超长混凝土结构跳仓法施工工艺研究与实践

严玉刚

湖北广盛建设集团有限责任公司　湖北　武汉　430415

摘　要：超长混凝土结构在温度收缩作用下易产生有害裂缝，传统后浇带法存在工期长、渗漏隐患多、结构整体性差等问题。跳仓法基于“先放后抗”原则，将超长结构划分为若干仓格，间隔浇筑、封仓连接，以释放早期收缩变形并利用后期混凝土抗拉性能抵抗剩余应力。本文系统研究了跳仓法的力学原理、仓格划分方法、配合比优化、施工缝处理及温度养护控制等关键工艺，并结合某大型地下车库工程进行实践验证。结果表明，跳仓法可取消后浇带，缩短工期约 30%，裂缝控制效果良好，可为同类工程提供参考。

关键词：超长混凝土结构；跳仓法；温度裂缝；收缩变形；施工工艺

引言

随着城市地下空间开发和大型公共建筑的发展，超长混凝土结构日益增多。此类结构在硬化过程中因水泥水化热、环境温度变化及自身收缩，易产生贯穿性裂缝，影响耐久性和防水性能。传统设计常设置后浇带，待主体收缩基本完成后浇筑，但后浇带需长期保留，清理困难，且易成为渗漏通道。跳仓法通过“分仓、间隔、封仓”的施工组织，在早期释放大部分收缩变形，后期以结构整体抗力抵御温度应力，近年来在工程中得到推广。然而，其仓格长度、间隔时间、接缝构造等关键参数仍缺乏统一标准，工程实践中存在仓格划分随意、封仓时机把握不准、接缝处理不到位等问题，导致裂缝控制效果参差不齐。本文对跳仓法施工工艺进行系统研究，并结合工程案例加以验证，以期为同类工程提供技术参考。

1 跳仓法基本原理

1.1 “先放后抗”的力学机制

混凝土早期弹性模量较低，徐变能力较强，此时若允许其自由收缩，产生的拉应力较小。跳仓法将超长结构分为若干独立仓格，相邻仓格间隔浇筑，先浇仓格在养护期内可自由收缩，待其收缩基本稳定后再浇筑相邻仓格。封仓后，剩余收缩变形受到约束，但此时混凝土抗拉强度已显著增长，可抵抗温度收缩应力。这一过程可概括为“早期放、后期抗”。从应力角度看，跳仓法通过时间差将总收缩变形分为两部分：先浇仓在自由状态下完成大部分收缩，后浇仓封仓时，先浇仓已趋于稳定，两者之间的约束应力大幅降低。同时，后浇仓混凝土在硬化过程中产生的收缩，因先浇仓已具备较高刚度，会使其受到一定拉应力，但该应力可通过配筋和微膨胀剂加以控制。

1.2 与后浇带法的对比

后浇带法需在结构中预留宽约 0.8~1.0m 的带区，钢筋断开或加强，待两侧混凝土浇筑完成至少 42 天后回填。其缺点是：带内清理困难，钢筋锈蚀风险高；回填混凝土收缩差异易导致新老界面开裂；工期受制于后浇带封闭时间。跳仓法无需预留贯穿带，仅设施工缝，间隔时间通常为 7~14 天，可大幅缩短工期，且接缝处理更易控制质量。此外，后浇带法在带区两侧形成长期临空面，地下水位高时降水费用增加；跳仓法仓格封闭及时，有利于基坑安全。从经济性角度对比，后浇带法需额外设置加强钢筋、止水钢板及临时支撑，后期清理和回填费用较高；跳仓法虽增加了施工缝数量，但省去了后浇带的长期维护和清理费用，综合成本更低。从质量控制角度，后浇带封闭时间受主体收缩完成度制约，常因工期压力提前封闭，导致裂缝控制效果不佳；跳仓法封仓时间可根据收缩试验灵活调整，质量控制更为主动。

1.3 跳仓法的适用条件

跳仓法适用于平面尺寸超长、约束条件明确、施工组织可分段进行的混凝土结构，尤其适合地下车库、大型基础底板、地下管廊等工程。对于气候温差大、收缩显著地区，应适当缩短仓格长度并加强养护。此外，跳仓法要求结构配筋率适中，过低则抗裂能力不足，过高则约束过强，均不利于裂缝控制。一般认为，配筋率在 0.3%~0.8% 之间较为适宜[1]。跳仓法不适用于以下情况：结构平面形状复杂、存在大量锐角或突变区域；施工组织无法保证间隔时间；环境温度变化剧烈且无有效

温控措施；结构承受较大动荷载或疲劳荷载。在这些情况下，应结合其他裂缝控制措施综合处理。

2 跳仓法关键施工工艺

2.1 仓格划分原则

仓格划分是跳仓法设计的核心。一般遵循以下原则：①单个仓格长度控制在 20~25m，不宜超过 30m；②避开柱帽、集水坑等应力集中区域；③相邻仓格边长比不超过 1.5；④施工缝设置在剪力较小处；⑤仓格划分应结合施工缝留设位置，尽量规则对称。对于超长结构，可采用“隔一浇一”顺序，先浇奇数仓，后浇偶数仓。仓格长度需综合考虑混凝土收缩特性、环境温度、配筋率及约束条件。研究表明，当仓格长度超过 30m 时，早期收缩应力可能超过混凝土抗拉强度，导致裂缝。因此，对于温差较大地区，建议仓格长度控制在 20m 以内[2]。仓格划分还应考虑施工缝的施工便利性，避免出现锐角仓格，以免应力集中。在实际工程中，仓格划分还需结合施工流水段划分、塔吊覆盖范围、混凝土供应能力等因素。仓格过大，则一次浇筑方量过大，养护困难；仓格过小，则施工缝数量增多，防水风险增加。因此，仓格划分应综合考虑技术、经济和施工组织三方面因素，通过多方案比选确定最优方案。

2.2 配合比优化

为降低水化热和收缩，配合比设计应采取以下措施：①使用低热硅酸盐水泥，用量控制在 320kg/m³ 以内；②掺入粉煤灰和矿粉双掺，替代 30% 水泥；③添加聚羧酸减水剂，水胶比降至 0.42 以下；④掺入微膨胀剂，补偿部分收缩。经试配，28 天干缩率可降低约 25%。此外，应控制骨料含泥量，优化砂率，提高混凝土密实度。对于抗渗要求较高的工程，可掺入适量引气剂，改善抗渗性能。粉煤灰的掺入可降低水化热峰值，延缓放热速率；矿粉则提高后期强度，改善孔结构。两者双掺可发挥互补效应，既降低早期收缩，又保证后期抗力。微膨胀剂的掺量应根据收缩试验确定，一般控制在胶凝材料用量的 6%~10%。掺量过低，补偿收缩效果不足；掺量过高，则可能引起后期膨胀开裂。膨胀剂应与减水剂适配，避免因相容性问题导致坍落度损失过快。混凝土配合比还应考虑施工季节差异，夏季适当增加缓凝组分，冬季添加防冻剂。

2.3 施工缝处理

仓格间施工缝采用快易收口网成型，缝面设置止水钢板。浇筑相邻仓前，缝面凿毛、清洗，涂刷界面剂，并设置遇水膨胀止水条。钢筋不断开，按规范搭接。封仓混凝土采用微膨胀混凝土，强度等级提高一级。施工缝是跳仓法的薄弱环节，处理不当易成为渗漏通道。因此，缝面处理应严格按规范执行，止水措施应多重设防，确保接缝防水效果。止水钢板应连续焊接，不得间断；遇水膨胀止水条应固定在缝面中部，避免浇筑时移位。封仓前，缝面应充分湿润，但不得有积水。施工缝处理还应注重细节：快易收口网应固定牢固，防止浇筑时变形；缝面凿毛应在先浇仓混凝土达到一定强度后进行，一般不少于 3 天；界面剂应涂刷均匀，不得漏刷；止水条应避免在雨中施工，防止提前膨胀。封仓混凝土浇筑时，应加强振捣，确保接缝处密实。

2.4 温度与养护控制

浇筑后 12 小时内覆盖薄膜和土工布，养护不少于 14 天。夏季施工时，采用冷水拌合，控制入模温度不高于 30℃；冬季施工时，添加防冻剂并覆盖保温。测温点布置在仓格中心及边缘，监测内外温差不超过 25℃。封仓时间根据现场同条件试块收缩试验确定，一般当先浇仓混凝土收缩应变达到 180×10^{-6} 时即可封仓。养护期间应保持混凝土表面湿润，避免失水过快导致干缩裂缝[3]。对于大体积混凝土，还应控制降温速率，防止温度应力过大。测温频率在浇筑后前 3 天每 2 小时一次，之后每 4 小时一次，直至温差稳定。温度控制还应考虑环境温度变化。夏季高温时，应避免中午浇筑，选择夜间或清晨施工；冬季低温时，应搭设保温棚，必要时加热养护。养护用水温度应与混凝土表面温度相近，避免温差过大引起表面裂缝。

3 工程案例分析

3.1 工程概况

某大型地下车库工程，建筑面积约 2.1 万 m²，底板长 216m、宽 98m，厚 600mm，混凝土强度等级 C35，抗渗等级 P8。场地地质条件为粉质黏土，地下水位较高。原设计设置 4 条后浇带，将底板分为 5 个区块。经论证，改为跳仓法施工，取消后浇带。

3.2 跳仓方案设计

根据结构平面尺寸和约束条件，将底板划分为 18 个仓格，单个仓格长度控制在 18~24m，宽度约 25~30m。采用“隔一浇一”顺序，先浇奇数仓，后浇偶数仓。先浇仓格浇筑后养护 7 天，待其收缩完成约 60%~70%，再浇筑相邻仓格。总施工周期从原后浇带方案的 90 天缩短至 60 天。仓格划分时，避开了柱帽和集水坑区域，施工缝设置在柱距 1/3 处。封仓时间根据同条件试块收缩试验确定，当收缩应变达到 180×10^{-6} 时即进行封仓。施工缝

采用快易收口网成型，设置止水钢板和遇水膨胀止水条双重止水。

3.3 实践效果分析

施工完成后，对底板进行为期 6 个月的裂缝观测。结果表明，仅出现 3 条细微表面裂缝，宽度均小于 0.15mm，未发现贯穿裂缝。传统后浇带方案在该工程类似项目中曾出现 5 条贯穿裂缝。取消后浇带后，减少钢筋加强和清理工序，工期缩短 30 天，节约人工和材料成本约 12%。同时，底板整体性提高，防水效果更好，后期渗漏维修费用降低。

3.4 经验总结

本工程实践表明，跳仓法成功的关键在于：①仓格长度不宜超过 25m；②间隔时间需根据收缩试验确定，不宜少于 7 天；③施工缝处理必须严格，止水措施到位；④养护和温度控制不可忽视。此外，施工组织应合理安排，确保先浇仓有足够养护时间，避免抢工导致封仓过早。

4 跳仓法推广建议与展望

4.1 设计阶段的控制要点

设计单位应在结构设计阶段明确跳仓法要求，包括仓格划分方案、施工缝位置、配筋加强措施及混凝土性能指标。仓格划分应与结构受力体系协调，避免施工缝设置在弯矩较大区域。对于地下工程，应结合防水设计，明确止水构造做法。设计交底时应向施工和监理单位说明跳仓法的关键控制点，确保各方理解一致。设计阶段还应考虑施工缝对结构整体性的影响，必要时在缝面设置加强钢筋。配筋设计应兼顾抗裂和约束两方面要求，纵向钢筋宜细而密，间距不宜大于 150mm。对于温度应力较大区域，可增设温度钢筋，提高抗裂能力。

4.2 施工阶段的组织管理

施工单位应编制跳仓法专项施工方案，明确仓格编号、浇筑顺序、间隔时间、封仓条件及养护措施。施工前应进行技术交底，确保作业人员熟悉施工缝处理和止水构造。施工过程中应建立台账，记录各仓浇筑时间、养护情况及测温数据。监理单位应加强巡视，重点检查施工缝凿毛、止水条安装及封仓混凝土浇筑质量，发现问题及时整改。施工组织还应考虑混凝土供应能力，确保每仓浇筑连续进行，避免冷缝[4]。浇筑顺序应与塔吊覆盖范围、泵车位置协调，减少窝工。养护期间应安排专人负责，确保覆盖到位、洒水及时。封仓前应组织验收，确认缝面处理、止水措施及钢筋搭接符合要求后方可浇筑。

4.3 数值模拟与智能监测的应用前景

未来可结合数值模拟和智能监测技术，实现跳仓施工的动态控制。利用有限元软件模拟不同仓格划分方案的应力分布，优化施工时序；采用分布式光纤传感技术实时监测混凝土应变，为封仓时机提供数据支撑。通过信息化手段，可将跳仓法从经验施工提升为精准控制，进一步提高裂缝控制效果。数值模拟可考虑水化热、收缩、徐变及环境温度耦合作用，预测各仓应力发展历程，为仓格划分和封仓时间提供理论依据。智能监测可采用无线传感器网络，实时传输温度、应变数据，结合预警模型，实现动态调控。未来还可探索数字孪生技术，建立跳仓施工全过程仿真平台，提高施工决策的科学性。

4.4 接缝材料与耐久性研究方向

接缝是跳仓法的薄弱环节，其耐久性直接影响结构防水性能。未来应加强接缝材料研究，开发粘结强度高、变形适应性强、耐老化的止水材料。同时，应开展长期性能观测，积累不同环境条件下接缝工作性能数据，为修订相关标准提供依据。接缝材料研究应关注以下方向：①自修复止水材料，可在渗漏初期自动封堵；②高弹性密封胶，适应接缝变形；③耐腐蚀止水带，适用于地下水位高、水质复杂环境。此外，应建立接缝耐久性评价方法，制定接缝材料选用标准，推动跳仓法接缝技术规范化。

结束语

跳仓法通过“分仓、间隔、封仓”的施工组织，有效释放了超长混凝土结构的早期收缩变形，利用后期抗力抵抗剩余温度应力，避免了后浇带带来的工期和渗漏问题。本文系统阐述了跳仓法的力学原理、仓格划分、配合比优化、施工缝处理及温度养护控制等关键工艺，并结合工程案例验证了其在裂缝控制、工期缩短和成本节约方面的优势。工程实践表明，跳仓法在超长混凝土结构中具有良好适用性，值得进一步推广。

参考文献

[1] 张明, 李华. 超长混凝土结构跳仓法施工技术研究 [J]. 施工技术,2022,51(8):45-49.

[2] 陈志强, 刘伟. 跳仓法在大面积地下车库底板施工中的应用 [J]. 建筑技术,2023,54(3):112-115.

[3] 赵磊, 孙丽. 超长混凝土结构温度收缩裂缝控制措施对比分析 [J]. 混凝土,2021(6):138-142.

[4] 周建, 吴刚. 跳仓法施工中混凝土配合比优化及接缝处理 [J]. 新型建筑材料,2024,51(2):88-92.