http://qks.cqu.edu.cn



doi:10.11835/j.issn.1005－2909.2015.02.032

# 以高层建筑结构设计教学为例看教学相长

张敬书,闫　标,张伟鹏
(兰州大学 土木工程与力学学院,甘肃 兰州　730000)

**摘要:**在本科土木工程专业高层建筑结构设计课程的教学过程中发现,教材中一道关于风荷载计算的例题与当时 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》不符。在布置该例题作为课下习题后,绝大部分学生都发现了问题,并按照规范给出了正确解答,个别同学还对该例题进行了较大补充,提出了新的思路和解答。这是一个典型的教学相长实例,学生发挥了自己的想象力和主观能动性,教师也从中得到学习。

**关键词:**土木工程;高层建筑结构设计;风荷载;荷载规范;教学相长
**中图分类号:**G642.0　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2015)02-0134-05

赫伯特·胡佛曾指出,土木工程是一个崇高的行业。它的魅力在于把人类的想象借助科技力量加以实现,同时为人们提供住房,创造就业机会,提高生活质量[1]。在高等学校,土木工程学科是一个历史悠久、生命力强、投入巨大,对国民经济具有拉动作用,专业覆盖面和行业涉及面极广的平实而又重要的一级学科[2]。

高校工程教育基本任务是使学生系统地接受理工学科理论知识、基本技能的学习和训练,在完成学业时,初步具备成为工程师的基本素质和条件[3]。为达到这个目标,土木工程专业的学生不但要强化基础课的学习,而且要认真学习专业课[4]。兰州大学土木工程专业从 2002 年招收第一届本科生开始,就确定了培养"具有较强工程实践能力和初步开展科研能力的创新型土木工程专业人才"的目标[5],将高层建筑结构设计作为一门重要的专业课来开设,作者一直在负责该课程的教学工作。

教材对学生的学习、教师的讲解有着重要的指导作用。在为数不多的《高层建筑结构设计》教材中,方鄂华、钱稼茹、叶列平编著的《高层建筑结构设计》[6]内容全面,概念清晰,难度适中,故兰州大学土木工程专业一直选用该教材进行高层建筑结构设计的教学。

在教学中,发现该教材中一道关于风荷载计算的例题与当时 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》[7]不符,故布置该例题作为习题,要求学生独立发现问题并加以改正。绝大部分学生都按照规范给出了正确解答,尤为令人欣喜的

**收稿日期:**2014－10－23
**基金项目:**兰州大学"2014 年本科专业主干基础课程教学团队"
**作者简介:**张敬书(1966－),男,兰州大学土木工程与力学学院副教授,博士,主要从事新型结构与抗震研究,(E－mail)jshzhang@lzu.edu.cn。

http://qks.cqu.edu.cn



是,有一位学生还对该例题提出了新的思路并进行了修改完善。这是典型的从学生中得到学习的实例,故撰写成文,以与同行分享。

**一、原例题及存在的问题**

在《高层建筑结构设计》[6] 的第 3.1 节“风荷载”中,有一道例题如下:

计算具有图 1 平面的框架 - 剪力墙结构的总风荷载及其合力作用点位置。18 层房屋总高 58 m,$H/B = 1.72$,D 类地区,地区标准风压 $w_0 = 0.70$ kN/m$^2$。

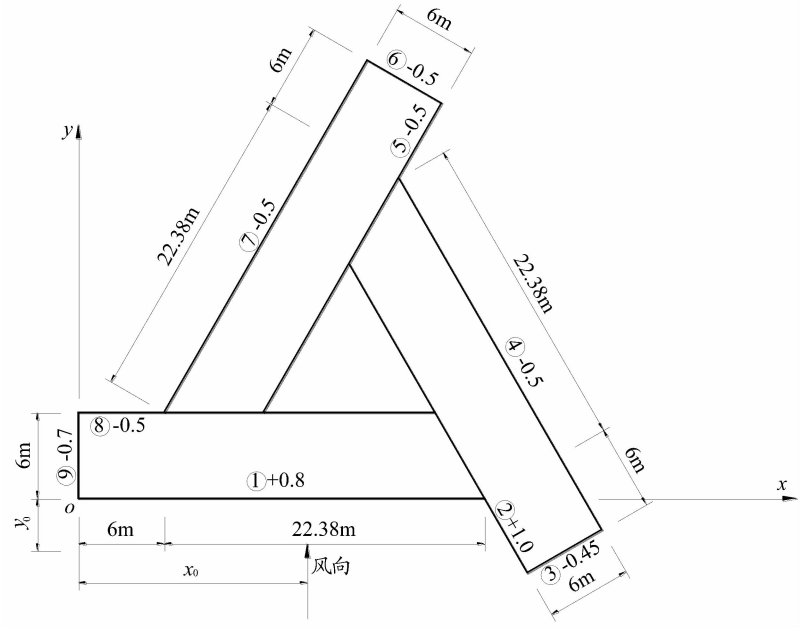



**图 1　例题结构平面**

准确计算荷载是对土木工程师的基本要求之一。由于高层建筑结构的控制荷载主要是风荷载和水平地震作用,因此,该例题的编排恰到好处,值得示范介绍。

该例题的结构平面呈三角形,三条边均有一段外伸,属于较复杂的平面类型。要准确计算该结构的风荷载,必须要结合规范,灵活、正确地选取风载体型系数。因此,该例题可以训练准确、灵活运用规范解决实际工程问题的能力,是一道经典的风荷载计算例题。

土木工程技术发展迅猛,工程经验在不断积累,相应理论也在不断修正、完善。因此,指导土木工程建设的规范也在不断更新和修订。教材相应于规范的修编通常需要一定周期,不能及时与最新规范匹配。该例题就存在这样的问题,另有些小错误也在此处指出,具体如下:

(1)风压高度变化系数不符合当时 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》[7](以下简称《01 荷载规范》)中的规定。

(2)确定脉动增大系数 ξ 时需要根据参数 $w_0T_1^2$ 查表,例题在计算 $w_0T_1^2$ 时未考虑地面粗糙度的影响。按照《01 荷载规范》,地面粗糙度 B 类地区可直接代入基本风压,而对 A 类、C 类和 D 类地区应按当地的基本风压分别乘以 1.38、0.62 和 0.32 后代入。

(3)题目中建筑物的 $H/B$ 计算有误,应为 1.59。这导致脉动影响系数 $v$ 取值有所变化。

**二、按 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》的解答**

如果教材未能按现行规范更新,教师应按规范要求在课堂上对相关内容进行补充修改。因此,作者布置该例题为课后习题,要求学生独立发现问题,并按《01 荷载规范》进行重新计算。之所以要求学生自行练习,主要基于以下目的:

(1)培养独立思考、发现问题并解决问题的能力;

(2)以本例题为契机,提高学生对规范中相关计算方法的理解,而非强制灌输,进一步提高教学效果;

(3)训练根据规范正确取值、采用表格方式进行计算的基本功。

从作业发现,几乎所有学生都发现了问题所在,并进行了改正,课堂教学取得了预期的效果。以下简要介绍根据《01 荷载规范》进行改正后的结果。

框架 - 剪力墙结构基本周期取 0.07 $N$,$N$ 为层数,则

$T_1 = 0.07 \times 18 = 1.26$ s

http://qks.cqu.edu.cn



对 D 类地区,计算脉动增大系数 ξ 时应按当地的基本风压乘以 0.32 后代入

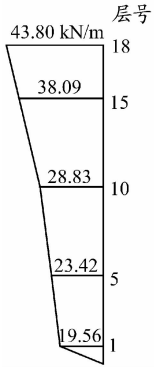
$$0.32 \times w_0 T_1^2 = 0.32 \times 0.7 \times 1.26^2 = 0.36\ \mathrm{kN \cdot s^2/m^2}$$

查表得 $\xi = 1.33$ , $v = 0.45$ 。

其余解答过程见教材[6],此处不再赘述,最终得到的计算结果如表 1 所示。

**表 1 按《01 荷载规范》风荷载标准值计算结果**

| 层数 | $H_i$/m | $0.59H_i/H$ | $\mu_z$ | $\beta_z\mu_z$ | $w_z$/(kN · m$^{-1}$) | 分布图形 | $w_z(x、y)$/(kN · m$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 58 | 0.59 | 0.91 | 1.50 | 43.80 | | 44.32 |
| 17 | 54 | 0.55 | 0.88 | 1.43 | 41.56 | | 42.06 |
| 16 | 51 | 0.52 | 0.85 | 1.37 | 39.88 | | 40.36 |
| 15 | 48 | 0.49 | 0.82 | 1.31 | 38.09 | | 38.54 |
| 14 | 45 | 0.46 | 0.79 | 1.24 | 36.24 | | 36.67 |
| 13 | 42 | 0.43 | 0.75 | 1.18 | 34.39 | | 34.80 |
| 12 | 39 | 0.40 | 0.72 | 1.12 | 32.53 | | 32.92 |
| 11 | 36 | 0.37 | 0.69 | 1.05 | 30.68 | | 31.05 |
| 10 | 33 | 0.34 | 0.65 | 0.99 | 28.83 | | 29.17 |
| 9 | 30 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 26.98 | | 27.30 |
| 8 | 27 | 0.27 | 0.62 | 0.89 | 26.09 | | 26.40 |
| 7 | 24 | 0.24 | 0.62 | 0.86 | 25.20 | | 25.50 |
| 6 | 21 | 0.21 | 0.62 | 0.83 | 24.31 | | 24.60 |
| 5 | 18 | 0.18 | 0.62 | 0.80 | 23.42 | | 23.70 |
| 4 | 15 | 0.15 | 0.62 | 0.77 | 22.53 | | 22.80 |
| 3 | 12 | 0.12 | 0.62 | 0.74 | 21.64 | | 21.90 |
| 2 | 9 | 0.09 | 0.62 | 0.71 | 20.75 | | 21.00 |
| 1 | 5 | 0.05 | 0.62 | 0.67 | 19.56 | | 19.80 |




## 三、例题的补充

至此,已将原例题按《01 荷载规范》计算完毕。令人意外的是,此文的合作者、当时大四的闫标通过规范了解到例题中的建筑在 $x$ 方向也应有类似 $y$ 方向的计算,工程设计采用 $x$、$y$ 两主轴抗力方法。其给出的解答除包含上述内容外,还完成了建筑在 $x$ 方向荷载的计算,得到的风合力作用点结果如表 2 所示。

**表 2 $x$ 方向风合力作用点计算**

| 序号 | $w_0B_i\mu_{si}$ | $\cos\alpha_i$ | $w_i$/(kN · m$^{-1}$) | $y_i$/m | $w_iy_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 28.38 × 0.8 × 0.7 | 0.00 | 0.00 | / | / |
| 2 | 6 × 1.0 × 0.7 | 0.87 | 3.64 | −2.60 | −9.45 |
| 3 | 6 × 0.7 × 0.45 | 0.50 | 0.95 | −3.70 | −3.49 |
| 4 | 28.38 × 0.5 × 0.7 | 0.87 | 8.60 | 10.09 | 86.82 |
| 5 | 6 × 0.5 × 0.7 | 0.87 | 1.82 | 24.98 | 45.43 |
| 6 | 6 × 0.5 × 0.7 | 0.50 | 1.05 | 29.08 | 30.53 |
| 7 | −28.38 × 0.5 × 0.7 | 0.87 | −8.60 | 18.29 | −157.33 |
| 8 | 6 × 0.5 × 0.7 | 0.00 | 0.00 | / | / |
| 9 | −6 × 0.7 × 0.7 | 1.00 | −2.94 | 3.00 | −8.82 |
| | | Σ | 4.51 | | −16.31 |

$x$ 轴方向风合力作用点距离原点 $y_0 = \dfrac{-16.31}{4.51} = -3.62$ m 。

http://qks.cqu.edu.cn



将 $x$、$y$ 两个方向风荷载进行组合,可求得最终风荷载标准值,见表1中 $w_z(x、y)$ 项。对比可以发现,最终计算结果比仅考虑 $y$ 方向的结果高 1.2%。从简化工程计算的角度讲,仅考虑 $y$ 方向投影不会造成较大误差,就该例题而言可认为基本不影响结构设计。但从教学的角度讲,该例题实际涉及一个基本概念,即在水平荷载作用下,平面不对称结构不仅存在着与该荷载方向相平行的作用力,在垂直方向也可能存在作用力。因此,应让学生知其然并知其所以然,深化其对平面不对称结构水平荷载计算的理解,从而在遇到实际工程时概念清晰、有的放矢。

教材给学生以指引,教会学生基本的算法和步骤,而作为指导工程设计的规范,则更侧重于计算的明确、严谨。借此机会,向学生详细介绍规范中关于此类问题的计算方法,鼓励学生在以后的学习和工作中不拘泥于课本,要按照规范中给出的方法对遇到的问题进行细致考虑。加深了学生对规范的理解,取得了意想不到的教学效果。

《礼记·学记》:"虽有嘉肴,弗食,不知其旨也。虽有至道,弗学,不知其善也。是故学然后知不足,教然后知困。知不足,然后能自反也;知困,然后能自强也。故曰:教学相长也。"因此,教师不但可以在教学中为学生"传道、授业、解惑",也可以从引导学生自主学习的过程中发现自己教学中的疏漏,对自己也是一种提高。

## 四、《高层建筑结构设计》第二版的问题

2012 年,GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》(以下简称《12 荷载规范》)[8] 发布并实施。2013 年,《高层建筑结构设计》也修订了第二版[9],该例题在新版教材中进行了更正,但仍存在部分问题;

(1)例题的计算方法和相应参数取值仍参考《01 荷载规范》,与《12 荷载规范》中规定不符;

(2)即使按《01 荷载规范》,教材确定脉动增大系数 ξ 时仍有错误,应将基本风压乘以系数 0.32 后代入 $w_0T_1^2$ 查表,而非教材中求得 B 类地区 ξ 后再乘以系数 0.32 的做法;

(3)第一版教材中结构的 $H/B$ 计算有误,尽管第二版对此进行了改正,但脉动影响系数 $v$ 仍与原版相同,不合理;

(4)仍未进行 $x$ 方向风荷载的计算,解答不够严谨、完善。

虽然《01 荷载规范》已废止,但作为对教材的修正、补充,采用《01 荷载规范》对该例题进行正确解答对教学来讲仍具有借鉴意义。上文中关于该例题与《01 荷载规范》相符的解答不存在上述(2)、(3)、(4)问题,故无需再次改正。

## 五、按 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》的解答

《12 荷载规范》参考了近年来的设计经验和研究成果,顺风向风振系数的计算表达式和风荷载高度变化系数相比《01 荷载规范》有较大调整,有必要将例题按照《12 荷载规范》进行重新计算。

根据《12 荷载规范》,z 高度处风振系数 $\beta_z$ 按下式计算:

$$\beta_z = 1 + 2gI_{10}B_z\sqrt{1+R^2},$$

式中:$g$ 为峰值因子,可取 2.5;$I_{10}$ 为 10 m 高度名义湍流强度,对 D 类地面粗糙度地区取 0.39;$B_z$ 为脉动风荷载的背景分量因子;$R$ 为脉动风荷载的共振分量因子。

$$R = \sqrt{\frac{\pi}{6\zeta_1}\frac{x_1^2}{(1+x_1^2)^{4/3}}}$$

$$x_1 = \frac{30f_1}{\sqrt{k_w w_0}},\ x_1 > 5,$$

式中:$f_1$ 为结构第 1 阶自振频率;$k_w$ 为地面粗糙度修正系数,对 D 类地面粗糙度取 0.26;$\zeta_1$ 为结构阻尼比,对钢筋混凝土结构可取 0.05。

脉动风荷载的背景分量因子

$$B_z = kH^{a_1}\rho_x\rho_z\frac{\varphi_1(z)}{\mu_z},$$

式中:$\varphi_1(z)$ 为结构第 1 阶阵型系数,根据《12 荷载规范》附录 G 表 G.0.3 取值;$H$ 为结构总高度;$k$、$a_1$ 为修正系数,此处可分别取0.112和0.346;$\rho_x$、$\rho_z$ 分别为脉动风荷载水平方向相关系数和竖直方向相关系数。

$$\rho_x = \frac{10\sqrt{B+50e^{-B/50}-50}}{B}$$

$$\rho_z = \frac{10\sqrt{H+60e^{-H/60}-60}}{H},$$

式中:$B$、$H$ 分别为结构的迎风面宽度和总高度。

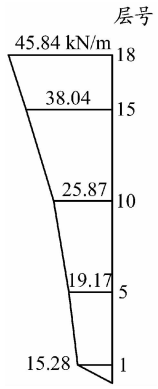
最终,按《12 荷载规范》中规定计算结果如表 3 所示,相应考虑 $x$ 方向风荷载投影的结果在表中最后一列也已给出。从本例题计算结果可以发现,与《01 荷载规范》计算结果相比,按《12 荷载规范》计算的风荷载数值在 15 层以下偏小,15 层时相当,15 层以上偏大。《12 荷载规范》适当加大了高度较高处的风荷载,提高了较高建筑风荷载设计时的可靠度。

http://qks.cqu.edu.cn



表 3 按 GB 50009—2012 风荷载标准值计算结果

| 层数 | $H_i$/m | $H_i/H$ | $\varphi_1(z)$ | $\mu_z$ | $B_z$ | $\beta_z$ | $w_z$/(kN·m$^{-1}$) | 分布图形 | $w_z(x,y)$/(kN·m$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 58 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.42 | 2.08 | 45.84 | | 46.38 |
| 17 | 54 | 0.93 | 0.90 | 0.72 | 0.40 | 2.02 | 42.60 | | 43.11 |
| 16 | 51 | 0.88 | 0.84 | 0.70 | 0.38 | 1.98 | 40.27 | | 40.75 |
| 15 | 48 | 0.83 | 0.77 | 0.67 | 0.37 | 1.94 | 38.04 | | 38.49 |
| 14 | 45 | 0.78 | 0.72 | 0.65 | 0.36 | 1.92 | 36.06 | | 36.48 |
| 13 | 42 | 0.72 | 0.69 | 0.62 | 0.36 | 1.91 | 34.40 | | 34.81 |
| 12 | 39 | 0.67 | 0.61 | 0.59 | 0.33 | 1.84 | 31.77 | | 32.14 |
| 11 | 36 | 0.62 | 0.50 | 0.56 | 0.28 | 1.72 | 28.27 | | 28.60 |
| 10 | 33 | 0.57 | 0.43 | 0.54 | 0.26 | 1.65 | 25.87 | | 26.18 |
| 9 | 30 | 0.52 | 0.39 | 0.51 | 0.25 | 1.63 | 24.22 | | 24.51 |
| 8 | 27 | 0.47 | 0.34 | 0.51 | 0.21 | 1.54 | 22.87 | | 23.15 |
| 7 | 24 | 0.41 | 0.28 | 0.51 | 0.18 | 1.46 | 21.64 | | 21.90 |
| 6 | 21 | 0.36 | 0.23 | 0.51 | 0.15 | 1.37 | 20.41 | | 20.65 |
| 5 | 18 | 0.31 | 0.18 | 0.51 | 0.11 | 1.29 | 19.17 | | 19.40 |
| 4 | 15 | 0.26 | 0.13 | 0.51 | 0.08 | 1.21 | 18.04 | | 18.25 |
| 3 | 12 | 0.21 | 0.09 | 0.51 | 0.05 | 1.14 | 16.93 | | 17.13 |
| 2 | 9 | 0.16 | 0.05 | 0.51 | 0.03 | 1.09 | 16.14 | | 16.33 |
| 1 | 5 | 0.09 | 0.02 | 0.51 | 0.01 | 1.03 | 15.28 | | 15.46 |




## 六、结语

(1)教师从引导学生自主学习的过程中发现自己教学的疏漏,互相促进,教学相长。

(2)土木工程高等教育的目的是培养土木工程师,培养学生独立思考、发现问题并解决问题的能力,牢固树立采用现行规范进行工程建设活动的意识和训练正确计算、采用表格方式进行计算的基本功。

(3)教材内容不但要及时更新,例题也要按现行规范进行更正。

**参考文献:**

[1] 2025 年的土木工程——土木工程未来峰会报告[J]. 土木工程学报, 2008(5):106 - 113.

[2] 崔京浩. 土木工程——一个平实而又重要的学科[J]. 工程力学, 2007 (S1):1 - 31.

[3] 中国工程院工程教育研究课题组. 我国工程师培养的重要性与培养途径研究[J]. 高等工程教育研究, 2005(1):1 - 7.

[4] 高等学校土木工程学科专业指导委员会, 高等学校土木工程本科指导性专业规范[M],北京:中国建筑工业出版社, 2011.

[5] 武建军, 周又和. 建设培养创新型人才的土木工程专业[J]. 高等理科教育, 2008(4):21 - 23.

[6] 方鄂华, 钱稼如, 叶列平. 高层建筑结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.

[7] GB 50009—2001 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001.

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

[9] 钱稼如, 赵作周, 叶列平. 高层建筑结构设计[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.

# Teaching benefits teachers as well as students in the tall building structure design teaching

ZHANG Jingshu, YAN Biao, ZHANG Weipeng

(*College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, P. R. China*)

**Abstract:** In the teaching of tall building structure design for undergraduates of civil engineering, we found that an example about wind load in the textbook does not calculated correctly according to the "Load code for the design of building structures" at that time. When the example was assigned to students as an exercise, most students found the problem and corrected errors. Furthermore, a student put forward a new idea to calculate wind load from the example. It is a typical instance to learn from the students, which shows that teaching benefits teachers as well as students.

**Keywords:** civil engineering; tall building structure design; wind load; load design code; teaching benefits teachers as well as students

(编辑 周 沫)