

广东省标准

GD

DBJ XX-XX-201X

备案号 J XXXXX-201X

采用大尺度废弃混凝土的组合结构技术规程

Code for Composite Structures Containing Demolished Concrete Blocks

(征求意见稿)

201X-XX-XX 发布

201X-XX-XX 实施

广东省住房和城乡建设厅 发布

广东省标准

采用大尺度废弃混凝土的组合结构技术规程

Code for Composite Structures Containing Demolished Concrete Blocks

DBJ xx-xx-201x

住房和城乡建设部备案号：J xxxxx-201x

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

实施日期：201X 年 XX 月 XX 日

××××出版社

广东省住房和城乡建设厅关于发布广东省标准
《采用大尺度废弃混凝土的组合结构技术规程》的公告

粤建公告〔201×〕××号

现批准《采用大尺度废弃混凝土的组合结构技术规程》为广东省工程建设地方标准，编号为 DBJ ××-××-201×，自 201×年××月××日起实施。

本规程由广东省住房和城乡建设厅负责管理，华南理工大学负责具体技术内容的解释。

广东省住房和城乡建设厅
二〇一×年××月××日

前 言

根据广东省住房和城乡建设厅《关于发布<2013 年广东省工程建设标准制订和修订计划>的通知》（粤建科函〔2013〕1029 号）的要求，规程编制组经过大量试验和广泛调查研究，认真总结现有科研成果和实践经验，参考国内外相关标准，在广泛征求意见的基础上制定了本规程。

本规程的主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.材料；4.构件设计；5.施工工艺与质量控制。具体构件形式包括：钢管再生混合混凝土柱、梁—钢管再生混合混凝土柱节点、压型钢板再生混合混凝土组合楼板、外置钢板再生混合混凝土墙、U 型外包钢再生混合混凝土梁。

本规程由广东省住房和城乡建设厅负责管理，华南理工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，请寄送华南理工大学土木与交通学院（地址：广州市天河区五山路 381 号，邮编：510640）。

本规程主编单位：华南理工大学

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1 总 则	2
2 术语和符号	3
2.1 术 语	3
2.2 符 号	3
3.1 混凝土	5
3.2 钢材及连接材料	7
4.1 一般规定	9
4.2 钢管再生混合混凝土柱	9
4.3 梁—钢管再生混合混凝土柱节点	11
4.4 压型钢板再生混合混凝土组合楼板	12
4.5 外置钢板再生混合混凝土剪力墙	12
4.6 U型外包钢再生混合混凝土梁	13
5 施工工艺与质量控制	18
5.1 施工工艺	18
5.2 质量控制	18
本规程用词用语说明	21
引用标准名录	22

1 总 则

1.0.1 为在土建工程中应用再生混合混凝土组合构件，并做到安全适用、经济合理、技术先进，制定本规程。

1.0.1 条文说明：特征尺寸不小于 60 mm 的废弃混凝土块状物与新混凝土混合浇捣，并与型钢组合形成的构件，称为再生混合混凝土组合构件（即采用大尺度废弃混凝土的组合构件）。该类构件不仅可明显降低砂、石等天然资源的消耗，符合可持续发展的国家战略，而且是从更为宏观的角度对废弃混凝土进行回收利用，简化了传统再生骨料（再生细骨料和再生粗骨料的特征尺寸分别为 0.075 mm~4.75 mm 和 4.75 mm~40 mm）的繁琐生产过程，降低了该过程的能源消耗，同时还节省了与废弃混凝土块体体积相当的再生骨料混凝土配制所需水泥，使得废弃混凝土的回收利用成本降低，环保节能效应更为彻底。本条指明了本规程制定的目的，以及再生混合混凝土组合构件设计和施工时应遵循的原则。

1.0.2 本规程适用于建筑物和构筑物中再生混合混凝土组合构件的设计与施工。

1.0.2 条文说明：编制组对再生混合混凝土组合构件进行了较系统的试验研究和试点工程应用，在此基础上参考借鉴国内外相关技术成果制定了本规程。本规程适用于非地震区和设防烈度 6~9 度地震区的建筑物和构筑物中再生混合混凝土组合构件的设计与施工。

1.0.3 再生混合混凝土组合构件的设计与施工，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

1.0.3 条文说明：本规程是在我国已有技术标准的基础上，针对再生混合混凝土组合构件的特点编制的，该类构件的设计和施工还应符合国家现行相关标准的其它通用性规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 废弃混凝土块体 demolished concrete block (DCB)

特征尺寸不小于 60 mm 的废弃混凝土块状物

2.1.2 新混凝土 fresh concrete

当前施工现场的新鲜混凝土

2.1.3 再生混合混凝土 compound concrete made of DCBs and fresh concrete (CC)

废弃混凝土块体与新混凝土混合浇筑形成的混合物

2.1.4 再生混合混凝土组合构件 composite structural member composed of steel and CC

再生混合混凝土与型钢组合形成的结构构件

2.1.5 钢管再生混合混凝土柱 steel tubular column filled with CC

钢管内部浇筑再生混合混凝土，并由二者共同承受荷载的柱子

2.1.6 梁-钢管再生混合混凝土柱节点 connection between beam and steel tubular column filled with CC

梁和钢管再生混合混凝土柱之间的连接部件

2.1.7 压型钢板再生混合混凝土组合楼板 composite slab with profiled steel sheet casted using CC

压型钢板上浇筑再生混合混凝土，并由二者共同承受荷载的楼板

2.1.8 U 型外包钢再生混合混凝土梁 U-shaped steel beam filled with CC

U 型外包钢内部浇筑再生混合混凝土，并由二者共同承受荷载的梁

2.1.9 外置钢板再生混合混凝土墙 exterior-steel-plate wall filled with CC

两片外置钢板之间浇筑再生混合混凝土，并由它们共同承受荷载的墙

2.2 符 号

a_s	——	梁底纵向钢筋截面形心至梁底面的距离
A_a	——	钢管的横截面积，或剪力墙横截面的钢板总面积，或 U 型外包钢的横截面积
A_b	——	U 型外包钢底板的横截面积
A_c	——	钢管内部混凝土的横截面积，或剪力墙横截面的混凝土面积

A_f	——	U 型外包钢翼缘的横截面积
A_{s1}	——	梁底纵向钢筋的横截面积
A_{s2}	——	负弯矩区翼板有效宽度范围内纵向钢筋的横截面积
b_c	——	U 型外包钢内填混凝土的宽度
b_e	——	翼板的有效宽度
$E_{c, combined}$	——	再生混合混凝土的弹性模量
f_a	——	钢材的屈服强度设计值
f_c	——	翼板混凝土的轴心抗压强度设计值
$f_{c, combined}$	——	再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值
$f_{ck, combined}$	——	再生混合混凝土的组合轴心抗压强度标准值
$f_{cue, old}$	——	废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值
$f_{cuk, combined}$	——	再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值
$f_{cuk, new}$	——	新混凝土的立方体抗压强度标准值
$f_{t, combined}$	——	再生混合混凝土的组合轴心抗拉强度设计值
$f_{tk, combined}$	——	再生混合混凝土的组合轴心抗拉强度标准值
f_{y1}	——	梁底纵向钢筋的屈服强度设计值
f_{y2}	——	负弯矩区翼板有效宽度范围内纵向钢筋的屈服强度设计值
$G_{c, combined}$	——	再生混合混凝土的剪切模量
h_c	——	翼板的厚度
M	——	弯矩设计值
N	——	与柱剪力设计值相应的柱轴向压力设计值
t_b	——	U 型外包钢的底板厚度
t_f	——	U 型外包钢的翼缘厚度
t_w	——	U 型外包钢的腹板厚度
V_u	——	柱的横向受剪承载力设计值
W_{pn}	——	U 型外包钢横截面对过其形心水平轴的塑性净截面模量
x	——	混凝土等效受压区高度
y_1	——	U 型外包钢横截面形心至翼板混凝土等效受压区形心的距离
y_2	——	梁底纵向钢筋截面形心至翼板混凝土等效受压区形心的距离
y_3	——	U 型外包钢横截面形心至梁底面的距离
y_4	——	U 型外包钢横截面形心至塑性中和轴的距离
y_5	——	翼板横截面形心至梁底纵向钢筋截面形心的距离
y_6	——	翼板内纵向钢筋截面形心至梁底纵向钢筋截面形心的距离
β_1	——	混凝土等效受压区高度与实际受压区高度之间的换算系数
η	——	再生混合混凝土中废弃混凝土块体的取代率
θ	——	钢管再生混合混凝土柱的套箍系数
λ	——	柱的剪跨比

条文说明：本规程采用的符号遵照《建筑结构术语和符号标准》GB/T 50083 的规定，并尽量与其他相关标准一致，以适应工程设计及施工人员的习惯。

3 材 料

3.1 混凝土

3.1.1 再生混合混凝土组合构件所采用的新混凝土应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.1.1 条文说明：再生混合混凝土组合构件所采用的新混凝土与常规混凝土结构所用混凝土同类，因此其各种性能指标应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求。

3.1.2 再生混合混凝土组合构件所采用的废弃混凝土块体的最大氯离子含量和最大碱含量应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.1.2 条文说明：废弃混凝土块体的氯离子含量和碱含量过高，可能引发钢材锈蚀和碱骨料反应，严重影响构件的受力性能和耐久性能。因此，根据《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求，需对废弃混凝土块体的最大氯离子含量和最大碱含量进行限制。

3.1.3 再生混合混凝土组合构件所采用的废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值宜按直径 100 mm、高度 100 mm 的废弃混凝土芯样的实测抗压强度取用。

3.1.3 条文说明：依据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03 的规定，相同龄期和条件下直径和高度均为 100 mm 的混凝土芯样的抗压强度相当于边长 150 mm 的混凝土立方体的抗压强度，因此废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值可按直径 100 mm、高度 100 mm 的废弃混凝土芯样的实测抗压强度取用。废弃混凝土芯样的钻取及其强度检测应符合《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03 的规定。

3.1.4 同一再生混合混凝土组合构件中的废弃混凝土块体应具有相同的立方体抗压强度实测值。

3.1.4 条文说明：为了在构件的设计过程中较好地确定再生混合混凝土的力学参数，同一再生混合混凝土组合构件不应采用具有不同抗压强度的多种废弃混凝土块体。

3.1.5 对于钢管再生混合混凝土柱、U 型外包钢再生混合混凝土梁、外置钢板再生混合混凝土墙，废弃混凝土块体的特征尺寸不宜大于构件横截面短边方向尺寸的 1/3。对于压型钢板再生混合混凝土组合楼板，废弃混凝土块体的特征尺寸不应大于压型钢板肋顶以上混凝土厚度的 60%。

3.1.5 条文说明：为保障再生混合混凝土组合构件中废弃混凝土块体的分散性、隐蔽性及其与新混凝土的混合浇筑质量，需对废弃混凝土块体的特征尺寸加以限制。

3.1.6 再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值按下式计算：

$$f_{\text{cuk, combined}} = f_{\text{cuk, new}} \times (1 - \eta) + f_{\text{cue, old}} \times \eta \quad (3.1.6)$$

式中 $f_{\text{cuk, combined}}$	——	再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值 (N/mm ²)；
$f_{\text{cuk, new}}$	——	新混凝土的立方体抗压强度标准值，按《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取用 (N/mm ²)；
$f_{\text{cue, old}}$	——	废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值 (N/mm ²)；

η	——	废弃混凝土块体的取代率，即再生混合混凝土中废弃混凝土块体的质量百分比。
--------	----	-------------------------------------

3.1.6 条文说明：试验表明，当新混凝土与废弃混凝土块体的立方体抗压强度之差介于 $[-5\text{MPa}, 15\text{MPa}]$ 区间时，再生混合混凝土的组合立方体抗压强度可较好地满足式（3.1.6）。

3.1.7 再生混合混凝土中废弃混凝土块体的取代率宜取为 30%~35%。

3.1.7 条文说明：再生混合混凝土中废弃混凝土块体的取代率越高，废弃混凝土的循环利用程度就越高，但施工浇筑难度也就越大。虽然该取代率在实验室里曾高达 50%，但施工已很是不易。大量试验表明，当废弃混凝土块体的取代率约为 1/3 时，可较好地实现循环利用程度与施工浇筑难度之间的平衡。

3.1.8 再生混合混凝土的组合轴心抗压强度标准值 $f_{\text{ck, combined}}$ 和组合轴心抗拉强度标准值 $f_{\text{tk, combined}}$ 按表 3.1.8 取用。

表3.1.8 再生混合混凝土的组合轴心抗压、抗拉强度标准值 (N/mm^2)

强度类别	再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)						
	20	25	30	35	40	45	50
$f_{\text{ck, combined}}$	12.1	15.0	18.1	21.1	24.1	26.6	29.2
$f_{\text{tk, combined}}$	1.39	1.60	1.81	1.98	2.15	2.26	2.38

3.1.8 条文说明：试验表明，再生混合混凝土的组合轴心抗压强度与组合立方体抗压强度之比约为 0.68，相比常规混凝土的同类比值 0.76 降低了约 10%。据此，参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定，再生混合混凝土的组合轴心抗压强度标准值按 $f_{\text{ck, combined}} = 90\% \times 0.88 \times 0.76 \alpha_{c2} f_{\text{cuk, combined}}$ 计算。 α_{c2} 为 $f_{\text{cuk, combined}}$ 大于 40 MPa 时再生混合混凝土的脆性折减系数， $f_{\text{cuk, combined}} = 40 \text{ MPa}$ 时取 1.00， $f_{\text{cuk, combined}} = 50 \text{ MPa}$ 时取 0.955，中间按照线性插值。

再生混合混凝土组合轴心抗拉强度标准值与组合立方体抗压强度标准值之间的定量关系，直接参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 中混凝土轴心抗拉强度标准值与立方体抗压强度标准值之间的定量关系并考虑 10% 的折减取用。

3.1.9 再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值 $f_{\text{c, combined}}$ 和组合轴心抗拉强度设计值 $f_{\text{t, combined}}$ 按表 3.1.9 取用。

表3.1.9 再生混合混凝土的组合轴心抗压、抗拉强度设计值 (N/mm^2)

强度类别	再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)						
	20	25	30	35	40	45	50
$f_{\text{c, combined}}$	8.6	10.7	12.9	15.0	17.2	19.0	20.8
$f_{\text{t, combined}}$	1.00	1.14	1.29	1.41	1.54	1.62	1.70

3.1.9 条文说明：参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定，再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值按 $f_{\text{c, combined}} = f_{\text{ck, combined}} / 1.4$ 计算，组合轴心抗拉强度设计值按 $f_{\text{t, combined}} = f_{\text{tk, combined}} / 1.4$ 计算。

3.1.10 再生混合混凝土的弹性模量 $E_{\text{c, combined}}$ 宜按表 3.1.10 取用，当有可靠试验依据时也可采用实测数据。再生混合混凝土的剪切模量 $G_{\text{c, combined}}$ 可按相应弹性模量值的 40% 取用。

表3.1.10 再生混合混凝土的弹性模量

再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值 (N/mm ²)	20	25	30	35	40	45	50
$E_{c, combined} (\times 10^4 \text{ N/mm}^2)$	2.04	2.24	2.40	2.52	2.60	2.68	2.76

3.1.10 条文说明：试验表明，当再生混合混凝土的组合立方体抗压强度与常规混凝土的立方体抗压强度相等时，前者弹性模量与后者弹性模量之比约为 0.8。据此，通过对《混凝土结构设计规范》GB 50010 中常规混凝土的弹性模量乘以折减系数 0.8，即可得到表 3.1.10。再生混合混凝土的剪切模量与弹性模量之比直接按《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用。

3.2 钢材及连接材料

3.2.1 再生混合混凝土组合构件所采用的结构钢应符合《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

3.2.1 条文说明：再生混合混凝土组合构件所采用的结构钢与常规钢结构所用结构钢同类，考虑构件的重要性、荷载特征、应力状态、钢材厚度、连接方式、环境条件等因素，所用结构钢的各种性能指标应满足《钢结构设计规范》GB 50017 的相应要求。

3.2.2 再生混合混凝土组合构件所用结构钢的强度设计值、强度标准值和物理性能指标按《钢结构设计规范》GB 50017 或《连续热镀锌薄钢板及钢带》GB/T 2518 中相同牌号及相同成型工艺结构钢的对应取值取用。

3.2.2 条文说明：由于再生混合混凝土组合构件所采用的结构钢与常规钢结构所用结构钢同类，其强度指标和物理性能指标直接按《钢结构设计规范》GB 50017 或《连续热镀锌薄钢板及钢带》GB/T 2518（注：主要针对组合楼板中的压型钢板）的规定取用即可。

3.2.3 再生混合混凝土组合构件中钢材连接所采用的焊条、焊丝、焊剂、普通螺栓、高强度螺栓应符合《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。再生混合混凝土组合构件所采用的栓钉及其力学性能指标应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

3.2.3 条文说明：再生混合混凝土组合构件所用钢材与常规钢结构所用钢材同类，因此与之相应的焊接用焊条、焊丝和焊剂，以及连接用螺栓应满足《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。作为抗剪连接件的栓钉应该是符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 规定的合格产品，不得用短钢筋代替栓钉。

3.2.4 再生混合混凝土组合构件中的焊缝质量等级和焊缝强度设计值，以及普通螺栓连接的强度设计值、高强度螺栓连接的钢材摩擦面抗滑移系数值和设计预拉力应符合《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。再生混合混凝土组合构件中单个抗剪栓钉的承载力设计值按《钢结构设计规范》GB 50017 的规定计算。

3.2.4 条文说明：再生混合混凝土组合构件所用钢材与常规钢结构所用钢材同类，因此与之相应的焊缝质量等级和焊缝强度指标，以及螺栓连接的强度指标、钢材摩擦面抗滑移系数和设计预拉力应遵循《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。此外，该规范还给出了单个抗剪栓钉的承载力设计值计算公式。

3.2.5 再生混合混凝土组合构件所采用的钢筋应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.2.5 条文说明：再生混合混凝土组合构件所采用的钢筋与常规混凝土结构所用钢筋同类，考虑构件的重要性、荷载特征、应力状态等因素，所用钢筋的各项性能指标应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相应要求。

3.2.6 再生混合混凝土组合构件所用钢筋的强度设计值、强度标准值和弹性模量按《混凝土结构设计规范》GB 50010 中相同牌号钢筋的对应取值取用。

3.2.6 条文说明：由于再生混合混凝土组合构件所用钢筋与常规混凝土结构所用钢筋同类，其强度和弹模指标直接按《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取用即可。

4 构件设计

4.1 一般规定

4.1.1 在再生混合混凝土组合构件的设计过程中，若需遵循国家现行相关标准的规定，这些标准所涉及到的混凝土力学参数应改按再生混合混凝土的力学参数取用，具体由本规程第 3.1.6 条、第 3.1.8 条、第 3.1.9 条、第 3.1.10 条确定。

4.1.1 条文说明：再生混合混凝土组合构件所采用的混凝土已由常规混凝土转换成了再生混合混凝土，设计过程中混凝土的力学参数自然应改按再生混合混凝土的力学参数取用。

4.1.2 凡本规程未作规定者，钢管再生混合混凝土柱以及梁—钢管再生混合混凝土柱节点的设计应符合《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定，压型钢板再生混合混凝土组合楼板的设计应符合《组合楼板设计与施工规范》CECS 273 的规定，外置钢板再生混合混凝土剪力墙的设计应符合《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的规定，U 型外包钢再生混合混凝土梁的设计应参照《钢结构设计规范》GB 50017 和《组合结构设计规范》JGJ 138 执行。

4.1.2 条文说明：再生混合混凝土组合构件与常规混凝土组合构件相比，区别仅仅在于前者采用的是再生混合混凝土，由此产生的设计差异已在本规程中做出了具体规定。除此之外，再生混合混凝土组合构件的设计应符合国家现行相关标准的规定。

4.2 钢管再生混合混凝土柱

4.2.1 圆钢管再生混合混凝土柱的钢管外径与壁厚之比不应大于 $160 \times (235/f_a)$ ，方钢管再生混合混凝土柱的钢管横截面边长与壁厚之比不应大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ ， f_a 为钢材的屈服强度设计值。

4.2.1 条文说明：《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定，受压为主和受弯为主时圆钢管径厚比分别不应大于 $135 \times (235/f_a)$ 和 $177 \times (235/f_a)$ ，即随着弯曲效应的增加，径厚比的上限值有所放宽。在编制组开展的相关试验中，圆钢管再生混合混凝土轴压柱和偏压柱的钢管径厚比最高分别为 200 和 160，且取得了较好的试验效果。综合上述两方面因素，为简便起见对圆钢管再生混合混凝土柱（包括轴压柱和偏压柱）规定了统一的径厚比上限值 $160 \times (235/f_a)$ 。

《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定，受压为主和受弯为主时方钢管宽厚比分别不应大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 和 $135 \times (235/f_a)^{0.5}$ ，即随着弯曲效应的增加，宽厚比的上限值明显放宽。在编制组开展的相关试验中，方钢管再生混合混凝土轴压柱的钢管宽厚比最高为 200，也取得了较好的试验效果。综合上述两方面因素，同时考虑到本规程相比其他标准的跨度不宜过大，对方钢管再生混合混凝土柱（包括轴压柱和偏压柱）规定了统一的径厚比上限值 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 。

4.2.2 当钢管外径与壁厚之比不大于 $135 \times (235/f_a)$ 时，圆钢管再生混合混凝土柱的轴向受压承载力设计值按《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定计算；当钢管外径与壁厚之比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时，

圆钢管再生混合混凝土柱的轴向受压承载力设计值按《钢管混凝土结构技术规程》DBJ 13-51 的规定计算。

4.2.2 条文说明:《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定, 受压为主时圆钢管径厚比不应大于 $135 \times (235/f_a)$, 在此范围内圆钢管再生混合混凝土柱的轴向受压承载力设计值可直接按该规范的相关规定(含偏心率和长细比的考虑)进行计算。

试验和计算表明, 即使在径厚比等于 160 和 200 的情况下, 利用《钢管混凝土结构技术规程》DBJ 13-51 的相关公式仍可较好地预测圆钢管再生混合混凝土柱的轴向受压承载力。为此, 当径厚比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时, 圆钢管再生混合混凝土柱的轴向受压承载力设计值可按该规程的相关公式(含偏心率和长细比的考虑)进行计算。

4.2.3 当钢管横截面边长与壁厚之比不大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时, 方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力设计值按《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定计算并乘以 0.95 的折减系数; 当钢管横截面边长与壁厚之比大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 但不大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时, 方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力设计值按《矩形钢管混凝土结构技术规范》CECS 159 的规定计算并乘以 0.95 的折减系数。

4.2.3 条文说明:《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定, 受压为主时方钢管宽厚比不应大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$, 在此范围内方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力设计值可首先按该规范的相关规定进行计算, 然后乘以折减系数 0.95。

试验和计算表明, 即使在宽厚比等于 200 的情况下, 利用《矩形钢管混凝土结构技术规范》CECS 159 的相关公式仍可较好地预测方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力。为此, 当宽厚比大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 但不大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时, 方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力设计值可首先按该规程的相关公式进行计算, 然后乘以折减系数 0.95。

折减系数 0.95 是基于试验和计算结果, 为使方钢管再生混合混凝土短柱的轴心受压承载力设计值具有与常规方钢管混凝土短柱相似的安全性而采用的。

4.2.4 当钢管外径与壁厚之比不大于 $135 \times (235/f_a)$ 时, 圆钢管再生混合混凝土柱的横向受剪承载力设计值按《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定计算; 当钢管外径与壁厚之比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时, 圆钢管再生混合混凝土柱的横向受剪承载力设计值按下式计算:

$$V_u = \{(1+1.17\theta)[0.68/(\lambda+0.75)+0.41n-0.15n^2-0.48]+0.58\theta\}A_c f_{c, \text{ combined}} \quad (4.2.4)$$

式中	V_u	——	柱的横向受剪承载力设计值 (N);
	λ	——	柱的剪跨比 ($\lambda \leq 0.5$);
	n	——	$= N/(A_a f_a + A_c f_{c, \text{ combined}})$, N 为与柱剪力设计值相应的柱轴向压力设计值 (N), A_a 为钢管的横截面积 (mm^2), A_c 为管内混凝土的横截面积 (mm^2), f_a 为钢材的屈服强度设计值 (N/mm^2), $f_{c, \text{ combined}}$ 为再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);
	θ	——	柱的套箍系数 ($= A_a f_a / A_c f_{c, \text{ combined}}$)。

4.2.4 条文说明:《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定, 受压为主时圆钢管径厚比不应大于 $135 \times (235/f_a)$, 在此范围内圆钢管再生混合混凝土柱的横向受剪承载力设计值可直接按该规范的相关规定进行计算。

试验和计算表明,即使在径厚比等于200的情况下,利用式(4.2.4)仍可较好地预测圆钢管再生混合混凝土柱的横向受剪承载力。为此,当径厚比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时,该类柱的横向受剪承载力设计值可按该式进行计算。

4.2.5 当钢管外径与壁厚之比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时,圆钢管再生混合混凝土柱的设计轴压比不宜超过0.65;当钢管横截面边长与壁厚之比大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 但不大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时,方钢管再生混合混凝土柱的设计轴压比不宜超过0.65。设计轴压比等于考虑地震组合的柱轴向压力设计值与 $A_a f_a + A_c f_{c, combined}$ 之比。

4.2.5 条文说明:《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定,受压为主时圆钢管径厚比和方钢管宽厚比分别不应大于 $135 \times (235/f_a)$ 和 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$,在此范围内柱的轴压比限值执行该规范的规定。

试验表明,圆钢管实际径厚比或方钢管实际宽厚比等于168.5时,实际轴压比为0.4(设计轴压比约0.65)的圆钢管再生混合混凝土柱和方钢管再生混合混凝土柱仍具有良好的抗震性能,极限位移角分别可达1/25和1/35。为此,在缺乏对应更大实际轴压比的试验数据支持的情况下,规定径厚比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$ 时圆钢管再生混合混凝土柱的设计轴压比不宜超过0.65,宽厚比大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 但不大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时方钢管再生混合混凝土柱的设计轴压比不宜超过0.65。

4.3 梁—钢管再生混合混凝土柱节点

4.3.1 钢管再生混合混凝土柱与钢筋混凝土梁的连接不宜采用穿心式节点构造;若钢管再生混合混凝土柱与钢梁的连接采用内加强环节点构造,内加强环中心孔洞的直径应大于废弃混凝土块体特征尺寸的两倍。

4.3.1 条文说明:现场浇筑时为方便废弃混凝土块体顺利通过节点核心区,钢管再生混合混凝土柱与钢筋混凝土梁的连接宜采用非穿心式节点构造。基于相同的考虑,钢管再生混合混凝土柱与钢梁的连接宜采用外加强环节点构造;确需采用内加强环节点构造时,内加强环中心孔洞的直径应大于废弃混凝土块体特征尺寸的两倍,以避免给废弃混凝土块体的浇筑造成困难。

4.3.2 当钢管外径与壁厚之比不大于 $135 \times (235/f_a)$ 或钢管横截面边长与壁厚之比不大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时,圆钢管再生混合混凝土柱和方钢管再生混合混凝土柱与钢梁或钢筋混凝土梁(板)的连接设计应符合《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定。

4.3.2 条文说明:试验表明,钢管再生混合混凝土柱与梁的连接性能并不会因废弃混凝土块体的采用而呈现明显变化。《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定,受压为主时圆钢管径厚比和方钢管宽厚比分别不应大于 $135 \times (235/f_a)$ 和 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$,在此范围内钢管再生混合混凝土柱与钢梁或钢筋混凝土梁(板)的连接设计执行该规范的规定。

4.3.3 当钢管再生混合混凝土柱的柱身钢管外径与壁厚之比大于 $135 \times (235/f_a)$ 但不大于 $160 \times (235/f_a)$,或柱身钢管横截面边长与壁厚之比大于 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 但不大于 $100 \times (235/f_a)^{0.5}$ 时,节点域内及其附近的钢管应局部加厚。局部加厚处的钢管外径或横截面边长宜与柱身钢管相同,局部加厚处的钢管外径与壁厚之比或钢管横截面边长与壁厚之比应分别不大于 $135 \times$

$(235/f_a)$ 或 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$,局部加厚钢管向上和向下伸出节点域的长度应不小于钢管外径或钢管横截面边长的一半,局部加厚钢管和柱身钢管宜采用全熔透焊缝对接。在此基础上,钢管再生混合混凝土柱与钢梁或钢筋混凝土梁(板)的连接可按《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定设计。

4.3.3 条文说明:《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 规定,受压为主时圆钢管径厚比和方钢管宽厚比分别不应大于 $135 \times (235/f_a)$ 和 $60 \times (235/f_a)^{0.5}$ 。当径厚比或宽厚比超过上述限值时,避免因钢管壁较薄而导致节点域内传力能力不足,有必要对节点域及其附近的钢管进行局部加厚。当局部加厚处的钢管外径与壁厚之比或钢管横截面边长与壁厚之比分别不大于上述限值时,即可按《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定对钢管再生混合混凝土柱与钢梁或钢筋混凝土梁(板)的连接进行设计。

试验表明,当局部加厚钢管向上和向下伸出节点域的长度等于钢管外径的一半时,已可较好地实现强柱弱梁更强节点的设计要求。

4.4 压型钢板再生混合混凝土组合楼板

4.4.1 压型钢板再生混合混凝土组合楼板宜选用闭口型或缩口型压型钢板,压型钢板的单槽槽口最小浇筑宽度与废弃混凝土块体特征尺寸之差宜大于 50 mm。

4.4.1 条文说明:相比开口型压型钢板,闭口型或缩口型压型钢板具有组合作用强、耐火性能好等优点,为此本规程优先推荐这两类压型钢板。为保障废弃混凝土块体在压型钢板凹槽处的浇筑质量,对压型钢板的单槽槽口最小浇筑宽度与废弃混凝土块体特征尺寸之差做出了规定。

4.4.2 压型钢板再生混合混凝土组合楼板的总厚度不应小于 120 mm,压型钢板肋顶以上混凝土厚度不应小于 80 mm。

4.4.2 条文说明:《组合楼板设计与施工规范》CECS 273 规定常规压型钢板组合楼板的总厚度不应小于 90 mm,同时压型钢板肋顶以上混凝土厚度不应小于 50 mm。为方便大尺度废弃混凝土块体的应用,考虑到本规程第 3.1.5 条的规定以及废弃混凝土块体特征尺寸的下限值为 60 mm,计算取整后可得压型钢板肋顶以上混凝土厚度的下限值。在此基础上,压型钢板再生混合混凝土组合楼板的总厚度下限值也相应做了提高。

4.4.3 对于简支压型钢板再生混合混凝土组合楼板,当常温下其跨中组合弯矩设计值与跨中受弯承载力设计值之比不大于 0.3 或 0.6 时,无需涂抹防火涂料即可满足 1.5 h 或 1.0 h 的耐火极限要求;当该比值大于 0.6 时,为满足 1.5 h 的耐火极限要求,应在压型钢板底面涂抹厚度不小于 10 mm 的非膨胀型防火涂料。

4.4.3 条文说明:明火试验表明:当常温下简支压型钢板再生混合混凝土组合楼板的跨中组合弯矩与跨中受弯承载力之比不大于 0.2 或 0.4 时,无需涂抹防火涂料即可满足 1.5 h 或 1.0 h 的耐火极限要求;而当该比值等于 0.5 时,只需在压型钢板底面涂抹厚度 10 mm 的非膨胀型防火涂料即可实现长达 3.0 h 的耐火极限。考虑该比值实测值与设计值之间的转换关系,偏保守地制定本条。

4.5 外置钢板再生混合混凝土剪力墙

4.5.1 本规程所提外置钢板再生混合混凝土剪力墙由两片外包钢板、两片钢板之间的内填再生混合混凝土、外包钢板和内填混凝土之间的连接三部分组成，墙的总厚度不应小于 120 mm。外置钢板再生混合混凝土剪力墙的两端宜设置矩形钢管混凝土端柱，墙体钢板与矩形钢管之间宜采用焊接连接，矩形钢管内部可采用再生混合混凝土。

4.5.1 条文说明：编制组前期开展了外置双侧钢板再生混合混凝土剪力墙的相关试验，但暂未涉及外置单侧钢板再生混合混凝土剪力墙，为此本规程目前仅对前者设计做出规定。考虑到本规程第 3.1.5 条的规定以及废弃混凝土块体特征尺寸的下限值为 60 mm，计算可得墙总厚度的下限值。

4.5.2 外置钢板再生混合混凝土剪力墙中单片钢板的厚度不宜小于 6 mm，墙的总厚度与单片钢板厚度之比不宜超过 100。

4.5.2 条文说明：试验表明，即使在单片钢板厚度仅为 1.0 mm~2.0 mm 的情况下，只要墙的总厚度与单片钢板厚度之比不超过 100 且设计轴压比不超过 0.5，外置钢板再生混合混凝土剪力墙的破坏位移角仍可大于 1/80。但考虑到施工过程中钢板的稳定性以及栓钉等连接的可焊性，建议单片钢板的厚度不宜小于 6 mm。

4.5.3 考虑地震作用的外置钢板再生混合混凝土剪力墙在重力荷载代表值作用下的设计轴压比限值按表 4.5.3 取用。设计轴压比等于剪力墙的轴向压力设计值与 $A_a f_a + A_c f_{c, combined}$ 之比， A_a 为剪力墙横截面的钢板总面积 (mm^2)， A_c 为剪力墙横截面的混凝土面积 (mm^2)， f_a 为钢材的屈服强度设计值 (N/mm^2)， $f_{c, combined}$ 为再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)。

表 4.5.3 外置钢板再生混合混凝土剪力墙的设计轴压比限值

抗震等级（设防烈度）	一级（9 度）	一级（6、7、8 度）	二、三级
设计轴压比限值	0.35	0.4	0.5

4.5.3 条文说明：试验表明：实际轴压比为 0.2（设计轴压比约 0.35）时，外置钢板再生混合混凝土剪力墙具有良好的抗震性能，破坏位移角约 1/35；实际轴压比为 0.3（设计轴压比约 0.5）时，该类墙的抗震性能虽有所退化，但破坏位移角仍可达 1/50 左右。据此，对于抗震等级和设防烈度较高的情况，规定了较严的设计轴压比限值。表 4.5.3 中的限值相比《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的相应限值收紧了 0.05~0.1。

4.6 U 型外包钢再生混合混凝土梁

4.6.1 本规程适用于由 U 型外包钢、内填再生混合混凝土、抗剪连接件、钢筋混凝土翼板四部分组成且不直接承受动力荷载的 U 型外包钢再生混合混凝土梁。

4.6.1 条文说明：将钢筋混凝土梁的纵筋和箍筋转化为连续的 U 型外包钢，不仅可减少钢筋绑扎和支模拆模等工序，还可极大地方便大尺度废弃混凝土块体的浇筑。由于本规程未对 U 型外包钢再生混合混凝土梁的疲劳验算做出规定，故暂不包括直接承受动力荷载的情况。

4.6.2 U 型外包钢宜采用冷弯薄壁型钢，其横截面宽度不宜小于 200 mm，钢板厚度不宜小于 4 mm。

4.6.2 条文说明: 考虑到薄钢板的焊接质量有时不易保证, U 型外包钢最好采用冷弯成型。《混凝土结构设计规范》GB 50010 要求框架梁截面宽度不宜小于 200 mm, 加之 U 型外包钢的空腔内还要浇筑大尺度废弃混凝土块体, 因此 U 型外包钢的横截面宽度不宜小于 200 mm。

试验表明, 即使 U 型外包钢的钢板厚度仅有 2 mm (实测厚度 1.68 mm), 足尺的 U 型外包钢再生混合混凝土梁仍具有良好的受力性能。但考虑到施工过程中钢板的稳定性以及抗剪连接件的可焊性, 建议钢板厚度不小于 4 mm。

4.6.3 U 型外包钢的上翼缘应从梁的两侧面向外延伸, 单侧上翼缘的宽度不宜小于 50 mm。上翼缘与抗剪连接件之间宜采用焊接连接, 抗剪连接件可以是上翼缘上表面布设的栓钉, 也可以是横跨两侧上翼缘且沿梁纵向间隔布设的角钢、槽钢或有可靠依据的其他类型连接件。当采用横跨两侧上翼缘的抗剪连接件时, 其沿梁纵向的布设间距不宜小于 200 mm。

4.6.3 条文说明: 为了不阻挡大尺度废弃混凝土块体的浇筑, U 型外包钢的上翼缘只能从梁的两侧面向外延伸 (即外翻) 而不是向内延伸 (即内翻)。为了确保横跨两侧上翼缘的抗剪连接件与上翼缘之间具有足够的焊缝长度, 上翼缘的宽度不应过小, 此时如果抗剪连接件沿梁纵向的布设间距过小, 将对大尺度废弃混凝土块体的浇筑造成困难, 为此规定了该间距的下限取值。

4.6.4 为提高 U 型外包钢再生混合混凝土梁正弯矩作用区段的承载能力, 可在梁底配置适量纵向受拉钢筋, 其保护层厚度不应小于钢筋直径和 20 mm 二者的较大值。

4.6.4 条文说明: 试验表明, 为提高 U 型外包钢再生混合混凝土梁正弯矩作用区段的承载能力, 在梁底配置适量纵向受拉钢筋比增加 U 型外包钢的壁厚更为经济有效, 同时梁底纵筋还可显著减小 U 型外包钢与内填混凝土之间的滑移。为保证钢筋和混凝土之间的可靠粘结, 规定了前者保护层厚度的下限值。

4.6.5 U 型外包钢再生混合混凝土梁负弯矩作用区段的纵向受拉钢筋设置应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4.6.5 条文说明: 由于 U 型外包钢的上口完全开敞, 其负弯矩区的纵向受拉钢筋设置应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行。

4.6.6 在进行 U 型外包钢再生混合混凝土梁的正截面受弯承载力计算时, 钢筋混凝土翼板的有效宽度按《钢结构设计规范》GB 50017 的规定计算, 并将相关公式中的板托顶部宽度取为梁的横截面宽度。

4.6.6 条文说明: 《钢结构设计规范》GB 50017 给出了钢—混凝土组合梁的混凝土翼板有效宽度计算公式, 本规程参照该规范执行, 并将公式中的板托顶部宽度取为 U 型外包钢再生混合混凝土梁的横截面宽度。

4.6.7 完全抗剪连接 U 型外包钢再生混合混凝土梁的正截面受弯承载力应按下列规定计算:

1、正弯矩作用区段

1) 塑性中和轴在钢筋混凝土翼板内 (图 4.6.7-1), 即 $A_s f_a + A_{s1} f_{y1} \leq b_e h f_c$ 时:

$$M \leq A_s f_a y_1 + A_{s1} f_{y1} y_2 \quad (4.6.7-1)$$

$$x = (A_a f_a + A_{s1} f_{y1}) / b_e f_c \quad (4.6.7-2)$$

式中	M	——	弯矩设计值 (N·mm);
	x	——	混凝土等效受压区高度 (mm);
	A_a	——	U 型外包钢的横截面积 (mm ²);
	A_{s1}	——	梁底纵向钢筋的横截面积 (mm ²);
	f_a	——	钢材的屈服强度设计值 (N/mm ²);
	f_{y1}	——	梁底纵向钢筋的屈服强度设计值 (N/mm ²);
	f_c	——	翼板混凝土的轴心抗压强度设计值 (N/mm ²);
	y_1	——	U 型外包钢横截面形心至翼板混凝土等效受压区形心的距离 (mm);
	y_2	——	梁底纵向钢筋截面形心至翼板混凝土等效受压区形心的距离 (mm);
	b_e	——	翼板的有效宽度 (mm);
	h_c	——	翼板的厚度 (mm)。

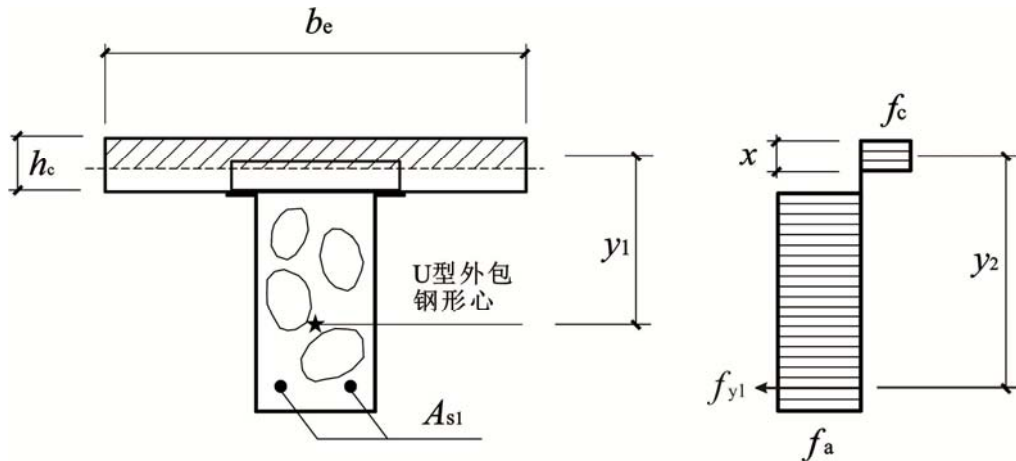


图 4.6.7-1 塑性中和轴在钢筋混凝土翼板内的梁截面应力分布

2) 塑性中和轴在 U 型外包钢腹板内 (图 4.6.7-2), 即 $A_a f_a + A_s f_y > b_e h_c f_c$ 时:

$$M \leq W_{pn} f_a - 4y_4 t_w f_a (y_3 + y_4/2 - a_s) + b_e f_c h_c y_5 + b_e f_c, \text{ combined} (x - h_c) (y_5 - x/2) \quad (4.6.7-3)$$

$$x = [(A_a - 2A_f) f_a + 4t_w (h_c + t_f) f_a + A_s f_y - b_e h_c f_c + b_e h_c f_c, \text{ combined}] / (b_e f_c, \text{ combined} + 4t_w f_a / \beta_1) \quad (4.6.7-4)$$

式中	W_{pn}	——	U 型外包钢横截面对过其形心水平轴的塑性净截面模量 (mm ³);
	A_f	——	U 型外包钢翼缘的横截面积 (mm ²);
	t_f	——	U 型外包钢的翼缘厚度 (mm);
	t_w	——	U 型外包钢的腹板厚度 (mm);
	b_c	——	U 型外包钢内填混凝土的宽度 (mm);
	$f_{c, \text{combined}}$	——	再生混合混凝土的组合轴心抗压强度设计值 (N/mm ²);
	y_3	——	U 型外包钢横截面形心至梁底面的距离 (mm);
	y_4	——	U 型外包钢横截面形心至塑性中和轴的距离 (mm);
	y_5	——	翼板横截面形心至梁底纵向钢筋截面形心的距离 (mm);
	a_s	——	梁底纵向钢筋截面形心至梁底面的距离 (mm);

β_1	—	混凝土等效受压区高度与实际受压区高度之间的换算系数，取为 0.8。
-----------	---	-----------------------------------

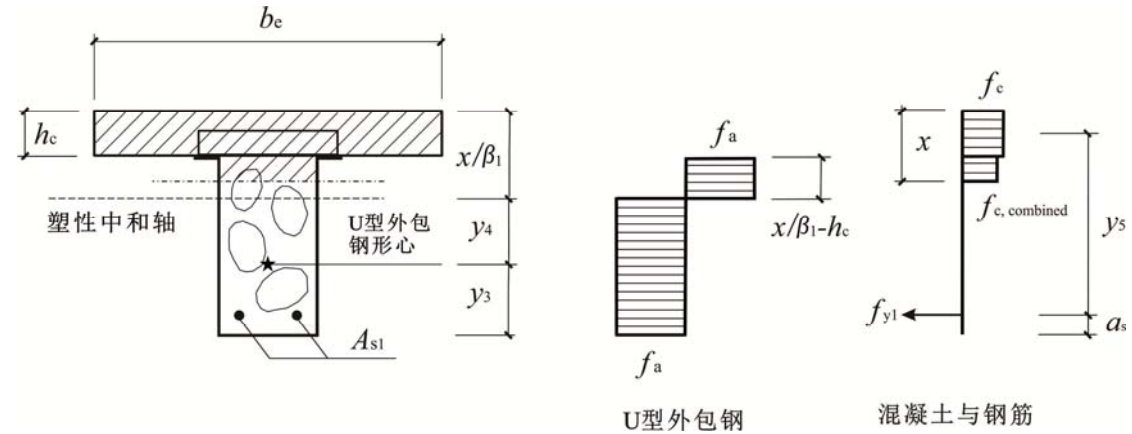


图 4.6.7-2 塑性中和轴在 U 型外包钢腹板内的梁截面应力分布

2、负弯矩作用区段（塑性中和轴在 U 型外包钢腹板内，图 4.6.7-3）

$$M \leq W_{pn}f_a - 4y_4t_wf_a(y_6 + a_s - t_b - y_4/2 - x/\beta_1) + b_c f_{c, combined}x(y_6 + a_s - t_b - x/2) + A_{s1}f_{y1}y_6 \quad (4.6.7-5)$$

$$x = [(A_a - 2A_b)f_a + A_{s2}f_{s2} - A_{s1}f_{y1}]/(b_c f_{c, combined} + 4t_w f_a/\beta_1) \quad (4.6.7-6)$$

适用条件：\$x \geq 2a_s\$

式中	A_b	—	U 型外包钢底板的横截面积 (mm ²)；
	t_b	—	U 型外包钢的底板厚度 (mm)；
	A_{s2}	—	负弯矩区翼板有效宽度范围内纵向钢筋的横截面积 (mm ²)；
	f_{y2}	—	负弯矩区翼板有效宽度范围内纵向钢筋的屈服强度设计值 (N/mm ²)；
	y_6	—	翼板内纵向钢筋截面形心至梁底纵向钢筋截面形心的距离 (mm)。

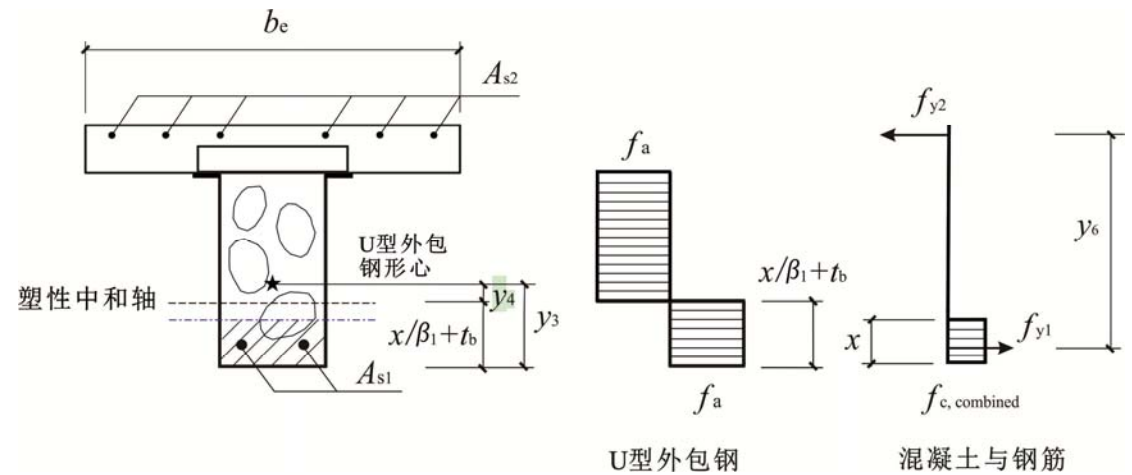


图 4.6.7-3 负弯矩作用时梁截面的应力分布

4.6.7 条文说明：为简便起见，对于完全抗剪连接 U 型外包钢再生混合混凝土梁，可近似按简单塑性理论计算梁的正截面受弯承载力。当强度等级不超过 C50 时，混凝土等效受压区高度与实际受压区高度之间的换算系数按《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行，取为 0.8。

4.6.8 U 型外包钢再生混合混凝土梁的受剪安全性应采取可靠方法进行验算。

4.6.8 条文说明：试验表明，当剪跨比不小于 2 时，梁底未配置纵向受拉钢筋的 U 型外包钢再生混合混凝土梁一般不发生剪切破坏。目前该类梁的抗剪研究成果还相对较少，本规程暂只给出原则性的规定。

5 施工工艺与质量控制

5.1 施工工艺

5.1.1 在与新混凝土混合之前，废弃混凝土块体表面应充分浇水湿润。

5.1.1 条文说明：为避免废弃混凝土块体大量吸收新混凝土中的水分，造成新混凝土实际水胶比降低进而影响其强度，在与新混凝土混合之前，废弃混凝土块体表面应充分浇水湿润。

5.1.2 对于钢管再生混合混凝土柱和外置钢板再生混合混凝土墙，可采用新混凝土和废弃混凝土块体反复交替投放并充分振捣的施工方法，也可采用在不间断泵送新混凝土的同时持续投放废弃混凝土块体并充分振捣的施工方法。当采用前者施工方法时，每次投放的废弃混凝土块体在构件内部的堆积高度不应超过 350 mm。

5.1.2 条文说明：针对钢管再生混合混凝土柱和外置钢板再生混合混凝土墙等竖向构件，建议了两种施工方法：一种是新混凝土和废弃混凝土块体反复交替投放，另一种是新混凝土和废弃混凝土块体同时持续投放。但无论是那种施工方法，关键在于振捣一定要充分，以确保废弃混凝土块体在新混凝土中的分散性以及二者的混合浇捣质量。

当采用第一种施工方法时，若每次投放的废弃混凝土块体在构件内部的堆积高度过高，有可能出现后续新混凝土即使充分振捣也无法与废弃混凝土块体完全混合的现象，为此有必要对该堆积高度的上限值进行限制。试验表明，只要该堆积高度不超过 400 mm 且振捣充分，是可以保障新混凝土和废弃混凝土块体的混合浇捣质量的，据此偏保守地制定本条。

5.1.3 对于压型钢板再生混合混凝土组合楼板和梁高不超过 500 mm 的 U 型外包钢再生混合混凝土梁，可采用先将全部废弃混凝土块体一次性分散投放在压型钢板上表面或 U 型外包钢围成的空腔内部，然后持续浇筑新混凝土并充分振捣的施工方法。

5.1.3 条文说明：针对压型钢板再生混合混凝土组合楼板和梁高不超过 500 mm 的 U 型外包钢再生混合混凝土梁等水平构件，建议了一种将废弃混凝土块体一次性先期分散投放，然后持续浇筑新混凝土的施工方法。试验表明，只要振捣充分，此施工方法完全可以保障新混凝土和废弃混凝土块体的混合浇捣质量。

5.1.4 在再生混合混凝土组合构件的施工过程中，应优先采用插入式振捣器对废弃混凝土块体和新混凝土的混合物进行振捣，难以采用插入式振捣器时可采用外壁附着式振捣器进行振捣。

5.1.4 条文说明：相比外壁附着式振捣器，插入式振捣器对混凝土的振捣效果更为直接，为保障新混凝土和废弃混凝土块体的混合浇捣质量，在再生混合混凝土组合构件的施工过程中应优先采用插入式振捣器。

5.2 质量控制

5.2.1 在混凝土浇筑现场应制备再生混合混凝土立方体试件，并与再生混合混凝土组合构件同条件养护，试件的组合立方体抗压强度应按《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定分批检验评定，其强度试验方法应符合《普

通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定，评定过程中试件的组合立方体抗压强度标准值按式（3.1.6）确定。再生混合混凝土立方体试件的制备应符合下列规定：

- 1、针对同一配合比的新混凝土和具有相同立方体抗压强度实测值的废弃混凝土块体，当废弃混凝土块体的取代率和特征尺寸都保持不变时，每浇筑不超过 100 m³ 的再生混合混凝土，应制备不少于两组试件。
- 2、当新混凝土的配合比、废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值、废弃混凝土块体的取代率、废弃混凝土块体的特征尺寸任意一项发生改变，应针对改变后的再生混合混凝土制备不少于两组试件。

5.2.1 条文说明：再生混合混凝土的强度评定应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定，其强度试验方法应符合《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定。评定过程中，再生混合混凝土的组合立方体抗压强度标准值按式（3.1.6）确定。

影响再生混合混凝土组合立方体抗压强度的主要因素包括：新混凝土的配合比、废弃混凝土块体的立方体抗压强度实测值、废弃混凝土块体的取代率、废弃混凝土块体的特征尺寸。当其中任意一项发生改变时，都应针对改变后的再生混合混凝土重新制备立方体试件以进行检验评定。考虑到再生混合混凝土是由新混凝土和废弃混凝土块体两部分构成，离散性可能大于常规混凝土，因此试件组数的下限值相比《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定有所提高。

5.2.2 在混凝土浇筑现场制备的再生混合混凝土立方体试件的边长宜大于废弃混凝土块体特征尺寸的 2 倍。

5.2.2 条文说明：基于与本规程第 3.1.5 条相同的考量，为保障再生混合混凝土立方体试件中废弃混凝土块体的分散性及其与新混凝土的混合浇筑质量，对试件边长与废弃混凝土块体特征尺寸之比的下限值给出了建议。

5.2.3 不同边长的再生混合混凝土立方体的组合立方体抗压强度的尺寸换算系数按表 5.2.3 取用。

表5.2.3 再生混合混凝土组合立方体抗压强度的尺寸换算系数

试件尺寸 (mm)	强度的尺寸换算系数
150×150×150	1.00
300×300×300	1.15
400×400×400	1.20
500×500×500	1.30
600×600×600	1.40

5.2.3 条文说明：根据再生混合混凝土立方体（150 mm×150 mm×150 mm ~ 600 mm×600 mm×600 mm）的尺寸效应试验结果，同时参考《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的相关规定，综合给出表 5.2.3。

5.2.4 对于重要的再生混合混凝土组合构件或再生混合混凝土组合构件的重要部位，可按《超声波检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21 的规定对构件内部再生混合混凝土的浇筑质量进行检测。

5.2.4 条文说明：对于重要构件或构件的重要部位，可采用超声波法对构件内部再生混合混凝土的浇筑质量进行检测确认。

5.2.5 再生混合混凝土组合构件的施工质量除满足本规程第 5.2.1 条、第 5.2.2 条、第 5.2.3 条和第 5.2.4 条的规定外，还应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。

5.2.5 条文说明：除废弃混凝土块体以外，再生混合混凝土组合构件所采用的新混凝土和钢筋以及结构钢和连接材料分别与常规混凝土结构和常规钢结构所用材料同类，因此其施工质量不仅应满足再生混合混凝土的特殊要求，还应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。

本规程用词用语说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对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”

二、条文中指明应按其他相关标准执行的用语为：

“应符合……的规定”或“应按……执行”

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 2 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 3 《钢管混凝土结构技术规范》 GB 50936
- 4 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 5 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 6 《连续热镀锌薄钢板及钢带》 GB/T 2518
- 7 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433
- 8 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 9 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 10 《组合结构设计规范》 JGJ 138
- 11 《钢板剪力墙技术规程》 JGJ/T 380
- 12 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》 CECS 03
- 13 《矩形钢管混凝土结构技术规程》 CECS 159
- 14 《组合楼板设计与施工规范》 CECS 273
- 15 《超声波检测混凝土缺陷技术规程》 CECS 21
- 16 《钢管混凝土结构技术规程》 DBJ 13-51