

混凝土压弯构件叠合后破坏形式探究

*沃中原¹ 冯鹏

(1. 清华大学土木工程系, 北京, 100084)

摘要: 给定一根承受轴压力 N 混凝土柱与一根承受纯弯矩 M 的混凝土柱, 若将二者的截面叠合在一起, 新的叠合柱可否承受复合荷载 $M-N$? 对于这个问题, 作者利用 $M-N$ 相关曲线进行了探究, 从图形的角度对问题进行了分析, 证明了大偏心破坏的不存在。并构造了一个叠合实例, 说明了小偏心破坏是可能发生的。上述计算探究均基于自编的计算程序。

关键词: 压弯构件 叠合截面 偏心破坏

Abstract: Given two concrete columns: one bears axial load N , another bears subject to moment M . This paper is mainly focus on whether the combination of both column could bear the combined loads: $M-N$? The author analyzed this question via graphic method, using the $M-N$ correlation curve, proving the zero possibility of large eccentricity destruction. To illustrate the existence of small eccentricity destruction, an example of combination was built in the next part. All of the research is based on a program edited by the author.

Key words: concrete members with flexure and axial loads combined section eccentricity destruction

1 问题简述

给定两根钢筋混凝土构件。其中一根最大可以承受轴力 N_0 , 另一根最大可以承受弯矩 M_0 。若将两者

截面叠合在一起, 形成新的构件, 试问新构件是否可以承受组合荷载 $M_0 - N_0$?

如图 1 所示, 一根最大可以承受轴力 N_0 的柱, 与

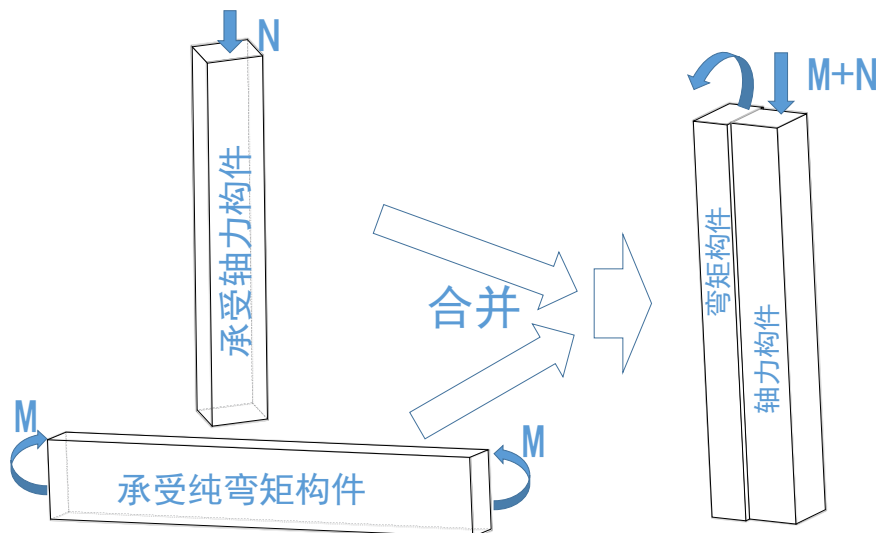


图 1 何为叠合

资助: 本研究工作得到了清华大学冯鹏教授的支持

* 作者简介: 沃中原, 男, 清华大学结构工程专业本科生

一根最大可以承受弯矩 M_0 的梁。将二者横截面叠合，施加以复合荷载 $M_0 - N_0$ ，其中弯矩 M_0 相对于梁构件横截面的方向不变，且叠合后，钢筋仍配于原位置。

问题是，合成的压弯构件是否可以承受 $M_0 - N_0$ 的复合荷载；若不一定能够承受，那么会发生大偏心破坏还是小偏心破坏？

2 计算程序

对于上述问题的探究，均基于一个可以计算输出压弯构件 $M - N$ 相关曲线的程序进行。本程序的计算公式与钢筋混凝土的本构关系选取，基于《混凝土结构设计规范》GB50010-2010。

程序计算 $M - N$ 相关曲线的算法，则依据参考文献[1]中的计算步骤，具体简述如下：

1. 取受压边缘的混凝土压应变等于 ε_{cu} ，即极限压应变
2. 取一受压边缘压应变
3. 根据截面应变分布以及混凝土和钢筋的应力-应变关系，确定混凝土的应力分布以及受拉钢筋的应力（平截面假定）
4. 根据平衡条件计算截面的受压承载力 N_u 和受弯承载力 M_u
5. 另取一受拉侧边缘应变，重复步骤 3 与 4

根据这一算法流程，可以计算出给定构件的 $M - N$ 相关曲线。

3 探究过程

探究过程主要分为两大部分，一是阐释了大偏心破坏的不存在性，二是构造了一个实例证明了小偏心

破坏的可能性。

3.1 大偏心破坏证否

3.1.1 分析

大偏心破坏的含义是，当受压侧混凝土达到极限压应变时，受拉侧钢筋刚好达到或者已经屈服。

大偏心破坏的物理定义，可以用 $M - N$ 相关曲线图来说明。如图 2 所示，当荷载点 (M_u, N_u) 在 $M - N$ 相关曲线的外部且低于曲线拐点时，将发生大偏心破坏。

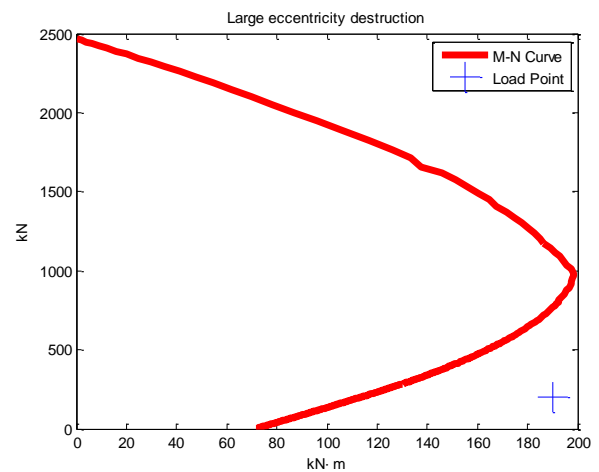


图 2 大偏心破坏示意

那么，如何利用 $M - N$ 相关曲线来否定大偏心破坏的存在性呢？我们注意到，根据弯矩相对方向不变的限定，叠合柱的抵抗纯弯矩的能力不会低于原梁，亦即新柱的 $M - N$ 曲线与横轴的交点将必然位于梁的抗弯承载力点 $(M_0, 0)$ 的右侧。

同时，由于叠合柱的截面积大于原柱，因而其承受的轴压力将大于原柱。

综合以上两点分析结果，叠合柱与两个原构件的 $M - N$ 曲线相对关系如图 3 所示。其中各个特征点均用字母标出。

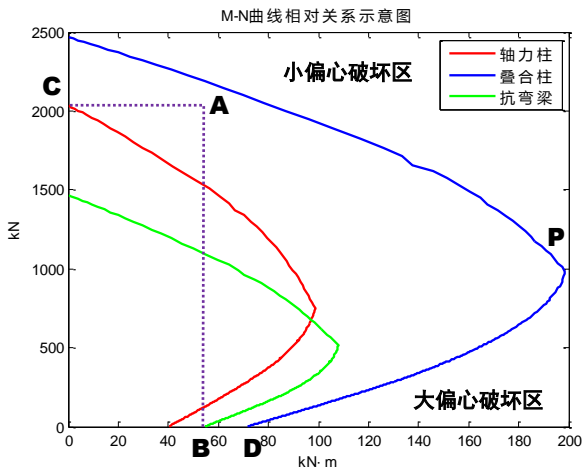


图 3 大偏心破坏证否示意图

3.1.2 证否

如前所述, 抗弯梁 $M-N$ 曲线与横轴交点 B 位于叠合柱 $M-N$ 曲线与横轴交点 D 的左侧。因此, 复合荷载点 (M_0, N_0) 点, 亦即图中点 A , 必然位于点 D 的左侧, 因为点 A 与点 B 的横坐标相同。

根据大偏心段的计算公式 [1], 大偏心段曲线为一段下凸的二次曲线。因此, 在点 A 位于点 D 左侧的限定下, 点 A 将不会位于大偏心段曲线 DP 的右侧。因此, 也就不存在大偏心破坏的可能性。

4 小偏心破坏构造

4.1 直观启发

从图 3 中, 我们不仅可以发现 (M_0, N_0) 点不会位于大偏心破坏区, 也发现此复合荷载点距离小偏心破坏区较为接近。

据此直观观察, 我们猜想, 小偏心破坏是可能发生的, 并尝试构造算例。

4.2 算例构造

通过一些尝试, 我们采用了以下的构造方式, 证明了小偏心破坏的可能性。

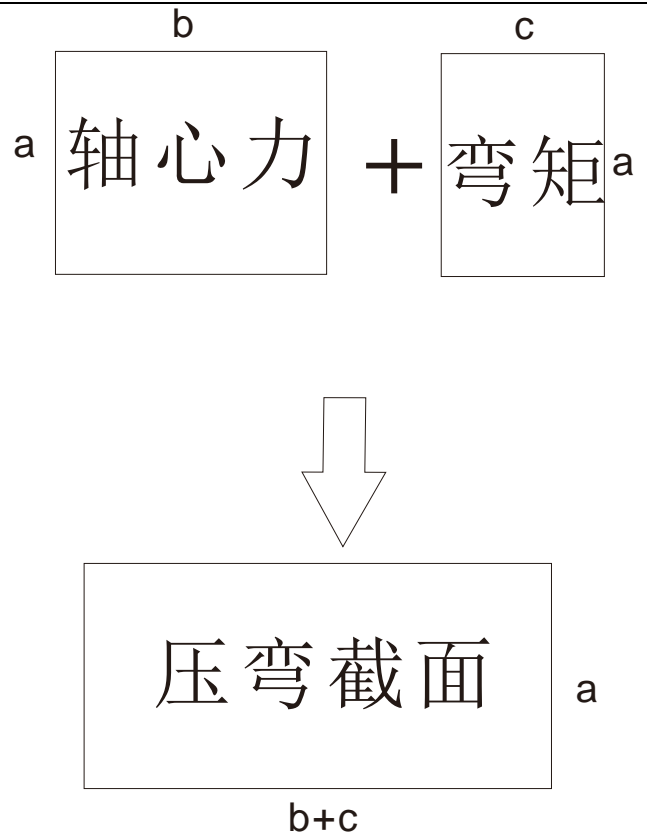


图 4 小偏心破坏构造方式

如图 4 所示, 截面为 $a \times b (a < b)$ 的素混凝土柱, 为承受轴压力 N_0 的原构件; 另一截面为 $a \times c (a < c)$ 的配筋混凝土梁, 为承受纯弯矩 M_0 的原构件。二者按照图中的叠合方式, 形成新的叠合截面, 尺寸为 $a \times (b+c)$ 。

赋予以下数值进行计算:

取 $a = 800$, $b = 2500$, $c = 200$, 混凝土等级为 C30。取受压侧配筋为 $A_s' = 1000mm^2$, 同时受拉侧配筋取为 $A_s = 4000mm^2$, 钢筋等级均为 HRB400 级, 保护层厚度取为 $25mm$, 进行计算。

程序计算的结果如 所示, 荷载组合点 (M_0, N_0) 已经位于大截面的 $M-N$ 曲线之外了, 且位于小偏心破坏区 (程序给出的是离散数值, 故而无法通过方程给出精确结果, 由图像绘出亦可判断)。

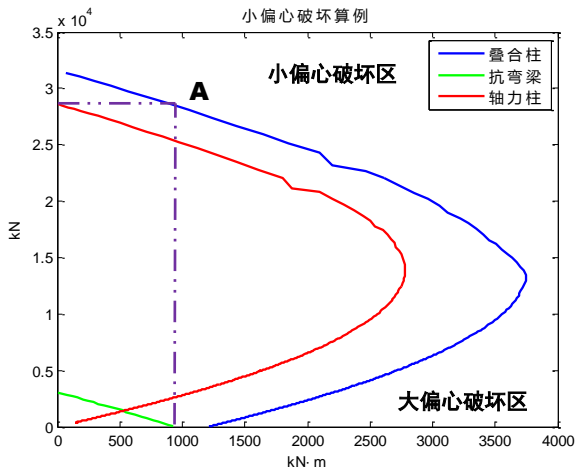


图 5 小偏心破坏算例

4.3 结论

根据此算例构造，叠合柱的小偏心破坏是可能发生的；同时，在探究中也发现，大部分情况下均是安全的，此小偏心破坏算例也是特殊构造的。

5 参考文献

- [1] 叶列平，混凝土结构，北京：中国建筑工业出版社，2014.
- [2] 中华人民共和国国家标准，混凝土结构设计规范 GB 50010-2010，北京：中国建筑工业出版社，2010.