

青岛加洲国际客运中心项目加固改造设计

孙绍东, 赵琳, 李静, 邹连杰, 陈惠荣
(青岛腾远设计事务所有限公司, 青岛 266100)

[摘要] 青岛加洲国际客运中心项目为A级高度大底盘双塔楼框架-核心筒结构,主体完工后成为烂尾楼。现由于建筑功能改变及立面调整,对其进行了外扩、增层、拔柱、开洞、补洞等一系列改动。由于原设计整体计算参数有一定富余,故后续设计使用年限取50年,按现行规范进行加固改造设计。设计中充分发掘已有结构潜力,尽量避免梁板加固;采用钢箍板加固底部暗柱以保证加固后的底部加强区满足现行规范要求;通过增设钢斜撑形成平面桁架结构,从而实现1层大堂拔柱;合理设计增层生柱及新增悬挑梁,避免了过量植筋对原结构的损伤。通过采取以上措施,较好地实现了建筑功能的改变。

[关键词] 大底盘双塔楼; 框架-核心筒结构; 加固改造; 钢箍板; 拔柱; 增层; 植筋

中图分类号: TU746.3 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2016)05-0001-07

Reinforcement and reconstruction design of Qingdao Jiazhou International Passenger Transport Center

Sun Shaocong, Zhao Lin, Li Jing, Zou Lianjie, Chen Huirong
(Qingdao Tengyuan Design Institute Co., Ltd., Qingdao 266100, China)

Abstract: Qingdao Jiazhou International Passenger Transport Center with A-level height became a half-baked building after completion of main structure. Frame-corewall structural system is adopted in this twin towers with large chassis. Due to architectural function modification and facade adjustment, a series of changes were made, including annex expansion, adding stories, pulling up columns, holing and filling holes. Because there is certain surplus in whole calculating parameters of original design, subsequent service life was designed to 50 years, and current codes were used for reinforcement and reconstruction design. Existing structural potential was fully excavated in design in order to avoid reinforcement of beams and plates as far as possible. To meet requirements of current codes on bottom reinforcing area, hooped steel plates were used in reinforcement of bottom embedded columns. Through adding steel diagonal bracings to form plane truss structure, columns of first floor lobby were successfully pulled up. By rational design of adding stories, newly added columns and cantilever beams, damage to original structures caused by excessive planted bars was avoided. The modification of architectural functions were satisfactorily realized through above methods.

Keywords: twin towers with large chassis; frame-corewall structure; reinforcement and reconstruction; hooped steel plate; pull up column; adding story; planted bar

1 工程概况

青岛加洲国际客运中心项目位于青岛市市北区新疆路,邻近大港码头,原总建筑面积11.2万m²,其中地下1.7万m²,地上9.5万m²,建筑高度127.7m,结构形式为现浇钢筋混凝土框架-核心筒大底盘双塔结构。双塔地上38层,裙房地下2层、地上4层。双塔之间分别在19层和32层通过钢桁架廊桥相连。原设计建筑功能:地下2层为车库;地下1层为商场,局部六级人防;1~4层为商场及国际联检用房,5层、19层为避难层兼设备层;塔楼1的6~18层为办公用房,20层及以上为公寓;塔楼2为宾馆客房。主体结构于1996年完成,1999年完成大部分外围护墙及局部幕墙,随后一直闲置,是迄今为止青岛市最大的烂尾楼。

2012年该工程进行加固改造,变为青岛自由

港湾,主要改造内容有:双塔增层至40层,增层后建筑高度为136.8m;拆除双塔间连廊;原设计标准层建筑功能调整为SOHO办公,标准层角部扩大;地下室局部扩大,修改原车道位置,地下1层调整为车库及设备用房;原设计纯地下室部分增设地上裙房,相应地下室框架柱截面加大;原裙房功能及楼梯、扶梯、电梯等均有调整,部分洞口封堵,新开部分洞口;原联检楼部分的游泳池取消,改为商业用房;两塔楼间裙房1层局部抽柱,拆除2层局部梁板,形成中庭上空;避难层荷载增大,需加固梁板。改造后总建筑面积14.2万m²,其中地下1.8万m²,地上12.4万m²。目前,项目加固改

作者简介:孙绍东,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师,Email: 69610987@163.com。

造已竣工,改造后效果图见图 1,改造前后实景图图 2,3,塔楼 1,2 标准层结构平面图分别见图 4,5,裙房结构平面图见图 6。

2 原设计基本情况

原设计、施工所依据的均为 89 版系列规范。10m 高度处基本风压取值为 0.605kN/m^2 ,抗震设防烈度为 7 度远震,抗震等级:塔楼为二级,裙房为三级。

原设计基础形式:联检楼为钻孔灌注桩,持力层为中风化花岗岩,桩端承载力标准值为 $4\,000\text{kPa}$;主楼及裙房为筏板基础,持力层为中风化花岗岩,承载力标准值为 $2\,500\sim 4\,000\text{kPa}$ 。

混凝土强度等级:墙柱为 C30 ~ C50,梁板为 C30 ~ C40;钢筋为 I 级、II 级;钢结构为 3 号钢。

竖向构件截面尺寸:核心筒外墙厚从 550mm 逐步收到 300mm,塔楼柱从 $1\,400\times 1\,600$ 逐步收到

$800\times 1\,000$,裙房柱为 700×700 。

3 检测鉴定报告基本结论

3.1 检测结论

由青岛理工大学建筑设计研究院提供的检测鉴定报告结论如下:该建筑地基基础已稳定;结构平面布置基本与设计图纸相符;结构构件截面尺寸基本与设计图纸相符;结构构件混凝土强度等级满足设计图纸要求;建筑外观质量基本正常,但存在以下问题:部分构件的混凝土保护层未达到设计要求,部分楼板出现不同程度裂缝,部分混凝土构件钢筋锈蚀。

3.2 鉴定结论

根据《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—1999)^[1]的相关条文,综合考虑地基基础、上部承载结构及围护系统三部分,依据地基基础沉降差,结构构件的承载力、构造、裂缝及变形,围护墙、窗、局部



图 1 改造后效果图



图 2 改造前实景



图 3 改造后实景

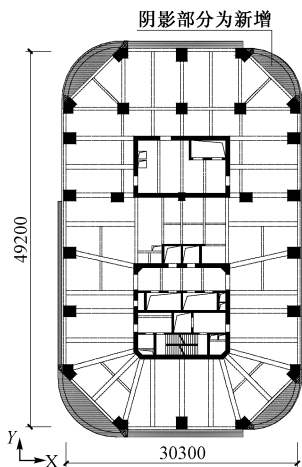


图 4 塔楼 1 标准层结构平面图

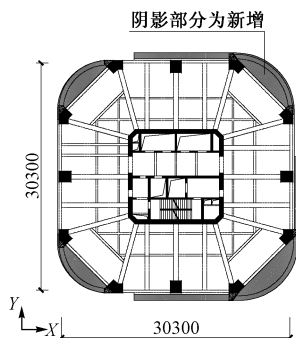


图 5 塔楼 2 标准层结构平面图

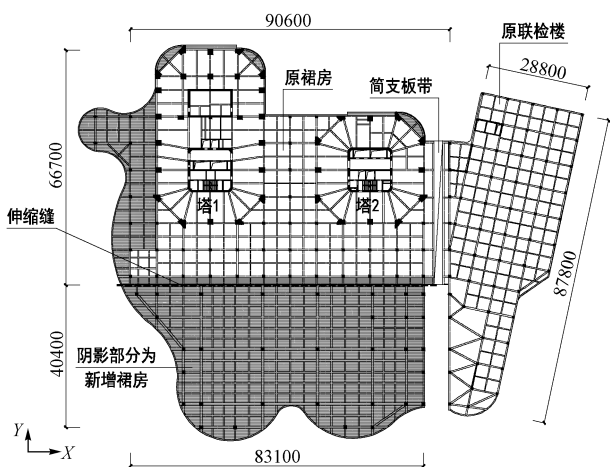


图 6 裙房结构平面图

幕墙所属等级得出的最终鉴定结论为:该大楼整体结构是安全的,其整体安全性等级为 B_{su} 级。

4 加固改造设计的后续使用年限及设计标准

虽然原设计依据为 89 版系列规范,但结构高宽比不大,竖向构件截面尺寸较大,整体计算参数有一定富余。原设计抗震设防烈度为 7 度,但按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[2](简称抗规)及安评参数均为 6 度,且根据检测鉴定结论,结构整体状况良好。由于本工程属增层改造,设计使用年限取 50 年,荷载取值参照《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[3](简称荷载规范),整体计算参照《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)^[4](简称高规)。经计算分析,原结构除底部加强区暗柱不满足抗规对约束边缘构件的要求,需加固处理外,其余部分抗震构造基本满足抗规、高规的要求。

5 设计荷载

5.1 楼面、屋面活荷载

原设计公寓、办公、宾馆等活荷载按 89 版系列规范取 1.5kN/m²,现均按 2.0kN/m² 进行复核。

5.2 风荷载

计算风荷载作用下位移时,风荷载按青岛地区 50 年一遇基本风压 0.60kN/m²,计算风荷载作用下结构承载力时,风荷载按 100 年一遇基本风压 0.7kN/m²。由于本工程位于海边,地面粗糙度按 A 类,风荷载体型系数取 1.4。

5.3 地震作用

按照抗规,青岛市抗震设防烈度为 6 度,设计地震分组为第三组,设计基本地震加速度为 0.05g,水平地震影响系数最大值为 0.04,场地特征周期为 0.45s,建筑场地类别为 II 类。

6 结构布置

6.1 基础形式

原设计塔楼内筏板厚 2m,塔楼外筏板厚 0.8m,基础持力层为中风化花岗岩,经计算不需加固。新增框架柱基础需根据具体情况采用独立柱基或人工挖孔桩。经复核,整体抗浮满足要求。

6.2 结构形式

本工程塔楼结构形式为框架-核心筒结构,主体结构高度小于 150m,为 A 级高度高层建筑,新增裙房为框架结构。

6.2.1 地下室

原设计地下室采用普通梁板结构,结构地下 1 层板厚为 150mm,配筋为双层双向 12@200~12@150;地上 1 层板厚:上有裙房部分为 180mm,纯

地下室部分为 300mm,配筋均为双层双向 14@150;地下 1 层与地上 1 层剪切刚度比大于 2,满足地上 1 层楼板作为整个结构嵌固端的条件。

6.2.2 裙房

两个塔楼在裙房连为一体,原设计裙房顶部连接板厚 180mm,配筋为双层双向 12@150,能够保证上部塔楼水平力的传递。原设计联检楼与两个塔楼所在裙房主体在 4 层顶分开(3 层顶及以下连为一体),仅通过简支板搁置在两侧牛腿上,减小了塔楼与裙房 X 向上下层质心的偏心距;4 层及以下连在一起,结构布置较合理。新增裙房与原设计裙房通过伸缩缝兼防震缝分开,从而使塔楼与裙房 Y 向上下层质心偏心距不超过《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》^[5]的限值,避免了结构超限。

原设计裙房采用普通梁板结构,2、3 层板厚 130mm,配筋为 10@150~12@200,新增裙房顶部采用预应力混凝土梁,现浇楼板。

6.2.3 塔楼标准层

塔楼标准层宽度为 30.3m,高宽比为 4.51<7;核心筒宽度为 12.4m,高宽比为 11.03<12,均满足高规的要求。标准层典型楼板厚度为 120mm。

6.3 抗震等级

根据《建筑抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)^[6],由于本工程裙房商业面积超过 17 000m²,将裙房及相邻的 5、6 层定义为乙类建筑,按 7 度设防要求确定抗震等级。7 层及以上为丙类建筑,按 6 度设防要求确定抗震等级。按抗规确定的抗震等级见表 1,基本与原设计吻合,不同之处在于按照抗规,地下 2 层及底部加强部位以上可比底部加强部位的混凝土墙抗震等级降低一级。

结构抗震等级			表 1
部位	地下 2 层	地下 1 层~地上 6 层	7 层及以上
塔楼内框架	三级	二级	三级
核心筒	三级	二级	二级
塔楼外框架	四级	三级	

6.4 结构材料

混凝土强度等级:加固改造构件原则上计算时采用与原设计相同的混凝土强度等级,施工时要求提高一个等级。新增裙房梁、板、柱混凝土强度等级均为 C40。

钢筋:原设计受力纵筋为 II 级钢,本次设计新增构件板筋、纵筋、箍筋均采用 HRB400,加固改造构件新增纵筋采用 HRB400,箍筋如与原箍筋焊接者采用 HPB235,否则尽量采用 HRB400。

填充墙:M5 专用砂浆和 A5.0 加气混凝土砌块。

7 弹性分析计算结果及结构抗震性能的综合评价

本工程属 A 级高度大底盘双塔框架-核心筒高层建筑,原设计结构布置较合理,本次增层及改造后按高规计算,主要计算结果满足现行规范要求,结构具有良好的抗震性能。SATWE 计算的双塔模型动力特性见表 2,单塔模型计算结果接近,塔楼 1、2 第一阶模态均为 Y 向平动,第三阶模态均为扭转,扭转周期与第一阶平动周期之比小于 0.85,结构抗扭性能较好,满足现行规范要求。

SATWE 计算的双塔模型结构动力特性 表 2

周期 /s		X 向 平动系数	Y 向 平动系数	扭转 系数	振动特性
T_1	3.521 3	0	1	0	塔楼 2Y 向平动
T_2	3.186 2	1	0	0	双塔 X 同向平动
T_3	2.874 0	0.03	0.97	0	塔楼 1Y 向平动
T_4	2.720 1	0.97	0.03	0	双塔 X 反向平动
T_5	1.864 6	0	0.01	0.99	塔楼 1 扭转
T_6	1.779 6	0	0	1	塔楼 2 扭转

PMSAP 计算结果与 SATWE 计算结果基本吻合。地震作用下最大层间位移角:塔楼 1 为 1/2 941,塔楼 2 为 1/2 396;风荷载作用下最大层间位移角:塔楼 1 为 1/2 030,塔楼 2 为 1/1 360;最大位移比为 1.23。层间位移角、位移比均满足现行规范要求。

基底剪重比、各层受剪承载力比值、轴压比、倾覆力矩比例、刚重比等指标均满足现行规范要求。

除在大底盘顶部结构刚度突变,造成地震剪力及层间位移角突变外,其余位置结构沿竖向刚度基本均匀变化,无明显突变。

采用 PMSAP 对裙房各层楼板进行中震作用下的应力分析。水平地震作用下,2~5 层双塔间楼板最大主拉应力依次为 0.12、0.19、1.08、2.28 N/mm²,均小于 C40 混凝土的抗拉强度标准值 2.39 N/mm²,说明中震作用下各层连接板主拉应力自下而上增大,但均小于混凝土的抗拉强度标准值,楼板不会出现贯通裂缝,能有效协调两塔楼的变形。

结构的基础持力层为中风化花岗岩,承载力富余较大,增层后基础不需加固。

8 加固改造方法

本着根据实际情况,尽量减小应力、应变滞后的原则,综合采用了改变受力途径、增大截面、包钢、植筋、粘贴碳纤维等多种加固方法。

由于项目位于海边,原裙房部分主体施工完毕后一直未封闭,受空气腐蚀较严重,对局部钢筋锈蚀的柱、剪力墙、梁、楼板顶面或底面进行了钢筋除锈、补强,并进行必要的加固,保证其耐久性。对出现裂

缝的梁、板,在裂缝处涂刷钢筋防锈剂,用结构胶灌缝,并进行必要的结构处理。对孔洞附近已锈蚀的钢筋先除锈,再涂刷钢筋阻锈剂,灌填混凝土。及时修补混凝土麻面、孔洞等缺陷。

8.1 对原设计结构潜力的发掘

对于由于使用功能改变引起荷载增加的情况,在改造过程中,应尽量发掘原结构中的潜力,避免构件加固。本工程主要从以下方面着手,避免了大量的结构梁、板加固:

(1)板厚较大时,采用有限元软件进行计算,充分利用板刚度的贡献,减小梁的配筋。

(2)在梁跨中考虑有效翼缘宽度范围内的楼板作为梁的受压区;在梁端考虑有效翼缘宽度范围内楼板的配筋作为梁负弯矩筋的一部分,有效翼缘宽度范围偏安全地取梁每侧各 3 倍板厚。

(3)梁负弯矩较大而跨中正弯矩配筋有富余时,考虑支座弯矩向跨中适当调幅。新西兰著名抗震工程专家 Pauly 指出,当调幅幅度控制在 30% 以内时,由于塑性铰区箍筋加密,能够满足对截面曲率延性增加的要求^[7]。

(4)梁柱刚性连接时,框架梁负弯矩的实际控制截面为柱边,而 SATWE 等计算软件将梁柱均简化为线性杆件,由此引起梁端负弯矩计算值偏大,高层建筑的柱截面较大,误差甚至可达 50%。参照文献[8],支座实际负弯矩取弹性分析所得峰值弯矩减去 $Va/3$,其中 V 为弹性分析梁端剪力, a 为柱宽。

(5)当梁或板与其支座非刚性连接(如支座为梁)时,参照文献[9],将支座负弯矩削峰,削峰后的支座负弯矩为 $M - \Delta M = M - bV/8$,其中 M 为弹性分析支座弯矩, ΔM 为弯矩削峰值, b 为支座梁宽, V 为

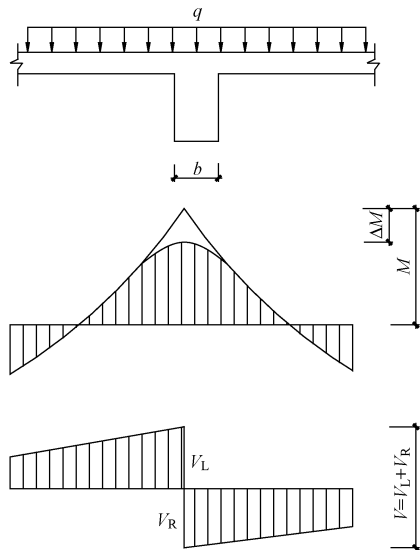


图 7 梁或板与其支座非刚性连接时弯矩削峰

左右两端剪力之和(图 7)。

8.2 核心筒底部加强部位暗柱加固

抗规要求在塔楼钢筋混凝土核心筒的底部加强区设置剪力墙约束边缘构件,这一规定是 89 版系列规范中所没有的。因此,如何处理剪力墙底部加强区的加固问题,是能否保证加固后的结构底部加强区满足现行规范要求的关键^[10]。本工程原设计核心筒剪力墙暗柱箍筋肢数不足,采用钢箍板加固底部加强区暗柱,钢箍板固定尽量采用对拉螺栓,以增加对剪力墙暗柱的横向约束,改善混凝土受压性能,增强延性,典型暗柱加固详图见图 8。

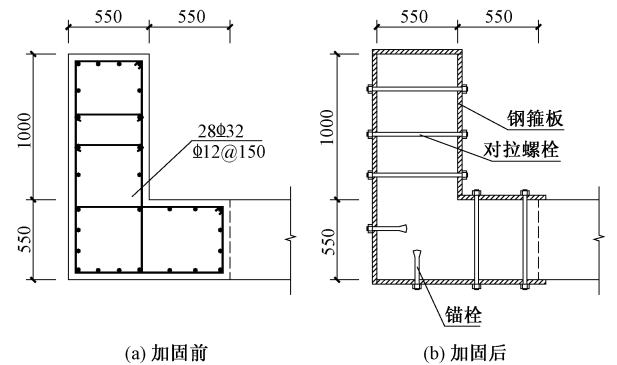


图 8 核心筒底部加强区典型暗柱加固

8.3 大堂拔柱结构设计

建筑功能要求在 1 层大堂拔掉一根柱,局部楼板开洞,拔柱后上部尚有 3 层高柱不能落地,拔柱改造前后结构局部平面见图 9,10。为此,在 2 层设两道钢斜撑形成平面桁架结构,原 1 层顶两跨梁拔柱后合为一跨,从而原设计支座处上部受拉变为下部受拉,为此对柱两侧各向外 1m 范围内梁包钢,将被截断的柱、梁纵筋塞焊于钢板,其余部位设锚栓固定

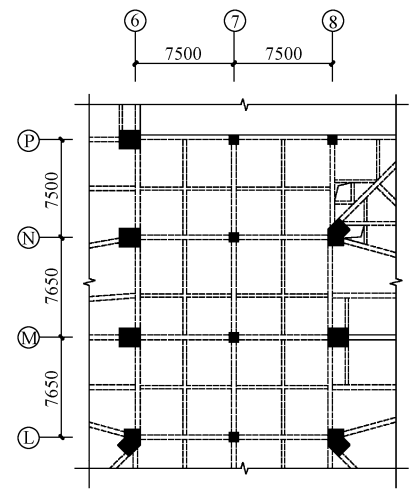


图 9 1~4 层顶改造前
结构平面图

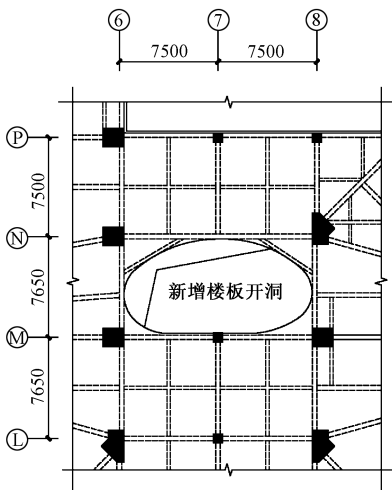


图 10 1 层顶改造后
结构平面图

钢板,协调钢板与混凝土梁变形。拔柱后的框架立面图及相关详图见图 11,12,图中未注明钢板厚度均为 10mm,后灌环氧。柱截断前钢斜撑施工完毕,周边一层顶梁板采取可靠支顶。采用 ETABS 软件进行计算,拔柱处节点恒载 + 活载作用下竖向弹性挠度为 8.6mm,长期挠度增大系数可偏安全地取 3^[8],故长期挠度为 25.8mm,约为拔柱后梁跨度的 1/559。根据青岛理工大学建筑结构实验中心的观测报告,拔柱后现场观测梁的最大竖向挠度为 12.06mm,长期挠度偏安全地取 $3 \times 12.06 = 36.18\text{mm}$,约为拔柱后梁跨度的 1/414,满足《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[11]要求。采用 ETABS 计算的该榀框架竖向挠度及弯矩示意图见图 13,拔柱前后现场照片见图 14。

8.4 增生柱节点详图

生柱的下一层采用围套加大截面,生柱纵筋向下延伸至底部,焊接于下一层柱底箍板上,生柱的第 1 层柱截面与生柱下一层截面相同,见图 15,从生柱第 2 层起,柱截面尺寸收进。采用这种方法生柱,可避免新增柱纵筋时要往原柱内大量植筋而造成下一层柱截面严重削弱,保证了生柱的可靠性。

8.5 新增悬挑梁设计

新增悬挑梁一般根部配筋数量较多,直径较大,若采用植筋方法,则需在一般构件植筋深度的基础上乘以放大系数 1.5,植筋深度过深,施工操作困难,对柱损伤过于严重;悬挑梁为静定结构,无冗余约束,一旦植筋胶失效,后果严重。因此应尽量避免采用植筋的方法新增悬挑梁。本工程采用柱包钢焊钢牛腿,将钢筋混凝土悬挑梁上下部纵筋焊于牛腿翼缘上的方法,避免密集植筋,保证了悬挑梁的安全

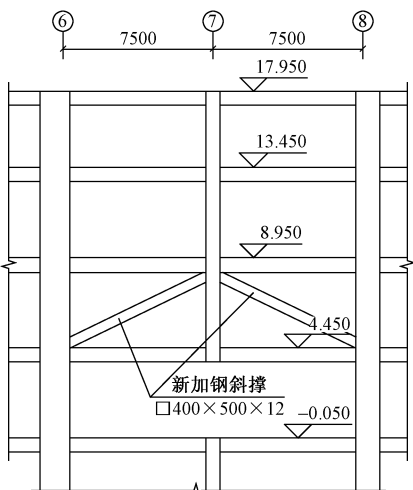


图 11 拔柱后框架立面图

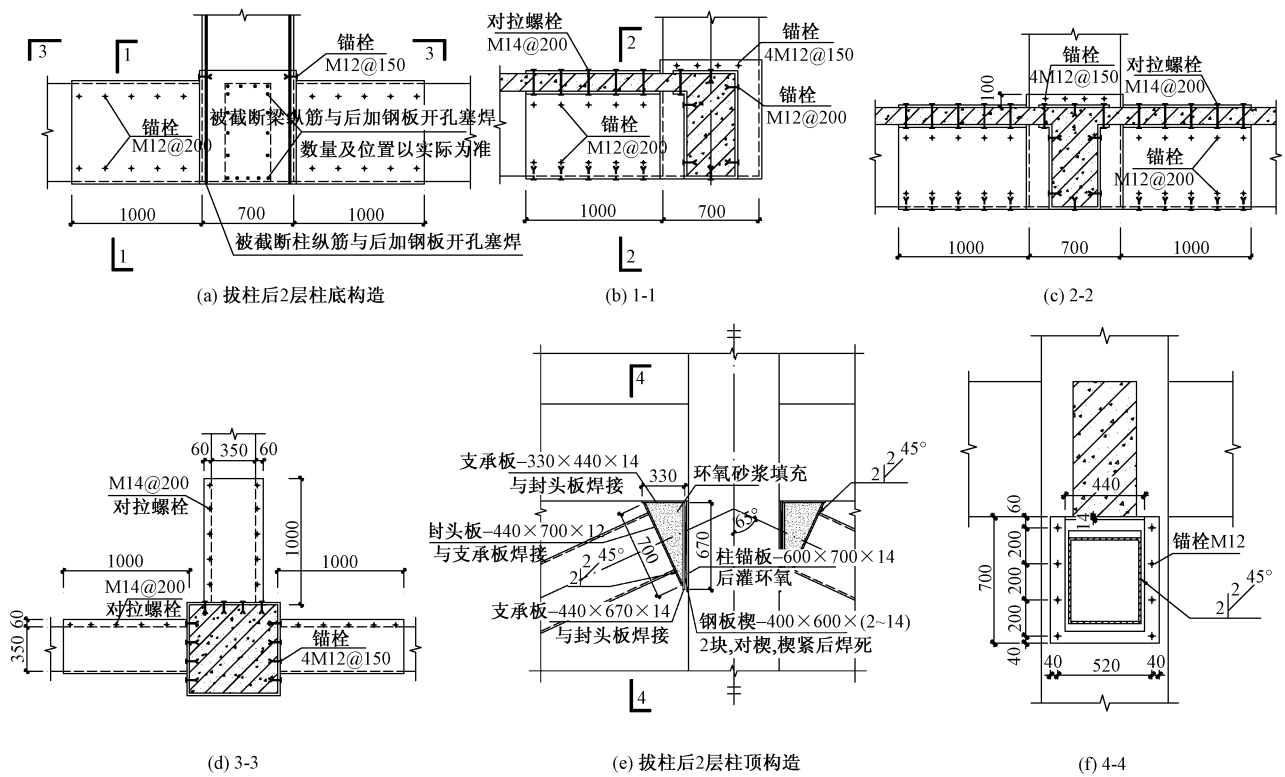


图 12 拔柱后 2 层框架及斜撑详图

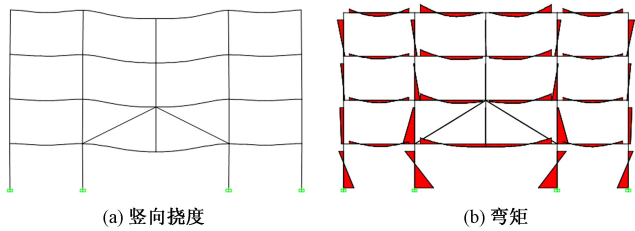


图 13 ETABS 计算的该榀框架竖向挠度及弯矩示意

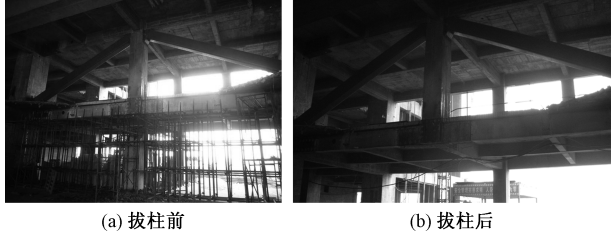


图 14 拔柱前后现场照片

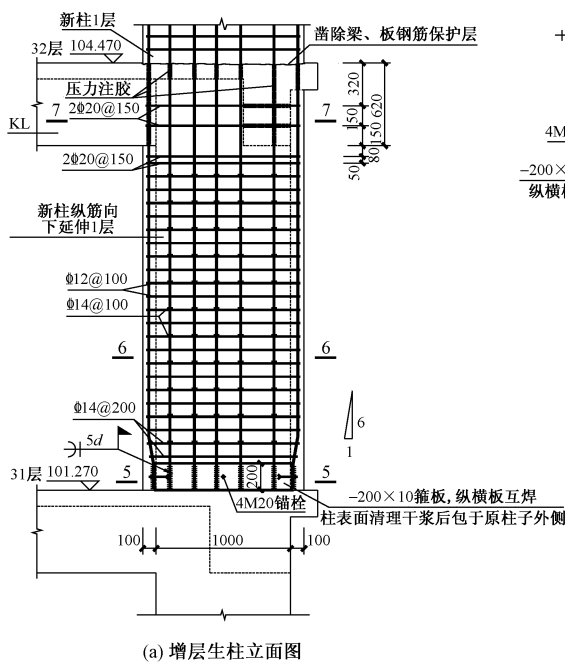


图 15 增生柱详图

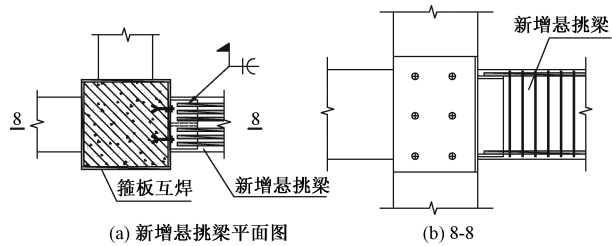


图 16 新增悬挑梁详图

可靠(图 16)。

9 结论

(1)本工程原设计依据虽为 89 版系列规范,但由于整体计算参数有一定富余,检测鉴定结果较好,故后续设计使用年限可取 50 年,按现行规范进行加固改造设计。

(2)加固改造项目应充分发掘已有结构潜力,尽量避免梁板加固。

(3)当原结构底部加强部位剪力墙不满足现行规范对约束边缘构件的体积配箍率要求时,可采用钢箍板加固底部暗柱以增强其延性。

(4)通过增设钢斜撑形成平面桁架结构而实现了 1 层大堂拔柱。

(5)应合理设计增层生柱及新增悬挑梁,避免过量植筋对原结构的损伤。

参 考 文 献

[1] GB 50292—1999 民用建筑可靠性鉴定标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,1999.

[2] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2010.

[3] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2012.

[4] JGJ 3—2010 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,2011.

[5] 建质[2010]109 号 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部,2010.

[6] GB 50223—2008 建筑抗震设防分类标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2008.

[7] PAULY T, PRIESTLEY M J N. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.

[8] 尼尔逊 A H. 混凝土结构设计[M]. 12 版. 过镇海, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社,2003.

[9] 莱昂哈特, 门尼希. 钢筋混凝土结构配筋原理[M]. 程积高, 译. 北京: 水利电力出版社,1988.

[10] 赵佩修. 高层建筑改造加固设计中的问题探讨[J]. 建筑结构,2007,37(3):16-19.

[11] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2011.

《减震技术通讯》征稿启事

2014 年 2 月,住房和城乡建设部在全国范围内发布了《关于房屋建筑工程推广应用减隔震技术的若干意见(暂行)》,旨在有序推进房屋建筑工程应用减隔震技术,并确保工程质量。在这一政策背景下,2014 年 5 月,中国土木工程学会防震减灾技术推广委员会联合《建筑结构》期刊共同创立了《减震技术通讯》,且在 2015 年改为季刊,目前已刊出 7 期,此刊伴随《建筑结构》正刊随刊赠阅,虽暂时没有刊号,但却为防震减灾技术的发展提供了一个广泛交流的平台。周福霖院士担任编辑委员会主任,周云教授担任副主任委员。

2015 年 12 月,为了及时推送分享减隔震技术最新资讯,《建筑结构》杂志社特开通减震技术官方微信平台,争取为广大读者及粉丝提供前沿的动态及更周到的服务。《减震技术通讯》主要面向于防震减灾的技术发展趋势、设计分析问题、工程案例、软件应用、会议通知、产品咨询、行业规范等,历次防震减灾的发展历程,剖析减震技术的发展现状,分享专业领域的前沿动态,进一步推动我国减震技术的研究与应用,促进我国防震减灾事业科学、规范和有序发展。现征集《减震技术通讯》稿件,具体事项如下:投稿邮箱:wudy@

cadg.cn(唯一接收稿件的方式)。投稿要求:投稿论文必须具有原创性,有独到见解和学术价值,经评审后择优录用,提交论文时请注明“减震技术通讯”,收到投稿稿件后我们会在七个工作日内通过邮件回复,如未收到回复请及时联系我们。论文请使用 word2003 严格按照格式排版,详细要求可登录《建筑结构》官方网站(www. buildingstructure. cn)(点击“投稿”>“稿件版式”,下载即可),务必在稿件中注明联系人的姓名、手机号、单位名称和 Email(缺一不可)。

投稿 查 询 电 话: 010-57368782/9042。网 址: www. buildingstructure. cn。

