

黄河下游引黄涵闸地基液化处理方式探讨

李英帅, 梁士鹏

(山东黄河勘测设计研究院有限公司, 山东 济南 250013)

【摘要】 在地震作用下, 水闸发生破坏后果严重, 因此, 在水闸闸址选择和建筑物结构安全设计方面要特别重视并采取必要的措施。黄河下游冲积平原地质条件具有一定程度的相似性, 黄河两岸代表性土质表现为层淤层砂, 高压缩、易液化。采用围封桩穿过液化土层, 以此来处理地基液化问题, 此方法相对经济, 适合黄河下游的工程条件。围封采用“格栅式”布置, 将地基分隔成若干块独立又相联系的矩形单元。“格栅式”布置最大限度地利用了原土, 充分发挥柔性桩的变形协调性能, 保证底板和土体接触。

【关键词】 引黄涵闸; 地基液化处理; 围封桩; 格栅式围封

【中图分类号】 TV553

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2025)-10-0011-03

Discussion on Foundation Liquefaction Treatment Methods for Diversion Sluices in the lower Yellow River

LI Yingshuai, LIANG Shipeng

(The Yellow River Survey, Design and Research Institute Co., LTD., of Shandong Province, Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: The damage to sluices under earthquake can lead to serious consequences. Therefore, special attention should be paid to the selection of sluice sites and the design of structural safety of buildings, and necessary actions should be taken. The geological conditions of the alluvial plain in the lower Yellow River have a certain degree of similarity, with the representative soil on both banks of the Yellow River characterized by alternating layers of silt and sand, high compressibility, and easy liquefaction. The method of using enclosure piles to penetrate the liquefied soil layer to deal with foundation liquefaction is relatively economical and suitable for engineering conditions in the lower Yellow River. The enclosure adopts a "grid-type" layout, dividing the foundation into several independent yet interconnected rectangular units. This "grid-type" layout maximizes the use of original soil, gives full play to the deformation coordination performance of flexible piles, and ensures the contact between the bottom plate and the soil.

Key words: Yellow River diversion sluice; Foundation liquefaction treatment; Enclosure pile; Grid-type enclosure

山东黄河引黄涵闸共计 64 座, 目前实际使用的有 61 座, 陶城铺东闸、纪冯闸、东关闸因为渠道不配套未启用。山东黄河引黄涵闸始建于 20 世纪 70~90 年代, 分布于山东黄河两岸, 上至菏泽市东明县的闫潭村, 下至东营市河口区孤岛镇, 除刘庄、位山、打渔张、王庄、西双河引黄涵闸为开敞式结构外, 其余引黄涵闸均为涵洞式结构。

目前, 山东省内现有引黄涵闸灌溉和供水范围已达 11 个市 68 个县(市、区), 此外, 引黄涵闸还把黄河水送到了河北、天津等地。2006 年以来

全省年平均引用黄河水量为 71.3 亿 m^3 , 最大引黄水量达到 88.50 亿 m^3 , 农业灌溉面积达 200 多万公顷。引黄供水事业的发展, 极大改善了沿黄地区农业生产条件。据推算, 自 1980 年以来, 山东省农业引黄灌溉年增产效益达 30 多亿元。引黄济津、引黄济青、引黄入卫大大缓解了天津、青岛、河北等地区的水资源紧张局面, 使白洋淀地区的生态得以恢复。因此, 引黄工程已成为山东省的生

收稿日期: 2025-03-17

作者简介: 李英帅(1986—), 男, 高级工程师

命线工程,而涵闸本身的安全问题至关重要。

1 地基液化特征及危害

1.1 地基液化特征

地基液化是指饱和沙土在动力荷载下颗粒结构破坏,孔隙水压力骤然上升,有效应力骤然减小并趋近于零,导致土体强度丧失,土体呈液体状态的现象。涵闸地基中的可液化土层,应查明其分布范围,分析其危害程度,根据工程实际情况,选择合理的工程措施,避免或减轻地基液化的发生。

在引黄涵闸设计过程中,水闸的地基处理一直是设计人员关注的重中之重。黄河下游冲积造成松散的粉土、粉质黏土及粉砂层,平均粒径在0.062~0.3 mm之间,不均匀系数小于3,属于易发生液化的沙土,地下水埋深一般在2~3 m之间,因此,在地震烈度大于VI度的地区,极易发生沙土液化,从而对建筑物的整体稳定产生不利影响。

1.2 地基液化处理的必要性

国内外震害经验表明,有的建筑物震害是地震动效应直接引起的结构破坏,有的则是地震引起的场地破坏和地基失效引起或加剧的建筑物破坏,如地震引起的地震断裂将建筑物错断,地震引起崩塌、滑坡导致建筑物被砸毁或涌浪引起

漫坝事故,大面积砂土液化和不均匀沉陷引起建筑物倾斜或倒塌等。在地震作用下,水闸发生破坏后果严重,因此,现阶段的水闸设计,要在闸址选择和建筑物结构安全方面特别重视并采取必要的措施。华北平原区发生的几次大地震均发生过严重的沙土液化,菏泽(1937年7级,1948年5.5级,1983年5.9级)、渤海湾(1969年7级)和唐山(1967年7.8级)的地震灾害,均对黄河两岸堤防基础产生了不同程度的破坏,使其出现了裂缝、喷水冒沙、管涌等现象。

近年来,全国各地地震频发,对引黄涵闸的地基液化问题进行处理,对于提升黄河下游引黄涵闸的安全性具有重要意义。因此,今后对黄河下游引黄涵闸的设计及改建,必须重视沙土液化问题。

2 地基液化处理方案的选定

2.1 地基液化处理方案

地基抗液化加固处理方案的确定应考虑技术经济比较后选定。可用于抗液化加固处理的方式有置换全部液化土层、围封、强夯、挤密碎石桩、沉井基础等方法。

各种抗液化加固处理方式都有其适用范围及优缺点,具体见表1。

表1 涵闸地基抗液化加固处理方式比较表

处理方案	适用条件	优点	缺点
液化土层置换	液化土层厚度小于等于3.0 m	施工简单;能够很好地解决浅层土的液化问题	置换土层较厚时不经济;受到土料来源、弃土场等条件限制
液化土层围封	围封结构深度可以进入不液化土层	可改变薄弱区的受力性质和排水性,约束围封地基土的剪切变形	围封质量不易保证
强夯法	颗粒粒径大于0.05 mm的粗颗粒土	施工工艺简单;适用土质范围广	施工噪音大,公害显著;深层难于达到压密的效果
挤密碎石桩	适用于挤密松散的砂土、粉土、素填土和杂填土地基	提高地基土密实度,排水减压	污水排放量大;厚软地基土中效果较差
沉井基础	上部荷载较大,在一定深度下有较好的持力层	处理深度大、整体性强、稳定性好	施工期长,施工技术要求高,建造成本高

2.2 黄河下游的地基液化处理方式

黄河下游冲积平原地质条件具有一定程度的相似性,黄河两岸代表性土质表现为层淤层砂,高压缩、易液化。以2019年改建完成的德州潘庄闸为例,水闸闸室及涵洞段落基础土层分布如图1所示。

由图1可知,④层液化土层埋深在潘庄闸结

构以下厚度超过6 m,且该土层遍布整个水闸基础,如采用土层置换工作量极大,造价高,极不经济;潘庄闸工程紧靠潘庄村,距离仅400多米,村庄居民众多,采用强夯法产生的噪音显然会对居民正常生活造成极大困扰,故不考虑强夯法作为处理潘庄闸地基液化问题的方法;挤密碎石桩砂石用料大,对砂壤土地基处理效果并非最优选

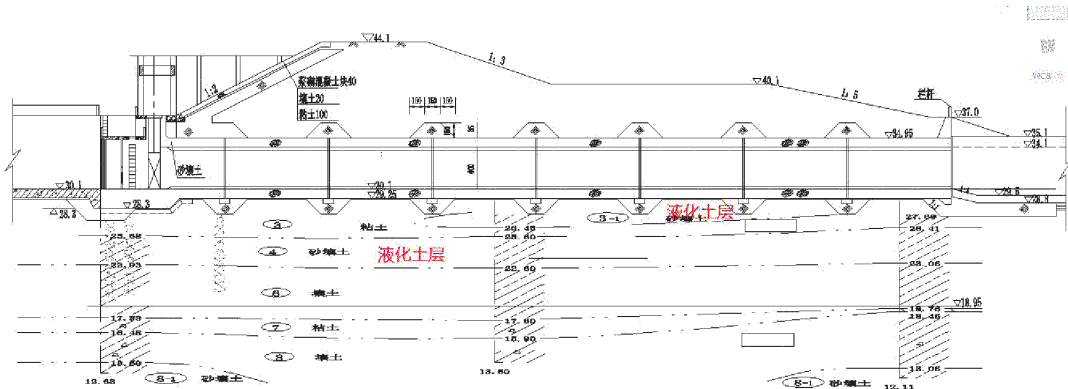


图1 潘庄闸基础土层分布图

择;沉井基础造价高,工期长,施工难度大,且基础勘探范围内无较好持力层,沉井基础法并不适合黄河工程。故此工程设计中采用围封桩穿过液化土层,以此来处理地基液化问题。此方法相对经济,适合黄河下游的工程条件。现阶段正在实施的“黄河下游引黄涵闸改建工程”也普遍采用了此种方法来处理涵闸地基液化问题。

围封桩的设计可结合涵闸的复合地基处理,根据地基处理要求不同,可选用高压旋喷桩、水泥土搅拌桩等不同桩型。围封法可以显著降低地震造成的基础液化,对消除或减轻砂基液化破坏和防止软弱粘土坝基的塑性流动都较为有效,在水工建筑物的软基处理中应用广泛。结构基础整体围封理论上也可达到处理地基液化的目的,但是围封范围过大,地基液化处理的效果难以保证,而且地震作用下桩体所受剪应力可能超过桩体的抗剪强度。因此,引黄闸围封桩的布置,采用了“格栅式”围封。围封采用“格栅式”布置,将地基分隔成若干块独立又相联系的矩形单元。“格栅式”布置最大限度地利用了原土,充分发挥柔性桩的变形协调性能,保证底板和土体接触。

3 围封法的特点

采用围封桩处理地基液化问题,此方法相对经济,适合黄河下游的工程条件,经过分析,认为本方法具有以下特点。

1)经过数学模型分析(由于篇幅所限,本文不再详述模型演算过程),围封法可以有效减小因动力荷载作用导致的孔隙水压力上升,并且可以有效束缚地基内的砂土由于液化而侧向变形,减小液化的危害,效果十分明显。2)围封面积大小直接影响地基液化问题的处理效果,采用格栅

式围封效果明显好于地基整体围封。大面积围封情况下动力计算结果显示,液化土层还处于接近液化状态,工程仍存在安全隐患。而采用格栅式围封后,围封内土体动峰值摩擦角与峰值摩擦角之比明显低于大面积围封,工程安全得到了保障。3)格栅面积可以通过分析计算进行优化,综合考虑液化土层性质、地震设防烈度、围封桩体稳定、工程经济性等多项因素来确定。第四,围封法需要考虑围封桩桩体本身的稳定,无论采用何种桩型,桩体抗剪强度在地震作用下所受剪应力应处于安全范围内。

4 结语

近年来,由于河道冲刷、河势调整、滩面淤积、引水渠道不配套等因素影响,山东黄河引黄涵闸引水条件发生了变化,部分河段涵闸引水困难,特别是每年3、4月份的春灌时节,黄河来水量小,水位低,部分河段引黄涵闸出现了无法正常引水的情况,影响了农业生产适时灌溉。2021年12月21日,国家发改委批复了《黄河下游引黄涵闸改建工程可行性研究报告》,山东黄河有22座涵闸列入“黄河下游引黄涵闸改建工程”,改建均采用拆除重建方式。

黄河下游引黄涵闸改建工程正处于工程施工阶段,设计中多数涵闸都采用了围封法作为应对地基液化问题的处理方案。通过工程分析与实践,可以进一步改进围封法的设计参数与施工工艺,继续增强此方法在应对引黄涵闸地基液化问题的效果,从而提高工程建设的安全性,最终为黄河流域生态保护和高质量发展提供有力的支持。

(责任编辑 赵其芬)