

# 翼墙在中小学校舍抗震加固中的应用

张鹏程<sup>1</sup>, 袁兴仁<sup>1</sup>, 林树枝<sup>1,2</sup>, 古玉霞<sup>1</sup>

(1 厦门大学建筑与土木工程学院, 厦门 361005; 2 厦门市建设与管理局, 厦门 361003)

[摘要] 翼墙加固是一种易用的改变结构体系的快速有效的加固方法, 具有概念明确, 施工方便, 造价低廉, 加固效果好的特点。探讨了翼墙加固原理和设计方法, 通过一项实际工程, 讲述该方法的应用过程和具体构造措施。

[关键词] 翼墙; 抗震; 加固

## Application of wing-wall in seismic strengthening of school buildings

Zhang Pengcheng<sup>1</sup>, Yuan Xingren<sup>1</sup>, Lin Shuzhi<sup>1,2</sup>, Gu Yuxia<sup>1</sup>

(1 School of Architecture & Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

(2 Xiamen Construction and Administration Bureau, Xiamen 361003, China)

**Abstract:** Wing-wall strengthening is a method to change the structure system with clear concept, conveniently construction, low cost and good reinforcement effect. This paper discusses the wing-wall reinforcement principle and design, explains the application process of this method and the specific structural measures through a practical project.

**Keywords:** wing-wall; seismic; strengthening

## 0 引言

中小学建筑由于使用功能及采光等方面的要求, 跨度较大, 纵横两个方向刚度均较弱, 且相差较大, 地震时容易遭受破坏, 造成师生人员伤亡<sup>[1]</sup>。2008 年汶川大地震后, 抗震规范对一些地区抗震设防烈度有所修改<sup>[2]</sup>, 以及中小学校舍、医院按乙类设防<sup>[3]</sup>。大量中小学建筑物因此需要重新进行抗震鉴定、加固, 包括按 1978 年版, 1989 年版及 2001 年版抗震规范设计并建造的建筑物。

单跨框架结构是中小学建筑中最常见的结构形式, 但由于它自身刚度比较小, 属于柔性结构, 地震作用下变形比较大。当设防烈度提高, 原结构框架柱及梁的原配筋将不足。在早期, 由于经济条件所限, 原结构中配筋量偏小, 对这样的建筑单从构件层次进行强度加固, 工程量很大, 费用很高, 且加固效果并不明显。翼墙加固是一种方便的改变结构体系的加固方法, 它具有工程量少、施工方便的特点。由于加设翼墙, 框架增加了一道抗震防线, 加固效果明显, 后期受力更可靠。

## 1 翼墙加固概念

翼墙是指在柱侧增加短肢剪力墙, 使柱形成带翼缘的构件。根据在柱侧布置情况, 分别可以形成一字形、L 形和 T 字形翼墙, 如图 1 所示。

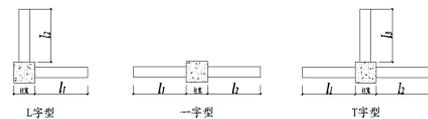


图 1 翼墙形式

柱的抗侧刚度提高后, 侧向位移将减小, 从而减小梁端弯矩。如图 2 所示一榀框架, 梁柱线刚度分别为  $i_b$  和  $i_c$ , 受到水平地震力  $F$  的作用。

梁端弯矩为  $M_b = 3FH_c i_b / (i_c + 6i_b)$ , 且假定  $i_b = i_c$ , 则  $M_b = 3FH_c / 7$ 。如果在柱侧增加翼墙, 带翼墙柱的线刚度将提高很大, 假设提高到原来的 10 倍, 那么  $M_b = 3FH_c / 16$ , 最终可得梁端弯矩减幅为 56.7%。设防加速度从 0.1g 提高到 0.15g, 地震作用大概增大 50%, 因此可知, 当加设翼墙后, 对原框架梁的配筋要求降低, 可以做到不需要加固。

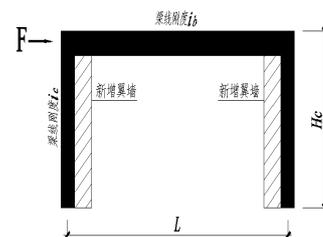


图 2 一榀框架内力计算图

在同楼层平面内,由于某榀框架抗侧刚度提高后,在楼板刚性假定的情况下,其它榀框架承担的地震力将减小,因而只要将翼墙布置在合理位置,就可以减小其它柱的地震力,从而只需要加固一部分柱。

翼墙主要以提高柱单元线刚度、约束和保护框架柱主体为目的,允许翼缘构件在罕遇地震作用下首先屈服、开裂,以消耗地震能量,理论上可实现构件二次抗震的设计概念<sup>[4]</sup>。在对中国汶川地震建筑震害调查中发现,按普通矩形框架梁柱设计的结构出现梁端下部柱顶混凝土压碎破坏的情况,一个重要原因是该区域柱在双向拉压复合受力状态下,最外侧混凝土存在压碎破坏的可能,因此可以考虑采用带有翼缘构件的框架柱,将受压破坏区域主动外移,远离框架柱主体,这点也是翼缘框架柱同矩形框架柱、异形柱相比的优势所在。

按照《建筑抗震加固技术规程》<sup>[5]</sup>,墙厚不应小于140mm,竖向和横向分布钢筋的最小配筋率,均不小于0.20%。对于B、C类钢筋混凝土房屋,其墙厚和配筋应符合基抗震等级的相应要求。翼墙与原有框架可采用锚筋或现浇混凝土套连接,锚筋可采用 $\phi 10$ 或 $\phi 12$ 的钢筋,与梁柱边的距离不应小于30mm,与梁柱轴线的间距不应大于300mm,钢筋的一端应采用胶粘剂锚入梁柱的钻孔内,且埋深不应小于锚筋直径的10倍,另一端宜与墙体的分布钢筋焊接。

## 2 翼墙加固方案设计

根据抗震鉴定报告,确定梁柱配筋不足出现的位置,如果原结构比较规则,则这些梁柱出现位置比较有规律。翼墙宜根据建筑特点,拟在现有横墙的地方对称布置,一方面不影响建筑外观,另一方面可以避免另做翼墙基础,尽量布置在配筋不足的柱位置。翼墙宜沿纵横轴线双向布置,从底层贯通到顶层。翼墙的尺寸和数量应根据结构计算结果确定,加设翼墙后主要是使梁配筋和未加翼墙的框架柱不需要加固或加固的量很少。

## 3 工程实例

### 3.1 工程概况

工程为厦门市江头某小学教学楼,建筑总面积为6507m<sup>2</sup>,建筑檐口高度为14.0m。结构形式为4层(局部5层)现浇混凝土框架结构,结构层高为3.55m,结构平面布置见图3。基础为扩冲沉管灌注桩基础,桩尖持力层为残积砂质粘土。该建筑物设计于1994年,原设计建筑抗震烈度7度,设计基本加速度为0.10g,设计地震分组为第一级,抗震设防类别为丙类,框架抗震等级为三级。“5·12”汶川地震后,学校建筑提高了抗震设防标准,要求按乙类设防,厦门地区

抗震设计基本加速度值调整为0.15g。

### 3.2 抗震鉴定

2009年11月,按照国家最新标准对此教学楼进行抗震鉴定。

根据《建筑抗震鉴定标准》(GB50023—2009)<sup>[6]</sup>及《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223—2008)的有关规定,该建筑物为乙类建筑,后续使用年限为40年(属B类建筑)。

(1) 抗震措施鉴定结果见表1。

抗震措施		表 1
序号	鉴定项目	是否满足要求
1	结构体系的合理性	不满足
2	材料性能指标	基本满足
3	框架梁的配筋与构造	基本满足
4	框架柱的配筋与构造	部分不满足
5	钢筋接头和锚固	基本满足
6	填充墙与主体结构的拉接构造	基本满足

### (2) 抗震承载力验算

工程的梁、柱截面承载力验算采用中国建筑科学研究院的PKPM系列软件之SATWE及建筑结构鉴定加固软件JDJG进行,考虑各种荷载工况组合,进行三维空间力学模型分析,计算梁、柱、板截面的最大配筋。经计算结果与设计图纸对比,部分梁、柱的实际配筋小于计算配筋,文中列出部分梁柱配筋不足统计表(表2,3)。

### 3.3 加固方案选择

由鉴定报告结果可知,按照新的抗震设防要求,众多框架梁柱的承载力达不到要求。原结构柱距比较宽,梁跨度比较大,如果单从构件强度上去加固,加固工作量很大,工程造价很高。鉴于原结构采用桩基承台基础,采用翼墙加固并不需要另外增设基础,翼墙一方面可以加固框架柱,又可以减小因地震作用带来的梁端负弯矩,避免再对框架梁进行加固,所以最终选择翼墙加固方案。根据建筑功能特点,翼墙尺寸300×500,布置位置如图3所示。

框架柱配筋不足统计表 表 2

柱位置		B 边			H 边		
轴线位置	楼层	计算	实配	相差/%	计算	实配	相差/%
轴①、②、③/①	1	13	7.63	70.3	—	—	—
	2	11	7.63	44.2	—	—	—
轴①/②	1	11	7.63	44.2	10	7.63	31.1
	2	—	—	—	10	7.63	31.1
轴①/②, 轴①/③	1	12	7.63	57.3	—	—	—
轴②/④	1~2	—	—	—	11	7.63	44.2
轴③/⑤	1~2	—	—	—	9	7.63	18.0
轴①、②/③	1	9	7.63	18.0	10	7.63	31.1
	2	—	—	—	9	7.63	18.0

框架梁配筋不足统计表 表 3

楼层	编号	轴线位置		梁顶钢筋左支座			梁顶钢筋右支座			梁底钢筋		
		横向	纵向	计算	实配	相差	计算	实配	相差	计算	实配	相差
1	KL101	轴⑤~⑥	轴④	1900	1610	18%	—	—	—	1600	1257	55%
1	KL102	轴⑤~⑥	轴④~⑤	—	—	—	2200	1610	37%	1900	1257	51
		轴⑥~⑦	轴④~⑤	1800	1610	12%	1500	1389	8%	—	—	—
		轴⑦~⑧	轴④~⑤	1600	1389	15%	—	—	—	—	—	—
1	KL103	轴④~⑤	轴⑧	—	—	—	2900	2592	12%	2100	1610	30%
		轴⑤~⑥	轴⑧	—	—	—	2200	1610	37%	2100	1610	30%
		轴⑥~⑦	轴⑧	2000	1610	24%	—	—	—	—	—	—
		轴⑦~⑧	轴⑧	—	—	—	1900	1610	18%	—	—	—
		轴⑧~⑨	轴⑧	2200	1610	37%	—	—	—	1600	1389	15%

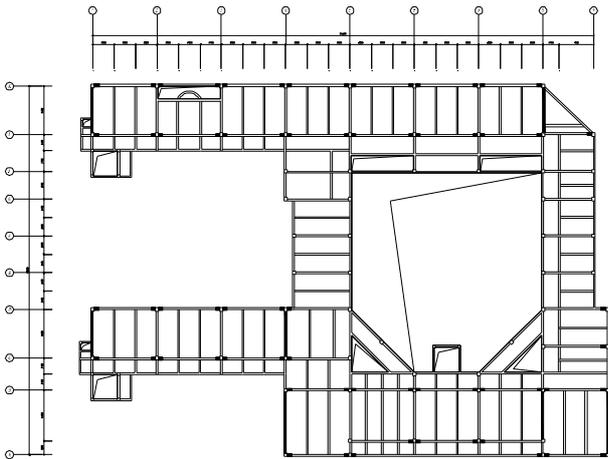


图3 结构平面布置图(涂黑部分为翼墙)

### 3.4 PKPM 建模计算

现行 PKPM 软件没有翼墙这种构件,如果按短肢剪力墙布置,建模很麻烦。由于一些翼墙比较小, SATWE 计算结果按剪力墙算很可能超筋。因翼墙属于后加构件,所以可以允许它在大震下破坏,故它的配筋可以按构造配筋。对于一字形翼墙,我们建模采用扁柱替代,而对于 L 形和 T 字形翼墙,采用异型柱替代。由于加设翼墙后,原柱对整个构件的惯性矩贡献较小,故可忽略柱相对墙突出截面的影响。如在 400×400 的两边加设 250×500 的翼墙,我们可以按 250×1400 的扁柱代替。

### 3.5 构造措施

#### (1) 翼墙与原框架柱的连接

翼墙与原框架柱的连接采用化学植筋,所需钢筋

面积与翼墙内配箍量等同,为了减小植筋钻孔量,避免对原框架造成过大的损伤,等代钢筋可按  $A_s f_y / s$  等效换算成间距较大、直径较粗的钢筋。该工程采用  $\phi 10 @ 200$ ,植筋伸入翼墙 300mm,植入框架柱的深度为 200mm,具体做法如图 4 所示。

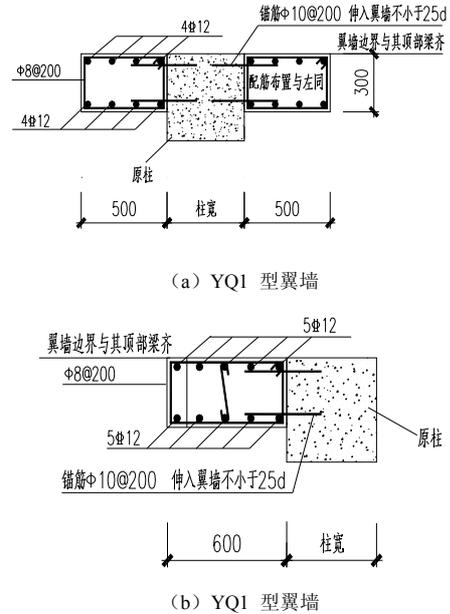


图4 翼墙与框架柱连接

#### (2) 翼墙与框架梁的连接

工程因框架梁截面宽为 250mm,而采用的翼墙墙厚为 300mm,故先将框架梁保护层凿除,翼墙所配纵向钢筋可贴梁侧直接穿透楼板,孔隙用无收缩料灌实。在框架梁处,因箍筋不好设置,可以用短钢筋穿过框架梁再通过焊接形成封闭箍,具体做法如图 5 所示。

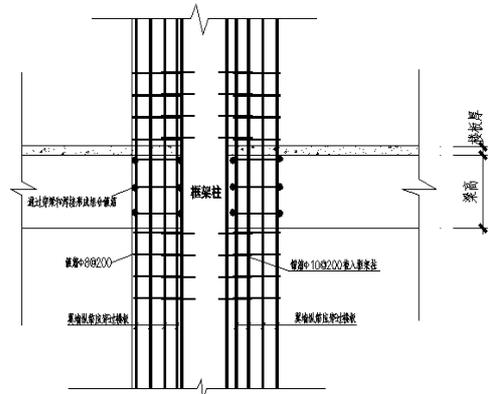


图5 翼墙与框架梁的连接

#### (3) 翼墙与基础的连接

工程原基础采用桩承台基础,承台面积比较大,所以翼墙竖向纵筋可以直接植入承台,植筋深度不小于  $10d$ 。承台表面必须先凿毛(不小于 6mm 粗糙度)。具体做法如图 6 所示。

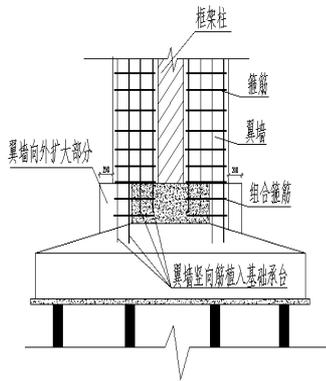


图6 翼墙与基础的连接

### 3.6 结构计算结果

#### (1) 层间位移角

由图6、7可知,增设翼墙后,结构层间位移角减小很多,在X向地震作用下,最大层间位移角出现在层2,为1/773,加固后为1/1826,减幅达57.6%。在Y向地震作用下,原结构层间位移角曲线呈S形,在顶层的位移角比较大,当加设翼墙后,楼层位移减幅特别明显,变化比较均匀。

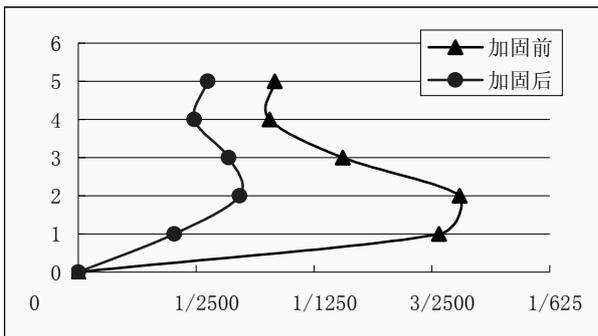


图6 X向地震下层间最大位移角

#### (2) 配筋验算

根据SATWE的计算结果,经与原设计图纸的对比,发现未加设翼墙的框架柱配筋都能满足要求,框架梁支座配筋都变小,能满足新的抗震设防目标要求。

### 4 结论

(1)在原建筑为框架结构体系,当设防烈度提高,梁、柱的配筋均发生较大变动,使加固的工作量很大、工程造价很高时,可采用在框架柱边增设翼墙,改变结构原有体系的方法来达到抗震加固目的。

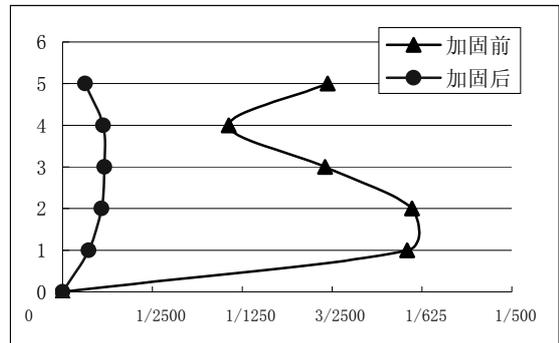


图7 Y向地震下层间最大位移角

(2)翼墙主要承担地震荷载作用,对柱的强度和刚度都有很大提高,保证结构破坏时为强柱弱梁型。带翼墙柱刚度的提高可使梁的负弯矩减小,未加翼墙柱的地震力减小。

(3)翼墙作为次要构件,在计算模型时,可以根据刚度等效原则,采用扁柱或异形柱代替带翼墙框架柱。翼墙可以按照构造要求配筋,新增混凝土墙体应考虑水平施工缝处的抗滑移能力。合理处理好新增墙体与已有构件的连接,且增设翼墙的数量应适当。

(4)翼墙宜沿纵横轴双向布置,从底层贯通到顶层,根据建筑功能特点,选择合适的翼墙尺寸。

#### 参考文献

- [1] 林树枝,李刚,程耿东.提高学校建筑抗震能力的对策建议[J].大连理工大学学报,2009,9(5):644-649.
- [2] GB50011—2001 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] GB50223—2008 建筑抗震设防分类标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [4] 郭猛,刘佩,姚谦峰.翼缘框架柱框架结构的动力特性[J].建筑科学与工程学报,2009,6(2):57-62.
- [5] JGJ116—2009,建筑抗震加固技术规程[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [6] GB50023—2009建筑抗震鉴定标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

作者简介:张鹏程(1972-),男,陕西岐山人,博士,副教授,从事结构抗震防灾方向教学、科研、工程设计,Email:zpcchina@yahoo.com.cn.