引文格式：胥 姝,褚永彬,余林. 条带剖面方法及其应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 26-29. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.006

条带剖面方法及其应用

胥　姝[1]，褚永彬[2*]，余　林[3]
（1. 成都市勘察测绘研究院，四川 成都 610081；2. 成都信息工程大学 资源环境学院，四川 成都 610225；
3. 西南油气田分公司重庆气矿开州采输气作业区，重庆 405431）

摘　要：条带剖面以具有一定宽度的条带为范围，提取条带内高程最大值、最小值、均值等统计信息。自 1994 年首次被提出使用以来，以其对地形的统计分析成为地形特征分析的有效工具，是定量地貌研究的一种方法。基于此，总结了条带剖面的含义、提取方法及其在地形地貌特征分析、定量地貌研究及地貌演化、构造活动以及河流水系演化等方面的应用，展望了条带剖面分析的未来方向，为条带剖面的进一步应用打下了基础。

关键词：条带剖面；不规则条带剖面；规则条带；定量地貌
中图分类号：P284　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0026-04

Swath Profile Method and Its Application

XU Shu[1], CHU Yongbin[2], YU Lin[3]
(1. Chengdu Institute of Survey & Investigation, Chengdu 610081, China;
2. College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;
3. Southwest Oil and Gas Field Branch Chongqing Gas Mining Kaizhou Gas Extraction and Transmission Operation Zone, Chongqing 405431, China)

Abstract: The swath profile takes the swath with a certain width as the range, and extracts the statistical information such as the maximum value, minimum value and average value of elevation. The swath profile was first proposed in 1994. Because of its terrain statistical analysis, it is an effective tool of terrain feature analysis and a quantitative geomorphology research method. In this paper, we summarized the meaning of swath profile, extraction method and its applications in topographic and geomorphic feature analysis, quantitative geomorphology research, geomorphic evolution, tectonic activity and river system evolution, and put forward the future direction of swath profile analysis, which could lay a foundation for further application of swath profile.

Key words: swath profile, irregular swath profile, regular swath, quantitative geomorphology

条带剖面（Swath Profile），又称廊带剖面、带状剖面，最早由 Fielding 在 1994 年对青藏高原及邻区进行地貌分析的时候提出并使用，获得了跨越高原的条带内高程最大值曲线、最小值曲线、平均高程曲线，探讨了地貌起伏特征[1]。条带剖面与普通地形剖面线的不同点在于，普通地形剖面线记录的是地形沿剖面线的起伏，是一维的信息；而条带剖面按照面对落在条带内的高程值进行统计，获取最值和均值等，是二维的信息。相较于单一的剖面线，条带剖面能够更准确地表达地形地貌特征，是定量地貌分析的重要手段之一，受到广泛应用，并不断出现新的提取方法[2]。本文介绍了条带剖面的原理、方法和在不同领域的应用情况，为以后的研究和应用提供一定的借鉴。

1　方　法

地形图上绘制一条直线，记录直线与等高线交点的高程及距离起点的长度，以高程为纵轴、长度为横轴绘制的曲线即为地形剖面线（图 1 左图）。地形剖面可以反映地表起伏、地势变化，表达地貌形态以及地表切割强度等。由绘制方法可知，地形剖面线仅能反映线下地形起伏，不能准确表达地表固有的面性特征，且剖面线的选择具有较强的主观性[3]。这种情况随着数字高程模型的发展得以改变，即利用 DEM 获取高程条带剖面。

条带剖面以具有一定宽度的条带为高程统计的基础，沿一定的间隔做若干条带中心线的垂线，统计每

收稿日期：2022-06-03。
项目来源：四川省科技计划重点研发项目（2020YFG0144）。
第一作者简介：胥姝（1983—），硕士，高级工程师，注册测绘师，研究方向为教学地形分析，E-mail：99808879@qq.com。
通信作者：褚永彬（1981—），博士，讲师，工程师，主要研究方向为地学信息可视化，E-mail：chuyb@cuit.edu.cn。

一条垂线下的高程最值、均值、标准差等[1, 4–8]。条带剖面的纵轴不再为单一的高程值，而是采样线下的采样统计值（高程最大值、最小值、均值等如图1右图所示）。

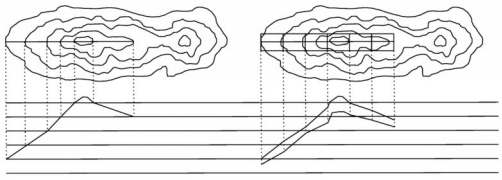


图1　剖面线与条带剖面采样方式的区别[9]

条带剖面改变了高程起伏的一维表达，能够较好地反映区域在二维面上的地形起伏特征[10]。根据所使用条带的形状，分为规则条带和不规则条带。规则条带的中央基线为直线，而不规则条带则为折线或曲线。

1.1　规则条带剖面方法

规则条带是应用最广的一种形式。其方法概括起来有自定义工具方法、GIS组合工具方法。自定义工具方法是根据条带剖面的定义，由剖面线按照设定的宽度扩展获得[11]。其基本思路为：绘制剖面基线，并指定条带的宽度和采样间隔。将基线按照采样间隔进行等分，在等分节点处定义垂直于基线的采样线。同样按照采样间隔等分采样线，取等分点下高程值，组成高程集合，按采样线统计高程集合中的最值及均值等统计值。采样线上高程统计值作为纵轴，采样线距离基线端点的距离作为横轴绘制条带剖面。

常用的GIS软件，如ArcGIS，本身并不具有针对条带剖面的单独工具，但经过空间分析工具的组合使用也可以完成高程信息的统计功能[9, 12]。自定义工具要求应用人员具有一定的计算机编程基础，而组合工具利用ArcGIS自带的功能模块，灵活运用Zonal Statistics分区统计的功能，统计区内高程信息完成条带剖面绘制，更易操作和推广。

1.2　不规则条带剖面方法

为了研究河流裂点迁移与地形演化关系，Gallen[13]等采用首尾相接的多个矩形组成了近似沿河流走向的多边形条带。Telbisz[14]等采用正交采样网格方法计算不规则条带剖面，获得了阿巴拉契亚山脉的最值、均值、标准差值剖面曲线。这种方法采样线垂直于基线，条带剖面X轴与条带延伸方向一致，获得的是沿条带方向的地形统计信息，可以称之为高程条带纵剖面。也正由于采样线垂直于基线，所以在曲线曲率较大的地方易发生高程重复采样，对分析结果带来一定的影响[14–15]。Hergarten[15]等拓展了不规则条带剖面的思路，度量条带内每一个采样点到基线的距离，计算相同距离的采样点的最值等统计值。这种方法避免了重复采样，将条带剖面以一种横切面的方式展现，但不能表达沿曲线地貌特征走向的高程变化、地形起伏情况。在Hergarten[9]等不规则条带剖面和Telbisz等正交采样网格的基础上，褚永彬设计一种新的算法，通过记录采样点在采样网格中的位置，实现一次计算，同时生成曲线地貌特征的纵横2种条带剖面，弥补了上述不足。这种综合方法从纵、横2个视角分析地貌，互为补充，扩展了地貌分析的思路，适用于山脉、河谷、断裂带等地貌特征的分析。

2　应　用

条带剖面绘制的剖面线是高程等地形因子的统计值。通过条带剖面的统计信息分析地貌演化速率、河流重组，以及降水和地形的关系，尤其评价造山带地表垂直升降运动、河流冰川地形分析方面具有显著作用。

2.1　地形地貌特征

地形地貌特征的分析是条带高程剖面最直接的应用。在条带地形剖面的基础上，Andermann[16–17]等分析了降水和地形的关系，Foster[18]分析了冰川地形特征。张佳佳[19]等将地质灾害点标绘在条带剖面上，讨论了地质灾害与地形，尤其是坡度之间的关系。贾腾斌[20]等在利用三维激光扫描仪获取地表地形数据的基础上，建立坡面微地形模型（M–DEM），采用条带剖面的方法，获取了不同耕作措施下微地形的地形起伏度、地表粗糙度、沟壑深度、高程变异系数等，完成了坡面复杂度特征的提取和分析[20]。

地形地貌特征本质上是局地高程的变化，条带剖面反映的恰好是条带内高程的统计信息，同时结合其他地形因子，可以更直观地反映地形地貌特征[21–25]。

2.2　定量地貌分析及地貌演化

通过地形形态特征分析地貌发育、地形演化是条带剖面的另一个重要应用。Molin[26–27]等基于DEM数据，在地形特征的基础上，分析高程最值和平均值，进而分析地形中的主要起伏波动，以及构造折返，探讨了亚平宁山脉地貌演化。高明星[28]等利用高程带状剖面图，定量化揭示了西秦岭北缘–拉脊山东西两侧地貌结构，结合地质数据，探讨了西秦岭北缘–拉脊山两侧的地貌差异及其发育机制。苏琦[29]等利用条带剖面方法，定量地分析了白龙江流域盆地的高程与坡度变化之间的一致性程度。

条带剖面中最小高程代表切割盆地沉积物的峡谷

谷底，最大高程代表沉积顶面，二者之间的高差即表示剥蚀厚度。王岩[30]等由此定量评价龙门山地区主要水系下切剥蚀所引起的地壳均衡反弹量。梁明剑[31]等结合其他地貌定量参数，探讨了地貌演化与构造活动的关系。

2.3 构造活动

条带剖面为评价造山带地表垂直升降运动提供了定量化数据[14]。Musumeci[32]等通过对阿尔图纳地块的DTM分析，获得了若干条带剖面、水系形态参数、坡度和水系密度图，以此为基础，分析了构造对地形的束缚，表明晚阿尔卑斯山SW逆冲推覆与右旋走滑运动相联系。Clark[33]等利用条带剖面获得的最大值和均值，讨论了青藏高原地表抬升以及下地壳流等科学问题。Yıldırım[34]从条带剖面中分析了沿断裂带上最高峰的位置以及最大起伏和最陡坡降，计算了理想状态下的断层位移距离。

在条带剖面反映的地形特征基础上，赵尚民[10]等识别了青藏高原北缘西昆仑山脉的公格尔山地区的地形梯度，讨论了该地区的隆升过程；李朝阳[35]等结合前人磷灰石裂变径迹测年数据，划分了红河断裂带中南段的构造活动期次，分析了构造抬升速率；邓宾[36]等结合岩石圈结构、水平缩短变形等信息，反演了大娄山地区构造变形事件和盆山建造过程；贾秋鹏[37]等结合地震资料，分析了地貌特征和现代构造活动表现，揭示了龙门山及四川盆地存在晚新生代构造缩短的可能性。同样，条带剖面反映出的高程梯度变化表现了龙门山构造带南段前展式扩展的特点及地形受构造活动的影响[38]。

在构造活动分析方面，条带剖面提供了基础的地形变化数据，并利用图形化的地形起伏直观展示了研究区的构造活动。

2.4 水系发育

条带剖面的统计属性可以展示坡度、残留夷平面顺河的变化情况。Gallen[13]按照条带剖面的方法，提取了位于南阿巴拉契亚山脉河流沿流向的高程、起伏度、坡度等地形特征，研究了河流裂点的迁移。王平[39]绘制了沿川江干流的条带剖面，统计的最大高程和均值高程剖面反映出川江下段流向与地形梯度方向相同，而上段流向则与地形梯度方向相反，以此讨论长江中游的袭夺-反向过程。同样利用条带剖面，分析了川东-湘鄂西弧形断褶带的构造地貌特征，提出古长江东支和西支的分水岭应位于弧形带的“中线”附近的向斜谷地内的观点[40]。梁明剑[41]等利用条带剖面分析了芦山地震区“三山夹两盆”的地貌格局及其与构造的关系，探讨了河流地貌对地震的响应。陈露[42]利用条带剖面揭示的地形起伏形态信息，探讨了条带剖面对珠峰自然保护区的流域地貌景观分区以及流域发育特征的指示意义。条带剖面展示的总体地形趋势，有助于发现河流流向的变化，从而为水系演化提供辅助分析数据。

3 结 论

与传统地形剖面线相比，条带剖面具有对地形特征的统计功能，可以直观展示研究区高程以及其他地形因子的最值、均值等。此方法提出后，已经普遍应用于地形特征的分析，尤其在定量地貌分析、地貌演化速率等方面，进而讨论构造活动以及地貌演化。其绘制方法也不断发展，由规则条带发展到不规则条带，从而能够更好地适应地表曲折山脉、河流的地形分析。

参考文献

[1] Fielding E, Isacks B, Barazangi M, et al. How Flat is Tibet[J]. Geology, 1994, 22(2):163-167

[2] 张玲, 梁诗明. 球面圆弧数字地形剖面提取方法研究:以喜马拉雅弧形造山带为例[J]. 震灾防御技术, 2022, 17(1):79-83

[3] 张会平, 刘少峰. 利用DEM进行地形高程剖面分析的新方法[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):226

[4] Fielding E J. Tibet Uplift and Erosion[J]. Tectonophysics, 1995, 260(1-3):55-84

[5] Dortch J M, Owen L A, Schoenbohm L M, et al. Asymmetrical Erosion and Morphological Development of the Central Ladakh Range Northern India[J]. Geomorphology, 2011, 135(1):167-180

[6] Kirby E, Harkins N. Distributed Deformation Around the Eastern Tip of the Kunlun Fault[J]. International Journal of Earth Sciences, 2013, 102(7):1 759-1 772

[7] Ponza A, Pazzaglia F J, Picotti V. Thrust-fold Activity at the Mountain front of the Northern Apennines (Italy) from Quantitative Landscape Analysis[J]. Geomorphology, 2010, 123(3):211-231

[8] Scotti V N, Molin P, Faccenna C. The Influence of Surface and Tectonic Processes on Landscape Evolution of the Iberian Chain (Spain):Quantitative Geomorphological Analysis and Geochronology[J]. Geomorphology, 2014, 206(2):37-57

[9] 褚永彬. 祁连山地貌特征及对青藏高原隆升的响应[D]. 成都:成都理工大学, 2015

[10] 赵尚民, 程维明, 周成虎, 等. 青藏高原北缘公格尔山地区地形梯度的剖析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6):

753-758

[11] 阚瑷珂,朱利东,龚建辉,等. 基于ArcView的带状剖面工具开发及在地貌分析中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(1):64-69

[12] 邹斌文,马维峰,龙昱,等. 基于ArcGIS的条带剖面提取方法在地貌分析中的应用[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(3):42-44

[13] Gallen S F, Wegmann K W, Frankel K L, et al. Hillslope Response to Knickpoint Migration in the Southern Appalachians:Implications for the Evolution of Post-orogenic Landscapes[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2011,36(9):1 254-1 267

[14] Telbisz T, Kovács G, Székely B, et al. Topographic Swath Profile Analysis:A Generalization and Sensitivity Evaluation of a Digital Terrain Analysis Tool[J]. Zeitschrift Für Geomorphologie,2013,57(4):485-513

[15] Hergarten S, Robl J, Stüwe K. Extracting Topographic Swath Profiles Across Curved Geomorphic Features[J]. Earth Surface Dynamics Discussions,2014,2(1):2 608

[16] Andermann C, Bonnet S, Gloaguen R. Evaluation of Precipitation Data Sets Along the Himalayan Front[J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2011, 12(7):785-814

[17] Bookhagen B, Burbank D W. Topography Relief and TRMM-derived Rainfall Variations Along the Himalaya[J]. Geophysical Research Letters,2006,33(8):1-5

[18] Foster D, Brocklehurst S H, Gawthorpe R L. Small Valley Glaciers and the Effectiveness of the Glacial Buzzsaw in the Northern Basin and Range, USA[J]. Geomorphology, 2008,102(3-4):624-639

[19] 张佳佳,李海兵,赵国华,等. 2013年四川芦山地震次生山地灾害发育规律[J]. 地质通报,2015,34(5):898-907

[20] 贾腾斌,吴发启,赵龙山,等. 坡耕地上耕作形成的微地形复杂度特征与分析[J]. 水土保持学报,2013,27(4):152-156

[21] 李奋生,赵国华,李勇,等. 青藏高原东缘的隆升及其水系的响应[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(3):420-428

[22] 李奋生,赵国华,李勇,等. 龙门山地区水系发育特征及其对青藏高原东缘隆升的指示[J]. 地质论评, 2015, 61(2):345-355

[23] 刘栋梁,李海兵,潘家伟,等. 帕米尔东北缘-西昆仑的构造地貌及其构造意义[J]. 岩石学报,2011,27(11):3 499-3 512

[24] 刘兴旺,袁道阳,史志刚,等. 六盘山断裂带构造活动特征及流域盆地地貌响应[J]. 地震工程学报,2015,37(1):168-174

[25] 梁朋,田勤俭,苏鹏,等. 利用DEM技术自动提取龙门山南段青衣江阶地面的研究[J]. 震灾防御技术,2015,10(2):240-252

[26] Molin P, Fubelli G. Morphometric Evidence of the Topographic Growth of Central Apennines[J]. Supplementi Di Geografia Fisica E Dinamica Quaternaria, 2005,28(1):47-61

[27] Carlobartolini, Nicolad' A, Francescodramis. Topography, Exhumation, and Drainage Network Evolution of the Apennines[J]. Episodes,2003,26(3):212-216

[28] 高明星,徐锡伟,刘少峰. 西秦岭北缘-拉脊山两侧地貌差异及地貌演化[J]. 地震地质,2013,35(2):222-233

[29] 苏琦,梁明剑,袁道阳,等. 白龙江流域构造地貌特征及其对滑坡泥石流灾害的控制作用[J]. 地球科学,2016,41(10):1 758-1 770

[30] 王岩,刘少峰. 龙门山晚新生代均衡反弹隆升的定量研究[J]. 现代地质,2013,27(2):239-247

[31] 梁明剑,周荣军,闫亮,等. 青海达日断裂中段构造活动与地貌发育的响应关系探讨[J]. 地震地质,2014,36(1):28-38

[32] Musumeci G, Ribolini A, Spagnolo M. The Effects of Late Alpine Tectonics in the Morphology of the Argentera Massif (Western Alps, Italy-France)[J]. Quaternary International,2003,101-102(1):191-201

[33] Clark M K, Bush J W M, Royden L H. Dynamic Topography Produced by Lower Crustal Flow Against Rheological Strength Heterogeneities Bordering the Tibetan Plateau[J]. Geophysical Journal International, 2005, 162(2):575-590

[34] Yıldırım C. Relative Tectonic Activity Assessment of the Tuz Gölü Fault Zone:Central Anatolia, Turkey[J]. Tectonophysics,2014,630(1):183-192

[35] 李朝阳,姜效典,李德勇,等. 红河断裂带中南段上新世以来构造隆升及成因[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2016,46(7):90-98

[36] 邓宾,刘树根,覃作鹏,等. 扬子板内大娄山渐变型盆-山结构带多期构造特征及其对板内-板缘构造的响应[J]. 大地构造与成矿学,2015,39(6):973-991

[37] 贾秋鹏,贾东,朱艾斓,等. 青藏高原东缘龙门山冲断带与四川盆地的现今构造表现:数字地形和地震活动证据[J]. 地质科学,2007,42(1):31-44

[38] 梁明剑,李大虎,郭红梅,等. 成都盆地南缘第四纪构造变形及地貌响应特征[J]. 地震工程学报,2014,36(1):98-106

[39] 王平. 川东-雪峰褶皱逆冲带的弧形构造及长江中游袭夺-反向过程[D]. 北京:中国地质大学(北京),2010

[40] 王平,郑洪波,刘少峰. 长江中游反向过程:来自四川盆地东部的构造地貌指示[J]. 第四纪研究,2013,33(4):631-644

[41] 梁明剑,郭红梅,李大虎,等. 2013年四川芦山7.0级地震发震构造机理及青衣江上游流域地貌的响应[J]. 地学前缘,2013,20(6):21-28

[42] 陈露,何军,秦川,等. 基于条带高程法的珠峰自然保护区流域地貌分析[J]. 物探化探计算技术,2022,44(1):102-109