

钢骨混凝土高位连体结构悬挂式模板系统 施工技术

作者：于国家，仓恒芳，刘亚非，汤俊峰

（南京大地建设集团有限责任公司，江苏南京 210013）

[摘要] 超高层建筑大型钢骨混凝土连体结构施工过程中，运用施工技术集成创新的方法，将“大型钢结构高空安装”、“钢骨混凝土连体转换梁自承重模板”、“无粘结预应力混凝土抗裂”和“信息化施工”等新技术，以及“在转换层下设置悬挂钢结构楼承板（避难层）作为施工阶段的操作平台”这一新颖构思，经过整合后形成“钢骨混凝土连体结构施工成套技术”成功应用于工程实践，确保了工程进度、质量和施工安全。

[关键词] 高空连体结构；避难层；同步提升；结构自承重；实时监控。

1 工程概况

近年来，我国高层建筑立面设计采用门式造型的工程越来越多。连体结构将两座（或两座以上）高层建筑连为一体，既增加了建筑使用功能，又因其独特造型带来的强烈视觉效果。连体结构类型一般为钢筋混凝土结构和钢结构，部分工程亦为钢骨混凝土结构，施工工艺复杂，高空作业安全防护要求高，具有较大的施工难度。广州天誉花园工程地下 6 层，地上 38 层，裙楼 6 层，地面上高度为 172.9 m，建筑面积 143 199 m²。裙房上矗立的南、北两座塔楼相距 20 m，并于 134.2 m（第 32 层）的高度通过大型钢骨混凝土连体转换层结构

(转换梁截面 $0.8\text{ m} \times 2.6\text{ m}$) 将两座塔楼连为一体，形成巨大的门形建筑，是目前国内最高的预应力钢骨混凝土连体结构工程之一（图 1）。南京大地建设集团有限责任公司在施工过程中，运用施工技术集成创新的方法，将“大型钢结构高空安装”、“钢骨混凝土连体转换梁自承重模板”和“无粘结预应力混凝土抗裂”等新技术，以及“在转换层下悬挂钢结构避难层作为施工阶段操作平台”这一新颖构思，经整合后形成“钢骨混凝土连体结构施工成套技术”，于 2005 年 12 月成功应用于工程实践，确保了工程进度、质量和施工安全。

2 工程特点

2.1 由钢骨混凝土连体转换层和其下方的悬挂钢结构避难层组成连体承力结构。悬挂钢结构楼承板在施工阶段作为临时操作平台，在使用阶段作为高层建筑避难层，完善了使用功能，增加了建筑面积；H 型钢主梁作为连体转换层结构劲性配筋，悬挂钢结构避难层作为永久性结构，不增加结构用钢量，降低了工程成本。

2.2 由钢骨混凝土连体转换梁自承重模板和搭设在悬挂钢结构避难层上的支模架，组成悬挂式模板支撑系统，共同承受连体结构施工阶段的全部荷载，无需搭设落地超高支模架，无需安装高空重型临时作业平台，无需大型吊装机械设备，减少大量的周转材料、人工和机械设备投入，减轻工人劳动强度，加快施工进度，技术经济效益显著。

2.3 自承重模板通过焊接在钢主梁腹板的钢拉杆，将转换梁模板、钢筋、混凝土自重及施工荷载向上传递给钢主梁，充分利用钢主梁足够的承载能力承受连体结构自身重量。

2.4 在悬挂钢结构避难层上搭设转换层楼板支模架，避难层结构自重及全部施工荷载由钢吊柱向上传递至钢主梁，传力明确，工艺合理，施工简便；钢结构避难层悬挂在连体转换层下方，形成连体结构施工阶段的高空作业防护屏障。

3 工艺原理

采用焊接 H 型钢作为混凝土连体结构转换层主次梁的劲性配筋，并在转换层下悬挂一层钢结构楼承板作为施工阶段的操作平台(图 2)。

充分利用 H 型钢主梁自身足够的承载能力，在连体转换层施工阶段，独立承受连体转换层自承重模板和结构自重、梁下悬挂的钢结构避难层自重以及楼板支模架等施工荷载；在连体转换层上部结构施工阶

段，该钢主梁作为劲性配筋参与钢骨混凝土连体结构工作，共同承受其上部各层逐渐增加的结构自重和施工荷载。

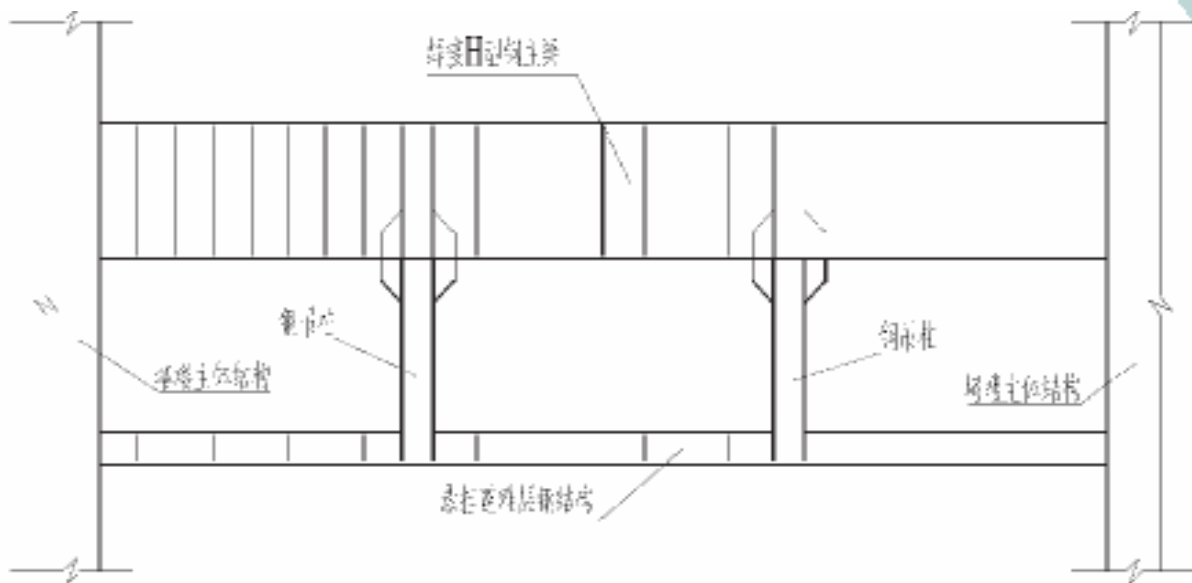


图 2 转换层钢主梁及悬挂避难层钢结构

钢骨混凝土连体转换层悬挂式模板支撑系统由两部分组成（图 3）：

- （1）转换层混凝土主、次梁采用自承重模板，其混凝土、钢筋和模板重量以及施工荷载通过多对均匀分布的钢拉杆传递至钢主梁。
- （2）转换层混凝土楼板采用常规支模架，由转换层下部通过数根钢吊柱悬挂的钢结构避难层承受支模架的各项荷载。

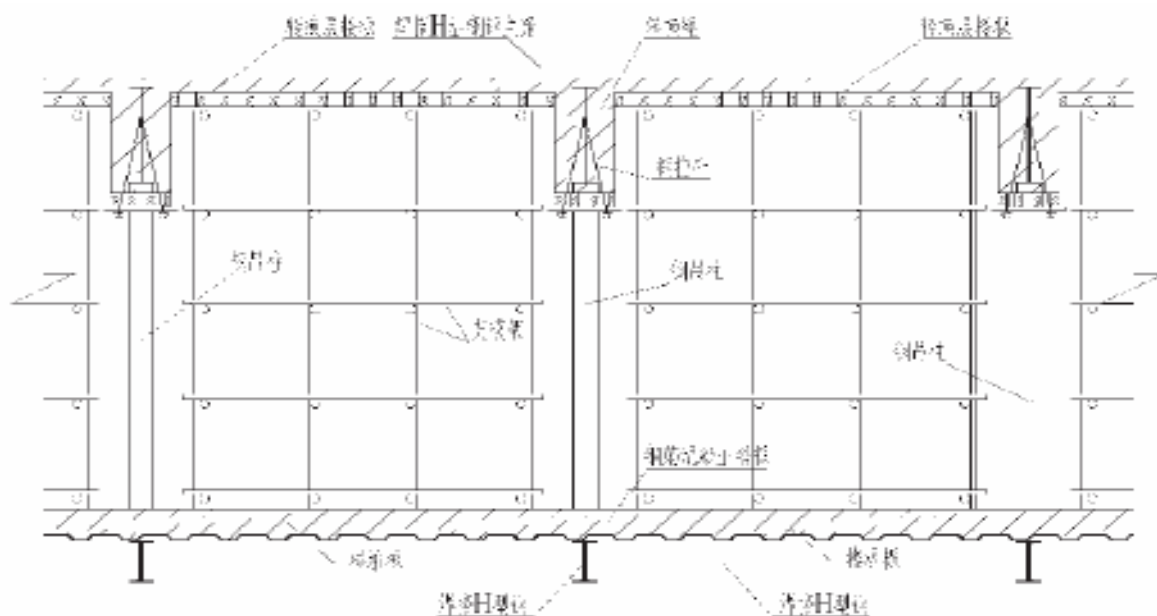


图 3 连体转换梁自承重模板和搭设在悬挂避难层上的支模架

4 施工工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程施工工艺流程图如图 4 所示。

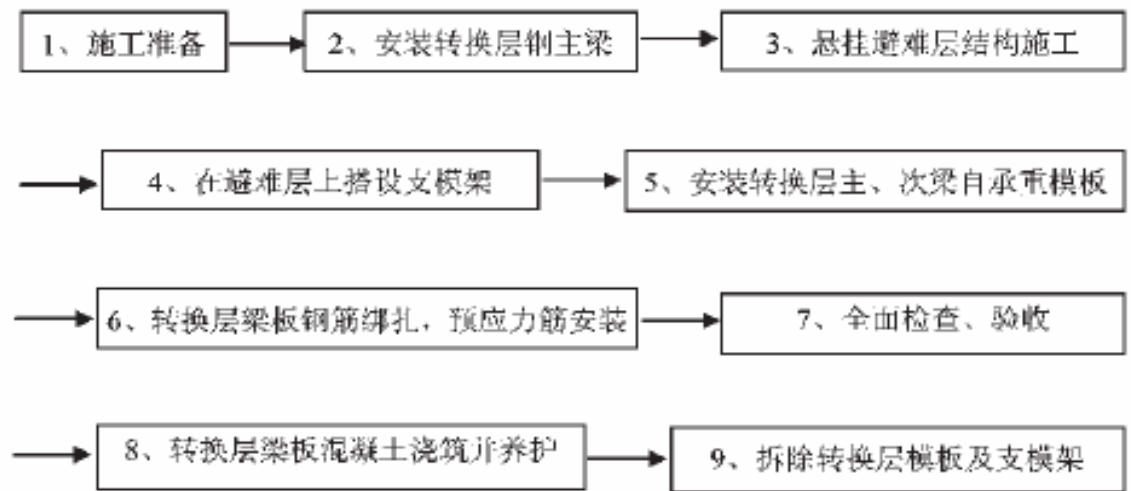


图 4 施工工艺流程图

4.2 操作要点

4.2.1 施工准备

(1) 应用有限元理论分析方法，对钢主梁进行各种施工工况下的强度、刚度及出平面稳定验算，验算结果表明钢主梁具有足够大的承载能力，完全可以承受悬挂式模板支撑系统传来的施工荷载。

(2) 对转换梁自承重模板系统进行设计和验算，选择钢拉杆钢号、直径及间距，并根据主梁混凝土侧压力，选择梁侧模的背楞及对拉螺栓间距；对转换层楼板支模架进行设计和验算，选择立杆纵、横向间距、步高，支模架整体稳定经验算满足要求。

(3) 应用 ANSYS 有限元结构分析软件，对连体结构钢筋混凝土转换梁施工过程中的各种工况进行模拟计算，根据计算结果换算相应的构件应力、应变控制值，实行施工全

过程跟踪监测。

(4) 对钢主梁吊装方案和悬挂式模板支撑系统专项方案进行专家论证。

(5) 转换层及避难层钢结构构件在工厂制作，焊缝经超声波探伤检测符合设计和规范要求，验收合格后，运抵现场。

4.2.2 安装转换层钢主梁

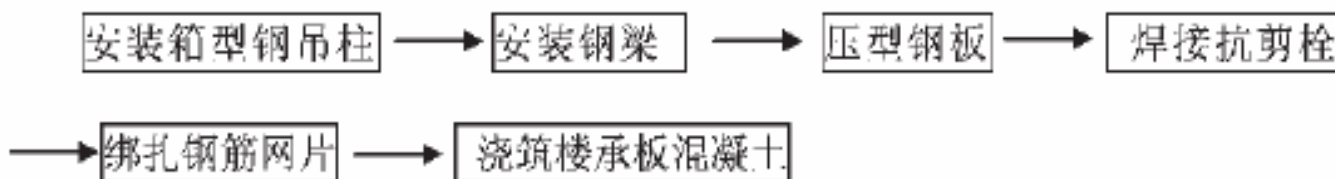
连体转换层为钢骨混凝土结构，主体施工时两座塔楼均预留了与连体结构相连接的钢牛腿。利用转换层上端相应位置的钢牛腿悬挂滑车组，用双机抬吊的方法将钢主梁

逐根提升至设计位置并及时校正和焊接，其余钢次梁用塔吊安装。

对安装完成的钢主梁进行检查验收，焊缝经超声波探伤检测符合设计和规范要求。

4.2.3 悬挂避难层结构施工

利用塔吊安装悬挂避难层的钢吊柱和钢结构楼承板，其施工工序为：



连体转换层钢主梁及悬挂避难层钢结构见图 5。



图 5 钢主梁下的悬挂避难层钢结构

4.2.4 在避难层上搭设支模架

按批准的专项方案在悬挂楼承板上搭设支模架， 支承转换层楼板模板。支模架用门式架（图 6），也可用碗扣架和扣件、钢管搭设。支模架应与两端塔楼主体结构实行有效拉接，并在临空面处满挂安全网。



图 6 在避难层上搭设的支模架

4.2.5 安装转换层主、次梁自承重模板

(1) 在钢主梁腹板两侧的加劲肋处焊接钢筋作为钢拉杆，当梁宽为 800 mm 时，设置一对 $\Phi 18$ 的钢筋，当梁宽为 800 mm~1 200 mm 时，设置两对 $\Phi 20$ 钢筋。

(2) 在钢拉杆下端设置槽钢横楞，用直螺纹套筒调节固定，槽钢横楞上安装梁底模板，混凝土转换梁自重和全部施工荷载由钢拉杆向上传递给钢主梁（图 7）。

(3) 在主、次梁两侧安装侧模、背楞及对拉螺栓。

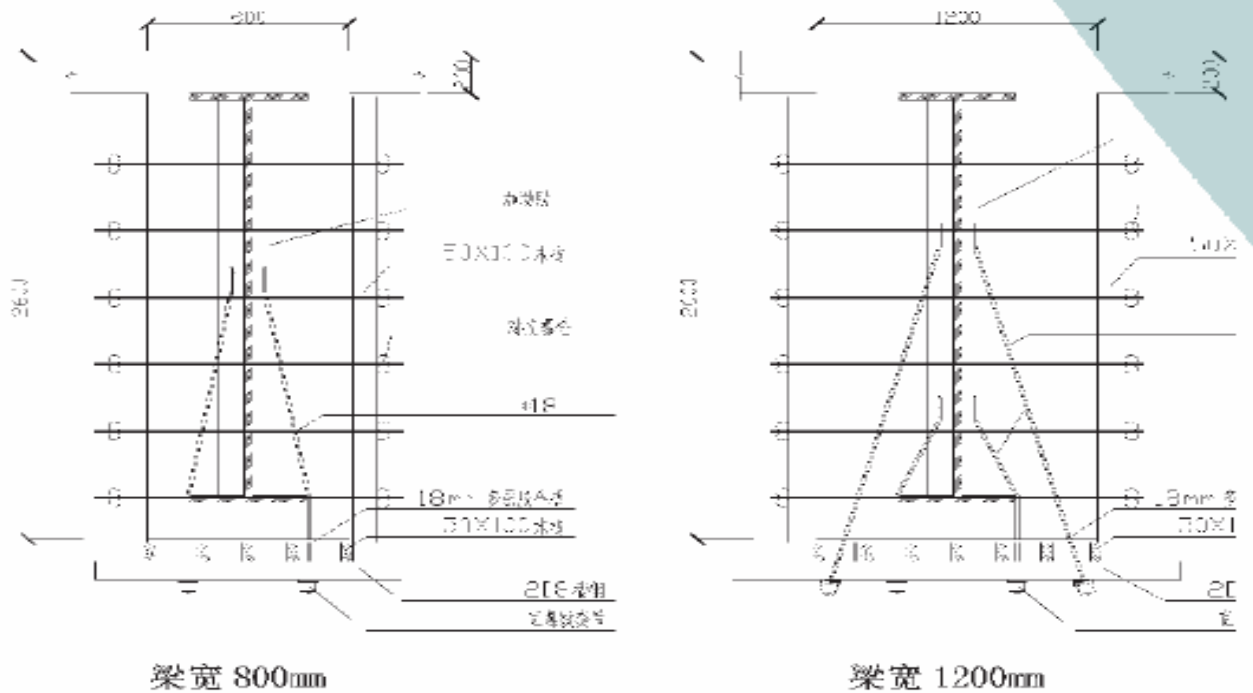


图 7 转换梁自承重模板图

4.2.6 转换层梁板钢筋绑扎、预应力筋安装混凝土转换梁纵向受力钢筋 $\Phi 32$ 与钢柱相互交错布置，穿筋和绑扎施工难度大。对穿过钢柱的纵向钢筋，预先在钢柱腹板上定位钻孔，粗直径钢筋采用套筒冷挤压工艺进行连接。转换层楼板钢筋为双层双向配置，为增加连体结构的整体刚度和楼板抗裂度，楼板设计采用了无粘结预应力技术。

4.2.7 全面检查、验收

转换层混凝土结构自承重模板及悬挂避难层上的支模架搭设完成后，对模板支撑系统和钢筋绑扎质量进行全面检查、验收，符合设计和规范要求。

4.2.8 转换层梁板混凝土浇筑并养护

由于转换层钢主梁与钢筋布置密集，混凝土施工较为困难。采用内外结合的振捣方法：内部振捣用小振动棒，外部采用“挂振”，同时

用橡皮锤敲击梁侧和梁底模板，确保混

凝土振捣密实。混凝土初凝后即保湿养护， 养护期不少于 14 d。

4.2.9 拆除转换层模板及支模架

转换层梁板混凝土同条件养护试件强度达到 100%设计强度后，方可拆除梁底模板及支模架。

5 质量控制

5.1 质量控制措施

(1) 施工方案经论证完善后，应在操作前及时组织施工管理人员和操作工人进行技术交底，并作好交底记录。

(2) 认真执行施工方案，严格控制转换层和避难层钢结构的焊接质量，以及悬挂式模板支撑系统的安装质量。

(3) 现场技术管理人员应对钢构件的加工制作至悬挂式模板支撑系统拆除全过程实行监控，及时调整偏差，保证每道工序都能满足施工方案和规范的要求。

(4) 型钢、压型钢板、钢筋、套筒、门架等钢材必须具有出厂合格证， 并按规范要求抽样复检， 合格后方可使用。

5.2 质量控制指标及要求

(1) 对接焊缝及完全熔透组合焊缝尺寸允许偏差应符合《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205-2001)标准中的相关规定。

①一、二级焊缝 $B < 20 \text{ mm}$: 对接焊缝余高 C 允许偏差为 $0 \sim 3.0 \text{ mm}$ 。

②一、二级焊缝 $B \geq 20 \text{ mm}$: 对接焊缝余高 C 允许偏差为 $0 \sim 4.0 \text{ mm}$ 。

(2) 焊接 H 型钢的允许偏差应符合《钢结构工程施工及验收规范》

(GB50205-2001) 标准中的相关规定。①截面高度 ($h > 1000 \text{ mm}$) 允许偏差为 $\pm 4.0 \text{ mm}$; ②截面宽度 (翼缘板宽度) 允许偏差为 $\pm 3.0 \text{ mm}$; ③腹板中心偏移允许偏差为 2.0 mm ; ④扭曲允许偏差为 $h/250$, 且不应大于 5.0 mm 。

(3) 门式钢管支模架搭设的允许偏差应符合《建筑施工门式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ128-2000) 标准中的相关规定, 见表 1。

表 1 支模架搭设垂直度与水平度允许偏差

项 目		允许偏差/mm
垂直度	每步架	$h/1000$ 及 ± 2.0
	支模架整体	$H/600$ 及 ± 50
水平度	一跨距内水平架两端高差	$\pm L/600$ 及 ± 3.0
	支模架整体	$\pm L/600$ 及 ± 50

注: h —步距; H —支模架高度; L —脚手架长度

(4) 连体转换层现浇结构模板安装的允许偏差应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2002) 标准中的相关规定, 见表 2。

表 2 现浇结构模板安装的允许偏差

项 目	允许偏差/mm
轴线位置	5
底模上表面标高	±5
梁截面内部尺寸	+4, -5
层高垂直度($h < 5$ m)	6
相邻两板表面高低差	2
表面平整度	5

6 安全措施

6.1 认真贯彻“安全第一，预防为主”的方针，组成由施工负责人、专职安全员和各班组兼职安全员参加的安全生产管理网络，落实安全生产责任制度，明确各级人员的职责，抓好落实工作。

6.2 施工现场的布置应符合防火、防坠落、防触电、防机械伤害、防高空坠物等相关安全规定与要求，完善各种安全标识。

6.3 支模架搭设人员必须是专业架子工，并经国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》GB5036 考核合格，持证上岗。

6.4 吊装及高空焊接操作人员必须按规定穿戴劳动防护用品，并采取防止触电、高空坠落和火灾等事故的安全措施；焊接作业结束，应切断焊机及其它机械设备的电源，并检查操作地点，确认无起火隐患后，方可离开。

6.5 在悬挂避难层上搭设支模架，以及浇筑转换层结构混凝土时，应按照设计要求严格控制施工荷载，并不得将混凝土泵管固定在支模架体上，确保支模架体和转换层结构安全。

6.6 高空安装与拆除模板，应加强安全防护措施，必要时须搭设脚手架并设防护栏杆， 尽量避免在同一垂直面上同时操作。

6.7 高处作业应严格执行《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80 相关规定要求。做好临时防护，防止高处坠落或坠物：连体结构区域下方满张阻燃型安全网，转换层支模架周边满挂阻燃型密目安全网。

6.8 临时用电严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 的有关规定执行；电焊机等用电设备应有完善的防漏电、防触电绝缘措施；施工现场临时照明采用 36V 低压安全照明。

6.9 当遇 6 级及 6 级以上大风和雾、雨、雪天气时应停止支模架搭设与拆除作业， 雨、雪过后上架作业应有防滑措施。高温季节应注意防暑降温工作。

7 环保措施

7.1 实行全面管理和专项治理，认真执行国家、省、市等政府、部门有关建筑领域环境保护和治理的法律法规和文件的要求。

7.2 建立现场文明施工管理网络，制定各项文明施工管理制度，明确各级管理人员的职责；充分辨识与评价环境因素，落实环境因素管理与控制措施方案；采取措施控制施工现场的各种粉尘、废水、固体废弃物以及噪声、振动对环境的污染和危害。

7.3 在易产生扬尘的场所采用围挡、覆盖措施，或经常洒水降尘，避免尘土飞扬，污染环境。

7.4 在高空作业场所，配备适量的移动厕所，并安排专人及时清理。

7.5 施工现场内外整洁，通道通畅， 污染废弃物处置得当，物料堆

放有序，施工人员衣容整洁；及时清理垃圾和废料，并按规定分类集中堆放。

7.6 优先选用先进的低噪音环保设备，对于木工车间、机械切割场所等产生较大噪声的区域应采用封闭隔音处理，最大限度地降低噪声干扰，同时尽可能避免夜间施工。

7.7 应按照规定对机械设备进行日常保养，保证处于完好状态，避免设备使用时意外漏油污染环境。

8 效益分析

8.1 悬挂式模板支撑系统施工费用和工期分析在悬挂钢结构楼承板上搭设转换层支模架，层高 **4.8 m**，搭设面积 **570 m²**，所需门式支架租赁、装拆费用约 **5 万元**；转换梁自承重模板所需的钢拉杆、槽钢、直螺纹套筒等材料及人工费约 **10 万元**；合计费用 **15 万元**。施工工期 **1 个月**。

8.2 传统的承重满堂支撑架施工费用和工期分析若采用在裙房屋面搭设满堂支撑架进行转换层结构施工，需采取措施加固裙房屋面，然后在屋面上搭设高度约 **100 m**、面积 **570 m²**、重量约 **4 000 t** 的承重满堂支模架，支撑材料用量大，搭拆工期长，加固费用高，施工成本大。按施工工期 **4 个月**考虑，需投入各项费用约 **270.74 万元**。

8.3 经济和社会效益

采用此施工技术节约施工费用 $270.74 - 15 = 255.74$ 万元。工程主体结构约提前 **3 个月**封顶。作为施工阶段操作平台的悬挂楼承板，施工结束无需拆除，使用阶段作为建筑避难层，为业主增加 **570 m²** 建

筑面积。

8.4 环保效益

采用此施工技术节省了超大量的钢管和扣件等周转材料，避免现场周转材料的堆放占用施工用地状况，减少了施工噪声污染，减少了施工活动对周边环境的影响，有利于环境保护，现场施工更加文明。