



CECS 43-202X

中国工程建设标准化协会标准

摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构

技术规程

Technical specification for friction-damped self-centering
reinforced concrete shear wall structures

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构
技术规程

Technical specification for friction-damped self-centering
reinforced concrete shear wall structures

CECS 43-202X

主编单位：东南大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 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订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]12 号）的要求，标准编制组经深入调查研究、广泛收集资料、认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订了本规程。

本规程共分 8 章，主要包括：总则，术语和符号，材料，结构设计，构造措施，构件制作，结构施工，验收和维护。

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，由东南大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位：东南大学土木工程学院（地址：南京市江宁区东南大学路 2 号，邮编：211189）。

主编单位： 东南大学

参编单位： 河海大学

北京工业大学

中国江苏国际经济技术合作集团有限公司

南京长江都市建筑设计股份有限公司

江苏省建筑科学研究院

扬州大学

金陵科技学院

江苏诚晖工程技术有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 录

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	3
2.1 术语.....	3
2.2 符号.....	3
3 材料.....	6
3.1 混凝土、普通钢筋和钢材	6
3.2 预应力筋和锚具.....	7
3.3 摩擦耗能材料	7
3.4 连接材料	8
4 结构设计.....	9
4.1 一般规定	9
4.2 结构分析	11
4.3 预制墙板设计	12
4.4 连接设计	13
4.5 楼盖设计	18
5 构造措施.....	19
5.1 一般规定	19
5.2 连接节点构造规定.....	19
5.3 楼盖连接构造规定.....	20
6 构件制作.....	25
6.1 一般规定	25
6.2 构件的生产	25
6.3 构件的运输与堆放.....	26
7 结构施工.....	28
7.1 一般规定	28
7.2 施工流程	29
7.3 构件吊装	29
7.4 施工安装	30
8 验收和维护.....	32
8.1 一般规定	32

8.2 质量验收	32
8.3 维护要求	36
本规程用词说明.....	38
引用标准名录.....	39

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	3
2.1 Terms.....	3
2.2 Symbols.....	3
3 Materials.....	6
3.1 Concrete, Reinforcement and Steel.....	6
3.2 Unbonded Prestressed Tendons and Anchorages	7
3.3 Friction Materials	7
3.4 Connection Materials	8
4 Structural Design.....	9
4.1 General Requirements.....	9
4.2 Structural Analysis.....	11
4.3 Precast Shear Wall Panel Design.....	12
4.4 Connections Design	13
4.5 Slab Design	18
5 Detailing Requirements.....	19
5.1 General Requirements.....	19
5.2 Connection Detailing Requirements.....	19
5.3 Slab Detailing Requirements.....	20
6 Production	25
6.1 General Requirements.....	25
6.2 Manufacturing	25
6.3 Transportation and Storage	26
7 Construction	28
7.1 General Requirements.....	28
7.2 Construction Process.....	29
7.3 Hoisting	29
7.4 Installation.....	30
8 Acceptance and Maintenance.....	32
8.1 General Requirements.....	32

8.2 Quality Acceptance	32
8.3 Maintenance Requirements	36
Explanation of Wording in This Specification.....	38
List of Quoted Standards.....	39

1 总则

1.0.1 为规范和促进摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构的推广应用，减轻地震后的结构破坏和经济损失，贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量，制定本规程。

[条文说明] 制定本规程的目的，是为了减小钢筋混凝土剪力墙结构在地震作用下的破坏程度、保障生命安全和推动先进抗震技术的工程应用，以获得更好的经济效益和社会效益。

摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构（图 1）采用无粘结预应力筋对预制的整片（或分段）混凝土墙体进行拼装和预压，墙体与基础不固结。另外，在墙体两侧分别设置底部铰接的端柱，墙体与铰接端柱之间设有摩擦型耗能装置。在较小的地震作用下，由于预应力的存在，墙体底部和基础的接触面保持闭合；当地震作用超过一定幅值时，接触面张开，摩擦型耗能装置在墙体与两侧端柱发生竖向相对错动时产生滑动摩擦耗散地震能量。震后，在预应力的作用下，墙体恢复至初始的竖直位置（即具有自复位能力）。

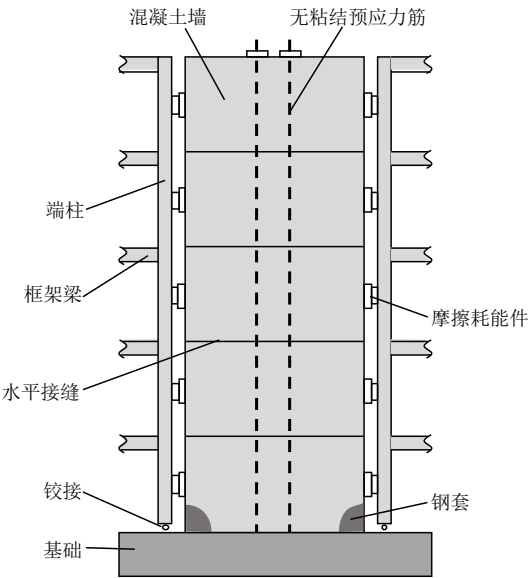


图 1 摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构示意图

摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构在结构形式上源于国内外 20 世纪 90 年代初开始研究的无粘结预应力混凝土剪力墙结构。在早期的无粘结预应力混凝土剪力墙结构中，预制混凝土墙体采用无粘结预应力筋和内置式耗能钢筋进行连接。其中，无粘结预应力筋提供结构的自复位能力；耗能钢筋（设置于墙体与基础之间）则用于吸收和耗散地震能量。本规程中，为了便于耗能装置的安装和更换，自复位混凝土剪力墙结构采用外置的摩擦型耗能装置；同时在墙体的两个墙角处通过预埋钢套等形式适当加强，以防止或减小墙体在转动时出现混凝土的局压破坏。

国内外早期研究无粘结预应力混凝土剪力墙结构的主要目的是为了改善预制装配式混凝土结构的抗震性能，以推广预制装配式混凝土结构的应用，促进建筑工业化。后来研究人员发现这种能够显著减小震后

残余变形（即具有优越的自复位能力）的高性能抗震结构具有重要的理论研究价值和广泛的应用前景，故提出了自复位混凝土剪力墙结构的概念。近年来，针对摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构，编制组进行了大量的探索与实践，并从实验室测试、抗震设计方法、抗震性能的数值评估和试点应用等方面，进行了系统的研究和实践。根据编制组和国内外相关研究成果，摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构具有与传统现浇钢筋剪力墙结构相当的承载力和延性，同时能够显著减少结构在强震作用下的残余变形、结构损伤以及震后经济损失。

目前，国内外与自复位混凝土剪力墙结构的相关标准规范主要有新西兰混凝土结构标准《New Zealand Standard - Concrete Structures Standard - Part 1 - The Design of Concrete Structures》（NZS 3101:Part 1:2006）中附录 B《Special Provisions for the Seismic Design of Ductile Jointed Precast Concrete Structural Systems》和美国 ACI 标准《Requirements for Design of a Special Unbonded PostTensioned Precast Shear Wall Satisfying ACI ITG-5.1（ACI ITG-5.2-09）and Commentary》（Innovation Task Group 5（ITG-5））。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为 6 度至 8 度地区的摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构的设计、构件制作、施工、验收与维护。

[条文说明] 一般情况下，建筑的抗震设防烈度应根据中国地震动参数区划图确定。对于摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构在抗震设防烈度为 9 度地区的工程应用，需对其抗震性能和抗震措施进行必要的试验和分析等研究，经有关单位审查认可，有充分依据并采取可靠的抗震措施。

1.0.3 摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构的设计、构件制作、施工、验收与维护，除应符合本规程的要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 摩擦耗能式自复位混凝土剪力墙结构 **friction-damped self-centering reinforced concrete shear wall structure**

预制墙板通过竖向无粘结预应力筋与基础相连，墙板底部与基础之间脱开。同时，在墙体的两侧设置底部为铰接的端柱，墙板与端柱之间设有摩擦型耗能装置。其中，无粘结预应力筋提供结构在地震作用下的复位能力，而摩擦型耗能装置则用于吸收和耗散地震能量。本规程以下简称“自复位混凝土剪力墙结构”。

2.1.2 预制墙板 **precast reinforced concrete wall panel**

由预制构件厂加工制作的钢筋混凝土墙板构件制品。

2.1.3 摩擦型耗能装置 **friction energy dissipation device**

由钢元件、摩擦片和预压螺栓等组成，设置于预制墙板和端柱之间的装置，在地震作用下可利用预制墙板和端柱之间的竖向相对位移引起摩擦片之间的滑动摩擦来吸收和耗散地震能量。

2.1.4 阻尼比 **damping ratio**

实际阻尼与临界阻尼的比值。

2.1.5 残余变形 **residual deformation**

结构在荷载作用下产生变形，卸载至初始状态后不能恢复的变形量。

2.1.6 摩擦耗能率 **friction energy dissipation ratio**

自复位混凝土剪力墙中摩擦型耗能装置提供的首层墙板底部截面受弯承载力与首层墙板底部截面总受弯承载力的比值。

2.1.7 钢筋套筒灌浆连接 **rebar splicing by grout-filled coupling sleeve**

在金属套筒中插入钢筋并注入水泥基灌浆料，硬化后的灌浆料与金属套筒、钢筋形成整体并实现传力的钢筋对接连接方式。

2.1.8 钢筋约束浆锚连接 **rebar lapping in grout-filled hole**

在预制墙板的预留孔道中插入钢筋，并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋搭接连接方式。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

- E_c ——混凝土弹性模量；
 E_{PT} ——预应力筋弹性模量；
 E_s ——连接钢筋弹性模量；
 f_c ——混凝土抗压强度设计值；
 f_{cc} ——约束混凝土抗压强度设计值；
 f_{ptk} ——预应力筋极限强度标准值；
 f_{sy} ——连接钢筋抗拉强度设计值；
 f_{yh} ——约束箍筋抗拉强度设计值。

2.2.2 几何参数

- A_{PT} ——预应力筋总截面积；
 $A_{s,u}$ ——第u层墙板受拉/受压连接钢筋的截面积；
 H_w ——自复位混凝土剪力墙的高度；
 L_c ——楼盖现浇柔性连接区的计算跨度；
 L_{PT} ——预应力筋长度；
 L_w ——墙板长度；
 c ——首层墙板底部截面混凝土受压区长度；
 c_m ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面混凝土受压区长度；
 $c_{m,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面混凝土受压区长度；
 d ——受拉/受压连接钢筋距墙板边缘的水平距离；
 d_f ——墙板与摩擦件之间的水平距离；
 h_{cc} ——约束箍筋区的高度；
 l_{cc} ——约束箍筋区的宽度；
 t_w ——墙板厚度；
 z ——墙板中心线与受压区混凝土合力作用点之间的水平距离；
 θ_m ——罕遇地震作用下墙底-基础接触面的张开角度。

2.2.3 作用和作用效应

- F_f ——单个摩擦耗能装置提供的摩擦力；
 M ——首层墙板底部截面受弯承载力；
 M_f ——摩擦耗能装置贡献的受弯承载力；
 M_m ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受弯承载力；
 $M_{m,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受弯承载力；
 M_G ——重力荷载贡献的受弯承载力；
 M_{PT} ——预应力筋贡献的受弯承载力；
 N_c ——首层墙板底部截面受压区混凝土所受压力；
 N_{cm} ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受压区混凝土所受压力；
 $N_{cm,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压区混凝土所受压力；

- N_G ——首层墙板所受重力荷载；
 $N_{G,u}$ ——第u层墙板所受重力荷载；
 R ——构件承载力设计值；
 S ——作用组合的效应设计值；
 $\sigma_{c,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压区混凝土最大应力；
 σ_{PTi} ——预应力筋初始应力；
 σ_{PTm} ——罕遇地震作用下预应力筋应力；
 $\sigma_{sc,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压连接钢筋应力；
 $\sigma_{st,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受拉连接钢筋应力；
 $\varepsilon_{conc,m}$ ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受压区混凝土最大应变；
 ε_{cu} ——约束混凝土的极限压应变；
 ε_{PTm} ——罕遇地震作用下因墙底张开引起的预应力筋附加应变；
 ε_{su} ——约束箍筋的极限拉应变；
 ε_{unconf} ——无约束混凝土的极限压应变；
 δ_{PTm} ——罕遇地震作用下因墙底张开引起的预应力筋附加变形。

2.2.4 计算系数及其它

- n_f ——墙板单侧设置摩擦耗能装置的数量；
 $n_{f,u}$ ——第u层以上墙板单侧摩擦耗能装置的数量；
 α_1 ——首层墙板底部截面受压区混凝土等效矩形应力图系数；
 β_1 ——首层墙板底部截面受压区混凝土等效矩形应力图系数；
 β_E ——摩擦耗能率；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_{RE} ——结构构件承载力抗震调整系数；
 μ_s ——各层墙板底部接触面的摩擦系数；
 ψ ——受剪强度折减系数。

3 材料

3.1 混凝土、普通钢筋和钢材

3.1.1 自复位混凝土剪力墙结构中，预制混凝土墙板的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30；抗震设防烈度为 8 度时，预制混凝土墙板的混凝土强度等级不宜超过 C70；端柱采用钢管混凝土时，混凝土的强度等级应与钢材强度相匹配，不得使用对钢管有腐蚀作用的外加剂，混凝土的抗压强度和弹性模量应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；端柱采用钢筋混凝土材料时，其混凝土强度等级宜与预制混凝土墙板相同。

[条文说明] 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 4.1.2 条规定，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。根据现行行业标准《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T 140 第 3.3.1 条规定，抗震设防烈度为 8 度时，预应力混凝土结构构件的混凝土强度等级不宜超过 C70。

3.1.2 自复位混凝土剪力墙结构用钢筋应符合下列规定：

- 1 纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋。
- 2 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋。
- 3 钢筋焊接网应符合《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的有关规定。

[条文说明] 参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 4.2.1 条规定，根据“四节一环保”要求，提倡应用高强、高性能钢筋。预制剪力墙构件的受力配筋应优先采用 400MPa、500MPa 级高强钢筋。

箍筋用于抗剪、抗扭及抗冲切设计时，其抗拉强度设计值发挥受到限制，不宜采用强度高于 400MPa 级的钢筋。当用于约束混凝土的间接配筋（如连续螺旋配箍或封闭焊接箍）时，钢筋的高强度可以得到充分发挥，采用 500MPa 级钢筋具有一定的经济效益。

鼓励在预制混凝土剪力墙中采用钢筋焊接网，有利于节省材料、方便施工、提高工程质量。

3.1.3 自复位混凝土剪力墙结构用钢板应符合下列规定：

- 1 端柱宜采用型钢或钢管混凝土，其中的钢材宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420、Q460 和 Q345GJ 钢。
- 2 焊接起承重作用的钢板，宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420 和 Q460 钢。
- 3 处于外露环境，且对耐腐蚀有特殊要求或处于侵蚀性介质环境中的钢板，宜采用 Q355NH 和 Q415NH 牌号的耐候结构钢，其质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 的规定。

3.2 预应力筋和锚具

3.2.1 预应力筋宜采用钢绞线，其力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定，外包层材料性能及涂包质量应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG 161 的规定，防腐油脂质量应符合现行行业标准《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430 的规定。

[条文说明] 目前在建筑工程中，应用最广泛的是预应力钢绞线，而预应力钢丝和预应力螺纹钢的应用越来越少。

3.2.2 钢绞线弹性模量 E_{PT} 宜取 $1.95 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，也可采用弹性模量的实测值。

3.2.3 预应力筋所用锚具、夹具和连接器的形式和质量应符合国家现行有关标准的规定。

[条文说明] 预应力锚具应根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的有关规定选用，并满足相应的质量要求。

3.2.4 预应力筋-锚具组装件应保证在 50 个荷载循环下锚具夹持区域内的预应力筋不发生破断。其中，荷载循环的加荷速度宜为 $100 \text{ MPa/min} \sim 200 \text{ MPa/min}$ ；荷载循环中的荷载幅值应控制为预应力筋抗拉强度的 $40\% \sim 80\%$ 。

[条文说明] 为保证自复位混凝土剪力墙结构用预应力筋-锚具组装件在遭受地震作用时的性能，本条规定了预应力筋-锚具组装件的抗震周期性能的试验要求。

3.3 摩擦耗能材料

3.3.1 摩擦型耗能装置中的摩擦材料可选择钢材、黄铜、铝等金属材料及非石棉纤维等非金属材料等。

3.3.2 摩擦型耗能装置中的摩擦材料应符合下列规定：

1 摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，并应满足摩擦型耗能装置预压力作用下的强度要求。钢材摩擦面的摩擦系数可根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 第 11.4.2 条确定；其它摩擦材料的摩擦系数可根据摩擦材料和对偶材料的组合试验数据得到。

2 黄铜的牌号宜采用 H59 及以上，材料性能应符合现行国家标准《铜及铜合金板材》GB/T 2040 的要求。

3 铝的牌号宜采用 1050 及以上，材料性能应符合现行国家标准《一般工业用铝及铝合金板、带材》GB/T 3880 的要求。

4 非石棉纤维宜采用无石棉有机物型材料，材料性能应符合现行国家标准《汽车用制动

器衬片》GB 5763 的要求。

3.4 连接材料

3.4.1 钢筋套筒灌浆连接接头采用的套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的有关规定。

3.4.2 钢筋套筒灌浆连接接头采用的灌浆料应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的有关规定。

3.4.3 钢筋浆锚搭接连接接头采用的镀锌金属波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225 的有关规定。镀锌金属波纹管的钢带厚度不宜小于 0.3mm，波纹高度不应小于 2.5mm。

3.4.4 钢筋浆锚搭接连接接头应采用水泥灌浆料，并应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的有关规定。

3.4.5 受力预埋件的锚板及锚筋材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

3.4.6 连接用焊接材料，螺栓、锚栓等紧固件材料应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 等的规定。

3.4.7 自复位混凝土剪力墙与楼盖现浇柔性连接区采用的高延性纤维增强水泥基复合材料，在轴心拉力作用下极限延伸率不应低于 0.5%，且平均裂缝宽度不应大于 200μm，试验方法应参照现行行业标准《高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法》JC/T 2461 的有关规定。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 自复位混凝土剪力墙结构的平面布置宜简单、规则，并应具有良好的整体性；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向上均匀变化、避免侧向刚度和承载力发生突变。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构的平面和竖向布置应符合抗震概念设计的要求，具有合理的刚度、质量和承载力分布。

4.1.2 按本规程进行抗震设计的自复位混凝土剪力墙结构，其房屋最大高度不应超过表 4.1.2 所规定的限值。

表 4.1.2 自复位混凝土剪力墙结构适用的最大高度（m）

抗震设防烈度	6	7	8 (0.2g)	8 (0.3g)
最大高度	42	36	30	24

[条文说明] 本条规定自复位混凝土剪力墙结构最大适用高度是根据国内外工程实践，以及采用非线性动力时程分析方法得到的自复位混凝土剪力墙结构在不同水准地震作用下的结构响应，综合考虑设计、施工及造价等因素来确定的。如果自复位混凝土剪力墙结构体系的高度超限，需要专门研究和论证。

2009 年建成的位于新西兰威灵顿市的 Alan MacDiarmid Building 和 2010 年建成的位于新西兰南岛的 Southern Cross Hospital 均采用了自复位混凝土剪力墙结构，有效提高了结构的抗震性能。考虑到自复位混凝土剪力墙结构体系在我国的工程经验相对欠缺，对其适用的最大高度进行了限制规定。

4.1.3 自复位混凝土剪力墙结构的高宽比不宜小于 2，且不宜超过表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 自复位混凝土剪力墙结构的最大高宽比

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
最大高宽比	6	6	5

[条文说明] 本条规定了自复位混凝土剪力墙结构的最小高宽比，以保证结构在水平力作用下的整体变形主要由墙板的弯曲变形和墙底面张角引起的刚体变形控制。自复位混凝土剪力墙结构的最大高宽比参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 第 6.1.2 条中关于装配整体式剪力墙结构的有关规定。

4.1.4 自复位混凝土剪力墙结构应根据设防类别、烈度和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要求：

1 丙类建筑的抗震等级应按表 4.1.4 确定；

2 甲、乙、丁类建筑，应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的规定确定抗震设防标准，并按表 4.1.4 确定抗震等级；

3 接近或等于高度分界时,应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级;

4 建筑场地为 I 类时,对甲、乙类建筑应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施;对丙类建筑,除抗震设防烈度为 6 度外应允许按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施。

表 4.1.4 自复位混凝土剪力墙结构的抗震等级

抗震设防烈度	6		7		8	
高度 (m)	≤18	>18	≤18	>18	≤18	>18
抗震等级	四	三	三	二	二	一

4.1.5 自复位混凝土剪力墙结构的作用和作用组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算时,荷载和地震作用的取值及其组合均应按国家现行相关标准确定。

4.1.6 自复位混凝土剪力墙结构应有良好的变形能力。当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震时,墙底-基础接触面不应张开;当遭受相当于本地区设防烈度的设防地震时,墙底-基础接触面应能够张开,摩擦型耗能装置应吸收和耗散地震能量。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构将无粘结预应力技术和耗能减震技术应用于预制装配式混凝土剪力墙结构。地震中,当墙体的倾覆弯矩超过一定幅值时,墙体底部与基础接触面发生相对转动,摩擦型耗能装置在墙体与两侧端柱发生竖向相对错动时产生滑动摩擦耗散地震能量。自复位混凝土剪力墙结构中墙体底部与基础接触面的张开将导致结构抗侧刚度的显著降低,使结构的变形需求增大。因此,当自复位混凝土剪力墙结构遭受低于本地区设防烈度的多遇地震时,为控制结构在地震中的最大变形,墙体底部与基础接触面不应张开。当自复位混凝土剪力墙结构遭受相当于本地区设防烈度的设防地震时,墙体底部与基础接触面应能够张开,使结构周期延长,降低地震作用,同时利用摩擦型耗能装置吸收和耗散地震能量,以降低结构在地震中的最大变形。

4.1.7 按本规程进行抗震性能设计的自复位混凝土剪力墙结构,除有特殊要求外,其基本的设防目标是:当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震时,主体结构不受损坏;当遭受相当于本地区设防烈度的设防地震时,主体结构损坏很小,无需修复可继续使用;当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震时,主体结构可能发生一定程度的损坏,经修复后可继续使用。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构将无粘结预应力技术和耗能减震技术应用于预制装配式混凝土剪力墙结构,可使结构在遭受罕遇地震作用后,结构损伤较低,残余变形较小,建筑内部的各种设备仍能正常运转,经过简单维修仍能继续使用。因此,采用自复位混凝土剪力墙结构的建筑,当遭遇本地区的多遇地震、设防地震和罕遇地震影响时,可按高于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的基本抗震设防目标

进行设计。

国内外相关研究和震害经验表明，自复位混凝土剪力墙结构具有良好的抗震性能。遭遇强震作用时，采用自复位混凝土剪力墙结构的建筑往往可以成为避难和救灾中心。2011年2月22日12时51分，新西兰第二大城市 Christchurch 发生里氏 6.3 级强烈地震，震源深度约 5 公里，其后发生多次余震，最大余震 5.7 级。Christchurch 地震对当地的中心商务区造成了重大影响，中心商务区的地震动峰值加速度在 0.4g~0.7g 之间，地震中大量传统的现浇钢筋混凝土结构遭到了严重的破坏，但采用自复位抗震技术的 Southern Cross Hospital 却表现出了预期的良好抗震性能。建于 2010 年的 Southern Cross Hospital 位于新西兰南岛，为自复位混凝土框架-剪力墙结构。在 Christchurch 地震中，Southern Cross Hospital 遭遇了相当于当地罕遇地震强度的作用，但仍能在震后维持医疗设备的正常运行，结构损伤和维修难度均较小，说明自复位混凝土剪力墙结构的抗震性能经受住了实际强震的考验。

4.1.8 自复位混凝土剪力墙结构中摩擦耗能装置的布置应符合下列规定：

- 1 摩擦耗能装置应对称布置于预制墙板两侧，并使结构沿高度方向刚度均匀；
- 2 摩擦耗能装置的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明摩擦耗能装置使用的环境、检查和维护要求。

4.2 结构分析

4.2.1 自复位混凝土剪力墙结构的承载力应按下列公式验算：

持久、短暂设计状态

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.1-1)$$

地震设计状况

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (4.2.1-2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数；

S ——作用组合的效应设计值，对持久、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 对自复位混凝土剪力墙结构进行多遇地震下的内力和变形分析时，可建立与现浇钢筋混凝土剪力墙结构相同的分析模型，采用线性静力方法或线性动力方法进行计算。

4.2.3 对自复位混凝土剪力墙结构进行设防地震和罕遇地震作用下的内力和变形分析时，可采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法；计算模型应符合结构的实际工作状况，考虑墙底-基础接触面张开/闭合效应和摩擦耗能装置的能量耗散作用，并符合下列规定：

- 1 剪力墙和楼板宜采用弹塑性壳单元，端柱可采用纤维截面模型；材料本构关系模型的

基本参数选择应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

2 墙底-基础接触面的张开/闭合可采用抗压不抗拉的接触单元模拟，接触单元的刚度可根据试验研究确定；

3 预应力筋计算模型可采用索单元，或转化为具有同等效果的等效荷载作用；

4 摩擦型耗能装置可采用理想弹塑性模型，模型参数宜经试验验证。

4.2.4 自复位混凝土剪力墙结构的阻尼比可采用 0.03。水平地震影响系数曲线应根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定，并根据阻尼比进行调整。

4.2.5 自复位混凝土剪力墙结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算和罕遇地震作用下的弹塑性变形验算，楼层内最大层间位移角应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。当需要采用残余变形确定结构的震后性能时，自复位混凝土剪力墙结构在设防地震和罕遇地震作用下的残余层间位移角应分别不超过 2‰和 5‰。

4.3 预制墙板设计

4.3.1 自复位混凝土剪力墙结构预制墙板的设计应符合下列规定：

1 对持久设计状况，应对预制墙板进行承载力、变形、裂缝控制验算，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

2 对地震设计状况，应对预制墙板进行承载力验算，并满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；

3 对制作、运输和堆放、安装等短暂设计状况下的预制墙板验算，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

4.3.2 自复位混凝土剪力墙宜采用一字形，厚度不应小于 140mm 且不宜小于层高的 1/20；底部加强部位的墙厚，不应小于 160mm。

4.3.3 自复位混凝土剪力墙结构的首层墙板底部墙角应设置高体积配箍率的约束箍筋，并满足下列要求：

$$\text{约束箍筋区的高度} \quad h_{cc} = 0.06H_w \quad (4.3.3-1)$$

$$\text{约束箍筋区的宽度} \quad l_{cc} = c_m \left(1 - \frac{\varepsilon_{unconf}}{\varepsilon_{conc,m}}\right) \quad (4.3.3-2a)$$

$$\varepsilon_{conc,m} = \frac{2\theta_m c_m}{h_{cc}} - \varepsilon_{unconf} \quad (4.3.3-2b)$$

$$\text{约束箍筋区的体积配箍率} \quad \rho_s = \frac{(\varepsilon_{cu} - 0.004) f_{cc}}{1.4 f_{yh} \varepsilon_{su}} \quad (4.3.3-3)$$

式中： H_w —— 自复位混凝土剪力墙的高度；

- c_m ——罕遇地震作用下首层墙板底部混凝土受压区长度，可根据公式(4.4.5)计算；
 ε_{unconf} ——无约束混凝土的极限压应变；
 $\varepsilon_{conc,m}$ ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受压区混凝土最大应变；
 θ_m ——罕遇地震作用下墙底-基础接触面的张开角度，可取 0.02 rad；
 ε_{cu} ——约束混凝土的极限压应变；
 f_{cc} ——约束混凝土抗压强度设计值；
 f_{yh} ——约束箍筋抗拉强度设计值；
 ε_{su} ——约束箍筋的极限拉应变。

4.3.4 自复位混凝土剪力墙结构预制墙板之间的纵向连接钢筋采用套筒灌浆连接时，自套筒底部至套筒顶部并向上延伸 300mm 范围内，预制剪力墙的水平分布钢筋应加密布置，加密区水平分布钢筋的直径不应小于 8mm，水平分布钢筋的间距在抗震等级为一、二级时不应小于 100mm，三、四级时不应大于 150mm；套筒上端第一道水平分布钢筋距离套筒顶部不应大于 50mm。

4.4 连接设计

4.4.1 自复位混凝土剪力墙结构的首层墙板底部截面受弯承载力 M 应按下式计算：

$$M = M_{PT} + M_G + M_f \quad (4.4.1-1)$$

$$M_{PT} = A_{PT} \sigma_{PTi} z \quad (4.4.1-2)$$

$$M_G = N_G z \quad (4.4.1-3)$$

$$M_f = n_f F_f (L_w + 2d_f) \quad (4.4.1-4)$$

$$z = \frac{L_w}{2} - \frac{c}{3} \quad (4.4.1-5)$$

$$N_c = A_{PT} \sigma_{PTi} + N_G = 0.5 f_c t_w c \quad (4.4.1-6)$$

- 式中， M_{PT} ——预应力筋贡献的受弯承载力；
 M_G ——重力荷载贡献的受弯承载力；
 M_f ——摩擦耗能装置贡献的受弯承载力；
 N_c ——首层墙板底部截面受压区混凝土所受压力；
 z ——墙板中心线与受压混凝土合力作用点之间的水平距离；
 A_{PT} ——预应力筋总截面积；
 σ_{PTi} ——预应力筋扣除预应力损失后的初始有效应力，根据设计确定且不应小于 $0.4f_{ptk}$ ， f_{ptk} 为预应力筋极限强度标准值，预应力损失可按照现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92第5.1节进行计算；
 N_G ——首层墙板所受重力荷载；

- n_f —— 墙板单侧设置摩擦耗能装置的数量；
 F_f —— 单个摩擦耗能装置提供的摩擦力；
 L_w —— 墙板长度；
 d_f —— 墙板与摩擦件之间的水平距离；
 c —— 首层墙板底部截面混凝土受压区长度；
 f_c —— 混凝土抗压强度设计值；
 t_w —— 墙板厚度。

【条文说明】根据自复位混凝土剪力墙结构的基本构造，首层墙板底部截面受弯承载力有三部分组成：预应力筋贡献的受弯承载力、重力荷载贡献的受弯承载力和摩擦耗能装置贡献的受弯承载力。如图 4.4.1 所示，假设预应力筋位于墙板中心线，根据力矩平衡可以得到公式(4.4.1-1)，根据力的平衡可以得到公式(4.4.1-6)。

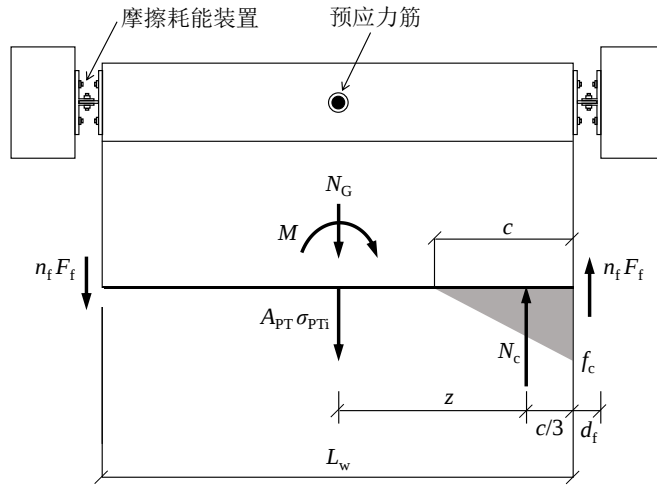


图 4.4.1 自复位混凝土剪力墙结构首层墙板底部截面受力示意图

4.4.2 自复位混凝土剪力墙结构应具有震后复位能力，预应力筋、重力荷载和摩擦耗能装置贡献的首层墙板底部截面受弯承载力应满足下列要求：

$$\frac{M_{PT} + M_G}{M_f} \geq 1.15 \quad (4.4.2)$$

【条文说明】自复位混凝土剪力墙结构的复位能力是通过张拉预应力筋所施加的预应力所提供的。由于预制墙板底部截面受弯承载力由预应力筋、重力荷载和摩擦耗能装置共同提供。因此，为了保证自复位能力，预应力筋和重力荷载提供的受弯承载力之和应大于摩擦耗能装置提供的受弯承载力。

4.4.3 自复位混凝土剪力墙结构应具有良好的能量耗散能力，摩擦耗能率 β_E 应满足下列要求：

$$\beta_E = \frac{M_f}{M_{PT} + M_G + M_f} \geq 0.25 \quad (4.4.3)$$

【条文说明】自复位混凝土剪力墙结构中设有摩擦耗能装置，用于吸收和耗散地震能量，减小结构在地震作用下的最大变形。自复位混凝土剪力墙结构在往复荷载作用下的耗能能力采用摩擦耗能率 β_E 来衡量， β_E 表示耗能装置提供的首层墙板底部截面受弯承载力与首层墙板底部截面总受弯承载力的比值。 β_E 越大，表示

结构耗能能力越强。为了控制自复位混凝土剪力墙结构在地震作用下的最大变形，耗能系数 β_E 不应过小。

4.4.4 自复位混凝土剪力墙结构在罕遇地震作用下，为保证预应力筋不出现屈服或破坏，预应力筋应力 σ_{PTm} 应满足下列要求：

$$\sigma_{PTm} = \sigma_{PTi} + E_{PT} \varepsilon_{PTm} \leq 0.9 f_{ptk} \quad (4.4.4-1)$$

$$\varepsilon_{PTm} = \frac{\delta_{PTm}}{L_{PT}} = \frac{\theta_m (0.5L_w - c_m)}{L_{PT}} \quad (4.4.4-2)$$

式中， E_{PT} —— 预应力筋弹性模量；

ε_{PTm} —— 罕遇地震作用下因墙底张开引起的预应力筋附加应变；

f_{ptk} —— 预应力筋的极限强度标准值；

δ_{PTm} —— 罕遇地震作用下因墙底张开引起的预应力筋附加变形；

L_{PT} —— 预应力筋长度；

θ_m —— 罕遇地震作用下的墙底-基础接触面的张开角度，可取0.02 rad；

c_m —— 罕遇地震作用下首层墙板底部混凝土受压区长度，可根据公式(4.4.5)计算。

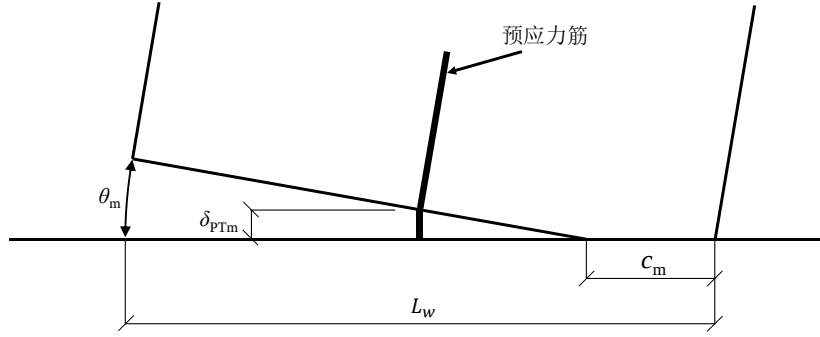


图 4.4.4 首层墙板底部截面张开示意图

【条文说明】本条的规定是为了保证当自复位混凝土剪力墙结构遭受罕遇地震作用时，预应力筋仍处于弹性阶段，不会出现屈服或者破坏，使结构具有自复位性能。当自复位混凝土剪力墙结构的最大层间位移角达到罕遇地震作用下的层间位移角限值时，预应力筋的实际应力应该小于预应力筋的屈服强度，保证预应力筋不屈服。对于无粘结预应力钢绞线，其条件屈服点约为极限抗拉强度的 90%。

4.4.5 自复位混凝土剪力墙结构在罕遇地震作用下，上层墙板之间的连接钢筋受拉应力和受压区混凝土最大应力应满足下列规定：

$$\sigma_{st,u} \leq f_{sy} \quad (4.4.5-1)$$

$$\sigma_{c,u} \leq 0.5 f_c \quad (4.4.5-2)$$

$$M_{m,u} = N_{cm,u} \left(\frac{L_w}{2} - \frac{c_{m,u}}{3} \right) + A_{s,u} \left(\frac{L_w}{2} - d \right) (\sigma_{st,u} + \sigma_{sc,u}) + n_{f,u} F_f (L_w + 2d_f) \quad (4.4.5-3)$$

$$N_{cm,u} = A_{PT} \sigma_{PTm} + N_{G,u} = 0.5 \sigma_{c,u} t_w c_{m,u} \quad (4.4.5-4)$$

$$\sigma_{st,u} = \left(\frac{E_s}{E_c} \right) \sigma_{c,u} \left(\frac{L_w - c_{m,u} - d}{c_{m,u}} \right) \quad (4.4.5-5)$$

$$\sigma_{sc,u} = \left(\frac{E_s}{E_c} \right) \sigma_{c,u} \left(\frac{c_{m,u} - d}{c_{m,u}} \right) \quad (4.4.5-6)$$

$$M_m = N_{cm} \left(\frac{L_w}{2} - \frac{\beta_1 c_m}{2} \right) + n_f F_f (L_w + 2d_f) \quad (4.4.5-7)$$

$$N_{cm} = A_{PT} \sigma_{PTm} + N_G = \alpha_1 f_{cc} t_w \beta_1 c_m \quad (4.4.5-8)$$

- 式中, $\sigma_{st,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受拉连接钢筋应力;
 f_{sy} ——连接钢筋抗拉强度设计值;
 $\sigma_{sc,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压连接钢筋应力;
 $\sigma_{c,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压区混凝土最大应力;
 $M_{m,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受弯承载力,可根据罕遇地震作用下底层墙板底部截面的受弯承载力 M_m 得到;
 $N_{cm,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面受压区混凝土所受压力;
 $c_{m,u}$ ——罕遇地震作用下第u层墙板底部截面混凝土受压区长度;
 $A_{s,u}$ ——第u层墙板受拉/受压连接钢筋的截面积;
 d ——第u层墙板受拉/受压连接钢筋距墙板边缘的水平距离;
 $n_{f,u}$ ——第u层以上墙板单侧摩擦耗能装置的数量;
 $N_{G,u}$ ——第u层墙板所受重力荷载;
 E_s ——连接钢筋弹性模量;
 E_c ——混凝土弹性模量;
 M_m ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受弯承载力;
 N_{cm} ——罕遇地震作用下首层墙板底部截面受压区混凝土所受压力;
 f_{cc} ——首层墙板底部约束混凝土抗压强度设计值;
 α_1 ——首层墙板底部截面受压区混凝土等效矩形应力图系数,可取 0.92;
 β_1 ——首层墙板底部截面受压区混凝土等效矩形应力图系数,可取 0.96。

[条文说明] 当自复位混凝土剪力墙结构遭受罕遇地震时,除首层墙板底部截面张开,上层墙板各接触面间都不应出现张开现象,整个结构类似“刚体”绕基础转动。为了控制上层墙板各接触面间不出现张开,公式(4.4.5-1)保证连接钢筋不会屈服,公式(4.4.5-2)则保证受压区混凝土处于线弹性阶段。

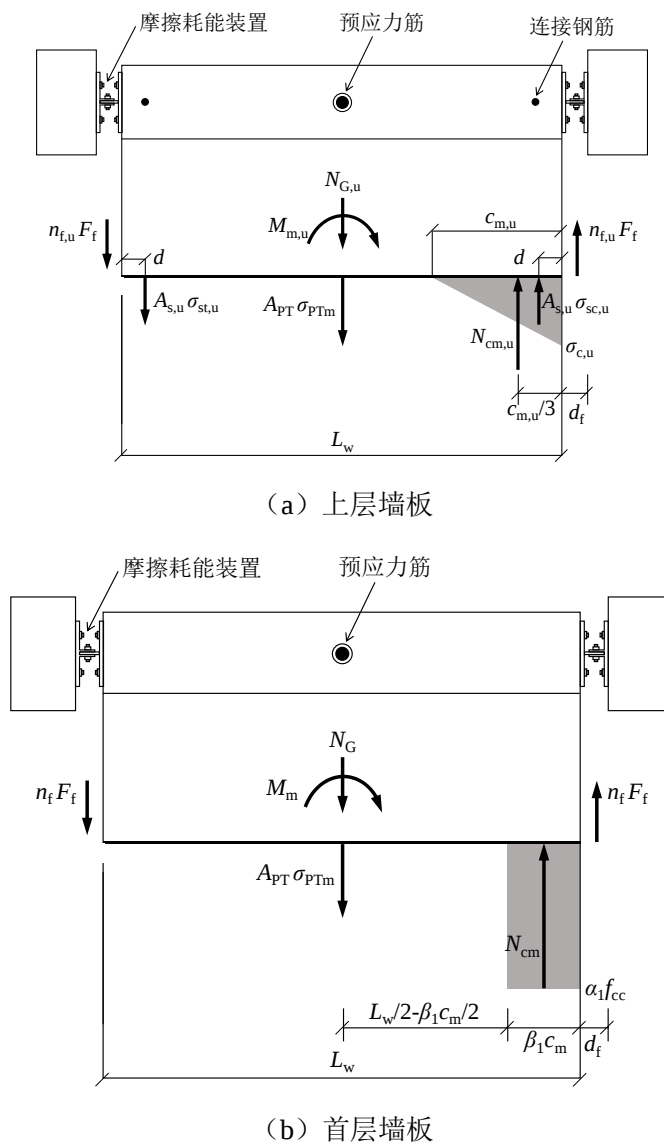


图 4.4.5 罕遇地震作用下自复位混凝土剪力墙结构墙板底部截面受力示意图

4.4.6 自复位混凝土剪力墙结构的墙底-基础接触面、上层墙板之间接触面均应进行受剪承载力验算，保证在遭遇罕遇地震时各墙板接触面之间不发生剪切滑移。受剪承载力应按下列公式计算：

$$\text{首层墙板} \quad V_{ss} = \mu_s \psi N_{cm} \quad (4.4.6-1)$$

$$\text{上层墙板} \quad V_{ss,u} = \mu_s \psi \left[2A_{s,u} f_{sy} + A_{PT} \sigma_{PTm} + N_{G,u} \right] \quad (4.4.6-2)$$

式中， μ_s ——各层墙板接触面的摩擦系数，对于首层墙板可取0.5，对于上层墙板可取0.6。
 ψ ——受剪强度折减系数，可取0.75。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构的各层墙板通过预应力筋连接在一起。除首层墙板与基础的接触面外，上层墙板之间还设置有连接钢筋。为了满足各层墙板接触面处的受剪承载力要求，本标准偏安全地只考虑各层墙板接触面上轴向压力所产生的摩擦力。对于首层墙板，接触面间的轴向压力取决于墙板底部混凝土

压力；对于上层墙板，接触面间的轴向压力取决于连接钢筋、预应力筋和重力的共同作用。各层墙板接触面间的摩擦系数参考 ACI 标准(ACI ITG-5.2 5.5.3)，对于首层墙板-基础接触面可取为 0.5，对于上层墙板之间的接触面可取为 0.6。

4.4.7 自复位混凝土剪力墙结构的端柱应按框架柱截面进行设计，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构中端柱与框架梁相连，因此应按框架柱进行设计。特别需要说明的是，当自复位混凝土剪力墙结构遭受罕遇地震时，首层墙板底部截面张开，自复位混凝土剪力墙类似“刚体”绕基础转动，端柱底部与基础铰接连接，端柱和自复位混凝土剪力墙之间具有相对竖向位移，自复位混凝土剪力墙通过摩擦耗能装置对端柱产生轴向力 $n_t F_t$ ，因此，端柱受到重力、框架梁内力和轴向摩擦力等综合作用。

4.4.8 自复位混凝土剪力墙结构的端柱底端与基础采用铰接节点连接，应进行抗剪、抗拉和抗压承载力设计，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 或现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

[条文说明] 为降低自复位混凝土剪力墙端柱对剪力墙转动的影响，端柱底部与基础采用铰接节点连接。

4.4.9 自复位混凝土剪力墙结构中的摩擦耗能装置与预制墙板、端柱连接处的局部受力部位，应进行罕遇地震作用下的承载力验算，并应采取相应的构造措施，避免局部损坏。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构中的局部受力部位应作罕遇地震作用下的承载力验算，以确保结构构件和连接在罕遇地震作用下能够正常发挥功能，从而保证结构安全，同时避免产生局部裂缝或过大变形。

4.4.10 自复位混凝土剪力墙结构中的预埋件设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的有关规定。

4.5 楼盖设计

4.5.1 自复位混凝土剪力墙结构的楼盖可采用预制楼板和叠合楼盖。

4.5.2 预制楼盖应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行设计，预制楼盖可采用普通预制楼板、空心板、预应力混凝土楼板、预应力混凝土空心板等；当跨度较大时，预制楼盖宜采用预应力混凝土楼板；板厚大于 180mm 的预制楼盖，宜采用预应力混凝土空心板，并符合现行国家标准《预应力混凝土空心板》GB/T 14040 的相关规定。

4.5.3 叠合楼盖应按现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 进行设计。

[条文说明] 预制楼盖可采用预应力空心板、预应力双 T 板、预制钢筋混凝土楼板等，叠合楼盖可采用普通

叠合楼板、钢筋桁架叠合楼板、预应力叠合楼板等形式。应根据楼盖跨度、竖向支撑构件的形式、荷载情况等选择合适的楼盖形式。

根据我国长期的工程实践经验，提出了预制楼盖加强整体性的构造措施。工程实践表明，这些措施对于加强楼盖的整体性是有效的。预应力空心楼板比较适合板跨度较大的情况，实现免支撑、提高楼盖刚度、节约材料等优势。

5 构造措施

5.1 一般规定

5.1.1 自复位混凝土剪力墙结构应采取合理的构造措施确保结构的整体性；预制构件的连接节点应受力简单明确、施工方便。

5.1.2 自复位混凝土剪力墙结构中，预制墙板和楼盖的构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50011 和行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

5.1.3 预制墙板中的无粘结预应力筋宜设置在墙体的中心位置，单束预应力筋孔道应穿过墙体的中轴线，双束预应力筋孔道应靠近并对称于墙体的中轴线。

[条文说明] 后张无粘结预应力筋宜优先考虑设置在墙体的中心位置，在地震作用下更容易控制预应力筋由于墙底接触面张开导致的附加伸长变形，提供良好的自复位能力。

5.1.4 预制墙板中预留预应力筋孔道之间的水平间距不宜小于 50mm；孔道至预制墙板边缘的净间距不宜小于 30mm，且不宜小于孔道直径的 50%。

5.1.5 预应力筋锚固区的承载力、构造及锚具防护要求应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定。

5.1.6 自复位混凝土剪力墙结构中的预埋件端部宜采取机械锚固措施，预埋件的锚筋应与锚板牢固连接，锚件与锚板应采用等强连接。锚筋的锚固长度宜大于 20 倍钢筋直径，且不应小于 250mm。

5.2 连接节点构造规定

5.2.1 自复位混凝土剪力墙结构的首层墙体角部应通过预埋钢靴等形式适当加强，以防止或减小局部混凝土在墙底-基础接触面张开时发生局部受压破坏。

5.2.2 自复位混凝土剪力墙结构若在墙底-基础接触面位处灌注砂浆，应采用补偿收缩水泥基灌浆料。

1 补偿收缩水泥基灌浆料的性能应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的有关规定。

2 接触面砂浆宜掺加 0.1% 体积率的聚丙烯纤维，砂浆厚度不得超过 30mm，并符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的相关规定。

3 接触面砂浆的抗压强度应大于墙底-基础接触面混凝土的抗压强度，砂浆抗压强度标准试件尺寸应采用 100mm×100mm×100mm。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构遭遇强震作用时，墙底-基础接触面张开，此时首层墙体角部将会产生较大的局部压力，为了防止墙体角部混凝土的局部压溃，应通过预埋钢靴等形式适当加强。

若在墙底-基础接触面处灌注砂浆，砂浆里宜掺加增强纤维，以增加砂浆的韧性和极限变形能力。补偿收缩水泥基灌浆料的性能应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的有关规定。

5.2.3 自复位混凝土剪力墙结构中，预制墙体之间接缝宜设置在楼面标高处，并应符合下列规定：接缝高度宜为 20mm；接缝宜采用灌浆料填实，灌浆料的强度等级值应大于预制墙体的混凝土强度等级值。

5.2.4 自复位混凝土剪力墙结构中，预制墙体之间的纵向钢筋连接宜根据受力特点、施工工艺等要求选用套筒灌浆连接、浆锚搭接连接等连接形式，并应符合国家现行有关标准的规定。

5.2.5 预制墙体之间的纵向钢筋采用套筒灌浆连接时，接头应满足现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中 I 级接头的性能要求；钢筋接头处套筒外侧钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 15mm；套筒之间的净距不应小于 25mm。

5.2.6 预制墙体之间的纵向钢筋采用浆锚搭接连接时，对预留孔成孔工艺、孔道形状和长度、构造要求、灌浆料和被连接钢筋，应进行力学性能以及适用性的试验验证。直径大于 20mm 的钢筋不宜采用浆锚搭接连接，直接承受动力荷载构件的纵向钢筋不应采用浆锚搭接连接。

5.2.7 自复位混凝土剪力墙结构中的端柱及其连接节点的构造措施应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50011、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 和《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

5.3 楼盖连接构造规定

5.3.1 自复位混凝土剪力墙结构采用预制楼盖时，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定，并符合下列规定：

1 预制楼盖在支座上的搁置长度不应小于 50mm 和 $(1/180)L$ 的较大值， L 为预制板计

算跨度。

2 预制楼盖的板端宜伸出锚固钢筋互相可靠连接，并应与板的支承结构伸出的钢筋、板端接缝内设置的通长钢筋拉接。

5.3.2 自复位混凝土剪力墙结构中，预制墙体与楼盖的连接宜采用现浇柔性连接和隔离式连接。

[条文说明] 对于自复位混凝土剪力墙结构，若将楼板和剪力墙采用传统现浇连接，在地震作用下墙底-基础接触面张开时，楼板会约束墙底-基础接触面的张开/闭合行为。若混凝土楼板提供的约束力较强，不发生明显的破坏，则会对自复位混凝土剪力墙产生很大的约束力，并破坏结构的自复位能力，从而影响整体结构的抗震性能。因此，需要特别处理楼板与预制墙体的细部构造，楼盖布置不应显著影响自复位混凝土剪力墙的墙底-基础接触面的张开。

5.3.3 自复位混凝土剪力墙与楼盖的现浇柔性连接可采用图 5.3.3 所示的典型构造形式，并应符合下列规定：

1 自复位混凝土剪力墙在楼面高度处应设置暗梁，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

2 现浇柔性连接区与楼盖和自复位混凝土剪力墙相连接，应按单向板进行设计，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

3 现浇柔性连接区应采用具有较好变形能力的材料，如高延性纤维增强水泥基复合材料等；

4 现浇柔性连接区的计算跨度 L_c 应根据现浇柔性连接区的裂缝宽度和挠度计算确定，裂缝宽度和挠度应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

5 现浇柔性连接区及接缝处的构造措施应满足现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

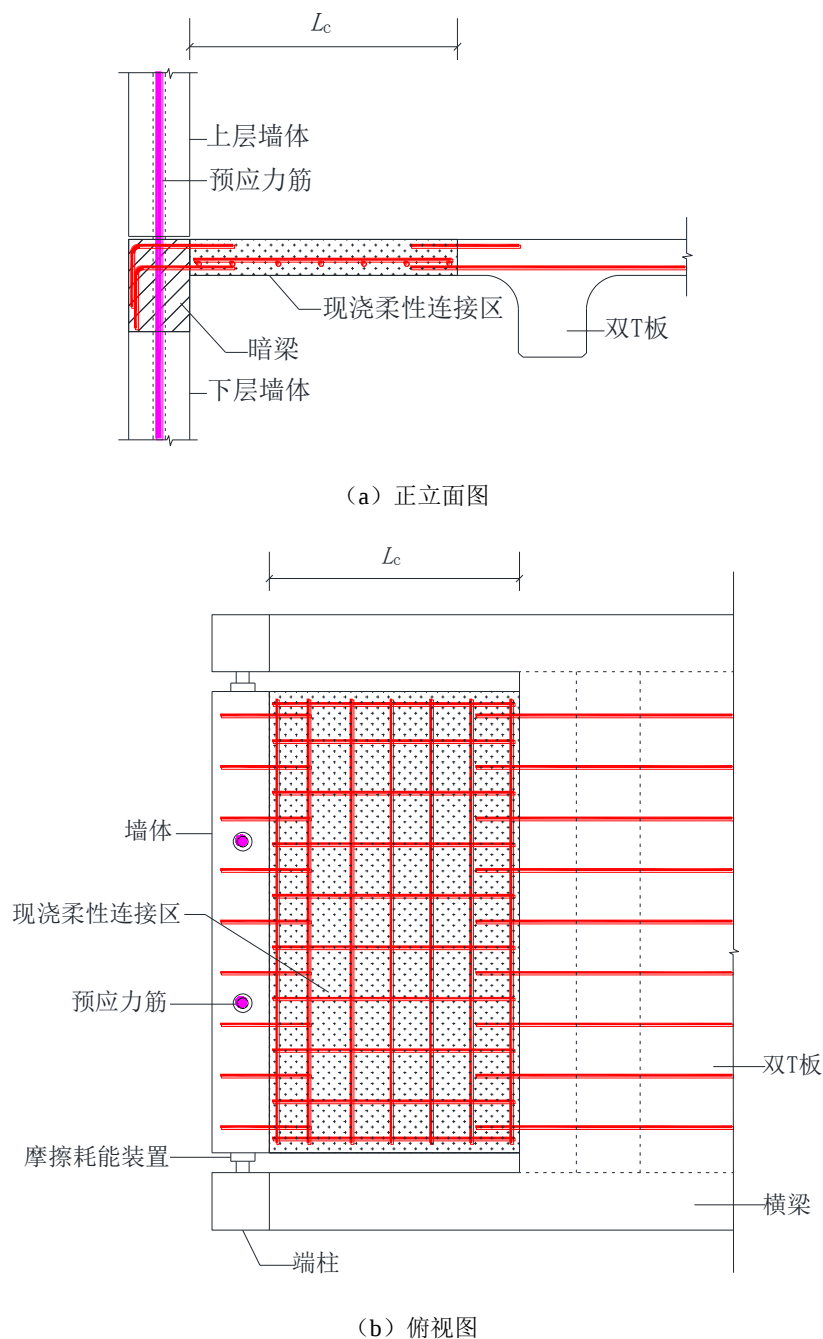


图 5.3.3 自复位混凝土剪力墙与楼盖的现浇柔性连接示意图

【条文说明】采用现浇柔性连接方案，双 T 板的布置方向应与自复位混凝土剪力墙抗侧力方向相同，双 T 板和自复位混凝土剪力墙分别作为现浇柔性连接区的支座。自复位混凝土剪力墙在抗侧力方向发生摇摆时，自复位混凝土剪力墙与端柱之间会产生较大的竖向相对位移，而端柱与横梁相连。为降低楼盖对自复位混凝土剪力墙的约束，现浇柔性连接区不与横梁相连接。

自复位混凝土剪力墙在抗侧力方向发生摇摆时，现浇柔性连接区承受扭矩较大，因此自复位混凝土剪力墙需要在该高度设置暗梁；现浇柔性连接区的板配筋宜按两端固支单向板进行设计；为进一步降低楼盖对自复位混凝土剪力墙的约束，减少楼盖的震后损伤，现浇柔性连接区宜采用具有较好变形能力的高延性

纤维增强水泥基复合材料，通过对设防地震作用下现浇柔性连接区的裂缝和挠度验算，确定合适的现浇柔性连接区宽度 L_c 。

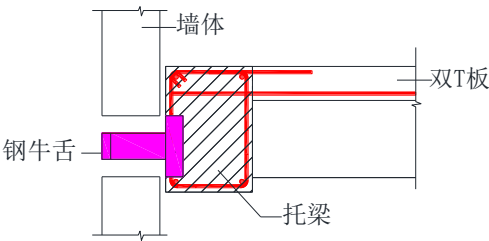
5.3.4 自复位混凝土剪力墙与楼盖的隔离式连接可采用图 5.3.4 所示的典型构造形式，并应符合下列规定：

1 楼盖与自复位混凝土剪力墙的连接端应设置托梁，托梁按现行国家标准《混凝土结构设计规范》 GB50010 的相关规定进行设计；

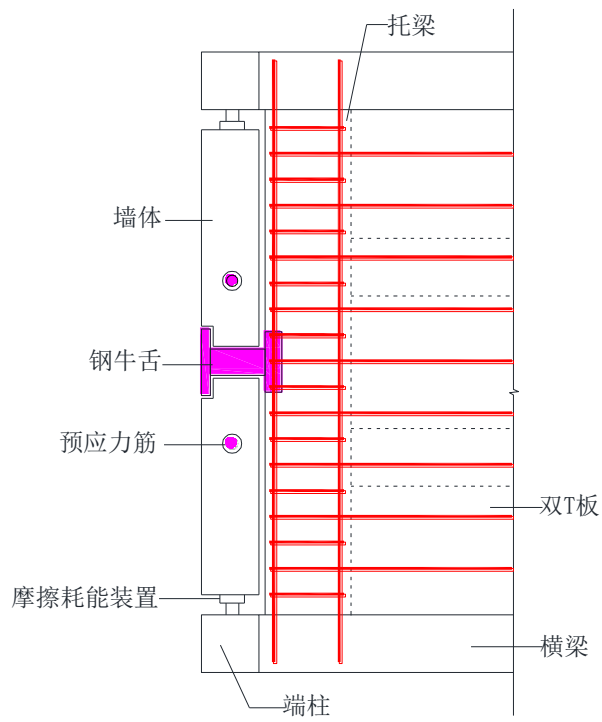
2 托梁通过预置的钢牛舌与自复位混凝土剪力墙相应部位的竖向长孔相连，钢牛舌只传递水平力，可竖向自由滑动而不限制自复位混凝土剪力墙的竖向位移，钢牛舌应进行抗拉和抗剪设计，自复位混凝土剪力墙的竖向长孔周围应进行局部承载力设计，并满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》 GB50010 的相关规定。

[条文说明] 采用隔离式连接方案，双 T 板的布置方向可以与自复位混凝土剪力墙抗侧力方向相同，与自复位混凝土剪力墙相连部位应布置边梁，便于采用钢牛舌连接传力。

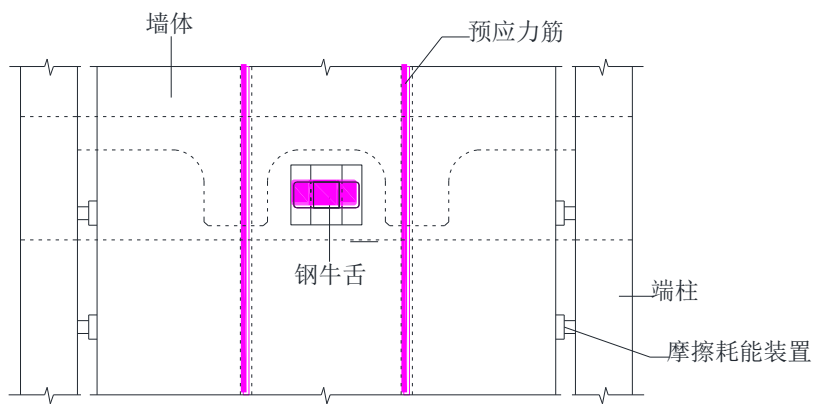
当双 T 板的布置方向与自复位混凝土剪力墙抗侧力方向垂直时，双 T 板与自复位混凝土剪力墙的连接端应设置托梁，便于双 T 板直接传力至托梁，托梁侧面预置钢牛舌，钢牛舌与自复位混凝土剪力墙相应部位的竖向长孔相连，只传递水平力，释放竖向力，使得自复位混凝土剪力墙与楼盖系统竖向无约束。



(a) 正立面图



(b) 俯视图



(c) 侧立面图

图 5.3.4 自复位混凝土剪力墙与楼盖的隔离式连接示意图

6 构件制作

6.1 一般规定

6.1.1 预制构件制作单位应具备相应的生产工艺设施、完善的质量管理体系和必要的试验检测手段。

6.1.2 预制构件用钢筋、混凝土原材料、预埋件等材料的性能应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 等的有关规定。

6.1.3 预制构件用钢筋的加工、连接与安装和混凝土的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等的有关规定。

6.1.4 预制构件制作前应对其技术要求和质量标准进行技术交底，并编制生产方案；生产方案应包括生产工艺、模具方案、生产计划、加工方案、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

6.2 构件的生产

6.2.1 混凝土浇筑前，应检查和控制模板、钢筋、保护层和预埋件等的尺寸、规格、数量和位置，其偏差值应满足相关规定。

6.2.2 预制构件模具必须具有足够的承载力、刚度和稳定性，其设计及制造应符合相关规定。

6.2.3 应根据混凝土的品种、工作性、预制构件的规格形状等因素，制定合理的振捣成型操作规程。混凝土浇筑成型宜采用机械振捣密实。

6.2.4 预制构件养护可采用自然养护和加热养护等养护方式，具体可根据气温、生产进度、构件类型等影响因素选择合适的养护方式。预制构件加热养护制度应分静停、升温、恒温 and 降温四个阶段，养护过程应符合下列规定：

1 静停时间为混凝土全部浇捣完成后到进入养护室前的时间，常温下静停时间宜为 2h~6h。

2 升温速度不得大于 20℃/h。

3 恒温时养护最高温度不宜超过 70℃，恒温时间不宜少于 3h。

4 降温速度不宜大于 20℃/h。

5 加热养护完成后，预制混凝土构件表面温度与环境温度的温度差不高于 25℃时，方可运出养护室进行脱模工作。

6.2.5 预制构件脱模起吊时的混凝土强度应根据计算确定，且不宜小于 15MPa；进行吊装验算时，应将构件自重标准值乘以动力系数 1.5 作为等效荷载标准值。

6.2.6 预制构件起吊的吊点设置，除强度应符合设计要求外，还应满足预制构件平稳起吊的要求，平吊吊运宜不少于 4 个且不多于 6 个吊点，侧吊吊运宜不少于 2 个不多于 4 个吊点，且吊点宜对称布置。

6.2.7 预制构件与后浇混凝土的结合面制作时应按设计要求制成粗糙面和键槽，粗糙面可采用拉毛或凿毛处理方法，也可采用化学和其他物理处理方法。

6.2.8 预应力混凝土构件生产前应制定预应力施工方案和质量控制措施，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

6.2.9 带饰面的预制构件宜采用反打成型，也可采用后贴工艺制作。面砖背后宜带有燕尾槽，石材背面应做涂覆防水处理。

6.2.10 带保温材料的预制构件宜采用水平浇筑方式成型，保温材料宜在混凝土成型过程中放置固定。

6.2.11 带门窗框、预埋管线的预制构件，其制作应符合下列要求：

1 门框、预埋管线应在浇筑混凝土前预先放置并固定，固定时应采取防止窗框破坏及污染窗体表面的保护措施。

2 当采用铝窗框时，应采取避免铝窗框与混凝土直接接触发生电化学腐蚀的措施。

3 应采取措施控制温度或受力变形对门窗产生的不利影响。

6.3 构件的运输与堆放

6.3.1 预制构件的运输和堆放应制定专项方案，其内容应包括运输时间、顺序、堆放场地、运输线路、固定要求、堆放支垫及成品保护措施等。

6.3.2 预制构件的运输车辆应满足构件尺寸和载重的要求，装卸与运输时应满足下列要求：

1 构件运输的总高度不宜超过 4.5m，总宽度不宜超过运输车辆的车宽；

2 装卸构件时，应采取保证车体平衡的措施；

3 运输时应采取绑扎固定措施，防止构件移动、倾倒和变形等；

4 运输竖向薄壁构件时应根据需要设置临时支架；

5 运输构件时，应采取防止构件损坏的措施，对构件边角部或捆绑接触处的混凝土，宜

采用垫衬加以保护。

6.3.3 预制构件存放应符合以下规定：

- 1 堆放构件的场地应平整、坚实，并应有排水措施；堆放构件的支垫应坚实。
- 2 预制构件平放时，预埋吊件应向上，标志向外，搁置点宜与构件起吊点位置或经验算位置一致；重叠堆放预制构件时，各层垫块应处于同一垂直线上；堆垛层数应根据构件自身、地基、垫块的承载能力及堆垛的稳定性确定，且不宜多于 6 层。
- 3 预制构件堆放方向应与实际受力方向一致，需改变堆放方向时应进行受力验算。
- 4 预应力构件的堆放应根据预制构件起拱值的大小和堆放时间采取相应措施。

6.3.4 预制墙板的堆放和运输应满足下列规定：

- 1 预制墙板可采用插放架或靠放架堆放和运输，插放架或靠放架应进行专门设计，进行强度、稳定性和刚度验算。
- 2 采用靠放架堆放和运输时，墙板与地面倾斜角度宜大于 80°，构件应对称靠放且外饰面朝外，构件层间上部采用木垫块隔离。
- 3 采用插放架直立运输时，应采取防止构件倾倒措施，构件之间应设置隔离垫块。
- 4 采用叠层平放的方式堆放或运输构件时，应采取防止构件产生裂缝的措施。

7 结构施工

7.1 一般规定

7.1.1 自复位混凝土剪力墙结构施工前应制定施工组织设计、施工方案；施工组织设计的内容应符合现行国家标准《建筑工程施工组织设计规范》GB/T 50502 的规定；施工方案的内容应包括安装及节点施工方案、构件安装的质量管理及安全措施等。

[条文说明] 应制定自复位混凝土剪力墙结构的专项施工方案。施工方案应结合结构深化设计、构件制作、运输和安装全过程各工况的验算，以及施工吊装与支撑体系的验算等进行策划与制定，充分反映自复位混凝土剪力墙结构施工的特点与工艺流程的特殊要求。

7.1.2 自复位混凝土剪力墙结构的后浇混凝土部位在浇筑前应根据现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定进行隐蔽工程验收。

7.1.3 预制构件、安装用材料及配件等应符合设计要求及现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 有关规定。

7.1.4 吊装用吊具应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定进行设计、验算或试验检验。

[条文说明] 吊具选用按起重吊装工程的技术和安全要求执行。为提高施工效率,可以采用多功能专用吊具,以适应不同类型的构件吊装。施工验算可依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666,特殊情况无参考依据时,需进行专项设计计算分析或必要的试验研究。

7.1.5 预制墙板之间的水平接缝处采用套筒灌浆连接前,应在现场模拟构件连接接头的灌浆方式,每种规格钢筋应制作不少于 3 个套筒灌浆连接接头,进行灌注质量以及接头抗拉强度的检验;经检验合格后,方可进行灌浆作业。

7.1.6 预制构件连接部位后浇混凝土或灌浆料强度达到设计规定的强度后,方可进行上部结构吊装施工或拆除支撑。

7.1.7 摩擦耗能装置中钢制构件的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。

7.1.8 自复位混凝土剪力墙结构施工过程中的成品保护应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

7.1.9 未经设计允许不得对预制构件进行切割、开洞。

7.1.10 自复位混凝土剪力墙结构施工过程中应采取防止预制构件及预制构件上的建筑附件、

预埋件、预埋吊件等损伤或污染的保护措施。

7.1.11 自复位混凝土剪力墙结构施工过程中应采取安全措施，并应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JG J33 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 等的有关规定。

[条文说明] 应注意构件安装的施工安全要求，为防止预制构件在安装过程中因受不合理受力造成损伤、破坏或高空滑落，应严格遵守有关施工安全规定。

7.2 施工流程

7.2.1 自复位混凝土剪力墙结构的主要施工流程为：

- 1 在工厂完成预制剪力墙等构件的加工；
- 2 完成建筑基础的施工；
- 3 组装墙体，并张拉预制剪力墙孔道内的无粘结预应力钢绞线至设计应力，将上下层剪力墙及基础有效连接；
- 4 安装端柱，并在预制剪力墙与端柱之间安装耗能件及高强螺栓，按照设计要求施加预压力；
- 5 楼板吊装就位，并将楼板和墙体有效连接。

[条文说明] 自复位混凝土剪力墙结构的施工安装流程应考虑预制装配式混凝土结构的安装顺序、无粘结预应力施工特点以及摩擦耗能装置的特点综合制定。在结构施工安装前，应确定各类预制结构构件和摩擦耗能装置部件的总体及局部施工安装顺序。

7.3 构件吊装

7.3.1 预制剪力墙的吊点、吊具应符合下列规定：

- 1 吊点合力点宜与构件重心重合，宜选用可调式横吊梁均衡起吊就位；
- 2 吊具宜采用标准吊具，可选用预埋吊环或埋置式接驳器的形式。

7.3.2 预制剪力墙吊装应符合下列规定：

- 1 吊装时绳索与构件水平面的夹角不宜小于 60°，不应小于 45°；吊运过程中应平稳，不应有大幅度摆动，且不应长时间悬停；
- 2 吊装时应采用慢起、快升、缓放的操作方式，起吊应依次逐级增加速度，不应越档操作；
- 3 严禁吊装构件长时间悬挂在空中；

4 吊装时构件上应设置缆风绳控制构件转动，保证构件就位平稳。

7.3.3 预制剪力墙应按吊装顺序预先编号，吊装时应严格按编号顺序起吊；吊装就位后，应及时设置临时支撑，在构件安放稳固后方可松开吊具。

7.4 施工安装

7.4.1 现场从事构件安装的操作工人须持有效的特殊工种证书；安装前，项目技术负责人应向施工作业人员进行培训及技术交底。

7.4.2 采用钢筋套筒灌浆连接、钢筋浆锚搭接连接的预制剪力墙体就位前，应检查下列内容：

- 1 套筒、预留孔的规格、位置、数量和深度；
- 2 被连接钢筋的规格、数量、位置和长度。

当套筒、预留孔内有杂物时，应清理干净；当连接钢筋倾斜时，应进行校直。连接钢筋偏离套筒或孔洞中心线不宜超过 5mm。

7.4.3 预制剪力墙安装就位后应在两个方向采用可调斜撑作为临时固定，并进行垂直度调整。

7.4.4 自复位混凝土剪力墙结构的预制墙体安装应符合下列规定：

- 1 构件安装前，应清洁结合面；
- 2 构件底部应设置可调整接缝厚度和底部标高的垫块；
- 3 钢筋套筒灌浆连接接头、钢筋浆锚搭接连接接头灌浆前，应对接缝周围进行封堵，封堵措施应符合结合面承载力设计要求；
- 4 预制墙体底部采用坐浆材料时，其厚度不宜大于 20mm。

7.4.5 自复位混凝土剪力墙结构的钢筋套筒灌浆连接接头、钢筋浆锚搭接连接接头应按检验批划分要求及时灌浆，灌浆作业应符合国家现行有关标准及施工方案的要求，并应符合下列规定：

- 1 灌浆施工时，环境温度不应低于 5℃；当连接部位养护温度低于 10℃时，应采取加热保温措施；
- 2 灌浆操作全过程应有专职检验人员负责旁站监督并及时形成施工质量检查记录；
- 3 应按产品使用说明书的要求计量灌浆料和水的用量，并搅拌均匀；每次拌制的灌浆料拌合物应进行流动度的检测，且其流动度应满足本规程的规定；
- 4 灌浆作业应采用压浆法从下口灌注，当浆料从上口流出后应及时封堵，必要时可设分

仓进行灌浆；

5 灌浆料拌合物应在制备后 30min 内用完。

7.4.6 预制剪力墙安装就位后的临时固定措施应在构件连接部位后浇混凝土及灌浆料的强度达到设计要求，预制剪力墙无粘结预应力钢绞线张拉完毕且摩擦件安装完成后进行。

7.4.7 自复位混凝土剪力墙结构的无粘结预应力筋的张拉应符合下列规定：

1 无粘结预应力筋在张拉前，应及时检查其规格尺寸、数量和位置，并确认其端部组装配件可靠无误。

2 预应力筋张拉过程中，应避免预应力筋断裂或滑脱；当发生断裂或滑脱时，预应力筋必须予以更换。

3 预应力筋张拉时应保证同一构件中各根预应力筋的应力均匀一致；张拉锚固后实际建立的预应力值与工程设计规定检验值的相对允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

4 张拉后的预应力筋释放张拉力时，应采用专用的卸载工具并制定施工方案和安全保护措施。

5 预应力筋张拉后的锚具，应及时按照现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规范》第 3.2 节的相关规定进行防护处理。

7.4.8 自复位混凝土剪力墙结构的摩擦耗能装置的施工安装应符合下列规定：

1 摩擦耗能装置的施工应由施工单位根据设计要求制定施工方案；

2 摩擦耗能装置的施工应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 和《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，并根据摩擦耗能装置的施工安装特点，在施工组织设计中制定施工安全措施。

3 摩擦耗能装置的部件尺寸、连接件位置及角度、螺栓孔位置及直径、高强度螺栓、焊接质量、表面防锈漆等应符合设计文件规定。

4 摩擦耗能装置的安装完成后应进行成品保护。

8 验收和维护

8.1 一般规定

8.1.1 自复位混凝土剪力墙结构应在施工单位自行检验合格的基础上，作为建筑工程主体结构分部工程的子分部工程进行验收。

8.1.2 自复位混凝土剪力墙结构的子分部工程可划分为装配式结构分项工程、预应力分项工程、摩擦耗能装置分项工程、现浇混凝土结构分项工程、模板分项工程、钢筋分项工程、混凝土分项工程。各分项工程可根据与生产和施工方式相一致且便于控制施工质量的原则，按进场批次、工作班、楼层、结构缝或施工段划分为若干检验批。

8.1.3 自复位混凝土剪力墙结构的分项工程的质量验收应在所含检验批验收合格的基础上进行，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 和现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

8.1.4 检验批验收合格应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验合格。

2 一般项目的质量经抽样检验合格，当采用计数检验时，除有专门要求外，一般项目的合格率应达到 80%及以上，且不得有严重缺陷。

3 应具有完整的质量验收记录。

4 对验收合格的检验批，应作出合格标志。

8.1.5 自复位混凝土剪力墙结构的工程验收程序和组织应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定执行。

8.2 质量验收

主控项目

8.2.1 专业企业生产的预制构件，进场时应检查质量证明文件。

检查数量：全部检查。

检查方法：检查质量证明文件或质量验收记录。

8.2.2 自复位混凝土剪力墙结构构件进场时，预制构件的性能检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。梁板类简支受弯预制构件进场时

应进行结构性能检验，其他预制构件，除设计有专门要求外，进场时可不做结构性能检验。对进场时不做结构性能检验的预制构件，应采取下列措施：施工单位或监理单位代表应驻厂监督制作过程；当无驻厂监督时，预制构件进场时应对预制构件主要受力钢筋数量、规格、间距及混凝土强度等进行实体检验。

检查数量：每批进场不超过 1000 个同类型预制构件为一批，在每批中应随机抽取 1 个构件进行检验。

检查方法：检查结构性能检验报告或实体检验报告。

8.2.3 构件上的预埋件、插筋和预留孔洞的规格、位置和数量应符合设计要求。

检验方法：观察，钢尺量测检查。

检查数量：全数检查。

8.2.4 混凝土构件的混凝土强度、钢筋直径、钢筋位置应符合设计要求。

检验方法：检查抽样检测报告。

检查数量：全数检查。

8.2.5 钢筋套筒的规格、质量应符合设计要求，套筒与钢筋连接的质量应符合设计要求。

检验方法：检查钢筋套筒的质量证明文件、套筒与钢筋连接的抽样检测报告。

检查数量：全数检查。

8.2.6 钢筋套筒灌浆连接和锚固钢筋用的灌浆料质量应符合《水泥基灌浆料材料应用技术规范》GB/T 50448 和《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的规定。

检查数量：全数检查。

检测方法：检查质量证明文件和抽样检验报告。

8.2.7 钢筋套筒灌浆连接的 28d 抗压强度应符合设计要求。用于检验强度的试件应在灌浆时现场制作。

检查数量：以每层为一个检验批，每工作班应制作 1 组且每层不应少于 3 组尺寸为 40mm×40mm×160mm 的长方体试件，标准养护 28d 后进行抗压强度试验。

检验方法：检查灌浆施工记录、强度试验报告及评定记录。

8.2.8 钢筋套筒灌浆连接的灌浆应密实饱满，所有出浆口均应出浆。同时模拟构件连接接头的灌浆方式，每种规格钢筋应制作不少于 3 套筒灌浆接头试件。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查灌浆施工记录、接头检验报告。

8.2.9 采用浆锚连接时，钢筋的数量和长度除应符合设计要求外，尚应符合下列规定：

1 注浆预留孔道长度应大于构件预留的锚固钢筋长度。

2 预留孔宜选用镀锌螺旋管，管的内径应大于钢筋直 15mm。

检验方法：观察，尺量检查。

检查数量：抽查 10%。

8.2.10 后浇混凝土强度应符合设计要求。

检查数量：分批检测。同一配合比的混凝土，每工作班且建筑面积不超过 1000m² 应制作一组标准养护试件，同一楼层应制作不少于 3 组标准养护试件。

检验方法：应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定。

8.2.11 安装高强度螺栓时应校正准确，安装时严禁强行穿入，严禁切割扩孔。

检验方法：观察检查。

检查数量：全数检查。

8.2.12 钢结构制作和安装单位应分别进行摩擦耗能装置中高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验和复验，现场处理的构件摩擦面应单独进行摩擦面抗滑移系数试验，其结果应满足设计要求。

检查数量：按《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 附录 B 执行。

检验方法：检查摩擦面抗滑移系数试验报告及复验报告。

8.2.13 摩擦耗能装置中高强度螺栓连接副应在终拧完成 1h 后、48h 内进行终拧质量检查，检查结果应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 附录 B 的规定。

检查数量：按节点数抽查 10%，且不少于 10 个，每个被抽查到的节点，按螺栓数抽查 10%，且不少于 2 个。

检验方法：按《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 附录 B 执行。

一般项目

8.2.14 预制构件的尺寸偏差及检验方法应符合表 8.2.14 的规定；设计有专门规定时，尚应符合设计要求。施工过程中临时使用的预埋件，其中心线位置允许偏差可取表 8.2.14 中规定数值的 2 倍。

检查数量：同一类型的构件，不超过 100 件为一批，每批应抽查构件数量的 5%，且不应少于 3 件。

检查方法：按表 8.2.14 进行检查。

表 8.2.14 预制构件尺寸的允许偏差及检查方法

项目		允许偏差(mm)	检查方法	
截面 尺寸	长度	梁、楼板	+10, -5	钢尺检查
		柱	+5, -10	
		墙板	±4	
	宽度、高（厚）度	楼板、梁、柱	±5	钢尺量一端及中部，取其中较大值
		墙板	±4	
表面平整度		楼板、梁、柱、墙板内表面	5	2m 靠尺和塞尺量测
		墙板外表面	3	
侧向弯曲		楼板、梁、柱	L/750 且≤20	拉线、钢尺量最大侧向弯曲处
		墙板	L/1000 且≤20	
翘曲		楼板	L/750	调平尺在两端测量
		墙板	L/1000	
对角线差		楼板	10	钢尺量两个对角线
		墙板	5	
预留孔		中心线位置	5	钢尺检查
		孔尺寸	±5	
预留洞		中心线位置	15	钢尺检查
		洞口尺寸、深度	±10	
预埋件		预埋板中心线位置	5	钢尺检查
		预埋板与混凝土面平面高差	0, -5	
		预埋螺栓	2	
		预埋螺栓外露长度	+10, -5	
		螺母中心线位置	2	
		螺母与混凝土面平面高差	±5	
预留插筋		中心线位置	5	钢尺检查
		外露长度	+10, -5	
主筋保护层厚度		楼板	+5, -3	钢尺或保护层厚度测定仪量测
		梁、柱、墙板	+10, -5	
板角部直角缺口的直角度及缺口与板侧面之间直角度			3°	直角尺和量角器量测
边梁端面与边梁侧面之间直角度			3°	

注: 1 L 为构件长度, 单位为 mm;

2 检查中心线、螺栓和孔道位置偏差时, 沿纵、横两个方向量测, 并取其中偏差较大值。

8.2.15 预制构件安装的尺寸允许偏差及检验方法应符合设计要求; 当设计无要求时, 应符合本标准表 8.2.15 的规定。

检查数量: 按楼层、结构缝或施工段划分检验批。同一检验批内, 对梁、柱应抽查构件数量的 10%, 且不少 3 件; 对墙和板, 应按有代表性的自然间抽查 10%, 且不少 3 间; 对大空间结构, 墙可按相邻轴线间高度 5m 左右划分检查面, 板可按纵、横轴线划分检查面, 抽查 10%, 且均不少于 3 面。

表 8.2.15 构件安装的尺寸允许偏差及检查方法

项目		允许偏差 (mm)	检查方法
构件轴线位置	竖向构件（柱、墙板）	8	经纬仪及尺量
	水平构件（梁、楼板）	5	
标高	梁、柱、墙板、楼板底面或顶面	±5	水准仪或拉线、尺量
构件垂直度	柱、墙板安装后的高度	≤6m	经纬仪或吊线、尺量
		>6m	
构件倾斜度	梁	5	经纬仪或吊线、尺量
相邻构件平整度	梁、楼板底面	外露	2m 靠尺和塞尺量测
		不外露	
	柱、墙面	外露	
		不外露	
构件搁置长度	梁、板	±10	尺量
支座、支垫中心位置	板、梁、柱、墙板	10	尺量
墙板接缝宽度		±5	尺量

8.3 维护要求

8.3.1 自复位混凝土剪力墙结构中暴露在空气中的预埋铁件应涂抹防锈漆。

8.3.2 摩擦耗能装置应根据使用期间的具体情况、设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。摩擦耗能装置在二次装修时应进行目测检查；摩擦耗能装置在达到设计使用年限时或在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

[条文说明] 为保证摩擦耗能装置在地震作用下能正常发挥其预定功能，并为以后工程应用和标准修订积累经验，物业管理部门等应在建筑结构使用过程中进行维护管理。

定期检查是由物业管理部门对摩擦耗能装置本身及其与建筑物连接的状况进行的正常检查，其目的是力求尽早发现可能的异常，以避免摩擦耗能装置不能正常工作。目测检查的周期主要根据摩擦耗能装置的设计使用年限，并参照现有一般结构构件的维护实践经验确定。抽样检验是指在结构中抽取在役的典型摩擦耗能装置，对其基本性能进行原位测试或实验室测试。

8.3.3 摩擦耗能装置目测检查时，应观察摩擦耗能装置及连接构件等的外观、变形及其它问题。目测检查内容及维护方法应符合表 8.3.3 的规定。

表 8.3.3 摩擦耗能装置检查内容及维护方法

序号	检查内容	维护方法
1	耗能装置的摩擦材料磨损、脱落，对摩擦面施加压力的高强度螺栓产生松弛	更换相关材料和高强度螺栓
2	耗能装置连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	拧紧、补焊
3	耗能装置的外露摩擦界面出现腐蚀、表团污垢硬化结斑结块	及时清除
4	耗能装置被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等	重新涂装
5	耗能装置产生弯曲、局部变形	更换耗能装置
6	耗能装置周围存在可能限制耗能装置正常工作的障碍物	及时清除

8.3.4 摩擦耗能装置抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型耗能装置，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，测试内容应能反映耗能装置在使用期间可能发生的性能参数变化，并应能推定可否达到预定的使用年限。

[条文说明] 摩擦耗能装置抽样检验时，抽样率不小于 3%，检验结果不合格时，应加大一倍数量进行检验，如检验结果仍不合格时，应进行全数检验，并对不合格的摩擦耗能装置进行更换。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件许可时首先应这样做的用词：

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 标准中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为“可参照……的规定执行”。

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 《钢结构设计标准》GB 50017
- 5 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 6 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 7 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 8 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 9 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 10 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 11 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 12 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 13 《汽车用制动器衬片》GB 5763
- 14 《预应力混凝土空心板》GB/T 14040
- 15 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 16 《铜及铜合金板材》GB/T 2040
- 17 《一般工业用铝及铝合金板、带材》GB/T 3880
- 18 《耐候结构钢》GB/T 4171
- 19 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 20 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 21 《建筑工程施工组织设计规范》GB/T 50502
- 22 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 23 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 24 《无粘结预应力钢绞线》JG 161
- 25 《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163
- 26 《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225
- 27 《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398
- 28 《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408
- 29 《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430
- 30 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 31 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 32 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 33 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 34 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 35 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92
- 36 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 37 《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T 140
- 38 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
- 39 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 40 《高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法》JC/T 2461