

某砖砌体教学楼结构抗震加固设计

王晓星^{1,2}, 李慧剑²

(1. 秦皇岛中兵建设集团股份有限公司, 河北 秦皇岛 066001; 2. 燕山大学, 河北 秦皇岛 066001)

摘要: 某中小学教学楼为典型的 80 年代建造的砌体教学楼, 鉴定结果显示基础稳定, 上部结构材料强度不足, 部分构造设置不合理。在结构抗震加固再设计中, 从概念上分析结构加固的合理性; 合理地确定地震作用影响系数, 对加固前后的结构进行整体计算分析; 对重要及复杂的部分节点进行补充设计。

关键词: 砌体; 教学楼; 加固设计; 抗震; 概念设计; 地震作用折减

中图分类号: TU244.2 文献标志码: A 文章编号: 1003-1375(2013)02-0059-03

0 引言

在汶川和玉树地震中, 中小学校舍都发生了严重破坏, 导致大量师生伤亡, 有关资料显示师生伤亡人数占到总伤亡人数的 1/7, 校舍倒塌率约为 70%^[1], 这是令人非常震惊和痛心的事。为了亡羊补牢, 地震部门要求抗震设计中小学校舍等重要公共建筑物地震影响系数提高一级, 住建部和各省也及时出台了全国中小学校舍安全工程的相关法规及技术指南, 并要求对现有教学楼进行排查和抗震加固, 这些生命线工程应引起各部门尤其是设计部门高度重视。

1 工程概况

某小学教学楼始建于上世纪 80 年代, 具有当时教学楼典型建筑风格, 走廊为外走廊, 横墙间距为 3 个开间, 进深为 6 m, 层数为 4 层, 首层层高为 3.6 m; 其它各层均为 3.0 m。结构形式为砖砌体结构, 楼梯间位于教学楼中部, 基础为毛石基础, 墙体为实心粘土砖墙(门窗为适应采光要求, 单侧采用大门窗洞口), 每层均设置圈梁, 仅四角和大梁下设置了构造柱, 楼屋面均为预制空心板, 经鉴定没有拉结措施。本地区地震设防烈度为 7 度(0.10 g 计算时采用 0.15 g), 地震分组为第 2 组。教学楼加固前首层平面图见图 1。

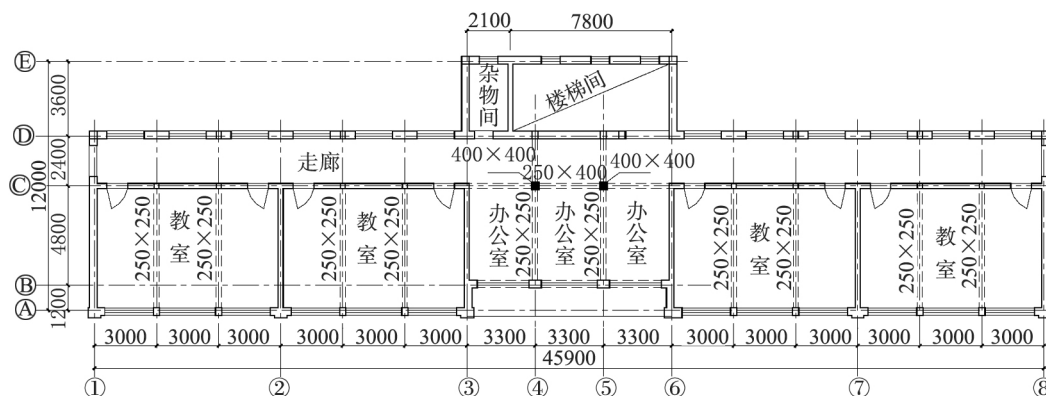


图 1 加固前首层平面图

2 检测结果

改造加固前对原结构进行了检测鉴定, 结果显示: 本工程地基基础稳定, 主体结构安全性鉴定分级为 Csu 级, 砌体砂浆强度不满足要求, 墙体抗震承载力不足, 楼梯部分抗震构造不满足要求。材料强度检测结果见表 1。

表 1 材料强度检测结果表

名称	砂浆强度	砖强度	混凝土强度 /MPa	钢筋保护层 /mm
一层	M0.4	MU10	35.8	31
二层	M0.4	MU10	36.5	30
三层	M0.4	MU10	37.4	26
四层	M0.4	MU10	39.8	28

收稿日期: 2013-01-18

基金项目: 河北省自然科学基金项目(A2008000754)

作者简介: 王晓星(1979—), 男(汉族), 河北邢台人, 硕士, 国家一级注册结构师, 研究方向: 加固结构设计. E-mail: freud1224@163.com

3 抗震结构设计

3.1 概念设计

抗震概念设计和构造措施是为了弥补抗震验算准确性不足的缺陷。目前抗震计算还很不完备和严密。尤其是对于建筑物的加固设计,建筑物建造时材料、施工工艺、施工水平等因素的不确定性对计算结果影响较大。对砌体结构用抗震概念设计和构造措施来满足“大震不倒”的设防目标更加重要^[2]。

砌体为脆性材料,对变形相当敏感,微小的变形就可使构件失去承载能力。由于建筑功能的要求,教室为多开间大进深空旷结构,且侧边为单走廊,结构设计中主要考虑足够的砌体剪力墙来抵抗地震水平作用,纵横向砌体剪力墙数量都较少,整体结构刚度较差,在地震作用下更易出现变形,这是此类结构的技术难点。加固设计中采取了两项加固设计措施。第 1 项技术措施为增设配筋网水泥砂浆面层,增加墙体本身水平抗剪强度,满足结构在弹性受力阶段承载力要求,同时增加墙体的刚度,减少地震作用下变形的影响,必要时墙体也可承担竖向作用。此项技术措施主要提高了多遇地震的抗震能力。第 2 项技术措施是完善圈梁构造柱约束体系^[3-4],当第 1 项技术措施失效时,结构位移增大,结构裂缝产生,导致结构整体刚度减小。圈梁构造柱为钢筋混凝土构件,其抗剪强度大于砌体本身的抗剪强度,且钢筋混凝土材料具有延性,承受变形的能力远大于砌体结构,对砌体在大变形时形成销键与围箍作用,使砌体变成了二维或三维的受压状态,受力条件的改变提高了砌体结构塑性阶段抗震承载力和防倒塌能力。此项技术措施主要提高结构中震和大震阶段抗震能力。

3.2 抗震结构验算

加固结构中的原结构在加固前已经承受荷载,

构件截面存在一定应力,因承载力不足而需加固的构件应力较高,新增构件应力在第 2 次受力时构件才会增加。由于受力条件和材料不同,整个结构在二次受力过程中存在着新增构件应变滞后于原构件应变,新增构件很难达到其材料强度的问题。所以新增构件强度选择时主要考虑新旧材料的变形协调性,而非强度越高越好。

经甲方协商认可,后续使用年限按 30 年设计。抗震整体计算时,水平地震影响系数最大值 α 按相应的设计基准期取值^[5]。

重现期为 $T_j=30$ 年的地震烈度,在 $T=50$ 年内的超越概率:

$$P(I \geq i | 50) = 1 - \exp(-T/T_j) = 1 - \exp(-50/30) = 0.811 \tag{1}$$

50 年内发生的地震烈度 I 的概率分布^[6]:

$$F_3(I) = 1 - P(I \geq i/50) = 1 - 0.811 = 0.189 \tag{2}$$

反算相应地震烈度:

$$I_{30} = \omega - \{(\omega - I_e)[- \ln(F_3(I))]^{\frac{1}{k}}\} = 12 - \{(12 - 5.45)[- \ln(0.189)]^{\frac{1}{8.3339}}\} = 5.036 \tag{3}$$

式中:

ω 地震烈度上限值取 $\omega=12$;

I_e 烈度概率密度分布的众值,比 50 年超越概率低 1.55 度;

k 分布形状系数,基本烈度为 7 度时取 8.333 9^[7];

水平地震影响系数最大值 α :

$$\alpha = \alpha_{\max} \times 10^{(I_{30} - I_{50}) \times \log 2} = 0.12 \times 10^{(5.036 - 5.45) \times \log 2} = 0.09 \tag{4}$$

采用中科院 PKPM 程序中 JDJG 模块进行抗震验算,其结果见表 2。

表 2 加固前后抗震能力指数计算结果

层数	楼层平均抗震能力指数				楼层综合抗震能力指数				墙段综合抗震能力指数			
	加固前		加固后		加固前		加固后		加固前		加固后	
	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
第一层	0.36	0.27	1.13	1.01	0.36	0.27	1.13	1.01	0.44	0.25	1.08	1.00
第二层	0.41	0.30	1.29	1.12	0.41	0.30	1.29	1.12	0.44	0.25	1.10	1.00
第三层	0.42	0.31	1.32	1.08	0.42	0.31	1.32	1.08	0.46	0.26	1.15	1.06
第四层	0.55	0.40	1.62	1.35	0.55	0.40	1.62	1.35	0.58	0.32	1.54	1.17

与加固前计算结果比较有明显不同,加固后首层平面图见图 2。

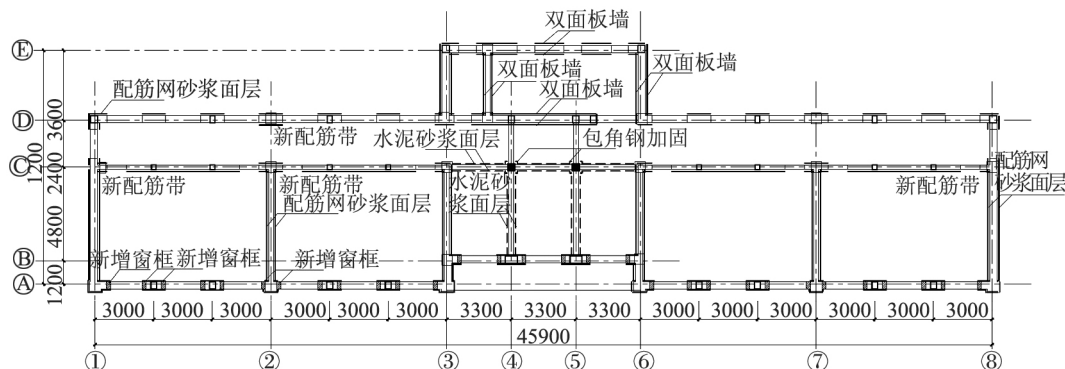


图2 加固后首层平面图

3.3 节点设计

南侧大梁下仅设置了构造柱而无砌体,使纵向上砌体剪力墙与混凝土构造柱难以协同工作,对抗震极为不利,同时南侧抗侧移刚度较小,造成结构刚心与形心偏移较大,不符合结构概念设计中均匀规则的原则,加固设计中为调匀结构刚度,在大窗洞处增设了砌体窗框,在梁下独立构造柱和建筑物四角处增设了组合砖砌体墙,为大梁提供了冗余支撑。与原构造柱拉结节点见图3。

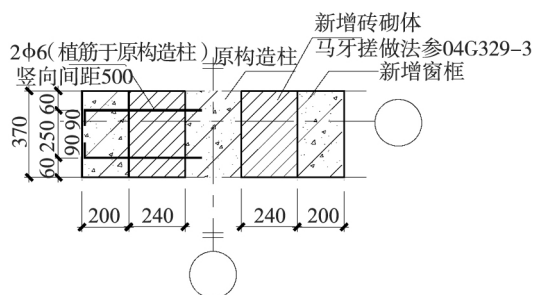


图3 构造柱加固节点

底层入口处大厅仅依靠2个独立柱承担竖向荷载,此处为主要出入口,为震时整栋建筑物的疏散必经点,应提高其安全度。加固设计可采用增大截面法或包角钢法,增加截面法有利于新旧材料的结合,但对整体结构来讲,截面增大导致构件刚度增大,使整个结构刚度更不均匀。工程中采用包角钢的方法来提高构件承载力和延性,这种处理方法难点在于新增角钢与原柱的结合处和梁柱节点的处理。具体做法为凿去独立柱的装饰面层,并对与角钢接触的柱四角磨角,处理完成后刷一道素水泥浆,再用角钢扣柱四角,将缀板与角钢焊接,用压力注浆保证角柱

与原柱紧密结合。对梁柱节点处在角钢对应位置钻孔,用圆钢穿过并焊于角钢上,施工完成后用灌浆料封堵,并在节点位置加大截面,每边宽出柱边50 mm用压力注浆灌实。包角钢节点见图4。

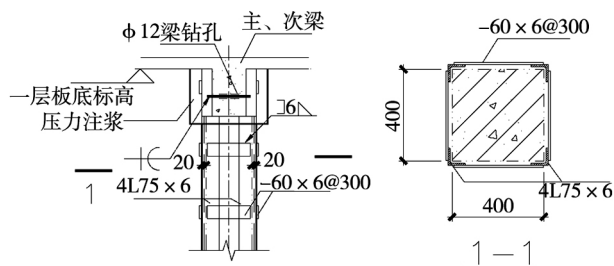


图4 包角钢节点图

楼梯间作为主要疏散通道,墙体采用双面板墙加固,双面板墙可提高楼梯间墙体抗倒塌能力,以防在震中疏散时墙体倒塌伤人;并在层高位置内外侧各放置3φ12加强筋,以减弱楼梯间开洞后平面内楼板局部不连续影响。加固设计中楼梯承载力极限状态验算的活荷载除考虑平常使用时活动人员较多的工况,还需考虑地震时人流密集作为疏散楼梯的工况;对正常使用极限状态验算时不考虑作为疏散楼梯的工况,工程中采用了钢绞线加固处理。

4 结束语

工程设计中通过以三水准抗震设防目标的概念设计明确加固设计的总体思路,通过调整设计使用年限为依据,合理地计算地震作用,减少构件加固工作量,降低工程建设成本。通过完善节点设计,最大程度地减少结构改造对原结构的不利影响,较好地完成加固任务。

(下转第66页)

参考文献:

- [1] 尹唯新. 特种结构[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 彭俊生. 结构概念分析与 SAP2000 应用[M]. 成都:中国交通大学出版社,2005.
- [4] 中国建筑科学研究院. JGJ 3-2002,高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [5] 中华人民共和国冶金工业部. GB 50191-93,构筑物抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [6] 中华人民共和国建设部. GB 50011-2010,建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

Seismic Response Analysis of Strap Traverse Bridge Frame

GUO Huan¹, LIU Jian-kang², YU Yang³, TANG Wei-tao⁴

(1. Civil Engineering department, Shanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, China;

2. China Coal Xi'an Design Engineering Co. Ltd. , Xi'an 710054, China;

3. Investment review center of Tongliao Bureau of Finance, TongLiao 712000, China;

4. Civil Engineering department, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the analysis of strap traverse structural design at home and abroad, SAP2000 was used to make a numerical simulating analysis of Strap Traverse Bridge frame with specific engineering, and the mode analysis is carried out in dynamic characteristics of strap traverse bridge frame by using finite element method. On the basis of Modal Analysis, this paper also carried out response spectrum analysis of the Bridge frame. Considering the influences of the horizontal and vertical earthquake action of structure, 4 conditions have been analyzed in view of the dead weight of structure and seismic action in horizontal and vertical, come to the seismic response of structure under various conditions, through the analysis to get the corresponding conclusion, proposed the rationalization proposal for seismic design of strap traverse bridge frame. The research has a certain theoretical significance and engineering use value.

Key words: Seismic response; SAP2000; Numerical simulation modal analysis; Response spectrum analysis

(上接第 61 页)

参考文献:

- [1] 徐有邻. 汶川地震震害调查及对建筑结构安全的反思[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 杨玉成,杨柳,高云学,等. 安阳市北关小区多层砖房的震害预测[J]. 华北地震科学,1983.9,73-80.
- [3] 张瑞云,张会银,罗建林. 某大坡度屋顶结构教学楼的抗震加固设计[J]. 工程力学,2000,(A2): 394-397.
- [4] 赵士永,李旭光. 砌体结构并联复合隔震建筑有限元分析[J]. 华北地震科学,2011,29(2):23-26.
- [5] 毋剑平. 不同设计使用年限下地震作用的确定方法[J]. 工程抗震,2003,(2):36-39.
- [6] 高小旺,鲍雷斌. 地震作用的概率模型及其统计参数[J]. 地震工程与工程振动,1985,(1):13-22.
- [7] 龚思礼. 建筑抗震设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

Re-design of Seismic Strengthening for Masonry Teaching Building

WANG Xiao-xing^{1,2}, LI Hui-jian²

(1. Qinhuangdao Zhongbing Engineering Technology Co. , Ltd. , Qinhuangdao 066001 China;

2. Yanshan University, Qinhuangdao 066001 China)

Abstract: A typical masonry building of middle and elementary school was built in 1980's. In the process of re-design seismic strengthening the building, First, the seismic appraisal of the building is assessed, the results show that the stable base, the lower strength of material in the upper part, and non-reasonable structural design. Then we analyze the rationality of the structural reinforcement and determine the seismic effect coefficient. The structure calculation was run for before and after strengthening building, and the nodes of the important and complex part were re-design.

Key words: masonry; teaching building; re-design seismic strengthening; earthquake force reduction factor