

新疆沙湾翠山黄土工程地质特性研究

熊向前

(新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830002)

【摘要】本研究针对新疆沙湾翠山黄土的工程地质特性进行了深入分析,重点探讨了黄土的物理力学性质、湿陷性特征及其处理方法。研究区域位于沙湾县城南部的翠山,黄土主要来源于北侧盆地中的古尔班通古特沙漠。通过布设勘探井并取样分析,发现翠山黄土以低液限粉土为主,具有中等至弱透水层特性,湿陷性强烈。研究采用多种统计分析方法,揭示了湿陷性系数与孔隙比、塑性指数等物理指标之间的内在联系,并提出了强夯法、预浸水法和垫层法有效的地基处理方案,研究成果为翠山及周边地区的工程建设提供重要参考。

【关键词】黄土;工程地质;湿陷性;地基处理

【中图分类号】TV694

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-09-0067-04

Study on the Loess Engineering Geological Characteristics in Cui Mountain, Shawan, Xinjiang

XIONG Xiangqian

(Xinjiang Production and Construction Corps Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co., LTD., Urumqi, Xinjiang 830002, China)

Abstract: This study conducts an in-depth analysis of the loess engineering geological characteristics in Cui Mountain, Shawan, Xinjiang. It focuses on exploring the physical and mechanical properties, collapsibility characteristics and treatment methods of the loess. The study area is located in Cui Mountain, south of Shawan County. The loess mainly comes from the Gurbantunggut Desert in the northern basin. Through the layout of exploration wells and sampling analysis, it is found that the loess in Cui Mountain is mainly low - liquid - limit silt, with the characteristics of a medium to weak perviousness and strong collapsibility. The study uses a variety of statistical analysis methods to reveal the internal relationship between the collapsibility coefficient and physical indicators such as the void ratio and plasticity index, and proposes effective foundation treatment schemes including dynamic compaction, pre-soaking and cushion methods. The results of this study provide important references for engineering construction in Cui mountain and its surrounding areas.

Key words: Loess; Engineering geology; Collapsibility; Foundation treatment

新疆沙湾翠山黄土,依据其沉积特征被归类为新疆天山以北的北亚区域,其主要的物质来源可追溯到北侧盆地中的古尔班通古特沙漠^[1]。鉴于当前该地区对翠山的开发活动日益频繁,对翠山黄土的工程地质特性进行深入研究显得尤为紧迫。

研究区位于沙湾县城南部翠山,翠山呈东西向展布的椭圆形,长轴约 16 km,短轴约 6 km,为断褶隆起山地,总体地势中间高四周低,山体南

部边缘高于北部,海拔高程 500~700 m。翠山位于乌鲁木齐山前拗陷(Ⅱ₃⁶)北部的第三排构造带东端的安集海背斜,背斜南北翼分别为 15°~25°、20°~40°^[2]。北翼下部为拗陷带北部边界压性断裂独山子-安集海断裂,走向近东西向,长 55 km,断裂带宽度 100~160 m,由断层面南倾倾角 21°~71°的主逆断层和北倾反冲逆断层组成,它切割

收稿日期:2025-03-11

作者简介:熊向前(1987—),男,高级工程师

了河谷阶地,断错了全新世堆积物,为全新世活动断裂。

翠山主要地层为上更新统风积(Q_{3^{col}})黄土,岩性为浅黄色或土黄色低液限粉土(典型剖面见图1),一般厚度5~20 m。黄土下部分布中更新统冲积(Q_{2^{al}})堆积物,岩性为黄褐色、灰白色漂卵砾石层。底部为下更新统西域组(Q_{1x})灰白色、浅棕红色砾岩,为一套山麓河流相粗碎屑沉积,泥质胶结,局部为钙质胶结。

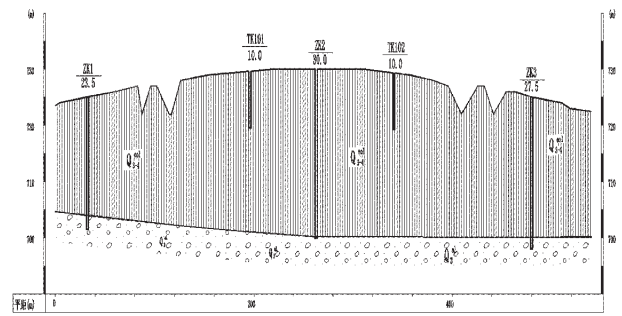


图1 研究区典型地质剖面图

1 工程地质特性

1.1 物理力学性质特征

该研究在翠山布设4个10 m深勘探井,每隔1 m取一组原状样进行试验检测,根据40组样品检测结果,沙湾翠山黄土岩性定名为低液限粉土,0.075~2 mm砂粒含量0.4%~10.8%,0.005~0.075 mm

粉粒含量75.7%~89.0%,<0.005 mm粘粒含量7.4%~20.0%,天然密度1.40~1.63 g/cm³,天然含水量5.7%~9.9%,孔隙比0.762~1.064,液限22.8~26.4,塑限13.4~17.9,塑性指数6.8~11.5,渗透系数1.55×10⁻⁶~6.91×10⁻⁴ cm/s,中等或弱透土层,土体物理性质参数见表1。

沙湾翠山黄土压缩系数0.06~0.13 MPa⁻¹,压

表1 土体物理性质参数表

统计	湿密度 ρ/(g·cm ⁻³)	含水率 w/%	土粒比重 G _s	天然孔隙比 e	液限 ω _L /%	塑限 ω _P /%	塑性指数 I _p	渗透系数 k ₂₀ /(cm·s ⁻¹)	颗粒含量/%			不均匀系数 Cu	曲率系数 Cc
									0.25~0.075 0.075~0.005 <0.005				
									/mm	/mm	/mm		
最大值	1.63	9.9	2.71	1.064	26.4	17.9	11.5	6.91E-04	10.8	89.0	20.0	18.4	3.46
最小值	1.4	4.7	2.70	0.762	22.8	13.4	6.8	1.55E-06	0.4	75.7	7.4	6.0	1.17
平均值	1.49	6.6	2.70	0.944	24.8	15.3	9.4	6.01E-05	2.6	84.5	12.9	10.6	1.77
标准差	0.04	0.97	0.00	0.063	0.93	1.06	0.64	1.16E-04	2.2	3.5	2.8	3.6	0.47
变异系数	0.03	0.15	0.00	0.07	0.04	0.07	0.07	1.92	0.86	0.04	0.22	0.34	0.27

缩模量15.28~31.42 MPa,属低中压缩性土,粘聚力13.9~25.71 kPa,内摩擦角18.5°~26.3°,湿陷性系数0.050~0.149,自重湿陷性系数0.003~0.105,自重起始压力11~171 kPa,湿陷性强烈,土体物理力学性质参数见表2。

本次研究在表层2 m内取8组土样进行化学成分分析(见表3),按照盐渍土类别判定低液限粉土为亚硫酸盐、强盐渍土,土对混凝土结构的腐蚀性弱~强腐蚀,土对钢筋混凝土结构中钢

筋呈中等腐蚀,土对钢结构呈微腐蚀;土对混凝土结构的腐蚀性弱~中等腐蚀,土对钢筋混凝土结构中钢筋呈中等腐蚀,土对钢结构呈微腐蚀。土中硫酸钠含量值为0.47%~0.94%,判定该土无盐胀。

1.2 湿陷性特性

黄土湿陷试验旨在模拟土体在一定压力、长期浸水和渗流作用下的压缩、湿陷及渗透溶滤等全过程变形行为。试验核心目的是确定土体变形与所受压力之间的内在联系,进而能够精确计算

表2 土体力学性质参数表

统计	压缩系数 α ₁₋₂ /MPa ⁻¹	压缩模量 E ₁₋₂ /MPa	抗剪强度		湿陷系数 δ _s	自重湿陷系数		湿陷起始压力 P _{sh} /kPa
			粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/°		自重 p/kPa	湿陷系数 δ _{zs}	
最大值	0.13	31.42	25.7	26.3	0.149	171	0.105	121
最小值	0.06	15.28	13.9	18.5	0.050	11	0.003	14
平均值	0.09	23.34	19.7	22.0	0.102	88	0.050	41
标准差	0.02	4.18	3.0	1.9	0.025	51	0.029	24
变异系数	0.21	0.18	0.15	0.09	0.25	0.58	0.58	0.57

表 3 土体化学成分分析统计表

统计	pH	CO ₃ ²⁻ /(mg·kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ /(mg·kg ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg·kg ⁻¹)	Ca ²⁺ /(mg·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ /(mg·kg ⁻¹)	K ⁺ +Na ⁺ /(mg·kg ⁻¹)	离子总量 /(g·kg ⁻¹)
最大值	9.6	15.6	335.2	2 775.5	5 712.7	629.6	149.2	3 677.8	13.0
最小值	9.0	2.4	211.4	1 265.3	3 029.6	62.1	37.7	1 533.5	6.6
平均值	9.2	7.1	252.7	1 921.6	4 072.4	299.2	80.4	2 800.7	9.5

出压缩变形系数、湿陷变形系数、湿陷起始压力以及自重湿陷系数等关键参数。在该研究中,选用了双线法作为试验方法,并设定了 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa 5 个荷载等级,同时利用全自动固结仪进行高精度的测量。

试验结果显示,沙湾翠山黄土的湿陷性系数介于 0.050~0.149 之间。参照《湿陷性黄土地区建筑规范》,可以明确判定该黄土具有强烈的湿陷性。为了进一步量化分析,依据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2018) 场地自重湿陷量的计算公式:

$$\Delta_{zs} = \sum_{i=1}^n \beta_0 \delta_{zi} h_i \quad (1)$$

其中: δ_{zi} 为第 i 层土的自重湿陷系数; h_i 为第 i 层的厚度,mm; β_0 为修正系数,取 0.5。

湿陷量的计算值计算公式:

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \alpha \beta \delta_{si} h_i \quad (2)$$

其中: δ_{si} 为第 i 土的湿陷系数; h_i 为第 i 层的厚度,mm; β 为修正系数,取 1; α 为浸水机率系数,取 1.0。

表 4 湿陷性等级判别表

探井	层厚/m	自重湿陷量/mm	湿陷量/mm
J1	10	263	980
J2	10	267	1 056
J3	10	273	1 054
J4	10	173	986

根据湿陷性实验结果计算(见表 4),翠山黄土表层 10 m 内自重湿陷量为 173~267 mm,湿陷量为 980~1 056 mm,湿陷性等级均为 III 级(严重)。

为了更全面地探究沙湾翠山黄土湿陷性与其物理特性之间的内在联系,研究采用了多种统计分析方法,包括绘制散点图、利用 SPSS 统计软件进行线性回归分析及多元回归分析。

通过对湿陷性系数与孔隙比的散点图进行

深入剖析(如图 2 所示),发现两者间存在显著的正相关关系。对湿陷性系数与塑性指数的散点图进行细致分析(如图 3 所示),结果显示塑性指数主要分布于 9~10 的区间,但两者之间的相关性并不明显。此外,还对湿陷系数与深度的关系进行了散点图分析(如图 4 所示),发现两者之间的相关性同样较弱,特别是在 0~7 m 的深度范围内,湿陷性系数的变化缺乏明显的规律性;而在 7~10 m 的深度范围内,湿陷性系数则相对集中地分布在 0.08~0.12 的区间内。

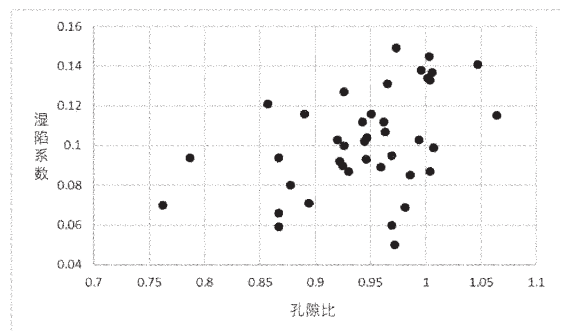


图 2 湿陷系数与孔隙比关系散点图

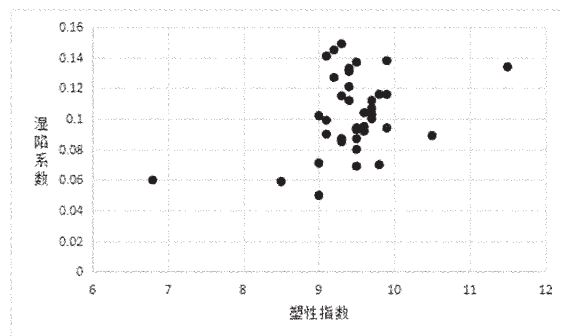


图 3 湿陷系数与塑性指数关系散点图

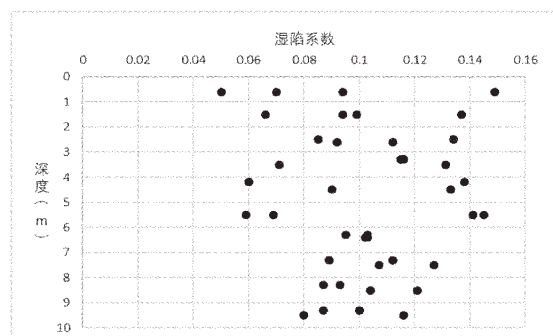


图 4 湿陷系数与深度关系散点图

为了更深入地验证这些观察结果,利用SPSS统计软件进行了进一步的回归分析。在将湿陷性系数与深度、孔隙比、液限、塑限等10余项关键物理指标进行综合分析后,发现湿陷性系数与孔隙比和塑性指数两个指标之间存在显著的相关性(F值为7.841,显著性水平达到0.001),回归模型如式(3)所示。

$$\delta_{si} = -0.195 + 0.169e + 0.015Ip \quad (3)$$

基于这一回归模型,可得出以下结论:随着孔隙比和塑性指数的增大,湿陷性系数也会呈现出相应的增大趋势。这一发现为深入理解沙湾翠山黄土湿陷性的物理机制提供了重要的理论依据。

2 湿陷性处理方法

针对沙湾黄土的物理力学特性及其湿陷性特征,可采纳强夯处理、预浸水法以及垫层法等手段来对地基进行有效处理。

一是强夯法。一次开挖预留一定的强夯沉降量,对基础土进行强夯。主夯夯击能为8000 kN·m,分两遍进行,加固夯击能4000 kN·m,第3遍采用原点加固布置方式,加固夯采用2000 kN·m夯能满夯一遍。强夯的有效处理深度达到6 m,在有效深度内,土的湿陷系数均应小于0.015,承载力大于200 kPa。

二是预浸水法。基础开挖成形后通过现场试

坑浸水试验确定浸水时间、耗水量和湿陷量等。基坑浸水的水深不小于50 cm,连续浸水时间以湿陷变形最后5 d的平均湿陷量小于1 mm/d控制。浸水结束后,重新评定地基土的湿陷性,并用灰土处理上部。

三是垫层法。根据湿陷性黄土场地的自重湿陷量计算,基底以下换填厚度为6 m时才能满足湿陷余量不大于200 mm的要求。换填采用3:7灰土垫层,压实系数不小于0.97。

3 结语

本研究针对新疆沙湾翠山黄土进行了详尽的工程地质特性分析,翠山黄土展现出强烈的湿陷性特征,对工程建设构成显著挑战。通过深入分析,研究发现湿陷性系数与孔隙比之间存在显著正相关关系。研究不仅深化了对沙湾翠山黄土特性的理解,为翠山及周边地区的工程建设提供了坚实的科学支撑,具有重要的实践指导意义和广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 叶玮,桑长青,赵兴有.新疆黄土分布规律及粉尘来源[J].中国沙漠,2003(5):38-44.
- [2] 张锐,郭召杰,张志诚,等.天山北麓晚新生代独山子—安集海褶皱冲断带构造分析及其对河流改道的影响[J].新疆地质,2005(3):215-219.

(责任编辑 赵其芬)

(上接第66页)可回收再利用,抛投物料较传统封堵方式少。

3 应用探讨

根据钢板桩决口封堵技术特点,其既可以应用于堤防决口抢险,也可应用于大江大河堤防险工段防护、中大型水闸维修等水利工程。

钢板桩抗冲能力强,稳定性好,可作为黄河等大江大河堤防险工段维修加固的围堰,合理确定结构形式甚至可作为永久岸坡防护结构。

中大型水闸水深大,受力大,闸门启闭困难,操作不当甚至可能导致水力破坏,钢板桩封堵技术可作为此类水闸维修养护、除险加固等的临时防护措施。

4 结语

堤防决口封堵由于工期要求短、技术含量高、施工组织复杂、安全风险大等特点,一直是抗洪抢险的重点和难点,迅速采取应急措施实现高效封堵决口,是防汛抢险的第一任务。本文提出了采用钢板桩进行决口快速封堵的新技术,对堤防等工程抢险具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 张利荣,项正军,张轩庄,等.洞庭湖团洲垸堤防特大决口高效封堵关键技术[J].中国防汛抗旱,2024,34(10):20-26.
- [2] 林金良.堤防决口封堵关键技术研究[J].中国防汛抗旱,2021,31(11):56-59.
- [3] 陈启刚,张大伟,王忠祥,等.堤防溃口水流特性与封堵技术研究进展[J].中国防汛抗旱,2021,31(8):1-6.

(责任编辑 李浩)