

魏 路, 程昭波, 钟维浩, 等. 某高位转换高层建筑结构设计[J]. 华南地震, 2015, 35 (2): 10–17. WEI Lu, CHENG Zhaobo, ZHONG Weihao, et al. Structure Design of A High-rise Building with High-level Transfer Story[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(2): 10–17.]

某高位转换高层建筑结构设计

魏 路, 程昭波, 钟维浩, 刘淼鑫, 黄作军, 伍 阳

(广东省建筑设计研究院, 广州 510010)

摘要: 对某高位转换高层建筑进行结构设计分析, 重点分析了 PKPM 不同计算模块对转换构件的计算结果, 对比发现不同的模块计算结果有较大不同, 在结构设计时应将结果进行仔细分析综合判断, 才能作为设计依据。同时根据规范设定的抗震性能目标, 研究结构的整体抗震性能, 分别进行多遇地震作用下的弹性反应谱分析和罕遇地震作用下的推覆分析, 结果表明: 结构满足抗震性能要求。在多遇地震作用下, 结构完全处于弹性工作, 在罕遇地震作用下, 塑性铰出现的时间和位置合理, 满足抗震性能要求。

关键词: 高位转换; 转换梁分析; 推覆分析

中图分类号: TU973.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 02-0010-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.02.002

Structure Design of A High-rise Building with High-level Transfer Story

WEI Lu, CHENG Zhaobo, ZHONG Weihao,
LIU Miaoxin, HUANG Zuojun, WU Yang

(The Architectural Design and Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510010, China)

Abstract: In this paper, the structural design for a high-rise building with high-level transfer story is carried out within PKPM different calculation module components. The paper compares the results and finds that there existed quite different in different modules. So the results which had been carefully analyzed can serve as a design basis in the structural design. Meanwhile, according the seismic performance objectives set by the specification, the paper studies the overall seismic performance of the structure by the elastic earthquake response spectrum analysis and rare earthquake pushover analysis. The results show that the structure meets the seismic performance requirements; the structure is completely elastic in the weak earthquake and in rare earthquake; the reasonable time and location of plastic hinges appear to meet the seismic performance requirement.

Key words: High-level transfer story; Transfer beam analysis; Pushover analysis

收稿日期: 2014-09-27

作者简介: 魏 路 (1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事建筑结构设计。

E-mail: mrweilu@qq.com.

0 工程概况

本工程位于场地惠州市仲恺高新区，总建筑面积为 55 350 m²，其中地下建筑面积 12 706 m²。本工程为商住建筑，地面以上 26 层，其中 1 至 5 层为裙房部分，6 至 26 层为塔楼部分，首层层高 5.9 m，第 2 至 3 层层高 4.9 m，6 层架空层层高 5.5 m，塔楼标准层层高 2.9 m，地面以上建筑物总高度为 87.2 m。地面以下 2 层，主要为停车库及设备用房。

本工程根据建筑立面和功能的要求，采用部

分框支剪力墙结构体系。考虑工程实际情况，通过方案比选确定转换结构采用梁式转换结构：第 6 层局部结构竖向柱构件上下不连续贯通，上部的住宅采用剪力墙结构，通过转换梁和框支柱共同实现对整个结构力的传递和衔接。本工程结构水平布置相对均匀，竖向结构布置不均匀，通过调整转换层上下竖向构件的大小调整刚度比满足要求。结构设计地震分组为第一组，设计基本地震加速度值为 0.05 g，场地土类型为 II 类，场地特征周期为 0.35 s。图 1 为标准层平面，图 2 为转换层结构平面。

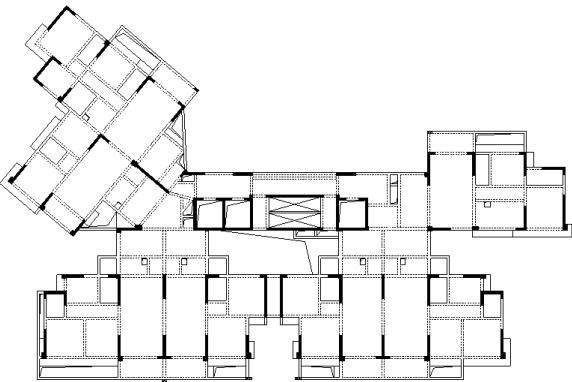


图 1 住宅标准层平面图
Fig.1 Plan of standard story

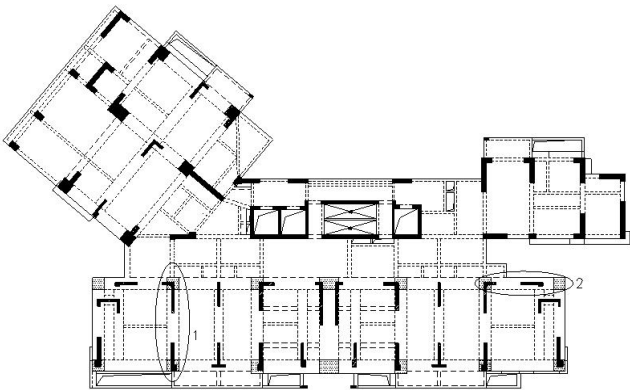


图 2 转换层结构平面图
Fig.2 Plan of transfer story

由于本工程转换层上部剪力墙平面布置较为复杂，经过对结构方案的分析比较，并根据上部剪力墙的平面布置情况，决定采用梁式转换。转换主梁截面尺寸为：最大截面为 $b \times h = 1\,200 \times 2\,000$ ，典型截面为 $b \times h = 1\,000 \times 1\,800$ ；转换层板厚为 180 mm。

1 转换结构构件计算分析

1.1 受力特点

当上部竖向构件布置复杂时，框支主梁除了要承受上部剪力墙、柱的作用外，还要承受转换次梁及其上部剪力墙、柱的作用。这种多次转换传力路径长，并且框支主梁受到较大的剪力、扭矩和弯矩，容易发生受剪破坏。因此，因对其进行应力分析，按应力校核配筋，并加强配筋构造措施^[1]。

转换梁与上部墙体受力密切相关，它们成为一个结构整体，共同参与工作。实际上，转换梁上部墙体的布置形式将影响它与梁共同受力的比

例关系。在一般工程项目中，墙体的布置形式主要分为以下 3 种情况：① 部分墙体支承在框支柱上(图 3)；② 转换梁满跨支承着墙体(图 4)；③ 墙体支承在转换梁跨中(图 5)。

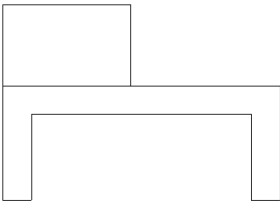


图 3 部分墙体支承在框支柱上
Fig.3 Part of the wall supported on the frame pillar

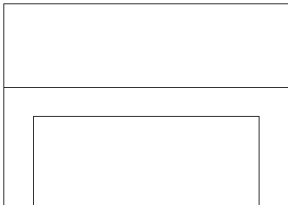


图 4 转换梁满跨支承着墙体
Fig.4 Transfer beams full covered with walls

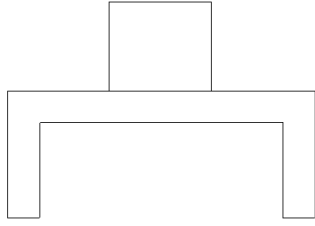


图5 墙体支承在转换梁跨中

Fig.5 Part of the wall supported in the transfer beams

1.2 转换梁有限元分析

本工程结构整体分析采用 SATWE 结构计算软件, 转换梁采用高精度平面有限元模块(FEQ)进行应力分析。并采用 PMSAP 模块, 将在 SATWE 中为杆单元的转换梁转换成壳单元进行计算, 对比分析计算结果。

采用 FEQ 模块进行分析计算时, 框支单元按全轴线截取, 层数从地上首层取至转换层上部 3 层^[2]。转换主梁分析单元选取 1、2 号梁(图 2)。

1 号转换梁截面尺寸为 $b \times h = 1\,000 \times 1\,800$, 梁净跨 5.9 m, 混凝土等级为 C40。采用 SATWE 对结构进行整体计算分析, 得 1 号转换主梁的弯矩和剪力包络图如图 6、7 所示。

由图 6、7 可得, 转换主梁最大支座负弯矩为 3 048 kN.m, 且左右两端负弯矩在 1/3 梁净跨处已为 0。正弯矩最大值为 3 179 kN.m, 位置靠近上部墙体的一端。剪力最大值为 2 719 kN, 且无较大突变。由弯矩和剪力图可知转换梁的受力形式类似于在梁上施加均布荷载的情况。

采用 FEQ 模块, 选择两个工况下的计算结果进行应力分析: 工况 1: 恒载; 工况 2: Y 向风载。 σ_x 、 σ_y 和 τ_{xy} 的应力分布图如图 8、9、10 所示

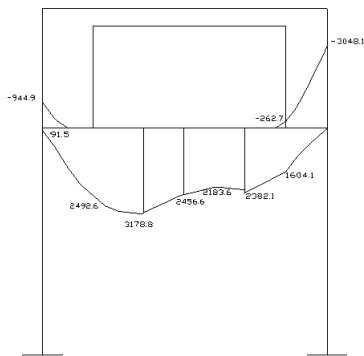


图6 转换主梁弯矩包络图(kN.m)

Fig.6 Moment envelope of transfer beams

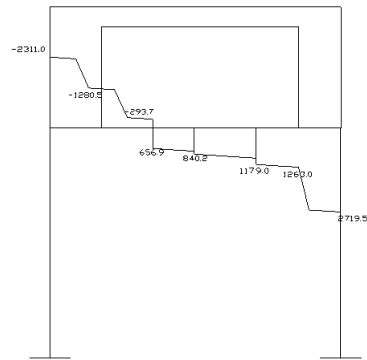
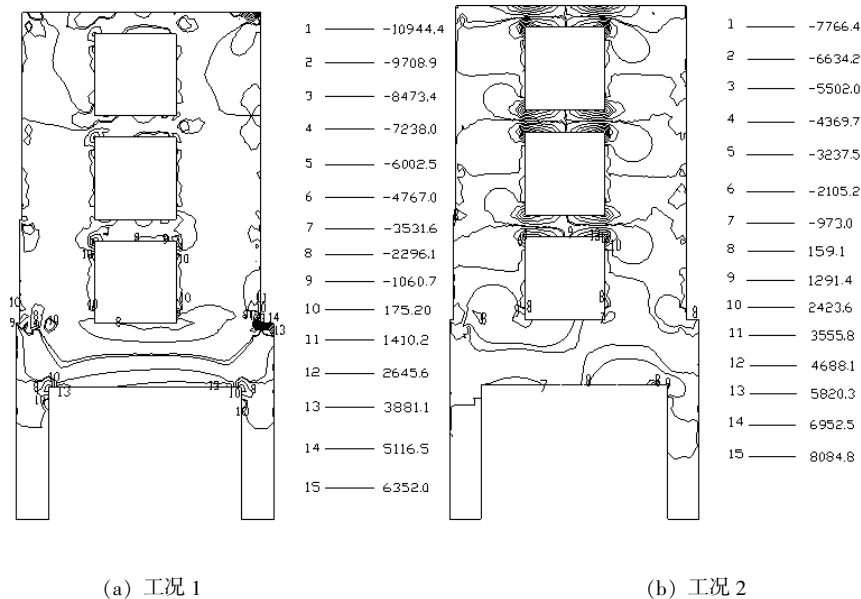


图7 转换主梁剪力包络图(kN)

Fig.7 Shear envelope of transfer beams



(a) 工况 1

(b) 工况 2

图8 σ_x 等应力线 (kN/m^2)Fig.8 Isallostress Line of σ_x

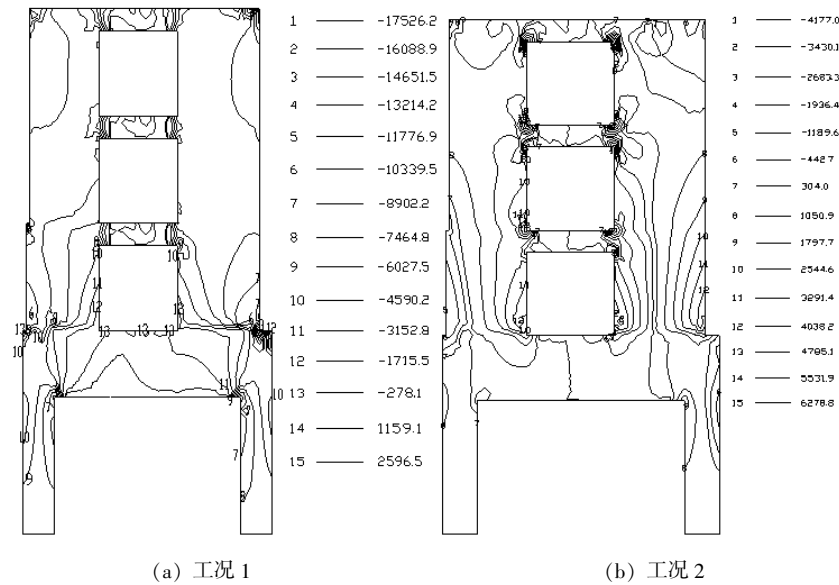


图 9 σ_y 等应力线 (kN/m^2)

Fig.9 Isallostress Line of σ_y

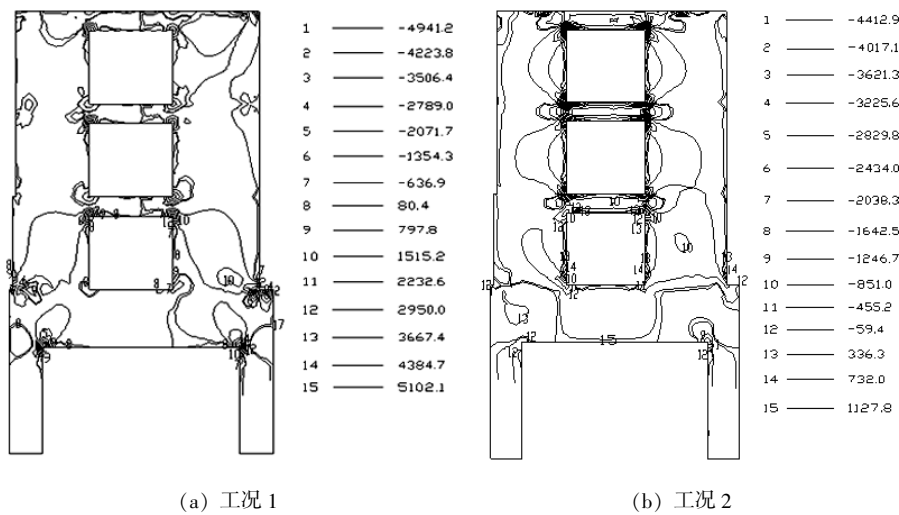


图 10 τ_{xy} 等应力线 (kN/m^2)

Fig.10 Isallostress Line of τ_{xy}

(1) 从 σ_x 等应力线可看出, 梁的零应力基本靠近梁高度的中间位置, 梁跨中下部受拉, 上部受压, 转换梁由于梁高较高, 一般属于深受弯构件。

(2) 从 σ_y 等应力线图则可得, 转换梁于上部墙体共同参与工作, 在梁端下部及在转换柱上的剪力墙端部存在应力集中的现象, 因此设计时这两个部位应考虑局部承压的情况。

(3) 从图 10 可看出, 梁上有墙体的部位, 梁和墙共同工作, 一同承担剪力, 而最大的剪应力出现在上部没有墙体的梁端。由此可得, 在设计时不但要保证转换梁和墙体有足够的抗剪能力, 还有注意加强上部无墙的梁端的配筋及构造措施。

通过 PMSAP 模块的计算, 得转换梁的弯矩和剪力的包络图, 如图 11、12 所示。

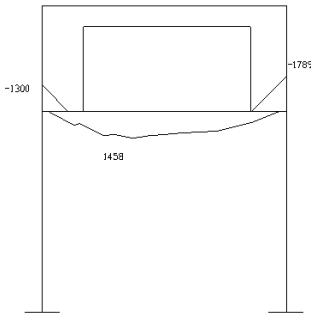


图 11 转换主梁弯矩包络图 (kN.m)

Fig.11 Moment envelope of transfer beams

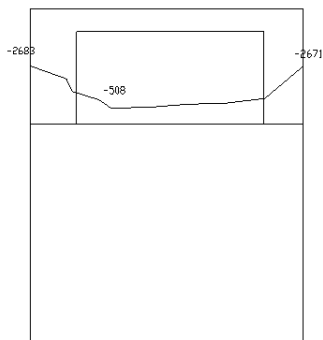


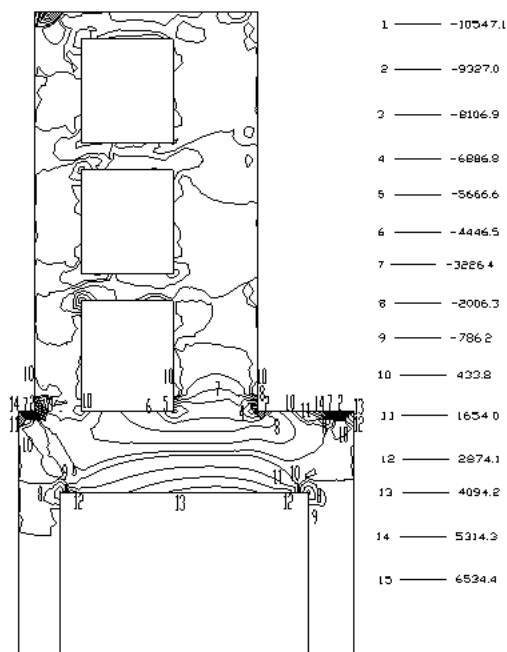
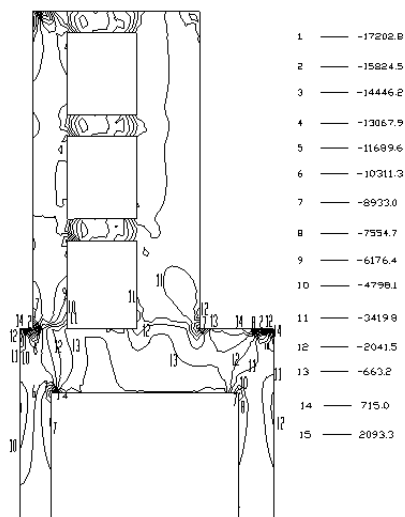
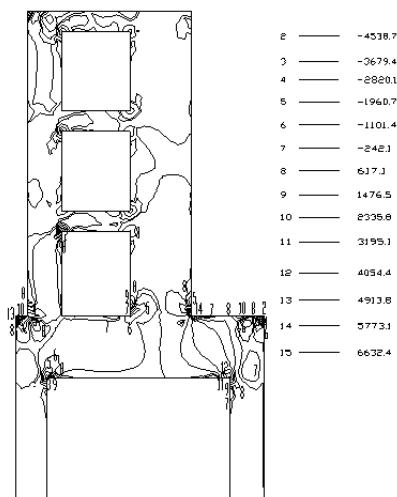
图 12 转换主梁剪力包络图 (kN)

Fig.12 Shear envelope of transfer beams

与 SATWE 计算结果对比发现, 弯矩图曲线基本相似, 支座最大负弯矩和跨中最大正弯矩值均比 SATWE 计算结果小; 剪力图较为不同, 但最大剪力值相近, 且均在梁端处。值得注意的是, PMSAP 计算结果显示转换梁最大拉力为 1 050 kN, 比 SATWE 计算值大一倍。所以在配筋时应按照 PMSAP 计算结果对转换梁进行拉弯构件的验算校核。

2 号转换主梁尺寸为 $b \times h = 1\,000 \times 1\,800$, 梁净跨 5.3 m, 混凝土等级为 C40。其上部墙体布置形式与 1 号转换梁有所差别, 属于剪力墙布与跨中的类型。选取通过 FEQ 模块的计算结果, 分析其与 1 号梁在受力特点上的区别。

选择恒载工况下的计算结果, σ_x 、 σ_y 和 τ_{xy} 的应力分布图如图 13、14、15 所示。

图 13 σ_x 等应力线 (kN/m²)Fig.13 Isallostress Line of σ_x 图 14 σ_y 等应力线 (kN/m²)Fig.14 Isallostress Line of σ_y 图 15 τ_{xy} 等应力线 (kN/m²)Fig.15 Isallostress Line of τ_{xy}

(1) 通过对比图 8 和图 13, 可发现当剪力墙布置与梁跨中时, 梁与墙的压应力线分布一致, 说明转换梁与上部墙体共同受力, 一同抵抗抗外弯矩。对于 1 号梁, 2 号梁与墙的共同作用更为明显。

(2) 通过对比图 9 和图 14, 发现在这两种墙体布置情况下, 墙体的端部与转换梁相接的部位均出现应力集中的情况。

(3) 从图 15 可看成最大的剪应力没有出现在跨中段的剪力墙内, 而是出现在上部没有墙体的转换梁跨内。此受力情况和 1 号梁相似。

2 结构抗震性能分析

2.1 性能目标和结构布置

本工程属于竖向不规则结构, 综合考虑结构

的规则性和规范抗震性能要求,结构设定的最终的性能目标为: 整体结构满足基本抗震设防目标, 提高关键结构构件的抗震性能目标^[2]。拟定的结构满足在多遇地震和罕遇地震下性能目标, 见表 1。

表 1 结构抗震性能目标
Table 1 Seismic performance indicators

结构构件		多遇地震	罕遇地震
整体性能	层间位移角	1/1 000	1/120
构件性能	剪力墙	保持弹性, 满足规范要求	可部分进入屈服
	连梁	保持弹性, 满足规范要求	可大部分进入屈服
	框架梁	保持弹性, 满足规范要求	可部分进入屈服
	框支结构	保持弹性, 满足规范要求	不进入屈服

2.2 多遇地震作用下结构反应谱分析

结构在多遇地震作用下的变形计算采用弹性反应谱方法分析。设防地震动参数如下: 基本烈度为 6 度(0.05 g), 地震分组为第一组, 场地类别为 II 类。

图 16 给出了反应谱分析得到的结构两个方向的层间位移角和层间剪力计算情况。由分析结果可见, 结构在多遇地震下, X 方向最大层间位移为

1/6 056, Y 方向最大层间位移为 1/2 666, 均满足根据规范设定抗震性能目标最大层间位移角 1/1 000 的限值要求, 且可见 Y 方向整体抗侧刚度较弱。同时通过层间剪力对比可见, X 方向的层间剪力比 Y 方向要大, X 方向的最大层间剪力为 3 392.23 kN, Y 方向的最大层间剪力为 2 773.63 kN。结构在小震下完全处于弹性工作, 满足设定的抗震性能目标。

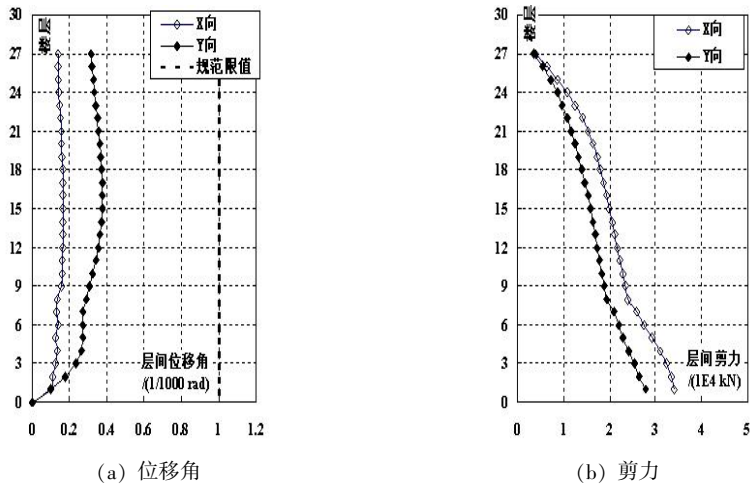


图 16 层间位移角和剪力对比
Fig. 16 Comparison of inter-story drift angle and shear

2.3 罕遇地震作用下结构推覆分析

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定, 竖向不规则且有明显薄弱层的结构, 在地震作用下, 有可能使得结构局部受到较大的破坏, 为此要对此类结构进行弹塑性变形分析。结构推覆分析是基于性能的静力弹塑性抗震设计, 即是设定结构的性能目标来评价结构设计能否满足性能要求的设计方法。

本工程为带高位转换层的高层建筑, 因此对该结构进行了推覆分析。图 17 给出了结构两个方

向的抗倒塌验算曲线, 图 18 给出了结构各楼层在性能点层间位移角。根据表 1 提出的抗震性能要求, 结构在罕遇地震下的层间位移角限值为 1/120, 以此为控制指标评价结构变形性能。在结构完成推覆分析后, 结构的罕遇地震性能点对应的 X 方向最大层间位移角为 1/1293, Y 方向最大层间位移角为 1/750, 均满足了性能要求的限值。从图 18 可见, 在结构性能点, X 方向的最大层间位移角在 12 层, Y 方向最大层间位移角在 14 层, 结构在转换层有明显刚度突变。

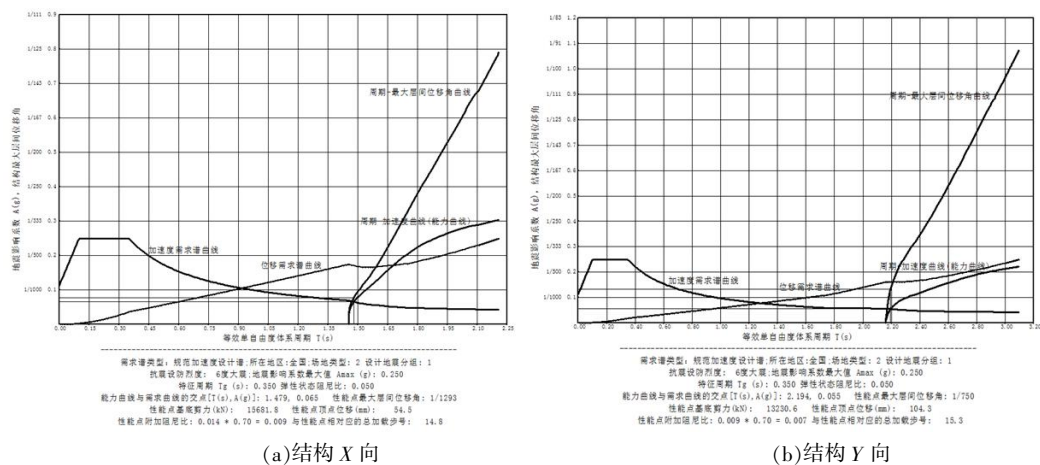


图 17 结构的 X 向和 Y 向的抗倒塌验算曲线

Fig.17 Collapse resistance calculation curve of structure in X direction and Y direction

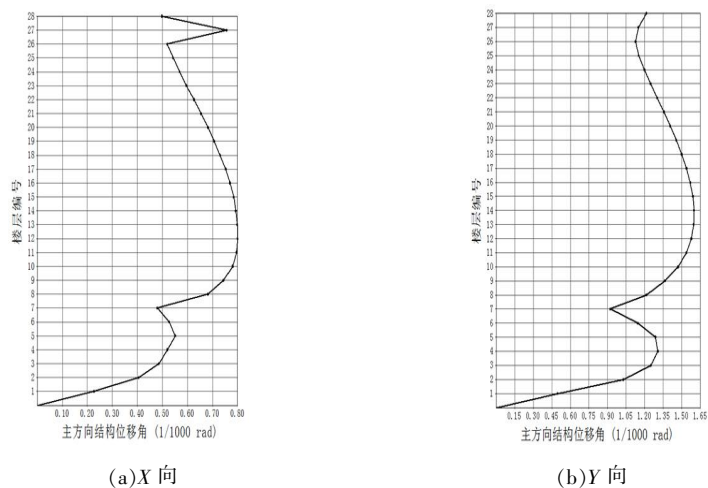


图 18 X 向和 Y 向性能点层间位移角

Fig.18 Inter-story drift angle of performance point in X direction and Y direction

图 19 分别给出了结构推覆分析得到的两个方向的罕遇地震性能点加载步对应的结构塑性铰出

现和损伤情况，其中黄色部分代表构件已进入塑性破坏阶段，红色部分为损伤较严重部分。

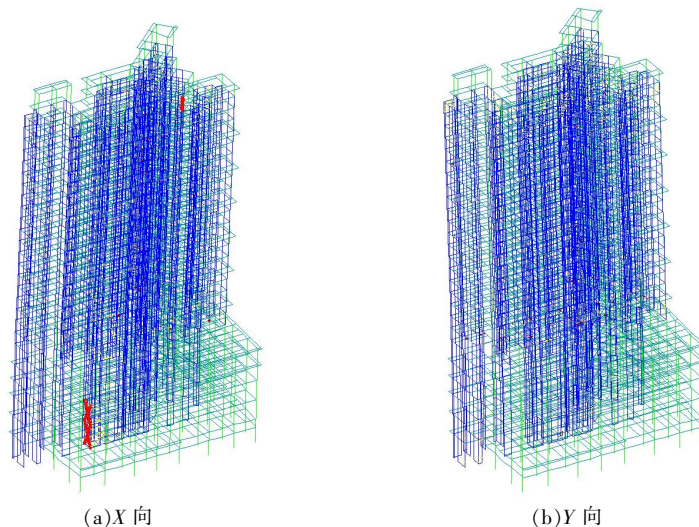


图 19 罕遇地震 X 向和 Y 向性能点塑性铰图

Fig.19 Plastic hinge map of performance point in X direction and Y direction under rare earthquake

从图 19 中可见,到罕遇地震性能点位置,结构 X 方向剪力墙塑性损伤主要集中在底部区域和塔楼有竖向收进的区域,塑性铰(黄色)基本上出现在连梁上,框架梁和柱基本不出现塑性铰,转换构件没有进入塑性;结构 Y 方向的塑性损伤主要出现在连梁上,连梁作为结构首要损伤的构件出现较多红色塑性铰,剪力墙和框架结构基本没有出现损伤,转换层构件也没用进入塑性破坏。从整体上看,塑性铰出现的时间和位置都比较合理,剪力墙和连梁作为抗震的第一道防线,首先进入塑性破坏,有力的保护结构重要构件不受到破坏;框架结构作为抗震的第二道防线,基本不出现塑性铰。可见结构形成合理的整体型结构屈服机制,满足表 1 提出的抗震性能要求。

3 结语

通过三个计算模块的计算结果对比分析及罕遇地震作用下的推覆分析得出以下结论:

(1) 未跨支承墙体的转换梁受力形式与深

受弯构件类似。上部墙体与转换梁共同参与工作,共同抵抗外弯矩,此受力特点在墙体布置在梁跨中时更为明显。梁的最大剪力处为上部无墙部位,设计时应对此处抗剪承载力予以重视。

(2) 由于与上部墙体共同参与工作,转换梁端出现竖向应力集中的情况,设计时应保证其局部抗压承载力。

(3) 应重视转换梁所受的轴力,在配筋计算时应按拉弯构件对其进行复核验算。

(4) 在多遇地震作用下,结构完全处于弹性工作,满足设定的抗震性能目标。

(5) 在罕遇地震作用下,结构层间位移角和损伤情况满足设定的抗震性能目标,结构形成合理的整体型结构屈服破坏机制。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国城乡建设部. JGJ3-2010 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, 2010.
- [2] 中华人民共和国城乡建设部. GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.