

基于解释结构模型的夯土墙质量影响因素分析

黄 炜¹, 张黎明^{1, 2}, 卢俊龙³, 张程华⁴

(1.西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2.北方特种能源集团有限公司西安庆华公司, 陕西 西安 710025;
3.西安理工大学土木建筑学院, 陕西 西安 710048; 4.西安科技大学建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 夯土墙作为夯土建筑的主要受力构件, 其质量关系到结构的安全性. 夯土墙质量的涉及因素多, 因素间的主次关系和层级关系不明确. 基于 ISM 理论的思想, 给出夯土墙质量的解释结构模型的构建示意图; 结合夯土墙的现状调查及破坏特征, 选出 21 个影响夯土墙质量的主要因素, 建立夯土墙质量影响因素二元关系集合, 并进行矩阵量化分析; 利用规范法对矩阵进行区域化、层次化及级位化处理, 建立因素变量递阶结构模型, 构建出夯土墙质量的结构解释模型. 研究表明: 夯土墙质量影响因素可以分为 6 个层次, 明确了各影响因素间的主次关系和层级关系, 有效地指导夯土民居设计与施工.

关键词: 解释结构模型; 夯土墙质量; 影响因素; 规范法; 递阶结构模型

中图分类号: TU313; TU375

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2014)03-0333-09

随着科学技术不断发展创新, 社会劳动生产力得到极大地提高, 人类通过高新技术创造了舒适的生活、学习和工作环境. 这种非自然环境带来便利和舒适的同时, 也带来严峻的人居环境问题^[1-2]. 我国是发展中国家, 是一个能源消耗大、利用率低的国家, 作为国民经济支柱产业之一的建筑业能源消耗巨大. 我国农村民用建筑面积约为 240 亿 m^2 , 占全国总建筑面积的 60%. 农村民用建筑耗能总量和单位面积的能耗量都高于城市建筑. 我国十七大报告提出“统筹城乡发展, 推进社会主义新农村建设”的要求, 改善乡村居民的居住条件, 这必然导致农村建筑能耗的进一步提高. 因此, 新农村建设应坚持可持续发展的理念, 优先考虑生态节能住宅建筑体系.

夯土建筑^[3-6]是生态节能建筑重要形式之一, 是我国目前西北地区广大乡村居民延用的民居形式之一. 夯土墙是夯土建筑的主要受力构件, 其质量关系到结构的安全性. 夯土墙质量涉及的因素多, 且各因素之间相互作用、相互影响, 具有不确定性, 因此有必要弄清影响夯土墙质量的因素主次关系和层级关系, 以便有效地指导夯土民居设计与施工. 基于系统工程因素分析原理^[7-8], 给出夯土墙质量的解释结构模型的构建示意图; 结合夯土墙的现状调查及破坏特征, 选出 21 个影响夯土墙质量的主要因素, 建立夯土墙质量影响因素二元关系集合, 并进行矩阵量化分析; 利用规范法对矩阵进行区域化、层次化及级位化处理, 建立因素变量递阶结构模型, 构建出夯土墙质量的结构解释模型, 明确影响夯土墙质量各因素间的主次关系和层级关系.

1 解释结构模型的相关概念

美国 J·N·沃菲尔德教授 1973 年首次提出用于分析复杂社会经济系统结构问题的解释结构模型. 解释结构模型 (ISM) 基本思想是: 通过各种方法、技术和手段, 找出系统的组成要素或影响因素; 分析各要素或因素间的联系, 绘制有向图; 通过矩阵模型将各要素间的零乱、无规律、复杂的关系经过区域化、级位化后分解成清晰的多级递阶结构模型, 提高对问题的认识和理解程度.

夯土墙质量涉及因素较多, 并且很多因素难以直接进行量化; 因素间存在相互作用、相互影响的关系, 因此可以选用解释结构模型^{[9][10]}对夯土墙质量影响因素进行研究. 基于 ISM 理论的思想, 给出夯土墙质量影响因素的解释结构模型的构建示意图如图 1 所示.

收稿日期: 2013-09-03

修改稿日期: 2014-06-16

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目 (2012BAJ16B02); 国家自然科学基金项目 (50908188、51178385); 陕西省教育厅自然科学基金 (11JK0940)

作者简介: 黄炜 (1976-), 男, 博导, 教授, 主要从事新型建筑结构体系及复合结构理论研究. E-mail: qqhuangwei2005@126.com

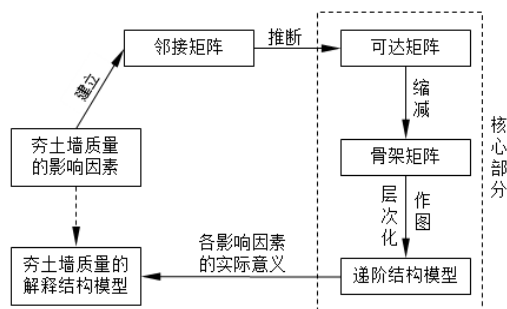


图1 夯土墙质量影响因素的解释结构模型的构建示意图

Fig.1 Construction of interpretative structural model for quality influencing factors of the rammed-earth wall

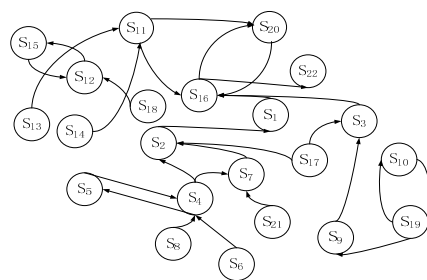


图2 夯土墙质量影响因素有向图

Fig.2 Directed graph of quality influencing factors of the rammed-earth wall

2 夯土墙质量因素变量

任何系统 S 都是由两个及其以上的相互联系、相互作用的要素 (S_1, S_2, \dots, S_n) 组成的一个有机整体。设系统由 $n(n \geq 2)$ 个要素 (S_1, S_2, \dots, S_n) 组成，其集合为 S ，则有：

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\} \quad (1)$$

2.1 夯土墙质量影响因素变量集合

将夯土墙质量作为一个有机的、复杂的结构体，影响夯土墙质量的因素作为其组成要素。通过对夯土墙的现状调查及对其破坏特征分析^[11-13]，给出影响夯土墙质量的因素，见表1。

选取影响夯土墙质量的 $n=21$ 个因素 $(S_1, S_2, \dots, S_{21})$ ，建立影响因素集合 S ：

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n | 2 \leq n \leq 21\} = \{\text{建筑材料, 夯筑工艺, } L, \text{虚铺厚度}\} \quad (2)$$

2.2 建立二元关系集合

二元关系是根据研究目的约定需要讨论的任意两个要素 (S_i, S_j) 间的关系 R_{ij} （简记 R ），包括影响关系、包含关系、隶属关系、因果关系等关系。当 S_i 与 S_j 无二元关系时，记为 $S_i \bar{R} S_j$ ；当 S_i 与 S_j 有上述二元关系时，记为： $S_i R S_j$ ；当 S_i 与 S_j 间的二元关系不明时，记： $S_i \tilde{R} S_j$ 。

将满足二元关系 R 的集合，称为的二元关系集合，记作 R_b ：

$$R_b = \{(S_i, S_j) | S_i, S_j \in S, S_i R S_j, i, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

根据夯土墙质量各影响因素间的关系，建立其二元关系集合：

$$R_b = \left\{ \begin{aligned} &(S_1, S_2), (S_2, S_{16}), (S_3, S_{16}), (S_4, S_5), (S_4, S_1), (S_4, S_7), \\ &(S_5, S_4), (S_6, S_4), (S_7, S_2), (S_8, S_4), (S_9, S_3), (S_{10}, S_{19}), (S_{11}, S_{16}), \\ &(S_{12}, S_{11}), (S_{12}, S_{15}), (S_{13}, S_{11}), (S_{14}, S_{11}), (S_{15}, S_{12}), (S_{16}, S_{20}), (S_{17}, S_2), \\ &(S_{17}, S_3), (S_{18}, S_{12}), (S_{18}, S_{14}), (S_{19}, S_9), (S_{19}, S_{10}), (S_{20}, S_{16}), (S_{21}, S_7) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

由式(4)知：二元关系集合 R_b 存在强连接（两因素相互影响），如墙体的强度和耐久性、门窗洞口的尺寸和开洞面积、土的含水率和干密度、自然气候和空气温湿度等。

2.3 绘制墙体质量影响因素有向图

基于2.2建立夯土墙质量影响因素二元关系集合，绘制墙体质量影响因素有向图(见图2)，用来粗略地表现各因素间的关系和整体结构形式。

3 墙体质量影响因素矩阵表达

3.1 质量因素变量邻接矩阵

将影响夯土墙质量诸因素间的关系数量化，拟采用邻接矩阵 A 的形式来表示其两两间的互相关

表1 夯土墙质量影响因素

Tab.1 Influential factors of the rammed-earth wall

变量	影响因素	变量	影响因素	变量	影响因素
S_1	建筑材料	S_8	改性剂种类及掺量	S_{15}	开洞面积
S_2	夯筑工艺	S_9	水份蒸发速度	S_{16}	强度
S_3	养护	S_{10}	空气温湿度	S_{17}	施工员素质
S_4	土的含水率	S_{11}	设计合理性	S_{18}	抗震构造
S_5	干密度	S_{12}	门窗洞口尺寸	S_{19}	自然气候
S_6	土的类别	S_{13}	墙体厚度	S_{20}	耐久性
S_7	夯击能量	S_{14}	墙体高厚比	S_{21}	虚铺厚度

系,采用以下方式定义:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (5)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i RS_j \\ 0, & S_i \overline{RS}_j \end{cases} \quad (6)$$

根据式(5)、(6),建立墙体质量影响因素邻接矩阵:

$$A_{22 \times 22} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)矩阵中第22行元素全为0,称 S_{22j} 因素为系统的汇元素,即为夯土墙质量;第6、8、13、17、18和21列的元素全为0,称 S_{i6} 、 S_{i8} 、 S_{i13} 、 S_{i17} 、 S_{i18} 和 S_{i21} 因素为系统的源元素,是影响夯土建筑墙体质量的根本因素。

3.2 可达矩阵

解释结构模型定义因素间的二元关系具有传递性:

$$\left. \begin{matrix} S_i RS_j \\ S_j RS_k \end{matrix} \right\} \Rightarrow S_i RS_k \quad (8)$$

二元关系的传递次数称为路长,记为 R' ,这种传递关系表示各因素的间接关系。

可达矩阵是指因素间任意次传递性的二元关系,或在有向图中表示两节点通过任意路长可以到达的关系方阵。当存在着 i 至 j 的路长最大为 r (r 为有向图中无回路条件下的最大路长或传递次数)的通路: $M = (m_{ij}) = 1$;反之为零。利用布尔代数运算法^[14-16]求解可达矩阵 M :

$$M = (A + I)^r \quad (9)$$

其中: I 是与 A 为同阶次的单位矩阵;最大路长 r 的计算式如下:

$$(A + I) \neq (A + I)^2 \neq (A + I)^3 \neq \cdots \neq (A + I)^r = (A + I)^{r+1} = \cdots = (A + I)^n \quad (10)$$

矩阵 $(A + I)$ 对角线上“1”元素表示夯土建筑墙体影响因素的反身性,在有向图中表现为通过零步传递到达;非对角线上的“1”元素表示影响因素通过1步传递到达。

经计算, $(A + I)^6 = (A + I)^5$,即:

$$M = (A + I)^5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

4 规范法求解夯土墙质量结构模型

4.1 墙体质量影响因素的区域划分

将影响夯土墙的质量因素集合 S 分割成互相独立区域：达集、先行集、共同集、起始集、终止集。

(1)可达集 $R(S_i)$ ：可达集 $R(S_i)$ 是指受因素 S_i 影响的相关其他诸因素构成的集合，即可达矩阵中 S_i 所在行为“1”元素对应的第 j 列元素构成的集合。

$$R(S_i) = \{S_j | S_j \in S, m_{ij} = 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

(2)先行集 $A(S_i)$ ：先行集是指可达矩阵中 S_i 所在列为“1”元素对应第 j 行元素构成的集合。

$$A(S_i) = \{S_j | S_j \in S, m_{ji} = 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

(3)共同集 $C(S_i)$ ：共同集是可达集 $R(S_i)$ 与先行集 $A(S_i)$ 的交集，反应因素间的相互影响关系。

$$C(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i) = \{S_j | S_j \in S, m_{ij} = 1, m_{ji} = 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

(4)起始集 $B(S)$ ：起始集是指在只影响其他因素而不受其他因素影响的因素构成的集合，既 S_i 是影响夯土墙质量源要素。

$$B(S) = \{S_i | S_i \in S, C(S_i) = A(S_i) i = 1, 2, \dots, n\} \quad (15)$$

(5)终止集 $E(S)$ ：终止集是指在各影响因素中只受其他因素影响，而不影响其他因素的所有因素构成的集合，即 S_i 为影响夯土墙质量的汇要素。

$$E(S) = \{S_i | S_i \in S, C(S_i) = R(S_i) i = 1, 2, \dots, n\} \quad (16)$$

(6)区域划分：根据式(12)至(16)进行墙体质量影响因素的区域划分，如表2所示。由表2知：

$$R(S_6) \cap R(S_8) \cap R(S_{21}) = \{S_2, S_7, S_{21}\} \neq \Phi \quad (17)$$

$$R(S_{10}) \cap R(S_{19}) = \{S_3, S_9, S_{10}, S_{19}\} \neq \Phi \quad (18)$$

$$R(S_{13}) \cap R(S_{18}) = \{S_{11}\} \neq \Phi \quad (19)$$

得到的缩减矩阵再进行检出处理即可建立起 $M(L)$ 的骨架矩阵 A' 。级位对角阵 $M(L)$ 的缩减和检出具体的步骤如下:

(1) 检查级位对角阵 $M(L)$ 中的强连接因素, 保留级位对角阵 $M(L)$ 中强连接关系的影响因素中一个作为代表因素, 删除其余被替换因素所在行和列, 形成缩减矩阵 $M'(L)$;

(2) 去掉缩减矩阵 $M'(L)$ 中已具有的越级二元关系, 即将 $M'(L)$ 中表示越级二元关系的“1”因素改为“0”, 从而得到一个新的缩减矩阵 $M''(L)$;

(3) 将矩阵 $M''(L)$ 中表示影响因素反身性的“1”元素改为“0”, 即得到能实现系统目标的具有最少二元关系个数的骨架矩阵 A' 。

$$M(L) = \begin{matrix} & S_2 & S_1 & S_7 & S_{17} & S_4 & S_{21} & S_6 & S_8 & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{18} & S_3 & S_9 & S_{17} & S_{19} \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \end{matrix} & \begin{matrix} S_2 \\ \begin{Bmatrix} S_1 \\ S_7 \\ S_{17} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} S_4 \\ S_{21} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} S_6 \\ S_8 \end{Bmatrix} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ 0 \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{matrix} & \begin{matrix} S_{11} \\ \begin{Bmatrix} S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \end{Bmatrix} \\ S_{18} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{matrix} & \begin{matrix} S_3 \\ \begin{Bmatrix} S_9 \\ S_{17} \end{Bmatrix} \\ S_{19} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} \quad (27)$$

4.4 多级递阶结构模型图的绘制

根据骨架矩阵 A' , 绘制矩阵各影响因素的多级递阶有向图 $D(A')$, 给出夯土墙质量影响因素的递阶结构模型。其具体步骤如下:

(1) 根据 A' 中所分的子区域, 按区域按级位从上到下依次排列各影响因素, 绘制骨架矩阵的级位划分图(图3)。

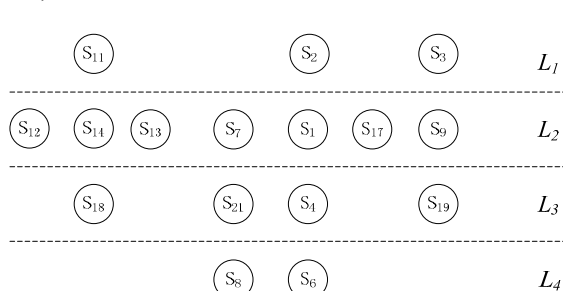


图3 骨架矩阵的级位划分图

Fig.3 Status grouping of skeleton matrix

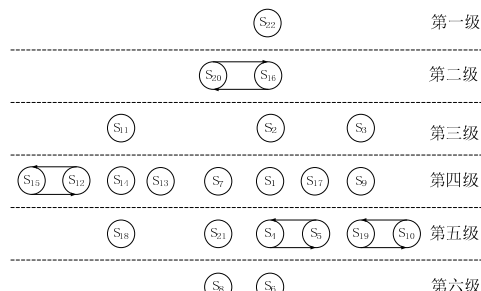


图4 影响因素级位划分图

Fig.4 Status grouping of influencing factors

(2) 根据夯土墙质量因素变量的二元关系知： S_2 与 S_{16} 、 S_{20} 、 S_3 与 S_{20} ， S_{11} 与 S_{16} 间存在直接影响关系。根据级位划分思想，将上述删除的 S_{16} 、 S_{20} 和 S_{22} 还原到骨架矩阵的级位划分图中；并将删除的表示强连接关系的影响因素也还原到图中，并用有向弧连接强连接关系变量，得到影响因素级位

划分图(图4)。

(3)根据因素间的二元关系,利用级间有向弧将各因素变量连接成递阶结构模型 $D(A')$ (见图5)。

4.5 夯土墙质量解释结构模型的建立

根据影响夯土墙质量的各影响因素间的二元关系,结合图5所示的递阶结构模型图绘制夯土墙质量影响因素的解释结构模型图(见图6)。由图6知:影响夯土墙质量因素主要分为设计合理性、夯筑工艺及墙体养护等三个独立区块,这些因素位于夯土墙质量影响因素的解释结构模型各子区域的最高级位。位于子区域最底层级的是最根本的影响因素,是影响夯土墙质量的根源所在。从图6可知抗震构造措施、改性剂的种类和掺量、土的种类以及空气的温湿度等客观因素是影响夯土墙强度和耐久性的根本因素。

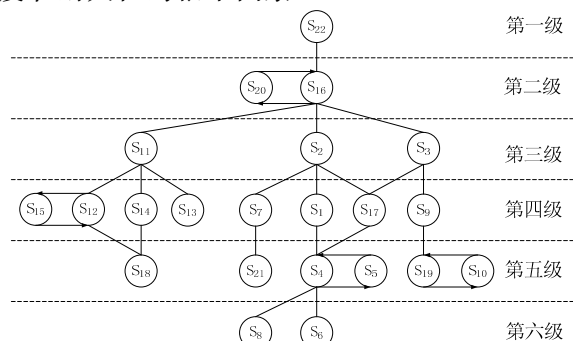


图5 影响因素递阶结构模型图

Fig.5 Hierarchal structure model of influencing factors

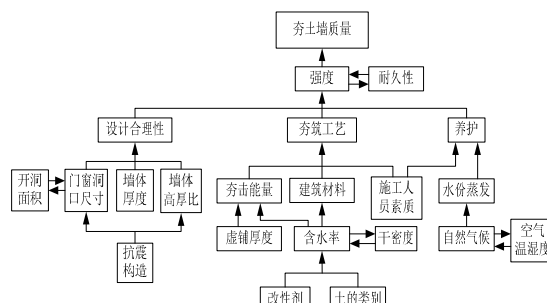


图6 夯土墙质量影响因素的解释结构模型图

Fig.6 Interpretative structural model for quality influencing factors of the rammed-earth wall

5 结语

基于ISM理论的思想,给出夯土墙质量的解释结构模型的构建示意图;结合夯土墙的现状调查及破坏特征,选出21个影响夯土墙质量的主要因素,建立夯土墙质量影响因素二元关系集合,并进行矩阵量化分析;利用规范法对矩阵进行区域化、层次化及级位化处理,建立因素变量递阶结构模型,构建出夯土墙质量的结构解释模型。研究表明:

(1)应用ISM规范法对量化因素矩阵进行运算,通过分析矩阵变量间二元关系,进一步区域分块化,得到反映各因素变量间区域影响关系的可达矩阵。

(2)应用规范法对变量进行区域划分、级位划分、变量缩减处理、变量越级关系处理、变量反身性处理等过程,最终建立递阶结构模型,使影响夯土墙各因素间主次轻重关系得到直观地表现。

(3)影响因素分析结果表明,影响夯土墙质量的基本因素为土的种类、改性剂的种类及掺量、空气的温湿度及墙体抗震构造措施。

(4)解释结构模型方法为夯土墙质量影响因素研究提供了一种新思路,但该方法只能从定性的角度大致分析夯土墙质量的影响因素,为了更加准确地对夯土墙质量进行控制,使用科学的定量分析方法是未来研究的发展方向。

参考文献 References

- [1] 杨静. 建筑材料与人居环境[M].北京:清华大学出版社,2001.
YANG Jing. Building materials and living environment[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [2] 尚建丽,刘加平. 生态建材与可持续发展[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(6):71-74.
SHANG Jianli, LIU Jiaping. Ecology building material and sustainable development[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(6): 71-74.
- [3] 王军,吕东军. 走向生土建筑的未来[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2001,33(2):147-149.
WANG Jun, LÜ Dongjun. To the future of the immature soil buildings. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & tech.: Natural Science Edition, 2001, 33(2): 147-149.
- [4] 王沛钦,郑山锁,柴俊等. 走向生土建筑结构[J].工业建筑,2008,38(3):101-105.
WANG Peiqin, ZHENG Shansuo, CHAI Jun, et al. To earth buildings and their structures[J]. Industrial Construction, 2008, 38(3): 101-105.
- [5] MCHENRY Paul Graham. Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction [M]. Tucson: University of Arizona Press, 1989.
- [6] DAVID Easton. Rammed Earth House[M]. Chelsea Green Publishing Company 2007.

- [7] HITCHINS DK. Systems engineering: A 21st century systems methodology[M]. New York: John Wiley & Son,2008.
- [8] 汪应洛. 系统工程理论、方法与应用[M].北京:高等教育出版社,1998.
WANG Yingluo. Systems engineering theory, method and application[M]. Beijing: Higher Education Press, 1998.
- [9] 杨彬,于渤,孙倩.基于解释结构模型的海外油气开发项目风险产生机理研究[J]. 哈尔滨工程大学报.2010,31(9):1259-1264.
YANG Bin, YU Bo, SUN Qian. Research on risk generating mechanisms of overseas oil and gas development projects based on an interpretative structural model [J]. Journal of Harbin Engineering University.2010,31(9):1259-1264.
- [10] 叶晓晖, 吴超, 阳富强.硫化矿床开采中炸药自爆的解释结构模型分析[J]. 金属矿山. 2010,(6):18-22.
YE Xiaohui, WU Chao, Yang Fuqiang. Analysis on interpretative structural modeling of explosive's self-Initiation during the Mining of Sulfide Ore Deposits[J]. Metal Mine. 2010,(6):18-22.
- [11] 王毅红, 李丽, 王冲锋,等.村镇既有生土结构房屋抗震性能现状分析[J].土木工程学报.2010,43(增 1):462-467.
WANG Yihong, LI Li, WANG Chongfeng, et al. Research and analysis on aseismic behavior of existing country raw-soil structure. China Civil Engineering Journal, 2010,43(S1):462-467.
- [12] 常卫华, 王建卫, 徐福泉.村镇生土住宅结构现状研究[J].建筑结构.2010,40(增刊):375-378.
CHANG Weihua, WANG Jianwei, XU Fuquan.Study on existing situation of adobe and rammed earth building construction in town and village[J]. Building Structure.2010,40(S):375-378.
- [13] 石玉成, 林学文,王兰民,等.黄土地区生土建筑震害特征及防灾对策 研究[J].自然灾害学报.2003,12(3): 87-92.
SHI Yucheng, LIN Xuewen, WANG Lanmin, et al. Earthquake damage characteristics of raw soil buildings in loess areas and disaster prevention countermeasures[J].Journal of Natural Disasters.2003,12(3):87-92.
- [14] 滕弘飞,刘峻.一种布尔代数——围棋布尔代数及其应用[J].大连理工大学学报. 1998,38(1):43-46.
TENG Hongfei, LIU Jun.A kind of Boolean algebra and its application[J].Journal of Dalian University of Technology. 1998,38(1):43-46.
- [15] BIRKHEFF G, LANE S M. A Survey of Modern Algebra[M]. New York: MacmillonPublishing Co Inc, 1977:357-361.
- [16] ROGERS DF. Procedural Elements for Computer Graphics[M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1985:83-92.

Analysis on quality influencing factors of the rammed-earth wall based on an interpretative structural model

HUANG Wei¹, ZHANG Liming^{1,2}, LU Junlong³, ZHANG Chenghua⁴

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055 P.R China;

2. Cngc Xi'an North Qinghua Mechanical and Electrical Group Co.,LTD, Xi'an 710025 P.R China;

3.School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology., Xi'an 710048 P.R. China;

4. School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054 P.R. China;)

Abstract: As main stress components of the rammer earth buildings, the quality of rammed-earth wall is directly related to the safety of the structure. The quality of the rammed-earth wall involves many influencing factors, in which the primary and secondary relations and hierarchy are difficult to determine. Based on the ISM theory, the construction schemes of interpretative structural modeling of the quality of rammed-earth wall is given. Combined with the investigation of the present situation and the failure characteristics of rammed-earth wall, 21 main factors that influence the quality of rammed-earth wall are selected, thereby establishing a binary relation set on influence factors of quality of rammed-earth wall, and conducting a quantitative analysis of the matrix. Specification method is used to make the matrix regionalized, hierarchical and bit-level, and establish factors variable hierarchical structure model and construct the interpretative structural model of quality of rammed-earth wall. Research shows that: the influencing factors of quality of rammed-earth wall can be divided into six levels, which made clear the primary and secondary relations and hierarchy between influencing factors. This provides necessary guidance for the design and construction of rammer earth residence effectively.

Key words: interpretative structural model; quality of the rammed-earth wall; influencing factors; specification method; hierarchal structure model

(本文编辑 吴海西)