



数据网格化处理在地形分析中的精度比较

夏 军, 陈 中

(中交上海航道勘察设计院有限公司, 上海 200120)

摘要: 涉水项目的研究和设计离不开水下地形图分析。通过对地形图的分析, 可以统计地形特征、了解河床的变化情况, 从而有针对性地疏浚和构建整治建筑物。在水下地形图分析过程中, 插值方法的选取尤为重要, 其精度甚至直接影响河床变化及回淤规律分析的结果。目前对插值方法的应用研究较多, 但缺少数据网格化处理在地形分析中的相关研究。对地形处理中各插值方法的适用性进行对比, 可为插值方法的选取提供参考。

关键词: surfer; 地形分析; 网格处理; 插值方法; 适用性

中图分类号: U 61; TV 221.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0016-06

Comparison of data grid processing's accuracy in terrain analysis

XIA Jun, CHEN Zhong

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Wade project research and design need the underwater topographic map analysis, through which, we will know the statistical terrain features and understand the change of river bed, and then carry out targeted dredging and building of regulation structures. In the process of underwater topography analysis, selection of interpolation method is particularly important, because its precision directly influences the analysis results of back silting and river bed change regularity. At present, there are many studies on interpolation methods, but there is a lack of data grid processing in the terrain analysis. We compare the accuracy among various interpolation methods, and provide reference for the selection of interpolation methods.

Keywords: surfer; terrain analysis; grid processing; interpolation method; adaptability

水下地形图的绘制和地形特征的统计分析是进行涉水项目研究和设计的重要手段。地形图绘制和地形特征统计的准确性关键在于对地形数据的网格化处理。网格化是指通过一定的插值方法, 将稀疏的、不规则分布的数据插值加密为规则分布的数据, 以满足绘图需求。地形分析中常用的插值方法较多, 有加权反距离插值法、克里格法、最小曲率法、最近邻点法、多项式回归法、径向基函数法、带线性插值的三角剖分法等^[1]。不同的插值方法有各自不同的特征及应用条件。同一批数据采用不同的插值方式, 有时会产生大相径

庭的效果, 即使是同一插值方式, 采用不同的参数设置也会产生不同的效果^[2-5]。

目前, 已有研究人员对 surfer 中常用的几种插值方法作了相关介绍, 亦有人对几种插值方式作了精度对比, 但基本是基于小区域内均匀分布数据的精度对比。但在实际地形处理应用中, 所涉及的数据情况、区域范围及地形分布特征较之更复杂。

因此, 本文针对实际地形处理工作中常用的地形数据插值方法, 进行数据网格化处理中的精度对比分析。

收稿日期: 2016-02-23

作者简介: 夏军 (1987—), 男, 工程师, 从事港口、航道设计工作。

1 地形数据与插值方式的设定

采用福姜沙段上游河床实测地形, 无网格化固定点抽稀形成点距 20、60 和 120 m, 断面线间距 50、100、200、500 m 的不同测图。地形水深点参数如表 1 所示。

表 1 不同抽稀数据的间距比 $\text{MAX}\left(\frac{x}{y}, \frac{y}{x}\right)$

横向测点 间距 Y/m	纵向测线间距 X/m			
	50	100	200	500
20	2.5	5.0	10.0	25.0
60	1.2	1.7	3.3	8.3
120	2.4	1.2	1.6	4.2

地形区域及范围如图 1 所示, 插值时网格范围为: $X_{\min}=526\ 755.136\ 3$, $Y_{\min}=3\ 535\ 875.149\ 1$; $X_{\max}=535\ 288.168\ 6$, $Y_{\max}=3\ 542\ 554.344\ 8$ 。

网格大小设置 X 方向 19.983 682 2, Y 方向 19.997 591 92; 其余设置均采用软件默认, 插值不考虑异性比。

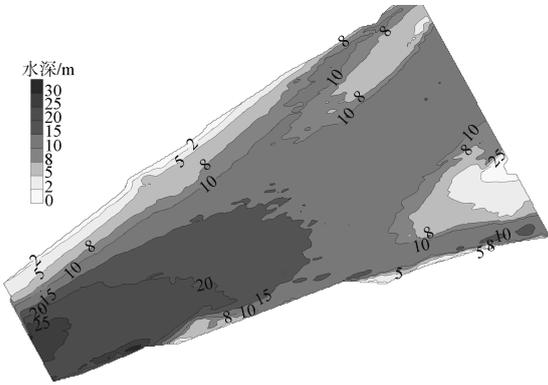


图 1 福姜沙段上游河床地形统计区域

2 精度对比

2.1 理论精度

河道地形大部分情况不规则, 很少存在平底河床和平面边坡的情况, 因此在实际网格构成中, 需对各网格拟合曲面的能力进行对比。对比之前需要构建理想的模型, 以确定各插值方法的理论精度。

水深地形通常分为 2 种: 一种为横纵向异性

的地形。如河道, 该类地形纵向和横向的差异较大, 在网格构建过程中, 对横向和纵向地形特征点的插值权重有较大的差别; 另一种为横纵向同性的地形。如湖泊, 该类地形横纵向的差异相对较小, 在构建网格的过程中, 横向和纵向地形特征点的插值权重大致相当。

因此, 在本次研究之前, 需分别论证 2 种情况的理论精度差异, 选择理论精度较好的插值方法作为比较基准。构建半圆柱体和半圆体, 分别代表横纵向异性和同性状况, 采用不同插分方式, 计算体积, 比较误差, 以此判别理论状态下的插值精度情况。为便于对比和插值点相对完整, 模型尺度采用 100 的倍数, 插值点距分别取 1、2、5、10 和 20。

1) 半圆柱体。

构建尺度为: 半径 $R=100\text{ m}$; 高 $H=500\text{ m}$; 标准体积: $V=7\ 853\ 981.6\text{ m}^3$ 。

构建图见图 2。

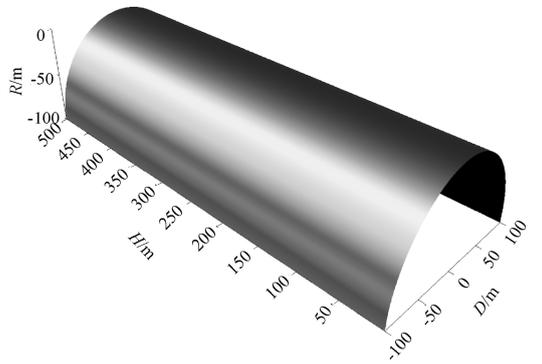


图 2 半圆柱体构建图

表 2 的统计结果表明: 对于横纵向异性体 (如半圆柱体) 而言, 最小曲率法的插值误差最小, 径向基函数法、克里金法、三角网基本相仿, 局部多项式和自然邻点法的计算误差率最大, 同时, 插分间距越大误差率越大。

2) 半圆体。

构建尺度为: 半径 $R=100\text{ m}$; 标准体积: $V=2\ 094\ 395.1\text{ m}^3$ 。

构建图见图 3。

表2 不同插值方式下的半圆柱体体积及误差

插值方式	体积/m ³					误差/%				
	1-1	2-2	5-5	10-10	20-20	1-1	2-2	5-5	10-10	20-20
最小曲率法	7 851 042.6	7 847 515.9	7 845 374.8	7 841 247.4	7 836 830.9	0.037 4	0.082 3	0.109 6	0.162 1	0.218
径向基函数法	7 851 042.6	7 845 671.3	7 821 162.1	7 761 295.7	7 592 622.0	0.037 4	0.105 8	0.417 9	1.180 1	3.327 7
克里格法	7 851 042.6	7 845 671.3	7 821 162.1	7 761 295.7	7 592 622.0	0.037 4	0.105 8	0.417 9	1.180 1	3.327 7
带线性插值的三角网法	7 851 042.6	7 845 671.3	7 821 162.1	7 761 295.7	7 592 622.0	0.037 4	0.105 8	0.417 9	1.180 1	3.327 7
局部多项式法	7 831 969.4	7 831 055.0	7 817 465.6	7 769 476.1	7 619 302.0	0.280 3	0.291 9	0.464 9	1.076 0	2.988 0
自然邻点法	7 835 340.5	7 814 288.6	7 742 950.5	7 606 069.8	7 288 917.1	0.237 3	0.505 4	1.413 7	3.156 5	7.194 6

表3 不同插值方式下的半圆体体积及误差

插值方式	体积/m ³					误差/%				
	1-1	2-2	5-5	10-10	20-20	1-1	2-2	5-5	10-10	20-20
最小曲率法	2 094 319.6	2 094 006.6	2 093 697.4	2 092 778.2	2 091 287.7	0.003 6	0.018 5	0.033 3	0.077 2	0.148 4
径向基函数法	2 094 319.6	2 093 847.0	2 091 776.6	2 080 694.7	2 017 397.6	0.003 6	0.026 2	0.125 0	0.654 1	3.676 4
克里格法	2 094 319.6	2 093 847.0	2 091 776.6	2 080 694.7	2 017 397.6	0.003 6	0.026 2	0.125 0	0.654 1	3.676 4
带线性插值的三角网法	2 094 319.6	2 093 847.0	2 091 776.6	2 080 694.7	2 017 397.6	0.003 6	0.026 2	0.125 0	0.654 1	3.676 4
自然邻点法	2 094 319.6	2 093 847.0	2 091 776.6	2 080 694.7	2 017 397.6	0.003 6	0.026 2	0.125 0	0.654 1	3.676 4
局部多项式法	2 091 281.3	2 090 976.3	2 088 849.2	2 081 150.3	2 041 103.3	0.148 7	0.163 2	0.264 8	0.632 4	2.544 5

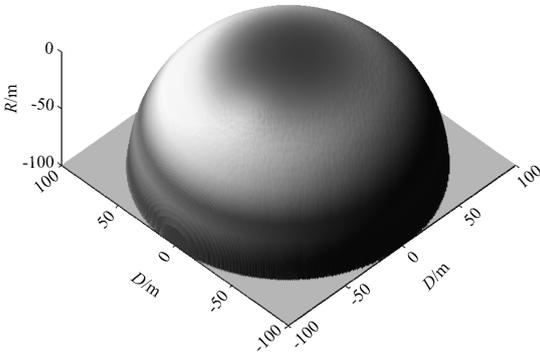


图3 半圆体构建图

表3统计结果表明：对于同性体（如半圆体）而言，最小曲率法的插值误差最小，径向基函数法、克里格法、带线性插值的三角网法、自然邻点法基本相仿，局部多项式法的计算误差率最大，同样插分间距越大误差率越大。

2.2 实际地形精度

2.2.1 三维容积计算精度

1) 分析方法。

同样利用福姜沙段上游河床实测地形，无网格化抽稀形成点距 20、60、120 m，断面线间距 50、100、200、500 m 的不同测图，分别对较适合

进行实际地形处理的几种插值方式（克里格法、最小曲率法、自然邻点法、径向基函数法、带线性插值的三角网法、局部多项式）进行容积统计并作精度对比。

2) 结果分析。

根据数据统计，当实测数据较密时，各插值方式下的计算结果较为接近，随着数据间距的增加，最小曲率法计算值的扩散性最小，即计算误差最小，相对误差基本能控制在 1% 以内，克里格法和径向基函数法的计算准确率基本相仿，相对误差在 1.5% 以内，另 3 种插值方式下的计算值相对偏小。尤其是局部多项式法，不仅偏差最大，而且受数据间距的影响最为显著，当数据间距大于 100 m 后，相对误差可高达 4%~10%。

对于最小曲率法、克里格法和径向基函数法插分方式，数据间距的纵横比例对精度影响明显，当这一比例大于 5 后，即使单向数据较密，容积计算误差反而增大。反之，当实测地形采用断面监测方式时，在容积计算时，可通过加大横向网格间距，将纵横数据比例控制在 5 以内，以此来

减小计算误差。

因此, 从计算精度看, 容积统计最适合采用最小曲率法, 其次为克里格法和径向基函数法; 对于

大间距的监测数据而言, 并不适合采用其它 3 种插分方式, 尤其是带局部多项式法。

各插值方式容积及变化分别见表 4 和图 4。

表 4 各插值方式容积

插值方式	横间距/ m	容积/亿 m ³				误差比/%			
		50 m [*]	100 m [*]	200 m [*]	500 m [*]	50 m [*]	100 m [*]	200 m [*]	500 m [*]
最小曲率法	20	1.889	1.886	1.882	1.870	0.00	-0.13	-0.36	-1.02
	60	1.890	1.887	1.884	1.872	0.03	-0.09	-0.25	-0.89
	120	1.886	1.886	1.883	1.873	-0.14	-0.17	-0.32	-0.84
径向基函数法	20	1.889	1.886	1.881	1.863	-0.02	-0.15	-0.43	-1.39
	60	1.889	1.887	1.884	1.865	0.00	-0.09	-0.29	-1.30
	120	1.886	1.886	1.883	1.868	-0.14	-0.18	-0.31	-1.09
克里格	20	1.888	1.886	1.880	1.862	-0.03	-0.16	-0.46	-1.42
	60	1.888	1.886	1.882	1.863	-0.03	-0.15	-0.39	-1.39
	120	1.885	1.883	1.879	1.862	-0.20	-0.30	-0.53	-1.44
带线性插值的三角网法	20	1.880	1.877	1.854	1.825	-0.48	-0.61	-1.84	-3.37
	60	1.878	1.876	1.854	1.825	-0.57	-0.69	-1.87	-3.38
	120	1.871	1.870	1.847	1.822	-0.94	-1.01	-2.22	-3.57
自然邻点法	20	1.873	1.870	1.843	1.798	-0.83	-1.01	-2.43	-4.84
	60	1.872	1.869	1.843	1.798	-0.91	-1.07	-2.43	-4.79
	120	1.865	1.863	1.838	1.796	-1.28	-1.38	-2.72	-4.93
局部多项式法	20	1.872	1.861	1.846	—	-0.89	-1.49	-2.29	—
	60	1.852	1.834	1.812	1.770	-1.94	-2.91	-4.05	-6.31
	120	1.828	1.802	1.765	1.712	-3.23	-4.63	-6.55	-9.38

注: * 指纵间距。误差比以最小曲率法横间距 20 m、纵间距 50 m 数据密度下的统计值作为参照值。

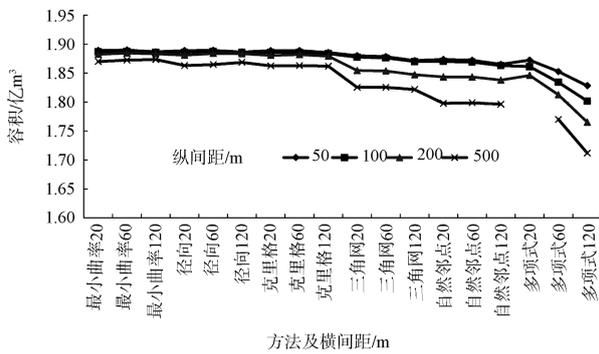


图 4 各插值方式下的容积变化

2.2.2 二维平面精度

同 2.2.1, 对同一区域的面积进行统计对比。结果如下:

最小曲率法、克里格法和径向基函数法的

计算结果相对接近, 准确性较高, 随着数据间距的增大, 最小曲率法的计算结果最为稳定, 误差率基本在 0.5% 以内, 其次是径向基函数和克里格法, 并且数据间距的增大会产生面积统计值偏大。

带线性插值的三角网法、自然邻点法的计算结果基本相仿, 其计算值较前 3 种方法偏小。随着数据间距的变化, 计算结果稳定性趋差, 误差率提高——间距为 200 m 时, 误差率在 2% 左右; 间距 500 m 时, 误差率 3%~4%。

从区域面积统计看, 局部多项式法计算精度最差, 且受数据间距变化影响大, 因此不适合用于统计计算。

各插值方式面积及面积变化分别见表 5 和图 5。

表5 各插值方式面积

插值方式	横间距/ m	面积/km ²				误差比/%			
		50 m*	100 m*	200 m*	500 m*	50 m*	100 m*	200 m*	500 m*
最小曲率法	20	22.401	22.406	22.446	22.501	0.00	0.02	0.20	0.44
	60	22.403	22.407	22.429	22.474	0.01	0.02	0.13	0.32
	120	22.370	22.385	22.420	22.439	-0.14	-0.08	0.08	0.17
径向基函数法	20	22.401	22.409	22.435	22.513	0.00	0.04	0.15	0.50
	60	22.399	22.405	22.433	22.495	-0.01	0.02	0.14	0.42
	120	22.379	22.392	22.423	22.481	-0.10	-0.04	0.10	0.35
克里格	20	22.405	22.414	22.448	22.565	0.01	0.06	0.21	0.73
	60	22.406	22.418	22.454	22.559	0.02	0.07	0.24	0.70
	120	22.386	22.409	22.447	22.579	-0.07	0.03	0.21	0.79
带线性插值的三角网法	20	22.303	22.309	21.961	21.637	-0.44	-0.41	-1.97	-3.41
	60	22.311	22.317	21.967	21.629	-0.40	-0.37	-1.94	-3.45
	120	22.300	22.316	21.925	21.620	-0.45	-0.38	-2.12	-3.49
自然邻点法	20	22.232	22.238	21.904	21.561	-0.76	-0.73	-2.22	-3.75
	60	22.239	22.244	21.902	21.546	-0.73	-0.70	-2.23	-3.82
	120	22.227	22.240	21.848	21.526	-0.78	-0.72	-2.47	-3.91
局部多项式法	20	22.455	22.466	22.513	22.559	0.24	0.29	0.50	0.70
	60	22.489	22.568	22.730	23.207	0.39	0.74	1.47	3.60
	120	22.567	22.729	23.016	23.354	0.74	1.46	2.74	4.25

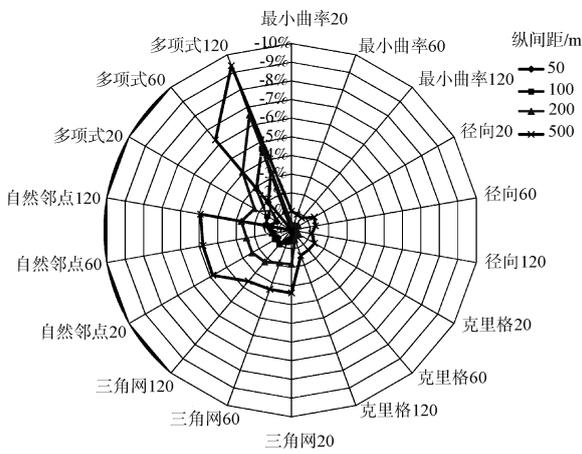


图5 误差比例

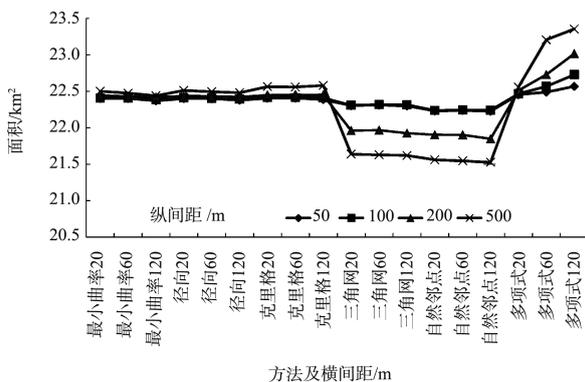
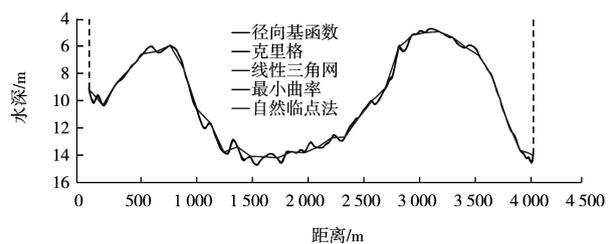


图6 各插值方式下的面积变化

2.2.3 二维断面精度

为消除插值方法对平面精度的影响，下述断面均以测点间距 20 m、测线间距 50 m，即最大比例尺地形数据对应的网格作为源网格，网格节点与原始水深对应性较好。

对平面处理结果推荐的几种插值方式（最小曲率法、径向基函数、克里格、线性三角网、自然邻点法）进行断面图绘制，比较这几种插分方式在断面图上的影响情况。断面 1 和断面 2 在实测数据断面上，其中断面 2 存在突变点。处理结果见图 7。其中：径向基函数、克里金、线性三角网和最小曲率法切断面，在常规地形下，断面现吻合。自然临点法，过于光滑，不能反映地形实际变化，严重失真。



a) 断面1

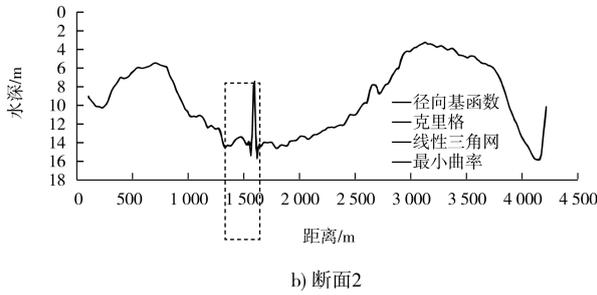


图 7 同一断面不同插值方式下的断面变化

在地形突变区(图 8), 断面线与实测点相比, 最小曲率法与径向基函数法对突变点的拟合最为接近, 但径向基函数法在突变浅点两侧深槽区出现失真。而线性三角网法和克里格法对突变浅点拟合时产生的误差较大。如图 8 中最浅点实测数据为 6.8, 而线性三角网法和克里格法仅拟合至 8.8。

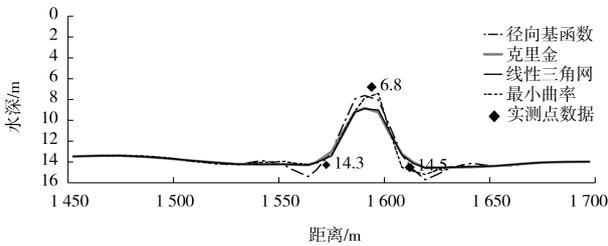


图 8 不同插值方式在地形突变点区域的变化

3 结论

1) 在地形处理中, 当地形测图纵横(纵横)向点距比值不小于 5 时, 各种插值方法的精度和拟合性均较差, 不适合对地形网格进行插值, 即使调整网格大小和其他参数, 所具有的代表性也很有限。

2) 当地形测图纵横(纵横)向点距比值小于 5 时, 容积和面积的统计最适合采用最小曲率法, 其理论精度最趋近于实际数值, 在实际地形统计处理中可作为参考数值分析其他插值方法的偏差, 在地形断面拟合中能够较为准确地反映断面情况。

3) 克里格法和径向基函数法在地形容积统计和面积统计中与最小曲率法的偏差较小, 但克里格法对地形断面中的突变点拟合精度较差, 不能反应实际地形中突变的浅点, 径向基函数法能够反应出地形中突变的浅点, 但是对浅点附近的地形拟合精度不足。

4) 带线性插值的三角网法、自然邻点法的容积和面积统计结果明显偏小, 并且不能反应实际地形中的突变浅点。

5) 局部多项式法计算精度最差, 不适用于地形处理中的统计计算。

参考文献:

- [1] 陈欢欢, 李星, 丁文秀. Surfer8.0 等值线绘制中的十二种插值方法[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 52-57.
- [2] 罗亦泳, 张立亭, 陈竹安. 基于 Surfer 的数据网格化与体积计算精度分析[J]. 测绘科学, 2009, 34(5): 97-99.
- [3] 缪坤, 李少梅, 郭健, 等. Surfer 软件中高程数据内插方法比较分析[J]. 测绘科学技术学报, 2014, 31(4): 431-435.
- [4] 刘兆平, 杨进, 武炜. Surfer 地球物理数据网格化方法的选取[J]. 物探与化探, 2010, 34(1): 93-97.
- [5] 姚文, 李琼. 离散的物探数据网格化方法的对比及选取——以高精度磁测数据为例[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(4): 553-556.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中国交建承建的沙特海尔港四期主体工程完工

6月13日, 中国港湾承建、二航局负责施工的沙特海尔港四期主体工程提前完工。

工程合同额为 2.13 亿美元, 主要施工内容包括新建 4 个 10 万吨级重力式方块码头泊位, 其中码头胸墙全长 1 258 m, 总工期为 35 个月。