

新建桥梁对现有渠道边坡的稳定影响分析

叶国成, 马利亚

(新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 跨渠桥梁下部结构施工过程中将会对附近土体产生扰动, 从而引起土体结构内力变化和变形, 对渠道自身及运行的安全性产生影响。依托新疆坎乡至伊泰煤矿矿区跨渠桥梁工程, 采用有限元仿真分析, 对桥梁桩基施工过程及地震工况下桥梁运行期对周围土体内部应力分布及位移规律进行分析, 并在此基础上与渠道衬砌混凝土抗拉强度允许值及边坡稳定进行对比, 为桥梁施工期渠道安全评价提供技术支持。研究结果可为今后类似工程提供对比参考。

关键词: 跨渠桥梁; 渠道边坡; 边坡稳定

中图分类号: U442.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)10-0104-05

Analysis on Impact of New Bridges on Stability of Existing Channel Slopes

YE Guocheng, MA Liya

(Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Urumqi 830000, China)

Abstract: During the construction of the substructure of the cross-channel bridge, the disturbances will be caused to the nearby soil, thereby causing the changes in the internal forces and deformation of the soil structure, which affects the safety of the channel itself and its operation. Relying on the cross-channel bridge project from Kanxiang to Yitai Coal Mine in Xinjiang, the finite element simulation analysis is adopted to analyze the internal stress distribution and displacement laws of the surrounding soil during the construction process of bridge pile foundations and the operation period of the bridge under seismic conditions. On this basis, a comparison is made with the allowable tensile strength of the channel lining concrete and the stability of the slope to provide the technical support for the safety assessment of the channel during the bridge construction period. The research result can provide a comparative reference for similar projects in the future.

Keywords: cross-channel bridge; channel slope; slope stability

0 引言

在现代交通网络的建设与发展中, 跨渠桥梁作为连接两岸、促进区域间交流与经济发展的关键基础设施, 扮演着至关重要的角色。然而, 跨渠桥梁的施工过程可能对既有渠道的安全产生潜在的影响。坎乡渠道作为水资源调配、农业灌溉及防洪排涝的重要系统, 其安全稳定直接关系到沿线地区的经济社会发展与人民生命财产安全。跨渠桥梁的建设, 从设计到施工每一个环节都需要考虑可能会对渠道结构、水流状态、水质安全乃至生态环境产生影响的因素, 确保渠道的整体安全性能。

因此, 深入探究跨渠桥梁施工对渠道安全的具

体影响, 提出科学合理的施工策略与防护措施, 对于保障渠道安全稳定运行、促进区域经济社会可持续发展具有重要意义。研究旨在通过有限元软件分析跨渠桥梁施工对渠道安全的影响, 为相关工程实践提供理论依据与技术指导, 以期在保障交通基础设施建设的同时, 兼顾渠道安全与生态环境保护^[1]。

1 工程概况

新疆伊泰煤矿工程对外交通主要为坎乡-伊泰煤矿矿区公路, 该公路跨渠道交通桥于2008年建成, 桥梁位于新疆伊犁哈萨克自治州伊宁市坎乡南侧约3.5 km处, 跨度为3×8 m旧桥现状见图1, 荷载汽—20级, 不满足现有煤矿安全运输的要求。为确保煤矿顺利投产, 需新建一座跨越渠道的交通桥, 以满足煤矿设备及物资运输要求。新建桥梁位于已有桥梁东侧, 临近现状桥梁布置。

收稿日期: 2025-01-06

作者简介: 叶国成(1996—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事桥梁、道路设计工作。



图1 旧桥现状图

工程区域位于乌孙山前缓倾斜砾质平原区,地势南高北低,出露地层主要为大厚度的第四系上更新统冲洪积含土砂砾石层,局部表部分布厚0.1~0.3 m厚的风积黄土层。

2 桥梁方案

2.1 设计原则

坎乡渠道作为当地至关重要的水资源调配系统,已稳定运行多年,渠道断面见图2。为确保跨渠桥梁在施工及后续运营过程中不会对渠道的结构安全产生负面影响,渠道管理的相关部门在跨渠桥梁的规划初期阶段,便明确列出了以下要求^[2]:

(1)桥梁布置方案的制定需严谨考虑,确保在不影响渠道水流顺畅及沿线建筑物稳定运行的前提下,科学合理地拟定桥位,以最大化地减少对周边环境的干扰。

(2)桥梁的整体设计应避免对渠道水流造成阻碍,确保渠道功能的正常发挥。

(3)在主梁施工的关键阶段,需严格遵守施工规范,严禁在渠道内部搭建任何形式的施工支架,以防对渠道结构造成不必要的损伤或影响渠道的正常使用。

(4)桥梁施工及运营期间,应采取有效措施,严格监控水质变化,确保施工活动及桥梁运营不会对渠道内的水质产生任何不良影响,保护水资源的清洁与安全(见图2)。

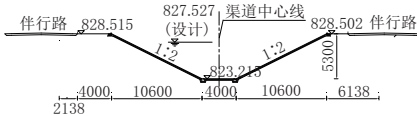


图2 渠道断面图(单位:mm)

2.2 方案比选

在综合考虑桥位处渠道断面的具体布置形式、地质条件、水流特性、交通需求、环境影响以及经济成本等多种因素后,筛选出几种适宜的桥型方案。

方案1:在旧桥右侧新建桥梁跨越渠道,新旧桥

净距约为15 m,新桥上部采用1孔40 m预应力混凝土T梁,下部采用桩柱式桥台,桥面高程抬高0.8~1.0 m。40 m跨径预应力混凝土T上部结构建筑高度约2.6 m(梁板高250 cm+8~10.5 cm桥面现浇层+8桥面铺装层)。渠道上口宽度约25 m,此方案保证了新桥桥台与渠道上口存在7.5 m的安全距离,钻孔桩施工对渠道影响较小。同时,此方案采用单跨桥梁,施工工期将不受渠道输水的影响。

方案2:在旧桥右侧新建桥梁跨越渠道,新旧桥间净距约为15 m,新桥上部采用2孔16 m空心板,下部采用桩柱式墩、台,桥面设计高程与旧桥保持一致。桥梁及桥头引道工程量较小,造价相对较低。缺点是此方案采用两跨桥梁,桥梁墩台施工会破坏渠道全断面,施工工期受渠道输水的影响,后期渠道恢复工程量较大。

方案3:改造旧桥。收集旧桥设计图纸,通过对旧桥的结构验算及桥梁检测评估,确定旧桥的改造方案。若下部墩台及基础能满足后期使用要求,则利用原有教台,更换梁板,重做桥面系。若墩台不可用,则全桥拆除,原位重建2~16预应力后张空心板桥,墩台采用柱式,桩基础。该方案的优点是,原位建桥路线总体线型较好,无新增占地,工程量较小。缺点是,拆除原桥施工期间无便桥保通,对渠道破坏较大,施工工期受输水的影响。

在全面深入对方案进行对比分析后,充分权衡了各种方案的优劣与可行性,最终采用1孔40 m预应力混凝土T梁跨越渠道方案。该方案经过严格的技术审查后,获得了相关水务管理单位正式批准与肯定。

2.3 桥梁方案

在渠道的左侧,渠堤外侧设有一条宽度为4.5 m的巡渠道路;而在渠道的右侧,渠堤外侧修建了一条宽度达到7.5 m的伴渠道路。

桥梁横跨该渠道时,现有的巡渠道路被阻断。为了确保巡渠道路的连续通行,已在桥梁的上游与下游区域分别规划并设计了绕行路径。桥梁平面布置图见图3。

桥梁桥面宽6.75 m,横断面布置为:0.5 m(防撞护栏)+5.75 m(车行道)+0.5 m(防撞护栏)=6.75 m;桥面车行道设1.5%双向横坡。一幅桥梁片数为3片,T梁梁底宽0.6 m,两侧悬臂翼缘板宽0.825 m;T梁腹板采用变截面形式,跨中腹板厚度0.2 m;两端腹板厚度0.6 m。桥梁典型横断面布置图见图4。桥

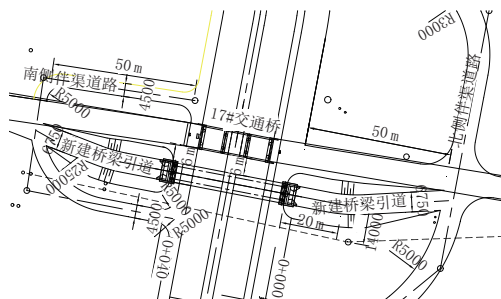


图3 桥梁平面布置图

梁下部结构采用桩柱式桥台,桩基直径为1.5 m,桥台一般构造图见图5。桥台桩基边缘距离渠道边坡最小距离为6 m。

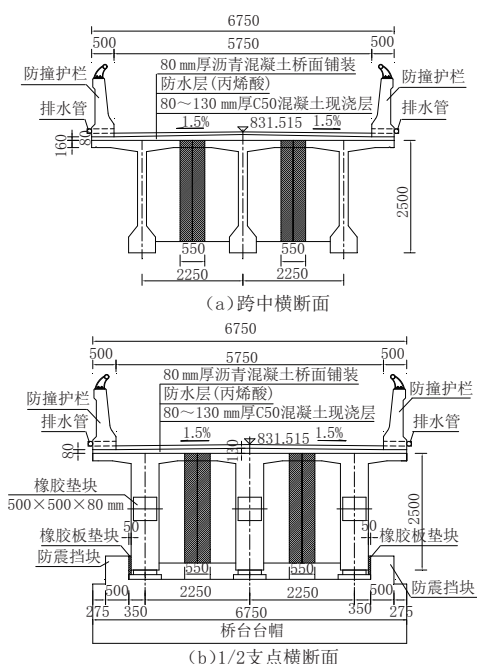


图4 典型横断面图(单位:mm)

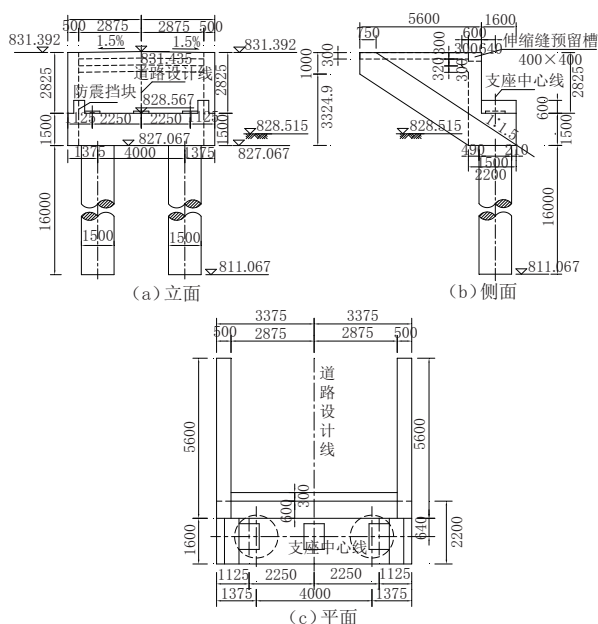


图5 桥台一般构造图(单位:mm)

3 渠道安全评价分析

3.1 基于有限元强度折减法的边坡稳定分析

强度折减有限元法通过逐步减小有限元分析中边坡岩土体的抗剪强度参数(包括黏聚力 c 和内摩擦角 φ),直至观察到破坏迹象,从而计算出相应的安全系数^[3]。原始的岩土体强度参数 c 和 $\tan\varphi$ 同时除以一个折减系数 K ,得到新的参数 c' 和 $\tan\varphi'$, c' 值、 $\tan\varphi'$ 值分别由式(1)和(2)求得^[4]。这些新的参数随后被用作下一次有限元分析的输入值。当分析结果满足预设的临界破坏条件时,此时的折减系数 K 即被认定为该边坡的稳定安全系数^[3]。

$$C' = \frac{C}{K} \quad (1)$$

$$\tan\varphi' = \frac{\tan\varphi}{K} \quad (2)$$

文中采用的是 $M-C$ 弹塑性本构模型。摩尔库伦准则是一种屈服准则,它侧重于最大剪应力的考虑,并且同时兼顾了正应力或平均应力的效应。在材料达到屈服破坏的临界点时,剪切面上的剪应力与正应力的比值将会是最大的。根据摩尔库伦准则,材料的破坏机制主要是剪切破坏,即:

$$\tau = c + \sigma \tan\varphi \quad (3)$$

当前边坡失稳的主要判断依据包括以下几种。

(1)基于塑性区的扩展情况。结合有限元方法和图形展示结果,通过观察广义塑性应变和塑性区的扩展来评估边坡的稳定性。当塑性区贯穿整个滑动面时,意味着滑动面上的各点已达到力学平衡状态。然而,滑动面上塑性区的贯通仅是边坡破坏的必要条件,而非充分条件。边坡内部塑性区的分布还会受到坡体材料的弹性模量和泊松比等因素的影响,因此,仅凭塑性区的扩展情况来判断边坡稳定性存在一定的不确定性。

(2)依据特征部位位移的突变。通过选取边坡内不同位置的特征点,并观测这些特征点的位移变化过程,可以反映边坡的变形情况。当边坡即将达到破坏状态时,特征点的位移会突然增大,出现明显的突变。

(3)依据有限元计算的不收敛性。当坡体达到临界破坏状态时,坡体的位置和塑性应变都会发生突变,导致有限元计算无法满足力的收敛标准和位移的收敛标准^[5]。因此,将有限元计算的不收敛性作为边坡失稳的判断依据是可行的^[6]。

主要采用有限元计算的收敛性和特征部位位移

的突变作为边坡失稳的主要判断依据,同时将塑性区的贯通作为辅助判断依据。

3.2 计算模型及参数

计算模型如图 6 所示,土体采用摩尔-库伦本构、桥梁桩基采用弹性本构。模型网格采用三角形与四边形混合式网格。施工工况模型单元 2 482 个,节点数为 2 517 个。地震工况模型单元 1 495 个,节点数为 1 563 个。模型底部施加两向固定约束,左右两侧施加法向约束^[7]。根据地质勘查提供岩体力学参数建议值,各指标见表 1。

表 1 地勘土体参数表

岩性	弹性模型/ MPa	泊松比	黏聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	容重/ (kN·m ⁻²)
砾石	265.1	0.23	0	37	22.1
桩基混凝土	21 000	0.16	1.05	54	25

根据《中国地震动参数区划图》(GB—18306)的规定,本桥区域地震基本烈度为Ⅷ度,对应地震动峰值加速度为 0.2g(对应的地震基本烈度为Ⅷ度)。

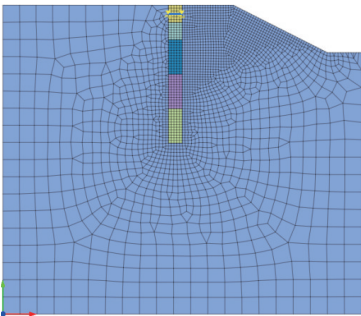


图 6 计算模型图

泥浆护壁力以水压力荷载的形式添加在桩基边坡及其底部。泥浆护壁力密度为 1.3 g/cm³,根据静水压力计算公式对不同开挖进深进行荷载的施加。由梁端支点反力表(见表 2)计算上部结构恒载传递至单桩为 1 502.55 kN。

表 2 一片梁梁端支点最反力

部位	恒载/kN
中梁反力	998.3
边梁反力	1 003.4

地震工况采用拟静力法,对模型施加渠道滑动方向的水平地震力。水平地震力的计算参考《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386—2007),水平地震力的大小为 0.05G(G 为模型自重)。计算工况见表 3。

桩基施工过程中,共分五级开挖。为了更好的展示对渠道的安全影响,在渠深范围内进行两次开挖,渠道底面以下至桩基底部分进行三次开挖。一级开挖进深 2 m,二级开挖进深 2 m、三级开挖进深

表 3 工况荷载组成表

工况	荷载	渠道边坡安全系数	桩基边坡安全系数
桩基施工工况 (渠道非运行期)	土体自重、泥浆护壁力	1.15~1.10	1.10~1.05
桩基施工工况 (渠道运行期)	土体自重、泥浆护壁力、静水压力	1.15~1.10	1.10~1.05
桥梁运行期渠道地震工况(渠道非运行期)	土体及桥梁自重、水平地震力	1.10~1.05	1.05~1.00
桥梁运行期渠道地震工况(渠道运行期)	土体及桥梁自重、水平地震力、静水压力	1.10~1.05	1.05~1.00

4 m、四级开挖进深 4 m、五级开挖进深 4 m。

3.3 计算结果分析

桩基施工工况渠道非运行期各级开挖计算结果云图(综合位移云图、最大主应力云图及等效剪切应变云图)见图 7~图 9。

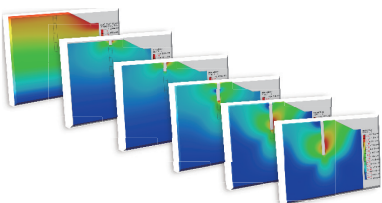


图 7 综合位移云图

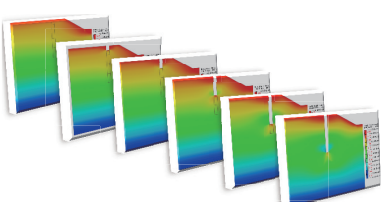


图 8 最大主应力云图

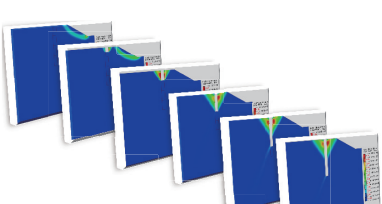


图 9 等效剪切应变云图

从最大主应力云图计算结果可看出,在天然状态下,渠道边坡表面为压应力。桥墩在施工过程中,坡体内应力场不断变化,但渠道附近的应力并无明显变化。施工过程中,渠道附近也并未出现应力集中现象。渠道表面出现最大主应力为并未超过其允许的抗拉强度。随着边坡逐级开挖,渠道边坡最大主应力随岩体深度的增加而增大^[8],大主应力分布情况符合一般规律性。

由于开挖卸荷的影响,开挖桩基边坡向外变形,

底部平台产生一定回弹变形。开挖变形产生的极值为3.6 mm,对开挖边坡影响可忽略。

随着桩基的开挖,由等效剪切应变图可知渠道边坡在天然状态下就存在一定塑性屈服区。在桩基开挖过程中,开挖坡脚处逐渐展开一定范围的塑性屈服区。由初始阶段及一级开挖边坡的等效剪切应变图可知,搜索的危险潜在滑动面的方向由渠道转至桩基方向。经计算,各阶段安全系数皆满足规范要求,因此桩基的开挖并不影响渠道的稳定。施工期渠道运行期与非运行期计算结果见表4。

表4 施工期各阶段应力-变形计算结果统计表

工况	应力/kPa		位移/m		开挖 进深/m
	渠道 运行期	渠道 非运行期	渠道 运行期	渠道 非运行期	
初始阶段	9.34	9.29	0	0	0
一级开挖	9.35	9.16	0.000 5	0.000 4	2
二级开挖	9.44	9.34	0.000 8	0.000 8	2
三级开挖	5.13	5.08	0.000 8	0.000 8	4
四级开挖	4.47	4.46	0.002 2	0.002 2	4
五级开挖	5.34	5.34	0.003 6	0.003 6	4

各阶段安全系数见表5所示,安全系数均能满足相应安全系数标准要求,边坡处于稳定状态。初始阶段安全系数为渠道边坡安全系数,其余计算结果均为桩基边坡安全系数。

表5 施工期各阶段稳定性计算结果统计表

工况	安全系数		开挖 进深/m
	渠道非运行期	渠道运行期	
初始阶段	3.01(渠道边坡)	3.18(渠道边坡)	0
一级开挖	3.03(桥墩边坡)	3.16(桥墩边坡)	2
二级开挖	2.61(桥墩边坡)	2.64(桥墩边坡)	2
三级开挖	2.30(桥墩边坡)	2.31(桥墩边坡)	4
四级开挖	2.26(桥墩边坡)	2.25(桥墩边坡)	4
五级开挖	2.30(桥墩边坡)	2.26(桥墩边坡)	4

桥梁运行期地震工况根据计算结果可知,渠道附近最大主应力为压应力。应力分布情况符合一般

规律。渠道非运行期时,边坡的最大位移为0.9 mm,对边坡影响可忽略。渠道运行时,边坡最大位移为1 mm,对边坡影响可忽略。无论渠道是否运行边坡整体安全系数满足要求。渠道塑性区由坡脚处展开,逐渐扩展至贯通坡顶。地震工况下渠道非运行期南岸渠道安全系数5.49,渠道运行期时安全系数6,皆满足规范要求。

4 结 语

采用二维有限元强度折减法对渠道稳定性进行了计算分析。得到的主要结论如下:

(1)随着桥梁桩基的施工,潜在危险滑动面由渠道方向转至桩基边坡方向。开挖过程中,桩基边坡处于稳定状态,因此桩基的施工全过程并不影响渠道边坡的稳定。

(2)在桥梁运行期的地震工况下,无论渠道是否处于运行期,渠道边坡安全系数都较规范要求有较大富余,因此地震工况下渠道处于稳定状态。桥梁运行期在渠道正常使用工况下亦处于稳定状态。

参考文献:

[1] 王加俊. 高铁桥梁桩基施工对邻近营业线的影响研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2022.

[2] 李琿. 跨南水北调总干渠桥梁的设计与施工[J]. 城市道桥与防洪, 2013(4): 108-110.

[3] 罗堂,何超亮. 强度折减有限元法在边坡稳定性分析中的应用研究[J]. 福建建设科技, 2020(3): 63-64.

[4] 王龙贵. 变幅水位条件下港区陆域高填方地震响应分析及稳定性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.

[5] 梁瑶,赵刚. 确定边坡潜在滑移面的方法研究[J]. 路基工程, 2007(6): 47-48.

[6] 石鑫. 高速公路改扩建路基开挖临空面安全控制标准[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2012, 32(2): 16-21.

[7] 奚灵智,高文杰,杨宇. 软土地区地铁重叠下穿既有隧道减沉桩影响因素研究[J]. 科技通报, 2021, 37(8): 94-99.

[8] 李路,贺超,徐鹏,等. 多因素耦合作用下的边坡滑动机理研究[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(4): 79-84.

~~~~~

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [roadbridgeflood@163.com](mailto:roadbridgeflood@163.com)



• 108 •