

输变电工程建设低扰动水土保持技术研究

——以山西省输变电工程为例

孙中峰¹, 杨文姬^{1,2}, 宋康³

(1. 水利部水土保持植物开发管理中心, 北京 100038;

2. 山合林(北京)水土保持技术有限公司, 北京 100038; 3. 山西省电力公司, 太原 030001)

摘 要:以山西省 220 kV 及以上输变电工程为研究对象,从基础型式、架线安装、运输方式及防治措施等方面进行分析与评价,得出一整套输变电工程低扰动水土保持技术。结果表明:锚杆式、岩石嵌固式及掏挖式等原状土基础在扰动地表面积和土石方量方面小于大开挖基础;长短腿配高低基础在扰动面积和土石方数量方面是最优组合;不落地放线技术比常规放线技术减少扰动面积 50%~70%;索道运输方式减少占地 73%~92%;土工布覆盖技术节约水土保持投资 8%;植被恢复措施节约水土保持投资 6.54%;低扰动水土保持技术与传统施工工艺相比减少占地面积 4.55%~34.42%,减少土石方量 7.81%~25.86%,减少土建投资 0.59%~22.49%,减少总投资 1.83%~17.50%。

关键词:输变电工程;水土保持;低扰动技术

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0062-06

Research on Low Disturbance Soil and Water Conservation Technology Integration of Power Transmission Engineering

—Power Transmission Engineering in Shanxi Province as Examples

SUN Zhong-feng¹, YANG Wen-ji^{1,2}, SONG Kang³

(1. Plant Development Center for Soil and Water Conservation, Beijing 100038, China; 2. Shanhelin (Beijing) Soil and Water Technology Limited Company, Beijing 100038, China; 3. State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan 030001, China)

Abstract:Based on samples of 220 kV and above power transmission engineering in Shanxi Province, low disturbance soil and water conservation technology integration is obtained by analyzing and evaluating foundation types, wiring installations, modes of transportation and prevention measures. The conclusions are as follow: the undisturbed soil foundation types, such as anchor arm, rock embedding and digging, bring less disturbing areas and cubic meters of earth and stone than heavy excavation foundation; the mode of unequal legs with unequal depth is the best combination in reducing disturbing areas and cubic meters of earth and stone; the technology of wire release without landing can reduce 50%~70% of disturb areas than convention wire release; by using cableway transportation, about 73%~92% of the disturbing areas can be reduced; the technologies of geotextile lying and revegetation can save 8% and 6.54% of soil and water conservation investment; low disturbance soil and water conservation technology integration can reduce 4.55%~34.42% of disturbing areas, 7.81%~25.86% of cubic meters of earth and stone, 0.59%~22.49% of construction investment and 1.83%~17.50% of total investment than traditional construction process.

Key words:power transmission engineering; soil and water conservation; low disturbance technology; integration

随着我国经济的快速发展,对基础设施建设投入逐年加大,基本建设项目数量急剧增加,建设规模也不断扩大,对我国经济以较高速度发展起到一定的支撑作用。但是,在项目建设过程中,存在着地表扰动、植被破坏以及大量的土石方开挖和堆弃问题,若不采

取相应措施,势必会造成较为严重的水土流失,直接危害项目区及周边的生态与环境,并对项目的生产运行构成潜在威胁^[1]。开发建设项目水土流失规律及防治技术目前成为水土保持学科研究的一个重点。

输变电工程建设受工程沿线地形地貌及“线性”

活动方式的影响,主体、配套工程涉及破坏范围少则几公顷,多则达数百公顷。由于项目组成、施工工艺和运行方式多样,且地表裸露、土方堆置松散、人类机械活动频繁,输变电工程建设造成的水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀呈时空交错分布、突发、历时短、强度大等特点^[2]。由于输变电工程在施工中进行挖、填、弃、平等活动,使得地表土壤原有覆着物遭受严重破坏,改变了土壤的理化性质,使得土壤颗粒的紧密结构遭到破坏,不能很好地抵抗外来营力的侵蚀,水土流失急剧增加,所产生的水土流失强度往往高出自然侵蚀强度的 3~8 倍^[3]。

研究通过对山西省数十个 220 kV 及以上输变电工程建设过程进行全面调查、观测、分析,从塔基型式、放线技术、运输方式、措施布设等方面总结出一系列输变电工程建设过程中的低扰动水土保持技术。基础数据来源于实地观测、记录和统计分析。

1 低扰动塔基型式研究

1.1 基础型式对比研究

输电线路杆塔地下部分的总体统称为基础。它的作用是用来支撑输电线路的杆塔。基础型式按开挖方式可分为原状土基础和大开挖基础。原状土基础包括插入式基础、掏挖式基础、岩石嵌入式基础;大

开挖基础包括台阶式基础、板式基础、灌注桩类基础。研究选取台阶式基础、板式基础、插入式基础、掏挖式基础、岩石嵌入式基础、锚杆式基础和灌注桩基础,从开挖基面、土石方量及施工临时占地等方面进行分析比较。

1.1.1 基坑开挖范围(降基面)及施工临时占地分析
基坑开挖范围(坡地称降基面)又称施工基面。平地上施工时,施工基面为四个基坑的开挖面积,在斜坡上施工时,四个基础腿要在一个平面上,需要把斜坡铲成一个平面,这个平面的占地面积就为降基面。降基面产生的主要原因是基础边坡保护范围不够,如果不降基则需修砌挡土墙,增加成本。基坑开挖范围占地为永久性占地。塔基施工临时用地是指在塔基开挖进程中用于堆放临时堆土、建筑材料及施工人员活动的区域,为临时性占地。

通过对山西省不同立地条件下不同基础类型的塔基定位观测,得出山西省 220 kV 及以上输变电工程塔基降基面范围及施工临时占地数量(见表 1)。从表中可以看出掏挖式基础、岩石嵌固式基础、斜插基础及锚杆基础开挖面积是传统大开挖基础的 1/5~1/6。与传统大开挖基础型式相比,原状土基础临时占地面积略大,其原因主要是由于所用材料及施工方法所致。

表 1 不同地形条件下塔基开挖范围及临时占地面积												m ²	
基础型式	平原					丘陵				山地			
	直线塔		耐张转角塔			直线塔		耐张转角塔		直线塔		耐张转角塔	
	降基面	施工临时用地	降基面	施工临时用地		降基面	施工临时用地	降基面	施工临时用地	降基面	施工临时用地	降基面	施工临时用地
大开挖	台阶	100~150	600~750	120~200	1100~1750	100~150	$30+300/\cos\alpha$ $55+300/\cos\alpha$	180~240	$70+300/\cos\alpha$ $150+300/\cos\alpha$	146~160	$300/\cos\alpha$	180~200	$21+300/\cos\alpha$ $30+300/\cos\alpha$
	大板					100~150	$110+300/\cos\alpha$ $165+300/\cos\alpha$	160~200	$165+300/\cos\alpha$ $225+300/\cos\alpha$	20~40	$20+300/\cos\alpha$ $30+300/\cos\alpha$		
	掏挖												
原状土	岩石嵌固									15~30	$23+300/\cos\alpha$ $37+300/\cos\alpha$	20~40	$35+300/\cos\alpha$ $75+300/\cos\alpha$
	锚杆									10~20	$300/\cos\alpha$		
	灌注桩	100~120	1000~1200										

1.1.2 不同基础型式土石方及弃渣量分析
由于不同基础型式对保护范围、施工操作范围及基础体积要求不同,造成塔基降基及基础开挖土石方数量不同。研究以山西省多个 500 kV 输电线工程不同基础型式为样本,研究土石方开挖数量、混凝土量及塔基范围内堆土数量及高度,并进行比较,得出不同基础的土石方量情况,见表 2。

从表 2 可以看出,四种基础开挖产生的临时堆土量比较关系为:岩石锚杆<岩石嵌固<基础掏挖式<大开挖台阶。大板式和台阶式等大开挖基础由于是

非原状土,为保证基础稳定性往往需要较大的底板面积,底板尺寸一般为原状土基础的 2~4 倍,在基础深度相同的情况下土石方开挖量约为掏挖式基础的 5 倍,为岩石嵌固基础的 10 倍,为岩石锚杆基础的 50 倍。因此,大开挖基础施工时将产生大量的土石方量,从水土保持角度分析,在满足设计要求的情况下不建议选择大开挖基础。

基础施工结束后,开挖土方大部分用于回填,由于基础本身占用一定空间,开挖土石方不能完全回填,剩余部分为弃渣。根据施工资料统计分析得出,

大板式或台阶式等大开挖基础体积为 80~100 m³, 掏挖式基础体积为 5~10 m³, 岩石嵌固基础体积为 2~3 m³, 岩石锚杆基础体积为 1~2 m³。由此得出板式或台阶式等大开挖基础产生的弃渣高出岩石嵌固等原状土基础 50~80 倍。

表 2 各基础型式临时堆土量 m³

项目	大开挖类 基础	掏挖类	岩石嵌 固类	锚杆类
开挖土石方量	250~400	40~80	20~30	5~10
混凝土方量	80~100	5~10	2~3	1~2
弃渣量	80~100	5~10	2~3	1~2

不同基础产生的弃渣量满足以下关系: 岩石锚杆基<础岩石嵌固<基础掏挖式<大开挖台阶。根据此结果, 结合塔位土壤及基岩的力学性质, 得出山西省输电线路塔基型式确定的原则: 若塔位处中风化或强风化硬质岩石时, 优先选择岩石锚杆基础; 若薄层土壤下为强风化岩石时, 优先选择岩石嵌固基础; 若地表为土质好的非岩石地基或者上覆盖土层很厚的

岩石地基, 且地基土特性满足掏挖基础, 优先采用掏挖基础; 若地表为粘结力较弱土层, 不易掏挖成型时, 建议采用大开挖基础形式。因此, 综合考虑水土保持要求和设计要求得出塔基型式优先选择的顺序为锚杆类、岩石嵌固类及掏挖类。而且, 锚杆类基础开挖面积小, 施工面积小, 相应的施工技术也比较成熟, 能够在满足水土保持要求的同时节约建设成本。

1.2 不同塔基组合模式对比研究

在较早的输电线路工程设计中, 山区塔基基础设计中普遍采用等长腿配合等高基础, 这种方式需在坡地上修建一处平台, 再进行基础修建, 会产生较大的降基面及挖方量, 破坏了植被和原土体的稳定性。在近期的设计中出现了等长腿配高低基础、长短腿配等高基础及长短腿配高低基础等多种塔基组合方式。通过对山西省多个输变电工程不同塔基基础组合模式的研究, 分析不同塔基组合模式的水土保持效果。不同塔基基础组合模式见图 1。

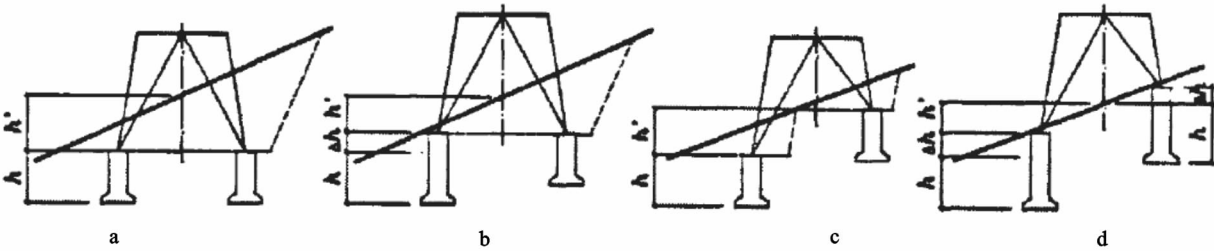


图 1 塔腿与基础组合形式

1.2.1 不同塔基组合模式降基范围分析 为了解决等长腿配等高基础(图 1a)扰动地表面积和土石方量过大的问题, 在塔基设计中逐步采用等长腿配合高低基础(图 1b), 基本解决了在山脊山头施工要将山体削平的问题; 采用长短腿配等高基础方案(图 1c), 与图 1b 种方案相比相差无几, 容易导致塔位低于原地表, 破坏了原有土体的稳定性, 平台上坡面容易产生水土流失与塌方, 不但造成大量开挖, 同时也会给塔基安全带来问题^[4]。

通过对山西省多条 500 kV 输变电工程塔基组合模式扰动面积进行统计分析和计算, 得出四种不同组合方式在山西省山区运用过程中扰动地表面积情况, 并进行对比分析, 研究结果表明长短腿配高低基础仅是等长腿配等高基础扰动地表面积的一半, 可以很好地解决输变电项目建设与水土保持要求的关

1.2.2 不同塔基组合模式土石方量分析 在山地丘陵区塔基施工中, 基面土石方的大量开挖, 不但破坏了塔位原有土体的稳定性, 而且使基面及周围天然植被受到破坏和占压。开挖造成大量的弃土堆积在边坡上, 土体松散, 降雨时产生严重的水土流失。另外,

堆土增加了边坡附加压力, 在水力和重力双重侵蚀下, 会产生塌方^[5]。基面的大量挖方, 不仅产生严重的水土流失, 而且也给塔基带来了安全隐患。四种塔腿分别降基能有效解决这一问题, 这种小基面的设计方法使原始地貌的破坏程度降到最小, 保证了点位地质状况的稳定, 同时土方开挖量也大大减少。研究通过对山西省多个 500 kV 输变电工程四种不同塔基组合设计所产生的土石方量进行分析统计, 得出不同组合模式的土石方量情况, 见表 3。

表 3 不同塔基组合模式土石方量统计 m³

项目	等长腿配 等高基础	等长腿配 高低基础	长短腿配 等高基础	长短腿配 高低基础
基面	250~350	150~180	120~150	0
基坑	12~16	14~18	12~16	16~20
合计	264~364	166~196	134~164	16~20

从表中可明显看出长短腿配高低基础组合模式下产生弃渣最少, 分别为等长腿配等高基础、等长腿配高低基础和长短腿配等高基础的 6.0%, 9.6%, 11.9%。长短腿高低基础因其开挖量少对应的土方工程投资也较其余几种类型低。

2 不落地放线技术研究

传统的人工放线地表扰动,对植被破坏严重。在架设牵引线时,采用人工肩扛牵引线,牵引线贴地牵引,线路沿线走廊内的地表及植被受到架线人员和牵引线的双重扰动。尤其在线路跨越林区时,当牵引场的钢绳卷车牵卷牵引线时,牵引线由贴地至腾空拉紧,林木易遭割伤。目前,大部分输变电工程架线采用先进的不落地放线技术如直升机、遥控飞艇、动力

伞等,然后通过导引绳逐级牵引、高空绕牵连接、导引绳和牵引绳逐级牵引,最终完成地线和导线的展放。直升机、遥控飞艇、动力伞及绕牵法技术的应用,真正实现了初导绳、导引绳、牵引绳、导地线的完全不落地展放,最大程度地减少架线对线路走廊地表的扰动,有效减少水土流失及对生态环境的破坏。

通过对山西省 8 个 500 kV 输变电工程中应用的不落地放线与常规放线扰动面积的计算和对比,得出的结论列入表 4 中。

表 4 不落地放线与常规放线比较

项目	线下走廊扰动/hm ²		跨越区扰动/hm ²		拆迁区扰动/hm ²		小计/hm ²		减少/%
	常规	不落地	常规	不落地	常规	不落地	常规	不落地	
晋中—临汾	158.7	51.4	10.23	8.24	40.6	31.4	208.83	91.04	56.40
忻州—西龙池	31.2	8.44	1.02	0.57	2.9	2.4	35.12	11.41	67.51
晋中—运城	146.4	50.5	8.82	5.54	24.4	18.7	179.62	74.74	58.40
柳林电厂—霍州	61.7	12.78	6.77	4.89	10.36	8.5	78.83	26.17	66.80
古交—候村	30.8	7.47	1.38	1.02	5.6	4.1	37.78	12.59	66.68
古交—晋中	14.4	5.47	0.88	0.36	1.8	1.2	17.08	7.03	58.84
朔州—古交	73.2	26.35	3.33	2.01	6.8	4.6	83.33	32.96	60.45
吕梁—古交	43.2	14.26	3.69	1.43	4.6	4.3	51.49	19.99	61.18

从表中可看出不落地放线技术的运用比常规放线技术减少扰动面积 50%~70%。不落地放线技术的实施,大大减少了输电线路施工中青苗、果树、暖棚、植被等地面附着物的损坏,缓解了线路施工中错综复杂的施工环境和地形因素的困扰,实现了导引绳分散运输量的减少、导引绳人力展放工作量的减少、放线通道内生态环境地表附着物损坏的减少和次要跨越架搭设工作量的减少。从经济效益方面分析可知,不落地放线技术由于扰动地表面积少,减少了青苗补偿、土地补偿的费用,减少了人力、畜力、机械运输的费用。

3 低扰动运输方式研究

在高大山丘区施工时,由于交通不便,车辆无法把施工基础材料运送到施工场地,一般做法是利用人行便道或砍去荆棘形成通道,方便施工人员和畜力运送材料与设备。2002 年以前,高大山丘区施工的绝大多数输变电工程是通过人背肩扛完成的,后来发展成专业的骡马运输队伍,提高了施工效率,降低了施工成本。在运输过程中施工人员和畜力频繁来回走动,难免扰动地表,破坏地表植被,损坏水土保持设施。

随着各行业环境保护意识的不断增强,在山区运输材料与物资时,部分工程采用低扰动运输方法如索道运输,避免了施工人员和畜力因运输材料而频繁上下山体,减轻对地表的扰动,减少对水土保持设施的破坏,进一步提高了施工效率,缩短了对生态环境的扰动

时间。通过对山西省多个输变电工程运输方式相关指标的对比研究得出,利用索道运输方式产生的施工临时道路占地较传统方式减少 73%~92%(表 5)。

4 低扰动水土保持措施布设研究

输变电项目施工区域所占范围在整个工程中所占比例较大。输变电工程建设过程中,由于安装设备、汽车运输、土地平整等需要,对临时占地进行地表扰动,施工结束后又要进行土地整治,两次动土对地表的破坏较为严重,同时为了防止动土过程中的水土流失,需要对其进行防护,布设防治措施,这样的施工方式不但造成水土流失,也增加了水土保持投资。通过实地调查和监测,采取土工布覆盖和植被恢复措施代替表土剥离和人工种植乔灌木后可有效降低水土流失量,节约水土保持投资,取得了良好的效果。研究表明,采用土工布覆盖技术可减少施工期间项目区水土流失总量的 21.59%;采取植被恢复措施可减少项目区水土流失总量的 15.65%;采取低扰动运输方式可减少项目区水土流失总量的 29.56%,采用低扰动塔基可减少项目区水土流失总量的 9.71%。

采用土工布覆盖技术可节约水土保持投资 8%;采取植被恢复措施节约水土保持投资 6.54%;采用低扰动运输方式可节约水土保持投资 10.27%;采用低扰动塔基可节约水土保持投资 4.8%。根据山西省输变电项目目前每年的建设规模和进度,可节约水土保持投资约 4 500 万元。具体计算见表 6。

表 5 输电线路施工道路数量对比

项目	地形 指数	长度/ km	传统运输方式			索道运输			比常规 减少占地/%
			施工	人抬	临时	施工	人抬	临时	
			便道/km	道路/km	占地/hm ²	便道/km	道路/km	占地/hm ²	
晋中—临汾	0.84	396.77	27.8	138.4	45.72	12	13.4	7.48	83.6
忻州—西龙池	0.90	78	6.7	27.3	8.14	3	2.1	1.62	80
晋中—运城	0.58	366	24	66	22.8	5	6.8	3.36	85.3
柳林电厂—霍州	0.89	154.3	13.4	21	9.56	3.2	2	1.68	82.4
古交—候村	0.40	77	6.44	15.4	5.66	2.3	2	1.32	76.7
古交—晋中	0.46	48	2.85	11.3	3.4	1.2	1.2	0.72	78.8
朔州—古交	0.66	183	18	40	15.2	5.1	4.3	2.9	80.9
吕梁—古交	0.85	108	15	40	14	2.8	3.6	1.84	86.9
娘子关—阳泉变	1.00	49	4.5	12.5	4.3	0.6	2.3	0.7	83.7
古交电厂—古交变	1.00	25.2	3.1	8	2.84	0.4	1.6	0.48	83.1
霍州电厂—霍州变	0.50	37.5	1.5	10	2.6	0.2	0.8	0.24	90.8
轩岗电厂—忻州变	0.96	34.5	2.3	12	3.32	0.8	1.1	0.54	83.7
太钢电厂—候村变	0.58	38.1	2.3	8.7	2.66	0.1	0.9	0.22	91.7
榆次北派接线路	0.39	33	1.1	10	2.44	0	0.2	0.04	98.4
稽山—吕梁	0.89	218	11.12	54	15.248	1.6	10.6	2.76	81.9
稽山—运城	0.54	76	2.9	10.9	3.34	1	2.4	0.88	73.7
稽山—临汾	0.15	64.5	1.2	7.2	1.92	0	2.2	0.44	77.1
阳城北派接线路	1.00	22	1.4	5.8	1.72	0.6	0.8	0.4	76.7
兆光电厂—霍州变	0.74	14.8	0.9	4.2	1.2	0	0.5	0.1	91.7
候石派入阳泉变	1.00	21.5	2.2	10	2.88	0	2.4	0.48	83.3

表 6 水土保持关键技术应用效果

项目名称	地形 地貌	地点	关键 技术	减少水土流失			减少水土保持投资		
				总量/ t	t/hm ²	占水土 流失总量/%	总量	元/ hm ²	占总 投资%
晋中—榆社—长治—晋城—临汾Ⅱ回线输变电工程	平原丘陵山区	山西	植被恢复	1324.2	38.24	18.55	20.18	5827.32	3.82
晋中—霍州—临汾—运城 500kV 输变电工程	平原丘陵山区	山西	植被恢复	1620.1	14.56	20.05	36.21	3253.66	5.07
柳林电厂—霍州变电站、古交变电站—候村变电站及古交变—晋中π入古交变电站 500kV 输电线路工程	丘陵山区	山西	植被恢复	1420.3	16.49	13.57	9.68	1123.88	8.56
朔州、晋中输变电新扩建等工程	平原丘陵山区	山西	铺设土工布	2534.2	24.57	22.53	15.72	1524.14	1.17
吕梁变电站新建输变电工程	丘陵山区	山西	植被恢复	1985.65	19.25	17.65	139.66	13540.82	10.42
			铺设土工布	798.64	9.67	12.75	57.35	6942.26	6.69
托电四回出线加装串补工程	平原	山西	植被恢复	664.21	8.04	10.61	10.91	1320.66	1.27
			铺设土工布	174.45	33.55	35.01	9.33	17942.31	4.50
王曲电厂送出 500kV 输变电工程	平原丘陵山区	河北山西	铺设土工布	5670.2	22.52	15.12	126.03	5005.16	6.56
			植被恢复	4451.7	17.68	11.87	17.26	685.46	0.90
侯村—石北Ⅱ回 500kV 输变电工程	平原丘陵	山西河北	铺设土工布	1024.3	9.46	13.00	17.55	1620.80	0.63
			植被恢复	856.24	7.91	10.87	16.54	1527.52	0.60
大同—房山Ⅲ回 500kV 输变电工程	平原丘陵山区	北京山西	铺设土工布	2987.32	19.96	27.07	143.41	9582.39	7.07
			植被恢复	2413.21	16.12	21.87	27.12	1812.11	1.34
阳泉、雁同 500kv 输变电工程	平原山区	山西	铺设土工布	998.32	26.07	19.67	140.14	36590.08	10.14
			植被恢复	1024.85	26.76	20.19	39.65	10352.48	2.87
稷山—运城等 500kV 输变电工程	平原丘陵山区	山西	铺设土工布	5231.49	34.42	24.64	86.17	5669.45	4.64
			植被恢复	3987.56	26.24	18.78	102.36	6734.65	5.52
山西长治三站一线输变电工程	丘陵	山西	铺设土工布	89.35	6.61	11.64	21.06	15576.92	7.60
			植被恢复	106.39	7.87	13.86	11.24	8313.61	4.06
晋城 500kV 阳城北输变电工程	山区	山西	铺设土工布	385.64	15.15	24.37	67.61	26555.38	7.10
			植被恢复	211.6	8.31	13.37	98.65	38747.05	10.37
榆次北 500kV 输变电工程	平原丘陵	山西	铺设土工布	687.24	16.84	11.93	81.51	19977.94	9.08
			植被恢复	523.1	12.82	9.08	99.65	24424.02	11.10
霍州电厂 500kV 送出工程	丘陵	山西	铺设土工布	1034.62	37.75	26.72	103.66	37818.31	22.87
			植被恢复	696.21	25.40	17.98	76.78	28011.67	16.94
山西太钢电厂送出工程	平原丘陵	山西	铺设土工布	821.3	23.15	26.05	75.18	21195.38	11.28
			植被恢复	598.22	16.87	18.97	69.99	19732.17	10.50
神保串补 500kV 输变电工程	丘陵	山西	铺设土工布	176.8	50.23	36.48	24.31	69062.50	14.58
汇总/平均			植被恢复	1069.30	12.74	15.95	63.21	11436.59	6.36
			铺设土工布	1050.42	16.47	20.40	69.20	19102.35	8.66

5 低扰动水土保持技术效果分析

通过对山西省输变电工程低扰动塔基设计、不落地放线技术、低扰动运输方式及低扰动水土保持防治措施的观测与分析,经过计算得出低扰动水土保持技

术与传统施工工艺相比可以减少占地面积 4.55%~34.42%,土石方量减少 7.81%~25.86%,土建投资减少 0.59%~22.49%,总投资减少 1.83%~17.50%。减少的数量与地形相关,山地及丘陵所占比例越大,效果越明显,见表 7。

表 7 低扰动技术与传统技术比较

	长度/ km	地形	传统施工工艺				低扰动技术				减少/%			
			工程占 地/hm ²	工程土 石方量/m ³	土建投 资/万元	工程总投 资/万元	工程占 地/hm ²	工程土 石方量/m ³	土建投 资/万元	工程总投 资/万元	占地	土石 方量	土建 投资	总投资
古交电厂送出工程	25.2	丘陵 11.90%,山地 68.2%,高山 19.8%	12.56	46016	1636	6422	8.2	34116	1268	5333	34.42	25.86	22.49	16.96
霍州电厂—霍州输变电工程	37.5	丘陵 14.70%,山地 68.00%,高山 17.30%	13.89	64665	2068	10672	10.1	51065	1459	8804	27.19	21.03	29.45	17.50
同煤二期送出工程	9.5	平地 100%	5.05	35901	3128	5514	4.82	33300	3110	5413	4.55	7.81	0.59	1.83
大同东输变电工程	49	平地 51.02%,丘陵 42.86%,河网 6.12%	15.90	80904	12139	18968	14.9	73459	11047	17474	6.04	9.20	9.00	7.88

6 结 论

(1) 掏挖式基础、岩石嵌固式基础、斜插基础及锚杆基础开挖面积较传统大开挖基础占地面积有效减少。不同基础型式施工所产生的临时堆土量和弃渣量表现为岩石锚杆式最少,岩石嵌固式和基础掏挖式次之,大开挖台阶式最多,因此在满足设计要求的情况下建议选择锚杆类基础型式。

(2) 采用长短腿配高低基础的组合型式施工中的扰动面积及弃渣量明显低于等长腿配等高基础、等长腿配高低基础、长短腿配等高基础等组合型式,采取长短退配高低基础可以有效降低施工中的水土流失。

(3) 不落地放线技术和索道运输方式的应用可有效减少施工中扰动地表面积,具有明显的生态效益和经济效益。

(4) 采取土工布覆盖和植被恢复措施代替表土剥离和人工种植乔灌木后可有效降低水土流失量,节约水土保持投资。

参考文献:

[1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:水土流失数据卷[M]. 北京:科学出版社,2010:38-52.

[2] 郭索彦,赵永军.“十五”期间我国开发建设项目水土保持工作概况[J]. 中国水利,2009(7):12-14.

[3] 刘宪春. 浅论开发建设项目水土保持监测指标[J]. 水土保持通报,2007,27(4):67-70.

[4] 王卫. 输电线路杆塔及基础设计中的环境保护措施[J]. 西北水力发电,2005,21(6):25-26.

[5] 杨家旺. 输变电工程水土流失规律研究及防治对策[D]. 武汉:华中农业大学,2010:39-40.

[9] Richardson S J, Allen R B, Doherty J E. Shifts in leaf N:P ratio during resorption reflect soil P in temperate rainforest[J]. Functional Ecology, 2008, 22 (4): 738-745.

[10] Townsend A R, Cleveland C C, Asner G P, et al. Controls over foliar N:P ratios in tropical rain forests [J]. Ecology, 2007, 88(1):107-118.

[11] 薛敏,张文辉,杜盛. 黄土高原刺槐群落优势植物水分生理生态研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(1):27-34.

[12] 张向茹,马露莎,陈亚南,等. 黄土高原不同纬度下刺槐林土壤生态化学计量学特征研究[J]. 土壤学报,2013, 50(4):818-825.

[13] Braakhekke W G, Hooftman D A P. The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland [J]. Journal of Vegetation Science, 1999, 10(2): 187-200.

[14] 党亚爱. 黄土高原南北主要类型土壤有机碳氮库分布特征究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.

[15] 党亚爱,李世清,王国栋,等. 黄土高原典型土壤全氮和微生物氮剖面分布特征研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1020-1027.

[16] 王礼先. 朱金兆. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,2005.

(上接第 61 页)