

陇东地区黄土工程地质特征

李 萍¹, 薛振年², 王治军³, 曹家泉³, 杜东菊⁴

(1. 长安大学 岩土工程国土资源部开放研究实验室, 陕西 西安 710054; 2. 榆林市交通工程公司, 陕西 榆林 719000; 3. 长庆油田 设计院, 陕西 西安 710000; 4. 天津城市建设学院, 天津 300000)

[摘要] 陇东位于黄土高原腹地, 是典型的黄土地层发育区, 地下有丰富的石油天然气资源。结合长庆油田建设项目, 根据该区地形地貌及其黄土主要工程地质特征, 将该地区分为董志塬区(I)、蒲茹马莲区(II)、泾川环柔区(III)和合道川北区(IV) 4个工程地质区。董志塬区(I)主要包括合道川、悦乐以南的广大黄土塬地区, 由13个小的黄土塬组成, 发育有厚250 m左右的完整黄土地层, 塬顶地势平坦开阔, 是陇东地区的主要工程建设区, 为自重湿陷性场地, 湿陷等级为II~III级; 蒲茹马莲区(II)主要为蒲河、茹河和马莲河的II级阶地及阶地与塬间的斜坡地带, 该区I级阶地不发育, II级阶地主要发育晚更新世以来的黄土地层, 为非自重湿陷性场地, 湿陷等级II级, 地域狭窄, 城市发展空间有限; 泾川环柔区(III)为泾河、环江和柔远河I级阶地, 该区II级阶地不发育, 沉积有全新世的新近堆积黄土, 为非自重湿陷性场地, 湿陷等级I~II级, 地域狭窄, 城市发展空间有限; 合道川北区(IV)为合道川、悦乐以北的广大黄土梁峁区及白于山前缘地带, 工程建设条件较差, 难以从事大面积工程建设。

[关键词] 陇东; 黄土; 湿陷性; 工程地质

[中图分类号] P642.13 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0059-04

[作者简介] 李萍(1971—), 女, 内蒙古巴盟人, 讲师, 博士研究生, 现从事边坡工程、CAI、黄土工程地质研究工作。

陇东位于黄土高原腹部, 除纵横其中的河流外, 几乎全被黄土沉积所覆盖, 是我国典型的黄土发育区, 西峰的火巷沟剖面是黄土地层标准剖面之一, 国内外许多学者在该剖面上取样测试, 为第四纪测年、地层划分、古气候研究等提供大量信息。笔者在参与长庆油田基础设施建设过程中, 对陇东地区自然地理及区域地质、黄土地层、黄土工程地质特征, 各城区的工程地质条件及地基处理方法等, 进行了系统地研究^[1], 在此仅总结陇东地区黄土工程地质特征的变化规律, 提出了该区黄土工程地质分区, 并对各区特征进行评述。

1 自然地理概况

陇东位于六盘山以东, 子午岭以西地区, 黄土

分布高程一般为1 400~1 600 m, 地势西北高, 东南低。第四系黄土沉积厚度由北向南逐渐减薄, 至董志塬厚约250 m。该区年平均降雨量一般为400~500 mm, 蒸发量>1 210.1 mm, 年平均气温7.6℃~9.3℃。

泾河是本区最大的河流, 属黄河二级支流, 流经本区西南部, 其支流主要有马莲河、蒲河、茹河、洪河, 这些河流是本区的主干水系, 各条河又发育着许多冲沟和支流, 形成了树枝状的水系网。受树枝状水系的长期侵蚀切割, 以合道川为界, 南部的黄土塬形成了13个具有一定规模的小黄土塬。北部河流侵蚀切割作用更为强烈, 形成了沟壑纵横、支离破碎的黄土梁峁地貌。

本区有4个县(市)位于塬区, 分别是长武、西峰、正宁、合水; 3个县位于河流二级阶地, 分别是镇原、宁县、庆阳; 3个县位于河流一级阶地, 分别是泾川、华池和环县, 对陇东黄土工程地质性质的研究, 主要围绕这些人口集中、工程建设多的市县和长庆油田建设项目开展的。

[收稿日期] 2003-05-30

[基金项目] 国土资源部岩土工程开放研究实验室项目(KF020)

2 工程地质分区原则

受其成因和沉积环境的控制,陇东地区的黄土工程地质性质具有显著的区域性特点,对其分区的依据有:

2.1 地貌单元

陇东以合道川为界,北部为梁峁区,南部为塬区,河谷阶地以Ⅰ、Ⅱ级阶地最为发育。这些地貌单元,主要由该区第四纪以前基岩地质构造、古地形及新构造运动等决定^[2]。黄土沉积过程中继承了原有的地貌,在风力堆积过程中伴随着河流的侵蚀形成了黄土塬、阶地和漫滩。黄土的地层结构、沉积厚度及工程地质特征受其地貌的控制,各类地貌单元在宏观上反映了其地层结构及工程地质性质。

2.2 物理力学性质

陇东地区黄土的结构、颗粒组成、含水量、湿陷性等物理力学性质指标具有明显的区域变化规律。这些指标一方面在不同地貌单元上有显著的变化,同时在同一地貌单元随着地理位置和气候特征的不同也有变化,因此其物理力学性质可作为黄土工程地质的区划依据。

2.3 工程活动的适宜性

工程地质是为工程建设服务,地形复杂,很难从事工程建设的地区,将不做详细分区,统一划归主要地貌单元区,分区的指标主要依据已有工程勘察资料,能代表主要工程建设区的工程地质性质。

按以上原则,将陇东地区划分为 4 个区,分别为董志塬区(Ⅰ)、蒲茹马莲区(Ⅱ)、泾川环柔区

(Ⅲ)和合道川北区(Ⅳ),又将董志塬区(Ⅰ)分为西峰合水亚区(Ⅰ₁)和屯字早胜亚区(Ⅰ₂);将蒲茹马莲区(Ⅱ)分为庆阳宁县亚区(Ⅱ₁)和镇原亚区(Ⅱ₂);将合道川北区(Ⅳ)分为梁峁亚区(Ⅳ₁)和北部边缘亚区(Ⅳ₂),共计 6 个亚区。

3 各区工程地质特点

在该地区的工程建设中,马兰黄土 Q₃ 为主要地基持力层,也是湿陷性最强的土层,因而是研究的重点。经对该地区工程勘察的 291 个马兰黄土试样进行统计分析,各区马兰黄土(Q₃)的基本物理指标平均值见表 1。泾川环柔区(Ⅲ)为一级阶地,沉积有全新世黄土和黄土状土,表 1 中该区所列数据为全新世地层(Q₄)的结果。可以看出,陇东地区黄土湿陷系数(δ_s)与干密度(γ_d)、孔隙比(e₀)和含水量(w)都有明显的相关关系,其机理研究参考文献^[3],此处就各分区的工程地质特点进行阐述。

3.1 董志塬区(Ⅰ)

3.1.1 西峰合水亚区(Ⅰ₁)

该亚区位于茹河、金河以北,合道川、悦乐以南地区,由若干黄土塬组成,塬顶地势平坦,塬间川道狭窄,塬间不宜从事工程建设。此区发育有厚 250~280 m 的完整黄土地层,马兰黄土厚约 15 m,其上普遍发育有一层黑垆土,厚 0.5~2.0 m。马兰黄土粘粒含量在 18%左右,粉粒级含量约 69%。压缩系数平均值 0.40 MPa⁻¹,属于自重湿陷性场地,湿陷等级Ⅲ(严重),湿陷土层厚 12~15 m。塬上工程建设条件良好,但要对地基进行处理,消除湿陷性。

表 1 陇东马兰黄土基本物理指标统计

Table 1 Basic physical and mechanical indexes of the Malan loess in eastern Gansu province

区	亚区	样数 /个	天然密度 γ/(g·cm ⁻³)	干密度 γ _d /(g·cm ⁻³)	含水量 w/%	孔隙比 e ₀	液限 w _L /%	塑限 w _P /%	塑性指数 I _P /%	湿陷系数 δ _s
董志 塬区 (Ⅰ)	西峰合水 亚区(Ⅰ ₁)	81	1.49~1.58	1.27~1.30	17.5~22.3	1.08~1.13	29.2~29.8	16.7~18.5	10.8~11.6	0.055~0.070
	屯字早胜 亚区(Ⅰ ₂)	72	1.50~1.74	1.26~1.33	20.0~23.5	0.88~1.16	29.8~30.8	17.7~18.9	11.3~12.2	0.040~0.050
蒲茹 马莲区 (Ⅱ)	庆阳宁县 亚区(Ⅱ ₁)	47	1.46~1.51	1.28~1.29	14.4~16.3	1.08~1.12	28.2~28.6	17.4~17.8	10.1	0.047~0.052
	镇原 亚区(Ⅱ ₂)	37	1.81	1.51	19.6	0.78	28.5	18.3	10.3	0.027
泾川环柔区(Ⅲ)		223	1.51~1.83	1.33~1.55	9.9~21.3	0.74~1.00	23.2~26.2	15.6~17.1	6.9~9.5	0.025~0.046
合道川 北区 (Ⅳ)	梁峁 亚区(Ⅳ ₁)	31	1.45~1.47	1.25~1.29	14.3~16.6	1.10~1.17	28.5~30.4	18.1~18.9	10.4~11.9	0.044~0.055
	北部边缘 亚区(Ⅳ ₂)	23	1.39	1.38	10.2	0.95	24.7	15.9	8.9	0.034

3.1.2 屯字早胜亚区(I₂)

茹河、金河以南的黄土塬区,由若干黄土小塬组成,塬上地势平坦,马兰黄土厚12~15 m,上覆黑垆土。马兰黄土粘粒含量16.0%~23.0%,东部较西部稍高一些,天然密度东部也较西部大,在镇原为1.50 g/cm³,长武、长庆桥、正宁都>1.61 g/cm³。含水量大部分>20%,较I₁区含水量高。正宁地区受子午岭的影响,降雨较西部的镇原地区大,含水量高达23%,压缩系数平均值为0.74 MPa⁻¹,属高压缩性土。该亚区南部为非自重湿陷性场地,湿陷等级为II(中等),北部为自重湿陷性场地,湿陷等级为II或III湿陷土层厚9~12 m。本区工程建设条件良好,但对湿陷性黄土地基进行处理。

3.2 蒲茹马莲区(II)

3.2.1 庆阳宁县亚区(II₁)

该亚区为马莲河II级阶地及阶地与黄土塬边缘的斜坡地带,局部发育I级阶地。II级阶地至黄土塬间发育有Q₃黄土地层,厚12~15 m,其下为第一层古土壤,厚约3.0 m,古土壤下为河流相沉积;在斜坡地带新近堆积黄土较厚,且厚度变化大,土质疏松,具有高压缩性和低的承载能力,一般不能作为天然地基,在工程勘察中应注意鉴别该类土的成分结构和成因时代及其空间分布,以便于进行工程处理。马兰黄土粘粒含量庆阳为12.6%,较塬区的小,粉粒含量高,庆阳达73.6%;压缩系数平均值0.25 MPa⁻¹,具有中等压缩性。该区为非自重湿陷性场地,湿陷等级II(中等),湿陷土层厚度约6.0 m。工程建设条件较好,但地域狭窄,城市发展空间有限。

3.2.2 镇原亚区(II₂)

该亚区为蒲河、茹河发育的II级阶地及斜坡地带,I级阶地不发育。II级阶地发育有Q₃的黄土地层,下部为河流相沉积。该亚区黄土干密度较高,平均值为1.51 g/cm³,孔隙比小,平均值为0.78,压缩系数平均值0.25 MPa⁻¹,属中等压缩性土层。非自重湿陷性场地,湿陷等级II(中等),湿陷土层厚度约6.0 m,工程建设条件良好,同样地域狭窄,城市发展空间有限。

3.3 泾川环柔区(III)

该区发育泾川I级阶地及环江、柔远河I级阶地,II级阶地不发育。上部为Q₄新近堆积黄土,厚2~6 m,下部为河流相冲积物。泾川Q₄黄土粘粒含量较高,而环江、柔远河黄土为粉土。压缩系数平均值0.32 MPa⁻¹,为中等压缩性土。非自重湿陷

性场地,湿陷等级I(轻微)到II(中等),湿陷土层厚2~6 m,工程建设条件良好,但地域较狭窄,工程建设场地有限。

3.4 合道川北区(IV)

3.4.1 梁峁亚区(IV₁)

该亚区为合道川、庆阳、悦乐以北的黄土梁峁区。新近堆积黄土与马兰黄土厚约15 m,地层顺梁倾斜展布,呈“披挂式”沉积。该亚区含水量低,孔隙比大,压缩系数平均值在0.31 MPa⁻¹左右,为自重湿陷型场地,湿陷等级IV(很严重),湿陷土层厚约15 m,场地条件较差,很难从事大面积工程建设。

3.4.2 北部边缘亚区(IV₂)

该亚区为黄土梁峁北部边缘地带,白于山前缘,地层变化复杂,大多数地区黄土较薄。黄土粘粒含量很低,为粉土,含水量也很低,一般≤15%,压缩系数平均值为0.38 MPa⁻¹,为非自重湿陷性场地,湿陷等级II(中等),湿陷土层厚约5 m。该亚区交通不便,取水困难,工程建设条件较差。

4 结论

(1)陇东地区的地貌单元有黄土塬、黄土梁峁、II级阶地和I级阶地,地层岩性受地貌单元控制,黄土沉积厚度、湿陷土层厚度、湿陷量及湿陷等级随地貌单元变化大。

(2)以地貌单元为背景,结合岩土的主要物理力学性质及工程活动的适宜性,将陇东地区分为4个工程地质区,6个亚区,各区工程地质特点具有显著的差异。

(3)黄土源区和黄土梁峁区湿陷土层厚,场地湿陷类型一般为自重湿陷,湿陷等级III~IV(严重)。这类场地勘察中,要注意勘探深度,以穿透湿陷性土层,对湿陷性土层做必要处理。

(4)蒲茹马莲区为河流II级阶地,泾川环柔区为河流I级阶地,II级阶地湿陷类型一般为非自重湿陷性场地,湿陷等级多为II级(中等),I级阶地一般为非自重湿陷性场地,湿陷等级I级(轻微)。工程建设条件良好,但地域较狭窄,城市发展空间有限。

[参考文献]

[1] 张贵义,曹家泉,王志军,等.陇东黄土工程地质[M].西安:陕西科技出版社,2001.52~73.

[2] 孙虎.基岩古地貌特征与黄土地貌发育的关系[J].西北地质,

- 1996, 17(2): 44~46.
- [3] 李萍, 李同录, 王艳霞, 等. 陇东黄土物质组成对其湿陷性的影响[A]. 见: 长安大学地质工程与测绘工程学院主编. 地球探测科学与技术新进展[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002. 43~48.
- [4] 倪万魁, 牛富俊, 刘东燕. 黄土土性的空间自相关性研究[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(2): 4~8.
- [5] 岳应利. 黄土工程力学性质的变化及控制因素[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 112~114.
- [6] 李秉成, 孙国梁. 黄土和古土壤的热释光测年[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(4): 58~60.

Loess engineering geological characteristics of eastern Gansu province, China

LI Ping¹, XUE Zhen-nian², WANG Zhi-jun³, CAO Jia-quan³, DU Dong-ju⁴

(1. Opening Research Lab of Geotechnical Engineering, The Ministry of Land And Resources, Xi'an 710054, China;

2. Transportation Engineering Corporation of Yulin City, Yulin Shaanxi 719000, China; 3. Design Institute,

Changqing Oil Field Company, Xi'an 710000, China; 4. Tianjin Urban Construction Institute, Tianjin 300000, China)

Abstract: Eastern Gansu Province, located in the center of Loess Plateau, is typical loess deposit area. There is rich oil and gas resource under the area. Combining the project of Changqing oil field construction, the authors investigated topography, strata, and construction condition of the area and divided the area into four engineering geological zones as Dongzhi platform zone(I), Purumalian zone(II), Jingchuan-rouyuan zone(III) and North Hedao river zone(IV). The Dongzhi platform zone(I), located in the south of Hedao river and Yuele County, is a large loess platform with plat and wide landform. The zone is the main construction area. It has 250m depth of loess deposit with self-weight collapsibility loess. Collapsibility degree belongs to II-III grade. Purumalian zone(II) is the second terrace of river in Longdong area with limited space to construction. The loess deposit in this zone is Q₃ with non-self-weight collapsibility. Collapsibility degree is II grade. Jingchuan-rouyuan zone(III) is the first terrace of river with limited space to construction. The loess deposit is Q₄ with non-self-weight collapsibility, Collapsibility degree is I-II grade. North Hedao river zone(IV) is a large area with loess ridge and hill in north of Hedao river and Yuele County. This area is not suitable to construct mostly.

Key words: Eastern Gansu Province, P. R. China; loess; Collapsibility; Engineering geology

(英文审定: 苏生瑞)

欢迎赐稿 欢迎订阅 《地球科学与环境学报》

《地球科学与环境学报》(1979年创刊, 刊名先后为《西安地质学院学报》、《西安工程学院学报》、《长安大学学报(地球科学版)》、《地球科学与环境学报》)是教育部主管、长安大学主办的地学综合类学术期刊。20世纪80年代以来, 她先后被《美国化学文摘》、《美国地质学题录与索引》、《俄罗斯文摘杂志》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国地质文摘》、《中国石油文摘》等国内外十余家著名权威文摘或数据库固定收录。

《地球科学与环境学报》编委会由40多名专家学者组成, 其中包括17名中国科学院与中国工程院院士、2名长江学者。本刊以发展地球科学以及与之相交叉的环境科学的理论与创新为己任, 并将为此而作出不懈地努力。本刊刊登内容主要有基础地质与矿产地质、水文地质与工程地质、环境地质与生态地质、地球物理、地球信息科学等。她重点报道地学前缘及交叉学科的高水平科技成果, 突出西部大开发中资源勘查、干旱与半干旱地区地质与生态环境保护以及国家重要基础工程建设中重大地质科技问题的研究特色, 将我国尤其是西部地区的地学与生态环境方面的高水平科技成果推向世界。在此, 热诚欢迎广大地学科技工作者为本刊撰写论文, 对高质量特别是国家各种基金项目或重大科技攻关项目产出的论文将优先发表。

本刊现为季刊, 每季末月出版, 96页, 每册定价8元, 邮发代号52-280, 国外代号Q4115, 邮局漏订者亦可直接同本刊编辑部联系。

本刊地址: 西安市雁塔路南段126号长安大学雁塔校区 邮政编码: 710054; 电话: (029)82339978; 85585151 E-mail: dkyhxb@chd.edu.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>