

Performance Analysis on the Internal Force of Steel Frame Column Base

Kewei Ding, Yahong Xu[†]

Civil engineering school, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China

[†]Email: 383103423@qq.com

Abstract

Using the finite element software ANSYS to a single span two layers of steel frame model under outside load, the internal force of semi-rigid column footing of performance analysis, and with the same conditions of rigid frame column base bending moment, shear force, axial force and displacement are analyzed in this paper, which comprehensively reflects the semi-rigid nodes can improve the stress of the structure of column foot to certain extent, and also can improve the ability of energy dissipation frame structure.

Keywords: Column Base; Semi-rigid Connection; Internal Force

钢框架柱脚的内力性能分析^{*}

丁克伟, 许亚红

安徽建筑大学 土木工程学院, 安徽 合肥 230601

摘要: 有研究表明在过去的地震灾害中, 其中在钢结构里面, 节点的破坏是关键问题, 因此对其性能的研究十分关键, 进而在今后的设计中能让结构设计轻巧并且坚固。本文运用有限元软件 ANSYS 对一个两层的单跨钢框架模型在外荷载作用下, 其半刚性柱脚的内力性能分析, 并且在同等条件下对刚性框架柱脚进行内力性能分析, 将两个模型的内力即弯矩、剪力、轴力、位移进行对比分析。综合反映出在钢结构中, 半刚性柱脚节点相对于刚性柱脚而言, 在一定程度上可改善结构的内力性能, 并且增强了钢结构的整体抗震性能。

关键词: 柱脚; 半刚性连接; 内力

引言

目前钢结构在建筑业被广泛应用, 在钢结构中, 节点的连接是十分重要的, 因为节点连接的设计对钢结构的整体性能影响很大。就目前而言, 钢结构的连接节点, 按其构造形式和力学性能, 可以划分为刚性连接、铰接连接和半刚性连接三种形式^[1]。

过去, 在传统的设计和分析中, 钢结构的连接节点被认为是理想的刚接或者是铰接。在一般情况下可以这样认为, 在钢框架节点中当连接转动约束达到理想刚接的 90% 的时候被认为是刚接; 但是在外力作用下, 当梁柱轴线夹角的改变量达到理想铰接的 80% 以上时被认为是铰接。然而, 在实际工程中的连接的受力性能可能介于这两者之间, 因此被当做半刚性连接。

在钢结构中半刚性节点连接之间有相对的转动, 因此此连接能承受弯矩^[2]。很多学者对这种半刚性节点连接做出了研究, 认为该节点在地震的作用下能够通过出现一定量的变形以及吸收地震的能量从而减轻了结构在地震作用下的破坏。

^{*} 基金资助: 安徽省科技攻关计划资助项目 (1501041133)

1 有限元模型的确定

据文献[3]，金坎辉模拟了一种新型的柱脚连接方式，如图 1 所示，这种柱脚连接节点基础板底部两端设置有两排轴向弹簧单元，可以使柱脚在荷载作用下产生滑动。他用 ANSYS 对这种柱脚用软件模拟，得到了此种柱脚剪切—滑移关系曲线和弯矩—转角关系曲线，对这两种曲线走势进行分析发现了该种柱脚节点是一种半刚性连接。为了真实的模拟柱脚滑移的过程，他不断的施加位移荷载，得到各荷载步内力与位移结果表，如表 1 所示。

本文引用了此种半刚性柱脚做进一步分析，建立两个相同尺寸的单跨两层框架模型，一个是柱脚皆为此种半刚性连接，另一个是柱脚皆为刚性连接，在相同的加载模式下，对两模型进行对比分析其内力图。

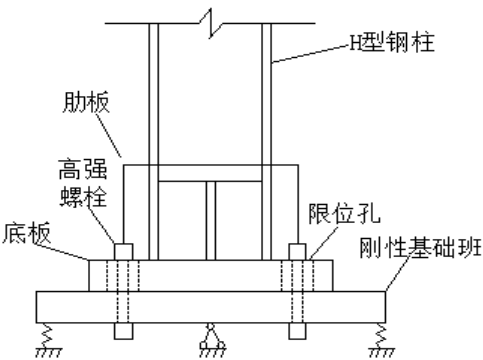


图 1 柱脚节点构造图

表 1 各荷载步内力与位移结果表

u/mm	F/KN	Δ/mm	M/(KN.m)	θ/rad
52.5	199.57	6.070	239.48	0.0392
55.0	200.77	8.002	240.92	0.0396
57.5	203.2	9.707	243.84	0.0402
60.0	205.02	11.509	246.02	0.0406
62.5	206.53	13.374	247.84	0.0410

1.1 结构框架尺寸和材料的选取

分析对象为单跨两层的钢框架结构模型。该框架模型采用跨度为 4.8m，每层层高为 3m，如图 2 所示，所有柱子和横梁均采用工字型钢截面，柱子的截面尺寸为 HW300*300*8*12，梁的截面尺寸为 HW200*200*8*10，都选用 Q345 钢材，弹性模型取 2.01×10^5 MP，泊松比取 0.3。

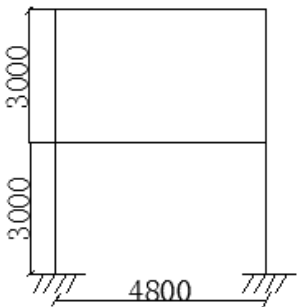


图 2 框架平面结构布置图（单位 mm）

1.2 模型单元

本文采用 ANSYS 进行仿真模拟，本模型的横梁与柱采用 BEAM188 单元，因为 BEAM188 单元是 3D 线性有限应变梁单元^[4]，图 2 的框架是平面杆系结构，用梁单元模拟空间的杆系结构要比实体单元更加贴切

[5], 所以本文采取 BEAM188 单元来模拟横梁与柱。而在图 1 中提到一种特殊的柱脚, 其连接节点基础板底部两端设置有两排轴向弹簧单元, 使柱脚在荷载作用下产生一定的滑动。所以本模型采用 COMBIN39 非线性弹簧单元模拟这种半刚性连接, 这是因为 COMBIN39 单元是一种非线性弹簧单元, 这种单元是广义力-变形曲线 (F-D 曲线) 单向单元[6], 在各类分析中都可以应用。

在此模型中半刚性框架模型中柱脚的半刚性是通过设置两个弹簧单元来实现, 弹簧单元两端分别为: 一端与柱子的节点相连, 另外一端施加完全约束, 弹簧是零长度的, 通过控制其参数来分别模拟柱脚在滑动方向的半刚性与转动方向的半刚性[7], 而相对应的弹簧参数在表 1 中选取。

2 两模型内力分布的比较

2.1 模型加载

模型的加载模式是, 首先在两个柱顶施加竖向的 500KN 荷载, 接下来在左柱的柱顶施加水平荷载 40KN (试过 100KN、80KN 的水平荷载, 结果水平荷载太大导致框架变形, 最终选定 40KN)[8], 为了进行对比分析, 对于半刚性模型与刚接模型采用相同的荷载加载方式。

2.2 两模型弯矩图对比

为了比较半刚性节点连接对钢结构的整体性能影响, 分别提取了刚接框架模型与半刚性框架模型的弯矩、剪力、轴力进行对比分析。其弯矩分布图分别见图 3、图 4。

通过图 3 与图 4 比较可以看出, 在刚接框架中, 弯矩最大值出现在两个柱脚, 其值为 28.90KN.m, 在第二层柱子和横梁上, 它们的弯矩都是比较小的, 横梁端部最大的负弯矩值为-6.10KN.m。可以从图 3 看出, 半刚性柱脚框架的弯矩最大值在横梁端部, 最大值也只有 6.30KN.m, 相比较刚性框架大大减少了很多, 它的横梁最大负弯矩值-6.30KN.m, 在梁柱的节点处, 而两个半刚性柱脚的减小很多, 有上述数值可以发现半刚性节点连接可以改进柱脚的受力情况并且改善了整个结构的内力[9]。

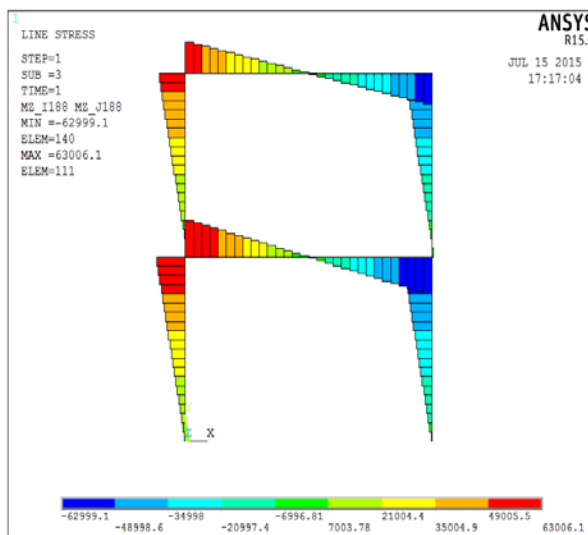


图 3 半刚性连接框架弯矩图

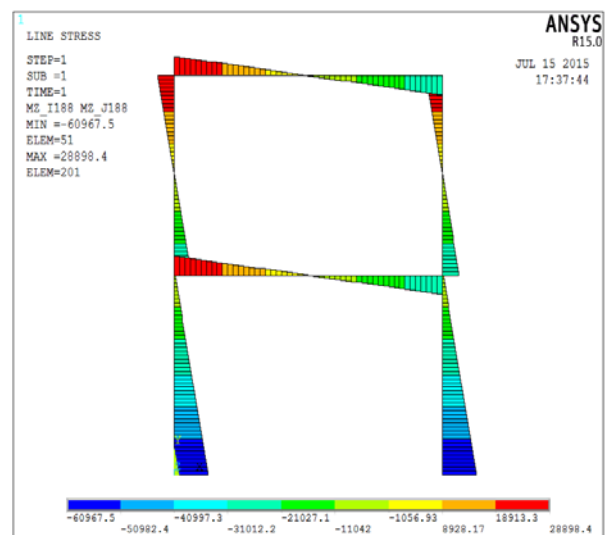


图 4 刚性连接框架弯矩图

2.3 两模型剪力图对比

两模型的剪力分布图分别见图 5 与图 6。在图 6 中可以看出刚接框架中柱子的剪力相差不大, 最大正剪力为 12.28KN 出现在横梁上, 最大的负剪力为-20.04KN 位于左柱顶。图 5 中半刚性框架中, 两个柱子剪力差距也不大, 其最大的正剪力为 27.16KN 位于横梁处, 相比较刚接框架, 最大正剪力有所增大, 其最大负剪力为-20.03KN 与刚接框架一样位于左柱顶端。从上述分析中可见, 刚接框架以及半刚性框架剪力分布范

围基本一样，最大、最小剪力都出现在相同位置，只是剪力数值半刚性框架明显增大。

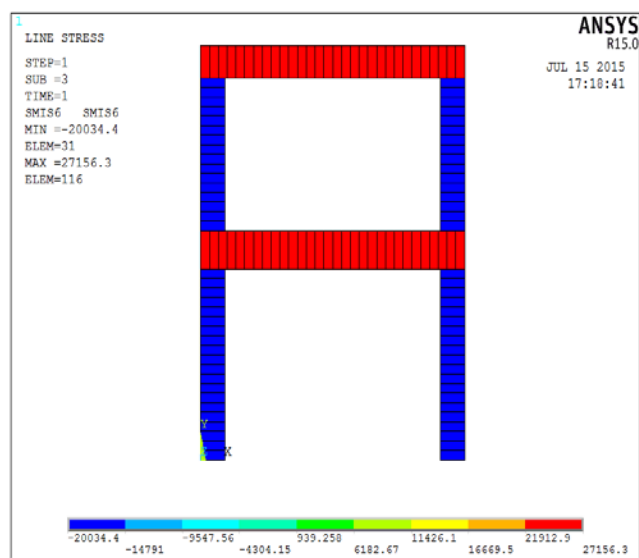


图5 半刚性连接框架剪力图

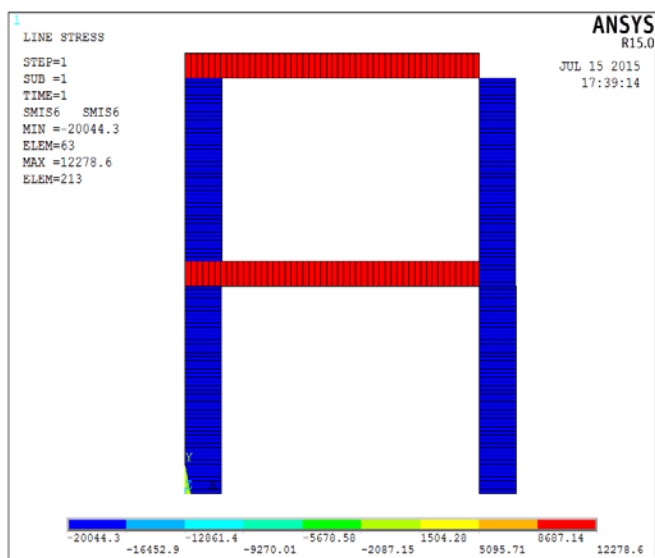


图6 刚性连接框架剪力图

2.4 两模型轴力图对比

两模型的轴力分布图分别见图 7 与图 8，通过图 8 的刚性框架轴力图可以看出，其轴力分布非常不均匀，引起这个不均匀的原因是左柱柱顶施加了横向的荷载，这样使左边柱子整体压力变小，其值为-366.58 KN，而右边柱子增大至最大轴力为-534.36KN。通过图 7 的半刚性框架可以看出，右边柱子轴力为-550KN，左边柱子轴向力为-260.79 KN，左边柱比右边柱轴向力减小很多，说明其轴向力出现了重分布，左右柱子的轴向力值相差非常大。

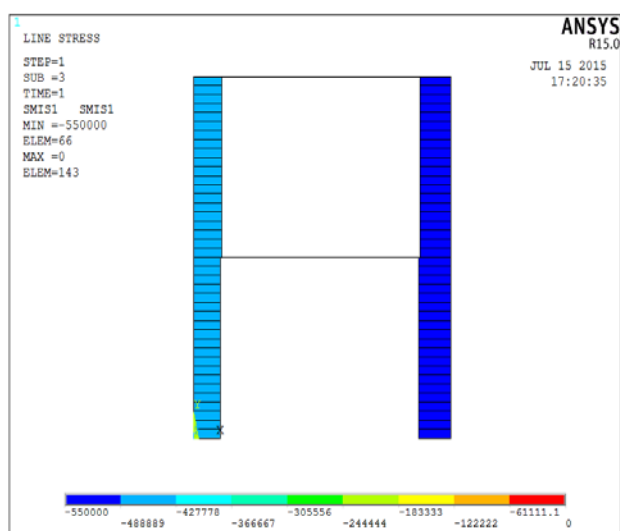


图7 半刚性连接框架轴力图

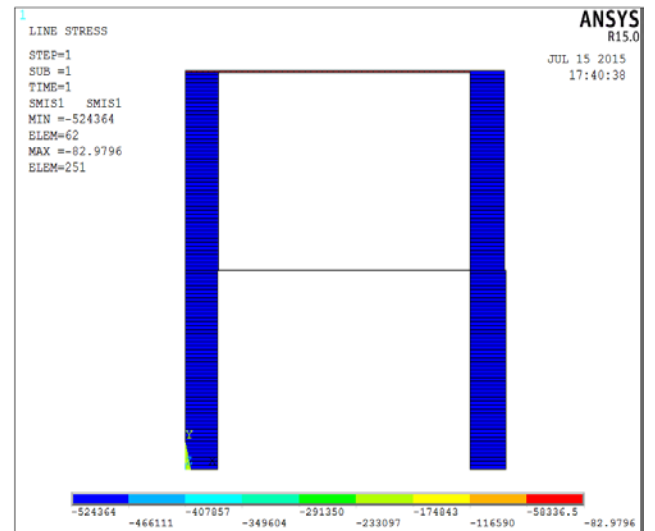


图8 刚性连接框架轴力图

从 ANSYS 模型中中提取了它们的弯矩、剪力、轴力值。然后比较内力值的变化，三个柱脚的内力值大小见表 2。

通过表 2 的内力数值表可以看出，刚接框架柱脚与半刚性框架柱脚的剪力与轴力值变化幅度比较小，剪力与轴力值相差不大。但是它们的弯矩值相差非常大，半刚性框架的柱脚弯矩值相比较钢框架柱脚弯矩值较小幅度非常大。再从各个模型内部的左右柱子来看，各模型内部左右柱子的剪力以及弯矩值相差不大，但是轴力相差非常大，右柱相比较左柱轴力值大幅度增加。综上所述，发现采用半刚性连接的框架内力由

了重分布^[10]，弯矩以及剪力出现大幅度变化，而剪力的影响并不大。

表 2 刚性连接柱脚与半刚性连接柱脚节点内力表

内力	左边柱		右柱	
	刚接	半刚接	刚接	半刚接
剪力/KN	-19.96	-19.93	-20.04	-20.03
轴力/KN	-0.48E+06	-0.45E+06	-0.52E+06	-0.55E+06
弯矩/(KN.M)	-60.88	-1.50	-46.54	-10.57

2.5 两模型位移对比

从 ANSYS 模型中提取了刚接框架和半刚性框架所有柱子不同位置的位移进行对比分析，各个部位的数值见表 3 和表 4。

表 3 刚性连接框架与半刚性连接框架节点水平位移汇总

位移/mm	左柱		右柱	
	刚接	半刚接	刚接	半刚接
柱脚	0.00	0.17E-04	0.00	0.17E-04
一层柱顶	0.17E-01	0.87E-01	0.17E-01	0.87E-01
二层柱顶	0.06	0.15	0.55E-01	0.15

表 4 刚性连接框架与半刚性连接框架节点转角位移汇总

位移/mm	左柱		右柱	
	刚接	半刚接	刚接	半刚接
柱脚	0.00	0.32E-01	0.00	0.32E-01
一层柱顶	0.91E-02	0.23E-01	0.91E-02	0.23E-01
二层柱顶	0.84E-02	0.16E-1	0.84E-02	0.16E-1

通过比较表 3、表 4 中各项的数据同样可以得到，对于使用半刚性柱脚的框架相比刚接框架各个节点均出现了较大水平位移，该结论在各个节点的转角位移中也亦适用。由于半刚性框架结构柱脚处的转角位移，使得结构的水平位移随着高度的上升成正比增加，这在众多导致结构出现较大位移的原因中占最主要地位^[11]，同时在柱脚各个节点处的滑移不可避免，结构的整体通过滑移发生相应平移，和其他原因相比，该点成为结构出现较大位移的另一个重要原因^[12]。而事实上，各节点刚度是很大的，这也直接导致了刚接框架各个节点的位移都相对较小，理所当然发生的变形随之变小，在某些节点处甚至无法出现变形，此时再去观察结构整体的位移则相应变小。通过以上表格的比较易知在半刚性柱脚连接方式下，较大的水平位移的出现是由于较大的力的作用^[13]。

3 结论

文中采用的两个模型框架，其一柱脚皆为半刚性连接，另一个柱脚则是皆为刚性连接。两者的唯一区别在于柱脚处的连接方式，前者中的每个模型都是在柱脚处采用完全刚接，后者在同一位置则是采用半刚性的相同框架结构。在对两个结构施加相同荷载的过程中，我们明显发现两者整体的内力分布以及结构位移有着巨大的差别。在影响内力分布方面，半刚性柱脚连接的框架敏感度非常高，而刚接的结构在该方面则显得无动于衷，而在其中，弯矩和轴力又扮演了“领头羊”的角色，弯矩的变化趋势保持一致，即在各个柱脚处的弯矩均有较大幅度的减小，而轴力则是保持着上下振动的趋势，部分柱脚处大幅度增加，其他柱脚处又大幅度减小，而无论是哪种连接方式，剪力所受到的影响则比较小，各个柱脚基本保持着原有状态，虽然两者的受影响程度大相径庭，但是两者均能与柱顶施加的水平荷载、竖向荷载保持平衡^[14]。在水平位移和转角位移的比较中，半刚性柱脚的结构整体位移相比刚接柱脚的位移要更胜一筹，并且当水平荷载达到一定程度后，滑移在每个柱脚处均毫无例外的出现，同时每个节点的滑移量也保持在允许的范围内

^[15]。由上述可知，相对于刚接在内力分布及位移中的亘古不变，半刚性柱脚的框架受力明显使结构更加具备灵活性，在不会影响结构安全性能的同时具有了更好的工作性能。

REFERENCES

- [1] Ding Haoming, Shen Zuyan. A practical calculating model for semi-rigid connections[J]. Industrial Construction. 1992(11): 29-32.(In Chinese)
- [2] Shen Zuyan. A practical calculating model for semi-rigid connections[J]. Industrial Construction, 1990, 20(6): 29-32.(In Chinese)
- [3] Jin Kanhui, Duan Shujin. The Mechanical Properties Analysis and Application of A New Column Base Connection. [D]. Shijiazhuang Tiedao University.2012. 22-50(In Chinese)
- [4] Wang Xintang Explicit stiffness of spatial beams with arbitrary connections[J]. Space Structure.2003. 9(3):33-37. (In Chinese)
- [5] Li Qingfu. Semi-rigid connection steel frame deformation research[J]. Lanzhou. Lanzhou University of Technology. 2004. 14-22(In Chinese)
- [6] Dong Shilin, Zhao Yang, Zhou Dai. Space steel structure in our country in the development of new technology and new structure[J]. China Civil Engineering Journal, 1998. 31(6):3-14. (In Chinese)
- [7] Xu Manhua. The Research on Mechanical Behavior of Steel Frames with Semi-rigid Connections[J]. Changsha, Changsha University of Science and Technology,2005 .11-23(In Chinese)
- [8] Wang Lai, Wang Qi, Zhao Yanhong. Frame structure finite element analysis of the performance of semi-rigid connection[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2008, 27(1): 39-43. (In Chinese)
- [9] Li Guoqiang, Shen Zuyan. Semi-rigid connection steel frame elastic-plastic seismic response analysis[J]. Journal of Tongji University, 1992. 20(2):123-128. (In Chinese)
- [10] Li Guoqiang, Shen Zuyan. Steel frame elastic-plastic nonlinear analysis model of the static and dynamic response[J]. Journal of Building Structures, 1990. 11(2):51-59. (In Chinese)
- [11] LIGHT base E, ANDREW PLM. Elastic Analysis of Frame works with Elastic Connections[J]. Journal of the Structure Division, ASCE, 1974, 100(6): 1297-1309
- [12] JONES SW, PATRICK AP, NETHERCOT DA. Column with Semi-rigid Joints [J]. Journal of the Structural Division, ASCE, 1982, 108(2): 361-372
- [13] HADIANFARD MA, RAZANI R. Effect of Semi-rigid Behavior of Connections in the Reliability of Steel Frames[J].Structure Safety, 2003, 25(2): 123-138
- [14] BJORHOVDE R, COLSON A, BROZZETTI J. Classification System for Beam-to-beam Connection[J], Journal of Structural Engineering, 1990, 116(11): 3059-3076
- [15] LI GQ, JOHN M. Approximate Estimation of the Maximum Load of Semi-rigid Steel Frames[J]. Journal Constructional Steel Research, 2000, 54(2): 213-225

【作者简介】



¹ 丁克伟（1962-），合肥人，男，教授，博士生导师，主要研究方向为计算力学和结构工程。
Email: dingkw@ahjz.edu.cn



² 许亚红（1989-），女，安徽建筑大学硕士研究生。
Email: 383103423@qq.com