

粤北天然气管道工程水土流失防治探讨

莫 斌,朱世海,史卓琳,张达顺

(中水珠江规划勘测设计有限公司,广东 广州 510610)

[关键词] 水土流失;预测;防治措施;天然气管道工程

[摘 要] 以粤北天然气管道工程为例,通过分析工程水土流失部位,采用数学模型法预测土壤流失量,结果表明:直埋施工区和施工道路区是水土流失重点区域;结合防治分区特点,综合布设拦挡、排水、覆盖等措施,可有效控制土壤流失;在工程建设期间应加大水土保持措施落实力度,重视水土保持管理工作,为防治水土流失和保护生态提供充足保障。

[中图分类号] S157.7 [文献标识码] C DOI:10.3969/j.issn.1000-0941.2024.12.006

[引用格式] 莫斌,朱世海,史卓琳,等. 粤北天然气管道工程水土流失防治探讨[J]. 中国水土保持,2024(12):16-18,41.

随着经济的快速发展、“煤改气”政策的实施及能源结构的优化推进,人们对天然气能源的需求不断增加,输气管道工程建设呈现快速发展趋势。根据国家发展和改革委员会、国家能源局 2022 年 1 月发布的《“十四五”现代能源体系规划》,2020—2025 年全国油气管网规模将从 17.5 万 km 增加至 21 万 km,并将全面推进燃气管道老化更新改造,重点改造城市不符合标准规范、存在安全隐患的燃气管道。可见,未来很长的一段时间内,我国仍将建设和改造大量输气管道工程。

输气管道具有线路长、扰动面广、路径选择限制性、跨越工程复杂等特点^[1],工程建设期间的水土流失也存在多样性、复杂性和防治难度大等特点。考虑到水土流失会对土地资源、生态环境、基础设施、河道防洪等带来不利影响^[2],本研究以粤北天然气管道兴连项目为例,探讨管道工程水土流失重点区域及水土流失防治措施要点,以期同类项目水土保持工作开展提供参考。

1 工程概况

粤北天然气管道兴连项目起于兴宁分输站,终点分别为和平末站和连平末站,沿途经梅州市兴宁市、五华县、河源市龙川县、和平县、连平县。管线总长 156.6 km,其中:兴宁—林寨段长 90.5 km,管径 323.9 mm;林寨—和平段长 28.6 km,管径 219.1 mm;林寨—连平段长 37.5 km,管径 219.1 mm。输气管道全线穿越大中型河流 3 处共 1 975.3 m,铁路 6 处共 480 m,高速、国道、省道及县道 11 处共 580 m,乡道 43 处共 1 075 m,鱼塘 38 处共 1 827 m,小型河流、沟渠 34 处共 538 m,沿线设 4 座站场和 5 座阀室,需新建站场、阀室

进站道路 1 093 m。工程总占地面积 205.05 hm²,总挖方 201.05 万 m³,总填方 199.06 万 m³,借方 0.04 万 m³,余方 2.03 万 m³。工程于 2023 年 9 月开工,计划总工期 14 个月。

工程所在地和平县、连平县属东江上中游国家级水土流失重点预防区,兴宁市、五华县、龙川县属粤闽赣红壤国家级水土流失重点治理区,此外兴宁市(新陂镇、叶塘镇)属宁江水土流失重点治理区,五华县(华城镇)属琴江五华河水土流失重点治理区。

2 水土流失分析

2.1 水土流失部位

1) 站场及阀室区。工程设 4 座站场和 5 座阀室,占地面积共计 3.45 hm²。管道沿线以丘陵地貌为主(占比达 75%),为减少耕地占用,站场及阀室需尽量布设在坡地上,因此其建设将产生一定的挖填边坡。经统计,工程建设产生的平台面积约 1.88 hm²,边坡面积约 1.57 hm²(其中挖方边坡 0.88 hm²、填方边坡 0.69 hm²),挖方边坡坡比按不陡于 1:1.0 控制,填方边坡坡比按不陡于 1:1.5 控制。为减少弃方产生,场区以移挖作填、就近利用为准则。施工产生的裸露边坡,特别是填方边坡,土质松散、黏聚力小、结构不稳定,如不能采取及时有效的防护措施,遇降雨则可能引发边坡坍塌等水土流失事件,威胁场区安全。

2) 直埋施工区。直埋施工区的场地平整、基槽挖填、临时堆土等过程均会加剧水土流失^[3]。管道沿线经过地段一般采用直接开挖埋设,直埋施工段长 152.87 km,面积共计 141.07 hm²。开挖的管沟底宽 1.0~2.4 m,管沟坡度根据土壤类别、坡顶荷载情况确定,坡比在垂直至 1:1.25 之间,管顶覆土厚度不小于

1.2 m。直埋管道开挖和回填量均为 163.65 万 m³,占工程开挖总量的 81.4%。开挖土方堆放在管线一侧,最大堆高不超过 3 m,管道埋设后将开挖土方及时回填。直埋施工段穿越地形以丘陵为主,其次为沟谷阶地。经统计,直埋施工段产生的平台面积约 63.48 hm²,边坡面积约 77.60 hm²,挖方边坡坡比按不陡于 1:1.0 控制,填方边坡坡比按不陡于 1:1.5 控制。由于产生的边坡相对集中,因此若边坡下游无拦挡,则容易在降雨作用下引发严重的水土流失。此外,直埋施工段穿越沟渠、河流时,需截断自然水系,围堰部位直接与水流接触,长时间浸泡与冲刷也容易产生水土流失。

3)管洞施工区。输气管道施工通过开挖管洞形式穿越较大的水系、等级道路等。工程管洞穿越共 62 处,施工段长 3.73 km,在洞口两端征用一定区域作为施工作业区,面积共计 4.78 hm²。将管卸入工作坑后,通过传力顶铁和导向轨道,用支撑于基坑后座的液压千斤顶将管压入土层中,被挖掘物质通过泥浆循环系统用泵排出到达地表。管洞施工产生的土方量不大,但含水率较高,结构不稳定,容易受降雨冲蚀而产生水土流失。此外,管洞穿越较大水系时,施工扰动靠近河道管理范围等敏感区域,流失的泥沙容易进入河道并对其进行不良影响。

4)施工道路区。为方便施工机械进场,需要在沿线道路与施工作业带之间修建施工道路。全线施工道路长 56.10 km,其中新建 28.10 km、扩建 28.00 km,占地面积 50.52 hm²。施工道路开挖量为 26.61 万 m³(含表土),占工程开挖总量的 13.2%,开挖土方及时回填,不单独设堆放场地。施工道路沿管线呈网状分布,主要布设于丘陵地区,普遍存在挖填边坡。经统计,施工道路产生的路面面积约 25.20 hm²,边坡面积约 25.32 hm²。施工道路位于坡地段的,其填方接触面为边坡,受上层压力作用,路基不稳定,在降雨作用下容易产生滑塌和水土流失。有研究表明,施工道路是工程建设水土流失的主要区域,应加强防护措施布设^[4-5]。

5)施工营地区。在工程沿线新建站场周边共设置 51 处施工营地,主要为办公场所、材料仓库、材料堆放场等施工生产用地,总占地 5.25 hm²。施工营地沿管线呈点状分布,局部存在挖填边坡。经统计,施工营地占地中平地面积约 4.85 hm²、坡地面积约 0.40 hm²(挖方边坡 0.16 hm²、填方边坡 0.24 hm²)。尽管施工营地区扰动地表强度及危害程度不如其他区域,但由于数量多且分散,施工生产活动频繁,防护难度大,因此也容易造成水土流失。

2.2 水土流失时段

水土流失时段可分为施工期(含施工准备期)和自然恢复期,具体根据施工进度确定。施工期(含施工准备期)自各单元的施工扰动开始,至施工结束为止。其中,站场及阀室区水土流失时段按主体进度取 1 a;直埋施工区和管洞施工区分段施工,取 0.5 a;施工道路区及施工营地区根据各工点施工进度估算,取 1 a。自然恢复期为施工结束后未采取水土保持措施条件下,植被自然恢复,土壤侵蚀逐渐减弱并接近背景土壤侵蚀模数所需的时间。工程所在地区属亚热带季风气候区,水热条件较好,不同地点年均气温 19.7~21.4℃,年均降水量 1 537.7~1 805.5 mm,气候条件有利于植被恢复,土壤侵蚀强度接近容许值,故自然恢复期取 1 a。

2.3 水土流失量

2.3.1 土壤侵蚀面积及模数

工程建设中可能造成水土流失的区域包括站场及阀室区、直埋施工区、管洞施工区、施工道路区、施工营地区。根据实地调查,项目建设区及周边地区土壤侵蚀类型以水力侵蚀为主,侵蚀形态主要为面蚀和沟蚀,属于微度侵蚀区域。根据《生产建设项目土壤流失量测算导则》(SL 773—2018)测算扰动后的土壤侵蚀量,得到工程施工期和自然恢复期侵蚀面积及侵蚀模数,见表 1。

表 1 工程各分区土壤侵蚀面积及侵蚀模数

分区	侵蚀模数 背景值/ [t/(km ² ·a)]	侵蚀面积/hm ²		侵蚀模数/ [t/(km ² ·a)]	
		施工期	自然恢复期	施工期	自然恢复期
站场及 阀室区	338	3.43	1.72	12 452	483
直埋施工区	433	141.07	99.94	10 729	476
管洞施工区	384	4.78	1.46	1 148	388
施工道路区	294	50.52	37.67	13 547	583
施工营地区	363	5.25	4.60	2 146	429

2.3.2 土壤流失预测

土壤流失预测是测算在工程建设扰动地表且不采取水土保持措施的最不利情况下,可能造成的土壤流失量。土壤流失量包括土壤流失总量和新增土壤流失量。土壤流失量预测结果见表 2。

从表 2 可以看出,工程可能造成的土壤流失量约 15 707.88 t,其中新增土壤流失量 14 642.49 t;新增土壤流失量中,施工期土壤流失量约 14 485.07 t(占比达 98.92%),自然恢复期土壤流失量约 157.42 t(占比 1.08%),故水土流失防治重点在施工期。新增土壤流失量中,直埋施工区施工期新增土壤流失量约 7 262.28 t(占比 49.60%),施工道路区施工期新增土壤流失量约 6 695.41 t(占比 45.73%),这两个分区施

工期新增土壤流失量合计占比超过 95%,是水土流失的重点区域。分析其原因,两分区施工过程中开挖扰动地表强烈,挖填土石方量大,临时堆土疏松分散,容易遭受降雨冲蚀,土壤侵蚀模数较大,加之土壤流失范围较广,故产生的土壤流失量较大。

表 2 土壤流失量预测结果

分区	预测时段	背景流失量/t	预测流失量/t	新增流失量/t
站场及阀室区	施工期	11.59	427.10	415.51
	自然恢复期	5.81	8.31	2.50
	小计	17.40	435.41	418.01
直埋施工区	施工期	305.42	7 567.70	7 262.28
	自然恢复期	432.74	475.71	42.97
	小计	738.16	8 043.41	7 305.25
管洞施工区	施工期	9.18	27.44	18.26
	自然恢复期	5.61	5.66	0.05
	小计	14.79	33.10	18.31
施工道路区	施工期	148.53	6 843.94	6 695.41
	自然恢复期	110.75	219.62	108.87
	小计	259.28	7 063.56	6 804.28
施工营地区	施工期	19.06	112.67	93.61
	自然恢复期	16.70	19.73	3.03
	小计	35.76	132.40	96.64
合计	施工期	493.78	14 978.85	14 485.07
	自然恢复期	571.61	729.03	157.42
	小计	1 065.39	15 707.88	14 642.49

3 水土流失防治

3.1 拦挡措施

拦挡措施包含浆砌石或混凝土挡土墙和袋装土临时拦挡。在站场及阀室区挖填边坡坡脚设置浆砌石或混凝土挡土墙,可以拦挡不稳定边坡,确保场区安全。徐学选等^[6-7]对次降雨条件下沟坡道路的土壤侵蚀模数进行研究,结果表明土壤侵蚀模数在 45~64 kg/m²之间,而对水平型和凸型路堤采取抗蚀防护工程(如在路边挖蓄水槽和设挡土埂等)的减沙效益在 80%以上。在直埋施工区的填方边坡、管线穿河两岸边坡等修建的浆砌石挡土墙可保护边坡免受雨水冲刷,确保边坡稳定。对坡度小于 25°的施工作业带土质边坡和全风化岩质边坡采用生态袋护坡,袋内装填含灌草种的种植土,能起到拦挡与防护作用。此外,由于其他回填边坡及表土堆放区域也容易受雨水冲刷,土壤流失明显,因此建设方案考虑在高填边坡坡脚和表土堆放区周围设置编织袋装土临时拦挡,拦挡回填边坡和临时堆土边坡,可以有效减少土壤流失和确保边坡稳固。

3.2 排水措施

排水措施包含永久截排水沟和临时排水沟。站场及阀室区在挖方边坡上侧和边坡坡脚处设置截排水沟以排出上游来水,在围墙内外侧设置排水沟以排导场

地汇水。位于山丘区的管道工程,有坡面来水时,应在开挖边坡上游外侧设截水沟,在坡脚设排水沟以排走汇水。定向钻施工时,在入土点设泥浆池,将孔口溢出的泥浆引入泥浆池进行沉淀,以避免场区漫流。此外,为防止临时场地积水和土壤流失,可在场地周边布设临时排水沟,在排水沟出口设沉沙池。施工道路主要沿山丘布线,开挖产生的坡面容易被来水冲刷,可在汇水侧布设临时排水沟,在排水沟与周边自然沟道衔接处布设沉沙池,以确保泥沙截留沉积和汇水顺利排导。

3.3 覆盖措施

覆盖措施包含部分挖方边坡的浆砌片石防护、植物防护,绿化区域的乔灌草覆盖,临时裸露边坡和临时堆土表面的塑料薄膜覆盖等。站场及阀室区存在挖方边坡,部分较陡的采用浆砌片石防护,其余采用菱形方格网植草防护;对站场及阀室区围墙外空地、进站道路两侧空地,采用铺植草皮绿化;施工作业带的挖填边坡,除浆砌石、生态袋等防护区域外,可采用植草防护;管道中心线两侧 5 m 范围外(不含边坡)考虑栽植乔灌木绿化,其余区域采用撒播草籽绿化;开挖普通土方、剥离表土临时堆放、场地平整产生的裸露边坡,在雨季时可采用绿网苫盖,以避免雨水冲刷,减少土壤侵蚀;对临时堆土等区域,采用彩条布铺垫保护表土。

4 结束语

随着我国能源结构的优化与完善,天然气管道项目得到了快速发展,但同时项目建设产生的水土流失问题也应引起足够重视。天然气管道工程建设产生的水土流失主要源自站场及阀室建设、管道埋设、管道穿越、施工道路及施工营地修建等环节。对输气管道项目水土流失进行预测,发现直埋施工区和施工道路区的新增土壤流失量占比超过 95%,是水土流失的重点区域,因此在工程建设过程中需对这两个区域进行重点防治,从源头减少水土流失,同时对工程区采取拦挡、排水、覆盖等措施。此外,工程建设过程中还应结合项目区水土流失特点,在综合布设防治措施的前提下,加强水土保持措施落实力度,重视水土保持监测与监理工作。

[参考文献]

[1] 秦瑞杰,李平,安乐平.天然气管道工程水土保持措施设计分析[J].中国水土保持,2022(4):8-10.
[2] 熊舒芸.江西省抚州天然气管网工程水土流失防治初探[J].陕西水利,2020(12):144-146.
[3] 周梦玲.城市管网工程水土流失特点及防治重点[J].水利技术监督,2022(9):285-288.

寸为 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 。

为提高护坡稳定性,使用锚杆对护坡进行垂直锚固。锚杆规格为 $\phi 14\text{ mm}$ 螺纹钢,长度 $L=800\text{ mm}$,一端弯钩,每 4 层垂直钉入 2 根锚杆,密度为 15 根/ 10 m^2 。另外,为提高护坡稳定性,每 4 层蜂巢格室设一道加筋土工格栅。

护坡内设置集水管和排水管,均为 $\phi=50\text{ mm}$ 的 PVC 管。集水管位于地面以上第一层或第二层蜂巢格室底部,距护坡背部蜂巢格室 $30\sim 50\text{ mm}$,纵坡坡比 $\geq 2\%$,外裹无纺土工布。排水管与集水管连接,穿出护坡,每隔 10 m 设置一道,出口应高出地面 150 mm 以上,出口处设置防冲砂砾保护层。

外排格室装填种植土,撒播结缕草、百喜草、萱草、蝴蝶花,种植常春油麻藤、扶芳藤。护坡内部格室选用经过挑选、排水性好的级配碎石填充,粒径 $\leq 50\text{ mm}$ 。护坡基础部分填料夯实度 $\geq 92\%$,基础以上格室内填料夯实度 $\geq 85\%$ 。

3.4.2 平铺式蜂巢格室护坡

平铺式蜂巢格室护坡格室与坡面之间铺设无纺土工布,坡脚土工布采用 C25 混凝土压盖,土工布反包压盖层。坡顶土工布采用锚杆固定并采用 C25 混凝土压盖。格室单元高度为 150 mm ,采用 $\phi 14\text{ mm}$ 带限位帽的锚杆固定,长度 800 mm 。格室内设置加筋带,加筋带密度为 2 根/ m ,应为整根,不可有接头,加筋带应在坡顶用锚杆固定,与蜂巢格室连接处采用钢丝绳锚夹固定。格室内填种植土,夯实度 $\geq 85\%$ 。撒播结缕草、百喜草、大花金鸡菊。

3.5 实施效果

项目实施后,边坡的稳定性得到提高,且随着时间的推移,格室内植物长势良好,生态美观,与周边环境协调一致,边坡生态环境逐步得到恢复。蜂巢格室护坡未产生因地形变化造成的变形、破损等现象,工程防护效果和生态效果均达到了预定目标,取得了良好的

工程效益和生态效益。

4 结束语

通过对蜂巢格室在边坡防护中的技术优势以及其护坡施工技术等方面进行探讨和分析,得出了以下结论:蜂巢格室作为一种边坡防护材料,具有对地形适应能力强、抗侵蚀能力强、施工方便、成本低廉、节能环保、生态美观等优势,在提高边坡稳定性的同时,也能更好地促进边坡生态的恢复。随着边坡防护技术的不断发展及人民群众对生态环境要求的不断提高,蜂巢格室在边坡防护工程中将会得到更加广泛的应用和推广。

[参考文献]

- [1] 任敏松. 基于 ABAQUS 的土工格室生态边坡稳定性数值模拟研究[D]. 济南:山东大学,2015:7.
- [2] 杨晓华. 土工格室工程性状及应用技术研究[D]. 西安:长安大学,2005:6-8.
- [3] 马琳,刘中林. 土工格室在高速公路建设中的应用前景[C]//中国公路学会道路工程学会,安徽省公路学会. 2002 年道路工程学会学术交流会议论文集. 北京:人民交通出版社,2002:109-113.
- [4] 杨潇,朱积有. 蜂巢约束系统生态护坡技术的工程应用[J]. 水利建设与管理,2019,39(10):37-42.
- [5] 王成元,肖彩玲,李朝晖. 蜂巢格室坡面绿化在城市水土保持中的应用[J]. 水土保持应用技术,2022(5):42-44.
- [6] 李吉成. 蜂巢格室技术在工程方面的应用概述[J]. 海峡科技与产业,2017(7):192-193.

收稿日期: 2024-02-20

第一作者: 杨之恒(1991—),男,山东聊城人,工程师,硕士,主要从事水土保持、生态修复及小流域综合治理等工作。

E-mail: 1121938156@qq.com

(责任编辑 杨傲秋)

(上接第 18 页)

- [4] 刘金鹏,陈豫津. 矿山项目补充开展水土保持监测的技术分析[J]. 中国水土保持科学,2023,21(5):111-119.
- [5] 李国会,武佳枚,赵莹. 山东省太阳能光伏发电项目水土保持分析[J]. 山东水利,2023(9):89-91.
- [6] 徐学选,琚彤军,郑世清,等. 黄土丘陵区次降雨下的山坡道路侵蚀特征分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊):574-578.

- [7] 李云侠. 延长气田洛川井区集输干线及管网水土保持监测分析[J]. 陕西水利,2020(6):152-153,156.

收稿日期: 2024-01-15

第一作者: 莫斌(1989—),男,广西梧州人,工程师,硕士,主要从事水土保持及土壤侵蚀研究等工作。

E-mail: 602561768@qq.com

(责任编辑 李杨杨)