

预应力混凝土技术在数据中心项目的应用

沈德龙 张秀宏 凌春春 朱子健

上海中建海外发展有限公司 上海 201204

DOI : 10.12238/jpm.v6i3.7781

[摘要] 随着全球数字化转型加速,数据中心建设需求快速增长,预应力技术因其具有提升承载能力、节省材料、缩短工期等优势,成为数据中心结构设计的重要手段。本文以马来西亚赛城数据中心为例,项目采用后张法预应力设计,纵横向波浪式布置钢绞线,并结合 C45 混凝土及特定灌浆材料,满足高承载需求。论文系统阐述了预应力设计、材料进场验收、波纹管及钢绞线布置、混凝土浇筑与养护、钢绞线张拉及灌浆等施工流程,并对关键技术要求和质量控制进行详细分析。预应力技术在数据中心项目中的成功应用,为今后类似工程提供了重要参考和实践经验。

[关键词] 预应力; 马来西亚; 数据中心; 后张法

Application of prestressed concrete technology in data center projects

Shen Delong Zhang Xiuhong Ling Chunchun Zhu Zijian

Shanghai China Construction Overseas Development Co., Ltd.Shanghai 201204

[Abstract] With the acceleration of global digital transformation, the demand for data center construction is growing rapidly. Prestressed technology has become an important means of data center structure design due to its advantages of improving the carrying capacity, saving materials and shortening the construction period. Taking the data center of Malaysia as an example, the project adopts the post-tension prestress design, arranges steel strand in vertical and horizontal and wave directions, and combines C45 concrete and specific grouting materials to meet the high bearing requirements. The paper systematically expounds the construction process of prestressing design, material approach acceptance, bellows and steel strand layout, concrete pouring and curing, steel strand strand tension and grouting, and analyzes the key technical requirements and quality control in detail. The successful application of prestressed technology in data center projects provides an important reference and practical experience for similar projects in the future.

[Key words] prestress; Malaysia; data center; postmethod

1.引言

近年来,随着全球数字化转型的加速,数据中心作为信息技术基础设施的重要组成部分,其建设需求呈现出快速增长的趋势,其中,东南亚地区逐渐成为全球数据中心的重要市场^[1]。数据中心为集中放置的电子信息技术设备提供运行环境的建筑场所^[2],不仅需要满足高强度的荷载需求,还要兼具长久的稳定性以及快速施工能力。在这种背景下,预应力技术因其卓越的性能成为数据中心结构设计中的重要手段之一。

预应力技术通过在混凝土结构中施加预先的压力,改善底部受压区域的受力性能,提高建筑的整体安全性和耐久性^[3],广泛应用于桥梁、楼板、大跨度屋面等工程中。其中,后张法

预应力施工技术因具有质量可靠、操作简单、高效等优势而成为典型的大跨度框架梁施工技术^[4]。后张法预应力技术作为预应力技术的一种重要形式,通过在混凝土结构中预先施加一定的预应力,以抵消或减少外荷载引起的拉应力,从而提高结构的承载能力和抗裂性能^[5]。

本文以马来西亚赛城数据中心项目为背景,探讨预应力技术在其中的应用,通过理论分析与实际案例研究,为未来相关项目提供参考与指导。

2.工程概况

本项目位于马来西亚赛城,业态为数据中心,项目采用设计+建造的承包模式,占地面积约为 6224m²,无地下室,地上 6

层，建筑高度 43.5m，首层层高 9.5m 高，标准层层高 6.4m，结构轮廓尺寸 49.125m*61.5m，单层投影面积 2800 m²，建筑总面积 1.77 万 m²。

本项目采用 $\Phi 600$ 预制管桩+承台基础/筏板结构的形式；主体结构为框架结构形式，采用现浇预应力楼板设计方式，其中，标准层楼板厚度为 325mm，柱帽厚度为 650mm；屋面楼板厚度为 300mm，柱帽厚度为 500mm。

由于马来西亚地震活动相对较少，马来西亚国家建筑规范（UBBL, Uniform Building By-Laws）没有强制性的抗震设计要求，因此本项目在设计过程中未考虑抗震设计。

3. 预应力设计

本项目采用的后张法预应力设计、纵横向布置，其中，东西向为纵向，南北向为横向。预应力钢绞线为波浪式布置，且纵向预应力布置在横向预应力之上。一般传统框架结构的钢筋含量约为 40-50 kg/m²，采用预应力设计后，钢筋用量通常可减少约 20-30%。由于楼板采用预应力钢绞线作为主要受力构件，因此，可显著减少传统钢筋网片的使用量，从而优化材料配置并提高结构经济性。

由于本项目楼板跨度较大，南北向长 62.5m，东西向最长处达 52.15m，因此，综合考虑，将楼板分为东西两区，东区为一区（Zone1），西区为二区（Zone2），预应力钢绞线需分区进行布置和张拉。

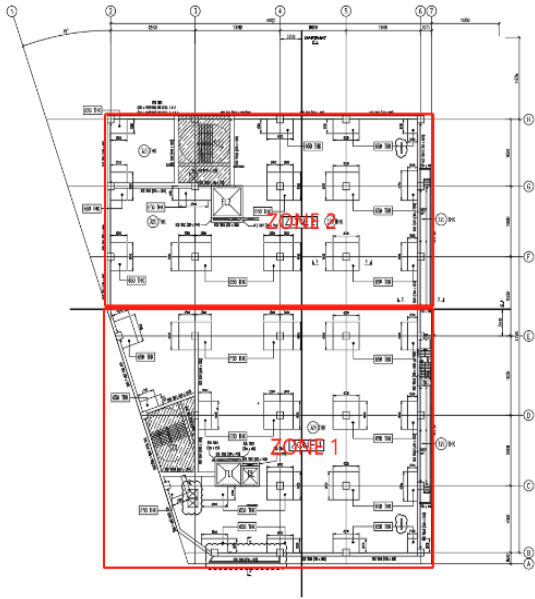


图 1 标准层楼板分区

纵向预应力筋除部分洞口、构件位置需避让，其它位置采用整体均匀布置，间距 1000mm，标准层内的每条波纹管内有三条钢绞线，铺设形式为波浪式，最高点位于柱帽位置，距楼板上表面 95mm；最低点位于两个柱子之间的中心点，距楼板下表面 50mm。

横向预应力布置在柱子两侧均匀布置，边柱附近单侧布置四条预应力，Zone1 与 Zone2 分界线附近的柱子两侧分别布置五条预应力，二号楼梯南侧分别布置六条预应力和五条预应

力，其余柱子每侧布置四条预应力，标准层内的每条波纹管内五条钢绞线，铺设形式为波浪式，最高点位于柱帽位置，距楼板上表面 95mm；最低点位于两个柱子之间的中心点，距楼板下表面 50mm。

4. 预应力施工流程

4.1. 施工材料及进场检查

混凝土等级为 C45；波纹管采用 0.30mm~0.40mm 厚的镀锌钢带；灌浆材料采用普通硅酸盐水泥、水和抗收缩灌浆外加剂以一定比例混合而成。钢绞线采用应力消除处理后的七股钢绞线，其具体技术参数如下表 1 所示。

表 1 钢绞线技术参数

序号	参数名称	参数
1	公称直径	15.24mm
2	公称截面面积	140mm ²
3	公称重量	1.102kg/m
4	最小极限强度	1862N/mm ²
5	弹性模量	195kN/mm ²
6	最小破坏荷载	260.7kN
7	低松弛指标	在 0.7 倍极限拉伸强度下， 1000 小时后降低 2.5%
8	钢绞线等级	ASTM A416 (GRADE 270)

材料进场后需检查其直径、张拉强度及表面镀锌层的质量，确保符合 ASTM A416 (Grade 270) 的标准；检查波纹管的厚度在 0.30-0.40mm 范围内，无明显的变形或损伤，并确认张拉的长度、锚具的数量尺寸；检查普通硅酸盐水泥、抗收缩外加剂，其中，加入抗收缩外加剂的主要目的是抑制混凝土固有的收缩特性，避免因体积收缩导致钢绞线与波纹管之间产生较大空隙，从而有效减少粘结缺陷，确保结构受力性能的可靠性和均匀性。

4.3 波纹管安装

4.3.1 波纹管布置

根据预应力筋设计要求，将波纹管安装在预留孔道或模板中。应在波纹管锚固段和张拉端附近将注浆管插入波纹管，并当波纹管长度在 30m 以内时，至少在一个高点位置设置注浆管，当波纹管长度在 30m 以上时，至少在两个高点位置设置注浆管。

确保波纹管的弯曲半径符合设计要求，一般不小于管道外径的 6 倍，以防止钢绞线穿入时受损。

纵向波纹管布置的误差在 5mm 以内，横向波纹管布置的误差在 10mm 以内，如需躲避洞口可在 150mm 内进行调整，如需超过 150mm 则需向设计单位进行确认。

4.3.2 波纹管接头处理

对于灌浆管与波纹管的连接处，采用 OPP 胶带进行密封，以防止混凝土渗入；对于波纹管之间的连接处，使用专用接头连接波纹管，接头直径需比波纹管大 3mm，长度为 200mm，并采用防水胶带密封接头处，确保灌浆过程中浆液不会泄漏。

4.3.3 固定波纹管

使用扎丝和不同高度的马凳筋将波纹管固定在设计位置，

确保其在混凝土浇筑过程中不会移位。

由于主体结构完成后，需要在天花板安装机电支吊架，为避免在钻入天花板的膨胀螺丝与波纹管内钢绞线碰撞，在预应力钢绞线正下方布置塑料箭头标记，从而在后期进行安装时能够对预应力钢绞线位置进行识别，并避开预应力钢绞线位置。

定期检查波纹管位置，避免因施工震动导致位移。

4.4 钢绞线布置

4.4.2 钢绞线检查

检查钢绞线的规格、数量及布置是否与设计一致。

确认钢绞线无锈蚀或明显损伤，必要时对局部进行防腐处理。

4.4.1 钢绞线穿入

使用牵引设备将钢绞线穿入波纹管，穿线完成后，用锚具固定钢绞线两端，并在每根钢绞线上做标记，以便后续检查张拉力和伸长量。其中，在预应力钢绞线两端均设置防爆筋，其主要目的是为了防止张拉过程中钢绞线发生断裂或滑脱，对工作人员造成伤害。防爆筋能够有效限制钢绞线断裂后的弹射范围，同时也能有效的提高端部混凝土的局部承载能力，防止端部混凝土开裂或剥落。

4.5 混凝土浇筑与养护

4.5.1 混凝土浇筑

在波纹管布置完成后，按设计要求进行混凝土浇筑。

浇筑过程中应避免过大的振动，防止波纹管或钢绞线移位。

4.5.2 养护阶段

混凝土浇筑完成后，暴露的顶部表面应立即覆盖聚乙烯或不滴水的麻布。在混凝土硬化充分后，开始洒水养护或使用经过批准的养护剂进行养护。C45 混凝土需养护至达到 25N/mm^2 以上，方可进行预应力张拉。

4.6 钢绞线张拉

4.6.1 张拉前准备

在进行预应力张拉前，应首先确认混凝土试块报告中混凝土强度是否达到预应力张拉要求，其次，还应应对钢绞线表面进行除锈、除污处理。

安装千斤顶和液压泵，将张拉设备与钢绞线端部的锚具连接。检查千斤顶与锚具的接触面是否干净且无间隙，确保受力均匀。

4.6.2 预应力张拉

采用单端张拉的方式对预应力钢绞线进行张拉。其中，预应力钢绞线的张拉顺序为：先张拉奇数编号的纵向预应力钢绞线（如 V1, V3, V5, V7, ...）至最后一条奇数编号的预应力钢绞线，再张拉全部的横向预应力钢绞线，最后从最后一条偶数编号的纵向预应力钢绞线（如 V8, V6, V4, V2）开始张拉，直至全部张拉完毕。

分阶段张拉：根据设计要求按照 1000psi、3000psi、6400psi 三种张拉压力分阶段逐步张拉，每次张拉完成后需检查钢绞线的伸长量和张拉力值。

记录数据：每阶段张拉完成后，记录对应的张拉力值和钢

绞线伸长量，确保实际值与设计值误差不超过 $\pm 6\%$ 。

终张拉：完成所有阶段的张拉后，锁定锚具，确保钢绞线保持设计预应力值。

4.8.1 张拉检查

检查钢绞线伸长量是否与设计值相符。

确认锚具无松动，波纹管无破裂或漏浆现象。

4.7 灌浆

4.7.1 灌浆准备

灌浆按照规定配比进行，将 50kg 普通波特兰水泥 (OPC)、17.5L 水、0.5kg Sika Intraplast Z 及 600ml Sikaplast®-5500 MY 高效减水剂充分搅拌至少 5 分钟，使其均匀细腻。

4.7.2 灌浆操作

将灌浆材料通过灌浆泵均匀注入波纹管，压力控制在 0.5-0.7 MPa 之间，确保浆液完全填充波纹管内部的空隙。

灌浆完成后，将管道接口封闭，并在灌浆位置标注日期和完成状态。

4.7.3 灌浆验收

制作标准试块，对灌浆材料的抗压强度进行测试。

检查成品的外观质量，确保无明显缺陷。

4.8 成品检查与质量验收

根据施工记录与设计图纸核对施工结果，确认是否符合要求。

完成验收后存档所有施工数据，为后续维护提供依据。

5. 结论

通过对马来西亚赛城数据中心项目的研究与实践，本文深入探讨了预应力技术在数据中心建设中的应用。研究表明，预应力技术凭借其卓越的承载性能和施工效率，能够有效满足现代数据中心对高强度、稳定性和快速建造的要求。本研究总结了从设计到施工的关键技术，为马来西亚及东南亚地区未来数据中心项目的建设积累了宝贵的经验。将预应力技术与实际需求相结合，不仅提升了结构设计与施工水平，也为数据中心项目的建造提供了借鉴与参考。

[参考文献]

[1]杨琛, 申驰, 范兴苹. 东南亚地区数据中心市场现状与发展趋势[J]. 通信世界, 2024, (22): 26-27.

[2]邓冲. 大数据中心建筑设计浅析——两种不同工艺的建筑类型[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024 (6): 133-135.

[3]王荣昌, 王红波, 高广彬. 预应力技术在高层房屋建筑施工中的应用研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (21): 114-116.

[4]薛惠琼. 大跨度框架梁后张法预应力施工技术的应用[J]. 四川水泥, 2024 (10).

[5]张华盛. 浅谈某工程厂房后张法预应力梁施工工艺[C]// 冶金工业教育资源开发中心. 2024 精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集(下册). 中国建筑第七工程局有限公司, 2024: 4.