

受限空间下深基坑内支撑施工技术应用

吴可嘉

广西建工第一建筑工程集团有限公司, 广西 南宁

收稿日期: 2026年2月9日; 录用日期: 2026年3月2日; 发布日期: 2026年3月12日

摘要

针对南宁市妇幼保健院保健综合楼项目深基坑周边环境复杂、施工空间受限、变形控制要求高的技术难题, 本文系统阐述了钢筋混凝土内支撑支护体系的施工技术应用。重点围绕格构柱-内支撑梁组合体系的施工要点、施工工艺流程、关键工序控制及拆除技术展开研究, 该施工技术有效控制了基坑周边变形, 实现了良好的技术经济效益, 可为同类受限空间深基坑工程提供实操性参考。

关键词

受限空间, 深基坑, 内支撑, 施工技术

Application of Construction Technology for Internal Support in Deep Foundation Pits under Confined Space Conditions

Kejia Wu

The First Construction Engineering Group Co., Ltd. of Guangxi Construction, Nanning Guangxi

Received: February 9, 2026; accepted: March 2, 2026; published: March 12, 2026

Abstract

In response to the technical challenges posed by the complex surrounding environment, limited construction space, and high deformation control requirements of the deep foundation pit project for the Health Care Complex Building of Nanning Maternity and Child Healthcare Hospital, this article systematically expounds on the application of the reinforced concrete internal support system in construction technology. The focus is on the construction essentials, construction process flow, key process control, and removal techniques of the lattice column-internal support beam combination system. This construction technology effectively controls the deformation around the foundation pit, achieving good technical and economic benefits. It can provide practical reference for similar deep foundation pit projects in confined spaces.

Keywords

Confined Space, Deep Foundation Pit, Internal Support, Construction Technology

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着城市基础设施建设向深部空间拓展,高层建筑地下室埋深持续增加,深基坑工程面临的周边环境复杂度、变形控制要求及施工空间限制日益严峻[1]-[3]。深基坑施工不仅需保障边坡稳定,更需严格控制变形,避免对周边建筑物、地下管线及道路造成安全影响[4] [5]。

南宁市妇幼保健院保健综合楼项目具有典型的受限空间深基坑特征:地下3层,基坑开挖深度达17.1 m,底周长约220 m,底面积约2500 m²。基坑周边环境极为敏感,东侧紧邻友爱南路(距人行道仅4 m),北侧距现有防疫站5 m,南侧距10层医疗科技楼14 m,西侧距5层民房5 m、距5层行政办公楼仅2 m。狭小的施工空间、密集的周边建(构)筑物对基坑支护技术提出极高要求。

经多方案比选,项目最终采用钢筋混凝土内支撑支护体系。该体系具有计算理论成熟、挖土施工经济性好、安全可靠性的优势,尤其适用于狭小空间施工,可显著提高挖运土机械化程度、缩短工期、降低成本并有效控制周边土体变形。本文结合该工程实践,系统总结受限空间下深基坑内支撑施工技术要点、质量控制措施及优化方向,为同类工程提供技术借鉴。

2. 工程概况

本工程为南宁市妇幼保健院保健综合楼项目,地下3层,主楼20层,连廊9层;主楼建筑总高度84.50 m,连廊建筑总高度35.90 m。主楼范围内采用筏板基础,基坑开挖深度17.1 m;连廊采用钻孔灌注桩基础,其余纯地下室区域采用抗拔钻孔灌注桩基础。

内支撑体系由格构柱与内支撑梁组成,具体设计参数如下。

立柱桩:桩径1200(800) mm,桩端进入中风化泥岩不小于1.0 m,坑底桩长约18 m,混凝土强度等级C30,钢筋采用HRB400,保护层厚度50 mm;

格构柱:采用Q235型角钢和钢板焊接制作,底部嵌入钢筋笼3 m,与桩身纵筋采用Φ18@600钢筋焊接固定;

内支撑梁:分三道设置,第一道底标高-2.3 m,第二道-8.00 m,第三道-13.00 m,混凝土强度等级C30,保护层厚度30 mm,各层内支撑梁截面尺寸见表1,施工现场周边构筑物及基坑内支撑平面布置图如图1和图2所示。

Table 1. Section size of inner support beam (mm)

表 1. 内支撑梁截面尺寸(mm)

楼层	围檩(冠梁) 1、4	围檩(冠梁) 2、3	内撑梁 1	内撑梁 2	连系梁
负 1 层	800 × 800	1000 × 800	800 × 800	800 × 800	600 × 800
负 2 层	1400 × 1000	1400 × 1000	1000 × 1000	800 × 1000	600 × 1000
负 3 层	1200 × 1000	1200 × 1000	1000 × 1000	800 × 1000	600 × 1000



Figure 1. Construction site plan
图 1. 施工现场平面图

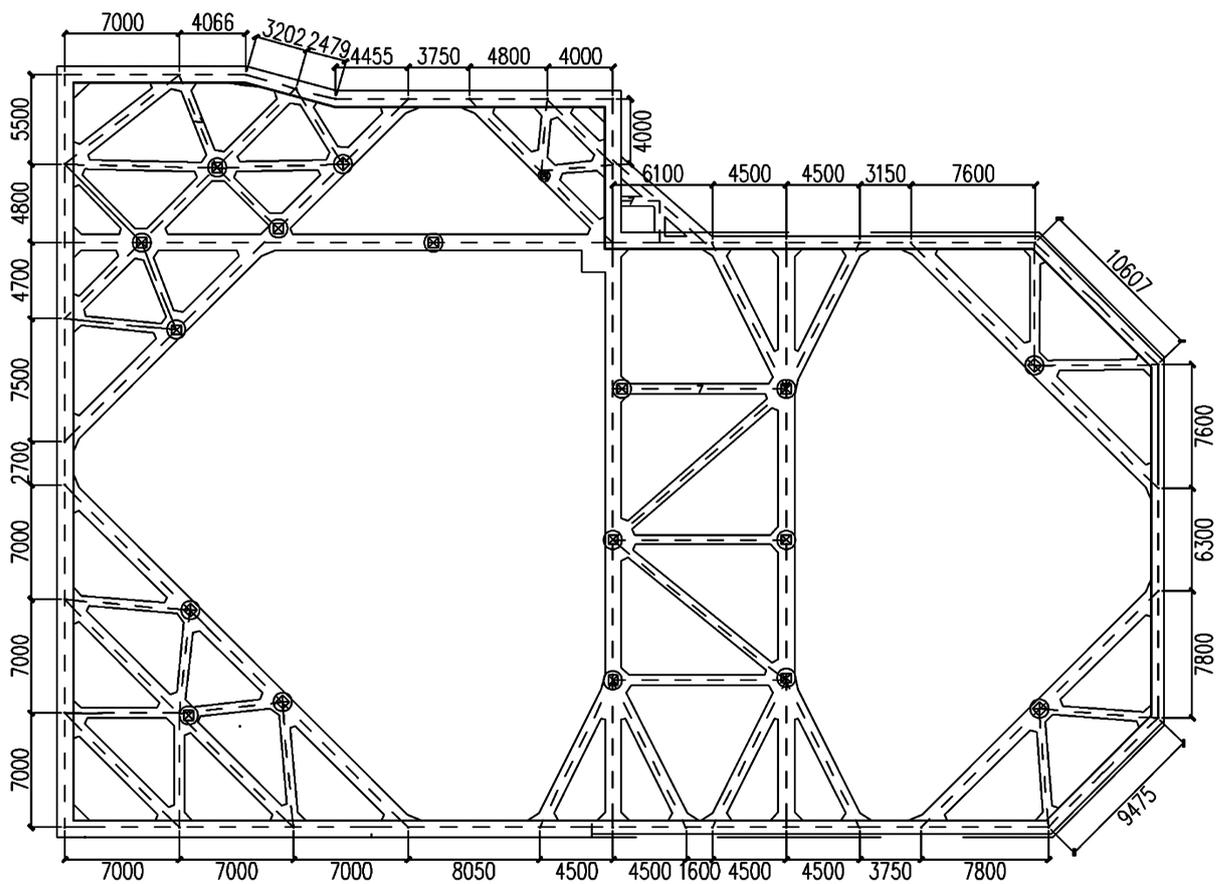


Figure 2. Layout plan of inner support
图 2. 内支撑平面布置图

3. 施工技术特点分析

3.1. 结构刚度大，变形控制能力强

钢筋混凝土支撑水平受压性能好，截面刚度远大于钢支撑，在荷载作用下变形微小。可通过调整配筋和截面尺寸灵活提高其承载能力，有效控制基坑位移，确保基坑自身稳定及周边环境安全。适用于对变形敏感区域(如邻近建筑物、管线密集区)的深基坑工程。

3.2. 提供坑内作业空间, 提高施工效率

大跨度支撑体系形成大面积无支撑区域(占基坑面积 65%~75%), 满足大型挖掘机械作业空间需求。支持多台设备同时作业, 极大提升土方挖运效率。可采用分层开挖、岛式开挖等灵活工法, 最后少量土方配合吊运完成, 整体工期显著缩短。

3.3. 施工适应性强, 受场地限制小

对周边施工场地条件要求较低, 无需大型吊装设备即可完成支撑浇筑。可利用支撑体系本身搭设临时施工平台、通道, 用于材料堆放、设备安装及混凝土输送, 缓解施工现场狭窄问题。尤其适用于城区狭窄场地或无法设置外围施工道路的基坑工程。

4. 施工过程控制要点

4.1. 工艺原理

基坑开挖时, 周边土体产生的水平压力通过支护结构传递至围檩梁, 再集中作用于内支撑梁。内支撑梁以轴向受压为主, 采用对撑形式形成相互抵消的稳定力系, 其跨度、道数及截面尺寸需根据基坑深度、土压力值、地下室结构布置等因素, 经反复计算验算确定, 确保支撑体系强度及稳定性满足设计要求。

4.2. 工艺流程

1) 施工顺序: 施工地下连续墙及格构柱 → 待混凝土强度达到设计值 80%后, 土方普挖至-2.3 m(相对标高) → 施工冠梁及第一道内支撑 → 第一道内支撑混凝土强度达 80%后, 土方普挖至-8.00 m → 施工围檩及第二道内支撑 → 第二道内支撑混凝土强度达 80%后, 土方普挖至-13.00 m → 施工围檩及第三道内支撑 → 第三道内支撑混凝土强度达 80%后, 土方普挖至-17.10 m → 施工底板区域;

2) 拆除顺序: 按从下至上原则, 下层主体结构混凝土强度达 80%后方可拆除对应层支撑梁 → -3F 支撑 → -2F 支撑 → -1F 支撑 → 拆除顺序为支梁 → 主梁 → 围檩 → 最后拆除格构立柱。

4.3. 施工要点

4.3.1. 立柱桩施工

(一) 施工流程

钻机定位 → 钻孔 → 第一次清孔 → 测孔深 → 安放钢筋笼 → 固定格构柱 → 下导管 → 第二次清孔 → 测孔深(合格) → 灌注混凝土。

(二) 立柱桩施工

1) 测量控制

根据施工图纸、现场测量控制点, 使用全站仪测定桩位, 确定桩点, 并以“十字交叉法”引至四周设置桩点, 确保桩位控制精准。

2) 护筒埋设

根据桩点定位, 开挖护筒孔, 护筒直径比设计孔径大 20 cm, 高度不小于 1.8 m。放入护筒后, 再次精确测量复核桩位点, 吊线锤校验护筒位置和垂直度并固定, 护筒与坑壁之间用粘性土夯填密实, 确保护筒位置准确及稳定。

3) 钻孔

采用履带式旋挖钻机钻孔, 要求场地平整、安全可靠, 避免施工中发生倾斜、移动。保证钻头与桩

孔中心在同一铅垂线上, 偏差 ≤ 20 mm, 确保钻孔垂直度与桩位偏差满足规范要求。护壁泥浆采用膨润土泥浆, 新鲜泥浆比重 ≤ 1.15 , 排出口泥浆比重 1.25~1.35。旋挖钻机开孔时缓慢钻进, 钻头全部进入地层后方可加速, 保持孔内泥浆面稳定; 若出现斜孔、弯孔、缩孔、塌孔等异常情况, 立即停止钻孔作业。桩基持力层为中风化岩层, 孔深达到设计要求后, 进行验孔, 孔深偏差控制在 ± 10 cm 以内, 沉渣厚度(第二次清孔后)不大于 5 cm。

4) 清孔

清孔分两次进行, 第一次在成孔完毕后立即实施, 将钻头提离孔底 80~100 mm, 接入新鲜泥浆替换含大量钻渣的泥浆, 清除孔底沉渣; 第二次清孔在钢筋笼和混凝土导管安装完成后进行, 采用导管压入新浆, 维持正循环 30 min 左右, 清孔后桩底沉渣厚度 ≤ 50 mm, 清孔后半小时内必须灌注混凝土。

5) 钢筋笼制作及吊装

在现场进行钢筋笼制作, 钢筋笼主筋上每隔 3 m 设置一道定位垫块(每道断面对称放置 3 只), 确保钢筋保护层厚度, 控制钢筋笼制作的偏差在允许范围内, 验收合格方可吊装。

(三) 格构柱制作与安装

1) 格构柱构造

格构柱采用 Q235 型 14 mm 厚的钢板和角钢制作, 其中插入钻孔桩部位为 3.0 m。缀板中心间距为 700 mm。

2) 格构柱制作技术要点

格构柱间对接焊接接头需错开, 同一截面角钢接头不超过 50%, 相邻角钢错开位置 ≥ 50 cm; 角钢接头焊缝位置内侧采用同材料短角钢补强, 格构柱加工严格按规范控制偏差, 检查焊缝质量, 验收合格后方可进行下一道工序。

3) 格构柱吊装

采用履带吊车进行格构柱的吊装, 吊点位于格构柱上部。通过钢筋笼部分主筋上部弯起, 与格构柱缀板及角钢焊接固定, 固定时确保格构柱居于钢筋笼正中心。焊接过程中, 格构柱保持稳定, 避免其受力。格构柱吊放时精确定位, 中心线与桩位中心线误差 $\leq \pm 5$ mm, 垂直度偏差 $\leq L/300$ 且 ≤ 15 mm。格构柱吊装就位图如图 3 所示。

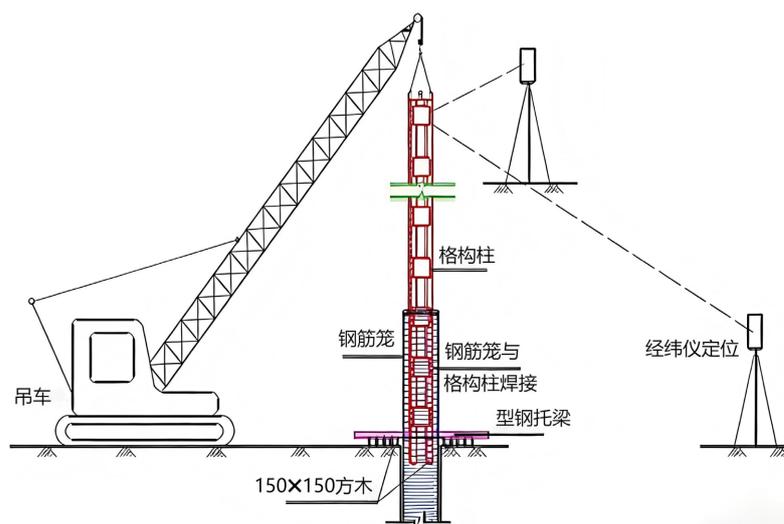


Figure 3. Location map of lattice column hoisting
图 3. 格构柱吊装就位图

4) 混凝土浇筑

采用 C30 水下混凝土, 坍落度为 18~22 cm, 水泥用量不少于 360 kg/m³, 导管选用 $\Phi 250$, 施工前进行密封性检查。浇注前检查孔深及沉渣厚度, 导管离孔底 30~50 cm 为宜, 初始灌注保证足够初灌量, 防止泥浆回流入导管。浇筑时导管埋入混凝土内深度控制在 2~6 m。拔导管前必须测量混凝土面高度, 确保满足要求。

5) 空桩回填

立柱桩混凝土浇注完成后, 及时进行空桩桩孔回填, 回填前做好周边安全防护。回填材料采用粗沙, 在格构柱周边均匀回填, 避免回填不均匀挤偏格构柱。

4.3.2. 内支撑梁施工

(一) 施工流程

垫层铺设 → 钢筋安装 → 模板安装 → 混凝土浇筑 → 养护 → 拆模。

(二) 基层处理

土方开挖时, 内支撑施工位置开挖至比内支撑底标高高低 100 mm, 铺设 100 mm 厚 C20 混凝土垫层, 确保基层平整、坚实, 满足支撑施工承载力要求。

(三) 钢筋工程

支撑梁及围檩内纵向钢筋接长采用直螺纹套筒连接、焊接连接或绑扎连接, 接头设置在受力较小位置(一般为跨度 1/3 处), 同一连接区段内纵向受拉钢筋接头数量不大于 50%。

(四) 模板工程

1) 钢筋混凝土支撑梁底模采用土模法施工, 在挖好的原状土面上浇捣 10 cm 左右素混凝土垫层, 垫层宽度为支撑宽度两边各加 200 mm。为避免支撑混凝土与垫层粘结, 在垫层面铺设一层油毛毡隔离层(宽度与支撑等同), 尽量减少接缝, 接缝处采用胶带纸满贴密封, 防止漏浆。

2) 支撑梁侧模板采用 18 mm 厚的木胶合板, 主梁采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管, 小梁采用 50 mm \times 100 mm 方木, 采用 M14 对拉螺栓进行固定, 确保模板牢固、不变形。

(五) 混凝土工程

采用商品混凝土泵送浇筑, 坍落度 16~20 cm, 初凝 7~8 h、终凝 ≤ 12 h, 严控和易性并保证连续供应, 浇筑后及时抹平收光、终凝后保湿覆盖。因工程特性分段浇筑, 冠梁上部预埋刚性止水片, 施工缝接合面浇筑前冲洗润湿; 浇筑后 12 h 内覆膜保湿养护不少于 7 天。混凝土达到 80% 设计强度后, 方可开挖支撑下侧土方。

4.3.3. 内支撑拆除

(一) 内撑梁分块切割定位放线

1) 支撑梁切割分段重量计算, 支撑梁分割长度重量见表 2。

Table 2. Statistics of split length and weight of support beam

表 2. 支撑梁分割长度重量统计表

主梁类型(mm)	长度(mm)	重量(T)
1400 \times 1000	1800	6.3
1200 \times 1000	2000	6
1000 \times 1000	2000	5
800 \times 1000	2500	5
600 \times 1000	3000	4.5

- 2) 定位放线：现场施工人员对需切割部位进行定位放线，明确切割尺寸；
- 3) 设备进场：专业施工人员及机械设备进场，按放线位置切割，每块混凝土块打两个吊装孔，便于安全吊装；
- 4) 切割过程中配合汽车吊吊装清运混凝土块，放线时根据汽车吊起重范围分块，确保安全施工；

(二) 搭设内撑梁支架

支撑梁下方采用 $\phi 48 \times 3.0$ 钢管扣件搭设排架托架，托架顶面紧贴梁底，确保切割过程中支撑梁安全。脚手托架立杆纵向间距 900 mm，横向间距根据梁宽调整：梁宽 1000×1000 mm、 800×1000 mm 设 3 根立杆(横向间距 500 mm)；梁宽 1400×1000 mm、 1200×1000 mm 设 4 根立杆(横向间距 500 mm)；梁宽 600×1000 mm 设 2 根立杆(横向间距 800 mm)。托架必须设置离地 200 mm 的扫地杆，每跨两端设置 45 度剪刀撑。支撑架搭设如图 4 所示。



Figure 4. Site drawing of support frame erection
图 4. 支撑架搭设现场图

(三) 内撑梁切割法施工方法

- 1) 施工工艺及步骤：在支撑梁上划分分块切割线 → 将切割机器固定在底板上，连接电源、水源 → 穿链条、接好接头 → 开通水管调节水流大小，通过控制器收紧链条 → 按“先割中间后两侧”原则切割；
- 2) 拆除顺序：为避免支护结构产生过大应力释放，拆除顺序遵循“间隔拆除”原则，保证应力释放均匀；
- 3) 切割分割：根据混凝土块重量及吊装设备能力确定分割尺寸，确保施工安全及运输方便；采用金刚石绳锯系列搭配水钻机切割，切割后的混凝土块通过吊机吊运至地面，再装车外运；
- 4) 人工凿除：钢立柱周边 500 mm 内、围檩及连续墙局部切割机器无法到位的部位，采用人工空压机凿除。施工时在柱四周用木板隔离降噪，按规范搭设安全脚手架。拆除示意图如图 5。



Figure 5. Schematic diagram of removal
图 5. 拆除示意图

(四) 内撑梁切割后起重吊装施工方法

- 1) 吊点设置：支撑梁分段切割后设置两道吊点，用钢丝绳整体捆扎混凝土块，在支撑梁四个角部采用旧橡胶轮胎等柔性材料保护钢丝绳，防止剪切破坏；
- 2) 场地要求：施工现场混凝土硬化道路承载力标准值 $f_k \geq 200$ KPa，吊车 4 个支腿下垫 $1500 \times 1500 \times 30$ mm 钢板；
- 3) 机械选用：受现场场地和交通限制，采用分块切割吊运法。选用 1 台 8T 叉车转运 4~6 吨混凝土块至吊机回转半径内；选用 30T 吊车，10 m 回转半径内起吊重量控制在 7 t 内；
- 4) 切割体外运：切割后的钢筋混凝土支撑梁应及时采用 30T 履带吊车吊出，并外运至指定堆放场地破碎。

(五) 格构柱拆除

在最后一道支撑梁拆除后(-2.4 m 处内撑梁)搭设龙门架，用氧割法把格构柱分段拆除，拆除过程中必须由上至下分两截拆除，并用叉车配合拆除装卸。

5. 质量控制及经济效果分析

5.1. 质量控制标准

- 1) 内支撑体系强度、刚度及稳定性满足设计要求，基坑周边最大沉降量控制在规范允许范围内；
- 2) 格构柱安装偏差、钢筋连接质量、混凝土强度等关键指标应符合规范要求；
- 3) 机械设备(叉车、挖机)固定行走路线满铺厚度 ≥ 15 mm 的模板或钢板，分散荷载，防止直接碾压损伤混凝土结构面层及后浇带棱角；
- 4) 严格控制破碎混凝土块粒径(≤ 30 cm)，高落差部位设置二级缓冲架，通过分级跌落减小落块动量，降低对下部楼板的冲击破坏风险；
- 5) 后浇带、预留钢筋等关键部位拆除前采用旧模板或定制盖板完全覆盖封闭，防止建筑垃圾掉入堆积，确保结构接头处洁净、钢筋无污染；
- 6) 破碎块体不得在楼板同一区域集中堆放，实行随破随清、及时外运制度，最大限度减少对楼板的长时间集中荷载，确保结构安全；
- 7) 含有预留钢筋、预埋管线的区域，禁止使用大型机械清理，必须采用人工方式仔细清运，确保成品钢筋与管线不被碰撞、压弯或损坏。

5.2. 经济效果分析

本工程采用钢筋混凝土内支撑施工技术，在受限空间条件下取得了显著的经济效益；

工期缩短：支撑施工至土方施工阶段节省工期 40%，共计 20 天，有效加快了工程整体进度；

成本节约：相较于传统支护工艺，节约材料费约 20%，共计 16.85 万元；机械化挖土减少人工投入，进一步降低施工成本；

综合效益：避免了周边建(构)筑物及管线损坏的修复费用，减少了环境扰动带来的经济损失。

6. 结语

受限空间下该工程深基坑内支撑体系施工工艺技术可靠，确保了基坑自身及周边环境的稳定安全，为各关键工序在受控状态下高效推进，大幅提升了施工效率，降低了工程风险。在控制变形、保护环境、缩短工期、节约成本等方面效益良好，具有广泛的推广应用前景。

参考文献

- [1] 刘琦良, 马小涛, 王勇, 陈朝霞. 基坑工程内支撑应用分析研究[J]. 中国住宅设施, 2025(11): 203-205.
- [2] 何申海. 建筑施工中深基坑支护的施工技术与管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(31): 115-117.
- [3] 张亦弛. 深基坑工程内支撑支护施工工艺探讨[J]. 建材发展导向, 2025, 23(11): 52-54.
- [4] 姜艳林, 李昕. 深基坑支护混凝土支撑拆除技术[J]. 广州建筑, 2025, 53(S1): 45-49.
- [5] 廖军. 深基坑工程施工技术与安全控制的新思路探讨[J]. 山西建筑, 2025, 51(21): 89-92.