

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.03.023

刚性接触网质量指数研究

张宇, 胡舜

(郑州地铁集团有限公司运营分公司, 郑州 450000)

摘要: 目前中国地铁动态检测行业发展迅速, 接触网动态检测作为检测弓网关系状态的重要项目, 多采用对接触网检测参数进行阈值管理的方式, 用以发现局部接触网参数异常、弓网关系优劣的状况并复查整改消除隐患。为填补地铁行业内刚性接触网综合评价的空白, 克服传统方法对接触网整体质量量化的不足, 采用标准差的计算方法对接触网静态参数进行计算, 运用 Topsis 的评价方法对弓网运行动态参数进行计算, 从而充分发挥每个接触网动静检测数据的作用, 从静态、动态两方面对刚性接触网质量状况进行综合评价。根据郑州地铁日常运营检测数据, 参考轨道质量指数 TQI 评价体系, 建立刚性接触网质量指数 CQI 评价体系, 对刚性接触网质量状况进行区段性的评价, 对基础设施设施管理、合理分配检修维护资源、实现状态修具有指导意义。

关键词: 地铁; 刚性接触网; 检测; 评价体系

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2020)03-0144-04

A Study on Rigid Catenary Quality Index

ZHANG Yu, HU Shun

(Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., Zhengzhou 450000)

Abstract: Dynamic metro detection industry is developing rapidly in our country. As an important item to detect the state of the pantograph-catenary relationship, threshold management is often adopted in dynamic catenary detection to identify the abnormal parameters of the local catenary and the status of the pantograph-catenary relationship, and to check, rectify, and eliminate hidden dangers. In order to comprehensively evaluate the rigid catenary in the metro industry and overcome the deficiencies of traditional methods in quantifying the overall quality of the catenary, the static parameters of the catenary are calculated using the standard deviation, and the dynamic parameters of the pantograph and catenary are calculated by the Topsis evaluation method. This method gives full play to the role of the dynamic and static detection data of each catenary and the quality of the rigid catenary is evaluated in an all-round way. According to the daily operation test data of Zhengzhou Metro and referring to the TQI evaluation system of the track quality index, a CQI (Rigid Catenary Quality Index) evaluation system of the rigid catenary quality index is established to evaluate the quality status of the rigid catenary in sections. This study has significance for the management of infrastructure facilities and the rational allocation of maintenance resources to achieve condition-based maintenance.

Keywords: metro; rigid catenary; detection; evaluation system

弓网受流系统是地铁牵引供电系统最关键的环节之一, 承担着给地铁运营可靠供电的重任^[1]。

刚性悬挂接触网在隧道内相对柔性接触网具有一定优势, 其接触线无张力, 不用设置下锚装置, 不会发生断线事故, 具有零部件少、载流量大、安全可靠、

维修工作量小等特点, 被广泛应用于地铁隧道内^[2]。

自 2002 年广州地铁 2 号线刚性接触网试挂成功后, 刚性接触网逐步替代柔性接触网, 成为城市轨道交通隧道内架空接触网的主要形式。

目前郑州地铁 1 号线、2 号线、5 号线(在建)隧内段均采用刚性悬挂接触网并在已建成的线路中取得了良好的应用。

1 CQI 的定义

接触线的平顺性与弓网的受流质量有着密不可分

收稿日期: 2019-02-21 修回日期: 2019-04-29

第一作者: 张宇, 男, 助理工程师, 从事地铁牵引供电(接触网)设备运营管理、检测工作, zzm metro@163.com

的关系^[3]。接触网检测是保证城市轨道交通安全运行的必要手段。目前,城市轨道交通接触网检测主要依靠人工现场测量和接触网检测车两种检测手段,由此获得接触网的几何参数和弓网相互作用的动态参数,从而为运营维修部门提供客观的检修依据^[4]。刚性接触网质量指数(rigid catenary quality index, CQI)(其值大小为 C_{CQI})是采用数学分析评价方法描述区段刚性接触网整体质量状态的综合指标和评价方法。它运用标准差的计算方法对刚性接触网静态参数进行计算,运用 Topsis 的评价方法对刚性接触网动态参数进行计算,最后将动静态计算结果统筹分析、加权求和,从而形成综合评价指数,即 CQI,它是一套评价刚性接触网质量状态的先进技术,它为深入了解刚性接触网实际状态提供了一个科学有效的手段。

2 CQI 的意义

目前,接触网检测监测数据主要通过各检测参数的阈值判断,发现设备的局部缺陷,从而对超限点进行检修维护,这种传统方式下的检测数据利用率较低。现代化检测监测手段极大地提高了生产效率,节约了养护维修成本^[5]。因此,综合利用接触网动态检测中的不同数据类型以区段的方式对刚性接触网质量进行综合评价已成为现阶段接触网动态检测的主要研究趋势。

虽然刚性接触网零部件类型比柔性接触网少,但结构类型比柔性接触网丰富,主要包括刚性汇流排结构、悬挂结构、定位结构、锚段关节结构、刚柔过渡结构、道岔上方接触网结构、中心锚结结构等^[6]。无论是刚性接触网或是柔性接触网其在电气与机械方面的本质相同,既是特殊的输电线路,又充当着受电弓的机械滑道,其本质上遵循可靠性理论。但是在结构方面,刚性接触网多采用汇流排夹持接触线,刚性接触网相比传统柔性接触网具有接触线无张力、无断线之忧、结构简单等特点。

受电系统的接触网性能是接触网与受电装置互相作用的,所以要求的性能也是双方面的。CQI 是刚性接触网与受电弓静态与动态检测相结合的综合统计结果,是全方位评判刚性接触网质量的重要指标,该值的大小与接触线本身机械性能、电气性能以及定位点的悬挂状态密切相关。

3 CQI 的计算

CQI 由刚性接触网静态质量指数(catenary static

quality index, CSQI)(其值大小为 A_{CSQI})以及刚性接触网动态质量指数(catenary dynamic quality index, CDQI)(其值大小为 B_{CDQI})组成。刚性接触网质量指数 CQI 以锚段长度距离为单元。

接触网几何参数通常是指接触网导线高度(即导高)、拉出值以及锚段关节两线间距等^[7]。 A_{CSQI} 由静态检测下(非接触式检测)的接触线高度、拉出值偏差值、跨距高差 3 种静态参数的标准差和值的倒数组成。其计算公式如下:

$$A_{CSQI} = (\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c)^{-1} \quad (1)$$

式中: σ_a 为接触线高度的标准差值; σ_b 为拉出值偏差值的标准差值; σ_c 为跨距高差的标准差值。

刚性接触网静态指数 CSQI 接触网主要应用于新线联调联试、日常检修维修等需要对刚性接触网进行调整的场景,用来表征刚性接触网主要静态检测值与目标值的偏差程度,反映静态接触网全方位的平顺程度,是一个距离当量(单位: mm)。拉出值偏差值、接触线高度、跨距高差计算以跨为计算步长单位。

B_{CDQI} 由动态检测下(接触式检测)的接触线高度、拉出值、弓网压力及燃弧率 4 种动态参数变量的 logsig 函数加权求和获得。建立接触网动态运行质量评价函数,是依据接触网动态运行质量各参数的特征,选取接触线高度、拉出值、弓网接触力和燃弧率 4 项检测参数进行评价,采用 Topsis 评价方法,建立数学模型,构成接触网动态运行质量评价函数^[8]。

3.1 接触线高度

$$Y_a = 1 - \text{logsig}[0.3 \times (s_{td} - 6)] \quad (2)$$

式中: s_{td} 为一跨内相邻接触线高度的高差; Y_a 为接触线高度函数计算值。

3.2 拉出值

$$Y_b = \begin{cases} 1 & (0 \leq x < 250) \\ 1 - \text{logsig}(0.05 \times (x - 250)) & (250 \leq x < 500) \end{cases} \quad (3)$$

式中: x 为检测拉出值大小; Y_b 为拉出值函数计算值。

3.3 弓网压力

$$F_{m,\min} = 0.00112v^2 + 70$$

$$F_{m,\max} = 0.00097v^2 + 140$$

$$Y_c = \begin{cases} 1 & (F_{m,\min} < x < F_{m,\max}) \\ 1 - \text{logsig}[0.2 \times (F_{m,\min} - x)] & (x < F_{m,\min}) \\ 1 - \text{logsig}[0.2 \times (x - F_{m,\max})] & (x > F_{m,\max}) \end{cases} \quad (4)$$

式中： x 为检测弓网压力的大小； v 为检测车行驶的速度值大小； $F_{m, \min}$ 为弓网压力的最小值； $F_{m, \max}$ 为弓网压力的最大值； Y_c 为弓网压力函数计算值。

3.4 燃弧率

$$Y_d = 1 - \text{logsig}[300 \times (x - 0.02)] \quad (5)$$

式中： x 为实际所测得的燃弧率； Y_d 为燃弧率函数计算值。

弓网受流质量的评价包括一系列客观数据指标(如燃弧率、最大燃弧时间、燃弧强度等)^[9]，在此仅将燃弧率作为计算参数。

该锚段的刚性接触网动态质量指数 B_{CDQI} 为(各跨拉出值平均得分+各跨接触线高度平均得分+各跨弓网接触力平均得分+本锚段内燃弧率得分)/4

$$B_{CDQI} = \sum(Y_a + Y_b + Y_c + Y_d) / 4$$

接触网动态质量指数 $CDQI$ 主要在刚性接触网动态检测中评价接触网的动态运行性能，用来表征接触网动态运行质量与理想状态的差异，根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法，是在现有的对象中进行相对优劣的评价。 B_{CDQI} 是一种无量纲，接触线高度、拉出值、弓网接触力计算以跨为计算步长单位，燃弧率以锚段长度为计算步长单位。 Y_a 、 Y_b 、 Y_c 、 Y_d 分别表示接触线高度、拉出值、弓网接触力以及燃弧率的函数计算值。

C_{CQI} 由 A_{CSQI} 与 B_{CDQI} 加权求和获得，其计算公式如下：

$$C_{CQI} = k_1 A_{CSQI} + k_2 B_{CDQI}$$

k_1 与 k_2 值可根据不同地铁公司自身需求进行修改。

4 CQI 的应用

接触网区段评价不仅能宏观地反映接触网的整体质量，更好地满足管理需求，还可作为现场维修的指导依据，以提高养护维修质量。

根据郑州地铁刚性接触网动态季检数据，计算出 C 值，举例说明其具备的过去性与未来性效应，如图 1 所示。

通过折线图对数据进行双向对比分析可得：

1) 纵向对比一、二、三、四季度刚性接触网动态检测数据，锚段 1、锚段 2、锚段 3、锚段 4 每组区间的数值呈上升趋势，说明这年接触网检修作业质量不断提升(数值越高代表刚性接触网质量越好，反之亦然)，具备一定的过去性效应。

2) 横向对比锚段 1、锚段 2、锚段 3、锚段 4，一、三、四季度每季度锚段 3 的 C 值均为最低，说明该区段刚性接触网质量较差，应优先安排并加强该区段的检修作业，以预防异常磨损的发生，具备一定的未来性效应。

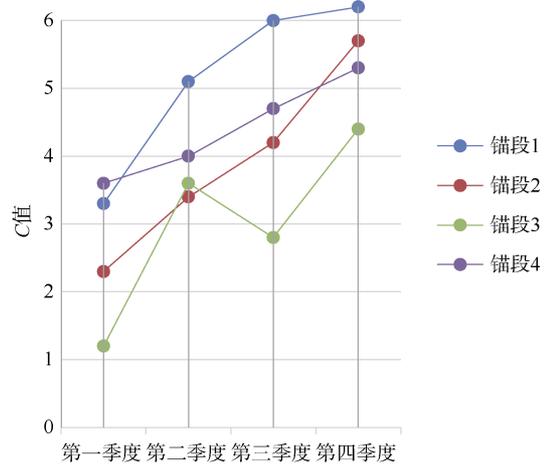


图 1 郑州地铁刚性接触网季检 C 值折线图
Fig. 1 Criteria for quality index CQI management value of rigid catenary

5 D 值管理

为便于对区段接触线不平顺质量指数 CQI 管理标准的推广与应用，依据接触线不平顺幅值扣分管理办法，确定 CQI 的管理办法，以刚性接触网锚段的长度作为重点监控、检修的管理单位，对 CQI 值的评价引入“ D 值”概念。

5.1 D 值的定义

检测锚段的扣分值，称为“ D 值”。它的大小由区段内所有锚段的 C 值的平均值大小确定，见表 1。

表 1 刚性接触网质量指数 CQI 管理值标准
Tab. 1 Criteria for quality index CQI management value of rigid catenary

管理值	数值
CQI 平均值	\bar{C}
低于 10%	$0.9 \bar{C}$
低于 20%	$0.8 \bar{C}$

5.2 D 值的含义

为有效地发挥刚性接触网质量指数 CQI 指导接触网监控、检修计划，若 \bar{C} 值不低于该速度等级管理值，则该锚段区段扣分 D 值为 0；若该值低于管理值，但“低于 10%”管理值，则该锚段区段扣分 D 值为 60 分；

若该值在“低于 10%”与“低于 20%”之间的管理值,则该锚段区段扣分 D 值为 80 分;若该值“低于 20%”管理值,则该锚段区段扣分 D 值为 101 分,具体数值见表 2。

表 2 锚段 D 值扣分数值表Tab. 2 Anchor section D value deduction score

CQI 值	不低于管理值	低于管理值	低于 10%	低于 20%
D 值	0	60	80	101

5.3 D 值的意义

通过上述公式的计算,从而实现以锚段为管理长度的接触线状态质量的综合评价,某锚段的 D 值越大,说明该锚段超过 CQI 管理值的超限程度越大,应优先安排监控、检修。根据 D 值的大小评价每个锚段接触线状态质量,以均衡、计划、优先 3 种形式制订接触网重点监控、综合检修计划^[10],它的意义见表 3。

表 3 D 值评价意义Tab. 3 D Value evaluation significance

评价定义	均衡	计划	优先
D 值	$D=0$	$0 < D \leq 100$	$D > 100$

5.4 D 值的应用

对 $D > 100$ 的锚段,应优先列入检修计划,尽快安排静态检测调整并保证实时监控;对于 $0 < D \leq 100$ 的锚段,应统筹兼顾,合理安排静态检测及参数调整;对 $D=0$ 的锚段,应避免调整几何参数,仅对部分超限数据进行整改。

6 结语

中国地铁行业的接触网动态检测技术处于飞速发展阶段,根据郑州地铁日常运营动态检测数据作为参照标准编制的 CQI 计算方法管理标准仅供行业内专业人士参考。通过 CQI 的计算摆脱了刚性接触网静态、动态检测由“点”出发的局限,综合利用检测数据对各个区段的质量状况进行表征,建立更加完善的质量评价方法,对指导刚性接触网的状态维修具有重要的意义。

参考文献

- [1] 于万聚. 高速电气化铁路接触网[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2003: 23-25.
YU Wanju. High-speed electrified railway catenary[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2003: 23-25.
- [2] 于新泉. 接触网刚性悬挂施工工艺[J]. 铁路工程造价管理, 2008, 23(3): 27-28.
YU Xinquan. Construction technology of rigid suspension of overhead contact system[J]. Railway engineering cost management, 2008, 23(3): 27-28.
- [3] 铁道综合技术研究所. 接触网与受电弓特性[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010: 6-8.
- [4] 马金芳, 于龙. 我国地铁接触网检测现状及发展趋势[J]. 都市快轨交通, 2013, 26(2): 26-28.
MA Jinfang, YU Long. Present Situation and Development Tendency of metro catenary inspection in China[J]. Urban rapid rail transit, 2013, 26(2): 26-28.
- [5] 张文轩, 王靖. 接触网质量评价方法与评价体系[J]. 中国铁路, 2019, 21(5): 21-25.
ZHANG Wenxuan, WANG Jing. The quality assessment method and assessment system of overhead contact line system[J]. China railway, 2019, 21(5): 21-25.
- [6] 关金发, 吴积钦, 方岩. 刚性接触网的研究综述及展望[J]. 都市快轨交通, 2016, 29(6): 37-42.
GUAN Jinfa, WU Jiqin, FANG Yan. Review and prospect of research on overhead conductor rail[J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(6): 37-42.
- [7] 陈唐龙. 高速铁路接触网检测若干关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [8] 高速铁路接触网动态检测评价计分办法: TG/GD124[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.
- [9] EN50317: Railway applications-current collection systems-requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contactline[S]. Brussels: CENELEC, 2002: 6-10.
- [10] 既有线轨道不平顺质量指数标准及管理暂行办法: 运基线路 41 号[S]. 北京: 铁道部运输局, 2009.

(编辑: 王艳菊)