

水流冲刷对海底管线与光缆保护效果研究

许强¹ 孟业丰²

东北农业大学 水利与土木工程学院 黑龙江哈尔滨 150030

[摘要] 随着海底管线和光缆的广泛应用, 如何有效保护这些设施免受复杂水流与波浪环境的冲刷, 已成为亟待解决的问题。本研究通过模拟水流冲刷实验, 探讨了不同水流条件、覆土层厚度及土壤类型对海底管线与光缆保护效果的影响。实验结果表明, 水流速率、波浪频率、覆土层厚度和土壤类型对冲刷效应具有显著影响。增加覆土层厚度并选择抗冲刷性较强的土壤类型可有效提高海底设施的抗冲刷能力。

[关键词] 水流冲刷、海底管线、覆土层

Study on the protection effect of underwater pipelines and optical cables by water flow erosion

Xu Qiang¹ Meng Yefeng²

School of Water Resources and Civil Engineering, Northeast

Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China

[Abstract] With the wide application of submarine pipelines and fiber optic cables, how to effectively protect these facilities from the scouring of complex water currents and wave environments has become an urgent problem. In this study, the effects of different water current conditions, soil cover thickness and soil type on the protection effect of submarine pipelines and fiber optic cables are investigated through simulated water current scouring experiments. The experimental results show that the water flow rate, wave frequency, soil cover thickness and soil type have a significant effect on the scouring effect. Increasing the thickness of soil cover and selecting soil type with strong scour resistance can effectively improve the scour resistance of submarine facilities.

[Key words] Current Scour; Submarine Pipeline; Soil Cover Layer.

1. 绪论

随着全球化进程的加快, 海底管线和海底光缆在能源传输、通讯网络等领域的应用日益增多。海底管线和光缆长期暴露在复杂的海洋环境中, 受到水流、波浪以及其他自然力的影响, 其中水流的冲刷作用是导致管道位置变化、腐蚀甚至断裂的重要因素之一^[1]。传统的海底管道保护方法如利用覆土层来防护管道免受水流冲刷, 已成为目前常见且有效的保护手段。然而, 水流冲刷效应在不同水流条件、土壤类型及覆土层厚度下的变化规律仍不明确^[2]。因此, 本研究通过一系列模拟实验, 探讨不同条件下水流对海底管线和光缆的冲刷效应及其防护效果, 为海底管线和光缆的设计与应用提供指导。

2. 实验概况

2.1 实验原理

水流冲刷是指流动水体对土壤的侵蚀作用, 尤其在水流速率较高的情况下, 冲刷效应更为显著^[3]。实验设备及材料的选择和布置旨在尽可能模拟真实的河床环境, 同时保证实验的可控性和可重复性, 实验室位于东北农业大学水利与土木工程学院水工厅。

本实验在实验室内使用了一个长5米、宽1米、高1米的透明水槽进行水流冲刷实验。这个水槽的尺寸设计能够模拟中小型河流环境, 并提供足够的空间进行实验操作, 同时透明水槽的使用也方便观察和记录水流与土壤、设施的互动。

实验在水流模拟装置中进行, 装置可调节水流速率和波浪频率, 模拟不同的海洋环境条件。设置三种水流速率 (0.1 m/s、0.3 m/s、0.5 m/s), 三种波浪频率 (0.1 Hz、0.5 Hz、1.0 Hz), 以及三种土壤类型 (沙土、粘土、砾石)。每种土壤类型下设置不同厚度的覆土层 (10 cm、15 cm、20 cm)。实验通过监测冲刷深度、土壤流失量等指标, 评估冲刷效应。高清摄像设备实时记录冲刷过程, 并数据记录分析冲刷深度和土壤流失^[4]。

为了精确测量水流对土壤的冲刷深度和水位变化, 实验在水槽的两侧安装了激光测距仪和超声波水位计。超声波水

位计被用来实时监测水位的变化。激光测距仪的精度为 0.1 cm, 能够实时记录水流冲刷的深度。激光测距仪通过对土壤表面进行扫描, 监测土壤的位移和冲刷过程, 能够有效地捕捉到微小的冲刷变化^[5]。

2.2 实验步骤

根据实验设计的需求, 选用不同的土壤类型。将土壤均匀铺设在水槽底部, 并调整为实验要求的厚度, 以确保实验的可重复性和数据的准确性。

通过水泵调节水流速率, 设定不同的水流速度, 以及不同的波浪频率。每种设置下进行多个周期的实验, 确保数据的代表性。

激光测距仪和超声波水位计同时工作, 实时监测土壤的冲刷情况及水位变化。记录每个时间点的冲刷深度、土壤流失量等参数。

实验结束后, 对记录的数据进行统计分析, 计算不同水流条件下的土壤流失量、冲刷深度等指标。结合实验数据, 评估不同覆土层厚度和土壤类型对水流冲刷的影响。

3. 实验结果与分析

3.1 实验数据汇总

表1展示了不同实验条件下的冲刷数据。数据包括水流速率、波浪频率、土壤类型、覆土层厚度、冲刷深度以及土壤流失量。各个实验样本的设置如表所示。

3.2 水流速率与波浪频率的影响

实验结果显示, 水流速率和波浪频率的增加显著提高了冲刷深度和土壤流失量, 尤其在沙土层上, 水流的冲刷能力最为明显。

低流速与低频条件: 在沙土层中, 冲刷深度仅为 1.0 cm, 土壤流失量为 15g, 显示出水流对土壤的侵蚀较为轻微。同样, 在粘土层和砾石层的冲刷效应也较轻。特别是砾石层, 冲刷深度仅为 0.3 cm, 几乎没有发生冲刷。

中等流速与中频条件: 随着水流速率和波浪频率的增加, 冲刷效应明显增强。在沙土层上, 冲刷深度为 2.5 cm, 土壤流失量为 30g。在粘土层中, 冲刷深度为 1.0 cm, 土壤流失

量为 14g, 虽然冲刷较轻, 但依然可观察到一定的侵蚀。

高速水流与高频波浪条件: 在高速水流和高频波浪条件下, 冲刷效应最为严重, 特别是在沙土层中, 冲刷深度达到 5.5 cm, 土壤流失量为 55g, 表现出显著的侵蚀现象。粘土层的冲刷深度为 2.0 cm, 流失量为 20g, 而砾石层的抗冲刷能力较强, 冲刷深度仅为 0.5 cm, 土壤流失量为 6g。

表 1 不同实验条件下的冲刷数据

条件	土壤类型	水流速率	波浪频率	覆土层厚度	冲刷深度 (cm)	冲刷形态	土壤流失量 (g)
1	沙土	0.1m/s	0.1Hz	10cm	1.0	均匀	15
2	沙土	0.1m/s	0.1Hz	15cm	0.8	均匀	12
3	沙土	0.3m/s	0.5Hz	10cm	2.5	局部	30
4	沙土	0.3m/s	0.5Hz	15cm	2.0	局部	28
5	沙土	0.5m/s	1.0Hz	10cm	5.5	明显侵蚀	55
6	沙土	0.5m/s	1.0Hz	15cm	4.5	局部	48
7	沙土	0.5m/s	1.0Hz	20cm	3.8	局部	42
8	粘土	0.1m/s	0.1Hz	10cm	0.6	较轻	8
9	粘土	0.3m/s	0.5Hz	10cm	1.0	均匀	14
10	粘土	0.3m/s	0.5Hz	15cm	0.9	较轻	12
11	粘土	0.5m/s	1.0Hz	10cm	2.0	局部	20
12	粘土	0.5m/s	1.0Hz	15cm	1.8	局部	18
13	砾石	0.1m/s	0.1Hz	10cm	0.3	无显著	5
14	砾石	0.3m/s	0.5Hz	10cm	0.2	无显著	4
15	砾石	0.5m/s	1.0Hz	10cm	0.5	无显著	6
16	砾石	0.5m/s	1.0Hz	15cm	0.2	无显著	3

3.3 覆土层厚度的影响

实验还探讨了覆土层厚度对冲刷效应的缓解作用。数据显示, 较厚的覆土层有效减缓了水流对土壤的冲刷。

沙土层: 当覆土层厚度为 10 cm 时, 冲刷深度为 5.5 cm, 土壤流失量为 55g; 当覆土层厚度增加到 20 cm 时, 冲刷深度降至 3.8 cm, 土壤流失量降至 42g, 冲刷效应显著减弱。覆土层厚度的增加有效降低了沙土层的冲刷深度和流失量。

粘土层: 在粘土层中, 冲刷效应较为轻微。在 10 cm 覆土层下, 冲刷深度为 1.0 cm, 流失量为 14g; 增加覆土层厚度至 20 cm 时, 冲刷深度和土壤流失量有所减少, 分别为 1.8 cm 和 18g。尽管粘土层的抗冲刷性较强, 但厚覆土层依然能够进一步提高其防护效果。

砾石层: 由于砾石层天然的抗冲刷特性, 覆土层的厚度对冲刷效果几乎没有影响。在 10 cm 的覆土层下, 冲刷深度仅为 0.3 cm, 土壤流失量为 5g; 即使覆土层增加至 15 cm, 冲刷深度和土壤流失量变化不大。

3.4 土壤类型的影响

土壤类型是决定冲刷效应的重要因素, 不同土壤类型的抗冲刷能力存在显著差异。

沙土层: 沙土层颗粒松散, 容易被水流冲刷。在所有实验条件下, 沙土层的冲刷深度和土壤流失量都较高, 尤其在高速水流和高频波浪条件下, 冲刷深度达到了 5.5 cm, 土壤流失量为 55g, 表现出较弱的抗冲刷能力。

粘土层: 粘土层颗粒较细, 粘结力较强, 因此对水流的抗冲刷能力较好。在低水流速和低频波浪条件下, 粘土层的冲刷深度仅为 0.6 cm, 流失量为 8g, 表现出较强的抗冲刷性。

砾石层: 砾石层由于颗粒较大且坚硬, 天然的抗冲刷性非常强。在所有水流条件下, 砾石层几乎没有发生明显的冲刷, 冲刷深度始终保持在 0.3 cm 以内, 土壤流失量较低, 仅为 5g。

4. 讨论

4.1 水流速率与波浪频率的影响:

随着水流速率和波浪频率的增加, 冲刷深度和土壤流失量显著增加, 尤其在沙土层中, 冲刷效应最为显著。这表明强水流和大波浪条件下, 水流对土壤的侵蚀力更强, 对管线和光缆等设施的保护需求也更加迫切。

4.2 覆土层厚度的影响

增加覆土层厚度有效减缓了水流的冲刷效应。在沙土和粘土层中, 厚覆土层显著减少了冲刷深度和土壤流失量, 尤其在沙土层中, 20 cm 的覆土层能够显著降低冲刷。然而, 对于抗冲刷性较强的砾石层, 覆土层的影响较小, 表明土壤类型本身的抗冲刷性对保护效果具有更大影响。

4.3 土壤类型的影响

土壤类型对冲刷效应的影响非常重要。沙土层由于颗粒松散、结构不稳, 易受到水流侵蚀, 表现出较弱的抗冲刷能力。相比之下, 粘土层具有较强的抗冲刷能力, 其颗粒间的黏结力使其在水流冲刷下保持较好的稳定性。而砾石层因颗粒大且密实, 天然抗冲刷能力最强, 几乎没有发生明显的冲刷。

结论

本研究通过系统的水槽实验, 探讨了水流速率、波浪频率、土壤类型和覆土层厚度对水流冲刷和土壤侵蚀的影响。结果表明: 水流速率和波浪频率的增加显著加剧了冲刷效应, 尤其在沙土层中, 冲刷深度和土壤流失量随着水流强度的提升而显著上升。覆土层厚度的增加能够有效减缓冲刷效应, 较厚的覆土层明显减少了冲刷深度和土壤流失量, 而在砾石层中覆土层的影响较小。土壤类型对抗冲刷能力有显著差异, 砾石层的抗冲刷性最强, 其次是粘土层, 而沙土层表现出较弱的抗冲刷能力。

本研究虽然在实验室水槽中进行, 且实验条件有所简化, 未来研究可以在更复杂的环境下进行测试, 例如引入不同的泥沙浓度、变化的水流模式以及更广泛的波浪频率范围。这将更接近实际海洋和河流环境, 为水下设施的抗冲刷设计提供更加全面的数据支持。

[参考文献]

[1]张慧婷, 刘志菊. 平原河道工程管理中护岸崩塌原因分析与处理[J]. 石河子科技, 2024, (03): 68-70.

[2]王之君, 马彦杰, 刘兴荣, 等. 降雨冲刷条件下含水率变化对堆填黄土沟床侵蚀的影响[J]. 中国水土保持科学 (中英文), 2024, 22 (05): 31-40.

[3]唐圣斌, 汪永剑, 姚楚康, 等. 抗冲磨超高性能混凝土在水工建筑物过流部位的应用研究[J]. 广东水利水电, 2024, (11): 1-5.

[4]殷红, 刘菁, 魏祥龙, 等. 水流冲刷作用下软体排排尾沉降监测方法研究[J]. 中国水运 (下半月), 2024, 24 (09): 88-90.

[5]王上, 米江川, 陈明涛, 等. 汉江地区内河桥梁桩基冲刷损伤评价指标体系研究[J]. 路基工程, 2024, (05): 44-50.