

文章编号: 1005-8451 (2016) 12-0004-04

# 铁路调车作业人身安全综合评价的研究

张斌

(武汉铁路局 职工教育基地, 襄阳 441001)

**摘要:** 针对以安全检查表评价法评价调车作业人身安全存在的不足, 提出以该评价法为基础的主成分分析评价模型。以某编组站为例, 借助SPSS20.0软件对该站调车系统5个单元调车作业人身安全进行综合评价。实际应用结果表明, 运用提出的模型有利于车务安全部门对调车作业人身安全进行全面深入的分析、针对主要问题采取改进措施。

**关键词:** 主成分分析; 安全检查表; 调车作业; 人身安全; 综合评价

**中图分类号:** U292.2+5 : TP39 **文献标识码:** A

## Comprehensive evaluation of personal safety for railway shunting operation

ZHANG Bin

(Staff Education Base, Wuhan Railway Administration, Xiangyang 441001, China)

**Abstract:** In general, the safety checklist evaluation method is used to evaluate the personal safety for railway shunting operation, but this method is insufficient. This article put forward a evaluation model of principal component analysis based on this evaluation method. Taking a certain marshalling station as an example, this article made a comprehensive evaluation of personal safety for shunting operation in five units of its shunting system by means of SPSS20.0. Practical application results showed that the application of the model was helpful for traffic safety departments to analyze the personal safety for shunting operation and take improvement measures for main problems.

**Key words:** principal component analysis; safety checklist; shunting operation; personal safety; comprehensive evaluation

为掌握调车作业人身安全状况, 铁路车务系统安全部门广泛采用安全检查表评价法进行评价。安全检查表评价法<sup>[1]</sup>是一种简便易行的评价方法, 它根据系统安全分析的结果, 把所有可能导致事故的不安全因素集中起来, 列成检查项目的清单(安全检查表), 发给参与评价的人员; 评价时, 仿照清单所列项目逐项检查, 按规定的计值方法进行评定。按照计值方法的不同, 安全检查表评价法可分为逐项赋值法、加权平均法、单项定性加权计分法等。

实际评价中, 可能导致调车作业人身安全事故的不安全因素很多, 因此, 评价调车作业人身安全的指标也很多, 采用上述方法虽可以得到调车作业人身安全等级, 但无法体现主要指标在全部因素中的作用<sup>[2]</sup>, 继而不便于针对主要问题采取改善措施。为弥补此不足, 可在上述方法的基础上采用主成分分析对调车作业人身安全进行评价。

主成分分析<sup>[3]</sup>是统计学中的一种多元分析方法,

收稿日期: 2016-05-12

作者简介: 张斌, 高级工程师。

目的在于利用降维的思想, 把原来存在相关关系的多变量转化为少数几个互不相关的变量(主成分), 用较少变量反映原始变量的大部分信息, 且所含信息互不重复。这种方法在研究由多个变量描述事物的总体或样本时, 将复杂因素归结为几个主成分, 使问题简单化, 同时也得到更加科学、有效的数据信息。

### 1 评价模型

#### 1.1 评价指标建立

依据调车作业人身安全有关标准、规程、规范及规定, 结合调车作业人身安全事故案例分析、系统分析及实践经验总结, 某铁路局A编组站编制了调车作业人身安全检查表, 分析其检查项目可建立评价指标体系如表1所示。

#### 1.2 评价指标赋值方法

由车务安全部门评价人员对评价对象的表1所列各项指标进行调查, 依据安全状况给评价对象各指标评分, 各指标取值可分为优(9~10)、良(8~8.9)、中(7~7.9)、差(6~6.9)和不及格(6分以下)5个

安全等级, 分数越高表明评价对象在该指标方面的安全状况越好。

### 1.3 评价步骤

依照主成分分析基本原理, 结合表 1 所示指标体系, 评价包括以下 5 个步骤<sup>[3-4]</sup>:

表1 调车作业人身安全评价指标体系

| 指标分类 | 指标名称          | 代码              | 指标分类 | 指标名称          | 代码              |
|------|---------------|-----------------|------|---------------|-----------------|
| 作业前  | 检查班组职工思想精神状态  | X <sub>1</sub>  | 作业中  | 进入货物线专用线一度停车  | X <sub>21</sub> |
|      | 检查班组职工着装用具    | X <sub>2</sub>  |      | 熟悉站内地形地物      | X <sub>22</sub> |
|      | 按规定召开安全预想会    | X <sub>3</sub>  |      | 注意前后及邻线机车车辆移动 | X <sub>23</sub> |
|      | 明确作业分工与纪律     | X <sub>4</sub>  |      | 不站在车钩上        | X <sub>24</sub> |
|      | 全组安全组长负责制落实   | X <sub>5</sub>  |      | 手不抓滑条绳索脚不踏轴箱  | X <sub>25</sub> |
|      | 对安全关键因素强调布置   | X <sub>6</sub>  |      | 不骑坐车帮         | X <sub>26</sub> |
|      | 对喝酒上岗身体不适职工措施 | X <sub>7</sub>  |      | 不跨越车辆         | X <sub>27</sub> |
|      | 发现危及安全情况的措施   | X <sub>8</sub>  |      | 不在车顶站立行走      | X <sub>28</sub> |
|      | 按规定巡视线路车辆货物   | X <sub>9</sub>  |      | 不进入车档内作业      | X <sub>29</sub> |
|      | 按规定穿戴         | X <sub>10</sub> |      | 不在危险地点边跑边提钩   | X <sub>30</sub> |
| 作业中  | 按规定接受调车作业任务   | X <sub>11</sub> |      | 不在平车砂石车边缘站立   | X <sub>31</sub> |
|      | 按规定传达调车作业计划   | X <sub>12</sub> |      | 不坐闸盘          | X <sub>32</sub> |
|      | 按规定顺线路行走      | X <sub>13</sub> |      | 注意货物堆码状况      | X <sub>33</sub> |
|      | 按规定横越股道       | X <sub>14</sub> |      | 两人不站在同一车梯上    | X <sub>34</sub> |
|      | 不与机车车辆抢道      | X <sub>15</sub> |      | 站在车梯上时未探身过远   | X <sub>35</sub> |
|      | 不钻车底          | X <sub>16</sub> |      | 站在车梯上部避免被刮挤   | X <sub>36</sub> |
|      | 翻越制动台车钩按规定确认  | X <sub>17</sub> |      | 在机车车辆上作业站稳抓牢  | X <sub>37</sub> |
|      | 作业或休息时站立位置    | X <sub>18</sub> |      | 信号显示执行规定      | X <sub>38</sub> |
|      | 上下车作业执行规定     | X <sub>19</sub> |      | 正确使用安全带       | X <sub>39</sub> |
|      | 不在车底钢轨等处坐卧休息  | X <sub>20</sub> |      | 作业中不吸烟        | X <sub>40</sub> |

(1) 根据评价指标体系对第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 个评价对象的  $n$  ( $n=40$ ) 个评价指标分别评分, 对原始数据进行处理得到标准化数据。将原始数据表示为

$$X=(x_{ij})_{m \times n}, \text{ 对应标准化矩阵 } Z \text{ 中的元素 } z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\text{var}(x_j)}},$$

$$\text{其中, } \bar{x}_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} / m, \text{ var}(x_j) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, j=1, 2, \dots, 40.$$

(2) 计算标准化样本矩阵的相关系数矩阵。

$$R = \frac{1}{m-1} Z^T Z, R = (r_{ij})_{m \times n}.$$

(3) 计算相关系数矩阵的特征值和特征向量, 得到相关矩阵特征值(方差)表及主成分载荷矩阵。用  $y_j$  表示该矩阵中的主成分并顺次称为第 1, 第 2, …, 第  $j$  个主成分。

(4) 计算各主成分的方差贡献率和累计贡献率, 分别用  $\xi_j$  和  $\theta_j$  表示, 一般选择累计

贡献率  $>85\%$  的前  $j$  个主成分。

(5) 构造综合评价函数如式(1)所示, 对第  $i$  个评价对象的调车人身安全作出综合评价。

$$M_i = \xi_1 y_1 + \xi_2 y_2 + \dots + \xi_j y_j \quad (1)$$

式(1)中,  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_j$  分别为第 1, 第 2, …, 第  $j$  个主成分的方差贡献率;  $y_1, y_2, \dots, y_j$  分别代表第 1, 第 2, …, 第  $j$  个主成分得分值, 由式(2)算出。

$$y_j = k_{j1} z x_1 + k_{j2} z x_2 + \dots + k_{jn} z x_n \quad (2)$$

式(2)中,  $z x_1, z x_2, \dots, z x_n$  分别为第  $i$  个评价对象的第 1, 第 2, …, 第  $n$  ( $n=1, 2, \dots, 40$ ) 个指标的标准化数据;  $k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{jn}$  为第  $j$  个主成分系数向量在指标  $z x_1, z x_2, \dots, z x_n$  上的分量, 而第  $j$  个主成分系数向量则由上述主成分载荷矩阵的第  $j$  列向量除以第  $j$  个特征值的算术平方根得到<sup>[5]</sup>。

以上步骤可使用著名的统计分析软件 SPSS 进行, 能简便、快速地得到准确计算结果。

## 2 评价实例

### 2.1 评价对象介绍

如前述 A 编组站, 其调车系统包含驼峰调车区、峰尾调二作业区、峰尾峰尾调四作业区、峰尾调六作业区及驼峰峰尾共同作业区 5 个单元 ( $A_1, A_2, \dots, A_5$ )。2014 年, 该站安全科分季度对 5 个单元的表 1 所列各项指标安全状况进行了专项检查, 其中, 1 月 ~ 3 月评分情况如表 2。使用前述逐项赋值法得到  $A_1$  单元调车作业人身安全等级为良, 其余单元均为中。要求在此基础上对第 1 季度各单元调车作业人身安全进行综合评价。

表2 调车作业人身安全专项检查评分表

| 单元\指标          | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> | X <sub>13</sub> | X <sub>14</sub> | X <sub>15</sub> | X <sub>16</sub> | X <sub>17</sub> | X <sub>18</sub> | X <sub>19</sub> | X <sub>20</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A <sub>1</sub> | 8              | 8              | 8              | 8              | 7              | 9              | 7              | 8              | 7              | 9               | 9               | 8               | 8               | 9               | 8               | 10              | 9               | 9               | 9               | 9               |
| A <sub>2</sub> | 6              | 7              | 5              | 6              | 8              | 8              | 8              | 6              | 8              | 8               | 7               | 8               | 7               | 8               | 8               | 9               | 8               | 8               | 6               | 7               |
| A <sub>3</sub> | 8              | 6              | 9              | 8              | 6              | 7              | 7              | 8              | 7              | 7               | 8               | 7               | 7               | 6               | 8               | 8               | 8               | 7               | 7               | 9               |
| A <sub>4</sub> | 6              | 8              | 7              | 7              | 6              | 6              | 8              | 7              | 8              | 7               | 8               | 6               | 6               | 7               | 9               | 9               | 7               | 8               | 6               | 8               |
| A <sub>5</sub> | 7              | 7              | 8              | 5              | 7              | 8              | 6              | 6              | 7              | 8               | 9               | 7               | 9               | 8               | 8               | 7               | 8               | 7               | 8               | 8               |

### 2.2 数据计算与分析

表2 调车作业人身安全专项检查评分表(续)

| 单元\指标          | X <sub>21</sub> | X <sub>22</sub> | X <sub>23</sub> | X <sub>24</sub> | X <sub>25</sub> | X <sub>26</sub> | X <sub>27</sub> | X <sub>28</sub> | X <sub>29</sub> | X <sub>30</sub> | X <sub>31</sub> | X <sub>32</sub> | X <sub>33</sub> | X <sub>34</sub> | X <sub>35</sub> | X <sub>36</sub> | X <sub>37</sub> | X <sub>38</sub> | X <sub>39</sub> | X <sub>40</sub> |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A <sub>1</sub> | 6               | 9               | 8               | 9               | 9               | 10              | 10              | 9               | 5               | 7               | 7               | 9               | 6               | 7               | 5               | 9               | 6               | 8               | 9               | 7               |
| A <sub>2</sub> | 8               | 6               | 8               | 10              | 6               | 6               | 7               | 7               | 9               | 8               | 8               | 9               | 9               | 9               | 7               | 9               | 8               | 8               | 8               | 8               |
| A <sub>3</sub> | 9               | 8               | 9               | 7               | 8               | 7               | 7               | 8               | 6               | 6               | 7               | 10              | 7               | 8               | 7               | 7               | 9               | 7               | 7               | 9               |
| A <sub>4</sub> | 7               | 7               | 8               | 9               | 8               | 8               | 8               | 7               | 9               | 5               | 8               | 7               | 7               | 7               | 6               | 8               | 8               | 6               | 6               | 7               |
| A <sub>5</sub> | 6               | 9               | 8               | 7               | 7               | 7               | 8               | 9               | 9               | 4               | 6               | 8               | 9               | 8               | 7               | 7               | 9               | 7               | 7               | 8               |

借助 SPSS20.0 统计软件进行主成分分析, 得到相关系数矩阵特征值如表 3 所示, 主成分载荷矩阵如表 4 所示。

表3 相关矩阵特征值

| 指标              | 原始特征值       |             |         | 因子提取   |        |        |
|-----------------|-------------|-------------|---------|--------|--------|--------|
|                 | 特征值         | 方差贡献率       | 累计贡献率   | 特征值    | 方差贡献率  | 累计贡献率  |
| X <sub>1</sub>  | 14.006      | 35.016      | 35.016  | 14.006 | 35.016 | 35.016 |
| X <sub>2</sub>  | 10.825      | 27.063      | 62.079  | 10.825 | 27.063 | 62.079 |
| X <sub>3</sub>  | 8.873       | 22.182      | 84.261  | 8.873  | 22.182 | 84.261 |
| X <sub>4</sub>  | 6.295       | 15.739      | 100.000 |        |        |        |
| ⋮               | ⋮           | ⋮           | ⋮       | ⋮      | ⋮      | ⋮      |
| X <sub>40</sub> | -1.921E-015 | -4.803E-015 | 100.000 |        |        |        |

表4 主成分载荷矩阵

| 指标              | 主成分            |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> | Y <sub>3</sub> |
| X <sub>1</sub>  | 0.769          | -0.512         | 0.034          |
| X <sub>2</sub>  | 0.357          | 0.717          | -0.309         |
| X <sub>3</sub>  | 0.549          | -0.760         | -0.342         |
| X <sub>4</sub>  | 0.487          | 0.084          | -0.532         |
| X <sub>5</sub>  | -0.081         | 0.476          | 0.874          |
| X <sub>6</sub>  | -0.120         | -0.169         | 0.976          |
| ⋮               | ⋮              | ⋮              | ⋮              |
| X <sub>19</sub> | 0.925          | -0.225         | 0.249          |
| X <sub>20</sub> | 0.748          | -0.447         | -0.404         |
| X <sub>21</sub> | -0.540         | -0.214         | -0.090         |
| X <sub>22</sub> | 0.791          | -0.533         | 0.029          |
| X <sub>23</sub> | -0.062         | -0.667         | -0.207         |
| X <sub>24</sub> | -0.130         | 0.983          | 0.071          |
| X <sub>25</sub> | 0.786          | -0.064         | -0.605         |
| X <sub>26</sub> | 0.883          | 0.256          | -0.380         |
| X <sub>27</sub> | 0.894          | 0.315          | -0.108         |
| ⋮               | ⋮              | ⋮              | ⋮              |
| X <sub>36</sub> | 0.208          | 0.941          | 0.173          |
| X <sub>37</sub> | -0.703         | -0.707         | -0.072         |
| X <sub>38</sub> | 0.381          | 0.314          | 0.369          |
| X <sub>39</sub> | 0.643          | 0.374          | 0.303          |
| X <sub>40</sub> | -0.357         | -0.717         | 0.513          |

从表 3 可知, 前 3 个特征值累计贡献率达 84.261%, 基本符合选取主成分需累计贡献率  $\geq 85\%$  的标准, 故选取前 3 个主成分 Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub> 代表原 40 个指标的主要特征。

受篇幅限制, 表 4 未列出所有数据

但包含了前 3 个主成分位于前列的全部载荷值数据。从该表可看出, 上下车作业执行规定 (X<sub>19</sub>)、不跨越车辆 (X<sub>27</sub>) 这 2 个指标在主成分 Y<sub>1</sub> 中具有较高载荷, Y<sub>1</sub> 主要反映调车作业中作业人员遵守基本的上下车等规定状况; 不站在车钩上 (X<sub>24</sub>)、站在车梯上部避免被刮挤 (X<sub>36</sub>) 这 2 个指标在主成分 Y<sub>2</sub> 中具有

高载荷, Y<sub>2</sub> 主要反映调车作业人员在车辆运行中遵守不站在车钩上、站在车梯上部规定的状况; 对安全关键因素强调布置 (X<sub>6</sub>)、全组安全组长负责制落实 (X<sub>5</sub>) 这 2 个指标在主成分 Y<sub>3</sub> 中具有高(较高)载荷, Y<sub>3</sub> 主要反映调车作业前班(组)长履行其负责本班组安全职责的状况。

按前述方法可求得表 2 各指标评分的标准化数据、表 4 的各主成分系数向量(分量), 利用该两计算结果及表 3 主成分方差贡献率, 根据式(1)、式(2) 可对 A 站 2014 年第 1 季度调车系统 5 个单元的调车作业人身安全进行综合评价, 如表 5 所示。

表5 调车作业人身安全综合评价表

| 单元             | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> | Y <sub>3</sub> | 综合评价     |      |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|------|
|                | 分值             | 分值             | 分值             | 分值(Mi)   | 综合排名 |
| A <sub>1</sub> | 6.203          | 2.143          | 0.244          | 280.613  | 1    |
| A <sub>2</sub> | -3.573         | 3.139          | 3.171          | 30.178   | 2    |
| A <sub>3</sub> | -0.415         | -3.929         | -1.106         | -145.395 | 5    |
| A <sub>4</sub> | -2.145         | 1.826          | -4.434         | -124.047 | 4    |
| A <sub>5</sub> | -0.071         | -3.178         | 2.121          | -41.444  | 3    |

对表 5 可从 3 个角度进行分析:

(1) 分析各单元综合排名与按主成分排名情况, 即在单元之间比较。如 A<sub>1</sub> 单元综合排名第 1, 但其在 Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub> 两个主成分排名上仅居第 2、第 3 位; A<sub>3</sub> 单元综合排名最后, 其 Y<sub>2</sub> 主成分排名也是最后。

(2) 分析每单元主成分得分情况, 即在单元内各主成分之间比较。如 A<sub>3</sub> 单元在 Y<sub>2</sub> 主成分上得分最低但在 Y<sub>1</sub> 主成分上得分最高。

(3) 分析各单元应优先解决的问题。主成分实际上也反映了各单元存在的主要问题, 其中, 得分最低的主成分反映的问题一般而言应优先解决, 但根

据式 (1) 某主成分对单元综合评价分值的贡献由其方差贡献率和得分值乘积决定, 故还需综合这两方面来判定每单元应优先解决的问题。如  $A_3$  单元, 若  $Y_1$ 、 $Y_2$  得分值不是现在这样  $Y_2$  得分远低于  $Y_1$ , 而是接近 (例如:  $Y_1$ 、 $Y_2$  分别得 -1 分、-1.1 分), 因  $Y_1$  方差贡献率高其对单元综合评价分值的贡献 (为负) 绝对值更大, 故其反映的作业中作业人员遵守基本的上下车等规定状况不良的问题将应优先解决。若结合 3 个月来各单元调车作业人身安全专项检查记录情况分析, 将能使应优先解决的问题更明确、具体。

3 结束语

调车作业人身安全是车务系统劳动安全的一个薄弱环节，抓好调车作业人身安全管理是深入开展安全风险管理新形式下车务安全部门需要探索的重要课题。某铁路局 A 编组站的应用结果表明，运用本文以安全检查表评价法为基础的主成分分析评价模型评价调车作业人身安全，能帮助评价人员确定评

(上接 P3)

## 2.5 应用实例

以某高速铁路房地产信息管理为例，采用 TerraGate 在服务器端在线发布基础地形服务，基于 Skyline 提供的 COM 组件实现三维场景渲染、三维模型加载、三维空间分析和量测等功能，利用 Oracle 和 ArcSDE 对相关的属性数据和空间数据进行存储和管理，开发相关业务功能，建立铁路房地产信息管理系统，系统主界面如图 4 所示。

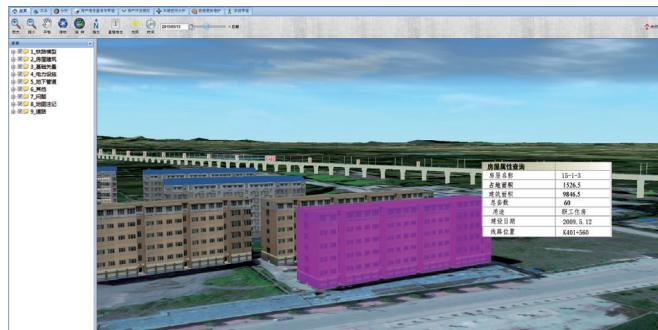


图4 系统主界面图

### 3 结束语

本文介绍了 3D GIS 技术在铁路房地产信息管理

责任编辑 徐侃春

价对象需解决的主要问题和应优先解决的问题；对比同一评价对象多个不同时期调车作业人身安全综合评价和结果，则有助于发现这些问题的变化规律，评估改进措施和效果，为采取可明显改善调车作业人身安全状况的措施提供实证依据。

参考文献:

- [1] 韩买良. 铁路行车安全管理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008: 143-145.
  - [2] 杨德伟. 基于主成分分析法的铁路车务站段调度员综合评价 [J]. 铁道运营技术, 2010 (4): 5-7.
  - [3] 胡健颖, 冯 泰. 实用统计学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2001: 324-329.
  - [4] 王 平, 朱帮助. 基于主成分分析的企业自主创新项目评价 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2008 (12): 987-988.
  - [5] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件—兼与刘玉珍、卢纹岱等同志商榷 [J]. 统计研究, 2005 (3): 66-68.

责任编辑 徐侃春

中的应用方法，提出了建设基于 3D GIS 的铁路房地产信息管理系统完整流程和解决方案。具体的应用实例表明，系统在房地产查询与管理、房地产开发模拟、三维空间分析等方面优势显著，能够提高铁路房地产信息管理效率和水平，具有广阔的应用前景。

## 参考文献：

- [1] 董良齐. 铁路多经企业专业化重组整合有关问题的思考 [J]. 铁道运输与经济, 2007 (4) : 65-66.
  - [2] 徐 悠. 关于铁路房地产业发展趋势的几点思考 [J]. 中国铁路, 2007 (10) : 59-62.
  - [3] 李德超, 张瑞芝. BIM 技术在数字城市三维建模中的应用研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4 (1) : 47-51.
  - [4] 朱 庆. 三维 GIS 及其在智慧城市中的应用 [J]. 地球信息科学学报, 2014 (16) : 151-157.
  - [5] 马彦力. 三维 GIS 大数据量场景 [D]. 杭州 : 浙江大学, 2013 : 24-31.
  - [6] 吴焕萍, 潘 懋, 陈小红, 等. 浅悉 3 维地理信息系统技术 [J]. 地理信息世界, 2005, 3 (1) : 42-50.