

# 西气东输隧道穿越工程水土保持 监测与生态修复探讨<sup>\*</sup>

武金慧, 李占斌, 李 鹏, 沈中原  
(西安理工大学水资源研究所, 西安 710048)

**摘 要:** 从中卫黄河隧道穿越工程实际监测需求出发, 结合原有水土保持方案设计, 对工程建设期水土保持监测进行了分析和评价, 建议结合实地情况增设监测点; 在完善原有水土保持工程措施的基础上加大对植被措施的治理力度, 特别是加强植被的后期管理与养护; 提高扰动区植被的自我修复能力, 同时加强监测资料的收集与整理工作, 为后续水土保持工作的开展提供可靠依据。

**关键词:** 隧道穿越工程; 水土保持措施; 水土保持监测

中图分类号: S157; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0244-04

## Discussion of the Soil and Water Conservation Monitoring and Ecological Restoration about the Tunnel through Construction of the WEPP

WU Jin-hui, LI Zhan-bin, LI Peng, SHEN Zhong-yuan

(Institute of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Based on the actual monitoring requirements and the original soil and water conservation program, the soil and water conservation monitoring is analyzed and assessed during the tunnel through construction in Zhongwei, Ningxia province of the West-East Pipe Project (WEPP). For supplying reliable basis for the future works, following suggestions are given to increase suitable monitoring points with natural conditions; to improve vegetation measure, especially on the plant-growing period; to promote vegetation's self-restoration ability in the disturbance zone; to pay more attention to collect information about the soil and water conservation monitoring works.

**Key words:** tunnel passing through project; soil and water conservation measure; soil and water conservation monitoring

西气东输工程是我国“十五”期间四大重点建设工程之一,也是国家实施西部大开发战略的标志性工程。该项目的实施对于加快西部地区资源开发步伐,促进东西部地区的共同发展具有十分重要的作用。西气东输管道工程西起新疆维吾尔自治区塔里木的轮南气田,东至上海市西郊的白鹤镇,全长约 4 000 km,自西向东途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏和上海 9 个省、市、自治区。根据西气东输管道路线总体布置,管道分别在宁夏中卫、陕西延水关、河南郑州三次穿越黄河。为了保证

西气东输管道的安全运行,考虑到西气东输管道在宁夏中卫通过黄河河段,处于几条大的地震断裂带的影响区域内,地质条件复杂,迫切需要考虑设置备用过河管道。结合西气东输复线建设及其他过黄工程的需要,西气东输管道公司提出建设中卫黄河隧道穿越工程项目。该项目是西气东输中卫黄河跨越备用线、规划预留西气东输建设复线共同通过黄河的合建穿黄工程。隧道陆上连接线路位于西气东输管道南侧,布设在黄河东、西两岸。

中卫黄河隧道穿越工程地处生态环境脆弱区,

\* 收稿日期: 2007-03-29

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2007CB4072069)项目

作者简介: 武金慧(1981-),女,陕西华县人,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀与水土保持等方面的研究。

为了保证项目建设与周围环境的协调发展,实现“一流工程”、“绿色管道”的目标,加强管线沿岸的生态建设势在必行。本文从实际监测结果出发,结合原有水土保持方案设计,对穿越项目水土保持监测结果进行了分析和评价,进一步提出了扰动区植被修复的措施体系,为保证该项目水土保持措施的顺利实施提供依据。

## 1 项目区自然概况

### 1.1 地理条件

中卫黄河隧道穿越工程所在地宁夏回族自治区中卫市,位于腾格里沙漠南缘的山前冲积倾斜平原和沙漠平原,地层岩性以碎石土和砂土为主,伴有戈壁砾石。典型的地貌类型从西到东依次为腾格里沙漠南缘波状平原、剥蚀中低山、黄河阶地、剥蚀基岩丘陵、固定-半固定沙丘、盐沼地、山前冲积平原等。

表 1 工程沿线主要土壤特性

名称	有机质/%	含氮/%	含磷/%	含钾/%	pH	利用方向
灰钙土	0.50~3.0	不确定	0.04~0.25	较丰富	8.0~9.5	牧业、农业
风沙土	0.01~1.6	不确定	0.12~0.16	较丰富	8.0~9.5	发展农牧业
潮土	0.40~0.90	0.03~0.08	0.04~0.06	缺少	7.3~8.1	稳产基本农田
灌淤土	0.50	不确定	0.17~0.24	较丰富	7.5~8.5	高产稳产基本农田

穿越区天然植被多以荒漠草原成分的半灌木植被为主。其中流动沙丘以籽蒿、花棒、沙米为优势种;半固定沙丘以油蒿、猫头刺为优势种;固定沙丘以柠条、油蒿为优势种;荒漠草原以极耐旱的灌木猫头刺、细叶锦鸡及多年生旱生草本植被短花针茅为主。另外还有小叶杨、箭杆杨、沙枣、花棒等乔木林和一些经济果林。

## 2 水土保持监测

### 2.1 监测内容

根据规范要求,水土保持监测的主要任务是加强基本建设期的水土流失因子、水土流失状况以及水土保持措施实施效果的监测。其中水土流失因子监测主要包括工程建设过程中的扰动面积<sup>[2]</sup>;工程建设过程中挖方、填方数量;弃土弃渣量及堆放面积、弃土弃渣堆置后微地形地貌、地面组成物质及其结构的变化;植被类型及覆盖度。

水土流失状况监测主要包括施工期和植被恢复期水土保持防治责任区内各种类型、各种强度等级的水土流失面积;水土流失形式、分布、流失量及强度变化情况;弃渣堆置后可能产生的灰渣流失对下游和周边地区生态环境影响以及造成的危害情况。

水土保持措施实施效果监测主要包括扰动土地整治度、土壤流失控制比、拦渣率、林草成活率、保存

地形由西向东,由南向北倾斜,海拔在 2 955~1 100 m 之间。境内地貌以低山、丘陵为主。

### 1.2 水文条件

穿越工程地段属内陆温带大陆性气候,积温较高,干旱少雨,夏热冬寒,多年平均气温为 9.3℃,多年平均降水量为 185.9 mm,多东风、东南风。降水主要集中在 7~9 月,占全年降水量的 61%~67%。7~9 月为丰水期,4~6 月为枯水期,其余时期为平水期。

### 1.3 土壤及植被条件

穿越工程境内土壤属西北半干旱地区草原土壤群系。地带性土壤为灰钙土,非地带性土壤有风沙土、潮土、灌淤土、新积土和砾质土等。该区域内土质差而浅薄,土壤中缺乏有机质和磷,富集钙、钾,石质成分高,土质松散易被侵蚀,尤其以风蚀最为严重<sup>[1]</sup>。工程沿线主要土壤情况见表 1。

率、植被覆盖率、植被恢复系数的测定;防护工程的稳定性、完好程度、运行情况和拦渣保土效果。

### 2.2 监测分区

根据当地地貌特征、土壤特性、土壤侵蚀类型及分布规律,并结合项目建设过程中造成的水土流失特征,经现场反复勘查后,将该穿越工程水土流失监测区域划分为低山区和丘陵区两种类型。在各分区内又划分了主体工程监测区和临时工程监测区,以便对施工过程中的水土流失情况进行监测。根据《宁夏第二次土壤侵蚀遥感调查分析报告》,中卫黄河隧道穿越工程地处干旱草原区与冲积平原区交汇地带,属风蚀水蚀交错区,其中丘陵区侵蚀模数为 4 000 t/(km<sup>2</sup>·a),低山区侵蚀模数为 3 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。项目区水力侵蚀与风力侵蚀并存,以风力侵蚀为主。

依据施工过程中易产生新增水土流失的区域并结合新增水土流失预测结果,确定重点监测部位和重点监测点,通过试验测定其建设期内水土流失强度和植被覆盖度。监测分区见表 2。

### 2.3 监测点

根据《水土保持监测技术规程》(SL277-2002)的规定,结合本工程的特点,对穿越工程水土保持措施的实施情况进行定期和不定期的巡查、监测,设立长期监测点和临时监测点。依据制定的监测方案,

结合全线踏勘调查结果, 选定重点监测点, 在典型地块设立水土流失观测场及林草措施样区。本工程中

风蚀监测采用样区插钎观测法, 水蚀监测采用临时小区监测法。详细监测点布设见表 3。

表 2 监测分区及区内的自然状况

监测分区	包含范围	自然情况
低山区	主体工程监测区 隧道出洞口、东岸连接闸室、隧道出洞口堆渣场、东岸线路堆渣场	中卫黄河隧道穿越工程低山区位于黄河上游黑山峡下段峡谷壶口区。主要由寒武系浅变质坚硬的砂岩、千枚状板岩、绢云母化的千枚岩组成。山体陡峻, 相对高差一般为 500 m 左右, 山脊平直。该地区在地质历史上属黄河水流急剧下切区, 两岸陡峻, 河谷狭窄, 水流湍急。
	临时工程监测区 临时施工道路、临时施工用料堆放场、生活及办公区	
丘陵区	主体工程监测区 隧道进洞口、西岸连接闸室、隧道进洞口堆渣场	中卫黄河隧道穿越工程丘陵区位于欧亚大陆腹地, 由石炭系煤系地层在水流长期剥蚀、侵蚀和堆积作用下形成的。海拔高程一般在 1 340 m 左右, 高差一般为 100~ 150 m, 最大不超过 200 m。气候干旱少雨, 每年春季, 西风骤起, 狂风大作, 黄沙滚滚, 东渡黄河, 形成了腾格里沙漠急剧扩张的趋势。
	临时工程监测区 临时施工道路、临时施工用料堆放场、生活及办公区	

表 3 水土保持监测布点及监测内容

	监测点位置	监测类型	监测点数/ 个	水土流失类型	监测设施布设
低山区	主体工程区	临时监测	1	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	弃土弃渣场区	长期监测	1	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	临时工程防护区	临时监测	1	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	道路区	临时监测	1	水力侵蚀	设观测小区
丘陵区	主体工程区	临时监测	1	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	弃土弃渣场区	长期监测	2	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	临时工程防护区	临时监测	1	水力侵蚀 风力侵蚀	设观测小区
	道路区	临时监测	1	水力侵蚀	设观测小区

### 3 水土保持生态修复措施布局

#### 3.1 主体工程

穿越工程水土保持防治责任范围为 33. 65 hm<sup>2</sup>, 其中主体工程水土保持防治责任范围为 11. 17 hm<sup>2</sup>, 占总防治面积的 33. 2%。主体工程建设期土壤侵蚀模数为 9 000 t/( km<sup>2</sup> · a), 根据《土壤侵蚀分类分级标准》属极强度侵蚀, 因此原水土保持方案设计中采取以工程措施为主, 植被恢复措施为辅的水土保持措施。

主体工程中, 隧道洞口作业面主要由寒武系浅变质坚硬的砂岩、千枚状板岩组成。山体陡峻, 基岩裸露, 无植被覆盖, 以水力侵蚀为主<sup>[3]</sup>, 因此运用护坡措施对边坡进行处理。为防止洞口作业区因积水过多对工程产生影响, 采用洞口两侧设截洪沟的排水方式。管线开挖和填埋过程中, 对于地表的扰动比较大, 根据实际情况, 采取了边坡放缓、沟壁加支

撑或采用阶梯式开挖的措施。同时, 在管线周围布设了相应的截水沟、护坡等工程措施。

经现场监测, 主体工程采取的水土保持工程措施基本发挥了抑制水土流失的作用, 在一定程度上减轻了水土流失, 但植被措施实施难度大、效果较差, 成活率和植被覆盖度低, 不能有效抑制水土流失。因此需要在加强对植被管理的基础上, 加大植被措施防护设计( 见表 4)。

#### 3.2 弃土弃渣场

穿越工程弃土、弃渣主要来源于建设过程中大量的隧道钻探、开挖等。本期工程土石方开挖总量为 22. 51 万 m<sup>3</sup>, 累计弃方量为 11. 46 万 m<sup>3</sup>, 其余 11. 05 万 m<sup>3</sup> 用于回填。两岸弃土弃渣场水土流失防治责任范围为 3. 87 hm<sup>2</sup>, 占总防治面积的 11. 5%, 其中低山区为 2. 66 hm<sup>2</sup>, 丘陵区为 1. 21 hm<sup>2</sup>。低山区弃土弃渣场建设期土壤侵蚀模数为 14 000 t/( km<sup>2</sup> · a), 丘陵区建设期土壤侵蚀模数为 17 500 t/( km<sup>2</sup> · a), 根据

《土壤侵蚀分类分级标准》,该区土壤侵蚀程度剧烈,构成了新的水土流失源。因此对弃土弃渣场水土流

失的防治与监测是该项目水土保持工作的重点。

表 4 主体工程植被恢复措施

防治部位	防治措施
隧道洞口	在洞口周围截洪沟外侧布设防护林,采用灌草结合方式,种植两行沙柳,行距 1.5 m,株距 1.5 m。出洞口共植沙柳 350 株,进洞口共植沙柳 300 株。撒播沙蒿,两岸洞口各撒播 0.15 hm <sup>2</sup> 。
两岸连接管线	采取草方格措施,规格为 0.5 m×0.5 m,东岸布置草方格沙障 6.57 hm <sup>2</sup> ,西岸布置草方格沙障 3.58 hm <sup>2</sup> 。扎制草方格后,草方格内实施造林种草措施。草种选择沙蒿,均匀撒播。东岸撒播沙蒿 6.57 hm <sup>2</sup> ,西岸撒播沙蒿 3.58 hm <sup>2</sup> 。
新建闸室	采取灌草相结合进行绿化。四周种植两行沙柳,行距 2.0 m,株距 2.0 m,草种选择沙蒿。东岸种植沙柳 100 株,撒播沙蒿 0.02 hm <sup>2</sup> ,西岸种植沙柳 100 株,撒播沙蒿 0.02 hm <sup>2</sup> 。

弃土弃渣场为松散堆垫体,表面裸露,透水性强,不均匀沉降剧烈,在雨水冲刷下极易形成水蚀,遇降雨或裂缝灌水易造成滑坡。因此其防护措施是以工程措施为先导,以减少工程建设期间水土流失,再与植被措施相结合,保护新生地表。在堆放弃土弃渣前,先在渣场前缘的低洼处修建挡土墙,在挡土墙外侧设置截水沟、集流槽、排水沟等拦截、引水、排水设施。植被措施主要是对弃土弃渣场采取灌草相结合方式进行绿化,四周种植沙柳,行距 2.0 m,株距 2.0 m。

经监测分析,弃土弃渣场水土流失防治效果不理想,主要原因有以下几个方面。一是弃土弃渣场在施工期间未及时设置临时集水槽等临时水土保持设施,致使暴雨中发生裸露坡面崩塌、渣体滑坡等现象,加剧了水土流失;二是渣体堆放时,没有进行分层碾压,使弃土弃渣区土体松软,容易坍塌;三是对渣体坡面没有进行有效的植被防护,渣体裸露,增加了水土流失。因此应在施工过程中,分段对渣体进行分层堆放并压实;弃土弃渣完工后,平整弃土弃渣场顶面,并覆盖熟土 0.8 m 厚。对于石渣比例较低的弃土弃渣场顶面种植经济林,行距 3 m,株距 3 m。对于石渣比例较高的弃土弃渣场顶面种植水保林,行距 2 m,株距 2 m。树间均植草绿化,防治坡顶水土流失,草种选用草木樨。弃土弃渣场坡面采用骨架护坡,骨架内种草,草种选用草木樨或柠条。对于个别侵蚀严重地区可采用浆砌片石防护。

### 3.3 临时工程及道路

穿越工程中临时施工区的水土流失相对较轻,施工期间对空闲场地进行绿化,待施工结束后应对场地进行清理和平整,区内临时建筑物拆除后采取灌草相结合的方式进行绿化。种植时采取株间混交方式,沙柳布置在四周及道路两旁,中间点缀刺玫、紫穗槐,平均株行距均为 4 m×4 m,造林密度 625 株/hm<sup>2</sup>。

穿越工程两岸道路区水土流失防治责任范围为 11.64 hm<sup>2</sup>,占总防治范围的 34.6%。低山区建设期侵蚀模数为 6 300 t/(km<sup>2</sup>·a),丘陵区为 8 800 t/(km<sup>2</sup>·a),丘陵区侵蚀程度相对较严重。道路区土壤

侵蚀是由于施工过程中土地地表耕作层或植被生长层的土壤被挖损、剥离、压埋,土壤肥力降低,造成土地生产力迅速下降引起的,因此,主要采取植被防护措施,并结合工程措施。对于临时道路,在其两侧 1.5 m 范围内分别种植紫穗槐一排,株距 2 m,树间种植草木樨;对于新修道路,工程结束后实行乔灌结合的方式进行绿化。树种选择沙柳、刺玫或紫穗槐,树间均匀撒播草籽,草种选择早熟禾。工程措施主要是在临时施工便道两侧设排水沟,并在道路路基两侧坡面及排水沟撒播冰草,丘陵区道路两侧撒播面积为 1.79 hm<sup>2</sup>,低山区道路两侧撒播面积为 3.50 hm<sup>2</sup>。

## 4 建议

(1)原水土保持方案设计中监测点较少,故在实际监测时监测面窄,代表性不强,监测效果不理想。建议根据不同的工程类型、建设时段增设监测点。该工程中土壤侵蚀强度差异较大,土壤侵蚀量不同,需在实际监测前详细了解各分区的侵蚀程度、侵蚀类型,依据不同侵蚀类型确定监测点和监测时间。

(2)由于穿越工程线路过长,部分地段的水土保持工程措施还不完善,应尽快修建临时排水沟等临时工程措施,同时对未达到设计要求或损毁的工程措施及时进行修补、维护。

(3)对于土壤侵蚀程度严重的地区应加大植被建设力度。对设计中未涉及,但实际需要补种的地段,应尽快种植适宜植被。

(4)加强对植被措施的管理和维护,提高植被成活率、保存率。

(5)加强对监测资料的收集和管理,为后续水土保持工作的开展提供科学的、可靠的依据。

### 参考文献:

- [1] 沈中原,赵昱,李占斌,等.生态脆弱区输气管道沿线生态修复措施探讨[J].安全与环境学报,2005,5(5):71-74.
- [2] 上官周平.黄土高原地区水土保持与生态建设的若干思考[J].中国水土保持科学,2006,4(1):1-4.
- [3] 刘平,徐志有,杨军,等.西气东输工程宁夏段水土保持监测情况和体会[J].中国水土保持,2005,(8):47-48.