

楚艳峰,赵小龙,李铁纯. 等层间位移角比在高位转换结构中的应用[J]. 华北地震科学,2018,36(2):52-57.

等层间位移角比在高位转换结构中的应用

楚艳峰¹,赵小龙²,李铁纯¹

(1. 河北建研科技有限公司,石家庄 050021;2. 河北建工集团股份有限公司,石家庄 050021)

摘要:引入层间位移角比的抗侧概念并且介绍其优点,为工程设计人员判断结构抗侧性能提供一个易用简便的参数;并通过改变转换层结构不同的设计参数,来对比发现层间位移角比与等效刚度比之间的规律,对以后此类工程设计有一定的参考意义。

关键词:等层间位移角比;梁式转换层;高位;抗震性能;反应谱分析

中图分类号:P315.92;TU973+.212

文献标志码:A

文章编号:1003-1375(2018)02-0052-06

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2018.02.009

0 引言

为了规避高位框支转换层上下层结构的刚度突变对结构抗震性能产生的影响,我国《高层建筑混凝土结构技术规程》采用等效刚度比算法进行规避设计。但是对于规避转换层处出现薄弱层和转换层附近构件的内力突变和位移突变,这显然是不全面的。层位移角比相对于等效侧向刚度比来说,具有简便的可操作性。在有限元软件中,均可以输出层间位移角的数值。而等效侧向刚度比的可操作性差,需要建立不同的模型进而加载以分析转换层上下层的动力特性,等效侧向刚度比是从一个地震方向上通过刚度、质量及振型的综合控制。

这种方法有 2 个优点。第一,规避了层侧向刚度计算的数值近似性;第二,计算方法简便,易实行且可以真实反映结构的动力特征。

层间位移角比^[1-4]的定义是将转换层本层的层顶为参照点,按顺序依次对转换层上下结构的相应层间位移角比值进行比较。公式如下:

$$\eta_{\theta i} = \theta_{e(n-i+1)} / \theta_{e(n+i)} \quad (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

$$\eta_{\theta} = \max(\eta_{\theta 1}, \eta_{\theta 2}, \dots, \eta_{\theta n}) \quad (2)$$

式中: n 为转换层所在楼层号; θ_{ei} 为楼层的层间位移角; $\eta_{\theta i}$ 为转换层下层($n-i+1$)与转换层上层($n+i$)层间位移角比; η_{θ} 为转换层上下层结构的层间位移角比。

1 工程概况

本文是一个 T 字形的框支剪力墙高位转换层结构。结构的总高度为 59.5 m,属于 B 类高层建筑,抗震设防烈度 7 度;转换层位置设置在结构的第 6 层,转换层以下部分为框支结构;地上部分取 17 层,层高从下到上依次取 4.5 m,5.0 m,3.2 m,其中转换层本层为 5.0 m,其下楼层全为 4.5 m,其上楼层全为 3.2 m;安全等级为二级,使用年限为 50 a。结构平面图见图 1~2(水平向为 X 向,竖向为 Y 向)。

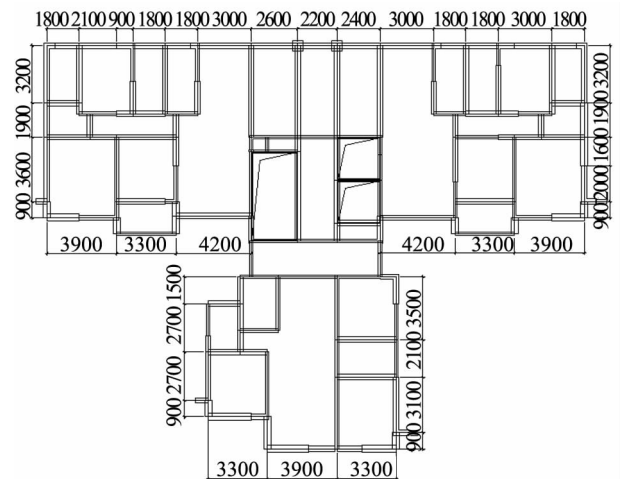


图 1 转换层上部结构平面图(单位:mm)

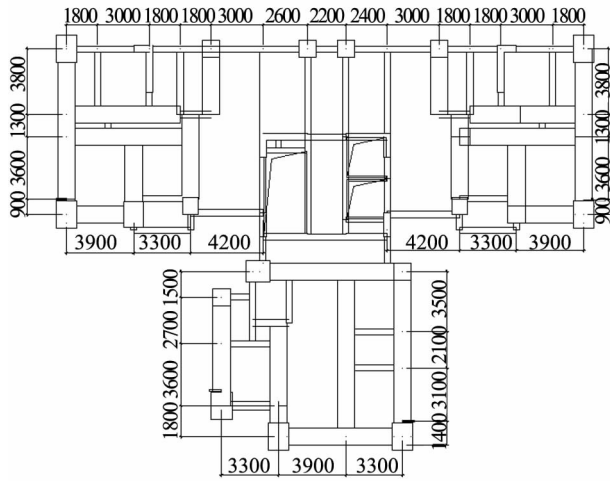


图 2 转换层结构平面图(单位:mm)

能的影响,建立模型时,不考虑地下室部分,只建立嵌固端以上结构的模型。为了探究分析转换层位置变化对部分框支剪力墙高位转换结构的动力特征和抗震性能的影响,分别将转换层位置设置在层号 3、5、6、7。本文利用 YJK 结构软件建立有限元模型,层数不改变,为 17 层。模型命名依次为 M1、M2、M3、M4。

2 不同参数对转换层双控指标的影响

2.1 落地剪力墙厚度

以 M3 模型(转换层在设置在 6 层)为基础,分别改变落地剪力墙厚度为 400 mm、450 mm、500 mm、550 mm、600 mm,模型命名依次为 w400、w450、w500、w550、w600。不同剪力墙厚度时转换层位移角比与等效刚度比对比见表 1。

本文主要研究梁式转换层对高层建筑抗震性

表 1 不同厚度转换层位移角比与等效刚度比对比表

模型	等效刚度比		层间位移角比		$\eta_{bx} - \gamma_{ex}$	$\eta_{by} - \gamma_{ey}$
	γ_{ex}	γ_{ey}	η_{bx}	η_{by}		
W400	1.075	0.838	1.244	1.462	0.169	0.624
W450	1.115	0.875	1.233	1.439	0.118	0.564
W500	1.152	0.910	1.222	1.416	0.070	0.506
W550	1.187	0.944	1.213	1.396	0.026	0.452
W600	1.220	0.977	1.204	1.377	-0.015	0.400

2.2 转换层位置

以所建立的 4 个布置在不同转换层位置的模型为依照,研究转换层位置改变对结构层间位移角比

和等效刚度比的影响。不同转换层位置时转换层位移角比与等效刚度比对比见表 2。

表 2 不同转换层位置转换层位移角比与等效刚度比对比表

模型	等效刚度比		层间位移角比		$\eta_{bx} - \gamma_{ex}$	$\eta_{by} - \gamma_{ey}$
	γ_{ex}	γ_{ey}	η_{bx}	η_{by}		
M1	1.356	1.290	1.125	1.264	-0.231	-0.026
M2	1.250	1.019	1.249	1.442	-0.001	0.423
M3	1.076	0.838	1.244	1.462	0.168	0.624
M4	0.836	0.568	1.240	1.481	0.404	0.913

通过表 2 我们能发现,随着转换层位置提高,在 X、Y 两个方向上的等效刚度比均呈下降趋势,这是由于结构的总层数不变、转换层位置提高后,下部的框支层层数提高,相应的下部刚度提高,而转换层以

上的楼层数减少,相应的上部刚度减小,等效刚度也就呈现了递减的趋势。对于层间位移角比,转换层位置从 3 层提高到 5 层时,X、Y 两个方向上的层间位移角比急剧上升。而当转换层位置超过《高层建

筑混凝土结构技术规程》的规定成为高位转换结构时, X、Y 两个方向上的层间位移角比基本趋于平稳, 上下变化数值不大。

从表 2 还可以发现, 随着转换层位置的提高, 结构层间位移角比与等效刚度比的差值呈现出逐渐增大的趋势。当转换层位置越高的时候, 其差值的绝对值越大, 差值增加幅度也越来越大。所以笔者建议, 当设计的结构为高位转换(转换层布置位置在 5 层或者 5 层以上)的时候, 应该对层间位移角比有一

个严格的限值。这个限值应该是转换层上部结构的层间位移角乘以 0.85~0.90 之间系数, 这样可以使转换层结构上下层的侧向刚度比的悬殊进一步缩小。

2.3 转换层层高

分别改变 M3 模型(转换层在设置在 6 层)转换层层高为 4.5 m、5.0 m、5.5 m、6.0 m, 模型命名依次为 H4.5、H5.0、H5.5、H6.0。不同转换层层高改变时转换层位移角比与等效刚度比对比见表 3。

表 3 不同转换层层高改变时转换层位移角比与等效刚度比对比表

模型	等效刚度比		层间位移角比		$\eta_{bx} - \gamma_{ex}$	$\eta_{by} - \gamma_{ey}$
	γ_{ex}	γ_{ey}	η_{bx}	η_{by}		
H4.5	1.102	0.860	1.194	1.367	0.092 0	0.507
H5	1.075	0.838	1.244	1.462	0.169 2	0.624
H5.5	1.047	0.816	1.293	1.556	0.245 4	0.740
H6	1.019	0.793	1.339	1.651	0.319 8	0.857

从表 3 可以发现, 随着转换层本层层高的递增, X 向、Y 向的等效刚度比呈现递减的趋势, 而 X 向、Y 向的层间位移角比则呈现递增的趋势。同时, 层间位移角比和等效刚度比的差值也呈现出单调递增的趋势。究其原因, 主要是随着转换层本层层高的增加, 下部结构高度变大导致计算刚度变小, 上部结构的计算刚度保持不变。因此, 通过《高层建筑混凝土结构技术规程》附录 E.0.3 的规定, 结构的等效刚度比随着转换层本层层高的增加而逐渐呈现递减趋势。

3 算例设计

通过改变模型的转换层布置位置参数, 建立层间位移角比为 0.81、1.00 的 2 种模型, 最后一共有 $4 \times 2 = 8$ 个算例模型。通过对各个模型计算结果的分析对比, 综合考虑在不同的层间位移角比情况下, 转换层位置改变时, 高位框支转换结构的抗震性能的影响。

3.1 转换层位置变化对自振周期的影响

通过对 8 个结构计算模型的对比分析, 研究其转换层位置变化以及层间位移角比变化对其自振周期的影响, 其结果见表 4。

表 4 自振周期

层间位移角比	3 层		5 层		6 层		7 层	
	周期/s	周期比	周期/s	周期比	周期/s	周期比	周期/s	周期比
0.81	1.397	0.74	1.403	0.80	1.405	0.82	1.424	0.84
1.00	1.407	0.75	1.415	0.81	1.427	0.83	1.438	0.85

从表 4 中可以发现, 在层间位移角比相等的情况下, 周期逐渐增大。这是因为对于部分框支剪力墙转换层结构以下的部分, 一般均是由落地剪力墙和框支框架组成, 且转换层下部结构的层高一般比较高, 导致转换层以下部分的结构相对转换层上部结构柔弱。故当转换层位置越向上布置, 转换层下部结构的层数将增大。在楼层层数不变的前提下,

转换层上部结构刚度减小, 整体刚度削弱, 从而导致结构的周期变大。同时, 随着转换层位置的提高, 周期比增大, 再次证明了转换层位置越高, 对结构的抗扭刚度越不利。

当层间位移角比增大的时候, 结构的周期和周期比(结构扭转为主的第一周期与平动为主的第一周期之比)均变大。这说明, 在转换层位置不变时,

层间位移角比越大,结构的刚度越小以及对结构抗扭越不利以及结构的整体性越差。

3.2 转换层位置对结构地震力的影响

图 3 给出了在层间位移角比为 0.81 的前提下通过改变转换层布置的位置而产生的对结构在 Y

向地震工况下的地震反应力的变化图。

表 5 结构地震反应力

kN

层间位移角比	3 层	5 层	6 层	7 层
0.81	836.8	745.5	727.5	703.9
1.00	853.7	787.0	722.8	623.5

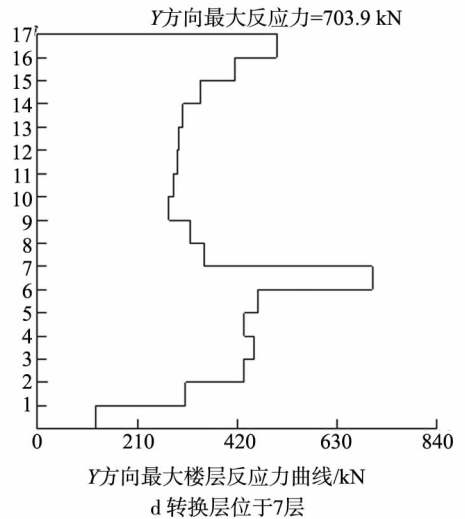
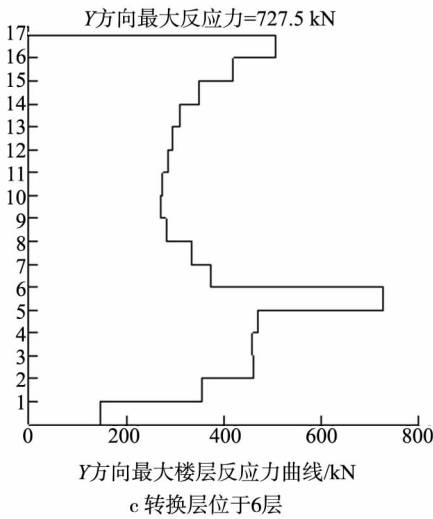
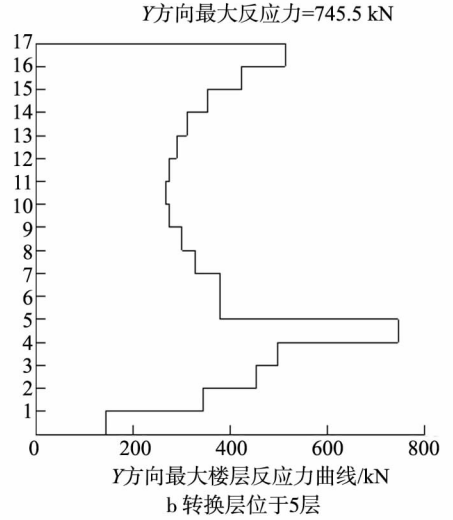
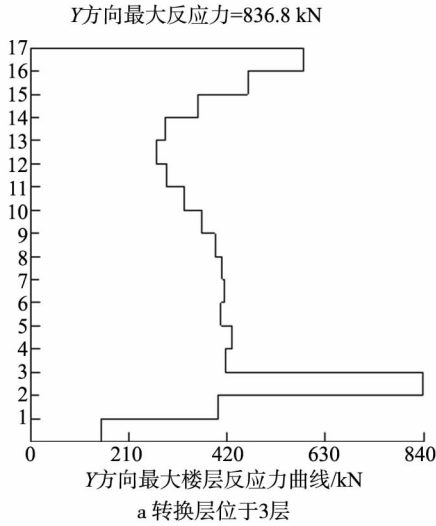


图 3 层间位移角比为 0.81 时转换层地震力

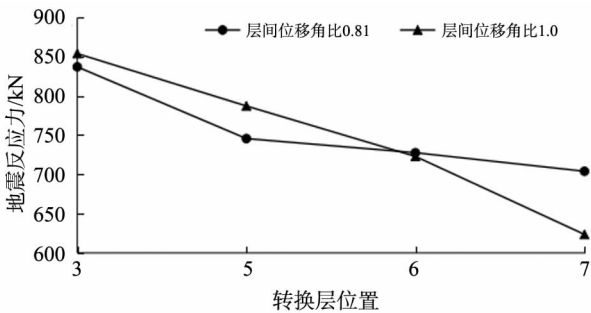


图 4 结构地震力曲线图

通过表 5 和图 3~4 发现,层位移角相等的情

况下,在地震作用时,转换层处均出现了地震反应力突变。这是因为一般转换层的层重均大于其他楼层,那么在单个振型下该层的地震作用力也将被放大。

在层位移角不变的前提下,随着转换层布置位置的递升相应转换层的地震反应力呈现递减的趋势。而当转换层位置一定、层间位移角比增大、转换层位置为 3、5 层的时候,层间位移角比为 1.00 时的地震反应力均大于层间位移角比为 0.81 的地震反应力;但是当转换层位置变为 6、7 层的时候,层间位移角比为 1.00 时的地震反应力却比层间位移角比为 0.81 时的地震反应力小。这说明转换层设置的

位置相对于总层高有一定的临界高度,这一临界高度与转换层的层间位移角比有关系,也和结构的等效刚度比有关联。当等效刚度比超越某个临界值的时候,结构的临界高度也就发生了变化。即当转换层设置的高度低于临界高度时,随着转换层位置的增高,结构的地震反应力增大;而当转换层设置的高度高于临界高度时,结构的地震反应力随着转换层布置位置的提升反而减小。

3.3 转换层位置对结构顶点位移的影响

从表6可以发现,转换层位置位于3、5、6层时,层间位移角比升高,楼层的最大位移逐渐增大;当转换层位置位于7层时,层间位移角比升高,楼层的最

大位移却在递减。这说明转换层位置的布置高度有一特殊的限定值,并且这个值还和层间位移角比的取值大小有一定的关系。

3.4 转换层位置对层间位移角的影响

表6 结构顶点位移 mm

层间位移角比	3层	5层	6层	7层
0.81	22.36	23.89	24.23	24.90
1.00	23.54	24.27	24.69	24.85

表7 层间位移角 mm

层间位移角比	3层	5层	6层	7层
0.81	1/1 834	1/1 844	1/1 914	1/1 982
1.00	1/1 803	1/1 880	1/1 976	1/1 903

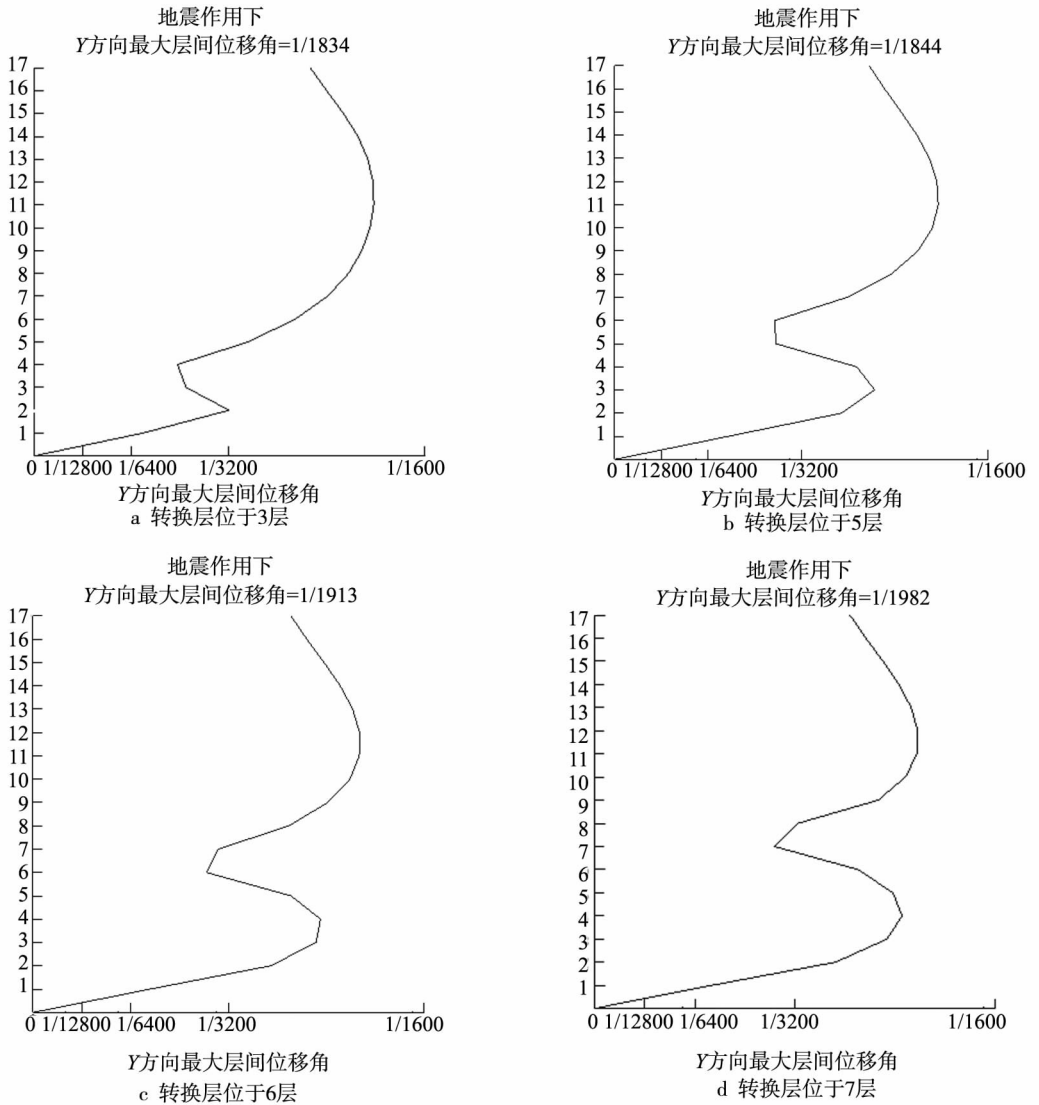


图5 地震作用下层间位移角比为0.81时转换层各层层间位移角曲线

在转换层附近,层间位移角均发生了明显的突变。当层间位移角比为0.81时,转换层位置升高

时,最大层间位移角呈现递减趋势。当层间位移角比为1.00的时候,转换层位置从3递升到6层的时

候,最大层间位移角呈现递减趋势,而当转换层位置变为 7 层的时候,最大层间位移角却突然变大了。这说明转换层位置不仅仅受到结构高度的限制,而且还和层间位移角比有关联,即不同的层间位移角比,在一定意义上决定了高位转换设置在哪层最合适。层间位移角比的不同和转换层位置的不同共同决定了楼层层间位移角随着转换层布置位置递增时的走势。

3.5 转换层位置对等效刚度比的影响

表 8 Y 向等效刚度

层间位移角比	3 层	5 层	6 层	7 层
0.81	1.480	1.488	1.579	1.713
1.00	1.376	1.452	1.521	1.578

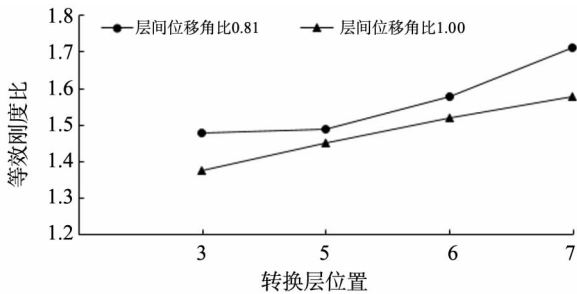


图 6 转换层位置对刚度比影响

在层间位移角比一定的情况下,转换层位置升高,结构的等效刚度比也随着逐渐增大。而且,从图 6 中我们发现层间位移角比越小,等效刚度比的增长幅度

越大。由规范可知,等效刚度比越接近于 1.00 越好,而图 6 显示,结构的层间位移角比应该至少大于 1.00,以保证结构的刚度均衡。

4 结论

1)引入了层间位移角比,弥补了规范利用等效刚度比控制转换层上下层刚度突变问题的不足之处。通过改变落地剪力墙厚度、转换层设置位置、转换层本层层高,发现等效刚度比和层间位移角比基本不成比例关系。随着转换层位置的升高,等效刚度比与层间位移角比之差越来越大。

2)在落地剪力墙厚度、转换层设置位置、转换层本层层高这 3 个参数作用下,X(Y)向的等效刚度比总是与层间位移角比相近,而 Y(X)方向的等效刚度比则比 X(Y)方向大、Y(X)方向层间位移角比则比 X(Y)方向小。

3)通过采用纵横向对比分析方法,得到了在反应谱工况下,不同楼层在等层间位移角比下以及同楼层下的等层间位移角比的抗震性能规律,对工程设计有一定的参考意义。

4)目前国内采用梁式转换层的高层建筑结构因其经济性、受力性能好和易施工而受到结构工程师和工程开发方的青睐,因此其在实际的工程应用中居各类转换层的榜首。本文通过对不同位置梁式转换层的结构进行抗震性能分析,为以后此类工程的建筑设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 荣维生,王亚勇.层间位移角比在高层转换结构抗震设计中的应用[J].建筑结构,2007,37(8):1-4.
- [2] 荣维生.带板式转换高层建筑混凝土结构抗震性能研究[D].北京:中国建筑科学研究院,2004.
- [3] 施养杭,袁双喜.高位转换层对抗侧刚度的影响及应用探讨[J].建筑结构,2009,39(S1):360-363.
- [4] 袁双喜.带高位转换框支剪力墙结构抗震性能研究[D].泉州:华侨大学,2008.

The Application of Inter-story Displacement Ratio in High-position Transfer Structure

CHU Yan-feng¹, ZHAO Xiao-long², LI Tie-chun¹

(1. Hebei Building Research Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China;

2. Hebei Construction Group Corporation Limited, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: This paper introduce the concept of the inter-story displacement angle ratio and its advantages, which provides a simple and convenient parameter for engineering designers to judge the lateral resistance of structures. By changing the different design parameter of beam conversion layer, we can find the rule of the inter-story displacement angle ratio and equivalent stiffness ratio between two adjacent layers.

Key words: inter-story displacement angle ratio; beam conversion layer; high layer; seismic performance; response spectrum analysis