

滑移施工呼吸效应分析及其工程应用

邢遵胜^{1,2*}, 徐常森¹, 贾尚瑞¹, 刘中华¹

(1. 浙江精工钢结构集团有限公司, 浙江 绍兴 312030; 2. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

摘要: 文中提出了滑移施工呼吸效应的概念及定义, 以及滑移仿真分析的计算假定, 明确了滑移结构与滑移支承结构之间的摩擦边界条件。在此基础上进一步分析了边界转换条件, 特别是结构抗弯刚度、滑轨间距及数量对滑移结构位移的影响; 还提出了进行结构预变形、增大滑靴与限位装置间隙、设置临时措施等以提高结构刚度的解决方案。同时分析了季节性温度变化、昼夜温度变化及滑移支承结构侧向刚度对呼吸效应的影响, 提出了无侧移支承结构采用独立模型分析、有侧移支承结构采用滑移结构和滑移支承结构合模型分析的仿真模拟方法, 之后结合实际工程案例对呼吸效应分析和工程应用进行了说明。相关研究可为类似工程的滑移施工提供参考, 避免滑移施工中频繁出现“啃轨”现象, 保证滑移施工的顺利进行。

关键词: 滑移施工; 摩擦边界; 呼吸效应; 温度作用; 结构刚度; 结构变形

中图分类号: TU74

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2025)07-0108-08

DOI: 10.13969/j.jzgjgz.20240204001

Analysis of Breathing Effect in Sliding Construction and its Engineering Applications

XING Zunsheng^{1,2*}, XU Changsen¹, JIA Shangrui¹, LIU Zhonghua¹

(1. Zhejiang Jinggong Steel Building Group Co., Ltd., Shaoxing 312030, China;

2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

*Corresponding author: 65553089@qq.com

Abstract: The concept and definition of breathing effect in sliding construction were proposed, as well as the calculation assumptions for sliding simulation analysis. The friction boundary between sliding structure and sliding support structure was clarified. On this basis, further analysis was conducted on the influence of boundary transformation, especially the bending stiffness of the structure, the spacing and quantity of sliding rails, on the displacement of the sliding structure. Solutions such as structural pre-deformation, increasing the gap between sliding shoes and limiting devices, and setting temporary measures to improve the structural stiffness were proposed. At the same time, the influence of seasonal temperature changes, diurnal temperature changes and lateral stiffness of sliding support structures on breathing effects was analyzed. A simulation method was proposed, which used independent model analysis for non lateral displacement support structures and combined deformation analysis for structures with lateral displacement support. Subsequently, practical engineering cases were used to illustrate the analysis and engineering application of breathing effects. Related research can provide reference for sliding construction of similar projects, avoid frequent "rail gnawing" phenomenon in sliding construction, and ensure the smooth progress of sliding construction.

Keywords: sliding construction; friction boundary; breathing effect; temperature effect; structural stiffness; structural deformation

收稿日期: 2024-02-04

作者简介:

邢遵胜(1982—), 男, 博士研究生, 正高级工程师, 主要从事钢结构设计、制造和施工方面的研究。

E-mail: 65553089@qq.com。(通信作者)

徐常森(1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事钢结构设计、施工方面的研究。

滑移施工是建筑领域中常用的施工工艺,其工艺原理是使用牵引或顶推装置施加动力,将滑移结构沿预设轨道滑移到设计位置^[1-4]。其中,滑移结构与支承结构之间设置滑移轨道,滑移结构与滑移轨道通过滚动摩擦或滑动摩擦的方式实现滑移。

为保证滑移施工安全进行,无论采用何种滑移方式,滑移结构与滑移轨道之间一般均要设置侧向限位装置。图1~4为目前常用的两种滑轨构造及其限位方式。其中,夹轨式滑移在滑靴底板与工字型钢轨之间设置侧向限位挡板;固步式滑移则利用槽钢轨道的翼缘作为限位装置。

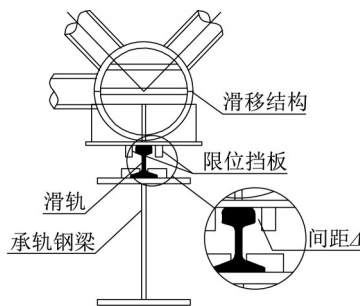


图1 夹轨式滑移限位装置构造

Fig. 1 Structure of clamping rail type sliding limit device

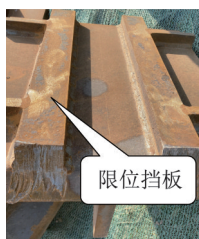


图2 夹轨式滑移限位装置

Fig. 2 Clamp rail sliding limit device

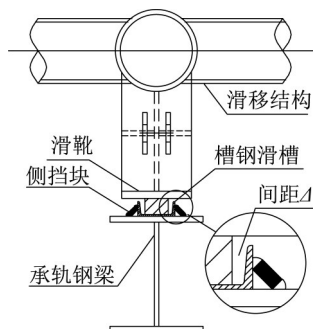


图3 固步式滑移限位装置构造

Fig. 3 Structure of fixed step sliding limit device

图1、3中, Δ 为滑靴与限位装置之间的设计间隙。在滑移施工时,因多种因素的综合影响,当间隙 $\Delta=0$ 滑靴与限位装置发生物理接触时,可能导致“啃轨”现象出现、

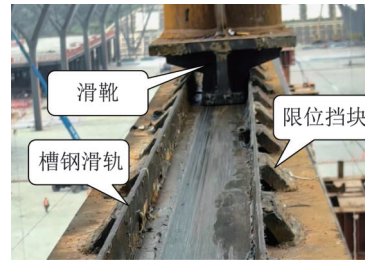


图4 固步式滑移限位装置

Fig. 4 Fixed step sliding limit device

设计滑移顶推力增大、滑移支承结构承受额外水平力作用等问题的发生。因此,在进行滑移施工时需尽量避免滑轨与限位装置的物理接触。

由于液压顶推装置、牵引装置、电液控制系统及施工操作等因素,滑移施工过程中存在客观的不同步性,可能导致滑移结构发生整体扭转^[3-4]。因此水平限位装置与滑靴间的间隙大小不仅关乎到施工的安全性,也会显著影响滑移施工的效率。工程界通常采用单行程内电液系统高精度控制,以及实时跟踪、测量、调整的方法来控制滑移不同步性。

此外,在滑移施工期间,季节性温度变化、昼夜温差变化、太阳辐射、滑移结构边界条件的转换等因素,会造成滑移结构的支承点(即滑靴)出现水平位移,从而导致滑靴与水平限位装置的间隙发生变化^[5-8]。而滑移结构整体尺寸和水平刚度、滑移支承结构侧向刚度等因素,会影响间隙变化的程度。目前行业内对此类问题的关注和研究均较少,导致“啃轨”现象频繁发生,进而影响滑移施工的顺利开展。

综上,文中根据工程需求提出了滑移施工呼吸效应的概念,即:滑移施工期间,周期性温度作用(包括昼夜温差、季节性温度变化等)对被滑移结构及其支承结构产生的作用效应。鉴于呼吸效应作用下,滑靴与滑轨之间会产生相对水平位移,位移超出限值时会导致“啃轨”现象的发生,且会对滑移支承结构产生水平作用力,从而可能会显著影响滑移支承结构的安全性。因此建议采用液压顶推滑移法施工的项目中,需考虑呼吸效应对施工安全性与结构稳定性的影响。

1 计算假定

1.1 单行程滑移过程分解

在滑移施工中需先增大顶推力,使滑移结构从静止状态转换为滑动状态:即需先将顶推力增大至静摩擦力,待结构滑动后,只需将顶推力维持在等于动摩擦力的水平,即可实现滑移结构的持续滑动^[8-11]。在结构实际滑移过程中,一般会将顶推力维持与动摩擦力基本相等的

水平。同时如图5所示,因顶推过程中油缸角度会逐步减小,因此顶推力也会存在一定变化。

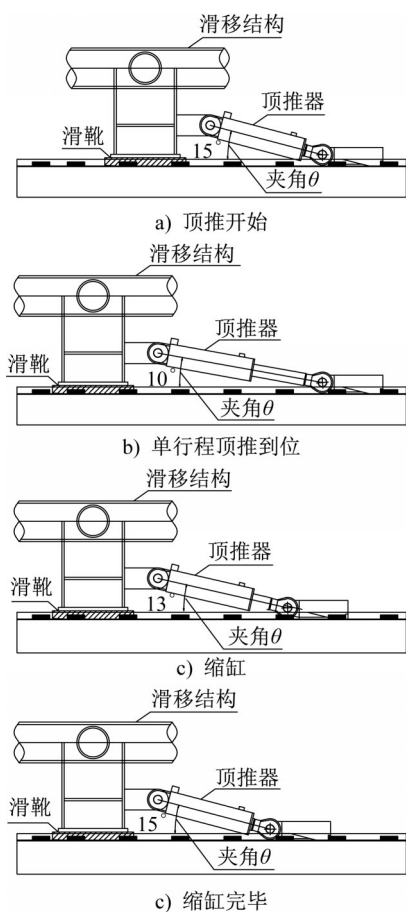


图5 滑移过程图解

Fig. 5 The diagrammatic description of the sliding process

根据物理关系可知,在支承点反力基本恒定的条件下,在单行程滑移过程中,顶推力 F 的大小主要与顶推器角度有关:

$$F = \frac{\mu G}{\cos \theta + \mu \sin \theta} = kG$$

$$k = \frac{\mu}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$$

式中: G 为滑移支承点的竖向荷载; μ 为动摩擦系数,取0.1; θ 为顶推器与滑轨的夹角; k 为滑移过程中顶推力 F 与滑移支承点的竖向荷载 G 的比例系数。

常用顶推器的单行程长度为450~500 mm,根据其几何构造,顶推器角度 θ 在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 之间,将计算得到的顶推力 F 进行均值处理,得出单行程滑移顶推器作用下顶推力的变化情况如图6所示:

由图6可知,在每个匀速顶推的行程中,开始顶推作业时顶推器的顶推力最大,待顶推器伸缸达到极限时顶推力最小;单行程过程中,顶推力变化仅为1%,变化幅度较小。

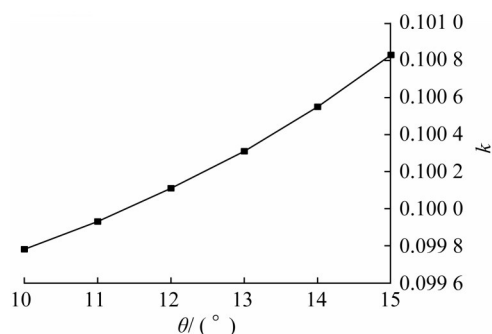


图6 单行程滑移顶推力的变化

Fig. 6 The variation of sliding top thrust in single stroke

1.2 动摩擦系数取值

在滑移施工中,滑靴与滑轨之间的接触一般采用接触摩擦的方式。接触面一般通过涂抹黄油的方式减小摩擦系数。根据相关规定及经验,动摩擦系数一般取0.05~0.10^[12]。在选取滑移设备型号与数量、设计支承结构计取水平作用力等场景中,若摩擦力为不利作用,摩擦系数应取上限;在倾斜滑移等摩擦力为有利作用的场景中,摩擦系数一般取下限。

滑移顶推系统的顶推力一般均大于滑移施工期间静摩擦力的总和,因此在滑移施工仿真分析时,可不考虑顶推过程中所需顶推力变化的影响,由电液控制系统根据滑移速度自动控制顶推力的输出。

1.3 滑靴与滑轨水平垂轨方向的摩擦边界假定

滑移施工的边界条件:在竖向(一般为垂直大地)与顺轨向(即滑移方向),滑靴与滑轨之间的边界条件比较明确,故本节仅讨论滑靴与滑轨之间垂轨向的边界条件。

在呼吸效应作用下,滑靴与滑轨垂轨向的边界假定主要取决于二者接触面的内力和静摩擦力的大小关系。分为三种情况:(1)当接触面的内力小于静摩擦力时,滑移结构与滑移支承结构协同变形,滑靴与滑轨之间不会出现相对位移;(2)当接触面的内力大于静摩擦力时,滑靴与滑轨之间产生相对滑动,边界对滑靴的约束力等于滑移界面的动摩擦力;(3)当发生“啃轨”现象时,滑靴在垂轨向与支承结构的接触为硬接触,边界处于约束状态。在滑移施工过程中,滑移结构和滑移支承结构始终遵循上述规律进行变形协调。

综上,摩擦系数取动摩擦系数 μ ,以动摩擦力为限值,滑移结构与滑移支承结构间所设置的摩擦边界如图7所示。

图中:水平坐标轴位移 S 为滑靴与滑轨之间的相对位移;竖向坐标轴边界反力 F_c 为摩擦界面的水平垂轨向的反力; f 为动摩擦力; Δ 为滑靴和限位装置之间的设计间隙。

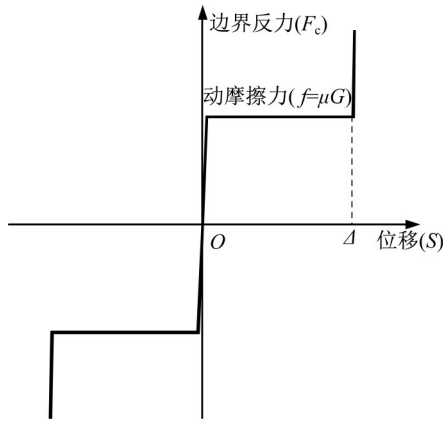


图7 滑移施工三折线弹性连接

Fig. 7 Sliding construction triple-line elastic connection

2 滑移结构变形影响因素分析

2.1 边界转换

滑移结构在拼装时一般设置密集支承点进行支承,以减小拼装结构自重下的变形,保证拼装精度。滑移单元拼焊完成后,通过拆除等方式卸载除滑靴点以外的支承点,滑移结构由拼装状态转为滑移支承状态,卸载前后的边界变化如图8所示。

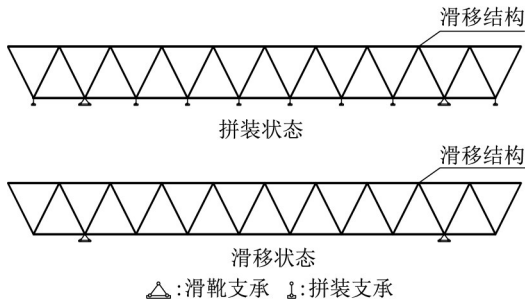


图8 滑移单元拼装状态-滑移状态的边界变化

Fig. 8 Boundary variation from assembly state of sliding unit to sliding state

2.2 结构抗弯刚度的影响

滑移结构的自重情况及沿垂轨向的抗弯刚度,会显著影响边界转换时结构的变形。以两平行边支承的滑移施工为例,分析当结构竖向荷载相同的情况下,结构刚度对滑移结构竖向最大位移和支承点水平位移的影响,如图9所示。

由图9可见,随着结构垂轨方向抗弯刚度的增强,滑移结构的支承点水平位移及结构最大竖向位移均呈现非线性减小的趋势,且这种减小趋势逐渐变得平缓。

目前,主要有网架结构、桁架结构、网壳结构、预应力结构等类型的结构采用滑移法进行施工^[1-4]。进行滑移仿真分析时,需要分析并得到结构在不同条件下的变形规律,特别是水平变形的大小,并采取拼装阶段水平预变

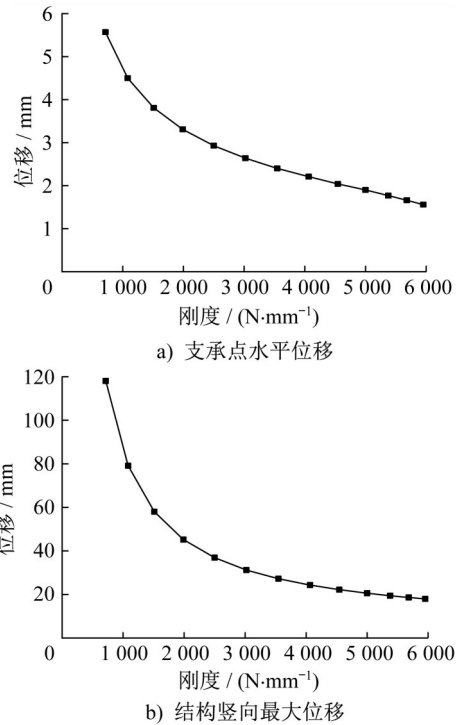


图9 结构抗弯刚度对结构变形的影响

Fig. 9 The influence of structural bending stiffness on structural deformation

形、加大滑靴和限位装置之间的间隙 Δ 、增加措施以增大滑移结构抗弯刚度等方式,以及考虑呼吸效应的影响,保证滑移施工的顺利进行。

2.3 滑轨间距的影响

除结构刚度外,滑轨间距大小也会显著影响滑移结构的竖向变形和滑移支承点的水平位移。取结构抗弯模量 W 保持不变,分析滑轨间距对滑移结构竖向最大位移和支承点水平位移的影响,如图10所示。

由图10可知,随着滑轨间距逐渐增加,滑移结构的支承点水平位移及结构最大竖向位移均呈现非线性增大的趋势,且增大速度随着滑轨间距的增大而逐渐增加。

2.4 滑轨数量的影响

由静力计算简图可知,支承点数量会显著影响结构的变形和内力分布。以某120 m跨双层网架结构为例,分别设置2条、3条、4条滑轨,其结构竖向变形及支承点水平变形情况如图11所示。

从图中可以看出,滑轨数量由2条增加至3条时,结构最大竖向位移和支承点水平位移显著降低。当继续增加滑轨数量后,结构最大竖向位移和支承点水平位移的下降幅度明显降低。一般而言,建议当结构滑移跨度小于45 m时,可采用2条滑轨滑移;当结构滑移跨度大于60 m时,建议增加通长滑轨,以减小结构的滑移支承

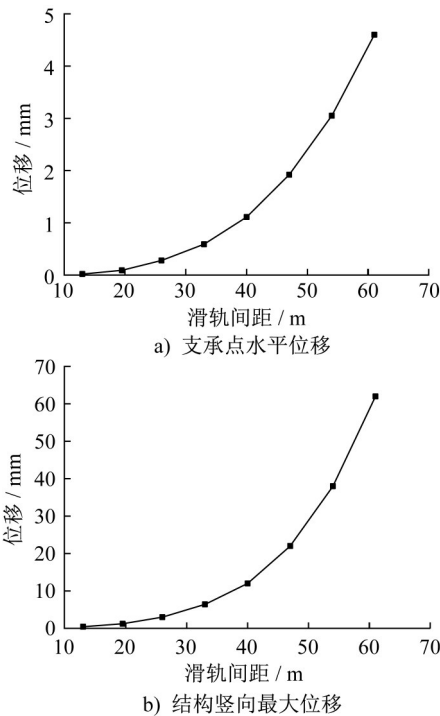


图10 滑轨间距对结构变形的影响

Fig. 10 The influence of sliding rail spacing on structural deformation

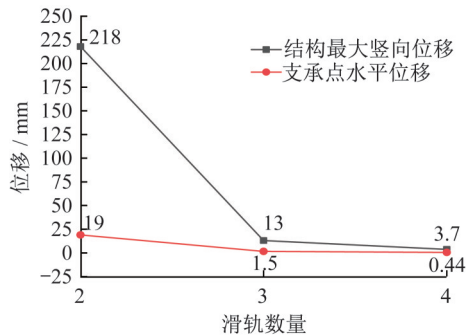


图11 滑轨数量对结构变形的影响

Fig. 11 The influence of sliding rail number on structural deformation

点水平变形和结构跨中竖向变形,同时减小施工附加应力。

3 温度作用的呼吸效应分析

3.1 长施工期的季节性温度变化影响

钢材属于各向同性材料,在温度作用下会产生线形变形。温度下降时,结构产生收缩;当温度上升时,结构发生膨胀^[7]。钢结构对温度作用比较敏感,环境温度作用会显著影响钢结构的位形。钢结构的热变形可近似描述为:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

式中: ΔL 为结构的温度变形; α 为钢材热膨胀系数; L_0 为

某温度 T_0 下结构长度; ΔT 为温度变化值。

当结构尺寸较大时,由于滑移施工周期较长可能会导致施工期季节性温度变化较大。一般而言,施工期跨越夏季和秋冬季时,需合理预估施工周期,并提前考虑季节性温度变化产生的结构水平位移影响,根据施工仿真分析的结果,对滑移轨道的间距、滑靴与限位装置间的间隙值进行调整。

3.2 昼夜温度变化的影响

如图12所示,我国幅员辽阔,大部分地区都会遇到昼夜温差大于 10°C 的情况,如青海、新疆、宁夏等地,平均昼夜温差大于 15°C ,在极端条件下昼夜温差可大于 25°C 。

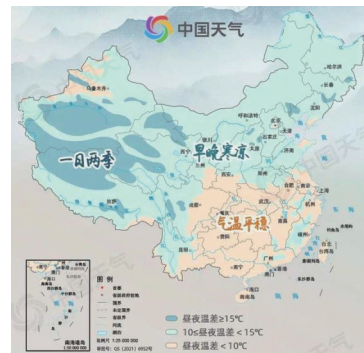


图12 1991-2020年期间10月各地平均温差

Fig. 12 Average temperature difference between different regions in October from 1991 to 2020

一般而言,当结构尺寸较大、垂轨向尺寸大于 60 m 且项目处于西北及西部地区时,应分析结构在昼夜温差作用下的反应,并对滑移措施做针对性设计,如加大垂轨向滑靴与限位装置间隙等。

3.3 滑移支承结构侧移刚度对呼吸效应的影响

滑移支承结构按照侧移刚度大小及对滑移施工的影响,可分为无侧移结构和有侧移结构两类。

一般而言,采用既有混凝土结构、多跨钢框架结构等作为滑移支承结构时,因结构设计控制的缘故,支承结构整体侧移刚度较大,在整体温度作用、风荷载、其他水平作用力等的作用下,侧向变形较小可忽略不计,可视为无侧移结构,滑靴水平位移值与滑靴及滑轨之间的水平相对位移值十分接近,如图13所示。因此,在进行呼吸效应仿真分析时,可采用独立模型计算滑移结构的变形和内力。

对于不采用既有结构作为滑移支承的情况,需独立搭设滑移支承胎架。由于滑移支承结构的刚度较小,在水平力和温度作用下,滑移支承结构与滑移结构会协同变形,滑靴水平位移值与滑靴及滑轨之间的水平相对位

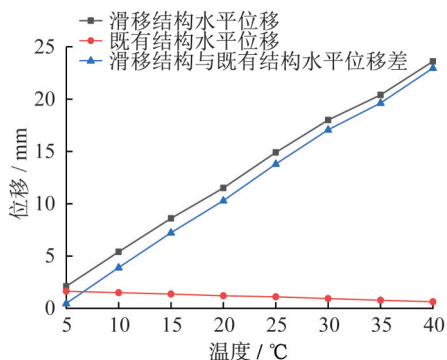


图13 温度作用下既有结构及滑移结构水平位移

Fig. 13 Horizontal displacement of existing structures and sliding structures under temperature action

移值差异较大,如图14所示。因此,建议在在进行该类滑移施工时,除按单独模型分别设计滑移支承结构并验算滑移结构外,还需采用合模方式进行呼吸效应分析,即将滑移支承结构视作有侧移结构,通过合模分析考虑呼吸效应的影响。

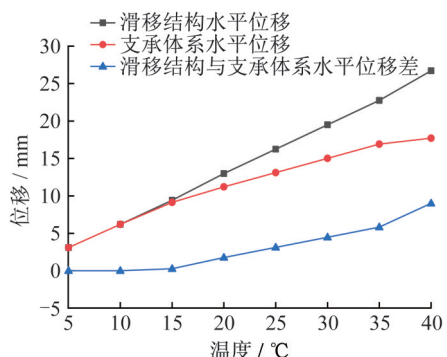


图14 温度作用下滑移支承结构及滑移结构水平位移

Fig. 14 Horizontal displacement of sliding support structure and sliding structure under temperature action

4 工程应用示例

4.1 成都高新区体育中心比赛馆屋盖钢结构工程

成都高新区体育中心比赛馆屋盖结构宽最高达130 m,结构跨度为86 m,采用累积滑移施工,施工方法如图15所示。对比分析滑移支承结构分别设置2、3、4条滑轨时,自重工况下滑移结构的最大竖向位移及滑移支承点水平位移,结果如图16所示。可以看出,仅设置2条滑轨时,滑移结构竖向位移高达428 mm、支承点水平位移高达52 mm;当滑轨数量增加至3条时,结构最大竖向位移降低至18 mm,降低了95.8%、支承点水平位移降低至10 mm,降低了80.8%,下降幅度较大;继续将滑轨数量增加至4条后,结构最大竖向位移降低至8 mm,降低了55.6%、支承点水平位移降低至5 mm,下降了50%,下降幅度降低且位移降低的绝对值也较小。

综合考虑施工成本后,决定设置3条滑轨。

图17为不同呼吸温度作用下,典型滑移支承点及既有混凝土结构对应位置水平位移值及其差值。分析数据可知,由于滑移结构的刚度和既有混凝土结构的刚度存在差异,在温度作用下滑移支承点与既有结构存在水平位移差。反映至实际施工层面,当既有混凝土结构呼吸温度由5°C上升至40°C时,滑靴与滑轨之间产生了1.5~10.0 mm的相对位移。因此,在设计滑靴等临时措施时,需考虑呼吸效应对结构水平位移的影响,适当增大滑靴与限位装置之间的间隙 Δ 。

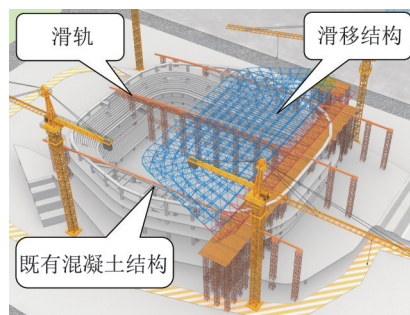


图15 比赛馆滑移施工示意

Fig. 15 Schematic diagram of sliding construction in the competition hall

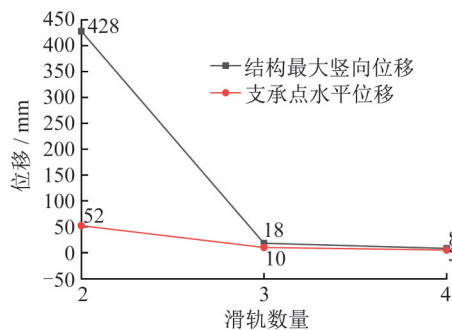


图16 滑轨数量对结构变形的影响

Fig. 16 The influence of sliding rail number on structural deformation

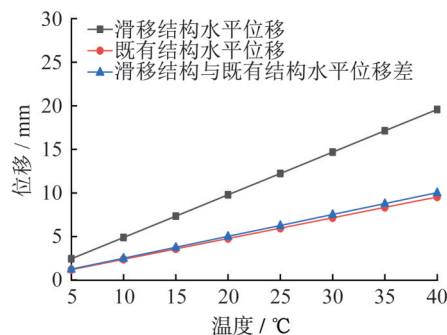


图17 温度作用下既有结构及滑移结构水平位移

Fig. 17 Horizontal displacement of existing structures and sliding structures under temperature action

4.2 重庆东站站房屋盖钢结构工程

重庆东站滑移区站房屋盖结构宽最高达236 m,采用累积滑移施工,施工方法如图18所示。滑移支承结构共设置5条通长滑移轨道和4条短滑轨,滑移轨道支承结构采用竖向格构式支撑架,搭设高度为40~60 m。支承结构顺轨方向间隔设置水平连系桁架、垂轨方向设置“八字形缆风绳+拼装平台桁架”以提高结构整体侧向稳定性。

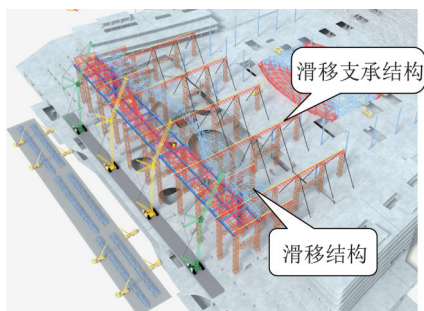


图18 重庆东站滑移施工示意

Fig. 18 Schematic diagram of sliding construction at Chongqing East Station

由于滑移支撑结构相对刚度较小,在温度作用下,滑移结构与滑移支承结构会发生协同变形。因此,需将滑移结构与滑移支承结构进行合模分析,且二者之间的连接采用本文1.3节中提出的双折线弹性连接。图19为在不同呼吸温度作用下,典型滑移支承点及滑移支承结构对应位置水平位移值及其差值。分析数据可知,当呼吸温度小于30℃时,滑移结构与滑移支承结构完全协同变形,滑靴与滑轨之间未产生相对位移;当呼吸温度大于30℃,滑靴与滑轨之间摩擦面的内力超过最大静摩擦力,二者产生微小的相对滑动。

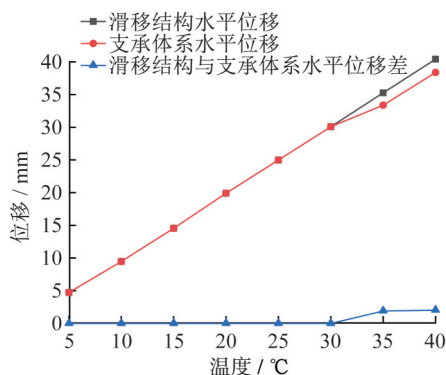


图19 温度作用下滑移支承结构及滑移结构水平位移

Fig. 19 Horizontal displacement of sliding support structure and sliding structure under temperature action

参考重庆当地气候条件,结构呼吸温度可取±20℃,此时滑移结构与滑移支承结构完全协同变形,实际施工

中滑靴与滑轨之间也并未出现明显的相对水平位移。因此,无需采取特殊措施。

5 结论

本文提出了滑移施工呼吸效应的概念和定义,并通过对比分析,得出影响呼吸效应的因素及规律。

(1) 提出了滑移仿真分析的计算假定。建议在进行滑移施工仿真分析时,滑移结构与滑移支承结构间采用以静摩擦力为上限的双折线弹性连接,可以准确模拟结构滑移过程中的反应,得到相关结构内力和变形。

(2) 分析了支承边界条件,特别是滑轨间距、数量及结构抗弯刚度对滑移结构水平位移的影响,给出了滑移施工轨道设置的设计原则。

(3) 分析了季节性温度变化、昼夜温度变化对呼吸效应的影响,建议考虑温度作用效应,适当加大滑靴与限位装置间的侧向间隙。

(4) 分析了滑移支承结构侧移刚度对呼吸效应的影响,提出了无侧移支承结构采用独立模型分析与有侧移支承结构应采用合模分析的分析原则。

参考文献:

- [1] 王宏. 大跨度钢结构施工技术[M]. 第2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020: 338-340.
WANG Hong. Construction technology of longspan steel structure[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020: 338-340. (in Chinese)
- [2] 中国钢结构协会. 钢结构滑移施工技术标准: T/CSCS 009—2020[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
China Steel Construction Society. Technical Standard for Sliding Construction of Steel Structure: T/CSCS 009—2020[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020. (in Chinese)
- [3] 尚彦宾. 大跨度预应力张弦桁架滑移法施工技术研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2022.
SHANG Yanbin. Research on construction technology of large-span prestressed truss string sliding method [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2022. (in Chinese)
- [4] 宋星宇. 南昌站不等高大跨网架滑移施工方案研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.
SONG Xingyu. Study on the sliding construction method of space truss with unequal long-span in Nanchang Station [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2020. (in Chinese)
- [5] 范重, 李夏, 晁江月, 等. 航站楼使用阶段钢结构温度取值研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2017, 34(4): 9-18.
FAN Zhong, LI Xia, CHAO Jiangyue, et al. Study on temperature of steel structures in use phase of terminal building [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2017, 34(4): 9-18. (in Chinese)
- [6] 范重, 刘学林, 刘涛, 等. 济南遥墙机场 T2 航站楼超长结构

- 温度及行波效应研究[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(9): 1-13. DOI:10.14006/j.jzjgxb.2022.0833.
- FAN Zhong, LIU Xuelin, LIU Tao, et al. Study on temperature and traveling wave effect of super-long structure of terminal 2 of Jinan Yaoqiang Airport[J]. Journal of Building Structures, 2023, 44(9): 1-13. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2022.0833. (in Chinese)
- [7] 赵中伟, 陈志华, 王小盾, 等. 大跨度复杂钢结构温度效应及合拢温度研究[J]. 空间结构, 2015, 21(2): 40-45. DOI: 10.13849/j.issn.1006-6578.2015.02.040.
- ZHAO Zhongwei, CHEN Zhihua, WANG Xiaodun, et al. Analysis on temperature effects and healing temperature of complex large-span steel structure [J]. Space Structures, 2015, 21(2): 40-45. DOI: 10.13849/j.issn.1006-6578.2015.02.040. (in Chinese)
- [8] 高丁丁. 大跨钢结构滑移施工新技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- GAO Dingding. The research of new sliding construction technology for large-span steel structure [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
- [9] 邱鹏. 空间网格结构滑移法施工全过程分析方法及若干关键问题的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- QIU Peng. Research on construction analysis method during the whole erection process and some critical technology for sliding construction of space network structure. [D] Hangzhou: Zhejiang University, 2006. (in Chinese)
- [10] 鲍广鉴, 曾强, 陈柏全. 大跨度空间钢结构滑移施工技术[J]. 施工技术, 2005, 34(10): 2-4. DOI: 10.3969/j.issn.1002-8498.2005.10.002.
- BAO Guangjian, ZENG Qiang, CHEN BaiQuan. Sliding construction technology of large span spatial steel structure [J]. Construction Technology, 2005, 34(10): 2-4. DOI: 10.3969/j.issn.1002-8498.2005.10.002. (in Chinese)
- [11] 胡小勇, 周发榜, 谭神洲, 等. 武汉火车站超高超大滑移胎架综合施工技术[J]. 施工技术, 2011, 40(349): 45-47, 51.
- HU Xiaoyong, ZHOU Fabang, TAN Shenzhou, et al. Integrated construction technology for ultra-high and ultra-large movable-jig in Wuhan Railway Station [J]. Construction Technology, 2011, 40(349): 45-47, 51. (in Chinese)
- [12] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 第6版. 北京: 机械工业出版社, 2018: 1-25.
- WEN Bangchun. Machine design handbook [M]. 6th ed. Beijing: China Machine Press, 2018: 1-25. (in Chinese)