

地震灾场与灾场控制问题研究*

李 杰

(化工部抗震防灾研究室)

摘 要: 本文提出了地震灾场的概念, 讨论了地震灾场的功能构成和灾场控制问题的提法。

针对地震次生灾害的控制问题, 建议了一个开环控制的理论模型。

关键词: 地震、灾害、控制

中图分类号: P315

强烈地震是对人类文明进程威胁极大的自然灾害之一。据统计, 二十世纪以来, 全球已有 160 万人死于地震, 仅 1950 年以来, 全球因地震造成的损失即达两千亿美元以上^{[1]**}。我国位于环太平洋地震构造系和大陆地震构造系的交汇部位, 是世界大陆区内最广阔的一个地震区。我国城市的 46% 和一批重点建设工程分布在地震带内。据统计, 新中国成立以来, 我国大陆又进入地震活动起伏增强的地震活跃期内, 据中期预报, 在未来十年内, 我国大陆将发生十次左右的七级地震。由于科学技术发展的总体水平限制, 在近期内, 实现控制地震发生的前景尚不乐观。因此, 怎样从提高城市综合防灾、抗灾能力的角度入手, 借助于系统控制理论, 建构起体系化的地震灾害控制理论和应用技术, 就成为一个相当迫切而现实的问题。可以预见, 一个从系统角度出发, 具有计算机支持的灾场控制理论有助于实现对地震灾害的有效控制, 而这一有效控制显然会对遭受地震的城市或区域的灾后功能恢复产生良好的影响。从这一立场出发, 本文探讨了地震灾场控制的可能性与现实性。文中, 首先论述了地震灾害场的基本概念, 从而界定了地震灾场控制理论的研究范围。其次, 以城市功能分区为基础, 研究了地震灾场控制的基本模式, 最后, 以地震次生火灾控制为例, 初步建议了一个开环控制的理论模型。

1 地震灾场的概念

在文献^[2]中, 我们初步定义了灾害场的概念, 并与灾害影响场进行了区分。本文, 进一步把灾害场概念具体化为地震灾场的概念。作者认为: 地震灾害场的概念包括两方面的跨度, 地域跨度和时间跨度。从地域跨度上看, 地震灾场是指受地震直接破坏影响的自然区划范围。这种区划范围根据震级的大小可以是一个或几个城、镇, 也可以涉及一个较大的行政区划, 而地震灾害影响场则包括了地震对社会的冲击范围, 即受地震灾害间接影响的自然区划或行政区划范围称为地震灾害影响场。从时间跨度上看, 强烈地震一般具有

* 收稿日期: 1991-07-16

** 国家自然科学基金资助项目

很强的后效性。地震使城市功能急剧下降,进入到一个紊乱、不稳定,不协调的状态之中,这种状态在震后相当一个时期是分段发生变化的。一般,把地震后一个星期称为应急反应阶段,震后一个月称为震后救灾阶段,而震后一至三年则称为恢复重建阶段⁽³⁾。地震灾场的时间跨度可以限定在受灾至系统功能初步恢复到灾前正常水平这一期间。与地域跨度相类似,地震灾害影响场的时间跨度可泛指间接受地震影响而造成系统功能变化的所有时段。

总结上述,我们可以这样定义本文的中心概念:地震灾场是指受地震直接破坏影响的自然区划范围,它横跨系统受灾至系统初步恢复灾前功能这一时间区段。

2 灾后功能与灾场控制

现代城市是一个具有多种功能的大系统。城市系统可以从地域上划分其结构分区(如行政区划),也可以从其具有的各种功能上进行功能分区⁽⁴⁾。

从地震灾场控制的角度,城市的基本功能则是指那些对于控制和减轻城市地震灾害必须具备的功能。这些功能包括:指挥、通讯、救援、供电、供水、交通、医疗、粮食及生活必需品供应等。这些基本功能通常又称之为城市的生命线工程。其中,我们把指挥、救援、医疗,叫做生命线工程中的软系统,而把通讯,供水、供电、交通与物资供应称之为生命线工程的硬系统。一般说来,软系统的控制大部分通过系统内部的自适应机制来实现(例如应急救援,医护及现场应急指挥等),少部分可借助控制技术来实现(例如救援物资调度,救灾指令的拟订等)。而硬系统的控制则大部分需要借助控制技术实现,少部分借助于系统的自适应机制来实现。当然,在实际做法中,软系统的控制与硬系统的控制是相互渗透的。例如,救灾指令的发出一方面是决策者的主观判断,另一方面又必须依据于对各个子系统功能现状的了解、分析、综合,这显然是大系统控制技术所处理的问题。

由于灾场控制的时间跨度也包括了城市灾后初期功能恢复阶段,所以完整的灾场控制系统还应考虑工业生产子系统,这样,本文所述灾场控制系统所针对的具体功能分区如图1所示。

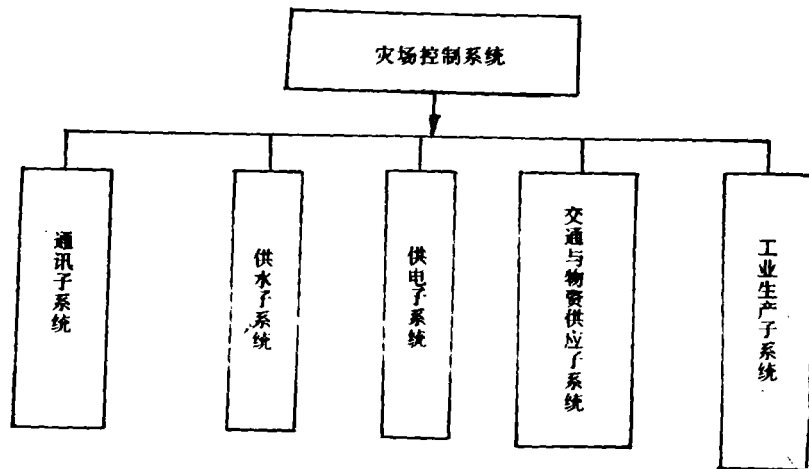


图1 灾场控制功能分区

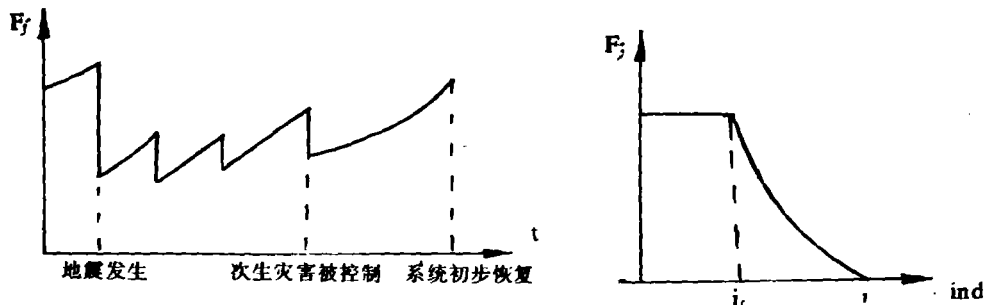
每一子系统都具有其独特的功能,我们统一地把各子系统输入与输出之间的关系称之为功能函数 $F_j(j=1,2,\dots,n)$ 。不同系统的功能函数是不同的,同一类系统的功能函数对于不同城市也是不同的。系统功能函数的构成,可以采用网络分析和元件功能函数相结合的方法进行^[5]。不失一般性,子系统功能函数 F 可以表示为:

$$F = F(x, B, M, P \dots) \quad (1)$$

式中, x 表示系统输入; B 表示子系统内的建筑物; M 表示元件内包括的机器设备及管线, P 表示元件内的工作人员等等。

对于地震灾场而言, B 、 M 、 P 等是反映系统元件功能的状态变量。在地震后,系统内建筑物,设备受地震袭击而导致震害,人员则有伤亡,系统的功能因之下降或丧失。

在地震灾害预测和地震损失估计中,存在着用震害指数来统一反映地震破坏和地震损失的倾向^{[6][7]}。记 ind 为震害指数,则利用灾场状态变量的关联度分析,可以将子系统灾场功能函数统一地表示为 $F_j(ind)(j=1,2,\dots,n)$ 。灾场系统的功能变化表现于时域之上,将具有图 2 (a) 所示形式,表示于震害指数论域上,则将具有图 2 (b) 所示形式。



(a) 图 2 灾场系统功能表示 (b)

图 2

所谓灾场控制,在广义上应泛指以减轻和限制地震灾害损失和影响范围的各种努力。这种灾场控制,包括了前述生命线工程的软系统和硬系统两种类型的控制。而狭义的灾场控制问题,则特指应用现代控制理论和技术来限制地震灾场范围,减轻地震灾害损失的理论方法和实践做法,后者,是本文研究的对象。

基于前述的灾场功能描述,我们建议了两类基本的灾场控制模式:开环控制模式和闭环控制模式。控制问题的提法是:

开环控制:是指根据对灾场震害预测成果和灾后系统的最低需求,对系统功能函数和系统输入施以必要的调整和控制,使系统输出达到救灾基本要求。

闭环控制:是指根据灾场状态变化,调整系统功能函数和系统输入,使得系统输出在救援阶段能满足救灾最低需求,在系统初期恢复阶段能满足系统最速增益的要求。

3 地震次生火灾的开环控制模型

对上述两类灾场控制问题,我们运用大系统理论的思想方法,在文献^[5]中分别讨论了问题求解的原则方法。本文,则试图针对地震次生火灾的控制问题,建议一个开环控制的理论模型,以为本文所述灾场控制问题提供一个具体案例。

地震次生火灾是指因地震直接或间接引起的火灾,历史地震经验表明,地震次生火灾有可能造成比地震本身更大的破坏,我们认为,在目前条件下,地震次生火灾的控制宜于采用开环控制的方式进行。问题的具体提法是:

根据次生火灾预测结果和供水系统灾后功能预测结果,选择最优控制策略,使能以最低控制代价满足系统火灾控制的基本需求。

次生火灾的预测,可以运用文献^[8]的方法,供水系统灾后功能预测可以运用文献^[9]中的有关方法,因此我们只着重探讨次生火灾控制的理论模型。

与传统的时域模式不同,我们建议以影响系统功能的名义震害指数为反映系统的基本状态变量,而取系统供水输出和与控制策略相对应的控制代价为控制量。考虑第 j 个火灾预测小区,根据系统构成,小区输入来源于主干供水网子系统(子系统 1)和备用水源子系统(子系统 2),小区输出则可只考虑主干供水网子系统(图 3)。其中输入和输出量的计算可参考文献^[6]中方法进行。

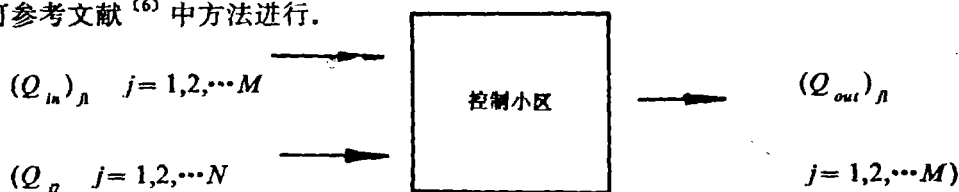


图 3 小区计算模型

为简单记,取

$$\left. \begin{aligned} \vec{y}_i &= \{(Q_{out})_j, j=1,2,\dots,M\}^T \\ \vec{x}_{ii} &= \{(Q_{in})_j, j=1,2,\dots\}^T \\ \vec{Z}_i &= \{Q_{xj}, j=1,2,\dots,M\}^T \\ \vec{S}_i &= \{Q_{Lj}, j=1,2,\dots,M\}^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

并记名义震害指数 ind 为 S ($S \in [0,1]$),于是,根据前述元件的功能函数表达式,可将控制小区输出方程写为:

$$\vec{y}_i = \vec{x}_{ii} - \vec{Z}_i - \vec{S}_i = F_i(\vec{x}_{ii}, \vec{Z}_i, S_i) \quad (3)$$

控制小区的约束方程则为:

$$Q_i = \sum_{j=1}^M Q_{xj} + \sum_{j=1}^N Q_{pj} \quad (4a)$$

或记为:

$$Q_i = f_i(\vec{Z}_i, S_i) \quad (4b)$$

基本的控制策略有两类:其一是针对配水管网中的薄弱环节进行加固或改造,其二是增加或改造控制小区内的备用水源,前者等价于改变子系统 1 灾后名义震害指数,后者则等价于增加子系统 2 的灾后输出或改变子系统 2 的灾后名义震害指数,我们把不同的控制策略所对应的投资之和称为控制代价(记为 d),则对第 i 控制小区有:

$$d_i = g_1(S_1, \vec{Z}_i) + g_2(S_2, Q_{2i}, B, M, P) \quad (5)$$

式中 g_1 为对应于主干供水管网的控制代价函数, g_2 为对应于备用水源的控制代价函数;

$$\bar{Q}_{2i} = \{Q_{2j}, j=1, 2, \dots, N\}^T \quad (6)$$

控制代价函数 g 可根据所选取的控制策略通过数字仿真计算给定。设整个城市共分为 n 个控制小区, 则各小区的输出与中间输入之间存在关系:

$$\bar{x}_{1i} = \sum_{k=1}^n C_{ik} y_k \quad (7)$$

对于具体的配水主干网络, 关系系数 C_{ik} 不难确立。

于是, 为实现次生火灾的开环控制策略, 可以取系统主干供水网络的小区输出为协调变量, 而以备用水源输出和拉格朗日乘子为反馈变量, 采用文献^[10]所述的分解——协调算法, 求取最优控制策略, 这种思想可以用图4来表示。

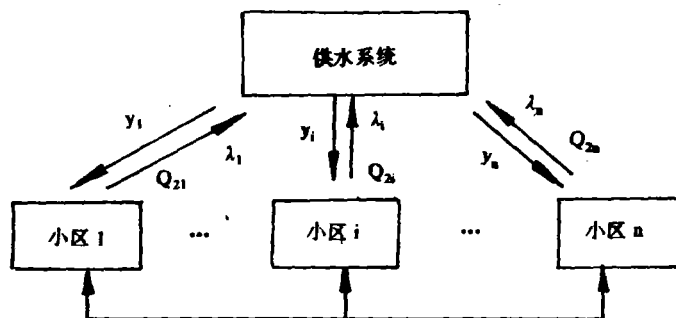


图4 分级控制模型

开环控制的子目标可写为:

$$\begin{cases} d_i = g_1 + g_2 \rightarrow \min \\ S_1 t_1 \bar{y}_i = F_i(\bar{x}_{1i}, Z_i, S_1) \\ Q_i = \sum_{j=1}^M Q_{xj} + \sum_{j=1}^N Q_{j2} \\ \bar{x}_{1i} = \sum_{k=1}^n C_{ik} \bar{y}_k \end{cases} \quad (8)$$

并预设: \bar{y}_i ($i=1, 2, \dots, n$)

写出上式的拉格朗日函数

$$\begin{aligned} L_i = g_1 + g_2 + \bar{Q}_{2i}(F_i - \bar{y}_i) + P(Q_i - \sum_{j=1}^M Q_{xj} \\ - \sum_{j=1}^N Q_{j2}) + \bar{\lambda}(\bar{x}_{1i} - \sum_{k=1}^n C_{ik} \bar{y}_k) \end{aligned} \quad (9)$$

根据予估值 \bar{y}_i , 利用拉格朗日函数存在极值的必要条件:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L_i}{\partial S_1} &= 0 & \frac{\partial L_i}{\partial S_2} &= 0 \\ \frac{\partial L_i}{\partial Q_{2i}} &= 0 & \frac{\partial L_i}{\partial P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

可以求得反馈变量 Q_{2i} 及 $\bar{\lambda}$, 将此两量反馈到整个系统之上, 验证约束条件。

$$\frac{\partial L}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

是否满足, 反复迭代而最终给出各子系统中的最优状态变量 S_{1i} , S_{2i} , 而据相应的控制策略则可算出最小控制代价。

4 结语

地震灾场控制是一个现实而富有潜力的研究方向。通过本文的探讨, 我们看到, 地震灾场控制与控制理论相结合具有广阔的研究前景。本文工作, 初步界定了地震灾场控制的研究范围, 并以地震次生火灾的控制问题为例, 建议了开环控制的理论模型。显然, 对于整个灾场大系统的理论建模工作, 还有待于进一步深入研究。抛砖引玉, 我们认为, 在近期内, 应着重下述几个方面的研究工作:

- ①子系统功能函数分析的一般建模方法研究;
- ②子系统功能函数与灾场大系统功能函数的关系模型研究;
- ③灾场信息网络的建立;
- ④信息模型与控制模型的匹配;
- ⑤灾场状态仿真技术研究。

上述工作, 不仅有待于地震工程界的努力, 更有待于从事系统工程的同仁们的支持与参与。唯有如此, 才有可能在较短时间里建立起较为完整的灾场控制论的基本体系, 才有可能为限制和减轻地震灾害做出我们应有的贡献。

参 考 文 献

- (1) 马宗晋等. 减轻自然灾害系统工程初议. 1990 年 1 月
- (2) 李杰. 区域性防灾系统研究的总体思路. 郑州工学院学报. 1990 年 3 期.
- (3) 《美国联邦政府对灾害性地震的反应计划》. 学术期刊出版社, 1989 年.
- (4) 张恩言等著. 《城市功能研究》. 武汉工业大学出版社, 1988 年.
- (5) 李杰. 地震灾场控制的理论模式研究. (待发表)
- (6) 严煦世, 赵洪宾, 编著. 《给水管网理论和计算》. 中国建筑工业出版社 1986 年
- (7) 李杰. 与震害指数相联系的地震损失估计关系式. 世界地震工程, 1992 年第 1 期
- (8) 李杰. 地震次生火灾预测模型和控制模型研究. 化工部抗震防灾研究室科学研究报告, 1990
- (9) 侯忠良主编. 《地下管线抗震》. 学术期刊出版社. 1989 年
- (10) 陈禹六编著. 《大系统理论及其应用》. 清华大学出版社. 1988 年

A Research on the Earthquake Disaster and Disaster Field Control

Li Jie

(Institute of Earthquake Engineering & Disaster Control of
Chemical Industry Ministry)

Abstract: This paper present an idea of earthquake disaster field, and discuss a series of relevant problems, such as the function construction of earthquake disaster, the diffination of disaster control problems. Considering the earthquake second disaster control, the paper has suggusted a open-lock control model.

KeyWords: earthquake, disaster, control

——获奖成果简介——

新型高效组合式节能换热器

由我院董其伍、刘敏珊副教授研制的“新型高效组合式节能换热器”已于 91 年获得省科委鉴定通过, 并获得 92 年北京国际发明展览会银牌奖, 92 年度河南省科技进步二等奖。该成果构思新颖, 具有充实可靠的理论研究基础、实验数据和完备的计算机设计程序。其设备由自行研制的折流杆壳程、变截面整体导流筒和夹套结构科学地组合而成。经实验室和工业化实验证明, 该换热器设备具有重量轻, 体积小, 传热效果好, 流体阻力小, 抗振性能好, 造价低, 运行稳定等优点, 可广泛用于强化壳程传热, 充分利用壳程流体热量的热交换过程。为石油化工、化肥、炼油等工业开发了一种性能优异的节能降耗新设备。该设备能互补地发挥三元件的优势, 使整体设备在优化状态下工作。