，一般在距梁端1/6跨度处分段。考虑加工方便，分段数一般不超过3段。

3.6.7 甲壳梁与H型钢次梁通过连接板用高强度螺栓连接，连接板厚度等于次梁腹板厚度加2mm，连接板穿过波纹腹板与上下翼缘及波纹腹板焊接，连接板在甲壳梁内设置栓钉，栓钉间距同螺栓间距。次梁端部的剪力全部由螺栓承担。具体构造见图3.6.7。



1. (b)



(c)

图3.6.7 甲壳梁-H型钢次梁连接节点构造

1. 两侧连次梁；(b)单侧连次梁；(c)两侧次梁标高不等

条文说明：3.6.7 虽然钢次梁端部按铰接连接设计，甲壳梁在钢次梁的连接处仍存在扭矩，需保证扭矩在甲壳梁内的有效传递。

3.7 甲壳柱构造要求

3.7.1 甲壳柱的钢甲壳由四角钢管与波纹侧板组成，其截面如图3.7.1所示，其零部件名称宜符合附录A.1的规定。



图3.7.1 甲壳柱截面

图中：-甲壳柱截面宽度;-甲壳柱截面高度;-四角钢管截面宽度;-四角钢管截面高度;-四角钢管壁厚;-波纹侧板宽度;-波纹侧板高度;-波纹侧板壁厚;-波纹侧板的波高。

条文说明：3.7.1 当甲壳柱截面较小时，为方便中间腔体内的混凝土浇筑，十字拉板可用“口”形拉板替代。

3.7.2 甲壳柱的截面可为方形或矩形；截面短边尺寸不宜小于400mm, 截面长边尺寸不宜超过1200mm，截面长边尺寸与短边尺寸的比值不宜超过2。

条文说明：3.7.2 当甲壳柱截面尺寸超过1200mm时，为抵抗混凝土浇筑时的涨模力，波纹侧板的波高及板厚宜加大，波形宜进行调整。

3.7.3 甲壳柱的四角钢管可为方管或矩形管，钢管截面的最小边长不宜小于75mm，钢管截面边长与同方向柱截面边长的比值不宜小于1/6，矩形钢管的截面长边与短边边长的比值不宜大于1.5；钢管壁厚不宜小于2.5mm，钢管较大边长与钢管壁厚的比值不宜大于60εk，εk为钢号修正系数，其值为235与钢管的钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

条文说明：3.7.3 甲壳柱钢管的宽厚比限值取同矩形钢管混凝土柱，为保证混凝土与钢管的变形协调，规定钢管边长与柱边长的最小比值。

3.7.4 甲壳柱的波纹侧板与钢管应采用焊接，波纹侧板厚度不宜小于1.5mm，且不宜小于波纹板宽度(即钢管与钢管之间的净距）的1/300，波纹侧板的波形宜采用图3.6.4所示波形。



图3.7.4 波纹板的波形

条文说明：3.7.4 本规程提供2款波形，当采用其它波形时，应通过试验确定。

4 结构分析

4.1 一般规定

4.1.1 波纹钢板组合框架结构多高层建筑，结构分析计算原则应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《钢结构设计标准》GB 50017、《组合结构设计规范》JGJ 138等相关规定。

4.1.2波纹钢板组合框架结构应进行施工阶段和使用阶段下的结构分析。在施工阶段的竖向荷载、风荷载、设备荷载及使用阶段的竖向荷载、风荷载、温度荷载、设备荷载、多遇地震作用工况荷载组合下采用弹性分析方法进行内力计算和变形分析；不规则且具有明显薄弱部位可能导致重大地震破坏的结构应采用弹塑性分析方法进行罕遇地震作用下的分析计算。

4.1.3 波纹钢板组合框架结构弹性计算时，钢筋混凝土楼板与甲壳梁间应有可靠连接，可计入钢筋混凝土楼板对甲壳梁刚度的增大作用，两侧有楼板的甲壳梁其惯性矩可取为2.0Ib，仅一侧有楼板的甲壳梁其惯性矩可取为 1.5Ib，Ib为甲壳梁截面惯性矩。弹塑性计算时，不应考虑楼板对甲壳梁惯性矩的增大作用。

4.1.4 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期，应考虑非承重填充墙体的刚度影响予以折减。当非承重墙体为填充轻质砌块、填充轻质墙板或外挂墙板时，框架结构的自振周期折减系数可取0.9~1.0；结构计算中不应计入非结构构件对结构承载力和刚度的有利作用。

4.1.5 采用振型分解反应谱法时，计算振型数应使各振型参与质量之和不小于总质量的 90%。

条文说明：4.1.1~4.1.5 按现行国家标准，规定结构分析的方法。甲壳梁的刚度增大系数，按《高层混凝土结构技术规程》中的混凝土梁取值，当有可靠依据时，可加大。结构自振周期折减系数按《高层民用建筑钢结构技术规程》取值，也可以在结构建模时布置轻质隔墙，计算其对自振周期的影响，但不应考虑其对结构承载力和刚度的有利作用。振型参与质量的规定按《建筑抗震设计规范》。

4.2 计算原则

4.2.1波纹钢板组合框架结构按弹性分析时，甲壳柱、甲壳梁、优端梁的截面刚度，可按下列公式计算：

(4.2.2-1)

(4.2.2-2)

(4.2.2-3)

式中: *、、*——构件截面抗弯刚度、轴向刚度、剪切刚度；

*、、*——混凝土部分截面抗弯刚度、轴向刚度、剪切刚度； *、、*——钢甲壳的截面抗弯刚度、轴向刚度、剪切刚度。

4.2.2 甲壳柱、甲壳梁按弹性分析时，波纹板内混凝土的等效截面宽度可取波纹板的波峰处宽度与波谷处宽度的平均值,如图4.2.2所示。计算截面抗弯刚度及轴向刚度时，不宜考虑波纹板的贡献。





图4.2.2 甲壳柱、甲壳梁等效截面

4.2.3 波纹钢板组合框架结构的弹塑性分析，当房屋高度不超过 100m时，可采用静力弹塑性分析法；高度超过 150m 时，应采用弹塑性时程分析法；高度为 100m~150m 时，可视结构不规则程度选择静力弹塑性分析法或弹塑性时程分析法。

4.2.4 结构的弹塑性分析宜遵循下列原则：

1 宜预先设定结构、构件的形状、尺寸、边界条件和材料性能等；

2 材料的性能参数宜取平均值，并宜通过试验分析确定，也可按相关标准的规定确定；

3 宜采用空间计算模型；

4 宜考虑结构二阶效应的不利影响；

5 复杂结构宜首先进行施工模拟分析，以施工全过程完成后的状态作为弹塑性分析的初始状态；

6 结构构件上应作用重力荷载代表值，其效应应与地震作用效应组合，分项系数可取 1.0；

条文说明：4.2.1~4.1.4 弹性分析时的截面刚度计算公式按《组合结构设计规范》，甲壳柱、甲壳梁均不考虑波纹板对截面抗弯刚度、轴向刚度的贡献，波纹板处的混凝土等效取1/2波高。超高层及《建筑抗震设计规范》中规定的特别不规则建筑宜采用弹塑性时程分析法。

5 甲壳梁、优端梁设计

5.1一般规定

5.1.1 甲壳梁和优端梁正截面承载力按下列基本假定进行计算：

1 截面应变保持平面；

2 不考虑混凝土的抗拉强度；

3 混凝土受压的应力与应变关系按下列规定取用：

当时

（5.1.1-1）

当时

（5.1.1-2）

（5.1.1-3）

（5.1.1-4）

（5.1.1-5）

式中：——混凝土压应变为时的混凝土压应力；

——混凝土轴心抗压强度设计值；应按《混凝土结构设计规范》

GB50010-2010（2015年版）第4.1.4条取值；

——混凝土压应力达到时的混凝土压应变，当计算的值小于0.002时，取为0.002；

——正截面的混凝土极限压应变，当处于非均匀受压且按公式（5.1.1-5）计算的值大于0.0033时取为0.0033；当处于

轴心受压时取为；

——混凝土立方体抗压强度标准值，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010取值；

——系数，当计算的值大于2.0时，取为2.0。

4 受压区混凝土的应力图形简化为等效的矩形应力图。

矩形应力图的受压区高度取按平截面假定所确定的中和轴高度乘以受压区混凝土应力图形影响系数，当混凝土强度等级不超过C50时，取为0.8，当混凝土强度等级为C80时，取为0.74，其间按线性内插法确定。

矩形应力图的应力值可由混凝土轴心抗压强度设计值乘以系数确定，当混凝土强度不超过C50时，取1.0，当混凝土强度等级为C80时，取为0.94，其间按线性内插法确定。

5 纵向受拉钢筋和钢甲壳受拉翼缘的极限拉应变取0.01。

钢筋、钢甲壳的应力等于钢筋、钢甲壳应变与其弹性模量的乘积，其绝对值不应大于其相应的强度设计值。

6 不考虑波纹腹板的直接贡献。

条文说明：5.1.1结构试验表明，甲壳梁符合本条所述的基本假定，在正截面承载力计算时不考虑波纹腹板的强度及轴向刚度、抗弯刚度贡献，较安全。

5.2承载能力极限状态计算

5.2.1甲壳梁在正弯矩作用下的承载力应符合下列规定：

根据甲壳梁在正弯矩作用下达到承载力极限状态时中和轴的位置分为中和轴在混凝土板内和中和轴在波纹腹板截面内两种情况。

1 中和轴在混凝土板内，其承载力应符合下列规定（图5.2.1-1）：



图5.2.1-1 中和轴位于混凝土板时受弯承载力计算参数示意

（5.2.1-1）

（5.2.1-2）

式中：——钢材抗拉强度设计值；

——预应力筋的抗拉强度设计值；

——普通受拉钢筋的抗拉强度设计值；

——甲壳梁截面高度；

——钢甲壳上翼缘截面宽度；

——钢甲壳上翼缘截面厚度；

——钢甲壳下翼缘截面宽度；

——钢甲壳下翼缘截面厚度；

——预应力筋面积；

——系数，按本规程5.1.1条取值；

——混凝土的抗压强度设计值；

——混凝土板宽度,应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定取值。

——混凝土板厚度，当为压型钢板组合楼板时，不考虑压型钢板肋的高度。

——极限抗弯承载力；

——甲壳梁截面高度；

——纵向普通受拉钢筋合力点至截面受拉区边缘的距离；

——受拉预应力筋合力点至截面受拉区边缘的距离；

条文说明：5.2.1本公式适用于钢甲壳与混凝土板采用完全抗剪连接的情况，当钢甲壳与混凝土板之间设置的抗剪连接件达不到完全抗剪的要求时，可增设箍筋。

2 中和轴位于波纹腹板内，其承载力应符合下列规定（图5.2.1-2）：



图5.2.1-2 中和轴位于波纹腹板内时受弯承载力计算参数示意

（5.2.1-3）

（5.2.1-4）

式中：——甲壳梁截面宽度；

——波纹腹板的波高；

——钢材抗压强度设计值；

5.2.2甲壳梁在负弯矩作用下的承载力应符合下列规定（图5.2.2）：



图5.2.2 负弯矩作用下受弯承载力计算参数示意

（5.2.2-1）

（5.2.2-2）

式中： —— 甲壳梁钢甲壳高度；

当按式（5.2.2-2）计算的时，正截面受弯承载力应符合下列规定：

（5.2.2-3）

5.2.3甲壳梁的斜截面承载力应符合下列规定：

1 甲壳梁的受剪截面应符合下列条件：

当时 （5.2.3-1）

当时 （5.2.3-2）

当4≤≤6时，按线性内插法确定。

式中：——构件斜截面上的最大剪力设计值；

——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过C50时取1.0；当混凝土强度等级为C80时取0.8，其间按线性内插法确定。

——截面的有效高度，受拉区纵向普通钢筋、预应力筋及上翼缘钢板合力点至截面受压区截面边缘的距离；

——截面的腹板高度：矩形截面，取有效高度；T形截面，取有效高度减去翼缘高度。

2 甲壳梁的抗剪承载力应符合下列规定：

（5.2.3-4）

（5.2.3-5） （5.2.3-6）

式中：——混凝土的抗剪承载力设计值；

——波纹腹板的受剪承载力设计值；

——甲壳梁双侧波纹腹板截面面积之和；

——斜截面混凝土受剪承载力系数,对于一般的受弯构件取0.7，对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的75%以上的情况）的独立梁，取为，λ为计算截面的剪跨比，可取λ=/,当λ小于1.5时取1.5，当λ大于3时取3，取集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。

条文说明：5.2.3 公式对应非地震组合时的斜截面承载力计算。结构试验表明，甲壳梁的剪压比达到0.45仍未出现剪压破坏，本公式的剪压比要求偏安全。

5.3裂缝宽度验算

5.3.1甲壳梁梁端负弯矩处应进行裂缝宽度验算。最大裂缝宽度限值应满足本规程第3.4.6条要求。配置预应力钢筋的甲壳梁最大裂缝宽度应按荷载的标准组合并考虑长期作用的影响、无预应力筋的普通甲壳梁最大裂缝宽度应按荷载的准永久组合并考虑长期作用的影响，按下列公式进行计算。

5.3.2甲壳梁梁端负弯矩处最大裂缝宽度按下列公式计算。

（5.3.2-1）

（5.3.2-2）

（5.3.2-3）

（5.3.2-4）

（5.3.2-5）

式中：——构件受力特征系数，无预应力甲壳梁取为1.9，有预应力甲壳梁取为1.5；

——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数：当＜0.2时，取0.2；

当＞1.0时，取1.0；对直接承受重复荷载的构件，取。

——按荷载准永久组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉普通钢筋或按标准组合计算的预应力混凝土构件纵向受拉钢筋的等效应力。

——钢筋的弹性模量；

——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离(mm):

当＜20时，取=20；当＞65时，取=65。

——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，

当＜0.01时，取=0.01。

——有效受拉区混凝土截面面积：

，

此处、为受拉翼缘的宽度、高度。

——受拉区纵向普通钢筋截面面积；

——受拉区纵向预应力钢筋截面面积；

——受拉区纵向钢筋的等效直径（mm）；

——一块上翼缘钢板的等效直径（mm）；

——受拉区第种纵向钢筋的公称直径；对于有粘结预应力钢绞线束的 直径取为,其中，为单根钢绞线的公称直径，为单束钢绞线的根数。

——受拉区第种纵向钢筋的根数，对于有粘结预应力钢绞线，取为钢绞线束数。

——受拉区第种纵向钢筋的相对粘结特性系数，按表5.3.2采用。

表5.3.2 钢筋及钢板的相对粘结特性系数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢筋类别 | 钢筋 | | 钢板 | 后张法预应力筋 | | |
| 光圆钢筋 | 带肋钢筋 | — | 带肋钢筋 | 钢绞线 | 光面钢丝 |
|  | 0.7 | 1.0 | 0.7 | 0.8 | 0.5 | 0.4 |

注：对环氧树脂涂层带肋钢筋，其相对粘结特性系数按表中系数的80%取用。

5.3.3 在荷载准永久组合或标准组合下，甲壳梁开裂截面处受压边缘混凝土压应力、不同位置处钢筋的拉应力及预应力筋的等效应力宜按下列假定计算：

1 截面应变保持平面；

2 受压区混凝土的法向应力图取为三角形；

3 不考虑受拉区混凝土的抗拉强度；

4 采用换算截面。

5.3.4 在荷载准永久组合或标准组合下，甲壳梁纵向普通钢筋的应力或预应力甲壳梁受拉区纵向钢筋的等效应力可以按下列公式计算：

1 无预应力甲壳梁受拉区纵向普通钢筋的应力

（5.3.4-1）

式中：——按荷载效应准永久组合计算的弯矩值；

、——纵向受拉钢筋、受拉上翼缘钢板截面重心至

梁截面受压边缘的距离；

2 预应力甲壳梁受拉区纵向钢筋的等效应力

（5.3.4-2）

（5.3.4-3）

（5.3.4-4）

（5.3.4-4）

式中：——按荷载效应标准组合计算的弯矩值；

——计算截面上混凝土法向预应力等于零时的预加力，按《混凝土结构设计规范》第10.1.13条的规定计算。

——受拉区纵向普通钢筋、预应力筋及上翼缘钢板合力点至截面受压区截面边缘的距离；

——受拉区纵向预应力筋和普通钢筋合力点的偏心距；

——计算截面上混凝土法向预应力等于零时的预加力作用点的偏心距，按《混凝土结构设计规范》第10.1.13条的规定计算。

条文说明：5.3.1~5.3.4 负弯矩作用下，甲壳梁裂缝宽度计算公式参考《混凝土结构设计规范》进行编制。当设计考虑弯矩调幅时，可按调幅后的内力值进行裂缝宽度计算。

5.4挠度验算

5.4.1甲壳梁的挠度可按照结构力学的方法计算，且不应超过本规程表3.4.5规定的限值；甲壳梁的截面刚度可按跨中最大弯矩处截面的刚度取用；甲壳梁挠度计算时根据实际施工情况进行荷载取值及分阶段挠度计算。

5.4.2 甲壳梁考虑荷载长期作用影响的刚度B可按下列规定计算：

1 无预应力甲壳梁，采用荷载准永久组合计算

（5.4.2-1）

2 有预应梁，采用荷载标准组合计算

（5.4.2-2）

式中：——按荷载效应标准组合计算的弯矩值；

——按荷载效应准永久组合计算的弯矩值；

——甲壳梁的短期刚度；

——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数。

5.4.3 甲壳梁的短期刚度可按下列公式计算：

1 无预应力甲壳梁

（5.4.3-1）

2 有预应甲壳梁

（5.4.3-2）

式中：——混凝土的弹性模量；

——钢甲壳的弹性模量；

——按截面尺寸计算的混凝土截面惯性矩；

——钢甲壳的截面惯性矩，不考虑波纹腹板的贡献；

5.4.4 考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数可按下列规定取用：

1 无预应力甲壳梁

（5.4.3-3）

式中：——梁截面受拉区配置的纵向受拉钢筋和下翼缘受拉钢板面

积之和的截面配筋率；

——梁截面受压区配置的纵向受压钢筋和上翼缘受压钢板面

积之和的截面配筋率；

2 预应力甲壳梁取=2.0。

条文说明：5.4.1~5.4.4甲壳梁的挠度计算公式，参考《混凝土结构设计规范》进行制定。荷载短期作用时，钢甲壳部分不考虑刚度退化,，混凝土考虑开裂后的刚度退化。荷载长期时，考虑混凝土的徐变、裂缝发展、内力重分布等因素，整体考虑刚度退化。

5.4.5甲壳梁在使用阶段的预应力反拱值，可用结构力学的方法按刚度进行计算，并应考虑预压力长期作用的影响，计算中预应力筋的应力应扣除全部预应力损失。简化计算时，可将计算的反拱值乘以增大系数2.0。

5.4.6 对甲壳梁应采取措施控制反拱和挠度，并宜符下列规定：

1 当考虑反拱后计算的构件长期挠度不符合规范第3.4.5规定的限值时，可采取施工预先起拱等方式控制挠度。

2 对永久荷载相对于可变荷载较小的预应力甲壳梁，应考虑反拱过大对正常使用的不利影响，并应采取相应的设计和施工措施。

条文说明：5.4.6横向受力构件可预先起拱，起拱大小应视实际需要而定，可取恒载标准值加1/2 活载标准值所产生的挠度值。当仅为改善外观条件时，构件挠度应取在恒荷载和活荷载标准值作用下的挠度计算值减去起拱值。

6甲壳柱设计

6.1一般规定

6.1.1 甲壳柱正截面承载力按下列基本假定进行计算：

1 截面应变保持平面；

2 不考虑混凝土的抗拉强度；

3 混凝土受压的应力与应变关系按下列规定取用：

当时

（6.1.1-1）

当时

（6.1.1-2）

（6.1.1-3）

（6.1.1-4）

（6.1.1-5）

式中：——混凝土压应变为时的混凝土压应力；

——混凝土轴心抗压强度设计值；按《混凝土结构设计规范》GB50010-2010（2015年版）第4.1.4条取值；

——混凝土压应力达到时的混凝土压应变，当计算的值小于0.002时，取为0.002；

——正截面的混凝土极限压应变，当处于非均匀受压且按公式（6.1.1-5）计算的值大于0.0033时取为0.0033；当处于轴心受压时取为；

——混凝土立方体抗压强度标准值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定；

——系数，当计算的值大于2.0时，取为2.0。

4 受压区混凝土的应力图形可简化为等效的矩形应力图。

矩形应力图的受压区高度取按平截面假定所确定的中和轴高度乘以受压区混凝土应力图形影响系数，当混凝土强度等级不超过C50时，取为0.8，当混凝土强度等级为C80时，取为0.74，其间按线性内插法确定。

矩形应力图的应力值可由混凝土轴心抗压强度设计值乘以系数确定，当混凝土强度不超过C50时，取1.0，当混凝土强度等级为C80时，取为0.94，其间按线性内插法确定。

5 钢甲壳的应力图形为拉压梯形应力图形，计算时简化为等效矩形应力图形；钢甲壳的应力等于钢甲壳应变与其弹性模量的乘积，其绝对值不应大于其相应的强度设计值；纵向受拉钢筋和钢甲壳受拉翼缘的极限拉应变取0.01。

6 不考虑波纹侧板的直接贡献。

6.1.2计算偏心受压甲壳柱的正截面承载力时，应计入轴向压力在偏心方向存在的附加偏心距，其值应取20mm和偏心方向截面尺寸的1/30两者中的较大值。

条文说明：6.1.1~6.1.2 结构试验表明，甲壳柱符合本条所述的基本假定，考虑构件制作及安装误差，附加偏心距按《混凝土结构设计规范》规定取值。

6.2承载能力极限状态计算

6.2.1甲壳柱轴心受压承载力应符合下列规定（图6.2.1）：



图6.2.1 轴心受压柱受压承载力计算参数示意图

(6.2.1-1)

其中，

(6.2.1-1)

(6.2.1-3)

(6.2.1-4)

式中：——甲壳柱轴向压力设计值；

——波纹侧板腔体内混凝土面积

——方钢管内混凝土面积

——受压钢管面积

——波纹侧板腔体内填充混凝土抗压强度套箍增强系数，按式（6.2.1-5）计算；当计算值小于1.12时取1.12，大于1.17时取1.17。当截面为矩形截面是，公式中的取与的较大值。

(6.2.1-5)

——方钢管内填充混凝土抗压强度套箍增强系数，取1.15；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——波纹侧板腔体内填充混凝土抗压强度设计值；

——方钢管内填充混凝土抗压强度设计值；

——钢管抗压强度设计值；

、——柱截面宽度、高度；

——波纹侧板波高；

、——方钢管内混凝土截面宽度、高度；

——方钢管管壁厚度；

——波纹侧板厚度；

——考虑长细比对极限承载力影响的折减系数，

按公式(6.2.1-6)计算，当计算值大于1.0时取1.0。

(6.2.1-6)

式中：——柱计算长度，按《混凝土结构设计规范》GB50010-2010（2015年版）第6.2.20条确定。

6.2.2大偏心受压的甲壳柱, 当时，正截面承载力应符合下列规定（图6.2.2）：



图6.2.2大偏心受压柱计算参数示意图

(6.2.2-1)

(6.2.2-2)

其中，

(6.2.2-3)

(6.2.2-4)

(6.2.2-5)

(6.2.2-6)

(6.2.2-7)

(6.2.2-8)

式中：——波纹侧板腔体内受压混凝土面积

——方钢管内受压混凝土面积

——受压钢管面积

——轴力作用点至甲壳柱受拉钢管截面中心的距离；

——轴力对截面重心的偏心距；

——附加偏心距，按本规程第6.1.2条确定。

——柱端较大弯矩设计值，当考虑挠曲产生的二阶效应时，柱端弯矩M应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定确定；

——与弯矩设计值M相对应的轴向压力设计值；

——混凝土等效受压区高度；

——相对界限受压区高度；

——界限受压区高度；

——受拉钢管中心到受压钢管边缘的距离；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——分别为受压区波纹侧板腔体内混凝土合力中心点、方钢管内混凝土合力中心点、受压方钢管合力中心点到受拉钢管中心的距离。

6.2.3大偏心受压的甲壳柱,当时，正截面受压承载力应符合下列规定（图6.2.3）：



图6.2.3大偏心受压柱(受弯)计算参数示意图

(6.2.3-1)

(6.2.3-2)

其中， (6.2.3-3)

(6.2.3-4)

(6.2.3-5)

(6.2.3-6)

(6.2.3-7)

(6.2.3-8)

(6.2.3-9)

式中：——波纹侧板腔体内受压混凝土面积

——方钢管内受压混凝土面积

——受拉钢管面积

——受压钢管面积

——轴力作用点至甲壳柱受拉钢管截面中心的距离；

——轴力对截面重心的偏心距；

——附加偏心距，按本规程第6.1.2条确定。

——柱端较大弯矩设计值，当考虑挠曲产生的二阶效应时，

柱端弯矩M应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定确定；

——与弯矩设计值M相对应的轴向压力设计值；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——混凝土等效受压区高度；

——相对界限受压区高度；

——界限受压区高度；

——受拉钢管中心到受压钢管边缘的距离；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——分别为受压区波纹侧板腔体内混凝土合力中心点、方钢管内混凝土合力中心点、受压方钢管合力中心点到受拉钢管中心的距离。

6.2.4 当，为小偏心受压，甲壳柱正截面承载力应符合下列规定（图6.2.4）:



图6.2.4小偏心受压柱计算参数示意图

(6.2.4-1)

(6.2.4-2)

其中

(6.2.4-3)

(6.2.4-4)

(6.2.4-5)

(6.2.4-6)

(6.2.4-7)

(6.2.4-8) (6.2.4-9)

(6.2.4-10)

式中：——波纹侧板腔体内受压混凝土面积

——方钢管内受压混凝土面积

——受压钢管面积

——轴力作用点至甲壳柱受拉钢管截面中心的距离；

——轴力对截面重心的偏心距；

——附加偏心距，取20mm和偏心方向截面尺寸的1/30两者中的较大者；

——柱端较大弯矩设计值，当考虑挠曲产生的二阶效应时，柱

端弯矩M应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定确定；

——与弯矩设计值M相对应的轴向压力设计值；

——混凝土等效受压区高度；

——相对界限受压区高度；

——界限受压区高度；

——受拉钢管中心到受压钢管边缘的距离；

——受拉钢管应力；

——混凝土极限压应变,按公式（6.1.1-5）计算，当计算的值大于0.0033时取为0.0033；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——钢管弹性模量；

——受压区混凝土应力图形影响系数，当混凝土强度等级不超过C50时，取0.8，当混凝土强度等级为C80时，取0.74，其间按线性内插法确定。

——分别为受压区波纹侧板腔体内混凝土合力中心点、方钢管内混凝土合力中心点、受压方钢管合力中心点到受拉钢管中心的距离。

6.2.5 双向偏压甲壳柱的正截面承载力应符合下列规定：

(6.2.5-1)

式中：——构件的截面轴心受压承载力设计值，按本规程第6.2.1条计算；

——轴向压力作用于轴并考虑相应的计算偏心距后的偏

心受压承载力设计值,按本规程第6.2.2条、第6.2.3条或第6.2.4条计算；

——轴向压力作用于轴并考虑相应的计算偏心距后的偏

心受压承载力设计值，按本规程第6.2.2条、第6.2.3条或第6.2.4条计算；

、——分别为轴向力N对X轴及Y轴的计算偏心距，按下式计算

(6.2.5-2)

(6.2.5-3)

6.2.6 甲壳柱的正截面受弯承载力应符合下列规定（图6.2.6）：



图6.2.6甲壳柱纯弯计算参数示意图

(6.2.6-1)

(6.2.6-2)

其中， (6.2.6-3)

(6.2.6-4)

(6.2.6-5)

式中：——甲壳柱受弯承载力；

——波纹侧板腔体内受压混凝土面积

——方钢管内受压混凝土面积

——受压钢管面积

——混凝土等效受压区高度；

——系数，按本规程6.1.1条取值；

——分别为受压区波纹侧板腔体内混凝土合力中心点、方钢管内混凝土合力中心点、受压方钢管合力中心点到受拉钢管中心的距离。

6.2.7 甲壳柱的正截面受拉承载力应符合下列规定：

1 轴心受拉构件的正截面受拉承载力计算应符合下列规定（图6.2.7）：

(6.2.7-1)

式中：——轴向拉力设计值；

——钢管抗拉强度设计值；

——钢管截面面积，；

2 矩形截面偏心受拉构件的正截面受拉承载力应符合下列规定：



图6.2.7甲壳柱偏心受拉计算参数示意图

(6.2.7-2)

(6.2.7-3)

(6.2.7-4)

(6.2.7-5)

受拉钢管面积： (6.2.7-6)

式中：——轴力作用点至甲壳柱远端钢管截面中心的距离；

——轴力对截面重心的偏心距；

——附加偏心距，按本规程第6.1.2条确定。

6.2.8 偏心受压甲壳柱的斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

(6.2.8-1)

其中， (6.2.8-2)

(6.2.8-3)

(6.2.8-4)

(6.2.8-5)

或 (6.2.8-6)

或 (6.2.8-7)

式中：——波纹侧板腔体内混凝土面积

——方钢管内混凝土面积

——与剪力一致方向的双侧波纹侧板的截面面积

——与剪力一致方向的钢管侧壁的截面面积

、 ——分别为波纹侧板腔体内混凝土及方钢管内混凝土抗拉强度设计值；

——分别为钢管及波纹侧板的抗拉强度设计值；

——波纹侧板厚度；

——与剪力设计值相应的轴向压力设计值，

当大于时，取

；

——偏心受压构件计算截面的剪跨比，取为,为甲壳柱受拉钢管中心到受压钢管边缘的距离；为计算截面上与剪力设计值相应的弯矩设计值；

计算截面的剪跨比应按下列规定取用：

1. 对框架结构中的框架柱，当其反弯点在层高范围内时，可取

为。当小于1时取1；当大于3时取3；为柱净高。

2 其他偏心受压构件，当承受均布荷载时，取1.5；当承受集中

荷载时，取为，且当小于1.5时取1.5，当大于3时取3。

6.2.9 偏心受拉甲壳柱的斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

(6.2.9-1)

其中， (6.2.9-2)

(6.2.9-3)

(6.2.9-4)

(6.2.9-5)

或 (6.2.9-6)

或 (6.2.9-7)

式中：、 ——分别为波纹侧板腔体内混凝土及方钢管内混凝土抗拉强度设计值；

——波纹侧板厚度；

——波纹侧板腔体内混凝土面积

——方钢管内混凝土面积

——与剪力一致方向的双侧波纹侧板的截面面积

——与剪力一致方向的钢管侧壁的截面面积

——分别为钢管及波纹侧板的抗拉强度设计值

——与剪力设计值相应的轴向拉力设计值；

——偏心受拉构件计算截面的剪跨比，同本规程6.2.8条。

当公式(6.2.9-1)右边的计算值小于时，应取等于。

条文说明：6.2.1~6.2.9 甲壳柱的轴压、大小偏压、受弯、偏压受剪承载力计算公式，由结构试验得来并取较保守结果。甲壳柱的轴拉、偏拉计算公式不考虑混凝土及波纹侧板的贡献，仅考虑钢管的贡献，从《混凝土结构设计规范》的公式推导而来，甲壳柱的偏拉受剪公式，参考《混凝土结构设计规范》制定。结构试验表明，甲壳柱基本不会出现剪压破坏，因此本规程未对截面的剪压比做出规定。

7构件及节点抗震设计

7.1 甲壳梁

7.1.1 甲壳梁正截面抗震受弯承载力计算中，计入纵向受压钢筋及钢板的梁端混凝土受压区高度应符合下列要求：

一级抗震等级

（7.1.1-1）

二、三级抗震等级

（7.1.1-2）

式中：——混凝土受压区高度；

——截面有效高度**。**

条文说明：7.1.1 为保证甲壳梁在地震下的延性，对梁端混凝土受压区高度进行规定，此规定对应的内力为考虑地震组合的内力。

7.1.2 甲壳梁抗震内力组合设计值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011取值。甲壳梁正截面的抗震承载力设计值应按本规程5.2节相关公式的右端项除以相应的承载力抗震调整系数。

7.1.3 考虑地震组合的甲壳梁梁端剪力设计值应按下列规定计算：

一级抗震等级

（7.1.3-1）

二级抗震等级

（7.1.3-2）

三级抗震等级

（7.1.3-3）

四级抗震等级，取地震组合下的剪力设计值。

式中：

——框架梁左、右端按实配钢板与钢筋截面面积（计入梁受压区钢筋、钢板及梁有效翼缘宽度范围内的楼板钢筋）、材料强度标准值、且考虑承载力抗震调整系数的正截面抗震受弯承载力所对应的的弯矩值；应分别按顺时针和逆时针方向进行计算，并取其较大值。

——考虑地震组合的框架梁左、右端弯矩设计值；应分别取顺时针和逆时针方向计算的两端考虑地震组合的弯矩设计值之和的较大值；一级抗震等级时，当两端弯矩为负弯矩时，绝对值较小的负弯矩应取零。

——考虑地震组合时的重力荷载代表值产生的剪力设计值，可按简支梁确定；

——梁的净跨。

条文说明：7.1.2~7.1.3 按《建筑抗震设计规范》规定，考虑“强剪弱弯”。

7.1.4 考虑地震组合的矩形、T形截面甲壳梁，受剪截面应符合下列规定：

（7.1.4-1）

当跨高比大于2.5时

（7.1.4-2）

当跨高比不大于2.5时

（7.1.4-3）

7.1.5 考虑地震组合的矩形、T形截面甲壳梁，受剪承载力应按下式计算：

（7.1.5-1）

——斜截面混凝土受剪承载力系数,对于一般的受弯构件取0.7，对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的75%以上的情况）的独立梁，取为，λ为计算截面的剪跨比，可取λ=/,当λ小于1.5时取1.5，当λ大于3时取3，取集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。

条文说明：7.1.4~7.1.5 为保证甲壳梁内混凝土的约束效应，本公式对甲壳梁波纹腹板的截面含钢率做出规定，结构试验表明，公式中关于截面剪压比的要求偏安全。

7.1.6 甲壳梁的截面尺寸应符合下列要求

1 截面宽度b不宜小于200mm；

2 截面高度与宽度的比值不宜大于4；

3 净跨与截面高度的比值不宜小于4。

4 甲壳梁上下翼缘的宽厚比，应符合表7.1.6的规定

表7.1.6 甲壳梁上下翼缘钢板的宽厚比限值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗震等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 翼缘外伸部分 | 11εk | 13εk | 15εk | 15εk |
| 两腹板之间 | 37εk | 42εk | 50εk | 60εk |

注：εk为钢号修正系数，其值为235与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

7.1.7 甲壳梁的钢筋及钢板配置应符合下列规定：

1 甲壳梁支座及跨中位置纵向受拉钢板（钢筋）的截面含钢率均不宜小于0.5%,且不宜超过5%，截面含钢率为底部或顶部的钢板截面积与甲壳梁等效矩形全截面积的比值，当配有钢筋或预应力筋时，钢筋或预应力筋按等强代换的原则换算成钢板面积计算,T型截面甲壳梁的外伸混凝土翼缘板不计入面积计算。

2 甲壳梁梁端截面的底部和顶部纵向受力钢板（钢筋）截面面积的比值，除按计算确定外，一级不应小于0.5，二、三级不应小于0.3，当配有钢筋或预应力筋时，钢筋或预应力筋按等强代换的原则换算成钢板面积计算。

3 一、二级抗震等级的甲壳梁，沿梁全长顶面配置的钢板及钢筋的截面积，不应少于梁两端顶面纵向受力钢板截面积的1/4，当配有钢筋或预应力筋时，钢筋或预应力筋按等强代换的原则换算成钢板截面积计算。

条文说明：7.1.6~7.1.7 参考《混凝土结构设计规范》中关于钢筋混凝土框架梁的抗震构造措施，对甲壳梁的抗震构造措施进行规定，甲壳梁上下翼缘板的宽厚比，参考《建筑抗震设计规范》中关于钢梁翼缘的宽厚比，并适当考虑了混凝土对翼缘局部稳定的贡献。当有可靠依据时，本条规定的构造要求可适当突破。

7.2 甲壳柱

7.2.1 除框架顶层柱、轴压比小于0.15的柱及框支梁与框支柱的节点外，框架柱节点上、下端的弯矩设计值应符合下列要求：

一级抗震等级

（7.2.1-1）

二级抗震等级

（7.2.1-2）

三级抗震等级

（7.2.1-3）

四级抗震等级

（7.2.1-4）

式中：——考虑地震作用组合的节点上、下柱端的弯矩设计值之和，柱端弯矩设计值的确定在一般情况下，可将公式（7.2.1-1）~（7.2.1-6）计算的弯矩之和，按上下柱端弹性分析所得的考虑地震组合的弯矩比进行分配；

——同一节点左右梁端按顺时针和逆时针方向采用实配钢筋和材料强度标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算的正截面受弯承载力所对应的弯矩值之和的较大值。梁端实配钢筋应包含梁有效翼缘宽度范围内的楼板的纵向钢筋；

——同一节点左右梁端按顺时针和逆时针方向计算的两端考虑地震组合的弯矩设计值之和的较大值，一级抗震等级，当两端均为负弯矩时，取绝对值较小的弯矩值为零。

7.2.2 一、二、三、四级抗震等级框架结构的底层，柱下端截面组合弯矩设计值，应分别乘以增大系数1.7、1.5、1.3和1.2。底层柱纵向钢筋应按柱上、下端的不利情况配置。

注：底层指无地下室的基础以上或地下室以上的首层。

7.2.3 甲壳柱正截面的抗震承载力按第6.2节的规定计算，但在相关公示的右端项除以相应的承载力抗震调整系数。

7.2.4 考虑地震组合的甲壳柱柱端剪力设计值应按下列规定计算：

一级抗震等级

（7.2.4-1）

二级抗震等级

（7.2.4-2）

三级抗震等级

（7.2.4-3）

四级抗震等级

（7.2.4-4）

式中：

——框架柱上、下端按实配钢管截面面积、材料强度标准值、且考虑承载力抗震调整系数的正截面抗震受弯承载力所对应的的弯矩值；应分别按顺时针和逆时针方向进行计算，并取其较大值。

——考虑地震组合且经调整后的框架柱上、下端弯矩设计值。应分别取顺时针和逆时针方向计算的两端考虑地震组合的弯矩设计值之和的较大值；一级抗震等级时，当两端弯矩为负弯矩时，绝对值较小的负弯矩应取零。

——柱的净高。

7.2.5 各抗震等级的角柱，其弯矩、剪力设计值应按本规程(7.2.1)、(7.2.2)、(7.2.4)条调整的基础上再乘以不小于1.1的系数。

条文说明：7.2.1~7.2.5 按《建筑抗震设计规范》中关于钢筋混凝土框架的规定，对甲壳柱的弯矩、剪力设计值进行调整，以保证“强柱弱梁”。

7.2.6 考虑地震组合的甲壳柱的斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

(7.2.6-1)

其中， (7.2.6-2)

(7.2.6-3)

式中：

——考虑地震组合的甲壳柱柱端剪力设计值;

、 ——分别为混凝土的极限抗拉强度和截面面积

、——分别为波纹侧板和方钢管的屈服强度

——分别为波纹侧板和方钢管的截面面积

——与剪力设计值相应的轴向压力设计值，当大于时，取

——甲壳柱的计算的剪跨比，取为对框架结构中的框架柱反弯点在层高范围内时，可取为。当小于1时取1；当大于3时，取3。

条文说明：7.2.6本公式由数值分析及结构试验得来，且较安全。

7.2.7 考虑地震组合的甲壳柱，当出现拉力时，斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

(7.2.7-1)

式中：

——考虑地震组合的框架柱轴向拉力设计值。

当上式右边括号内的计算值小于时，取等于。

条文说明：7.2.7本公式参考《混凝土结构设计规范》，并结合甲壳柱的受力特点得来。

7.2.8 甲壳柱的剪跨比不宜小于1.5，且不应小于1.0。

条文说明：7.2.8试验表明，甲壳柱的剪跨比大于1.0时，基本不会出现减压破坏。

7.2.9 考虑地震作用组合的甲壳柱的轴压比应按下式计算，且不宜大于表7.2.9中规定的限值。

(7.2.9-1)

其中，波纹侧板腔体内混凝土面积

(7.2.9-2)

方钢管内混凝土面积

(7.2.9-3)

钢管面积

(7.4.9-4)

式中：——柱轴压比；

——考虑地震作用组合的柱轴向压力设计值；

表7.2.9 甲壳柱轴压比限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 抗震等级 | | |
| 一级 | 二级 | 三级、四级 |
| 0.70 | 0.80 | 0.90 |

注：1 剪跨比不大于2的柱，轴压比限值应比表中数值减小0.05；

2 当混凝土强度采用C65~C70时，轴压比限值应比表中数值减小0.05；

当混凝土强度采用C75~C80时，轴压比限值应比表中数值减小0.10；

3 对Ⅳ类场地上建筑高度大于60米的高层建筑，轴压比限值宜比表中数值减小0.05。

条文说明：7.2.9甲壳柱的轴压比限值按《钢管混凝土结构技术规范》的规定取值。

7.3 柱脚节点设计及构造

7.3.1 外包柱脚

1 外包柱脚由甲壳柱和外包混凝土组成，位于混凝土基础顶面以上，外包混凝土的高度应通过计算确定且不应小于甲壳柱截面高度与3倍钢管截面高度的较大值。外包混凝土厚度不宜小于200mm，混凝土强度不应低于C30。外包层内纵向钢筋在基础内的锚固长度（、）应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定确定，且四角主筋下部应设弯钩,四角主筋上部宜设置钢筋锚固板，也可以设置弯钩，弯钩的水平投影长度不应小于15 倍钢筋直径，钢筋锚固板的选取及构造应按现行行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256执行。 外包层中应配置箍筋，箍筋的直径、间距和配筋率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010中钢筋混凝土柱的要求；外包层顶部箍筋应加密且不少于3道，其间距不应大于50mm。外包部分甲壳柱的钢管表面应设置栓钉，栓钉直径宜用19mm，间距不大于250mm。柱脚底板宜做成“回”型，厚度不宜小于20mm，每边宜宽出钢管50mm，并设置定位锚栓与基础连接。甲壳柱埋入部分的顶部箍筋处，应设置水平角钢，若埋深较大时中间增设角钢，角钢间距不大于500mm。甲壳柱在外包柱脚上方宜设置清杂孔，清杂孔宜采用平钢板封孔，封孔钢板的宽厚比不宜大于60εk 且板厚不宜小于6mm，封孔钢板宜与钢管侧壁、封边板及角钢均采用角焊缝围焊。



图7.3.1外包式柱脚构造示意图

2 外包柱脚计算

柱脚弯矩由外包层混凝土短柱承担，柱脚的受弯承载力可按下式验算：

(7.3.1-1)

式中：——柱脚弯矩设计值，一、二、三、四级抗震等级的甲壳柱柱下端组合弯矩设计值，应分别乘以增大系数1.7/1.5/1.3和1.2。

——外包混凝土中受拉侧的钢筋截面面积；

——受拉钢筋抗拉强度设计值；

——受拉钢筋合力点至混凝土受压区边缘的距离；

甲壳柱外包高度可按下式计算：

(7.3.1-2)

式中：——甲壳柱中一个钢管的截面面积；

——甲壳柱中钢管抗拉强度标准值；

——甲壳柱中一个钢管的截面周长；

——混凝土轴心抗拉强度标准值；

7.3.2 埋入式柱脚

1埋入式柱脚是将柱脚埋入混凝土基础内，柱脚的埋入深度应通过计算确定且不应小于甲壳柱截面高度与3倍钢管截面高度的较大值。柱脚底板宜做成“回”型，厚度不宜小于20mm，每边宜宽出钢管50mm，并设置定位锚栓与基础连接。甲壳柱埋入部分四周应设置钢筋和箍筋，钢筋按《混凝土结构设计规范》GB50010的构造确定。埋入部分的甲壳柱钢管表面应设置栓钉，栓钉直径宜用19mm，间距不大于250mm。甲壳柱埋入部分的顶部箍筋处，应设置水平角钢，若埋深较大时中间增设角钢，角钢间距不大于500mm。甲壳柱在基础上方宜设置清杂孔，清杂孔宜采用平钢板封孔，封孔钢板的宽厚比不宜大于60εk 且板厚不宜小于6mm，封孔钢板宜与钢管侧壁、封边板及角钢均采用角焊缝围焊。柱脚构造见图7.3.2-1。甲壳柱埋入部分的侧边混凝土保护层厚度要求见图7.3.2-2,基础梁梁边相交线的夹角应做成钝角，其坡度宜不大于1:4。



图7.3.2-1埋入式柱脚构造示意图



图7.3.2-2埋入式柱脚保护层厚度

1. 中柱时；（b）边柱时；（c）角柱时

2 甲壳柱埋入深度可按下式计算：

(7.5.2-1)

式中：——甲壳柱中一个钢管的截面面积；

——甲壳柱中钢管抗拉强度标准值；

——甲壳柱中一个钢管的截面周长；

——混凝土轴心抗拉强度标准值；

7.3.3 插入式柱脚

1 插入式柱脚是将甲壳柱直接插入已浇灌好的基础杯口内，经校准后用细石混凝土二次浇灌至基础顶面，柱下端的内力通过二次浇灌的细石混凝土传递给基础，使上部结构与基础牢固地连接在一起。杯口基础的杯底和杯壁厚度及短柱的截面尺寸和配筋应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50017的有关规定。插入部分的甲壳柱钢管表面应设置栓钉，栓钉直径宜用19mm，间距不大于250mm。杯口顶部，应设置水平角钢，若插入深度较大时中间增设角钢，角钢间距不大于500mm。插入式柱脚构造见图7.5.3-1。



图7.5.3-1 插入式柱脚构造示意图

2. 甲壳柱插入深度计算同埋入式柱脚。

条文说明：7.3.1~7.3.3三种柱脚形式均有工程实例，其构造重点保证柱根部的抗弯及抗剪加强、以及钢管在基础里的锚固。钢管的锚固长度计算公式取用《钢结构设计手册》（第四版）中关于格构式钢柱的柱脚锚固计算公式。

7.3.4 柱脚防护

柱脚在地面以下部分应采用强度等级较低的混凝土包裹，保护层厚度不应小于50mm，包裹的混凝土高度高出室外地面不应小于150mm，室内地面不应小于50mm，并宜采取措施防止水分残留；当柱脚在地面以上时，柱脚底面高出室外地面不应小于100mm,室内地面不应小于50mm。

条文说明：7.3.4 为防止柱根部锈蚀，保证甲壳柱的耐久年限，做出本规定。当有可靠的防腐措施且防腐材料的耐久年限不低于结构合理使用年限时，柱脚的混凝土防护层可不高出室内地面。

7.4 梁柱节点设计及构造

7.4.1 甲壳柱-甲壳梁连接节点应符合下列规定：

1 考虑地震作用组合的甲壳柱与甲壳梁连接节点的剪力设计值应按下列公式计算：

1. 一级抗震等级的框架顶层中间节点和端节点

(7.4.1-1)

一级抗震等级的框架其它层中间节点和端节点

(7.4.1-2)

1. 二、三、四级抗震等级的框架顶层中间节点及端节点

(7.4.1-3)

二、三、四级抗震等级的其它层中间节点和端节点

(7.4.1-4)

式中：——框架梁柱节点的剪力设计值；

——节点左右两侧梁端反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和，可根据实配钢筋、钢板面积和材料强度标准值确定；

——节点左右两侧梁端反时针或顺时针方向组合弯矩设计值之和；

——分别为梁截面高度、截面有效高度，节点两侧梁高不等时，取其平均高度；

——柱的计算高度，可取节点上下反弯点之间的距离；

——节点剪力增大系数，二级取1.35，三级取1.20，四级取1.00。





图7.4.1-1 甲壳柱-甲壳梁节点示意图

2 考虑地震作用组合的甲壳柱与甲壳梁连接节点，其核心区的受剪水平截面应符合下列规定：

(7.4.1-5)

式中：——正交梁对节点的约束影响系数，对两个正交方向均有梁约束的中间节点，当四侧各梁截面宽度不小于该侧柱截面宽度的1/2，且正交方向梁截面高度不小于较高框架梁高度的3/4时，取1.50；其他情况取1.00。

——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过C50时取1.00，当混凝土强度等级为C80时取0.80，其间按线性内插法确定。

——节点核心区的截面高度，可取受剪方向柱截面高度；

——节点核心区的截面有效验算宽度，当不小于时，可取；当小于时，可取和的较小值。

3 甲壳柱与甲壳梁连接节点的受剪承载力应符合下列公式：

(7.4.1-6)

式中：——节点核心区受剪承载力；

——承载力抗震调整系数；

——甲壳柱角部钢管的边长、钢管壁厚；

——缀板的宽度及厚度；

——缀板的间距；

——缀板钢材的抗拉强度设计值；

——钢梁的截面高度；

——对应于考虑地震组合剪力设计值的节点上柱底部的轴向力设计值，当为压力时,取轴向压力设计值的较小值,且不大于；当为拉力时，取为0；

4 甲壳柱与甲壳梁的连接构造见图7.4.1-2。甲壳梁上翼缘在甲壳柱内换成等强度的拉板，伸出柱外，与甲壳梁上翼缘通过搭接焊接连接，甲壳梁下翼缘在甲壳柱内换成两块等强度的拉板伸出柱外与下翼缘通过对接焊接。在梁高范围内设置抗剪缀板，缀板间距为100mm，宽度和厚度通过计算确定。甲壳梁端部变为平腹板，并在下部开设下翼缘焊接孔。



图7.4.1-2 甲壳柱-甲壳梁节点连接示意图

1.甲壳柱角部钢管；2.甲壳柱波纹侧板；3.甲壳梁下翼缘；4.甲壳梁波纹腹板；

5.甲壳梁上翼缘；6.抗剪缀板；7、8.下翼缘连接板；9.上翼缘连接板板；

条文说明：7.4.1 甲壳柱-甲壳梁的节点计算，执行《建筑抗震设计规范》中关于钢筋混凝土梁柱节点的规定。结构试验表明，节点的承载力计算公式时可靠的，节点的构造满足“强节点弱杆件”的抗震设计原则。施工时需重点保证甲壳梁下翼缘钢板与下翼缘连接板的焊接质量，下翼缘板的底部宜与连接板的底部齐平。

7.4.2 甲壳柱-钢梁连接节点应符合下列规定：

1考虑地震作用组合的甲壳柱与钢梁连接节点的剪力设计值应按下列公式计算：

1） 一级抗震等级的框架顶层中间节点和端节点：

(7.4.2-1)

一级抗震等级的框架其它层中间节点和端节点:

(7.4.2-2)

2） 二、三、四级抗震等级的框架顶层中间节点及端节点：

(7.4.2-3)

其它层中间节点和端节点

(7.4.2-4)



图7.4.2-1甲壳柱-钢梁刚性节点示意图

式中：——框架梁柱节点的剪力设计值；

——节点两侧梁的全塑性受弯承载力；

——节点左右两侧梁端反时针或顺时针弯矩设计值之和；

——钢梁截面高度，节点两侧梁高不等时，取其平均高度；

——柱的计算高度，可取节点上下反弯点之间的距离；

——节点剪力增大系数，二级取1.35，三级取1.20；四级取1.00。

2 考虑地震作用组合的甲壳柱与钢梁连接节点，其核心区的受剪水平截面应符合下列规定：

(7.4.2-5)

式中：——正交梁对节点的约束影响系数，取1.00。

——节点核心区截面高度，可取受剪方向柱截面高度；

——节点核心区的截面有效验算宽度，取;

——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过C50时取1.00，当混凝土强度等级为C80时取0.80，其间按线性内插法确定。

3 甲壳柱与钢梁连接节点的受剪承载力应符合下列公式：

(7.4.2-6)

(7.4.2-7)

式中：——节点核心区受剪承载力

——承载力抗震调整系数；

——甲壳柱角部钢管的边长、钢管壁厚；

——钢梁的腹板厚度；

——钢梁截面高度；

——柱截面宽度、高度；

——核心混凝土受剪承载力；

4甲壳柱与钢梁的连接形式可采用外伸内隔板式连接。甲壳柱内设置贯通的横隔板，在节点范围内，波纹侧板换成平腹板，四角钢管与横隔板焊接，钢梁翼缘与外伸内隔板焊接， 钢梁腹板与设置在节点区平腹板上的连接板通过摩擦性高强度螺栓连接。四角钢管与平腹板、四角钢管与横隔板的连接采用全熔透焊缝；钢梁的上下翼缘与横隔板焊接应采用全熔透焊缝并应设置衬板。横隔板厚度应满足板件宽厚比限值且不应小于钢梁翼缘厚度加2mm。内隔板上应设置混凝土浇筑孔，孔径不宜小于150mm，角部应设置透气孔，孔径宜为10mm。四角钢管内混凝土可采用工厂预灌水泥基灌浆料，水泥基灌浆料应符合相关规范要求。四角钢管范围内横隔板开灌浆孔，孔径不宜小于50mm。构造见图7.4.2-2。



图7.4.2-2 甲壳柱-钢梁刚性节点横隔板构造示意图

条文说明：7.4.2 甲壳柱-钢梁的节点计算，执行《建筑抗震设计规范》中关于钢筋混凝土梁柱节点的规定。结构试验表明，节点的承载力计算公式时可靠的，节点的构造满足“强节点弱杆件”的抗震设计原则。施工时需重点保证上下翼缘钢板与横隔板的焊接质量。

7.5 优腹梁

7.5.1 优腹梁可用于抗震设防为6度的地震区；当优腹梁用于抗震设防烈度为7度及8度的地震区时，需同时满足以下条件：

1 构件含地震作用的轴向力设计值与构件全截面面积和钢材抗拉强度设计值乘积的比值不超过0.4；

2 构件在重力荷载代表值和中震作用标准值的组合效应下，波纹腹板段的截面不屈服，或波纹腹板段不先于直腹板段屈服、且在中震作用组合效应下波纹腹板段的应力比小于直腹板段的0.85倍。

3 结构的安全等级为二级或三级。

7.5.2 优腹梁的平腹板段应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的相关规定，波纹腹板段应满足现行行业标准《波纹腹板钢结构技术规程》CECS 291的相关规定。

条文说明：7.5.1~7.5.2 优腹梁的设计，重点保证梁的塑性铰先出现在平腹板段。

7.6 支撑

7.6.1 对于由甲壳柱、甲壳梁和支撑形成的框架-支撑结构体系，支撑宜采用防屈曲支撑, 防屈曲支撑宜采用人字支撑、成对布置的单斜杆支撑等形式，不应采用K形或X形，支撑与柱的夹角宜在35°～55°之间；当采用耗能型防屈曲支撑时，可考虑支撑产生的附加阻尼作用，在多遇地震作用计算时，结构的阻尼比可取支撑产生的附加阻尼比与按本规程3.1.9条规定的阻尼比之和。

7.6.2 对于由甲壳柱、钢梁和支撑组成的框架-支撑结构体系，抗震等级为一、二级或高度超过50米时，宜采用防屈曲支撑或钢偏心支撑；抗震等级为三、四级支撑且高度不大于50m时，可采用钢中心支撑，也可采用防屈曲支撑或钢偏心支撑；当采用防屈曲支撑时，支撑的布置要求同本规程7.7.1条；当采用钢中心支撑时，支撑的布置形式宜采用交叉支撑、人字支撑或单斜杆支撑，不宜采用K形支撑，支撑的轴线宜交汇于梁柱构件轴线的交点，偏离交点时的偏心距不应超过支撑杆件宽度，并应计入由此产生的附加弯矩；当采用钢偏心支撑时，偏心支撑框架的每根支撑应至少有一端与框架梁连接，并在支撑与梁交点和柱之间或同一跨内另一支撑与梁交点之间形成消能梁段。

7.6.3 支撑框架在两个方向的布置均宜基本对称，支撑框架之间楼盖的长宽比不宜大于3。

7.6.4 支撑与甲壳柱、甲壳梁、钢框架梁的连接极限承载力，应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011-2011第8.2.8条的规定。

7.6.5 偏心支撑的设计可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关规定执行。

条文说明：7.6.1~7.6.5 参考《建筑抗震设计规范》，对支撑的形式做出规定。

8防护设计

8.1防腐设计

8.1.1 波纹钢板组合框架结构应遵循安全可靠、经济合理的原则，按下列要求进行防腐设计：

1 构件的防腐设计应根据建筑物的重要性、环境腐蚀条件、施工和维修条件等因素合理确定防腐设计年限，甲壳柱、甲壳梁防护层的设计使用年限不应低于10年。

2 防腐设计应考虑环保节能的要求；

3 防腐设计中应考虑结构全寿命周期内的检查、维护和大修。

8.1.2 在结构设计文件中应注明防腐蚀方案，如采用涂（镀）层方案，须注明所要求的的钢材除锈等级和所要用的涂料（或镀层）及涂（镀）层厚度，并注明使用单位在使用过程中应进行定期检查和维护的要求。

8.1.3 结构的防腐蚀设计应综合考虑环境中介质的腐蚀性、环境条件、施工和维修条件等因素，因地制宜，从下列方案中综合选择防腐蚀方案或其组合：

1 防腐蚀涂料；

2 各种工艺形成的锌、铝等金属保护层；

3 阴极保护措施；

4 耐候钢。

8.1.4 对危及人身安全和维修困难的部位，以及重要的承重结构和构件应加强防护；对处于严重腐蚀的使用环境且仅靠涂料难以有效保护的主要承重钢构件，宜采用耐候钢或外包混凝土；当某些次要构件的设计使用年限与主体结构的设计使用年限不相同时，次要构件应便于更换。

8.1.5 结构防腐蚀设计应符合下列规定：

1 当采用型钢组合的杆件时，型钢间的空隙宽度宜满足防护层施工、检查和维修的要求。

2 不同金属材料接触会加速腐蚀时，应在接触部位采取隔离措施。

3 焊条、螺栓、节点板等连接构件的耐腐蚀性能不应低于主材材料，安装后再采用与主体结构相同的防腐蚀方案。

4 避免出现难于检查、清理和涂漆之处，以及能积留湿气和大量灰尘的死角和凹槽；闭口截面构件应沿全长和端部焊接封闭。

5 钢构件与混凝土直接接触面不宜进行防腐涂覆。

8.1.6 钢材表面原始锈蚀等级和钢材除锈等级标准应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》GB/T8923的规定。

1 表面原始锈蚀等级为D级的钢材不应用作结构钢；

2 喷砂或抛丸用的磨料等表面处理材料应符合防腐蚀产品对表面清洁度和粗糙度的要求，并符合环保要求。

8.1.7 处于弱腐蚀环境和中等腐蚀环境的承重构件，工厂制作涂装前，其表面应采用喷射或抛射除锈方法，除锈等级不应低于Sa2;现场采用手工和动力工具除锈方法，除锈等级不应低于St2。 防锈漆的种类与钢材表面锈蚀等级要匹配，应符合表8.1.7的规定。

表8.1.7 钢材表面最低除锈等级

|  |  |
| --- | --- |
| 涂料品种 | 除锈等级 |
| 油性酚醛、醇酸等底漆或防锈漆 | Sa2 |
| 高氯化聚乙烯、氯化橡胶、氯磺化聚乙烯、环氧树脂、聚氨酯等底漆或防锈漆 | Sa2 |
| 无机富锌、有机硅、过氯乙烯等底漆 | Sa2 |

8.1.8 当环境腐蚀作用分类为弱腐蚀和中等腐蚀时，室内、室外钢结构漆膜干膜总厚度分别不宜小于125μm和150μm，位于室外有特殊要求的部位，宜增加涂层厚度20μm-40μm,其中室内钢结构底漆厚度不宜小于50μm，室外钢结构底漆厚度不宜小于75μm。

条文说明：8.1.1~6.1.8 根据《钢结构设计标准》，对波纹钢板组合框架结构的钢材防腐做出规定。波纹板的材料较薄，考虑其耐久年限，应重视防腐。

8.2 防火设计

8.2.1 结构防火保护措施及其构造应根据工程实际，考虑结构类型、耐火极限要求、工作环境等因素，按照安全可靠、经济合理的原则确定。

8.2.2 结构的防火设计和耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016中的有关规定。应合理确定房屋的防火类别与防火等级。

8.2.3 当构件的耐火极限不能达到规定的设计耐火极限要求时，应进行防火保护设计。波纹钢板组合框架结构应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249进行抗火性能计算。

8.2.4 在结构设计文件中，应注明结构的设计耐火等级，构件的设计耐火极限、所需要的防火保护措施及防火保护材料的性能要求。

8.2.5 当采用防火涂料时，防火涂料施工前，构件应按本规范第8.1节的规定进行除锈和防锈底漆的涂装，防火涂料应与底漆相容并能结合良好。防火涂料的粘结强度、抗压强度应满足设计要求，检查方法应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法》GB/T 9978的规定。

8.2.6 当采用板材外包防火构造时，构件应按本规范第8.1节的规定进行除锈，并进行底漆和面漆的涂装保护；板材外包防火构造的耐火性能，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定或通过试验确定。

8.2.7 节点的防火保护应与被连接构件中防火保护要求最高者相同。

条文说明： 8.2.1~8.2.7 甲壳柱、甲壳梁均可采用《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017中的“承载力法”进行计算，其中，甲壳柱按第8.1节的公式进行计算，甲壳梁按8.3节的公式计算，体型系数计算时，体积取甲壳梁的等效截面体积，表面积取展开面积。甲壳柱、甲壳梁因内填混凝土，其防火性能优于钢柱钢梁，防火涂料的厚度只需达到《建筑钢结构防火技术规范》规定的最小值即可满足耐火极限。

8.3 隔热设计

8.3.1 处于高温工作环境中的波纹钢板组合框架结构，应考虑高温对结构的影响，高温工作环境的设计状况为持久状况，高温作用为可变荷载，设计时应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

8.3.2 当温度超过100℃时，进行构件的承载能力和变形验算时，应考虑长期高温作用对钢材和构件连接性能的影响。

8.3.3 高温环境下结构工作温度超过100℃时，应进行结构温度作用验算，并应根据不同情况采取防护措施：

1 当结构可能受到炽热融化金属的侵害时，应采用砌块或耐热固体材料做成的隔热层加以保护；

2 当结构可能受到短时间的火焰直接作用时，应采用加耐热隔热涂层、热辐射屏蔽等隔热防护措施；

3 当高温环境下结构的承载力不满足要求时，应采取增大构件截面、采用耐火钢或采用加耐热隔热涂层、热辐射屏蔽、水套隔热降温等隔热降温措施。

4 高强度螺栓连接长期受热达150℃以上时，应采用加耐热隔热涂层、热辐射屏蔽等隔热防护措施。

8.3.4 结构的防护隔热措施在相应的工作环境下应具有耐久性，并应与结构的防腐、防火保护措施相容。

条文说明： 8.3.1~8.3.4 波纹钢板组合框架结构尚无工作环境为高温环境的案例，本节内容取自《钢结构设计标准》。

9制作与施工

9.1 构件制作

9.1.1甲壳柱、甲壳梁构件及零部件的原材料及制作、加工、涂装、检验，除执行本节内容外，还应执行下列规范的要求:

《钢结构焊接规范》 GB 50661

《钢结构工程施工规范》 GB 50755

《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205

《钢结构设计标准》 GB 50017

《钢-混凝土组合结构施工规范》 GB 50901

《钢管混凝土工程施工质量验收规范》 GB 50628

《钢构用冷弯空心型钢尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 6728

《热轧钢构和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》 GB/T 709

《焊缝无损检测、超声检测技术、检测等级和评定》 GB/T 11345

《波纹腹板钢结构技术规程》 CECS 291

《热轧型钢》 GB/T 706

《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433

9.1.2 甲壳柱的外形尺寸允许偏差宜按表9.1.2采用。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表 9.1.2 甲壳柱外形尺寸允许偏差 | | | |
| 项目 | 允许偏差(mm) | 检查方法 | 图例 |
| 甲壳柱长度L | ±3.0 | 用钢尺检查 |  |
| 柱宽度L3 | ±3.0 |
| 柱脚底板平面度 F | 5.0 | 用1M直尺和塞尺检查 |
| 截面对角线差 | 5.0 | 用钢尺检查 | IMG_257 |
| 十字拉板间距L4 | ±10.0 | 用钢尺、直尺检查 | IMG_259 |
| 十字拉板侧向弯曲度F1 | 1.0 | 用钢尺、直尺检查 | IMG_258 |

续表9.1.2 甲壳柱外形尺寸允许偏差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差(mm) | 检查方法 | 图例 |
| 下翼缘连接板伸出端距离柱下端脚底板L | ±3.0 | 用直尺和钢尺检查 | IMG_260 |
| 下翼缘连接板伸出端翘曲F | 2.0 |
| 下翼缘连接板伸出端离柱边距b | ±3.0 |
| 柱身弯曲矢高 | H/1500，且不应大于6.0 | 用拉线和钢尺检查 |
| 波纹劲与端部件垂直度f2 | 10.0 | 用直尺和钢尺检查 | IMG_261 |
| 波纹板离方管边缘距离 | ±3.0 | 用直尺检查 |  |
| 上柱连接板距离柱中心 | ±1 |  |  |
| 下柱连接板距离柱中心 | ±1 |  |  |
| 上下柱连接板及定位螺栓孔标高 | ±5 | 用直尺检查 |  |

9.1.3 甲壳梁的外形尺寸允许偏差应按表9.1.3采用。

表 9.1.3 甲壳梁外形尺寸允许偏差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法 | 图例 |
| 甲壳梁长度L | ±3.0 | 用钢尺检查 |  |
| 宽度b | ±3.0 |
| 截面高度h | ±3.0 |
| 对角线差 | 3 |

续表 9.1.3 甲壳梁外形尺寸允许偏差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法 | 图例 |
| 上翼缘拉结板间距L | 10.0 | 用钢尺检查 | clip_image10 |
| 次梁连接板的间距L2 | ±3.0 | 用钢尺检查 | clip_image4clip_image11 |
| 次梁连接板伸出上翼缘边的长度L3 | ±3.0 |
| 波纹偏中 | ±3.0 |
| 翼缘旁弯 | L/1000，且不大于8 | 用直线及钢尺检查 |  |
| 甲壳梁预起拱 | 按设计文件要求,设计文件无要求时按跨度的1/1000 | 用直线及钢尺检查 |  |

9.1.4 甲壳柱、甲壳梁、优端梁的波纹腹板厚度小于4.0mm时，腹板与方管、翼缘、隔板及劲板可采用单面通长焊接；波纹腹板厚度不小于4.0mm时，腹板与方管、翼缘、隔板及劲板应采用双面通长焊接。其他直腹板连接应采用双面通长焊接。

9.1.5 甲壳柱内十字拉板与四角钢管的连接采用双面焊接。

9.1.6 甲壳柱的四角钢管与脚底板或端头板的连接，当四角钢管壁厚小于4mm时，可采用单面角焊缝围焊，当四角钢管壁厚不小于4mm时，应采用熔透焊，当四角钢管壁厚不小于12mm时，应采用开坡口的熔透焊。

9.1.7 甲壳柱的承重板、水平缀板、竖向缀板、上柱连接板、下柱连接板与四角钢管的连接应采用双面角焊缝，侧板过渡板与四角钢管的连接可采用单面角焊缝。

9.1.8 甲壳梁柱节点处的甲壳梁下翼缘连接板与甲壳柱的四角钢管的连接应采用双面角焊缝。

9.1.9 甲壳梁上翼缘拉结板与上翼缘连接可采用单面焊接。

9.1.10甲壳梁的次梁连接板与上下翼缘之间的连接应采用双面角焊缝。

9.1.11 甲壳梁柱节点封堵板与甲壳柱四角钢管及甲壳梁腹板之间可采用间断焊连接。

9.1.12 所有接长及对接板材之间均应采用熔透焊,当连接板材厚度不小于12mm时，应采用坡口熔透焊。

9.1.13熔透焊的焊缝质量等级应不低于二级，角焊缝外观质量等级应不低于三级。

9.1.14甲壳柱内十字拉板在钢甲壳封闭前应全检，严禁漏焊。

9.1.15构件出厂前，产品应标识清晰、编号准确，构件的几何尺寸及焊接质量应检验合格并附合格证方可出厂。

9.1.16构件装车前应附加垫木等防撞措施。

9.1.17 甲壳柱、甲壳梁在出厂前宜留设排水孔,排水孔径宜为8mm；甲壳柱宜在四角钢管根部预留排水孔，甲壳梁宜在腹板与下翼缘连接处预留排水孔，排水孔双面错开布置，单面排水孔间距不大于2000mm。

9.1.18 钢甲壳的除锈和涂装工程应在构件制作质量检验合格后进行。表面处理后到涂底漆的时间间隔不应超过4h，处理后的表面不应有焊渣、灰尘、油污、水和毛刺等。涂装应在适宜的温度、湿度和清洁的环境中进行：涂装固化温度宜为5℃-38℃；相对湿度不宜大于85%。每道涂层涂装后，表面至少在4h内不得雨淋和玷污。

条文说明： 9.1.1~9.1.18 甲壳柱、甲壳梁钢甲壳的制作，重点在于外形尺寸控制、焊接质量及排水孔留设。甲壳柱内的十字拉板或“口”型拉板与钢管之间的焊接质量若不合格，混凝土浇筑时将导致拉板断裂、四角钢管屈曲，甲壳柱将出现不可恢复的鼓胀，严重时可能导致施工安全事故，须重视。排水孔留设不当，将导致混凝土浇筑不密实。

9.2 钢甲壳安装与连接

9.2.1 构件进入堆放场地前，应先按产品标准检查外观，若发现外形不合格的产品，则应先进行矫正，而后再进行堆放；矫正后仍不符合标准的产品，应返厂再加工。

9.2.2 构件堆放场地应平整、坚实、干燥，且宜设置排水设施，不得积水；构件不应直接置于地面，构件下方应设置垫木或垫板，且应均匀平整放置；当多层放置时，应在层间设置垫木分隔，垫木截面高度可取100mm；构件及连接件应分类分规格进行堆放，不应将不合格的构件与合格的构件混合堆放；重要部件、小零件、易损件宜放入仓库存放；构件露天堆放时，构件内部宜设置防止构件腔体内积水的排水措施。

9.2.3 底层甲壳柱吊装前的准备工作，应符合下列规定:

1 将基础表面找平至设计标高并清理干净；

2 对基础标高、地脚螺栓定位、甲壳柱平面定位作全面的检查及修正。

3 在基础表面，用墨线标识出建筑物轴线、安装中心线、柱脚范围，作为甲壳柱对位、矫正的依据。

4 在甲壳柱底部标出定位轴线，并标识标高准线。

9.2.4 甲壳柱在全面吊装前宜先进行试吊；甲壳柱宜采用两点正吊，可利用柱顶缀板设置吊点并采用钢丝绳卡环绑扎；部件及索具强度验算应按现行行业标准《建筑起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276的相关规定执行。

9.2.5 甲壳柱的吊装过程应符合下列规定：

1 起吊前宜先固定缆风绳;

2 甲壳柱起吊时不应在地面上拖拉；

3 甲壳柱吊起后，当柱底距地面200mm~300mm时应暂停并检查索具和吊车的稳定性；

4 甲壳柱吊起并旋转至基础上方后，应缓慢下降，当柱底距基础顶面100mm时，应将柱与基础定位轴线对齐后方可下降就位；

5 甲壳柱就位后，应对全部地脚螺栓的螺母进行初拧，同时进行甲壳柱垂直度复核，而后进行终拧。

6 甲壳柱吊装宜采用在柱顶二侧安装耳板孔的方式，也可采用在柱顶二侧面捆绑索具的方式。索具摘除前，甲壳柱垂直度偏差不应大于20mm；索具摘除宜采用人工拉锁脱钩或捆绑松钩的方式；索具摘除需登高时，应使用高空升降机具或爬梯。

7 中间层甲壳柱吊装前，应先放样轴线及标高基准线；

8 中间层甲壳柱吊装就位后，应补齐连接板。

9.2.6 甲壳柱的校正应符合下列规定：

1 甲壳柱应进行平面定位、标高及垂直度的校正。

2 甲壳柱的平面定位应在吊装就位时通过弹线和标记直接准确定位；

3 甲壳柱应在就位后使用调节螺母调整至准确标高，非顶层柱的柱顶标高不宜出现正偏差。

4 甲壳柱的垂直度宜采用二次校正:第一次在吊装就位时采用靠尺等工具进行快速校正，第二次在梁吊装前采用二台千斤顶与二台经纬仪精确校正至允许误差范围内。

5 甲壳柱、甲壳梁的允许误差应符合表9.2.6的要求。

表9.2.6 甲壳柱、甲壳梁允许误差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 甲壳柱允许偏差(mm) | 甲壳梁允许偏差(mm) |
| 平面定位 | ±3.0 | ±20 |
| 标高 | -20 | ±15 |
| 垂直度 | 不大于H/1000，且不大于10 | --- |

9.2.7 甲壳梁的安装宜在钢柱校正完成后进行；甲壳梁宜一次性吊装到位；甲壳梁在吊装前应对构件外形进行检查，构件变形超出允许偏差时，不得吊装；不得雨中作业。

9.2.8 甲壳梁吊装时应控制与钢柱对接点的尺寸，对接焊口宽度应控制在5~8mm之间；甲壳梁下翼缘与节点连接板宜采用下口平齐，上下错位不应超过1.5mm，节点连接板下应设置引弧板，引弧板伸出尺寸不宜小于50mm； 甲壳梁轴线偏移不应大于5mm。

9.2.9 现场焊接前应检查焊接材料与钢材是否匹配；焊接工艺条件应满足设计要求。

9.2.10 当甲壳柱四角钢管的壁厚小于4mm时，四角钢管的对接可采用与端头板角焊缝围焊的方式进行连接，当甲壳柱四角钢管的壁厚不小于4mm时，四角钢管的对接应采用全熔透焊，当甲壳柱四角钢管的壁厚不小于12mm时，四角钢管的对接应采用开坡口的全熔透焊。

9.2.11 甲壳梁的下翼缘与节点连接板应采用开坡口的全熔透焊；甲壳梁的上翼缘与节点连接板宜采用角焊缝连接；甲壳梁、甲壳柱的后封板可采用单面角焊缝围焊。

9.2.12 甲壳柱与钢梁连接节点为刚接节点时，甲壳柱的横隔板与钢梁的上下翼缘连接应采用坡口全熔透焊，甲壳柱的节点侧板与钢梁连接板之间宜采用双面角焊缝连接。

9.2.13 熔透焊的焊缝质量等级应不低于二级，角焊缝外观质量等级应不低于三级；二级焊缝表面质量应全部进行外观检查，并做不少于20%的无损检测检查；三级焊缝应全部进行外观检查；对具有缺陷或不合格的焊缝应进行返修焊或切割重焊，返修后应进行复验，返修次数不宜超过2次。

9.2.14 甲壳梁支座附加钢筋应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的有关规定施工。当附加钢筋数量较多、钢筋净距不满足要求时，可将附加钢筋布置于梁侧不超过3倍板厚范围的混凝土翼板内，且附加钢筋的布置宽度不宜超过梁支座处的甲壳柱钢管之间的净距。

9.2.15 甲壳梁柱节点处，非悬挑甲壳梁的上翼缘连接板宜在钢次梁安装就位后方进行焊接。

条文说明： 9.2.1~9.2.14 甲壳柱、甲壳梁的安装，重点在于构件的定位和校正、焊接质量及排水检查。

9.3 混凝土施工及检测

9.3.1 甲壳柱、甲壳梁在混凝土浇筑之前，必须将四角钢管及甲壳腔体内的积水及积雪排除。

9.3.2 甲壳柱在上下柱交接处，应留设检查孔，兼排水孔及安装手孔用，检查孔的后封钢板宜在混凝土密实度检查合格后方进行封板。

9.3.3 甲壳柱宜采用下列方法进行积水排查并排除积水：

1 在甲壳柱上口观测是否有积水；

2 采用小钢锤在甲壳柱外侧进行敲击，听声音判别积水位置，并在积水最低处钻孔排水。

3 排水之后应再次在甲壳柱上口进行观测。

4 伸入基础混凝土内的四角钢管，宜在钢管顶采用厚塑料马夹袋封箱带封口，防止雨水进入钢管，当有雨水进入钢管内时，可在钢管侧面开50\*50的抽水孔并采用自吸泵进行抽水。

9.3.4 甲壳梁宜采用下列方法进行积水排查并排除积水：

1 混凝土浇筑之前，在梁上口观测是否有积水;

2 若有积水，宜在积水最深处，在甲壳梁腹板与梁下翼缘交接处钻孔排水。

9.3.5 甲壳柱混凝土浇筑宜采用下列规定：

1截面短边不大于600mm的甲壳柱，四角钢管内的混凝土宜在工厂预灌;截面短边大于600mm的甲壳柱宜同时采用二根直径50mm的振捣棒进行对面对称振捣：先对称插入四角方管内，而后对称插入大腔体内。

2 甲壳柱可先浇筑四角钢管内的混凝土，而后浇筑大腔体内的混凝土；浇筑高度不大于8.0m的钢管，可一次性浇筑振捣完毕，浇筑高度大于8.0m的钢管宜分层循环布料，分层振捣至顶；大腔体内宜先浇筑1.5m~2m高的混凝土，振捣密实后，再边布料边提振捣棒至顶。

3 甲壳柱的混凝土坍落度宜采用160mm~180mm。

9.3.6 当甲壳柱的四角钢管边长小于130mm时，四角钢管内的混凝土宜采用工厂预灌的方式,并用细石混凝土或用高强灌浆料替代。

9.3.7 甲壳梁的混凝土浇捣应符合下列规定：

1 甲壳梁截面高度小于1m时，可不进行分层浇筑；甲壳梁截面高度不小于1m时，应采用分层浇筑，分层厚度不应大于500mm；

2 振捣时应沿梁纵向逐点振捣，两振捣点之间距离不得大于400mm；振捣棒应快插慢拔，不得漏振；振捣棒不得接触钢筋，当梁内预埋有预应力波纹管时，振捣棒应避开波纹管。

3 梁板混凝土同时浇筑时，应采用赶浆法先浇筑梁混凝土，当达到板底标高时，再和板一同浇筑。

4 混凝土坍落度宜采用160mm~180mm。

9.3.8 甲壳柱与甲壳梁混凝土强度等级相差超过一个等级时，应在梁柱交界面采用多层密目钢丝网隔离，并设置钢筋骨架，钢丝网的层数及钢筋骨架的直径、间距应满足不漏浆的要求。

9.3.9 甲壳柱、甲壳梁混凝土浇筑前应进行下列检查

1 混凝土不得出现离析现象，如果出现离析，必须返回商品混凝土供应站重新搅拌。

2 混凝土浇筑时应留置试块：浇筑小于1000m³时，每100 m³分别留置一组标准养护试块和一组同条件养护试块；浇筑大于1000m³时，每200m³分别留置一组标准养护试块和一组同条件养护试块。

3 浇筑过程中应随机抽查混凝土坍落度，前两车必须抽查，后面每三车抽查一次。

4混凝土粗骨料的粒径不得大于甲壳梁最小截面的1/4，且不得大于钢筋间距的3/4。

9.3.10 甲壳柱、甲壳梁混凝土浇筑过程中，应采用小锤敲击检查混凝土是否密实，发现有异常声音时，应暂停浇筑，将振动棒再次插入振捣，直至密实，此工作宜由有经验的人完成。

9.3.11 甲壳柱、甲壳梁浇筑完成后，应采用小锤在钢甲壳外侧进行敲击检查混凝土密实度，若声音有异常，应将该处钢甲壳切开检查，并采用回弹仪进行强度检测；

9.3.12 具备条件的甲壳柱可采用低应变法检测混凝土密实度。

9.3.13 甲壳柱可利用检查孔进行混凝土浇筑质量检查、强度回弹检测及超声波对测法检测。

条文说明： 9.3.1~9.2.13 甲壳柱、甲壳梁的混凝土施工及检测，重点在于柱梁板的浇筑顺序及技术间歇、浇筑前的排水及清渣、浇筑时的密实度检查。

10质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 波纹钢板组合框架结构应在施工单位自行检验评定合格的基础上，按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的规定进行子分部工程验收。

10.1.2 波纹钢板组合框架结构子分部工程应按表10.1.2划分为7个分项工程。

表10.1.2 波纹钢板组合框架结构子分部工程分项工程

|  |  |
| --- | --- |
| 子分部工程 | 分项工程 |
| 波纹钢板组合框架结构工程 | 甲壳梁柱及钢梁安装、焊接、螺栓连接、钢筋、混凝土、预应力、组合楼板 |

10.1.3 甲壳梁柱及钢梁安装、焊接、螺栓连接、组合楼板等4个分项工程应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205和《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的相关规定进行施工质量验收；钢筋、混凝土、预应力分项工程应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的相关规定进行施工质量验收。

10.0.4波纹钢板组合框架结构子分部工程合格质量标准应符合下列规定：

    1 各分项工程施工质量验收合格；

2 质量控制资料和文件应完整；

3 观感质量验收合格；

4 结构实体检验结果满足设计和本规范的要求。

10.1.5波纹钢板组合框架结构子分部工程质量验收时，应提供下列文件和记录：

    1 深化设计文件；  
     2 施工现场质量管理检查记录；  
     3 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；  
     4 有关观感质量检验项目检查记录；  
     5 所含各分项工程质量验收记录；  
     6 分项工程所含各检验批质量验收记录；  
     7 强制性条文检验项目检查记录及证明文件；  
     8 隐蔽工程检验项目检查验收记录；  
     9 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测报告；  
     10 不合格项的处理记录及验收记录；  
     11 重大质量、技术问题实施方案及验收记录；  
     12 其他有关文件和记录。

10.1.6 波纹钢板组合框架结构工程质量验收记录应符合下列规定：  
     1 钢结构分项工程质量验收记录应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的相关记录执行；  
     2 混凝土分项工程质量验收记录应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的相关记录执行；  
10.1.7 当波纹钢板组合框架结构工程施工质量不符合本规范要求时，应按下列规定进行处理：  
     1 经返工重做或更换构配件的检验批，应重新进行验收；  
     2 经有资质的检测单位检测鉴定能达到设计要求的检验批，应予以验收；  
     3 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求的，但经原设计单位核算认可能够满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；  
     4 经返修或加固处理的分项、分部工程，虽然改变外形尺寸，尚能满足安全使用要求，可按处理的技术方案和协商文件进行验收。

条文说明： 10.1.1~10.1.6 波纹钢板组合框架结构的质量验收，原则上与钢结构相关的按《钢结构工程施工质量验收规范》执行，与混凝土结构相关的按《混凝土结构工程施工质量验收规范》执行。

10.2 甲壳柱、甲壳梁的验收

10.2.1 甲壳柱应进行平面定位、标高及垂直度进行验收，甲壳梁应进行标高及平面定位验收，甲壳柱、甲壳梁的允许误差见本规程表9.2.6的要求。

10.2.2甲壳柱混凝土浇筑前，应进行隐蔽验收，验收内容应符合下列规定：

1底层甲壳柱应重点检查地脚螺栓紧固情况；

2甲壳柱应重点检查四角钢管的焊接质量。

10.2.3 甲壳梁混凝土浇筑前应进行隐蔽验收，重点验收梁柱连接节点尺寸、梁下翼缘与节点连接板的缝宽及上下偏移尺寸、甲壳梁上下翼缘与节点连接板的焊接质量。

10.2.4 甲壳柱、甲壳梁涂层质量及厚度的检查方法应按现行国家标准《漆膜附着力测定法》GB 1720或《色漆和清漆 漆膜的规格试验》GB/T 9286的规定执行，应按构件数量的1%抽查，且不应少于3件，每件检测3处。

条文说明： 10.2.1~10.2.4 针对甲壳柱、甲壳梁的特点进行规定，其余详相关规范。

**附录A 甲壳柱、甲壳梁的组成**

A.1 甲壳柱

A.1.1 底层甲壳柱的零部件名称宜采用图A.1.1所示。



图A.1.1 底层甲壳柱的组成

1——下柱连接板；2——定位螺栓孔；3——四角钢管端头板；4——过渡板；5——梁柱节点竖缀板；6——下翼缘连接板；7——承重板；8——十字拉板；9——四角钢管；10——波纹侧板；11——检查孔；12——水平缀板；13——栓钉；14——脚底板；15——地脚锚栓

A.1.2 中间层甲壳柱的零部件名称宜采用图A.1.2所示。



图A.1.2 中间层甲壳柱的组成

1——下柱连接板；2——定位螺栓孔；3——四角钢管端头板；4——过渡板；5——梁柱节点竖缀板；6——下翼缘连接板；7——承重板；8——十字拉板；9——四角钢管；10——波纹侧板；11——上柱连接板；12——检查孔；

A.1.3与钢梁连接的甲壳柱的零部件名称宜采用图A.1.3所示。



图A.1.3 与钢梁连接的甲壳柱的组成

1——下柱连接板；2——定位螺栓孔；3——四角钢管端头板；4——过渡板；5——节点横隔板；6——预留洞口；7——钢梁连接板；8——螺栓孔；9——节点侧板；10——十字拉板；11——四角钢管；12——波纹侧板；13——上柱连接板；14——检查孔。

A.2 甲壳梁

A.2.1 甲壳梁的零部件名称宜采用图A.2.1所示。



图A.2.1 甲壳梁的组成

1——栓钉；2——钢次梁连接板；3——螺栓孔；4——上翼缘；5——下翼缘；6——上翼缘拉结板；7——波纹腹板；8——下翼缘焊接手孔；9——直腹板。

A.3 节点

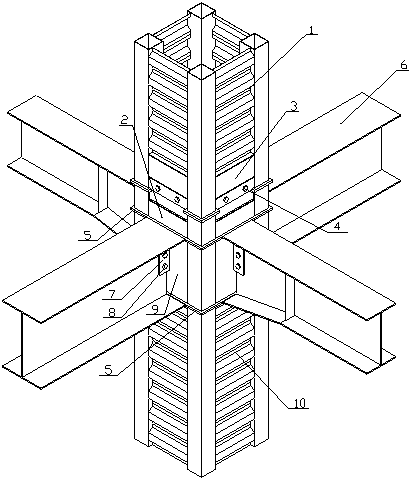
A.3.1 甲壳梁与甲壳柱连接节点的零部件名称宜采用图A.3.1所示。



图A.3.1 甲壳梁柱节点的组成

1——上柱；2——检查孔后封板；3——定位螺栓；4——梁支座附加钢筋；5——上翼缘连接板；6——甲壳梁手孔封板；7——节点封堵板；8——下柱。

A.3.2 甲壳柱与钢梁连接节点的零部件名称宜采用图A.3.2所示。

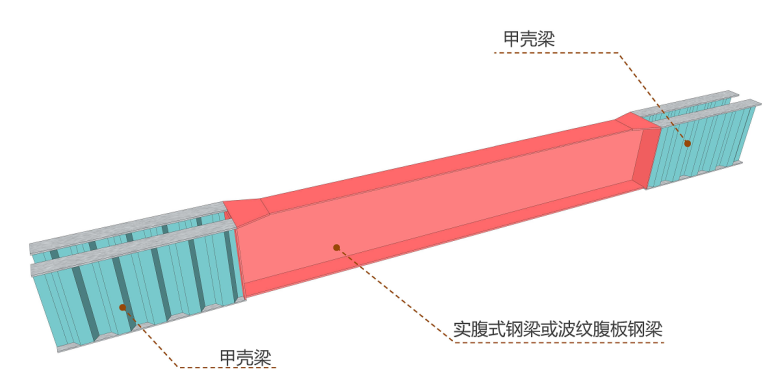


图A.3.2 甲壳柱与钢梁连接节点的组成

1——上柱；2——预留洞口；3——检查孔后封板；4——甲壳柱定位螺栓；5——节点横隔板；6——钢梁；7——钢梁连接板；8——螺栓；9——节点侧板；10——下柱。

A.4 优端梁

A.4.1 优端梁的零部件名称宜采用图A.4.1所示。



图A.4.1 优端梁

**附录B 甲壳柱钢甲壳截面特性**



图B.1 甲壳柱钢甲壳截面



图B.2 波纹钢板波形图

附表B： 方形甲壳柱钢甲壳截面特性



续附表B



注：1.当钢甲壳为矩形时，按长边尺寸选用方钢管规格及波纹钢板规格。

2.混凝土一次允许浇筑高度是考虑施工阶段波纹钢板在湿混凝土涨模力作用的最大允许施工高度。

3.表中IX为钢甲壳绕X轴的截面惯性矩；

4.表中WX为钢甲壳绕X轴的截面模量；

5.为截面的回转半径。

**附录C 甲壳梁钢甲壳截面特性**



图B.1 甲壳梁钢甲壳截面



图B.2 波纹钢板波形图

附表C： 甲壳梁钢甲壳截面特性



续附表C



注：1.表中IX为钢甲壳绕X轴的截面惯性矩；

2. 表中WXmin为钢甲壳绕X轴的最小截面模量；

**引用标准名录**

1 《建筑结构荷载规范》GB50009

2 《混凝土结构设计规范》GB 50010

3 《建筑抗震设计规范》GB50011

4 《钢结构设计标准》GB 50017

5 《冷弯型钢结构技术规范》GB50018

6 《中国地震动参数区划图》GB 18306

7 《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223

8 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936

9 《建筑地基基础设计规范》GB 50017

10 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205

11《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

12《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628

13《钢结构焊接规范》GB 50661

14《钢结构工程施工规范》GB 50755

15《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628

16《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

17《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901

18《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249

19《高层混凝土结构技术规程》JGJ 3

20 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99

21《预应力混凝土结构设计规范》JGJ369

22《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178

23《组合结构设计规范》JGJ 138

24《组合楼板设计与施工规范》CECS 273

25《波纹腹板钢结构技术规程》CECS 291

**条文说明**