

预应力混凝土平板结构在多高层建筑中的应用

李桢章

摘要 通过对混凝土楼盖中不同类型的预应力平板结构性能的分析比较,建议在多层建筑中采用无粘结预应力平板结构,在高层建筑中采用有粘结预应力平板结构。

关键词 无粘结 有粘结 预应力砼 板式结构

一、各种混凝土楼盖的方案比较

预应力混凝土(PC)结构已广泛应用在多层与高层建筑楼盖中,与钢筋混凝土(RC)结构相比,预应力混凝土有以下优点:(1)构件截面较小,可降低层高0.2~0.5m;(2)扩大柱网,增加使用面积;(3)改善了结构的使用功能,在自重和准永久荷载作用下,结构的挠度很小,几乎不存在裂缝;(4)节省钢材、混凝土和模板,减轻结构自重和基础负担,减少地震荷载;(5)预应力混凝土平板结构能提供大开间建筑,间隔灵活,室内无梁,节省装修费用,楼层之间的隔振、隔音效果好。因此,在办公和住宅建筑中,采用预应力混凝土平板结构有增多的趋势。

预应力混凝土楼盖的单价比钢筋混凝土楼盖要增加30~90元/m²,由于房屋高度的降低,总的建筑费用不会增加,如果在总高度不变的情况下增加层数,则可获得显著的经济效益,因此,在多层和高层建筑中,预应力混凝土是很有竞争力的结构体系之一。

广州地区一幢6层的框架结构,柱网为9m×9m,楼面恒载为1.3kN/m²,活荷载为3.5kN/m²,风荷载为0.45kN/m²,7度抗震,II类场地土。对其进行多种楼盖的方案比较,见表1。

上述方案中,费用最低的是钢筋混凝土井式楼盖,费用最高的是无粘结预应力混凝土平板楼盖。钢筋混凝土平板楼盖结构不合理,未列入比较

表1 柱网为9m×9m的混凝土楼盖方案比较

楼盖类别	框架梁截面 (mm)	次梁截面 (mm)	板厚 (mm)	混凝土用量 (m ³ /m ²)	普通钢筋用量 (kg/m ²)	预应力钢筋用量 (kg/m ²)	综合单价 (元/m ²)	备注
平板	有粘结PC		220	0.22	21.3	6.2	302.89	
	无粘结PC		220	0.22	22.3	6.9	314.39	
框架梁加平板	PC	1500×300	180	0.22	16.2	6.1	274.56	有粘结PC梁 无粘结PC板
扁梁加双向密肋板	PC	1500×370	185×370	70	0.21	19.1	260.78	无粘结PC梁 RC梁
	RC	1500×470	185×470	70	0.28	31.2	275.42	
井字梁板	PC	1500×300	400×300	80	0.18	19.9	246.17	无粘结PC梁 RC梁
	RC	1000×450	300×450	80	0.20	25.2	211.08	

范围。在8~10m柱网范围内,钢筋混凝土井式楼盖比较经济,预应力混凝土井式楼盖要在12m以上才能显示出其经济上的优越性,9m的预应力混凝土平板楼盖如果加了柱帽,板可以做薄一些;双向密肋板由于应用不多,所用的塑料模壳的费用可能会比表中所列的高。为了加强井式楼盖的隔振、隔音效果,如果钢筋混凝土井式楼盖的板厚用100,加柱帽的有粘结预应力混凝土板厚用180,它们之间的差价约在50~60元/m²之间。在各种楼盖中,预应力扁梁体系的用钢量最少,预应力平板结构的建筑效果好,应用较多。预应力平板结构充分体现了预应力混凝土结构跨越性能好的优点,荷载传递路线短,是一种简单合理的结构。

二、无粘结预应力混凝土与有粘结预应力混凝土结构性能比较

现浇预应力混凝土楼盖中的后张有粘结筋靠

灌浆实现粘结,后张无粘结筋靠端锚建立预应力。有粘结预应力混凝土的极限承载力高,节省钢材,有更好的结构性能。无粘结预应力混凝土的施工工艺简单,施工速度快,质量容易控制。对于象楼板这样需要大量小型预应力筋的结构宜采用无粘结预应力混凝土,对于吨位较大的预应力筋,宜采用有粘结预应力混凝土。

无粘结预应力混凝土比有粘结预应力混凝土要耗用较多的预应力钢筋和非预应力钢筋,其主要原因是:

1. 有粘结预应力混凝土承受荷载时,任一截面处预应力筋的应变值与周围混凝土的应变值相等,有粘结筋的最大应力出现在最大弯矩截面,破坏时临界截面有粘结筋的应力非常接近 f_{py} 。无粘结预应力混凝土工作时,由于无粘结筋与混凝土可以发生相对滑动,无粘结筋的应力沿全长几乎是相等的,其应变值为构件全长混凝土应变的平均值。因此,无粘结筋的应变增量比有粘结筋小,相应的应力增量也比有粘结筋小。构件破坏时,无粘结筋的应力总是低于预应力筋的条件屈服点 $f_{p,0.2}$ 。预应力钢筋应力随荷载的变化曲线见图1。图中 f_{pm} 为预应力筋极限强度, σ_{con} 为张拉控制应力, σ_{pt} 为初始预应力, σ_{pe} 为有效预应力。

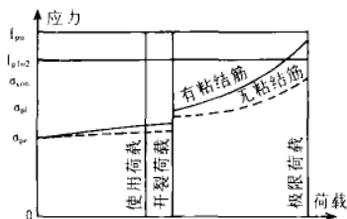


图1 荷载—预应力钢筋应力关系曲线

无粘结预应力混凝土的极限承载力小于相应的有粘结预应力混凝土,林同炎教授认为,相差在10%~30%之间。试验证明,增加非预应力钢筋可以显著地提高无粘结预应力混凝土的极限强度。

2. 只配有预应力筋的无粘结预应力混凝土受弯构件,受力后裂缝一旦出现就迅速向上延伸,随即脆性破坏。这也是造成无粘结预应力混凝土构件极限承载力低于有粘结预应力混凝土构件的一个重要因素。配有占总拉力25%以上的非预应力钢筋的无粘结预应力混凝土构件与有粘结预应力混凝土构件的结构性能基本相同,破坏呈延性。

3. 高层建筑中无粘结预应力混凝土构件中的非预应力钢筋除了要承担一部分竖向荷载外(一般为30%以上),还要承担全部水平地震力和风荷载引起的弯矩,利用普通钢筋能达到屈服的特点,提高结构的延性和吸收地震能量的能力,这是高层建筑采用无粘结预应力混凝土用钢量高的主要原因。

4. 美国统一建筑规范UBC(Uniform Building Code)要求单向后张无粘结预应力混凝土中的非预应力钢筋应能提供D(恒载)+0.25L(活载)的备用极限承载能力,其中荷载系数及承载能力的折减系数均取1.0。中国规范对无粘结预应力混凝土单向板体系的非预应力筋只提出了最小配筋率的要求,但设计无粘结预应力混凝土时一般都配有一定数量的非预应力钢筋以提供备用极限承载力,防止无粘结预应力混凝土在遭受灾害时(例如:火灾、爆炸、大地震)造成的预应力端锚失效,导致结构破坏。

综上所述,在无粘结预应力混凝土设计中,应限制无粘结预应力混凝土的平均预压应力,增加有粘结非预应力钢筋的比例,使非预应力钢筋在极限强度、能耗、抗震、限制裂缝宽度以及在提供灾害时的备用极限承载能力等方面发挥作用。无粘结预应力混凝土比有粘结预应力混凝土要多用10%以上的预应力钢筋,多用20%以上的非预应力钢筋,但其施工费用较低,每吨无粘结预应力钢筋的综合施工单价约比有粘结预应力钢筋要低15%,在低层建筑中,无粘结预应力混凝土与有粘结预应力混凝土价格基本持平,且无粘结预应力混凝土施工简单,工期更短。在高层抗震建筑中,无粘结预应力混凝土的用钢量较高,使其价格比有粘结预应力混凝土要高5%~10%。因此,在设计不承受地震力的楼板以及在低层建筑中,采用无粘结预应力混凝土;在以极限强度为控制条件的结构(例如大跨、重载结构)以及以抗震为主要控制条件的结构(例如高层建筑抗震结构)中,采用有粘结预应力混凝土是合理的。

三、在多层住宅建筑中采用无粘结预应力混凝土平板结构

在多层建筑的薄板结构中,无粘结预应力混凝土是很好的选择,多层建筑受地震力影响小,薄

板结构很适合单根布设的小尺寸无粘结预应力筋。我们在一些多层住宅建筑中采用一户一板(周边有圈梁,户内无梁)的无粘结预应力混凝土平板结构,一户的建筑面积约70~100m²,板的跨度为6~8m,有单向板和双向板,板厚140~160mm,单向板采用单向均匀布筋,双向板采用一向按70%柱上板带布置,30%柱间板带布置,另一向均匀布筋,或者按照规范要求,两个方向都分为柱上板带和柱间板带,以及采用一向集中布置,另一向均匀布置的布筋方式。预应力筋的间距不大于板厚的6倍或1m,预应力筋采用1570级低松弛钢丝,预应力筋的用量是3~4kg/m²,平板及圈梁的非预应力钢筋的用量是8~11kg/m²,取得了较好的经济效益。双向平板结构的预应力钢筋布置形式见图2。(a)一向为带状集中布筋,另一向为均匀布筋,用于有粘结及无粘结预应力混凝土平板;(b)75%布置在柱上板带,25%布置在跨中板带,用于无粘结预应力混凝土平板;(c)一向按柱上板及跨中板带布筋,另一向均匀布筋,用于无粘结预应力混凝土平板。

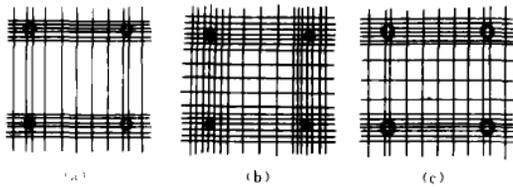


图2 预应力钢筋的布置形式

四、在高层和超高层建筑中采用有粘结预应力混凝土平板结构

近年来,国内外开始在高层建筑平板结构中较多地采用有粘结预应力混凝土。近期施工的有泰国曼谷54层BECM大厦,马来西亚吉隆坡76层新电讯总部大楼,广州中山医科大学第一附属医院18层门诊楼,广州56层南航大厦主楼(原设计为无粘结预应力混凝土,后改为有粘结预应力混凝土,见图3),都采用了有粘结预应力混凝土平板结构。这反映了有粘结预应力混凝土节省钢材、结构性能好的优点已经得到肯定,依赖施工技术的进步,施工繁琐的缺点逐渐被克服。与无粘结预应力混凝土相比,有粘结预应力混凝土有更好的抗震性能,在灾害荷载作用时不会因锚具失效

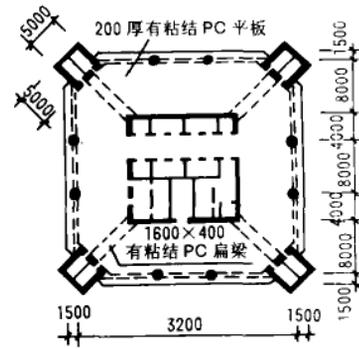


图3 广州南航大厦标准层结构平面

致使承载力大幅度下降。有粘结预应力混凝土在高层建筑中有更好的经济指标,比无粘结预应力混凝土节省20%~50%的非预应力钢筋,节省10%~30%的预应力钢材。有粘结预应力混凝土节省锚具,固定端可以采用压花锚。高层建筑中的平板结构一般是单跨板,锚具的用量大,有粘结预应力混凝土可降低锚具在总造价中的比例。有粘结预应力混凝土多了穿束和灌浆工艺,现场施工的工作量比无粘结预应力混凝土多,工期略有增加。总的综合费用,有粘结预应力混凝土上要低5%~10%。有粘结预应力筋由3~5根钢绞线穿在扁波纹管内组成一束,一向在柱上板带集中布束,另一向均匀布束,束的间距不大于板厚的8倍或1.5m。试验证明,预应力混凝土双向平板的抗弯承载能力主要取决于板在每一方向上的预应力筋数量,与预应力筋的配筋形式关系较小。一向集中布筋,而另一向均匀分散布筋可产生具有双向预应力的单向板效果,平板中的带状集中的预应力钢筋起到了支承梁的作用,而另一个方向上均匀分散布置的预应力钢筋起到了单向板的作用,这种布筋方式也避免了在板的中央两组互相垂直的波纹管相交,试验证明,采用这种布筋方式的平板在使用阶段和极限承载阶段的结构受力及变形能力都很好。有粘结预应力混凝土平板结构的配筋率一般较低,更适宜用于厚板结构,当板厚 $h < 160\text{mm}$ 时未必经济。有粘结预应力混凝土双向平板配筋见图2(a)。

需要强调的是:有粘结预应力混凝土对灌浆的质量要求严格,预应力混凝土中的预应力钢筋截面小,长期处于高压应力状态中,对腐蚀很敏感。我国1971年倒塌的内蒙古呼和浩特西机务段

(下转第48页)

行业专利介绍

专利名称:真空灌浆法及其密封锚索

专利类别:发明

专利号:99118694.X

专利权人:柳州欧维姆建筑机械有限公司

灌浆是后张预应力体系中预应力筋防腐的关键屏障,在保证预应力构件整体安全方面起着极为重要的作用。传统的锚索为非密封式,灌浆方式为索体张拉完毕后使用灌浆机通过锚板灌浆孔将水泥浆灌入锚索的波纹管内,即压力灌浆。由于浆体本身的水灰比较高、浆体中混有空气等原因,施工中容易发生水泥浆离析、析水、干硬后收缩等问题。灌浆完毕浆体凝固后,由于析水、气泡产生的孔隙致使浆体与索体间强度不够,粘结不好;如果外混凝土块因故开裂后渗水,锚索的金属波纹管被锈蚀,加之传统的灌浆施工方式使混凝土中不可避免地留存有孔隙,孔隙中滞留的有害水浆等

导致钢绞线腐蚀断裂,而索体一般无法更换,这样会对工程质量造成严重的影响。

针对上述不足,本发明通过采用全密封锚索,并使用真空灌浆的施工方法,从而提高灌浆质量、保证构件长久的安全。锚索的锚头安装有保护罩,其四周与锚垫板接触完全密封,并用环氧树脂粘结,构成全密封锚索。在灌浆之前,对管道进行抽真空,使90%的空气被抽出,形成负压环境,因而灌浆速度可以大幅度提高,且索体内浆体密实,保证了灌浆质量,延长了索体的寿命。

(叶日贵)

(上接第33页)

技术检查库21m后张灌浆预应力混凝土屋架,英国80年代倒塌的后张灌浆预应力混凝土桥梁(Ynas-Y-Gwas桥和Bickton Meadons桥)都是因为预应力钢筋腐蚀,截面削弱拉断而结构破坏。有粘结预应力混凝土中预应力钢筋腐蚀的主要原因是灌浆质量不好及灰浆中有腐蚀性材料。

施工质量良好的有粘结预应力混凝土,仍然是桥梁、高层建筑、大跨度建筑等重要建筑的首选混凝土结构体系。

预应力混凝土板式结构的加固可采用体外加固,例如在板下加钢梁或采用体外束预应力加固。

随着有粘结扁锚体系的推广,真空辅助灌浆技术、穿束机及超塑化剂在水泥灌浆体中的应用,

以往认为费钱、费工、费时的预留管道、穿束、张拉、灌浆等工序已逐渐简化,有粘结预应力混凝土的施工工艺日趋成熟,有粘结预应力混凝土平板结构会有广泛的应用。

参 考 文 献

1. 林同炎·Burns N H. 预应力混凝土结构设计·中国铁路出版社·1983.
2. 杜拱辰·米祥友主编,世纪之交的预应力新技术·专利文献出版社·1998.
3. 陶学康·后张预应力混凝土设计手册·中国建筑工业出版社·1996.
4. 郑锐谋·有粘结预应力楼板设计的几个问题·建筑结构·1999,29(2).

(本文原载《建筑机械》2001年第2期)