

某超长超大地下车库结构温度应力分析及应对措施探析

文 / 吴 兵 安徽省建筑设计研究总院股份有限公司

摘要：超长超大地下车库温度作用效应明显。本文从宣城某地下车库裂缝控制出发，详细计算了温度作用取值，分别计算了季节温差，混凝土收缩当量温差，并考虑了混凝土徐变影响和刚度折减，从而定性并定量分析了地库顶板的温度应力分布情况。除了理论计算外，还提出了一些具体措施来应对裂缝开展，项目已完成并交付使用，效果较好。通过本文相关探讨以期给类似项目实践提供参考。

关键词：超长超大地下车库；温度应力；裂缝控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.091

引言

随着社会经济的不断发展，人们对住宅功能需求也越来越高，现阶段常见的住宅小区建造模式都是通过一个大车库将地上各单体串联成一个整体。由于小区建设规模越来越大，串联成整体的地库也变成一个越来越大的结构单体，但由于使用功能的要求，往往不能设置结构缝，这样对其进行温度应力分析和裂缝控制就成了一项必不可少的工作。

一、工程概况

宣城某住宅小区项目，总用地面积约13万平方米，总建筑面积约27万平方米，其中地上总建筑面积约17.2万平方米，地下总建筑面积约9.8万平方米。该项目由地上51栋住宅单体和相关配套及地下连城一体的大地库所组成。地下车库较大，东西向长约502m，南北向长约237m。

为满足建筑使用功能的要求，同时也避免后期渗漏问题的出现，建设单位不允许设置永久性结构缝来使地库分为多个独立结构单元，故该地库结构单体长度远超《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010规定的伸缩缝最大间距的规定。地库如此之大，温度作用效应明显，需要对其进行温度应力分析并提供相关措施来减小其对结构产生的不利影响。

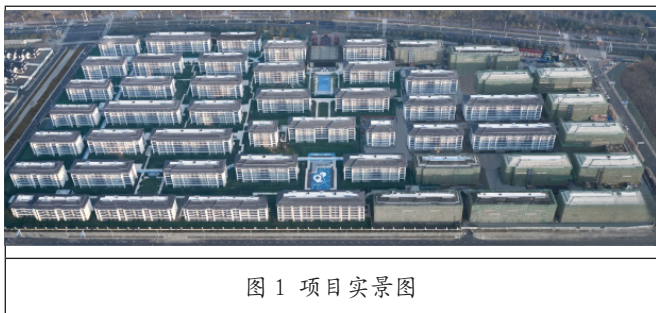


图1 项目实景图

二、温度作用取值计算

(一) 季节温差计算

根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012第9.3节规定，均匀温度作用包括最大温升和最大温降两种工况，相关标准值计算公式如下所示^[1]：

最大温升工况下均匀温度作用标准值：

$$\phi T_k = T_{s,max} - T_{0,min} ; (1)$$

最大温降工况下均匀温度作用标准值：

$$\phi T_k = T_{s,min} - T_{0,max} 。 (2)$$

根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012第9.3.3条规定，其中 $T_{0,max}$ 和 $T_{0,min}$ 应根据结构的合拢或形成约束的时间确定，或根据施工时结构可能出现的温度按不利情况确定，也就是本项目的后浇带封闭时的温度确定。该地库面积较大，且分期施工，时间跨度较大，故难以确定具体后浇带封闭时间，参考文献[9]，根据宣城市最低基本气温和最高基本气温按下式进行确定^[9]：

$$T_{0,min} = 0.7 T_{min} + 0.3 T_{max} ; (3)$$

$$T_{0,max} = 0.3 T_{min} + 0.7 T_{max} 。 (4)$$

根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012表E.5，宣城市最低基本气温和最高基本气温分别取 -6°C 和 38°C ，代入式(3)和(4)，得 $T_{0,min} = 7.2^{\circ}\text{C}$ ， $T_{0,max} = 24.8^{\circ}\text{C}$ 。

关于 $T_{s,max}$ 和 $T_{s,min}$ 取值，《建筑结构荷载规范》GB50009-2012第9.3.2条规定，宜分别根据基本气温 T_{max} 和 T_{min} 按热力学的原理确定，其条文说明部分给出“对地下室与地下结构的室外温度，一般应考虑离地表面深度的影响。当离地表面深度超过10m时，土体基本为恒温，等于年平均气温。”^[1]对于本项目，地库顶覆土1.5m，地库结构层高3.7m，地库埋置深度未超过10m，不能直接按年平均气温考虑。对于该情况，规范未给出明确计算方法。关于该问题，查阅相关文献，给出多种计算方式，文献[3]也对此问题的不同计算方法进行了较为详细的论述^[3]，参考文献[9]所采用的计算方式，宣城市最高温和最低温月份土壤温度分布场为^[9]：

$$t(y, s) = t_0 + A_d e^{-0.3591y} \cos(0.3591y) ; (5)$$

$$t(y, s) = t_0 + A_d e^{-0.3591y} \cos(0.3591y) ; (6)$$

其中，根据气象局数据，宣城全年平均气温为 15.6°C ，即 $t_0 = 15.6$ ；根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012，宣城市最高基本气温为 38°C ，最低基本

气温为 -6°C ，则 $A_d = (38 + 6)/2 = 22$ 。将以上数据代入公式 (5) 和 (6) 中，得出最低平均气温 $T_{min} = 4.6^{\circ}\text{C}$ ，最高平均气温 $T_{max} = 26.6^{\circ}\text{C}$ 。

再将以上数据代入公式 (1) 和 (2) 中可得出：

最大温升工况下均匀温度作用标准值： $\phi T_k = 26.6 - 7.2 = 19.4^{\circ}\text{C}$ ；

最大温降工况下均匀温度作用标准值： $\phi T_k = 4.6 - 24.8 = -20.2^{\circ}\text{C}$ 。

$$\phi T = \frac{\epsilon_y(\infty) - \epsilon_y(60d)}{\alpha} = \frac{2.75 \times 10^{-4} - 3.24 \times 10^{-4} \times 0.85 \times (1 - e^{-0.01 \times 60})}{1.0 \times 10^{-5}} = 15^{\circ}\text{C}$$

根据文献 [6] 描述，由于温升时混凝土受压，对混凝土影响不明显，且与混凝土收缩温差相反，故不考虑温升工况，仅考虑温降温差影响和混凝土收缩当量温差 [6]，本项目最大综合温差为： $\phi T = -20.2 - 15 = -35.2^{\circ}\text{C}$ 。

(三) 混凝土徐变影响的温度应力折减系数计算

因温度应力计算考虑的季节温差是一种长期作用，混凝土收缩也是一个比较长期的过程，故在以上基础上还需要考虑混凝土徐变对结构造成的影响。根据文献 [8]，为了简化计算，本项目徐变应力松弛系数取 0.3，徐变应力松弛系数可在软件中直接输入 [8]。

(四) 刚度折减系数计算

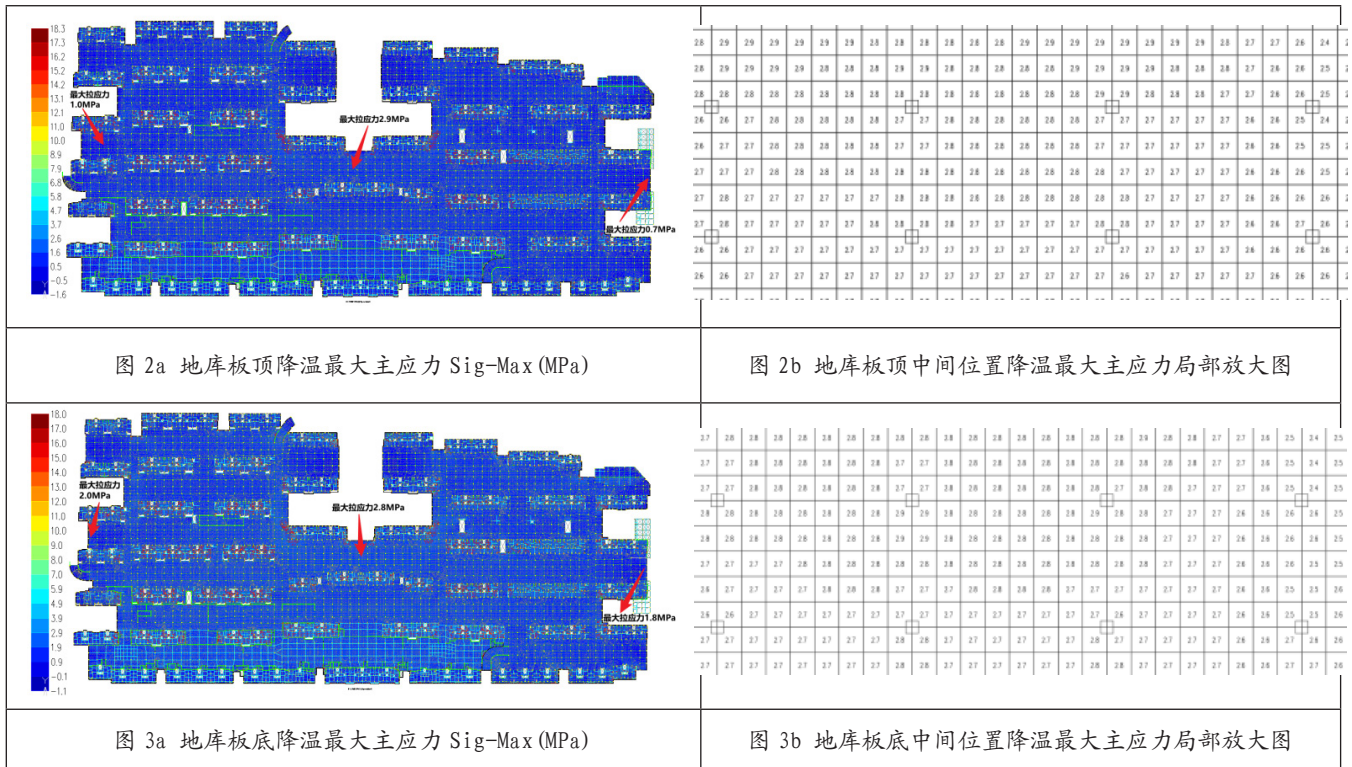
考虑到混凝土的开裂会造成结构的刚度减小，相应温度效应的计算也会减小，故在温度作用效应计算时还应在混凝土徐变折减系数的基础之上再乘以一个刚度折减系数，参考文献 [8]，此值取 $0.85^{[8]}$ 。

(二) 混凝土收缩当量温差计算

根据文献 [2]，混凝土经历 720d 的收缩，基本完成 100% 的收缩变形，但实际后浇带封闭时间不允许推迟这么长时间，通常按 60d 考虑。这时就需要考虑后浇带封闭后，混凝土材料的收缩变形，即需要计算混凝土收缩当量温差 [2]。本项目综合考虑混凝土后浇带封闭时间为 60d，参照文献 [4] 给出的计算公式，其混凝土收缩当量温差计算如下所示 [4]：

三、计算软件分析

采用通用结构分析软件 YJK 对本项目地下车库进行温度应力分析。温度应力计算结果见图 2a ~ 图 3b。本项目地库梁板柱混凝土强度等级为 C35，混凝土抗拉强度标准值为 2.2MPa，从计算结果可见（暂不考虑主楼范围内空洞周边应力集中情况，仅看纯地库部分），该地库顶板板顶和板底温度应力范围在 0.7MPa ~ 2.9MPa，温度应力自地库中间区域向两边减小，靠近地库端部外墙位置温度应力最小，靠混凝土自身抗拉强度即可满足温度应力需求，地库中间区域温度应力较大，达到 2.9MPa，稍大于混凝土自身抗拉强度，通过适当的配筋可抵抗温度应力作用。实际设计时，楼板配筋还应考虑温度应力与恒荷载、活荷载等的组合，此处就不再详述，《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 和文献 [5] 给出考虑温度应力的荷载组合计算方法 [5]。



四、超长超大地下车库裂缝控制应对措施

对于超长超大地下车库除了进行前述必要的温度应力计算外，还应采取一些有效的措施来控制其裂缝开展。

(一) 设计加强

本项目在设计时，楼板做适当加厚，所有楼板均不小于 300mm 厚，配筋按 C12@150 双层双向贯通设置，提高地库顶板配筋率；所有主框架梁截面适当加大，顶部贯通筋采用 4C25。

(二) 设置“大后浇带+小后浇带”

本地库东西向长达 500m，将其分成三个区域，沿南北向设置贯通的两道“大后浇带”，后浇带宽度为 2000mm，钢筋采用 100% 搭接连接，其余位置按正常要求设置 800 宽“小后浇带”。后浇带封闭时间不应小于 60d，大后浇带可适当再延长。

(三) 分仓施工

结合项目推进进度，对该地库进行分仓施工，本地库共分五个区域，详见下图所示。

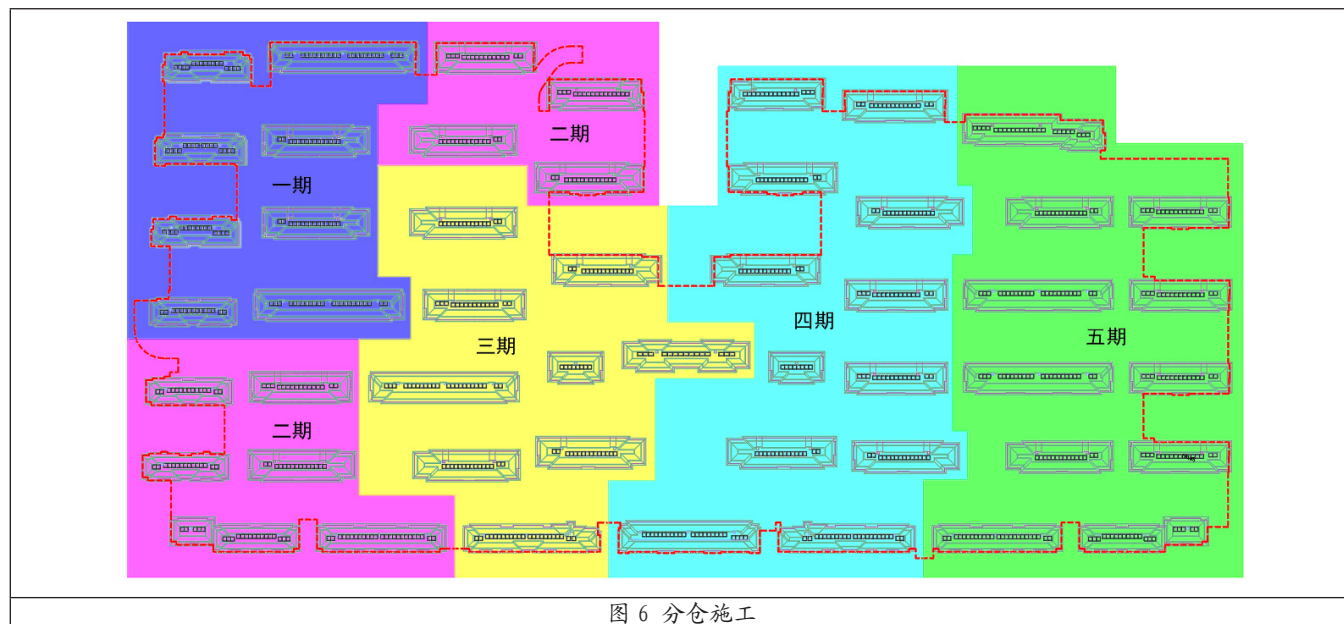


图 6 分仓施工

(四) 材料和施工质量控制

材料和施工质量对裂缝控制至关重要，如控制混凝土的配合比，外加剂的使用，混凝土浇筑时间和充分振捣，后浇带封闭时间的选择，以及混凝土养护等。本项目施工时，对地下室外墙进行喷淋或喷雾养护，减少砼水化热和温差产生的应力^[4,6]。

结语

超长超大地下车库温度作用效应明显，是裂缝开展的重要原因之一。本项目地库长达 500m，首先通过温度作用计算，定性并定量分析温度应力分布情况，做相应配筋加强等措施。在温度应力计算基础上，再结合部分构造措施来减小温度应力对结构产生的不利影响，主要有设计加强、设置“大后浇带+小后浇带”、分仓施工、材料和施工质量控制等措施。本项目现已施工完成并交付使用，从现场情况来看，未出现明显的裂缝开展，通过以上措施的采用，整体效果较好。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB 50009-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
[2] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[3] 郭海浩, 周安, 高明月, 等. 合肥火车站地下广场超长混凝土顶板温度作用及效应分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2019, 42(11): 1536-1545.

[4] 陈文. 超长地下室顶板结构温度分析与工程实践[J]. 福建建筑, 2023(10): 52-55.

[5] 徐宇鸣, 奚彩亚. 混凝土楼板温度应力分析的关键性问题探讨[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(7): 37-39.

[6] 林晓宇, 鲁亮. 超长超大地下空间结构温度应力分析[J]. 低温建筑技术, 2011(10): 39-40.

[7] 朱江鹏, 周敏, 刘艳峰. 地下建筑土壤温度取值及对室内热环境的影响分析[J]. 建筑节能, 2016, 44(1): 18-21.

[8] 徐培福, 傅学怡, 王翠坤, 等. 复杂高层建筑结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

[9] 吕旭东. 超长混凝土框架结构考虑温度和收缩的裂缝控制初步研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB50010-2010(2015年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

作者简介: 吴兵(1988-), 男, 汉, 安徽芜湖, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 结构设计和装配式建筑。