

文章编号: 1005-0523(2004)05-0095-05

# 轨道不平顺噪音去除及其评价方法

吴纪才, 许玉德

(同济大学 城市轨道交通与铁道工程系, 上海 200331)

**摘要:** 轨道动态几何不平顺数据主要采用轨检车进行检测, 由于缺乏去除功能, 轨检车检测数据中存在噪音成分, 不利于轨道质量状态的客观评价. 本文提出去除噪音的方法, 并利用概率密度法, 对高低不平顺幅值特征进行统计描述, 比较去除噪音前后的效果.

**关 键 词:** 几何不平顺; 轨道质量指数; 概率密度; 噪音; 效果

**中图分类号:** U491

**文献标识码:** A

## 0 引 言

随着铁路事业的发展, 工务维修工作也在不断地变革之中. 目前, 国内外评价轨道质量状态主要依靠轨检车的检测数据, 其方法有两种: 一种是峰值管理, 我国在超限的基础上还引入了扣分的概念, 评价线路的状态. 但是, 实践表明, 超限管理主要适合紧急补修, 对提高线路均衡质量缺乏可操作性. 另外一种是用轨道不平顺统计特征值即轨道质量指数(TQI)来评价. 我国于 90 年代提出 TQI 计算方法与“状态修”的概念, 并制定了相应的标准, 检测与养修并重的思想也逐渐被人们接受<sup>[1][2]</sup>. 但由于轨检车检测方法与软件系统功能的限制, 在检测结果中有噪音存在, 影响 TQI 的计算结果和现场的评价. 因此, 对这些噪音的判断和处理是一个值得重视和研究的问题<sup>[3]</sup>.

本文提出一种简便的噪音处理方法, 并比较噪音处理前后的 TQI 值以及利用概率分布函数的拟合度来检验其效果, 结果表明该方法是可行的.

## 1 噪音的去除

### 1.1 噪音产生的原因和对 TQI 的影响

我国目前最新型的 GJ-4 型轨检车, 采用惯性基准检测原理, 采样频率为 3~4 点/m, 这样的采样频率和光电检测方法无法正确检测道岔区的轨道不平顺; 另外, 由于采用的陀螺仪是机械陀螺, 在部分轨检车上还存在漂移问题, 从而导致水平检测结果的严重失真; 同时, 吊梁装置随速度出现振荡, 偶尔会使轨距、轨向检测结果失真, 所以, 检测噪音是一种客观存在. 噪音的客观存在, 使得部分里程的 TQI 值很大, 不能反映该段轨道真实的几何不平顺状态.

### 1.2 确定产生噪音的里程

本文采用沪杭线 K60+000~K70+000 范围内 (检测速度为 140 km/h 左右) 轨检车检测数据进行分析, 分别为 2003 年 1 月 22 日、2 月 20 日、3 月 10 日、3 月 24 日、4 月 9 日和 5 月 23 日的下行检测数据, 各次检测的 TQI 值见表 1. 根据表 1 找出各次检测数据中超出 TQI 管理标准值 15<sup>[4]</sup>的线路里程, 因为检测噪音是客观存在的, 每次检测时都会产生噪

收稿日期: 2004-09-03

作者简介: 吴纪才 (1977-), 男, 江西进贤人, 同济大学城市轨道交通与铁道工程系 2002 级硕士研究生.

中国知网 <https://www.cnki.net>

音,所以可以认为连续多次检测的 TQI 值超过管理标准值且比相邻里程的 TQI 值大很多的里程就是容易产生噪音的轨道区段(如表 1 中删除线部分),这样就初步确定了产生噪音的里程范围.

表 1 连续多次检测的 TQI 值(部分段)

| 里程              | TQI 值     |                  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                 | 2003—1—22 | 2003—2—20        | 2003—3—10        | 2003—3—24        | 2003—4—9         | 2003—5—23        |
| 60.2            | 9.19      | 11.32            | 12.52            | 10.83            | 10.56            | 10.2             |
| 60.4            | 8.48      | 9.79             | 13.22            | 12.51            | 10.78            | 10.59            |
| 60.6            | 7.25      | 8.53             | 10.82            | 11.69            | 8.69             | 7.85             |
| 60.8            | 8.35      | 13.31            | <del>16.86</del> | <del>15.42</del> | 12.06            | 11.04            |
| 61              | 8.44      | <del>15.65</del> | <del>15.68</del> | 14.7             | 10.64            | 9.22             |
| 61.2            | 10.37     | 12.65            | 14.9             | 13.32            | 11.29            | 12.13            |
| <del>61.4</del> | 13.17     | <del>20.88</del> | <del>21.65</del> | <del>22.87</del> | 12.84            | <del>22.44</del> |
| <del>61.6</del> | 11.28     | <del>19.96</del> | <del>19.36</del> | <del>22.49</del> | 12.78            | 19.29            |
| 61.8            | 9.01      | 11.94            | 12.39            | 10.59            | 7.63             | 8.39             |
| 62              | 9.17      | 11.95            | 10.42            | 10.78            | 8.01             | 9.82             |
| <del>62.2</del> | 8.41      | <del>18.07</del> | <del>19.4</del>  | <del>21.79</del> | <del>17.53</del> | <del>20.53</del> |
| <del>62.4</del> | 12.76     | <del>21.67</del> | <del>24.29</del> | <del>24.56</del> | <del>21.12</del> | <del>23.61</del> |
| <del>62.6</del> | 11.87     | <del>20.49</del> | <del>17.59</del> | <del>22.74</del> | <del>20.04</del> | <del>21.56</del> |
| 62.8            | 8.39      | 12.5             | 12.28            | 11.63            | 14.58            | <del>17.01</del> |
| 63              | 9.29      | 11.94            | 13.35            | 14.38            | 12.79            | 13.22            |
| 63.2            | 11.52     | 14.81            | 14.59            | 14.24            | 13.76            | 15.13            |
| 63.4            | 11.47     | 12.75            | 14.4             | 11.8             | 12.15            | 14.23            |
| 63.6            | 9.99      | 11.67            | 13.18            | 12.01            | 11.74            | 12.18            |
| 63.8            | 9.77      | 10.78            | 11.71            | 10.97            | 10.19            | 10.98            |
| 64              | 10.53     | 11.78            | 13.95            | 13.35            | 12.12            | 13.51            |
| 64.2            | 10.37     | 11.68            | 12.82            | 10.92            | 11.63            | 11.26            |
| 64.4            | 9.86      | 10.42            | 11.32            | 9.64             | 9.78             | 9.78             |
| 64.6            | 9.82      | 10.87            | 12.92            | 10.3             | 10.95            | 10.13            |
| 64.8            | 11.49     | 13.91            | <del>19.58</del> | 13.43            | 12.88            | 13.13            |
| 65              | 13.4      | 13.82            | 14.41            | 12.87            | 12.23            | 12.36            |

1.3 去除噪音的方法

国内外判断与去除检测噪音的方法和经验有<sup>[3]</sup>:

- 1) 日本考虑短波不平顺的特点,将相邻两点数据之差在 4mm 以上者判为噪音.
- 2) 对于同一波形内的噪音,因其变化率的差异,仅采用日本的经验,会遗留一部分噪音没有处理,因此,当处于同一波形内有相邻两点数据之差在 4mm 以上者时,这个波形所有数据应判为噪音.
- 3) 根据经验,国内轨检车在检测过程中常将波长大于 1m 的轨向和检测速度低于 40 km/h 时的大轨向作为噪音.

结合以上的方法和经验,本文提出一种简单易行的人工去除噪音的方法. 首先,在初步确定有噪音的里程范围打开原始数据,以 2003 年 3 月 10 日检测数据为例,61.40 单元区段内有噪音,其原始数

据如表 2. 然后计算处于同一波形中各项参数的平均值,将各项参数中超过该波形平均值±4mm 的数据判为噪音,例如左高低在 61.40 单元区段内有 24 个波形,里程 61 516 到 61 521 的第一个检测点处于同一波形,其平均值为 0.260 mm,那么小于-3.74 mm 和大于 4.26 mm 的判为噪音,其它单项参数去除噪音同样处理,如表 2 中删除线部分,最后将噪音数据删除重新计算 TQI 值.

2 去除噪音前后轨道不平顺的比较

2.1 去除噪音前后 TQI 值的比较

利用上述去除噪音的方法,将 61.4 和 61.6 单元进行噪音处理,并计算噪音处理后的 TQI 值,计算结果见表 3.

表 2 K61+400 单元区段部分原始数据及噪音(2003 年 3 月 10 日)

| 里程<br>(m) | 速度<br>(km/h) | 轨距<br>(mm) | 曲水平<br>(mm) | 左高低<br>(mm) | 右高低<br>(mm) | 左轨向<br>(mm) | 右轨向<br>(mm) | 三角坑<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 61 515    | 140          | 3.5        | -1.151      | 0.458       | 0.777       | 2.537       | 3.238       | -1.012      |
| 61 516    | 140          | 3.5        | -0.926      | -1.117      | 0.623       | 1.585       | 2.536       | -1.023      |
| 61 516    | 140          | 3.4        | -0.196      | -2.103      | 0.585       | 0.625       | 1.413       | 0.938       |
| 61 516    | 140          | 3.4        | -0.201      | -4.231      | 0.598       | -1.328      | 1.423       | 0.926       |
| 61 517    | 140          | 3.1        | 1.025       | -4.56       | -0.515      | -2.803      | -1.657      | 6.001       |
| 61 517    | 140          | 3.1        | 1.025       | -5.623      | -0.513      | -2.805      | -1.658      | 6.107       |
| 61 517    | 140          | 3.3        | 0.533       | -5.127      | -0.698      | -3.67       | -2.589      | 5.635       |
| 61 518    | 140          | 3.8        | 0.421       | 0.239       | -0.686      | -4.035      | -3.488      | 2.95        |
| 61 518    | 140          | 3.8        | 0.42        | 3.269       | -0.692      | -4.039      | -3.487      | 2.986       |
| 61 518    | 140          | 4.9        | 1.242       | 4.992       | 0.017       | -2.616      | -3.083      | 2.493       |
| 61 519    | 140          | 4.9        | 1.244       | 5.322       | 0.012       | -2.614      | -3.081      | 2.493       |
| 61 519    | 140          | 5          | 1.666       | 5.197       | 0.12        | -3.0251     | -1.753      | 3.749       |
| 61 519    | 140          | 4.8        | 2.145       | 3.126       | 0.61        | 0.268       | -0.307      | 3.914       |
| 61 519    | 140          | 3.9        | 2.786       | 2.358       | 0.651       | 1.643       | 2.215       | 3.134       |
| 61 520    | 140          | 3.9        | 2.758       | 1.253       | 0.702       | 3.271       | 3.836       | 2.708       |
| 61 520    | 140          | 3.9        | 2.756       | 0.986       | 0.721       | 3.262       | 3.83        | 2.715       |
| 61 520    | 140          | 4          | 3.628       | 0.328       | 0.126       | 5.004       | 5.552       | 2.04        |
| 61 521    | 140          | 3.8        | 3.71        | 0.106       | -0.618      | 6.329       | 7.076       | 1.502       |
| 61 521    | 140          | 3.7        | 3.468       | -1.117      | -1.233      | 6.956       | 7.88        | 1.047       |
| 61 521    | 140          | 4.1        | 3.298       | -0.155      | -1.875      | 6.585       | 7.088       | 0.907       |
| 61 522    | 140          | 4.1        | 3.298       | -0.152      | -1.88       | 6.571       | 7.084       | 0.898       |
| 61 522    | 140          | 4          | 2.844       | -0.875      | -3.014      | 3.333       | 3.982       | 1.376       |
| 61 522    | 140          | 3.9        | 2.846       | -0.868      | -3.017      | 3.341       | 3.985       | 1.372       |
| 61 523    | 140          | 3.5        | 2.96        | -1.024      | -3.494      | 1.496       | 2.543       | 2.143       |
| 61 523    | 140          | 2.4        | 2.758       | -0.9        | -3.28       | -0.437      | 1.832       | 2.462       |

表 3 61.4 和 61.6 单元噪音处理后的 TQI 值

| 单元   | 噪音处理后的 TQI 值 |           |           |           |          |           |
|------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|      | 2003-1-22    | 2003-2-20 | 2003-3-10 | 2003-3-24 | 2003-4-9 | 2003-5-23 |
| 61.4 | 11.12        | 12.89     | 12.93     | 12.73     | 11.52    | 12.67     |
| 61.6 | 10.34        | 12.79     | 12.76     | 13.04     | 11.30    | 11.28     |

将表 3 结果与表 1 的 TQI 值比较可知,经过噪音处理后,TQI 值减少很多,而且处理后与相邻单元段的 TQI 值比较接近,说明这种去除噪音的方法有效.

2.2 去除噪音前后轨道不平顺概率密度分布比较

在轨道质量状态较好的情况下,高低和轨向不平顺的概率密度函数近似于平均值在 0 附近的正态分布<sup>[5]</sup>,下面仍将在 2003 年 3 月 10 日检测数据的基础上,以轨道左高低不平顺为例,比较去除噪音前后概率密度分布情况.

2.2.1 高低不平顺概率密度分布直方图

由于轨检车采样密度的增加,轨检车检查而得的数据量非常庞大,只取 K60+000~K70+000 下行检测数据,根据数据量的情况及统计要求,不妨将

区段长度取为 1m,分别求出各区段内平均值、最值(绝对最大值)等统计量,并统计其频数,将其绘成频率分布直方图.图 1 是左高低的频率分布直方图,左图为左高低在各区段内取平均值时的频率分布直方图,右图为左高低在各区段内取最大值时的频率分布直方图.

2.2.2 拟合优度检验<sup>[6]</sup>

由上述直方图可知,其分布类似于正态分布.为了描述其分布规律,确定该分布是否服从正态分布,按以下两个步骤来做:

1) 假设所取的样本服从正态分布,正态分布的概率密度函数为:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp(-\frac{x-\mu}{2\sigma^2})^2).x\in(-\infty,+\infty)$$

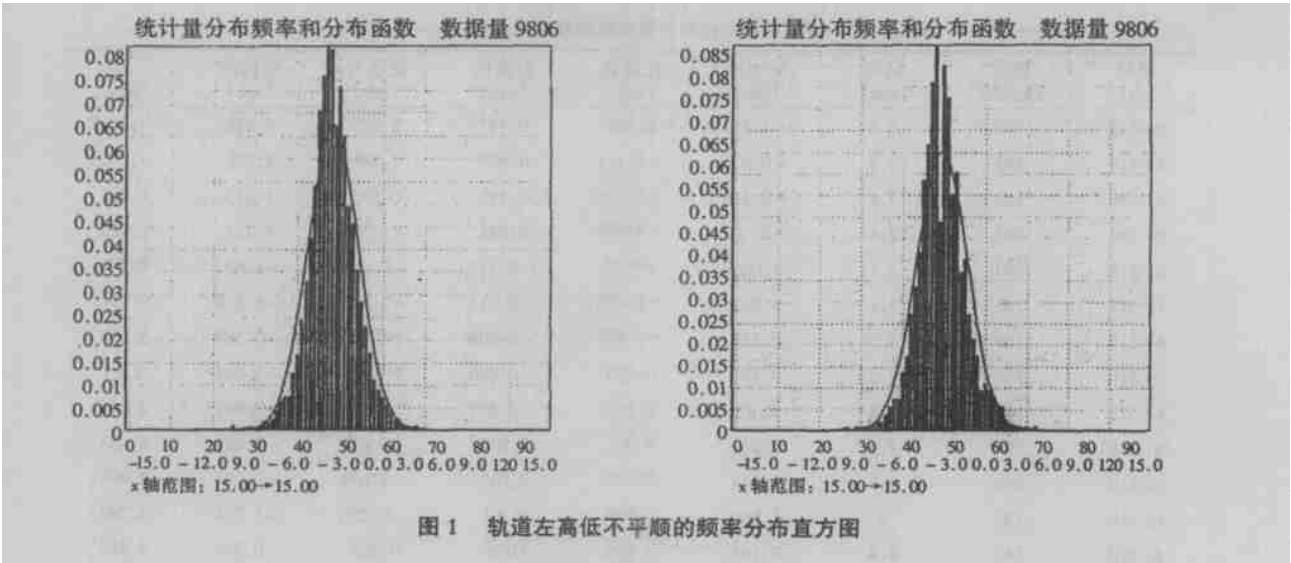
(1)

式中  $\mu$  和  $\sigma^2$  为未知参数.

2)  $\chi^2$  检验,  $\chi^2$  检验公式为:

$$\chi^2=\sum_{j=1}^r\frac{(N_j-np_j)^2}{np_j}$$

(2)



式中:  $P_j = p(x = a_j)$ ,  $\sum_{j=1}^r P_j = 1$ ,  $N_j$  为  $(x_1, \dots, X_n)$  中取  $a_j$  值的个数,  $j = 1, \dots, r$ .

因参数  $\mu$  和  $\sigma^2$  为未知量, 利用非参数拟合优度检验法来检验. 当原假设成立时, 对于给定的显著性水平  $\alpha$ , 有

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(N_j - np_j)^2}{np_j} < \chi^2_{1-\alpha}(\gamma - 1 - k) \quad (3)$$

式中  $k$  为未知参数个数, 这里  $k = 2$ .

因为原始数据与分段内平均值、最值(绝对最大值)等统计量之间的关系难以定量描述, 以下只是对原始数据(不平顺幅值)的频率分布进行检验, 本文暂不对平均值、最值等统计量进行检验.

利用公式(3), 检验 k61+400 单元区段(200m)数据去除噪音前后左高低不平顺是否服从正态分布, 检验结果见表 4.

由表 4 中结果可以看出, 在显著性水平 5% 下, 左高低不平顺在去除噪音前不服从正态分布, 而在去除噪音后服从.

3 结 语

由于目前国内最新型 GJ-4 型轨检车检测原

理、方法的原因, 以及检测过程中振动等因素的影响, 检测信号中会不可避免地出现噪音, 对轨道质量指数(TQI)的影响较大. 结合国内外的方法和经验, 本文提出将各项参数中处于同一波形中且超过该波形平均值  $\pm 4\text{mm}$  的数据判为噪音并去除, 然后通过实例分析计算, 比较去除噪音前后的 TQI, 并利用概率密度法, 对高低不平顺幅值特征进行统计描述, 比较去除噪音前后的效果, 结果表明该方法是有有效的.

参考文献:

[1] 翁绍德. 轨道质量指数的基本概念及计算机处理技术, 铁道建筑[J], 1994, (6): 22.  
[2] 魏世斌. 轨道质量指数的研究和应用[J], 中国铁道科学, 1996, (6): 23.  
[3] 周正. 轨道质量指数计算问题的探讨[J], 中国铁道科学, 2003, (6): 65.  
[4] 铁道部. 铁路线路维修规则[M], 北京: 中国铁道出版社, 2001.  
[5] 佐藤吉彦(日). 新轨道力学[M], 上海: 中国铁道出版社, 2001.  
[6] 潘承毅. 数理统计的原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 1992.

表 4 61.4 单元区段(200m)去噪前后左高低不平顺正态分布检验

|       | 样本容量   | 均值     | 标准差   | H <sup>0</sup> |                       |       |
|-------|--------|--------|-------|----------------|-----------------------|-------|
|       | 659    | −0.145 | 1.588 | 正态分布           |                       |       |
| 去除噪音前 | 下限     | 上限     | 实际频数  | 理论频率           | 理论频数                  | 实际卡方值 |
|       |        | −3.5   | 13    | 0.02           | 11.41                 | 0.22  |
|       | −3.499 | −2.5   | 35    | 0.05           | 34.09                 | 0.02  |
|       | −2.499 | −1.5   | 93    | 0.13           | 84.16                 | 0.93  |
|       | −1.499 | −0.5   | 131   | 0.21           | 141.55                | 0.79  |
|       | −0.499 | 0.5    | 152   | 0.25           | 162.21                | 0.64  |
|       | 0.501  | 1.5    | 130   | 0.19           | 126.65                | 0.09  |
|       | 1.501  | 2.5    | 61    | 0.10           | 67.37                 | 0.60  |
|       | 2.501  | 3.5    | 19    | 0.04           | 24.41                 | 1.20  |
|       | 3.501  | 4.5    | 23    | 0.01           | 6.02                  | 47.90 |
|       | 4.501  |        | 2     | 0.00           | 1.13                  | 0.66  |
|       | 总和     |        | 659   | 1.00           | 659.00                | 53.05 |
|       | 自由度    | 7      |       | 显著性水平          | 0.05                  |       |
|       | 理论卡方和  | 14.07  |       | 检验结论           | Reject H <sup>0</sup> |       |
|       | 样本容量   | 均值     | 标准差   | H <sup>0</sup> |                       |       |
|       | 634    | −0.179 | 1.545 | 正态分布           |                       |       |
| 去除噪音后 | 下限     | 上限     | 实际频数  | 理论频率           | 理论频数                  | 实际卡方值 |
|       |        | −3.5   | 4     | 0.02           | 10.02                 | 3.61  |
|       | −3.499 | −2.5   | 35    | 0.05           | 32.15                 | 0.25  |
|       | −2.499 | −1.5   | 93    | 0.13           | 82.27                 | 1.40  |
|       | −1.499 | −0.5   | 131   | 0.22           | 140.39                | 0.63  |
|       | −0.499 | 0.5    | 152   | 0.25           | 159.86                | 0.39  |
|       | 0.501  | 1.5    | 130   | 0.19           | 121.46                | 0.60  |
|       | 1.501  | 2.5    | 61    | 0.10           | 61.57                 | 0.01  |
|       | 2.501  | 3.5    | 19    | 0.03           | 20.82                 | 0.16  |
|       | 3.501  | 9      |       | 0.01           | 5.46                  | 2.29  |
|       | 总和     |        | 634   | 1.00           | 633.99                | 9.34  |
|       | 自由度    | 6      |       | 显著性水平          | 0.05                  |       |
|       | 理论卡方和  | 12.59  |       | 检验结论           | Reject H <sup>0</sup> |       |

Methods for Eliminating and Evaluating the Noise in Track Irregularities

WU Ji-cai, XU Yu-de

(Department of Urban Track & Railway Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China)

**Abstract :**Due to lacking the function to eliminate the noise, in the data of railway track irregularities which are obtained by track inspection car, the evaluation of track quality will be influenced. In this paper, a method is proposed to locate and remove the noise and probability—density—method is given to describe the characters of vertical profile irregularity breadth and compare the effect before removing the noise with after removing it.

**Key words :**geometry irregularity; track quality index; probability density; noise; effect