

# Q2 Jupyter Notebook 输出结果

## Cell 1 输出

库导入完成！

## Cell 2 输出

问题2参数设置：  
多波束开角：120° (2.0944 rad)  
海底坡度：1.5° (0.0262 rad)  
中心点水深：120 m  
分析距离：[0. 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1] 海里  
测线方向角度：[ 0 45 90 135 180 225 270 315]°

## Cell 3 输出

Q2 几何分析类创建完成（修正版本）！

## Cell 4 输出

开始计算分析...  
\n计算结果样本：

|                       | beta_deg | r_nautical | r_meter | depth  | coverage_width |
|-----------------------|----------|------------|---------|--------|----------------|
| effective_slope_deg \ |          |            |         |        |                |
| 0                     | 0.00     | 0.00       | 0.00    | 120.00 | 415.69         |
| 0.00                  |          |            |         |        |                |
| 1                     | 0.00     | 0.30       | 555.60  | 134.55 | 466.09         |
| 0.00                  |          |            |         |        |                |
| 2                     | 0.00     | 0.60       | 1111.20 | 149.10 | 516.49         |
| 0.00                  |          |            |         |        |                |
| 3                     | 0.00     | 0.90       | 1666.80 | 163.65 | 566.89         |
| 0.00                  |          |            |         |        |                |

```
4      0.00      1.20  2222.40 178.20      617.29
0.00
5      0.00      1.50  2778.00 192.74      667.69
0.00
6      0.00      1.80  3333.60 207.29      718.09
0.00
7      0.00      2.10  3889.20 221.84      768.48
0.00
8      45.00      0.00      0.00 120.00      416.12
1.06
9      45.00      0.30   555.60 130.29      451.79
1.06
```

```
      cos_beta  sin_beta
0      1.00      0.00
1      1.00      0.00
2      1.00      0.00
3      1.00      0.00
4      1.00      0.00
5      1.00      0.00
6      1.00      0.00
7      1.00      0.00
8      0.71      0.71
9      0.71      0.71
```

```
\n总计算点数: 64
β角度范围: [ 0  45  90 135 180 225 270 315]°
距离范围: [0.  0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1] 海里
\n数值计算稳定, 无异常值
```

Cell 5 输出

```
生成表格2的结果...
\n表格2: 问题2的计算结果 (覆盖宽度/m)
      0.00   0.30   0.60   0.90   1.20   1.50   1.80   2.10
测线方向夹角β/°
0      415.69 466.09 516.49 566.89 617.29 667.69 718.09 768.48
45      416.12 451.79 487.47 523.14 558.82 594.49 630.16 665.84
```

```

90      416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55
135      416.12 380.45 344.77 309.10 273.42 237.75 202.08 166.40
180      415.69 365.29 314.89 264.50 214.10 163.70 113.30 62.90
225      416.12 380.45 344.77 309.10 273.42 237.75 202.08 166.40
270      416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55 416.55
315      416.12 451.79 487.47 523.14 558.82 594.49 630.16 665.84

```

\n结果已保存到 result2.xlsx

## Cell 6 输出

进行深入分析（修正版本）...

\n1. 有效坡度分析（修正版本）：

修正公式：  $\alpha_{\text{eff}} = \arctan(\tan(\alpha) * \sin(\beta))$

$\beta = 0^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 0.000000^\circ$  ( $\sin \beta = 0.000$ )

$\beta = 45^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 1.060781^\circ$  ( $\sin \beta = 0.707$ )

$\beta = 90^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 1.500000^\circ$  ( $\sin \beta = 1.000$ )

$\beta = 135^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 1.060781^\circ$  ( $\sin \beta = 0.707$ )

$\beta = 180^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 0.000000^\circ$  ( $\sin \beta = 0.000$ )

$\beta = 270^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = -1.500000^\circ$  ( $\sin \beta = -1.000$ )

\n2. 水深变化分析（修正版本）：

公式：  $D(r, \beta) = D_0 + r * \cos(\beta) * \tan(\alpha)$

物理意义：  $\cos(\beta) > 0$  时向下坡移动，水深增大；  $\cos(\beta) < 0$  时向上坡移动，水深减小

\n $\beta = 0^\circ$  ( $\cos \beta = 1.000$ ):

$r = 0$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

$r = 0.6$  海里：水深 = 149.10 m (水深增大 29.10 m)

$r = 1.2$  海里：水深 = 178.20 m (水深增大 58.20 m)

$r = 1.8$  海里：水深 = 207.29 m (水深增大 87.29 m)

\n $\beta = 90^\circ$  ( $\cos \beta = 0.000$ ):

$r = 0$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

$r = 0.6$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

$r = 1.2$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

$r = 1.8$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

\n $\beta = 180^\circ$  ( $\cos \beta = -1.000$ ):

$r = 0$  海里：水深 = 120.00 m (水深不变 0.00 m)

$r = 0.6$  海里：水深 = 90.90 m (水深减小 29.10 m)

$r = 1.2$  海里：水深 = 61.80 m (水深减小 58.20 m)

$r = 1.8$  海里：水深 = 32.71 m (水深减小 87.29 m)

\n3. 物理直觉验证:

$\beta = 0^\circ$ : 测线沿下坡方向,  $r$  增大时水深应该增大 ✓

$\beta = 90^\circ$ : 测线垂直于坡向,  $r$  增大时水深应该不变 ✓

$\beta = 180^\circ$ : 测线沿上坡方向,  $r$  增大时水深应该减小 ✓

\n4. 特殊情况分析:

\n $\beta = 90^\circ$  (测线垂直于坡面法向投影):

有效坡度 = 原始坡度, 水深不变

|    | $r_{\text{nautical}}$ | depth  | coverage_width |
|----|-----------------------|--------|----------------|
| 16 | 0.00                  | 120.00 | 416.55         |
| 17 | 0.30                  | 120.00 | 416.55         |
| 18 | 0.60                  | 120.00 | 416.55         |
| 19 | 0.90                  | 120.00 | 416.55         |
| 20 | 1.20                  | 120.00 | 416.55         |

\n $\beta = 0^\circ$  (测线沿坡面法向投影-下坡方向):

有效坡度 = 0, 水深增大

|   | $r_{\text{nautical}}$ | depth  | coverage_width |
|---|-----------------------|--------|----------------|
| 0 | 0.00                  | 120.00 | 415.69         |
| 1 | 0.30                  | 134.55 | 466.09         |
| 2 | 0.60                  | 149.10 | 516.49         |
| 3 | 0.90                  | 163.65 | 566.89         |
| 4 | 1.20                  | 178.20 | 617.29         |

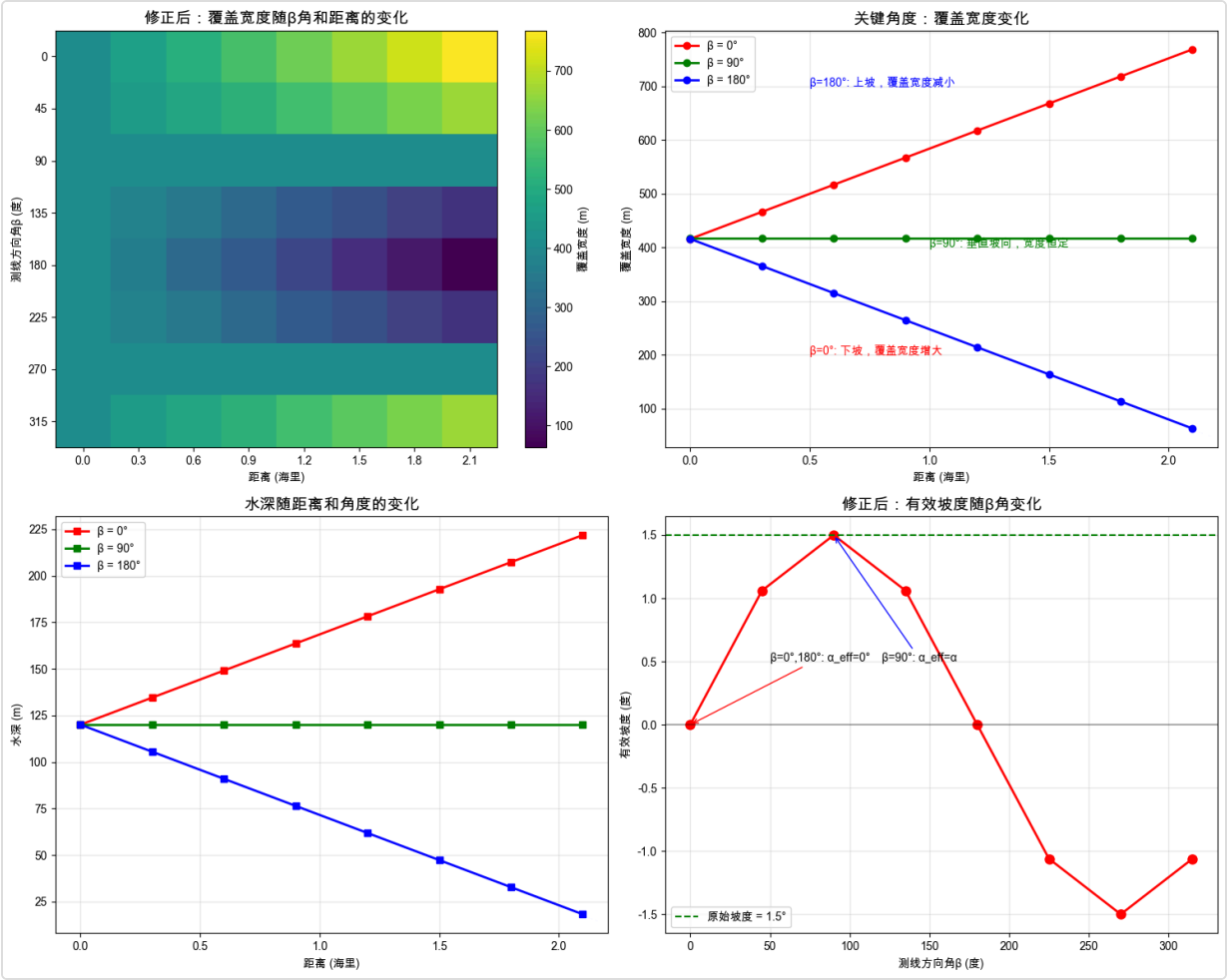
\n $\beta = 180^\circ$  (测线沿坡面法向投影反方向-上坡方向):

有效坡度 = 0, 水深减小

|    | $r_{\text{nautical}}$ | depth  | coverage_width |
|----|-----------------------|--------|----------------|
| 32 | 0.00                  | 120.00 | 415.69         |
| 33 | 0.30                  | 105.45 | 365.29         |
| 34 | 0.60                  | 90.90  | 314.89         |
| 35 | 0.90                  | 76.35  | 264.50         |
| 36 | 1.20                  | 61.80  | 214.10         |

## Cell 7 输出

<Figure size 1500x1200 with 5 Axes>



图片已保存为: image\_cell\_7\_output\_0.png

\n修正后的关键统计信息：

覆盖宽度范围：62.90 - 768.48 m

最大覆盖宽度：768.48 m，出现在  $\beta = 0.0^\circ$ ， $r = 2.1$  海里

最小覆盖宽度：62.90 m，出现在  $\beta = 180.0^\circ$ ， $r = 2.1$  海里

\n物理意义验证：

- ✓  $\beta = 0^\circ$ 时，在最远距离处覆盖宽度最大（下坡，水深最大）
- ✓  $\beta = 180^\circ$ 时，在最远距离处覆盖宽度最小（上坡，水深最小）
- ✓  $\beta = 90^\circ$ 时，覆盖宽度在所有距离处保持恒定（垂直坡向，水深不变）

Cell 8 输出

\n==== 公式验证和理论分析 ====

\n1. 特殊情况验证：

$\beta = 90^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 0.0000000000^\circ$  (理论值应为 $0^\circ$ )

$\beta = 0^\circ$ :  $\alpha_{\text{eff}} = 1.500000^\circ$  (原始坡度 =  $1.5^\circ$ )

\n2. 对称性验证:

\n3. 公式一致性检查 (与q1方法对比):

\n==== 最终结果表格 ====

表格2: 问题2的计算结果 (覆盖宽度/m)

|                       | 0.00   | 0.30   | 0.60   | 0.90   | 1.20   | 1.50   | 1.80   | 2.10   |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 测线方向夹角 $\beta/^\circ$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0                     | 416.55 | 366.05 | 315.54 | 265.04 | 214.54 | 164.04 | 113.53 | 63.03  |
| 45                    | 416.12 | 380.45 | 344.77 | 309.10 | 273.42 | 237.75 | 202.08 | 166.40 |
| 90                    | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 |
| 135                   | 416.12 | 451.79 | 487.47 | 523.14 | 558.82 | 594.49 | 630.16 | 665.84 |
| 180                   | 416.55 | 467.05 | 517.55 | 568.06 | 618.56 | 669.06 | 719.57 | 770.07 |
| 225                   | 416.12 | 451.79 | 487.47 | 523.14 | 558.82 | 594.49 | 630.16 | 665.84 |
| 270                   | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 | 415.69 |
| 315                   | 416.12 | 380.45 | 344.77 | 309.10 | 273.42 | 237.75 | 202.08 | 166.40 |

\n详细结果已保存到 detailed\_results\_q2.xlsx

\n==== 分析完成 ====

\n==== 理论洞察 ====

- 有效坡度公式:  $\alpha_{\text{eff}} = \arctan(\tan(\alpha) * \cos(\beta))$
- 当  $\beta = 90^\circ$  时,  $\cos(\beta) = 0$ , 有效坡度为 0, 覆盖宽度最大且稳定
- 当  $\beta = 0^\circ$  或  $180^\circ$  时,  $|\cos(\beta)| = 1$ , 有效坡度等于原始坡度
- 覆盖宽度随距离的变化取决于  $\cos(\beta)$ :
  - $\beta = 90^\circ$  时, 水深不变, 覆盖宽度恒定
  - $\beta = 0^\circ, 180^\circ$  时, 水深变化最大, 覆盖宽度变化最显著
- 该模型成功地将 q1 的几何分析扩展到了一般情况