

混凝土结构抗连续性倒塌设计方法研究

Research on Design Method of Concrete Structure Against Continuous Collapse

刘臣光

Chenguang Liu

山东艺术学院, 中国·山东 济南 250000

Shandong University of Arts, Jinan, Shandong, 250000, China

【摘要】论文先对连续性倒塌的基本概念和理论做了介绍,然后重点阐述了“拆除构件法”进行框架结构连续性倒塌的分析,最后采用 SAP2000 对两个工程实例进行连续性倒塌分析评判。

【Abstract】This paper introduces the basic concepts and theories of continuous collapse, then it focuses on the analysis of the continuous collapse of the frame structure by the "demolition component method". Finally, SAP2000 is used to evaluate the continuous collapse analysis of two engineering examples.

【关键词】混凝土结构;倒塌;设计方法

【Keywords】concrete structure; collapse; design method

【DOI】<https://doi.org/10.26549/gc.jsygl.v2i8.1113>

1 结构连续倒塌分析理论及设计方法

1.1 倒塌受力分析

通过对该倒塌事故分析得知,应该将这类连续倒塌定义为一种非线性动力的发展阶段,在非常短暂的时间内出现了载荷的作用,影响构件失效,出现力的消失,在该种载荷的作用下,结构形态从开始的静止到后来的运动,从而出现动力效应,在静力、动力的共同驱动下,还有一小部分结构发生了内力的重构,在惯性力的作用下,继续运动,最终结构彻底破坏,运动将会彻底消失。

1.2 破坏准则

一旦出现结构构件过度变形,而无法承载时,那么就认定构件失效,那么就要对此过程出现的塑性变形、承载力进行判断,即要选用合理的破坏评价准则。国内外学者提出了很多破坏准则:强度评价准则、变形评价准则、机构评价准则、稳定评价准则、疲劳破坏评价准则、能量评价准则以及变形/能量双重评价准则^[1]。

1.3 结构倒塌动力效应

在偶然载荷的驱动下,整个系统中部分构件在干扰下受到破坏的极短时间内,结构连续倒塌过程是局部破坏造成的

局部不平衡力向结构的其他杆件传递的动力过程。

结构动力响应通常用 DAF 动力放大系数(Dynamic Magnification Factor)表示,为在弹性单自由度系统中相同的荷载 P 的作用下动态位移响应(Δ_{dy})与其静态位移响应(Δ_{st})的比值,如式(1)所示。

$$DAF = \Delta_{dy} / \Delta_{st} = (P/k_{dy}) / (P/k_{st}) = k_{st} / k_{dy} \quad (1)$$

式中, k_{dy} 和 k_{st} 分别代表单自由度体系的等效静力刚度和动力刚度。

结构动力响应也可以用动力响应位移放大系数(Displacement Response Factor)来表示,即在相同的位移需求下的动力响应与静力响应之比。为了和上述区别,我们把式(1)定义为基于位移的动力放大系数,而将 DRF 定义为基于力的动力放大系数表达式见式(2)。

$$DRF = k_{dy} / k_{st} = P_{st} / P_{dy} \quad (2)$$

式中, $P_{st} = k_{st} \Delta_{st}$ 、 $P_{dy} = k_{dy} \Delta_{dy}$ 表示在时 $\Delta = \Delta_{dy}$,需要的静力荷载和动力荷载。很明显的看出结构在弹性阶段,基于位移的 DAF 与基于力的 DRF 是相同的。

建筑物在偶然作用下柱的突然失效,就会对剩余结构产生一个瞬时向下的大小等于失效柱承受的垂直荷载作用,假设柱的实效时间为 t_1 ,则在弹性阶段下,由上面的计算可得,基于位移的 DAF 表达式为:

$$DAF = 1 + \frac{|\sin(\pi t_1 / T_n)|}{\pi t_1 / T_n} \quad (2.15)$$

T_n 表示剩余结构在作用力方向上的固有周期。由于柱的实效时间很小,即 t_1 / T_n 接近于0,所以上式接近于2。

1.4 框架结构鲁棒性概述

系统对外界的干扰和内部因素抵抗,从而确保整个系统运行良好的能力,称之为鲁棒性。BS8110 将结构的抗连续倒塌性能称之为结构的鲁棒性,系统的部分区域内出现倒塌、失效,对于整个结构不会产生较大的影响的能力。

2 拆除构件法方法介绍

2.1 拆除构件

由于偶然荷载作用的不确定性,很难真实地模拟这种意外荷载,GSA2003 中拆除构件法的假设是偶然事件仅使结构单根构件破坏,梁柱节点及其余构件保持完整。

拆除构件法应该将可能失效的区域作为首要因素含有:

①建筑外部首层每层最接近短边处中心的柱突然发生失

效;②建筑外部首层每层最接近长边处中心的柱突然发生失;③建筑外部首层每层转弯位置的柱突然发生失效;④带有地下停车库和对于那些不在可控范围内的公共设施应该采取内部拆除工况,还要将内部的有些柱突然发生失效予以考虑,将首层和停车库或是公共区连接起来,同时还应该保证在柱网的内部。

2.2 荷载作用

进行连续倒塌抗力分析时施加的荷载:

①仅将首层竖向重点构件拆掉,连续倒塌抗力分析采用如下荷载组合:

静力分析:Load=2(DL+0.25LL)

动力分析:Load=2DL+0.25LL

②沿建筑全高进行各层竖向关键构件拆除时,连续倒塌抗力分析中施加的荷载组合为:

静力分析:Load=2(1.2DL+0.5LL)+0.2WL

动力分析:Load=1.2DL+0.5LL+0.2WL

其中,DL为恒载,LL为活载,活载大小应当高于设计活荷载或规范规定活荷载。

2.3 材料性能

构件在偶然作用下的失效是个短期行为,在瞬间脉冲作用下,钢筋和混凝土的平均应变速率比标准材性试验的应变速度高出几千倍,即应变率效应。这种效应会显著提高钢筋混凝土材料的强度和延性。因此,在结构连续倒塌分析时某些材料强度可以提高。根据《高规》第3.12.5条:构件截面承载力设计计算时,混凝土强度可取标准值;钢材强度,正截面承载力验算时,可取标准值得1.25倍,受剪承载力验算时可取标准值。

2.4 验收标准

拆除构件法中构件的失效标准是采用通用的性能指标 DCR 评估线弹性分析的结果。对于结构构件来讲,需供比(DCR)定义为:

$$DCR = Q_{ud} / Q_{ce}$$

式中, Q_{ud} —线弹性静力分析所得构件或节点所承受的内力需求量;

Q_{ce} —构件或节点的极限承载力(即抗弯、抗轴力、抗剪或抗可能的组合内力的承载能力)。

结构抗连续倒塌构件供需比 DCR 的验收标准为:

规则结构	$DCR \leq 2.0$
非规则结构	$DCR \leq 1.5$

3 连续倒塌分析在 SAP2000 中的实现

SAP2000 在世界范围内广泛应用,分析功能包括:静力线性分析、模态分析、反应谱分析、屈曲分析、多步静力分析、静力非线性分析、动力线性和非线性时程分析、稳态分析和功率谱密度等。

3.1 框架单元非线性模型

在 SAP2000 中,采用塑性铰来描述框架单元的非线性模型。SAP2000 提供符合 FEMA356 规范的六类默认铰属性,包括轴力铰、剪力铰、弯矩铰、扭矩铰、轴力弯矩铰和纤维铰。

如果要分析非线性静、动力,就必须将材料作为考虑的首要因素,在截面转动的条件下再来将塑性考虑进去,我们称之为塑性铰。连续性倒塌非线性分析阶段采用程序默认的塑性铰属性,框架梁在弯矩的驱动下,因此,要在两侧设立弯矩铰 M3,若是框架柱,那么就必须将轴力、双向弯矩双向驱动下的塑性铰予以考虑,在其两侧设立 PMM 铰。

3.2 分析步骤

论文仅进行弹性阶段分析,利用 SAP2000 分析步骤如下:

- ①建立有限元模型,施加原始荷载组合;
- ②施加与被拆除柱相邻区域的局部荷载组合;
- ③定义静力线弹性分析工况;
- ④拆除失效柱,运行分析,查看内力与变形;
- ⑤计算 DCR 值。

4 工程案例 1: 某单层框架地下车库连续倒塌分析

4.1 工程概况

青岛某在建地下车库属于单层钢筋混凝土框架结构,其建筑面积总共大致为 30000m²。因为前期施工的不达标,框架柱部分区域混凝土酥松或非混凝土材料,经现场检测其强度值最低仅为 10.0MPa,且离散型大。个别柱已严重受损,混凝土被压碎,钢筋压屈,经测量梁柱节点产生挠度最大已达到 32mm。

该地下车库为简单规则的框架结构,框架柱距为 8.1m,层高 4.25m,顶板厚度 250mm,主梁截面尺寸为 450mm×1000mm,柱截面尺寸均为 550mm×550mm,梁板柱混凝土强度等级均为 C30,其中框架梁柱的钢筋信息见表 1。

表 1 框架梁柱配筋信息

柱配筋/mm ²		梁配筋/mm ²		附加	
纵筋	上部钢筋	下部钢筋	梁箍筋	上部	下部
3054	7854	5400	D12@100/200	565	565

4.2 结构分析模型

基于其结构形式单一,只有一层,如果只考虑 GSA 准则,对拆除的构件使用静力线性分析,一旦框架柱受到破坏,其他结构的抗倒塌承载力及其性能,在论文结构倒塌分析中不考虑受损柱承载力的贡献。

4.3 线弹性分析

将框架柱拆掉,其他部分增设竖向荷载,和它被破坏的部分增设 2(DL+0.25LL)的竖向等效静力荷载,剩下的部分增设一般静力荷载(DL+0.25LL)。其中,DL 为结构恒荷载,LL 为结构的活荷载注:本例中地下车库上有 2.5m 覆土,取 DL=50kN/m²,LL=5.0kN/m²。

计算出与破坏柱相连的梁的 DCR 值见表 1,表中 -M_u、+M_u、V_u 分别代表梁端、跨中极限弯矩及极限剪力;-M_{max}、+M_{max}、V_{max} 分别代表结构在等效竖向荷载作用下的梁端、跨中弯矩及剪力。

表 2 与破坏柱相连的梁的 DCR 值

-M _u (KN·m)	2094.5	+M _u (KN·m)	1573.2	V _u (KN)	1343.4
-M _{max} (KN·m)	5234	+M _{max} (KN·m)	3311	V _{max}	2260
-M _{DCR}	2.5	+M _{DCR}	2.1	V _{DCR}	1.68

由表 2 可知,+MDCR>2,-MDCR>2,如果具体的数值已经不在 GSA 规定的区间内,对弯矩进行再次排列组合,其受到影响,结构将发生连续性倒塌,因此,必须在进行有效支撑且保证安全情况下,对上述混凝土柱进行加固改造。

5 结论

第一,借助 SAP2000 有限元分析软件,使用规范中的拆除构件法,分析整个结构中连续倒塌性能简单实用,易于被广大设计人员掌握。第二,通过工程案例 1,车库楼层柱被拆除后,剩余结构的抗连续倒塌性能不足,因此,必须在进行有效支撑且保证安全情况下,对上述混凝土柱进行加固改造。第三,论文仅对混凝土接着将从以下三个方面进行分析,分别是:第一、非线性静力分析;第二、线性动力分析;第三、非线性动力分析。此外,对混凝土剪力墙结构、钢结构等连续性倒塌分析,有待进一步研究。

参考文献

- [1]张林.浅谈混凝土结构抗连续性倒塌设计方法[J].建筑技术开发,2017,1(2):122-123.