

# 山地油气管道坡面水毁特征及治理方案研究

蒋 丹（贵州燃气集团股份有限公司，贵州 贵阳 550000）

**摘 要：**油气管道山地敷设段地形起伏相对较大、地质灾害多发，坡面水毁灾害是油气管道地质灾害中最常见、分布最为广泛的灾害类型之一。本文基于多年油气管道灾害现场调查与防治研究，结合典型坡面水毁实例，系统总结了坡面水毁灾害发育特征、对油气管道的危害模式以及防治方案。

**关键词：**油气管道；坡面水毁；发育特征；治理方案

## 0 引言

油气管道地质灾害主要包括滑坡、崩塌、泥石流、水毁、地面塌陷等类型，由于我国西南山区具有地质环境复杂、雨量充沛、地形起伏大等特点，使得坡面水毁灾害成为西南山区管道最常见的地质灾害类型。根据多年的现场调查，坡面水毁灾害主要表现为降雨在坡面汇流形成侵蚀和挟带能力，坡面水流将横切管道、顺蚀管沟和溯源侵蚀，进而冲刷管道覆土、冲毁管道挡土墙、截水墙等附属设施，导致管道出现浅埋、露管、悬空等现象，严重时管道将发生变形造成拉压破坏，甚至出现断管等危害。

由于坡面水毁在时间和空间方面具有随机性的特点，导致山区管道坡面水毁灾害呈现分布广泛、危害性较大、不易治理等特征。为此，开展山区管道坡面水毁灾害特征分析及防治研究具有显著的工程实践意义。

## 1 山地油气管道坡面水毁灾害特征

### 1.1 油气管道坡面水毁灾害分类

根据多年油气管道地质灾害现场调查表明，坡面水毁灾害一般有 2 种类型，第 1 种是指斜坡表面在集中降雨或有坡面径流时，在坡面上形成股状洪流，汇流冲刷管道上覆岩土体，导致管道露管。第 2 种是指径流发生在坡体内，水流进入到松散管沟内，形成地下暗流，带走管沟填土中的细粒土，导致管道悬空、管沟塌陷等。

### 1.2 坡面水毁特征分析

#### 1.2.1 坡面水毁灾害发育特征及影响因素

坡面水毁主要由坡表（体）水动力冲蚀土体引起，水力冲刷侵蚀的强弱主要取决于边坡特征和水动力条件（如坡度、坡长、降雨、岩土体性质、植被覆盖率及人类工程活动等因素）。管道坡面水毁发育影响因素分为内在影响因素和外在诱发因素，主要内在影响因素为地形地貌、地层岩性条、地质构造、地下水活动；

主要外在诱发因素为降水、人类工程活动、地表水活动等。其中水动力是水毁灾害发生的根本原因，坡面水毁的水源一般为高强度降雨，也有可能为灌溉水或地下水，而水毁区域往往为坡面汇流的集中通道。对于在山区敷设的管道，管道建设时斜坡开挖破坏植被，管沟回填不密实，而坡形的改变往往使管沟成为斜坡水流的汇流路径，导致管沟坡面水毁严重。一般情况下，坡面土体越松散，坡度越大，降雨强度越大，人类工程活动越频繁，坡面水毁灾害发生的可能性越大，其危害程度越大。

各因素的影响分析如表 1 所示。

表 1 山区管道坡面水毁主要影响因素及特征

序号	主要因素	影响及特征
1	降水条件	高强度降雨是坡面水毁发生的根本原因，水毁区域往往发生在坡面汇流的集中通道。
2	地形地貌	地形地貌是控制斜坡失稳形成的内在决定性因素。坡斜坡坡度越大，水流速度越快，水动力也就越大，导致冲刷能力变强，坡长越长，水的势能就越大，冲刷能力也就越大。
3	岩土性质	岩土体是地质灾害的载体和物质基础。疏松、密实度低、颗粒粒径小的碎石土受到坡面水流冲刷的影响更为严重。
4	植被覆盖	植被覆盖差的坡面受到水流的冲刷侵蚀更加剧烈；坡植被稀疏时，对地表土的加固作用和对水流动能的削减作用就比较差，继而易发生坡面水毁灾害。
5	地表水活动	在地表水的强烈侵蚀、冲刷作用下常形成坡面水毁冲沟，坡面径流对坡面的切割及对坡脚的冲蚀强烈，导致斜坡土体局部垮（滑）塌，形成坡面水毁等地质灾害。
6	人类工程活动	不合理的人类工程活动经常诱发水毁地质灾害的发生。管道附近修建的工程会对管道产生影响，例如在管道上游修建的公路、铁路，其桥涵将扇面水流进行汇集，造成水量和流速的加大，导致下游管道覆土受到的坡面水毁灾害更为严重。另外在管道通过斜坡地段，由于回填不实或未平整坡面，常在管道通过坡面形成地表水集中汇集径流区域。

1.2.2 坡面水毁破坏模式与危害特征



图 1 山区管道坡面水毁管道灾害危害管道模式现场照片

坡面水毁灾害危害模式表现形式主要为地表冲刷侵蚀、坡面局部的滑（垮）塌、水毁冲沟、水毁潜蚀塌陷和水工保护设施的破坏等。位于坡面水毁发育范围内的管道，将会使管道发生裸露管、悬管，或管道

上方覆盖层变薄、管道浅埋等安全隐患，如图 1 所示。坡面水毁灾害发育的威胁程度取决于管道的敷设情况，如管道的埋深、管道上方覆土回填的密实程度等，同时也取决于管道的穿越方式，如管道于坡体是顺向穿越、横向穿越或斜向穿越。

2 管道坡面水毁灾害防治方案

2.1 管道坡面水毁防治特点

油气管道坡面水毁灾害的防治特点不同于一般的崩滑流灾害防治，其差异性主要体现在地质环境、输送介质、施工环境、施工工艺和安全工期等几个方面，如表 2 所示。

2.2 管道坡面水毁防治方案

坡面水毁防治方案确定的核心是防止坡面（体）受水冲刷侵蚀而形成水毁冲沟、塌陷、掏蚀、垮塌等水毁破坏，进而防止造成管道浅埋、露管、悬管。根据工程实践，主要采取挡土墙工程、护坡工程、护面工程、水保工程、截排水工程及综合工程等，如表 3 所示。以上措施广泛应用于中缅管道沿线，实践证明防治效果较好，在很大程度上起到了坡面防护作用。

表 2 管道坡面水毁灾害防治特点

序号	项目	特征	具体分析
1	敷设地质环境特殊性	管道沿线地质环境复杂	山地管道沿线地质环境复杂，山高谷深、河流纵横、构造复杂、岩土体结构差。
2	输送介质的特殊性	输送重要油气资源，具有高压、易燃、易爆等特征	长输管道输送天然气、原油、成品油，是重要的能源物资，通常是关系到国民生计生活重要资源，受灾后果严重。
3	施工环境特殊	施工环境复杂	山地管道地理位置偏远，交通条件差，应优先考虑施工小、经济、轻便的防治工程。
4	施工安全特殊	施工中安全要求高	一旦在施工过程发生事故，不仅直接威胁施工人员的生命安全，还会严重威胁油气管道本体，其损失不可想象。
5	施工工期特殊	应急抢险工期紧	一般水毁多发生在主汛期的 6～9 月，雨季阴雨连绵，施工作业时间十分有限。管道水毁发生会严重影响到管道运行安全，需要及时进行处理，作业争分夺秒，工期十分紧张。

表 3 管道坡面水毁治理方案统计表

分类	工程防护措施
挡土墙工程	如重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙、锚定板挡土墙、加筋挡土墙、桩板式挡土墙等 + 辅助措施
护坡工程	如普通护坡、骨架护坡、预制块护坡、换填夯实、回填夯实等 + 辅助措施
护面工程	如截水墙、实体护面墙、素喷护面、锚杆、网喷、素喷、冲土墙、灰土干打垒等 + 辅助措施
坡面水土保持工程	如堡坎、水平沟、鱼鳞坑、植生带、植树或植草等 + 辅助措施
截排水工程	截水沟、排水沟等
综合工程	“柔性截墙”稳固边坡 + “柔性排水”分流疏导 + 草袋护坡恢复地貌



根据笔者多年的工程实践,针对山区管道坡面水毁灾害,主要具体防治措施有:

①截水墙。在山区陡坡地段敷设管线时,因坡度较陡,管沟回填土难以稳定,易被雨水冲刷形成冲沟,在管沟内每隔一定距离设置一道截水墙,截水墙两侧应嵌入到管沟两侧未扰动土体内,从管沟底做起并露出地面适当高度,以便将坡面汇水排离管道两侧。

②挡土墙。管道经过山体长陡坡段、横坡段或土体不稳定地段,需采取挡土墙进行保护,挡土墙一般采用浆砌石、混凝土结构,基础宜建在较坚硬的地基上,并合理布设排水孔。截水挡土墙建在斜坡坡面管沟内,通常有两个作用:一是稳定管沟的坡体;二是使坡面水土分离,防治管沟侵蚀。多道截水挡土墙的修建还能起到降低斜坡坡度,使斜坡稳定。抗滑挡土墙和截水挡土墙在管道延伸方向定距离修建,最终使斜坡被扰动坡体逐渐趋于稳定,保护管道的安全。

③护坡。护坡有浆砌石护坡、石笼护坡、生态袋护坡及植被护坡等多种形式,在山区陡坡地段能够起到很好的坡面防护作用,但是要根据不同的地质条件进行合理的选择。

④植被恢复措施。植被恢复措施是控制水蚀和稳定边坡的一个有效辅助措施。管道建设开挖斜坡形成的坡面浅表层不稳定,植被对于稳定这类斜坡具有很大优势。由于草本植物具有繁殖快、生长迅速的优点,能对管道施工扰动裸地进行快速覆盖,减少地表的侵蚀和防治水土流失;同时,灌木根系发育好,对稳定浅层坡体有利。

⑤截排水措施。排堵结合的方式可以有效地控制管线附近的水流方向,根据现场实际地形,对流经管道附近的一些冲沟或汇水通道,可以在上游或管道坡面纵向和横向设置截排水沟,切断上游来水,并将水流引至管道之外,达到防护目的。截排水沟分为临时和永久,临时性排水沟采用开挖沟槽铺设塑料放水薄膜或者 PE 膜,永久一般采用预制或者现浇混凝土结构。

⑥“木桩篱笆墙柔性支护+草袋装草籽生态护坡”治理措施,具体为在坡顶和坡面设置柔性截排水沟,将汇水引入植被茂盛区域散排或汇入顺坡设置的柔性主排水沟内,通过对坡顶汇水和坡面汇水分区域拦截,减小坡面汇水量,使其不足以引起水土流失,同时结合坡面实际情况横坡向设置“柔性截墙”固定管沟回填土和柔性排水沟,最后采用草袋装耕植土撒草籽护

坡恢复地貌。

## 2.3 不同灾害发育阶段的防治方案

①水毁发育前期,表现形式以坡面形成细沟、冲沟为主,管沟局部水土流失,坡面水工结构可能发生破损、基础掏蚀、挡墙倾倒等现象。该类型需要采取“治早治小”处置,及时修筑截排水沟将坡面水流截流,将挡墙基础进行修复,将坡面冲沟、裂缝进行回填。

②水毁发育中期,表现形式为坡面冲刷严重,水工结构损坏,管道光缆浅埋。该类型需要采用圬工工程治理处置,重修破坏的挡墙,修筑截水墙、挡墙等支挡结构。

③水毁发育后期,表现形式为管道露管、冲刷严重,水工结构完全失效。该类型需要及时应急处理,以保护管道为核心,首先将管道进行土袋压覆,将坡面进行放水覆盖;采用 HDPE 膜制作柔性排水沟、或预制混凝土排水沟构建进行快速截水;采用钢管桩、木桩等快速支挡结构进行固土,达到应急排危后续开展工程永久治理。

## 3 结论

①管道坡面水毁发育影响因素分为内在影响因素和外在诱发因素,主要内在影响因素为地形地貌条件、地层岩性条件、地质构造条件、地下水活动;外在诱发因素为降水条件、人类工程活动、地表水活动、地震作用等。其中水动力是水毁灾害发生的根本原因。其表现形式主要为地表冲刷侵蚀、坡面局部的滑(垮)塌、水毁冲沟、水毁潜蚀塌陷和水工保护设施的破坏等。

②常见的管道水毁治理措施包括修建挡土墙、截水墙、堡坎、坡面防护、截排水沟等措施。截水固坡是防治工程的核心,因地制宜提出合理的防治措施是保护管道安全运行的关键。工程实例中提出的抗滑桩固坡+截排水沟的实施,有效治理了土层较厚、坡面水毁严重的灾害情况。

## 参考文献:

- [1] 郭磊,刘英男,项卫东,等.长输天然气管道坡面水毁风险敏感因素辨识[J].油气储运,2015,34(05):477-481.
- [2] 郭守德,王强,林影,等.中缅油气管道沿线地质灾害分析与防治[J].油气储运,2019,38(09):1059-1064.

## 作者简介:

蒋丹(1989-),女,贵州贵阳人,本科,工程师,主要研究方向:燃气工程管理。