

重载铁路 路基状态评估指南

朔黄铁路发展有限责任公司
中 南 大 学
铁道第三勘察设计院集团有限公司

ZHONGZAI TIELU LUJI ZHUANGTAI PINGGU ZHINAN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

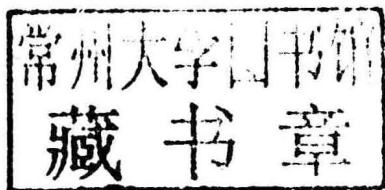


重载铁路路基状态评估指南

朔黄铁路发展有限责任公司

中南大学

铁道第三勘察设计院集团有限公司



中国铁道出版社

2015年·北京

图书在版编目(CIP)数据

重载铁路路基状态评估指南/朔黄铁路发展有限责任公司,
中南大学,铁道第三勘察设计院集团有限公司编著. —北京:
中国铁道出版社,2015.5

ISBN 978-7-113-18875-7

I. ①重… II. ①塑…②中…③铁… III. ①重载铁路—铁
路路基—技术评估 IV. ①U239.4②U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 134941 号

书 名:重载铁路路基状态评估指南

作 者:朔黄铁路发展有限责任公司

中 南 大 学

铁道第三勘察设计院集团有限公司

责任编辑:邱金帅 编辑部电话:(010)51873347 电子信箱:shuai827@gmail.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:苗 丹

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市昌平开拓印刷厂

版 次:2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷

开 本:880mm×1230mm 1/32 印张:2 字数:54千

书 号:ISBN 978-7-113-18875-7

定 价:12.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

本指南是根据国家高技术研究发展计划(863)《重载铁路桥梁和路基检测与强化技术》技术合同(合同编号:2009AA11Z101)的要求和《重载铁路路基状态评估技术》的研究成果,并基于大量的试验数据和监测资料,借鉴了国内外的成功经验而编制。该指南统一了既有重载铁路路基状态评估标准,保障了评估水平和质量,为路基后续的加固工程设计和加固施工质量的控制提供了可靠的方法。

本指南针对既有路基病害与潜在病害,过渡段与支挡结构的状态建立了评估体系,提出了可靠的评估指标与预警准则,并基于既有沉降变形监测数据实现了路基工后沉降的预测、预警,建立了一套完整的既有重载铁路路基状态评估方法及评估标准,是既有重载铁路路基状态评估技术的指导性文件。

本指南共分8章和4个附录,主要内容包括:总则,术语和符号,基本规定,既有路基病害评估,潜在路基病害评估,路基沉降预测,过渡段路基状态评估,高填方路堤边坡与支挡结构状态评估。

本指南由中南大学负责解释。

本指南编制单位:朔黄铁路发展有限责任公司、中南大学、铁道第三勘察设计院集团有限公司。

本指南主要起草人:薛继连、乔世范、余志武、冷伍明、贾晋中、孟宪洪、肖尊群、李晓健、屈晓辉、钱 骅、聂如松、朱德兵、赵春彦、宋绪国、杨 奇。

目 录

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	基本符号	5
3	基本规定	6
3.1	路基评估方法与内容	6
3.2	评估工作程序	7
3.3	评估机构和评估人员	9
4	既有路基病害评估	10
4.1	功 能	10
4.2	铁路路基病害的基本分类和单点病害程度等级划分 ...	10
4.3	既有铁路路基病害的评估层次划分	14
4.4	路基病害划分的评分标准	15
5	潜在路基病害评估	18
5.1	功 能	18
5.2	一般规定	18
5.3	潜在病害的评估方法	19
6	路基沉降预测	25
6.1	功 能	25
6.2	适用范围	25
6.3	路基沉降预测方法	25

7	过渡段路基状态评估	33
7.1	功 能	33
7.2	适用范围	33
7.3	过渡段状态等级划分标准	33
7.4	过渡段路基病害评估方法	34
8	高填方路堤边坡与支挡结构状态评估	38
8.1	一般规定	38
8.2	适用范围	39
8.3	评估指标计算方法	39
附录 A	支挡结构稳定性安全系数计算要求	41
附录 B	支挡结构可靠度计算指标计算方法	42
附录 C	高填方路堤边坡稳定性安全系数计算方法	48
附录 D	高填方路堤边坡稳定性可靠度指标计算方法	53

1 总 则

1.0.1 为统一既有重载铁路路基状态数据采集与处理方法以及评估标准与评估方法,保障评估结果的准确性和实用性,为重载铁路线路路基的科学管理、评估数据库建立、病害处治和改建扩能提供可靠的依据,并使得重载铁路路基状态评估系统化、量化、科学化,特制定本指南。

1.0.2 本指南适用于既有重载铁路路基状态评估,包括既有路基病害(道砟陷槽、道砟囊、翻浆冒泥、路基沉降、路肩外挤、边坡冲刷、边坡坍塌等)的现状评估、潜在病害的发展趋势预测(路基沉降预测、路肩水平位移预测、道砟陷槽、翻浆冒泥、边坡冲刷和边坡坍塌病害的发展趋势预测)、高填方路堤边坡稳定性评估、路堤边坡支挡结构状态评估等。

1.0.3 本指南的主要评估方法包括曲线拟合法、层次分析法、模糊综合评判法、神经网络法、安全系数法、可靠度指标法等。针对不同的评估对象,采用相适应的评估方法。评估数据的获取可采用现场调查、监测、车载雷达探测、路基旁侧的各类原位测试数据(压实度、 K_{30} 、 N_{10} 、动弹性模量 E_{vd} 、二次变形模量 E_{v2} 等)、检修报告等。

1.0.4 本指南除为路基状态评估提供方法外,还提出相应的路基状态等级划分标准,各类等级标准状态下的路基养护对策和方法,以及需要达到的状态要求。

1.0.5 本指南的检测除应符合本指南要求外,尚应符合国家和铁道部门现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 既有重载铁路 existing heavy haul railway

已经通车正式运行,用于运载大宗散货的总重大、轴重大的列车以及货车行驶或行车密度与运量特大的铁路。

2.1.2 路基 subgrade

经开挖或填筑而形成的直接支承轨道结构的土工结构物。

2.1.3 加固(强化) reinforcement

指对存在病害或承载力不足的路基结构采用合适的换料、掺合料、化学剂、电热等方法或机械手段来处理病害、提高强度,改善土的变形特性或渗透性的技术措施。

2.1.4 旁侧 flanking region

指铁路轨道外的路肩或路堤边坡区域。

2.1.5 路基状态评价(评定) evaluation of subgrade state

指对路基设施性能和运行状况进行的评估。

2.1.6 密实度 density、压实度 compactness

密实度:指材料固体物质部分的体积占总体积的比例。

压实度:填土压实控制的干密度相应于试验室标准击实试验所得最大干密度的百分比,通常又叫压实系数。

2.1.7 沉降监测 settlement monitoring

对物体的高程变化所进行的监控量测。

2.1.8 沉降预测 settlement prediction

对物体的高程发生变化之前所进行的预先分析。

2.1.9 水平位移监测 horizontal displacement monitoring

对物体的水平位移变化所进行的监控量测。

2.1.10 水平位移预测 horizontal displacement prediction

对物体的水平位移发生变化之前所进行的预先分析。

2.1.11 曲线拟合法 curve fitting method

将实验获得的有限组测试数据用数学方法拟合出该数据组的近似函数,进而绘制出该数据组对应的曲线。

2.1.12 既有路基病害 existing subgrade disease

路基已经存在的病害。

2.1.13 潜在路基病害 potential roadbed disease

路基中尚未发现或现状等级较低,并且在现有条件或某些特殊因素作用下有可能发生或继续加深的病害。

2.1.14 道砟陷槽 ballast trough

道砟被不均匀地压入路基表面土体而形成的陷槽。

2.1.15 道砟囊 ballast capsule

指外荷载作用下,道砟在较软处压入较深路基形成的胶体。

2.1.16 翻浆冒泥 mud pumping

指路基基床土中的细小颗粒(黏土粒、粉土粒等)或道床中的黏土,受积水和列车反复振动的作用而发生触变液化,形成泥浆冒出。

2.1.17 路肩外挤 outside shoulder squeeze

指路基基床由于施工和养护维修不良,内部离路基面不深的部位存在天然的刚卧层阻碍了道砟陷槽向下发展,同时侧面的阻力薄弱,向一侧或两侧横向发展,引起路肩横向外挤,发生塌肩的现象。

2.1.18 不均匀沉降 differential settlement

指路基由于受外荷载或自身原因产生大小不均的沉降变形。

2.1.19 边坡冲刷 slope erosion

指降雨形成的坡面水流破坏路基边坡坡面,并冲走坡面表层土体的现象。

2.1.20 边坡坍塌 slope collapse

指由于边坡坡度过陡、土质及泥夹石边坡因雨水和自流水现

象而造成边坡塌方的安全事故。

2.1.21 冻害 freezing disaster

指在季节冻土区,由于基床土质、水和温度的不利组合,基床土冻结引起线路在纵向上短距离或左右股道的不均匀冻胀,导致线路不平顺或方向改变的现象。

2.1.22 层次分析法 AHP

将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统,把目标分解为多个目标或准则,进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次,通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序,以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。

2.1.23 模糊综合评判法 fuzzy comprehensive evaluation method

根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰、系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。

2.1.24 神经网络法 neural network method

从神经心理学和认知科学研究成果出发,应用数学方法发展起来的一种具有高度并行计算能力、自学能力和容错能力的处理方法。

2.1.25 安全系数法 safety factor method

考虑安全因素,利用安全系数进行分析处理的方法,安全系数根据实践经验、实验数据分析而得。

2.1.26 可靠度 reliability

可靠度也叫可靠性,指产品在规定的时间内、规定的条件下,完成预定功能的能力,它包括结构的安全性、适用性和耐久性,当以概率来度量时,称可靠度。

2.1.27 评估指标体系 evaluation index system

指由表征评价对象各方面特性及其相互联系的多个指标,所构成的具有内在结构的有机整体。

2.1.28 路基状态评估系统 subgrade state assessment system

基于实用性、教育解释功能、可扩充性、通用性等几点思想进行设计,对潜在路基病害、既有病害、路基稳定性、路桥过渡段以及路基沉降变形进行预测和评估的系统。

2.2 基本符号

- D ——密实度;
 k ——压实度;
 K_{30} ——地基系数;
 σ_0 ——地基基本承载力;
 N_{10} ——轻型动力触探击数;
 E_{vd} ——动弹性模量;
 E_{v2} ——二次回弹模量;
 P_r ——模糊随机可靠度;
 β_z ——结构随机可靠度;
 W_i ——第 i 土条重力;
 α_i ——第 i 土条底滑面的倾角;
 Q_i ——第 i 土条垂直方向外力;
 c_{di} ——第 i 土条滑弧所在地基土层的黏结力;
 φ_{di} ——第 i 土条滑弧所在地基土层的内摩擦角;
 E_{i-1} ——第 $(i-1)$ 土条传递给第 i 土条的下滑力;
 b_i ——第 i 土条宽度;
 F_s ——稳定安全系数;
 E_q ——路桥过渡段病害综合评估指数;
 E_h ——路涵过渡段病害综合评估指数;
 M_a ——支挡结构综合评分指数。

3 基本规定

3.1 路基评估方法与内容

3.1.1 既有重载铁路路基状态评估是以既有重载铁路路基病害、影响因素等数据库为基础,通过对相关非定量数据的量化处理,结合量化参数,采用相关的数学方法处理评价既有路基的病害现状、病害发展趋势以及病害的主因识别,并提出相应的加固处理决策建议。

3.1.2 既有重载铁路路基状态评价的主要方法按表 3.1.2 进行选择。

表 3.1.2 评估方法及特点

评估方法	评估对象
曲线拟合法	基床、路基本体、道床面沉降预测,路肩水平位移预测
神经网络法	基床、路基本体、道床面沉降预测,路肩水平位移预测,潜在路基病害发生或发展概率预测
模糊综合评判法	潜在路基病害发生或发展概率预测,病害的主因识别
层次分析法	潜在路基病害发生或发展概率预测,病害的主因识别
安全系数法	高填方路基稳定性评估,支挡结构稳定性分析评价
可靠度指标法	高填方路基稳定性评估,支挡结构稳定性分析评价
现状调查法	既有病害现状评估,评估等级划分
数值算法	高填方路基稳定性评估,支挡结构稳定性分析评价

3.1.3 同一评估对象可以采用表 3.1.2 里两种或两种以上的方法进行评估,通过各种评估方法的评估结果,综合评判某个“点”、“里程”的病害情况,宜取最不利评价结果作为路基状态的最终评价结果。

3.1.4 既有路基病害评估以“里程”(1 km)为最基本的评估单

位,通过对每个“里程”内各类病害的调查、探测,对每类病害的数量、等级进行统计,最后归纳总结出评估“里程”内各类病害的现状。

3.1.5 潜在病害的评价是以单点所代表的局部场址为最基本的评估单位,对每个场址进行路基土体力学参数的测定,结合轴重、降雨量、地形地貌等因素对各类潜在病害的发生或发展概率进行综合评价和预测。

3.1.6 通过加固前后一段时间的数据采集、资料收集、试验测试,获得加固前后对路基状态评估的数据参数(包括定量数据和定性数据),在同一套评估系统的计算下获得加固前后的路基状态评估结果,通过评估结果的对比对加固施工质量进行评定。

3.2 评估工作程序

3.2.1 评估工作程序如图 3.2.1 所示。

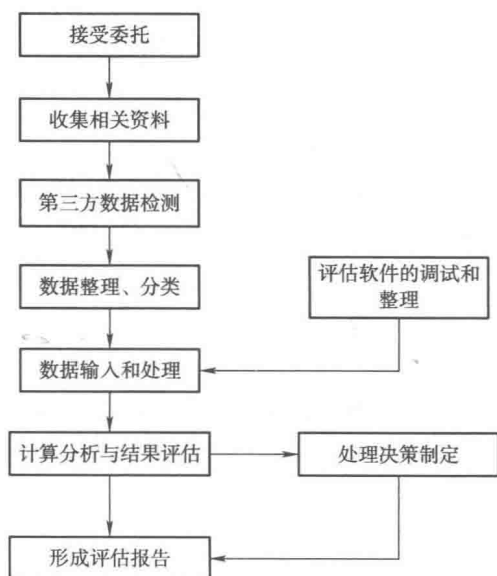


图 3.2.1 评估工作程序

3.2.2 调查、资料收集阶段宜包括下列内容:

(1)收集被检测工程的岩土工程勘察资料、路基设计文件和竣工资料、施工记录;养护、维修及有关观测资料,特别是添加道砟方面的资料;运营中出现的异常情况。

(2)进行实地踏勘、外观检查和必要的测试(如裂缝、冲刷、陷槽等大小的测量,支挡结构的破损情况等)、整体和局部病害处拍照和录像,并将各类病害的数量以及病害等级进行统计整理形成数字化文件。

(3)根据年降雨量、填料类型等因素对既有线路划分“评估区段”,对每个“评估区段”的结构形式、年降雨量、气温、地下水位等参数进行统计。

(4)进一步明确委托方的具体要求。

(5)编制调研报告。

3.2.3 现场检测阶段的工作宜包括下列内容:

(1)根据评估需要制定评估检测方案,方案包括工程概况,检测方法及其依据的标准,检测点、测试断面和加固体的抽样方案,所需的机械或人工配合,安全组织,试验周期。

(2)选取有代表性的点进行 K_{30} 、 E_{v2} 、 E_{vd} 、 N_{10} 、静载荷试验等基床、路基本体力学参数的测试工作,并编制相关数字化文件。

(3)选取有代表性的点设置道床顶面沉降监测、路肩水平位移监测,路基本体深部沉降和位移监测,通过数月的数据监测形成路基沉降、水平位移的监测数据库,并将其导入评估软件相关模块中进行数据处理。

(4)对道砟囊、道砟陷槽、水囊、路肩外挤等隐性病害应通过车载雷达、地震波探测、TSP 测试等物探手段对路基进行探测,根据探测图像、数据形成对这些病害的类型、尺寸、发展程度的认知,并形成数字化文件。

(5)现场检测期间应遵守国家有关安全生产的规定。当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时,应采取有效的防护措施。

检测工作应严格遵守国内相关检测规范、铁路管理法律法规以及相关检测指南的规定。

3.3 评估机构和评估人员

3.3.1 检测工作应委托具有国家或铁道行业相关资质的机构或国家和省部级重点实验室完成。

3.3.2 主要评估人员应经过技术培训,并应具有相应的资质或中高级职称。

3.3.3 评估应采用铁道部门验证的软件包对路基状态进行评价。

4 既有路基病害评估

4.1 功 能

4.1.1 通过对铁路沿线路基病害现状的调查、探测获得铁路沿线各类路基病害的数量、程度,通过评估系统的计算模型,计算得到铁路沿线各评估“里程”各类路基病害的现状分值,从而获得该“里程”内路基病害的评估结果。

4.2 铁路路基病害的基本分类和单点病害程度等级划分

4.2.1 铁路路基病害的基本分类见表 4.2.1。

表 4.2.1 铁路路基病害的基本分类

类别 病害部位	I	II	III	IV	V	VI
基 床	道砟陷槽	翻浆冒泥	下沉外挤	路肩挤出	冻 害	其他病害
本 体	沉降	滑坡	冲刷	路堤坍塌	水浸路堤	—

4.2.2 各类铁路路基病害现状等级划分标准见表 4.2.2—1、表 4.2.2—2。

表 4.2.2—1 铁路路基本体病害等级划分

编号	病害 种类	单位	对结构功能和列车安全的影响	劣化等级
1	路堤 沉降	处	下沉、路肩外挤严重,月下沉量超过 100 mm,危及行车安全	I (极严重)
		10 m ²	下沉、路肩外挤明显,月下沉量超过 50 mm,进一步发展危及行车安全	II (严重)
		4 m ²	下沉、路肩外挤较明显,月下沉量超过 30 mm,进一步发展会升至 II 级	III (较重)
		2 m ²	下沉、路肩外挤不明显,月下沉量超过 20 mm,影响很小	IV (中等)
		m ²	下沉、路肩外挤轻微,月下沉量小于 20 mm,几乎不影响	V (轻微)

续上表

编号	病害种类	单位	对结构功能和列车安全的影响	劣化等级
2	滑坡	处	滑坡不稳定危及安全	I (极严重)
		处	滑坡局部不稳定, 滑坡范围水沟裂缝, 或滑体内、外裂缝, 暂不会危及行车安全	II (严重)
		m ²	滑坡局部变形较大, 有少量裂缝, 进一步发展会达到 II 级的标准	III (较重)
		m ²	加固设施局部损坏, 路堤本体还没有发生破坏	IV (中等)
		10 m ²	加固设施完好, 滑坡的可能性几乎没有	V (轻微)
3	边坡冲刷	处	严重冲刷影响路基稳定, 危及行车安全	I (极严重)
		10 m ²	防护设备基础冲刷, 超过冲刷线, 暂不危及行车安全	II (严重)
		10 m ²	包含导流堤的防护设备局部损坏, 继续发展会上升到 II 级	III (较重)
		10 m ²	防护设施基本完好, 局部防护设备有少量裂缝, 局部有轻微冲刷现象	IV (中等)
		10 m ²	防护设备完好, 边坡几乎无冲刷	V (轻微)
4	边坡溜坍	处	严重溜坍危及行车安全	I (极严重)
		10 m ²	坡面表层溜坍, 周边有裂缝, 局部有错台, 进一步发展会危及安全	II (严重)
		4 m ²	土质边坡严重裂缝, 缝宽大于等于 2 cm, 未有错台, 进一步发展会升至 II 级	III (较重)
		2 m ²	土质边坡轻微裂缝, 缝宽小于 2 cm, 未有错台, 影响较小	IV (中等)
		m ²	加固结构局部损坏, 几乎无影响	V (轻微)
5	浸水路基	处	路基本体 2/3 以上高度范围浸泡在水中, 护坡结构失效, 路基本体松动软化, 危及行车安全, 甚至行车被迫中断	I (极严重)
			路基本体 1/3~2/3 高度范围浸泡在水中, 护坡结构基本失效, 路基本体大部分松动软化, 使行车不得不降速行驶	II (严重)
			路基本体 1/3 以下高度范围浸泡在水中, 不影响护坡结构的效用, 局部路基发生松动软化, 车辆需降速行驶	III (较重)
			路基本体高度范围内没有长时间浸泡在水中, 但偶有侵蚀, 护坡结构稳定, 没有发生松动软化现象, 但不加固处理会影响列车行驶速度	IV (中等)
			路基本体高度范围内长时间在路基本体底面以下, 护坡结构稳定, 没有发生松动软化现象, 除大暴雨情况下外, 无需做特别措施处理	V (轻微)