

文章编号:1671-8879(2012)06-0011-05

# 公路超限运输沥青路面结构验算系统

张碧琴<sup>1</sup>,马亚坤<sup>1</sup>,王 莉<sup>2</sup>,毛治国<sup>1</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 中国市政工程华北设计研究院, 天津 300074)

**摘 要:** 为更深入了解超限作用下沥青路面结构的受力及破坏情况,并指导管理部门对相应路段采取合理的养护措施,根据路面结构的力学原理,以现行沥青路面设计规范为基础,分析并获得了车辆超限作用下沥青路面轴载换算公式。将该公式应用于超限作用下沥青路面验算系统,并将该验算系统与 GIS 相结合。研究表明:通过对系统数据和功能的需求分析对系统进行总体设计,即进行 GIS 相关软件的二次开发,得到基于 GIS 的公路超限运输沥青路面结构验算系统,以实现路网超限统计数据及路面验算结果的可视化,超限作用下路面结构验算过程的简便、直观化。

**关键词:** 道路工程;GIS;超限运输;路面结构验算;轴载换算

**中图分类号:** U416.217

**文献标志码:** A

## Checking system asphalt pavement structure under overloading

ZHANG Bi-qin<sup>1</sup>, MA Ya-kun<sup>1</sup>, WANG Li<sup>2</sup>, MAO Zhi-guo<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. North China Municipal

Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300074, China)

**Abstract:** To have a better understanding of stress and damage of asphalt pavement structure under overloading, as well as guide management departments to take correspondent maintenance measures, a new axial exchange formula for asphalt pavement structure under overloading was proposed by analyzing the related data based on the Specification for Design of Highway Asphalt Pavement and the principle of pavement structure mechanics. The formula was applied in the overloading checking system of asphalt pavement structure, and the checking system was combined with GIS. The results show that the system can be designed by requirements analysis of data and function of the system, that is, to further develop GIS related software, so as to obtain the Asphalt Pavement Structure under Overloading Checking System. This will make the checking system simple, convenient and direct, and the checking result visual. 3 figs, 11 refs.

**Key words:** road engineering; GIS; overloading transportation; checking of asphalt pavement structure; axial exchange

## 0 引言

加拿大的 Albert 省建立了公路维护地理信息系统,为该省公路养护提供了很好的决策依据。1992 年 7 月,美国联邦公路局开发了国家公路系统资料库,为美国国家公路局和各州运输部门实现大规模自动化管理奠定基础。2005 年中国建立了基于 C/S 的部级《中国国家公路地理信息系统》,为交通部提供了一个可视化的 GIS 公路管理平台,实现了地图显示、路网监控等功能。2005 年 12 月《陕西省公路路况信息服务系统》将 GIS 技术和管理信息系统 MIS(Management Information System)技术紧密结合,将项目繁多的公路专业信息与直观的空间位置相关联。中国在“七五”开发了一系列省市级或地区级路面养护管理系统<sup>[1]</sup>。其中,实现较好的是河北省高速公路管理系统,但该系统未将数据库组建于 GIS 的平台,并且没有提供查询等功能。

由东南大学交通学院王凯教授与毛世怀副教授编制的《公路路面设计程序系统》以传统数据库的方式实现了路面结构设计的程序化计算,但该系统的路面结构设计资料及参数是以手工输入的方式导入程序,不利于批量计算。且此类路面结构验算系统大多直接采取规范公式计算,没有考虑超限、超载现象对路面结构承载力验算的影响。

目前,大量超过设计轴载标准的车辆在高速公路上行驶,使得中国公路路面早期破坏严重。如何及时发现超限作用下对路面结构的影响,最合理、有效地使用有限的养护和改建资金,及时对路面进行维修保养和专项修复,减少大修工程的频率,从而提供较高的路面服务水平是一个值得探寻的问题。本文针对这一问题,对中国沥青路面进行结构验算分析时考虑超限作用的影响,并借鉴国内外路面结构管理系统设计,开发出可视性好、便于查询和管理,同时满足中国公路养护维修管理需求的系统。

## 1 超限作用下轴载换算方法

中国公路沥青路面设计规范以单轴 100 kN 为标准轴载,单轴轴载小于等于 130 kN 或双轴轴载小于等于 220 kN 的车辆轴载可换算为标准轴载,以设计年限内的累积标准轴次进行路面结构设计<sup>[2]</sup>。研究表明,随着荷载的增加,沥青路面呈现出明显线性性质。图 1 和图 2 是分别采用线性和非线性分析方法计算得到的沥青路面弯沉、弯拉应力曲线。由图 1 和图 2 可以看出,随着轴重的增加,两者偏离增大,亦即考虑非线性因素路面的破坏大于按照线弹性理论计算的结果,此界限可以轴重  $P$  为

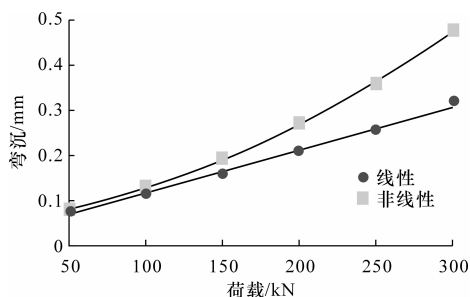


图 1 荷载-弯沉曲线

Fig. 1 Load-deflection curves

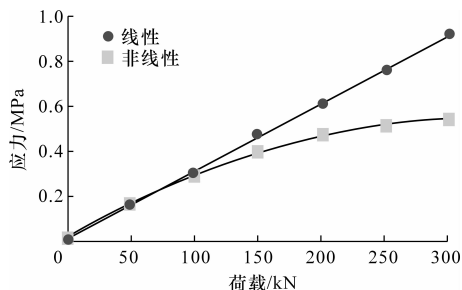


图 2 荷载-应力曲线

Fig. 2 Load-stress curves

130 kN 为界<sup>[3]</sup>。

中国现行公路沥青路面设计规范中给出轴载换算公式(1),在弯沉等效时  $n=4.35$ ,验算半刚性基层层底拉应力时  $n=8.0$ 。但这仅适用于单轴轴载小于等于 130 kN、双轴轴载小于等于 220 kN 的交通条件。在重载情况下,随轴重的增加, $n$  的取值将远大于规范规定的数值。

$$\frac{N_1}{N_2} = \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^n \quad (1)$$

式中: $P_1$  为标准轴重; $P_2$  为被换算车型轴重; $N_1$  为标准轴载作用次数; $N_2$  为被换算车型的轴载作用次数; $n$  为系数。

通过大量的理论计算和弯沉实测,得出在超载条件下,弯沉等效原则换算公式中的  $n$  取值范围为 5.0~6.3,经计算,超载时  $n=5.5$ 。

经过计算在超载作用下按基层层底拉应力等效原则,求得  $n$  值为 8.8~9.0,当轴载大于 130 kN 时,以基层拉应力等效时  $n=9.0$ <sup>[4]</sup>。

由上述轴载换算方法研究,可得超载作用下沥青路面轴载换算公式为

弯沉等效

$$N = \sum_{i=1}^m C_1 C_2 n_i \left[ \frac{P_i}{P} \right]^{4.35} + \sum_{j=1}^k C_1 C_2 n_j \left[ \frac{P_j}{P} \right]^{5.5} \quad (2)$$

弯拉等效

$$N' = \sum_{i=1}^m C'_1 C'_2 n_i \left[ \frac{P_i}{P} \right]^{8.0} + \sum_{j=1}^k C'_1 C'_2 n_j \left[ \frac{P_j}{P} \right]^{9.0} \quad (3)$$

式中: $P$  为标准轴载; $N$ 、 $N'$  分别为弯沉等效和弯拉等效标准轴载累计当量轴次; $P_i$  为被换算车型的各级轴载( $P_i < 130$  kN); $P_j$  为被换算车型的各级轴载( $P_j \geq 130$  kN); $C_1$ 、 $C'_1$  为弯沉等效被换算车型的轴载系数; $C_2$ 、 $C'_2$  为弯拉等效被换算车型的轴载系数; $n_i$  为被换算车型的各级轴载作用次数( $P_i < 130$  kN); $n_j$  为被换算车型的各级轴载作用次数( $P_j \geq 130$  kN)。

## 2 GIS 与公路超限运输的沥青路面结构验算系统的结合

### 2.1 公路超限运输沥青路面结构验算系统的组成

本系统的计算思路是:依托干线公路超限检测站动态磅系统数据库,提取公路的车辆交通流量及轴载数据,按照前面介绍的标准轴载换算方法得到标准轴载累计当量轴次,路面结构组成及结构参数依照原设计资料提供的数据,参照设计规范方法进行路面结构验算分析。主要验算现有道路的计算弯沉值是否满足容许弯沉值要求;半刚性基层材料的层底计算拉应力是否满足容许弯拉应力。

本系统将以有组织的方式把与沥青路面结构验算有关的各个参数组合在一起,从采集处理和计算数据,到鉴别目前和今后的养护维修需要,系统是在各方面活动之间建立起联系和协调关系,以帮助管理部门及时了解现有路面结构状况,辅助决策,改善决策效果。

该系统从功能上划分,有数据采集系统、数据库管理系统、路面结构验算分析系统 3 个组成部分。数据采集系统依托动态磅系统数据库,采集道路交通数据,包括昼夜断面交通流量、交通轴载数据、货车超载情况等;收集道路设计和施工方面数据,如道路等级、几何参数、路面结构和厚度、所用材料及其性质试验结果等;建立信息数据库。数据库管理系统是路面结构验算分析系统的基础。路面结构验算分析系统是借助计算机技术进行道路结构验算、分析、养护预测和决策的计算机辅助决策系统。

### 2.2 GIS 在超限运输沥青路面结构验算系统中的功能

基于 GIS 的沥青路面结构验算系统使道路管理与道路地理信息相结合:依托 GIS 的图库和数据库,通过鼠标来实现对地理地图信息的查询,同时获得道路空间信息和属性信息,使管理更加直接、形

象;GIS 的空间分析和统计运算功能还能决策者提供全局和细节的分析结果,实现数据的可视化。

GIS 可帮助沥青路面结构验算系统实现地图管理功能、专题图管理功能、属性数据管理功能、数据查询功能、空间查询功能、空间关系分析功能、最佳路线选择功能。

基于 GIS 的沥青路面结构验算系统将已有动态磅数据库作为数据源,经过整理后直接用于系统中的计算。该系统对空间数据的管理采用基于拓扑数据模型的文件管理方式;对属性数据的管理仍采用关系型数据库。属性数据和空间数据之间通过一定的方式建立联系。

## 3 系统需求分析与总体设计

### 3.1 数据需求分析

数据需求分析是根据环境信息表达、展示、查询、分析和计算的特征,对所需的必备数据源进行分析的过程<sup>[5]</sup>。从整个沥青路面结构验算系统的计算以及相关因素处理的过程来看,所需要的数据可分为 5 类:①基础地理数据,对主要公路网布局图处理后,矢量化的地形数据;②路面信息数据,包括路面结构信息数据,即原道路设计资料,断面交通资料数据,超限检测站动态磅称重系统及计重收费系统数据;③规范标准数据,用于存储技术依据,不同类型的路面结构验算所需的不同标准及公式,系统将这些约束规范数据存储在 Access 表中,便于系统的利用及用户查询;④超限超载统计数据,主要包括治超检测站点、计重收费站点地理位置、超限超载车辆类型、轴重超载情况统计、超限运输车辆起讫点等调查资料;⑤验算及分析结果数据,这是路面结构验算系统的最终结果,是对超限运输下路面结构验算计算结果和分析的表格及图形展示。

### 3.2 功能需求分析

针对公路养护管理人员,在实际工作中期待实现快速决策和高效管理,需要系统为其提供整个公路网的快速直观显示、公路路面基本信息及交通量信息的即时维护与修改、公路基本信息显示及查询、公路超限超载信息统计分析、路面结构验算信息计算分析以及超限运输下路面结构养护维修预测等功能,以帮助他们做出科学的养护决策,尽最大可能地发挥现有养护资金的作用。基于 GIS 的路面结构验算系统拟实现的主要功能有:数据的管理和应用、

路面信息资料查询处理、路面结构验算指标自动生成<sup>[6-8]</sup>。

### 3.3 系统总体设计

设计的基本思路是:建立与主干线公路网紧密联系的沥青路面结构验算分析 GIS 系统<sup>[9]</sup>;快速验算公路在现有交通下路面结构的承载能力,确定路面养护维修管理业务的要求,以便能够高效了解路面结构破坏信息、对路网信息可视化、管理及查询的平台,实现管理科学化决策。系统从结构上的主线为:数据采集和储存、数据处理、数据库建立、数据查询和分析、图形及表格的成果输出等过程。

依据系统的功能需求分析,系统各个模块拟实现以下功能:属性数据管理模块、空间数据管理模块、数据模型计算模块、数据查询模块、专题图生成模块、图表生成模块、系统数据库设计<sup>[10]</sup>。

综合比较目前流行数据库,本文选用关系型数据库 Access 数据库作为后台数据库管理系统。它提供了包括表、查询等 7 种对象用来建立数据库系统;为了将数据存储、查询、设计、报表生成等操作规范化,数据库提供了多种向导、生成器及模板。

系统参照《公路数据库编目编码规则》将国道干线公路进行编码;采用集合的形式来设计属性数据库结构,包括专用代码表、路线、路面、计重收费站上报数据、公路交通量 5 个集合,在此基础上又细化形成子集,每个子集都对应着一个数据库表,来存储相关属性信息。系统相关联的有大量的属性数据库表,为保证这些数据的易用性和易维护性,这些数据表都采用相似的数据格式、结构数据,录入完毕并且检查无误后,把数据存储到 Microsoft Office Access2003 数据库中,形成属性数据库。

本系统是建立在 ArcInfo 9.3 平台上,采用先进的 Geodatabase 空间数据模型。它是集成在 ArcGIS 中的,提供对本地数据的访问,基于 Microsoft Access 数据库,在安装 ArcGIS 的时候就更新了 Microsoft Jet 数据引擎,从而可以很方便的创建和更新 Access 数据库。

系统中数据既包括空间数据也包含属性数据,由于系统需求分析中要求用户选择查询路段等图形对象时,能够将属性信息和空间信息同时显示,因而必须解决公路等对象的地理特征,即空间数据及其属性的存储、显示、查询之间的关系。通过在属性数据表和空间数据表中建立了一个相关联的标识识别

码(ID),根据识别码来判断空间数据和属性数据之间的关系。

## 4 系统中验算功能的实现

基于 GIS 系统的公路超限运输沥青路面结构验算系统,建立路面基础信息数据库,并在对动态磅称重系统的数据库进行处理后,直接利用现有轴载数据进行路面结构验算,为路面养护管理部门提供决策帮助。

系统的数据模型计算模块中,将各计算公式数学表述在 Microsoft Visual Studio 2005 的平台上用 Visual Basic. NET 模块表达出来,模块提供参数接口及返回值,以便进行数据导入与导出。本系统为充分利用已有资源,将 Access 数据库作为本系统的属性数据库,利用 VB. NET 语言调用数据库内容,将模型所需数据利用函数参数传入模块,经过数值计算后,将生成的数值利用函数返回值重新组建数据库。在用户执行验算计算模块时,验算结果数据库中的数据实时更新,并可以被系统其他模块进行调用,进行数据分析和展示。

本系统基于 ArcGIS 平台实现数据的分析和展示。在 ArcGIS9.3 的 Geodatabase 数据库里,根据路段 ID 将 Access 新表里路段对应的验算结果复制到专题图属性表里<sup>[11]</sup>。这样就获得了专题图中各路段路面结构验算结果的属性指标值,利用 GIS 的空间分析功能和数据处理功能,按用户需求生成各种专题图,实现数据的可视化。验算模块在程序中的实现如下页图 3 所示。

## 5 结 语

(1)从弯沉等效和弯拉等效两方面分析研究,获得考虑超载运输的沥青路面轴载换算公式,并将其应用于路面结构运算系统。

(2)对数据提取采用自动与手工编辑结合,支持同时对多条道路进行结构验算,提高了计算效率;对计算结果支持表格及专题图 2 种输出方式,实现了数据的可视化。

(3)超限运输沥青路面结构验算系统利用 GIS 平台及面向对象的数据库管理软件,结合有关公路沥青路面及交通基本信息、车辆超限登记信息、动态磅数据库等资源,快速验算公路在现有交通荷载作用下路面结构的承载能力,为公路养护相关管理部

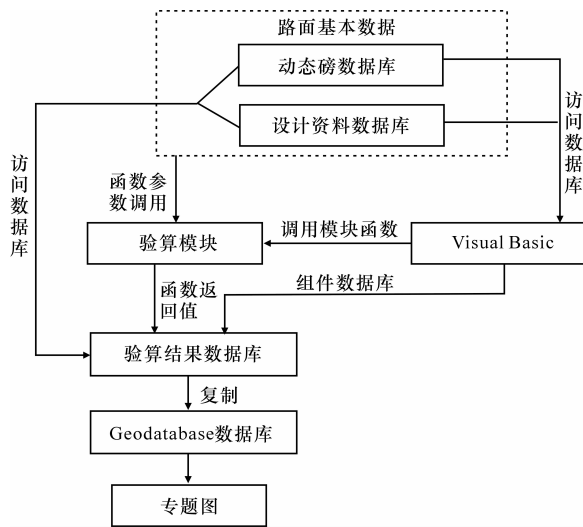


图 3 验算模块在程序中的实现

Fig. 3 Checking module in the program

门的管理人员提供了一个能够高效了解路面结构破坏信息、对路网信息可视化、管理及查询的平台。

参考文献:

References:

[1] 赵丽君. 基于 GIS 路面管理系统决策优化的研究[D]. 成都:西南交通大学,2008.  
ZHAO Li-jun. Study on decision optimization of pavement management system based on GIS[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008. (in Chinese)

[2] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].  
JTG D50-2006, Specifications for design of highway asphalt pavement[S]. (in Chinese)

[3] 王选仓,谭 权,王新歧,等. 重载沥青路面研究[J]. 西安公路交通大学学报,1998,18(4):7-10.  
WANG Xuan-cang, TAN Quan, WANG Xin-qi, et al. Research on bituminous pavement of running overload vehicles[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998, 18(4): 7-10. (in Chinese)

[4] 陈浙江,王玲娟. 超载下的沥青路面轴载换算[J]. 中外公路,2007,27(2):189-192.  
CHEN Zhe-jiang, WANG Ling-juan. Axial exchange formula for asphalt pavement structure under overloading

transportation[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2007, 27(2): 189-192. (in Chinese)

[5] 李 晔,姚祖康. 基于地理信息系统的公路设施空间数据库概念模型[J]. 中国公路学报, 2000, 13(3): 9-11.  
LI Ye, YAO Zu-kang. GIS-based highway facilities spatial database conceptual model[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(3): 9-11. (in Chinese)

[6] 崔纪鹏. 基于 GIS 的路面管理系统[D]. 大连:大连理工大学,2006.  
CUI Ji-peng. The pavement management system based on GIS[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006. (in Chinese)

[7] 李 林. 重载沥青路面设计方法初研[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(8): 18-20.  
LI Lin. Design methods of asphalt pavement with heavy load [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, 22(8): 18-20. (in Chinese)

[8] 原 驰,王朝辉. 沥青路面复合基层的合理结构研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(4): 50-53.  
YUAN Chi, WANG Chao-hui. Research on reasonable structure of composite base of asphalt pavement [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(4): 50-53. (in Chinese)

[9] 王 莉. 基于 GIS 的陕西省公路超限运输路面结构验算系统[D]. 西安:长安大学,2011.  
WANG Li. Design of highway pavement structure under overloading transportation checked system in Shaanxi province base on GIS[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)

[10] 蒋波涛. ArcObjects 开发基础与技巧: 基于 VisalBasic. NET[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006.  
JIANG Bo-tao. The ArcObjects development of foundation skills; based VisalBasic. NET [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006. (in Chinese)

[11] Hosin L. GIS-based highway design review system to improve constructability of design[J]. Journal of Advanced Transportation, 1995, 29(3): 375-388.