

# 长输管道植被恢复及关键种植技术

白玉<sup>1</sup>, 徐成<sup>1,2</sup>, 秦百顺<sup>2</sup>, 李斌斌<sup>2</sup>

(1. 中国石油管道建设项目经理部, 北京 100101; 2. 北京水保生态工程咨询有限公司, 北京 100055)

**摘要:** [目的] 分析西气东输二线工程(西段)水土保持植物的降水、土壤等条件,选择适宜作为管道绿化用草的草种。[方法] 采用观察现场实地监测的办法,研究了扰动后的土壤性质变化、自然降雨及土壤等自然条件对人工植被恢复效果的影响。[结果] 筛选确定了既具备生态适应性,又实用、经济的紫花苜蓿、冰草、芨芨草、草木樨等 4 个适生优良草种的种植设计、种植方法,监测了其在不同施工区的生长发育状况。[结论] 对管线进行合理植物措施配置,优选适宜作为管道绿化用草的草种可以有效减少水土流失,管护管道安全。

**关键词:** 长输管道; 植被恢复; 土壤理化性质; 种植技术

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2016)01-0201-05

中图分类号: S157.2

文献参数: 白玉, 徐成, 秦百顺, 等. 长输管道植被恢复及关键种植技术[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 201-205. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.036

## Recovery and Key Cultivation Technology of Long-distance Pipeline Vegetation

BAI Yu<sup>1</sup>, XU Cheng<sup>1,2</sup>, QIN Baishun<sup>2</sup>, LI Binbin<sup>2</sup>

(1. Chinese Oil Pipeline Construction Project Manager, Beijing 100101, China;

2. Beijing Soil Conservation and Ecology Engineering Consulting Company Limited, Beijing 100055, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study is to analyze the precipitation and soil conditions of the plants in the west section of the second west-east natural gas transmission pipeline project, in order to select the suitable grass species for the pipeline soil and water conservation. [Methods] Based on in-situ monitoring, we investigated the influences of soil property change due to disturbance, natural rainfall, soil and other natural conditions on the restoration of artificial vegetation. [Results] *Medicago sativa*, *Agropyron cristatum*, *Achnatherum splendens* and *Melilotus suaveolens* were selected as the optimal plant species for pipeline soil and water conservation. The growth and development of these four species was monitored in different construction regions. [Conclusion] To select the suitable plant species for soil and water conservation is of great importance for the soil loss control and pipeline security.

**Keywords:** long pipeline; vegetation restoration; soil physical and chemical properties; cultivation techniques

石油、天然气长输管道建设作为国家能源安全战略的重要组成部分,近年来发展迅速。“十二五”期间,还将建成投产  $4.00 \times 10^4$  km 长输管道。管道建设产生了大量的地表扰动,管道建成以后,扰动地表植物措施若不及时恢复,将造成巨大的水土流失,同时也将危及管道自身的安全运行。由于管道施工导致地表原有植被遭到破坏,土壤理化结构发生改变,再加上管道往往穿行于自然条件恶劣、人口稀少、社会依托条件较差的地域,在扰动后的土地上植草,面临着草种优选和养护方式优化的难题<sup>[1-6]</sup>。本文以西

气东输二线工程(西段)水土保持植物措施配置为研究对象,旨在通过分析不同降水、土壤等条件,优选适宜作为管道绿化用草的草种<sup>[7-12]</sup>;通过上述研究,以期提高长输管道植被恢复的质量和恢复时间,减少管道造成的水土流失,保护管道运行安全。

## 1 材料与方 法

### 1.1 项目区概况

西气东输二线工程西起新疆霍尔果斯口岸,总体走向由西北向东南,东至浙江、上海,南至广东、广西,

收稿日期:2014-12-17

修回日期:2014-12-23

资助项目:水利部公益性行业科研专项经费项目“小流域淤地坝坝系防洪风险评价技术”(201201084)

第一作者:白玉(1960—),男(汉族),吉林省长春市人,硕士,教授级高级工程师,主要从事天然气、原油、成品油长输管道工程安全、环境保护、水土保持管理工作。E-mail: baiyu2080@sina.cn。

通讯作者:徐成(1982—),男(汉族),山西省吕梁市人,硕士,主要从事天然气、原油、成品油长输管道工程安全、环境保护、水土保持管理工作。E-mail: 26136546@qq.com。

途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、湖北、江西、广东、安徽、江苏、浙江、上海、湖南、广西、香港这 15 个省(自治区、市)。主体工程由 1 条输气主干线,6 条支干线,2 条主干线联络线和 3 座配套地下储气库组成,线路总长 9 102 km,设计输气能力  $3.00 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ 。

西气东输二线工程(西段),属新建特大型 I 级工程,包括主干线霍尔果斯—中卫段和中卫—靖边联络线两条管线,是接入进口气源的关键工程。涉及新疆、甘肃、宁夏、陕西 4 省(自治区),管道长 2 745.86 km,其中,主干线霍尔果斯—中卫段管道长 2 409.64 km,管径 1 219 mm,设计压力 12 Mpa;中卫—靖边联络线管道长 336.22 km,管径 1 016 mm,设计压力 10 Mpa,建设站场 22 座、阀室 79 座、管道“四桩”8981 处。管道设计输气能力  $3.00 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ 。建设单位为中国石油天然气股份有限公司管道建设项目经理部,工程于 2008 年 2 月开工建设,2010 年 1 月投入试运行,工程总投资  $3.47 \times 10^{10}$  元。

## 1.2 研究方法

以西气东输二线管道工程(西段)建设区为例,依据温带干旱半灌木—小乔木荒漠、暖温带西部极端干旱灌木—半灌木荒漠、暖温带东部半灌木—灌木荒漠、黄土高原西部荒漠草原、黄土高原中部典型草原 5 个植被地带的不同自然条件与长输管线特定的施工类型,研究适宜的水土保持植物措施配置方案;进行不同类型区水土保持植物措施及植物种生长发育状况调查,经对比分析筛选不同类型区适宜植物种。测定观测草种的生物量、覆盖度等生长发育情况;样地设置:采用典型抽样法,样地代表不同的地形条件和土壤条件,样地面积  $20 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。样地环境特征记

载地形、植被、土壤、植被类型等状况;植草概况主要记载植草种类、盖度、分布格局等(每个样地设置 3 个  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  样方)等。调查分析西气东输二线工程(西段)水土保持方案采用的不同草种及其成活率和生长状况,研究现有种植养护措施对种草效果的影响;分析不同种植养护方式对植草成活率的影响,结合管道建设实际条件,优化种植养护方案;并且通过现场调查、试验,分析管道建设前后土壤理化性质变化特征,测定容重和含水量,测定养分(N,P,K 等)含量;取样深度为 0—20,20—40 cm;每个样地在其中央设置 1 个剖面。

## 2 结果与分析

### 2.1 各标段土壤理化性质变化特征分析

结合西气东输二线工程(西段)水土保持工程监理工作,在新疆、甘肃、宁夏、陕西省(地区)4 个路段各选择 1 个典型施工区共 12 个观测点,测定了扰动区土壤理化指标变化情况。

2.1.1 新疆段(天山山地区)扰动区土壤理化性质变化 新疆段选择的监测点位于新疆伊利市。该监测点年降雨量 150~290 mm,土壤为灰钙土、灰漠土、灌淤土地区,林草覆盖率 15%~25%,兼有水蚀和风蚀,中轻度为主。从表 1 可以看出,扰动后的土地与对照区相比,土壤理化性质发生了明显的变化。施工便道区由于机械碾压土壤容重由  $2.12 \text{ t}/\text{m}^3$  增加到  $2.16 \text{ t}/\text{m}^3$ ,土壤结构恶化;而山体隧道穿越区和管道作业带区土壤容重由  $1.65, 1.39 \text{ t}/\text{m}^3$  降低到  $1.56, 1.37 \text{ t}/\text{m}^3$ ,说明,施扰动后,土质结构发生了变化,土壤含水率较扰动前略有提高,土壤结构得到改善。

表 1 新疆段各取样点扰动前后指标对照

取样地点	植被盖度/%		土壤含水量/%		土壤容重/( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ )	
	对照区	扰动区	对照区	扰动区	对照区	扰动区
施工便道	22.00	2.50	2.80	3.50	2.12	2.16
山体隧道穿越区	1.50	0.00	2.90	3.80	1.65	1.56
管道作业带	25.00	0.00	3.60	4.50	1.39	1.37

2.1.2 甘肃段(黄土高原干旱草原区)扰动区土壤理化性质变化 甘肃段设置的监测点位于甘肃省白银市景泰县。属黄土高原低丘宽谷,间有滩地,年降雨量 180~240 mm,黄绵土,林草覆盖率 30.00%~40.00%,风蚀为主,水蚀轻微。从表 2 可以看出,土壤扰动后,土壤含水率上升,土壤容重及土壤养分下降。其中土壤含水率增加 1.70%,增长 22.00%;土壤容重、全氮及有机质分别减少 11.00%,61.00%和 69.00%。

表 2 甘肃段各取样点扰动前后指标对照

取样地点	土壤含水量/%	容重/( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ )	全氮/%	有机质/%
扰动区	9.50	1.09	0.01	0.13
对照区	7.80	1.22	0.02	0.42
前后增减	1.70	-0.13	-0.01	-0.29
增减比例/%	22.00	-11.00	-61.00	-69.00

2.1.3 宁夏段(毛乌素沙地区)扰动区土壤理化性质变化 宁夏段监测点位于宁夏吴忠市毛乌素沙漠南

缘,毛乌素沙漠地带的固定沙地。年降雨量 150~400 mm,土壤为风沙土,质地砾质粉砂,但土壤 <0.1 mm 的颗粒占 57%,可蚀细粒比例较高。林草覆盖率 20%~30%,强度风蚀为主,水蚀轻微。管道工程建设,对工程所在区域的局部地形有所扰动,改变了土地利用形式,对原有土壤及其植被造成破坏性较大,土地沙化明显,土壤肥力急剧下降。监测结果表明,扰动后土壤容重平均由扰动前 1.03 t/m<sup>3</sup> 下降到扰动后 0.60 t/m<sup>3</sup>,扰动后较对照区相比土壤容重下降 71.40%;全盐由 0.05% 增加到 0.15%,增加 65.40%;土壤有机质由 0.25% 减少到 0.12%,减少 114.00%(见表 3)。林地、草地等原有水土保持的功能短期内难以恢复,加速了扰动区风力、水力侵蚀强度。

2.1.4 陕西段(陕北覆沙黄土区)扰动区土壤理化性质变化 监测点位于陕西榆林市靖边县,所在地景观为覆盖在古代风积沙地上的现代风积沙地(固定沙

丘),高达 2~3 m,最高者逾至 10 m,岗状或连成岗网状,丘间低地多覆薄层沙。土壤质地为风沙土,碳酸盐反应中或强,土壤剖面有一定发育,主要是沙生植被长期作用的结果,林草覆盖率 10%~20%。年降雨量 300~400 mm,降水量相对较大,沙地含水量也较好。以水蚀为主、兼有风蚀,强度流失为主。扰动后土壤肥分总体呈下降趋势吧,其中:有机质平均值由 0.31% 减少到 0.20%,减少 35.07%;全氮含量由 0.014% 减少到 0.009%,减少 33.33%;全磷含量由 0.04% 减少到 0.02%,减少 39.39%(见表 4)。

表 3 宁夏段各取样点扰动前后指标对照

取样地点	容重/ (t·m <sup>-3</sup> )	全盐/ %	有机质/ %
扰动区	0.60	0.15	0.12
对照区	1.03	0.05	0.25
前后增减	-0.43	0.10	-0.13
增减比例/%	-71.40	65.40	-114.00

表 4 陕西段各取样点扰动前后指标对照

施工区	取样地点	有机质/%		全氮/%		全磷/%	
		原地貌	扰动后	原地貌	扰动后	原地貌	扰动后
管道作业带	流动沙地	0.08	0.05	0.00	0.00	0.03	0.02
管道作业带	半固定沙地	0.21	0.14	0.01	0.01	0.03	0.02
管道作业带	固定沙地	0.65	0.42	0.03	0.02	0.05	0.03
管道作业带	平均值	0.31	0.20	0.009	0.014	0.04	0.02
管道作业带	增减比例	—	-35.07	—	-33.33	—	-39.39

## 2.2 不同草种生长发育状况研究分析

西气东输二线工程(西段)人工种草措施,由西到东共涉及天山山地区、吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区、河西走廊沙漠绿洲区、黄土高原干旱草原区、毛乌素沙地区、陕北覆沙黄土区 6 个 I 级水土流失类型防治区、管道作业带、山体隧道穿越、河流穿越工程、等级公路及铁路穿越工程、取土场工程、弃渣场防治区、输气站场和施工道路这 8 个 II 级防治区按照施工类型。种草措施分为管沟面种草、作业带种草、渣面种草、草坪、植物护坡这 5 类措施。设计草种主要有紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、草木犀 (*Melilotus suavecolen*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*)、小冠花 (*Coronilla varia*) 6 个草种。实施过程中由于沙打旺、小冠花由于出苗率、覆盖度低于 10% 自然淘汰外,紫花苜蓿、芨芨草、草木犀、冰草 4 个草种实施面积大,且达到种草设计要求的草种主要有,紫花苜蓿、芨芨草、草木犀、冰草。

2.2.1 不同水土流失分区草种生长状况 由表 5 可以看出,西气东输二线工程(西段)由西向东,随着降

雨条件的改善,适生草种增多,2 a 生草地生长量、产草量及覆盖度明显增加。除此之外还受土壤质地及肥力的影响较大。不同水土流失分区草种生长状况,除天山山地区外,由吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区—河西走廊沙漠绿洲区—黄土高原干燥草原区—毛乌素沙地区—陕北覆沙黄土区,由东向西随着降雨量的增加和土壤质地及肥力的改善,草地生物生长量和覆盖度呈增加的趋势。

2.2.2 不同施工类型区草种生长状况 从表 6 可以看出,不同施工类型土壤理化性质及肥分具有明显影响,从而导致对草地生长具有明显的作用。一般来说,由于机械碾压程度的大小,土壤质地河流沟渠穿越(施工区)好于渣场,渣场好于管道作业带,管道作业带好于输气站场,输气站场好于施工道路。而土壤肥分含量与土壤扰动强度密切相关,扰动越大,土壤肥力损失越严重,对草种保存率及生长量带来不利的影响。以草木樨为例,河流沟渠穿越(施工区)、管道作业带、输气站场株高依次为 125,115 和 113 cm;干草产量依次为 3 650,3 350,3 317 kg/hm<sup>2</sup>;覆盖度达依次为 69.00%,63.00% 和 61.00%,表现出明显的规律性。

表 5 不同水土流失分区草种生长状况

类型区	年降雨量/ mm	土壤类型	草种类	种植 年限/a	丛高/ cm	干草产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	覆盖度/ %
天山山地区	150~290	灰漠土	冰草	2	85.00	1 220.00	26.00
			草木樨	2	120.00	3 500.00	66.00
			芨芨草	2	50.00	1 800.00	30.00
			紫花苜蓿	2	50.00	2 130.00	41.00
吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区	16~85	棕漠土	冰草	2	35.00	1 002.00	20.00
			芨芨草	2	30.00	1 630.00	25.00
河西走廊沙漠绿洲区	100~400	灰钙土	冰草	2	50.00	1 152.00	24.00
			草木樨	2	115.00	3 267.00	62.00
			芨芨草	2	36.00	1 700.00	20.00
			紫花苜蓿	2	30.00	1 280.00	25.00
黄土高原干燥草原区	100~400	灰钙土	冰草	2	75.00	1 270.00	30.00
			草木樨	2	115.00	3 350.00	63.00
			芨芨草	2	60.00	2 060.00	35.00
			紫花苜蓿	2	65.00	2 200.00	56.00
毛乌素沙地区	150~400	风沙土	芨芨草	2	55.00	1 870.00	32.00
			紫花苜蓿	2	60.00	2 560.00	52.00
陕北覆沙黄土区	300~400	风沙土	冰草	2	65.00	1 392.00	27.00
			草木樨	2	125.00	3 650.00	69.00
			紫花苜蓿	2	73.00	3 115.00	60.00

表 6 不同施工类型区草种生长发育状况

施工区	草种类	种植年限/a	株高/cm	干草产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	覆盖度/%
管道作业带	冰草	2	57.50	1222.00	26.00
	草木樨	2	115.00	3350.00	63.00
	芨芨草	2	45.25	1815.00	28.00
	紫花苜蓿	2	55.60	2257.00	47.00
河流沟渠穿越区	草木樨	2	125.00	3650.00	69.00
施工道路	冰草	2	75.00	1420.00	30.00
输气站场	草木樨	2	113.00	3317.00	61.00
渣场	冰草	2	85.00	1220.00	26.00
	芨芨草	2	50.00	1800.00	30.00

2.2.3 不同草种生长状况 本研究从人工草地中选取适应性较强、草地分布面积较广,生长发育状况较好,种草覆盖度当年达到 30%,2 a 后不得低于周边草地覆盖度的冰草、草木樨、芨芨草、紫花苜蓿 4 个草种进行了监测。由表 7 可以看出,2 年生草地中,冰草平均株高 62 cm,平均干草产量 1 217 kg/hm<sup>2</sup>,平均覆盖度 25.00%;芨芨草平均株高 46 cm,平均干草产量 1 812 kg/hm<sup>2</sup>,平均覆盖度 28.00%;紫花苜蓿平均株高 56 cm,平均干草产量 2 257 kg/hm<sup>2</sup>,平均覆盖度 47.00%;草木樨平均株高 117 cm,平均干草产量 3 421 kg/hm<sup>2</sup>,平均覆盖度 64.00%。从监测结果看,所选 4 种植物覆盖度和干草产量情况从优至良排序依次为:草木樨>紫花苜蓿>芨芨草>冰草。但由于草种生物学特性的差异,虽然草木樨在生长量上远远大于其他草种,但是从生长期上来看,其持久性则不如其他多年生草种。

### 3 结论

(1) 人工植被恢复首要的问题是对工程区自然生态植被状况要有确切的把握。当地的自然生态植被是自然界长期进化、筛选、自适应的结果,向大自然学习,模拟自然植被进行人工植被(类型)的恢复,是做好植被恢复工作的基础条件。本研究将西气东输二线工程(西段)划分为 6 个 I 级水土流失类型防治区(天山山地区、吐哈盆地及河西走廊戈壁沙漠区、河西走廊沙漠绿洲区、黄土高原干旱草原区、毛乌素沙地区、陕北覆沙黄土区),根据工程组成和施工工艺,每个 I 级分区内再分 8 个 II 级防治区(管道作业带区、山体隧道穿越区、河流穿越区、公路和铁路穿越区、站场阀室区、道路区、取弃土场区、弃渣场区),基本拟合了项目区自然生态植被状况,划分了人工植被恢复的基本单元。

表 7 西气东输二线工程(西段)草种生长发育状况

草种类	类型区	施工区	年降雨量/ mm	土壤类型	种植 年限/a	株高/ cm	干草产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	覆盖率/ %
冰草	河西走廊戈壁沙漠区	管道作业带	16~85	棕漠土	2	35.00	1 002.00	20.00
	河西走廊沙漠绿洲区	管道作业带	100~400	灰钙土	2	50.00	1 152.00	24.00
	天山山地区	渣场	150~290	灰漠土	2	85.00	1 220.00	26.00
	陕北覆沙黄土区	管道作业带	300~400	风沙土	2	65.00	1 292.00	27.00
	黄土高原干燥草原区	施工道路	180~240	黄绵土	2	75.00	1 420.00	30.00
	平均				2	62.00	1 217.00	25.00
草木樨	河西走廊沙漠绿洲区	输气站场	100~400	灰钙土	2	105.00	3 100.00	55.00
		管道作业带			2	110.00	3 200.00	60.00
	黄土高原干燥草原区	输气站场	180~240	黄绵土	2	110.00	3 200.00	60.00
		河流沟渠穿越			2	120.00	3 500.00	66.00
	天山山地区	管道作业带	150~290	灰漠土	2	120.00	3 500.00	66.00
	陕北覆沙黄土区	输气站场	300~400		2	125.00	3 650.00	69.00
	河西走廊沙漠绿洲区	河流沟渠穿越	100~400	灰钙土	2	130.00	3 800.00	72.00
平均				2	117.00	3 421.00	64.00	
芨芨草	河西走廊戈壁沙漠区	管道作业带	16~85	棕漠土	2	30.00	1 630.00	25.00
	河西走廊沙漠绿洲区	管道作业带	100~400	灰钙土	2	36.00	1 700.00	20.00
	天山山地区	渣场	150~290		2	50.00	1 800.00	30.00
	毛乌素沙地区	管道作业带	150~400	风沙土	2	55.00	1 870.00	32.00
	黄土高原干燥草原区	管道作业带	180~240	黄绵土	2	60.00	2 060.00	35.00
	平均				2	46.20	1 812.00	28.40
紫花 苜蓿	河西走廊沙漠绿洲区	管道作业带	100~400	灰钙土	2	30.00	1 280.00	25.00
	天山山地区	管道作业带	150~290	灰漠土	2	50.00	2 130.00	41.00
	黄土高原干燥草原区	管道作业带	180~240	黄绵土	2	65.00	2 200.00	56.00
	毛乌素沙地区	管道作业带	150~400	风沙土	2	60.00	2 560.00	52.00
	陕北覆沙黄土区	管道作业带	300~400	风沙土	2	73.00	3 115.00	60.00
	平均				2	55.60	2 257.00	46.80

(2) 通过扰动后土壤容重、肥力、水分的变化以及不同自然(主要是降雨)条件与适生草种的关联分析,解释了不同水土流失类型区人工种草实施成效,及其人工植被建设的可持续性。所选 4 个适生草种,随着自然降雨的增加、土壤结构的改善,生物生长量、植被覆盖率均逐步提高,呈现出规律性的变化。

(3) 确定了人工种草的草种选择原则,在确定了生态适应性强的草种后,考虑草种种质资源及种植技术的成熟程度、实用性、经济性,筛选确定既具备生态适应性,又实用、经济的紫花苜蓿、冰草、芨芨草、草木樨这 4 个适生优良草种,为工程的顺利实施,提供有效指导。

#### [参 考 文 献]

- [1] 冯伟,张兴昌,高照良. 风力侵蚀对西气东输(甘肃段)工程影响分析[J]. 水土保持研究,2008,15(2):244-251.
- [2] 赵永军,姜德文,袁普金. 线状工程建设项目的水土保持监测:以西气东输项目为例[J]. 水土保持研究,2005,12(6):71-75.
- [3] 付良勇,许小梅. 西气东输管道陕西段工程建设中的土壤流失及防治[J]. 水土保持研究,2005,12(6):153-155.
- [4] 游爱章,韩凤翔,高照良,等. 管道工程水土保持准入条件[J]. 中国水土保持科学,2010,8(3):108-111.
- [5] 李永红,高照良,周茂玲. 西气东输工程建设(宁陕段)水土流失现状及防治[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6778-6783.
- [6] 詹小国,王平. 基于 RS 和 GIS 的三峡库区水土流失动态监测研究[J]. 长江科学院院报,2001,18(2):41-44.
- [7] 白玉龙,姜永,巴雅尔,等. 紫花苜蓿自然株高变量分析[J]. 草业科学,2002,19(6):32-35.
- [8] 陈斌,刘茂松,晨乐木格,等. 宁夏干旱区 3 种典型植物群落根系和土壤水分的空间特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2010,34(1):53-58.
- [9] 陈叶,秦嘉海. 人工栽培中麻黄对荒漠化土壤理化性质的影响[J]. 土壤,2005,37(5):563-565.
- [10] 程金香,马俊杰,王伯铎,等. 输油管线工程生态环境的影响及保护对策[J]. 水土保持研究,2003,10(4):313-315.
- [11] 高启晨,陈利顶,吕一河,等. 西气东输工程沿线陕西段区域生态安全格局设计研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):164-178.
- [12] 哈岸英,朱记伟,马斌,等. 西气东输管道工程宁夏段水土保持生物植被恢复措施研究[J]. 水土保持通报,2006,26(4):52-55.