

文章编号:1005-0523(2016)03-0007-06

# 高速铁路无砟轨道线路管理单元划分方法研究

仲春艳<sup>1</sup>,许玉德<sup>2</sup>,沈坚锋<sup>2</sup>,付意庄<sup>3</sup>

(1. 上海铁路局上海高铁维修段,上海 200439; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804;  
3. 上海中通地铁集团有限公司技术中心,上海 201103)

**摘要:**线路单元管理具有便于现场管理、易于针对性养修、可减少养修资源浪费等诸多优点,但是现有的管理单元划分基本上还是沿用既有线的方法,未充分考虑线路结构、设计参数等不同带来的差异,以及后期运营导致的部分区段恶化严重的影响,不利于高速铁路无砟轨道线路实际状态的掌握和有效养修。提出了一种考虑线路参数、结构特征、线路状态、养修能力、作业手段等因素的不等长单元区段划分方法,并确定了单元区段划分的原则和优先级,采用两阶段法实现单元区段自动划分,在划分的第二阶段建立了单元区段选择模型,实现了结合线路状态、考虑养修能力的动态划分。该方法更加符合线路的实际特征,能够突出线路薄弱环节。

**关键词:**管理单元;基本单元;划分方法;划分模型

中图分类号:U216.4 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.03.002

铁路线路呈狭长、带状分布,具有线长、面广的特点,工务部门通常采用区间单元(又称单元区段)来管理线路,具有多方面优点:可按线路里程划分,便于现场管理;可分区段评价线路状态,从而更准确的掌握线路实际状态,及时或更早的发现问题,加强管理能力,提高处理速度;可结合区段的状态,合理安排计划,针对性养修,减少劳力、物力等养修资源的浪费。

文献<sup>[1-4]</sup>对铁路工务管理中,传统管理单元(单元区段)的划分进行了详细研究。各国基本上都采用按照线路里程或线路标志物的划分方法,如法国铁路采用 300 m 的单元区段;英国铁路采用 200 m 单元区段;日本铁路采用 500 m 单元区段;我国在不平顺区段均值管理中,采用长度为 200 m 单元区段计算轨道质量指数等;我们把这些管理单元称之为基本单元,它们是铁路养修管理中的最小单位。另外,我国《铁路线路修理规则》及《高速铁路无砟轨道线路维修规则》中对于线路设备状态的评定均以 1 km 为单位,将线路划分为等长的单元区段,并按单元区段长度进行线路状态的评价;这种整公里长的单元区段我们称之为管理单元区段。

但是以上这种等长的单元区段划分方法未充分考虑线路结构、设计参数等不同带来的差异,以及后期运营导致的部分区段恶化严重的影响,不能突出线路的薄弱环节,不利于线路实际状态的掌握和有效养修,且高速铁路无砟轨道养修的困难性以及天窗的短暂性,也对作业手段、养修效率提出了更高的要求,限制了养修能力,致使传统的管理单元不仅没有成为高速铁路无砟轨道养修的有效手段,甚至还可能成为一种“掣肘”。

为改善以上不足,本文提出了一种不等长、动态的单元区段划分方法,并确定了单元区段划分的原则和优先级,建立了单元区段划分模型,实现了自动划分。

## 1 高速铁路无砟轨道单元区段的划分方法

为适应高速铁路无砟轨道的特点及管理要求,考虑结合线路参数、结构特征、线路状态等的单元区段划

收稿日期:2015-11-30

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAG20B01);国家自然科学基金项目(50908179);上海市自然科学基金项目(11ZR1439200)

作者简介:仲春艳(1989—),女,硕士,研究方向为轨道工务管理。

通讯作者:许玉德(1965—),男,教授,研究方向为轨道管理、养修技术和安全评价。

分方法,即根据线路允许速度、平纵断面线形、建筑结构形式、设备状态、养修能力及作业手段等原则,综合权衡划分单元区段<sup>[5-6]</sup>。高速铁路无砟轨道线路的单元区段是由若干个连续的基本单元组成( $L=n \times l$ , $l$ 为基本单元长度,不一定为200 m, $n$ 为正整数, $L$ 为单元区段长度)的,是一种不等长的单元区段划分方法,如图1所示。

由于道岔结构的特殊性及其受力的复杂性,使得道岔区的状态比区间线路的状态恶化更快,养修更困难。因此,将单元区段划分为线路单元区段和道岔单元区段两类,均由若干个基本单元组成。

1) 线路单元区。对于普通区间线路,根据线路平纵断面线形、建筑结构形式、设备状态、养修能力及作业手段等,可划分为曲线单元、竖曲线单元、桥隧单元、结合部(过渡段)单元及路基下沉单元等;单元区段长度不超过1 km,避免单元区段长度过长后,评价结果可能掩盖单元区段内个别不良地段,不能反映出设备质量的真实状况。

2) 道岔单元区段。对于道岔区域线路,采取分线分侧、固定单元划分模式,将一线一侧道岔及前后大于基本单元长度范围的线路划分为一个道岔单元区段。

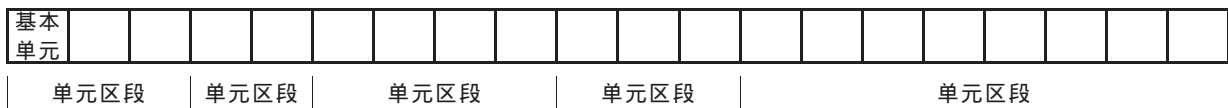


图1 单元区段示意图

Fig.1 Schematic diagram of unit section

## 2 高速铁路无砟轨道单元区段的自动划分

单元区段的划分需要考虑众多因素,过程繁琐易错;又由于划分要考虑设备状态(主要是线路质量状态),所以单元区段划分还是动态的;如果依靠人工划分,不仅效率低、容易出错,也不利于现场的使用和推广。因此,实现单元区段的自动划分是十分必要的。

### 2.1 单元区段划分流程

要用程序实现单元区段的自动划分,必须给出准确的限定条件以便程序加以识别,为此,结合单元区段的划分原则,将单元区段的自动划分分为两个阶段,在每个阶段给出详细的限定原则。其中,第一阶段为固定的、不等长的单元区段划分,是单元区段划分的最优先级;第二阶段是动态的、不等长单元区段划分,是在第一阶段剩余的线路中,结合线路的状态、其它结构信息,运用寻优计算(建立单元区段选择模型)进行的划分。划分流程如图2所示。

1) 基本原则。基本原则是单元区段划分的最基本条件,所有的单元区段都需要满足。

(1) 基本单元的长度为 $l$ ;

(2) 单元区段长度为基本单元的整数倍( $L=n \times l$ , $n$ 为正整数),且涵盖整个典型设备(如道岔、过渡段等),最小长度取 $l$ ,最大长度取1 000 m。

2) 第一阶段。单元区段划分的第一阶段,即单元区段划分的最优先级,以下的地段将被划为固定的、不等长的单元区段。

(1) 人为指定区段(需给出起点里程、终点里程、设备类型、说明等信息);

(2) 道岔;

(3) 过渡段;

(4) 缓和曲线;

(5) 竖曲线。

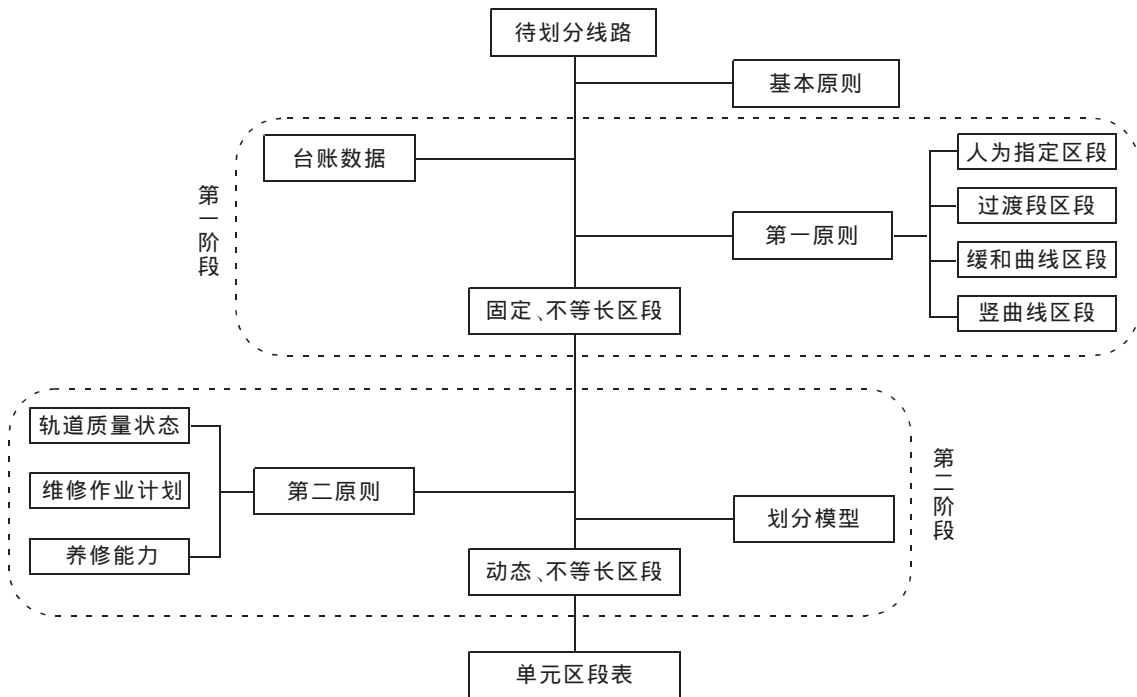


图2 单元区段划分流程图  
Fig.2 Unit section division flow

3) 第二阶段。单元区段划分的第二阶段是在第一阶段剩余的线路区段中,参考以下原则进行剩余部分单元区段的划分,该部分是动态的、不等长的单元区段划分。

- (1) 轨道质量状态(参考轨道质量指数  $TQI$ );
- (2) 维修作业计划;
- (3) 养修能力。

为了将状态较差(线路状态参考轨道质量指数  $TQI$ )的地段加以突出,在划分单元区段时,还应考虑将连续较差的基本单元组合在一起形成单元区段,这就涉及到具体的寻优计算,单元区段选择模型提出的就是为了寻找满足条件的单元区段,使得包含在单元区段内的所有基本单元的  $TQI$  最大,详细内容见本文 2.2。

### 2.2 单元区段选择模型

单元区段选择模型中,决策变量为 0-1 整数型变量,决策对象是基本单元的集合  $L=\{1,2,3,\dots,L_{max}\}$ ,选择连续  $N$  个基本单元组成单元区段的情况下,连续区间中开始基本单元的编号就是决策变量。约束条件是单元区段选择理论约束、指定作业基本单元约束和单元区段上限作业能力约束,目标函数就是包含在选择的单元区段内的所有基本单元的  $TQI$  值总和最大<sup>[7-8]</sup>。

#### 2.2.1 决策变量

- $V_i$ : 0-1 型整数变量,  $i \in L$
- =1(从基本单元  $i$  开始  $n$  个基本单元作为一个单元区段)
- =0(从基本单元  $i$  开始  $n$  个基本单元不能作为一个单元区段)

#### 2.2.2 目标函数

本模型的目标函数为:在选出的全部单元区段中,所有基本单元的状态最差,即  $TQI$  总和最大。

$$S_i = \sum_{j=1}^{\min\{i+(N-1), L_{max}\}} TQI_j \quad (i \in L) \tag{1}$$

$$\max Z = \sum_{i=1}^{L_{\max}} S_i \times V_i \quad (2)$$

其中: $S_i$ =单元区段*i*中的*n*个基本单元的*TQI*值之和。

### 2.2.3 约束条件

1) 单元区段选择理论约束。基本单元*i*为起点选择单元区段情况下,从基本单元*i+1*开始对 $\min\{i+(N-1), L_{\max}\}$ 不能作为起点的基本单元合成单元区段。

$$\sum_{i=1}^{\min\{i+(N-1), L_{\max}\}} V_i \leq 1 \quad (i \in L) \quad (3)$$

2) 指定作业基本单元约束。养护维修作业计划中必须进行作业的特定基本单元,应包括在单元区段内。

$$\sum_{j=\max\{i-(n)-1, 1\}}^{i-1} V_j = 1 \quad (i \in L_1 \subseteq L) \quad (4)$$

其中: $L_1$ =指定需要养护作业的基本单元,如轨道不平顺在计划期内超过舒适性标准值但小于安全限值的基本单元等。

3) 单元区段上限作业能力约束。考虑养护维修作业天窗时间和作业能力将其作为养护工作量的上限给出选择单元区段总数的最大值。

$$\sum V_i \leq U_{\max} \quad (i \in L) \quad (5)$$

其中: $U_{\max}$ =可选择单元区段的上限值。

## 3 单元区段划分实例

沪宁高速铁路贯穿我国城市群最密集、生产力最发达、经济增长最强劲、发展最具活力的长三角核心区域,是我国最繁忙的高速铁路,正线全长 300.209 km,全线铺设 CRTS I 型板式无砟轨道,采用  $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ 、100 m 定尺钢轨,WJ-7 型扣件。以沪宁高速铁路为例,基本单元长度选定为 100 m。按照单元区段的划分原则对沪宁高速铁路进行了单元区段划分,部分单元区段信息见表 1、表 2。

1) 道岔单元区段。

表 1 沪宁高速铁路道岔单元区段(部分)

Tab.1 Turnout unit section of Shanghai-Nanjing high speed railway (part)

线别	行别	起始里程/km	终点里程/km	区段长度/m	基本单元长度/m	单元类型	线形
沪宁高速铁路	上行	163.7	163.9	200	100	道岔	常州站
沪宁高速铁路	上行	164.6	165	500	100	道岔	常州站道岔群
沪宁高速铁路	上行	166	166.2	200	100	道岔	常州站
沪宁高速铁路	上行	166.2	166.5	300	100	道岔	常州站
沪宁高速铁路	上行	208.8	209.2	400	100	道岔	丹阳站道岔群
沪宁高速铁路	上行	210	210.2	200	100	道岔	丹阳站道岔群
沪宁高速铁路	上行	210.8	211	200	100	道岔	丹阳站
沪宁高速铁路	上行	224	224.1	100	100	道岔	丹徒站
沪宁高速铁路	上行	224.8	224.9	100	100	道岔	丹徒站
沪宁高速铁路	上行	236.9	237.2	300	100	道岔	镇江道岔群

## 2) 线路单元区段。

表2 沪宁高速铁路线路单元区段(部分)

Tab.2 Track unit section of Shanghai-Nanjing high speed railway (part)

线别	行别	起始里程/km	终点里程/km	区段长度/m	基本单元长度/m	单元类型	线形
沪宁高速铁路	上行	140.4	140.8	400	100	缓和曲线	缓和曲线
沪宁高速铁路	上行	140.8	141.0	200	100	竖曲线	竖曲线-圆曲线
沪宁高速铁路	上行	141.0	141.4	400	100	曲线	曲线
沪宁高速铁路	上行	141.4	141.7	300	100	缓和曲线	缓和曲线
沪宁高速铁路	上行	141.7	141.9	200	100	竖曲线	竖曲线
沪宁高速铁路	上行	141.9	142.3	400	100	缓和曲线	缓和曲线
沪宁高速铁路	上行	142.3	142.7	400	100	竖曲线	竖曲线-圆曲线
沪宁高速铁路	上行	142.7	143.2	500	100	圆曲线	圆曲线
沪宁高速铁路	上行	143.2	143.6	400	100	竖曲线	竖曲线
沪宁高速铁路	上行	143.6	144.0	400	100	缓和曲线	缓和曲线

## 4 结论

本文从线路管理单元出发,分析了现有管理单元划分方法的弊端、高速铁路无砟轨道养修特点,在此基础上提出了更加符合实际、更为适合高速铁路无砟轨道的单元区段划分方法,并对单元区段的自动划分进行了研究,相关结论如下:

1) 提出了考虑线路允许速度、平纵断面线形、建筑结构形式、设备状态、养修能力及作业手段等因素的不等长单元区段划分方法。

2) 确定了单元区段划分的原则和优先级,通过两阶段法实现单元区段的自动划分。

3) 在单元区段划分的第二阶段中,建立了单元区段划分模型,实现了结合线路状态、考虑养修能力的动态不等长单元区段划分。

## 参考文献:

- [1] 许玉德,李海峰,戴月辉. 轨道交通工务管理[M]. 上海:同济大学出版社,2007:31-33.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁运[2006]146号文. 铁路线路维修规则[S]. 北京:中国铁道出版社,2006.
- [3] 中华人民共和国铁道部. TG/GW 115-2012,高速铁路无砟轨道线路维修规则[S]. 北京:中国铁道出版社,2012.
- [4] 高建敏,翟婉明,徐涌,等. 既有干线轨道不平顺区段管理长度分析[J]. 铁道建筑,2009(5):105-108.
- [5] 中国铁道科学研究院基础设施检测研究所. 提速线路轨道不平顺质量指数 TQI 管理建议值及管理方法的研究[R]. 北京:中国铁道科学研究院,2008.
- [6] 仲春艳. 线路质量等级管理方法与实践[D]. 上海:同济大学,2014:57-61
- [7] 三和雅史,大山達雄. リスクを考慮した最適軌道保守計画策定のための最適化モデル分析[C]. 土木学会論文集,2009,65(1):26-38.
- [8] J F SHEN, Y D XU, H F LI. Building and implementation of track unit selection model of track comprehensive maintenance plan [J]. Computers in Railways XIV, 2014:449-461.
- [9] 陶佳元,徐伟昌,李振廷,等. 动态检测数据在转体桥挠曲变形监测中的应用[J]. 华东交通大学学报,2014,31(2):62-67.

# Research on Division Method of Management Unit for High Speed Railway Ballastless Track

Zhong Chunyan<sup>1</sup>, Xu Yude<sup>2</sup>, Shen Jianfeng<sup>2</sup>, Fu Yizhuang<sup>3</sup>

(1. Shanghai Express Railway Maintenance Section of Shanghai Railway Administration, Shanghai 200439, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Shanghai Shen Tong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

**Abstract:** Track unit management has such advantages as convenience in field management, easy access to targeted maintenance, and tendency to reduce resources waste, etc. But the present management unit division is using methods of existing railways, not taking the differences of track structure, design parameters and the influence of deterioration caused by operation into consideration, which may not help the control of actual state and effective maintenance of high speed railway ballastless track. This study put forward an unequal length unit section division method, taking line parameters, structural characteristics, track condition, maintenance ability, operation method into account. Division principle and priority were determined, and two-phase method was adopted to realize the automatic division. In the second phase, a unit section model in light of track condition and maintenance ability was established. This proposed method is found to conform to actual track characteristics and highlight track weaknesses.

**Key words:** management unit; basic unit; division method; division model

(责任编辑 王建华)