

建筑施工安全事故流变过程

张守健

(哈尔滨工业大学 营造与房地产系, 150040 哈尔滨, zhangsj@hit.edu.cn)

摘要: 为认知建筑施工过程中安全事故的形成过程, 利用流变理论的基本原理, 研究建筑施工安全事故的单流变模式和多流变模式的发展过程, 给出两类流变模式的各阶段变化规律. 提出安全事故流变强度的概念, 利用故障树分析原理, 给出流变强度的计算方法, 并分析多流变模式下不安全事件对流变强度的结构敏感性和概率敏感性, 为提高建筑施工安全管理效率和水平提供有效的方法和实施路径.

关键词: 建筑施工; 安全事故; 流变模式; 流变强度

中图分类号: TU714

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)02-0088-04

Research on the rheological process of construction safety accidents

ZHANG Shou-jian

(Department of Construction and Real Estate, Harbin Institute of Technology, 150040 Harbin, China, zhangsj@hit.edu.cn)

Abstract: This research uses basic principle of the rheological theory to realize the formation process of the accidents in the building construction process; analyzes the developing process of the single and multi rheological model of the building construction safety accidents; provides the variation of the these two models. This paper also presents the conception of safety accidents rheological strength; gives the calculation method of the rheological strength by using the theory of fault tree analysis; discusses the structure and probability sensitivity of the rheological strength under the model of multi rheological.

Key words: building construction; safety accidents; rheological model; rheological strength

在工程建设领域,除了应用事故归因理论原理来预防和控制安全事故,研究人员还根据工程建设过程中安全事故的特点,使用安全突变理论、安全流变理论等分析安全事故发生过程.在突变理论应用研究方面,如根据大坝系统的势函数将其安全事故发生的临界点进行分类,利用突变理论研究临界点附近状态变化的特征,描述安全事故的发生过程,并给出了基于突变理论的系统发生事故时及事故前后的行为特征,建立了事故致因突变模型^[1].潘岳^[2]等建立了基于突变理论的折变模型和岩体动力失稳问题对应的突变模型的平衡方程,为预防塌方等安全事故提供理论依据.在流变理论应用研究方面,自 M. Reiner^[3]建立结构流变力学模型或理论流变力学模型以来,

更多的是对安全事故或灾害的流变过程的研究,揭示安全事故或灾害的流变发展规律.如对淤泥质软土在动态载荷作用下,通过理论分析和测试,建立了黏弹塑性流变力学模型^[4],并推导了新的流变方程和动态黏弹性流变参数,探索软土加速流变并导致岩土地质灾害的动力学机制^[5-6].通过对岩石弹黏塑性流变试验,建立了不同压力下的非线性流变模型等^[7-8].随着对各类安全事故的突变过程或流变过程的研究,又出现了系统安全突变-流变理论^[9],这一理论认为安全事故是由流变转化为突变的系统过程.上述研究对揭示各类安全事故的发生机理提出了有针对性的过程变化规律和模型,为安全事故的预防与控制提供了理论依据.但是,这些理论和模型所针对的对象多是单一的,即只是针对某一类事故进行研究,并且研究对象的安全环境变化很小.对于建筑施工过程来说,其各个工序作业相对稳定,但经常出现

收稿日期: 2010-01-10.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BA05B06).

作者简介: 张守健(1958—),男,博士,教授.

多工序交叉作业的情况,并且外部环境对建筑施工的影响较大,此时安全事故的发展过程变得更加复杂。

本文针对建筑施工的特点和工序的施工作业特性,基于安全流变理论原理,考虑多工序交叉作业的实际和外部环境的变化,研究建筑施工安全事故的流变过程和变化规律,为预防和控制建筑施工安全事故、提高安全管理效率提供理论依据。

1 建筑施工安全事故的流变特征

安全流变是事物发展过程中安全与不安全要素的矛盾运动过程,其决定了事物发展的各个阶段的安全状态与故障状态,甚至消亡状态。安全流变的全过程可表达为:在某一新系统诞生的初期,其不安全度随时间呈减速递增,新秩序在此期间逐渐形成和完善。当新秩序发展到成熟阶段时,完善的新秩序使不安全度值开始匀速缓慢地增加。经过一个稳定增加的时期后,原秩序继续向无序方向发展,进而使不安全度值开始加速增大。任何事物都具有其固定的不安全度承受能力或界限,超出此界限后,事物将在安全状态方面发生突变。事物发生安全状态突变时的不安全度值即是该事物的临界不安全度。因此,当不安全度加速增大到此临界不安全度值时,事物的破坏开始发生并持续一定时间。当原秩序被完全破坏后,事物又开始回归到安全状态,即不安全度近似为零值,原事物的秩序完全消失。从而又形成了另一个同类新生事物诞生的起点。

建筑施工安全事故是在建设工程施工过程中突然发生的、迫使施工作业过程暂时或永远终止的一种意外事件。这种意外事件的形成过程是作业活动、不安全因素、不安全事件、安全管理活动系统相互作用的结果。建筑施工过程中,安全事故的形成过程是多个不安全事件的组合发生而演变成的(也是安全事故发生后,确定原因的理论依据),其随时间动态变化,这一动态过程符合安全流变过程原理。

2 建筑施工安全事故流变模式分析

建筑施工过程中安全事故的表现形式是多样的,如高坠、火灾、触电等多种事故形式。每个安全事故的发生即是确定的,又具有偶然性。因此,在建筑施工过程中,其安全事故的流变是多流变模式,但针对一起安全事故的流变过程是单流变模式。

2.1 安全事故的单流变模式

建筑施工安全事故的形成过程表现为某一不

安全事件序列的有序产生,最终形成安全事故。其形成过程可用图 1 所示的单流变模式表示。

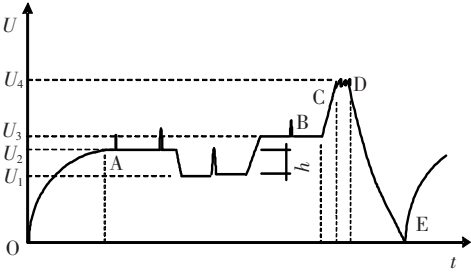


图 1 建筑施工安全事故的单流变模式

定义:流变强度是指安全事故流变过程中,形成此安全事故的不安全事件集合内的全部不安全事件发生的可能性。

图 1 中,横坐标表示时间,用 t 表示。纵坐标表示流变强度,用 U 表示, $0 \leq U \leq 1$ 。OE 表示一个安全事故形成的完成过程。建筑施工安全事故的单流变模式可以分为启动阶段 OA、振荡阶段 AB、激发阶段 BC、事故阶段 CD 和后效阶段 DE 5 部分。

1)启动阶段 OA。施工作业开始阶段,由于生产要素投入少,不安全因素较少。随着作业人员、设备、资源等要素的投入,不安全因素逐步增加,不安全因素集合不断增大,使流变强度 U 增加。在某一施工工序处于稳定状态时,流变过程达到稳定的状态点 A,即流变强度为 U_2 。

2)震荡阶段 AB。随着建筑施工作业的全面展开,不安全因素产生并存在于施工作业中,不安全因素不断地引起不安全事件的发生。不安全事件的发生规律具有随机性,即因为不安全因素的存在才可能发生不安全事件,但不是这些不安全因素都会时时表现为不安全事件。针对不安全因素而制定的安全管理行为,使多数不安全事件序列不能形成完整的事件序列,安全事故没有发生。有针对性地安全管理行为控制或消除部分不安全因素,使作业过程的流变强度降低,达到 U_1 。随着施工作业过程的展开,一些不安全因素出现新的扰动,使流变强度不断波动,达到 U_3 , h 表示震荡幅度,这一过程属振荡阶段。一般情况下,安全流变模式长时间处于震荡阶段而不发生安全事故。

3)激发阶段 BC。由于不安全因素的扰动积累到了一定的程度,使施工作业过程的流变强度突然急剧增加,达到最高水平 U_4 , $U_4 = 1$ 。此时不安全事件序列发生的可能性迅速增加,流变过程立即进入下一阶段。

4)事故阶段 CD。这一阶段表现为不安全事件完整并有序发生,致使系统的能量突然释放,安

时,该不安全事件 x_j 对流变强度的结构敏感性

$$Y(x_j) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{Y_i(j)}{\sum_{\substack{k=1 \\ x_k \in X_i}}^{m_i} Y_i(k)} \tag{4}$$

式中: k 为 X_i 中不安全事件的序号; m_i 为 X_i 中不安全事件的数量.

式(4)中,若 $x_k \notin X_i$,则 $Y_i(j) = 0$. 其中 $Y(j)$ 的计算^[13]如下

$$Y_i(j) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum [\phi_i(1_j, X) - \phi_i(0_j, X)].$$

$[\phi_i(1_j, X) - \phi_i(0_j, X)]$ 为与不安全事件 x_i 对照的临界割集.

计算全部不安全事件的结构敏感度 $Y(x_j)$, 可以实现 $Y(x_j)$ 的排序. $Y(x_j)$ 越大,对流变强度 U 的影响越大.

2) 概率敏感性. 不安全事件 x_{ij} 发生概率是变化的,不同的 x_{ij} 变化引起 U 的变化幅度不同. 因此,不安全事件 x_{ij} 对 U 的概率敏感性

$$G(x_{ij}) = \frac{\partial U}{\partial p(x_{ij})}.$$

将式(3)代入上式得

$$G(x_{ij}) = \frac{\partial(\bigcup_{i=1}^m \bigcap_{j=1}^n p(x_{ij}))}{\partial p(x_{ij})}.$$

计算不安全事件 x_{ij} 的概率敏感性 $G(x_{ij})$, 可实现 $G(x_{ij})$ 的排序. $G(x_{ij})$ 越大的不安全事件,表示该不安全事件发生概率 $p(x_{ij})$ 的变化对流变强度 U 的波动影响越大.

从上述流变强度的敏感性分析可知,在建筑施工过程中,某些不安全事件对安全事故的发生与否影响较大. 通过对施工作业中不安全事件的判别,可以有效地降低安全事故的流变强度,提高建筑施工安全管理效率.

4 结 语

建筑施工安全事故是以突变形式发生的,但其发展过程符合流变过程理论. 结合建筑施工安全事故的特征,研究了其单流变模式和多流变模式的变化过程,为预防和控制施工作业过程中安全事故的发生提供理论依据. 针对安全事故的流变模式,利用故障树分析方法基本原理,给出了流变强度的计算方法和敏感性分析,为提高建筑施工安全管理效率提供有效的途径.

尽管本文给出建筑施工安全事故流变过程的相关分析理论和方法,但是对流变过程有重要影

响的不安全事件序列的确定仍具有一定的难度. 现阶段不安全事件序列多是根据已发生的安全事故进行逻辑推理得到,如何认知各个施工作业阶段的全部不安全事件序列,将是下一步研究的重点.

参考文献:

[1] 马莎,肖明. 基于突变理论和监测位移的地下洞室稳定评判方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(2): 3812-3829.

[2] 马海军,黄德镛. 基于突变理论的采空区风险评价模型研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(22): 5369-5374.

[3] REINER M. Lectures on theoretical rheology[M]. 3rd ed. Amsterdam: North-Holland, 1964: 38-56.

[4] 胡华. 动载作用下淤泥质软土流变模型与流变方程[J]. 岩土力学, 2007, 28(2): 237-240.

[5] MARANIMI E, BRIGNOLI M. Creep behaviour of a weak rock: experimental characterization[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1999, 36(1): 127-138.

[6] LANGER M. Rheological behavior of rock masses[C]//Proceedings of the 4th International Congress on Rock Mechanics. [S. l.]: [s. n.], 1979: 29-62.

[7] 赵延林,曹平,文有道,等. 岩石弹脆塑性流变试验和非线性流变模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(3): 477-486.

[8] FUJII Y, KIYAMA T, ISHIJIMA Y, et al. Circumferential strain behavior during creep tests of brittle rocks[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1999, 36(3): 323-337.

[9] 何学秋,陈全君,聂百胜. 系统安全流变-突变规律研究新进展[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14(5): 159-166.

[10] DEMICHELA M, PICCININI N, CIARAMBINO I. How to avoid the generation of logic loops in the construction of fault trees[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2004(84): 197-207.

[11] CONTINI S, COJAZZI G G M, RENDA G. On the use of non-coherent fault trees in safety and security studies[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2008, 93: 1886-1895.

[12] DONG Yuhua, YU Datao. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005, 18: 83-88.

[13] 郭波,武小悦. 系统可靠性分析[M]. 合肥:国防科技大学出版社, 2002: 75-92.

(编辑 刘 彤)