

# 双排抗滑桩在三种典型滑坡的计算与受力规律分析

杨波<sup>1</sup>, 郑颖人<sup>1</sup>, 赵尚毅<sup>1</sup>, 李安洪<sup>2</sup>

(1. 后勤工程学院 重庆市地质灾害防治中心, 重庆 400041; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 传统的抗滑桩计算方法存在很多问题, 特别是双排抗滑桩更加无法计算, 不能计算出作用在双排抗滑桩上的抗力和推力的分布规律, 往往是凭借主观经验分析解决, 常常会造成不合理的浪费。采用强度折减的有限元法, 讨论了两排桩在3种不同类型滑坡中, 在不同的折减系数下随排距的变化, 两排桩的桩前抗力、桩后推力、实际承担推力等的变化规律, 得出了一系列关于双排桩合理受力与设桩位置的建议。由于讨论了不同类型的情况, 所以结论具有普遍性, 能为工程设计提供依据。

**关键词:** 抗滑桩; 三种类型滑坡; 分布规律

**中图分类号:** TU 473.1+2

**文献标识码:** A

## Two-row anti-slide piles in three kinds of typical landslide computations and stress rule analysis

YANG Bo<sup>1</sup>, ZHENG Ying-ren<sup>1</sup>, ZHAO Shang-yi<sup>1</sup>, LI An-hong<sup>2</sup>

(1. Chongqing Geological Hazard Prevention and Treatment Center, Logistical Engineering University, Chongqing 400041, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** There exist some problems in the traditional anti-slide pile calculation method; especially for the two row piles, this method cannot be used to calculate the distribution of force and thrust on the piles. It is often analyzed by subjective experience so as to cause unreasonable waste. This paper adopts the strength reduction method of finite element to discuss the change of the force before pile, the force after pile and actual force on the two row piles in three different types of landslide with different parameters, along with the change of two row spacing. Some suggestions of two row piles reasonable stress and position are proposed. Due to the different types of conditions are discussed, so the conclusion is universal, and can provide basis for engineering design.

**Key words:** anti-slide pile; three type landslides; distribution rule

## 1 前言

抗滑桩作为治理滑坡的有效工程措施, 在世界各国滑坡治理中占有重要的地位。迄今为止, 它是在滑坡治理中应用得最多的工程结构物, 特别是在大型滑坡中效果较好, 应用很多。

传统的抗滑桩计算方法存在很多问题, 特别是双排抗滑桩更加无法计算, 不能计算出作用在双排抗滑桩上的抗力和推力的分布规律, 往往是凭借主观经验分析解决, 常常会造成不合理的浪费。采用强度折减的有限元法能够很好地模拟各种实际工况

的影响, 特别是能够很好地解决双排桩的设计计算的问题<sup>[1-2]</sup>。需要提到的是, 传统的极限平衡法计算的推力实际上是支挡结构允许有充分位移时的主动土压力, 而实际上支挡结构常常会限制土的位移, 采用有限元法进行计算, 能考虑桩-土共同作用, 得到的土压力可能是主动土压力, 也可能不是主动土压力。当土体达到极限状态时, 由于土体发生了充分的位移, 所以两种方法计算出来的都为主动土压力, 二者的结果一致, 本文的计算结果证明了这点。传统极限分析方法无法算出支挡结构位移受限时的推力, 也不能算出作用在支挡结构上的抗力及其推

力与抗力的分布规律，表明传统计算方法具有局限性，而有限元法可以很好地解决这些问题，为设计和优化等提供依据。当未达到极限状态时采用有限元法计算的推力会大于主动土压力，应依据实际情况确定采用何种方法计算推力作为设计依据。

本文利用 ANSYS 有限元程序对双排桩支挡结构及稳定性进行分析，桩体采用线弹性材料、实体单元模拟，土体采用 D-P 弹塑性模型<sup>[3]</sup>。

2 有限元折减法模型及岩土参数选取

本文主要根据滑坡的地形特征分析研究三种典型类型滑坡。

(1) 折线型

如图 1 所示，该类滑坡主滑带为折线型，前缘抗滑段较长。

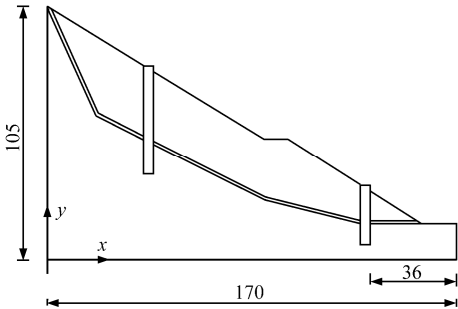


图 1 折线型滑坡计算模型 (单位: m)  
Fig.1 Computation model of broken line landslides(unit: m)

(2) 顺层型 (武隆型)

如图 2 所示，该类滑坡主滑段为直线型，前缘抗滑段较小。滑坡长 220m，滑坡高 130m。

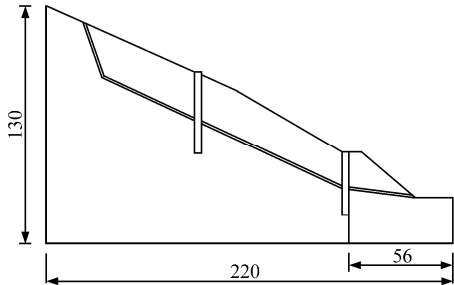


图 2 顺层型滑坡计算模型 (单位: m)  
Fig.2 Computation model along stratotype and slides(unit: m)

(3) 八渡型

如图 3 所示，该类型滑坡的特点是滑面呈一个上凸形状 (形如一个八字)，所以可能有 2 个以上剪出口，属多级滑坡。

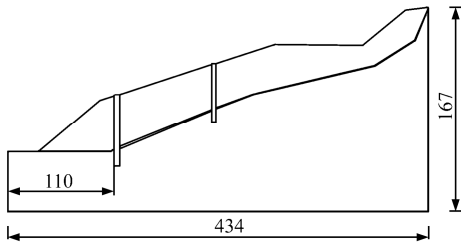


图 3 八渡滑坡计算模型 (单位: m)  
Fig.3 Computation model of eight cross and slides(unit: m)

3 双排抗滑桩排距的影响分析

3.1 3 种类型型滑坡双排抗滑桩不同排距下的推力分担表 (见表 1~3)

近几年，随着有限元强度折减法的广泛使用，郑颖人及其学生率先将该方法用于抗滑桩的设计计算，用有限元法计算推力与抗力取得良好的效果，这为样本的准确性提供了保证<sup>[4-5]</sup>。因此，文中采用 ANSYS 有限元程序，结合有限元法进行数据的计算，一共计算了如下 3 大组数据。代表了不同滑坡类型、不同折减系数下双排桩的推力随排距变化的影响。其中，抗滑桩采用实体单元进行模拟。

表 1 折线型滑坡参数表  
Table 1 The parameter table of line-type landslide

| 材料 | 重度<br>/(kN/m <sup>3</sup> ) | 弹性模量<br>/MPa         | 泊松比  | 黏聚力<br>/kPa         | 内摩擦角<br>/(°) |
|----|-----------------------------|----------------------|------|---------------------|--------------|
| 基岩 | 27                          | 1.0×10 <sup>3</sup>  | 0.20 | 1.8×10 <sup>3</sup> | 37           |
| 滑带 | 20                          | 50                   | 0.40 | 5                   | 23.4         |
| 滑体 | 20                          | 500                  | 0.40 | 20                  | 30           |
| 桩身 | 25                          | 3.45×10 <sup>4</sup> | 0.20 |                     |              |

表 2 顺层型滑坡参数表  
Table 2 The parameter table of along stratotype landslide

| 材料 | 重度<br>/(kN/m <sup>3</sup> ) | 弹性模量<br>/MPa         | 泊松比  | 黏聚力<br>/kPa         | 内摩擦角<br>/(°) |
|----|-----------------------------|----------------------|------|---------------------|--------------|
| 基岩 | 27                          | 1.0×10 <sup>3</sup>  | 0.20 | 1.8×10 <sup>3</sup> | 37           |
| 滑带 | 20                          | 50                   | 0.40 | 5                   | 23.4         |
| 滑体 | 20                          | 500                  | 0.40 | 20                  | 30           |
| 桩身 | 25                          | 3.45×10 <sup>4</sup> | 0.20 |                     |              |

表 3 八渡型滑坡参数表  
Table 3 The parameter table of eight cross landslides

| 材料 | 重度<br>/(kN/m <sup>3</sup> ) | 弹性模量<br>/MPa         | 泊松比  | 黏聚力<br>/kPa         | 内摩擦角<br>/(°) |
|----|-----------------------------|----------------------|------|---------------------|--------------|
| 基岩 | 27                          | 1.0×10 <sup>3</sup>  | 0.20 | 1.8×10 <sup>3</sup> | 37           |
| 滑带 | 19                          | 50                   | 0.40 | 10                  | 13.1         |
| 滑体 | 19                          | 500                  | 0.40 | 20                  | 30           |
| 桩身 | 25                          | 3.45×10 <sup>4</sup> | 0.20 |                     |              |

3.2 3 种类型滑坡双排抗滑桩排距影响的共同特点  
在分析表 4~6 的数据后得出如下 9 个特点：

表 4 折线型滑坡两排桩的推力分担表  
Table 4 Two piling's thrust forces share table of broken line landslides

| 桩距<br>/ m | 前排桩          |              |              | 后排桩          |              |              | 两排桩           |               | 安全<br>系数 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|
|           | 桩后推力<br>/ kN | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN | 桩后推力<br>/ kN | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN | 桩后总推力<br>/ kN | 总承担推力<br>/ kN |          |
| 0         | 7 829/8 557  | 232/204      | 7 597/8 353  | 此时为单排桩       |              |              |               |               | 1.27     |
| 10        | 3 082/3 379  | 309/303      | 2 773/3 076  | 8 843/9 506  | 2 613/2 851  | 6 230/6 655  | 11 925/12 885 | 9 003/9 731   | 1.3      |
| 20        | 3 359/3 523  | 266/259      | 3 093/3 264  | 9 072/9 662  | 2 256/2 358  | 6 816/7 304  | 12 431/13 185 | 9 909/10 568  | 1.3      |
| 30        | 3 566/3 672  | 244/238      | 3 322/3 434  | 9 618/10 231 | 2 250/2 330  | 7 368/7 901  | 13 184/13 903 | 10 690/11 335 | 1.3      |
| 40        | 3 919/3 972  | 240/234      | 3 679/3 738  | 9 899/10 482 | 2 157/2 200  | 7 742/8 282  | 13 818/14 454 | 11 421/12 020 | 1.3      |
| 50        | 4 044/4 116  | 229/222      | 3 815/3 894  | 9 650/10 149 | 2 129/2 166  | 7 521/7 983  | 13 694/14 265 | 11 336/11 877 | 1.33     |
| 60        | 4 200/4 271  | 228/221      | 3 972/4 050  | 8 894/9 304  | 1 260/1 261  | 7 634/8 043  | 13 094/13 575 | 11 606/12 093 | 1.37     |
| 70        | 4 493/4 590  | 227/219      | 4 266/4 371  | 8 392/8 723  | 1 102/1 123  | 7 290/7 600  | 12 885/13 313 | 11 556/11 971 | 1.41     |
| 80        | 4 902/5 053  | 226/215      | 4 676/4 838  | 8 037/8 290  | 1 362/1 413  | 6 675/6 877  | 12 939/13 343 | 11 351/11 715 | 1.49     |
| 90        | 5 265/5 472  | 226/215      | 5 039/5 257  | 7 262/7 458  | 1 458/1 528  | 5 804/5 930  | 12 527/12 930 | 10 843/11 187 | 1.54     |
| 100       | 6 264/5 984  | 229/215      | 6 035/5 769  | 5 682/6 450  | 1 706/1 801  | 3 976/4 649  | 11 946/12 434 | 10 011/10 418 | 1.48     |

注: “/” 前的为折减系数 1.2 时计算的结果, “/” 后的为折减系数 1.27 时计算的结果。

表 5 顺层型滑坡两排桩的推力分担表  
Table 5 Two piling's thrust forces share table of along stratotype landslides

| 桩距<br>/ m | 前排桩          |              |              | 后排桩          |              |              | 两排桩           |               | 安全<br>系数 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|
|           | 桩后推力<br>/ kN | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN | 桩后推力<br>/ kN | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN | 桩后总推力<br>/ kN | 总承担推力<br>/ kN |          |
| 0         | 8 304/8 834  | 434/393      | 7 870/8 441  | 此时为单排桩       |              |              |               |               | 1.25     |
| 10        | 3 054/3 267  | 493/471      | 2 561/2 796  | 8 521/9 043  | 2 614/2 783  | 5 907/6 260  | 11 575/12 310 | 8 468/9 056   | 1.32     |
| 20        | 3 480/3 610  | 453/430      | 3 027/3 180  | 8 290/8 745  | 1 997/2 066  | 6 293/6 679  | 11 770/12 355 | 9 320/9 859   | 1.41     |
| 30        | 3 868/3 940  | 443/421      | 3 425/3 519  | 7 684/8 063  | 1 243/1 259  | 6 441/6 804  | 11 552/12 003 | 9 866/10 323  | 1.52     |
| 40        | 4 215/4 263  | 441/417      | 3 774/3 846  | 7 850/8 254  | 1 212/1 199  | 6 638/7 055  | 12 065/12 517 | 10 412/10 901 | 1.65     |
| 50        | 4 724/4 820  | 438/414      | 4 286/4 406  | 7 258/7 517  | 833/840      | 6 425/6 677  | 11 982/12 337 | 10 711/11 083 | 1.71     |
| 60        | 5 214/5 347  | 432/407      | 4 782/4 940  | 7 342/7 568  | 1 074/1 102  | 6 268/6 466  | 12 556/12 915 | 11 050/11 406 | 1.6      |
| 75        | 5 896/6 090  | 424/398      | 5 472/5 692  | 6 351/6 507  | 1 012/1 056  | 5 339/5 451  | 12 247/12 597 | 10 811/11 143 | 1.5      |
| 80        | 6 094/6 307  | 421/393      | 5 673/5 914  | 6 191/6 331  | 995/1 038    | 5 196/5 293  | 12 285/12 638 | 10 869/11 207 | 1.48     |
| 85        | 6 282/6 523  | 429/401      | 5 853/6 122  | 5 969/6 092  | 986/1 035    | 4 983/5 057  | 12 251/12 615 | 10 836/11 179 | 1.48     |
| 100       | 6 767/7 080  | 422/391      | 6 345/6 689  | 5 433/5 520  | 1 083/1 140  | 4 350/4 380  | 12 200/12 600 | 10 695/11 069 | 1.43     |
| 120       | 7 358/7 799  | 425/375      | 6 933/7 424  | 3 578/3 648  | 975/1 004    | 2 603/2 644  | 10 936/11 447 | 9 536/10 068  | 1.33     |

注: “/” 前的为折减系数 1.2 时计算的结果, “/” 后的为折减系数 1.25 时计算的结果。

表 6 八渡型滑坡两排桩的推力分担表  
Table 6 Two piling's thrust forces share table of eight cross landslides

| 桩距  | 前排桩           |              |               | 后排桩           |              |              | 两排桩           |               | 安全<br>系数 |
|-----|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|
|     | 桩后推力<br>/ kN  | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN  | 桩后推力<br>/ kN  | 桩前抗力<br>/ kN | 承担推力<br>/ kN | 桩后总推力<br>/ kN | 总承担推力<br>/ kN |          |
| 0   | 16 872/17 458 | 3 929/3 887  | 12 943/13 571 | 此时为单排桩        |              |              |               |               | 1.23     |
| 20  | 8 003/8 220   | 3 782/3 738  | 4 221/4 482   | 16 055/16 523 | 7 098/7 296  | 8 957/9 227  | 24 058/24 743 | 13 178/13 709 | 1.24     |
| 30  | 9 489/9 663   | 3 752/3 702  | 5 737/5 961   | 15 159/15 587 | 7 277/7 403  | 7 882/8 184  | 24 648/25 250 | 13 619/14 145 | 1.24     |
| 35  | 10 168/10 320 | 3 733/3 680  | 6 435/6 640   | 14 872/15 281 | 7 194/7 290  | 7 678/7 991  | 25 040/25 601 | 14 113/14 631 | 1.24     |
| 40  | 10 692/10 829 | 3 740/3 686  | 6 952/7 143   | 14 550/14 835 | 6 922/6 997  | 7 628/7 838  | 25 242/25 664 | 14 580/14 981 | 1.24     |
| 50  | 11 378/11 496 | 3 684/3 626  | 7 694/7 870   | 13 807/14 153 | 6 278/6 327  | 7 529/7 826  | 25 185/25 649 | 15 223/15 696 | 1.24     |
| 60  | 12 066/12 173 | 3 703/3 644  | 8 363/8 529   | 13 216/13 532 | 5 559/5 586  | 7 657/7 946  | 25 282/25 705 | 16 020/16 475 | 1.24     |
| 80  | 12 696/12 813 | 3 785/3 730  | 8 911/9 083   | 11 942/12 205 | 4 356/4 380  | 7 586/7 825  | 24 638/25 018 | 16 497/16 908 | 1.23     |
| 90  | 13 264/13 394 | 3 723/3 662  | 9 541/9 732   | 11 330/11 566 | 3 920/3 951  | 7 410/7 615  | 24 594/24 960 | 16 951/17 347 | 1.24     |
| 100 | 13 479/13 623 | 3 721/3 664  | 9 758/9 959   | 10 841/11 052 | 3 459/3 495  | 7 382/7 557  | 24 320/24 675 | 17 140/17 516 | 1.31     |
| 105 | 13 748/13 903 | 3 753/3 692  | 9 995/10 211  | 10 548/11 797 | 3 190/3 226  | 7 358/7 571  | 24 296/24 700 | 17 353/17 782 | 1.29     |
| 110 | 13 945/14 113 | 3 759/3 699  | 10 186/10 414 | 10 271/10 470 | 3 044/3 085  | 7 227/7 385  | 24 216/24 583 | 17 413/17 799 | 1.27     |
| 120 | 14 217/14 401 | 3 771/3 710  | 10 446/10 691 | 9 619/9 796   | 2 789/2 826  | 6 830/6 970  | 23 836/24 197 | 17 276/17 661 | 1.25     |

注: “/” 前的为折减系数 1.2 时计算的结果, “/” 后的为折减系数 1.23 时计算的结果。

(1) 折减系数较小时, 计算出来的推力小; 反之推力大。但折减系数较大时, 土体达到极限状态, 计算出的推力与传统方法计算出来的推力一样。当只布置前排桩时, 由表 4~6 可知, 折线型滑坡折减 1.27 达到极限状态, 顺层型滑坡折减 1.25 达到极限状态, 八渡滑坡折减 1.23 达到极限状态。当达到极限状态时, 由于假定滑面上的抗滑力充分发挥, 所以有限元强度折减法与传统的计算方法的结果相同, 如表 7 所示。

表 7 不同计算方法得到的前排桩的实际推力  
Table 7 Different computational methods obtain first piling acutal thrust

| 类别         | Spencer 法推力<br>/ kN | 有限元法推力<br>/ kN |
|------------|---------------------|----------------|
| 折线型折减 1.27 | 8 347               | 8 353          |
| 顺层型折减 1.25 | 8 450               | 8 441          |
| 八渡型折减 1.23 | 13 576              | 13 571         |

(2) 当前排桩位置固定, 后排桩与前排桩间距逐渐增大时, 前排桩的桩前抗力基本不变, 前排桩桩后推力逐渐增大, 前排桩分担的推力逐渐增大。这是因为当排距增大时, 前排桩后支挡的滑体增加, 后排桩的遮蔽作用在迅速减弱, 导致前排桩桩后推力增大, 如图 4~6 所示。

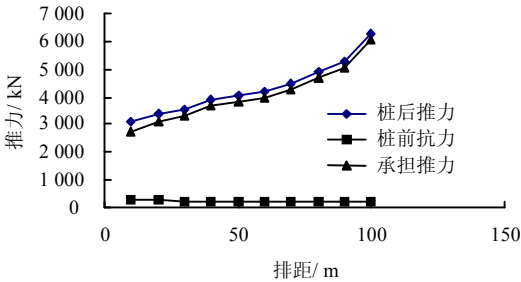


图 4 折线型滑坡折减系数 1.2 时前排桩推力分布图  
Fig.4 When reduction coefficient is 1.2, first piling thrust forces share map of broken line landslides

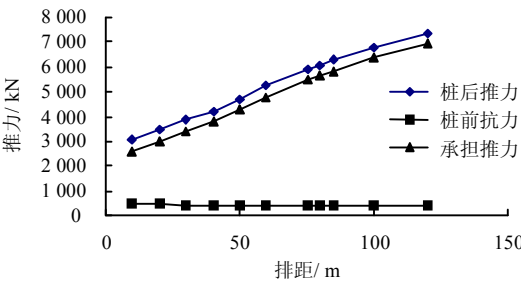


图 5 顺层型滑坡折减系数 1.2 时前排桩推力分布图  
Fig.5 When reduction coefficient is 1.2, first piling thrust forces share map of along layer landslides

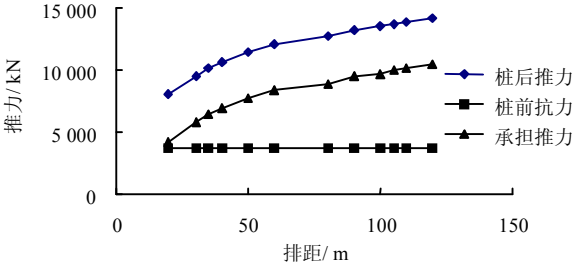


图 6 八渡型滑坡折减系数 1.2 时前排桩推力分布图  
Fig.6 When reduction coefficient is 1.2, first piling thrust forces share map of eight cross landslides

(3) 当前排桩位置固定, 后排桩与前排桩间距逐渐增大时, 双排抗滑桩的桩后推力总和与只设置前排抗滑桩时的桩后推力之比, 随着排距的增大, 先增大后减小。双排抗滑桩的实际推力总和与只设置单排抗滑桩时的桩实际推力之比, 随着排距的增大, 先增大后减小。原因主要是因为如果只布置单排桩时, 有这样的规律, 当桩位于滑坡两端时桩后推力较小, 当桩位于滑坡中部时推力很大, 如图 7~9 所示。

(4) 当前排桩位置固定, 后排桩与前排桩间距逐渐增大时, 前排桩分担的推力比例增大, 后排桩分担的推力比例减小, 如图 10~12 所示。

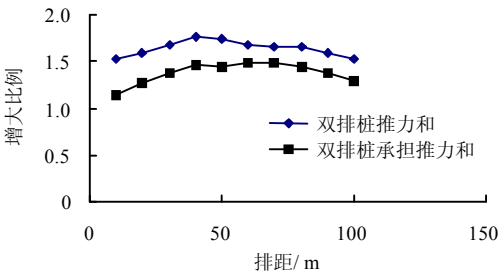


图 7 折线型滑坡折减系数 1.2 时双排桩推力和分布图  
Fig.7 When reduction coefficient is 1.2, two piling's thrust forces summation share map of broken line landslides

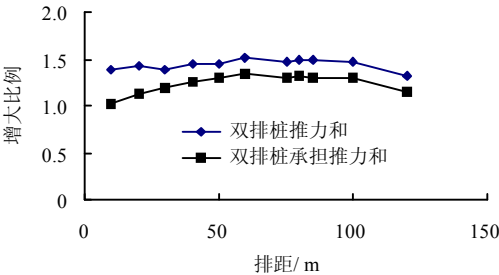


图 8 顺层型滑坡折减系数 1.2 时双排桩推力和分布图  
Fig.8 When reduction coefficient is 1.2, two piling's thrust forces summation share map of along layer landslides

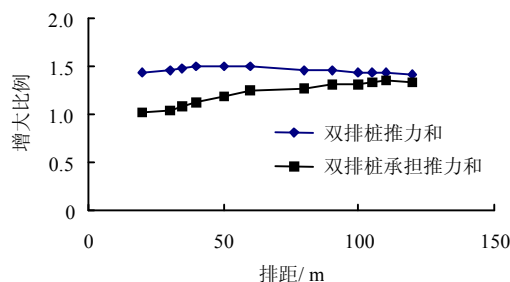


图 9 八渡型滑坡折减系数 1.2 时双排桩推力和分布图  
Fig.9 When reduction coefficient is 1.2, two pilings' thrust forces summation share map of eight cross landslides

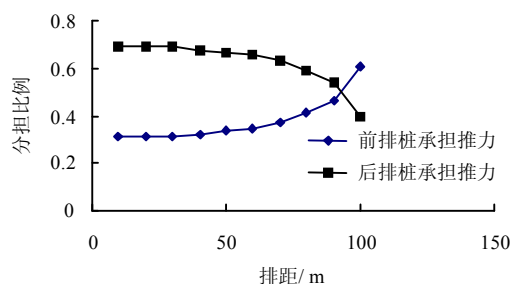


图 10 折线型滑坡折减系数 1.2 时推力分担图  
Fig.10 When reduction coefficient is 1.2, two pilings' thrust forces share map of broken line landslides

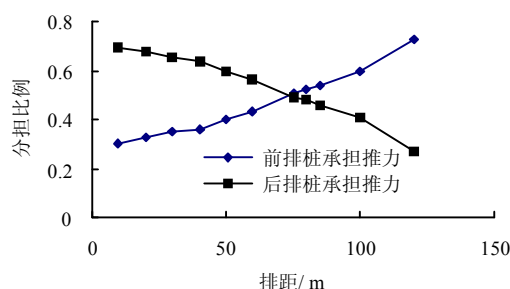


图 11 顺层型滑坡折减系数 1.2 时推力分担图  
Fig.11 When reduction coefficient is 1.2, two pilings' thrust forces share map of along layer landslides

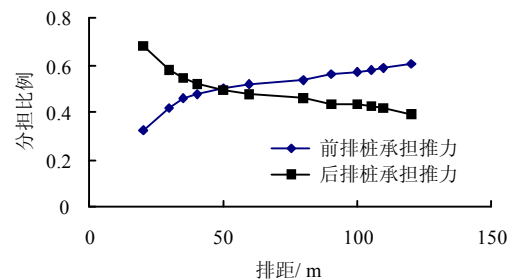


图 12 八渡型滑坡折减系数 1.2 时推力分担图  
Fig.12 When reduction coefficient is 1.2, two pilings' thrust forces share map of eight cross landslides

(5) 无论是两排桩的桩后推力和与只设置前排抗滑桩时的桩后推力之比, 还是两排桩的实际推力和与只设置单排抗滑桩时的桩的实际推力之比, 都

是大于 1 的。而且前者最大可达 1.47~1.75, 后者最大可达 1.29~1.41, 表明设置两排桩的效果不佳。其原因, 一是桩设置在中间推力大; 二是两排桩互相干扰, 受力差。建议将后排桩设置成埋入式桩, 不仅受力效果提高, 还节省了材料。

(6) 分别分析表 4~6 的数据, 即滑坡相同, 其他条件相同, 折减系数不同的情况下, 可以看出, 前排桩桩前抗力、后排桩的桩前抗力基本相同, 如图 13~15 所示。

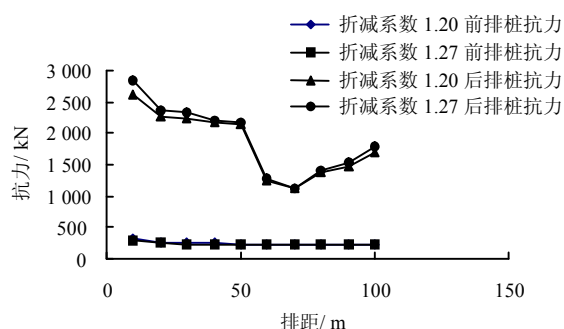


图 13 折线型滑坡折减系数不同时抗力分布图  
Fig.13 When reduction coefficient is different, resisting force share map of broken line landslides

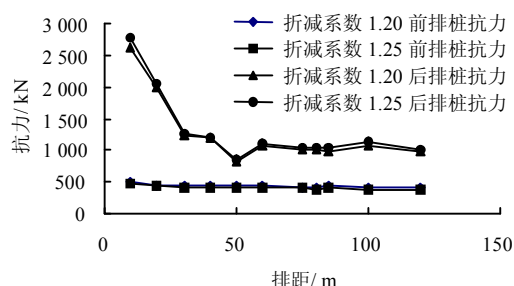


图 14 顺层型滑坡折减系数不同时抗力分布图  
Fig.14 When reduction coefficient is different, resisting force share map of along layer landslides

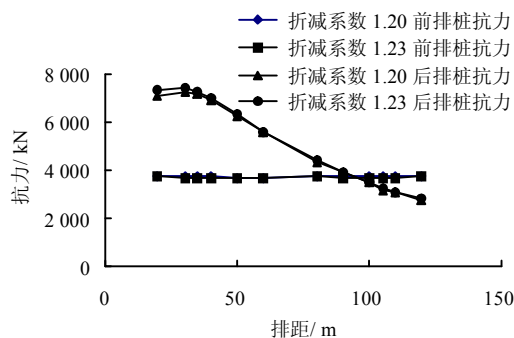


图 15 八渡型滑坡折减系数不同时抗力分布图  
Fig.15 When reduction coefficient is different, resisting force share map of eight cross landslides

(7) 滑坡相同, 其他条件相同, 折减系数增大, 前排桩桩后推力、后排桩的桩后推力也增大, 如图

16~18所示。

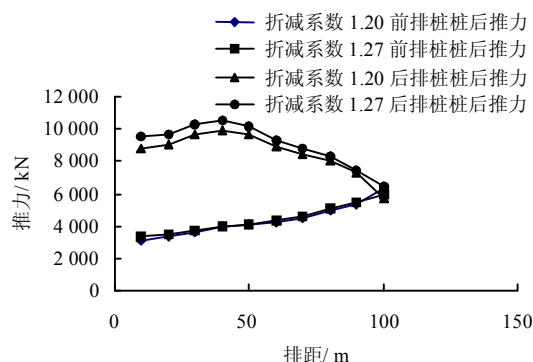


图 16 折线型滑坡折减系数不同时推力力分布图  
Fig.16 When reduction coefficient is different, thrust force share map of broken line landslides

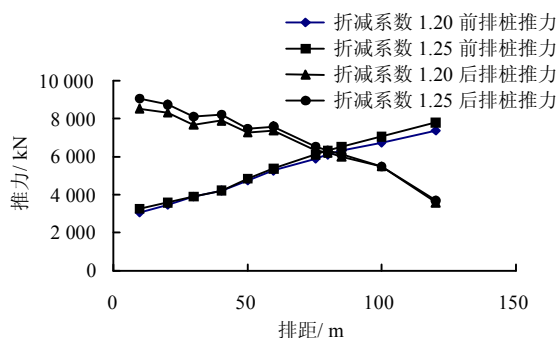


图 17 顺层型滑坡折减系数不同时推力分布图  
Fig.17 When reduction coefficient is different, thrust force share map of along layer type landslides

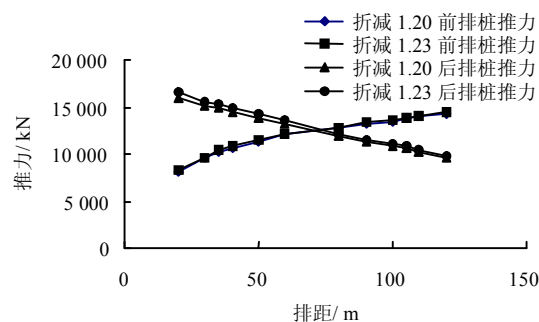


图 18 八渡型滑坡折减系数不同时推力力分布图  
Fig.18 When reduction coefficient is different, thrust force share map of eight cross landslides

(8) 滑坡相同, 其他条件相同, 折减系数不同时, 前后排桩推力的分担比例基本不变, 如图19~21所示。

(9) 滑坡相同, 其他条件相同, 折减系数增大, 双排抗滑桩的桩后推力总和与只设置前排抗滑桩时的桩后推力之比反而减小; 同样折减系数增大, 双排抗滑桩的实际推力总和与只设置单排抗滑桩时的桩实际推力之比反而减小, 如图 22~24 所示。

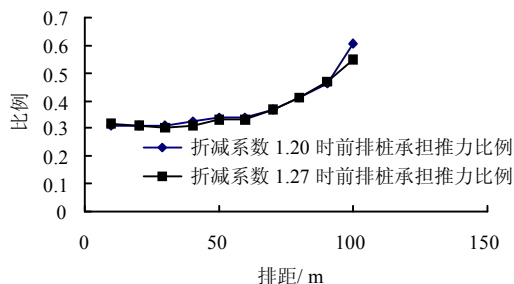


图 19 折线型滑坡折减系数不同时前排桩推力分担比例图  
Fig.19 When reduction coefficient is different, first piling thrust force share map of broken line landslides

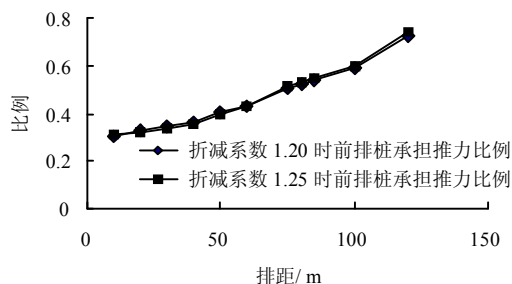


图 20 顺层型滑坡折减系数不同时前排桩推力分担比例图  
Fig.20 When reduction coefficient is different, first piling thrust force share map of along layer type landslides

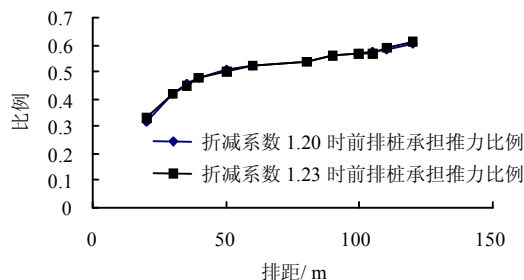


图 21 八渡型滑坡折减系数不同时前排桩推力分担比例图  
Fig.21 When reduction coefficient is different, first piling thrust force share map of eight cross landslides

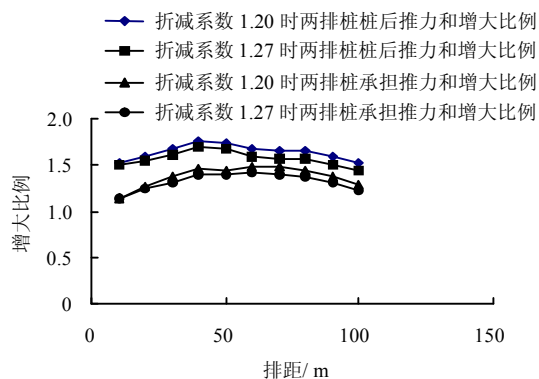


图 22 折线滑坡折减系数不同时双排桩推力和增大比例图  
Fig.22 When reduction coefficient is different, two piling thrust force summation share map of broken line landslides

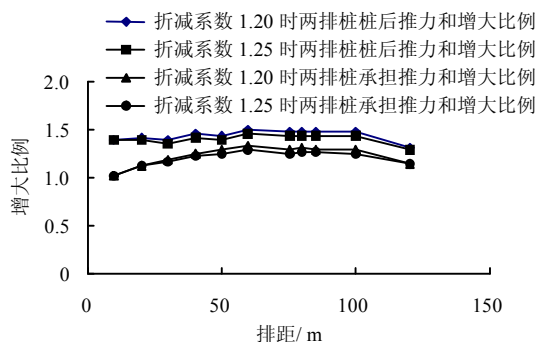


图 23 顺层滑坡折减系数不同时双排桩推力和增大比例图

Fig.23 When reduction coefficient is different, two piling thrust force summation share map of along layer type landslides

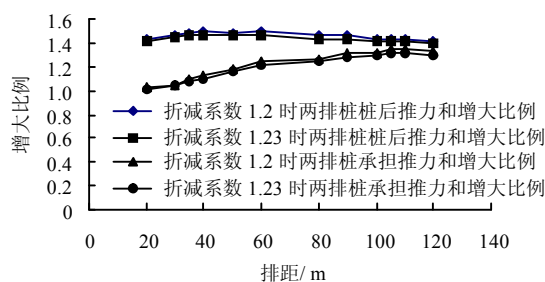


图 24 八渡滑坡折减系数不同时双排桩推力和增大比例图

Fig.24 When reduction coefficient is different, two piling thrust force summation share map of eight cross landslides

### 3.3 3 种类型滑坡双排抗滑桩排距影响的不同特点

分析表 4~6 的数据, 可以得出如下 5 个不同的规律:

(1) 当前排桩位置固定, 后排桩与前排桩间距逐渐增大时, 后排桩桩前抗力在排距到达一定距离时会减小, 这是因为当排距很小时, 前排桩对后排桩起到辅助支挡作用, 当排距越小时支挡作用越明显, 当排距增大到一定时刻, 前排桩支挡作用消失, 导致后排桩的桩前抗力急剧减小。但是他们的区别在于, 折线型滑坡前排桩对后排桩的支挡作用在排距 50~60 m 之间陡然减弱, 而顺层型滑坡在 20~30 m 之间陡然减弱, 八渡型滑坡则是在排距 40 m 后开始, 逐渐的减弱。如图 25 所示。

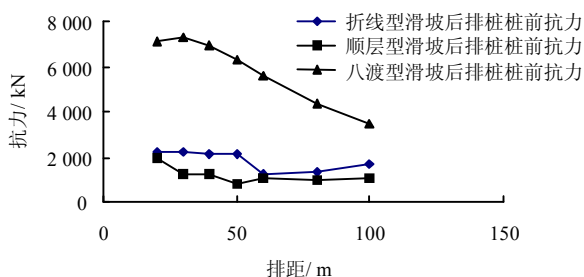


图 25 3 种类型滑坡折减系数 1.2 时后排桩推前抗力分布图

Fig.25 When reduction coefficient is 1.2, second piling resisting force share map of three types of landslides

(2) 随排距的增大, 顺层型滑坡和八渡型滑坡后排桩的桩后推力逐渐减小, 这是因为后排桩支挡的滑体减少。但是, 折线型滑坡后排桩的桩后推力出现了先增大后减小的情况。这是因为如折线型滑坡计算模型简图所示滑坡下面部分的滑面的斜率与坡面的斜率相差很大, 在排距增大的过程中, 后排桩在滑坡体当中的有效长度急剧增加 (假定后排桩都为全长桩), 所以导致桩后推力和桩前抗力逐渐增大, 如图 26 所示。

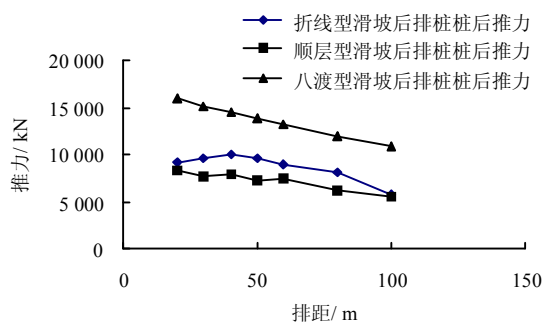


图 26 3 种类型滑坡折减系数 1.2 时后排桩推后推力分布图

Fig.26 When reduction coefficient is 1.2, second piling thrust force share map of three types of landslides

(3) 随排距的增大, 前排桩承担的推力逐渐增大, 顺层型滑坡和折线型滑坡后排桩承担的推力先增大后减小, 而八渡型滑坡后排桩承担的推力一直逐渐减小, 如图 27 所示。

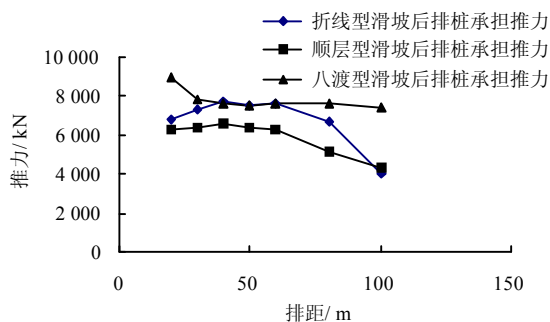


图 27 3 种类型滑坡折减系数 1.2 时后排桩承担推力分布图

Fig.27 When reduction coefficient is 1.2, second piling thrust force share map of three types of landslides

(4) 滑坡相同, 其他条件相同, 折减系数不同的情况下, 从表 4~6 可以看出, 双排抗滑桩的桩后推力总和与只设置前排抗滑桩时的桩后推力之比增大的幅度, 折线型滑坡最大, 八渡型滑坡与顺层型滑坡基本接近, 比折线型滑坡要小 10% 左右。如图 28 所示。双排抗滑桩的承担的推力总和与只设置单排抗滑桩时的桩承担的推力之比增大的幅度, 折线

型最大, 顺层型增大的幅度其次, 八渡型增大的幅度最小, 如图 29 所示。

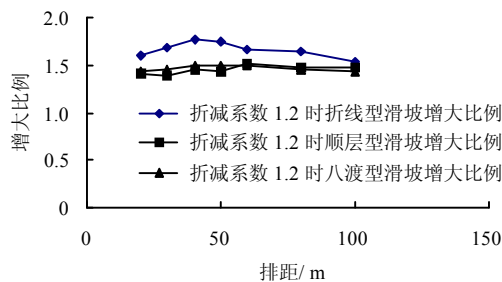


图 28 3 种滑坡折减 1.2 时两排桩桩后推力和增大比例图  
Fig.28 When reduction coefficient is 1.2, two piling thrust force summation enhance proportion picture of three types of landslides

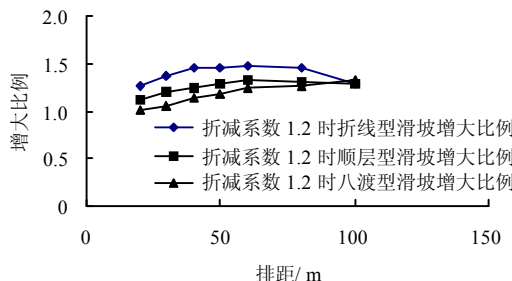


图 29 3 种滑坡折减 1.2 时两排桩承担推力和增大比例图  
Fig.29 When reduction coefficient is 1.2, second piling bear a propulsive force share map of three types of landslides

(5) 对于双排全长桩来说, 合理的设桩位置, 折线型两排桩排距在 90 m, 顺层型在 80 m, 八渡型在 110 m, 折线型滑坡后排桩的最佳位置靠后, 而八渡型滑坡靠前。双排全长桩的最优位置是指两排桩承担的推力都比较小而且接近。合理的布桩位置如图 1~3 所示。

## 5 结 论

本文采用强度折减的有限元法, 讨论了两排桩在 3 种不同类型滑坡中, 在不同的折减系数下, 随排距的变化, 两排桩的桩前抗力、桩后推力、实际承担推力等的变化规律, 得出了一系列关于双排桩合理受力与设桩位置的建议。由于讨论了不同类型的情况, 所以结论具有普遍性, 能为工程设计提供依据。

与以往的研究相比, 本文的创新之处在于:

(1) 通过铁二院已经设计过的 3 个典型滑坡实例总结出来 3 种不同类型的滑坡模型作为原型进行研究, 文中明确说明了 3 种滑坡的区别。

(2) 首次提出了双排全长桩的优化准则为“使得两排桩上的推力都比较小而且接近”。根据此准则优化出的位置与原设计的最优位置比较接近。

(3) 对同一滑坡类型, 讨论了不同折减系数下桩的受力分布规律, 以往的研究没有考虑折减系数变化的情况。

## 参 考 文 献

- [1] 郑颖人, 赵尚毅. 岩土工程极限分析有限元法及其应用[J]. 土木工程学报, 2005, 38(1): 91—99.  
ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi. Geotechnical engineering limit analysis finite element method and its application[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2005, 38(1): 91—99.
- [2] 雷用. 滑坡治理中抗滑短桩受力特性研究[D]. 重庆: 后勤工程学院, 2007.
- [3] 郑颖人, 赵尚毅. 用有限元强度折剪法求滑(边)坡支挡结构的内力[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(20): 3552—3558.  
ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi. Shear strength using the finite element method order to slip (side) slope retaining structures of the internal forces[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(20): 3552—3558.
- [4] 郑颖人, 赵尚毅, 邓楚键. 有限元极限分析法发展及其在岩土工程中的应用研究[J]. 中国工程科学, 2006, 8(12): 35—61.  
ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi, DENG Chu-jian. Finite element limit analysis method development and its application in geotechnical engineering research[J]. *China Engineering Science*, 2006, 8(12): 35—61.
- [5] 雷文杰, 郑颖人, 冯夏庭. 滑坡治理中抗滑桩桩位分析[J]. 岩土力学, 2006, 6(27): 950—954.  
LEI Wen-jie, ZHENG Ying-ren, FENG Xia-ting. Landslide control anti-slide pile location analysis[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 6(27): 950—954.