

GIS 坡度分级法在藏区大高差电力线路设计中的应用

余婧峰¹, 余银普²

(1. 成都城电电力工程设计有限公司, 四川 成都 610041;

2. 四川省测绘地理信息局测绘产品质量监督检验站, 四川 成都 610041)

摘要: 针对川北藏区电力线路工程的大高差跨越地形特征, 引入 GIS 空间分析运算中的坡度算法, 基于数字高程模型 DEM, 生成研究范围的坡度专题层。依据《土地坡度等级划分技术规范》对坡度层进行二次分类定级, 最终获得 GIS 坡度分级专题层。结合高分卫片、坡度分级层及相关矢量专题信息, 在 GIS 空间分析平台上进行可视化线路优化设计, 可以有效地控制线路设计成果的整体坡度范围、合理规划杆塔的立塔位置, 将杆塔定位在坡度合理、地质条件稳定的地理位置上。研究论证表明, GIS 坡度分级技术能有效提高大高差跨越地区线路工程的整体安全系数, 降低后期外业勘测的作业难度, 最终使线路的建设、运营得到可靠的保障。

关键词: GIS; 坡度分级; 大高差跨越; 线路设计

Abstract: Aiming at the large elevation difference terrain of Tibetan area in Northern Sichuan, the slope algorithm of GIS spatial analysis is introduced in transmission line design. With the function of slope algorithm, slope layers can be calculated based on DEM data. According to the technical guidelines of land slope classification, the study reclassifies the slope layers and finally gets the thematic layer of slope reclassification. Using the thematic layer of slope reclassification with high resolution satellite images, the transmission line design can be done visually in GIS environment and the statistical data of the slope for transmission line project can be controlled effectively. The study shows that there is an obvious safety improvement according to the statistical data. Above all, the slope classification algorithm of GIS spatial analysis will reduce the difficulty of transmission line design in large elevation difference terrain and provide a reliable guarantee for the security of the project.

Key words: GIS; slope analysis; large elevation difference crossing; transmission line design

中图分类号: P231.5 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)03-0062-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.03.015

0 前言

近年来,四川电力建设的重心逐渐由城区骨干电网建设向川北甘孜藏族无电地区延伸。2012年3月,“十二五”四川藏区电网“一号工程”——“新甘石”工程的正式启动,拉开了川藏联网电力工程的序幕。随着设计勘察工作的不断深入,许多技术难点逐步凸显。其中较为显著的,是电力线路设计中所遭遇的川北藏区大高差跨越地形问题。川西藏区多属高山峡谷类地形,地势切割剧烈,悬崖绝壁较多。仅依靠传统的工程测量手段和既有地形图判读选线方法,已无法达到高效、合理的电力线路优化设计目标。大高差的地形,对传统的线路设计方式和沿线勘察测手段均提出了更高的技术要求。因此,寻求新型的设计技术手段来辅助藏区大高差型地貌电力线路设计势在必行。

GIS,又称地理信息系统,具有强大的空间分析功能和辅助决策功能。作为GIS空间分析技术中的核心运算之一,地形坡度运算已逐渐被电力行业所采纳,在输配电线路工程的设计和勘测工作过程中得到广泛应用。结合高分辨率的航天卫星影像及数字高程模型,通过GIS空间分析技术,对线路沿线进行地形专题数据的提取,获取电力线路路径的坡度信息,使设计人员能在线路设计初期对电力线路全线的地形地势有宏观而合理的把握。利用GIS平台的可视化交互查询,设置线路路径中立塔的地理最优位置,从而达到对输变电路整体坡度范围的合理控制,实现输变电路设计的优化。

1 GIS 坡度分级算法原理阐述

1.1 GIS 坡度空间分析运算原理

对于数字高程模型中的每一个像元而言,坡度

分析运算统计的是该像元与临近像元的最大地形变化率。基本上,一个地形像元的最大变化率由它和周边邻接的8个外像元决定。假设,这外围的8个像元被依次定义为*a~i*,如图1(a)所示,以最大平均值原理进行中心像元水平、垂直方向的地形变化率运算,运算原理见公式(1)、公式(2)。

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 \times x_cellsize) \quad (1)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 \times y_cellsize) \quad (2)$$

综合上述水平、垂直方向的坡度计算原理,对4个直接邻接单元的权重赋值,值取2;而4个角落单元的权重赋值,值取1,权重赋值图见图1(b)。最终,中心地形像元的坡度计算公式见公式(3)。图中*G*表示格网尺寸,*e_i*(*i*=1~8)分别表示中心点*e*周围的格网点高程。以3×3大小为移动窗口,在数字高程模型矩阵中逐个计算每个格网数据的坡度信息,计算完毕后将获得坡度栅格影像,详见图1(c)。

坡度值*θ*的正切值为

$$tg(P) = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

式中, $\frac{\partial z}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial z}{\partial y}$ 分别为*x*、*y*方向的偏导数;*P*则表示中心像元的坡度值。

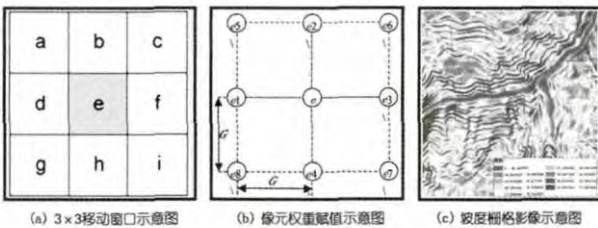


图1 坡度分析运算原理示意图

1.2 坡度分级原则

2008年6月,国土资源部综合了中国各地区地形地势坡度范围,按照其对农业、工业、环境水土保持等方面的影响限制程度,颁布了《土地坡度等级划分技术规范》。规范中指出,将中国的地形坡度分布分为了如下7个等级:≤3°、3°~8°、8°~15°、15°~25°、25°~35°、35°~45°、>45°^[1]。不同的坡度等级,对土壤地质环境的稳定性和水土保持产生的影像力有显著的差异性。

根据多年水土流失监测结果表明,≤3°区域俗称无侵蚀区域,一般无水土流失现象发生;3°~8°时,地表有轻微的细沟、浅沟出现,可发生轻度土壤

侵蚀,使用此区域土壤时,应需注意水土保持;8°~15°可发生中度水土流失,应采取修筑梯田、等高种植等措施;15°~25°地质侵蚀渐趋加剧,区域水土流失严重,必须采取工程、生物等综合措施进行防治。25°是土壤侵蚀方式的一个转折点,>25°以上的土壤区域将会大量出现重力侵蚀现象;而35°是黄土堆积面的临界休止角,>45°以上时极易发生坡面错落、滑坡、泻溜等重力侵蚀出现,此区域为开荒限制坡度,不易进行工程建设及开发,并采用退耕还林等水土保持措施。

2 GIS坡度分级算法在藏区大高差电力线路工程中的应用

在举世瞩目的“川藏联网电力天路工程”中,多数线路工程属于高山峡谷类地形,有的地区坡度甚至超过了60°。地势切割剧烈,悬崖绝壁较多。如果不能正确对杆塔的立塔位置进行设计,控制线路的整体坡度范围,则会导致线路工程的整体安全系数降低,为后期的施工难度、工人的人生安全、线路的使用寿命带来极大的安全隐患。因此,采用GIS辅助决策技术,对线路路径的大方案设计进行优化,显得尤为重要。

本次研究基于ArcGIS空间分析平台,采用GIS坡度分级算法,提取研究区域的坡度专题数据。随后,依据国土资源部颁布的《土地坡度等级划分技术规范》文件,按照坡度数据的取值范围,对获取的坡度专题数据进行2次分类和定级,最终获得GIS坡度分级专题图层。叠加相关的工程影像数据、城市规划数据等要素,在ArcGIS平台上可视化查询各杆塔位置上的坡度值,实现杆塔立塔位置的合理设计,从而达到对线路整体方案所处坡度区域的合理调控。总体而言,本次技术研究分为如下6个大的研究方面,具体流程详见图2。

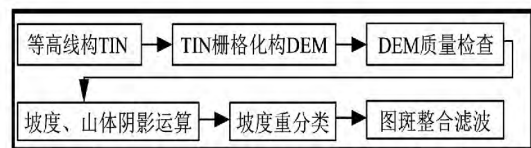


图2 技术流程图

2.1 研究区域及原始数据介绍

本次研究依托“东谷河一级水电站至丹巴500

kV 变电站 220 kV 线路工程”。该研究区域行政隶属于四川省甘孜藏族自治州丹巴县管辖,工程全长预估为 12 km。地理位置而言,研究区域线路地处四川盆地与青藏高原东南缘过渡地带,主体地形表现为侵蚀、剥蚀形成的高山峡谷地形,地形切割强烈,悬崖绝壁随处可见。山脊形态呈尖峭状,山坡和谷坡坡度较大,一般在 40° 以上,沟谷狭窄,横剖面呈“V”型。海拔方面,研究区域途经地段标高均在 2 100 m 以上,相对高差在 200 ~ 800 m 范围之内,属于典型的川北藏区大高差跨越地形,地形地质条件非常恶劣。

为了将新型勘测技术在实际工程中得以运用,开展线路的优化设计工作,向四川省测绘地理信息局收资 1:5 万比例尺精度、含 10 m 等高线要素层的数字化矢量地形图,共计 3 幅。配套卫星影像方面,收资了 2.5 m 分辨率的 IRS - P5 卫星影像,共计 6 幅。两套原始数据均已完成前期的几何纠正及正摄纠正处理,满足工程设计所需要的平面精度。原始资料的具体分布情况详见图 3。

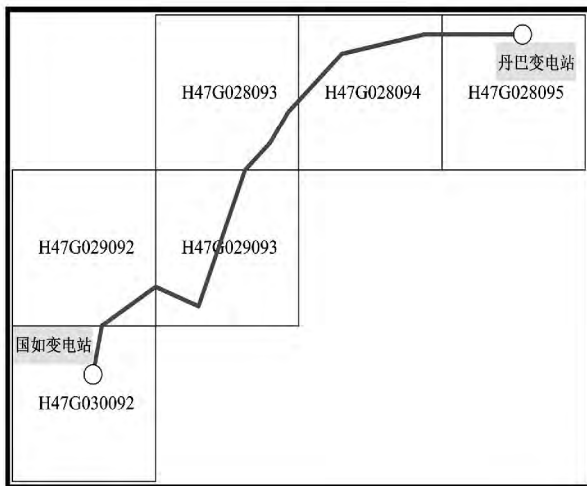


图 3 原始资料分布图

2.2 等高线反演 TIN 及 DEM

TIN(triangulated irregular network) ,俗称不规则三角网,是构建数字地表模型 DEM 必不可少的步骤之一。具体而言,构建不规则 TIN 的流程和意义如下:通过将一系列的高程点以基于矢量形式组成三角形格网,从而使各矢量边形成不叠置的连续三角面,可用于捕获在地形起伏中发挥重要作用的线状要素(如山脊线或河道)的位置。由于网络是以不规则结点连接,因此可以将整个三角网络以不规则形式,放置于地形表面。在表面起伏变化较大或需

要更多细节的区域,网络分布密集,使 TIN 具有较高的分辨率,而在表面起伏变化较小的区域,网络分布稀疏,TIN 的分辨率较低^[2]。最终利用不同的数学插值算法,实现以数字模式来表示地表形态的目标,构建成果详见图 4(a) 、图 4(b) 。

构建 TIN 三角网的插值方法有很多种,如 Delaunay 三角测量法、距离排序法等。目前,GIS 平台运算中,普遍采用的是 Delaunay 三角测量算法。

利用线性或最邻近插值原理,通过查找落在二维空间中的三角形,计算像元中心相对于三角形平面的位置,作为每个输出像元的高程属性值。最终,将上一阶段生成的不规则三角网栅格化转换为平面栅格,实现由不规则三角网 TIN 生成数字高程模型 DEM 的目标。该流程俗称“TIN 栅格化构 DEM”,具体构建成果详见图 4(c) 。

2.3 DEM 质量评估

采用上述处理流程,制作出本次工程全境范围内 10 m 等高线精度的数字高程模型 DEM,共计 3 张。对加工生产出的 DEM 栅格影像进行如下 3 个方面的成果质量评估检验。

1) 精度检查

①平面精度检查:与数字遥感正射影像图及地形图进行叠加,检查数字遥感所示地形地貌特征与 DEM 高程变化特征是否吻合。经检查,DEM 平面精度满足要求。

②接边精度检查:接边检查是对相邻两幅 DEM 重叠区的同名格网点高程,计算 DEM 接边精度。采用目视判读进行接边检查,经检查,接边处灰度连续、无错位的情况。

2) 数据完整性检查

数据完整性包括要素完整性、覆盖完整性、图幅间完全接边。将 DEM 数据进行镶嵌。经检查,DEM 数据覆盖区域完整;相邻图幅间能够实现完全接边。

3) 数据文件检查:经检查元数据文件内容齐全。

2.4 基于 DEM 的 GIS 坡度分级专题图提取及图层优化

按照前文所阐述的坡度系数提取原理,对研究范围内的所有 DEM 进行 GIS 坡度空间分析运算,提取出工程全境的 DEM 坡度专题层。随后,依据国土资源部《土地坡度等级划分技术规范》中所规定的

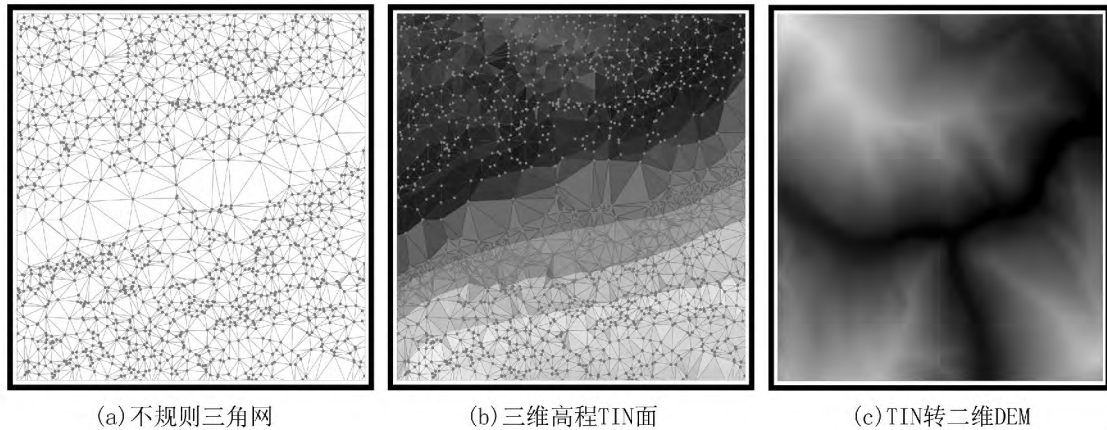


图 4 等高线反演 TIN、DEM 示意图

地形坡度临界值,对上一阶段的坡度专题图层进行 2 次分级运算,并赋予各个坡度级别相应的地物属性编码,从而得到坡度分级的基础图层。坡度分级基础图层详见图 5(a),坡度分级表详见表 1。

表 1 坡度分级表

| 坡度值范围 | 隶属坡度级别 | 地质特性 |
|--------------------------|--------|-----------|
| $\leq 3^\circ$ | 1 | 无侵蚀区域 |
| $3^\circ \sim 8^\circ$ | 2 | 轻度土壤侵蚀 |
| $8^\circ \sim 15^\circ$ | 3 | 中度水土流失 |
| $15^\circ \sim 25^\circ$ | 4 | 区域水土流失严重 |
| $25^\circ \sim 35^\circ$ | 5 | 大量重力侵蚀现象 |
| $35^\circ \sim 45^\circ$ | 6 | 土堆积面临界休止角 |
| $> 45^\circ$ | 7 | 开荒限制坡度 |

值得注意的是坡度重分类基础图图面中,不同的坡度值分级处呈现锯齿状,级别与级别间的过渡极不柔和。同时,在一个级别的坡度面状图斑中,会出现很多破碎的马赛克状的小颗粒,它们像“椒盐”一样散布在图斑中。这种情况,就是遥感影像分类技术中俗称的“椒盐噪声”现象^[3-4]。其存在的原因,可来源于大面积地形中某一处地形的坡度值突变所致,也可能因为分类算法在此处出现了误分类情况。综上所述,为了使坡度分级图的图面无椒盐噪声现象、边界过渡平滑,需要设定相应的面积阈值参数,对基础图层进行相应的二次滤波优化处理和图斑融合处理,实现坡度分级专题图的优化。

采用 Eliminate 算法,对细碎图斑进行融合。Eliminate 算法的中心思想是,依据 1 个或多个指定的属性聚合条件,将面与具有最大面积或最长公用边界的邻近面进行合并来消除面,通常用于移除叠加操作(如相交或联合)所生成的小的狭长面。细碎

图斑的典型特征是面积小,不足以成为单独被分为 1 个类别。依照此思路,本次研究选用了面积阈值参数作为临界条件,筛选出面积值小于 100 m^2 的所有细碎图斑。随后,以“选中类别周边的最大面积图斑”为算法准则,将被选中的类别融合到与其接壤的临近最大面积图斑里,并赋以相应属性,从而达到消除细碎图斑的目的。随后采用 Focal Statistics 算法进行输出栅格数据的 3×3 邻域运算,对栅格中锯齿状的分界边缘进行平滑,效果极佳。最终,得到画面清晰、边界过渡平滑的 GIS 坡度分级专题图层,详见图 5(b)。

为了使坡度的起伏情况更加直观,可运用 DEM 数据计算出山体地形起伏层,与坡度分级图进行合成,最终形成景观化坡度分级地形渲染图,详见图 6。设计人员在此底图基础上叠加相应的卫片信息,即可以在 GIS 空间分析平台上开展可视化的线路优化设计工作^[5-6]。结合线路的实景卫片,分析拟定塔位点的坡度取值,观看线路设计的整体坡度范围,从而使线路设计的可靠性与合理性获得提高。

2.5 设计成果坡度范围质量分析

本次“东谷河一级水电站至丹巴 500 kV 变电站 220 kV 线路工程”,设计全周期依托于 ArcGIS 空间分析平台。通过 GIS 空间分析运算,生成了工程全境范围内的坡度专题层、坡度分级基础层、坡度分级优化专题层及景观化坡度分级地形渲染图层成果 4 套。叠合 2.5 m 分辨率的卫星遥感影像和地质、规划、矿区等设计重点专题信息数据,设计人员在 ArcGIS 空间分析平台上,对初期路径概率大方案开展了详细的可视化后期优化设计工作。

以线路转角塔 J12 - J14 1 段为示例,进行坡度分级法在优化线路设计中的案例说明。如图 7 中白

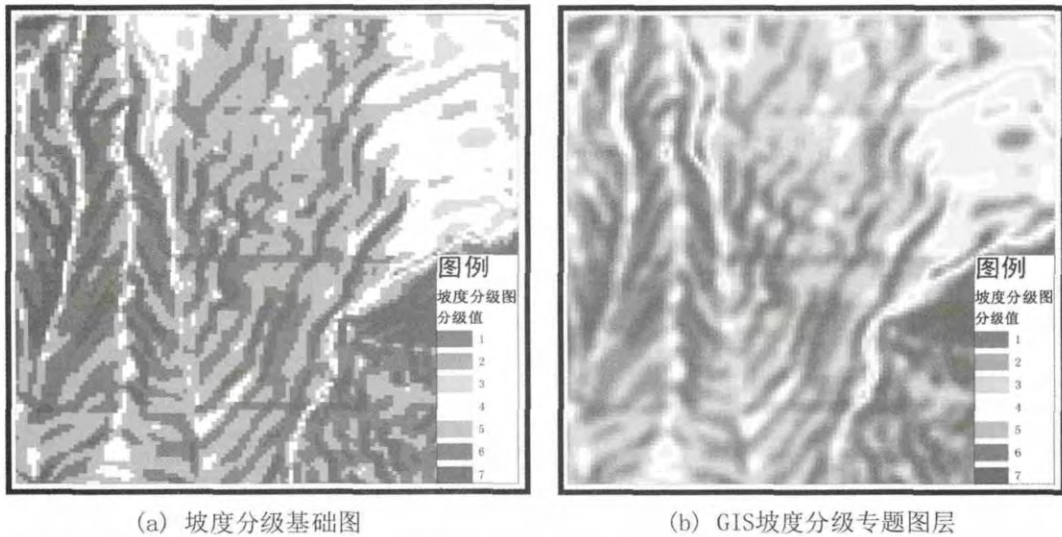


图5 GIS坡度分级专题图优化

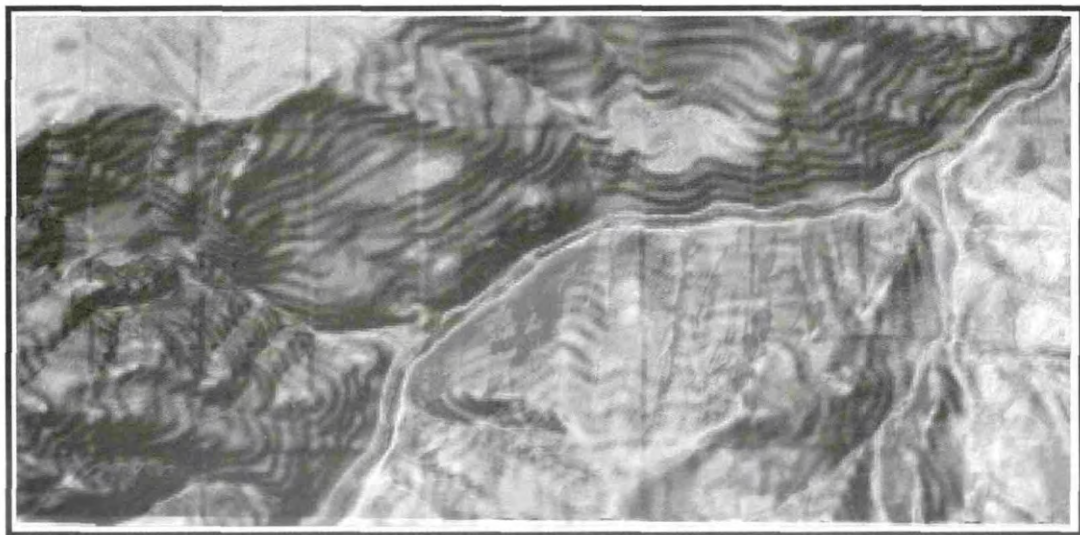


图6 景观化坡度分级地形渲染图

色三角注记所示,在初期概率方案中,J12、J13、J14 3级转角塔的坡度值分别为 45.01° 、 35.54° 、 41.65° ,隶属于棕红色的6级坡度范围内,已列入土堆积面临界休止角范围。初期方案的设计原理,是为了最大程度降低线路的曲折系数,减少线路总体长度、节约经济成本。但此3级塔的平均坡度值高达 40.73° ,属于极易发生坡面错落、滑坡的地理位置,安全隐患较大,因此在后期的线路优化工作中,需要做立塔位置的细部调整。

在优化设计阶段,设计人员结合GIS空间分析平台进行可视化设计,对该段线路进行了局部微调。经过优化设计,J12、J13、J14 3级转角塔坡度值调整为 17.98° 、 30.63° 、 30.96° ,平均坡度值为 20.32° ,隶属于浅黄色的4级坡度安全范围内。虽然一定程度上牺牲了局部的线路曲折系数,扩大了线路的整

体长度;但就工程的安全隐患而言,该段线路方案的整体可靠性得到了有效地保障,立塔位置的地质条件更为稳定,对终勘阶段现场勘测人工投入、后期工程的建设难度,都能实现经济、人力、工期上的成本节约。

综上所述,利用GIS坡度分级技术,此次线路工程优化设计范围内大方案修改共有17处,局部塔位微调5处。总体而言,本次工程的立塔坡度范围情况如下:最大坡度值为 33.32° ,最小坡度为 4.28° ;全线线路平均立塔坡度系数为 18.75° ,隶属于坡度分级中第4级别,为中低级安全坡度范围;曲折系数方面,4个线路标段的曲折系数分别为1.14、1.12、1.15、1.11,平均曲折系数1.13;交叉跨越方面,由于采用可视化设计,本工程交叉跨越较少,成功避让35 kV电力线4次,东谷河3次,S303省道3次。本

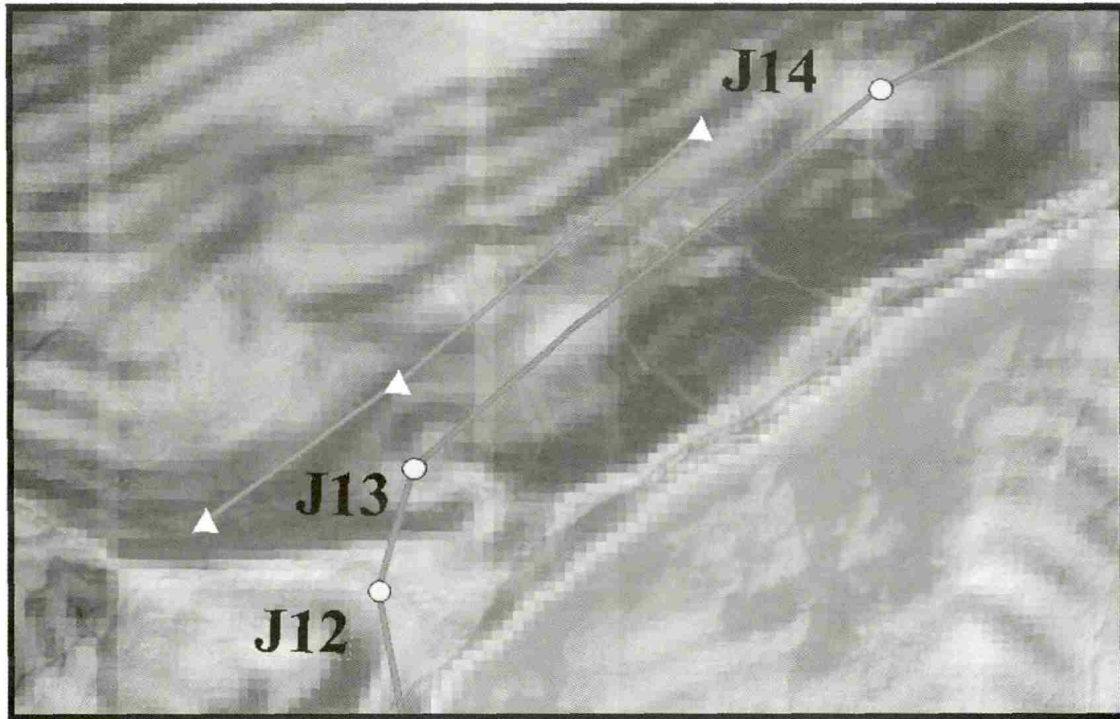


图7 GIS坡度分级法线路优化设计示意图

次线路工程的设计大方案走向平直、坡度适中、跨越及占地量均为低级别,判定设计方案较为经济,可以作为后期建设使用。

得了较好的成效,值得在后续的藏区电力线路勘测设计工程中加以延续应用。

参考文献

3 结论

本次“东谷河一级水电站至丹巴500 kV变电站220 kV线路工程”依托GIS空间分析中的坡度分级运算,获取了工程范围内的GIS坡度分级专题图层。结合高分辨率卫星影像和设计相关的各专题要素,最终达到了有效控制线路设计成果的坡度范围、合理规划立塔位置的设计目标,使杆塔定位在坡度合理、地质条件稳定的地理位置上,取得了较好成效。

本次新型勘测技术在“川藏联网”藏区电力工程中的研究与使用,体现了设计人员对国网四川省电力公司“两型三新”设计原则的深入贯彻,将线路设计勘测手段由传统型工程测量模式向数字化、精细化、集成化的新型勘测设计作业体制进行转变,取

- [1] TD/T 1014 - 2007,第二次全国土地调查技术规程[S].
- [2] 汤国安,宋佳.基于DEM坡度制图图中坡度分级方法的比较研究[J].水土保持学报,2006,20(2):157-160.
- [3] 宋国民,张锦明.一种消除坡度分级图中“马赛克现象”的方法[J].测绘工程,2010,11(1):52-57.
- [4] 刘军,张正福,胡燕凌.应用DEM数据进行耕地坡度分级量算方法研究[J].遥感技术与应用,2009,24(5):691-697.
- [5] 刘海飞,杨敏华,周军等.基本ArcGIS平台的坡度分幅图快速制作[J].山西建筑,2014,40(3):262-264.
- [6] 戴立乾,陈娜,高鹏等.基本数字高程模型的坡度分级及数据库的设计与实现[J].河南科学,2012,30(5):609-613.

(收稿日期:2015-01-20)

促节能减排和低碳发展 改善环境保护生态