

油气管道铺设对边坡稳定性的影响

张三栋 孙鑫 代志光 付颖娣

(北京东方华智石油工程有限公司广西分公司, 广西 南宁 530031)

摘 要: 油气管道在坡体内的铺设是一个需要考虑多个因素的复杂过程, 为了确保管道的安全性和稳定性, 需要采取适当的措施来减小边坡安全系数、坡面位移、边坡剪切应变率的变化, 有效地保护管道和坡体的安全, 避免发生事故和损失。

关键词: 管线; 边坡稳定性; 铺设方式; 安全系数; 剪切带

0 引言

随着能源需求的不断增长, 油气管道建设在各地迅速展开。然而, 油气管道的铺设往往会对周边的自然环境产生影响, 其中边坡的稳定性问题尤为突出。边坡是自然或人工形成的斜坡, 其稳定性直接关系到周围环境的安全。因此, 深入探讨油气管道铺设对边坡稳定性的影响, 对于环境保护和工程安全具有重要意义。

1 油气管道铺设对边坡稳定性的影响

油气管道的开挖和填埋可能会改变边坡原有的土壤结构, 在开挖过程中, 表层的土壤和岩石被移除, 导致边坡的抗剪强度降低。同时, 填埋时的新材料与原有土壤在物理性质上可能存在差异, 这可能会导致不均匀沉降, 进一步影响边坡的稳定性。管道的铺设还可能破坏原有的地下水流向和水位, 尤其是在沙土和岩层交互的地带, 地下水的变化可能引起边坡的滑移、泥石流等问题, 从而影响边坡的稳定性。此外, 油气管道铺设过程中的施工方法也对边坡稳定性产生影响, 例如, 爆破作业产生的震动可能引发边坡岩体的松动, 进而影响其稳定性。同时, 不合理的施工方法或者施工顺序可能导致边坡失稳, 甚至可能引发大规模的山体滑坡。为了减小油气管道铺设对边坡稳定性的影响, 我们尽量采用对边坡影响小的施工方法, 明确管道铺设与边坡滑坡体的位置关系, 分析模型的建立。对于已经受到油气管道铺设影响的边坡, 应进行必要的加固和防护。

2 在边坡中常见的管道铺设方式

管道铺设与边坡滑坡体的位置, 基本分为两大类: 一个是管道铺设方向与滑坡体的滑动方向呈垂直的情况, 在这种情况下, 管道通常被放置在滑坡体的边缘或之外, 以避免直接受到滑坡的影响。当滑坡体滑动

时, 由于管道的方向与滑坡方向垂直, 受到的剪切力较小, 因此管道不易被破坏。此外, 垂直铺设的管道还有助于增强滑坡体的稳定性, 因为它们可以起到锚固边坡土壤的作用, 减少滑坡的可能性。然而, 当管道位于滑坡体之内, 且其铺设方向与滑坡体的滑动方向垂直时, 情况则较为复杂。这种情况下, 管道可能会受到滑坡带来的强大压力和剪切力, 从而容易发生变形或断裂。因此, 在选择管道材料和设计时, 必须充分考虑到这种极端情况下的受力情况, 以确保管道的长期稳定性和安全性。另一个是管道铺设方向与滑坡体的滑动方向呈平行的情况, 在这种情况下, 管道同样可能位于滑坡体之内或之外。若管道位于滑坡体外, 且其铺设方向与滑坡滑动方向平行, 则管道受到的直接影响较小, 但由于土壤的移动, 管道可能发生一定程度的位移或变形。而当管道位于滑坡体之内, 且其铺设方向与滑坡滑动方向平行时, 管道受到的压力和剪切力可能会显著增加。在这种情况下, 一旦滑坡发生, 管道可能会受到严重的挤压或拉伸, 从而增加管道破裂或断裂的风险。因此, 在设计和铺设此类管道时, 必须充分考虑到可能发生的滑坡及其对管道的影响。管道的铺设方向和位置对滑坡体的稳定性有着显著的影响, 选择合适的铺设方向和位置可以大大减少滑坡对管道的损害风险。同时, 充分了解各种可能的受力情况, 并据此选择合适的管道材料和设计也是至关重要的。在实际工程中, 应结合具体地质条件 and 环境因素进行综合考虑, 以确保工程的安全性和长期效益。

3 分析模型的建立

3.1 计算模型的选取

在实际工程中, 管道的铺设方式对边坡的稳定性有着显著的影响。为了准确模拟这一现象, 计算模型

的选取显得尤为重要。首先,计算模型的选取必须具有代表性。在实际边坡工程中,管道的铺设具有多样性,总体可分为纵向和横向铺设。对于纵向铺设,需要考虑管道与边坡坡面的夹角不同对稳定性的影响;对于横向铺设,则需要考虑管道与滑动面位置关系对稳定性的影响。为了全面反映这两种铺设方式对边坡稳定性的影响,计算模型的选取必须具有足够的代表性。其次,边坡土体参数对边坡稳定性有着决定性的影响。土体参数如内聚力、内摩擦角和剪胀角等直接决定了边坡的稳定性。因此,在选取计算模型时,必须充分考虑这些土体参数的影响。只有选取具有代表性的边坡模型以及相应的土体参数,才能准确模拟边坡的稳定性。基于以上两点考虑,本文选取 Dawson E M 等研究边坡稳定性的经典计算模型。该模型在考虑管道铺设方式和土体参数方面具有很高的代表性,能够准确模拟实际边坡工程中的各种情况。

3.2 模型的建立

在分析中,我们对其施加了严格的边界约束:左右两侧的 x 方向位移、前后两侧的 y 方向位移以及底部边界的 z 方向位移都被严格约束。这样的约束条件是为了模拟实际情况,尽可能减少误差。管道与周围土体的相互作用是另一个需要考虑的重要因素。在本研究中,我们采用了 PLAXIS-3D 内置的 R_{inter} 系数调整来实现这一目标。这种调整方式能够更好地模拟真实情况,使得分析结果更加准确。为了满足分析精度的要求,我们构建了一个精细的有限元分析模型。在这个模型中,共有 11565 个土体单元和 18944 个节点,每个最小尺寸单位为 0.15m,这样的模型设置确保了分析的精度和可靠性。通过深入分析,我们得到了关于均质土坡在各种边界条件和土体管道相互作用下的详细响应。这些结果对于工程实践具有重要的指导意义,能够帮助工程师们更好地理解 and 预测土坡的行为,从而优化设计和施工方案。在铺设过程中,土壤和岩石的扰动、施工机械的重量以及管道自身的重量,都可能对边坡的稳定性构成威胁。这种影响可能导致边坡滑坡、塌陷,甚至引发更广泛的地质灾害。为了解决这一问题,我们引入了强度折减法进行边坡安全系数的计算,这种方法通过折减土体的强度参数,如黏聚力和内摩擦角,来模拟边坡在受到外力作用时的稳定性状态。通过多次试算,我们找到了一组合适的参数值:黏聚力为 17.15kPa,内摩擦角为 23.0° 。在这一参数组合下,我们计算得出的边坡安全系数为

1.35,满足了边坡工程设计的一级要求。

4 计算结果分析

4.1 边坡安全系数

4.1.1 管道横向铺设

边为了深入探究管道位置对安全系数的影响,采用数值模拟方法进行了一系列分析。我们模拟了管道在坡体中的不同位置,并计算了相应的安全系数。通过对比分析这些数据,我们得出了管道位置与安全系数之间的关系。通过调整管道的位置,我们观察到安全系数在垂直方向上的变化趋势。我们发现,在坡顶端的垂直方向上,安全系数呈现出先增大后减小的趋势,而在坡脚处则呈现出逐渐减小的趋势。根据模拟结果,安全系数随管道位置变化。当管道位置由坡脚向边坡体内改变时,安全系数先减小后增大,即安全系数由 1.347 减小至 1.337,然后又增大至 1.357。在坡顶端的垂直方向上,其安全系数逐渐增大,只有在坡顶端时安全系数减小,即安全系数由 1.354 增大至 1.372 后,又减小至 1.348。这些数据清晰地表明了管道位置对安全系数的影响规律。基于这些发现,我们讨论了可能影响安全系数的因素。我们认为,管道的位置可能直接影响坡体的应力分布和稳定性,从而影响管道的安全性。此外,管道的支撑结构和土壤性质也可能对安全系数产生影响。

4.1.2 管道纵向铺设

为铺设下边坡安全系数随管道与坡面夹角的变化曲线。在本次分析中,我们设定了管道与坡面的夹角从 0° 变化到 45° 。分析结果显示,当管道与坡面夹角为 0° 时,边坡的安全系数达到最大值,为 1.394。这一结果表明,管道与坡面的夹角对边坡安全系数有显著影响。随着夹角的增大,边坡的安全系数逐渐减小。具体来说,当管道与坡面的夹角分别为 15° 、 30° 和 45° 时,其安全系数分别为 1.336、1.331 和 1.327。这些数据进一步证实了我们的观察:夹角的增大导致边坡的安全系数减小。值得注意的是,在 15° 至 45° 之间,边坡的安全系数变化很小。这表明在这一角度范围内,管道与坡面的夹角对边坡安全系数的影响是相对稳定的。这为工程实践提供了有价值的参考,即在一定角度范围内改变管道与坡面的夹角,对边坡安全系数的影响是有限的。在没有铺设管道的边坡状态下,其安全系数为 1.359。而在管道与坡面夹角为 15° 的状态下,安全系数为 1.336,两者基本接近。这表明在一定条件下,铺设管道可能并不会对边

坡安全系数产生显著影响。在实际工程中,应当充分考虑这一因素,合理选择管道铺设的角度,以确保边坡的安全。此外,对于特定的工程条件和需求,可能需要进行更深入的研究,以获得更精确的数据和结论。

4.2 坡面位移

工程实践中,管道的铺设位置是至关重要的,特别是在滑面位置,管道的铺设位置对坡面的水平位移具有显著的影响。滑面,通常指的是土壤或岩石在受到压力或特定条件下易于滑动的表面。这类位置的地质条件复杂,稳定性差,因此在进行管道铺设时需特别注意。滑面的水平位移现象,主要是由于土壤或岩石在重力、水力或温度等外部因素影响下发生滑动,这会对管道造成巨大的压力,甚至导致管道破裂或失效。在滑面位置进行管道铺设时,应尽可能选择稳定的区域,避免管道直接承受滑面的水平位移。若无法避免,应采取相应的加固措施,如增加管道的埋深、使用锚固等方式,以减小滑面水平位移对管道的影响。此外,管道的铺设角度、弯曲半径等参数也会影响滑面的水平位移。适当地调整这些参数,可以降低位移对管道的影响。在具体的工程实践中,应充分考虑滑面的地质勘察结果,选择合适的管道材料和施工方法。对于已经存在的管道,应定期进行检测和维护,以确保其安全运行。此外,可以采取一些先进的监测技术,如GPS监测、应变监测等,对滑面的水平位移进行实时监控,以便及时发现并解决潜在的问题。

4.3 边坡剪切应变率

本研究以塑性区的贯通性作为失稳判据,通过数值模拟方法分析了管道铺设在坡体不同位置时,边坡的剪切应变率变化情况。模型中考虑了管道与坡体的相互作用,以及土壤的力学性质等因素。通过数值模拟,我们发现管道铺设后,边坡的剪切应变率均形成了贯通的剪切带。这表明在管道铺设过程中,坡体的应力分布发生了明显的变化,可能导致边坡失稳。进一步分析表明,管道的铺设对边坡滑动面的位置影响较小。然而,当管道铺设在剪切带位置时,对周边剪切带具有较明显的影响。这可能是因为管道的重量和刚度改变了剪切带的应力状态,从而影响了剪切带的扩展和贯通。在实际工程中,应充分考虑管道铺设对边坡稳定性的影响,特别是在剪切带位置的管道铺设应采取相应的加固措施,以保障边坡的稳定性。未来研究可进一步探讨不同土壤类型、管道材料和铺设方式等因素对边坡稳定性的影响。同时,应加强现场监

测和数值模拟的结合,以提高边坡稳定性分析的准确性和可靠性。此外,应加强工程实践中的经验总结和教训吸取,以提高边坡工程的稳定性和安全性。

5 结论

管道在坡体内铺设时,其安全系数受到多种因素的影响。在横向铺设时,管道从坡脚向坡体内改变,边坡的安全系数呈现出先减小后增大的趋势。在坡体内竖向向坡顶改变时,其边坡的安全系数也是先减小后增大,但在坡顶位置处边坡安全系数又减小。这表明在铺设管道时需要特别注意不要将其铺设至滑动面内,以保证边坡的稳定性和管道的安全性。对于管道的受力而言,这种铺设方式并不利。为了确保管道在坡体内的安全性和稳定性,建议在铺设管道时采取以下措施:在横向铺设时,应尽量保持管道与自然边坡的夹角在适当的范围内,以获得较大的安全系数;在竖向铺设时,应避免将管道铺设至坡顶位置处,以减小边坡安全系数的减小;在纵向铺设时,应尽量采用 0° 的铺设方式,以获得较大的管道安全系数,增加其承载力和稳定性。

参考文献:

- [1] 张宇,刘锦昆,陈同彦,等.基于应变传递率的管道结构损伤识别研究[J].水利与建筑工程学报,2022(3):111.
- [2] 杜衍庆,白明洲,王新岐,等.浅埋油气管道隧道施工对潜在滑体稳定性影响分析[J].北京交通大学学报,2022(3):13.
- [3] 徐建国,胡会明,李松涛,等.地下管道脱空渗漏高聚物注浆抬升修复与数值分析[J].水利与建筑工程学报,2022(3):7.
- [4] 王芝银,袁鸿鹄,王怡,等.管道穿越土质边坡斜竖井设计参数的确定方法[J].中国石油大学学报(自然科学版),2020(1):96.
- [5] 唐明明,王芝银,马兰平,等.油气管道穿越黄土冲沟的管线设计参数研究[J].岩土力学,2020(4):53.
- [6] 韩侠.油气管道敷设方式对含管边坡稳定性影响的研究[D].兰州:兰州理工大学,2019.
- [7] 郭存杰,张来斌,梁伟,等.油气管道横坡敷设边坡稳定性计算[J].油气储运,2021,35(12):5.
- [8] 张立新,丁晔,任永忠.油气管道铺设对边坡稳定性的影响[J].水利与建筑工程学报,2021,16(1):6.