

大跨度预应力密肋梁屋盖高支模施工技术

靳 涛, 钱自成, 高开朗, 张紫光
(中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:高支模施工技术作为一种典型的模板施工技术,能够实现大跨度预应力密肋梁屋盖的施工要求。文章主要以郑州某商务产业园为研究背景,对大跨度密肋预应力梁盖施工的影响因素进行分析,并对大跨度高支模预应力密肋梁进行分析和计算,验证所设计的高支模架的整体稳定性。结果表明:当立杆间距越大,搭设步距越大,无剪刀撑时,高支模体系的稳定承载力越小;当高支模体系材料的立杆间距为 1 200 mm,搭设步距为 1 500 mm,扫地杆高度为 200 mm 时,满足现场施工要求。本文结果可为同类工程设计提供参考。

关键词:高支模体系; 大跨度结构; 预应力密肋梁; 技术参数; 安全性计算

中图分类号: TU74; TU755. 2

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)02-0056-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.02.023

Construction technology of high formwork for large-span prestressed ribbed beam roof

JIN Tao, QIAN Zicheng, GAO Kailang, ZHANG Ziguang
(China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: As a typical formwork construction technique, high formwork construction technology can meet the construction requirements of large-span prestressed ribbed beam roofs. This article mainly takes a business industrial park in Zhengzhou as the research background, the influencing factors of large-span multi ribbed prestressed beam cover construction is analyzed, and the large-span high formwork prestressed multi ribbed beam is analyzed and calculated to verify the overall stability of the designed high formwork. The results show that the larger the spacing between the uprights and the larger the step distance of the erection, the smaller the stable bearing capacity of the high support formwork system without diagonal braces. In this project, the spacing between the uprights of the high formwork system material is 1 200 mm, the installation step distance is 1 500 mm, and the height of the sweeping rod is 200 mm, which meets the requirements of on-site construction. The results of this article can provide reference for similar engineering designs in the future.

Key words: high formwork system; large span structures; prestressed ribbed beam; technical parameters; security calculation

预应力密肋主次梁楼盖体系作为一种主次梁楼盖体系的特殊形式,因其造型美观,可以实现大跨度、重荷载的要求等优点^[1-2],在施工过程中越来越受到青睐。于恒兵^[3]通过对某大跨度普通混凝土梁板体系屋盖选型设计进行研究,确定了单向密肋梁为项目的最佳结构方案;郑艺城

等^[4]通过介绍几种大跨度屋盖的常用设计方法,并结合具体工程案例,发现采用“工”字梁,既可减少大跨度梁的自重,有利于减少大跨度梁的挠度及裂缝宽度;吕江新^[5]结合工程实例,提出不采用分主次梁纯井字梁的结构形式,充分解决了主梁过高问题;齐卫东等^[6]、师兵兵^[7]对混凝

收稿日期: 2024-05-14

作者简介: 靳 涛(1995—),男,工程师,从事现场施工技术等方面的工作。

土人字形密肋式结构进行了研究。综上所述,密肋梁屋盖一般采用单向密肋梁、“工”字梁或者人字形密肋式。本文以郑州市某产业园项目为例,对大跨度密肋预应力梁盖施工的影响因素进行分析,并对大跨度高支模预应力密肋梁进行分析和计算,验证所设计高支模架的整体稳定性,以期同类工程设计提供参考。

1 工程概况

郑州市某产业园项目,主要由3栋建筑结构组成,建筑面积为10.39万平方米。其中,A2[#]、A3[#]楼为5层框架结构,A1[#]楼为4层框架结构的裙楼和15层框剪结构的高层结构构成。建成后的实际效果如图1所示。预应力密肋梁主要分布于A1[#]楼的0A~0C轴交5/01~1/01轴大跨度梁上位置,预应力梁采用后张法有黏结预应力混凝土,其中预应力梁的具体信息如表1所示。



图1 建成的实际效果

混凝土强度等级为C40,在实际工程中预应力位置的楼层高度为12.6 m,根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》,该区域支撑形式均采用高支模体系。为确保项目顺利推进,对大跨度高支模预应力密肋梁盖施工的影响因素进行分析。

2 影响因素分析

2.1 高支模体系的不同参数变化的影响

高支模体系的计算模型可分为铰接模型、框架模型和排架模型。3种计算模型基本的主要构件为立杆,横杆和剪刀撑(斜杆)^[8]。其中两个立杆

之间的距离大小决定了横杆的长度。为了探讨不同立杆间距对预应力密肋梁的影响,利用BIM软件建立高支模体系的模型,如图2所示。

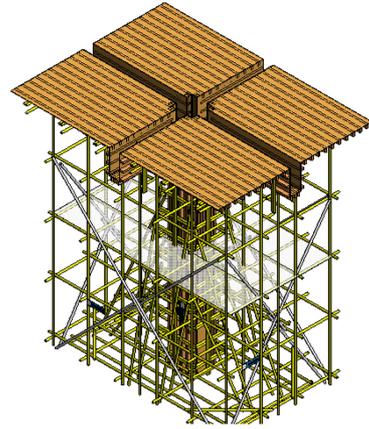


图2 高支模体系模型

2.1.1 不同立杆间距的影响

立杆间距作为高支模体系稳定性的关键因素,可以利用立杆的间距来提升高支模体系的稳定承载力。保持其他条件不变,分析在最不利荷载组合下立杆不同间距(0.6、0.9、1.2、1.5、1.8 m)对高支模体系稳定性的影响,并结合经济效益,确定立杆的最优间距。图3为高支模体系不同立杆间距对其稳定承载力变化曲线。

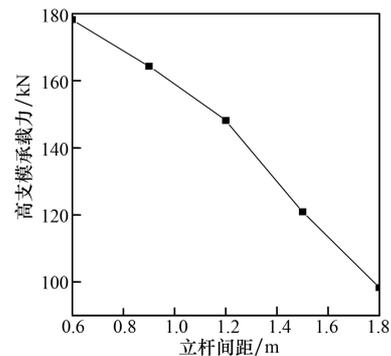


图3 不同立杆间距对高支模体系稳定承载力的变化曲线

由图3可知:高支模体系模型的稳定承载力随立杆间距的增加而呈现下降趋势,两者呈非线性关系。立杆间距每增加0.3 m,承载力下降幅度基本不超过10%,主要原因在于高支模体系随着立

表1 预应力梁概况

梁号	梁截面/mm	预应力梁长/m	预应力配筋/mm	线型	根数/根
YWKL1(1)	450 × 1 500	26.7	3 - 7 ϕ s15.2	二次抛物线	3
YL1(1)	450 × 1 500	26.7	3 - 7 ϕ s15.2	二次抛物线	12

杆间距的增加,导致横杆的间距增大,而高支模体系的架体整体密度减小,从而导致高支模体系的整体刚度减小,稳定承载力减小。因此,增加立杆间距对高支模体系的稳定承载力具有削弱作用。但是,当立杆间距从 0.9 m 增加到 1.2 m 时,稳定承载力变化不大,小于 3%,所以在实际施工现场,结合经济效益,高支模体系的立杆间距为 0.9 ~ 1.2 m 的居多,与《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)的要求基本一致。

2.1.2 扫地杆高度的影响

扫地杆作为一种水平杆,是高支模体系的关键构件,用于连接立杆根部。扫地杆的高度一般为 200 mm。保证其他条件不变,分析在最不利荷载组合下不同扫地杆高度对高支模体系稳定承载能力的影响,结果如图 4 所示。由图 4 可知:当扫地杆高度不超过 200 mm 时,高支模体系的稳定承载力随扫地杆高度的增加而增加;当扫地杆高度超过 200 mm 时,高支模体系的稳定承载力随扫地杆高度的增大而减小。其中,在扫地杆为 200 mm 时,高支模体系的稳定承载力达到了 52.214 kN,为最大值。因此,综合这两个变化阶段,在高支模体系设置中,扫地杆对稳定性承载力具有重要作用,建议扫地杆的高度为 200 mm。当然,扫地杆高度并非越大越好,从材料用量和经济效益方面考虑,扫地杆高度对材料用量的影响最小。

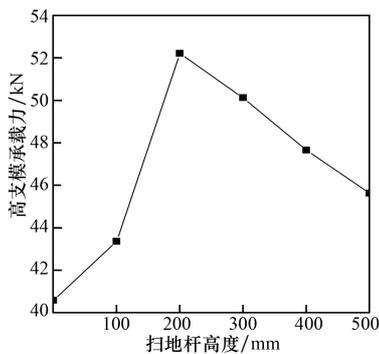


图 4 不同扫地杆高度对高支模的稳定承载力变化曲线

2.1.3 不同步距长度的影响

除了高支模体系的立杆间距,水平杆搭设步距亦作为高支模体系稳定性的重要因素,在实际工程中,通常改变水平杆的步距来满足结构的承载力要求。其他条件保持不变,分析在最不利荷载组合下水平杆步距的改变(1.2、1.3、1.4、

1.5、1.6、1.7、1.8 m)对高支模体系稳定承载能力的影响,结果如图 5 所示。

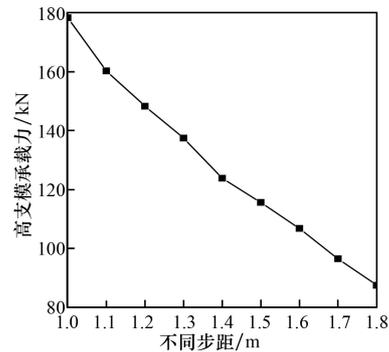


图 5 不同水平杆搭设步距对高支模体系的稳定承载力曲线

由图 5 可知:高支模体系的稳定性随水平杆搭设步距的增大而减小。水平杆的搭设步距每增加 0.1 m,高支模体系的稳定承载力下降大约 10%,原因在于随着水平杆搭设步距的增加,杆件的长度增加。根据材料力学中长细比公式^[9]可知,在其他数值不变的情况下,杆件线长度增大,长细比结果增大,进而更容易出现失稳现象。因此,水平杆搭设步距的增大对高支模体系承载能力的削弱作用较大。

2.1.4 剪刀撑布置形式的影响

剪刀撑作为高支模体系的重要组成部分,对架体的抗侧刚度的提高有重要作用,同时对整体稳定性的提高也有积极意义。剪刀撑主要分为竖向剪刀撑和水平剪刀撑。

为了研究斜杆对高支模体系稳定承载力的影响,利用大型有限元软件建立高支模模型,并取消斜杆处理,其他条件均保持不变。该模型有剪刀撑的最大承载力可达 152.82 kN,无剪刀撑的最大承载力为 21.03 kN。高支模体系在取消剪刀撑时,其稳定承载力急剧锐减,无剪刀撑的位移量比有剪刀撑的位移量明显增大,故而该模型存在极大安全隐患。因此,在实际工程中,剪刀撑的设置对于高支模体系是非常有必要的。

2.1.5 自由端长度的影响

高支模顶部常见的可自由调节高度的顶托为自由端的长度。为了验证支模架自由端对高支模架体稳定承载力的影响,保持高支模架体的水平杆步距、纵横立杆间距、剪刀撑布置方式及扫地

杆高度搭设条件不变,计算自由端长度对高支模架体稳定承载力,如表2所示。

由表2可知:随着自由端高度的增加,高支模稳定承载力越来越小,自由端高度和稳定承载力呈线性相关,且在自由端为300 mm时,高支模架体稳定承载力最大。按照要求,高支模架体的自由端高度不宜大于500 mm,所以项目施工过程中自由端高度取300 mm。

2.2 预应力的深化设计

除了高支模体系(不同立杆间距、不同布设步距、有无剪刀撑、不同扫地杆高度)对预应力密肋梁有一定的影响,预应力的施工深化设计对预应力密肋梁同样会起到一定的作用。根据文献[10]可知,从柱宽梁窄(管束多时穿束可设置走加腋)和柱窄梁宽(可以考虑走柱外梁内)两点进行预应力深化设计。结合现场实际情况,预应力处的柱子尺寸为1 200 mm×900 mm(长×宽),预应力处的梁的尺寸为450 mm×1 500 mm(宽×高)。因此,预应力梁张拉端位置采用过梁柱内侧做加腋钢筋布置,其中张拉端梁加腋钢筋的布置如图6所示。

张拉端处采用木模板。梁端模板、预应力筋张拉端模板应在预应力筋张拉端处承压板焊接固

定后再支,支设模板时不可更改预应力筋的方向及位置。黏结预应力节点安装如图7所示。在施工过程中,若遇到预应力梁中柱子的情况,可采用与张拉边正交的方法进行预应力安装;若遇到屋框梁的情况,可采用与张拉边小角度斜交的方法进行预应力安装。对于该项目而言,预应力次梁采用与张拉边正交;预应力屋框梁采用与张拉边小角度斜交。

3 高支模体系稳定性计算

为验证高支模架的整体稳定性,结合上文不同参数分析结果,高支模体系的立杆间距取1 200 mm,立杆的搭设步距取1 500 mm,扫地杆高度取200 mm,进行安全性分析和计算。高支模体系的荷载参数取值参考文献[11],项目混凝土施工荷载的取值如表3所示,钢管的具体参数如表4所示。

大跨度预应力结构荷载通过模板传递到横向和竖向的支撑钢管上,并作用到纵向钢管上。由于钢管在纵、横两方向的间距不等,验算高支模体系支撑钢管时,需分别进行纵、横向验算,其中计算简图如图8所示。表5为高支模体系的安全稳定性计算结果。

表2 不同自由端长度对高支模体系的稳定性影响

序号	立杆间距/m	步距/m	有无剪刀撑	扫地杆/mm	自由端高度/mm	稳定承载力/kN	承载力变化值/%
1	1.2	1.5	有	200	300	115.65	0
2	1.2	1.5	有	200	400	112.17	3.01
3	1.2	1.5	有	200	500	109.46	2.41
4	1.2	1.5	有	200	600	106.52	2.69
5	1.2	1.5	有	200	700	104.18	2.19

表3 混凝土施工荷载参数

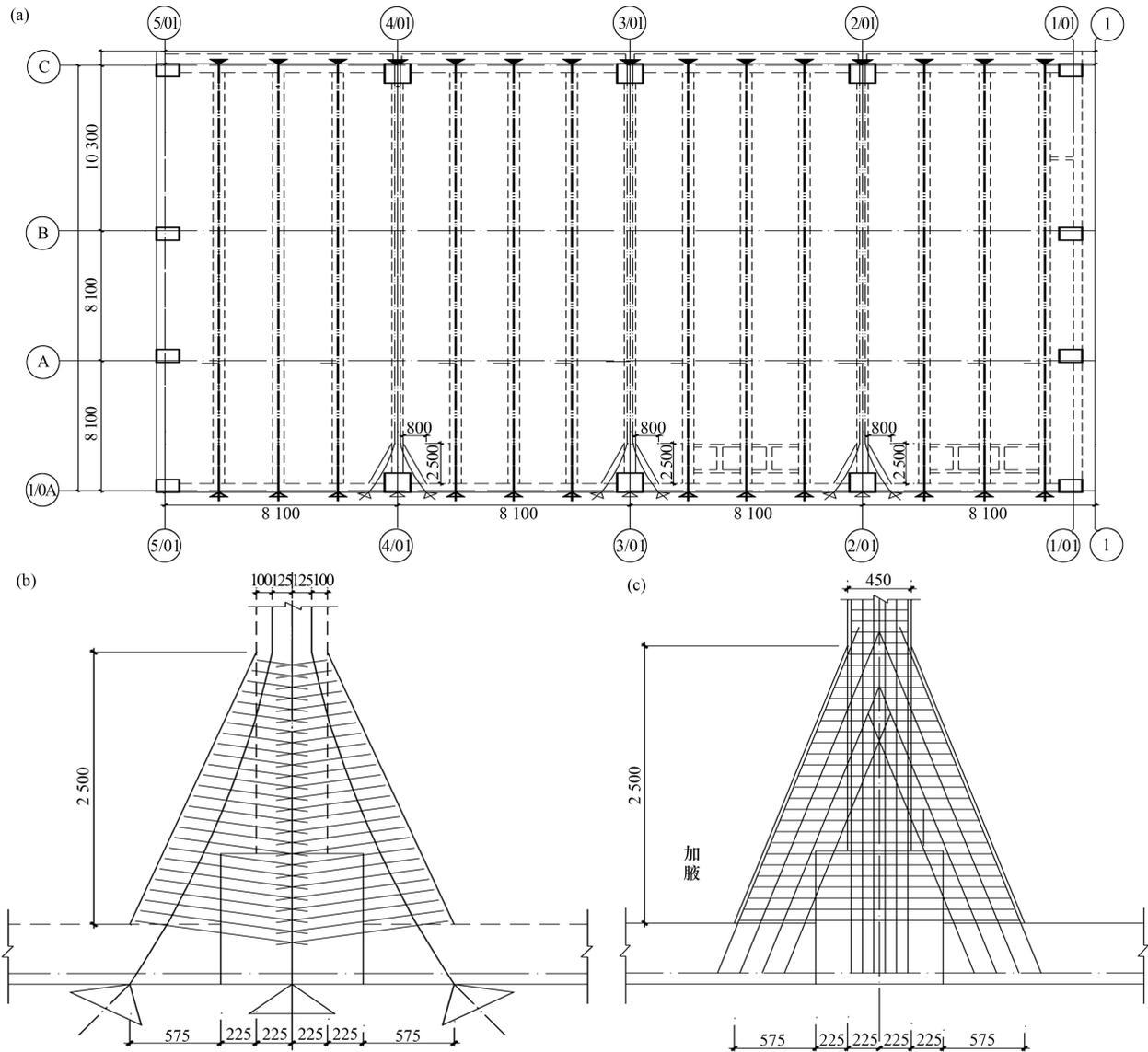
模板自重标准值/(kN·m ⁻²)	混凝土自重标准值/(kN·m ⁻²)	钢筋自重标准值/(kN·m ⁻²)	施工活载标准值/(kN·m ⁻²)	施工温度/°C	浇筑速度/(m·h ⁻¹)	坍落度/mm
0.25	24	1.1	2.5	25	1.8	160~180

表4 高支模体系钢管的具体参数

钢管尺寸/mm	钢管回转半径/cm	钢管净截面面积/cm ²	钢管截面惯性矩/cm ⁴	钢管截面模量/cm ⁴
∅48×2.85	1.62	4.25	10.78	4.51

表5 高支模体系的安全稳定性计算

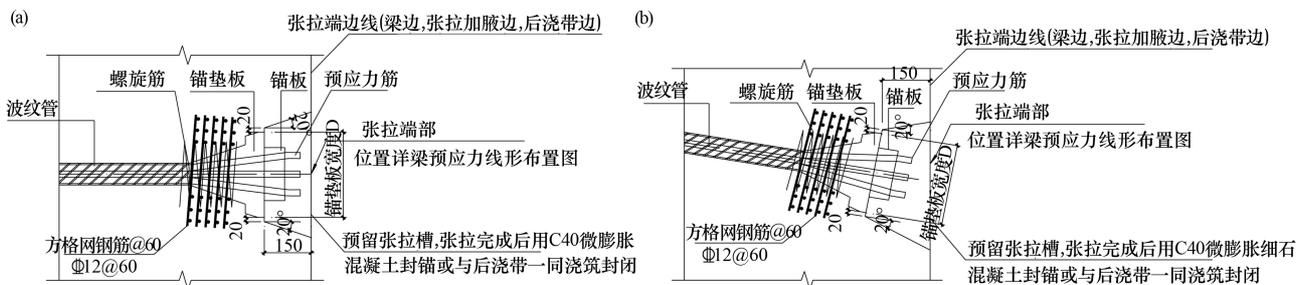
计算位置	强度计算值/(N·mm ⁻²)	强度允许值/(N·mm ⁻²)	挠度计算值/mm	挠度允许值/mm	稳定性
横向钢管	182.63	200	3.69	8	满足
纵向钢管	129.18	200	1.52	6	满足



(a) 平面布置；(b) 筋绕柱子示意；(c) 筋绕柱子张拉端加腋配筋

图 6 预应力深化设计

mm



(a) 与张拉边正交；(b) 与张拉边小角度斜交

图 7 黏结预应力节点安装详图

根据 JGJ 130 - 2011，立杆长度 l_0 (m) 计算公式：

$$l_0 = k_1 \mu h$$

(1)

式中： k_1 为计算长度附加系数，通常取 1.55； μ 为计算长度系数； h 为步距，m。

经计算， l_0 为 2.60 m。长细比计算公式：

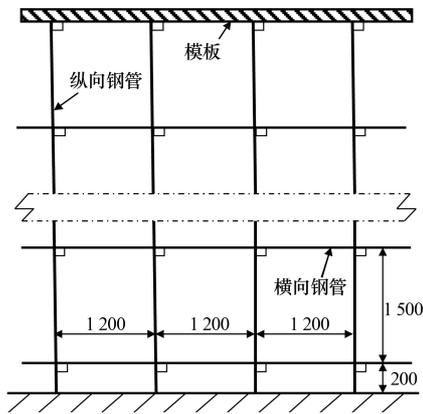


图8 高支模体系的计算简图

$$\lambda = l_0 / i \quad (2)$$

式中: λ 为长细比; i 为回转半径, cm。

经计算, 长细比为 164, 查表可知立杆的稳定系数为 0.262。立杆的稳定性计算公式:

$$\sigma = \frac{N}{gA} \quad (3)$$

式中: σ 为钢管立杆轴心受压应力计算值, N/mm^2 ; g 为轴心受压立杆的稳定系数; A 为立杆净截面面积, cm^2 。

经计算, σ 为 $86.1 \text{ N}/\text{mm}^2$, 小于允许强度, 因此钢管尺寸 $\text{O}48 \times 2.85 \text{ mm}$ 满足要求。

4 结论

(1) 高支模体系的立杆间距、搭设步距、剪刀撑和扫地杆高度对大跨度密肋预应力梁盖施工有一定的影响。数值模拟表明, 当立杆间距越大, 搭设步距越大, 无剪刀撑时, 高支模体系的稳定承载力越小; 当其他条件不变, 扫地杆的高度为 200 mm 时, 高支模体系的稳定承载力最大。

(2) 高支模体系的适合技术参数: 立杆间距为 1 200 mm, 搭设步距为 1 500 mm, 扫地杆高度

为 200 mm 且布设剪刀撑。

(3) 根据初步选择的钢管, 在考虑最不利荷载情况下, 对横、纵向钢管分别进行受弯、挠度以及对立杆进行稳定计算, 验证初步选择的构件和布置方式满足要求, 同时说明所设计高支模体系的合理性。

参考文献:

- [1] 张芳, 陈利君. 大跨度预应力单向密肋楼盖的应用[J]. 浙江建筑, 2010, 27(2): 7-8; 20.
- [2] 朱黎蓬, 张书鸳. 基于不同工程软件对比的密肋楼盖结构设计[J]. 建筑结构, 2021, 51(增刊1): 390-393.
- [3] 于恒兵. 某大跨度普通混凝土梁板体系屋盖选型设计[J]. 山西建筑, 2017, 43(6): 45-47.
- [4] 郑艺城, 罗佳俊. 某工程大跨度屋盖结构设计[J]. 建材与装饰, 2019(17): 88-89.
- [5] 吕江新. 浅析大跨度钢筋混凝土屋盖结构设计[J]. 江西建材, 2014(15): 37.
- [6] 齐卫东, 张华刚, 方强, 等. 混凝土人字形密肋网壳与下部结构共同工作动力特性分析[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2017, 34(1): 83-88.
- [7] 师兵兵. 人字形密肋式折板壳协同下部结构的地震响应分析[J]. 四川建材, 2016, 42(4): 95-96.
- [8] 曹益. 承插型盘扣式高支模体系稳定性分析与安全性评价[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2024.
- [9] 孙训方, 方孝淑, 关来泰. 材料力学 - I (5版). [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [10] 唐瑞. 后张法预应力技术在房屋建筑中的应用与深化设计[J]. 中国住宅设施, 2024(2): 166-168.
- [11] 赛菡, 周冀伟, 罗运平, 等. 基于 BIM 技术的建筑工程高支模监测应用与研究[J]. 施工技术, 2021, 50(2): 66-69; 73.