

文章编号:1006-2106(2007)03-0025-04

无碴轨道工后沉降变形观测、评估的集成理念^{*}

尤昌龙^{**}

(铁道部工程管理中心, 北京 100086)

摘要:研究目的:针对客运专线无碴轨道铺设的关键控制措施——工后沉降变形观测、评估,提出工后沉降变形观测、评估的集成思想,希望有助于提高建设、施工管理人员对该问题的认知,有助于客运专线的建设。

研究方法:系统分析国外相关资料,结合我国客运专线建设的具体情况和已发布的相关指南,先分析独立单元的沉降变形,后集成不同单元的沉降变形,进行系统分析。

研究结论:通过对路基、桥涵、隧道等单元之间的变形差异性影响分析和系统评估,明确各单元间沉降变形对铺设无碴轨道的影响,消除彼此间的变形差异影响;明确无碴轨道的铺设时间,切实保证无碴轨道的生命周期。

关键词:客运专线;无碴轨道;工后沉降;整体变形集成

中图分类号:U213 文献标识码:A

The Integration Concept on Observation and Evaluation of Ballastless Track

YOU Chang - Long

(EMC of the Ministry of Railways, Beijing 100844, China)

Abstract: Research purposes: The purposes are to be conducive to enhancing the knowledge of builders and clerks of works on observation and evaluation of settlement deformation after work and construction of passenger dedicated line by putting forward the integration concept on the key controls measures for the observation and evaluation of settlement deformation after work.

Research methods: Through making analysis of the information of foreign countries, first the analysis was made for the settlement deformation of independent units, then the systematic analysis was made for the integrated settlement deformation of different units according to the concrete conditions of building passenger dedicated line in China and the correlative codes.

Research conclusions: Through the analysis and systematic evaluation of inferences from the difference settlement deformation between the different units such as roadbed, bridge and culvert, tunnel etc., the impact on the ballastless track by settlement deformation of every unit was determined so as to eliminate the impacts of settlement deformation by each unit and also the time of laying ballastless track was determined to ensure the ballastless's service lifecycle.

Key words: passenger dedicated line; ballastless track; settlement deformation; integration of overall deformation

无碴轨道系统以其少维修、免维修、耐久性强、生命周期长,在现代高速铁路中得到迅速推广、运用,是

* 收稿日期:2006-12-25

** 作者简介:尤昌龙,1964年出生,男,高级工程师。

现代高速铁路建设、发展的必然趋势;影响无碴轨道铺设及其耐久性和生命周期的主要条件之一是线路的沉降变形稳定性,是目前高速铁路设计、施工过程控制的关键内容之一;加强无碴轨道线路沉降变形观测、预测、评估线路的沉降变形发展趋势,提出相应的改进措施,确保满足铺设无碴轨道的需要是沉降变形观测与评估过程中着力解决的课题,铁道部为此发布了《客运专线铁路无碴轨道铺设条件评估技术指南》和《客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定》等标准。基于上述,本文探讨、提出了无碴轨道工后沉降变形观测与评估的集成理念,希冀有助于对工后沉降变形观测、

评估的认知,有助于客运专线的建设与施工。

1 线路整体变形集成理念

1.1 无碴轨道铺设基本条件

依据《客运专线无碴轨道铁路设计指南》^[1](以下简称设计指南)、《客运专线铁路无碴轨道铺设条件评估技术指南》(铁建设函[2006]158号)^[2](以下简称评估指南),将路基、桥梁、隧道工程工后沉降变形量控制标准分述如下。

1.1.1 路基

路基工后沉降变形量控制标准见表1。

表1 客运专线路基工后沉降变形量控制标准

路基	条件	允许值
基本准则	一般路基	$S_R < 15\text{ mm}$ (膨胀性地基:隆起量不大于10 mm)
	路桥、路隧过渡段	差异沉降量小于5 mm,路桥、路隧折角小于1‰
允许调整准则	沉降均匀,路基长度大于20 m	$S_R \leq 30\text{ mm}$,调整轨面高程后的圆顺竖曲线半径大于 $0.4V_{\max}^2$

注: S_R :路基工后沉降量, V_{\max} :最高运营速度;隆起量指标参考德国DS836标准。

1.1.2 桥梁

- (1) 墩台均匀沉降量不大于20 mm,相邻墩台的沉降量差不大于5 mm。
- (2) 涵洞工后沉降量应与路基一致。
- (3) $L \leq 50\text{ m}$ 预应力混凝土简支结构在无碴轨道铺设后的徐变上拱度不应大于10 mm; $L > 50\text{ m}$ 时,无碴轨道铺设后的徐变上拱度不应大于 $L/5\ 000$,且不得大于20 mm。

1.1.3 隧道

隧道基础工后沉降量不大于15 mm。

1.2 路堑、路堤、涵洞、桥梁、隧道、过渡段等单元划分

路堑、路堤、涵洞、桥梁、隧道、过渡段等单元划分原则:依据路基结构与桥梁、隧道、涵洞等的关系确定,分别分为基本单元、组合单元和集成分析单元,如表2所示。

表2 线路系统沉降单元划分

单元等级	单元工程名称	满足的条件
基本单元	路基(路堑、路堤)	路堤、路堑、路堤~路堑过渡段满足表1所示条件
	涵洞	满足1.1.2(2)条件
	桥梁	满足1.1.2(1)、(3)条件
	隧道	满足1.1.3条件
组合单元	路基+桥梁+路基+涵洞	满足各自条件要求和过渡段要求
	路基+涵洞+路基+隧道	
	路基+桥梁+隧道	
集成单元	路基+桥、涵+隧道+路基+……	满足各自基本条件要求和组合单元基本条件要求,满足沿线不同单元及其接口要求

1.3 整体沉降变形的集成理念

在取得基本单元沉降变形观测成果的基础上,综合分析基本单元和组合单元的沉降变形量及其分布特征,沿线路纵向方向对各单元及其接口段的沉降变形进行系统分析评估,当各组合单元及其接口满足铺设无碴轨道的基本条件后,可进行铺设无碴轨道施工。

若不同单元的沉降变形量过大或单元间的沉降变形不能满足限值要求,则应根据预案采取相应的优化措施,保证工后沉降变形量和差异沉降变形量满足设

计要求。

2 线路整体变形观测的集成分析

根据全线路基、桥涵、隧道等工程结构物满足列车安全、高速、舒适运营的要求,提出初步设计方案。该设计包括:(1)选线、地质勘察、线路安全稳定性分析、初步设计;(2)施工图设计、实施性施工组织设计、沉降变形观测方案设计;(3)沉降变形观测、数据分析和评估、确认轨道工程实施等;其目的是确保满足铺设无

碴轨道的基本条件和实施。

其主要阶段包括:(1) 设计阶段;(2) 沉降变形观测点布设和实施观测阶段;(3) 沉降变形数据采集、分析、评估阶段;(4) 沉降观测数据评估结果应用阶段。

2.1 设计阶段

根据轨道工程技术要求和工程地质勘察资料,分析设计区段内不同结构物修建完成后满足车辆运行需要的工后沉降变形量并据此进行工程设计,计算给出满足设计要求的沿线路纵向分布的沉降变形包络线。对于设计区段内疑问段设计期间应详细分析地质勘察资料和沉降分析计算,制定观测预案。其主要内容如表 3 所示。

表 3 变形控制的基础设计阶段——控制断面变形分析

工程结构	沉降分析计算
路基(路堤、路堑)	针对所有控制断面及其相应的施工计划进行不同阶段的沉降/隆起计算,分析/验证是否符合铺设无碴轨道的要求,提出观测设计方案
过渡段填筑	考虑施工工序对沉降变形的影响(例如正梯形过渡段、倒梯形过渡段),进行计算分析,按接口特点制定观测设计方案
桥梁桩基	分析桩基与地基的相互作用,提出沉降计算分析报告
桥梁、涵洞等结构	主要分析变形随时间发展的特性:弹性变形、徐变、收缩、荷载重分布引起的变形以及延迟弹性变形(需区分地基与桥梁结构本身的变形)
隧道	根据仰拱的沉降变形、隧道衬砌完成后的变形收敛特性,提出观测方案

设计阶段进行控制断面沉降分析是实施观测工作的基础阶段,通过该阶段的工作,可分别确定出测试工作的重点区域,为观测断面的设置和元器件布设打下基础,为观测断面、观测桩的布置提供依据。

设计阶段的工作重点:

- (1) 给出工程地质勘察阶段沉降控制疑问区沉降变形线;
- (2) 给出设计阶段沉降变形控制包络线、工后沉降变形控制包络线;
- (3) 对重点观测区段的沉降变形制定观测方案,并针对可能出现的变形和差异变形过大问题,提出预案。

2.2 沉降观测点布设和实施观测阶段

根据设计要求,在施工阶段开展相应的观测区段、不同观测断面沉降变形观测装置布设工作,并根据施工进度和气候条件变化情况,在观测期内进行变形观测,其实施标准、技术要求详见“评估指南”和《客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[200]189号)(以下简称“测量暂规”)[3]。

2.3 沉降变形数据采集、分析、评估阶段

2.3.1 沉降变形预测分析的目的

- (1) 根据沉降变形预测结果推断预计铺设无碴轨道的时间点。
- (2) 当预测结果不能满足需要时,确定应采取的技术对策。
- (3) 预计运营开始的时间点。
- (4) 对特殊工点,继续预测无碴轨道运营后可能的沉降变形趋势,确定相应的维修预案。

2.3.2 沉降变形数据采集

- (1) 建立沉降变形数据库,统一归档管理沉降变

形观测数据。

- (2) 数据观测单位依据“评估指南”和“测量暂规”的要求进行沉降变形数据观测,观测数据经监理签认后纳入数据库。

2.3.3 分析、评估

观测数据分析、评估单位依据“评估指南”技术要求,对入库的数据进行分析、评估,并预测未来一定时间段相应的沉降变形量,根据满足最终评估条件的观测数据预测最终沉降变形量和工后沉降变形量。具体做法如下:

- (1) 给出实际观测沉降变形曲线。
- (2) 路基、桥涵、隧道等工程完工至无碴轨道铺设前,在观测时间段 t 内的沉降变形量 $S(t)$ 与预测的最终沉降变形量 $S(t = \alpha)$ 之比值应大于 75%,根据监测数据统计的曲线回归的相关系数大于 0.92,且间隔不少于 3 个月的 2 次预测最终沉降的差值不大于 8 mm 时,方可认为沉降观测数据满足评估要求、沉降观测成果可靠。在此基础上,可给出预测的最终沉降变形量。
- (3) 当预测工后沉降变形量在设计工后沉降变形包络线内时,认为满足相关单元铺设无碴轨道的基本条件要求。
- (4) 当预测工后沉降变形量高于设计工后沉降变形量包络线,但在工后沉降变形量限值内时,认为无碴轨道相应评估单元满足铺设无碴轨道要求,例如,路基的工后变形量限值为 15 mm,若预测工后沉降变形量均在 15 mm 限值以内,则认为满足铺设无碴轨道的条件,如图 1 所示。

根据“评估指南”,观测期内,路基、桥涵等结构沉降实测值超过设计值 20% 及以上时,应及时会同建设、勘察设计等单位查明原因,必要时进行地质复查,

并根据实测结果调整计算参数,对设计预测沉降进行修正或采取沉降控制措施。

2.4 线路变形分析系统集成评估—沉降观测数据评估成果应用阶段

分别完成路基、桥梁、隧道等单元工程及其组合单元工程的沉降变形评估后进行沿线路纵向的综合评估,对线下工程各结构物间的变形量大小、分布及变形协调性进行系统集成评估。具体步骤如下:

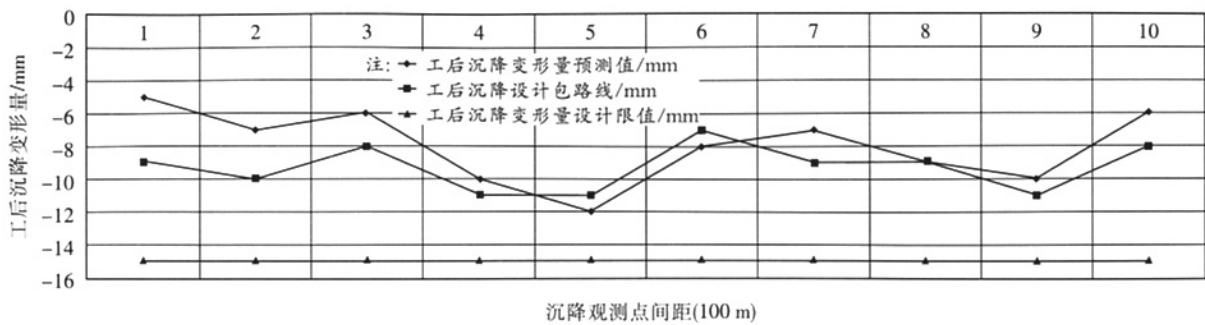


图1 工后沉降变形量和设计控制包络线关系示意图

2.4.1 绘制沿线路纵向的沉降—距离曲线,并沿线路纵向标示出不同的结构物及其相应的工后沉变形量,并与沉降设计控制线绘制在同一图中,如图2所示。

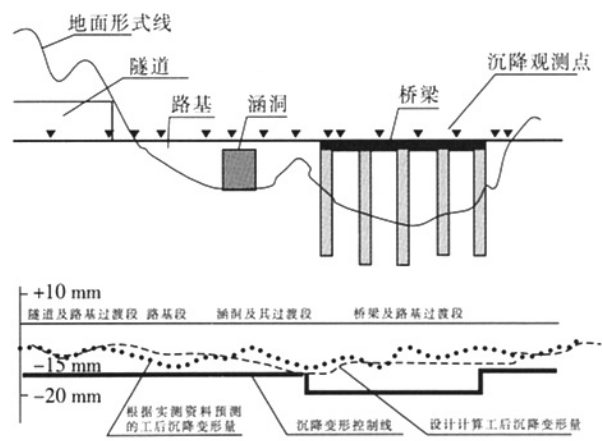


图2 沿线路纵向所做的沉降变形系统集成评估示意图

2.4.2 当满足铺设无碴轨道的各项技术要求后,批准铺设无碴轨道。

2.4.3 在综合评估分析过程中,若发现部分单元、单元接口间沉降观测数据异常或不能满足调整轨面高程后的圆顺竖曲线半径需要,则应按预案进行处理。

2.4.4 当预测工后沉降变形量高于沉降变形量限值时,应针对相应单元进行轨道圆顺性评估,若不能满足圆顺性要求时,应按设计预案采取相应的措施。

其流程图如图3所示。

3 结论

总之,无碴轨道工程是一系统工程,它对工程变形的要求之高是现代高速铁路建设面临的基础课题,应

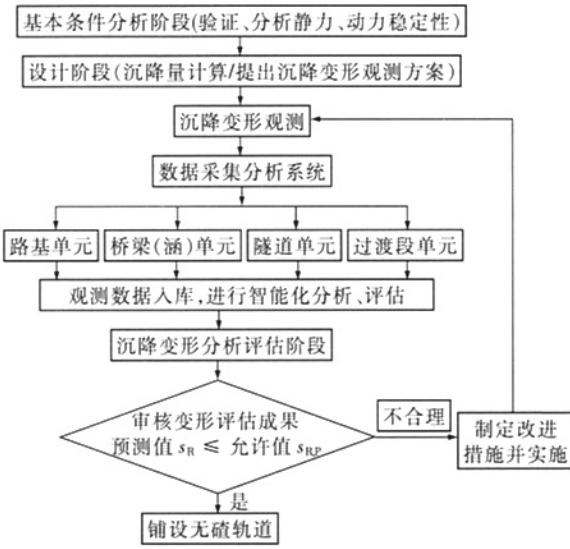


图3 线路沉降变形分析评估集成流程图

用系统的理念分别对待路基、桥梁、隧道等工程单元的沉降变形,有利于解决各工程单元间的接口问题,消除各单元接口间的隐患,确保线路工程满足高速列车安全、高速、舒适运营。

参考文献:

[1] 铁建设函[2005]754号,客运专线无碴轨道铁路设计指南[S].
[2] 铁建设函[2006]158号,客运专线铁路无碴轨道铺设条件评估技术指南[S].
[3] 铁建设[2006]189号,客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定[S].

(编辑 慕成娟)

作者：[尤昌龙](#)，[YOU Chang-Long](#)
作者单位：[铁道部工程管理中心](#)，北京，100086
刊名：[铁道工程学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年，卷(期)：2007, 24(3)
被引用次数：16次

参考文献(3条)

1. [客运专线无砟轨道铁路设计指南](#)
2. [客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南](#)
3. [客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定](#)

本文读者也读过(10条)

1. [尤昌龙](#) [无砟轨道铺设条件——线下工程沉降变形分析评估](#)[会议论文]-2008
2. [刘玉祥](#), [陈秀方](#), [贾兴明](#), [易锦](#), [Liu Yuxiang](#), [Chen Xiufang](#), [Jia Xingming](#), [Yi Jin](#) [铁路板式轨道结构平面有限元分析](#)[期刊论文]-[石家庄铁道学院学报](#)2006, 19(2)
3. [罗建华](#), [Luo Jianhua](#) [客运专线线下工程工后零沉降建设理念探索](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2008(3)
4. [白景丽](#), [Bai Jingli](#) [浅谈润河大桥预应力箱梁的施工技术](#)[期刊论文]-[科学之友](#)2010(32)
5. [孟长江](#), [赵海粟](#), [储团结](#), [MENG Chang-jiang](#), [ZHAO Hai-su](#), [CHU Tuan-jie](#) [郑武客运专线地基土沉降与变形规律的试验研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2007(z1)
6. [李合领](#), [李素红](#) [不良地质隧道变形观测分析方法](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2001, 27(3)
7. [杨小晶](#), [Yang Xiaojing](#) [浅谈某公路大桥预应力箱梁的张拉工艺](#)[期刊论文]-[科学之友](#)2010(32)
8. [张庆勇](#), [李艺军](#) [GPS测高与普通水准测量的应用比较](#)[期刊论文]-[广西水利水电](#)2004(2)
9. [张红志](#), [Zhang Hongzhi](#) [路基变形观测常用方法的对比](#)[期刊论文]-[山西科技](#)2008(4)
10. [王炳南](#), [廖晓和](#), [方元洪](#) [跨河水准测量的一种新方法——GPS RTK 技术在工程测量中的应用](#)[会议论文]-2001

引证文献(16条)

1. [关祥义](#) [我国铁路客运专线路基沉降预测方法探析](#)[期刊论文]-[科技与生活](#) 2011(9)
2. [明祖涛](#), [游振兴](#), [张届](#), [阮汝伟](#) [高速铁路桥隧沉降预测模型的研究](#)[期刊论文]-[测绘通报](#) 2011(8)
3. [秦尚林](#), [陈善雄](#), [许锡昌](#) [路基沉降预测的拓展指数曲线模型](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2010(2)
4. [吴涛](#), [彭立敏](#), [施成华](#), [艾小冬](#) [高速铁路隧道线下工程变形监测系统的开发与应用](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2009(1)
5. [LI Zhen-yu](#), [WANG Yong-he](#), [YANG Guo-lin](#) [Bayesian Inference of Empirical Coefficient for Foundation Settlement](#)[期刊论文]-[西南交通大学学报（英文版）](#) 2009(4)
6. [尤昌龙](#) [无砟轨道铺设条件——线下工程沉降变形分析评估](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008(z1)
7. [李珍玉](#), [王永和](#), [丁加明](#), [杨果林](#) [基于最大熵原理的地基变形分析](#)[期刊论文]-[铁道科学与工程学报](#) 2008(2)
8. [花向红](#), [闵轩](#), [杨荣华](#), [叶珉吕](#) [武咸城际铁路线下工程沉降评估技术](#)[期刊论文]-[测绘工程](#) 2013(2)
9. [陈善雄](#), [王星运](#), [许锡昌](#), [余飞](#), [秦尚林](#) [路基沉降预测的三点修正指数曲线法](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2011(11)
10. [牛海鹏](#), [谭志祥](#), [郭仓](#) [基于VB的客运专线无砟轨道地基沉降评估系统](#)[期刊论文]-[山西建筑](#) 2011(22)
11. [宋剑](#), [李明领](#), [周全能](#), [秦尚林](#), [许锡昌](#) [路基沉降观测期对评估结果的影响及其合理控制](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2010(2)
12. [汤晓光](#), [陈善雄](#), [许锡昌](#), [秦尚林](#) [论铁路客运专线沉降变形评估标准与合理控制](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2010(2)
13. [陈善雄](#), [王小刚](#), [姜领发](#), [戴张俊](#) [铁路客运专线路基面沉降特征与工程意义](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2010(3)
14. [李明领](#), [周全能](#), [陈善雄](#), [许锡昌](#) [试论铁路客运专线沉降变形观测评估工作模式](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2010(2)
15. [李尚嗣](#) [客运专线无砟轨道路基工后沉降分析与控制](#)[期刊论文]-[山西建筑](#) 2010(27)
16. [杨吉新](#), [朱伟伟](#), [丁兰](#) [哈大客运专线桥梁墩台沉降观测与预测](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2010(7)