

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2009.03.018

预应力次梁楼盖边梁抗扭设计

应亮亮¹, 熊学玉^{1, 2}

(1. 同济大学建筑工程系, 上海 200092; 2. 同济大学先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 采用等效荷载法计算次梁中的预应力在边梁中产生的次扭矩, 当预应力筋线形布置对称时, 根据固端弯矩相等的原则, 用换算均布荷载对次梁中预应力筋等效荷载进行简化, 近似计算边梁的次扭矩. 推导了常见线形时换算均布荷载的计算公式. 通过工程实例分析, 介绍了考虑边梁次扭矩作用的边梁抗扭设计过程, 并对设计结果进行了对比分析. 结果表明: 考虑次扭矩后, 边梁扭矩设计值约减少了 20%.

关键词: 边梁; 预应力; 次扭矩; 抗扭设计

中图分类号: TU378.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)03-0327-03

预应力次梁楼盖中, 次梁设计为预应力混凝土梁. 在次梁中的预应力作用下, 边梁中会产生扭矩, 称作边梁的次扭矩. 常用的预应力结构分析设计软件(包括 PKPM 软件中预应力设计模块 PREC)在边梁的抗扭配筋设计时没有考虑次梁中的预应力在边梁中引起的次扭矩^[1], 因而会对边梁的抗扭设计造成影响. 本文以预应力混凝土次梁楼盖为例, 说明边梁次扭矩对边梁抗扭设计的影响, 并提出了一种近似计算边梁次扭矩的简化方法.

1 次扭矩计算

采用等效荷载法分析次梁中预应力在边梁中产生的次扭矩, 预应力筋等效荷载主要包含 3 部分: 端部有效预压力 N_{pe} , 端部集中弯矩 $M = N_{pe}e$ (e 为端部预应力筋的偏心距离), 以及由于预应力筋线形曲率的变化在构件上产生的横向荷载 q . 当连续预应力次梁各跨截面高度有变化时, 还应计入由于不同截面的重心差在交界处引起的集中弯矩 ΔM ^[2]. 设梁的重心高差为 Δh , 则 $\Delta M = N_{pe}\Delta h$.

由于实际工程中预应力筋的线形常存在反弯点, 等效荷载中, 横向荷载 q 的大小和方向在跨内会发生变化, 需分段计算, 在结构分析软件中要分段施加. 根据固端弯矩相等的原则, 可用均布的换算荷载 ω 替代横向荷载 q 来近似计算边梁的次扭矩^[3-5], 使等效荷载计算得以简化. 易知该简化计算思路仅适用于预应力筋线形布置较为对称的情况(要求 q 作用下, 支座处的固端弯矩相等), 否则, 仍应采用实际预应力筋等效荷载来计算边梁的次扭矩.

换算荷载 ω 的计算公式可直接根据预应力筋线形参数推导得到. 根据横向荷载 q 作用下的固端弯矩, 令其与 ω 作用下的固端弯矩相等, 从而可得 ω 的计算公式. 对于图 1 中 3 种常见预应力筋线形, 单段抛物线形预应力筋对应的横向荷载 $q_1 = 8N_{pe}\Delta f_{\text{中}}/l^2$ ($\Delta f_{\text{中}} = \frac{e_1 + e_2}{2} - e_{\text{中}}$, $e_1, e_2, e_{\text{中}}$ 如图 1 中所示), 可得 (a) 对于单段抛物线形(图 1(a)), 易知 $\omega = q_1$; (b) 对于三段抛物线形(图 1(b)), 当 $e_1 = e_2$ 时, 计算得 $\omega = (1-a)q_1$, a 为反弯点的位置参数, 当 $e_1 \neq e_2$ 时, q 不能用均布荷载替代; (c) 对于两段抛物线形(图 1(c)), 线形不对称, q 不能用均布荷载替代, 应按实际预应力筋等效荷载计算.

预应力次梁中的预应力筋等效荷载为自平衡荷载. 采用换算荷载 ω 代替等效荷载中的 q 之后, 仍应保持为自平衡力系, 故采用简化的等效荷载计算边梁的次扭矩时, 还需在次梁各支座处施加附加集中力 F 以平衡支座处由于 ω 取代 q 产生的反力差值. 可按下面的方法近似计算 F : 将各跨次梁看作简支梁, 分别作用 q 和 ω , 计算 2 种荷载作用下各支座反力的差值, 即得到 F .

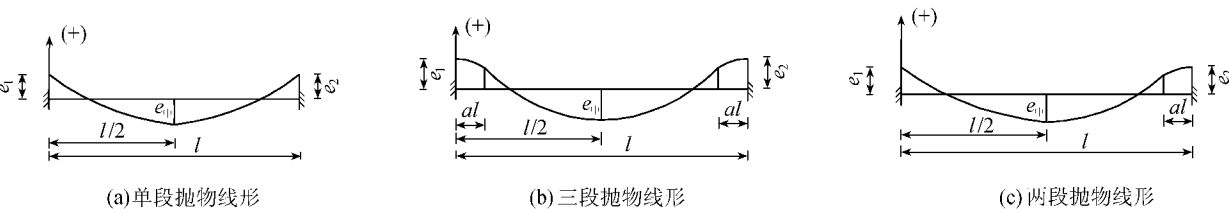


图 1 常见的预应力筋线形示意图

Fig. 1 Usual pre-stressed reinforcement shapes

2 实例分析

以某 3 层 4 跨的预应力次梁楼盖体系框架结构(层高 8.4 m + 6 m + 6 m)为原型^[6],取 3 个开间进行整体建模分析.预应力次梁共 4 跨,两边跨的跨度为 15 m,两中跨为 16.5 m,次梁间距为 1 800 mm,次梁截面 250 mm × 820 mm,边主梁截面 500 mm × 1 200 mm,中间主梁截面 600 mm × 1 200 mm,柱截面为 800 mm × 800 mm,柱距为 9 m,采用 C40 混凝土.各跨次梁中预应力筋均采用三段抛物线形布置,每跨内预应力筋至次梁顶面 150 mm,预应力筋至次梁底面 100 mm,边跨预应力筋总的有效预压力约为 1 000 kN,反弯点距支座 0.1*l*(*l* 为梁的跨度)楼面恒载(含楼板自重)取为 3.0 kPa,活载 8.0 kPa.

据公式 $\omega = (1 - a)q_1$ 可计算次梁上的换算均布荷载.边跨次梁 $\omega = 18.24$ kN/m,中跨次梁 $\omega = 15.07$ kN/m.根据 ω (向上为正)计算得次梁端支座、离端第二支座、中间支座处的附加集中力 F 分别为 -136.8 kN, -261.1 kN, -248.7 kN(负号表示与 ω 方向相反).

运用 PKPM 软件中的 Satwe 模块和有限元分析软件 Sap2000 对次梁中预应力筋等效荷载作用下边梁的受力进行分析,以底层中间边梁支座截面次扭矩和次剪力的分析结果进行对比,见表 1.

由表 1 可见,不同软件中,按预应力筋等效荷载和简化的等效荷载分析的结果基本一致,表明采用等效荷载或简化的等效荷载计算边梁次扭矩是可行的.

由于边梁是次梁的弹性支座且边梁扭矩为协调扭矩,次梁等效荷载中有效预压力 N_{pe} 、简化计算时的附加集中力 F 对次扭矩的计算也会有影响.忽略 N_{pe} 、 F 后次扭矩的计算结果见表 2,与表 1 中次扭矩计算结果对比可知误差均超过 5%,故次扭矩计算时不宜忽略 N_{pe} 和 F .

3 边梁抗扭配筋设计

预应力次梁楼盖中次梁跨度一般较大,边梁在外荷载作用下承受较大的扭矩,故边梁应按弯剪扭构件进行设计.次扭矩对边梁的抗弯配筋影响较小,故边梁的抗弯配筋可近似按不考虑边梁次扭矩的内力结果进行设计.考虑到抗剪承载力和抗扭承载力存在相互影响^[7],边梁的抗剪配筋和抗扭配筋均应按考虑次扭矩影响后的内力进行设计.

结合设计院常用设计软件 PKPM 进行边梁配筋设计时,可先利用 PKPM 中 PREC 模块完成全楼构件配筋设计,边梁的抗弯配筋可近似采用 PREC 中配筋结果(未考虑次扭矩影响).然后可在 Satwe 模块中,按等效荷载或简化的等效荷载计算边梁中的次扭矩,与 PREC 中内力结果进行组合后,按考虑边梁次扭矩后的内力结果,进行边梁抗剪和抗扭配筋的设计.采用等效荷载计算边梁中的次扭矩时,同时可得到次梁中预应力在边梁中产生的剪力(可称为次剪力).边梁抗扭配筋设计时,为计算更准确,也可考虑次剪力的影响.

对本文的工程实例,采用 PREC 对结构进行分析设计后,查看 PREC 的分析结果,可得未考虑边梁次扭矩时边梁剪扭配筋所采用的扭矩及剪力设计值.将表 1 中 Satwe 得出的次扭矩值(与 PREC 中扭矩设计值方向

表 1 边梁次扭矩和次剪力的分析结果

Table 1 Analytic results of secondary torque and shear forces of side beams

软 件	次扭矩/(kN·m)		次剪力/kN	
	按等效荷载分析	按简化的等效荷载分析	按等效荷载分析	按简化的等效荷载分析
Satwe	92.8	92.8	6.4	6.4
Sap2000	91.6	91.7	6.3	6.3

注:表中次剪力指次梁中预应力在边梁中产生的剪力.

表 2 忽略 N_{pe} 、 F 后次扭矩的计算结果

Table 2 Calculated results of secondary torque ignoring N_{pe} and F

软件	次扭矩/(kN·m)	
	忽略 N_{pe}	忽略 F
Satwe	75.0	100.5
Sap2000	74.8	99.4

相反,对结构有利,故取分项系数为 1.0^[8])乘以 0.4 的折减系数(在 PREC 中分析设计时扭矩折减系数设为 0.4)表 1 中剪力值(对结构不利,分项系数取 1.2)与未考虑边梁次扭矩时的扭矩、剪力值组合,可得考虑次扭矩作用后,边梁剪扭配筋设计的扭矩和剪力,并分别求得边梁的剪扭配筋面积^[9-10]结果对比见表 3。

从表 3 中数据可知,考虑预应力次梁中的预应力在边梁中产生的次扭矩作用后,可以减小边梁剪扭配筋设计时的扭矩值,并可明显减小边梁的抗扭配筋。对该工程实例分析,扭矩设计值约减少了 20%,剪扭纵筋面积约减少 16%,剪扭箍筋面积约减少 28%。

4 结 论

- a. 预应力次梁中的预应力在边梁中会产生次扭矩,可采用预应力等效荷载来计算边梁中产生的次扭矩,当预应力筋线形对称布置时,还可采用简化的等效荷载计算边梁次扭矩。
- b. 次扭矩计算时,不宜忽略有效预压力 N_{pe} 的影响,采用简化的等效荷载计算时,还应考虑附加集中力 F 。
- c. 边梁应按弯剪扭构件进行配筋设计,边梁的抗剪和抗扭配筋应考虑次梁中预应力的影响。从文中实例分析结果可知,边梁中次扭矩对边梁抗扭配筋设计有明显的影响。

参考文献：

[1] PKPM CAD 工程部. PREC(2005 版) 软件用户手册及技术条件[K]. 北京: 中国建筑科学研究院, 2005: 13-14.
[2] 熊学玉. 预应力结构设计与原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004: 121-122.
[3] 江峰, 李唐宁. 大跨预应力次梁楼盖结构的边主梁扭矩简化计算[J]. 建筑结构, 2007, 37(7): 54-57.
[4] 江峰, 高 唐文明. 等代均布荷载法在不等跨预应力次梁结构中的简化计算[J]. 四川建筑, 2006, 26(6): 128-132.
[5] 李唐宁, 江峰. 大跨度次梁结构体系的边主梁扭矩简化计算[C]/第十三届全国混凝土及预应力混凝土学术会议论文. 北京: 中国土木工程协会, 2005: 255-258.
[6] 李哲刚, 李唐宁. 某工业厂房预应力楼盖结构设计[C]/第四届全国预应力结构理论与工程应用学术会议论文集. 上海: 《工业建筑》编辑部, 2006: 467-471.
[7] GB50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].
[8] DGJ0869—2007, 预应力混凝土结构设计规程[S].
[9] 康谷贻, 江见鲸. 混凝土结构设计原理: 上册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004: 196-201.
[10] 徐有邻, 周氏. 混凝土结构设计规范理解与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 204-206.

Torsion-resistant design of side beams in floors with prestressed secondary beams

YING Liang-liang^{1, 2}, XIONG Xue-yu^{1, 2}

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China ;
2. Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Material of Ministry of Education ,
Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract : The secondary torque of side beams caused by the pre-stress in secondary beams was calculated using the equivalent load method. When the reinforcement layout was symmetrical, the equivalent load in the pre-stressed secondary beams could be simplified by the transformed uniformly distributed load according to the principles of equivalent bending moments at fixed ends. Accordingly, the secondary torque of the side beams was approximately calculated. The formulas of the transformed uniformly distributed load for usual reinforcement layout were deduced. Through an engineering case, the process of torsion-resistant design of the side beams was introduced. The calculated results were compared and analyzed. The analysis indicates that the design value of the torque decreases by about 20% when the secondary torque of the side beams is considered.

Key words : side beam ; pre-stress ; secondary torque ; torsion-resistant design

表 3 边梁抗扭设计结果对比
Table 3 Comparison of torsion-resistant results
of side beams

计算方法	剪扭配筋 扭矩设计值/ (kN·m)	剪扭配筋 剪力设计值/ kN	边梁剪扭 纵筋面积/ cm ²	边梁剪扭 箍筋面积/ cm ²
未考虑次扭矩	183	431	1 989	174
考虑次扭矩后	146	439	1 673	125

注:表中配筋设计时,配筋强度比取值为 1.2,边梁剪扭箍筋面积为抗扭箍筋面积和抗剪箍筋面积之和,箍筋间距为 100 mm,按双肢计算。