

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.06.015

复杂工况下某边坡稳定性分析

董荣强

(国家林业和草原局西南调查规划院, 云南 昆明 650000)

摘要:以某管道迁建工程为例,应用Midas/GTS软件模拟分析给水管道施工过程中边坡土体的应力应变规律和边坡稳定情况,确定了给水管道架设的合理方案。结果表明,边坡安全系数随给水管道支墩间距的增大而减小,不同支墩间距,土体应力应变分布差异较大,但支墩间距对挡墙应力影响较小,当考虑雨水渗流作用时,边坡安全系数大幅减低,为其他类似边坡工程提供了有益的参考。

关键词:边坡稳定;数值分析;雨水渗流

中图分类号:U417.1

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)06-0053-04

0 引言

目前国内外对土坡稳定问题的分析仍广泛采用极限平衡法^[1]。随着计算机技术的高速发展和有限元分析理论的不成熟,采用有限元方法处理工程问题已经成为一种趋势。Midas/GTS是针对岩土领域结构分析开发的有限元分析软件,提供了多样化的建模方式和强大的分析功能,以其卓越的前后处理和较快的分析效率,为广大的岩土工程专业人士所喜爱,在国内外重大隧道、基坑、边坡等工程项目中得到了广泛的应用。Midas/GTS针对边坡稳定分析提供了SAM法和SRM法两种分析方法^[2]。SAM法即极限平衡法,是建立在滑动面应力分析基础上的边坡稳定有限元分析方法。SRM法为有限元极限强度折减法,是将边坡强度参数黏聚力 c 和内摩擦角 ψ 同时除以一个折减系数 F 得到一组新的 c' 和 ψ' 值,然后作为一组新的材料参数输入再进行试算,当计算不收敛时,对应的 F 值则被称为边坡的最小安全系数。此时边坡达到极限平衡状态,发生剪切破坏的同时也可能得到临界滑动面^[3]。

本文采用有限元分析软件Midas/GTS对边坡稳定性和挡墙自身强度进行数值模拟分析,确保在管道施工和运营过程中的边坡安全,并优化管道施工方案,确定合理的管道支墩间距。

1 工程概况

某交通枢纽工程,在基坑土石方开挖前须对场

内给水管道进行迁建和转移。按照管道迁建设计方案,给水管道将通过高速公路路堑边坡破顶架设,边坡断面和管道架设设计方案见图1。

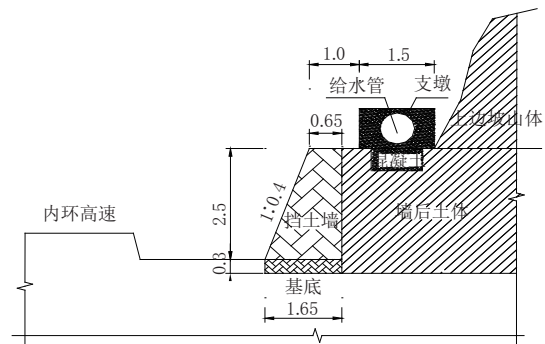


图1 边坡断面构造图(单位:m)

由于给水管道自重较大,在施工过程中或者管道运营中可能导致挡土墙破坏、边坡失稳,因此需要对此边坡进行稳定性分析,确保边坡稳定和给水管道的安全。此外,根据给水管道施工方案,在保证边坡稳定的前提下,还需要确定混凝土支墩的合理间距,从而降低混凝土支墩施工和管道预制成本,在确保结构安全的同时达到理想的经济效果。

2 数值模拟分析

2.1 分析模型的建立

模型采用位移约束的边界条件,根据坡体实际情况,将模型的左右边和底边界固定。

荷载工况考虑土体自重作用和给水管道运营阶段最大重力作用,设给水管道支墩间距为 X_m ,则运营阶段管道对坡顶产生的最大均布面压力为:

$$p = \frac{G_w \cdot X + G_c \cdot g}{L \cdot m} \quad (1)$$

式中: G_w 为单位长度给水管道质量; G_c 为支墩质量; g

收稿日期:2022-08-07

作者简介:董荣强(1990—),男,硕士,工程师,从事道桥设计工作。

为重力加速度; L 为混凝土支墩长度; m 为混凝土支墩宽度。

边坡稳定性分析模型采用二维 8 节点的二次积分平面应变高阶单元,划分网格时在边坡附近区域采用网格加密的处理方式,材料的应力-应变关系符合 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型^[4-6]。为了消除边界效应对分析结果的影响,模型尺寸取 11 m×9 m。采用软件提供的 SRM 分析方法,分别取 $X=6$ m、8 m、10 m、12 m、14 m、16 m、18 m、20 m 进行数值模拟分析,计算模型如图 2 所示。

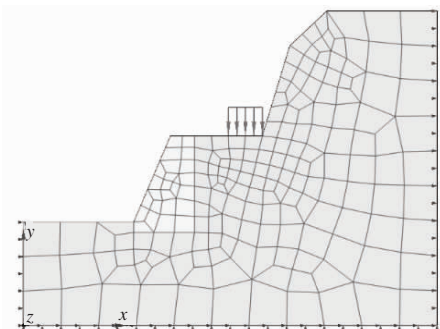


图 2 有限元分析模型

根据现场勘测结果,挡墙为块石砌筑,边坡土质为粉质黏土,材料的物理特性见表 1。

表 1 材料物理力学参数

材料名称	弹模 /MPa	泊松比	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
粉质黏土	4.55	0.3	19.3	28	15
浆砌块石	30	0.13	25	—	—
混凝土	30 000	0.18	26	—	—

2.2 应变分析结果

随着支墩间距从 4 m 增大到 20 m,边坡最大剪应变在 1.58~4.91 范围内波动,如图 3 所示。

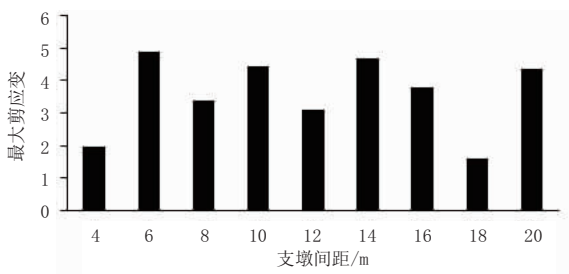


图 3 不同支墩间距最大剪应变分布图

以支墩间距 $X=8$ m 时为例(见图 4),由于坡顶支墩处土体受力较为集中,边坡体内最大剪应变主要集中在坡顶支墩作用土体处,并呈弧线状贯通、延伸至挡土墙脚。这说明在边坡顶部支墩作用处,容易发生剪切破坏,需对此处土体进行强化处理,减小应力集中。

当 $X=4$ m 时(见图 5),与 $X=8$ m 时相比,边坡体

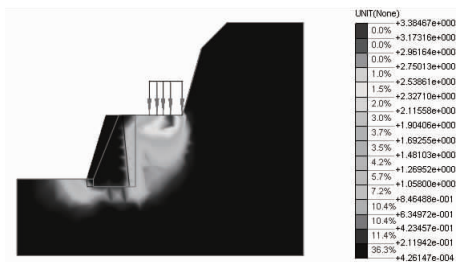


图 4 $X=8$ m 时边坡最大剪应变云图

内剪应变分布较为分散,塑性区轮廓从挡墙底部延伸至墙身后较远处,塑性区域更广,且最大剪应变值较小,边坡土体整体性较好,发生剪切破坏的可能性较小。这说明减小给水管道支墩间距对边坡塑性分布有所改善。

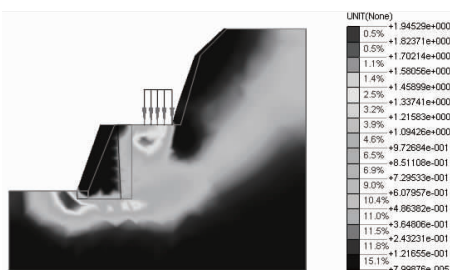


图 5 $X=4$ m 时边坡最大剪应变云图

2.3 应力分析结果

以支墩间距 $X=4$ m 和 $X=8$ m 为例,断面尺寸同图 2,长度取 40 m,建立三维实体模型,对边坡土体和挡墙进行施工阶段应力分析。

图 6 为 $X=8$ m 时边坡第一主应力云图, $X=4$ m 时第一主应力分布规律与其相同,只是数值存在一定差异(见图 7)。从图上可以看出:墙后土体在给水管道支墩作用区域出现应力集中,第一主应力为压应力;挡墙最大主应力位于墙体顶部,第一主应力为拉应力。



图 6 $X=8$ m 时边坡土体第一主应力云图

将边坡各截面最大主应力进行对比可知(见图 8):挡墙最大主应力沿边坡纵向分布较为均匀,8 m 间距和 4 m 间距最大值分别为 15.3 kPa 和 13.2 kPa,二者相差 13.7%;黏土层最大主应力沿边坡纵向波动较大,峰值点位于支墩作用点附近,8 m 间距和 4 m 间距最大值分别为 -50 kPa 和 -30 kPa,二者相差

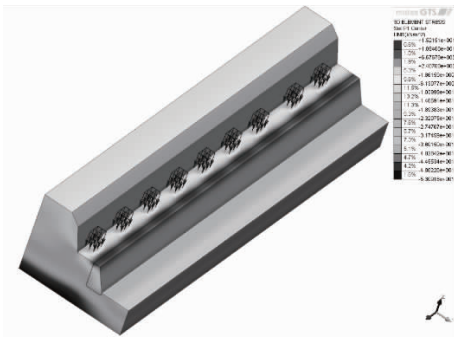


图7 X=4 m 时边坡土体第一主应力云图

40%。这说明支墩间距 X 从 8 m 减小到 4 m 后,对墙后土体应力分布影响较大,而对挡墙最大主拉应力分布影响不大。所以,减小支墩间距可以有效降低挡墙后土体的极限应力值,但是对边坡挡墙的应力强度改善作用不大。

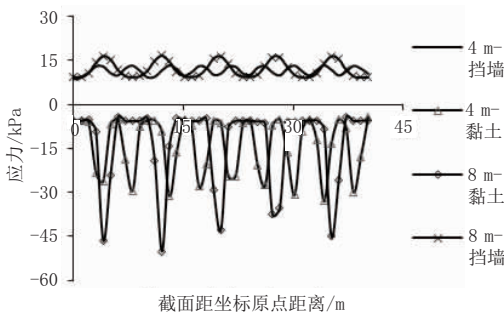


图8 不同位置边坡截面最大主应力变化规律

2.4 边坡安全系数变化规律

通过有限元数值模拟计算,边坡稳定安全系数 K 随给水管支墩间距 X 的增大而减小,且安全系数随着 X 值的增大而趋于恒定。变化趋势如图 9 所示。

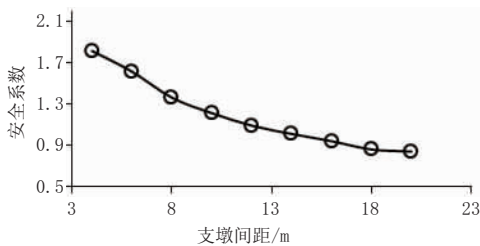


图9 边坡安全系数 - 支墩间距关系图

3 考虑雨水渗流作用边坡稳定性分析

根据以往对大多数边坡失稳因素的调查分析,降雨是滑坡活动最重要的触发因素之一,降雨诱发边坡失稳占据了滑坡灾害相当的比重^[7]。该边坡所在位置常年雨季较长,降雨充沛,且在上述分析结果中,坡顶支墩作用处剪应变较大,容易产生裂隙,从而加速雨水对边坡的入渗,所以在给水管架运营阶段,应考虑降雨时雨水渗流对边坡稳定性的影响,保证边坡在降雨时的安全。

根据文献^[7]的研究,降雨入渗模型以土体体积

含水率作为控制变量,运用土壤水动力学的基本理论,求解给定降雨条件下的边坡土体瞬态体积含水率的数值解,并将降雨计算结果运用于下一步边坡稳定性的计算之中。体积含水率是孔隙水压力的函数,而渗透系数又是体积含水率的函数,所以渗透系数也是孔隙水压的函数。根据该地区工程地质资料,取该地区最大降雨量为 162.2 mm/d,求得土体相应渗透系数为 7.2×10^{-8} m/sec。

采用 Midas/GTS 提供的有限元 SAM 法对边坡进行稳定性计算。

以 $X=8$ m 分析结果为例,当考虑雨水渗流作用后,边坡土体塑性区分布与未考虑雨水渗流有较大变化(见图 10),最大剪应变位于墙后土体上部区域,并向右下方较大区域发展。

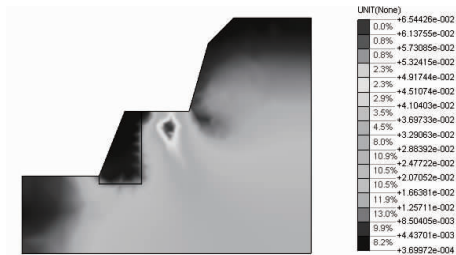


图10 考虑雨水渗流作用边坡最大剪应变云图

同时,边坡稳定安全系数和未考虑雨水渗流作用计算结果相比(见图 11),不同 X 取值,安全系数均有大幅度降低,并且 X 值越大,降低幅度越大。原因是雨水的渗流改变了非饱和土体的应力状态,在雨水作用下,粉质黏土的含水率迅速增大,自重增加,同时土体黏聚力、摩擦角等抗剪参数减小,导致土体抗剪强度降低,安全系数也相应减小。

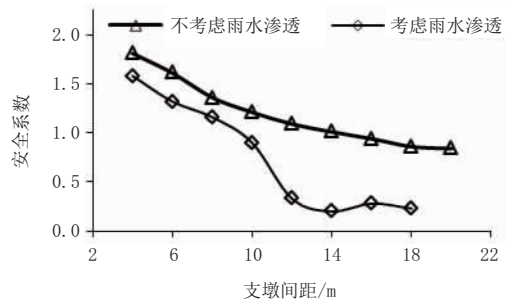


图11 考虑雨水渗流作用边坡安全系数变化

4 结论

(1)采用有限元分析软件对不同支墩间距进行边坡稳定性分析发现,边坡稳定安全系数随着支墩间距的增大而减小,当 X 值增大到一定程度后, X 值的变化对安全系数的影响逐渐变小。

(2)雨水渗流是边坡失稳破坏的重要影响因素,使边坡稳定安全系数大幅降低,同时对边坡土体应

