

铁路客运专线沉降监测数据管理与分析预测集成系统研发

陈善雄, 余 飞, 刘绍波, 韩 卓

(中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071)

摘要: 针对铁路客运专线沉降变形分析评估的技术要求, 开发建立了“铁路客运专线沉降观测数据管理与分析预测集成系统”。该系统融合了沉降观测数据管理、沉降分析预测、区段沉降评估、数据报表自动生成和全线监控管理等多种功能, 实现分级权限信息化管理, 提供了丰富的可视化分析工具, 系统功能齐全、界面友好、易于扩展。工程实践表明, 该系统对于铁路客运专线沉降变形评估具有很好的适用性和稳定性, 为铁路客运专线沉降评估工作的信息化管理、科学决策提供了平台。

关键词: 武广铁路客运专线; 沉降变形; 评估; 软件系统

中图分类号: U238 TU441 **文献标识码:** A

文章编号: 1004-2954(2010)02-0031-05

1 概述

铁路客运专线建设工程规模大、技术标准高、建设速度快, 全线路基、桥涵和隧道的沉降观测数据量巨大, 数据处理量达百万级, 且要求施工建设过程中对线下工程沉降变形进行快速准确地评估, 这就需要借助于专用数据库软件进行管理和分析。

目前, 研究人员已开发了一批用于建筑地基、道路路基、隧道及大坝基础沉降分析的软件^[1-6], 但针对铁路客运专线工程特点及其沉降变形特征的管理分析软件还未见报道。根据已建和在建的京津、武广、郑西等客运专线的建设经验来看, 其线下工程沉降变形具有沉降变形量小(毫米级)、数据波动大的特点, 以往的沉降监测分析软件不能适应和满足铁路客运专线沉降评估的需求。由于我国长大线路的铁路客运专线还处于初期建设阶段, 对客运专线无砟轨道工后沉降分析评估没有成熟的经验, 更缺乏有针对性的沉降观测数据管理与分析预测软件, 有必要结合铁路客运专线工程特点、沉降变形特征以及评估工作需求, 建立一套科学、系统的无砟轨道沉降变形观测分析评估系统, 进而对路基、桥涵、隧道、过渡段的沉降变形观测数据进行快速可靠的分析评估, 以确保无砟轨道安全顺利地铺设。另一方面, 铁路客运专线沉降变形评估工作涉及到设计、施工、监理、评估和建设单位等多个部门, 这就

需要针对各部门的职责范围和工作需求开发对应的功能模块, 并设置权限范围以实现各部门的协调工作。

针对我国铁路客运专线沉降变形评估工作的需求, 严格按照《客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南》^[7]的规定, 开发建立了《铁路客运专线沉降观测数据管理与分析预测集成系统》。该系统融合了沉降观测数据管理、沉降分析预测、区段沉降评估和全线监控管理等多种功能, 实现分级权限信息化管理, 提供了丰富的可视化分析工具, 系统功能齐全、界面友好、易于扩展, 并在武广铁路客运专线无砟轨道铺设条件的评估工作中得到了成功应用。

2 系统设计目标和总体结构

根据高速铁路线下工程沉降变形观测与评估的内容、特点和技术要求, 分析评估软件需具备以下功能。

2.1 数据库管理和查询功能

具有工程属性信息和断面测点数据的快速导入、导出和编辑功能。采用大型数据库对项目所有观测断面的属性信息、观测数据、分析图形和预测结果进行集中管理, 并实现多条件组合查询功能, 并可以对沉降设计值和沉降观测值进行统计分析。

2.2 沉降分析功能

对沉降点和断面进行沉降过程、沉降速率分析, 并以图形显示的方式, 直观地给出沉降过程线、沉降速率线、断面沉降组合线、平均沉降过程线等分析图形, 有效提高沉降分析工作的效率。

2.3 沉降预测功能

能够同时采用多种方法进行任意时间点的对比预测分析, 预测分析方法对于铁路客运专线沉降变形实测数据具有较好的适用性、准确性和稳定性。

2.4 区段工后沉降和纵向沉降差分析功能

绘制区段纵向沉降盆曲线, 包括实际观测沉降盆曲线、铺轨期预测沉降盆曲线、最终沉降盆曲线, 同时列出各个断面的沉降差和折角。以图形方式给出工后沉降沿线路纵向分布图, 为高速铁路区段沉降变形评估工作提供直观的分析成果。

2.5 数据报表和分析图形的自动生成功能

系统以统一格式自动生成数据报表和分析图形, 实现反馈信息的统一标准, 有效提高评估报告撰写的

收稿日期: 2009-12-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (kzcx2-yw-150)

岩土力学与工程国家重点实验室重点项目 (SKL08032)

作者简介: 陈善雄 (1965—) 男, 研究员, 博士生导师

。线路 路基。

工作效率。

针对以上设计目标,以 Microsoft Windows 2003 Server 为服务器系统平台、Microsoft SQL Server 2000 为数据库平台,采用 Visual C++ 语言编程开发了相应的功能模块,并考虑到铁路客运专线沉降变形评估的工作流程,建立对应的多层次分级权限管理模式,实现从变形观测单位(施工)、数据复核单位(监理)、分析评估单位和建设单位的分级管理,系统的总体结构如图 1 所示。

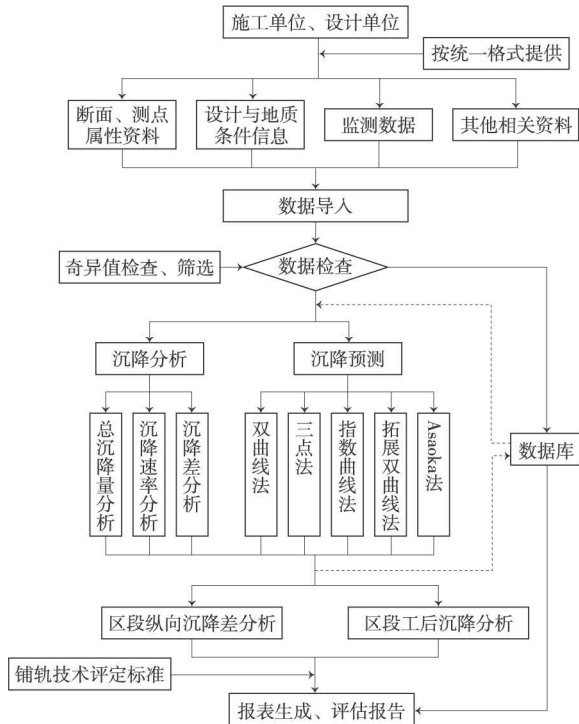


图 1 软件系统框图

3 系统功能及特点

3.1 数据库管理

数据库采用微软公司的 Microsoft SQL Server 作为数据管理平台。根据高速铁路客运专线沉降变形观测的工程层次,每一断面沉降变形观测数据的相关属性信息分为 4 个层次。系统数据库依照以上的工程层次建立相应的数据信息管理层次,如图 2 所示,即标段信息表、工程局信息表、断面信息表、测点信息表。各个表之间呈树形结构,可以通过所属信息如标段 ID、工程局 ID、断面 ID、测点 ID 进行关联。

数据库实现的功能为动态建库与数据导入功能、信息组合查询与修改功能、观测数据的调用与统计功能、观测数据显示、编辑与导出功能。

(1) 动态建库与数据导入

针对高速铁路客运专线工程管理的层次特征,数据库主要利用各工程局的“工程属性信息录入表”文件进行建库。由于全线各工程局所辖观测断面类型、

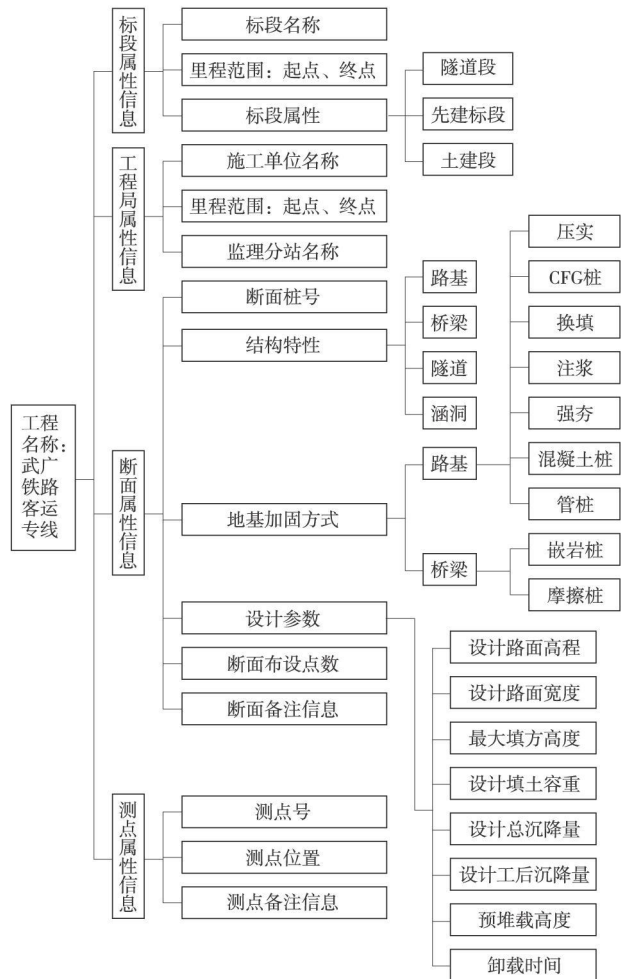


图 2 铁路客运专线工程属性信息结构框图

数量差异较大,系统采用动态方式创建数据库,生成相应的子表以及每个子表的各个字段,为数据信息的存放提供空间。用户无需关心该数据库是否存在,不用进行相应的数据库操作,使得整个过程非常透明,方便用户的使用。

数据导入主要实现将各工程局的“观测数据录入表”导入到数据库中。由于数据文件量庞大,观测断面类型较多、观测数据记录繁杂,给数据导入过程带来一定的困难。本系统采用“代码识别”和“集中导入”的方式,顺序对每一个“观测数据录入表”的断面桩号进行识别,并对其结构类型(路基、涵洞、桥梁、隧道)予以区分,将数据信息存放在相应的子表存储空间内,实现数据信息快速、有序的导入。程序能够自动辨别不同结构类型的的数据记录文件,并且对导入的数据及格式进行检查,提醒用户对该文件进行重新校验。

(2) 信息组合查询与修改功能

系统可以根据标段名、工程局名、断面桩号、结构物名称、断面结构类型、地基形式等进行信息组合查询,并以列表的形式显示查询结果。数据库查询的方式主要有两种,一种是根据断面桩号的范围进行查询,另一种是根据结构物名称进行查询。根据断面桩号进

行查询时,可以在所选桩号范围内,通过附加“结构特征”、“地基加固方式”等设定过滤条件,查询符合过滤条件的所有断面。

(3) 观测数据的调用与统计

用户利用“查询”功能查找出所需要的断面后,系统将以列表的形式给出所查询断面的概况信息,由用户判断和确认这些断面是否可以用来分析。

当表格中的信息符合用户分析条件时,将这些断面、断面所在标段、断面下面的观测点、以及断面观测点的所有观测记录全部从数据库中调出,并在树形控件中显示这些信息。用户可以在左边的树形控件中选择合适的断面、观测点进行沉降分析、沉降预测等,如图 3 所示。

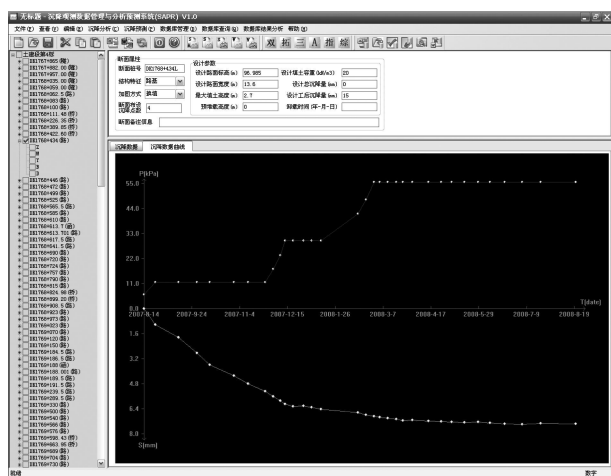


图 3 观测数据的调用

沉降数据统计分析功能可以查找出区段内断面沉降排名信息。统计沉降数据的方式有:断面最大沉降设计值(从大到小)、断面最小沉降设计值(从小到大)、断面最大沉降观测值(从大到小)、断面最小沉降观测值(从小到大),用户可以根据需要选择合适的查询方式,查看关心的断面属性信息和观测数据。

(4) 观测数据的编辑、显示与导出

当用户打开指定的数据(如某一断面)时,系统自动显示出该断面的所有沉降点的信息,如沉降量、施工状态、填土高度等,并以表格的形式列出。用户可以在表格中对数据进行修改、增加、删除、插入等操作,即可以完成数据库的同步更新。

本系统中采用了数据表格、曲线图形两种方式显示数据。当用户选择要查看的某个断面或沉降点时,软件将自动从数据库中读取相应的数据信息,并自动绘制出该沉降点的沉降过程曲线、沉降速率曲线等,直观地给出沉降变形的发展过程,如图 3 所示。

本软件系统完全实现和 Exce 进行数据交互。用户可以实现 Exce 文件的数据读取和 Exce 文件的保存。此外,对于一些格式不同的数据,可以直接将 Ex

ce 表格数据剪切、复制、粘贴,使本系统和 Exce 软件完美交互。

为了方便用户生成合适的报告,减少用户的工作量,可以将表格数据和曲线图片数据导出到 Word 文件中,且可以将系统生成的一些曲线以图片方式保存,方便用户的查看和将来的使用。

数据库数据的更新主要是指用户修改了观测点以及该观测点的观测记录时,可以将修改后的数据重新写入数据库中,实现更新数据库的目的。

3.2 沉降分析与预测

(1) 沉降分析

利用沉降分析模块进行沉降点沉降过程分析、沉降点沉降速率分析、断面平均沉降分析、断面差异沉降分析、断面平均沉降速率分析,及时了解沉降变形的发展态势,并以图形曲线的形式直观地反映给管理者。如图 4 图 5 所示。

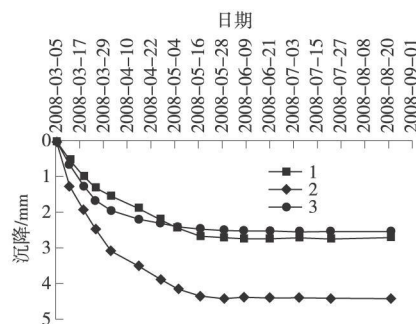


图 4 断面沉降过程组合线(3个路面观测桩)

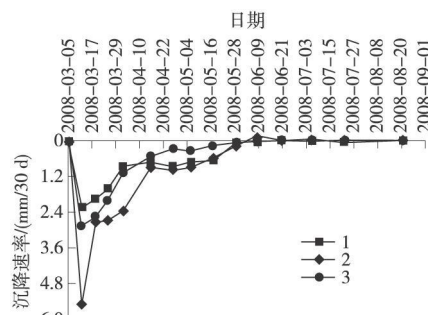


图 5 断面沉降速率组合线(3个路面观测桩)

(2) 沉降预测

系统内嵌了 5 种工程上较为成熟并广泛采用的沉降预测方法,包括双曲线法、拓展双曲线法、指数曲线法、三点法、Asacka 法。容许用户同时采用多种方法对侧点观测数据进行预测,如图 6 所示,图形显示窗口同时给出了沉降过程线和多种预测方法的回归拟合曲线,列表框同时给出了各种预测方法计算的最终沉降量、结构层引起沉降量、运营结束时沉降量、工后沉降量以及回归曲线的相关系数,用户可以很直观地进行比较分析,选择与实际观测沉降变形趋势最吻合的预测曲线为最优结果保存到数据库,同时可以单独将该

测点预测成果、图表输出成 Word 文档。

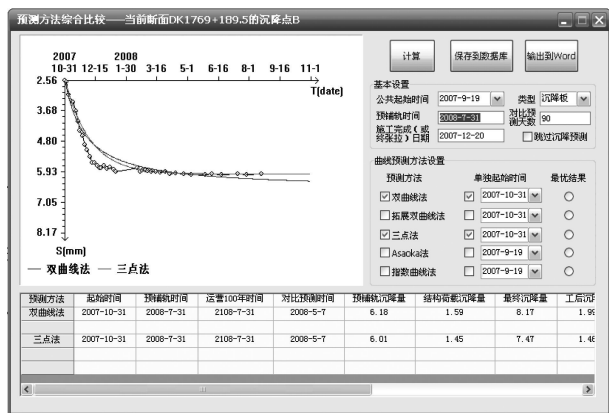


图 6 沉降预测综合比较窗口

3.3 区段纵向沉降差与工后沉降分析

根据观测断面沉降变形预测结果, 进行区段纵向差异沉降分析, 用户通过选择起始断面和结束断面的桩号, 确定需要分析的区段范围, 系统根据用户输入的时间点进行沉降预测, 并在图形窗口中显示分析区段内纵向沉降变形曲线。系统容许用户根据需要输入任意时间点, 如预铺轨时间、运营 1 年的时间, 通过不同铺轨时间点预测结果的对比分析, 确定合理的铺轨时间。系统给出分析区段内各观测断面最终沉降量沿纵向的分布形态; 对于每个特征时间点纵向沉降变形曲线, 系统以表格形式列出分析区段内相邻观测断面的沉降差和折角, 以进行区段差异沉降分析。

根据观测断面沉降变形预测结果, 进行区段工后沉降分析, 系统根据用户输入的预铺轨时间和运营完成的时间, 绘制相应时间点的区段沉降变形预测曲线。系统根据运营完成后的预测沉降与预铺轨时间点预测沉降的差值, 并考虑轨道结构自重引起的沉降, 计算工后沉降。工后沉降的计算结果与设计限值同时绘制于同一张图表中, 以便分析比较。对于工后沉降超过设计限值的断面, 系统自动形成记录, 并反映在最终报表中。系统根据工后沉降计算结果绘制区段工后沉降沿线路纵向分布图。

3.4 分析预测结果检查

当用户对区段内某测点的分析预测结果有疑问时, 可以利用“预测结果查询”功能对预测分析计算数据进行检查, 如图 7 所示。用户选择需要查询的断面桩号及测点位置后, 图形显示窗口同时给出沉降—荷载—时间曲线、沉降预测曲线、各时间点沉降量、回归相关系数等预测计算的全部信息。用户可以利用该功能系统检查区段内所有测点的分析结果。

3.5 数据报表和评估报告自动生成

评估区段所有测点分析、预测和检查完成后, 用户可以利用数据库 Word 报表自动生成功能, 按统一的

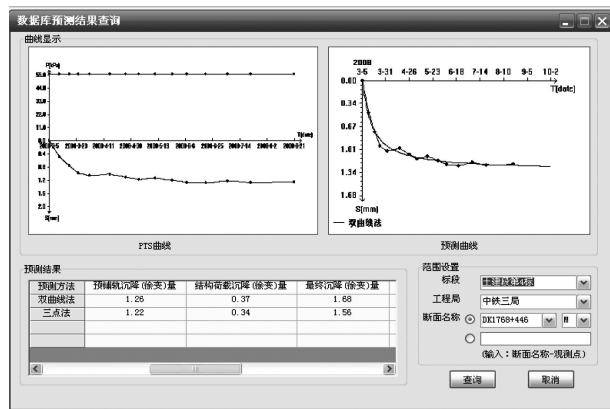


图 7 预测结果查询与检查窗口

格式自动生成数据报表和分析图形, 可以根据用户需求生成以下几种类型的报表。

(1) 工后沉降分析图表

一次性生成的用户所选区段内所有断面的工后沉降分析图表, 包含了沉降分析预测计算的过程数据, 是评估报告的重要组成部分。

(2) 沉降分析结果统计表

汇总列出了评估区段内各工点的分析预测结果, 明确的给出了评估指南要求的各项评估指标的计算值, 有效提高了评估工作效率。具体包括路基涵洞沉降分析结果统计表、桥梁墩台沉降分析结果统计表、隧道沉降分析结果统计表、徐变沉降分析结果统计表。

(3) 过渡段沉降分析结果统计表

汇总列出了评估区段内过渡段的差异沉降、折角的分析结果, 具体包括涵洞过渡段汇总统计表、桥梁过渡段汇总统计表、隧道过渡段汇总统计表。

(4) 工后沉降沿线路纵断面分布图

软件系统提供了工后沉降沿线路纵断面分布图的绘制功能, 并实现了与设计图纸的拼接。拼接后以图形显示方式给出了评估区段的地质条件、地基加固方式、填挖情况、工后沉降、沉降差和评估状态等关键信息, 为区段综合评估分析提供了直观的分析成果, 如图 8 所示。

建设单位和工程管理部门可利用该系统对全线评估进度和工后沉降进行监控, 为管理中心快速查询各工点沉降观测评估结果, 实时掌握可能存在工程安全问题的路段, 及时制定工程处置对策提供快速、高效的决策平台。

4 系统软件的稳定性和适应性

集成系统中嵌入了 5 种沉降预测方法, 为了保证软件预测分析的可靠性, 需要对软件系统误差进行检验。采用 5 种预测方法的标准函数构造出对应的 5 组沉降—时间数据, 通过比较软件预测沉降值与标准函数

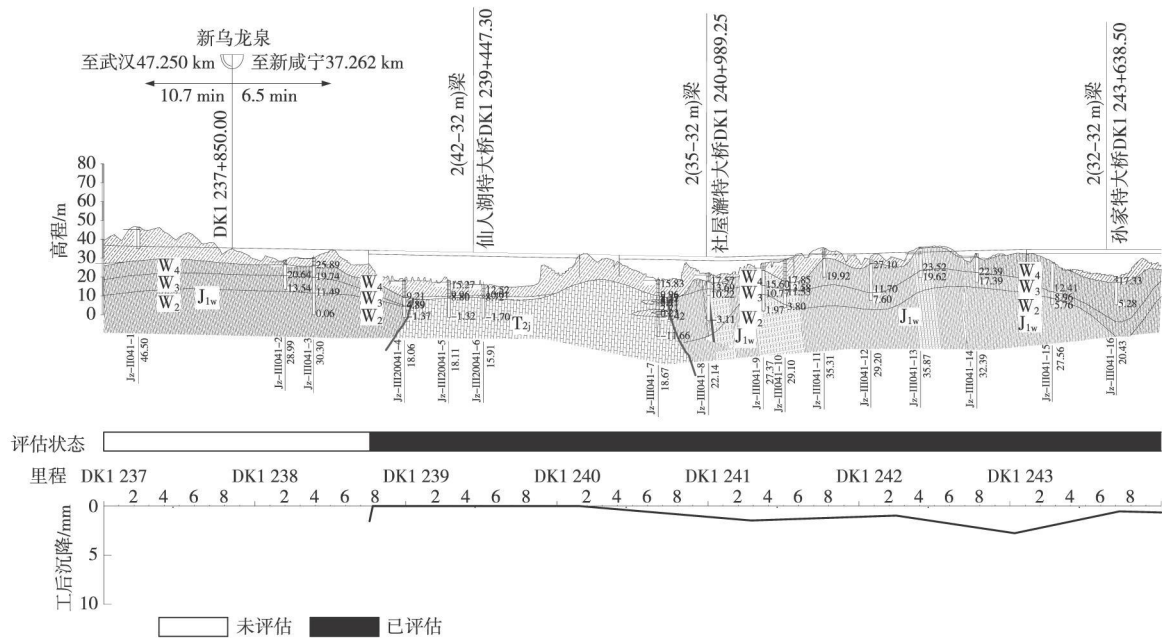


图 8 客运专线沉降变形评估进度与工后沉降监控

计算值, 实际检验软件的系统误差。表 1 为 5 种预测方法测试的结果。

表 1 系统误差统计 (30年后)

	绝对误差 /mm	相对误差 /%
双曲线法	0.01	0.22
拓展双曲线法	0.00	0.00
指数曲线法	0.02	0.20
A_{soaka} 法	0.02	0.34
三点法	0.01	0.18

综合以上分析结果, 拓展双曲线法的系统误差较小, A_{soaka} 法的系统误差相对较大, 5 种预测方法的系统绝对误差范围为 0.01 ~ 0.03 mm, 相对误差范围为 0.1% ~ 0.5%。从表 1 可以看出, 系统误差比铁路客运专线要求的测量误差小一个数量级, 满足精度要求。

目前, 该软件系统已成功应用于武广铁路客运专线的沉降变形评估工作, 近 1 000 km 的实测数据的检验表明:

(1) 95% 以上的观测断面, 采用本软件系统均能进行预测分析, 尤其对于数据相对波动较大的断面, 总可以找到一种有效的方法进行预测分析。部分不能进行预测分析的断面, 主要是由于观测数据出现明显异常或观测期太短造成的。

(2) 采用本软件进行曲线回归分析的相关系数, 能真实地反映回归曲线与原始沉降观测过程线的拟合程度, 不同预测方法给出的相关系数存在一定的差异, 整体比较而言, 三点法和 A_{soaka} 法的相关系数较高, 拟合效果较好。

(3) 软件预测值与观测值整体上较接近, 采用不同预测方法得到的预测沉降量存在一定的差异。整体

比较而言, 三点法的预测误差较小, 预测效果较好; A_{soaka} 法预测误差不稳定, 部分断面的预测结果严重失真; 拓展双曲线法的数据适用性较强, 其预测误差比三点法要大。

(4) 软件给出的最大沉降量和工后沉降量计算结果, 符合沉降变形的整体趋势, 准确地反映了沉降变形的最终状态。

综合而言, 本软件系统对铁路客运专线沉降变形实测数据的分析处理过程稳定, 计算有效, 具有较好的适用性、准确性和稳定性。

5 结论

针对铁路客运专线沉降变形分析评估的技术要求, 开发建立的“铁路客运专线沉降观测数据管理与分析预测集成系统”具备了沉降观测数据管理、沉降分析预测、区段沉降评估、数据报表自动生成和全线监控管理等综合功能, 在设定的权限范围内, 沉降观测单位可对观测数据及其工程属性信息的快速录入、查询、编辑、统计和校验; 评估单位可进行沉降过程分析、沉降速率分析、多种预测方法的对比分析、预测总沉降与设计总沉降的比较分析、沉降变形发展趋势的逐步拟合分析、区段纵向沉降差与工后沉降分析, 并自动生成数据报表和分析图形; 建设单位可对全线分析评估结果进行检视、统计、分析和监控管理。

系统稳定性检测和武广铁路客运专线近 1 000 km 的实测数据的检验结果表明, 本软件系统具有很好的针对性和适用性, 为铁路客运专线无砟轨道铺设条件的评估提供了一套实用、有效和可靠的分析工具, 同时很好地保证了各部门的协调工作, 为客运专线沉降评

客运专线无砟轨道道岔精调系统的研究与应用

全顺喜, 王 平, 伍 曾

(西南交通大学土木工程学院, 成都 610031)

摘要: 客运专线无砟轨道道岔几何形位的精调是保证道岔高平顺性的关键。结合我国客运专线道岔铺设、维修的经验, 在系统分析道岔各几何形位的基础上开发了客运专线无砟轨道道岔精调系统。应用该系统在武广铁路客运专线韶关西站指导了德国 BWG18 号无砟道岔在浇筑混凝土后的精调工作。实践表明, 本系统能快速给出一个比较合理的调整方案, 且操作简单方便, 大大提高了现场的施工效率。

关键词: 客运专线; 无砟轨道道岔; 几何形位; 精调系统

中图分类号: U238 U213.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1004-2954(2010)02-0036-03

随着我国客运专线的大规模建设, 无砟轨道已成为轨道结构的发展趋势。在无砟轨道的施工过程中为保证无砟轨道的施工质量和精度, 需要采用先进的测量手段对轨道的位置和高程等几何形位进行精确测量和调整^[1-3]。对于无砟轨道道岔, 在道床板混凝土施工以后及其运营维护的精调过程中, 一方面由于可调整的范围极其微小; 另一方面由于道岔结构本身的复杂性, 其几何形位在纵向和横向相互影响, 调整一个位置的几何形位, 将引起邻近部分的几何形位发生变化, 这使得在道床板混凝土施工以后及其运营维护过程中无砟轨道道岔的精调相对于普通线路来说要复杂得多, 若只通过工程技术人员凭借自身的经验给出调整值, 不但效率低, 而且不能保证整个道岔系统的几何形位快速达到相关技术标准的要求。因此, 有必要开发客运专线无砟轨道道岔几何形位精调系统, 科学、快速的计算出各钢轨在对应轨枕处的调整值, 为无砟轨道道岔在道床板混凝土施工以后及其运营维护过程的精调提供帮助。

收稿日期: 2009-09-18
基金项目: 西南交通大学创新团队培养计划资助项目(2007 IR106); 铁道部科技研究开发计划项目(2009G002-C)
作者简介: 全顺喜(1984-)男, 博士研究生。

估工作的信息化管理、科学决策提供了平台。

参考文献:

[1] 王浩, 吴振君, 汤华, 等. 地下厂房监测信息管理、预测系统的设计与应用[J]. 岩土力学, 2006

[2] 夏元友, 刘鹏, 莫介臻. 高速公路软基沉降预测系统及其应用研究[J]. 公路, 2008(8): 275-279.

[3] 李元海, 朱合华. 岩土工程施工监测信息系统初探[J]. 岩土力学, 2002 23(1): 103-106

1 关键技术分析

1.1 调整后道岔几何形位的模拟

为判断调整方案是否合理, 需要对调整后道岔的几何形位进行模拟。鉴于国内外无砟道岔铺设和维修的经验, 系统在岔区所考虑的几何形位如表 1 所示^[3]。其中轨道的平面偏差、高程偏差、轨距、水平、轨距变化和扭曲调整后模拟值的计算比较简单, 在此不再详述, 而重点介绍轨向和高低调整后模拟值的计算。

表 1 岔区轨道所考虑的几何形位

外部几何形位	平面偏差(横向偏差)
	高程偏差
内部几何形位	轨距
	水平
	轨距变化
	扭曲
	轨向(平曲线)
高低(竖曲线)	30 m 弦长相隔为 5 m 的正矢差(两个点实际正矢和设计值的差值)

假定轨枕间距为 0.625 m, 则间隔为 5 m 的检测点刚好是轨枕间距的 8 倍, 轨向和高低的检测如图 1 所示。图中以 c₁ 到 c₉ 表示轨枕编号, 则 c₅ 与 c₉ 间的轨向和高低的检测按式(1)计算。

$$\Delta h_5 = |h_{25}^{\text{设计}} - h_{33}^{\text{设计}}| - |h_{25}^{\text{实测}} - h_{33}^{\text{实测}}| \leq 2 \text{ mm} \quad (1)$$

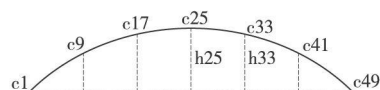


图 1 30 m 弦轨道平顺性检测示意

从式(1)可以看出, 30 m 弦长相隔 5 m 的正矢差的实质是 30 m 弦长相隔为 5 m 的测点的矢距偏差的差值。根据轨检小车的实测数据和调整值容易得出每

[4] 石杏喜, 岳建平. GPS 变形监测信息管理系统的研制及其应用[J]. 黑龙江工程学院学报, 2002 16(3): 42-44.

[5] 孙钧. 城市地下工程施工安全的智能控制预测与控制及其三维仿真模拟系统研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999 18(9): 753-762

[6] 顾时冲, 吴中如. 大坝安全监测专家系统的理论及其应用[J]. 水利水电科技进展, 1997 17(3): 35-40

[7] 铁建设[2006] 158 客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南[9].