

引黄济青渠首沉砂池黄河砂理化特性研究

刘恒洋¹, 夏泽桓², 于航¹

(1.山东省水网运行调度中心鲁北分中心, 山东 滨州 256600; 2.山东航空学院, 山东 滨州 256600)

【摘要】针对引黄济青渠首沉砂池存在年均淤积量大、清淤成本高、占地广等问题,提出“取样-试验测定-特性量化”的技术方法,开展砂的筛分、土的液塑限、土的击实及土的承载比(CBR)四大核心试验。结果表明:该区域黄河砂细度模数介于0.74~0.81之间,属特细砂,含泥量占比17%~22.32%,级配不良;液限32.4%~33.4%、塑限18.0%~19.0%、塑性指数14.3~14.5,判定为低液限粉质黏土;最佳含水率8.8%~9.2%,最大干密度1.74~1.77 g/cm³,击实特性与低液限粉质黏土契合;纯砂掺入5%生石灰后,贯入量2.5 mm时CBR值达16.9%,符合公路路基填料标准。

【关键词】黄河砂;沉砂池;理化特性;资源化利用

【中图分类号】TV673.1

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-02-0045-03

Study on Physical and Chemical Properties of Sediment in the Head Silt Basin of Yellow River Diversion to Qingdao Project

LIU Hengyang¹, XIA Zehuan², YU Hang¹

(1. Lubei Branch, Water Grid Operation and Dispatching Center of Shandong Province, Binzhou, Shandong 256600, China; 2. Shandong University of Aeronautics, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: The head silt basin of the Yellow River Diversion to Qingdao Project features large annual siltation volume, high dredging cost and extensive land occupation. Adopting the technical route of sampling experimental determination property quantification, this study carries out four core tests including sediment sieve analysis, liquid and plastic limit test, compaction test and California Bearing Ratio (CBR) test. The results show that the fineness modulus of local Yellow River sediment ranges from 0.74 to 0.81, belonging to superfine sand with a silt content of 17%~22.32% and poor gradation. The liquid limit is 32.4%~33.4%, plastic limit 18.0%~19.0%, and plasticity index 14.3~14.5, which is classified as low-liquid-limit silty clay. The optimum moisture content is 8.8%~9.2% and the maximum dry density is 1.74~1.77 g/cm³, with compaction characteristics consistent with low-liquid-limit silty clay. After mixing 5% quicklime into pure sediment, the CBR value reaches 16.9% at a penetration of 2.5 mm, complying with the specification requirements for highway subgrade filling materials.

Key words: Yellow River sediment; Silt basin; Physical and chemical properties; Resource utilization

引黄济青工程是山东省跨流域调水的核心枢纽,为胶东5市水资源安全提供了重要保障。但受黄河水含砂量高的特性影响,渠首博兴县沉砂池年均淤积泥砂30万~50万m³,累计占用土地3.6km²,长期面临“清淤成本高、堆放占地多”的双重压力。为系统治理泥砂,推动资源化利用,开展其基础理化特性研究尤为必要。

该研究首先获取具有代表性的黄河砂样品,然后依据相关标准开展砂的筛分、土的液塑限、

土的击实、土的承载比(CBR)四大核心试验,系统测定引黄济青渠首沉砂池黄河砂核心理化参数,分析各理化特性的内在规律,为后续资源化利用提供基础支撑。

1 样品采集

取样点位于博兴县打渔张引黄闸下游沉砂

收稿日期:2025-09-18

作者简介:刘恒洋(1988—),男,工程师

池渠首段,该区域为沉砂池泥砂淤积核心区,淤积厚度均匀,泥砂分选性稳定,具有典型代表性。取样方法采用机械取样法,覆盖沉砂池不同沉积层位及平面位置,确保样品全面反映泥砂整体特性。本次共采集 15 组原始样品,样品质量 ≥ 15 kg,采集后立即用密封塑料袋封装,避免水分流失与外界杂质混入,保障样品真实性。

2 试验方法与结果

2.1 砂的筛分试验

依据《建设用砂》(GB/T 14684—2022),测定黄河砂颗粒大小分布特征,计算细度模数,分析颗粒级配规律与含泥量水平。

试验步骤:取烘干后样品 2 000 g,用木碾碾散黏结颗粒,确保无粒径 >4.75 mm 结块。用人工四分法取样品质量 500 g,按筛孔从大到小(4.75~0.075 mm)叠放筛组,将样品置于顶层筛,加盖后放入摇筛机,摇筛 10 min,取出筛组,从顶层开始依次手工轻叩筛子(每筛 30 s),至每分钟筛下量 \leq 筛余总质量的 1% 为止。

15 组样品筛分试验关键指标统计结果见表 1。

表 1 筛分试验关键指标统计结果

统计指标	数值范围
细度模数(Mx)	0.74~0.81
4.75 mm 累计筛余/%	0.42~0.58
2.36 mm 累计筛余/%	2.1~3.48
1.18 mm 累计筛余/%	3.84~5.02
0.6 mm 累计筛余/%	8.74~10.98
0.3 mm 累计筛余/%	19.84~21.62
0.15 mm 累计筛余/%	39.7~43.1
<0.075 mm 颗粒占比/%	17~22.32

所有样品的细度模数集中在 0.74~0.81 之间,为特细砂。4.75 mm 和 2.36 mm 筛的累计筛余分别为 0.42%~0.58% 和 2.1%~3.48%,均处于较低水平,说明泥砂中粗砂颗粒含量较少,颗粒级配不良;小于 0.075 mm 颗粒占比为 17%~22.32%,含泥量较高,这与黄河水高含砂的天然特性吻合。

2.2 液塑限试验

依据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)中的液限塑限联合测定法,测定黄河砂的液限(ω_L)、塑限(ω_P)及塑性指数(I_P),明确泥砂塑性特性参数。

试验步骤:取 600 g 以上质量的烘干样品,过

0.5 mm 筛,取筛下样品分 3 组,每份 200 g,分别加水调至接近塑限、中间状态、接近液限。将调配后的样品密封后置于恒温恒湿箱,闷土 24 h,确保水分均匀分布。闷土结束后,将每个梯度的土样揉匀,填入试杯,刮平表面,避免气泡。将锥尖对准样品中心,释放圆锥自由下落 5 s 后读数;测试后取锥入点附近样品 10 g,用烘干法测含水率。

15 组样品液塑限试验关键指标统计结果见表 2。

表 2 液塑限试验关键指标统计结果

统计指标	数值范围	平均值
液限(ω_L , 17 mm 锥入深度)	32.4%~33.4%	32.9%
塑限(ω_P , 2 mm 锥入深度)	18.0%~19.0%	18.5%
塑性指数($I_P=\omega_L-\omega_P$)	14.3~14.5	14.4

依据《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007),液限 $\omega_L < 35\%$ 为低液限土,塑性指数 $10 < I_P \leq 17$ 为粉质黏土。此次试验塑性指数 I_P 逐组计算,15 组样品实测范围为 14.3~14.5。该黄河砂液限 $\omega_L=32.9\% < 35\%$,塑性指数 $I_P=14.4$ ($10 < I_P \leq 17$),为低液限粉质黏土。

该黄河砂塑性指数 14.3~14.5,表明其具有一定的黏结性与可塑性,这与泥砂中含有较多黏粒(<0.005 mm)和粉粒(0.005~0.075 mm)密切相关,黏粒和粉粒表面具有较强的吸附能力,能够吸附水分形成水膜,使颗粒间产生黏结力,从而赋予泥砂一定的塑性变形能力;液限作为土样从塑性状态转变为流动状态的临界含水率,该黄河砂液限 32.4%~33.4%,处于较低水平,说明其水分敏感性适中,不易因水分变化产生剧烈的状态转变,这一特性为后续处理中水分控制提供了便利。

2.3 击实试验

依据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)中的击实试验进行,测定黄河砂在不同含水率条件下的干密度,确定最佳含水率与最大干密度。

试验步骤:取烘干样品约 3 000 g,分 5 组按含水率 5%、7%、9%、11%、13% 加水,密封闷土 24 h。将试筒内壁涂凡士林,称取适量样品分层装入试筒(3 层),每层击实 25 次,两层交接面的土进行刨毛,击实过程中控制击锤自由下落,击实完成后,用修土刀取击实后样品中心部位进行含水率测定。击实后称取样品质量,并计算干密度。

15组样品击实试验关键指标统计结果见表3,平均击实关系曲线如图1所示。

表3 击实试验关键指标统计结果

统计指标	数值范围	平均值
最佳含水率/%	8.8~9.2	9.0
最大干密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.74~1.77	1.75

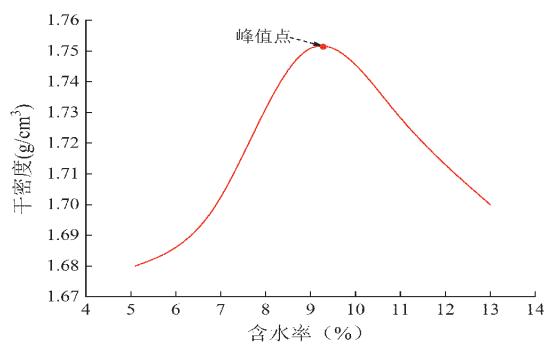


图1 平均击实关系曲线

由表3和图1可知,含水率在5%~9%时,水分在土颗粒表面形成水膜,有效降低颗粒间摩擦力与黏结力,随着含水率升高,水膜润滑作用增强,土颗粒更易重新排列形成致密结构,干密度持续递增;当含水率超过9%后,水膜厚度过大,多余水分填充颗粒间孔隙,使得单位体积内土颗粒质量占比下降,干密度开始递减。该规律与低液限粉质黏土的压实特性高度契合,进一步印证了土的分类判定的合理性。

2.4 土的承载比(CBR)试验

依据《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020)中的承载比(CBR)试验进行,评估黄河泥砂作为路基材料的承载能力,确定其是否满足道路工程的要求。CBR是指试料贯入量达2.5 mm或5 mm时,单位压力对标准碎石压入相同贯入量时标准荷载强度的比值。根据规范,对标准碎石压入2.5 mm以及5 mm的贯入量时标准荷载强度为7 000 kPa、10 500 kPa。

试验步骤:试验开始前需按最佳含水率制备试件,掺水将试料充分拌匀后装入密闭容器或塑料袋内浸润,浸润不少于6 h(砂土)。分层装样击实,泡水测膨胀率,之后进行贯入试验,测记相关数据,计算并取贯入量2.5 mm和5 mm时较大的CBR值作为结果。

经过前期试验,得出黄河泥砂本身的CBR值不符合《公路路基施工技术规范》中对于填料值的要求。故本次试验加入了5%的生石灰,加入

生石灰后试验数据见表4。

表4 土的承载比(CBR)试验数据

荷载测力百分表读数/0.01 mm	单位压力/kPa	百分表读数/0.01 mm		贯入量/mm
		左	右	
211	117	36.2	36.6	0.34
224	323	58.5	58.1	0.55
238	561	100	100.2	1.02
252	768	153.3	153.9	1.53
265	989	204.5	204	2.01
278	1 181	252.5	252.3	2.52
287	1 339	300	300.5	3.02
291	1 387	352.5	352.2	3.56
294	1 450	401.8	401.1	4.01
298	1 499	453.7	453.4	4.55
301	1 561	500.6	501.4	5.01
309	1 673	549.3	550.6	5.55

试验测试数据显示,当贯入深度达2.52 mm时,对应的承载比为 $1\ 181/7\ 000=16.9\%$;当贯入深度为5 mm时,承载比测定值为 $1\ 561/10\ 500=14.9\%$ 。按照《公路土工试验规程》的相关规范要求,由于2.5 mm贯入深度下的承载比数值高于5 mm贯入深度对应的结果,因此本次试验最终采用2.5 mm贯入深度时的承载比作为核心判定指标。该黄河泥沙的承载比最终结果为16.9%,此数值完全达到《公路路基施工技术规范》中针对高速公路及一级公路的下路堤、上路堤、下路床与上路床填料所设定的技术参数标准。

3 结语

文章聚焦引黄济青渠首沉砂池黄河砂淤积与资源化困境,通过标准化取样及四大核心试验,系统揭示其理化特性:判定为特细砂与低液限粉质黏土,明确颗粒级配、塑性、击实等关键参数,且经5%生石灰改良后满足公路路基填料要求。该研究对推动流域生态保护与高质量发展、实现泥沙“变废为宝”的可持续利用具有重要价值。

参考文献

- [1] 郑飞,张伟.引黄济青工程渠首沉砂池可持续利用的探索与实践[J].水电站机电技术,2023,46(05):106-108.
- [2] 国家发展和改革委员会,水利部.黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要[S].北京:中国计划出版社,2020:18-20.
- [3] 王虎,王松.黄河泥沙资源化利用的系统性策略与工程实践路径研究[C].2025(第四届)城市水利与洪涝防治学术研讨会论文集,2025:246-251.

(责任编辑 崔春梅)