Journal of Oil and Gas Technology 石油天然气学报, 2025, 47(1), 90-97
Published Online March 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/jogt
https://doi.org/10.12677/jogt.2025.471011

Hans汉斯

广东地区油气管道水工保护与水土保持调研成果及建议

赵彦波[1]，尚玉杰[1]，邓　亮[2]，王　鸿[1]，彭凡盛[1]

[1]国家管网工程技术创新有限公司，设计管理中心，天津
[2]国家石油天然气管网集团有限公司建设项目管理分公司，东南项目管理中心，河北 廊坊

收稿日期：2025年2月3日；录用日期：2025年3月6日；发布日期：2025年3月19日

摘　要

管道工程水工保护与水土保持措施贯穿于项目设计、施工、运营等全生命周期。它在保证管道运营安全、减少水土流失和保护环境等方面发挥着举足轻重的作用。为了进一步了提高水工保护与水土保持工程质量，本文对已经完工的水工保护与水土保持设施进行调研。通过调研提出观点：① 顺坡敷设管道采用管沟截水墙 + 坡脚挡土墙 + 坡面堡坎分片分区固土、植物措施坡面复绿治理体系效果较好。② 生态袋截排水渠的使用年限不大于3年，纵向排水渠的适用坡度小于25˚；坡度大于25˚坡面的纵向排水宜采用混凝土材料。③ 注重植物措施在水工保护与水土保持中的作用。

关键词

油气管道，水工保护，水土保持，调研

Research Results and Suggestions on Hydraulic Protection and Soil and Water Conservation of Oil and Gas Pipelines in Guangdong Area

Yanbo Zhao[1], Yujie Shang[1], Liang Deng[2], Hong Wang[1], Fansheng Peng[1]

[1]Design Management Center, Engineering Technology Innovation Co., Ltd., PipeChina, Tianjin
[2]Southeast Project Management Center, Construction Project Management Branch, PipeChina, Langfang Hebei

Received: Feb. 3rd, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 19th, 2025

文章引用: 赵彦波, 尚玉杰, 邓亮, 王鸿, 彭凡盛. 广东地区油气管道水工保护与水土保持调研成果及建议[J]. 石油天然气学报, 2025, 47(1): 90-97. DOI: 10.12677/jogt.2025.471011

Abstract

The hydraulic protection and soil and water conservation of pipeline engineering run through the whole life cycle of project design, construction and operation. It plays an important role in ensuring the safety of pipeline, reducing soil erosion and protecting the environment. In order to further improve the quality of hydraulic protection and soil and water conservation projects, this paper investigates the completed hydraulic protection and soil and water conservation facilities. Through research, the views are put forward: ① The pipe laying downward grade slop adopts the trench cut-off wall + gravity retaining wall + sill protecting structure partition soil fixation and plant measures. The slope surface greening treatment system has a good effect. ② The service life of the ecological bag ditches is not more than 3 years, and the applicable slope of the longitudinal ditches is less than 25˚. Concrete materials should be used for longitudinal ditches on slopes with a slope greater than 25˚. ③ Pay attention to the role of plant measures in hydraulic protection and soil and water conservation.

Keywords

Oil and Gas Pipelines, Hydraulic Protection, Soil and Water Conservation, Investigate

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

管道工程水工保护与水土保持措施贯穿于项目设计、施工、运营等全生命周期。它在保证管道运营安全、减少水土流失和保护环境等方面发挥着举足轻重的作用。预计到 2025 年，我国油气管道里程将达 21~24 万公里[1]-[3]，CO_2 等新介质管道也如雨后春笋般进入高速发展期[4]。在此背景下，大量的水工保护与水土保持设施将投入使用。水工保护与水土保持设施的有效性，直接关系到管道安全和水土流失防治、生态环境保护。近十年，李莉、徐江等先后提出了油气管道水工保护效能评价方法，但因指标繁琐、计算复杂，至今没被广泛采用[5] [6]。同时由于设计、施工与运维的脱节，运行管道水工保护时间序列又不具有周期性[7]，水工构筑物完工的运行状态成为油气管道水工专业进步的壁垒，为了进一步了提高水工保护与水土保持工程质量，有必要对已经完工的水工保护与水土保持设施进行调研，从而汲取工程经验，指导今后设计与施工工作。

2. 调研方法

本次调研针对东南多雨区的广东省境内管道，该区域多年平均降雨量达 1771 mm，历年雨季最大降雨量及极端降雨呈逐年递增趋势[8]，能较好地反映水工保与水土保持设施的实际性能，具有代表意义。调研采用现场实地点对点踏勘的方式，在现场逐一对水工保护与水土保持措施的工程效果进行分析。本次调研共计 113 个水工保护与水土保持设施点位。根据管道敷设方式，调研部位有顺坡敷设、横坡敷设及河沟道敷设段，其中顺坡敷设 88 个点位，横坡敷设 11 个点位，河沟道敷设 14 个点位(图 1)。水工保护与水土保持设施材料分析，本次调研的材料为浆砌石、混凝土和生态袋；从水工保护与水土保持设施结构分析，本次调研的主要结构有截水墙、挡土墙、坡面截排水渠、坡面堡坎和坡面导水坎等。生态袋

因其施工方案、施工效率高、可降解环境友好、柔性结构适因大变形的特点，已大量应用于油气管道工程[9]-[12]，本次调研将重点关注生态袋材料截水沟在油气管道水工保护与水土保持设施运行中的表现。

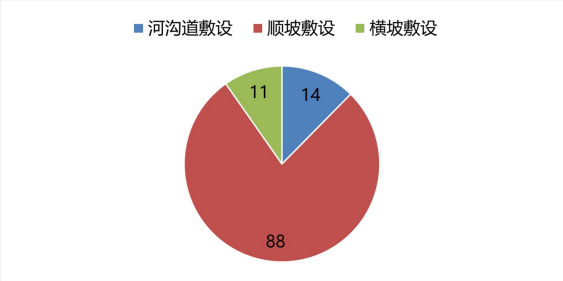

Figure 1. Survey quantity statistics (division)
图 1. 调研数量统计(处)

3. 调研成果分析

通过调研发现水工保护与水土保持措施发挥了大部分设计功能，达到了设计意图，设施运行相对较好。但也有个别点位存在设计或施工问题，导致措施效果较差的情形，部分存在损坏情况。其中混凝土材料结构的水工保护与水土保持设施运行较好，结构和功能发挥较好；个别浆砌石材料结构存在基础不均匀沉降、截排水渠底冲毁情况；大部分石笼材料结构腐蚀较为严重，材料耐久性较差；生态袋材料结构损坏情况较多，与设计理念欠缺和施工质量较差存在正相关关系。另外调研发现个别点位植物措施施工质量较差，过大的种草间距导致生长出的草再次死亡。

3.1. 顺坡敷设综合拦挡 + 植被复绿体系

调研发现在较为规整、无侧向汇水的坡面，采用管沟截水墙 + 坡脚挡土墙 + 坡面堡坎分片分区固土、采用植物措施坡面复绿，是较为有效的水工保护与水土保持综合防治体系。例如某 30˚坡面，采用生态袋截水墙 + 坡脚浆砌石挡土墙 + 坡面生态袋堡坎 + 灌草混播植物措施取得了良好的效果(图 2)。调研时该坡面已被绿色覆盖，植被相对茂盛，工程措施与环境完美融为一体，生态袋堡坎隐没于植被之中(图 3)。

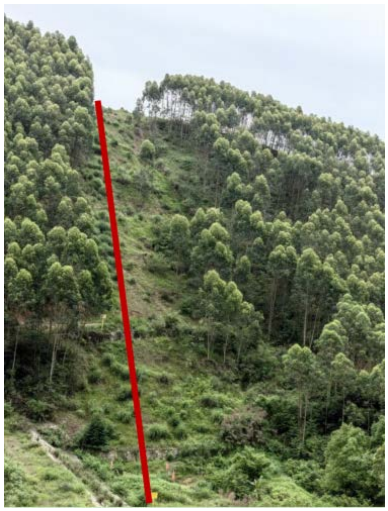

Figure 2. Overall photo of slope regreening 1
图 2. 坡面复绿整体照片 1

Figure 3. Overall photo of slope regreening 2
图 3. 坡面复绿整体照片 2

3.2. 纵向排水渠设置

坡面纵向排水渠作为一项重要的水土保持措施广泛应用于坡面恢复[13] [14]。本次调研的纵向排水渠有生态袋排水渠、浆砌石排水渠和混凝土排水渠三种类型。其中生态袋排水渠和浆砌石排水渠大多为施工期设置，混凝土排水渠大多为运营期设置。

调研发现，水渠主要损坏原因为水渠材料寿命终结、沟壁侧向侵蚀、基础密实度不达标、水渠无梯步。其中水渠材料寿命终结系指生态袋材料的水渠，现场所用生态袋材料寿命一般在 2 年~3 年左右，植被恢复较差段的纵向排水渠往往被冲毁或渠底下切侵蚀严重。

调研发现 25˚以下坡面生态袋纵向排水渠损坏较少，25˚及以上的坡面生态袋纵向排水渠损坏较多，主要损坏形式为沟壁侧向侵蚀、水渠断裂、沟底下切侵蚀(图 4~图 6)，运营期间生态袋纵向排水渠改混凝土排水渠已不是个例(图 7)。因此，建议纵向生态袋排水渠的适用坡度控制在 25˚以下，小于林铭玉提出的最大 30˚的适用坡度[12]；25˚及以上的坡面采用材料较耐久、均一且施工质量较易保证的混凝土结构。

调研还发现纵向排水渠一旦断裂、破坏，将造成水渠下游坡面严重侵蚀、甚至管道露管。因此，在工程应用时，尽量减少纵向排水渠的设置。当坡面设置横向排水渠可将坡面水流分片导排至作业带外侧稳固的坡面时，可不设置纵向排水渠；当横向排水渠无法导排坡面水流或坡面有侧方汇水时，可设置纵向排水渠。纵向排水渠设置时应综合考虑地质、坡面坡度、材料、降雨及汇水等因素确定水渠的断面、材料及结构形式，在施工时应注意沟底基础的密实度和施工质量，避免人为设计和施工造成管道水毁。

Figure 4. Water cuts down and erodes the bottom of the canal (27˚)
图 4. 水流下切侵蚀水渠沟底(27˚)

Figure 5. Longitudinal drainage channel fracture (28˚)
图 5. 纵向排水渠断裂(28˚)

Figure 6. Lateral erosion of canal walls by water flow (30˚)
图 6. 水流侧向侵蚀水渠沟壁(30˚)

Figure 7. Ecological bag channel replaced with concrete (30˚)
图 7. 生态袋排水渠损坏而改混凝土排水渠(30˚)

3.3. 注重植被恢复措施的作用

水工保护与水土保持工程措施与水土保持临时措施和植被恢复措施密不可分，相辅相成，工程措施不能从根本上解决水土流失问题，应同时采用植物措施[15]-[17]。工程措施不仅有助于保护管道[18]，而且为防止水土流失、促进植物生长提供了充分条件；植被恢复措施可以减少降雨溅蚀、地表径流，从而减少水土流失、减少水流对工程措施的冲刷，防止工程措施失效。从投资与防治效果角度，植被恢复措施是投资最少、效果最明显的水土保持措施。因此，在工程设计与施工中要重视植被恢复措施。

本次调研意外发现植被难以恢复的强、全风化花岗岩段植被恢复效果非常好，坡面生态得以良性循

环，水土流失及管道水毁事件大大减少(图 8~图 9)；而采取相同措施、较易恢复植被的黏土及卵砾石土段反而植被恢复较差，运营期间水工保护与水土保持设施损毁、水土流失情况较严重，不得不再次维护损坏的工程措施和补充植物措施。出现上述反差，主要是因为工程建设各方对植物措施的重视程度不够，植物措施质量把控不严，后期养护不够重视。比如个别植被恢复较差坡面的植草间距宽达 0.8 m~1.0 m (图 10)；个别区段出现作业带内管沟上方与管沟之外区别植草密度的情况(图 11)。由于植物措施的缺位，造成水工保护与水土保持工程设施的损毁和水土流失，形成恶性循环，影响管道安全和水土保持验收工作。

Figure 8. Pre-revegetation photo of completely weathered granite section (30˚)
图 8. 全风化花岗岩段植被回复前照片(30˚)

Figure 9. Post-revegetation photo of completely weathered granite section (30˚)
图 9. 全风化花岗岩段植被恢复后照片(30˚)

Figure 10. Excessive spacing in grass revegetation
图 10. 种草间距过大

Figure 11. Differentiated revegetation above pipelines compared to other zones
图 11. 作业带内管道上方与其他区域区别种草

4. 水工保护与水土保持建议

1) 生态袋材料在完工后 2 年~3 年将出现不同程度的破损，以截排水流为主的生态袋结构，常常出现沟壁或沟底侵蚀、进而结构失效的情况；当坡面坡度大于 25˚时，生态袋纵向排水渠损坏案例较多。因此建议生态袋截排水渠的使用年限不大于 3 年，纵向排水渠的适用坡度小于 25˚。坡度大于 25˚坡面的纵向排水宜采用混凝土材料，减少后期管道水毁及水土流失的风险。

2) 注重植物措施在水工保护与水土保持中的作用，后期工程设计和施工中应强化植物措施与水工保护和水土保持设施的施工衔接，强化植物措施的种植工艺、养护方案设计和施工过程管理。

3) 注重水工保护与水土保持措施综合治理。管道水工保护措施旨在保护管道，水土保持措施旨在减少水土流失，而往往部分水工保护设施又具有水土保持功能。工程实践发现是形成既保护管道，又减少水土流失的综合治理体系是保护管道、建设绿色管道的关键。

4) 各企业的施工水平参差不齐，许多已施工的水工保护与水土保持构筑物没彻底理解设计意图。建议今后的水工保护与水土保持工作加强设计与施工交融，强化设计交底及设计验收环节。

5) 未来水工保护与水土保持工作的重点将是现场施工的标准化、规范化、精细化升级管理。在施工升级管理中，监理单位作为业主方专业化管理团队，如何更好地把控工程质量，将关系到施工提升的成败。

基金项目

国家管网集团西部管道有限责任公司科项目(XG-JCGL-CX-KJXX-01-JL-03)。

参考文献

[1] 国家发展改革委, 国家能源局. 中长期油气管网规划[Z]. 北京: 国家发改委, 国家能源局, 2017.

[2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220322_1320017.html?code=&state=123, 2022-03-22.

[3] 高振宇, 张慧宇, 高鹏. 2022 年中国油气管道建设新进展[J]. 国际石油经济, 2023, 30(3): 16-23.

[4] 张对红, 李玉星. 中国超临界 CO_2 管道输送技术进展及展[J]. 油气储运, 2024, 43(5): 481-491.

[5] 李莉. 油气管道水工保护工程效能评价研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.

[6] 徐江, 罗本全, 李卿辰, 等. 油气管道水工保护工程有效性评价方法研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(27): 129-133.

[7] 贾韶辉, 周利剑, 张新建, 等. 长输管道时空序列数据分析[J]. 油气储运, 2016, 35(7): 713-717.

[8] 蔡文香. 中国极端气候事件的趋势特征与极值分布[D]: [博士学位论文]. 北京: 对外经济贸易大学, 2016.

[9] 杨波. 聚酯袋水工保护形式在江西天然气管网项目中的应用[J]. 化工管理, 2020(16): 178-180.
[10] 贾春磊. 生态袋措施在海西天然气管网二期管道工程中的应用[J]. 内蒙古水利, 2019(1): 63-64.
[11] 张伟. 生态袋结构在管道水工保护工程中的应用[J]. 福建建材, 2017(10): 58-60.
[12] 林铭玉. 生态袋防护措施在山区长输管道水工保护中的应用[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(1): 86-88.
[13] 罗义峰, 谭洪伟. 渝西某输气管道工程水土流失控制对策[J]. 中国水土保持, 2024(10): 33-36.
[14] 周大溯, 罗扬, 葛华, 等. 山区管道工程坡面径流防控设计及截排水体系[J]. 中国水土保持科学, 2023, 21(6): 71-79.
[15] 胥琴, 徐若语, 李广波, 等. 中缅油气管道境外段水土流失治理[J]. 油气储运, 2015, 34(12): 1359-1361.
[16] 李勉, 姚文艺, 李占斌. 黄土高原草本植被水土保持作用研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 74-80.
[17] 郑明国, 蔡强国, 王彩峰, 等. 黄土丘陵沟壑区坡面水保措施及植被对流域尺度水沙关系的影响[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 47-53.
[18] 姚赫, 王森林. 长输管道工程水土保持施工图设计若干问题探讨[J]. 人民长江, 2013, 44(11): 61-63.