

体外预应力加固混凝土井式梁板结构技术

杜安亮 张继文 张 建 李金根 张 伟 周 康 顾建明

提 要 本文结合某加固工程实例,探讨了体外预应力技术在混凝土井式楼盖加固工程中的应用,提出了实用可行的预应力加固方案和相应的设计计算方法。本项目的成功实践将不仅为今后同类工程提供有益的技术借鉴,而且,还有利于促进体外预应力技术的发展。

关键词 体外预应力 加固 钢筋混凝土 井式楼盖 梁

1. 工程概况

某办公楼为三层现浇钢筋混凝土框架结构,层高 3.600m,总高 10.475m。总建筑面积为 2633 平方米。三楼 1,2 轴线间为一大开间会议室,由于使用要求变动,需在三楼楼顶局部改建成一屋顶花园,其中,在 A 轴线与 B 轴线之间有一座六角亭,重约 147kN。由于原设计未考虑这一荷载,施工过程中,现浇井式楼盖(图 1)的梁上出现多处裂缝,其中,10m 跨度的横向梁上居多。为此,该结构必须进行加固处理,而后才能施加屋顶花园的荷载。

2. 体外预应力加固方案

根据对原结构的分析计算,发现新增加的荷载已超出原结构的承载力,这也就是结构在施工过程中出现裂缝及变形过大的主要原因。因此,在考虑加固方案时,应考虑既能提高框架梁的抗弯强度,又能提高框架梁的刚度以减少其挠度。

2.1 楼盖整体加固方案

在许多常用的加固方法中,预应力加固法在一定程度上可以起到对结构进行间接“卸载”的作用,是一种可以有效提高结构强度和刚度的主动加固法。体外预应力的技术原理与无粘结预应力有相同之处,两者的主要区别在于体外预应力筋一般通过锚具和折点处支撑装置作用于结构上,因此一般的布筋形式为折线型或直线型,这与曲

线型的无粘结筋是不同的。

此外,体外预应力混凝土结构尚有以下一些特点:(1)因截面中只有体外预应力筋,截面的尺寸相应减小,从而减小了自重;(2)体外预应力筋仅在锚固区和折点处与结构接触,减少了预应力的摩阻损失;(3)体外预应力筋的布置、调整简便,可缩短施工时间。

因此,针对本工程的具体情况,最终选用了体外预应力技术对原框架梁进行加固,并在原框架梁的底部粘贴碳纤维布以增强结构的抗裂性能及进一步提高结构的承载力。

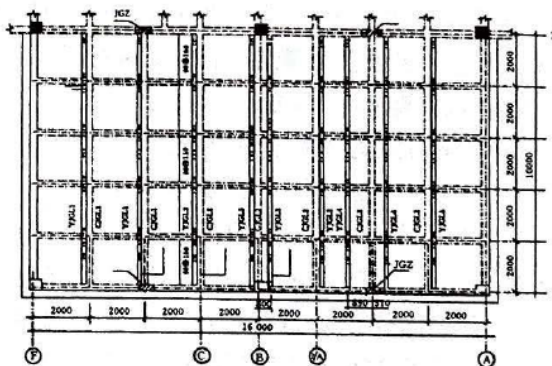


图 1 预应力加固三层屋面结构

三层屋面上的主要荷载为位于 A、B 轴线间的六角亭六根柱下的集中荷载。不过两边的柱脚

杜安亮 张继文 张 建 李金根 东南大学
张 伟 苏州国发集团
周 康 顾建明 苏州城市建筑设计院

基本与屋顶花园走廊两边的条石位于一条直线上。利用这一特点,可考虑增设两根体外预应力梁,以承受六角亭和走廊荷载。同时,在预应力加固梁的两端分别增设一扁柱,使六角亭与条石的荷载能经预应力加固梁并通过新增扁柱传至基础。另外,在原承载力不足及变形较大的横向框架梁侧边也增设体外预应力加固梁。在裂缝较多的原框架梁底面采用粘贴碳纤维布的新技术以改善结构的抗裂性能。具体加固梁的布置方案详见图1所示,图中,YJGL、CJGL分别表示预应力加固梁和碳纤维加固梁,JGZ为新增钢筋混凝土扁柱。

2.2 体外预应力加固梁

体外预应力筋的布置形式可以有直线和折线及其不同组合等多种方案。考虑到六角亭下加固梁上所受的主要荷载为柱脚与纵向框架梁传来的集中荷载,产生的弯矩图为折线形,为达到最佳加固效果,预应力筋采用折线布置方式,如图2所示。采用这种预应力筋布置方案后,当张拉预应力时,在预应力筋的四处折点位置均产生向上的反力,可有效地间接平衡加固梁上的集中荷载。

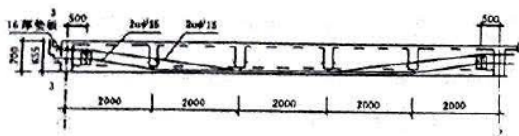


图2 井式楼盖横向梁预应力加固方案

为了满足预应力加固梁的防火和耐久性的要求,在预应力筋张拉结束后用C40细石混凝土将预应力筋包裹起来。

3. 体外预应力加固计算方法

3.1 体外预应力筋的摩擦损失计算

对预应力加固梁的设计计算时,体外预应力的摩擦损失与一般预应力结构类似,但可作相应的简化。由于体外预应力一般可不计孔道偏差,因此,可取预应力筋的偏摆系数 $k=0$,即摩擦损失可简化为: $\sigma_{l2}=\sigma_{con}(1-e^{-\mu\theta})$ 。由于弯折点处预应力筋的曲率、局部压应力较大,会增大摩擦系数。这在设计时应加以考虑,最好采用实测值。

3.2 体外预应力筋弯折角及张拉应力控制

由于预应力折线筋在折点处受到很大的局部接触挤压应力,预应力筋强度将会有所下降。对此,国外的一些规范对预应力筋弯折处曲率半径

和转角做了一些限制。如CEB—FIPD的标准要求弯折点转向不得大于 15° ,且曲率半径 R 应满足式(1)的要求

$$R > \frac{a \cdot \phi_n \cdot N}{n} \quad (1)$$

式中: a 为接触面系数,对光滑接触面 $a=20$; ϕ_n 为钢绞线的直径; N 为一束中预应力钢绞线的根数; n 为传递径向分力的预应力筋钢绞线的根数。

图2所示的预应力加固梁在预应力筋弯折点处,转角曲率满足式(1)的要求。

本工程考虑到预应力的摩擦损失及结构的强度要求,取内折线筋张拉控制应力为 $0.64f_{ptk}$,外折线筋为 $0.5f_{ptk}$ 。预应力筋选用1570级 $\phi 15$ 的无粘结预应力钢绞线。

3.3 承载力计算

在设计中,结构的内力计算应充分考虑结构在不同阶段的不同受力情况,包括施工阶段、使用阶段两种工况下结构的受力性能。为避免预应力筋一次张拉造成梁的反拱过大,预应力分两次张拉。

实际计算预应力加固梁可采用等效荷载法,即将预应力筋在张拉端、锚固端和折点处的等效荷载视作外力加在原混凝土梁上。然后利用TAT三维计算软件进行结构的整体计算。根据计算结果,再配以所需的非预应力筋和碳纤维布。

碳纤维布选用厚0.12mm,抗拉强度3550MPa的20型进口碳纤维布。

体外预应力加固梁的计算可参照普通无粘结预应力结构的计算方法。预应力筋设计应力 σ_{ps} 的取值需考虑在荷载作用下,预应力筋在有效应力 σ_{pe} 的基础上,由于混凝土结构的变形而产生的应力增量 $\Delta\sigma_p$,即 $\sigma_{ps}=\sigma_{pe}+\Delta\sigma_p$,其中, $\Delta\sigma_p$ 可按力法求解。

预应力碳纤维加固梁受弯和受剪的承载力可分别按下式(2)、(3)计算

$$M_p = \sigma_{ps} A_p \left(h_{op} - \frac{x}{2} \right) + f_y A_s \left(h_{os} - \frac{x}{2} \right) + \sigma_{cf} A_{cf} \left(h - \frac{x}{2} \right) \quad (2)$$

$$V_p = V_{cs} + 0.8 \sigma_{ps} A_p \sin \alpha + 0.05 \sigma_{ps} A_p \cos \alpha \quad (3)$$

式中, A 为加固材料的截面积,下标 p 、 s 和 cf 分别表示预应力筋、钢筋和碳纤维布, V_{cs} 为原混凝土梁的受剪承载力, α 为预应力折线筋与梁纵轴

间的夹角, h_{op} 、 h_{os} 和 h 分别为预应力筋、非预应力筋和碳纤维布的有效高度, σ_{cf} 为碳纤维布的设计应力。

计算结果表明, 对原框架梁施加折线型体外预应力可有效地降低混凝土梁中的弯矩、剪力; 同时, 还可明显提高梁的刚度, 使板不再因为梁的挠度过大而产生附加弯矩。以 1/A 轴线梁为例, 加固前, 其最大跨中弯矩为 252kNm, 支座剪力为 157.1kN, 施加预应力后, 最大跨中弯矩降低为 72kNm。可见, 施加体外预应力可有效地间接提高原混凝土梁的抗弯强度。

3.4 抗裂度验算

体外预应力加固梁的裂缝控制可按 GBJ10—89 的公式验算, 即

$$\sigma_{sc} - \sigma_{pc} \leq \alpha_{ct} \gamma f_{tk} \quad (4)$$

$$\sigma_{lc} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (5)$$

经验算, 本工程中预应力加固梁在短期荷载作用下, 满足式(4)的要求, 即 $\sigma_{sc} - \sigma_{pc} = 7.80 - 6.40 = 1.40 < \alpha_{ct} \gamma f_{tk} = 1.75 \text{MPa}$ 。

但由于结构所受恒载较大, 在长期荷载作用下式(5)的要求不能满足, 则应按式(6)对加固梁进行裂缝宽度验算。

$$\omega_{\max} = \alpha_{ct} \varphi \frac{\sigma_{ss}}{E_s} (2.7c + 0.1 \frac{d}{\rho_{te}}) \nu \quad (6)$$

经计算, 预应力加固后混凝土梁的最大裂缝宽度为 0.2mm, 这已能满足规范对裂宽的限制要求, 再考虑到碳纤维布对结构抗裂度的有利影响, 则加固梁的抗裂性能及耐久性必定是好的。

3.5 体外预应力加固梁结点构造措施

预应力筋锚固端和折点处的细部设计是体外预应力加固设计中的重点。本工程多数预应力加固梁的两侧各有四根高强无粘结预应力筋, 每束预应力筋在锚固点所产生的集中力为 40~70kN, 需进行局部承压验算。

锚固端、转向块结点设计如图 3 所示。锚固端采用钢垫板直接将预应力传至框架边梁, 再传至框架柱上。锚头设在沿开沟凿开的锚穴内, 锚固后用环氧砂浆封闭, 不使水分渗入。

在近预应力梁端, 设计了一个用膨胀螺栓或植筋锚固在原混凝土梁上的钢制转向装置, 已使预应力筋由斜向转成水平向, 以便于张拉。

本加固工程已于 2000 年 10 月完工并交付使用。

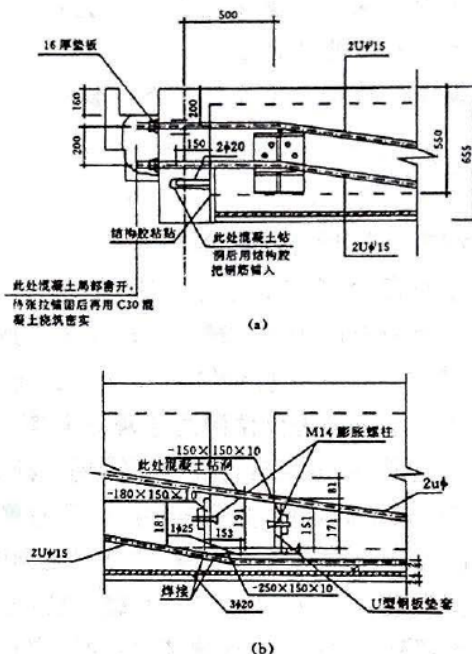


图 3 预应力加固梁锚固端与预应力束折点大样

参考文献

- 1 吕志涛、孟少平,《现代预应力设计》中国建筑工业出版社,1998
- 2 《混凝土结构》,中国建筑工业出版社,1994
- 3 华毅杰、熊学玉、黄鼎业,《体外预应力结构加固设计方法的探讨》,世纪之交的预应力新技术(第四届全国预应力学术交流会论文集),专利文献出版社,1998
- 4 卫龙武、吕志涛、朱万福,《建筑结构评估加固与改造》,南京:江苏科学技术出版社,1993