

甘肃湿陷性黄土公路工程地质分区研究

赵天宇¹, 王伟锋¹, 陈伟², 李论基¹, 安亮¹

(1. 甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃兰州 730030;

2. 山西农业大学 城乡建设学院, 山西太谷 030801)

摘要:以甘肃黄土地区17条高速公路工程的调查、勘探与测试资料为基础,从湿陷性黄土的分区地貌特征、物理组成、湿陷特性、力学性能等方面,分析工程沿线湿陷性黄土的区域变化规律,并针对公路线性工程及其构筑物的特点,提出了甘肃省湿陷性黄土工程地质分区原则、方法及指标体系。依据三级分区指标体系,将甘肃省湿陷性黄土划分为四个一级分区,九个二级分区和十个三级分区,得到甘肃省湿陷性黄土工程地质分区图,并分析不同工程地质分区内黄土的地貌特征、土层厚度、湿陷性能及其对公路工程建设的影响,为甘肃省黄土地区公路建设提供了基础研究资料。

关键词:甘肃公路;黄土湿陷性;工程地质分区;分区指标

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2021)02-0094-07

Engineering Geological Zoning of Collapsible Loess Highway in Gansu Province

ZHAO Tianyu¹, WANG Weifeng¹, CHEN Wei², LI Lunji¹, AN Liang¹

(1. Gansu Province Transportation Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730030, China;

2. College of Urban and Rural Construction Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: Based on the survey, exploration and test data of 17 highway projects in loess region of Gansu province, the regional variation rules of collapsible loess along the project have been analyzed from the aspects of subregional geomorphologic characteristics, physical composition, collapsible characteristics and mechanical properties of collapsible loess. After that, the principles, methods and index system of engineering geological zoning of collapsible loess in Gansu province are proposed according to the characteristics of highway linear engineering and its structures. In the three-level index system of engineering geological zoning map of collapsible loess in Gansu province, there are four level-1 zones, nine level-2 zones and ten level-3 zones. According the map, the topographic characteristics, soil layer thickness, collapsible performance of loess in different engineering geological zoning and its influence on highway engineering construction are evaluated. This study could provide basic research data for highway construction in loess region of Gansu province.

Keywords: Gansu highway; collapsibility of loess; engineering geology zoning; zoning index

甘肃省黄土分布广泛,地质环境极为脆弱,各地区黄土的堆积时代、成生环境及分布厚度各不相同。由于黄土的湿陷性、压缩性和承载力等都有较大差别,其工程地质特性随空间分布也表现出一定的区域性和规律性。依据黄土的区域分布特征及土体工

程特性的相似性和差异性,科学合理地甘肃省黄土进行公路分区,认识和揭示各分区内黄土的公路工程特性,对于公路路线的布设、路基、路面结构的设计具有不可或缺的指导作用,不仅可以从宏观层面提供各分区黄土的地貌、地层、湿陷性、物理力学

收稿日期:2020-10-24

修稿日期:2020-11-17

基金项目:甘肃省科技重大专项“甘肃省湿陷性黄土地区公路修筑成套技术研究”(1302GKDA009)

作者简介:赵天宇(1985—),男,博士,正高级工程师,注册土木工程师(岩土),主要从事公路工程勘察与岩土工程测试研究工作。

E-mail: zhaoty07@lzu.edu.cn

性能等基本概况,还能给出了各分区黄土定量的参考指标,以便因地制宜进行公路建设和采取地基处理措施,为公路勘察、设计、施工、养护等提供技术支持和决策依据,对甘肃省公路的建设和发展具有重要的现实意义。

我国在黄土工程地质分区方面较早时期就开展了研究与实践工作,1966 年发布实施的《湿陷性黄土地区建筑规范》便提出了“中国湿陷性黄土工程地质分区略图”及分区特征参考表,并不断修订沿用,至今仍然对工程建设起到积极的指导作用。王治国等^[1]对晋西黄土地区进行了侵蚀地貌分区;王兰民等^[2]采用了地层、地形地貌、天然含水率、孔隙比等一系列指标,对黄土地震灾害进行区划研究;宋焱勋^[3]通过建立黄土基本物理力学性质指标与其工程地质特性的相互关系,对陇东黄土工程地质进行分区研究;管频^[4]基于甘肃省实测黄土湿陷系数及分布规律,对甘肃省湿陷性黄土进行了分类和区域评价;刘怡林等^[5-6]通过大量黄土实测资料将黄土地区进行了承载力分区,将黄土区划分为四个大区;赵环^[7]基于地貌类型和湿陷性评价结果对晋南地区进行了工程地质分区。李瑞娥^[8]通过选取地表形态指数、冲刷强度指数、边坡稳定性指数及黄土湿陷特性为分区指标,对黄土高原地区进行公路工程分区。张学超等^[9]总结了甘肃陇中黄土的物理力学性质规律。张海元等^[10]通过现场测试和室内试验研究了甘肃陇西饱和饱和黄土的工程地质特性。边义成^[11]研究了甘肃陇西与陇东地区马兰黄土的工程地质差异性。景宏彬等^[12]通过 CBR 试验分析了陇西黄土 CBR 值随区域分布规律。公路建设过程中地质灾害的形成与地质分区内地质环境因素密切相关^[13-14]。

前期从不同方面开展的黄土工程地质分区研究中,针对甘肃省黄土湿陷性且以服务公路线性工程的工程地质分区相对较少。基于甘肃省黄土地区开展的诸多公路勘察测试成果,开展甘肃省黄土地区公路工程地质分区研究,对公路工程建设和推动黄土地区的研究都有重要意义。

1 分区原则及方法

前人对湿陷性黄土分区主要基于地学界和建筑工程行业展开,保证工程使用条件下,主要侧重于建筑工程的使用性。

公路行业虽然在黄土地区开展较多的建设工程活动,但针对甘肃湿陷性黄土公路工程地质分区的

研究鲜为少见,因此黄土工程地质分区有很大的必要性。本文以甘肃省黄土地区 17 条高速公路的调查、勘探与测试资料为基础,结合地学界、建筑工程行业和公路行业对全国黄土工程地质分区的研究成果,针对公路线性工程及其构筑物的特点,从地貌特征、物理组成、湿陷特性、力学性能、对自然气候条件的敏感性等方面,分析其区域及局部变化规律。依托工程如图 1 所示。



图 1 依托公路工程分布示意图

工程地质分区原则和方法应当简单有效,结果应符合公路工程建设的特点和要求,能够对公路工程建设和运营养护起到指导作用。基于这一考虑,本研究采用了以下分区原则:

(1) 统一性原则。黄土是在特定的地质环境下形成的,不同时代和不同成因的黄土具有不同的物理力学特征,也即黄土具有形态成因发生一致性特点,地学界和建筑工程行业在工程地质分区中也遵循了这一原则,公路工程进行岩土区划也应保证相同的岩土单元在发生上具有相对一致性。因此,公路黄土工程地质分区参照地学界和建筑工程行业在实践中的应用成果,尊重客观事实,以为公路建设服务为目的,进一步丰富和完善甘肃省黄土工程地质分区,遵循分区的统一性原则。

(2) 相似性与差异性原则。黄土工程地质分区与其它区划一样,必须确保区划在区内具有一定的相似性且区际有一定的差异性。

(3) 区域共轭性原则。黄土工程地质分区的区划单元应该是独立的、连续的、不重复的,不能存在彼此分离的现象。

(4) 主要指标与次要指标相结合原则。尽管产生地域分异的原因非常复杂,但仍能找到主导因素并提出相应的指标,在区划及其边界确定时首先考虑主导因素及指标,同时考虑次要辅助指标在某些区段及界限确定中的作用。这是大多数区划普遍采

用的原则,可确保区划更客观、更符合实际,更具有针对性和指导性。

(5) 有效性与实用性原则。公路黄土工程地质分区是为公路建设服务,并不是越细越好、越多越好,应把握好区划分级尺度,突出重点,在满足分级需求的基础上力求简约,不能过于复杂而无法应用,以确保分区的有效性和实用性。

分区方法是分区原则的具体实现过程。本研究对甘肃省黄土进行公路工程地质分区采用的主要方法有:

(1) 自上而下划分与自下而上归并相结合的方法。依据黄土时代、成因及地貌单元,地质历史及古地理资料,划分出不同性质和不同等级的区域单位。首先确定和划分一级分区,在一级分区的基础上划分二级分区,并确定各分区的差异指标,分级越低差异越小,从大差异开始到小差异结束。同时,基于黏粒含量、微地貌单元、湿陷敏感程度等进行聚类分析开展自下而上的归并。

(2) 定量分析与定性分析相结合的方法。采用湿陷性、湿陷等级、液塑限等定量指标,结合地貌单元、地质构造等定性指标,在定量分析与定性分析相结合的基础上开展黄土公路工程地质分区,以确保分区结果的准确性。

(3) 主要指标与次要指标相结合的方法。以反映地域分异的主导因素指标作为分区及确定界限的主要依据,强调某一级分区的统一指标划分,同时兼顾次要辅助指标的影响,综合反映各指标对产生地域分异的作用。

(4) 相关分析法。综合研究黄土力学特性在工程地质分区中的变化规律,建立其力学指标之间的相关关系,从而确定工程地质分区及其边界。

2 分区指标体系

本文根据研究内容将分区指标分为定性指标和定量指标。黄土的堆积形成过程受地质构造、自然地理环境、地形地貌等因素的影响,故将地质构造、自然地理环境、地形地貌、微地貌单元、黄土分布特征、时代成因等作为工程地质分区的定性指标。同时,依据不同地区公路依托工程对黄土的物理力学指标进行统计分析,将含水率、密度、孔隙比、液塑限、压缩系数、抗剪强度、湿陷系数、湿陷土层厚度、场地湿陷类型、湿陷等级等作为分区的定量指标。

2.1 一级分区指标

岩土体的地形地貌特征及其区域分异是在内、外地质营力共同作用下形成的,地质构造对甘肃省

黄土区域分布起着决定性作用。因此,黄土工程地质分区的一级分区主导指标采用湿陷性、地质构造与地貌类型,次要辅助指标采用自然地理条件。通过结合甘肃公路修筑特点、病害与甘肃黄土地区地质地貌特征,将甘肃黄土分为四个一级工程地质分区: I 东部区(陇东黄土高原区)、II 西部区(陇西黄土丘陵区)、III 北部区(北部砂质黄土区)和 IV 南部区(南部黄土不连续分布区),如图 2 所示。各分区黄土公路工程地质性质总结描述如下:

(1) I 东部区(陇东黄土高原区)。六盘山以东,环县、华池一线以南的黄土地区,以典型黄土塬梁地貌为主^[15]。湿陷性黄土一般厚 10 m ~ 40 m,黏粒含量相对较大,土体含水率较低,湿陷程度中等—强烈,场地湿陷类型以自重湿陷为主,地基湿陷等级多为 II 级—IV 级,路基湿陷病害较严重。

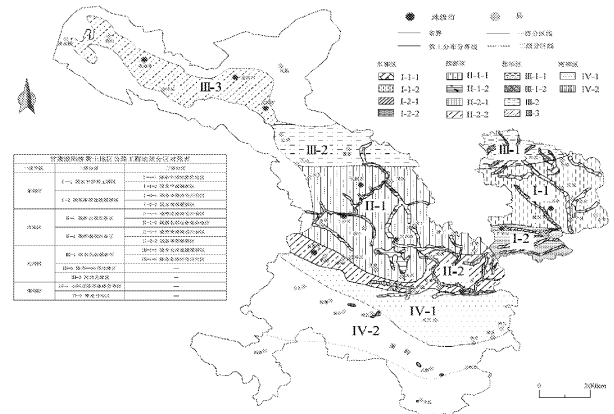


图 2 甘肃省湿陷性黄土公路工程地质分区图

(2) II 西部区(陇西黄土丘陵区)。东临六盘山,西接祁连山,北至白银、靖远北部,南抵武山、天水一线的广大黄土地区,以黄土梁、黄土岭地貌为主^[15]。湿陷性黄土厚度多大于 10 m,黏粒含量相对较小,土体含水率较低,湿陷程度强烈,场地湿陷类型以自重湿陷为主,地基湿陷等级多为 III 级—IV 级,路基湿陷病害严重。

(3) III 北部区(北部砂质黄土区)。陇东地区环县、华池北部,陇西地区靖远、白银、永登北部,以及乌鞘岭以北的古浪、武威、金昌和张掖部分地区的黄土(类土),以典型的黄土梁岭地貌为主^[15]。庆阳、白银北部地区湿陷性黄土厚度多大于 10 m,黏粒含量相对较小,土体含水率较低,湿陷程度强烈,场地湿陷类型以自重湿陷为主,地基湿陷等级多为 II 级—IV 级,路基湿陷病害严重;河西地区湿陷性黄土厚度多小于 10 m,黄土黏粒含量相对较小,土体含水率低,湿陷程度轻微—中等,场地湿陷类型以

非自重湿陷为主,地基湿陷等级多为 I 级—II 级,路基湿陷病害中等。

(4) IV 南部区(南部黄土不连续分布区)。武山、天水一线以南地区,南抵秦岭北部山地,主要为陇南山间丘陵及河流阶地分布的少量黄土,可进一步划分为山间丘陵不连续分布黄土和山顶、高阶地零星分布黄土^[15]。其中,山间丘陵不连续分布黄土厚度相对较小,黏粒含量大,土体含水率大,湿陷程度轻微,场地湿陷类型以非自重湿陷为主,地基湿陷等级多为 I 级—II 级,路基湿陷病害轻微;山顶、高阶地零星分布的黄土,公路路线一般不通过,对公路工程基本无影响。

2.2 二级分区指标

黄土自西北向东南有逐渐变细、黏粒含量逐渐增多的趋势,这一规律被众多研究者发现并证实,并认为这种粒度成分变化的规律是显著的^[15]。从塑性指数来看,随着 I_p 的增大,黄土的黏粒含量逐渐增大^[16]。在地质构造控制作用下,受黄土堆积时代成因、沉积环境等的影响,形成了诸多次级地貌类型(中型地貌),与土体的颗粒组成、湿陷特性密切相关,且呈现出区域差异性。因此,二级分区以湿陷性、中型地貌单元、塑性指数为主导指标,以孔隙比、含水率等土体定量统计分析参数为辅助指标(见表 1)。

表 1 二级分区指标

一级区号	二级区号	湿陷等级	中型地貌	塑性指数	孔隙比
I 东部区	I-1 陇东中部黄土塬区	II-IV	塬面	9~11	0.8~1.2
	I-2 陇东南部丘陵梁峁区	II-III 部分IV	丘陵,梁峁	11~13	0.9~1.0
II 西部区	II-1 陇西北部丘陵区	III-IV	丘陵	9~11	0.9~1.0
	II-2 陇西南部河谷区	II-III 部分IV	梁、峁、河谷	12~14	0.7~0.9
III 北部区	III-1 陇东北部梁峁区	II-III 部分IV	梁峁	6~9	0.6~0.9
	III-2 陇西-河西丘陵区	II-III	丘陵	7~9	1.0~1.2
	III-3 河西走廊区	I-II	—	—	—
IV 南部区	IV-1 山间丘陵不连续分布区	I 为主	—	6~15	—
	IV-2 零星分布区	I 为主	—	—	—

2.3 三级分区指标

如前所述,土体的湿陷强烈程度及场地湿陷等级

对公路工程造价、构筑物选型有很大影响,且与黄土的微地貌单元密切相关。三级分区重点考虑了黄土湿陷特性对公路工程的影响,基于黄土湿陷性及湿陷敏感程度进行了微地貌划分,以微地貌单元、土体湿陷程度、地基湿陷等级为主导分区指标,同时考虑了土体湿陷敏感程度对公路构筑物的影响(见表 2)。

表 2 三级分区指标

二级区号	三级区号	微地貌	湿陷程度
I-1	I-1-1 陇东中部河流阶地区	河流阶地	轻微
	I-1-2 陇东中部塬面区	丘陵、梁峁	中等
I-2	I-2-1 陇东南部河谷川台区	河谷川台	轻微
	I-2-2 陇东南部梁峁区	丘陵、梁峁	中等
II-1	II-1-1 陇西北部河谷川台区	河流谷地	中等
	II-1-2 陇西北部丘陵梁峁区	长梁、峁	中等-强烈
II-2	II-2-1 陇西南部河谷川台区	河谷盆地	中等
	II-2-2 陇西南部梁峁区	梁峁、丘陵	强烈
III-1	III-1-1 陇东北部丘陵、梁峁区	丘陵、梁峁	强烈
	III-1-2 陇东北部河谷川台区	河谷川台	中等-强烈

3 工程地质分区特点及评价

按照上述分区原则和方法,借助三级分区指标体系,将甘肃湿陷性黄土划分四个一级分区,九个二级分区和十个三级分区^[15],各工程地质分区及特点分述如下。

3.1 I 东部区(陇东黄土高原区)

(1) I-1 陇东中部黄土塬区。合道川、华池一线以南、泾河以北的黄土地区。黄土黏粒含量相对较大,地下水埋藏深度大,土层厚度大。河流水系较发达,黑河、蒲河及其支流将黄土塬侵蚀切割^[15]。

① I-1-1 陇东中部河流阶地区

该区地貌类型为河谷川台地貌。主要地层为全新统冲洪地层(Q_4^{al+pl})和上更新统马兰黄土(Q_3^m); Q_3^m 地层厚度不大, Q_4^{al+pl} 主要分布于河漫滩及 I、II 级阶地基座之上,厚度一般在 10 m 以内。该区场地湿陷等级为 I 级(轻微)—II 级(中等)。

② I-1-2 陇东中部塬面区

该区主要地貌类型为黄土塬,塬面平坦,塬边破碎。以“天下黄土第一塬”闻名的董志塬就位于该区,土层厚度达 150 m~200 m,上部地层为上更新统马兰组(Q_3^m),岩性为淡黄色黄土,土质疏松,大孔隙发育,厚 10 m~20 m。全新统包括冲积层(Q_4^{al})、洪积层(Q_4^{pl})及滑坡堆积体(Q_4^{del})等,主要沿河谷分

布,其它类型零星分布。该区场地湿陷等级为Ⅱ级(中等)—Ⅳ级(很严重)。

(2) I-2 陇东南部丘陵梁峁区。本区位于泾河以南、六盘山以东,黄土梁峁起伏。

① I-2-1 陇东南部河谷川台区

地层主要为全新统冲洪积层(Q_4),分布于河床、河漫滩及河流阶地上,厚度一般不超过 10 m。该区土体湿陷性不强烈,场地湿陷等级为Ⅰ级(轻微)—Ⅱ级(中等)。

② I-2-2 陇东南部梁峁区

受地质构造作用控制,陇东南部梁峁先后沉积了红层和黄土层,黄土分布面积较广,地形波状起伏。黄土梁大多和河谷平行,成梳状分布,构成梁、沟相间,梁峁并存,以黄土梁为主的现代黄土地貌,按形态细分为梁、峁及坡地、台地、冲沟、陡崖等。

该区主要地层为风积黄土(Q_3^{col}),褐黄—浅黄色,厚度一般 20 m~30 m 左右,最大可达 150 m。该区土体湿陷性湿陷性较强烈,地湿陷等级为Ⅱ级(中等)、Ⅲ级(严重),部分为Ⅳ级(很严重)。

3.2 II 西部区(陇西黄土丘陵区)

(1) II-1 陇西北部丘陵区。本区为永登以南、陇西以北,包括黄河干流的祖厉河。地处陇西黄土高原的西部,是青藏高原与黄土高原的过渡带^[15]。

① II-1-1 陇西北部河谷川台区

河谷川台区地层以中、上更新统冲积黄土和全新统冲洪积黄土状土为主,厚度 5 m~30 m。该区土体湿陷性较强烈,场地湿陷等级为Ⅱ级(中等)、Ⅲ级(严重),部分为Ⅳ级(很严重)。

② II-1-2 陇西北部丘陵梁峁地区

该区地层岩性特点为丘陵多由上下两部分构成,上部大多为黄土,下部新近系及其它时代岩层。该区黄土分布厚度大,最厚处超过 200 m,土体湿陷性强烈,场地湿陷等级为多为场地为Ⅲ级(严重)—Ⅳ级(很严重)。

(2) II-2 陇西南部谷地区。本区分为陇西南部河谷川台区和南部梁峁区。

① II-2-1 陇西南部河谷川台区

本区Ⅰ、Ⅱ级阶地多属于堆积或上迭式阶地,Ⅲ级阶地属于侵蚀堆积式阶地。阶地多由黄土状土构成,总体粒度较细,层厚一般大于 10 m。该区土体湿陷性较强烈,场地湿陷等级为Ⅱ级(中等)、Ⅲ级(严重),部分为Ⅳ级(很严重)。

② II-2-2 陇西南部梁峁区

本区地貌以黄土梁峁为主。一般新黄土最大层

厚大于 40 m,其中上部主要以风积相黄土为主,层厚 20 m~30 m。该区土体湿陷性强烈,场地湿陷等级为Ⅲ级(严重)、Ⅳ级(很严重)。

3.3 III 北部区(北部砂质黄土区)

(1) III-1 陇东北部梁峁区。分布于华池、环县以北区域,侵蚀残塬、梁峁沟壑与河谷川台交替分布,黄土黏粒含量较少,土体含水率低,地下水埋藏深度大。

① III-1-1 陇东北部丘陵梁峁区

本区黄土丘陵整体地势西北低、东南高,地势起伏变化不大,沟谷稀疏,相对开阔,沟谷切割深度一般小于 30 m。该区上部多覆盖第四系上更新统风积黄土,厚度由东南向西北变薄,自 30 m 左右逐渐减小到 5 m~10 m。该区土体湿陷性强烈,场地湿陷等级多为Ⅱ级(中等)、Ⅲ级(严重),部分为Ⅳ级(很严重)。

② III-1-2 陇东北部河谷川台区

本区为河谷川台地貌。上部地层主要为厚 10 m 左右的上更新统马兰黄土组(Q_3^m)、下部地层主要为河湖相堆积层萨拉乌苏组黄土(Q_3^s),一般出露在阶地前缘高 25 m~40 m 的陡坎下部。该区土体湿陷性强烈,场地湿陷等级为Ⅲ级(严重)、Ⅳ级(很严重)。

(2) III-2 陇西—河西过渡区。本区河谷与川塬相间,梁峁丘陵交错。该区黄土黏粒含量相对偏少,多为粉性黄土,土体含水量低,地下水埋藏深度大,黄土厚度 5 m~30 m。该区土体湿陷性较强烈,场地湿陷等级多为Ⅱ级(中等)、Ⅲ级(严重)。

(3) III-3 河西走廊区。本区为河西走廊乌鞘岭以西,张掖高台以东,山丹—永昌—武威一线西南地区,主要为黄土状土为主,较为分散,厚度 3 m~20 m 不等。该区土体湿陷性不强烈,场地湿陷等级多为Ⅰ级(轻微)、Ⅱ级(中等)。

3.4 IV 南部区(南部黄土不连续分布区)

本区可进一步划分为山间丘陵不连续分布黄土和山顶、高阶地零星分布黄土。

(1) IV-1 山间丘陵不连续分布区。该区分布黄土厚度相对较小,黏粒含量大,土体含水率大,湿陷程度轻微,场地湿陷类型以非自重湿陷为主,地基湿陷等级多为Ⅰ级(轻微)、Ⅱ级(中等),路基湿陷病害轻微。

(2) IV-2 零星分布区。该区分布的黄土,公路线位一般不通过,对公路工程基本无影响。

3.5 黄土工程地质分区评价

基于上述不同工程地质分区内黄土工程地质特

性分析,结合甘肃省 17 条高速公路黄土湿陷系数与场地湿陷等级统计分析,并考虑自然地理条件、气候

气象等对黄土地区公路工程建设的影响,得到了甘肃省黄土地区公路工程湿陷性评价结果(见表 3)。

表 3 各湿陷性黄土分区公路工程湿陷性评价

一级分区	二级分区	三级分区	湿陷性系数	湿陷性	场地湿陷等级	工程评价	
I 东部区	I - 1 陇东中部黄土塬区	I - 1 - 1 陇东中部河流阶地区	0 ~ 5 m; 0.036 5 ~ 10 m; 0.027 10 ~ 20 m; 0.024	中等 轻微 轻微	I - II 自重或非自重 湿陷	公路路基病害中等,局部需考虑桩基负摩阻力,并进行湿陷性处理。	
		I - 1 - 2 陇东中部塬面区	0 ~ 5 m; 0.047 5 ~ 10 m; 0.043 10 ~ 20 m; 0.034	中等	II - IV 自重湿陷	公路路基病害较严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
		I - 2 - 1 陇东南部河谷川台区	0 ~ 5 m; 0.027 5 ~ 10 m; 0.046 10 ~ 20 m; 0.028	轻微 中等 轻微	II 级为主 自重湿陷	公路路基病害较严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
	I - 2 陇东南部丘陵梁峁区	I - 2 - 2 陇东南部梁峁区	0 ~ 5 m; 0.040 5 ~ 10 m; 0.034 10 ~ 20 m; 0.025	中等 中等 轻微	III - IV 自重湿陷	公路路基病害严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
			II - 2 - 1 陇西北部河谷阶地区	0 ~ 5 m; 0.050 5 ~ 10 m; 0.043 10 ~ 20 m; 0.048 20 ~ 30 m; 0.044 30 ~ 40 m; 0.038	中等	II - III 自重湿陷	公路路基病害严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。
			II - 2 - 2 陇西北部梁峁地区	0 ~ 5 m; 0.083 5 ~ 10 m; 0.073 10 ~ 20 m; 0.073 20 ~ 30 m; 0.049 30 ~ 40 m; 0.051	强烈 强烈 强烈 中等 中等	III - IV 自重湿陷	公路路基病害很严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。
II 西部区	II - 1 陇西北部阶地区	II - 1 - 1 陇西南部河流谷地区	0 ~ 5 m; 0.069 5 ~ 10 m; 0.061 10 ~ 20 m; 0.046	中等	II - III 自重湿陷	公路路基病害较严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
		II - 2 陇西南部谷地区	0 ~ 5 m; 0.097 5 ~ 10 m; 0.053 10 ~ 20 m; 0.032 20 ~ 30 m; 0.002	强烈 中等 中等 无	III - IV 自重湿陷	公路路基病害很严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
		III - 1 - 1 陇东北部丘陵、梁峁区	0 ~ 5 m; 0.037 5 ~ 10 m; 0.015	中等 轻微	II - IV 为主 自重湿陷	公路路基病害严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
	III - 1 陇东北部梁峁区	III - 1 - 2 陇东北部河谷川台区	0 ~ 5 m; 0.086 5 ~ 10 m; 0.065 10 ~ 20 m; 0.043 20 ~ 30 m; 0.015	强烈 中等 中等 轻微	II - III 自重湿陷	公路路基病害较严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。	
			III - 2 陇西—河西过渡区	—	强烈	II - III 自重湿陷	公路路基病害较严重,需考虑桩基负摩阻力,进行湿陷性处理。
			III - 3 河西走廊区	0 ~ 5 m; 0.021	轻微或中等	I - II 自重或非自重湿陷	公路路基病害轻微—中等,局部需考虑桩基负摩阻力,并进行湿陷性处理。
IV 南部区	IV - 1 山间丘陵不连续分布区	0 ~ 5 m; 0.007 5 ~ 10 m; 0.002	无或轻微	I 为主 非自重湿陷	公路路基病害轻微,一般情况下可不考虑桩基负摩阻力。		
		IV - 2 零星分布区	10 ~ 20 m; 0.0014 20 ~ 30 m; 0.0016				

注:各三级分区黄土湿陷系数及场地湿陷等级统计分析土样组数 26 ~ 120 不等。

4 结 论

本文以甘肃省黄土地区 17 条高速公路的调查与勘探测试资料为基础,从黄土地貌特征、物理组成、湿陷特性、力学性能、对自然气候条件的敏感性等方面,分析其区域及局部变化规律,完成了甘肃省湿陷性黄土公路工程地质分区,得到以下结论:

(1) 结合公路工程建设特点和黄土分布特征,提出了甘肃省湿陷性黄土工程地质分区原则、方法及指标体系,以湿陷性、地质构造、地貌类型为控制性分区指标,运用定性分析和定量统计分析相结合的方法总结了甘肃省黄土的区域分异及其对公路工程建设的影响。

(2) 采用三级区划体系,将甘肃省湿陷性黄土划分为东部区(陇东黄土高原区)、西部区(陇西黄土丘陵区)、北部区(北部砂质黄土区)和南部区(南部黄土不连续分布区)四个一级分区,九个二级分区和十个三级分区,得到了甘肃省湿陷性黄土工程地质分区图。

(3) 分析评价了不同工程地质分区内黄土的地貌特征、土层厚度、湿陷性能及其对公路工程建设的影响,为甘肃省黄土地区公路建设提供了基础研究资料。

参考文献:

- [1] 王治国,王春红,王曰鑫,等. 晋西黄土地区侵蚀地貌特征及其分区的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995,1(1):35-42.
- [2] 王兰民,袁中夏,石玉成,等. 黄土地震灾害区划指标与方法研究[J]. 自然灾害学报,1999,8(3):87-91.
- [3] 宋焱勋. 陇东地区黄土工程地质分区和变形特性研究[J]. 土工基础,2004,2(1):35-42.

- [4] 管 频. 甘肃省湿陷性黄土的分类与区域评价[J]. 兰州交通大学学报,2004,23(6):52-55.
- [5] 刘怡林,石 刚,支喜兰. 黄土地区地基承载力分区的研究[J]. 公路交通科技,2005,3(9):16-19.
- [6] 刘怡林,支喜兰,陈智飞. 公路地基承载力评价地理信息系统[J]. 公路交通科技,2013,29(6):11-17.
- [7] 赵 环. 晋南地区黄土的湿陷性分区及其岩土特性评价[D]. 昆明:昆明理工大学,2009.
- [8] 李瑞娥. 黄土地区公路工程分区及指标体系研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [9] 张学超,陈书文,朱维娜,等. 甘肃陇中地区黄土工程地质特性研究[J]. 三峡大学学报,2019,41(S1):74-77.
- [10] 张海元,温 昱,刘 昕,等. 甘肃陇西地区饱和黄土状土工程地质特性[J]. 青海大学学报(自然科学版),2016,34(6):31-37.
- [11] 边义成. 甘肃陇西与陇东地区马兰黄土工程地质特性分析研究[J]. 水利规划与设计,2018,4(8):57-63, 163.
- [12] 景宏彬,牛天培,景宏君,等. 陕西黄土承载比值区域性分布规律[J]. 西安科技大学学报,2018,38(2):309-315.
- [13] 李 宁,杨 卿. 西部水利与土木建设中的岩土工程问题[J]. 水利与建筑工程学报,2019(5):1-8.
- [14] 王振刚,赵 甫. 公路沿线地质灾害孕灾环境与诱灾因子分析[J]. 水利与建筑工程学报,2020,18(5):1672-1144.
- [15] 陈 伟. 甘肃湿陷性黄土地区公路工程地质分区研究[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [16] 刘东生. 中国的黄土堆积[M]. 北京:科学出版社,1965.
- [17] 朱慕仁. 黄土地基的塑性指数分类[J]. 西北建筑工程学院学报,1995,1(2):6-8.