中国工程建设标准化协会标准

钢-混凝土组合管结构技术规程

Technical specification for steel-concrete composite tube structures

（征求意见稿）

主编单位：

批准单位：

日　　期：2021 年**月**日

前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第一批工程建设协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字[2019]12 号）的要求，编制组经广泛调研，开展专题研究，认真总结工程实践经验，参考国内外相关标准和规范，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 11 章，主要内容包括：总则、术语和符号、材料、基本规定、结构体系、结构计算分析、钢-混凝土组合管剪力墙设计、节点设计、防护设计、制作与施工和质量验收等。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由河南绿建建筑科技有限公司和河南工业大学负责解释。本规程的某些内容涉及专利，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。在执行本规程过程中，如有意见和建议，请寄送解释单位（地址：河南省郑州市高新区莲花街 100 号，河南工业大学土木工程学院，邮编：450001，hautliuyuhao@163.com）。

主编单位：河南绿建建筑科技有限公司、河南工业大学

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目　次

1 总　则.....1
2 术语和符号.....2
2.1 术语.....2
2.2 符号.....3
3 材　料.....5
3.1 钢材.....5
3.2 连接材料.....6
3.3 钢筋和混凝土.....7
3.4 设计指标.....8
4 基本规定.....11
4.1 一般规定.....11
4.2 构件承载力设计.....13
4.3 水平位移限值和舒适度要求.....14
4.4 抗震等级.....15
5 结构体系.....17
5.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构.....17
5.2 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构.....18
6 结构计算分析.....22
6.1 一般规定.....22
6.2 弹性计算.....23
6.3 弹塑性计算.....25
7 钢-混凝土组合管剪力墙设计.....27
7.1 一般规定.....27
7.2 承载力计算.....34
7.3 构造要求.....51
8 节点设计.....52
8.1 一般规定.....52
8.2 钢-混凝土组合管剪力墙的底部水平连接节点.....52
8.3 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接节点.....56
8.4 钢-混凝土组合管剪力墙与墙的连接节点.....59
8.5 钢-混凝土组合管剪力墙与梁及楼承板的连接节点.....60
8.6 免拆底模钢筋桁架楼承板制作及施工.....62
8.7 组合楼梯设计.....63
9 防护设计.....66
9.1 防火设计.....66
9.2 防腐设计.....67
10 制作与施工.....68
10.1 一般规定.....68
10.2 构件制作、吊装、运输及存放.....68
10.3 构件施工.....71
10.4 组合管内外混凝土浇筑.....73
11 质量验收.....75

11.1 一般规定.....75
11.2 原材料及成品进场.....75
11.3 零部件加工工程.....77
11.4 焊接工程.....78
11.5 组合管内外混凝土工程.....79
本规程用词说明.....81
引用标准名录.....82

CONTENTS

1 General 1
2 Terms and Symbols 2
2.1 Terms 2
2.2 Symbols 3
3 Materials 5
3.1 Steel 5
3.2 Connecting materials 6
3.3 Rebar and concrete 7
3.4 Design metrics 8
4 Basic requirements 11
4.1 General requirements 11
4.2 Design of bearing capacity of members 13
4.3 Requirements for horizontal displacement limitation and comfort 14
4.4 Seismic grade 15
5 Systems of structural 17
5.1 Steel-concrete composite tube shear wall structure 17
5.2 Frame- steel-concrete composite tube shear wall structure 18
6 Computation and analysis of structure 22
6.1 General requirements 22
6.2 Elastic calculation 23
6.3 Elastic-plastic analysis 25
7 Design of steel-concrete composite tube shear wall 27
7.1 General requirements 27
7.2 Calculation of bearing capacity 34
7.3 Construction requirements 50
8 Design of connection 52
8.1 General requirements 52
8.2 The bottom horizontal connection node of the steel-concrete composite tube shear wall structure 52
8.3 The middle horizontal connection node of the steel-concrete composite tube shear wall structure 56
8.4 Connection node of steel-concrete composite tube shear wall and wall 59
8.5 The connection node between steel-concrete composite tube shear wall and beam and bearing slab 60
8.6 Manufacture and construction of reinforced truss floor slab with Demolition-free bottoom form 62
8.7 The design of the combined staircase 63
9 Design of protection 66
9.1 Fire-resistance design 66
9.2 Corrosion prevention design 67
10 Manufacture and construction 68
10.1 General requirements 68

10.2 Manufacture, hoisting, transportation and storage of components....68
10.3 Components construction....71
10.4 Concrete pouring inside and outside of composite tube....73
11 Acceptance of quality....75
11.1 General requirements....75
11.2 Raw materials and finished producted....75
11.3 Processing project of parts....77
11.4 Welding project....77
11.5 Concrete project inside and outside the combined tube....79
Explanation of wording in this specification....81
List of quoted standards....82

1 总　则

1.0.1 为在钢-混凝土组合管结构的设计、制作安装、工程施工及验收过程中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，特制定本规程。

[条文说明] 本条主要阐明编制本规程的目的。钢-混凝土组合管剪力墙结构充分发挥了钢-混凝土组合结构和装配式结构的优点，具有结构承载力和抗震性能良好、构件标准化程度高、综合成本低等优点，有利于丰富装配式结构形式、促进新型建筑工业化的发展。本规程的制定将对钢-混凝土组合管剪力墙结构的设计起到指导和参考作用。

1.0.2 本规程适用于多、高层民用建筑中钢-混凝土组合管结构的设计、施工及验收。

[条文说明] 本条规定了本规程的适用范围。

1.0.3 钢-混凝土组合管结构的设计、施工及验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

[条文说明] 本条主要明确规程应配套使用。钢-混凝土组合管剪力墙结构体系中使用了多种材料，与本规程相关的国家现行标准还有：《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑设计防火规范》GB 50016、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232等。在实际使用时，也应参照执行其他标准规范的相关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 钢组合管 steel plate and section steel composite tube

由型钢、钢板焊接而成的组合截面矩形钢管。

2.1.2 外层混凝土 outer concrete

工厂预制浇筑在钢组合管外部，起到防火、防腐及辅助受力作用的混凝土层。

2.1.3 钢-混凝土组合管 steel-concrete composite tube

由钢组合管和外层混凝土组成的预制构件。

2.1.4 内膛混凝土 inner concrete

工程现场浇筑在钢-混凝土组合管内部，与钢-混凝土组合管共同受力的混凝土。

2.1.5 栓拉筋 rebars with stud and tie function

贯穿钢组合管，协调内膛混凝土、钢板和外层混凝土共同受力的带丝扣钢筋。

2.1.6 法兰 flange

原定义为由型钢做成的起到约束作用的连接构件，本规程中用于钢组合管底部和顶部起到连接作用的型钢。

[条文说明] 2.1.1~2.1.5 为钢-混凝土组合管剪力墙的主要组成部件。

2.1.7 钢-混凝土组合管剪力墙 steel-concrete composite tube sheer wall

由钢-混凝土组合管和内膛混凝土组合而成的剪力墙。

2.1.8 装配式钢-混凝土组合管剪力墙结构 precast steel-concrete composite tube sheer wall structure

预制钢-混凝土组合管构件在现场装配而成的钢-混凝土组合剪力墙，与钢梁或钢筋混凝土梁组成的承受竖向和水平作用的结构，属于钢-混凝土组合管结构体系的一种。

2.1.9 距厚比 ratio of distance to thickness

墙体内部栓拉筋间距与钢组合管中钢板厚度的比值。

2.1.10 含钢率 steel ratio

构件截面中钢组合管的面积与混凝土面积之比。

2.1.11 屈曲 buckling

结构、构件或板件达到受力临界状态时在其刚度较弱方向产生另一种较大变形的状态。

2.1.12 中性轴 neutral axis

钢-混凝土组合管剪力墙在外力作用下截面压应力和拉应力分界线。

2.1.13 层间位移角 inter-story drift angle

钢-混凝土组合管剪力墙在风荷载或多遇地震标准值作用下按弹性方法计算的楼层层间最大水平位移与层高之比。

2.1.14 转角连接墙体 corner connecting wall

在纵横墙连接处设置的截面为十字形、T 形、L 形的墙体，将横向和纵向的钢板组合剪力墙连接成整体。

2.1.15 免拆底模钢筋桁架楼承板 reinforced truss floor slab with Demolition-free bottom form

由钢筋桁架与底模通过专用连接件连接而成，浇筑混凝土后组成底部防火防腐的楼板，施工阶段与钢筋桁架共同承受荷载的免拆除楼承板。

[条文说明] 免拆底模钢筋桁架楼承板是一种由钢筋桁架和防火防潮底模板通过连接件装配而成的新型钢筋桁架楼承板，具有生产效率高、表面平整度好和可实现管线分离等优点。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

E_c—混凝土的弹性模量；

E—钢材的弹性模量；

f—钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_v—钢材的抗剪强度设计值；

f_c—混凝土的抗压强度设计值；

f_{ck}—混凝土的抗压强度标准值；

f_t—混凝土的抗拉强度设计值；

f_y—钢材的屈服强度；

f_u—钢材的抗拉强度最小值；

f_f^w—角焊缝的抗拉、抗剪、抗压强度设计值；

G—钢材的剪变模量；

t_f—构件的设计耐火极限；

α—钢材的线膨胀系数；

ρ—材料密度。

2.2.2 作用、作用效应和抗力

M—弯矩设计值；

M_u—截面受弯承载力设计值；

N—轴心拉（压）力设计值；

N_u—截面受压承载力设计值；

R—承载力设计值；

S—不考虑地震作用的荷载效应组合设计值；

S_E—考虑多遇地震作用时，荷载和地震作用效应组合设计值；

V—剪力设计值。

2.2.3 几何参数

b，h—墙厚，墙肢长度；

I_s—钢组合管的截面惯性矩；

t—钢板的厚度。

2.2.4 计算系数及其他

β_c—混凝土强度影响系数；

φ—轴心受压构件的稳定系数；

γ—承载力参考调整系数；

γ_0—结构重要性系数；

α_c—混凝土工作承担系数；

γ_{RE}—承载力抗震调整系数。

3 材　料

3.1 钢材

3.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构中梁、柱、墙纵向受力构件的钢材宜采用 Q355 钢、Q390 钢、Q420 钢、Q460 钢和 Q355GJ 钢，其他受力构件也可采用 Q235 钢，钢材质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。当采用其他牌号的钢材时，应符合国家现行相关标准的规定。

结构用钢板、槽钢和角钢等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差应符合国家现行相关标准的规定。

[条文说明] 根据钢-混凝土组合剪力墙的性能和工程实例，本条给出了 Q355 钢、Q390 钢、Q420 钢和 Q460 钢。对性能要求更高的，可以采用综合性能良好的建筑结构用钢板(GJ 钢)。当有可靠依据时，也可以采用低屈服强度钢，钢材质量应符合现行国家标准《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 的规定。低屈服强度钢是一种低强度高延性钢材，适用于防屈曲支撑等高延性构件，近年来国内有多项工程应用实例。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 第 3.2.1 条对钢材的规定。

3.1.2 钢-混凝土组合管剪力墙钢材质量等级宜选用 B 级及以上级别，焊接结构不应选用 A 级钢。当选用 Q235 钢材时，钢材材质应为镇静钢。

3.1.3 应根据承重结构的重要性、荷载特征、连接方法、工作环境以及构件所处部位等不同情况，选择合适的钢材牌号和质量等级，并应保证抗拉强度、伸长率、屈服强度、冷弯性能、冲击韧性等性能合格，硫、磷含量不高于有关标准规定的限值。焊接结构构件尚应保证碳含量不高于有关标准规定的限值。

[条文说明] 本条依据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 规定了高层民用建筑钢结构承重构件钢材应保证的基本性能要求，包括化学成分含量限值、力学性能和工艺性能(冷弯、焊接性能)等，冷弯虽属钢材工艺性能但也是体现钢材材质细化和防脆断性能的参考指标，仍应作为承重结构用钢的基本保证项目。目前实际工程中多以碳当量作为量化焊接性能的指标，其计算公式和允许限值可依现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定为依据，并按钢材熔炼分析的化学元素含量值计算。由于各种交货状态钢材的碳当量有差异，若对焊接性能有更高要求时，可选用按热机械轧制(TMCP)状态交货的钢材并要求较低的碳当量保证，其在细化晶粒、提高韧性、焊接性能方面有较好的改善效果。本条参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 第 4.1.3 条对钢材的规定。

3.1.4 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85，钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%（50mm 标距试样），钢材应有良好的

可焊性和合格的冲击韧性。

[条文说明] 钢结构中所用的钢材，应保证抗拉强度、屈服强度、冲击韧性合格及硫、磷和碳含量的限制值。对高层钢结构，按黑色冶金工业标准《高层建筑结构用钢板》YB 4104 的规定选用。抗拉强度是实际上决定结构安全储备的关键，伸长率反映钢材能承受残余变形量的程度及塑性变形能力，钢材的屈服强度不宜过高，同时要求有明显的屈服台阶，伸长率应大于 20%，以保证构件具有足够的塑性变形能力，冲击韧性是抗震结构的要求。当采用国外钢材时，亦应符合我国国家标准的要求。结构钢材的性能指标，按钢材产品标准《建筑结构用钢板》GB/T 19879 规定的性能指标，将分子、分母对换，改为屈服强度与抗拉强度的比值。本条参考《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 3.9.3 条对钢材的规定。

3.1.5 钢-混凝土组合管剪力墙内置冷弯成型的 U 型钢应符合现行行业标准《建筑结构用冷弯薄壁型钢》JG/T 380 的有关规定。制作 U 型钢的钢带厚度为 4mm 至 6mm 时，应满足现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709-88 的 PT.B 类厚度偏差要求。

3.1.6 冷弯成型 U 型钢的强度指标、弹性模量、剪变模量和线膨胀系数应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定。

[条文说明] 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 第 4.1.4 条规定，冷弯薄壁型钢结构抗力分项系数宜取 1.165。

3.2 连接材料

3.2.1 钢-混凝土组合管剪力墙中所用焊接材料应符合下列规定：

1 手工焊接焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 或《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定，焊条型号应与主体金属力学性能相适应；

2 自动焊或半自动焊用焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110，以及《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045、《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493 的规定；

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合》GB/T 5293、《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的规定。

3.2.2 钢-混凝土组合管剪力墙紧固件材料应符合下列规定：

1 钢-混凝土组合管剪力墙连接用 4.6 级与 4.8 级普通螺栓（C 级螺栓）及 5.6 级与 8.8 级普通螺栓（A 级或 B 级螺栓）的质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098. 1 和《紧固件公差螺栓、螺钉、螺柱和螺母》GB/T 3103. 1 的规定。C 级螺栓与 A 级、B 级螺栓的规格和尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓　C 级》GB/T 5780 与《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

2 圆柱头焊（栓）钉连接件的质量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。

3 大六角头高强度螺栓的质量应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 123 的规定。扭剪型高强度螺栓的质量应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

3.3 钢筋和混凝土

3.3.1 钢筋的选用及材料性能与强度指标，宜符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.3.2 钢-混凝土组合管剪力墙内布置的钢筋强度宜采用 HRB400 及更高等级，螺栓采用《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11 标准规定的螺栓。免拆底模钢筋桁架楼承板上、下弦钢筋采用成盘供应的热轧钢筋 HPB300、HRB400 或冷轧带肋钢筋 550 级；腹杆采用成盘供应的冷轧光圆钢筋 550 级或 650 级；桁架支座钢筋采用热轧钢筋 HPB300、HRB400 级。钢筋强度标准值 f_{yk} 应按表 3.3.2-1 采用；钢筋抗拉强度设计值 f_y 和抗压强度设计值 f_y' 应按表 3.3.2-2 采用；钢筋弹性模量 E_S 应按表 3.3.2-3 采用。

表 3.3.2-1 钢筋强度标准值（N/mm²）

种类	型号	f_{yk}
热轧钢筋	HPB300	300
	HRB400（20MnSiV、20MnTi、20MnSi）	400
冷轧钢筋	550 级	550
	650 级	650

表 3.3.2-2 钢筋强度设计值（N/mm²）

种类	型号	f_y	f_y'
热轧钢筋	HPB300	270	270
	HRB 400（20MnSiV、20MnTi、20MnSi）	360	360
冷轧钢筋	550 级	360	360
	650 级	430	380

表 3.3.2-3 钢筋弹性模量（×10⁵N/mm²）

种类	型号	E_S
热轧钢筋	HPB300	2.1
	HRB400（20MnSiV、20MnTi、20MnSi）	2.0

冷轧钢筋	550 级	1.9
	650 级	1.9

3.3.3 混凝土的选用、材料性能和强度指标应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.3.4 钢-混凝土组合管剪力墙内膛混凝土强度等级不应低于 C30，外层混凝土强度不应低于 C30。采用自密实混凝土施工时，其配合比设计、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。

[条文说明] 混凝土强度越高，脆性越大。因此需控制混凝土强度等级。为浇筑和施工方便，可采用流动性好，抗离析性高和填充性强的自密实混凝土。本条参考了《组合结构通用规范》GB 55004 第 3.2.1 条对组合结构混凝土强度等级的规定。

3.4 设计指标

3.4.1 钢-混凝土组合管剪力墙中钢材的设计用强度指标，应根据钢材牌号、厚度或直径按表 3.4.1 采用。

表 3.4.1 钢材的设计用强度指标（N/mm²）

钢材牌号		钢材厚度（mm）	强度设计值			屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
			抗拉、抗压、抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压（刨平顶紧） f_{ce}		
碳素结构钢	Q235	≤16	215	125	320	235	370
		>16，≤40	205	120		225	
		>40，≤100	200	115		215	
低合金高强度结构钢	Q355	≤16	305	175	400	345	470
		>16，≤40	295	170		335	
		>40，≤63	290	165		325	
		>63，≤80	280	160		315	
		>80，≤100	270	155		305	
	Q390	≤16	345	200	415	390	490
		>16，≤40	330	190		370	
		>40，≤63	310	180		350	
		>63，≤100	295	170		330	
	Q420	≤16	375	215	440	420	520
		>16，≤40	355	205		400	
		>40，≤63	320	185		380	
		>63，≤100	305	175		360	
	Q460	≤16	410	235	470	460	550
		>16，≤40	390	225		440	
		>40，≤63	355	205		420	
		>63，≤100	340	195		400	

3.4.2 钢-混凝土组合管剪力墙用焊缝的强度设计指标应按表 3.4.2 采用。

表 3.4.2 焊缝的强度指标（N/mm²）

焊接方法和焊条型号	构件钢材	对接焊缝强度设计值	角焊缝强度设计值	对接焊缝抗拉强度	角焊缝抗拉、抗压和抗剪强

	牌号	厚度（mm）	抗压 f_c^w	焊缝质量为下列等级时，抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、抗压和抗剪 f_f^w	f_u^w	度 f_u^f
				一级、二级	三级				
自动焊、半自动焊和E43型焊条手工焊	Q235	≤16	215	215	185	125	160	415	240
		> 16，≤40	205	205	175	120			
		> 40，≤100	200	200	170	115			
自动焊、半自动焊和E50、E55型焊条手工焊	Q355	≤16	305	305	260	175	200	480(E50) 540(E55)	280(E50) 315(E55)
		> 16，≤40	295	295	250	170			
		> 40，≤63	290	290	245	165			
		> 63，≤80	280	280	240	160			
		> 80，≤100	270	270	230	155			
	Q390	≤16	345	345	295	200	200(E50) 220(E55)		
		> 16，≤40	330	330	280	190			
		> 40，≤63	310	310	265	180			
		> 63，≤100	295	295	250	170			
自动焊、半自动焊和E55、E60型焊条手工焊	Q420	≤16	375	375	320	215	220(E55) 240(E60)	540(E55) 590(E60)	315(E55) 340(E60)
		> 16，≤40	355	355	300	205			
		> 40，≤63	320	320	270	185			
		> 63，≤100	305	305	260	175			
自动焊、半自动焊和E55、E60型焊条手工焊	Q460	≤16	410	410	350	235	220(E55) 240(E60)	540(E55) 590(E60)	315(E55) 340(E60)
		> 16，≤40	390	390	330	225			
		> 40，≤63	355	355	300	205			
		> 63，≤100	340	340	290	195			
自动焊、半自动焊和E50、E55型焊条手工焊	Q355GJ	> 16，≤35	310	310	265	180	200	480(E50) 540(E55)	280(E50) 315(E55)
		> 35，≤50	290	290	245	170			
		> 50，≤100	285	285	240	165			

注：1 手工焊用焊条、自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属的力学性能不低于母材的性能。

2 焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661的规定，其检验方法应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的规定。其中厚度小于6mm钢材的对接焊缝，不应采用超声波探伤确定焊缝质量等级。

3 对接焊缝在受压区的抗弯强度设计值取 f_c^w，在受拉区的抗弯强度设计值取 f_{t^w} 。

4 表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度。

3.4.3 钢-混凝土组合管剪力墙用螺栓连接的强度指标应按表3.4.3采用。

表3.4.3 螺栓连接的强度指标 (N/mm^2)

螺栓的性能等级、锚栓和构件钢材的牌号		强度设计值										高强度螺栓的抗拉强度 f_u^b
		普通螺栓						锚栓	承压型连接高强度螺栓			
		C级螺栓			A级、B级螺栓							
		抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b	抗拉 f_t^b	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b	
普通	4.6级、4.8	170	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—

螺栓	级											
	5.6 级	—	—	—	210	190	—	—	—	—	—	—
	8.8 级	—	—	—	400	320	—	—	—	—	—	—
承压型连接高强度螺栓	8.8 级	—	—	—	—	—	—	—	400	250	—	830
	10.9 级	—	—	—	—	—	—	—	500	310	—	1040
构件钢材牌号	Q235	—	—	305	—	—	405	—	—	—	470	—
	Q355	—	—	385	—	—	510	—	—	—	590	—
	Q390	—	—	400	—	—	530	—	—	—	615	—
	Q420	—	—	450	—	—	595	—	—	—	695	—
	Q460	—	—	400	—	—	530	—	—	—	615	—

注：1. A 级螺栓用于 d≤24mm 和 L≤10d 或 L≤150mm（按较小值）的螺栓；B 级螺栓用于 d＞24mm 和 L＞10d 或 L＞150mm（按较小值）的螺栓；d 为公称直径，L 为螺栓公称长度。

2. A、B 级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度，C 级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度，均应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205-2020 的要求。

3.4.4 钢-混凝土组合管剪力墙钢材的物理性能指标应按表 3.4.4 采用。

表 3.4.4 钢材的物理性能指标

弹性模量 E_s（N/mm^2）	剪变模量 G（N/mm^2）	线膨胀系数 α（以每℃计）	质量密度 ρ（kg/m^3）
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 钢-混凝土组合管结构应采用简单、规则的结构体系，并应符合下列要求：

1 应具有必要的承载能力、刚度和变形能力。

2 应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失承受重力荷载、风荷载和地震作用的能力。

3 对可能出现的薄弱部位，应采取有效措施予以加强。

[条文说明] 该条强调了高层建筑结构概念设计原则，宜采用规则的结构，不应采用严重不规则的结构。

规则结构一般指：体型（平面和立面）规则，结构平面布置均匀、对称并具有较好的抗扭刚度；结构竖向布置均匀，结构的刚度、承载力和质量分布均匀、无突变。

实际工程设计中，要使结构方案规则往往比较困难，有时会出现平面或竖向布置不规则的情况。若结构方案中仅有个别项目超过了条款中规定的“不宜”的限制条件，此结构属不规则结构，但仍可按本规程有关规定进行计算和采取相应的构造措施；若结构方案中有多项超过了条款中规定的“不宜”的限制条件或某一项超过“不宜”的限制条件较多，此结构属特别不规则结构，应尽量避免；若结构方案中有多项超过了条款中规定的“不宜”的限制条件，而且超过较多，或者有一项超过了条款中规定的“不应”的限制条件，则此结构属严重不规则结构，这种结构方案不应采用，必须对结构方案进行调整。

无论采用何种结构体系，结构的平面和竖向布置都应使结构具有合理的刚度、质量和承载力分布，避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位；对可能出现的薄弱部位，在设计中应采取有效措施，增强其抗震能力；结构宜具有多道防线，避免因部分结构或构件的破坏而导致整个结构丧失承受水平风荷载、地震作用和重力荷载的能力。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 3.1.4 条的基本规定。

4.1.2 多、高层民用建筑可采用钢-混凝土组合管剪力墙结构、框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构。

[条文说明] 本规程仅对这些已通过实际工程检验的结构体系的设计进行基本规定。

4.1.3 多、高层住宅建筑中采用的钢-混凝土组合管剪力墙结构，其荷载组合及在荷载作用下的内力、位移计算，平面及竖向布置等要求应符合现行国家和行业标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。抗震设防烈度为 8 度地区的建筑形体或构件布置宜符合平面和竖向规则。

4.1.4 钢-混凝土组合管剪力墙结构的安全等级和设计使用年限应符合现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 和《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的相关规定。

[条文说明] 混凝土结构的安全等级由现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 确定。本条仅补充规定：可以根据实际情况调整构件的安全等级。对破坏引起严重后果的重要构件和关键传力部位，宜适当提高安全等级、加大构件重要性系数；对一般结构中的次要构件及可更换构件，可根据具体情况适当降低其重要性系数。本条参考《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 3.1.5 条对安全等级和设计使用年限的基本规定。

4.1.5 抗震设计时，结构应根据抗震设防分类、烈度和房屋高度按照《建筑抗震设计规范》GB 50011 中对钢结构房屋的规定而采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定确定。

[条文说明] 本条采用引用的办法，将抗震等级的划分按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。将不同层数所规定的“作用效应调整系数”和“抗震构造措施”共 7 种，归纳、整理为四个不同要求，称之为抗震等级。将《建筑抗震设计规范》GB 50011 (以下简称 01 抗规)以 12 层为界改为 50m 为界。对 6 度高度不超过 50m 的钢结构，与 01 抗规相同，其“作用效应调整系数”和“抗震构造措施”可按非抗震设计执行。本条参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中第 3.7.3 条相关规定。

4.1.6 非双重抗侧力体系中，钢-混凝土组合管剪力墙应承担 100%的地震剪力。

4.1.7 抗震设防烈度为 6 度至 8 度的乙类和丙类结构适用的最大高度应符合表 4.1.7 的规定。平面和竖向均不规则的结构体系，宜考虑适当降低适用的最大高度 10%采用。

表 4.1.7 钢-混凝土组合管剪力墙结构建筑适用的最大高度（m）

结构体系	6 度	7 度（0.15g）	8 度（0.20g）
钢-混凝土组合管剪力墙结构	160	140（120）	100（80）
框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构	140	120（100）	80（60）

注：1 房屋高度指室外地面至主要屋面板板顶的高度（不包括突出屋面的水箱、电梯间、构架等部分高度），对带阁楼的坡屋顶应算至坡高 1/2 处；

2 位于 IV 类场地或平面和竖向均不规则的结构，表中房屋使用的最大高度应适当降低；

3 甲类建筑，抗震设防烈度为 6 度、7 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，抗震设防烈度为 8 度时应进行专门研究；

4 房屋高度超过表中规定的数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

[条文说明] 本条是在参考《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《钢管混凝土束结构技术标准》CECS 546、《高层建筑钢-混凝土混合结构技术规程》DBJ/T 15-128 等标准相关规定的基础上，结合钢-混凝土组合管抗震性能试验确定的。

4.1.7 结构的高宽比不宜大于表 4.1.7 的规定。

表 4.1.7 钢-混凝土组合管剪力墙结构最大适用高宽比

设防烈度	6 度，7 度	8 度
最大高宽比	6	5

注：计算高宽比的高度一般为从室外地面起取值。

[条文说明] 高层建筑的高宽比，是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制；在结构设计满足本规程规定的承载力、稳定、抗倾覆、变形和舒适度等基本要求后，仅从结构安全角度讲高宽比限值不是必须满足的，主要影响结构设计的经济性。因此，本次修订不再区分 A 级高度和 B 级高度高层建筑的最大高宽比限值，而统一为表 4.1.7。从目前大多数高层建筑看，这一限值是各方面都可以接受的，也是比较经济合理的。高宽比超过这一限制的是极个别的，例如上海金茂大厦（88 层，420m）为 7.6，深圳地王大厦（81 层，320m）为 8.8。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 中的相关规定。

4.2 构件承载力设计

4.2.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构构件的承载力应符合以下规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况按下式验算：

$$\gamma_0 S \le R \tag{4.2.1-1}$$

2 地震设计状况按下式验算：

$$S \le R/\gamma_{RE} \tag{4.2.1-2}$$

式中：γ_0——结构重要性系数，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；

S——承载能力极限状况下作用组合的效应设计值：对持久或短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；

R——构件承载力设计值；

γ_{RE}——构件承载力抗震调整系数。

4.2.2 地震设计状况下，钢-混凝土组合管剪力墙的承载力抗震调整系数 γ_{RE}，正截面承载力验算时应取 0.8，抗剪承载力验算时应取 0.85。当仅计算竖向地震作用时，各类结构构件的承载力抗震调整系数均应取 1.0。

[条文说明] 钢-混凝土组合管剪力墙结构的荷载效应组合、内力和位移计算、抗风抗震验算、内力调整、抗震措施及设计内力的确定等均按照国家现行相关标准进

行。本条引用了《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 第 4.2.3 条承载力计算，正截面承载力验算取 0.8，斜截面承载力验算取 0.85。

4.3 水平位移限值和舒适度要求

4.3.1 在正常使用条件下，钢-混凝土组合管剪力墙结构应具有足够的刚度，避免产生过大的位移而影响结构的承载力、稳定性和使用要求。

4.3.2 风荷载或多遇地震标准值作用下，钢-混凝土组合剪力墙结构和框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构按弹性方法计算的楼层层间最大位移与层高之比的限值应按表 4.3.2 取值。

表 4.3.2 楼层层间最大位移与层高之比的限值

结构类型		层间位移角
钢-混凝土组合剪力墙	型钢框架梁	1/500
	混凝土框架梁	1/700
框架-钢-混凝土组合管剪力墙	型钢框架梁	1/500
	混凝土框架梁	1/600

[条文说明] 本条参考《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《钢管混凝土束结构技术标准》CECS 546、《高层建筑钢-混凝土混合结构技术规程》DBJ/T 15-128 基础上，根据结构抗震试验确定，12 个试验构件屈服层间位移角主要分布在 1/142~1/223，均值为 1/190。

4.3.3 钢-混凝土组合管剪力墙结构在罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性变形验算，应符合下列规定：

1 下列结构应进行弹塑性变形验算：

1) 甲类建筑和 9 度抗震设防的乙类建筑结构；

2) 采用隔震和消能减震设计的建筑结构；

3) 房屋高度大于 150m 的结构。

2 下列结构宜进行弹塑性变形验算：

1）表 4.3.3 所列高度范围且竖向不规则的建筑结构；

表 4.3.3 宜进行弹塑性变形验算的竖向不规则建筑结构高度范围

烈度、场地类别	房屋高度范围（m）
8 度I、II类场地和 7 度	＞100
8 度III、IV类场地	＞80

2）7 度III、IV类场地和 8 度抗震设防的乙类建筑结构。

[条文说明] 震害表明，结构如果存在薄弱层，在强烈地震作用下，结构薄弱部位将产生较大的弹塑性变形，会引起结构严重破坏甚至倒塌。本条对不同高层建筑结构的薄弱层弹塑性变形验算提出了不同要求，第 1 款所列的结构应进行弹塑性变形验算，第 2 款所列的结构必要时宜进行弹塑性变形验算，这主要考虑到高层建筑结构弹塑性变形计算的复杂性。

本条第 1 款增加高度大于 150m 的结构应验算罕遇地震下结构的弹塑性变形的要求。主要考虑到，150m 以上的高层建筑一般都比较重要，数量相对不是很多，且目前结构弹塑性分析技术和软件已有较大发展和进步，适当扩大结构弹塑性分析范围已具备一定条件。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 3.7.4 条相关规定。

4.3.4 钢-混凝土组合管剪力墙结构和框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构在其薄弱层或薄弱部位的弹塑性层间位移不应大于层高的 1/100。

[条文说明] 钢筋混凝土结构在罕遇地震作用下，剪力墙要比框架柱先进入弹塑性状态，而且最终破坏也相对集中在剪力墙单元。日本对 176 个带边框柱剪力墙的试验研究表明，剪力墙的极限位移角的分布为 1/333～1/125，国内对 11 个带边框低矮剪力墙试验所得到的极限位移角分布为 1/192～1/112。在上述试验研究结果的基础上，取 1/120 作为剪力墙和筒中筒结构的弹塑性层间位移角限值。考虑到框架-剪力墙结构、板柱-剪力墙和框架-核心筒结构中大部分水平地震作用由剪力墙承担，弹塑性层间位移角限值可比框架结构的框架柱严，但比剪力墙和筒中筒结构要松，故取 1/100。本条参考了《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 第 4.3.7 节中对水平位移限值和舒适度要求的相关规定。

4.3.5 钢-混凝土组合管剪力墙结构的楼盖结构舒适度验算及风振舒适度验算应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

4.4 抗震等级

4.4.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构的抗震设防类别及抗震措施应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

4.4.2 钢-混凝土组合管剪力墙结构应根据抗震设防分类、设防烈度、结构类型及建筑高度等采用不同抗震等级，并应符合相应的计算和构造要求。根据《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 要求，丙类建筑的抗震等级应按表 4.4.2 确定。

表 4.4.2 钢-混凝土组合管剪力墙结构体系抗震等级选取

结构类型		设防烈度						
		6 度	7 度			8 度		
框架-剪力墙	高度（m）	-	≤24	25~80	＞80	≤24	25~80	＞80
	框架	四	四	三	二	三	二	一
	钢-混凝土组合管剪力墙	四	四	三		三	二	
剪力墙	钢-混凝土组合管剪力墙	四	三			二		

注：1 本标准中“一、二、三、四级”是“抗震等级为一、二、三、四级”的简称；

2 接近或等于高度分界时，应结合实际场地及地基情况适当确定抗震等级。

[条文说明] 抗震设计的高层建筑结构，根据设防烈度、结构类型、房屋高度区分为不同的抗震等级，采用相应的计算和构造措施。抗震等级的高低，体现了对结构抗震性能要求的严格程度。比一级有更高要求时则提升至特一级，其计算和构造措施比一级更严格。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对抗震等级的基本规定。

5 结构体系

5.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构

5.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构应具有适宜的侧向刚度，其布置应符合下列规定：

1 平面布置宜简单、规则，宜沿两个主轴方向双向布置，且两个方向的侧向刚度不宜相差过大；

2 纵横钢-混凝土组合管剪力墙宜组成 L 形、T 形、［形等形式；

3 钢-混凝土组合管剪力墙宜自下到上连续布置，避免刚度突变；

4 钢-混凝土组合管剪力墙宜均匀布置在建筑物的周边、楼电梯间、住宅分户墙、平面凹凸化较大部位的凸角处；

5 单片钢-混凝土组合管剪力墙底部承担的水平剪力不宜超过结构底部总水平剪力的 30%。

［条文说明］本条主要指出钢-混凝土组合管剪力墙结构中在结构布置时要按正确规则进行布置，遵循这些要求，可使钢-混凝土组合管剪力墙结构更好地发挥作用并且使整体合理工作。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 8.1.7 条相关规定。

5.1.2 在抗震设计中，钢-混凝土组合管剪力墙底部加强部位的范围，应符合下列规定：

1 底部加强区的高度应从地下室顶板算起；

2 房屋高度不大于 24m 时，底部加强部位可取底部一层；房屋高度大于 24m 时，底部加强区的高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者中的较大值；

3 当结构计算嵌固端位于地下一层地板或以下时，底部加强部位宜延伸到计算嵌固端。

［条文说明］结构底部墙肢在罕遇地震作用下可能出现塑性铰，本条直接引用了《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定。并通过以下抗震措施，进一步加强该区域：1.提高墙肢剪力调整要求；2.对一级墙肢非加强区增加弯矩调整要求；3.轴压比较大的钢管混凝土束剪力墙边缘腔体进行壁板宽厚比加严。本条参考《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于底部加强部位的相关规定。

5.1.3 高层钢-混凝土组合管剪力墙结构中不宜布置一字形剪力墙。当建筑要求时，一字形剪力墙构件设计应符合本规程中的相关规定。墙体厚度不应小于 180mm，底部加强部位一字形墙体厚度不应小于 200mm。

［条文说明］一字形剪力墙的面外稳定性较差，应尽量避免，采用其他稳定性好的剪力墙形式。无法避免时应提高其设计要求。

5.1.4 一级钢-混凝土组合管剪力墙的底部加强部位以上部位，墙肢的组合弯矩设计值和组合剪力设计值应乘以增大系数，弯矩增大系数可取为 1.2，剪力增大系数可取为 1.3。

5.1.5 底部加强部位钢-混凝土组合管剪力墙的剪力设计值，一、二、三级时应按式(5.1.5)调整：

$$V = \eta_{vw} V_w \tag{5.1.5}$$

式中：V——底部加强部位钢-混凝土组合管剪力墙截面剪力设计值；

V_w——底部加强部位钢-混凝土组合管剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值；

η_{vw}——剪力增大系数，其中一级取 1.6，二级取 1.4，三级取 1.2。

[条文说明] 不同等级情况下底部剪力不同，应做适当调整。本条参考了《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 6.2.8 条的相关规定。

5.1.6 抗震设防烈度 6 度及 7 度（0.1g）地区的房屋高度不超过 100m 时，可采用钢-混凝土组合管剪力墙布置，且应符合下列规定：

1 剪力墙应规则、对称、集中布置，减少偏心；

2 钢-混凝土组合管剪力墙之间宜以同类型梁连接；

3 底部加强区范围内，各层钢-混凝土组合管剪力墙部分按弹性计算分配的地震剪力占结构底部总地震剪力的比例，抗震设防烈度 6 度时不应小于 10%，抗震设防烈度 7 度时不应小于 15%。所有楼层钢-混凝土组合管剪力墙部分按弹性计算分配的地震剪力应乘以调整系数，达到不小于结构底部总地震剪力的 25%；

4 按弹性方法计算的风荷载或多遇地震标准值作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比不宜大于 1/800；按弹塑性方法计算的罕遇地震作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比不宜大于 1/100；

5 钢-混凝土组合管剪力墙及钢梁的抗震等级可按钢-混凝土组合管剪力墙结构确定；钢-混凝土组合管剪力墙及钢筋混凝土梁的抗震等级可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中框架-钢筋混凝土剪力墙结构确定；

6 结构防震缝设置、风振舒适度验算、整体稳定验算、阻尼比取值等应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的有关规定。

5.2 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构

5.2.1 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构布置可采用以下形式：

1 框架与剪力墙（单片墙、联肢墙或较小井筒）分开布置；

2 在框架结构的若干跨内嵌入剪力墙（带边框剪力墙）；

3 在单片抗侧力结构内连续分别布置框架和剪力墙；

4 上述两种或三种形式的混合。

[条文说明] 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构由框架和钢-混凝土组合管剪力墙组成，以其整体承担荷载和作用；其组成形式较灵活，本条仅列举了一些常用的组成形式，设计时可根据工程具体情况选择适当的组成形式和适量的框架和钢-

混凝土组合管剪力墙。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 8.1.2 条相关规定。

5.2.2 抗震设计的框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构，应根据在规定的水平力作用下结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值，选取相应的设计方法，并应符合以下规定：

1 框架部分承受的地震倾覆力矩不大于结构总地震倾覆力矩的 10%时，按钢-混凝土组合管剪力墙结构设计，框架部分应按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构的框架进行设计；

2 当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 10%但不大于 50%时，按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构的规定进行设计；

3 当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 50%但不大于 80%时，按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构设计，其最大适用高度可比框架结构适当增加，框架部分的抗震等级宜按框架结构的规定采用；

4 当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 80%时，按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构设计，但其最大适用高度宜按框架结构采用，框架部分的抗震等级应按框架结构的规定采用。

[条文说明] 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构在规定的水平力作用下，结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值不尽相同，结构性能有较大的差别。在结构设计时，应据此比值确定该结构相应的适用高度和构造措施，计算模型及分析均按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构进行实际输入和计算分析。在条文第 3、4 款规定的情况下，为避免剪力墙过早开裂或破坏，其位移相关控制指标按框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构的规定采用。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 8.1.3 条相关规定。

5.2.3 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构应设计成双向抗侧力体系，在抗震设计时结构两主轴方向均应布置剪力墙。

[条文说明] 框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构是框架和钢-混凝土组合管剪力墙结构共同承担竖向和水平作用的结构体系，布置适量的钢-混凝土组合管剪力墙结构是其基本特点。为了发挥框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构的优势，无论是否抗震设计，均应设计成双向抗侧力体系，且结构在两个主轴方向的刚度和承载力不宜相差过大；抗震设计时，框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构在结构两个主轴方向均应布置剪力墙，以体现多道防线的要求。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 8.1.5 条相关规定。

5.2.4 抗震设计时，框架-钢-混凝土组合管剪力墙结构对应于地震作用标准值的各层框架总剪力应符合下列规定：

1 满足式(5.2.4)要求的楼层，其框架总剪力不必调整；不满足式(5.2.4)要求的楼层，其框架总剪力应按 $0.25V_0$ 和 $1.8V_{f,max}$ 二者的较小值采用；

$$V_f \geq 0.25V_0 \qquad (5.2.4)$$

式中：V_0——对框架柱数量从下至上基本不变的结构，应取对应于地震作用标准值的结构底层总剪力；对框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构，应取每段底层结构对应于地震作用标准值的总剪力；

V_f——对应于地震作用标准值且未经调整的各层(或某一段内各层)框架承担的地震总剪力；

$V_{f.max}$——对框架柱数量从下至上基本不变的结构，应取对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值；对框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构，应取每段中对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值。

2 各层框架所承担的地震总剪力按本条第 1 款调整后，应按调整前、后总剪力的比值调整每根框架柱和与之相连框架梁的剪力及端部弯矩标准值，框架柱的轴力标准值可不予调整；

3 按振型分解反应谱法计算地震作用时，本条第 1 款所规定的调整可在振型组合之后，并满足现行国家规范《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于楼层最小地震剪力系数的前提下进行。

[条文说明] 对钢-混凝土组合管剪力墙的布置原则做一些基本规定，本条与《建筑抗震设计规范》GB 50011 及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 相关条文保持一致。

5.2.5 长矩形平面或平面有一部分较长的建筑中，剪力墙布置宜符合下列规定：

1 横向剪力墙沿长方向的间距宜小于表 5.2.5 规定的限值，当这些剪力墙之间的楼盖有较大开洞时，剪力墙的间距应适当减小。

表 5.2.5 剪力墙最大间距(m)

楼盖形式	抗震设防烈度	
	6 度、7 度(取最小值)	8 度(取最小值)
现浇	4.0*B*，50	3.0*B*，40
装配整体	3.0*B*，40	2.0*B*，30

注：1 表中 *B* 为剪力墙之间的楼盖宽度；

2 现浇层厚度大于 60mm 的叠合板可作为现浇板考虑；

3 当房屋端部未布置剪力墙时，第一片剪力墙与房屋端部的距离，不宜大于表中剪力墙间距的 1/2。

2 纵向剪力墙不宜集中布置在房屋的两尽端。

[条文说明] 长矩形平面或平面有一方向较长（如 L 形平面中有一肢较长）时，如横向剪力墙间距过大，在侧向力作用下，因不能保证楼盖平面的刚性而会增加框

架的负担，故对剪力墙的最大间距作出规定。当剪力墙之间的楼板有较大开洞时，对楼盖平面刚度有所削弱，此时剪力墙的间距宜再减小。纵向剪力墙布置在平面的尽端时，会造成对楼盖两端的约束作用，楼盖中部的梁板容易因混凝土收缩和温度变化而出现裂缝，故宜避免。同时也考虑到在设计中有剪力墙布置在建筑中部，而端部无剪力墙的情况，用表 5.2.5 的相应规定，可防止布置框架的楼面伸出太长，不利于地震力传递。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中第 8.1.8 条相关规定。

6 结构计算分析

6.1 一般规定

6.1.1 钢-混凝土组合管结构的荷载、地震作用及荷载作用组合计算应满足现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的相关规定。

6.1.2 在竖向荷载、风荷载以及多遇地震作用下，钢-混凝土组合管结构的内力和变形可采用弹性方法计算；在罕遇地震作用下，钢-混凝土组合管结构的弹塑性变形可采用弹塑性时程分析法或静力弹塑性分析法计算。

[条文说明] 本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中有关荷载、地震作用及荷载作用组合计算的相关规定。

6.1.3 钢-混凝土组合管结构的整体稳定性应符合下列规定：

$$EJ_d \geq 1.0H^2\sum_{1}^{n}G_i \qquad (6.1.3\text{-}1)$$

式中：EJ_d——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度（kN·mm^2），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；

H——房屋高度（mm）；

G_i——第 i 楼层重力荷载设计值（kN），取 1.2 倍的永久荷载标准值与 1.4 倍的楼面可变荷载标准值的组合值；

n——结构计算总层数。

[条文说明] 本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中考虑整体稳定性的规定。

6.1.4 计算结构内力与变形时，可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性，设计时应采取相应的措施保证楼盖平面内的整体刚度。当楼盖可能产生较为明显的平面内变形时，应采用楼盖平面内的实际刚度，计入楼盖的平面内变形对地震作用和地震内力分配的影响。

[条文说明] 本条主要考虑采用全装配式楼盖或存在楼盖大开洞等情况，使得楼盖平面内整体刚度较整体式楼盖有较大削弱，结构的整体动力特性和地震响应将较刚性楼盖结构有明显区别。因此，建议采用考虑楼盖平面内变形的串并联多自由度体系结构抗震分析模型或采用有限单元法考虑楼盖的平面内变形对整体结构的影响。

6.1.5 弹性分析时，宜考虑梁与混凝土楼板的共同作用，同时构造上应保证框架梁与楼板有可靠连接；进行结构整体内力和变形计算时，对于承受竖向荷载并参与结构整体抗侧力作用的梁柱刚接框架组合梁，宜考虑楼板与钢梁之间的组合作用，其抗弯惯性矩 I_e 可按下列公式计算：

$$I_e = aI_s \qquad (6.1.5\text{-}1)$$

$$\alpha = \frac{2.2}{\left(I_s / I_c\right)^{0.3} - 0.5} + 1 \qquad (6.1.5\text{-}2)$$

$$I_c = \frac{\left[\min\left(0.1L, B_1\right) + \min\left(0.1L, B_2\right)\right] h_{c1}^3}{12\alpha_E} \qquad (6.1.5\text{-}3)$$

式中：I_s—钢梁抗弯惯性矩；

α—刚度放大系数，当α＞2 时，宜取α=2；

I_c—混凝土翼板等效抗弯惯性矩；

L—梁跨度；

B_1，B_2—分别为组合梁两侧实际混凝土翼板宽度，取为梁中心线到混凝土翼板边缘的距离，或梁中心线到相邻梁中心线距离的一半；

h_{c1}—混凝土翼板厚度；

α_E—钢材和混凝土弹性模量比。

[条文说明] 当组合梁和柱子铰接或组合梁作为次梁时，仅承受竖向荷载，不参与结构整体抗侧，参考欧洲规范的相关建议，混凝土翼板的有效宽度可统一取为跨中截面的有效宽度取值。

近年来，组合框架在多层及高层建筑中的应用十分广泛，试验研究表明，楼板的空间组合作用对组合框架结构体系的整体抗侧刚度有显著的提高作用。近年来清华大学分析国内外大量组合框架结构的试验结果，表明采用固定刚度放大系数在某些情况下会低估楼板对组合框架梁刚度的提高作用，从而可能低估结构整体抗侧刚度，低估结构承受的地震剪力。另外楼板对组合框架梁的刚度放大作用还会改变框架结构的整体变形特性，使结构剪切型变形的特征更为明显，对组合框架梁刚度的低估会导致为符合框架-核心筒结构体系外框剪力承担率的规定，使外框钢梁截面高度偏大而影响组合梁经济性优势的发挥。大量的数值算例和试验结果表明，组合框架梁的刚度放大系数和钢梁对于混凝土板的相对刚度密切相关，本条采用的刚度放大系数公式正是基于这一结论通过大量参数分析归纳得到，其精度经过了国内外组合框架结构体系试验和大量数值算例结果的验证。考虑到实际工程的复杂性，规定刚度放大系数 α 的计算值大于 2 时取为 2。本条与《组合结构设计规范》JGJ 138 相关条款保持一致。

6.1.6 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期，应计入非承重填充墙的刚度影响并予以折减。当非承重墙体为轻质墙板或外挂墙板时，自振周期的折减系数可取 0.9～1.0。在结构承载力和刚度计算时不应计入非结构构件的有利作用。

[条文说明] 本条与《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 相关条款保持一致。

6.2 弹性计算

6.2.1 钢-混凝土组合管结构的弹性计算模型应根据结构的实际情况确定，应能较准确地反映结构中各构件以及结构整体的实际受力状况，在弹性分析时应计入重力二阶效应的影响。当采用二阶弹性分析方法时，假想水平荷载的取值宜符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

[条文说明] 钢结构应考虑二阶效应的计算，《钢结构设计规范》GB 50017 第 3.2.8 条的规定，应计入构件初始缺陷（初倾斜、初弯曲、残余应力等）对内力的影响，其影响程度可通过在框架每层柱顶作用有附加的假想水平力来体现。本条参考《建筑抗震设计规范》GB50011 中第 8.2.3 条相关规定。

6.2.2 进行钢-混凝土组合管结构弹性分析时，应考虑构件的下列变形：

1 梁的弯曲、剪切、扭转变形，必要时宜考虑轴向变形；

2 柱及墙的弯曲、轴向、剪切和扭转变形；

3 钢结构梁、柱节点区域剪切变形对结构侧移的影响，宜符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的相关规定。

6.2.3 进行钢-混凝土组合管剪力墙结构弹性阶段的内力和位移计算时，构件的截面刚度取值应符合下列规定：

$$EI = \sum E_c I_c + \sum E_a I_a \tag{6.2.3-1}$$

$$EA = \sum E_c A_c + \sum E_a A_a \tag{6.2.3-2}$$

$$GA = \sum G_c A_c + \sum G_a A_a \tag{6.2.3-3}$$

式中：E_cI_c、E_cA_c、G_cA_c—分别为钢-混凝土组合管剪力墙混凝土部分（内膛和外层）的截面抗弯刚度（N·mm^2）、轴向刚度（N）及抗剪刚度（N）；

E_aI_a、E_aA_a、G_aA_a—分别为钢-混凝土组合管剪力墙钢组合管的截面抗弯刚度（N·mm^2）、轴向刚度（N）及抗剪刚度（N）。

[条文说明] 现行国家、行业标准对钢-混凝土组合结构的刚度均取钢部分刚度与混凝土刚度之和，结合钢-混凝土组合管剪力墙结构轴压与抗震性能试验，本规程采用相同的计算方法。

6.2.4 竖向荷载作用计算时，宜考虑钢柱、钢管混凝土柱与钢-混凝土组合管剪力墙竖向变形差异引起的结构附加内力，计算竖向变形差异时宜考虑混凝土收缩、徐变、沉降及施工调整等因素的影响。

6.2.5 钢-混凝土组合管结构的阻尼比应符合以下规定：

1 多遇地震作用下，房屋高度不大于 50m 时可取 0.04；房屋高度大于 50m 且小于 100m 时可取 0.035；房屋高度不小于 100m 时可取 0.03；

2 风荷载作用下内力和变形计算时，阻尼比可取 0.02~0.03，风振舒适度验算时，阻尼比可取 0.01~0.015。

[条文说明] 钢-混凝土组合管结构与现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 中钢管混凝土框架-支撑结构阻尼比取值一致。

风荷载作用下，结构的塑性变形比设防烈度地震作用下的小，故抗风设计时的阻尼比应比抗震设计时小。同时，采用的风荷载作用时回归期越短，其阻尼比取值越小。一般情况下，风荷载作用时，组合结构的阻尼比可取 0.02~0.04；有填充墙的结构房屋阻尼比可取 0.02。

钢-混凝土组合管结构主要抗侧刚度来自钢-混凝土组合管剪力墙，风荷载作用下，阻尼比应比混凝土和钢结构小，且应比地震作用下的阻尼比小，但不小于有填充墙的钢结构房屋。

综上，风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时，钢-混凝土组合管结构的阻尼比可取 0.02~0.03。验算风振舒适度时，阻尼比宜取 0.01~0.015。

6.2.6 对结构分析软件的计算结果，应进行分析判断，确认其合理、有效后方可作为工程设计依据。体型复杂、结构布置复杂的高层建筑结构，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。

[条文说明] 在计算机和计算机软件广泛应用的条件下，除了要选择使用可靠的计算软件外，还应对软件产生的计算结果从力学概念和工程经验等方面加以分析判断，确认其合理性和可靠性。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 第 5.1.16 条相关规定。

6.3 弹塑性计算

6.3.1 钢-混凝土组合管结构弹塑性分析时，应考虑梁的弹塑性弯曲变形、柱在轴力和弯矩作用下的弹塑性变形，以及钢-混凝土组合管剪力墙的弹塑性剪切变形。

[条文说明] 结构弹塑性分析主要的是薄弱层的弹塑性变形分析。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 第 6.3.2 条相关规定。

6.3.2 钢柱、钢梁的恢复力模型和骨架曲线可采用二折线模型，其滞回模型可不考虑刚度退化，钢-混凝土组合管剪力墙可采用纤维模型或分层壳单元模型，应根据实际情况和分析精度要求采用合适的简化模型，弹塑性分析宜采用空间计算模型。

[条文说明] 结构材料的性能指标(如弹性模量、强度取值等)以及本构关系，与预定的结构或构件的抗震性能有密切关系，应根据实际情况合理选用。如钢材一般选用材料的屈服强度。

结构弹塑性变形往往比弹性变形大很多，考虑结构几何非线性进行计算是必要的，结果的可靠性也会因此有所提高。

结构材料的本构关系直接影响弹塑性分析结果，选择时应特别注意。弹塑性计算结果还与分析软件的计算模型以及结构阻尼选取、构件破损程度衡量、有限

元的划分有关，存在较多的人为因素和经验因素。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 第 6.3.4 条相关规定。

6.3.3 采用静力弹塑性分析法进行弹塑性分析时，应符合下列规定：

1 可在结构的各主轴方向分别施加单向水平力进行静力弹塑性分析；

2 水平力可作用在各层楼盖的质心位置，可不考虑偶然偏心的影响；

3 结构的每个主轴方向宜采用不少于两种水平力分布模式，其中一种可与振型分解反应谱法得到的水平力分布模式相同；

4 采用能力谱法时，需求谱曲线可由现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的地震影响系数曲线得到，或由建筑场地的地震安全性评价提出的加速度反应谱曲线得到。

[条文说明] 采用静力弹塑性分析方法时，可用能力谱法或其他有效的方法确定罕遇地震时结构层间弹塑性位移角，可取两种水平力沿高度分布模式得到的层间弹塑性位移角的较大值作为罕遇地震作用下该结构的层间弹塑性位移角。本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 第 6.3.5 条相关规定。

6.3.4 采用弹塑性时程分析法进行弹塑性分析时，应符合下列规定：

1 一般情况下，采用单向水平地震输入对体型复杂或特别不规则的结构，宜采用双向水平地震或三向地震输入；

2 地震波的选取应符合国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

6.3.5 罕遇地震作用下进行结构弹塑性计算时，结构的阻尼比可取 0.05。

[条文说明] 本节参考《钢管混凝土束结构技术标准》CECS 546 第 5.3 小节的相关基本规定。

7 钢-混凝土组合管剪力墙设计

7.1 一般规定

7.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙中的钢组合管可采用热轧槽钢或冷弯 U 型钢的翼缘与两层钢板连接而成，外层混凝土中宜设置钢筋网片保证其共同作用，整体立面构造图及截面形式如图 7.1.1 所示。除内膛混凝土为现场浇筑的混凝土外，其余部分均为预制构件。

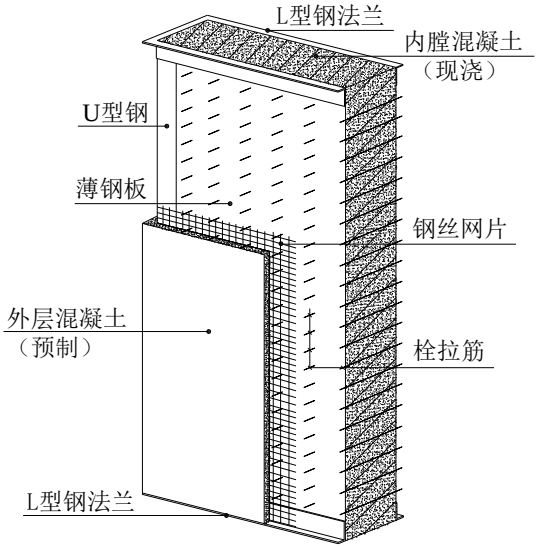


图 7.1.1-1 钢-混凝土组合管剪力墙构造示意图

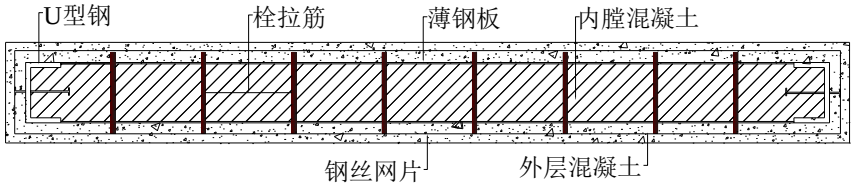
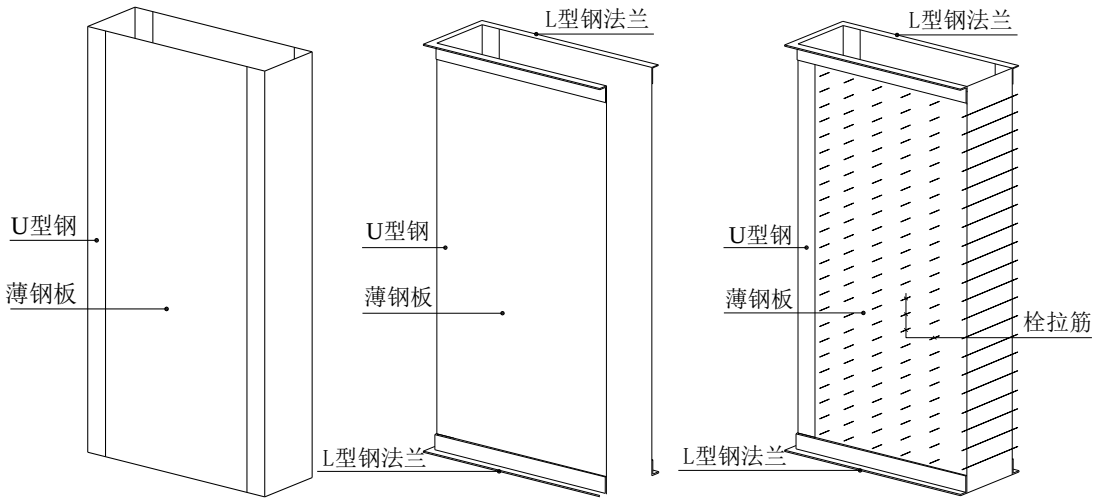


图 7.1.1-2 钢-混凝土组合管剪力墙截面详图

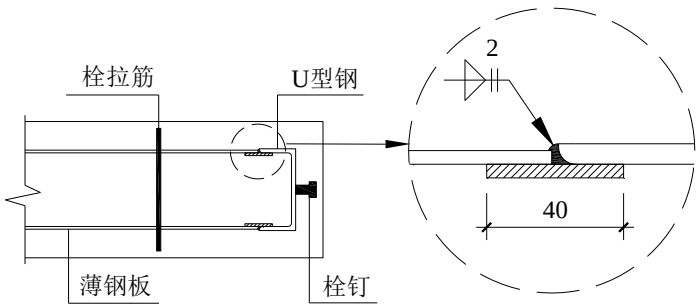
7.1.2 钢-混凝土组合管剪力墙中焊接构造包括薄钢板与 U 型钢焊接形成矩形钢管和墙体两端焊接 L 型法兰。先在工厂预制钢-混凝土组合管（SRCT），待装配时上下剪力墙通过法兰焊接，安装方便，减少了湿作业，构造如图 7.1.2 所示。



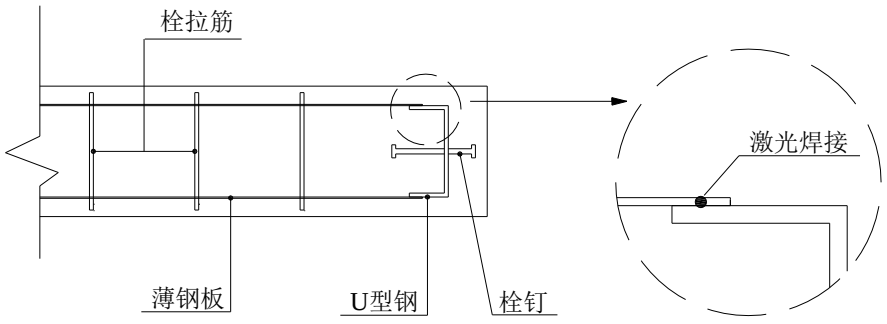
（a）薄钢板与 U 型钢焊接　　（b）矩形钢管与上下法兰焊接　　（c）栓拉筋与薄钢板焊接

图 7.1.2 钢-混凝土组合管剪力墙焊接构造

7.1.3 薄钢板与墙体两端 U 型钢翼缘通过对接焊缝焊接组成矩形钢管。当钢板厚度≤2mm 时采用激光焊接，钢板厚度＞2mm 时采用气体保护焊。因钢板厚度与型钢翼缘厚度不同，U 型钢翼缘与钢板下边缘需平齐且保留一定的间隙。参考《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》GB 985，当两个焊件厚度在 2~5mm 之间可采用 I 形带垫板坡口。即在焊接过程中，在 U 型钢翼缘及钢板内侧加垫板增强两部分连接，如图 7.1.3 所示，图中尺寸单位为 mm。



（a）U 型钢与薄钢板气体保护焊焊接构造



（b）U 型钢与薄钢板激光焊焊接构造

图 7.1.3 U 型钢与薄钢板焊接构造

7.1.4 双层钢板与墙体两端的 U 型钢翼缘焊接组成矩形钢管后，上下两端薄钢板及 U 型钢外侧与 L 型钢或角钢法兰通过焊接、栓接或铆接与法兰可靠相连，L 型钢或角钢法兰如图 7.1.4-1 所示，角钢法兰上焊接 ϕ6 锚固钢筋，确保法兰与混凝土保护层锚固可靠，薄钢板通过固定螺栓与角钢法兰连接，外侧螺帽拧紧后与角钢焊接一起，以保证角钢与混凝土可靠锚固；角钢法兰与 U 型钢交接处短边裁掉，长边与 U 型钢搭接后进行角焊，在连接的同时起到加强 U 型钢上下层连接节点的作用，固定螺栓用于固定角钢法兰与钢板，可用短螺栓，也可采用栓拉筋直接连接，具体构造如图 7.1.4-2 所示，图中尺寸单位为 mm。

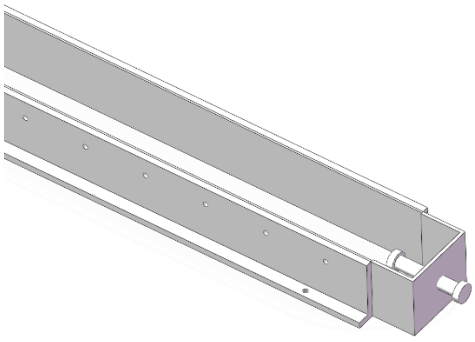
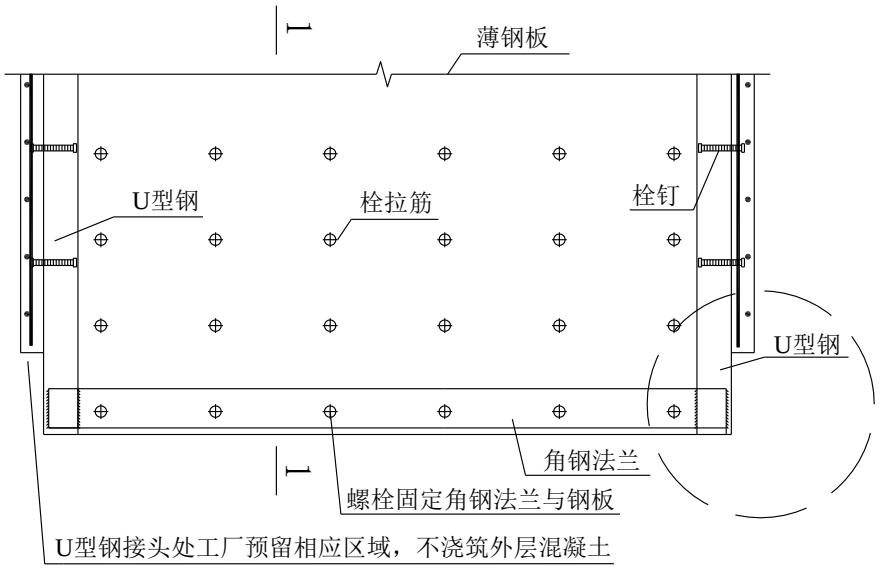
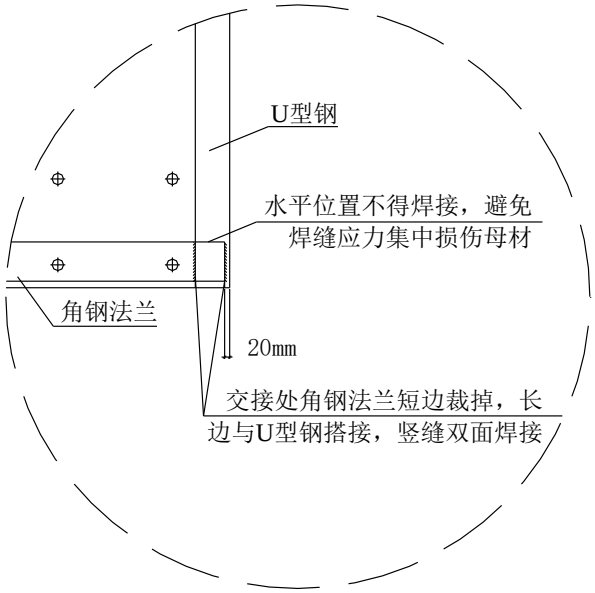


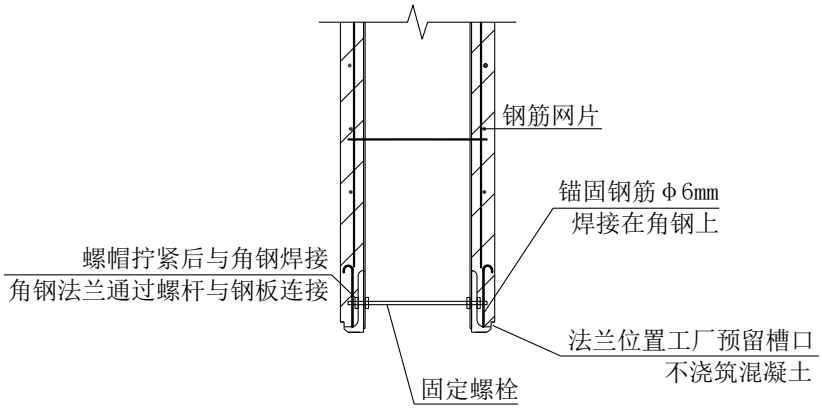
图 7.1.4-1 角钢法兰示意图



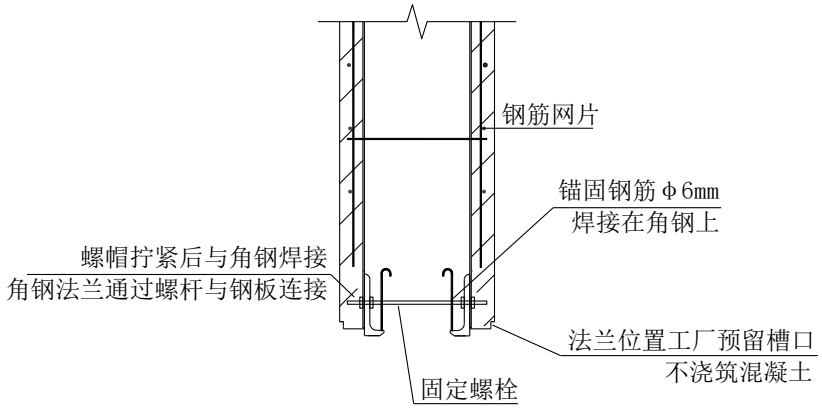
（a）U 型钢及薄钢板与角钢法兰连接示意图



（b）局部放大图



（c）1-1 剖面图(外侧角钢)



（d）1-1 剖面图（内侧角钢)

图 7.1.4-2 U 型钢及薄钢板与角钢法兰连接构造

7.1.5 栓拉筋与钢板的连接，在钢板上预先冲孔位置布置栓拉筋（可用螺栓代替），栓拉筋贯穿双层钢板并外露 20~30mm，栓拉筋与钢板交接处采用丝扣方式进行连接，如图 7.1.5-1 所示。施工中可以在栓拉筋和钢板交接处布置垫板，采用螺母固定的方式进行连接，也可以采用专用自攻丝类型的栓拉筋连接两侧薄钢板，

如图 7.1.5-2 所示。该种方式避免进行薄钢板焊接，在制作过程中薄钢板不宜产生残余应力和面外变形。

[条文说明] 连接时须保证栓拉筋与钢板可以协同工作，混凝土浇筑时不会出现滑移现象。

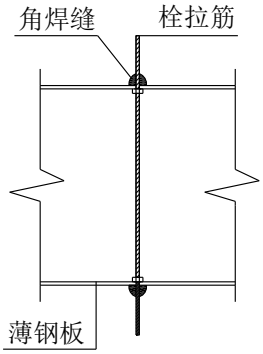
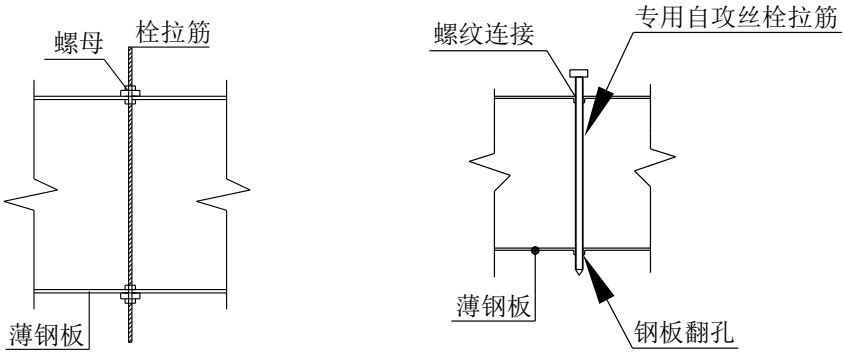


图 7.1.5-1 栓拉筋与薄钢板焊接



（a）连接形式 1　　（b）连接形式 2

图 7.1.5-2 栓拉筋与薄钢板螺栓连接

7.1.6 T 形、L 形、十字形、工字形等钢-混凝土组合管剪力墙各墙肢中，截面长度与墙体厚度的比值应大于 4。

[条文说明] 对于 T 形、L 形、十字形、工字形等钢-混凝土组合管剪力墙各墙肢中，至少需保证一个方向的墙肢截面长度与厚度比值大于 4。

7.1.7 钢-混凝土组合管剪力墙墙体厚度与墙体钢板厚度的比值宜符合下式规定：

$$50 \le t_{wc}/t_{sw} \le 200 \qquad (7.1.7\text{-}1)$$

式中：t_{wc} ——钢-混凝土组合管剪力墙墙体的厚度（mm）；

t_{sw} ——剪力墙墙体单片钢板的厚度（mm）。

[条文说明] 对应墙体含钢率为 1%~4%。日本规范规定的范围在 30~200。钢-混凝土组合管剪力墙与普通双钢板有所不同，通过试验及数值模拟验证了可靠性，故比值稍作修改。如果有可靠试验数据，可适当放宽钢板厚度取值。

7.1.8 按 160mm 厚的钢-混凝土组合管剪力墙与一、二级钢筋混凝土剪力墙厚度不宜小于层高以及无支长度的 1/25 稳定性接近的原则，确定钢-混凝土组合管剪力墙构造厚度要求。L 形、T 形、工字形钢-混凝土组合管剪力墙的墙体厚度不宜

小于 160mm；一字形墙体厚度不宜小于 200mm。

［条文说明］与各种异形墙体相比，一字形墙体的稳定性问题相对突出，因此将墙体厚度限值定为不小于 200mm。

7.1.9 T 形、L 形、十字形、工字形的钢-混凝土组合管剪力墙的强度及稳定性，可取每片一字形墙肢的内力及支承条件分别验算。

7.1.10 钢-混凝土组合管剪力墙结构的混凝土保护层厚度指 U 型钢或钢板外边缘到混凝土表面的最小距离，其主要作用有：

1 维持钢材与混凝土之间的黏结力；

2 混凝土保护层对钢材的包裹可防止钢部分发生局部屈曲和整体失稳，提高构件的刚度、耐久性；

3 混凝土保护层厚度会影响构件的承载能力。

通过理论计算和数值分析给出钢-混凝土组合管剪力墙结构中端部型钢的混凝土保护层厚度不宜小于 40mm，两侧钢板的混凝土保护层厚度不宜小于 30mm。

7.1.11 钢-混凝土组合管剪力墙混凝土保护层厚度除满足上述条件外，还应满足下列要求。

表 7.1.11 混凝土保护层最小厚度（mm）

环境类别	钢-混凝土组合管剪力墙
一	15
二 a	20
二 b	25
三 a	30
三 b	40

［条文说明］钢-混凝土组合结构理想情况是当型钢达到屈服强度前，型钢与混凝土不发生粘结脱离，混凝土同时压碎或剥落，故钢-混凝土组合管剪力墙结构外包混凝土保护层厚度选取应考虑以下因素：

1.混凝土保护层在内部型钢不发生失稳时的临界保护层厚度 C_{s1}

$$C_{s1}=\frac{b_f}{0.634\sqrt[4]{\eta}\sqrt{E_C/f_C}} \tag{7.1.11-1}$$

式中：E_c——混凝土的弹性模量，MPa；

E_t——混凝土的切线模量，取 1.5MPa；

η——混凝土薄板的弹塑性屈曲系数，$\eta=E_t/E_c$；

b_f——型钢翼缘宽度，mm；

C_{s1}——混凝土保护层厚度，mm。

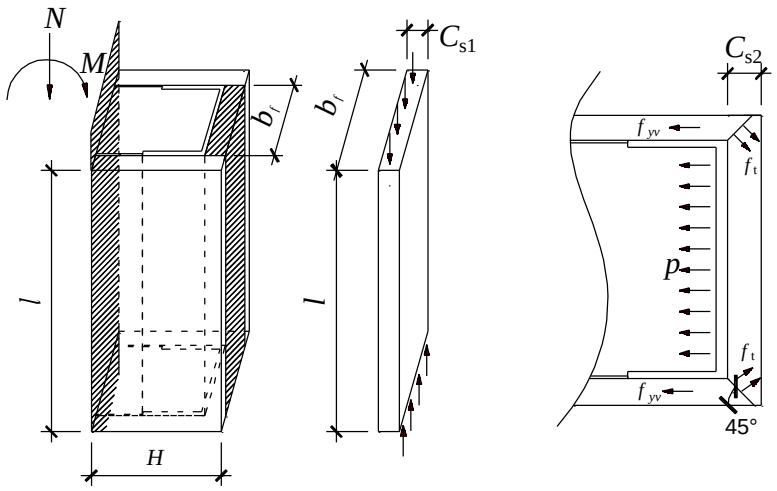


图 7.1.11 混凝土保护层受力模型及开裂时计算简图

2.混凝土保护层开裂的临界保护层厚度 C_{s2}

$$C_{s2}=0.272\ \varphi b_s\sqrt{f_s} \tag{7.1.11-2}$$

式中：f_t——混凝土抗拉强度，MPa；

b_f——型钢翼缘宽度，mm；

φ——型钢与混凝土之间压应力均匀分布修正系数，当 b_f ＜300 mm 时，取 1.0。

3.满足《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 中的相关要求；

标准火灾下受火时间小于或等于 3.0h 的矩形钢管混凝土柱，其防火保护层的设计厚度可按下列公式计算；对于非标准火灾，公式中的受火时间 t 应取等效曝火时间。

当防火保护层采用金属网抹 M5 水泥砂浆时，防火保护层的设计厚度可按下列公式计算：

$$d_i=k_{LR}\left(220.8t+123.8\right)C^{3.25\times10^{-4}\lambda-0.3075} \tag{7.1.11-3}$$

式中：d_i——防火保护层厚度（mm）；

t——受火时间（h）；

C——矩形钢管混凝土柱截面周长（mm）；

λ——长细比；

k_{LR}——计算参数，取 k_{LR}=1.0。

4.当在保护层内配置防裂、防剥落的钢筋网片时，钢筋网片的保护层厚度不应小于 10mm。

7.1.12 考虑地震作用下的钢-混凝土组合管剪力墙的轴压比按下式规定：

$$\mu=\frac{N}{\sum f_cA_c+\sum fA_s} \tag{7.1.12}$$

式中： μ——轴压比；

N——剪力墙的轴压力设计值（N）；

f_c——混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm^2）；

A_c——剪力墙截面的混凝土面积（mm^2）；

f——钢材的屈服强度设计值（N/mm^2）；

A_s——剪力墙截面的钢板总面积（mm^2）。

表 7.1.12 钢-混凝土组合管剪力墙肢轴压比限值

抗震等级	特一级	一级	二、三级
轴压比限值	0.5	0.6	0.7

7.1.13 单个栓拉筋的拉力设计值 T_{bt} 按下式计算：

$$T_{bt} \le T_{ubt} \tag{7.1.13-1}$$

$$T_{bt} = \alpha_{bt} t_{sw} s_{bth} f \tag{7.1.13-2}$$

单个栓拉筋的受拉承载力 T_{ubt} 应符合下列公式规定：

$$T_{ubt} \le A_{bt} F_{bt} \tag{7.1.13-3}$$

$$T_{ubt} = 24\psi_{bt} f_c^{0.5} h_{bt}^{1.5} \tag{7.1.13-4}$$

$$\psi_{bt} = S_{bt}^2 / (9h_{bt}^2) \tag{7.1.13-5}$$

式中：T_{bt}——单个栓拉筋的拉力设计值(N)；

α_{bt}——栓拉筋拉力系数，可取为 0.03；

t_{sw}——钢-混凝土组合管剪力墙单片钢板的厚度(mm)；

s_{bth}——栓拉筋水平方向的间距(mm)；

ψ_{bt}——考虑栓拉筋间距影响的调整系数，当 $s_{st} \ge 3h_{st}$ 时，取 $\psi_{st}=1$；当 $s_{st} < 3h_{st}$ 时，按照公式 $\psi_{st}=s_{st}^2/(9h_{st}^2)$ 计算；

h_{bt}——栓拉筋的高度(mm)；

A_{bt}——栓拉筋的有效截面积(mm^2)；

F_{bt}——栓拉筋屈服强度设计值(N/mm^2)；

S_{bt}——栓拉筋间距(mm)。

[条文说明] 栓拉筋的作用是使外层混凝土、钢组合管和内膛混凝土形成整体，防止各部分相互分离。在压应力作用下，钢板具有向外发生局部屈曲的趋势，从而使栓拉筋承担拉力，该拉力与连接标准件作用范围内钢板的压应力的合力呈正相关。

栓拉筋受拉承载力计算参考美国规范《Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary》ACI 318。

7.2 承载力计算

7.2.1 考虑地震作用的钢-混凝土组合管剪力墙的弯矩设计值、剪力设计值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

7.2.2 轴压承载力计算

1 钢板屈曲对钢板承载力的影响

钢板受压可能屈曲，此时两侧非受载纵边产生弯曲，屈曲处中部挠度大于两端挠度，截面应力发生重分布，中部应力不再增大，两端应力继续增加。若钢板屈曲先于屈服发生，钢材性能不能充分发挥，因此在计算钢管部分的承载力时需考虑钢板屈曲对承载力的影响。若钢板临界屈曲应力小于屈服强度，可近似认为当试件达到极限荷载时，钢板强度只在两端各$b_e/2$范围内能充分发挥，称为钢板的有效宽度。有效宽度计算公式如下：

$$\frac{b_{\text{eff}}}{b}=0.675\left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{f_{\text{y}}}\right)^{1/3} \qquad \sigma_{cr}\le f_y \tag{7.2.2-1}$$

$$\frac{b_{\text{eff}}}{b}=0.915\left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{\sigma_{\text{cr}}+f_{\text{y}}}\right)^{1/3} \qquad \sigma_{cr}>f_y \tag{7.2.2-2}$$

式中：b_{eff}为钢板有效宽度；σ_{cr}为钢板屈曲应力；b为栓拉筋间距。

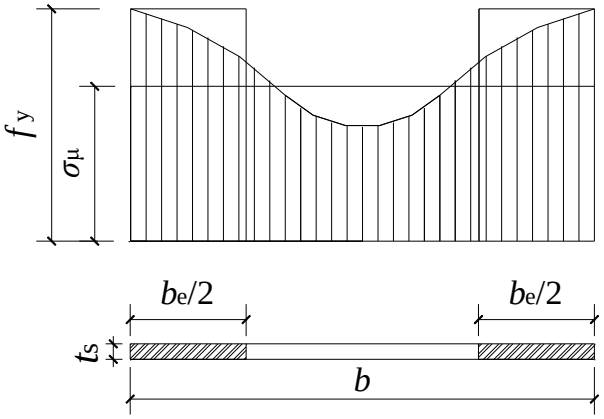


图 7.2.2-1 板的有效截面简图

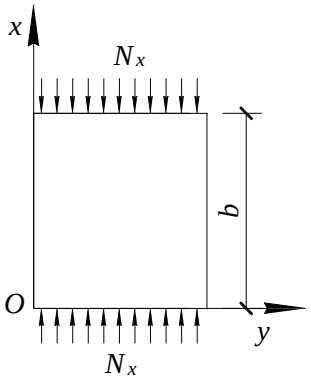


图 7.2.2-2 钢板区格计算力学模型

剪力墙双钢板间设置栓拉筋，将钢板分为若干钢板区格，取矩形布置形式分析，如图7.2.2-1所示，可得钢板的临界屈曲应力为：

$$\sigma_{cr}=\frac{4\pi^2 D}{b^2 t} \tag{7.2.2-3}$$

$$D=\frac{Ed_s^3}{12(1-\nu^2)} \tag{7.2.2-4}$$

式中：D为钢板抗弯刚度；d_s为钢板厚度；ν为钢板泊松比。

综上，钢管的受压承载力为：

$$N_s=n_1 b_{eff1} d_{s1} f_{ys1}+n_2 b_{eff2} d_{s2} f_{ys2} \tag{7.2.2-5}$$

式中：n_1、n_2分别为钢板和U型钢截面区格数；f_{ys1}、f_{ys2}分别为钢板和U型钢的屈服强度。

2 钢板受力分析

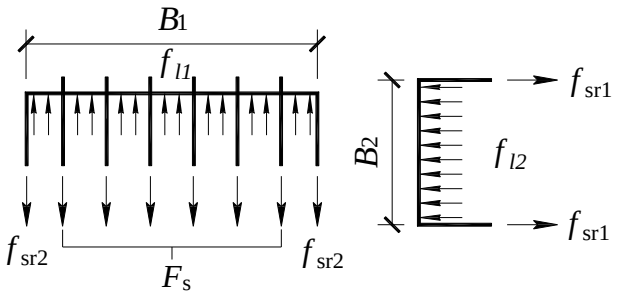
在轴向压力的作用下，钢管既纵向受压，同时也受到来自混凝土的横向挤压，处于纵向受压而横向受拉的三向应力状态。沿试件的宽度方向和厚度方向各取一受力分离体，如图7.2.2-2所示，其中，f_{l1}、f_{l2}分别为钢管长边、短边平均侧向约束力；f_{sr1}、f_{sr2}分别为长边、短边钢管的环向应力；F_s为栓拉筋对钢板提供的约束力。由力平衡条件可得长边的侧向平均约束力：

$$f_{l1}=\frac{2t_2 f_{sr2}}{B_1-2t_2}+\frac{E_3\xi_3 A_3 n}{(B_1-2t_2)\,h} \tag{7.2.2-6}$$

短边的侧向平均约束应力f_{l2}：

$$f_{l2}=\frac{2t_1 f_{sr1}}{B_2-2t_2} \tag{7.2.2-7}$$

其中，t_1、t_2分别为钢板、U型钢厚度；E_3为栓拉筋弹性模量；ξ_3为栓拉筋屈服应变；A_3为栓拉筋横截面积；n为栓拉筋数量；B_1、B_2分别为钢管长边和短边长度。



(a)钢管长边　　(b)钢管短边

图 7.2.2-2 钢管计算力学模型

侧向压应力相对纵向压应力和环向拉应力数值较小，可忽略。假定钢管处于平面应力状态，根据Von Mises屈服条件有：

$$f_a^2 - f_a f_{sr} + f_{sr}^2 = f_y^2 \tag{7.2.2-8}$$

钢管宽厚比参数R是影响钢-混凝土组合管剪力墙破坏模态的主要因素，定义当R>0.85时试件将发生局部屈曲破坏；当R≤0.85时，试件可不考虑局部屈曲。分别定义钢板、U型钢宽厚比参数R1、R2为：

$$R_1 = \frac{B_1}{t_1}\sqrt{\frac{12\ (1-\nu_1^2)}{4\pi^2}}\sqrt{\frac{f_{y1}}{E_1}} \tag{7.2.2-9}$$

$$R_2 = \frac{B_2}{t_2}\sqrt{\frac{12\ (1-\nu_2^2)}{4\pi^2}}\sqrt{\frac{f_{y2}}{E_2}} \tag{7.2.2-10}$$

计算得：$R_1>0.85$，

$$f_{a1} = \left(\frac{1.2}{R_1} - \frac{0.3}{R_1^2}\right) f_{y1} \tag{7.2.2-11}$$

$$f_{sr1} = \frac{f_{a1} - \sqrt{4f_{y1}^2 - 3f_{a1}^2}}{2} \tag{7.2.2-12}$$

$R_2\leq 0.85$，f_{a2}的取值按下式确定：

$$f_{a2} = 0.89 f_{y2} \tag{7.2.2-13}$$

$$f_{sr2} = -0.19 f_{a2} \tag{7.2.2-14}$$

[条文说明] 钢板宽厚比通过改变比值参数R来研究其对钢-混凝土组合管的影响。本条参考美国标准《Strength Analysis of Concrete-Filled Thin-Walled Steel Box Columns》ASCE 118的相关公式。

3 内膛混凝土受力分析

钢-混凝土组合管剪力墙内膛混凝土受力机理与箍筋约束混凝土类似：钢管代替纵筋和箍筋的作用；栓拉筋通过约束侧向钢板，代替横向箍筋对纵筋的作用，共同对内膛混凝土提供横向约束。

剪力墙均匀受压状态下，栓拉筋对核心混凝土的横向约束是间断的，核心混凝土被分为强约束区和弱约束区，如图7.2.2-3所示。引入横向等效约束系数k_e，对f_{l1}、f_{l2}进行折减，将混凝土对钢板的侧向压应力视为均匀分布。

$$k_e = k_{e1} k_{e2} \tag{7.2.2-15}$$

$$k_{e1} = \frac{A_{e1}}{A_{cc1}} \tag{7.2.2-16}$$

$$k_{e1}=\frac{A_{e2}}{A_{cc2}} \tag{7.2.2-17}$$

式中，A_{e1}，A_{e2}分别为内膛混凝土横截面和侧面有效约束区的面积；A_{cc1}，A_{cc2}分别为内膛混凝土横截面面积和侧面面积。栓拉筋对混凝土的有效约束面的边界线为抛物线，抛物线的切角θ取为0.21rad。

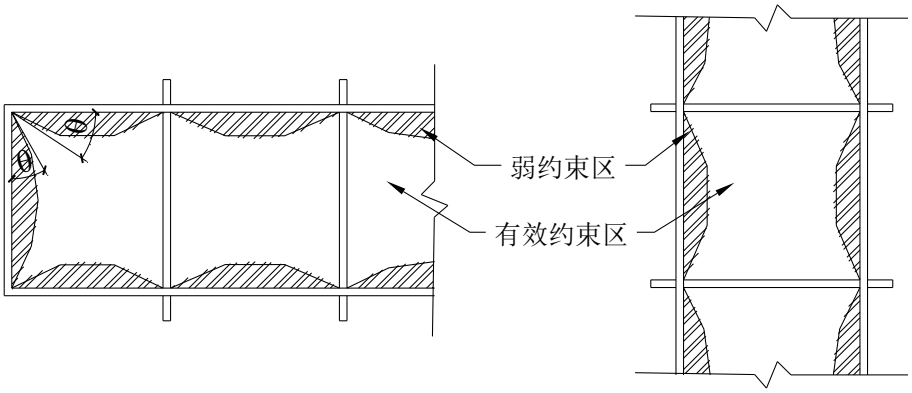


图 7.2.2-3 混凝土约束区示意图

钢管长、短边对核心混凝土的约束作用不同，内膛混凝土在破坏时处于真三轴受压状态($f_{l1}\neq f_{l2}$)。SRCT剪力墙内膛混凝土轴心抗压强度f_{cc}表达式如下：

$$\tau_0=6.9638\left(\frac{0.09-\sigma_0}{c-\sigma_0}\right)^{0.9297} \tag{7.2.2-18}$$

$$c=12.2445(\cos 1.5\alpha)^{1.5}+7.3319(\sin 1.5\alpha)^2 \tag{7.2.2-19}$$

$$\sigma_0=\sigma_{oct}/f_{co} \tag{7.2.2-20}$$

$$\tau_0=\tau_{otc}/f_{co} \tag{7.2.2-21}$$

$$\sigma_{oct}=\frac{f_{l1}+f_{l2}+f_{cc}}{3} \tag{7.2.2-22}$$

$$\tau_{oct}=\frac{\sqrt{(f_{l1}-f_{l2})^2+(f_{l2}-f_{cc})^2+(f_{cc}-f_{l1})^2}}{3} \tag{7.2.2-23}$$

$$\cos\alpha=\frac{2f_{l1}-f_{l2}-f_{cc}}{3\sqrt{2}\tau_{oct}} \tag{7.2.2-24}$$

式中，σ_{oct}、τ_{oct}分别为八面体正应力和剪应力；σ_o、τ_o分别为八面体正应力、剪应力相对值；α为偏平面夹角。

内膛混凝土的轴压承载力为：

$$N_{c2}=A_{cc1}f_{cc} \tag{7.2.2-25}$$

钢-混凝土组合管剪力墙轴压承载力由外层混凝土、钢组合管和内膛混凝土三

部分提供，混凝土的轴心受压承载力承担系数 α_{c1}、α_{c1}可考虑钢组合管与混凝土的变形协调来分配，再叠加各部分承载力，可得：

$$N_t = \alpha_{c1} N_{c1} + \alpha_{c2} N_{c2} + N_s \tag{7.2.11-26}$$

$$N_{c1} = A_c f_c \tag{7.2.11-27}$$

式中：α_{c1}为外层混凝土轴心受压承载力承担系数；α_{c2}为内膛混凝土轴心受压承载力承担系数；N_{c1}为外层混凝土轴压承载力；A_c为钢组合管的截面面积；f_c为钢组合管的抗压强度设计值。

[条文说明] 本文中钢-混凝土组合管剪力墙轴压承载力计算考虑了钢板屈曲对钢管承载力的影响以及钢组合管对核心混凝土的约束作用；参考《钢结构设计标准》GB 50017中15.2.4的相关规定，钢-混凝土组合管剪力墙轴心受压时，混凝土工作承担系数α_{c2}、α_{c1}应控制在0.1～0.7之间，其值可按钢管内、外混凝土的截面面积对应的承载力与钢管截面面积对应的承载力的比例关系确定。

7.2.3 钢-混凝土组合管剪力墙的抗剪承载力应满足下式要求：

$$V \le 0.6 f_v A_{nw} / \gamma \tag{7.2.3}$$

式中：V—墙肢的剪力设计值(N)

A_{nw}—墙肢中与剪力方向平行的钢板净截面面积(mm^2)；

f_v—钢板抗剪强度设计值(N/mm^2)。

[条文说明] 墙肢抗剪承载力仅考虑与受力方向一致的钢板抗剪承载力，不考虑混凝土的抗剪承载力。同时，参考欧洲规范 Eurocode 4 将剪力设计值控制在截面抗剪承载力的 50%以内，不需要考虑弯剪耦合作用。

7.2.4 正截面受弯承载力计算

钢-混凝土组合管剪力墙可按照偏心受压构件的正截面计算方法对其受弯承载能力进行分析。

1. 大偏心受压正截面承载力计算

大偏心受压状态时，在受拉区 U 型钢达到屈服应力时，受拉区钢板大部分也达到屈服应力。结合钢-混凝土组合管剪力墙试验过程中钢板应变分布情况，从受压区边缘算起 $2x$（x 为等效矩形应力图受压区高度）范围内钢板未受拉屈服或受压，$2x$ 外的钢板受拉屈服或接近屈服状态，故计算时忽略 $2x$ 范围内的钢板，不参与计算。

基本假定：截面的变形沿着截面高度保持线性分布，即符合平截面假定；不计受拉区混凝土的抗拉作用；按照现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定混凝土受压应力-应变关系曲线，ε_c<0.002 时为抛物线，0.002≤ε_c<0.0033 时为水平直线，混凝土极限压应变值取 0.0033，相应的最大压应变值取混凝土抗压强度标准值 f_{ck}；受压区混凝土按等效矩形应力图计算。

钢-混凝土组合管剪力墙大偏心受压正截面承载力计算模型见图 7.2.4-1。

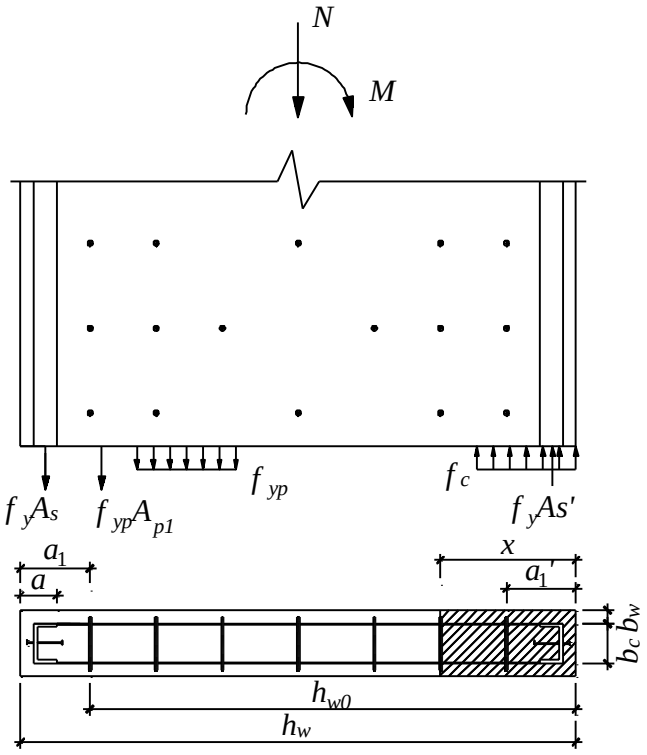


图 7.2.4-1 钢−混凝土组合管剪力墙大偏心受压正截面承载力力学模型

由竖向力平衡得：

$$N=N_c+f_yA_s'-f_yA_s-N_{pw}-f_{yp}A_{p1} \tag{7.2.4-1}$$

$$M=N\left(\frac{h_{w0}}{2}-\frac{x}{2}\right)+f_yA_s\left(h_w-a\right)+f_{yp}A_{p1}\left(h_{w0}-\frac{x}{2}\right)+M_{pw} \tag{7.2.4-2}$$

式中：

$$N_c=N_{c1}+N_{c2}+N_{c3} \tag{7.2.4-3}$$

$$N_{c1}=\theta\alpha\beta f_cb_{cc}l_c \tag{7.2.4-4}$$

$$N_{c2}=\alpha\beta f_cb_{cc}(x-b_{co}-l_c) \tag{7.2.4-5}$$

$$N_{c3}=\alpha\beta f_c(2xb_{co}+b_{cc}b_{co}) \tag{7.2.4-6}$$

$$N_{pw}=f_{yp}A_p\left(1-2\xi\right) \tag{7.2.4-7}$$

$$M_{pw}=f_{yp}A_p\left(1-2\xi\right)\left(\frac{h_{w0}}{2}+\frac{x}{2}\right) \tag{7.2.4-8}$$

$$\xi=x/h_{w0} \tag{7.2.4-9}$$

式中：N 为竖向轴压力；N_c 为受压区混凝土承担的竖向压力；N_{c1} 为受压区约束区内膛混凝土承担的竖向压力；N_{c2} 为受压区非约束区内膛混凝土承担的竖向压力；N_{c3} 为受压区外层混凝土承担的竖向压力；α为混凝土的压应力影响系数，

α=1.0；β为混凝土应力图形影响系数，β=0.8；f_c为混凝土轴心抗压强度设计值；x为混凝土受压区高度；f_y为U型钢的屈服强度；A_s'、A_s分别为受压型钢和受拉型钢的截面积；f_{yp}为钢板的屈服强度；A_p为非约束区双层钢板的截面积；A_{p1}为约束区双层钢板的截面积；b_c、b_w分别为墙内膛、外层混凝土截面厚度；h_{w0}为墙肢截面有效高度；考虑钢板及U型钢对内膛混凝土的约束作用，θ为端部约束区混凝土强度提高系数，采用下式计算。

$$\theta=1.212+B\tau+C\tau^2 \tag{7.2.4-10}$$

$$\tau=f_aA_a/f_cA_c \tag{7.2.4-11}$$

式中：B、C为截面形状对混凝土强度提高系数的影响系数。

2. 小偏心受压正截面承载力计算

当剪力墙处于小偏心受压状态时，墙肢截面大部分或全部处于受压状态，压力较大端的混凝土达到极限压应变,结构丧失承载力失效。不考虑受压区钢板的作用，基本假定与大偏心受压正截面承载计算相同。

钢-混凝土组合管剪力墙小偏心受压正截面承载力计算模型见图7.2.4-2。

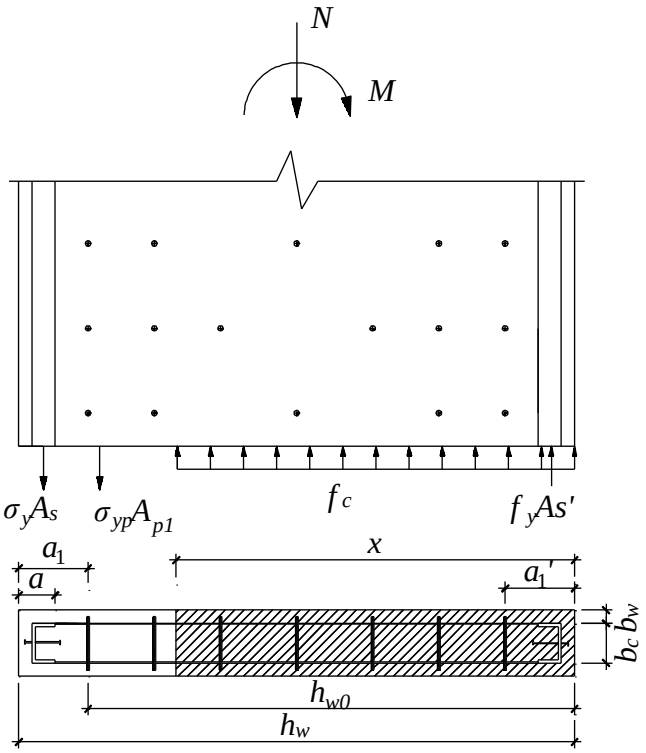


图7.2.4-2 小偏心受压正截面承载力计算模型

由竖向力平衡得：

$$N=N_c+f_yA_s'-\sigma_yA_s-\sigma_{yp}A_{p1} \tag{7.2.4-12}$$

$$M=N\left(\frac{h_w}{2}-\frac{x}{2}\right)+f_yA_s'\left(\frac{x}{2}-a\right)+\sigma_{yp}A_{p1}\left(h_{w0}-\frac{x}{2}\right)+\sigma_yA_s\left(h_w-a-\frac{x}{2}\right) \tag{7.2.4-13}$$

式中：

$$N_c = N_{c1} + N_{c2} + N_{c3} \quad (7.2.4\text{-}14)$$

$$N_{c1} = \theta\alpha\beta f_c b_{cc} l_c \quad (7.2.4\text{-}15)$$

$$N_{c2} = \alpha\beta f_c b_{cc}(x - b_{co} - l_c) \quad (7.2.4\text{-}16)$$

$$N_{c3} = \alpha\beta f_c(2xb_{co} + b_{cc}b_{co}) \quad (7.2.4\text{-}17)$$

$$\xi = x/h_{w0} \quad (7.2.4\text{-}18)$$

式中：N 为竖向轴压力；N_c 为受压区混凝土承担的竖向压力；N_{c1} 为受压区约束区内膛混凝土承担的竖向压力；N_{c2} 为受压区非约束区内膛混凝土承担的竖向压力；N_{c3} 为受压区外层混凝土承担的竖向压力；α为混凝土压应力影响系数，α_1=1.0；β为混凝土应力图形影响系数，β=0.8；f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值；x 为钢-混凝土组合管剪力墙截面受压区高度；f_y 为 U 型钢的屈服强度；A_s'、A_s 分别为受压型钢和受拉型钢的截面积；f_{yp} 为钢板的屈服强度；A_p 为非约束区双层钢板的截面积；A_{p1} 为约束区双层钢板的截面积；σ_y 为受拉区 U 型钢拉应力；σ_{yp} 受拉区约束区钢板拉应力；b_c、b_w 分别为墙内膛、外层混凝土截面厚度；h_{w0} 为墙肢截面有效高度；考虑钢板及 U 型钢对内膛混凝土的约束作用，θ为端部约束区混凝土强度提高系数，采用下式计算。

$$\theta = 1.212 + B\tau + C\tau^2 \quad (7.2.4\text{-}10)$$

$$\tau = f_a A_a / f_c A_c \quad (7.2.4\text{-}11)$$

式中：B、C 为截面形状对混凝土强度提高系数的影响系数。

3 钢-混凝土组合管剪力墙偏心受拉正截面承载力计算

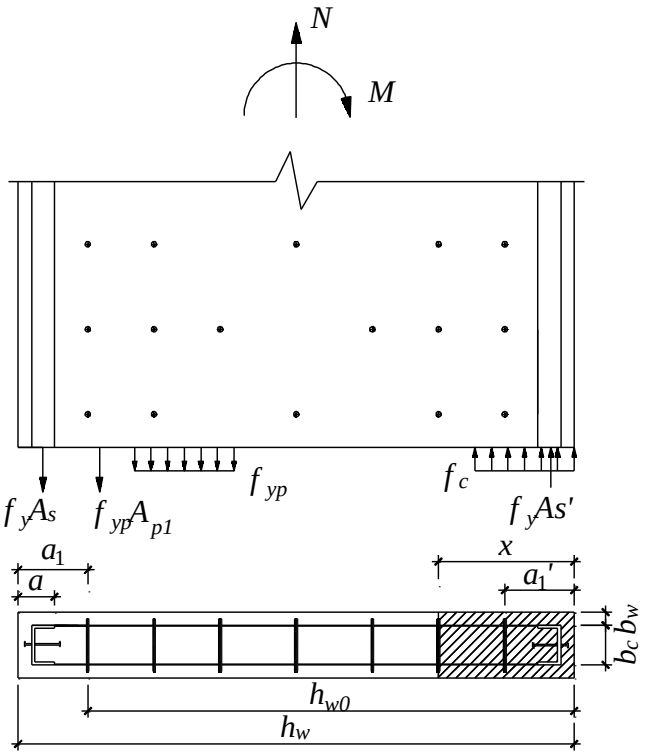


图 7.2.4-3 钢-混凝土组合管剪力墙偏心受拉正截面承载力力学模型

由竖向力平衡得：

$$N=f_yA_s+N_{pw}+f_{yp}A_{p1}-f_yA_s'-N_c \tag{7.2.4-19}$$

$$M=f_yA_s\left(h_w-a\right)+f_{yp}A_{p1}\left(h_{w0}-\frac{x}{2}\right)+M_{pw}-N_c\left(h_{w0}-\frac{x}{2}\right) \tag{7.2.4-20}$$

式中：

$$N_c=N_{c1}+N_{c2}+N_{c3} \tag{7.2.4-21}$$

$$N_1=\theta\alpha\beta f_cb_{cc}l_c \tag{7.2.4-22}$$

$$N_2=\alpha\beta f_cb_{cc}(x-b_{co}-l_c) \tag{7.2.4-23}$$

$$N_3=\alpha\beta f_c(2xb_{co}+b_{cc}b_{co}) \tag{7.2.4-24}$$

$$N_{pw}=f_{yp}A_p\left(1-2\xi\right) \tag{7.2.4-25}$$

$$M_{pw}=f_{yp}A_p\left(1-2\xi\right)\left(\frac{h_{w0}}{2}+\frac{x}{2}\right) \tag{7.2.4-26}$$

$$\xi=x/h_{w0} \tag{7.2.4-27}$$

式中：N 为竖向轴拉力；N_c 为受压区混凝土承担的竖向压力；N_{c1} 为受压区约束区内膛混凝土承担的竖向压力；N_{c2} 为受压区非约束区内膛混凝土承担的竖

向压力；N_{c3}为受压区外层混凝土承担的竖向压力；α为混凝土压应力影响系数，α=1.0；β为混凝土应力图形影响系数，β=0.8；f_c为混凝土轴心抗压强度设计值；x 为钢-混凝土组合管剪力墙截面受压区高度；f_y为 U 型钢的屈服强度；A_s'、A_s分别为受压型钢和受拉型钢的截面积；f_{yp}为钢板的屈服强度；A_p为非约束区双层钢板的截面积；A_{p1}为约束区双层钢板的截面积；b_c、b_w分别为墙内膛、外层混凝土截面厚度；h_{w0}为墙肢截面有效高度；考虑钢板及 U 型钢对内膛混凝土的约束作用，θ为端部约束区混凝土强度提高系数，采用下式计算。

$$\theta=1.212+B\tau+C\tau^2 \tag{7.2.4-10}$$

$$\tau=f_aA_a/f_cA_c \tag{7.2.4-11}$$

式中：B、C 为截面形状对混凝土强度提高系数的影响系数。

7.2.5 弯矩作用在一个主平面内的一字形钢-混凝土组合管剪力墙压弯构件，其承载力应符合下列规定：

$$\frac{N}{N_u}+(1-\alpha_c)\frac{M}{M_u}\le 1/\gamma \tag{7.2.5-1}$$

$$\frac{M_x}{M_{ux}}\le 1/\gamma \tag{7.2.5-2}$$

$$\alpha_c=f_cA_{c0}/N_u \tag{7.2.5-3}$$

式中：N—轴心压力设计值（N）；

N_u—轴心受压承载力设计值（N）；

M—弯矩设计值（N·mm^2）；

M_u—截面受弯承载力设计值（N·mm^2）；

M_x—墙肢平面内的弯矩设计值（N·mm^2）；

M_{ux}—只有弯矩作用时墙肢的平面内受弯承载力设计值（N·mm^2）；

α_c—混凝土工作承担系数；

γ—系数，无地震作用组合时，$\gamma=\gamma_0$；地震作用组合时，$\gamma=\gamma_{RE}$；

f_c—钢-混凝土组合管剪力墙内膛混凝土的抗压强度设计值（N/mm^2）

A_{co}—钢-混凝土组合管剪力墙内膛混凝土的截面面积（mm^2）

[条文说明] 弯矩作用在一个主平面内的钢-混凝土组合管剪力墙压弯构件的强度，可以根据极限状态理论进行分析。

由极限理论可推导出钢-混凝土组合管剪力墙压弯构件的 N-M 相关公式。该式为二次函数，曲线呈抛物线型。为便于设计将抛物线简化为两段折线。

利用数值计算方法进行多参数分析发现：当 N＜α cNu 时，弯矩起主要控制作用. 简化公式的安全系数较大;当 N ＞α cNu 时，轴力起主要控制作用，公式和数值计算结果吻合较

好，但也略偏于安全，且随混凝土强度越低越偏于安全。

将简化公式与《钢板剪力墙技术规程》 JGJ / T 380 、《组合结构设计规范》JGJ 138 相关公式计算结果及钢-混凝土组合管剪力墙的实际试验承载力对比发现，本公式计算结果也偏于安全。

7.2.6 弯矩作用在一个主平面内的一字形钢-混凝土组合管剪力墙压弯构件，平面内稳定性应符合下列规定：

$$\frac{N}{\varphi_x N_u}+(1-\alpha_c)\frac{M_x}{(1-0.8\frac{N}{N'_{Ex}})M_{ux}}\le 1/\gamma \tag{7.2.6-1}$$

$$\frac{M_x}{(1-0.8\frac{N}{N'_{Ex}})M_{ux}}\le 1/\gamma \tag{7.2.6-2}$$

$$N'_{Ex}=\frac{N_{Ex}}{1.1} \tag{7.2.6-3}$$

$$N_{Ex}=N_u\frac{\pi^2 E_s}{\lambda_x^2 f} \tag{7.2.6-4}$$

式中：N_{Ex}—欧拉临界力（N）；

φ_x—墙肢平面内的轴心受压稳定系数；

λ_x—墙肢平面内的长细比；

[条文说明] 本条仅适用于一字形钢-混凝土组合管剪力墙的稳定计算。为加强对一字形钢-混凝土组合管剪力墙的要求，未采用板的稳定理论，直接采用杆的稳定理论考虑一字形钢-混凝土组合管剪力墙的稳定承载力。同时为进一步简化计算，偏安全的取等效弯矩系数为1.0。本条参考《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 的相关公式。

7.2.7 轴心受压构件的稳定系数应符合下列规定：

1 当 $\lambda_0\leqslant 0.215$ 时：

$$\varphi=1-0.65\lambda_0^2 \tag{7.2.7-1}$$

式中：φ—轴心受压构件在所计算方向上的稳定系数；

λ_0—轴心受压构件在所计算方向上的正则化长细比；

2 当 $\lambda_0>0.215$ 时：

$$\varphi=\frac{1}{2\lambda_0}\left[\left(0.965+0.300\lambda_0+\lambda_0^2\right)-\sqrt{\left(0.965+0.300\lambda_0+\lambda_0^2\right)^2-4\lambda_0^2}\right] \tag{7.2.7-2}$$

7.2.8 轴心受压构件的正则化长细比应按下列公式计算：

$$\lambda_0=\frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \tag{7.2.8-1}$$

$$\lambda = l_0 / r_0 \tag{7.2.8-2}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_s + I_c E_c / E_s}{A_s + A_s f_c / f}} \tag{7.2.8-3}$$

式中：λ—轴心受压构件在所计算方向上的长细比；

l_0—轴心受压构件在所计算方向上的计算长度（mm），为该方向上支承点之间的距离；

r_0—轴心受压构件在所计算方向上的截面当量回转半径（mm）。

[条文说明] 利用数值方法进行多参数分析，得到墙肢轴力与面外挠度曲线，其中面外挠度指墙肢中心点的面外位移。根据该曲线的极值点即可得到墙肢的弹塑性稳定承载力 N_{max}。由于缺乏截面残余应力分布的资料，计算时不考虑残余应力通过增大初弯曲为 1/500 墙高来考虑。

对单一材料的截面，回转半径只是一个几何形状和尺寸的有关的几何量。但是，复合材料就不相同，需考虑钢管和混凝土的共同工作问题。按照欧拉力相等的原则，可得到当量回转半径。本条参考《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 的相关公式。

7.2.9 L 形、T 形、工字形等截面的钢-混凝土组合管剪力墙压弯构件，墙肢平面内的稳定性可按各墙肢计算；墙肢的正则化宽厚比 λ_p 大于表 7.2.9 规定的限值时，应按本标准第 7.2.12 条的规定验算墙肢平面外的稳定性。

表 7.2.9 三边、四边支承墙肢正则化宽厚比 λ_p 限值

墙肢类型	抗震等级		
	四级	三级	一、二级
三边支承墙肢	0.5	0.45	0.4
四边支承墙肢	0.5	0.45	0.4

注：1 三边支承墙肢指 L 形、T 形、工字形、［形截面的翼缘墙肢以及 T 型截面的腹板墙肢。四边支承墙肢指工字形、［形截面的腹板墙肢。

2 λ_p 按本规程第 7.2.10 条的规定计算。

7.2.10 钢-混凝土组合管剪力墙的墙肢正则化宽厚比应按下列公式计算：

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{N_{uk}}{N_{cr}}} \tag{7.2.10-1}$$

$$N_{uk} = f_y A_s + f_{ck} A_c \tag{7.2.10-2}$$

$$N_{cr} = \kappa \pi^2 D / h \tag{7.2.10-3}$$

$$D = \frac{E_c \left(b - 2t_s\right)^3}{12\left(1 - \mu_c^2\right)} + \frac{E_s t_s \left(b - t_s\right)^2}{2\left(1 - \mu_s^2\right)} \tag{7.2.10-4}$$

式中：N_{uk}—轴心受压承载力标准值（N）；

N_{cr}—临界压力（N）；

D—墙肢平面外单位长度的抗弯刚度（N·mm）；

b—钢-混凝土组合管剪力墙钢板宽度（mm）；

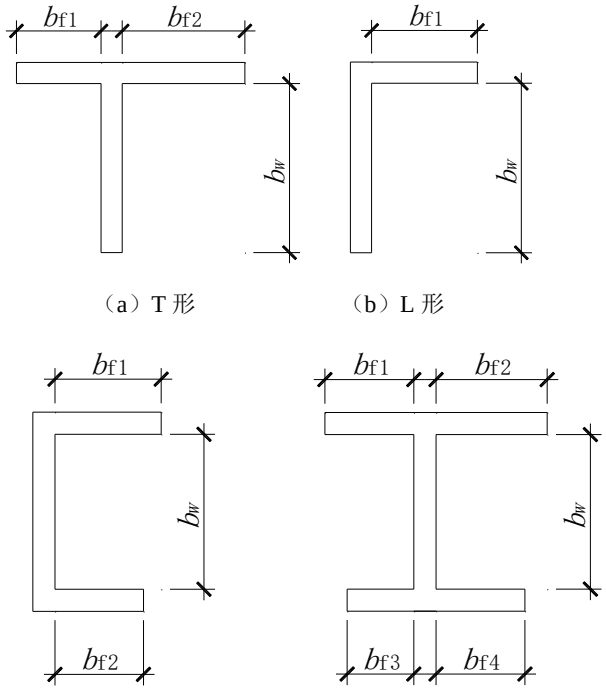
t_s—钢-混凝土组合管剪力墙钢板厚度（mm）；

h—墙肢的宽度（mm），对翼墙墙肢为 b_{f1} 或 b_{f2}，对腹板墙肢为 b_w；

μ_s、μ_c—钢材、混凝土的泊松比；

f_y、f_{ck}—钢材、混凝土的抗压强度标准值（N/mm^2）；

κ—屈曲系数，按本标准第 7.2.11 条的规定计算。



（a）T 形　　（b）L 形

（c）槽形　　（d）工字形

图 7.2.10 钢-混凝土组合管剪力墙腹板墙肢和翼缘墙肢的宽度示意图

7.2.11 根据墙肢类型和受力情况，屈曲系数 κ 的计算应符合下列规定：

1 三边支承墙肢时，屈曲系数应按下列公式计算：

1）轴心受压：　$\kappa = 0.4255 + h^2 / h_s^2$　　(7.2.11-1)

2）只有弯矩：　$\kappa = 2\left(0.4255 + h^2 / h_s^2\right)$　　(7.2.11-2)

式中：h_s—墙肢平面外的计算高度（mm），取平面外上、下支承边的间距。

2 四边支承墙肢时，屈曲系数应按下列公式计算：

1）轴心受压：

当 $h_s/h \leqslant 1$ 时，　$\kappa = 2 + h^2 / h_s^2 + h_s^2 / h^2$　　(7.2.11-3)

当 $h_s/h > 1$ 时，　$\kappa = 4$

2）只有弯矩：　$\kappa = 23.9$

7.2.12 三边支承或四边支承的钢-混凝土组合管剪力墙压弯墙肢验算墙肢平面外的稳定性时，应符合下列规定：

1 四边支承墙肢时，应满足下列公式的要求：

$$\frac{N}{\varphi_N N_u}+\left(\frac{M_x}{\varphi_M M_{ux}}\right)^2+\frac{0.85M_y}{M_{uy}}\le 1/\gamma \tag{7.2.12-1}$$

$$\varphi_N=\frac{1}{1-0.5^2+\lambda_{\mathrm{pN}}^2}\le 1 \tag{7.2.12-2}$$

$$\varphi_M=\frac{1}{1-0.5^2+\lambda_{\mathrm{pM}}^2}\le 1 \tag{7.2.12-3}$$

$$M_{uy}=\left[0.5A_s\left(b-2t_s-d_{ny}\right)+ht_s\left(t_s+d_{ny}\right)\right]f \tag{7.2.12-4}$$

$$d_{ny}=\left(A_s-2ht_s\right)/\left[\left(h-2t_s\right)f_c/f+4t_s\right] \tag{7.2.12-5}$$

式中：M_y—墙肢平面外的弯矩设计值（N·mm）；

M_{uy}—只有弯矩作用时墙肢的平面外受弯承载力设计值（N·mm）；

d_{ny}—沿墙肢平面外方向，钢-混凝土组合管剪力墙受压区高度（mm）；

ϕ_{N}—轴心受压荷载作用下墙肢稳定系数；

φ_{M}—只有弯矩作用下墙肢稳定系数；

λ_{pN}—轴心受压荷载作用下墙肢正则化宽厚比，按本标准第 7.2.10 条计算；

λ_{pM}—只有弯矩作用下墙肢正则化宽厚比，按本标准第 7.2.10 条计算。

2 三边支承墙肢时，应满足下式的要求：

$$\frac{N}{\varphi_N N_u}+\frac{M_x}{\varphi_M M_{ux}}+\frac{0.85M_y}{M_{uy}}\le 1/\gamma \tag{7.2.12-6}$$

7.2.13 钢-混凝土组合管剪力墙拉弯墙肢的承载力应满足下式要求：

$$\frac{N_t}{fA_{\mathrm{s0}}}+\frac{M_x}{M_{ux}}\le 1/\gamma \tag{7.2.13-1}$$

式中：N_t—轴心拉力设计值

A_{s0}—钢-混凝土组合管剪力墙外围钢管的截面面积(mm^2)，计算钢-混凝土组合管剪力墙开孔削弱处截面的强度时，应取净截面计算；

f—钢材抗弯强度设计值(N/mm^2)，计算钢-混凝土组合管剪力墙开孔削弱处截面的强度时，应取 f=0. 7f_u，f_u 为钢材抗拉强度最小值。

[条文说明] L 形、T 形、[形、工形等异形截面的各片墙肢可相互起支承作用。钢-混凝土组合管剪力墙的截面宽度较大，面内稳定系数很大，因此其稳定承载力与强度承载力接近。计

算墙肢面内稳定时，为进一步简化计算，不考虑各墙肢相互作用，均按一字形墙体计算,即按 7.2.6 条考虑。

平面外稳定分析时，各墙肢相互支承作用较大，不可忽略。在忽略钢-混凝土组合管剪力墙竖向横隔板作用的前提下，根据各墙肢边界条件，利用小挠度理论板的平衡方程，可得到四边、三边简支板临界荷载和屈曲系数。

考虑几何非线性、材料非线性和初始几何缺陷的影响，初始几何缺陷采用弹性屈曲分析得到的一阶屈曲波形的形式，缺陷幅值分别取 1/1000 和 1/500，利用数值分析方法进行了弹塑性稳定分析。

采用国际上通行的正则化宽厚比，取其限值定义为：$\lambda_{\mathrm{p}}=\sqrt{\frac{N_{\mathrm{u}}}{bN_{\mathrm{xcr}}}}$

其中 N_{xcr} 为墙肢的弹性屈曲荷载。随着 λ_{p} 的增大，稳定系数逐渐减小，但减小的幅度不大。初始缺陷的大小对墙体弹塑性稳定承载力有一定的影响，随着缺陷的增大，相同 λ_{p} 的墙肢稳定承载力有所降低。采用欧洲钢结构协会提出的弹塑性稳定系数 $\varphi_{\mathrm{p}}=1/\left(1+\lambda_{\mathrm{p}}^{2n}\right)^{1/n}$。为达到一定长细比下稳定系数等于 1 的目的,公式可转化为 $\varphi_{\mathrm{p}}=1/\left(1-\lambda_{\mathrm{b0}}^{2n}+\lambda_{\mathrm{p}}^{2n}\right)^{1/n}$。当 n 的取值为 1 附近时，可获得与 EC3 规范中的四条柱子曲线很接近的稳定系数曲线。因此,取 n 等于 1 公式转化为 $\varphi_{\mathrm{p}}=1/\left(1-\lambda_{\mathrm{b0}}^{2}+\lambda_{\mathrm{p}}^{2}\right)$ 。

取 λ_{b0}=0.5，则公式转化为 $\varphi_{\mathrm{p}}=1/\left(1-0.5^{2}+\lambda_{\mathrm{p}}^{2}\right)$。本标准提出的稳定计算公式远小于初始缺陷下的数值分析结果，也小于 winter 公式，更小于欧拉公式曲线，略大于 EC3 杆件的稳定公式曲线，较为适用。同时，当 λ_{p} 小于 05 时，计算得到的 λ_{p} 为 1，故工程设计时若将异形截面的各组成墙肢的 λ_{p} 控制在 0.5 以内，可不用验算墙肢的稳定性。当 λ_{p} 大于 0.5 时，需进行整体稳定计算。本条参考《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 的相关规定。

7.2.14 斜截面受剪承载力计算

说明：根据《组合结构设计规范》JGJ138 2016 中关于钢板混凝土偏心受压剪力墙在持久、短暂设计状况下的斜截面受剪承载力计算方法为在普通钢筋混凝土偏心受压剪力墙的斜截面受剪承载力公式中加入型钢及钢板部分的抗剪作用。规范中认为组合剪力墙结构中型钢、钢板及混凝土之间的相对滑移可忽略，故将各部分分开计算后进行叠加。其中混凝土部分在混凝土抗剪作用的基础上，也考虑了轴向压力 N 对剪压区的抗剪作用、骨料的咬合力、裂缝间混凝土的抗拉能力等综合效应。

1 钢-混凝土组合管剪力墙偏心受压斜截面受剪承载力分析

钢-混凝土组合管剪力墙两端设置 U 型钢且内置双层钢板，参考《组合结构设计规范》JGJ138-2016 中有关钢板混凝土剪力墙抗剪承载力计算的内容，初步提出钢-混凝土组合管剪力墙偏心受压斜截面受剪承载力计算公式。

将钢-混凝土组合管剪力墙偏心受压斜截面受剪承载力分为混凝土、轴力、U型钢和钢板四部分叠加，轴压荷载增大了剪力墙截面的受压区高度，提高了受剪承载力，故计算时计入轴压力所产生的有利影响。即：

$$V = V_c + V_N + V_a + V_p \tag{7.2.14-2}$$

式中：V 为剪力墙的抗剪承载力；V_c 为混凝土部分的水平抗剪承载力；V_N 为轴向压力的抗剪承载力增量；V_a 为 U 型钢部分的水平抗剪承载力，V_p 为双层钢板部分的水平抗剪承载力。

式中：

$$V_c = \frac{0.5 f_t b_w h_{w0}}{\lambda - 0.5} \tag{7.2.14-3}$$

$$V_N = \frac{0.13N}{\lambda - 0.5} \tag{7.2.14-4}$$

$$V_a = \frac{0.3}{\lambda} f_a A_{a1} \tag{7.2.14-5}$$

$$V_p = \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \tag{7.2.14-6}$$

式中：λ 为计算截面处的剪跨比，当 λ<1.5 时，取 λ=1.5，当 λ>2.2 时，取 λ=2.2；f_t 为混凝土轴心抗拉强度；b_w 为墙肢截面宽度；h_{w0} 为墙肢截面有效高度；N 为剪力墙轴向压力；f_a 为剪力墙截面内配置 U 型钢的抗拉强度；A_{a1} 为钢-混凝土组合管剪力墙一端所配置的 U 型钢的截面面积；f_p 为钢板抗拉强度；A_p 为双层钢板的截面面积。

2 钢-混凝土组合管剪力墙偏心受拉斜截面受剪承载力分析

与钢-混凝土组合管剪力墙偏心受压斜截面受剪承载力计算方法相同，依然采用叠加法的计算原理，将其分为混凝土、轴拉力、U 型钢及钢板四部分叠加组成。对于大偏心受拉剪力墙，截面仍有部分受压区域，混凝土仍可提供部分抗剪作用，而轴向拉力会对结构抗剪产生不利作用，故计算时应计入轴向拉力所产生的不利影响。即：

$$V = V_c - V_N + V_a + V_p \tag{7.2.14-7}$$

式中：V 为剪力墙试件的抗剪承载力；V_c 为混凝土部分的水平抗剪承载力；V_N 为轴向拉力的抗剪承载力负增量；V_a 为 U 型钢部分的水平抗剪承载力，V_p 为双层钢板部分的水平抗剪承载力，分别按下式进行计算：

$$V_c = \frac{0.5 f_t b_w h_{w0}}{\lambda - 0.5} \tag{7.2.14-8}$$

$$V_N = \frac{0.13N}{\lambda - 0.5} \tag{7.2.14-9}$$

$$V_a = \frac{0.3}{\lambda} f_a A_{a1} \tag{7.2.14-10}$$

$$V_p = \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \qquad (7.2.14\text{-}11)$$

式中：λ为计算截面处的剪跨比，当λ<1.5时，取λ=1.5，当λ>2.2时，取λ=2.2；f_t为混凝土轴心抗拉强度；b_w为墙肢截面宽度；h_{w0}为墙肢截面有效高度；N为剪力墙轴向拉力；f_a为剪力墙截面内配置U型钢的抗拉强度；A_{a1}为钢-混凝土组合管剪力墙一端所配置U型钢的截面面积；f_p为钢板的抗拉强度；A_p为双层钢板的截面面积。

7.3 构造要求

7.3.1 栓拉筋的长度宜大于其直径的8倍，且伸出两侧钢板长度不应小于25mm。

7.3.2 墙体钢板与U型钢之间宜采用焊接连接或铆钉连接，顺序宜为由中间向两边焊接，可释放多余的焊接残余应力。

7.3.3 钢-混凝土组合管剪力墙的墙肢可采用翼墙或钢-混凝土组合端柱作为其平面外的支撑边，并应符合下列规定：

1 翼墙或端柱在被支承墙肢平面外方向应以梁作为支承点并应进行稳定性验算，且该方向上的正则化长细比λ_0不应大于0.215；

2 翼墙长度不小于其厚度的4倍或端柱边长不小于墙肢厚度的2倍。

7.3.4 钢-混凝土组合管剪力墙的混凝土工作承担系数α_c不宜超过表7.3.4规定的限值。

表7.3.4 混凝土工作承担系数限值

长细比λ	轴压比		
	≤0.4	0.5	0.6
≤20	0.55	0.55	0.50
30			0.45
40		0.50	0.40
50		0.45	0.35
≥60	0.50	0.40	0.30

7.3.5 底部加强部位端部U型钢及钢板最小截面和尺寸应满足以下要求，底部加强部位U型钢厚度不应小于4mm，翼缘（无支）长度不应小于100mm，钢板厚度不应小于1mm。

8 节点设计

8.1 一般规定

8.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构中，钢构件及钢筋混凝土构件的连接设计应符合相关现行国家、行业标准的相关规定。钢-混凝土组合管剪力墙及钢连梁的连接设计尚应符合本章规定。

8.1.2 抗侧力构件连接的承载力设计值不应小于构件的承载力设计值，且连接的极限承载力应大于构件的塑性承载力。

[条文说明] 构件的连接，需符合强连接弱构件的原则。本条参考《建筑抗震设计规范》 GB50011 第 8.2.8 条相关规定。

8.1.3 焊缝应结合连接所在部位的重要性、焊缝形式、工作环境及应力状态等情况确定其质量等级。梁、柱的相关连接焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，对于高层建筑尚应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定。钢连梁与钢-混凝土组合管剪力墙的连接焊缝质量等级可参照钢框架梁与钢柱的连接焊缝确定。上下钢-混凝土组合管剪力墙的拼接、墙脚处壁板与底板的连接，其焊缝应全熔透，焊缝质量等级为二级焊缝；焊缝的坡口形式和尺寸，宜根据板厚和施工条件按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求选用。

[条文说明] 凡对接焊缝，除非作为角焊缝考虑的部分熔透的焊缝，一般都要求熔透并与母材等强，对接焊缝的质量等级不宜低于二级。梁与柱刚性连接的梁端全熔透对接焊缝，属于关键性焊缝。本条参考《钢结构设计标准》GB 50017 中第 11.1.6 条相关规定和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中第 8.1.4 条相关规定。

8.1.4 钢结构承重构件的螺栓连接，应采用高强度螺栓摩擦型连接。考虑罕遇地震时连接滑移，螺栓孔与孔壁接触，极限承载力按承压型连接计算。高强度螺栓连接受拉或受剪时的极限承载力，应按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015 的规定进行计算。

8.2 钢-混凝土组合管剪力墙的底部水平连接节点

8.2.1 工程中钢-混凝土组合管剪力墙现场进行装配时，沿墙肢高度方向的水平接缝主要有两类，即底部水平接缝和中部水平接缝，如图 8.2.1 所示。首先完成底部一节钢-混凝土组合管剪力墙施工，水平接缝位置超出普通楼层高度约三分之一左右，然后每隔 1~3 层装配一块预制 SRCT（已浇筑外层混凝土的钢组合管）。与混凝土剪力墙水平连接节点相比，钢-混凝土组合管剪力墙上移了水平接缝的位置，避免各楼层位置内力较大的区域，便于与梁、板连接，此外采用干式连接

方法提高了建造速度，降低工程成本。

[条文说明] 本条主要说明了钢-混凝土组合管剪力墙的装配流程。上移水平接缝位置，避开内力较大区域，增强结构稳定性，便于施工。

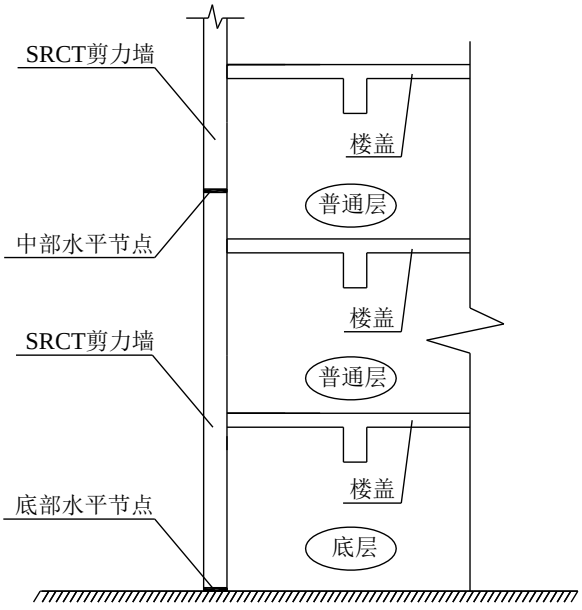
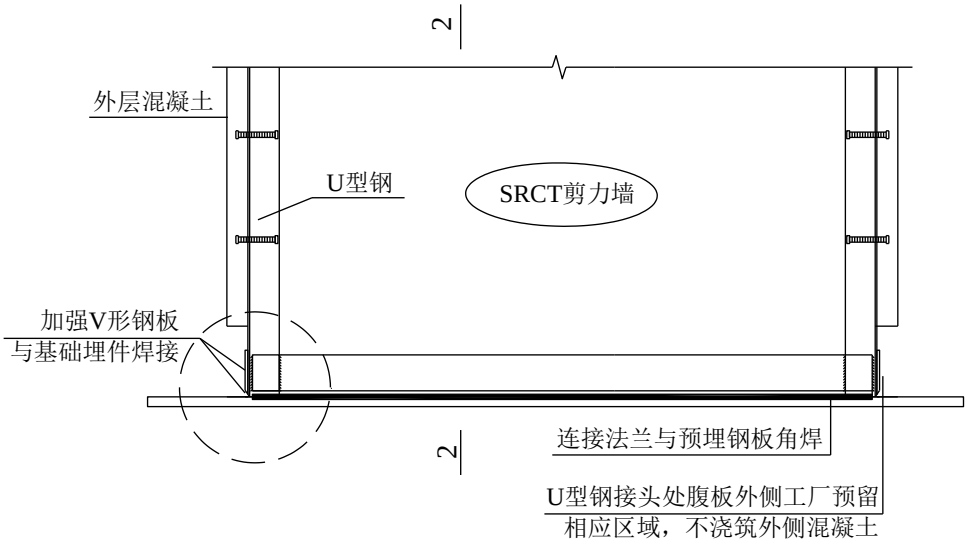


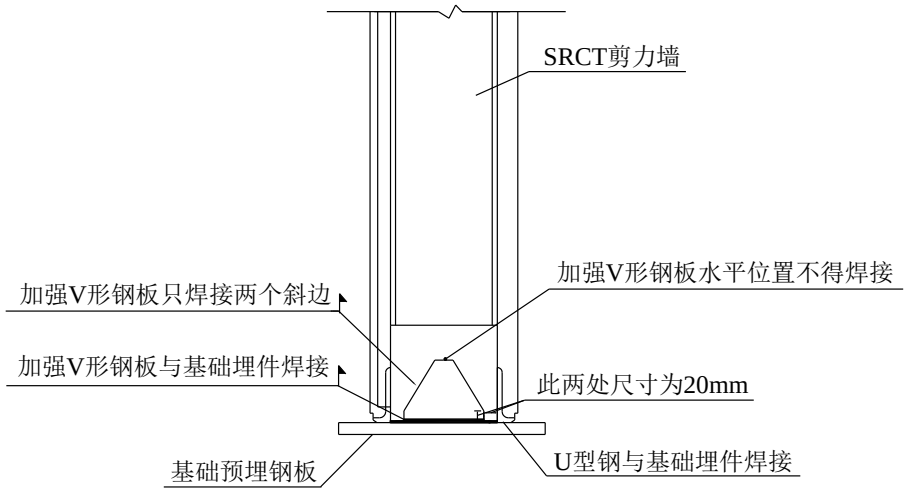
图 8.2.1 装配方案示意图

8.2.2 U 型钢、角钢法兰及加强钢板与基础预埋钢板连接节点

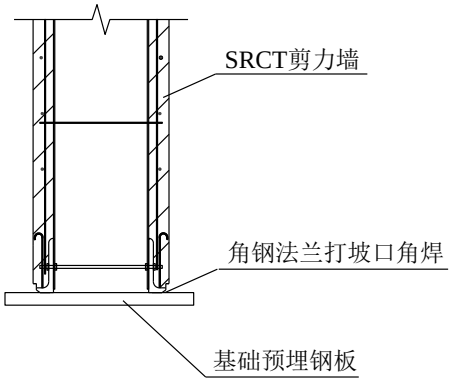
钢-混凝土组合管剪力墙底部水平连接节点由 U 型钢、角钢法兰、基础预埋钢板以及加强钢板组成。角钢法兰在拼缝位置处加工成 V 形坡口，采用焊接工艺将法兰连接于底板上；U 型钢打坡口加内衬板与基础预埋板熔透焊接，两端 U 型钢焊接完成探伤合格后，在 U 型钢焊缝上侧紧贴外 V 型加强钢板（板厚超过 U 型钢壁厚 2mm），按照熔透焊要求进行焊接探伤，具体型号规格依据设计图纸，连接节点如图 8.2.2 所示。



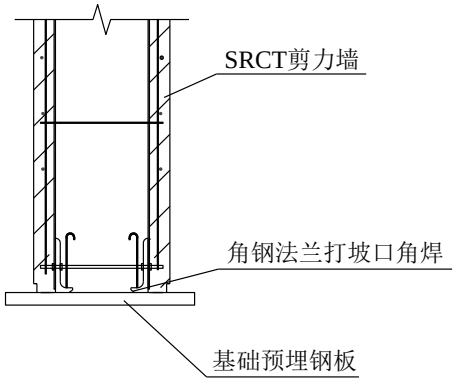
(a)钢-混凝土组合管剪力墙底部水平连接主视图



(b)钢-混凝土组合管剪力墙底部水平连接左视图



(c)2-2 剖面详图（外侧角钢）



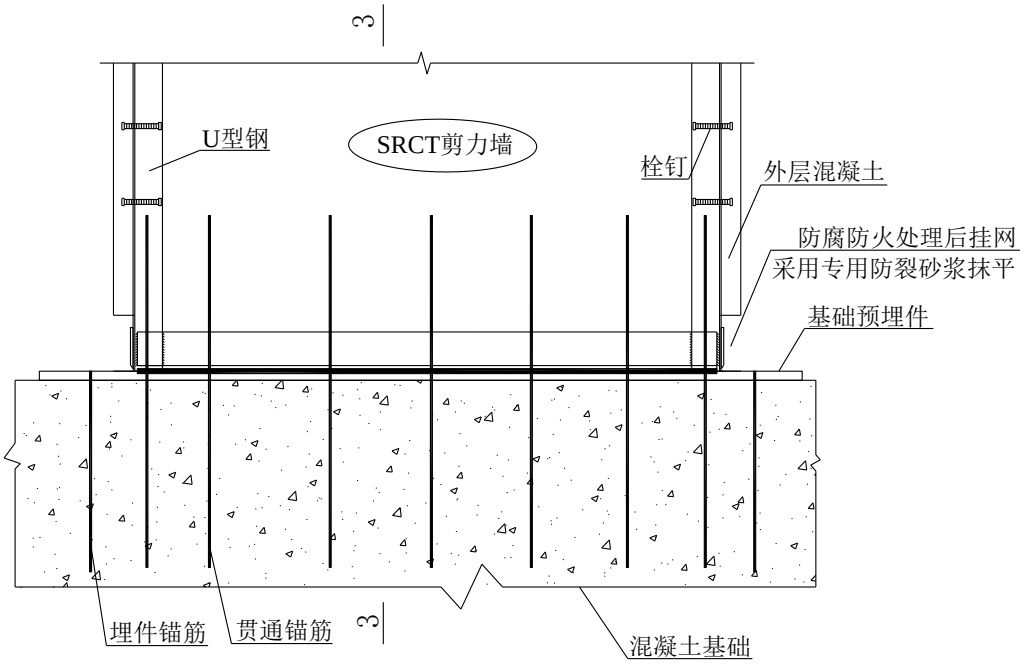
(d)2-2 剖面详图（内侧角钢）

图 8.2.2 钢-混凝土组合管剪力墙底部水平连接节点示意图

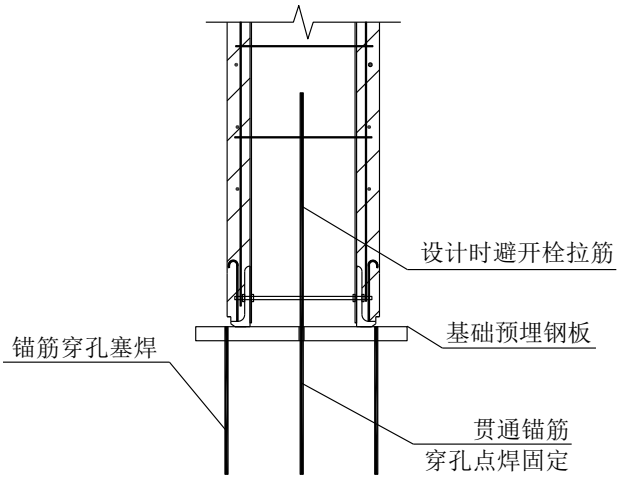
8.2.3 钢-混凝土组合管剪力墙与基础锚筋连接构造

为增加剪力墙根部连接强度，将部分基础预埋件锚筋改为贯通锚筋，将锚筋直接穿过预埋钢板，把剪力墙锚接在一起，锚板中部要留出气孔，采取措施确保埋板下方混凝土密实；在底部剪力墙焊接完成验收合格后采用对连接位置钢构件进行防腐防火处理，然后敷设钢丝网采用专用防裂混凝土（或砂浆）抹平封堵，专用防裂混凝土（或砂浆）强度等级要高于墙体砼设计标号一个等级。连接构造如图 8.2.3 所示。

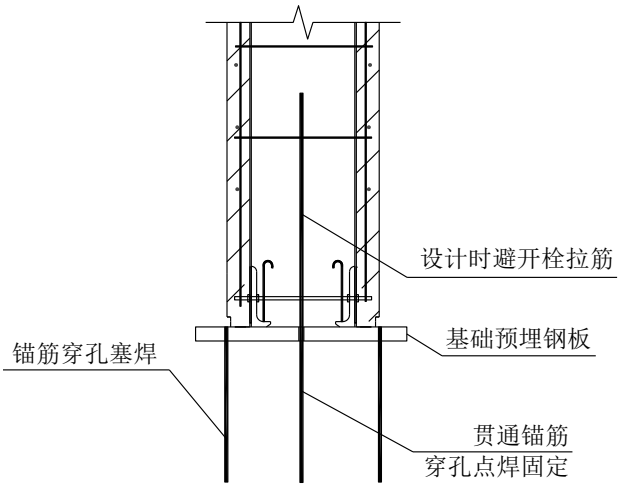
[条文说明] 本条主要说明钢-混凝土与基础连接，连接钢筋应在基础中可靠锚固，且宜伸入到基础底部，封浆料的抗压强度不应低于预制构件的强度等级，封堵材料应符合设计及现行相关标准的要求。



(a) 剪力墙与基础锚筋连接构造



（b）3-3 剖面（外侧角钢）



（c）3-3 剖面（内侧角钢）

图 8.2.3 剪力墙与基础锚筋连接构造

8.2.4 钢-混凝土组合管剪力墙与基础的连接，应符合下列规定：

1 连接处抗弯承载力设计值不应小于钢-混凝土组合管剪力墙的弯矩设计值；

2 连接处极限抗拉承载力不应小于钢-混凝土组合管剪力墙的塑性抗拉承载力。

[条文说明] 构件的连接需符合强连接弱构件的原则。本条参考了《建筑抗震设计规范》 GB50011 第 8.2.8 条相关规定。

8.2.5 钢-混凝土组合管剪力墙与基础可采用锚筋式连接，即将端部型钢及约束边缘构件内附加钢筋锚入基础中。应符合下列规定：

1 墙肢的轴力和弯矩应由受压区连接钢筋（端部型钢）及基础混凝土、受压区连接钢筋（端部型钢）共同承担。

2 轴力作用下连接处的抗弯承载力设计值可按受压区连接钢筋（端部型钢）及基础混凝土、受压区连接钢筋（端部型钢）均达到强度设计值进行计算。

3 墙肢剪力可由底板和混凝土基础间的摩擦传递，摩擦系数可取 0.4。

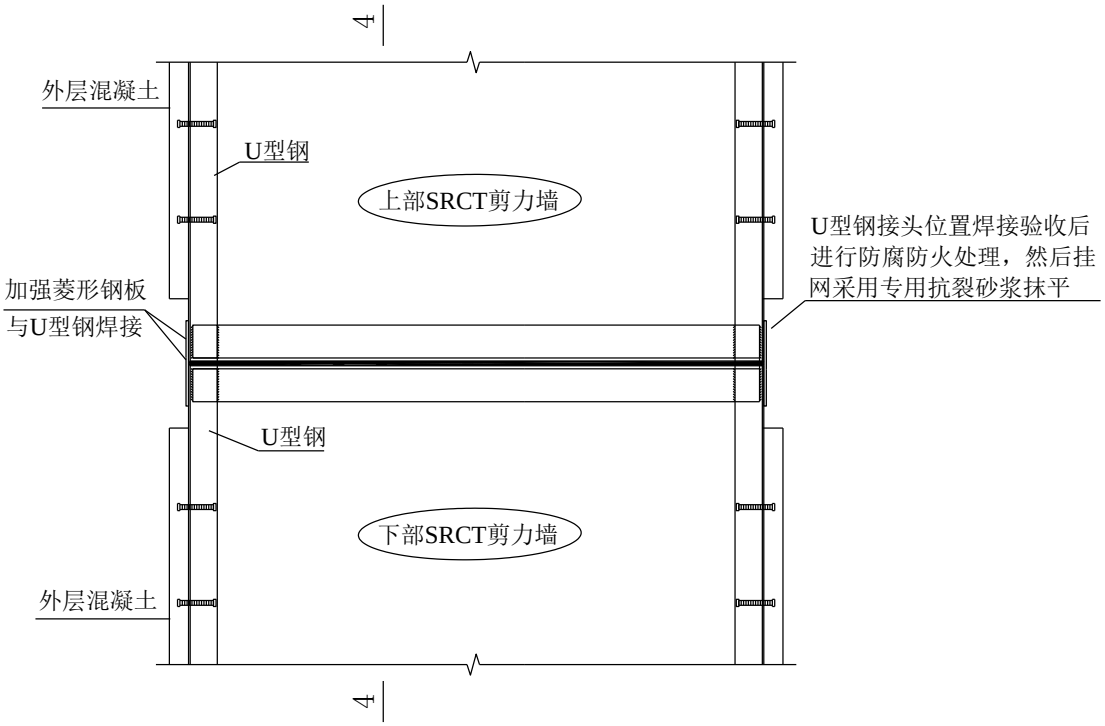
8.2.6 钢-混凝土组合管剪力墙竖向连接节点可在下部墙体混凝土浇筑时插入加强螺纹钢筋进行上下部锚固连接，连接承载力可根据受力进行单独验算，也可在埋件制作时直接将锚筋插入。

8.3 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接节点

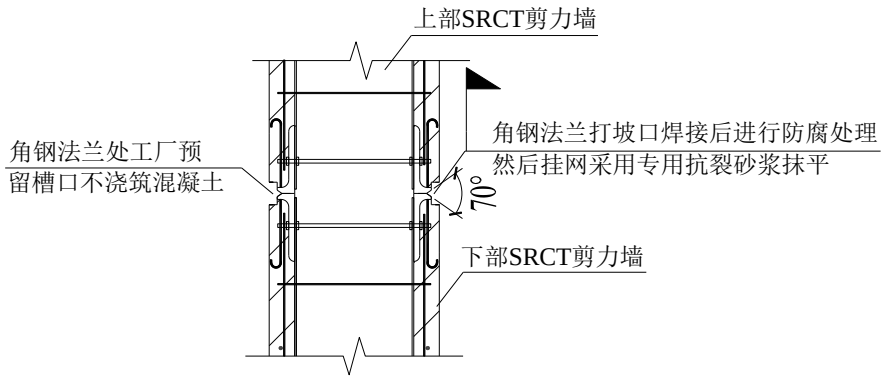
8.3.1 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接节点组成

钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接节点由 U 型钢、角钢法兰、内衬导向板以及焊缝组成。下部墙体钢板及 U 型钢通过焊缝与墙肢顶部角钢法兰相连；上部墙体与下部墙体的角钢法兰在拼缝位置加工成 V 形坡口，而后再用焊缝加以连接。具体连接构造如图 8.3.1 所示。

[条文说明] 本条主要说明了水平连接节点的组成，上下剪力墙通过法兰焊接，方便安装，减少现场湿作业。



(a) 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接示意图



(b) 4-4 剖面详图

图 8.3.1 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平节点连接构造

8.3.2 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接导向装置

为有效提高上下部钢—混凝土组合管剪力墙现场安装速度及连接质量，故采用钢板折弯焊接方法制作导向装置，在工厂将导向装置焊接固定在上部剪力墙 U 型钢下端头内部，依靠锥形斜面导向原理可快速将上下部剪力墙组装在一起，减少现场组装时间，提高工作效率。具体构造如图 8.3.2 所示：

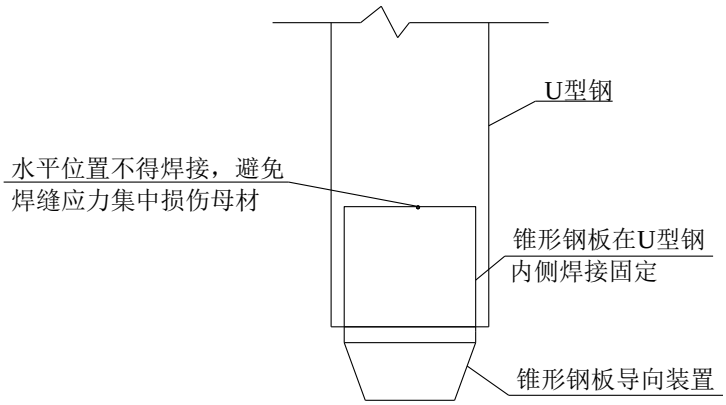
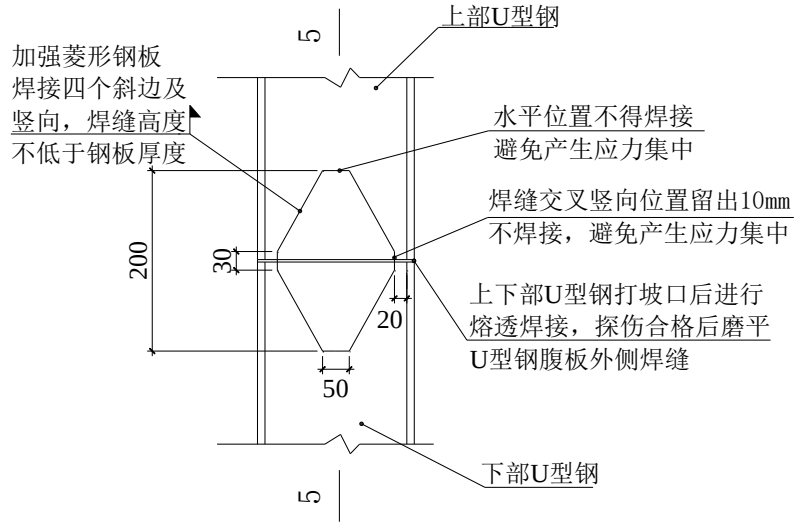


图 8.3.2 钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接导向装置

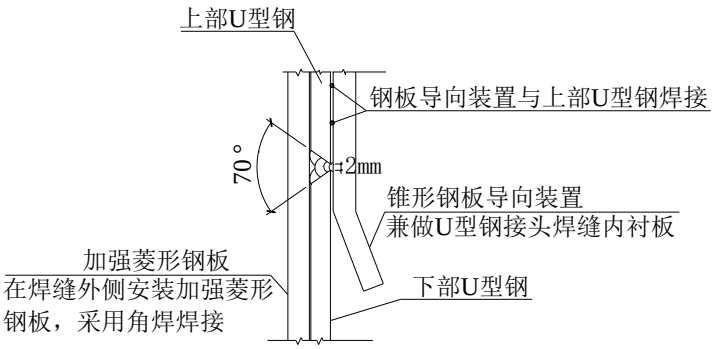
8.3.3 中部水平接头位置 U 型钢腹板连接构造

钢-混凝土组合管剪力墙中部水平连接位置上下部 U 型钢在工厂打好坡口，采用导向装置钢板作为内衬板进行等强熔透焊接，焊接完成探伤合格后磨平 U 型钢腹板外侧焊缝，在焊缝外侧紧贴加强菱形钢板（板厚超过 U 型钢壁厚 2mm），然后按照下图示意位置进行焊接，具体构造如图 8.3.3 所示。

[条文说明] 本条主要说明了 U 型钢腹板连接构造，水平接头位置 U 型钢焊接完成后，在焊缝处焊接菱形钢板进行加固。



(a) U 型钢腹板接头位置焊接示意图

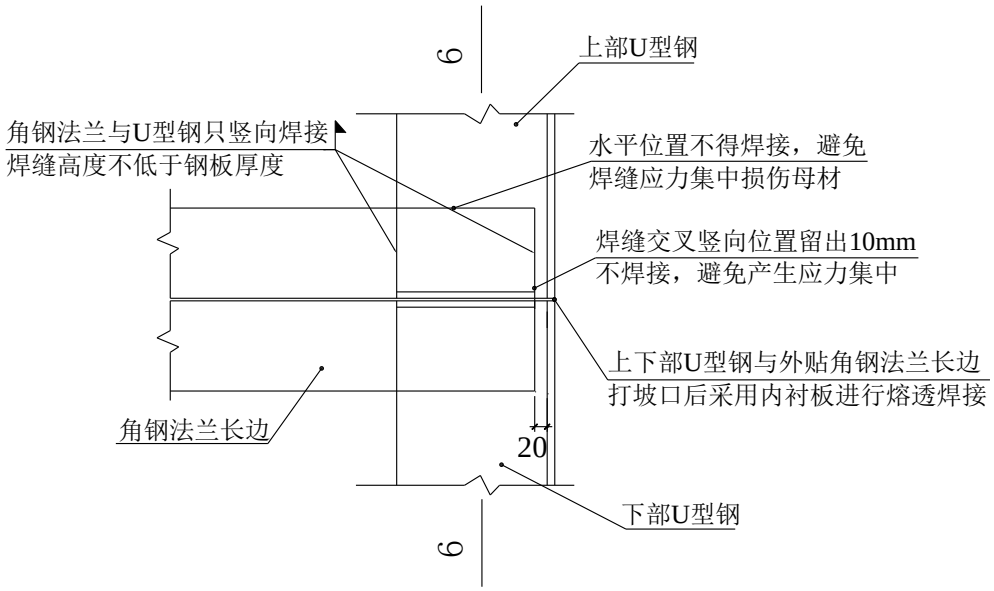


(b)5-5 剖面详图

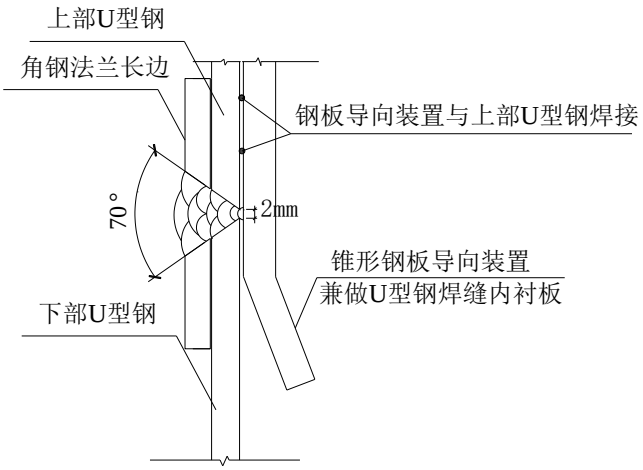
图 8.3.3 U 型钢腹板加衬板熔透焊接示意图

8.3.4 中部水平接头位置 U 型钢翼缘板连接构造

连接位置上下部 U 型钢与角钢法兰长边均在工厂打好坡口，采用导向装置钢板作为内衬板进行等强熔透焊接，焊接时按图填充 V 型焊口，将 U 型钢及外贴角钢法兰长边钢板焊接一起，角钢法兰与 U 型钢焊接交叉处在竖向位置留出 10㎜ 不焊接，避免产生应力集中，具体构造如图 8.3.4 所示。



（a）型钢翼缘板接头位置焊接示意图

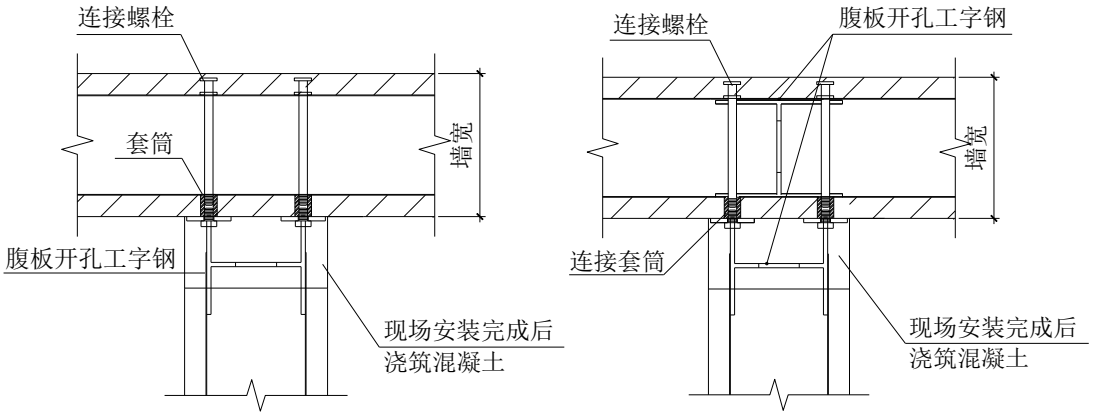


(b)6-6 剖面详图

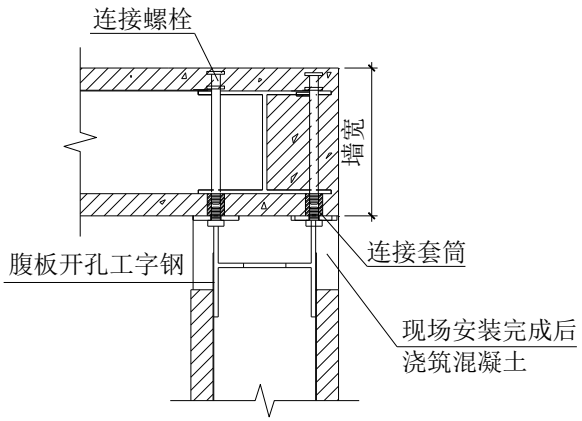
图 8.3.4 U 型钢翼缘板加衬板熔透焊接示意图

8.4 钢-混凝土组合管剪力墙与墙的连接节点

8.4.1 钢-混凝土组合管剪力墙有 T 型及 L 型两种典型连接构造，示意图如图 8.4.1。



（a）T 型连接节点 1　　（b）T 型连接节点 2



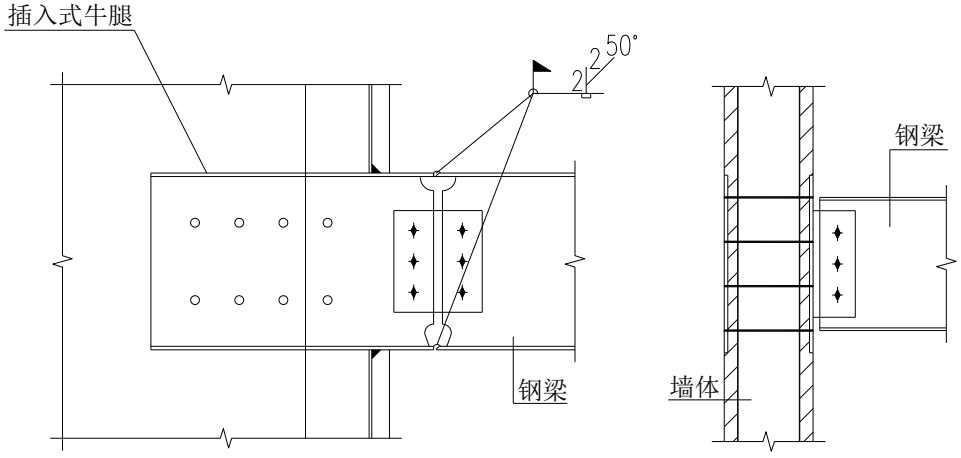
（c）L 型连接节点

图 8.4.1 典型钢-混凝土组合管剪力墙-墙节点连接示意图

8.5 钢-混凝土组合管剪力墙与梁及楼承板的连接节点

8.5.1 钢梁与钢-混凝土组合管剪力墙的刚接连接，应保证连接的抗弯承载力设计值不小于构件的抗弯承载力设计值；连接的极限抗弯承载力尚应大于构件的塑性抗弯承载力。

8.5.2 钢梁与钢-混凝土组合管剪力墙的连接，可采用平面外刚接或平面外铰接两种形式，构造详图如图 8.5.2 所示。



（a）平面外刚接　　（b）平面外铰接

图 8.5.2 墙与钢梁连接示意图

8.5.3 混凝土梁与钢-混凝土组合管剪力墙的连接可采用预制叠合梁端部增加桁架牛腿梁的方法快速装配化吊装连接，端部桁架牛腿梁放在剪力墙牛腿上，可免去支设梁支架，另下部钢筋与剪力墙连接钢板牛腿双面焊接，桁架牛腿梁上部固定型钢待安装后与墙预埋钢板焊接在一起，在安装阶段可起到保障稳定整体框架的作用，梁上部钢筋与剪力墙采用套筒连接，桁架牛腿梁有三角形及矩形两种。

8.5.4 钢-混凝土组合管剪力墙作为现浇楼板边支座时，应按简支边考虑楼板的计算边界条件。楼承板宜采用免拆底模钢筋桁架楼承板或其它楼承板，钢筋桁架楼承板与钢-混凝土组合管剪力墙的节点连接做法如图 8.5.4，并符合下列规定：

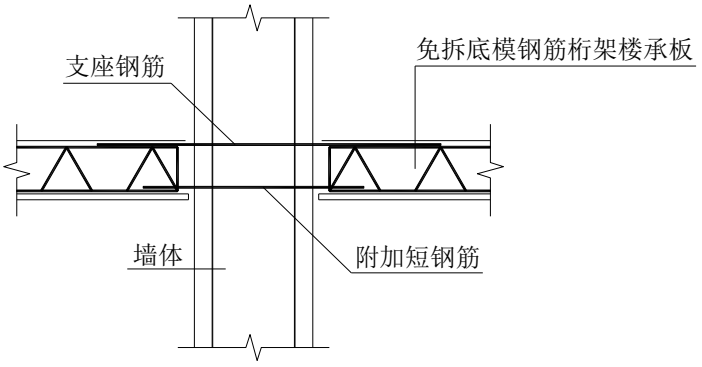


图 8.5.4 墙与楼承板连接示意图

1 附加短钢筋的配筋量不小于楼板同方向跨中下层钢筋的计算配筋量，钢筋强度等级宜相同。下层支座钢筋应伸过墙体厚度，非受力要求时，其深入楼板内长度不小于 25*d* 且不应小于 200mm，*d* 为钢筋直径。

2 上层支座钢筋的配筋量应通过连续布置免拆底模钢筋桁架楼承板中间支座处的负弯矩计算确定，墙两侧上层支座钢筋应不间断布置。

8.5.5 工字型钢梁与免拆底模钢筋桁架楼承板的节点连接做法如图8.5.5并符合下列规定：

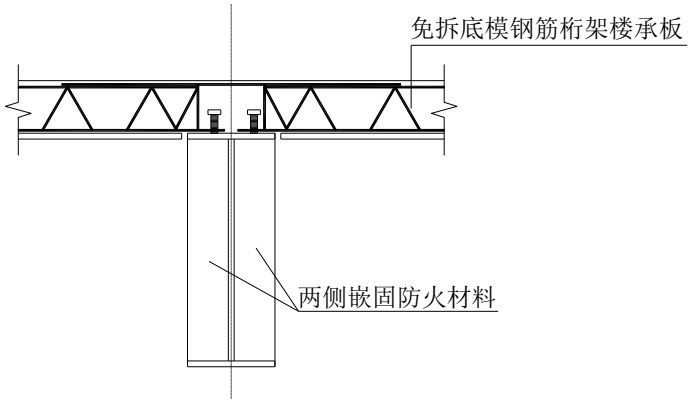


图 8.5.5 钢梁与免拆底摸钢筋桁架楼承板连接示意图

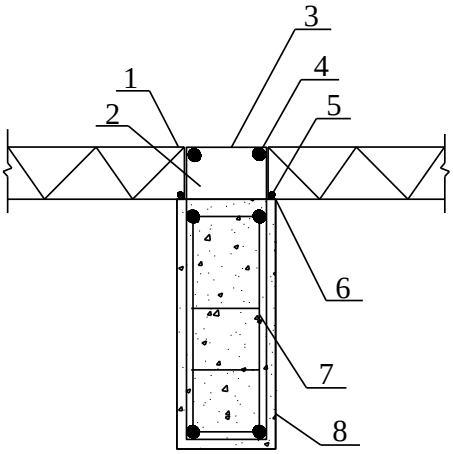
1 工字型钢梁顶部栓钉应完全嵌入混凝土楼板，栓钉宜顶部截面两侧并排均匀布置。如梁截面需增大，应在顶部设置弯起钢筋与板内桁架钢筋及支座钢筋进行搭接。

2 连接 H 钢梁外露部分应进行防火处理，可在两侧梁窝位置填充专用防火填充板、隔墙板或 ALC 板。

8.5.6 预制混凝土梁与免拆底模钢筋桁架楼承板的节点连接做法如图 8.5.6 所示，并符合下列规定：

1 免拆底模楼承板放置在预制叠合混凝土梁上，要求预制梁顶面必须平整；

2 每间免拆底模楼承板放置完成后，在桁架支座筋内侧穿入钢筋，然后采用绑扎或焊接的方式将穿入的钢筋与梁上部箍筋可靠固定连接。



注：1、免拆模钢筋桁架楼承板 2、叠合梁上部区域与板一起浇筑混凝土 3、混凝土梁箍筋 4、梁上部钢筋 5、桁架固定筋 6、桁架楼板放置在混凝土梁上 7、预制梁端部桁架牛腿 8、预制叠合混凝土梁

图 8.5.6 混凝土梁与免拆底模钢筋桁架楼承板连接示意图

8.6 免拆底模钢筋桁架楼承板制作及施工

8.6.1 楼板可采用一种免拆底模钢筋桁架楼承板，采用卯榫连接原理将相邻两块楼承板及底部防火板连接在一起，确保了楼板底部平整顺直，同时底模板又是防火装饰板，达到施工、装修、防火一体化，便于快速施工。

8.6.2 免拆底模钢筋桁架楼承板设计及施工应符合《钢筋桁架楼承板》JGT 3682 和《组合楼板设计与施工规范》CECS 273 的相关要求。

8.6.3 免拆底模钢筋桁架楼承板构件编号：

MCM（X）－T×L

- L：表示免拆底模长度（单位 mm）
- T：表示防火板底模厚度（单位 mm）
- X：表示钢筋桁架型号
- MCM：表示底模为防火板的免拆模钢筋桁架楼承板

例：MCM（TD3-90）-12×3000 表示底模为防火板的免拆模钢筋桁架楼承板，钢筋桁架规格为 TD3-90，免拆底模厚 12mm，免拆底模长 3000mm。

8.6.4 免拆底模钢筋桁架楼承板底模材料应根据工程特点，选用单面光、高强度、防火并环保的无石棉硅酸钙板和硫氧镁防火板两种。无石棉硅酸钙板应能达到《纤维增强硅酸钙板第 1 部分：无石棉硅酸钙板》JC/T 564.1 的技术质量要求；硫氧镁防火板应能达到《玻镁平板》GB/T 33544 的技术质量要求，同时两种板的密度均不低于 1200 千克/立方米，饱水抗折强度不得低于 10 MPa。

8.6.5 螺丝选用沉头镀锌钻尾螺钉，直径不应小于 4mm，螺丝长度宜为 25~45mm，其材质、力学性能及公差标准应符合《十字槽沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.2 的规定。

8.6.6 施工阶段免拆底模钢筋桁架楼承板的最大挠度应按荷载的标准组合进行计算，挠度限值为 l_0/180 及 20mm 较小者，l_0 为楼板计算跨度。

8.6.7 免拆底模钢筋桁架楼承板制作、储存、运输过程中应避免损坏与污染。

8.6.8 安装施工人员必须经免拆底模钢桁架楼承板生产厂家技术人员培训合格，铺设时，按照施工排版图中楼承板的编号及顺序铺设，防火底板与梁及剪力墙搭接不得少于 20mm。

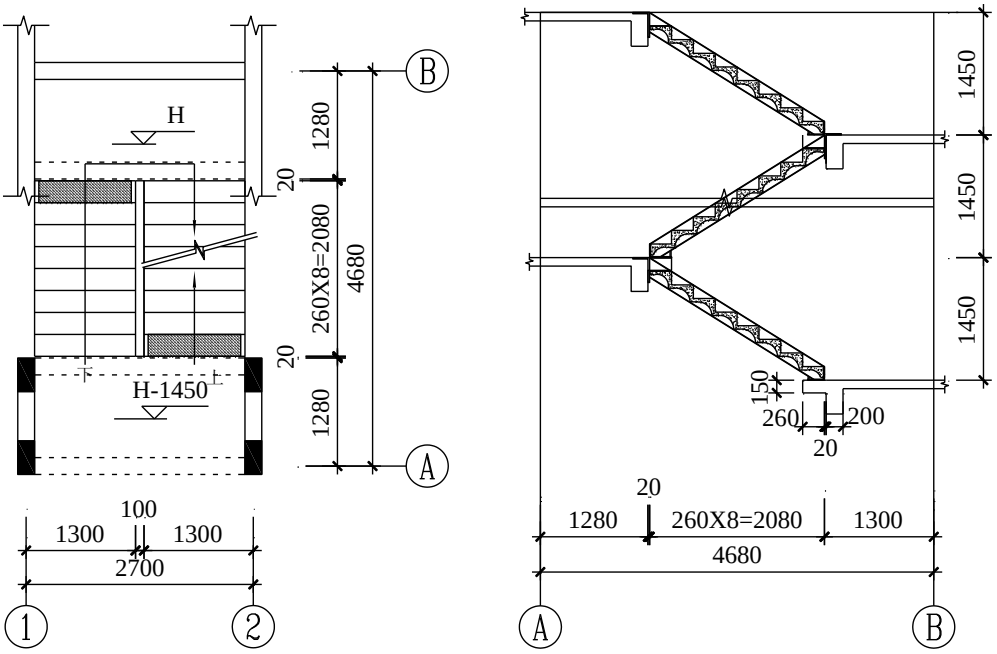
8.6.9 应按《钢筋桁架楼承板》JGJ 368 要求根据跨度及型号不同在相应位置设置临时支撑。临时支撑可根据具体工程的特点采用设置临时梁或从下层楼面支顶等方式。临时支撑不得采用孤立的点支撑，应设置木材或钢管等带状水平支撑，带状水平支撑与楼承板接触面宽度不宜小于 100mm。

8.6.10 浇筑混凝土时，不得对免拆底模钢桁架楼承板造成冲击。倾倒混凝土时，宜在正对梁或临时支撑的部位倾倒，倾倒范围或倾倒混凝土造成的临时堆积不得超过梁或临时支撑左右各 1/6 板跨范围内的楼承板上，且堆积高度不宜超过 300mm，并应迅速向四周摊开，避免堆积过高。严禁在楼承板跨中（临时支撑作为支座）部位倾倒混凝土；泵送混凝土管道支架应支撑在梁上。

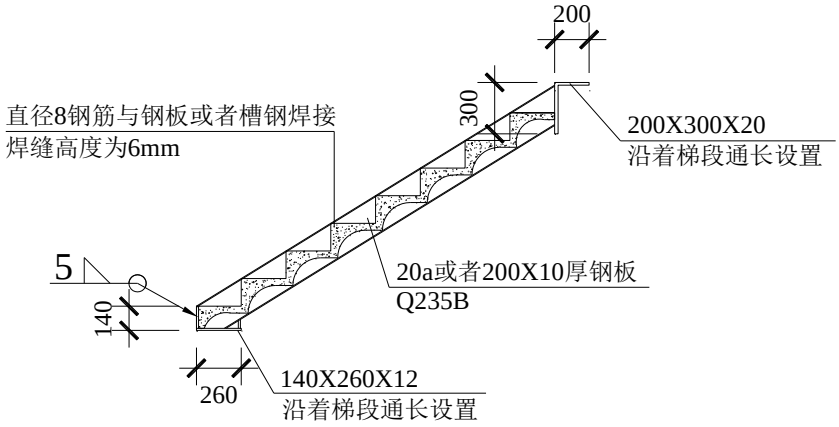
8.7 组合楼梯设计

8.7.1 钢-混凝土组合结构楼梯宜采用下图做法：

楼梯采用梁式楼梯，斜向梯梁采用钢板，两侧斜向梯梁和踏步混凝土通过栓拉筋装配成一体，斜向梯梁两侧与混凝土梁或者钢梁铰接连接。踏步起步采用滑动支座。



（a）楼梯平面布置图　　（b）楼梯剖面图



（c）楼梯剖面详图

图 8.7.1 楼梯设计详图

8.7.2 楼梯高端和低端宜采用下图做法：

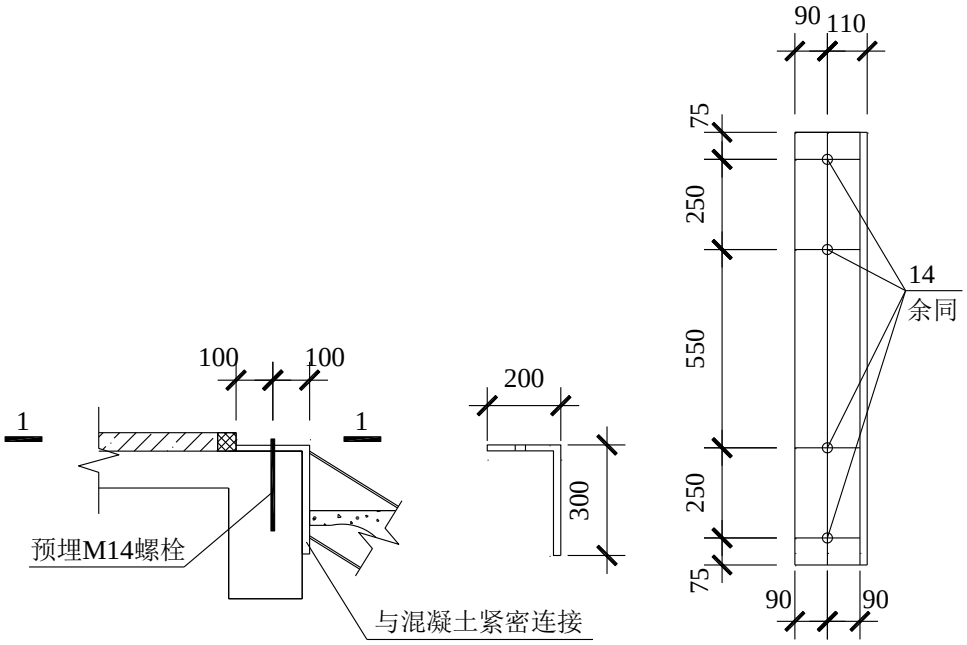


图 8.7.2-1 楼梯高端做法详图

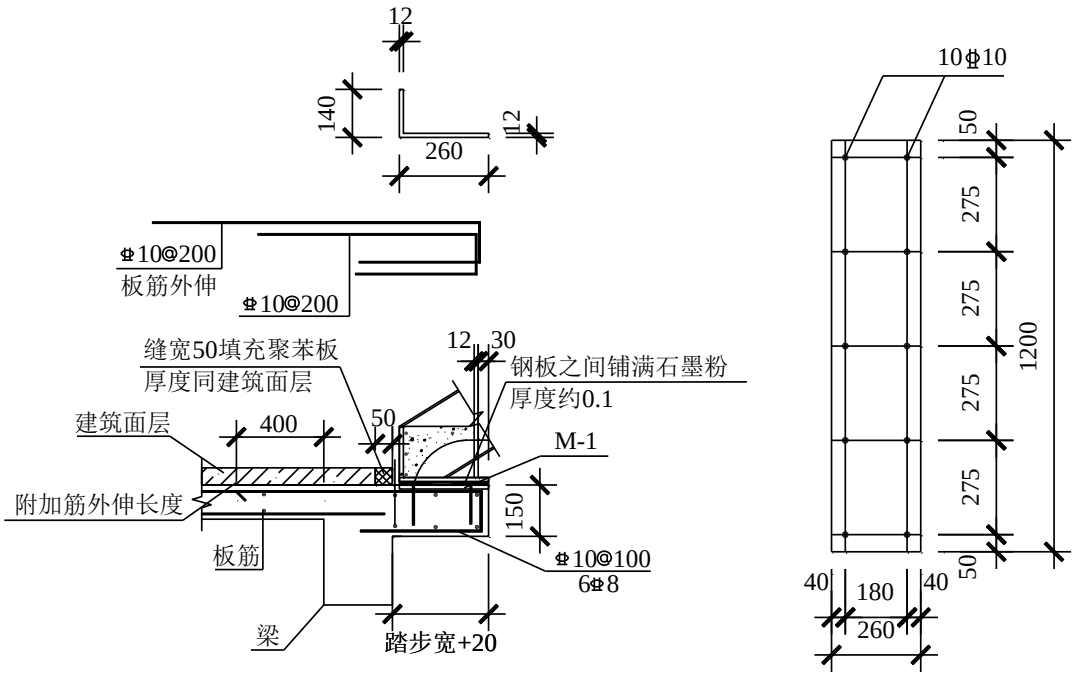


图 8.7.2-2 楼梯低端做法详图

9 防护设计

9.1 防火设计

9.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙的耐火极限宜按柱的耐火极限确定。采取防火保护措施后，构件的耐火极限应满足现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016的要求。当钢-混凝土组合管剪力墙的耐火极限满足现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 要求时，可不采取防火保护措施。连接节点的防火保护层厚度应能满足设计构件的耐火极限。

[条文说明] 根据钢-混凝土组合管剪力墙的受力特性，规定了钢-混凝土组合管剪力墙耐火极限要求。钢-混凝土组合管剪力墙主要作用是抗侧力，当不承受竖向荷载时，耐火极限可按梁的要求。当设计中钢-混凝土组合管剪力墙承受了竖向荷载，耐火极限要求可按柱的要求。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJT380 中第10.1.1 条相关规定。

对于装配式钢筋混凝土结构，其节点缝隙和明露钢支承构件部位一般是构件的防火薄弱环节，容易被忽视，而这些部位却是保证结构整体承载力的关键部位，要求采取防火保护措施。在经过防火保护处理后，该节点的耐火极限要不低于该节点部位连接构件中要求耐火极限最高者。本条参考《建筑设计防火规范》GB50016-中第 5.1.9 条相关规定。

9.1.2 钢-混凝土组合管 U 型钢应进行防火保护设计，可采用喷涂防火涂料、外包不燃材料等防火保护措施。U 型钢及钢板表面防火涂料选取应符合《钢结构防火涂料》GB 14907 及《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 中的相关要求。

[条文说明] 外包不燃材料防火保护措施主要有：浇筑混凝土或砌筑砌体、采用轻质防火厚板包敷、复合保护(在紧贴钢板用防火涂料或柔性毡状材料，用钢丝网将其固定于钢板表面，外面用防火薄板封闭)等。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/ T 380 中第 10.1.2 相关规定。

9.1.3 连接 H 钢梁外露部分应进行防火处理，也可在两侧梁窝位置填充专用防火填充板、隔墙板或 ALC 板。防火涂料施工前钢材表面的除锈应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理》GB/T 8923 的规定。防火涂料涂装应分层施工，应在前一道涂层干燥或固化后进行后一道涂层施工。

[条文说明] 预埋件和连接件等外露金属件应按不同环境类别进行封闭或防腐、防锈、防火处理，并应符合耐久性要求。本条参考《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中第 6.1.13 条的相关规定。

9.1.4 钢-混凝土组合管构件应按下列规定采取防火保护措施。钢-混凝土组合管构件的耐火极限可根据其火灾下的荷载比 n_f、墙厚 b、以及几何长细比 λ_g 计算。

9.1.5 钢-混凝土组合管构件在火灾下的荷载比应按下式计算：

$$n_f = \frac{N_f}{N_{uk,f}} \tag{9.1.5-1}$$

式中：n_f——钢-混凝土组合管构件火灾下的荷载比；

N_f——火灾下钢-混凝土组合管构件的轴心压力值；

N ——常温下钢-混凝土组合管构件的轴心受压承载力。

9.1.6 设计文件中应注明钢-混凝土组合管剪力墙的设计耐火等级、设计耐火极限，以及防火保护措施及其防火保护材料的性能要求。

9.2 防腐设计

9.2.1 钢-混凝土组合管剪力墙外部包裹混凝土，选用钢材应平直、无损伤，表面不得有裂纹、油污、颗粒状或片状老锈，钢材表面原始锈蚀等级应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理》GB/T 8923 的规定，除锈前应将钢材表面的焊渣、毛刺、块锈、油污等清除干净，除锈等级不应低于 St1 级。

[条文说明]钢筋进场时和使用前均应加强外观质量的检查。弯曲不直或经弯折损伤、有裂纹的钢筋不得使用；表面有油污、颗粒状或片状老锈的钢筋亦不得使用，以防止影响钢筋握裹力或锚固性能。本条参考了《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中第 5.2.4 条相关规定。表面处理质量对涂层质量具有重要影响，是涂层过早破坏的主要影响因素，对金属热喷涂层和其他防腐蚀覆盖层与基体的结合力也有极其重要的作用。因此，规定在涂装之前应进行表面处理。粗糙度的增加可加大金属表面积，提高涂膜的附着力，但如果过大，当涂料厚度不足时，轮廓峰顶处常会成为早期腐蚀的起点。本条参考了《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 中第 10.2.2 条相关规定。

9.2.3 本结构体系中没有混凝土包裹的钢梁应进行防腐处理，其设计及施工应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定。

9.2.4 钢梁涂装时的环境温度和相对湿度，应符合涂料产品性能要求。

9.2.5 钢梁工地焊接部位的焊缝两侧宜留出暂不涂装区，宽度可为焊缝两侧各 l00mm。焊缝两侧也可涂刷不影响焊接性能的车间底漆，焊接完毕后，对焊缝热影响区应按原涂装要求重新进行表面清理和涂装。

[条文说明] 焊缝及焊接热影响区是防腐蚀保护的薄弱环节之一，为保证防腐的质量，在焊缝两侧先预留出一定宽度，在工厂制作时暂不涂装或涂刷不影响焊接性能的车间底漆。

10 制作与施工

10.1 一般规定

10.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙的制作安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定。

10.1.2 在钢-混凝土组合管剪力墙工程施工前，应编制制作、安装工艺等文件。

10.1.3 钢—混凝土组合管剪力墙的存放、吊运及防护等应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB / T5123110.4.12 条有关规定，且应符合厂家产品说明书要求。

10.2 构件制作、吊装、运输及存放

10.2.1 钢-混凝土组合管剪力墙钢板上开孔宜采用激光或等离子切割。

10.2.2 焊缝坡口切割宜整条一次性切割，中间有缺棱时，应采用匹配的焊材补焊并打磨。

[条文说明] 热切割的坡口表面粗糙度因钢材的厚度不同，割纹深度存在差别，若出现有限深度的缺口或凹槽，可通过打磨或焊接进行修补。本条参考《钢结构焊接规范》GB50661 中 7.1.3-7.1.5 条相关规定。

10.2.3 钢-混凝土组合管剪力墙的工厂焊接，宜采用焊接变形和收缩量小且焊接残余应力低的焊接工艺。

[条文说明] 焊接变形控制主要目的是保证构件或结构要求的尺寸，但有时焊接变形控制的同时会使焊接应力和焊接裂纹倾向随之增大，应采取合理的工艺措施、装焊顺序、热量平衡等方法来降低或平衡焊接变形，避免刚性固定或强制措施控制变形。本条参考《钢结构工程施工规范》GB50755 中 6.3.15-6.3.17 条相关规定。

10.2.4 钢-混凝土组合管剪力墙单元组成部件宜分别组装、焊接，经检验合格后，再进行单元总装焊接。

10.2.5 钢-混凝土组合管剪力墙运输过程中及堆放时，宜采用专用胎架。采用专用胎架时，堆放高度不宜超过 6 层；叠放时不宜超过 3 层，且应平行堆放，对称支撑，增大支撑面积，避免钢-混凝土组合管剪力墙受挤压、碰撞构件变形及破损。

10.2.6 装卸车及吊装时，应采用牢固的绑扎方式，吊点设置宜选择保证钢-混凝土组合管剪力墙变形最小的位置。且应使用分配梁或分配桁架类吊具，加密吊点设置，并应采取必要临时加固措施，避免构件变形和损伤。

10.2.7 钢-混凝土组合管剪力墙进场后，宜集中堆放，且应符合下列规定：

1 应根据钢-混凝土组合管剪力墙安装进度计划编制零部件进场计划；

2 剪力墙单元进场后应注意存放，避免空腔内部进入积水、污物；

3 零部件应按安装逆顺序堆放，中间加垫木，并交错堆放；

4 零部件堆放时，编号、标识应外露。

[条文说明] 对钢-混凝土组合管剪力墙，在组装成剪力墙单元时，易形成封闭或半封闭腔体，在剪力墙单元进场后，为避免内部锈蚀，应及时清理内部积水和污物。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T380-2015 中第 11.3.2 条相关规定。

10.2.8 薄板焊接工艺可参考以下规定：

薄钢板焊接过程中为控制焊接应力和变形程度降至最小，保证焊缝的质量达到标准要求，宜采取合理有效的焊接工艺。

（1）焊前准备工作

①为使板材的板面平整，应尽可能降低板材的变形和应力变化。故装配前应对其表面进行矫平，同时型材在装配前也需要进行矫直。对钢板边缘宜选用剪边机以及刨边机进行加工，从而增强钢板边缘的质量并使焊接间隙的均匀性得到保证。若采用气割加工，为使切口处保持均匀，缩小热影响范围及避免重复性加热工作，宜采用较快的切割速度和小割嘴工具进行加工。

②当拼板焊接选取埋弧焊方式时，宜采用等离子切割的方法降低焊接变形程度。埋弧焊时，装配的间隙应当小于 0.5mm，其他处的焊缝间隙应当小于 2mm。另外，板口错边量应当小于 0.15t（其中 t＜8mm）。整个焊接的过程中，需保证工作场地的平整，宜在焊缝的两侧设置辅助钢材或压铁对其进行加固，有利于保证板材的刚度并且降低薄板的焊接变形。

③为减小焊件产生变形，宜将待焊接的构件固定在平台或胎架上进行焊接，等焊件上的焊缝冷却完毕后，再将固定的平台或胎架拆除即可。

④定位焊前应去除焊缝两侧的铁锈等杂质，宜采取钢丝刷、砂轮等工具对其打磨，若焊接处表面潮湿，应采用小火焰对其烘烤，尽量降低热量输入。定位焊要求较严格，需使用小电流以及小直径焊条；不能出现气孔、夹渣、烧穿等缺陷现象；间距不宜过大，定位焊的长度和间距应保持均匀一致。一般情况下，对接焊缝的定位焊长度大约为 20mm，间距为 50mm；角接缝的定位焊长度大约为 30mm，间距 60mm。定位焊工作结束后应立即焊接，原则是“当天装配当天焊接”，防止坡口污染而造成二次清理。

（2）焊接具体方法

①一般情况下，为减小板材变形，原则上采用自动焊、半自动焊、气体保护焊等工艺进行薄板焊接，当 t≥6mm 时，不允许采用焊条电弧焊。

②当采用焊条电弧焊时，选择的方法应为短电弧、不横向摆动、较快直线运条方式对其进行焊接。

③焊接时如有需要，可请多名焊工同时在对称位置进行施焊。

（3）焊接参数

①薄板采用激光焊时，宜采用偏执焊缝的形式，这样有利于限制马氏体的转变，可以消除应力，减少裂纹的产生，既可以减少淬火速率还能减少裂纹倾向。

②焊接过程中电流应尽量选用较小的参数。

③焊接的参数应提前调试正确，接着在引弧板上起弧并焊接。焊接过程中应严格按照设计要求进行，准确控制对接焊缝的宽度、余高，同时严格控制角接缝的焊脚尺寸。一般来说，焊缝的宽度范围为（1.0~2.0）t，余高范围 0~2mm，焊脚控制在规定值的 0.9~1.0 倍。

（4）焊接顺序

焊缝的焊接顺序应保证先焊接不对其余焊缝产生刚性约束的焊缝，每条焊缝焊接时至少要使其一端能自由收缩，对较长的薄板焊缝应采用分段退焊法，对称施焊，由中间向两边延伸的方式进行，从而有效避免热量过于集中在一个施焊区域及应力集中现象。

①焊条电弧焊及半自动焊时，焊缝较长时宜采取分段焊接方法，宜选取逐步退焊、跳焊法进行焊接。一般情况下，每段长度不得超过 300mm，在实际操作中焊条电弧焊的分段长度可为单根焊条所焊的焊缝长度；CO_2 半自动焊时，长度约在 500mm 左右。

②当出现构件与板缝相交情况时，应先焊板缝，接着焊构件对接缝，最后焊构件与板之间的角焊缝；针对构件间角焊缝，应先进行立角焊缝焊接，然后再进行平角焊缝焊接。

（5）焊后结构内应力消除

当焊缝满焊结束后，需要使焊缝适当的锻延，可使用锤击焊缝法（即通过圆头的小锤对焊缝进行敲击），这种方法可以使焊缝适当伸长补偿在焊接过程中所产生的收缩量，同时清理焊缝表面存留的焊渣杂质，保证焊缝饱满无缺漏。在多道焊过程中，应在每一层焊完后，使用小锤锤击焊道表面，释放残余应力。但需要注意的是，打底层和盖面层应该除外。

（6）焊接检验

焊接检验的工作须贯穿整个焊接生产过程。分为三个阶段：焊接前的检验、过程中的检验、焊接完成后的检验。检验工作重点在于焊缝的外观质量，实际中主要采用目视检测的方式，关键是查看焊缝以及附近表面处是否出现了裂纹、气孔、夹渣、飞溅以及未熔合等现象，要尽可能使焊缝的外观做到一致、均匀、美观。使用焊缝检验尺来测量焊缝余高是否符合标准要求，保证焊缝与母材圆滑过渡；对焊缝的咬边深度要求不得超过 0.1mm，其长度不得超过焊缝整体长度的 5%；对于焊缝内部的质量检测，因板材厚度偏薄，故不宜采用超声波探伤的方式，实际检测中主要以射线探伤为主的方式进行检测。

（7）激光焊接

在工厂制作中当钢板厚度小于等于 2mm 时，钢板与钢板的连接可采用激光焊接方式连接。激光焊接应符合《激光焊接工艺规程》要求。

10.3 构件施工

10.3.1 钢-混凝土组合管剪力墙应与结构框架梁同步安装施工，避免结构失稳。

10.3.2 钢梁安装应先用安装螺栓临时固定，待到剪力墙调整到位验收合格并焊接牢靠后才能用永久螺栓拧紧，最后进行翼缘板焊接；多班组作业时钢-混凝土组合管剪力墙宜对称安装。

[条文说明] 当钢-混凝土组合管剪力墙主要承受水平剪力、不承担竖向压力时，宜采用后固定法施工；当钢-混凝土组合管剪力墙既承受水平剪力，又承担竖向压力时，可与结构框架同步施工。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 中第 11.3.1 条相关规定。

10.3.3 钢-混凝土组合管剪力墙单元吊装就位后应采取临时固定措施。

[条文说明] 首单元钢板剪力墙安装时，可拉设双向缆风绳进行临时固定，缆风绳沿墙体方向成对布设，缆风绳上端直接与剪力墙吊装耳板连接，下端可设置倒链与预埋地锚相连。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T380 中第 11.3.4 条相关规定。

10.3.4 钢-混凝土组合管剪力墙、钢梁及楼承板安装施工过程中，应严格遵守国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的相关规定。

10.3.5 钢-混凝土组合管剪力墙的现场焊接应符合下列规定：

1 整体焊接时，竖向应自下而上焊接，平面上应以中心单元为基点，向两侧逐块焊接；

2 钢-混凝土组合管剪力墙上下节之间的法兰焊接时，应采用分步分段退焊的方法，减少混凝土受热；U 型钢连接接头须采用二级焊缝，并在接缝腹板位置焊接加强板。

3 钢板厚度大于 30mm 时，宜采用双面坡口焊缝，且横焊缝宜采用 K 形坡口焊缝，立焊缝宜采用 X 形坡口焊缝。

[条文说明] 焊接顺序遵循以下要求：先焊接收缩量大的焊缝；同类焊缝对称、同时、同向焊接；为减少焊接变形，原则上单块剪力墙相邻两个接头不要同时开焊，先焊接一端焊缝，同时对另一端焊缝临时固定，待焊缝冷却到常温后，再进行另一端的焊接；先焊钢板之间的纵向焊缝，再焊与钢柱连接的焊缝。本条参考《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 中第 11.3.7 条相关规定。

10.3.6 钢-混凝土组合管剪力墙的焊缝变形控制措施应符合下列规定：

1 应控制焊接线能量输入和焊接坡口间隙；

2 宜采用分段焊或间断焊工艺；

3 可采用刚性固定法或增加约束度，也可采取反变形措施。

10.3.7 钢-混凝土组合管剪力墙焊缝的端部、角部以及间距较小的焊缝和加劲肋焊缝，施焊时宜留应力释放孔。

10.3.8 钢-混凝土组合管结构的尺寸偏差及检验方法应符合表 10.3.8 的规定。

表 10.3.8 预制构件安装尺寸的允许偏差及检验方法

项目			允许偏差	检验方法(mm)
构件中心线对轴线位置	基础		15	经纬仪及尺量
	竖向构件（柱、墙、桁架）		8	
	水平构件（梁、板）		5	
构件标高	梁、柱、墙、板底面或顶面		±5	水准仪或拉线、尺量
构件垂直度	柱、墙	≤6m	5	经纬仪或吊线、尺量
		＞6m	10	
构件倾斜度	梁、桁架		5	经纬仪或吊线、尺量
相邻构件平整度	板端面		5	2m 靠尺和塞尺量测
	梁、板底面	外露	3	
		不外露	5	
	柱墙侧面	外露	5	
		不外露	8	
构件搁置长度	梁、板		±10	尺量
支座、支垫中心位置	板、梁、柱、墙、桁架		10	尺量
墙板接缝	宽度		±5	尺量

10.3.9 预制构件、安装用材料及配件等应符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的规定，并应按照国家现行相关标准的规定进行进场验收。

10.3.10 施工现场应根据施工平面规划设置运输通道和存放场地，并应符合下列规定：

1 现场运输道路和存放场地应坚实平整，并应有排水措施；

2 施工现场内道路应按照构件运输车辆的要求合理设置转弯半径及道路坡度；

3 预制构件运送到施工现场后，应按规格、品种、使用部位、吊装顺序分别设置存放场地。存放场地应设置在吊装设备的有效起重范围内，且应在堆垛之间设置通道；

4 构件的存放架应具有足够的抗倾覆性能；

5 构件运输和存放对已完成结构、基坑有影响时，应经计算复核。

[条文说明] 施工现场应根据装配化建造方式布置施工总平面，宜规划主体装配区、构件堆放区、材料堆放区和运输通道。各个区域宜统筹规划布置，满足高效吊装、安装的要求，通道宜满足构件运输车辆平稳、高效、节能的行驶要求。竖向构件宜采用专用存放架进行存放，专用存放架应根据需要设置安全操作平台。本条参

考了《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 中第 10.2.3 条相关规定。

10.3.11 安装施工前，应进行测量放线、设置构件安装定位标识。测量放线应符合现行国家标准《工程测量规范》GB50026 的有关规定。

10.4 组合管内外混凝土浇筑

10.4.1 组合管外侧混凝土在工厂预制，与组合管一体浇筑成型。外侧混凝土模板宜采用专用胎模。因组合管外侧混凝土厚度较薄，宜采用抗裂类型细石混凝土浇筑，浇筑完成后采用保湿养护或蒸压养护方式加强养护，达到设计强度后方可进行吊装、堆载、运输及使用。外侧混凝土施工应符合《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

10.4.2 组合管内的混凝土浇筑工作，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《高抛免振捣混凝土应用技术规程》JGJ/T 296 的相关规定。管内混凝土可采用从管顶向下浇筑法。

10.4.3 组合管混凝土结构浇筑应符合下列规定：

1 宜采用自密实混凝土浇筑；

2 混凝土应采取减少收缩的技术措施；

3 应在钢管壁适当位置留有足够的排气孔，排气孔孔径不应小于 20mm；浇筑混凝土应加强排气孔观察，并应确认浆体流出和浇筑密实后再封堵排气孔；

4 当采用粗骨料粒径不大于 25mm 的高流态混凝土或粗骨料粒径不大于 20mm 的自密实混凝土时，须应采取有效的减少收缩的措施。施工前应进行配合比设计，做好自密实混凝土扩展度控制，并应进行现场浇筑工艺试验，浇筑方法应与钢—混凝土组合管结构形式相适应。所采用自密实混凝土尚应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283 的有关规定。

5 混凝土从管顶向下浇筑时应符合下列规定：

1) 浇筑应有足够的下料空间，并应使混凝土充满整个钢管；

2) 输送管端内径或斗容器下料口内径应小于钢管内径，且每边应留有不小于 100mm 的间隙；

3) 应控制浇筑速度和单次下料量，并应分层浇筑至设计标高；

4) 混凝土浇筑完毕后应对管口进行临时封闭。

10.4.4 自密实混凝土浇筑应符合下列规定：

1 应根据结构部位、结构形状、结构配筋等确定合适的浇筑方案；

2 自密实混凝土粗骨料最大粒径不宜大于 20mm；

3 浇筑应能使混凝土充填到钢筋、预埋件、预埋钢构周边及钢-混凝土组合管内各部位；

4 自密实混凝土浇筑布料点应结合拌合物特性选择适宜的间距，必要时可通过试验确定混凝土布料点下料间距。

[条文说明] 按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 执行。10.4.3-10.4.4 参考《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 中第 9.3.2-9.3.3 条相关规定。

10.4.5 当混凝土浇筑到钢管顶端时，可按下列施工方法选择其中一种方式：

1 使混凝土稍微溢出后，再将留有排气孔的层间横隔板或封顶板紧压到管端，随即进行点焊；待混凝土达到设计强度的 50%后，再将横隔板或封顶板按设计要求补焊完成；

2 将混凝土浇灌到稍低于管口位置，待混凝土达到设计强度的 50%后，再用相同等级的水泥砂浆补填至管口，并按上述方法将横隔板或封顶板一次封焊到位。

10.4.6 管内混凝土的浇筑质量，可采用敲击钢管的方法进行初步检查，当有异常，可采用超声波法等进行检测。对浇筑不密实的部位，可采用钻孔压浆法进行补强，然后将钻孔进行补焊封固。

10.4.7 钢—混凝土组合管结构连接部位后浇混凝土部分的模板与支架应符合下列规定：

1 装配式混凝土结构宜采用工具式支架和定型模板；

2 模板应保证后浇混凝土部分形状、尺寸和位置准确；

3 模板与预制构件接缝处应采取防止漏浆的措施，可粘贴密封条。

[条文说明] 工具式模板与支架宜具有标准化、模块化、可周转、易于组合、便于安装、通用性强、造价低等特点。定型模板与预制构件之间应粘贴密封封条，在混凝土浇筑时节点处模板不应产生变形和漏浆。本条参考《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 中第 10.4.7 条相关规定。

10.4.8 钢—混凝土组合管结构连接部位后浇混凝土的施工应符合下列规定：

1 预制构件结合面疏松部分的混凝土应剔除并清理干净；

2 混凝土分层浇筑高度应符合国家现行有关标准的规定，应在底层混凝土初凝前将上一层混凝土浇筑完毕；

3 浇筑时应采取保证混凝土或砂浆浇筑密实的措施；

4 预制梁、柱混凝土强度等级不同时，预制梁柱节点区混凝土强度等级应符合设计要求；

5 混凝土浇筑应布料均衡，浇筑和振捣时，应对模板及支架进行观察和维护，发生异常情况应及时处理；构件接缝混凝土浇筑和振捣应采取措施防止模板、相连接构件、钢筋、预埋件及其定位件移位。

。

11 质量验收

11.1 一般规定

11.1.1 钢-混凝土组合管剪力墙结构中，钢构件的制作、安装及内膛混凝土的施工除应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 外，还应符合本节的相关规定。

11.1.2 焊接技术人员应接受过专门的焊接技术培训，且有一年以上焊接生产或施工实践经验；焊工应按所从事钢结构的钢材种类、焊接节点形式、焊接方法、焊接位置等要求进行技术资格考试，并取得相应的资格证书，其施焊范围不得超越资格证书的规定。

[条文说明] 焊接相关人员，包括焊工、焊接技术人员、焊接检验人员、无损检测人员、焊接热处理人员，是焊接实施的直接或间接参与者，是焊接质量控制环节中的重要组成部分，焊接从业人员的专业素质是关系到焊接质量的关键因素。本条参考了《钢结构焊接规范》GB50661 中第 3.0.4 条相关规定。

11.1.3 钢-混凝土组合管剪力墙结构工程施工质量验收，应在施工单位自行检验评定合格的基础上，由监理（建设）单位组织验收。其程序应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定进行验收。

11.1.4 钢-混凝土组合管剪力墙结构是钢结构工程子分部的一部分，其分项工程的划分参照《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 及《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。各分项工程中钢-混凝土组合管剪力墙结构内容应按本标准的相关规定进行检查验收，其余检查项参照现行国家规范标准执行。

[条文说明] 一般来说，钢结构作为主体结构，属于分部工程，对大型钢结构工程可按空间刚度单元划分为若干个子分部工程；当主体结构含钢筋混凝土结构、砌体结构等时，钢结构就属于子分部工程；钢结构分项工程按照主要工种、材料、施工工艺等进行划分，将分项工程划分成检验批进行验收，有助于及时纠正施工中出现的质量问题，确保工程质量，也符合施工实际需要。本条参考了《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中第 3.0.5 条相关规定。

11.1.5 钢-混凝土组合管剪力墙结构各分项工程可按楼层或施工段划分为一个或若干个检验批。

11.2 原材料及成品进场

I 主控项目

11.2.1 钢板、栓拉筋、U 型钢及焊接材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量合格证明文件，中文标志及出厂检验报告等。

11.2.2 钢材进厂后应按照《钢结构工程施工规范》GB 50755 第 5.2.3 条~第 5.2.5 条的规定进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准和设计要求。

检查数量：按照《钢结构工程施工规范》GB 50755 第 5.2.5 条的规定频次进行抽样复验。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

11.2.3 成品钢材进场后应按照《钢结构工程施工规范》GB 50755 第 5.2.3 条~第 5.2.5 条的规定对原材料进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准和设计要求。

检查数量：按照《钢结构工程施工规范》GB 50755 第 5.2.5 条的规定频次进行抽样复验。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

11.2.4 焊接材料应按照《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准和设计要求。

检查数量：按照《钢结构工程施工规范》GB50755 第 5.3.2 条规定的频次。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

[条文说明] 当预制构件的连接采取焊接或螺栓连接时应做好质量检查和防护措施。本条参考了《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中第 12.3.5 条相关规定。

II 一般项目

11.2.5 钢板的厚度及允许偏差应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 产品标准要求；冷轧钢板的厚度及允许偏差应符合现行国家标准《冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T708 产品标准要求，栓拉筋原材料应按较高精度选取。

检查数量：每批同一品种、规格的钢板抽检 10%（每批钢卷均 100%检查），且不少于 3 张（卷），每张（卷）检测 5 处。

检验方法：用游标卡尺量测或超声波测厚仪量测。

11.2.6 钢板不平度应符合其产品标准的要求。

检查数量：每一品种、规格的钢板抽检 10%，且不少于 3 张，每张检测 3 处。

检验方法：拉线、钢尺和游标卡尺。

11.2.7 U 型钢是主要受力构件，应按照《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准和设计要求。

11.2.8 钢材的表面外观质量除应符合国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

1 当钢材的表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得大于该钢材厚度

负允许偏差值的 1/2；

2 钢材表面锈蚀等级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 第 1 部分未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923 规定的 C 级及 C 级以上；

3 钢材端部或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查、观察检查。

[条文说明] 由于许多钢材基本上是露天堆放，受风吹雨淋和污染空气的侵蚀，钢材表面会出现麻点和片状锈蚀，严重者不得使用，因此本条对钢材表面缺陷做了规定。本条参考《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中第 4.2.5 条相关规定。

11.2.9 钢板与栓拉筋截面尺寸、厚度及允许偏差应符合其产品标准的要求。

检查数量：每批同一品种、规格的钢管抽检 10%，且不少于 3 根，每根检测 3 处。

检验方法：用钢尺、游标卡尺及超声波测厚仪量测。

11.2.10 钢材的表面外观质量除应符合其产品标准的规定外，尚应符合本标准 11.1.4 条规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查。

11.3 零部件加工工程

11.3.1 碳素结构钢在环境温度低于-16℃，低合金结构钢在环境温度低于-12℃时，不应进行冷矫正和冷弯曲。

检验数量：全数检查。

检验方法：检查制作工艺报告和施工记录。

[条文说明] 对冷矫正和冷弯曲的最低环境温度进行限制，是为了保证钢材在低温情况下受到外力时不致产生冷脆断裂。在低温下钢材受到外力脆断要比冲孔和剪切加工时而断裂更敏感，故环境温度应作严格限制。本条参考《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中第 11.1.3 条中的相关规定。

11.3.2 U 型钢等钢部件拼接或对接时所采用的焊缝质量等级应符合设计要求。当设计没有要求时，应采用质量等级不低于二级的全熔透焊缝。超声波探伤的质量等级、缺陷分级、探伤比例按照《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中表 5.2.4 和《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T203 执行。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查超声波探伤报告。

11.4 焊接工程

11.4.1 焊接材料与母材的匹配应符合设计文件的要求及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。焊接材料在使用前，应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘焙和存放。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明书和烘焙记录。

11.4.2 焊工必须经考试合格并取得合格证书，焊工必须在其考试合格项目及其认可范围内施焊。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查焊工合格证及其认可范围、有效期。

11.4.3 施工单位应参照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的相关规定进行焊接工艺评定，根据评定报告确定焊接工艺，编写焊接工艺规程并应遵照执行。薄板采用激光焊接应执行现行国家标准《激光焊接工艺规程》GB/T19867.4-相关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查焊接工艺评定报告、焊接工艺规程和焊接作业记录。

11.4.4 设计要求全熔透的一、二级焊缝应按照国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203 的要求进行无损检测，其结果应符合国家现行标准和设计要求。

检查数量：按规范要求执行。

检验方法：检查超声波探伤记录。

11.4.5 T 形接头、十字形接头、角接接头等要求焊透的对接与角接组合焊缝，其加强焊脚尺寸应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的要求。

检查数量：资料全数检查；同类焊缝抽查 10%，且不应少于 3 条。

检验方法：观察检查，用焊缝量规抽查测量。

[条文说明] 对 T 形接头、十字接头、角接接头等要求焊透的对接与角接组合焊缝，为减少应力集中，同时确保焊缝强度要求，参照国内外相关规范的规定，确定了对不同焊脚尺寸的要求。本条参考《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中第 5.2.6 条相关规定。

11.4.6 焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷。

检查数量：每批同类构件抽查 10%，且不应少于 3 件；被抽查构件中， 每一类型焊缝按条数抽查 5%，且不应少于 1 条； 每条检查 1 处，总抽查数不应少于

10 处。

检验方法：观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查，当存在疑义时，采用渗透或磁粉探伤检查。

11.5 组合管内外混凝土工程

I 主控项目

11.5.1 组合管内混凝土的强度等级应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查试件强度试验报告。

11.5.2 组合管构件内混凝土应连续浇筑，当必须间歇时，间歇时间不得超过混凝土的初凝时间。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

11.5.3 组合管内混凝土浇筑应密实。

检查数量：1、检测批的最小样本容量不宜小于现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344 的规定，测区数量尚应满足此标准对计量抽样推定区间的要求；

2、按单个构件检测时，应在构件上均匀布置测区，每个构件上应布置 10 个测区（每个测区应有 2 个相对的测面），小构件可布置 5 个测区；

3、同批构件按批抽样检测时，构件抽样数不应少于同批构件的 30%，且不应少于 10 件；对一般施工质量的检测和结构性能的检测，可按照现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344 的规定抽样。

检验方法：采用超声波检查。

[条文说明] 应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 和现行标准《超声回弹综合法检测砼强度技术规程》CECS 02 有关规定。

检验方法：采用超声波检查。

11.5.4 组合管内的插筋规格、数量、性能应符合设计要求及现行国家有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、钢尺量测。

II 一般项目

11.5.5 组合管内混凝土浇筑面与对接接口距离应不小于 300mm，以防组合管焊接时高温影响内膛混凝土质量。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、尺量检查，检查施工记录。

11.5.6 组合管内的混凝土浇筑方法及浇灌孔、排气孔的留置应符合设计及专项施

工方案的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

11.5.7 组合管内混凝土浇筑前，应对组合管安装质量检查确认，并应清理组合管内水及腔内杂物；混凝土浇筑后应对管口进行临时封闭。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 标准中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1.《建筑结构荷载规范》GB 50009
2.《混凝土结构设计规范》GB 50010
3.《建筑抗震设计规范》GB 50011
4.《建筑设计防火规范》GB 50016
5.《钢结构设计标准》GB 50017
6.《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018
7.《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068
8.《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
9.《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
10.《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
11.《钢结构焊接规范》GB 50661
12.《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
13.《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
14.《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232
15.《组合结构通用规范》GB 55004
16.《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
17.《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
18.《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
19.《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
20.《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
21.《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1
22.《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11
23.《紧固件公差螺栓、螺钉、螺柱和螺母》GB/T 3103.1
24.《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
25.《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
26.《低合金钢焊条》GB/T 5118
27.《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合》GB/T 5293
28.《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780
29.《六角头螺栓》GB/T 5782
30.《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
31.《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045
32.《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433

33.《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470
34.《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
35.《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493
36.《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905
37.《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
38.《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
39.《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
40.《组合结构设计规范》JGJ 138
41.《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
42.《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380
43.《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546
44.《高层建筑钢-混凝土混合结构技术规程》DBJ/T 15-128