顾连胜.基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法[J].地震工程学报,2018,40(6):1350-1355.doi:10.3969/j.issn.1000－0844.2018.06.1350
GU Liansheng.Construction Site Safety Management Method Based on ARIO Model for Post-earthquake Reconstruction[J]. China Earthquake Engineering Journal,2018,40(6):1350-1355.doi:10.3969/j.issn.1000－0844.2018.06.1350

基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法

顾连胜
(东华理工大学 工程管理系,江西 南昌 330013)

摘要: 为提高受灾地区重建安全性,提出基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法。在将建筑设计影响因素划分为直接因素与间接因素的基础上,将 ARIO 模型引入震后重建施工现场安全管理中,利用其分析施工过程中各产业技术与该地区经济的联系,在考虑经济因素的基础上实现震后施工现场安全管理。设计并构建施工初期数据采集系统、施工前安全管理系统、施工过程中安全管理系统,将 ARIO 与 VR 结合,使各系统运行时施工人员能够在虚拟漫游中以第一视角完成虚拟施工,掌握整个工期、流程、所用设备等有关信息,并由辅助专家作出相应指导,实现震后重建施工现场安全系统化管理。提出施工安全辅助建议,以完善灾后重建安全管理方法。实验结果表明,该方法运行后安全系数大于当前方法,其科学性和鲁棒性较强。

关键词: ARIO 模型; 震后重建; 施工现场; 安全管理
中图分类号: TU714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000－0844(2018)06－1350－06
DOI:10.3969/j.issn.1000－0844.2018.06.1350

Construction Site Safety Management Method Based on ARIO Model for Post-earthquake Reconstruction

GU Liansheng
(*Department of Engineering Management, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China*)

Abstract: To improve the safety of reconstruction in disaster-stricken areas, a safety management method for post-earthquake reconstruction site based on the ARIO model was proposed. On the basis of dividing the influencing factors of architectural design into direct factors and indirect factors, the ARIO model was introduced into the post-earthquake reconstruction site safety management, and was used to analyze the connection between various industrial technologies and the regional economy during the construction process. The initial data acquisition system, pre-construction safety management system, and safety management system during construction were designed and established. The ARIO model was combined with VR, so that the builders can complete the virtual construction in a virtual roaming system during the operation of each system and

收稿日期: 2018-09-20
基金项目: 江西省教育厅科技计划项目(GJJ170454)
作者简介: 顾连胜(1978－),男,山东青州人,硕士,讲师,研究方向:工程项目管理研究。E-mail:a15874251626@163.com。

master relevant information such as construction period, process, and utilized equipment. Then the assisted experts can provide detailed guidance for the safe and systematic management of the reconstruction site after earthquake occurrence. The experimental results showed that the safety factor of this method exceeds that of the current method. Moreover, the method is highly scientific and robust.

Keywords: ARIO model; post-earthquake reconstruction; construction site; safety management

0　引言

众所周知，地震带来的经济损失和人身损失很大[1]。近些年，我国部分地区受到了多年不遇的强烈地震。2008 年汶川地震烈度为Ⅺ度，导致该地区发生大量次生地质灾害。此类灾害会阻断交通、威胁民房与安置点的稳定性，给灾区人民生命财产安全带来很大的威胁。灾区重建作为震后需要完成的计划之一，在安抚人心等方面意义重大。

震后需要重建的项目非常多，在高效完成地震后重建工程的同时保证施工现场的安全性，是科学重建与科学发展的重要前提[2-3]。当前国内震后重建施工现场安全管理主要由建筑施工方负责，一旦出现问题则由施工单位处理。此种方式忽视了安全管理需要具备的系统性，特别是前期建筑设计相关因素较多，对施工现场安全维护产生的影响较大。现阶段有关部门虽然已经设计并制定了很多施工现场安全管理规程，但震后重建需要注意的事项非常多。在重建家园的整个过程中，必须以科学为依据制定合理重建计划，并在保障重建施工现场安全性情况下尽量加快重建进度，这就更需要在重建设计阶段考虑安全问题[4]。降低施工现场事故的发生几率不仅要靠施工方，还要完善施工安全管理措施及节约施工成本机制，重建工程涉及到的各个单位均需落实安全理念，在各方配合下完善安全管理方法，力争为灾后重建施工现场安全管理提供较为可靠的支撑。

综合上述分析，提出基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法，以解决当前方法存在的问题。

1　基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法

1.1　影响因素分析

震后重建施工现场安全管理不仅要考虑余震或次生地质灾害等因素，还要考虑建筑设计因素。建筑设计影响因素可以划分为直接因素与间接因素两种：

直接影响因素：由于震后建筑工程中永久性构件在设计时出现问题，使得施工现场发生安全事故；施工人员在施工中因构件存在缺陷无法采取临时有效的安全措施，此时可确定施工现场安全和建筑设计存在直接关联。

间接影响因素：假设一个项目的一部分已竣工，在建设项目其他部分时，对竣工部分评审，根据评审结果减少工人现阶段面临的安全风险或者工人可以采取临时且有效的安全措施减少所面临的安全问题，以此提升震后重建施工现场安全性。上述为施工现场安全和建筑设计的间接关系。

1.2　基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理

现有一震后地区，其中包含若干处地质灾害路段，为地震导致的混合型灾害。以该地为对象，对 ARIO 模型与震后重建关系进行分析。分别选取了该地 7 处灾害路段，表 1 为震后地区详细情况。

表 1　震后地区详细情况

Table 1　Details of the post-earthquake area

序号	地质灾害类型	受灾长度/m
1	路基下沉、崩塌	270
2	边坡塌陷、路基下沉	160
3	边坡塌陷、路基下沉	185
4	滑坡、路基下沉	130
5	边坡塌陷、路基下沉	550
6	边坡塌陷、路基下沉	100
7	滑坡	59

以表 1 所列地区为对象，对该地区重建过程中必然存在的安全、成本等各方面问题，根据 1.1 分析结果，将 ARIO 模型引入震后重建施工现场管理中。

ARIO 模型以 IO，即投入-产出为基础，能够充分考虑震后各个产业部门的容量、经济系统现阶段弹性和震后重建各个部门生产约束等方面，模拟震后对地区重建成本的影响，为施工安全管理提供更为优质的建议[5-6]。

表 2 为 IO 矩阵平衡表，其从重建施工所需资源投入来源与资源分配去向方面描述震后重建施工各部门间联系与分配关系，能够从产量及结构方面系统地反映受灾地区重建时生产、分配均衡关系。

表 2 IO 矩阵平衡表

Table 2 IO matrix balance table

		中间需求				终极需求	总需求
		部门 1	部门 2	…	部门 n		
中间资源投入	部门 1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1n}	Y_1	Q_1
	部门 2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2n}	Y_2	Q_2
	…	…	…	…	…	…	…
	部门 n	x_{n1}	x_{n2}	…	x_{nn}	Y_n	Q_n
终极产值	损耗	D_1	D_2	…	D_n		
	劳动酬劳	v_1	v_2	…	v_n		
	社会收入	m_1	m_2	…	m_n		
	小计	Z_1	Z_2	…	Z_n		
供给总数		Q_1	Q_2	…	Q_n		

表 2 具有完整且严谨的均衡系统，能够实现震后重建施工过程中各产业间技术联系和该地区经济联系。表中的主要均衡关系为：

行均衡关系：震后重建中的各产业总需求与中间需求和终极需求之和相等。

列均衡关系：重建中各产业总供给与中间投入和附加价值和相等。

IO 模型主要依据为均衡体系，ARIO 模型也以这种体系为依据[7]。震后重建施工产业的直接消耗系数为各产业间相关度最直观的衡量标准。

在 IO 平衡模型的基础上利用 ARIO 模型分析了震后重建施工过程中各产业间技术联系和该地区经济联系，在成本的基础上实现震后重建施工前和施工中现场安全管理。图 1 为施工初期数据采集系统。

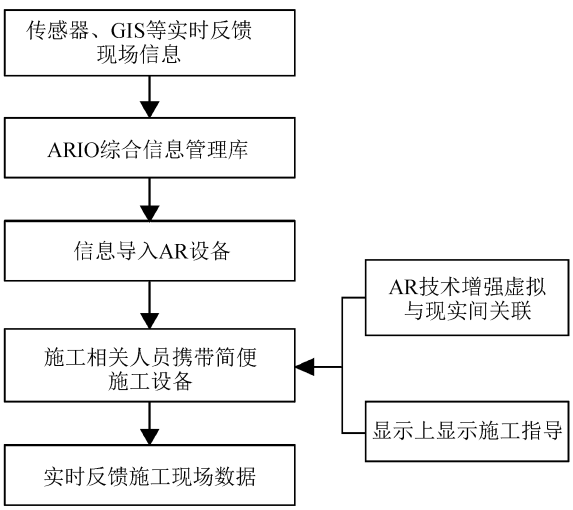


图 1 施工初期数据采集系统

Fig.1 Initial data acquisition system

在震后重建施工初期需要精细化信息采集技术，同时利用三维建模最大程度地降低突发事件发生概率。整合灾区地质信息，并模拟出相应环境，基于 ARIO 模型实现信息的多层次管理。

将采集到的灾区信息资源整合运用于 ARIO 模型中，结合 GPS 技术实现三维建模。此种方式建模的优势为将施工成本、施工安全和灾区地理位置信息结合在一起，有利于后期施工危险性分析，可以更为全面地将潜在风险识别出来[8-9]。

地震后的重建工程为一个较为庞大的系统，设计施工时有大量问题待解决，安全问题占首位。必须对施工过程中的人力、资源、各部门(环节)有效管理，才能做到设计施工一体化、安全与成本并存。

经研究表明，信息化时代产生了新型的管理契机，将各种类型的技术与智能设备运用好，同时提升人自身安全性在任何时候都是解决安全问题的重点[10]。目前震后重建施工中关于人的安全管理逐渐增加，不过实际上还是存在管理不完善的情况，此为传统震后重建施工现场安全管理方法中存在的弊端，需要引入新兴技术增加重建施工安全方面的性能。综上，构建的施工前安全管理系统如图 2 所示。

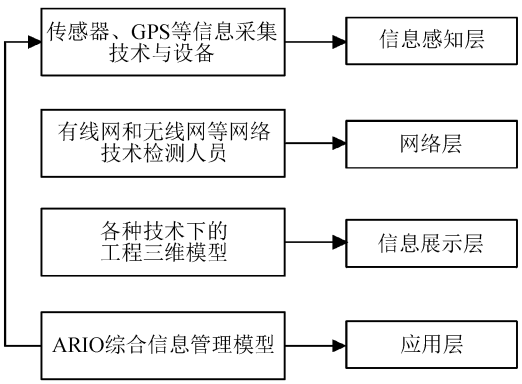


图 2 施工前安全管理系统

Fig.2 Pre-construction safety management system

由图 2 可知，在震后重建施工初期，信息采集系统可以保障相关人员在 ARIO 综合信息管理模型上构建一个比较完整的成本与施工安全互联模型。依据所建模型能够在漫游中发现信息整合过程中施工各方存在

的冲突，施工各方参与人员能够在该模型中以第一视角完成虚拟施工。在虚拟施工中，施工人员、各部门、资源可能随时被调动，引入杜邦观察法对三者观察并记录，将记录下来的内容整理分类，汇总至 ARIO 综合信息管理模型中，以方便解决相关安全问题。

施工过程中安全管理系统如图 3 所示。

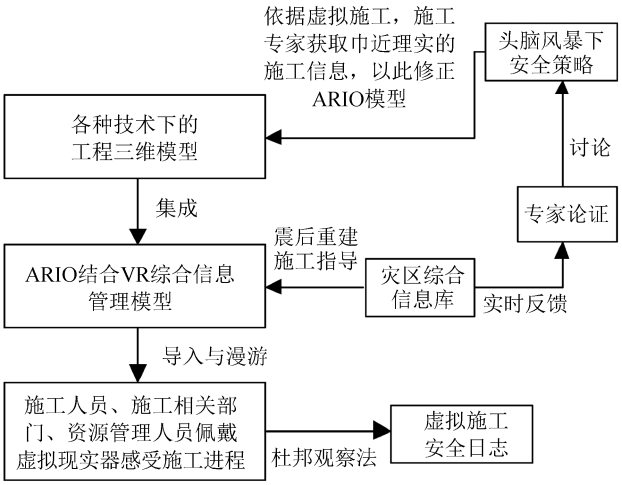


图 3　施工过程中安全管理系统

Fig.3　Safety management system during construction

在震后重建施工过程中，需提前准备好灾区信息数据库，并将各角色安插其中。前期工作准备好后，进入施工环节。施工中需要协调好各部门、人员、物资关系，安全管理要更加突出。在 ARIO 与 VR 结合模型下，各方专家已经掌握了施工整个工期、流程、所用设备等信息，具体施工过程即将模型照搬至现实中，辅助专家作出相应指导。

以将信息及时传递到施工相关人员处为目的，通过 AR 技术加强显示与虚拟之间的联系。AR 技术为将计算机生成的虚拟数据在现实中的运用，以此实现虚实结合，在震后重建施工中使相关人员能够更加直观地感受施工进程。施工阶段，AR 技术中的增强设备和监测设备可以交互式地显示施工现场与模拟施工现场，从而更加可靠地管理震后重建施工现场安全性。

基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理平台是一个智能化的平台，其中的组成人员能够利用科学的技术与手段不断提升自身在施工中的可靠性，以此增强施工安全性。另外，对震后重建实行虚拟施工的意义很大，其能够在实际施工前将客观潜在的安全因素辨识出来，以此设计并制定出相应措施。现实施工过程中，将避免客观潜在安全因素的主要步骤呈现于 AR 技术的信息增强设备上，进而增加施工安全性。

1.3　震后重建施工现场安全管理其他建议

如果重建工程处在余震区域，就必须保障余震发生时工程与施工人员的安全；震后重建高处作业施工难度大，其中的安全防护尤其重要；如果工程建设时正处于雨季，此种情况需要保障汛期施工现场安全；施工过程存在交叉作业与重叠作业，该方面的安全防护十分必要；用电、用火等安全防护。

在以上建议的基础上，加强施工相关人员的安全教育。针对不同工程自身特点，设计并制定具有针对性的措施与专项安全施工策略，做好安全技术的交底工作，抓好不同施工阶段的安全防护问题。不同施工阶段负责领导要落实包保；安全机构和相关人员装配要齐全；相关各部门人员要依据职责分工做好安全防护工作，构建群体安全总格局。

2　实验结果与分析

为验证基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法的有效性，将该方法与现有的基于 ERPTM 模型灾后重建安全管理方法作对比，将这两种方法应用于某地区灾后重建的实际工况中。实际工况如上文表 1 内容所列，图 4 为部分震后待重建工程。

(a) 工程示例一　　(b) 工程示例二　　(c) 工程示例三

图 4　部分震后待重建工程

Fig.4　Some pojects to be reconstructed after the earthquake

依据上述实验环境完成实验，实验分别以当前方法和所提方法在震后重建施工现场安全管理中应用后的安全系数大小为对比指标，以此验证所提方法性能。安全系数 $Y(i)$ 的计算方法为：

$$Y(i)=\left[1-\frac{D(i)}{\beta(i)a(i)}\right]\times n$$

其中：$D(i)$ 表示资源投入量；$\beta(i)$ 表示直接受灾程度；$a(i)$ 表示灾后重建施工进度；n 表示专家数量。

实验结果如表 3 所列。

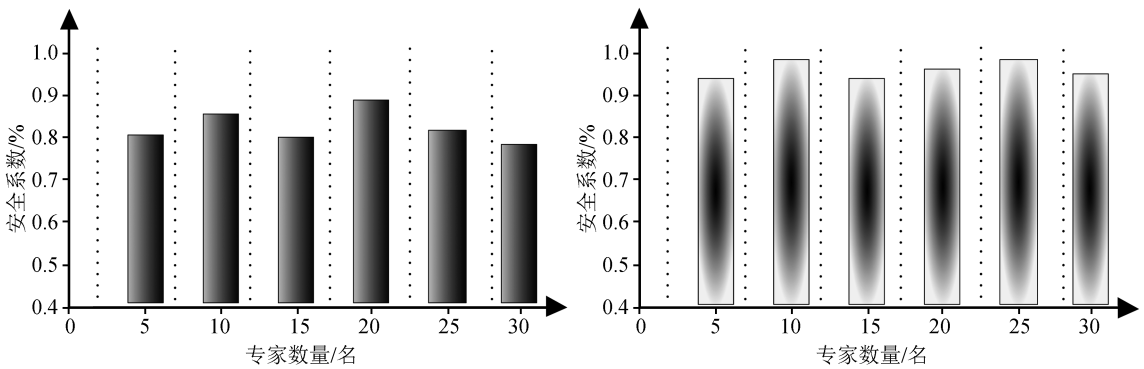
表 3 不同方法运行后施工现场安全系数统计

Table 3 Statistics of construction site safety factors using diffeerent methods

方法	专家数量/名					
	5	10	15	20	25	30
现有方法	0.8	0.85	0.8	0.88	0.82	0.78
所提方法	0.93	0.98	0.93	0.96	0.99	0.95

为更直观地对比出两种方法的施工现场安全系数，根据表 3 中的数据绘制出直方图(图 5)。

分析表3和图5可知，将本文提出的基于ARIO模型的震后重建施工现场安全管理方法应用于震后重建后，施工现场的安全系数始终保持在 0.9 以上，而现有方法的安全系数不稳定，处于 0.8～0.9 之间，始终低于所提方法。因此与现有的方法相比，本文方法的安全系数更大。



(a) 现有方法 (b) 所提方法

图 5 不同方法运行后施工现场安全系数对比

Fig.5 Comparison between safety factors in construction site using different methods

3 结论

工程自身特点各异，其安全管理和防护策略也不尽相同。在此，针对震后重建提出基于 ARIO 模型的震后重建施工现场安全管理方法，在区域投入与产出基础上制定施工安全措施。实验结果表明，所提方法利用 ARIO 模型，以重建各方成本为基础，通过虚拟重建实现震后重建安全管理，提升了施工安全系数；所提方法行之有效，能够为该领域研究提供一定程度上的借鉴。

参考文献(References)

[1] 黄建文，王东，廖再毅，等.基于组合赋权法和云理论的震后重建住宅工程质量评价研究[J].中国安全生产科学技术，2016，12(3)：127-132.
HUANG Jianwen，WANG Dong，LIAO Zaiyi，et al.Evaluation on Engineering Quality of Post-earthquake Reconstruction Residential Buildings Based on Combined Weight Method and Cloud Theory[J].Journal of Safety Science and Technology，2016，12(3)：127-132.

[2] 车高凤，刘红玫，柴少峰，等.甘肃岷县漳县 M_S6.6 地震王家沟灾后重建场地滑坡危险性评价[J].地震工程学报，2016，38(增刊 2)：325-328.
CHE Gaofeng，LIU Hongmei，CHAI Shaofeng，et al.Landslide Risk Assessment of Wangjiagou Post-earthquake Reconstruction Site after the Minxian—Zhangxian M_S6.6 Earthquake[J].China Earthquake Engineering Journal，2016，38(Supp2)：325-328.

[3] 杨月巧，郭继东，袁志祥.基于 ISM 的地震灾后恢复重建影响因素分析[J].数学的实践与认识，2017，47(11)：26-34.
YANG Yueqiao，GUO Jidong，YUAN Zhixiang. Influence-factors Analysis of Post-earthquake Recovery and Reconstruction Based on ISM[J].Mathematics in Practice and Theory，2017，47(11)：26-34.

[4] 汤家法，胥忞旻，张雅茜.北川震后重建居民点存在的问题与调控对策[J].山地学报，2016，34(2)：242-248.
TANG Jiafa，XU Minmin，ZHANG Yaxi.Some Problems and Its Adjustment Measures of Reconstructed Settlements after Earthquake in Beichuan[J].Journal of Mountain Science，2016，34(2)：242-248.

[5] 张加庆.基于大数据的地震损失价值评估模型设计[J].地震工程学报，2018，40(2)：356-362.

ZHANG Jiaqing. Design of Earthquake Loss Value Evaluation Model Based on Big Data[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(2): 356-362.

[6] 张宪洲，王小丹，高清竹，等. 开展高寒退化生态系统恢复与重建技术研究，助力西藏生态安全屏障保护与建设[J]. 生态学报，2016，36(22)：7083-7087.

ZHANG Xianzhou, WANG Xiaodan, GAO Qingzhu, et al. Research in Ecological Restoration and Reconstruction Technology for Degraded Alpine Ecosystem, Boosting the Protection and Construction of Ecological Security Barrier in Tibet[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): 7083-7087.

[7] 孟继慧，牟奕欣，胡炜. 丰满水电站重建工程碾压混凝土坝施工质量实时监控系统应用与分析[J]. 水利水电技术，2016，47(6)：103-106.

MENG Jihui, MU Yixin, HU Wei. Application and Analysis of Real-time Monitoring System for Construction Quality of RCC Dam of Fengman Hydropower Station Reconstruction Project [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(6): 103-106.

[8] 马时强. 中小学灾后重建施工技术若干问题的讨论[J]. 四川建筑科学研究，2016，42(3)：136-139.

MA Shiqiang. Discussion on Several Problems of Construction Technology in Primary and Secondary Schools Disaster Reconstruction[J]. Sichuan Building Science, 2016, 42(3): 136-139.

[9] 刘英，高扬，王少元. 5·12 地震灾后学校体育设施重建及利用研究[J]. 成都体育学院学报，2016，42(5)：65-70.

LIU Ying, GAO Yang, WANG Shaoyuan. Study on the Reconstruction and Utilization of School Sports Facilities after the 5·12 Earthquake[J]. Journal of Chengdu Sport University, 2016, 42(5): 65-70.

[10] 谭斯颖. 中国模式的灾后重建：精英化的景观改造实践——以汶川地震灾后重建为例[J]. 城市发展研究，2016，23(11)：39-44.

TAN Siying. Post Disaster Reconstruction in China: the Landscape Recreate by Elites: Case Studies in Wenchuan Earthquake[J]. Urban Development Studies, 2016, 23(11): 39-44.