

文章编号: 0451-0712(2006)01-0123-04

中图分类号: U419.4

文献标识码: A

基于GIS的黄土地区公路地基承载力评价系统

刘怡林¹, 支喜兰², 石刚²

(1. 交通部公路科学研究所 北京市 100088; 2. 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 通过对西北黄土地区地基承载力及其主要影响因素分布规律的研究, 进行了黄土地区地基承载力的分区, 确定了黄土地基处理的原则和选取方法。在此基础上, 建立了基于GIS的黄土地区公路地基承载力评价系统。该系统利用GIS的数据分析和属性数据管理功能, 在收集的大量实测载荷试验数据和相应物理力学指标的基础上, 建立了各区域承载力统计回归关系式与样本点的动态数据连接库, 实现了对黄土地区公路地基承载力的有效评价。同时, 利用地基处理的分析软件, 结合公路路基的设计情况, 提出了对黄土地基的处理建议, 为公路部门的地基承载力评价和黄土地基处理提供了决策依据。

关键词: 黄土地区; 地基承载力; GIS; 评价系统; 地基处理

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称GIS) 是在计算机软、硬件支持下对各种地理空间信息进行采集、存储、检索、综合分析和可视化表达的信息处理和管理系统^[1]。由于它可以对空间数据按地理坐标或空间位置进行有效管理, 并具有强大的空间分析能力, 且能以地图、图形或数据的形式表示处理的结果, 近年来在公路工程中得到广泛地应用。

在黄土地区的公路建设中, 随着公路等级的提高和路基填土高度的增加, 对黄土地基的承载力和整体均匀性提出了更高的要求, 对黄土地基承载力的评价和对湿陷性黄土地基的处理问题也更受关注。目前, 如何根据勘察资料和常规的室内土工试验来确定湿陷性黄土地基的承载力; 当路基具有一定的填土高度时, 如何评价原地基的承载力能否满足上部结构的要求; 如不满足, 又该采取哪种地基处理措施; 这些都是我们在设计和施工过程中十分关心的问题。为此, 笔者结合2001年的西部交通建设科技项目^[2]开展了黄土地区公路地基承载力评价及相应的地基处理措施的研究。同时, 为了将研究成果系统化和集成化, 给工程建设者提供简单、操作性强的承载力评价系统, 并便于在以后的工作中对现有研究成果进行补充和完善, 我们将对黄土地区地基承载力的研究与GIS的开发应用相结合, 建立了基于

GIS的黄土地区公路地基承载力评价系统, 为黄土地区的地基承载力评价和地基处理措施的选取提供理论依据和实用参考。

1 黄土地区公路工程地基承载力的分区

黄土是一种具有特殊性质的第四纪松散沉积物, 我国黄土和黄土状土的分布面积为64万km², 占国土面积的6.3%。在黄河中游地区, 西起贺兰山, 东到太行山, 北起长城, 南到秦岭几乎都被黄土覆盖, 面积约为27万km²。在西北地区的公路建设中, 路线往往经过湿陷性黄土地基。对于黄土地基承载力的评价, 公路部门主要沿用建筑部门的《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25-90)^[3]中的湿陷性黄土承载力表。而公路作为一种带状结构物往往要跨越许多不同区域、环境和地形地貌的黄土单元, 单单的一个承载力表不能反映和代表黄土分布区域内不同地质结构类型的地基实际具有的承载能力。同时, 由于黄土分布具有一定的区域性, 不同区域内土质变化具有规律性, 黄土地基承载力亦具有一定的区域性变化。为了区分不同地理区域自然条件下承载力的变化规律, 以及各区域内承载力与主要影响因素之间的关系, 本文对黄土地区的地基承载力进行了分区, 根据分区的结果可以准确、快速地进行公路工程黄土地基承载力的评价。

1.1 分区的原则和方法

以各种已有的黄土区划(如《公路自然区划标准》(JTJ 003-86)^[4]、黄土地区路基设计分区、湿陷性黄土分区以及《湿陷性黄土地区建筑规范》(66 规范、78 规范、90 规范、2004 规范^[5]))中的黄土分区为基础,将承载力大小的分布与黄土的湿陷性分布以及承载力主要影响因素的区域分布相结合进行分区。区划的方法如下:

(1)在含水量相同或相近的情况下(如含水量在 16%左右),以实测载荷板试验确定的承载力特征值在黄土分布区域内的变化范围为依据,确定黄土地基承载力的分区;

(2)黄土遇水后具有湿陷性,承载力分区时应充分考虑黄土湿陷性的区域变化规律;

(3)由于黄土地区特有的地形地貌特征,不同的地形地貌特征下黄土的湿陷性差异较大,对应的承载力变化明显,因此这也作为区划的主要依据。

1.2 分区的结果

根据上述区划的原则和方法,将我国黄土地区分为 4 个大区:Ⅰ区,东部地区(豫、鲁、冀);Ⅱ区,关中平原地区;Ⅲ区,陇东、陕北—晋西地区;Ⅳ区,陇西地区。各区域的范围及主要工程特征见表 1。

表 1 各区域的范围及主要工程特征

地区	范围及主要工程特征
东部地区 (Ⅰ)	该区东起吕梁山,北接蒙古高原,面积分布较广,在地形上是以几条平行的山脉为主,其中夹着一些大大小小的盆地。水系分布复杂,气候较湿润,年平均降水量在 500~750 mm,土质粘粒含量较多、致密,黄土分布稳定,湿陷性较弱,湿陷系数一般都小于 0.06。
关中地区 (Ⅱ)	该区南起秦岭,北至北山、子午岭和黄龙山一线,西临六盘山南端的宝鸡,东至中条山,它是一个构造盆地。水系主要是渭河及其支流,年平均降雨量在 350~600 mm,具有典型的塬、梁、峁等地貌形态,冲沟密布,黄土连续覆盖全区,低阶地多属非自重湿陷性黄土,高阶地和黄土塬多属自重湿陷性黄土。
陇东、陕北—晋西地区 (Ⅲ)	该区东临吕梁山,西接六盘山,南至北山、子午岭和黄龙山一线,北界长城与鄂尔多斯沙漠相连。地表水流均属黄河水系,地貌特征以黄土梁、峁为主,黄土土层新黄土为砂质黄土,土质疏松、多孔、稳定性差。自重湿陷性黄土分布广泛,黄土层厚度多大于 10 m,湿陷性等级多为Ⅲ、Ⅳ级,湿陷性敏感。
陇西地区 (Ⅳ)	该区北以景泰城至长乐堡一带的长城为界,南以西秦岭为邻,西接祁连山,东临六盘山,是一个四面环山的山间高原。水系主要有黄河、渭河及其支流,年平均降雨量在 250~500 mm,黄土土层厚度通常大于 10 m,多为自重湿陷性黄土,湿陷系数多大于 0.06,湿陷等级多为Ⅲ、Ⅳ级,湿陷性较强且敏感。

2 黄土地基处理措施的选取原则和方法

湿陷性黄土地基处理的主要目的有 2 个:(1)提高高填方路基下地基的承载力;(2)消除或消减黄土地基的湿陷性,从而减小湿陷变形。通过湿陷性黄土地基工程处理实例^[2],可以看出冲击碾压、强夯、灰土挤密桩和灰土换填等方法处理地基后其承载力都有所提高,湿陷性也在一定程度上消除或减弱。同时,各种方法又具有一定的特点,因此,确定湿陷性黄土地基处理措施时,可以根据不同方法的具体特点,选取合适的处理方法以及相应的施工工艺。

2.1 提高填方路基下地基的承载力

当地基处理以提高地基承载力为主要目的时,可以依据以下原则来确定地基处理方法:

(1)需要提高地基土浅层(1 m 深度范围内)的地基承载力时,宜采用冲击碾压;

(2)需要提高地基土 1~3 m 深度范围内的地基承载力时,宜采用灰土垫层法或强夯法;

(3)需要提高地基土 3~6 m 深度范围内的地基承载力时,宜采用强夯法和挤密桩(包括灰土挤密和土桩挤密)。

2.2 消除或消减黄土地基的湿陷性

当地基处理以消除或消减黄土地基的湿陷性为主要目的时,可以依据以下原则来确定地基处理方法:

(1)对于湿陷等级为Ⅰ~Ⅱ的非自重湿陷性黄土地基,如需要消除地基土 1 m 深度左右范围内的湿陷性,宜采用冲击碾压;

(2)对于Ⅱ级以上自重湿陷性黄土地基,如需要消除地基土 1~3 m 深度范围内的湿陷性,宜采用灰土垫层或强夯法;

(3)对于Ⅱ级以上自重湿陷性黄土地基,如需要消除地基土 3~6 m 深度范围内的湿陷性,宜采用土桩挤密或强夯法。

如湿陷性黄土地基既要提高地基承载力,又要消除湿陷性,则需要根据工程的实际情况并参考以上的有关原则综合确定。

3 黄土地区公路地基承载力评价地理信息系统的建立

3.1 系统的目标

黄土地区公路地基承载力评价地理信息系统(见图 1)是以 GIS 为平台,通过对承载力分区结果和地基处理措施的选取原则与方法进行系统集成,建

立了系统相关的数据库和模型库,实现了黄土地区地基承载力已有资料的信息查询、未知点的承载力预测和地基处理方法的确定,从而起到指导公路设计部门进行黄土地基承载力的评价和选取地基处理措施的目的。为此,该系统的目标如下。



图 1 黄土地区公路地基承载力评价地理信息系统示意

(1)实用性和可靠性。

数据库的建立和系统的开发应能满足公路设计者对黄土地区地基承载力已有资料的信息查询、未知点的承载力预测和选取地基处理措施的决策分析的需要。同时系统结构应简洁、功能方便、灵活、用户界面友好,以便于系统操作人员的管理和使用。同时,该系统必须保证数据和结果的可靠性。

(2)统一性和规范性。

系统设计遵循统一、规范的信息编码和坐标系统、规范的数据精度与符号系统。

(3)可延展性和可扩充性。

随着黄土地区公路建设的持续发展,对黄土地区地基承载力评价系统的要求会逐渐提高。因此,在系统的开发时,必须考虑系统的可延展性和可扩充性,当工程需求变化时,可对该系统进行补充、修改和完善,使系统更好地为工程人员提供现代化的服务。

(4)辅助决策支持。

为了将对黄土地基承载力的评价与上部路基的具体特征相结合,并在此基础上提出地基是否需要处理和如何处理等决策,该系统除了能进行数据的采集、相应设计数据的分析,还应具有查询处理功能,便于工程人员从大量的数据中提取相关信息,为路基和地基的设计施工方案提供强有力的技术支持。

3.2 系统的功能组织结构

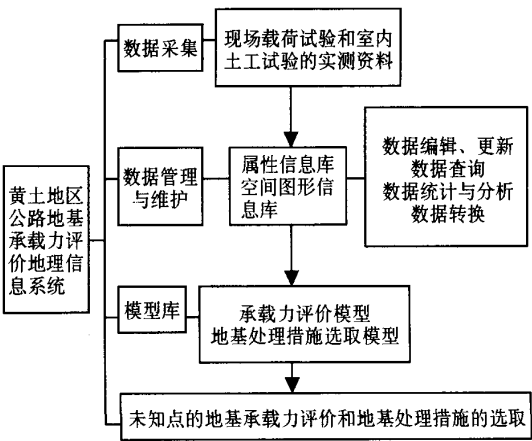


图 2 系统功能组织结构

3.3 系统的数据库

该数据库包括黄土各区域收集的建筑物等行业以及公路行业的实测载荷试验资料和室内土工试验资料,具体的样本点分布见表 2。

表 2 实测资料的样本点个数分布

数据来源	I 区 东部地区 (豫、鲁、冀)	II 区 关中平原地区	III 区 陇东、陕北—晋西地区	IV 区 陇西地区
建筑等其他行业的实测资料	45	76	6	36
公路行业的实测资料	1	44	22	57

同时,本系统实现了 GIS 中电子地图对象与关系数据库中数据记录对象的自动关联,达到地图与数据库的双向查询与联接的目的。也就是说数据库中数据记录的修改可动态改变地图对象的可视属性,也可以直接在地图上选择对象,然后根据对象自动建立数据表。

3.4 系统的模型库

(1)承载力评价模型。

本系统以收集的大量的实测载荷板试验资料为基础,与 SPSS 统计分析软件建立接口,利用其强大的数据分析功能,对 Q_3 黄土地基承载力的各个影响因素进行排序和筛选,并建立各区域内承载力与其主要影响因素(含水量 w 、液限 w_L 和孔隙比 e 之比: w_1/e)之间的多元非线性回归关系,具体结果见表 3。

表3 Q₃黄土承载力的回归方程汇总

地区	回归方程
东部地区 (I)	$f_{ak} = 7\,938 \times \omega^{-6.62 \times 10^{-3}} - 241 \times (\frac{\omega_L}{e})^{-0.644} - 7\,290$
陇东、陕北—晋西地区 (II)	$f_{ak} = 25 \times \omega^{-0.81} - 941 \times (\frac{\omega_L}{e})^{-3.44 \times 10^{-2}} + 1\,069$
关中地 (III)	$f_{ak} = 232 \times \omega^{-0.226} - 44.9 \times (\frac{\omega_L}{e})^{-0.497} - 76.6$
陇西地区 (IV)	$f_{ak} = 1.4 \times 10^4 \times \omega^{-6.73 \times 10^{-3}} - 1.99 \times 10^{-6} \times (\frac{\omega_L}{e})^{-11.26} - 13\,991$

注: f_{ak} 为地基承载力特征值, kPa; ω_L 为液限(小数表示); ω 为含水量(小数表示); e 为孔隙比(小数表示)。

为此,对于黄土地区未知点的地基承载力预测时,输入未知点的液限、含水量和孔隙比等物理指标,通过承载力评价模型,便可确定该点的承载力数值。

(2)地基处理措施选取模型。

依据地基处理的原则和方法,编制了黄土地区地基处理措施选取的模型,并建立了可视化界面。实际操作中,根据地基土实际的湿陷等级和承载力大小,并结合上部路基的填土高度和填土容重,便可确

定是否进行处理以及提出地基处理的建议方案。

4 结语

结合公路工程的特点,建立了基于GIS的黄土地区地基承载力评价系统,充分利用GIS强大的数据分析和属性数据管理功能,实现了对黄土地区地基承载力的有效评价。所搭建的数据库框架,也便于在以后的工作中,对目前的数据资料进行补充和对已有成果的完善。在此基础上,利用正确可靠的地基处理分析软件,结合公路路基的设计情况,实现了对黄土地基处理措施的选取,为公路设计部门正确有效地评价地基承载力,经济合理地处理黄土地基提供了科学的决策依据。

参考文献:

- [1] 陆守一. 地理信息系统 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 交通部公路科学研究所. 黄土地层公路工程地质类型及地基承载力评价技术研究报告[R]. 2004.
- [3] GBJ 25—90, 湿陷性黄土地区建筑规范[S].
- [4] JTJ 003—86, 公路自然区划标准[S].
- [5] GB 50025—2004, 湿陷性黄土地区建筑规范[S].

Bearing Capacity Evaluation System of Highway Foundation in Loess Area Based on GIS

LIU Yi-lin¹, ZHI Xi-lan², SHI Gang²

(1. Highway Research Institute of Ministry of Communications, Beijing 100088, China; .

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Through the study on the distributing rules of foundation bearing capacity and the major contributory factor in northwest loess district, the subregion of foundation bearing capacity of loess district is carried on, the principle and method of loess foundation treatment determined. The evaluation system of loess highway foundation bearing capacity based on GIS is established. By using the function of data analysis and management of GIS, on the basis of collection plenty testing data of foundation bearing capacity and the corresponding physical and mechanical indexes, the dynamic data bank of the regression formula of foundation bearing capacity in every district is established, and the efficient evaluation of loess foundation bearing capacity realized. At the same time, by using the analysis software of foundation treatment and according to the design of subgrade, a suggestion of loess foundation treatment is put forward, which provides reference for highway department in evaluating foundation bearing capacity and treating foundation in loess regions.

Key words: loess area; foundation bearing capacity; GIS (Geographic Information System); evaluation system; foundation treatment