

Design and Research of Expressway Pavement Management System based on GIS

Zewu Song

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074

Abstract: With the rapid development of expressway, the maintenance and management of expressway is in a critical period. In order to make the road surface from qualitative analysis to quantitative analysis, we must make use of computer technology to make up for the deficiency of the grass-roots management system. Therefore, the application of geographic information system (GIS) in the highway management system (FMS) is put forward through a series of studies, and the actual requirement of the highway maintenance management system is analyzed. Then the framework and flow chart of the highway maintenance system based on component GIS are designed. The system is composed of spatial database and attribute database, and is connected by dynamic segmentation. The research shows that the system can evaluate and predict the condition of the road through the model, and make full use of the advantages of computer and GIS technology to realize the modernization of highway management.

Keywords: Expressway; Pavement management system; GIS

基于 GIS 的高速公路路面管理系统的设计研究

宋泽武

重庆交通大学, 重庆, 400074

摘要: 随着高速公路的快速发展, 高速公路的养护管理工作正处于一个关键时期。要想把公路路面从定性分析到定量分析, 就必须利用计算机技术来弥补基层管理体制的不足。因此, 通过一系列研究提出了地理信息系统 (GIS) 在高速公路管理系统 (FMS) 中的应用方案, 分析了高速公路养护管理系统的实际需求, 然后设计了基于组件式 GIS 的公路养护系统的框架和流程图。该系统由空间数据库和属性数据库组成, 通过动态分割连接。研究表明, 该系统可以通过模型对路面状况进行评价和预测, 并充分利用计算机和 GIS 技术的优势, 实现高速公路管理现代化。

关键词: 高速公路; 路面管理系统; GIS

1 引言

道路基础设施是决定道路运输生产率的关键因素, 而有效的路面管理能保证运输能力。路面管理系统起源于美国和加拿大。1966 年, 国家合作公路研究计划 (NCHRP) 首次提出了道路设计系统的概念。现有的路面管理系统是加拿大安大略的 OPAC 系统[1]。路面管理系统已应用于许多国家。作为一种科学的管理系统和决策工具, 它改变了传统的决策方法, 可以起到有效的作用, 做出科学、系统的管理决策。

由于道路具有线性结构和独特的地理特征, 只有传统形式的文本数据是不够表达的。我们需要利用先进的计算机技术来改善道路管理, 实现信息技术的现代化和可视化[2]。科学、准确、及时的养护可以保

持公路的良好状况, 最大限度地提高城市基础设施的经济效益和社会效益。这就需要大量的维护信息、科学的分析和完善的管理, 这就使得合理的维修计划成为可能。并且, 以地理信息系统为核心, 随着 RS、GPS、稳健数据库、无线网络和虚拟仿真技术的发展, 可以实现公路养护信息管理数据网络的数字化和可视化。

近些年来[3], 随着高速公路建设的快速发展, 建设规范高效的高速公路信息管理系统已是当务之急。传统的路面管理系统 (PMS) 将数据存储于数据库中, 并使用数据表和文本模式呈现它们, 因此用户必须面对大量复杂的和枯燥的数据。GIS 作为一种重要的工具, 除了直接反映高速公路的情况外, 还可以检索相关信息, 利用图形制作优美的专题图, GIS 还

可以为日常管理业务中的辅助决策提供依据。因此，应用 GIS 来加强和提高管理效率已成为 FMS 的发展趋势。

2 路面管理系统 (PMS)

目前，路面管理系统 (PMS) 还没有统一的定义。李智和史炉根[4]较倾向于国家交通部公路科技研究所潘玉利博士[5]的观点：为了准确地了解公路网的破损状况，把有限的养护资金分配到最需要养护的路段上，研究人员开发了路面破损数据检测设备，建立了数据库，制定了评价方法、标准和优先养护排序模型。这种以计算机为工具的路面管理技术，被称为路面管理系统。比较有代表性的系统有加拿大安大略省的 OPAC 系统。系统体系和管理内容可以分成档案管理系统、专家系统、智能型决策支持系统。路面管理系统，从功能上划分，一般可分为：数据采集系统、数据库管理系统、网络管理系统、项目级管理系统。路面养护管理系统 (PMMS)，是 PMS 的一个子系统。

我国路面管理系统[6]开始于 1984 年。1985 年，英国沥青路面管理系统被移植到我国。随后，一些公路管理部门和科研单位联合进行研究，开发路面管理系统，各级路面管理系统建立起来了。科研人员根据我国公路实际状况，并参考国外管理模型和方法，开发了一些符合我国国情的管理模型。如，同济大学刘可博士的水泥路面使用性能评价体系、养护对策模型和费用模型。目前，我国各地的高速公路养护管理模式各有不同。

3 地理信息系统 (GIS)

地理信息系统 (GIS) 是一种特定的空间信息系统并依赖于计算机软硬件，它基于地理空间数据库，通过收集，存储，管理，分析和描述全部或部分地球表面和地理分布数据，它可以为地理服务提供决策和地理信息分析。随着地理信息系统 (GIS) 的发展，我们利用地理信息系统进行公路信息管理。因此，有必要对传统养护方式进行变革，使公路养护信息可视化、公路养护决策科学化和公路养护管理现代化。

3.1 GIS 的集成

有利于数据的集成，包括遇险、AADT 和其他；根据先前的路面状况，协助确定优先次序并在即将到来的调查季节中安排待测项目；根据完成调查的百分

比，协助监督各区办事处的实地调查进展；协助识别具有特殊路面条件的项目，需要重新确认 (CG)。评级大幅下降；协助将项目从不同级别的管辖范围划分出来，然后将它们聚集到一定的管辖范围内，以提供必要的信息来评估绩效和资金分配；使决策者能够有效地对高速公路路面状况进行可视化和量化，以支持路面维护优先级划分，路面性能监控以及平衡不同辖区边界的资金分配等工程和管理决策过程。

3.2 GIS 的其他用途和建议

扩展 GIS 功能，可视化分析日常公路主干活动，这将有助于日常公路养护计划和调度；利用 GIS 函数研究特定困境和偶然因素之间的空间相关性。例如，GIS 功能可以将负载开裂与温度、土壤类型、交通状况、使用的骨料或特定选择的特征相关，如果遇险主要发生在特定位置上；将 GIS 功能与退化模型联系起来，以可视化地预测预测的路面状况；将 GIS 功能与优化模块联系起来，以增强可视化和分析最优维护和修复策略的能力；结合 GIS 进行多年公路路面需求分析。

4 系统框架设计

公路养护管理系统，首先，应该是一个 GIS 系统；应该是一个决策支持系统；也应该是一个网络办公自动化系统的功能。

组件 GIS (COMGIS) 是指 GIS 系统中面向对象的编程技术和软件组件的使用，它可以直接嵌入到 MIS 开发工具中，降低开发成本，缩短开发时间。COMGIS 的基本思想是，GIS 模块的主要功能分为几个组件，每个组件完成不同的功能。在 GIS 的各个组件之间，以及组件和其他非 GIS 组件之间，通过可视化软件开发工具进行集成。本文基于 COMGIS 公路路面管理系统作为一个整体设计，对其实现的一些模块的应用进行了探索和研究。模块设计的系统结构和功能如图 1 所示。

其中公路养护信息管理系统必须满足路面管理系统总体结构的要求。通过对静态数据 (包括线性、宽度、路面材料等) 和动态数据 (包括裂缝、车辙病害情况和现场测试值，如粗糙度、挠度、SFC 等) 的采集系统各模块信息的分析和决策。N 是通过评价和预测模块制作的。分配了维修资金，并在项目完成的时间框架内实施了最佳维修政策。

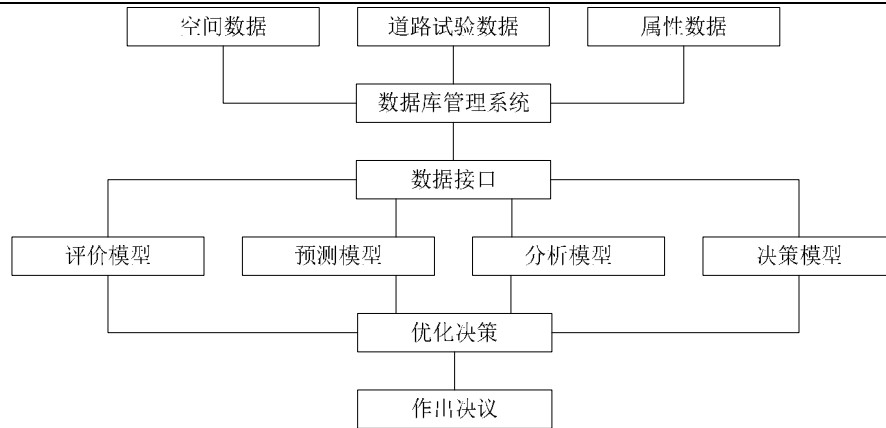


Figure 1. Framework of highway pavement management system
图 1. 公路路面管理系统框架

5 数据库设计

基于 GIS 的 FMS 数据库主要由空间数据库、属性数据库和系统模型库组成。下面给出了每一个的简要描述。

空间数据库主要包括基础地理数据层、路由数据层和维护地理数据层等。

高速公路属性数据库包括：

高速公路基础数据库。它主要存储高速公路的属性数据，如路线、路面结构、交通量和辅助设施等。
高速公路服务绩效数据库。它主要存储路面在 FMS 中的功能性能数据，包括挠度、遇险、平整度、抗滑性等。
桥梁（隧道）管理数据库。它主要存储桥梁（隧道）的属性，如结构、病害等。
维护数据库。它主要保存属性数据库，如重要维修工程、开发组织、施工单位、监理单位、类型和技术等级等的投资成本。

系统模型库：主要包括路面功能性能评价模型、预测模型、维修成本模型和决策模型等。

5.1 数据结构

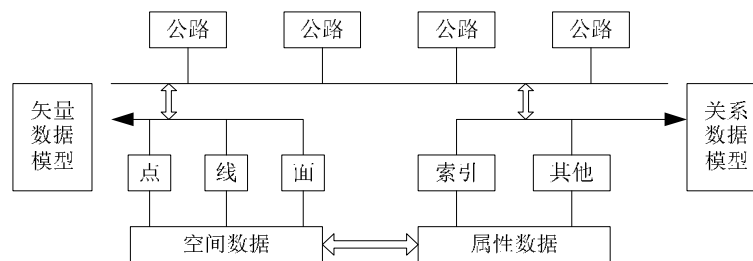


Figure 2. System data model
图 2. 系统数据模型

5.3 空间数据库层次

高速公路工程包含许多结构，如隧道、桥梁和互换设施。空间对象种类多，数量大。因此，在设计数据库时，必须考虑高速公路管理的要求，合理地将不同类型的空间对象组织到不同的层中，以便方便地应用管理系统。空间层数据具有点、线和面。一层仅保留相同类型的空间数据，因此，不仅物理类型是统一的，而且在使用层时，图形格式也被统一在同一层。

5.4 静态数据库

静态数据是指具有相对稳定性的存储数据。静态数据，预计在特殊情况下，保持不变或有很长的变化周期。主要的静态数据库包括：公路几何数据、路面结构数据、公路养护历史数据、交通和轴向荷载数据、桥梁和路基保护设施数据、安全工程设施数据、高速公路环境数据、线路名称、道路养护水平和维修部门数据。静态数据库是基础数据库，根据其评价模型和预测，选择公路条件模型。

5.5 动态数据库

动态数据库中的数据动态变化，并且必须根据变化的道路条件定期地包括更新的数据。这包括路面病害数据库和评价指标数据库等。

路面病害数据库：根据公路性能评价标准，应根据病害类型、破坏程度、测量单位和重量建立数据库。应以路面为基本单位记录损坏情况。评价指标数据库：在上述指标的基础上，根据 MQI、PQI、SCI、BCI、TCI 和 PCI、RQI、RDI、PSSI、SRI 等公路绩效评价指标，建立层次关系数据库。

由于动态数据库的不断更新，在建立过程中应考虑到各种因素，以保证其合理性。一方面，必须考虑移动 GIS 设备输入模块的形成与数据接口之间的连接问题。另一方面，数据的分析和多层次的管理必须是方便的。

5.6 分析决策模块

根据现有的路面状况，该模块应用于制定相应的养护政策，并预测路面性能的未来趋势。该模块将基于路面性能和当前状况的每一条道路。决策模块将有助于确定维修资金的需求。通过对试验数据的分析，为公路管理部门的决策和辅助管理提供依据。然后从经济技术角度对各种可行方案进行了比较分析，并提出了最佳的解决方案。

6 系统研究与开发的关键技术

6.1 Web GIS 和 GPS 无线终端设备相结合

随着 3G 技术的快速实施，使用 GPS 无线终端设备（如 GIS 采集器，带有 GPS 的智能手机，平板电脑等）访问无线互联网上的高速公路维护信息系统，将导致数据的快速更新和现场查询。3G 技术是高速公路维护系统的新应用。终端设备的开发和数据库的建立和组织必须做好，以便使 GIS 数据采集和导入方便和标准化。通过 ArcGIS Mobile SDK，实现了以下功能：

浏览空间数据；捕获并标记 GPS 位置；创建或更新点，线和平面；编辑表格数据；来自 GIS 服务器的自动数据更新。这个过程将通过以下步骤来实现：

在 ArcGIS Desktop 中设计和创建地图；通过 ArcGIS Server 发布地图；通过 ArcGIS Mobile SDK 创建移动应用程序；将程序安装到目标设备。

6.2 动态分割

道路是空间实体的集合，它表达了地理信息系统中的“弧-节点”数据模型。传统的数据模型能够较好地描述线性的静态特性，但在现实世界中，由其性质组成的道路网络往往具有多重性，同时在路上也存在交叉。传统的“弧节点”数据模型不能很好地解决这类线的问题，而动态分割技术提供了很好的解决方案。动态分割技术分解图如图 3 所示。

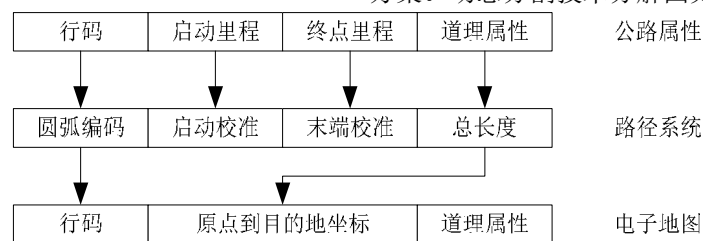


Figure 3. Dynamic segmentation decomposition diagram

图 3. 动态分割分解图

动态分割是基于对线性特征的相对位置进行标准测量的技术，称之为动态分割，按照这种方法是相同的线性特征可以针对不同的测量标准进行相对位置的划分。划定相对位置信息要存储在一个数据字段的在线元素上，用它来识别线性子的不同特性。在道路系统的管理中，动态分割技术建立的空间数据模型是从圆弧、道路、路径和事件构成。

基于线性参考的动态分割技术：

所谓动态分段是对 GIS 中显示技术的特性进行线性动态分析的一种方法。在 GIS 分析中表现出线性特征。地理位置的图形分布空间计算其属性数据。在工程中，“里程钉”通常被用作主要信息的位置描述。对于公路养护应用“里程桩”也是一个常用的位置描述术语，特别是没有 GPS 设备。

动态分割技术在 GIS 中的应用是流量工程的关键，可以说是没有动态分割的。因为没有真正实用的公路数据库。利用 ArcGIS 桌面提供的线性参考工具，根据公路的线性空间特征，实现公路线形动态分段技术。利用该技术，对公路养护信息数据库中的多属性集进行动态查询，可以大大减少数据冗余，消除重复人工数字化工作。

动态分割技术及其实现：

直线性 and 多层性是高速公路地理信息的分布特征。线性表示信息沿地理路线呈线性分布，与里程有关。这与其他地理信息系统（如矿山和土地管理系统）有着显著的区别。多层表示多个信息沿同一路线分布，每一个信息层都用不同里程表示段。例如，一条道路有多种信息，如技术等级、路面类型、交通量和沿线环境等，但不同类型的信息段的长度和位置不同。因此，在高速公路数据库中，必须充分利用 GIS 技术实现对各种属性的查询和分析。线性对象的分段类型主要有三种方法：快速段法、可变段法和动态段法。通过分析这三种方法的优缺点，选择动态分段法。

动态分段方法采用拓扑数据结构，基于拓扑图建立路由。设备数据被视为路由上发生的事件，并存储在相应的事件表中，并根据用户标识码建立与路由的关系。GIS 软件对事件进行实时查询，并根据用户需求对路径进行划分和显示。路由系统采用动态分段方法，路由是建立在拓扑图上的逻辑组合，而不是真实的“实体”。不同属性的路径段也是一个逻辑概念。GIS 软件将它们存储在相应的事件表中，并在需要时

创建相应的段。

这有很大的灵活性，因为它没有真正分割图形。动态分段方法可以在同一路由上表达所有设施的属性信息，属性信息可以保存在传统关系数据库中，并通过关系数据库维护，以减少冗余数据。同时，空间数据和属性数据可以单独维护，便于管理。建立公路路线系统和事件属性表是实现高速公路管理系统动态分段的主要工作。动态分段的实现步骤主要包括：

建立路径系统。道路的起点是根据道路的趋势来确定的，每个节点到起点的距离（或里程桩）是节点的测量。

根据道路空间关系建立与空间数据库相对应的高速公路路段属性表。在属性表中增加了道路编码、启动里程和终端里程。因此，基于不同性质建立高速公路路段属性表。

在建立基于动态分段方法的属性数据库和空间数据库之后，可以根据一个或多个不同选择的属性对道路进行分割。

6.3 公路养护信息管理的目标与开发平台

6.3.1 目标体系的建立

根据介绍中的分析，考虑到目前路面管理和桥梁管理系统的缺陷，基于 GIS 的公路养护信息管理的总体目标是：

以 GIS 为平台，建立科学的维修管理体系；公路养护信息必须是可视化的，管理网络必须是动态的，维护信息必须能够动态更新；通过综合分析和处理，建立统一的公路空间属性数据管理系统。必须及时准确地提供

所有公路类型的设施维护要求的决策支持信息。必须有一个管理系统的功能来预测和评估各种公路技术的状态。维护方案应该能够预测制定和优化，投资分析和维护计划，以及维护信息应该由网络共享和查询。

6.3.2 系统开发平台选择

21 世纪是信息和网络的时代，互联网已成为 GIS 的一个新的操作平台。Web GIS 是 GIS 的基础，是 GIS 软件的必然趋势。Web GIS 为用户提供了在 Web 浏览器上访问数据库的直接访问。Web GIS 能够进行空间和属性数据查询，特殊图表输出，以及 GIS 的编辑和修改。Web GIS 的建立依赖于 GIS 软件、关系数据库管理系统和空间数据库引擎。对于这项调查，数

据兼容性和未来的发展进行了审议。因此，选择 ArcGIS 桌面、MS SQL Server 和 ArcGIS SDE 作为软件包来建立该系统。

6.4 高速公路路面养护辅助决策

6.4.1 路面性能评价子系统

该系统是基于相关规范、标准或目标的特殊要求来设置标准的，利用数据预处理子系统的结果对目标路段的性能指标和性能进行综合科学合理的分析评价。

基于路面状况、行驶质量、结构强度、抗滑性能的公路路面性能评价模型。路面质量指标是综合反映道路损坏、道路结构和道路使用性能的综合指标。

$$PQI = PCI * P_1 + RQI * P_2 + SSI * P_3 + SRI * P_4 \quad (1)$$

参照方程 (1)，P1、P2、P3、P4 是相应的权重。

6.4.2 路面性能预测子系统

该系统可利用各种历史数据，利用专家知识预测道路性能参数的中长期发展趋势。

该系统采用 PCI、RQI 和结构强度衰减模型作为性能预测模型。沥青路面 PCI 衰减方程如下述方程所

示。

$$PCI = PCI_0 \left[1 - e^{-\left(\frac{A}{Y}\right)^B} \right] \quad (2)$$

PCI0 作为初始路面状况指标，Y 为道路年龄，A 和 B 为模型参数，A 为道路寿命期望因子，B 为曲线形状因子。驱动质量解体显示在以下方程中。

$$RQI = RQI_0 \left[1 - e^{-\left(\frac{A}{Y}\right)^B} \right] \quad (3)$$

RQI0 作为初始行驶质量指标，A 和 B 是模型参数。

6.4.3 路面管理专家子系统

该子系统提供了一系列分析工具，以帮助用户在统计分析结果中做出决策信息，包括使用性能指标进行道路维护费用的全面统计分析和对 PROJ 的统计分析的需求。对公路长期养护规划进行统计分析，对成本影响进行分析。路面管理专家子系统的建立和实施，不是短时间内就能完成的，需要耗费大量的人力和物力，应该是一个逐步补充和完善的过程。专家系统的结构设计如图 4 所示。

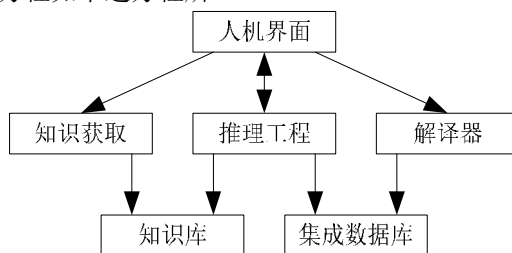


Figure 4. The structure design of expert system

图 4. 专家系统的结构设计

7 结语

高速公路具有典型的线性地理特征，适用于 GIS 的实体可视化管理。公路养护管理系统的理论和方法已经成熟。目前的道路管理技术相对陈旧，维修资金不足。因此，研究开发一套基于 GIS 的公路养护信息管理系统是切实可行的。随着计算机技术的发展和现代化道路检测技术的发展，基于 GIS 的公路养护信息管理系统能够实现中国公路基础设施的公路养护管理效率、标准化、科学化发展。

以 GIS 为平台，利用组件技术对道路空间数据进行管理，利用 GIS 查询、空间分析等功能对道路数据

进行检索和分析，并结合道路管理模型对道路状况进行评价和预测，通过对 EX 的仿真分析，以提高公路养护管理部门的管理水平。将先进的 GIS 技术应用于高速公路管理系统中，本文介绍了高速公路路面管理系统的主要内容，并研究了系统开发过程中路段技术的实现方法。该路面管理系统实现了空间数据与属性数据的集成管理，结合 GIS 与原有路面管理系统功能的特点和优势，为辅助决策提供了明确有效的证明。

该系统可以实现以下功能：

可以浏览和查询静态道路信息和动态道路信息（路面平整度、路面挠度等）。

可以实现道路的空间分析、评价和预测，提供决

策可视化。

GIS 组件可以与路面模型相结合，维护路面管理决策。

它提供了允许各种应用程序进行数据访问的外部应用系统接口。

可以发布和查询基于 Internet 的信息。如道路信息查询、最优路径选择功能等。

References (参考文献)

- [1] Xie F., Zhang P. The design of highway pavement management system based on comgis. International Conference on Transportation Engineering. 2009 .
- [2] Li Q.S., He D.P. Application of GIS in highway maintenance management. CICTP 2012 : Multimodal Transportation Systems — Convenient, Safe, Cost-Effective, Efficient. 2012 .
- [3] Tian X.G. Application of GIS to freeway management system. Asphalt Material Characterization, Accelerated Testing, and Highway Management : Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference. 2009 .
- [4] Li Z., Shi L.G. Thoughts on highway pavement maintenance under pavement management system. Enterprise Technology Development. 2014, 33, 104-105.
李智, 史炉根. 路面管理系统下对高速公路路面养护工作的思考. 企业技术开发. 2014, 33, 104-105.
- [5] Pan Y.L. Principle of pavement management system. Beijing: People's Communications Press. 1998.
潘玉利. 路面管理系统原理. 北京: 人民交通出版社. 1998.
- [6] Wang H.M., Xu C.Y., Wang X. Current situation and development of pavement management system in China. China Water Transport (Academic Edition). 2007, 01, 71-72.
王火明, 徐长有, 王秀. 路面管理系统在我国的现状及发展. 中国水运(学术版). 2007, 01, 71-72.
- [7] Yu G.X. Problems and countermeasures of highway maintenance and management. Engineering and Construction. 2008, 22, 418-419, 421.
余光祥. 高速公路养护管理存在的问题及对策研究. 工程与建设. 2008, 22, 418-419, 421.
- [8] Cheng H.D., Hu Y.G., Glazier C., Shi X.J., Chen X.W., and Wang J.L. Novel approach to pavement cracking detection based on neural network. Transportation Research Record. 119~127.
- [9] Fwa T.F., Chan W.T., Hoque K.Z. Multiobjective optimization for pavement maintenance programming. Journal of Transportation Engineering. 126, 5, 367 ~ 374.
- [10] Cui J.P. Design and implementation of a regional pavement management system based on GIS. Shandong Traffic Science and Technology. 2011, 04, 30-35.
崔纪鹏. 基于 GIS 的地区级路面管理系统的设计与实现. 山东交通科技. 2011, 04, 30-35.
- [11] Miao L., Zhou Z.H., Yang L. Based on GIS, Henan expressway pavement performance evaluation model management system. Henan Science. 2004, 03, 381-383.
苗丽, 周振红, 杨柳. 基于 GIS 的河南省高速公路路面使用性能评价模型管理系统. 河南科学. 2004, 03, 381-383.
- [12] Li M., Chen Q.Y., Peng K.G., Ma L.L. Summary of development of pavement management system. Journal of Chongqing Jiaotong College. 2005, 03, 69-73, 76.
李明, 陈谦应, 彭克刚, 马在亮. 路面管理系统发展综述. 重庆交通学院学报. 2005, 03, 69-73, 76.
- [13] Yu Yongye. On the development and trend of pavement management system. Shanxi Architecture. 2007, 32, 366-367.
王永业. 浅谈路面管理系统的发展状况及趋势. 山西建筑. 2007, 32, 366-367.
- [14] Dong M.Q., Zhang X., Chen C., Sun L.J. Database design of pavement management system. Zhongnan Highway Engineering. 2005, 03, 40-42.
董茂强, 张脩, 陈长, 孙立军. 路面管理系统数据库设计研究. 中南公路工程. 2005, 03, 40-42.
- [15] Zeng S., Wang X.F. Development and application of modular GIS pavement management system. Hunan traffic science and technology. 2008, 01, 152-155.
曾胜, 王锡凡. 组件式 GIS 路面管理系统的开发应用. 湖南交通科技. 2008, 01, 152-155.