

南宁某办公建筑大跨度预应力混凝土结构设计

文 / 黎 哲 广西交通职业技术学院
 王可欣 广西交通职业技术学院 (通讯作者)
 陆华森 广西交通职业技术学院

摘 要: 南宁市某办公建筑裙房采用混凝土框架结构体系, 三层处通过结构抽柱形成大空间会议室, 结构跨度达 25.5m, 会议室屋面为空中花园, 覆土荷载较大。结构设计采用 2 根后张有粘结预应力梁, 预应力梁及其直接相连的框架柱采用二级抗震设计。本文应用荷载平衡法估算预应力效应, 重点复核预应力梁正截面受弯承载力、裂缝宽度和挠度, 并结合预应力度、混凝土受压区高度、纵向受拉钢筋换算配筋率等控制指标, 实现满足抗震延性要求的混合配筋, 希望能对类似工程设计起到参考借鉴作用。

关键词: 大跨度; 预应力混凝土; 框架梁; 抗震设计

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2025. 18. 027

引言

本项目为广西南宁市某综合办公楼, 总建筑面积 74817.94m²。地上部分由裙房和 A、B 两座塔楼组成, 为避免结构超限, 设置两道防震缝将 A、B 两座塔楼与中间裙房分开设计, 如图 1 所示。A 座塔楼地上 23 层, 建筑高度 99.59m, B 座塔楼地上 18 层, 建筑高度 74.760m, 均采用混凝土框架-核心筒结构体系; 中间裙房地上 4 层, 建筑高度 20.090m, 采用混凝土框架结构体系。

本项目结构设计使用年限为 50 年, 结构安全等级为二级, 建筑抗震设防类别为丙类, 抗震设防烈度为 7 度 (0.1g), 基本风压取 0.35kN/m²。

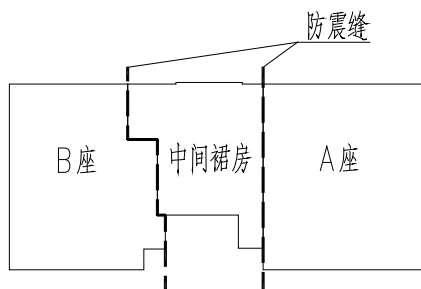


图 1 防震缝位置示意图

一、大跨度结构布置

项目中间裙房在三层设置了大型会议室, 为满足空间和功能的要求, 需抽掉中部 4 根框架柱, 形成开间 25.5m, 进深 30.2m, 层高 10m 的大跨度空间。会议室上方的裙房屋面局部设计为空中花园, 覆土厚度从 0.8m ~ 1.5m 不等。

经多方案比选, 决定在大跨度屋盖区域沿横向设置两根预应力混凝土梁, 梁跨 25.5m, 截面尺寸暂取 1200mm×2400mm。为尽量增加会议室使用净高, 且考虑预应力筋的张拉施工方便, 设计充分利用屋面覆土厚度将两根预应力混凝土梁顶面抬高 1.2m, 形成反梁。大跨度屋盖结构平面布置如图 2 所示。

本项目预应力梁及其两端相连的框架柱抗震等级提高为二级^[1], 均采用 C60 混凝土浇筑, 使用环境定为二 a 类。

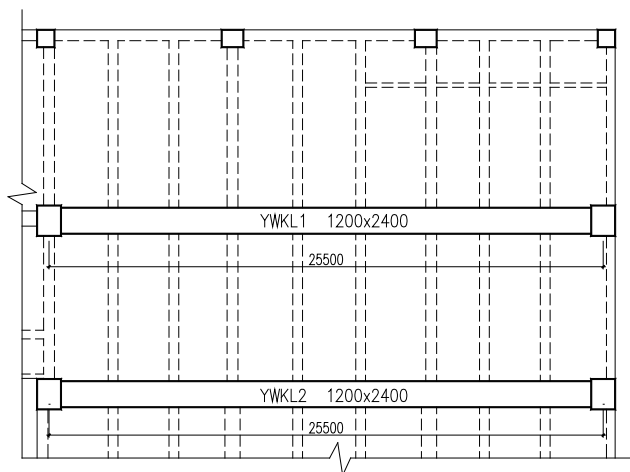


图 2 大跨度楼盖结构平面布置图

二、预应力结构设计要点

(一) 预应力梁正截面受弯承载力验算

预应力梁采用后张有粘结预应力束, 选用 $\phi^s 15.2\text{mm}$ (1×7) 的低松弛钢绞线, 每束钢绞线截面面积为 140mm²; 梁内非预应力筋采用 HRB400 普通钢筋。采用盈建科软件进行整体结构内力计算, 结果显示两根预应力梁各截面内力相差不大, 故取包络值进行设计, 两根预应力梁统一配筋。

对环境类别为二 a 类的预应力混凝土构件, 在荷载准永久组合下, 受拉边缘应力应符合下式要求^[2]。

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (1)$$

对本项目的预应力梁, 取跨中截面准永久组合弯矩 $M_q = 22063\text{kN} \cdot \text{m}$, 按荷载平衡法^[3]估算所需的预应力筋面积。

$$A_p = \frac{\frac{M_q}{W} - f_{tk}}{\left(\frac{1}{A} + \frac{e_p}{W}\right) \sigma_{pc}} \quad (2)$$

预应力损失暂取 $0.3\sigma_{con}$, 预应力筋张拉控制应力 $\sigma_{con} = 0.75f_{ptk}$, 则 $\sigma_{pc} = 0.7 \times 0.75f_{ptk} = 976.5\text{MPa}$; 由于预应力梁顶上反 1.2m, 故跨中不考虑受压区楼板的有效翼缘作用, 按矩形截面设计, $A = 2880000\text{mm}^2$,

$W=1.152 \times 10^9 \text{mm}^3$; e_p 为预应力筋合力的偏心矩, 对于跨中截面暂取 900mm。由此计算得到所需预应力筋面积为 14794mm^2 , 预应力筋选用 $4-27\phi^{s}15.2$, $A_p=4 \times 27 \times 140=15120 \text{mm}^2$, 满足估算的面积要求。

根据抗震概念设计的要求^[2], 在抗震设防区, 为保证结构延性, 并满足“强柱弱梁”的要求, 预应力框架梁应采用预应力筋和非预应力筋混合配筋的方式, 所选配筋除满足正截面受弯承载力要求外, 对二级抗震的构件, 还需满足:

① 预应力混凝土框架梁端纵向受拉钢筋的预应力强度比 $\lambda \leq 0.75$;

② 预应力混凝土框架梁端考虑受压钢筋的截面混凝土受压区高度, 对二级抗震应符合 $x \leq 0.35h_0$;

③ 纵向受拉钢筋按非预应力钢筋抗拉强度设计值换算的配筋率不应大于 2.5%;

④ 梁端截面的底面和顶面纵向非预应力钢筋截面面积的比值应满足 $A'_s/A_s = 0.3/(1-\lambda)$ 。

主要验算结果详见表 1。可见, 各项计算指标均满足正截面抗弯承载力和抗震延性要求。从抗弯承载力 M_0 与弯矩包络值 M 的比值可知, 预应力梁的受弯承载力有一定的安全富余, 预应力筋的选配主要受抗裂度验算控制。而预应力强度比、受压区高度以及换算配筋率均已接近规范上限, 表明在当前截面尺寸下, 梁内受拉钢筋配置已接近规范要求的极限, 若要进一步增加延性, 降低预应力强度比和受压区高度, 需考虑增设梁端受压钢筋。此外, 预应力损失率在 19.5% ~ 33.3% 之间, 接近预估值。

(二) 预应力梁裂缝控制及挠度验算

依据现行规范并考虑适当控制预应力筋配筋量, 本项目预应力梁混凝土裂缝控制等级定为三级^[4], 按荷载效应标准组合并考虑长期作用影响计算得到的预应力梁跨中截面最大裂缝宽度为 0.03mm, 小于规范限值 0.1mm,

而支座截面的弯矩标准值远小于开裂弯矩, 不出现裂缝。此外, 在荷载准永久组合下, 梁顶、梁底各截面混凝土拉应力均小于 C60 混凝土轴心抗拉强度标准值, 满足裂缝控制要求。

在荷载标准组合作用下, 考虑荷载长期作用影响计算得到的跨中挠度为 63.32mm, 预加力反拱值为 17.44mm, 考虑反拱值后长期挠度与计算跨度的比值为 1/552, 满足 1/300 的规范限值要求。从不同截面的梁刚度计算结果对比来看, 梁刚度与裂缝宽度紧密相关, 出现裂缝的跨中截面较不开裂的支座截面, 其刚度值有较大幅度的降低。

表 1 预应力梁正截面受弯承载力验算主要结果

计算指标	张拉端支座	跨中	锚固端支座
$M (kN \cdot m)$	6908	30508	8351
$A_p (mm^2)$	15120	15120	15120
$A_s (mm^2)$	15708	17672	15708
$A_s' (mm^2)$	17672	13745	17672
λ	0.729	—	0.729
x/h_0	0.31	0.30	0.31
$\rho (\%)$	2.47	—	2.47
A_s' / A_s	1.13	—	1.13
$M_u (kN \cdot m)$	42984	48903	42984
M_u/M	6.2	1.6	5.1
预应力损失 (%)	33.3	24.0	28.8

(三) 预应力梁施工图设计

根据验算, 梁截面尺寸及选配的预应力筋和非预应力筋, 可满足承载力、抗震延性和裂缝、挠度等多方面的要求, 故依据验算结果进行预应力梁的施工图设计。本项目预应力筋的基本线形采用三段抛物线, 波纹管直径取 120mm, 为满足孔道净距的要求, 并充分考虑锚垫板尺寸、张拉施工空间等因素, 4 束预应力筋分上下两排布置, 其束形图及梁跨中、支座截面的配筋详见图 3。

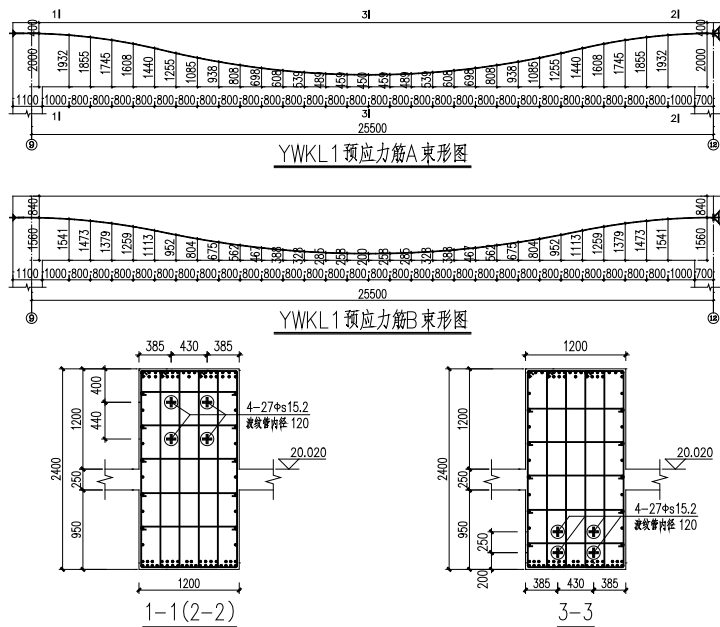


图 3 YWKL1 预应力筋束形图及截面配筋图

