

如何在 PMCAD 软件中调整地震作用下墙体的抗力与效应比

赵 兵

(中国建筑科学研究院结构所 北京 100013)

[摘要] 结合规范、PMCAD 软件和具体工程,介绍了砖混结构在地震力作用下,墙体抗力与效应比的计算过程和调整方法。

[关键词] 砖混结构 抗力与效应比 PMCAD 软件

0 前言

设计人员采用 PMCAD 软件进行砖混抗震验算时,经常会遇到程序提示某段墙体在地震力作用下的抗力与效应比不满足要求。如何调整设计参数以提高结构的抗力与效应比,使其满足规范要求,一直是一些设计人员感到比较困惑的问题。为此结合规范和具体的工程实例,谈一谈笔者的体会。

1 抗力与效应比的基本概念

按照《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)(简称《砌体规范》)第 10.3.2 条规定,砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙的截面抗剪承载力应按式(1)计算:

$$V \leq [\eta_c f_{VE} (A - A_c) + \zeta f_t A_c + 0.08 f_y A_s] / \gamma_{RE} \quad (1)$$

式中, γ_{RE} 为承载力抗震调整系数,软件中一般情况下该值取 1.0,只有当墙体两端均有构造柱时,按照砌体规范表 10.1.5 的要求,取 0.9; V 为墙体剪力设计值; A_c 为中部构造柱的截面面积,对横墙和内纵墙, $A_c > 0.15A$ 时取 0.15A,对外纵墙, $A_c > 0.25A$ 时取 0.25A; A_s 为中部构造柱的纵向钢筋截面总面积,配筋率不小于 0.6%,大于 1.4% 时取 1.4%; A 为墙体横截面面积,软件在计算墙体横截面面积时,其计算长度取节点之间或节点到洞口边的距离; f_t 为中部构造柱的混凝土轴心抗拉强度设计值; f_y 为构造柱纵向钢筋的抗拉强度设计值; ζ 为中部构造柱参与工作系数,居中设一根时取 0.5,多于一根时取 0.4; η_c 为墙体约束修正系数,一般情况取 1.0,构造柱间距不大于 2.8m 时取 1.1; f_{VE} 为砌体沿阶梯形截面破坏的抗震抗剪强度设计值,按下式确定:

$$f_{VE} = \varepsilon_N f_V$$

其中, f_V 为按砌体规范第 3.2.3 条修正后的非抗震设计砌体抗剪强度设计值; ε_N 为砌体抗震强度的正应力影响系数,对砖砌体:

$$\varepsilon_N = \sqrt{1 + 0.45 \sigma_0 / f_V} / 1.2$$

式中, σ_0 为对应于重力荷载代表值的砌体截面平均压

应力。需要说明的是, PMCAD 软件在计算 ε_N 采用的是计算公式,从形式上讲与《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)和《砌体规范》中规定的查表法有所不同。但本质上一样,因为《抗震规范》中的表 7.2.7 或《砌体规范》中的表 10.2.3 里的数值都是从这个公式推出的。具体可参考《抗震规范》第 7.2.7 的条文说明。令式(1)右项为 V' ,则式(1)可改写为

$$V' / V \geq 1 \quad (2)$$

式(2)即为结构抗震计算时的抗力与效应比。当采用式(2)计算的抗力与效应比不满足要求时,可按照水平配筋墙体设计,其配筋面积由下式计算^[1]:

$$A_s^h \geq \frac{V \gamma_{RE} - \eta_c f_{VE} (A - A_c) - \zeta f_t A_c - 0.08 f_y A_s}{\zeta_s f_y^h} \quad (3)$$

式中, A_s^h 为层间墙体竖向截面的水平钢筋总截面面积,按照砌体规范第 10.3.4 条第 2 款的规定,其配筋率不应小于 0.07%,且不宜大于 0.17%;水平钢筋间距不应大于 400mm。 f_y^h 为水平钢筋抗拉强度设计值,程序总是默认为 HPB235 钢筋; ζ_s 为钢筋参与工作系数,可按表 1 采用。在 PMCAD 软件中,当墙体高宽比 > 1.2 时取 0.12,当墙体高宽比 < 0.4 时取 0.10。

| 钢筋参与工作系数 | | | | | 表 1 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 墙体高宽比 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| ζ_s | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.12 |

需要说明的是,《抗震规范》第 7.2.9 条提供的计算公式为:

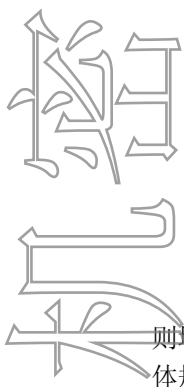
$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (f_{VE} A + \zeta_s f_y A_s) \quad (7.2.9)$$

式(3)的计算方法从形式上看与式(7.2.9)不太一样,二者的主要区别是前者考虑了构造柱的影响,而后者没有。如果某片墙体不含构造柱,则 A_c 和 A_s 均等于 0,两种公式的计算方法就基本相同了。

2 抗力与效应比的调整方法

根据式(2)和式(3),设计人员可以采用以下方法提高结构的抗力与效应比。

2.1 采用高标号砂浆



提高砂浆标号,可以提高 f_v ,从而使 f_{VE} 增大,则墙体的抗力与效应比也会得到相应提高。但根据砌体规范表 3.2.2 的规定,当砂浆强度等级大于 M10 时, f_{VE} 不再提高,其抗力与效应比也不会再提高。

2.2 调整构造柱的数量

适当增加中部构造柱的数量有利于改善墙体的抗力与效应比,但当中部构造柱的截面面积 A_c 增加到一定程度时,不仅对抗力与效应比没有帮助,反而会因为墙体截面面积减小而降低其抗剪承载力。

2.3 提高构造柱混凝土标号

提高构造柱混凝土标号可以提高其抗拉强度设计值 f_t ,但由于混凝土的抗拉性能不是强项,再加上还要乘以一个 ≤ 0.5 的系数 ζ ,所以该方法对提高墙体抗力与效应比非常有限。

2.4 提高构造柱纵向钢筋级别或截面面积

提高构造柱纵向钢筋级别或截面面积可以增大式中 $f_y A_s$ 的值,但由于 $f_y A_s$ 前要乘以 0.08 的系数,所以与上一种方法一样,这种方法对于提高墙体的抗力与效应比也非常有限。

2.5 增加墙体截面面积

可以通过增加墙厚或墙肢长度来增加墙体截面面积。但由于墙体截面面积增大而刚度增加后,其所分担的地震剪力也有较大增长,所以在某些情况下,这种方法反而会降低墙体的抗力与效应比。另外,在实际工程中单独调整某段墙体的厚度是不太可能的,也不方便施工。

2.6 在大片墙两端设置构造柱

大片墙两端设置的构造柱对墙体起着约束作用,提高了其抗剪能力,抗剪验算时所有墙段 $\gamma_{RE}=0.9$;大片墙两端无构造柱时,所有墙段 $\gamma_{RE}=1.0$ 。有构造柱的墙段抗剪承载力比无构造柱的提高了 11.11%。

2.7 在砌体墙内配置一定数量的钢筋

当采用上述方法仍不能使墙体的抗力与效应比满足规范要求时,还可以在墙体内配置水平钢筋,配筋面积按式(3)计算。需要指出的是,水平钢筋有最大配筋率的要求,但目前软件没有对此进行判断,而是直接输出配筋面积,需要设计人员人工校核。

2.8 调整结构方案

前 7 种方法都是针对某段墙体的局部调整法,有一定的适用范围,超过此范围不但不起作用,有时甚至会适得其反。如在大片墙两端设置构造柱虽好,但也只能使墙体的抗力与效应比提高 11.11%;在墙体内配置水平钢筋有最大配筋率的要求,钢筋配得太多也会给施工带来很多不便。

因此,如果结构抗力与效应比相差很大,解决问题最好的方法是从结构整体出发,调整结构方案。原则是调整各墙段的刚度,使各段墙体刚度均匀,各墙

段的剪力分配趋于均匀。设计人员可以通过调整洞口位置和高度来均衡墙段的刚度和剪力。

调整方案并不一定要将所有墙体的抗力与效应比都调到 1.0 以上,因为那样不仅难度较大,还可能会较多地改变建筑立面、房间布局,甚至影响使用功能,使建筑专业难以接受。较好的方法是将方案调整与前 7 种方法相结合。比如可以通过方案调整将抗力与效应比都调到 0.85 以上后,再在墙体内配一些钢筋来达到规范的要求。

3 工程实例

某 5 层砖混住宅楼,层高为 3.0m。采用普通烧结砖,内、外纵横墙墙厚均为 240mm。地震设防烈度为 8 度,基本加速度为 0.2g。标准层平面见图 1。以首层墙段 AB (见图 2,其位置为图 1 黑圈所示)为例进行抗力与效应比调整。初步设计时构造柱截面取 240×240,配筋为 4 Φ 14, C20 混凝土。砂浆强度等级 M7.5,砖砌体强度等级 MU10。计算结果见表 2 情况 1。可见,墙段 AB 的 $V/V_c < 1$,不满足规范要求,程序自动按照式(3)进行墙体配筋计算, $f_y^h = 210\text{N/mm}^2$,计算结果见表 3 情况 1。该段墙体最大层间竖向截面水平钢筋总面积 $A_s^{\max} = 240 \times 3000 \times 0.0017 = 1224\text{mm}^2$, $A_s^h > A_s^{\max}$,也不满足规范要求。

为了使墙段 AB 的抗剪承载力满足规范的要求,对该墙段做如下调整。

(1) 提高混合砂浆标号

将混合砂浆标号由原来的 M7.5 提高到 M10,其计算结果如表 2,3 情况 2 所示。可见,抗力与效应比虽仍不满足要求,但比值有所提高。墙段 AB 所需的 A_s^h 为 2457 mm^2 ,比初步设计时的配筋面积有所减少。

(2) 在大片墙的端部增设构造柱

在墙段 AE 的端点 A 处增设一根 240×240 的构造柱后,其计算结果如表 2,3 情况 3 所示。可见,墙段 AB 的抗力与效应比由原来的 0.67 提高到 0.74,墙段 AB 所需的 A_s^h 由原来的 2457 mm^2 降低到 1721 mm^2 。这是因为大片墙段 AE 两端有构造柱后, γ_{RE} 取 0.9,使得墙段 AB 的抗剪承载能力也相应提高了 11.11%。

(3) 方案调整

以上两步虽明显地改善了墙段 AB 的抗力与效应比,但计算结果仍不能满足要求, A_s^h 仍然大于该墙段的最大配筋面积 1224 mm^2 。墙段 AB 中部没有设置构造柱,但即便设置了对结构抗力与效应比的提高也非常有限,无法解决实质问题。因此,要想从根本上解决问题还得从方案入手。

对图 2 的分析可见,墙段 AB 在墙段 AE 中所占比例最大,刚度最大,因此所承担的地震剪力也最大,这也是其抗力与效应比不满足要求的主要原因。可通过调整洞 1 和洞 2 的大小和位置以降低墙段 AB 的刚

度和其分担的地震剪力。

为此，经与建筑专业协商，将洞 2 的位置向 E 端移动 360mm，将洞 1 的宽度由 900mm 增加到 1000mm，并将其位置向 A 端移 860mm。其计算结果如表 2、3

情况 4 所示。可见，方案调整后，墙段 AB 的抗力与效应比提高到 0.9，虽仍小于 1，但如果按配筋砌体设计，其配筋面积为 421 mm^2 ，小于该段墙体的最小配筋面积 $240 \times 3000 \times 0.0007 = 504 \text{ mm}^2$ ，满足规范要求。

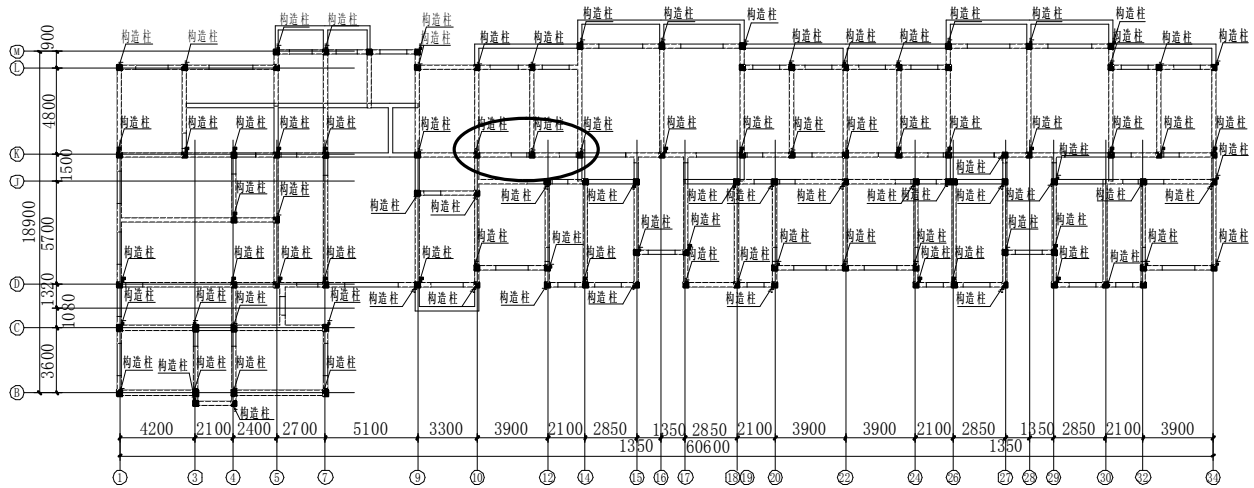


图 1 结构标准层平面图

墙段 AB 的抗力与效应比计算

表 2

| 情况 | f_V (MPa) | σ_0 (MPa) | η_c | f_{VE} (MPa) | A (m^2) | A_c (m^2) | ζ | f_t (N/mm^2) | f_y (N/mm^2) | A_s (mm^2) | γ_{RE} | V' (kN) | V (kN) | V'/V |
|----|----------------|---------------------|----------|-------------------|-------------------------|---------------------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------|--------------|-------------|--------|
| 1 | 0.14 | 0.48 | 0 | 0.19 | 0.66 | 0 | 0 | 1.10 | 300 | 0 | 1.0 | 122.8 | 211.6 | 0.58 |
| 2 | 0.17 | 0.48 | 0 | 0.21 | 0.66 | 0 | 0 | 1.10 | 300 | 0 | 1.0 | 140.9 | 211.6 | 0.67 |
| 3 | 0.17 | 0.48 | 0 | 0.21 | 0.66 | 0 | 0 | 1.10 | 300 | 0 | 0.9 | 156.6 | 211.6 | 0.74 |
| 4 | 0.17 | 0.52 | 0 | 0.22 | 0.43 | 0 | 0 | 1.10 | 300 | 0 | 0.9 | 105.1 | 116.9 | 0.90 |

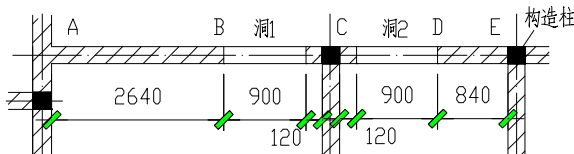


图 2 墙段 AB 大样图

墙段 AB 的配筋计算

表 3

| 情况 | 墙肢长 | ζ_s | V'/γ_{RE} | $V\gamma_{RE}-V'$ (kN) | $A_s^h(\text{mm}^2)$ |
|----|------|-----------|------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2760 | 0.137 | — | 88.8 | 3087 |
| 2 | 2760 | 0.137 | — | 70.69 | 2457 |
| 3 | 2760 | 0.137 | 140.9 | 49.52 | 1721 |
| 4 | 1796 | 0.12 | 94.6 | 16.61 | 421 |

4 小结

墙体的抗力与效应比跟砂浆标号、构造柱的数量和纵向钢筋截面面积、构造柱混凝土标号和钢筋级别、墙体截面面积、大片墙两端是否设置构造柱、墙体內的配筋面积以及结构方案等有关。只有在设计中充分考虑各种因素的影响，才能得到令人比较满意的结果。

参考文献

[1] 陈岱林, 金新阳, 张志宏. 砌体结构 CAD 原理及疑难问题解答[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

轻松一下

涨工资有三个没想到

设计院要涨工资的消息已经传了半年多了，节后，院里终于就此问题召开了全院职工大会。

领导扫视了一下会场说到：“这次涨工资有三个没想到。第一，没有想到涨幅这么大，高达 20%；第二，没有想到范围这么广，所有职工工资全涨；第三，没有想到这次工资调整计划报上级部门之后，没有得到批准……”

土木群内的“共享软件”

某人在土木群内问了一句：“哪位有免费的共享的结

构软件？要容量小操作又简单的那种。”

群内马上有人回答：“我有”！跟着截了个图过来



(原创：杜定，网名“土木+冰”，QQ: 13592016)