



第十一届边坡工程技术大会

The 11th Slope Engineering Technology Convention



会议发言PPT

中国建筑学会工程勘察分会
中国水利学会勘测专业委员会
中国地质大学（武汉）

敬
请
关
注



微
信
公
众
号



边坡工程BIM技术研究与应用

朱焕春 郭福钟

深圳市秉睦科技有限公司

Apr. 10, 2019

YiChang • China



CONTENT

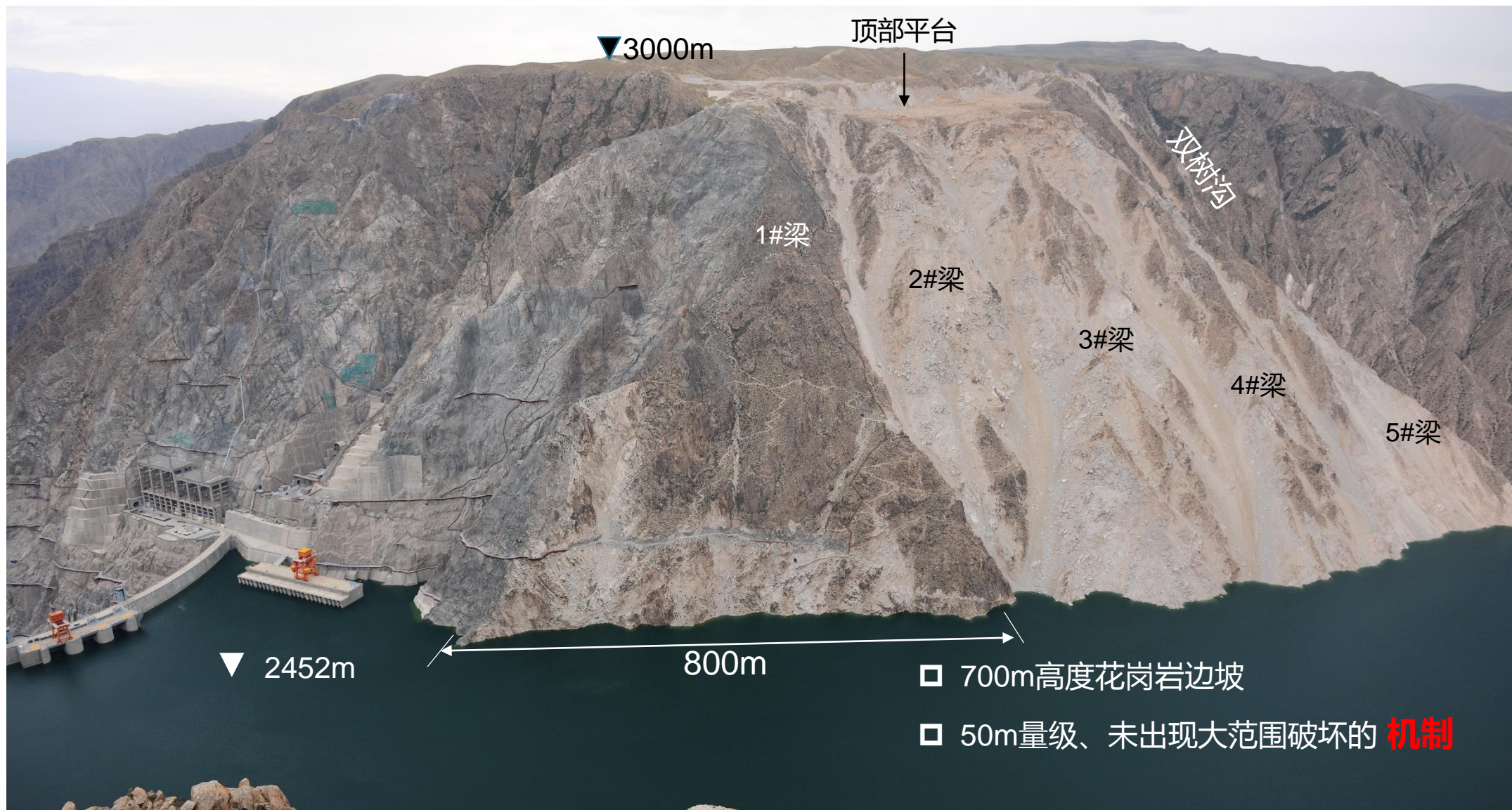
1. **工作背景**
2. 边坡工程BIM技术路线
3. 边坡工程BIM关键技术
4. 应用案例
5. 小结

1.1 BIM技术边坡模块开发背景

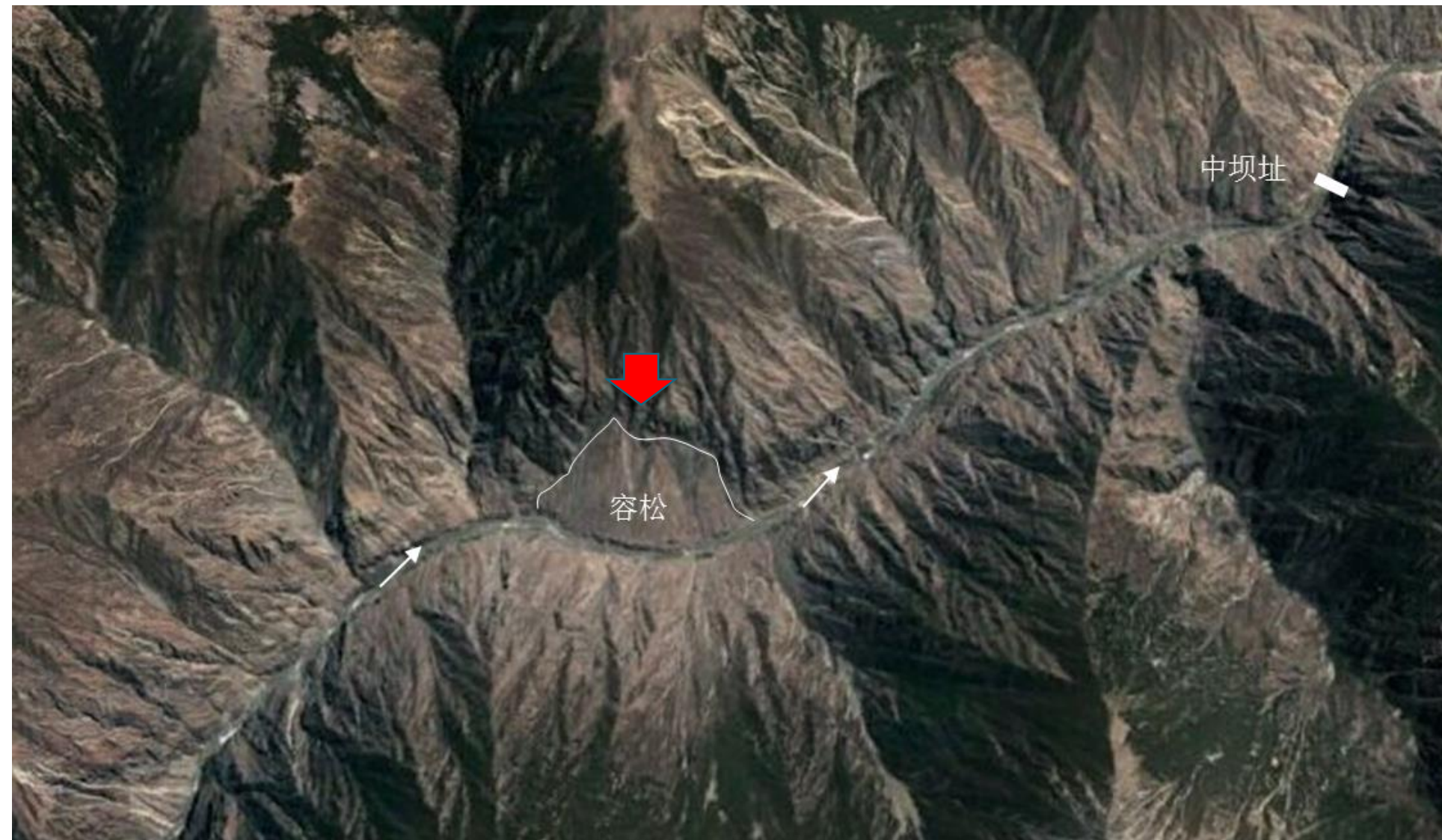


- 大型复杂岩质边坡工程实践对地质分析深度和手段提出了新要求：
 - 勘探揭露大量结构面露头，但难以判断彼此之间的空间连接关系
 - 需要真三维手段可靠判断边坡变形边界空间延伸范围
 - 节理裂隙发育密度（岩体结构）空间变化性及其对变形、破坏的影响
 - 节理面状态与边坡卸荷程度之间的定量关系
- 西部复杂地形条件下堆积体勘察深度与工程要求之间矛盾对手段的要求
 - 少量勘探+物探的地质建模（堆积体边界）
 - 物质组成变化与稳定性关系的地质分区（地质模型~计算模型转化）

1.2 工作背景：复杂岩质边坡



1.3 工作背景：大型堆积体

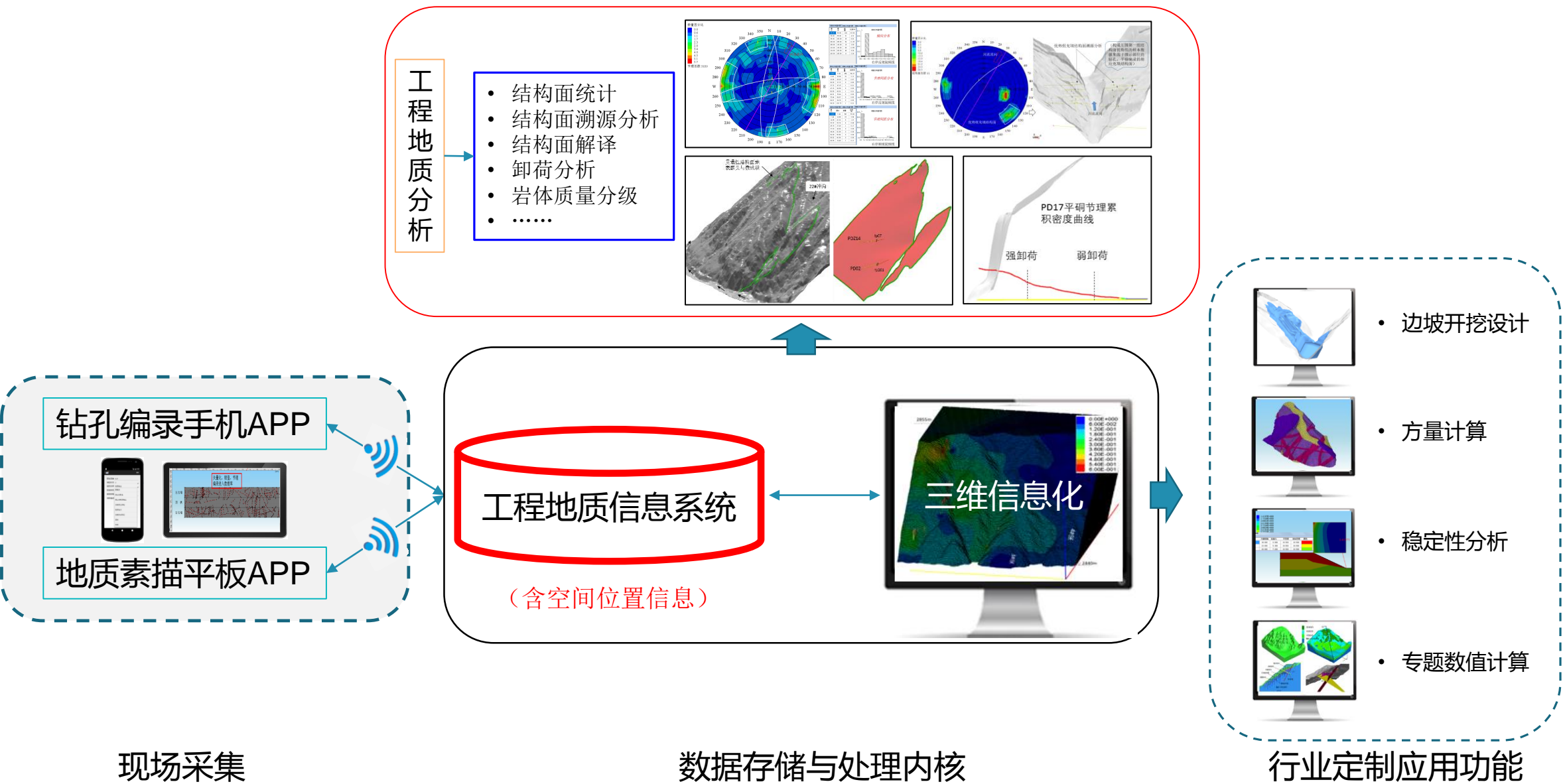


约4000万方堆积体距315M高土石坝距离为7km左右，堆积体失稳涌浪风险是工程安全和可行性的控制因素之一。受现场交通等客观因素制约，需要利用少量勘探资料结合物探成果获得堆积体地质边界模型，并采用大量的分析判断工程风险。

CONTENT

1. 工作背景
- 2. 边坡工程BIM技术路线**
3. 边坡工程BIM关键技术
4. 应用案例
5. 小结

2.边坡工程BIM技术路线



工程地质分析

- 结构面统计
- 结构面溯源分析
- 结构面解译
- 卸荷分析
- 岩体质量分级
-

现场采集

数据存储与处理内核

行业定制应用功能



CONTENT

1. 工作背景
2. 边坡工程BIM技术路线
- 3. 边坡工程BIM关键技术**
4. 应用案例
5. 小结

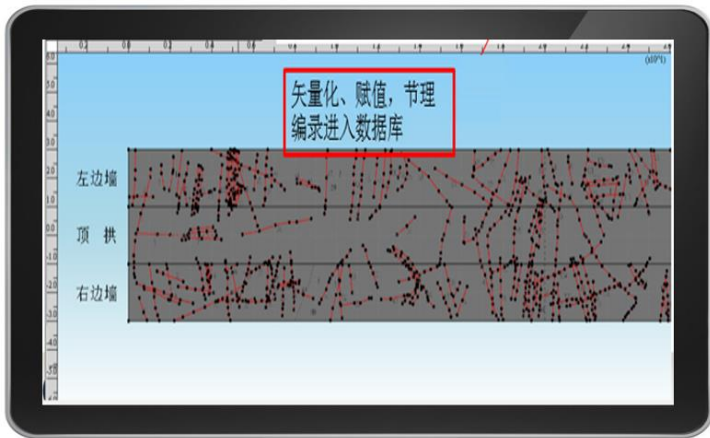


CONTENT

边坡工程BIM关键技术

- **电子化现场数据采集与入库管理**
- 地质数据库与三维图形接口
- 工程地质分析
 - 结构面统计
 - 结构面溯源分析
 - 结构面解译
 - 卸荷分析
 - 岩体结构划分
 - 岩体质量分级
- 边坡三维地质建模
- 行业定制应用功能

3.1 电子化现场数据采集与入库管理

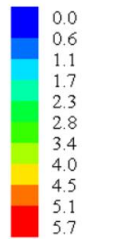


电子化地质素描

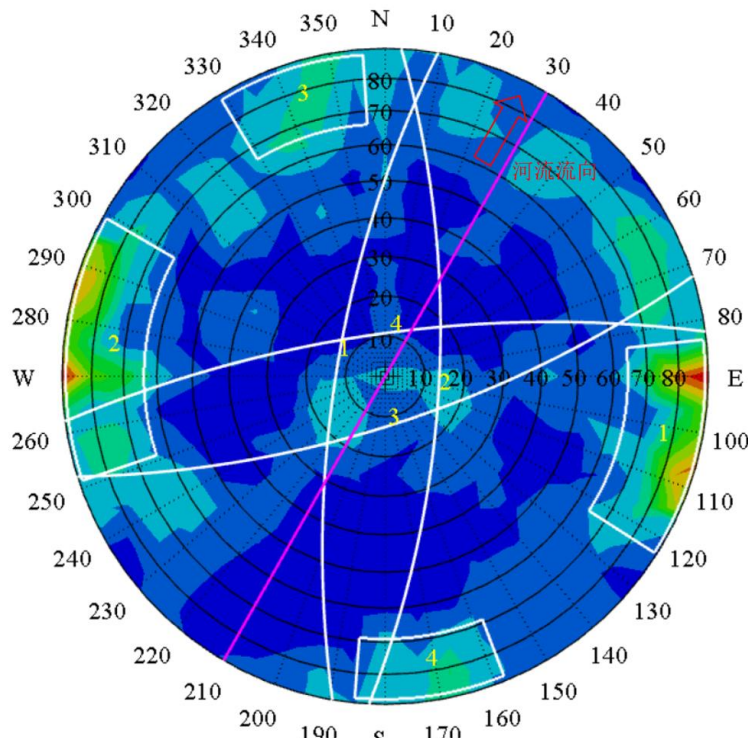
| 节理编号 | 桩号 | 倾向 | 倾角 | 节理类型 | 节理状态 | 地下水状态 | JRC | 结合度 |
|------|------|--------|-------|------|------------------|-------|-----|-----|
| 1_2 | 0.39 | 140 | 38 | - | 06 微张泥质平直光滑 | 漏水 | - | - |
| 4_2 | 0.62 | 220 | 42 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 5 | 0.64 | 155 | 32 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 漏水 | - | - |
| 1_5 | 0.97 | 140 | 38 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 潮湿 | - | - |
| 2_2 | 1 | 225 | 13 | - | 09 微张岩质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 4_1 | 1.19 | 220 | 42 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 1_3 | 1.24 | 140 | 38 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 4_3 | 1.44 | 220 | 42 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 漏水 | - | - |
| 1_1 | 1.5 | 140 | 38 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 湿润 | - | - |
| 1 | 1.6 | 140 | 38 | - | 06 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |
| 8 | 1.72 | 250 | 10 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 湿润 | - | - |
| 7 | 1.75 | 40 | 50 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 3_2 | 1.8 | 155 | 28 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 3_3 | 1.88 | 155 | 28 | - | 06 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |
| 2_5 | 1.92 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 3 | 2.11 | 155 | 28 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 漏水 | - | - |
| 3_1 | 2.18 | 155 | 28 | - | 04 张开(5-10mm) 岩隙 | 湿润 | - | - |
| 2_1 | 2.27 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 潮湿 | - | - |
| 2 | 2.48 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质平直光滑 | 潮湿 | - | - |
| 2_3 | 2.55 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 11 | 2.82 | 113.96 | 58.69 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 10 | 2.96 | 40 | 80 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 漏水 | - | - |
| 9 | 3.38 | 270 | 52 | - | 06 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |

地质数据入库管理

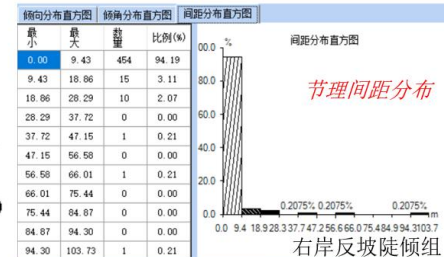
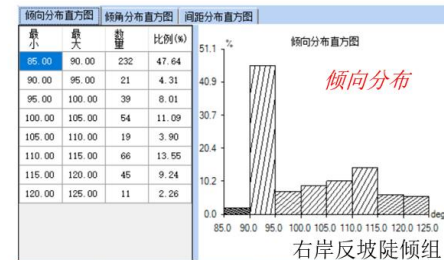
数量百分比



节理总数:5839



节理等密图



CONTENT

边坡工程BIM关键技术

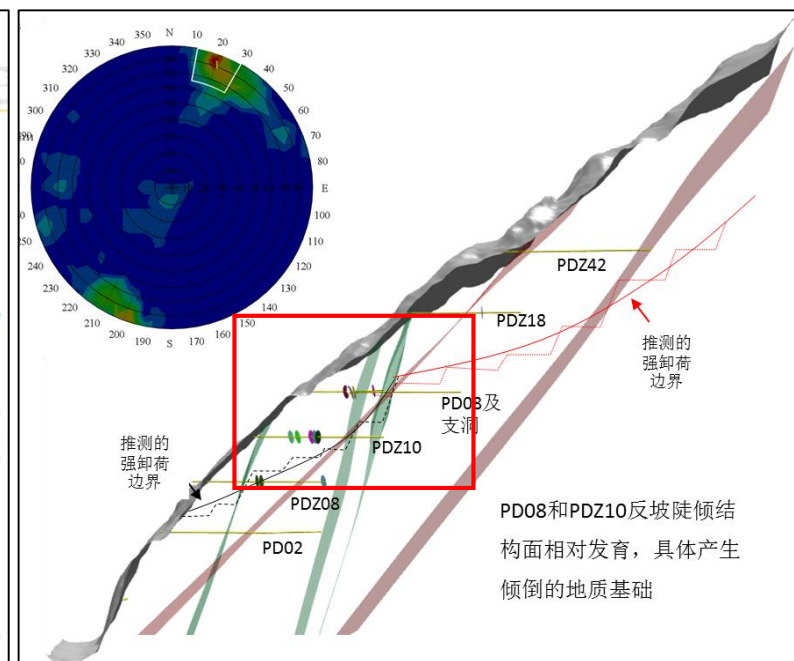
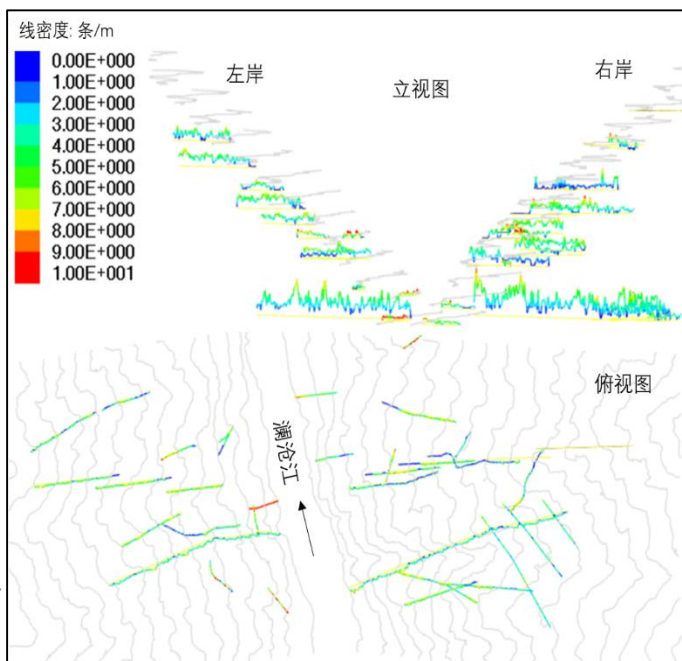
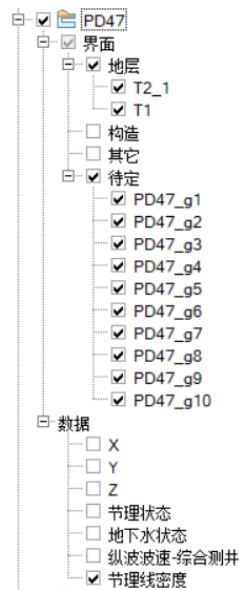
- 电子化现场数据采集与入库管理
- **地质数据库与三维图形接口**
- 工程地质分析
 - 结构面统计
 - 结构面溯源分析
 - 结构面解译
 - 卸荷分析
 - 岩体结构划分
 - 岩体质量分级
- 边坡三维地质建模
- 行业定制应用功能

3.2地质数据库与三维图形接口



“图形+属性” 数据结构

| 节理编号 | 桩号 | 倾向 | 倾角 | 节理类型 | 节理状态 | 地下水状态 | JRC | 结合度 |
|------|------|--------|-------|------|-------------------|-------|-----|-----|
| 1_2 | 0.39 | 140 | 38 | - | 05 微张泥质平直光滑 | 渗水 | - | - |
| 4_2 | 0.62 | 220 | 42 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 5 | 0.64 | 155 | 32 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 渗水 | - | - |
| 1_5 | 0.97 | 140 | 38 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 2_2 | 1 | 225 | 13 | - | 09 微张岩屑起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 4_1 | 1.19 | 220 | 42 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 1_3 | 1.24 | 140 | 38 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 4_3 | 1.44 | 220 | 42 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 渗水 | - | - |
| 1_1 | 1.5 | 140 | 38 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 湿润 | - | - |
| 1 | 1.6 | 140 | 38 | - | 05 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |
| 8 | 1.72 | 250 | 10 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 湿润 | - | - |
| 7 | 1.75 | 40 | 50 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 3_2 | 1.8 | 155 | 28 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 3_3 | 1.88 | 155 | 28 | - | 05 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |
| 2_5 | 1.92 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 3 | 2.11 | 155 | 28 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 渗水 | - | - |
| 3_1 | 2.18 | 155 | 28 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩屑 | 湿润 | - | - |
| 2_1 | 2.27 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 2 | 2.48 | 225 | 13 | - | 05 微张泥质平直光滑 | 渗水 | - | - |
| 2_3 | 2.55 | 225 | 13 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 11 | 2.92 | 113.96 | 58.69 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 10 | 2.96 | 40 | 80 | - | 06 微张泥质起伏光滑或平直粗糙 | 渗水 | - | - |
| 9 | 3.38 | 270 | 52 | - | 05 微张泥质平直光滑 | 湿润 | - | - |



地质数据库

节理线密度三维可视化

结构面三维可视化



CONTENT

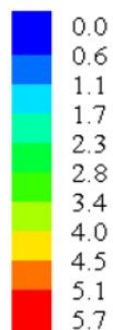
边坡工程BIM关键技术

- 电子化现场数据采集与入库管理
- 地质数据库与三维图形接口
- **工程地质分析**
 - 结构面统计
 - 结构面溯源分析
 - 结构面解译
 - 卸荷分析
 - 岩体结构划分
 - 岩体质量分级
- 边坡三维地质建模
- 行业定制应用功能

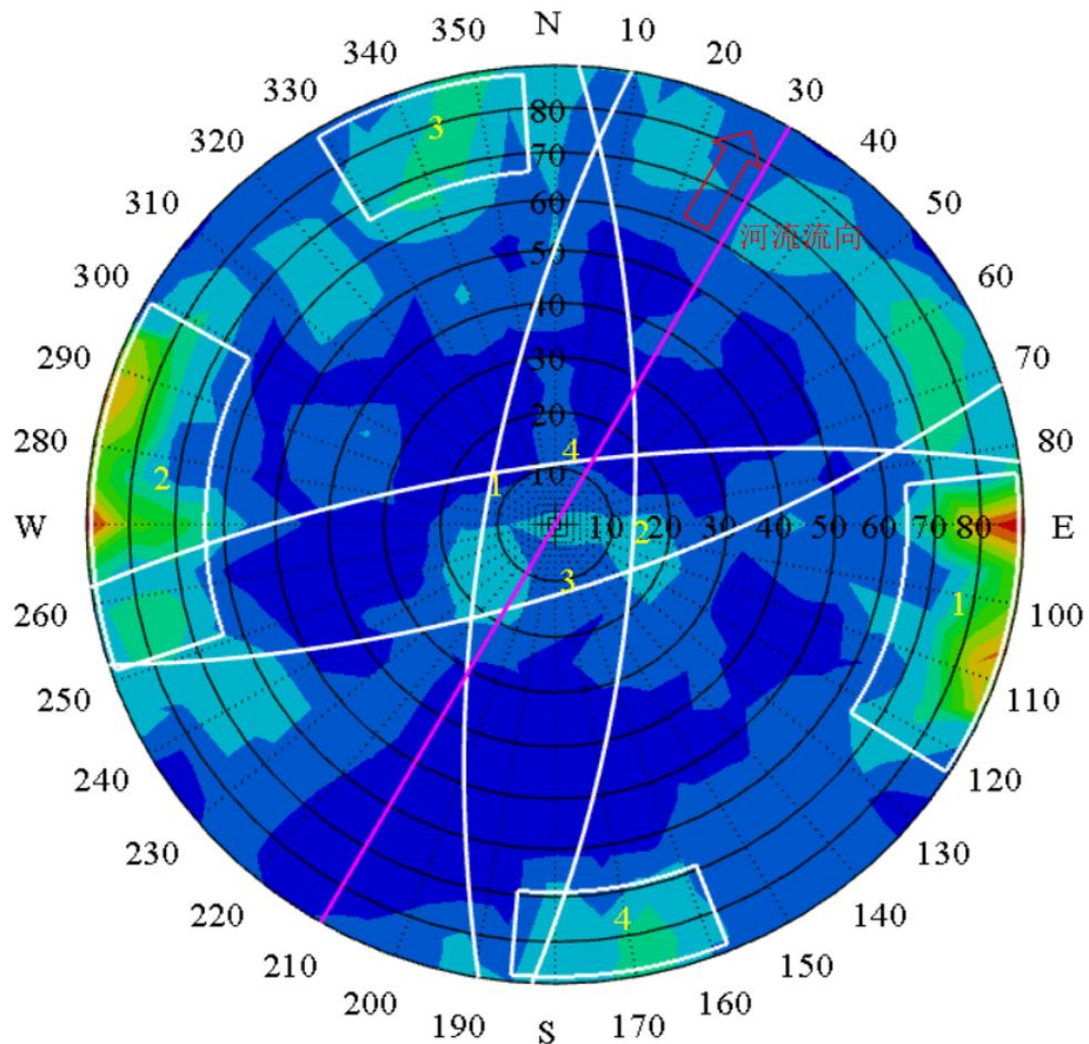
3.3 工程地质分析-01 结构面统计



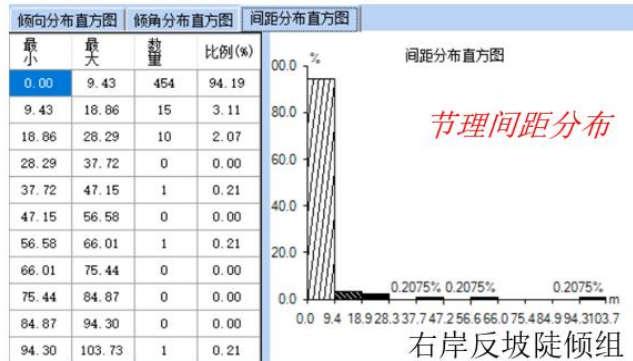
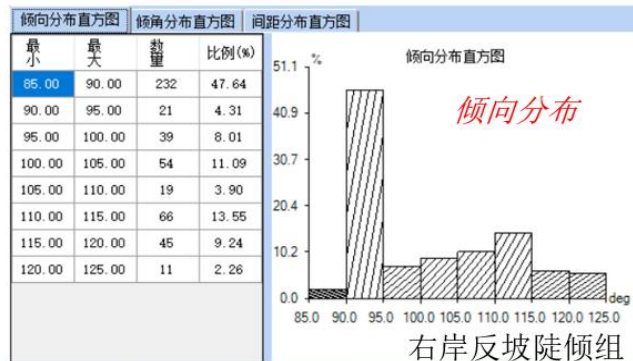
数量百分比



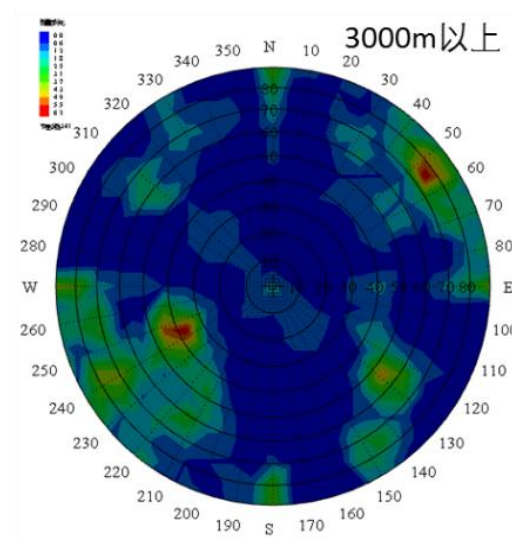
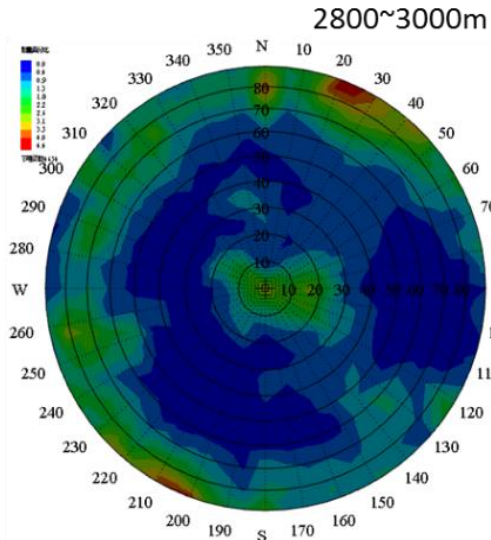
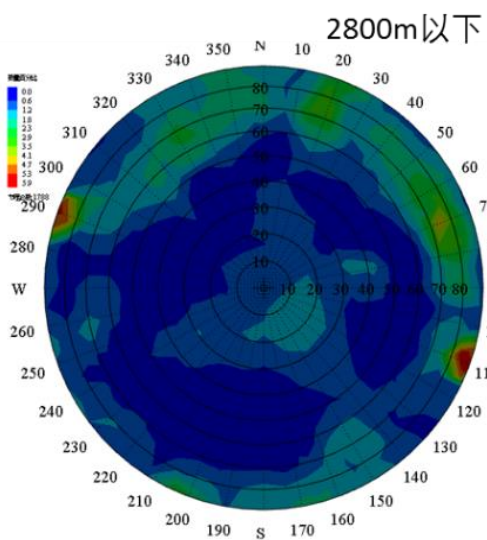
节理总数: 5839



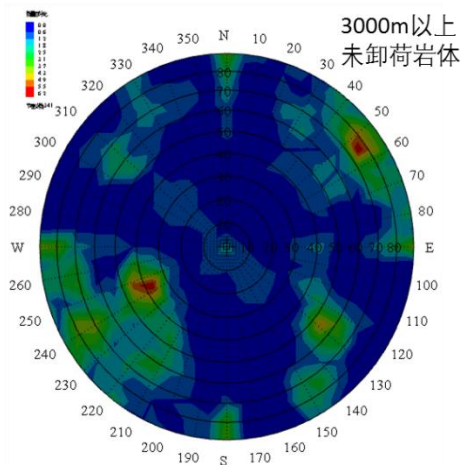
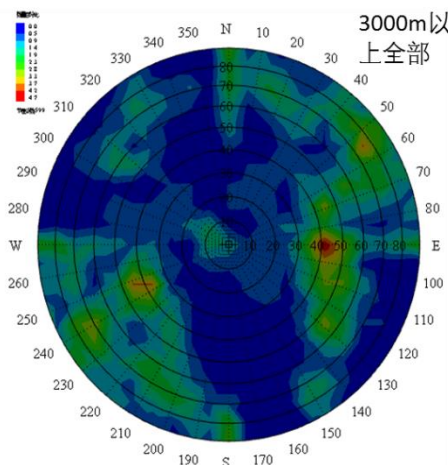
含位置信息!



3.3 工程地质分析-01 结构面统计



按高程统计结构面分布



按卸荷带统计结构面分布

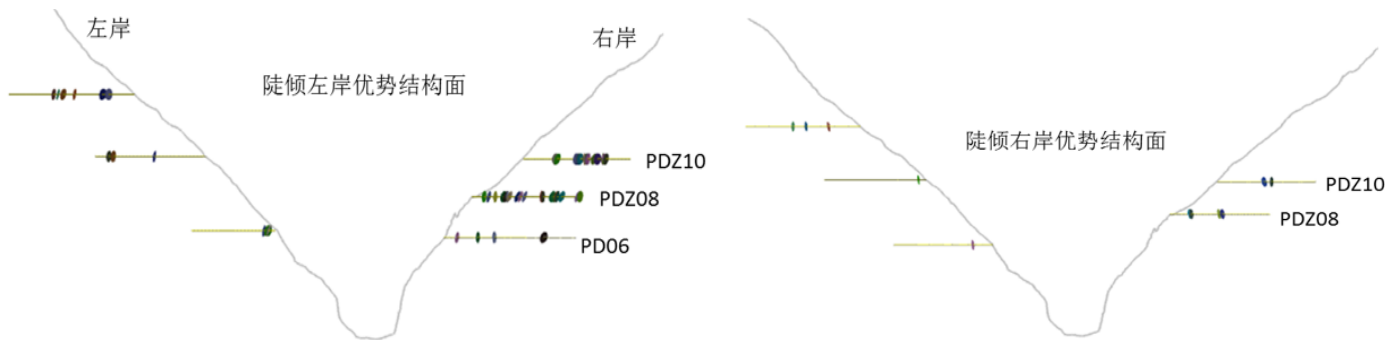
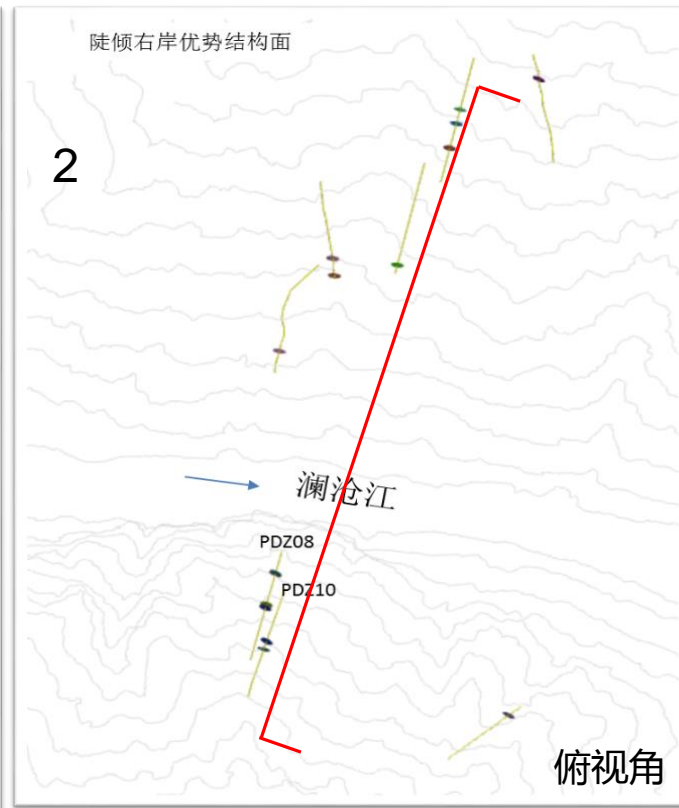
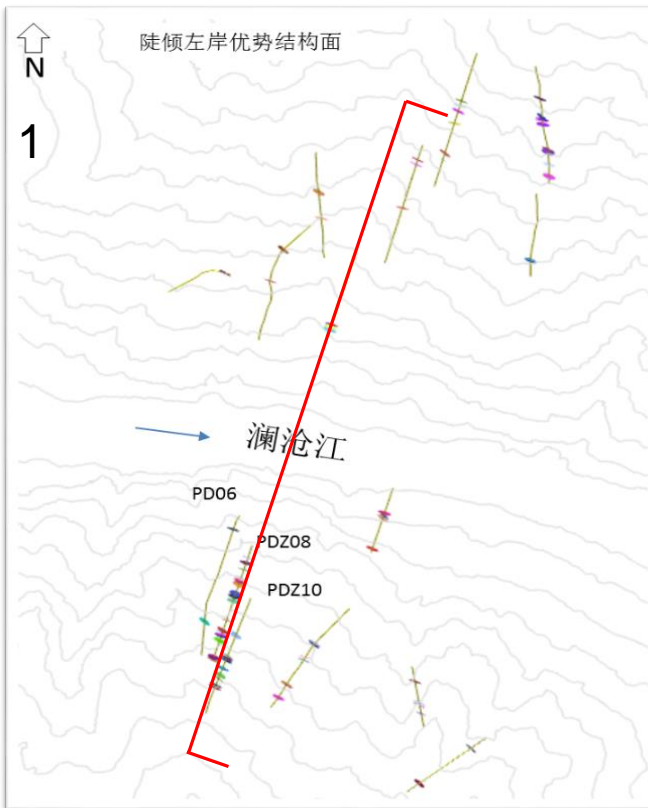
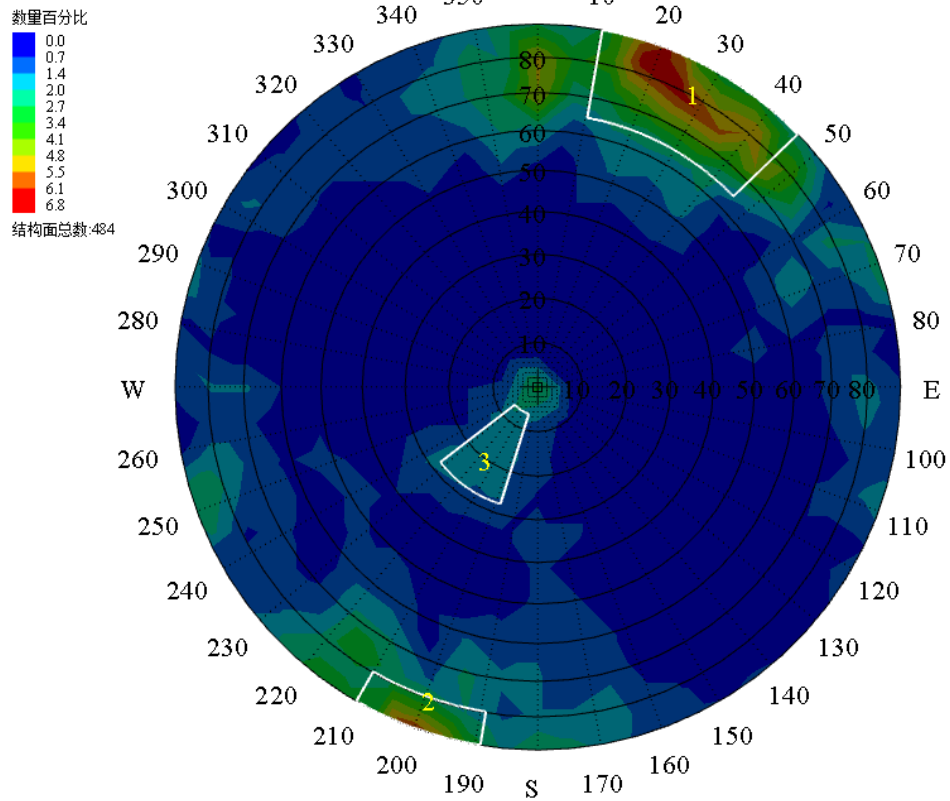
结构面位置信息的应用！

各优势结构面空间分布的变化性及其对变形差异性的潜在影响

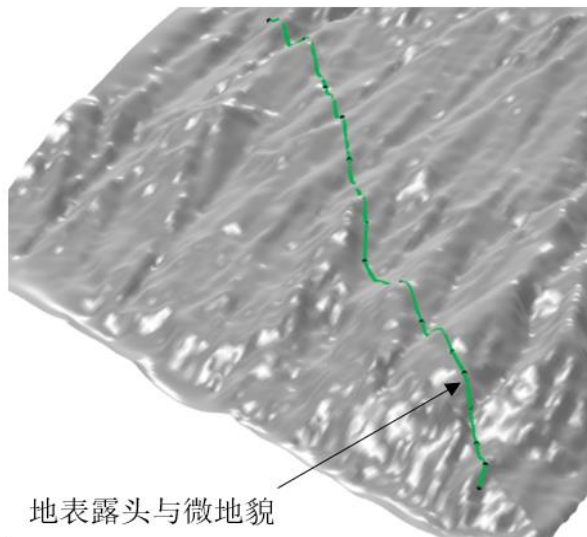
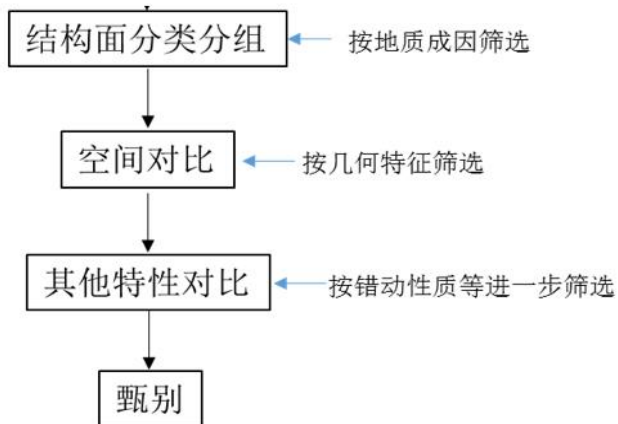
3.3 工程地质分析-02 结构面溯源分析



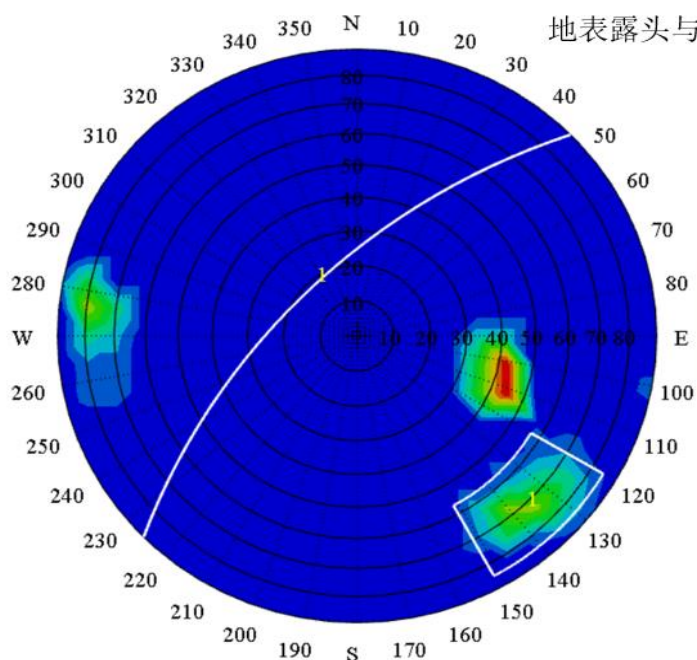
两岸地形地质条件基本相同时，岸坡卸荷机制迥然不同的内在机制：**顺河向结构面在两岸发育程度的差异！**



3.3 工程地质分析-03 结构面解译

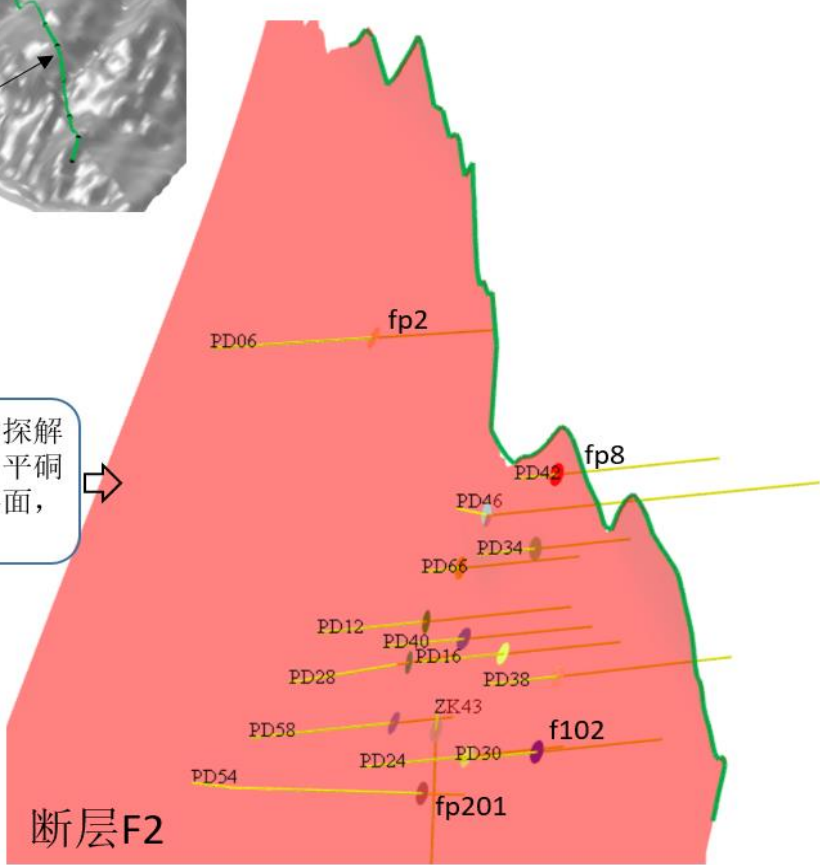


地表露头、微地貌、钻孔和平硐信息的综合利用

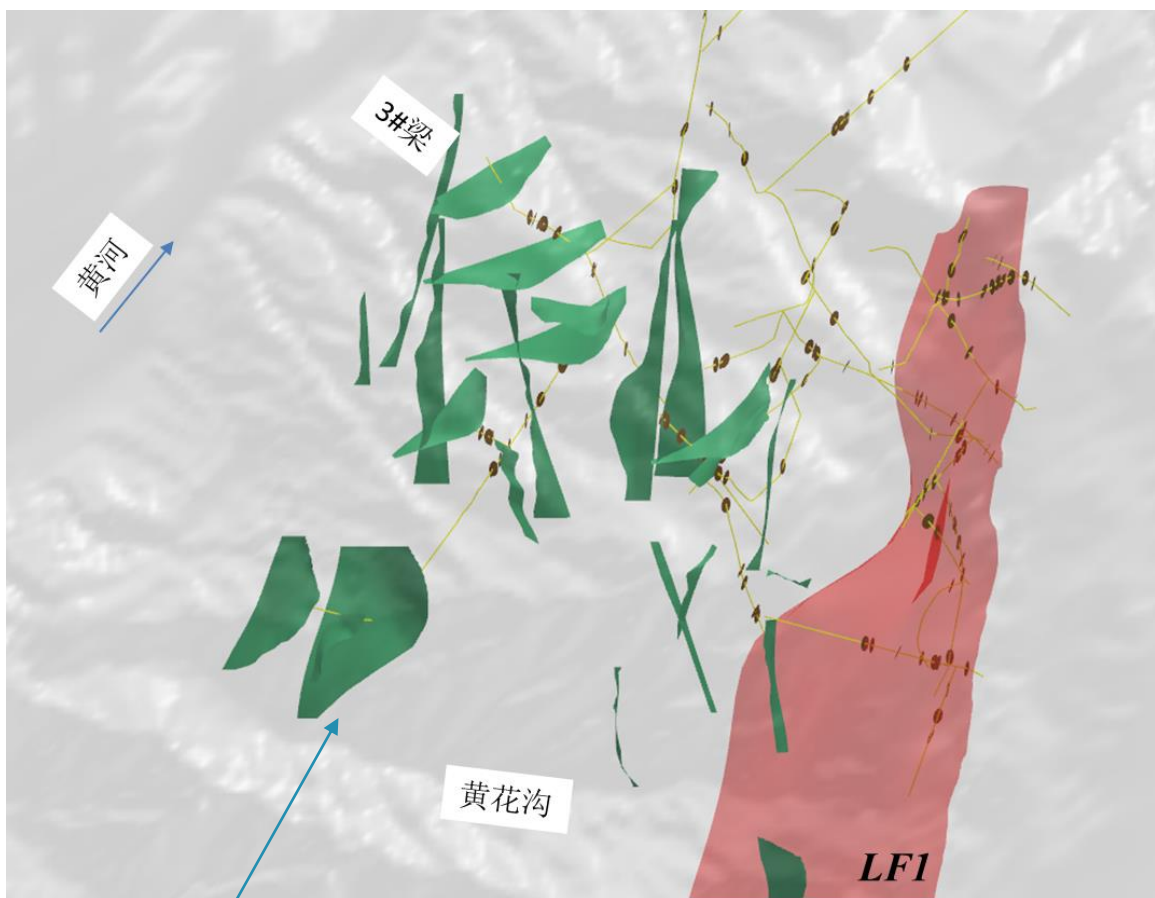


地表露头与微地貌

基于露头及勘探解译后的钻孔、平硐相关结构面界面，创建断层F2



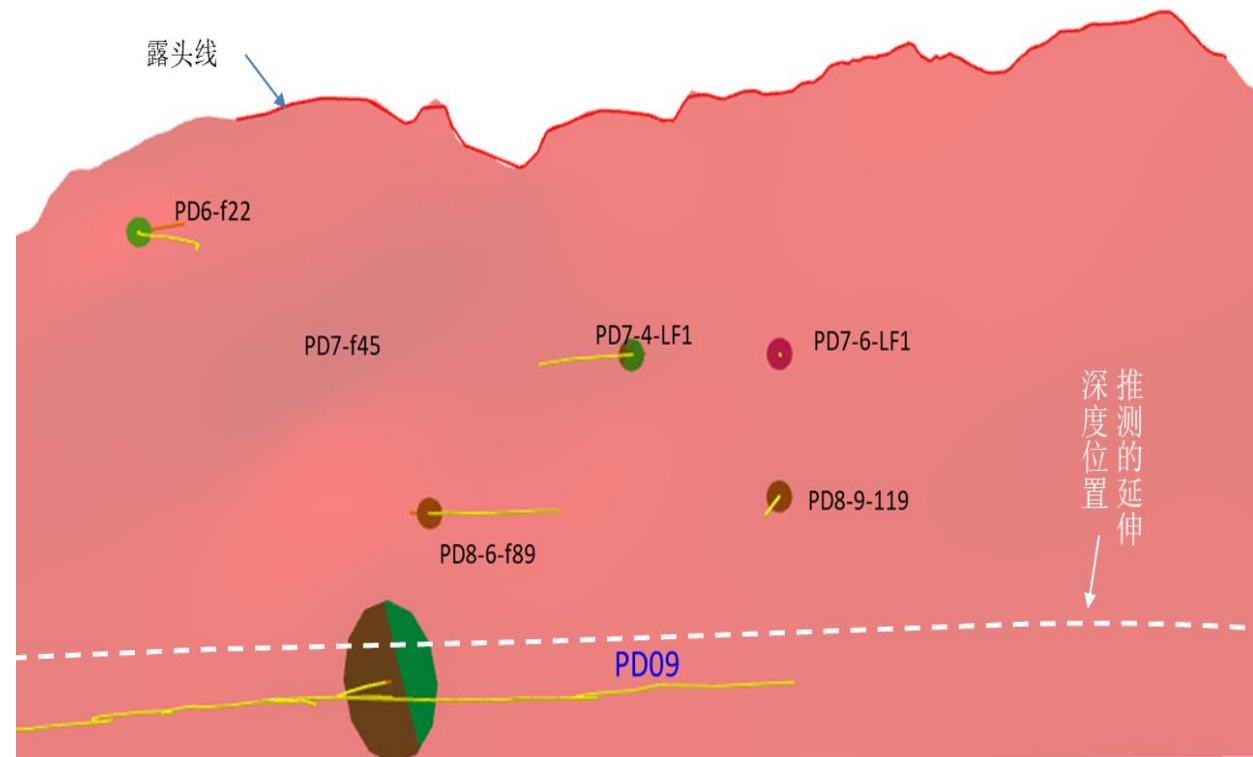
3.3 工程地质分析-03 结构面解译实例应用



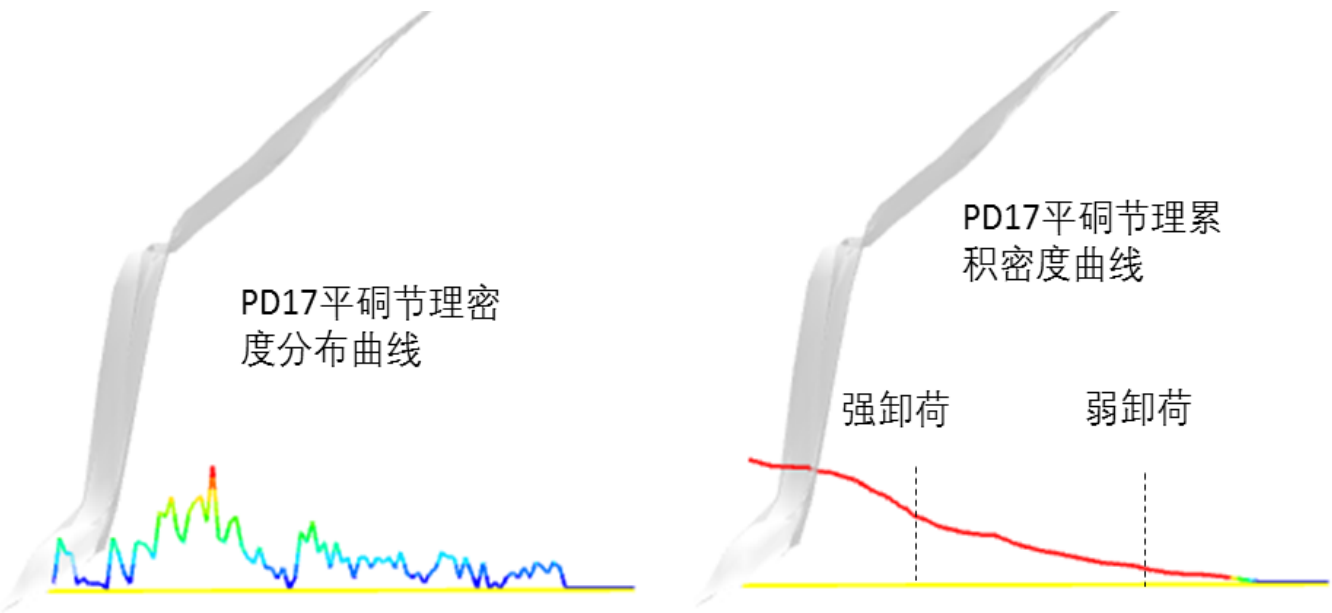
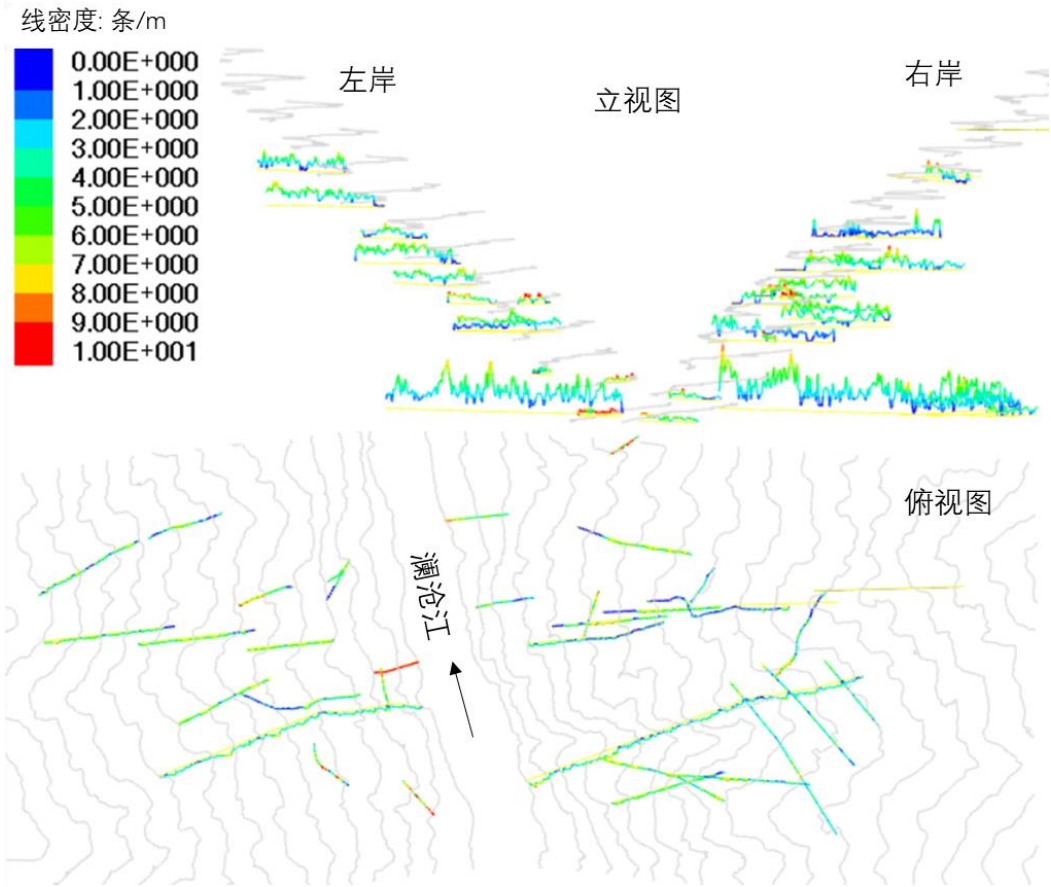
地表和平硐露头的结构面综合解译

确定变形边界LF1延伸深度在2700m高程以上，意味着中低高程未发育后缘面，**缺乏整体破坏的边界条件之一**

勘探结果显示，PD6_f22、PD7-4_LF1、PD7-F45、PD7-6_LF1、PD8-9_119之间空间位置和产状特征均能与地表LF1后缘保持良好。PD09揭露的露头与LF1缺乏良好一致性，因此推断LF1未延伸到PD09、即2600m高程。



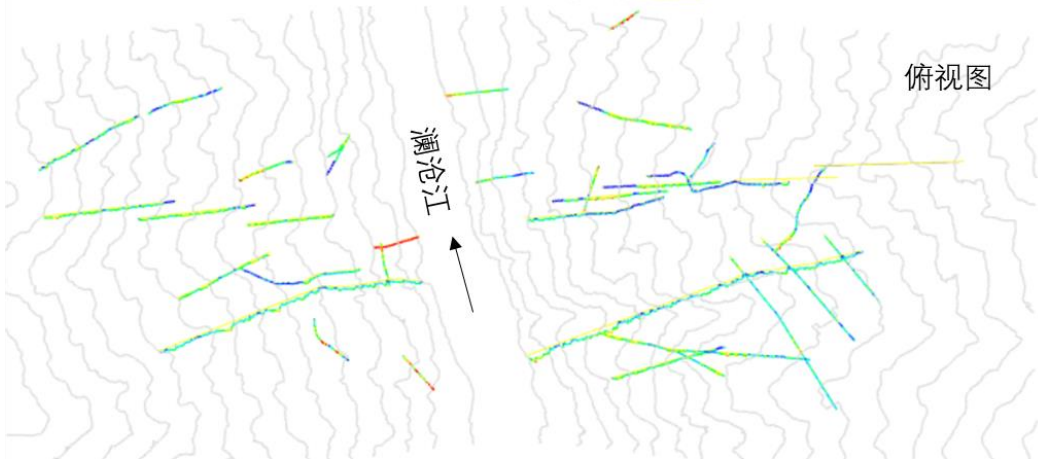
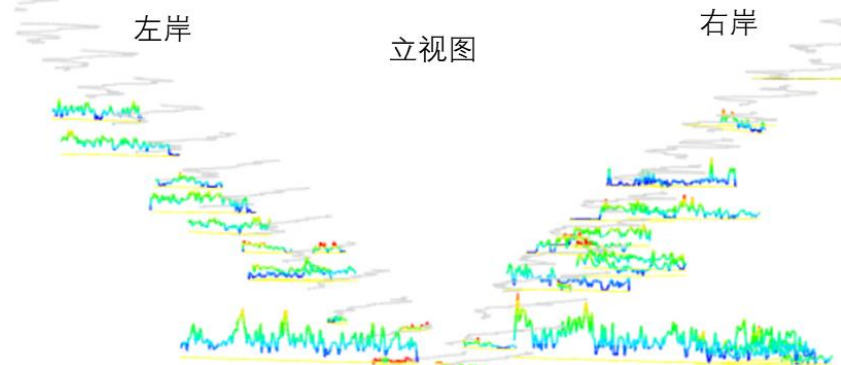
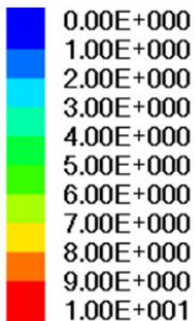
3.3 工程地质分析-04卸荷分析



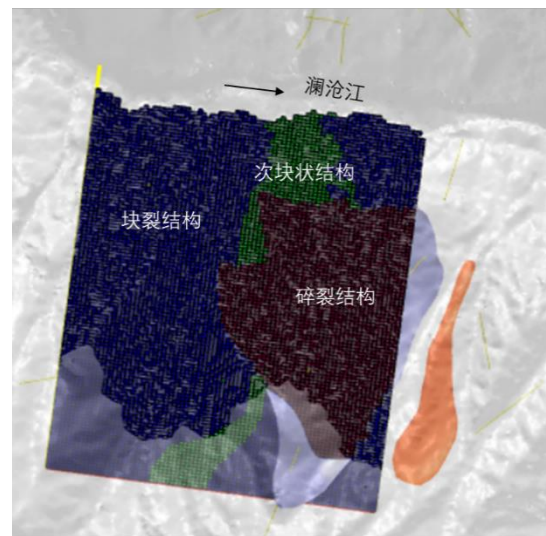
岸坡各平硐节理线密度分布 (据平硐编录结果)

3.3 工程地质分析-05岩体结构划分

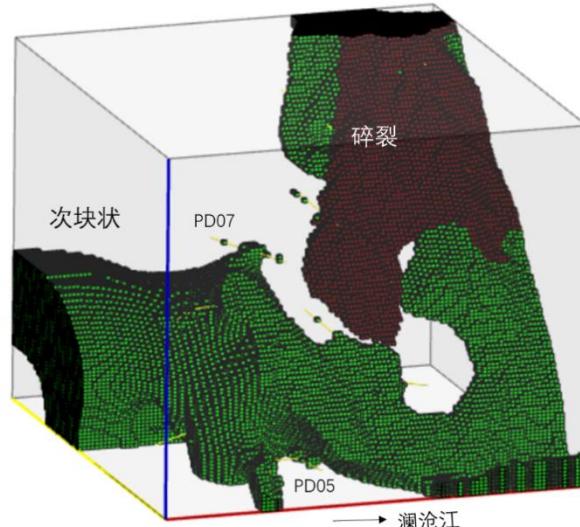
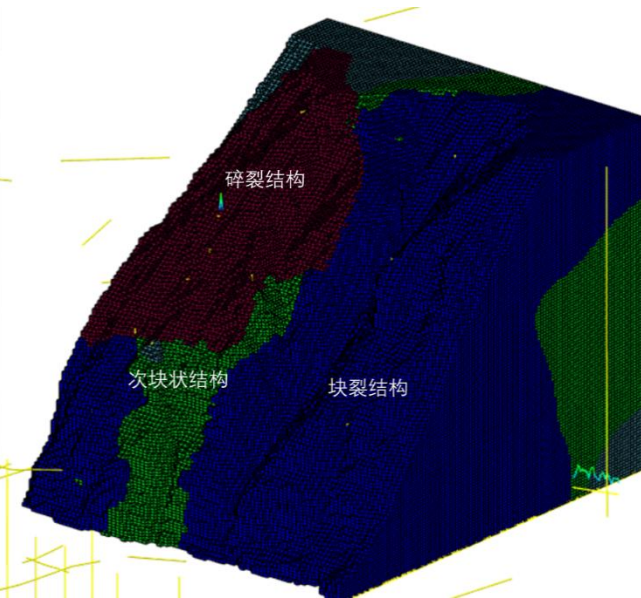
线密度: 条/m



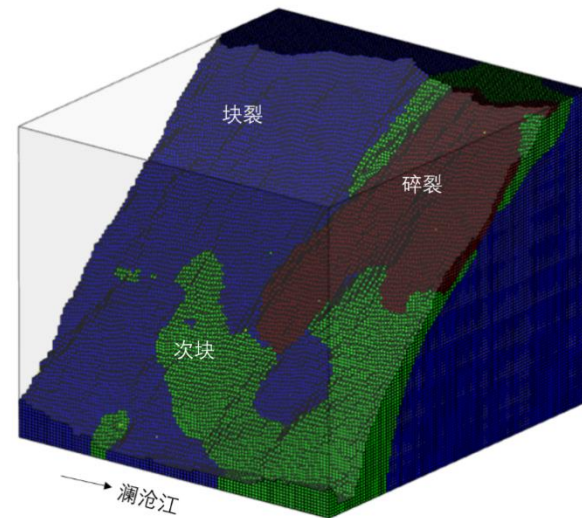
岸坡各平硐节理线密度分布 (据平硐编录结果)



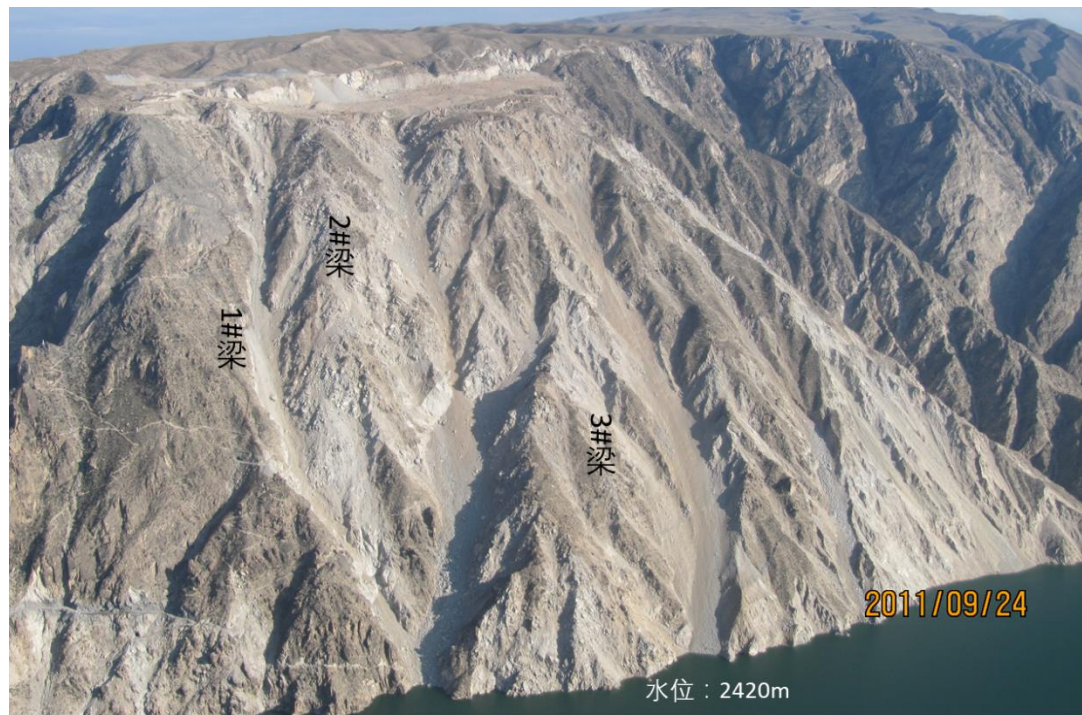
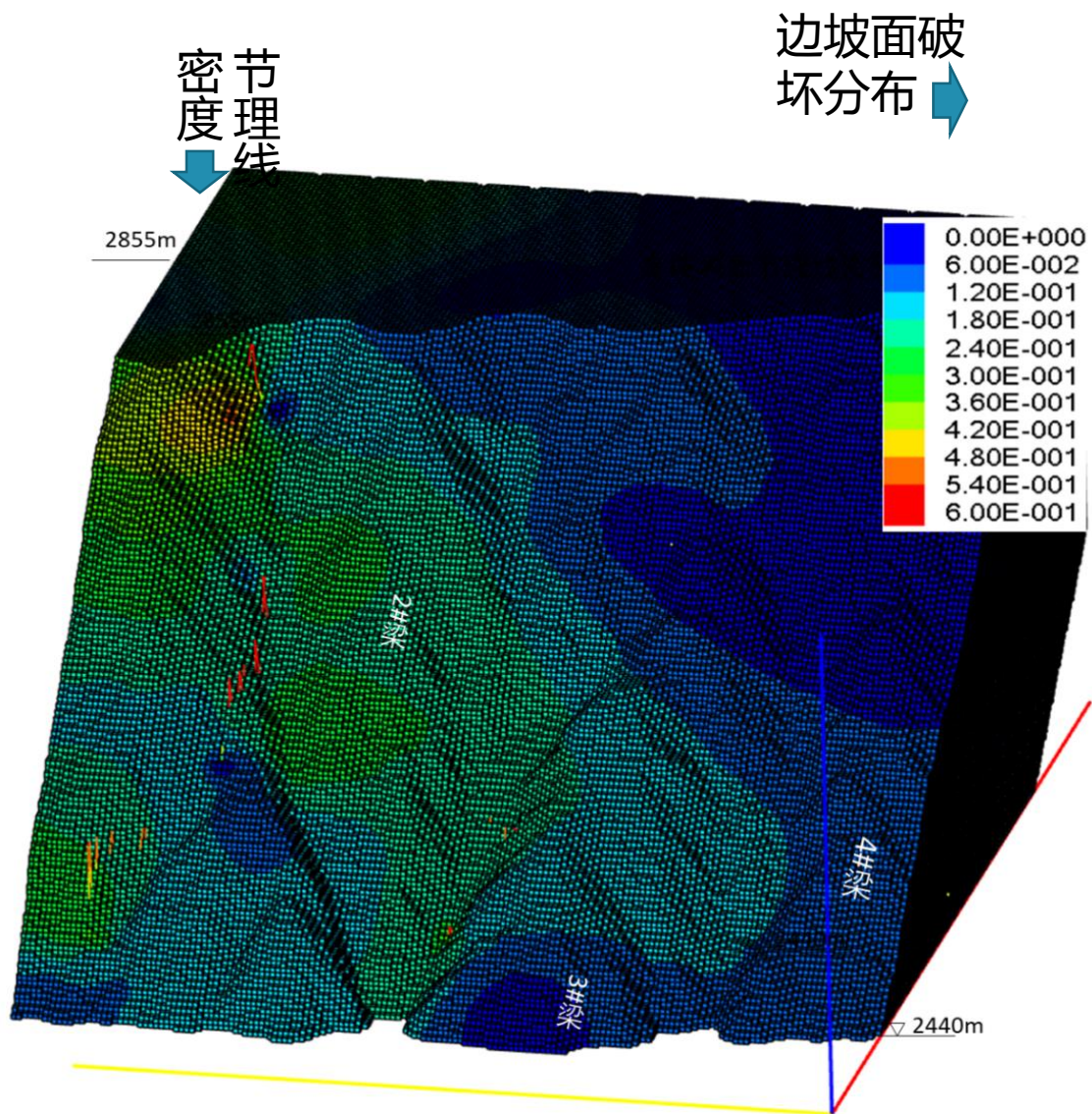
右岸岸坡岩体结构空间分布



左岸岸坡岩体结构空间分布



3.3 工程地质分析-06 节理密度与边坡破坏区的一致性

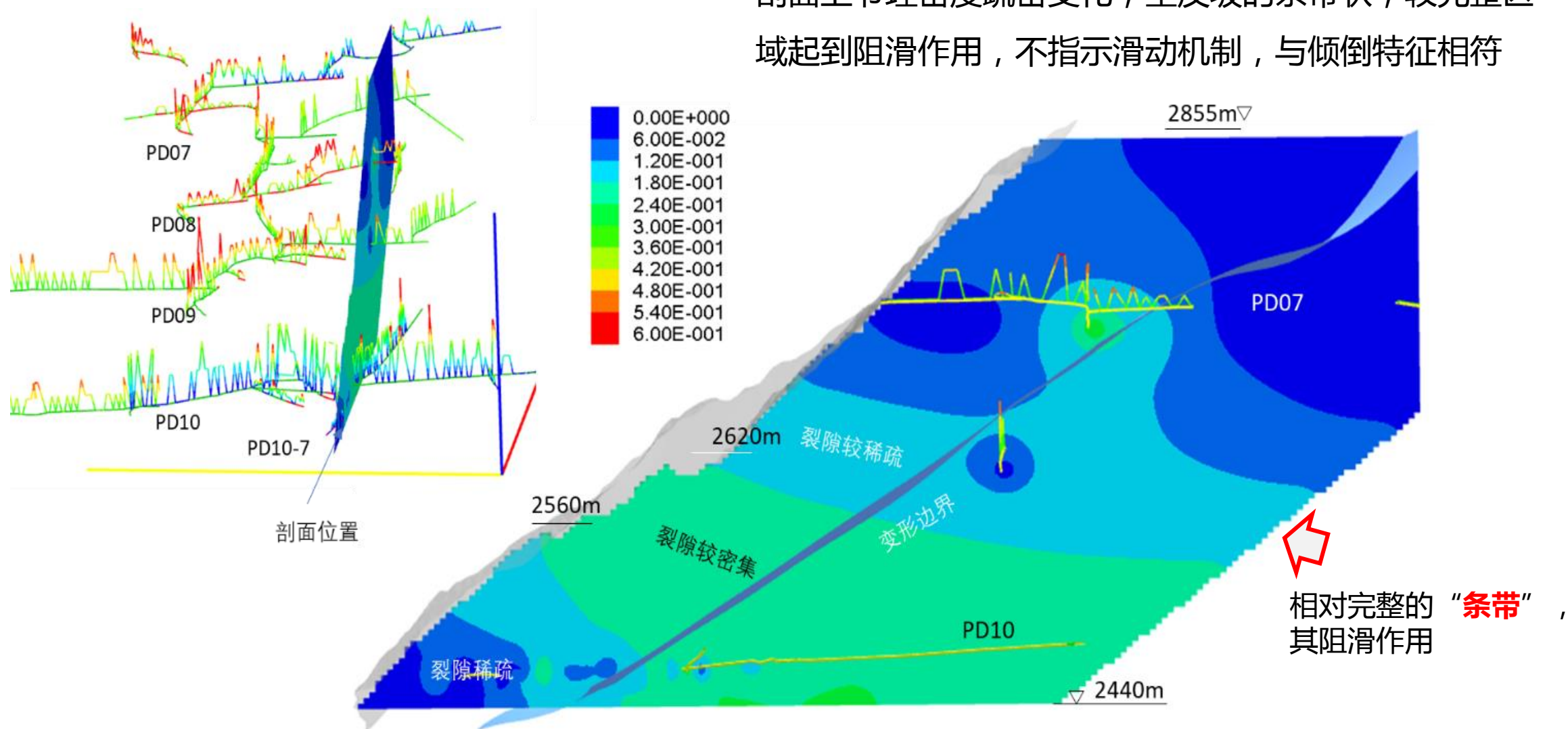


边坡面破坏区域的节理线密度均较高，
即破坏出现在完整性差的岩体

3.3 工程地质分析-07节理密度剖面变化的意义



剖面上节理密度疏密变化，呈反坡的条带状，较完整区域起到阻滑作用，不指示滑动机制，与倾倒特征相符



CONTENT

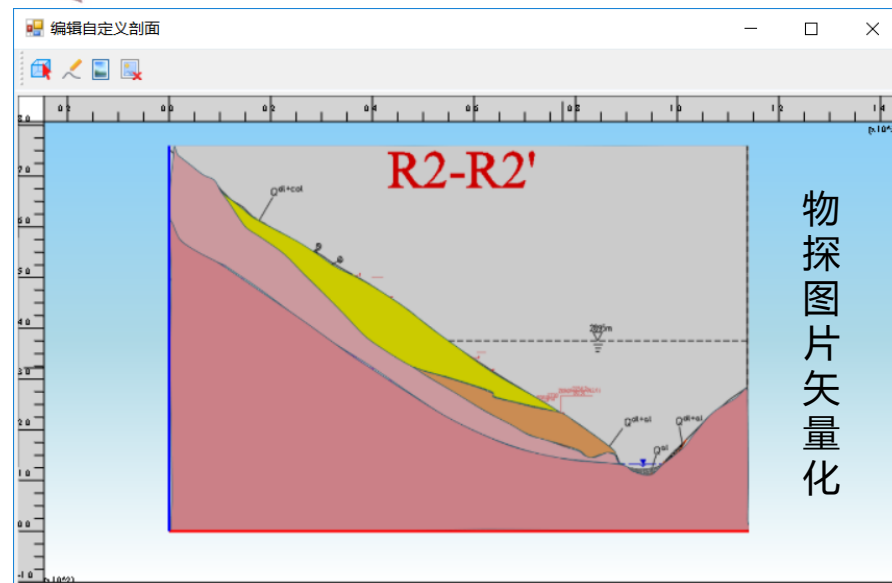
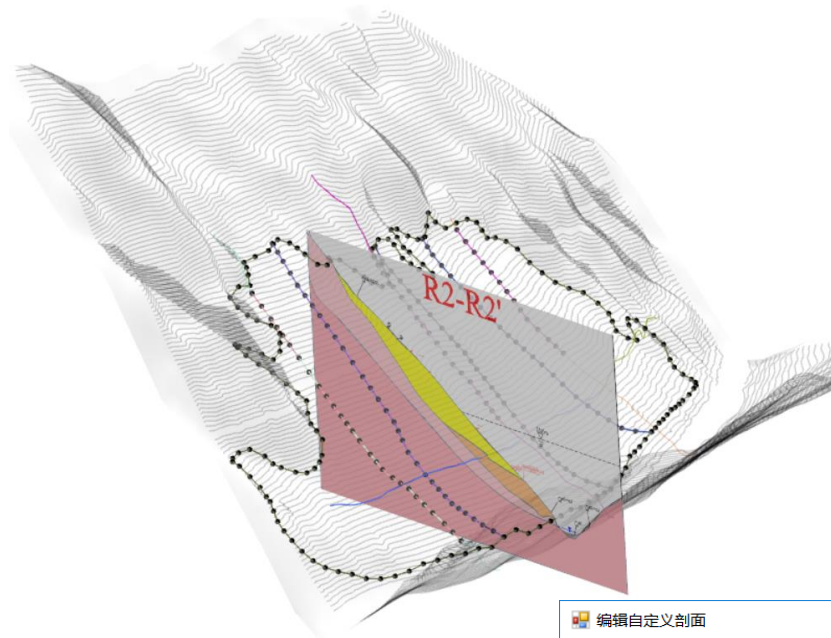
边坡工程BIM关键技术

- 电子化现场数据采集与入库管理
- 地质数据库与三维图形接口
- 工程地质分析
 - 结构面统计
 - 结构面溯源分析
 - 结构面解译
 - 卸荷分析
 - 岩体结构划分
 - 岩体质量分级
- **边坡三维地质建模**
- 行业定制应用功能

3.4 边坡三维地质建模

数据输入

- 连接数据库
- 导入外部文件，关联到三维
 - ASCII文件：.dat,.txt..
 - 电子化文件: .dxf, .dwg...
 - 图片: obj

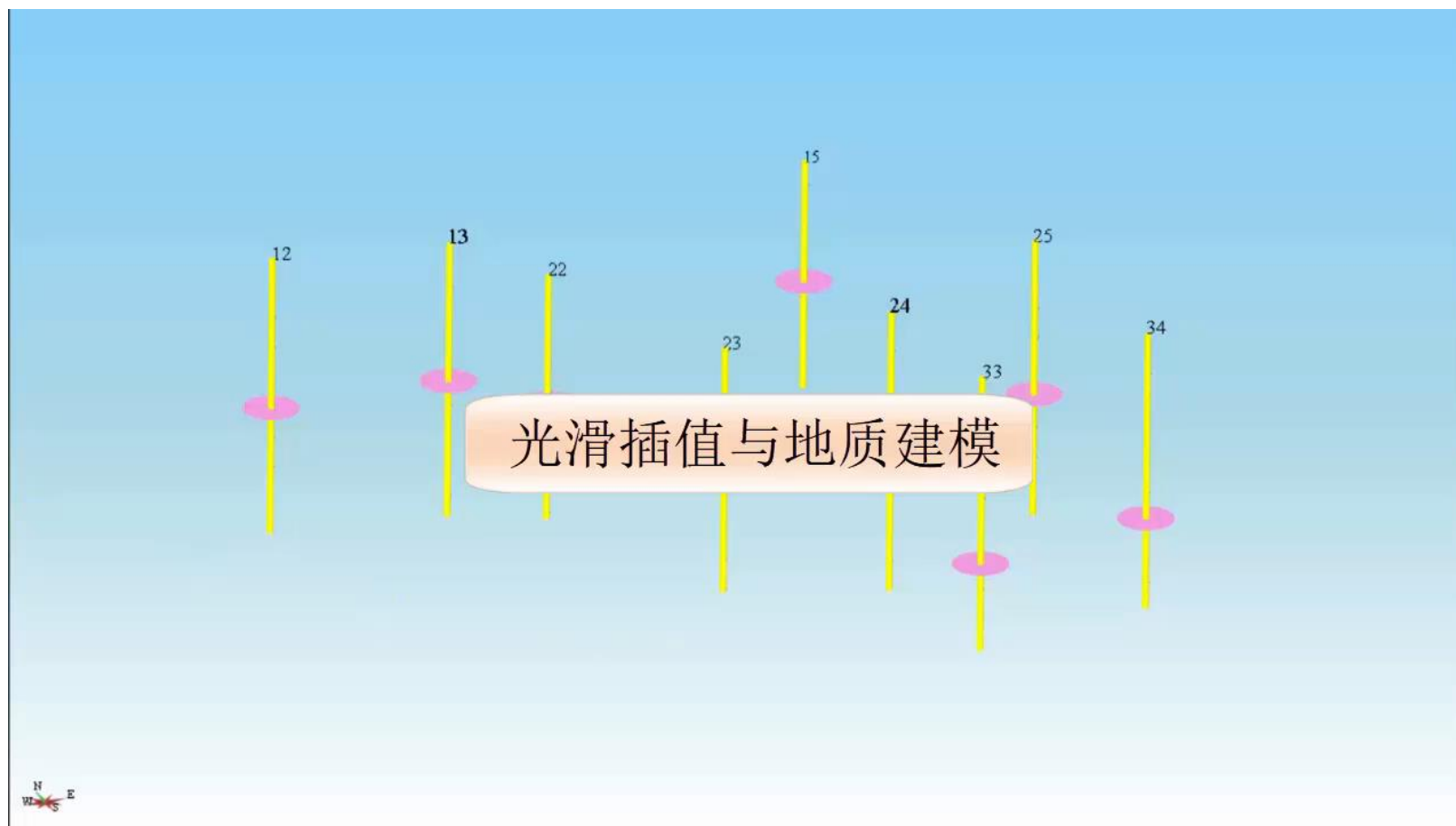


结构面露头解译—少数已知点的光滑拟合

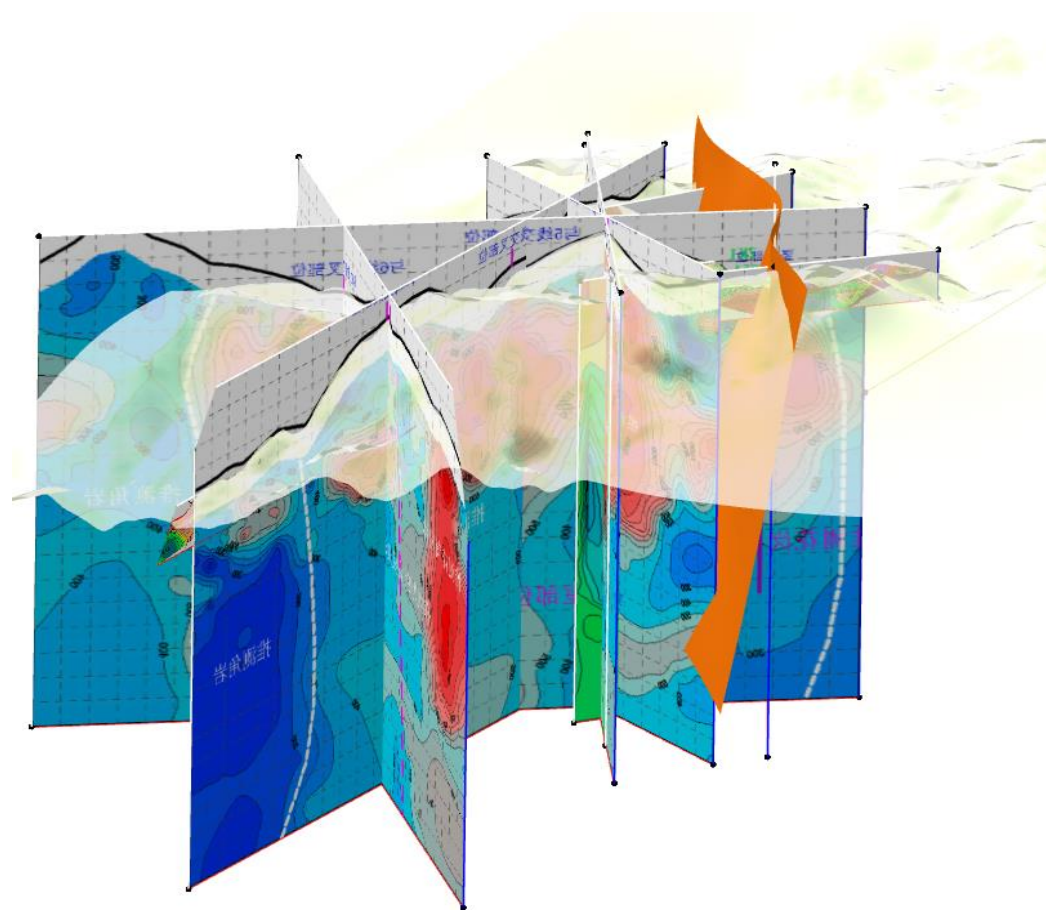
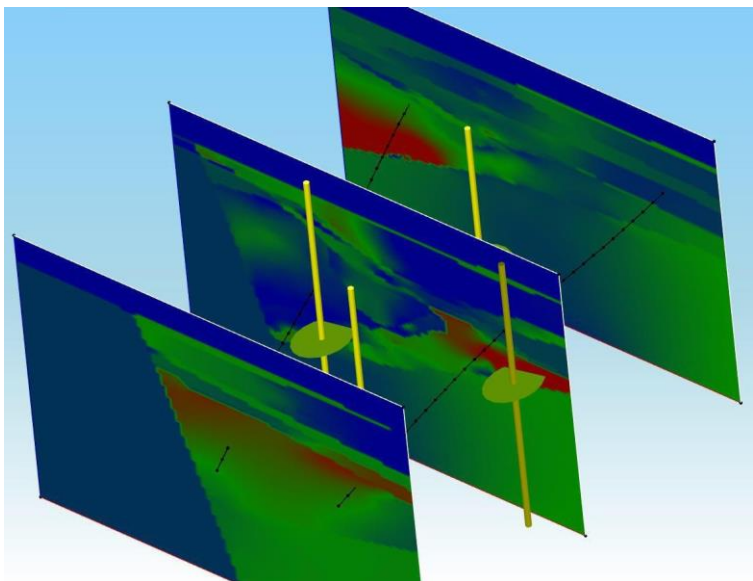
建模核心技术

■ 拟合过程x、y、z变化，
模拟 **任意复杂** 形态

■ **100%**通过勘探点，满足
模拟**精度**要求



物探解译与建模



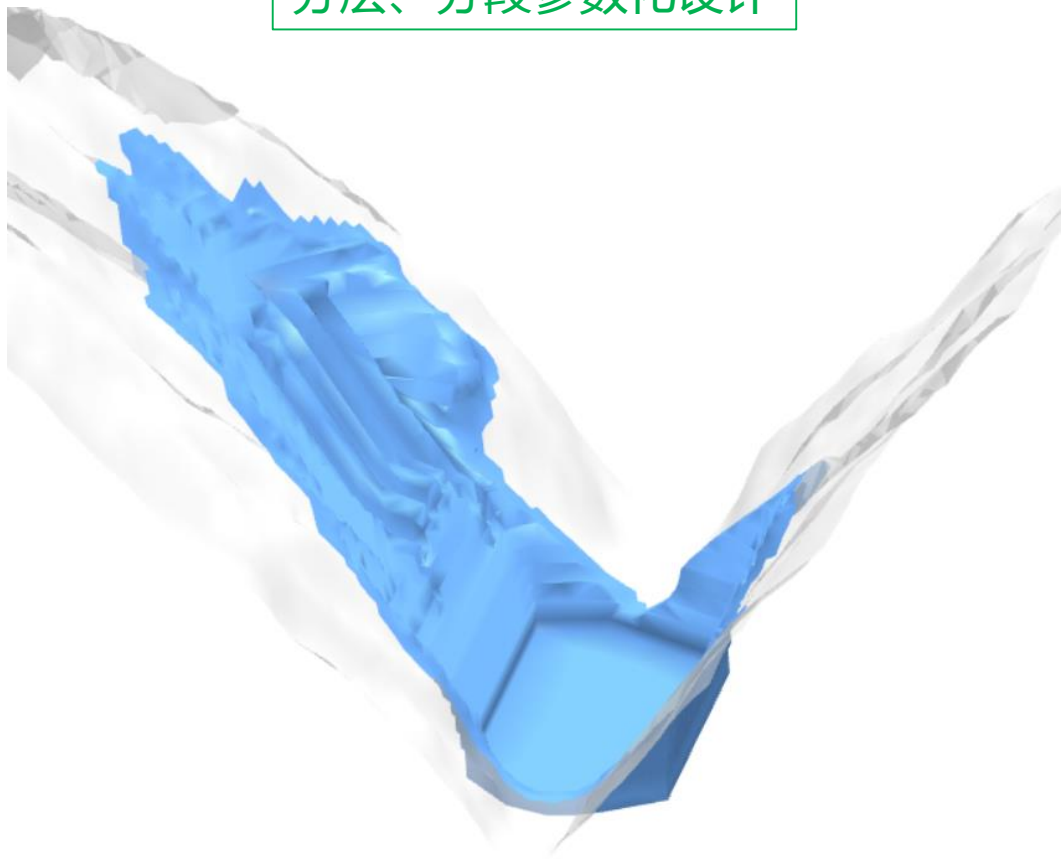
CONTENT

边坡工程BIM关键技术

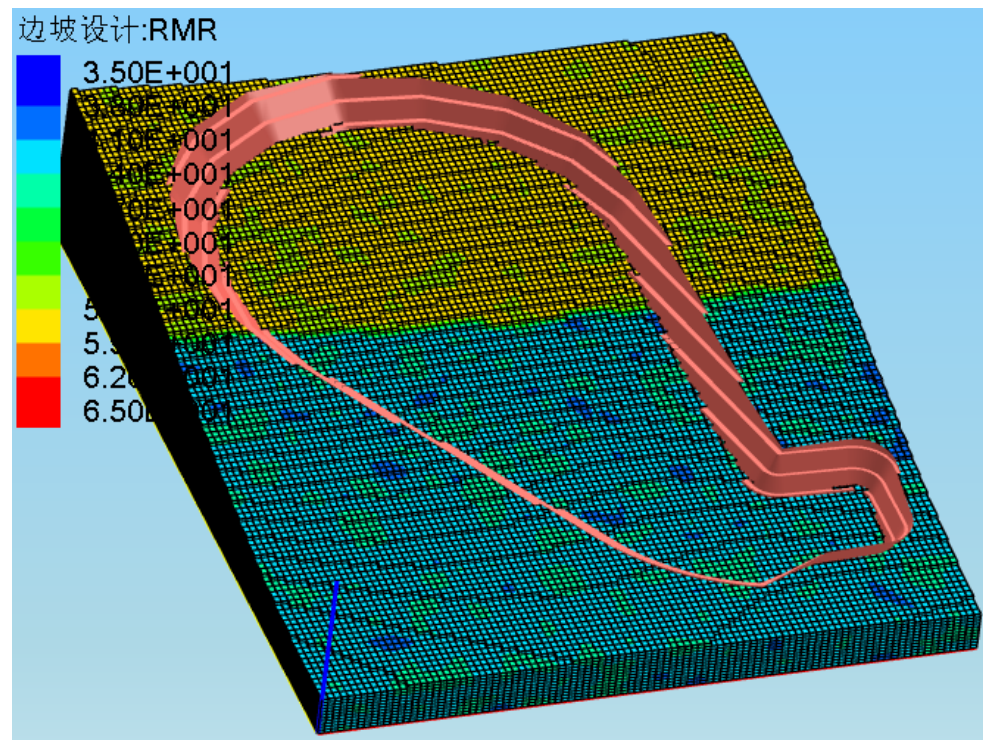
- 电子化现场数据采集与入库管理
- 地质数据库与三维图形接口
- 工程地质分析
 - 结构面统计
 - 结构面溯源分析
 - 结构面解译
 - 卸荷分析
 - 岩体结构划分
 - 岩体质量分级
- 边坡三维地质建模
- 行业定制应用功能

3.5行业定制应用功能-边坡开挖设计

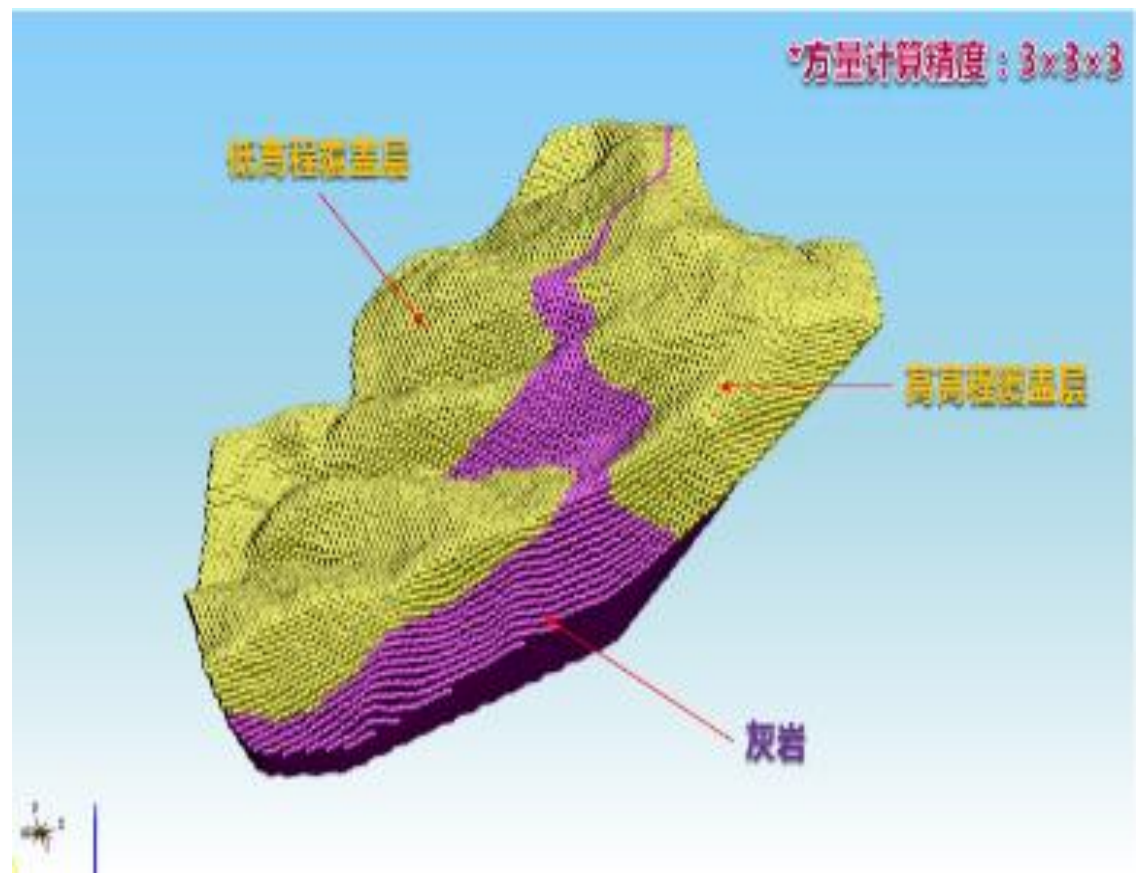
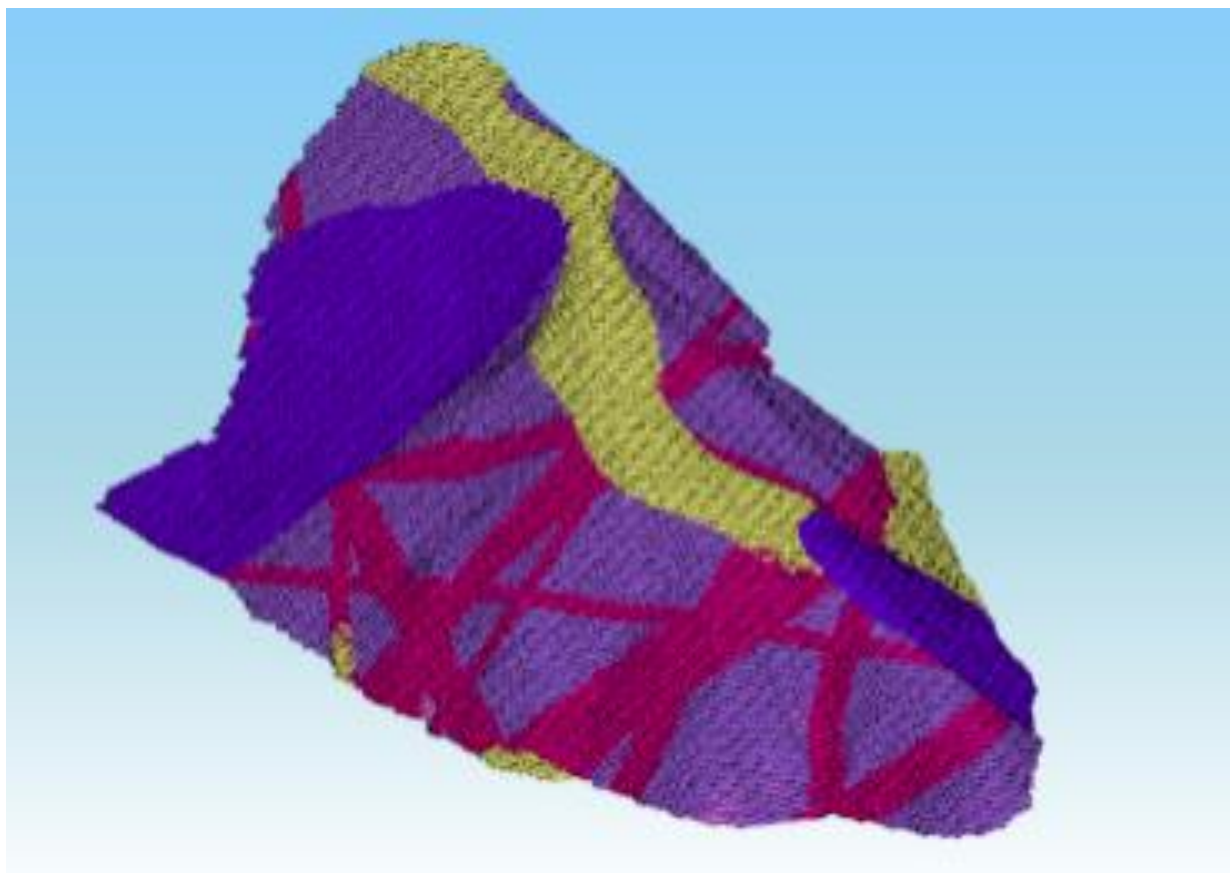
分层、分段参数化设计



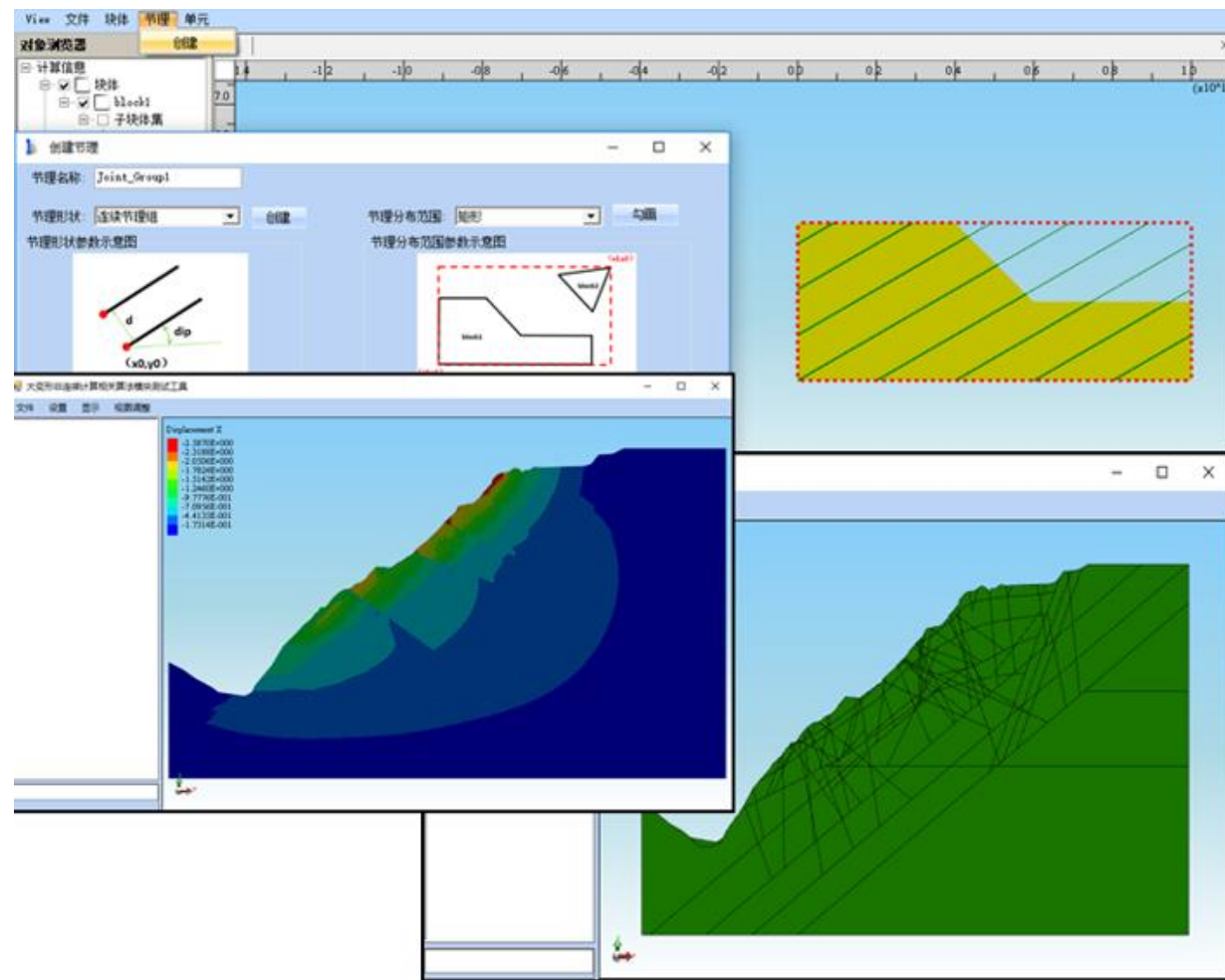
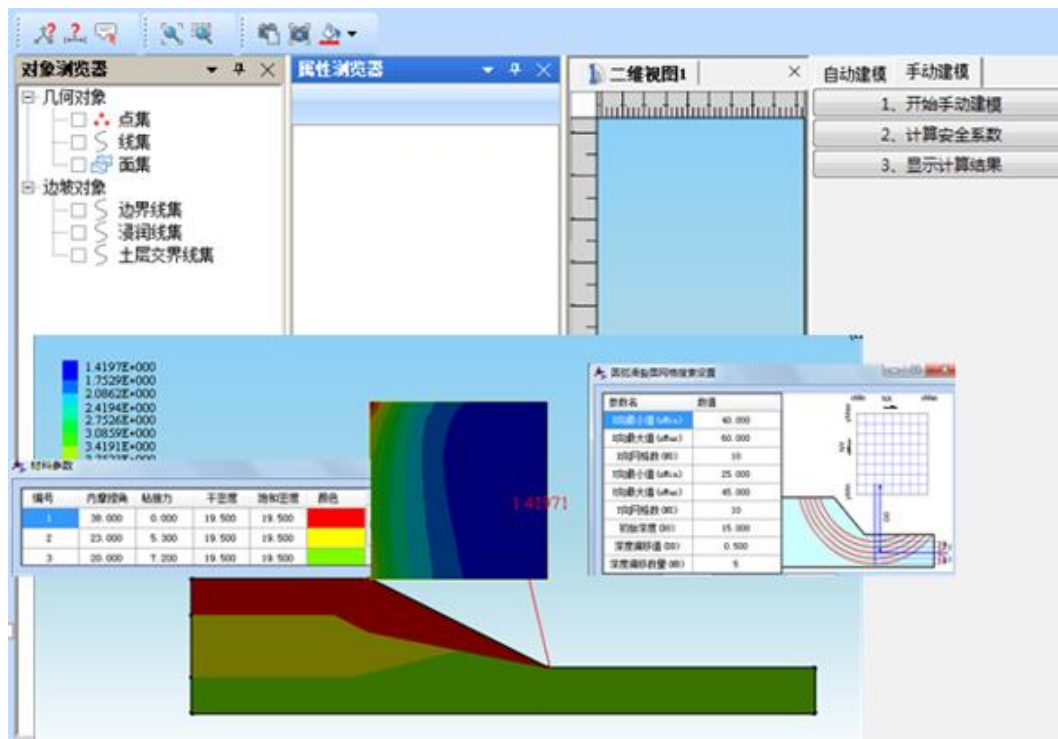
基于岩体质量的边坡轮廓设计



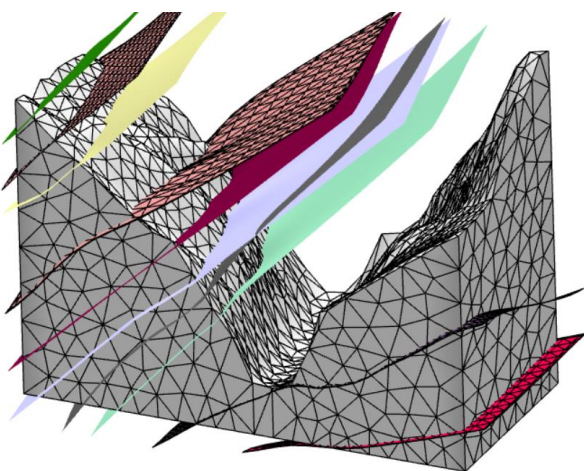
3.5行业定制应用功能-方量计算



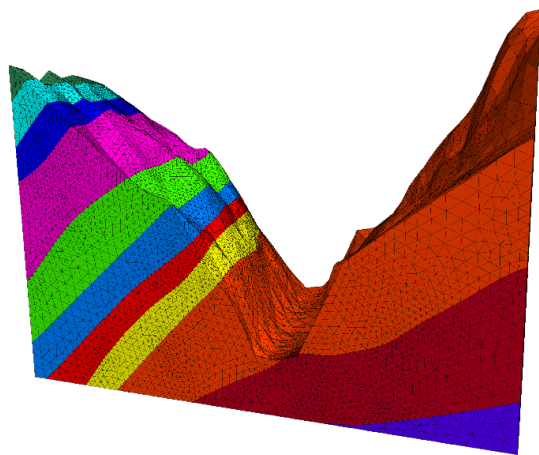
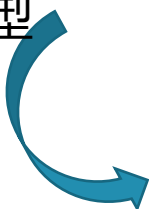
3.5行业定制应用功能-稳定性分析



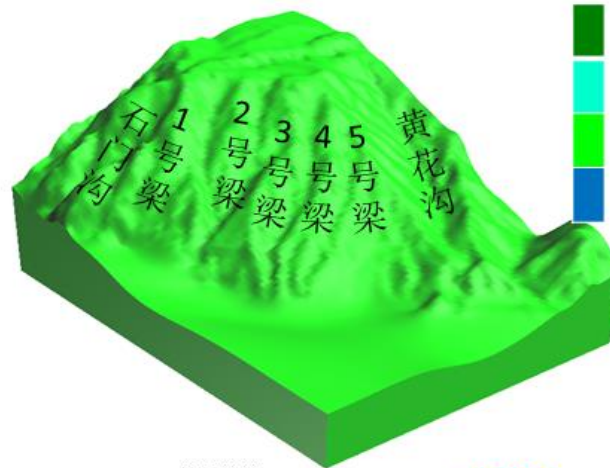
3.5行业定制应用功能-专题数值计算



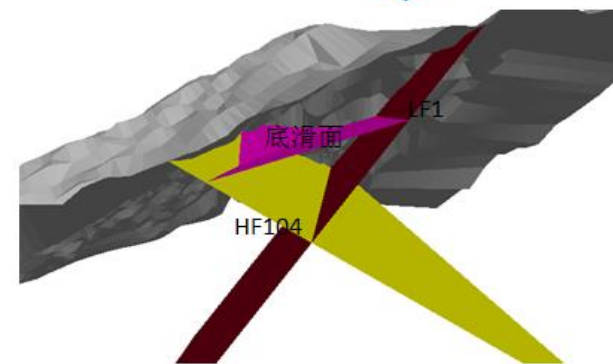
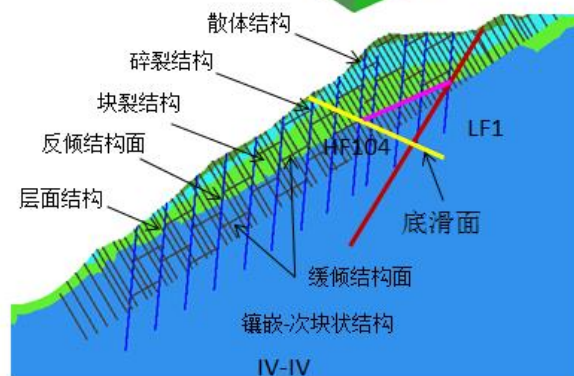
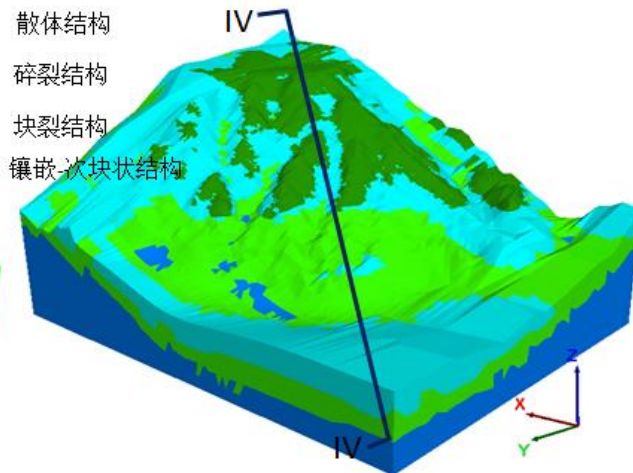
边坡地质模型



边坡数值模型



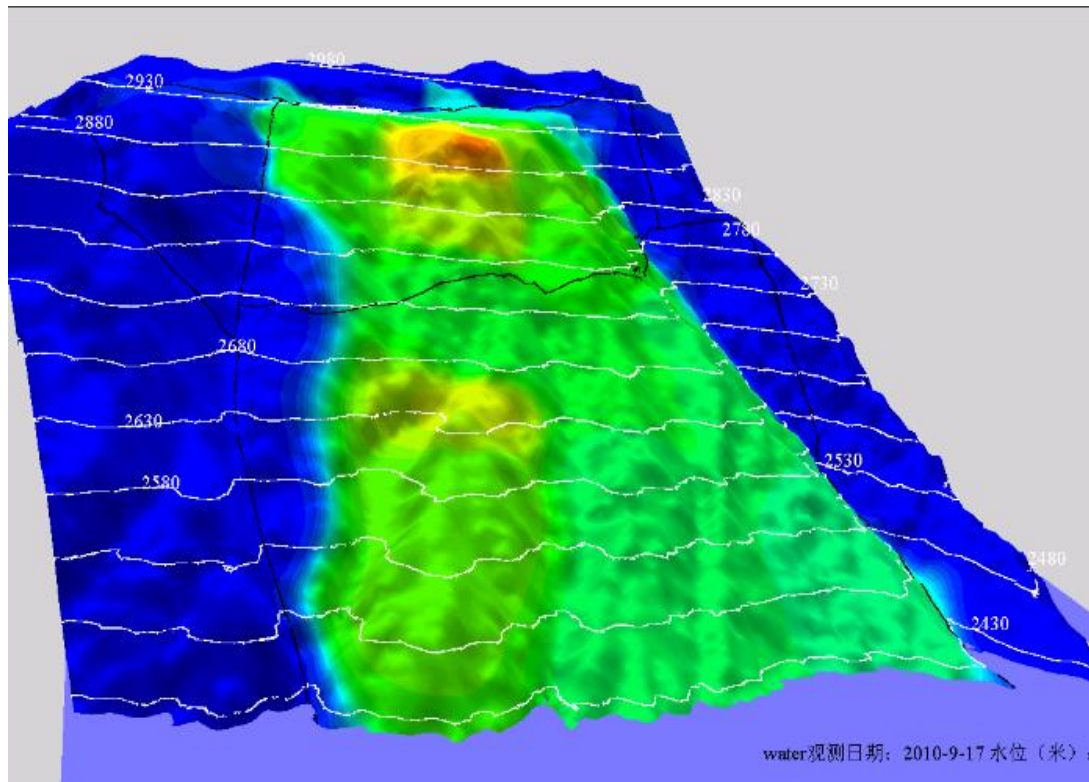
- 散体结构
- 碎裂结构
- 块裂结构
- 镶嵌-次块状结构



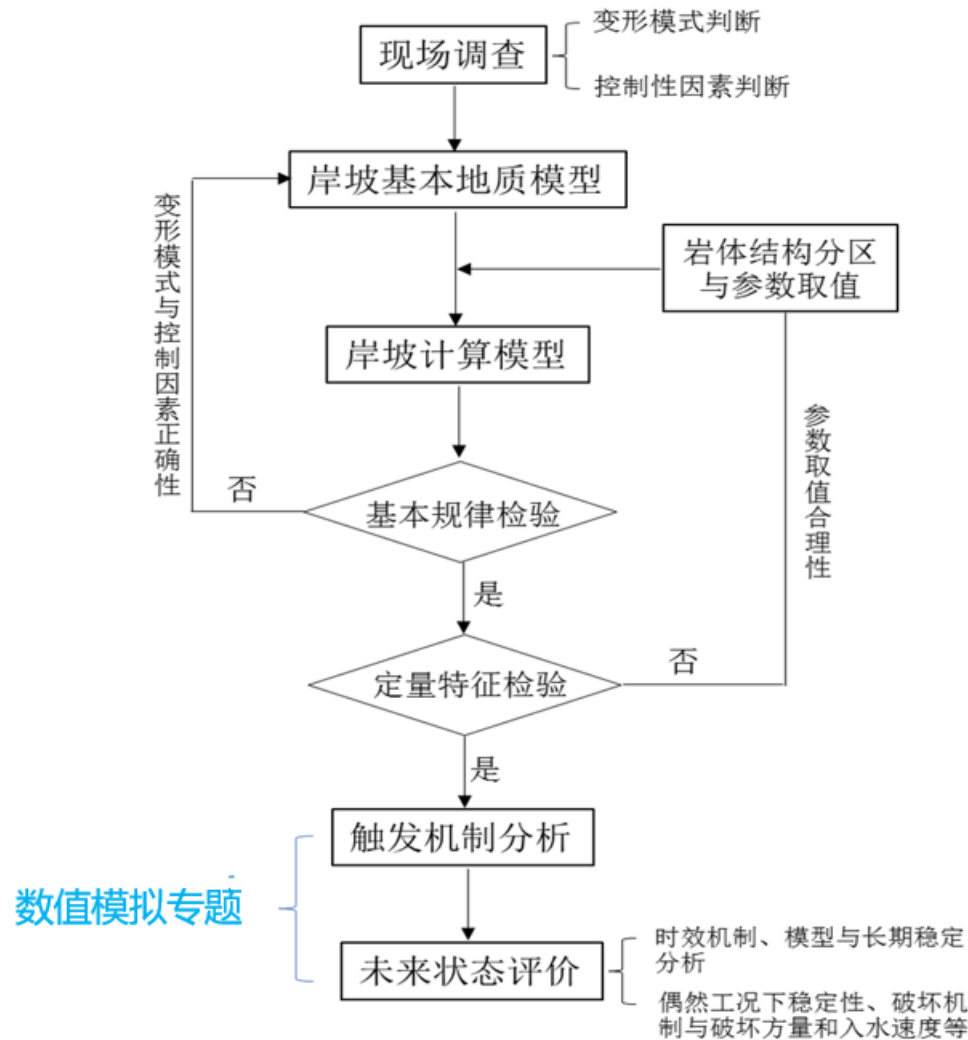
CONTENT

1. 工作背景
2. 边坡工程BIM技术路线
3. 边坡工程BIM关键技术
- 4. 应用案例**
5. 小结

4.1 高陡边坡地质分析及变形机制研究



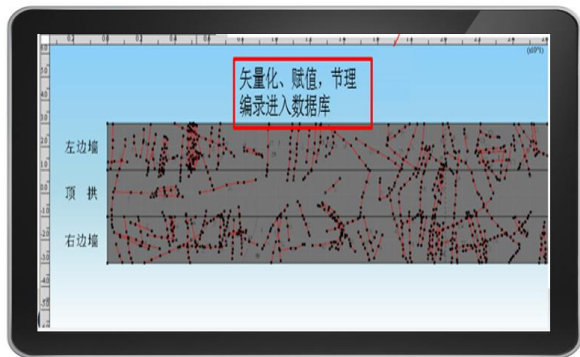
岸坡监测变形



数值模拟专题

研究工作技术路线

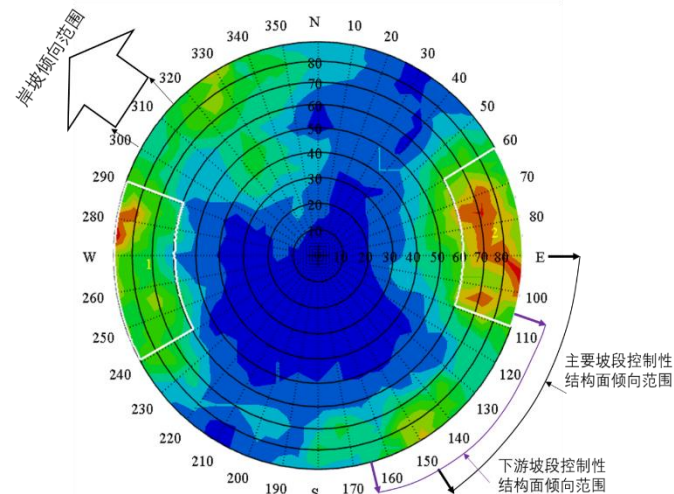
4.1.1 现场工作概况



平硐电子化编录

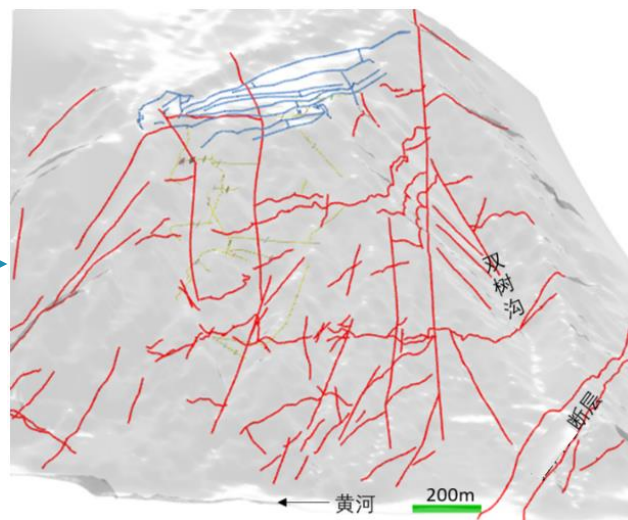
| 书理编号 | 桩号 | 倾向 | 倾角 | 书理类型 | 书理状态 | 地下水状态 | JMC | 结合度 |
|------|------|--------|-------|------|-------------------|-------|-----|-----|
| 1_2 | 0.39 | 140 | 38 | - | 05 微珠泥质平直光面 | 积水 | - | - |
| 4_2 | 0.62 | 220 | 42 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 积水 | - | - |
| 5 | 0.64 | 155 | 32 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 积水 | - | - |
| 1_5 | 0.97 | 140 | 38 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 潮湿 | - | - |
| 2_2 | 1 | 225 | 13 | - | 09 微珠岩质起伏光面或平直粗糙 | 积水 | - | - |
| 4_1 | 1.19 | 220 | 42 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 1_3 | 1.24 | 140 | 38 | - | 03 张开泥质 | 流水 | - | - |
| 4_3 | 1.44 | 220 | 42 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 积水 | - | - |
| 1_1 | 1.5 | 140 | 38 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 湿润 | - | - |
| 1 | 1.6 | 140 | 38 | - | 05 微珠泥质平直光面 | 湿润 | - | - |
| 8 | 1.72 | 250 | 10 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 湿润 | - | - |
| 7 | 1.75 | 40 | 50 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 3_2 | 1.8 | 155 | 28 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 积水 | - | - |
| 3_3 | 1.88 | 155 | 28 | - | 05 微珠泥质平直光面 | 湿润 | - | - |
| 2_5 | 1.92 | 225 | 13 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 积水 | - | - |
| 3 | 2.11 | 155 | 28 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 积水 | - | - |
| 3_1 | 2.18 | 155 | 28 | - | 04 张开 (5-10mm) 岩缝 | 湿润 | - | - |
| 2_1 | 2.27 | 225 | 13 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 潮湿 | - | - |
| 2 | 2.48 | 225 | 13 | - | 05 微珠泥质平直光面 | 潮湿 | - | - |
| 2_3 | 2.55 | 225 | 13 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 11 | 2.92 | 113.96 | 58.69 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 湿润 | - | - |
| 10 | 2.96 | 40 | 80 | - | 06 微珠泥质起伏光面或平直粗糙 | 积水 | - | - |
| 9 | 3.38 | 270 | 62 | - | 05 微珠泥质平直光面 | 湿润 | - | - |

地质数据库



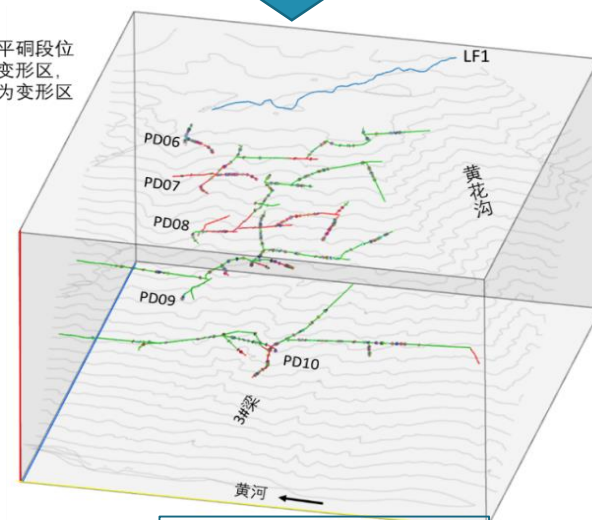
岸坡结构面 (断层和裂隙) 极点等密图

地表测绘



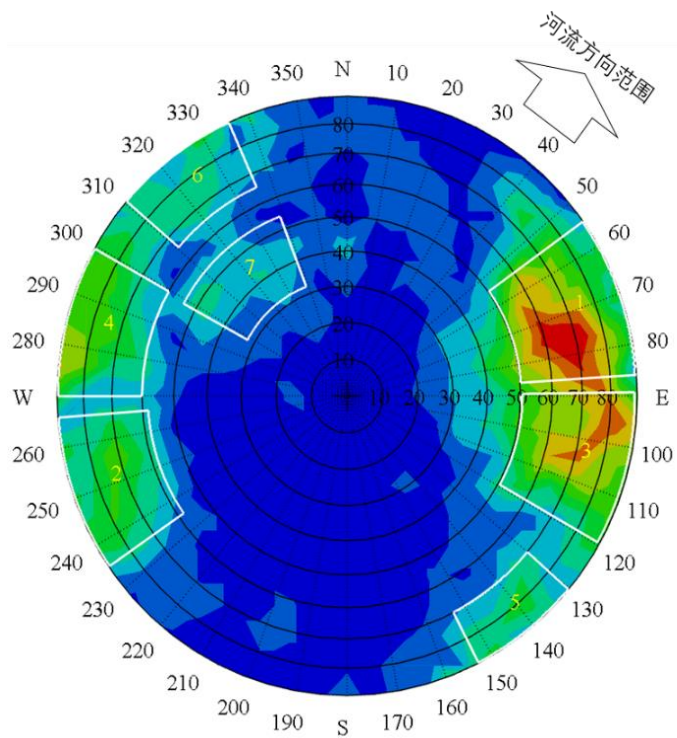
岸坡断层+地裂缝露头

绿色平硐段位于未变形区, 红色为变形区



断层空间分布

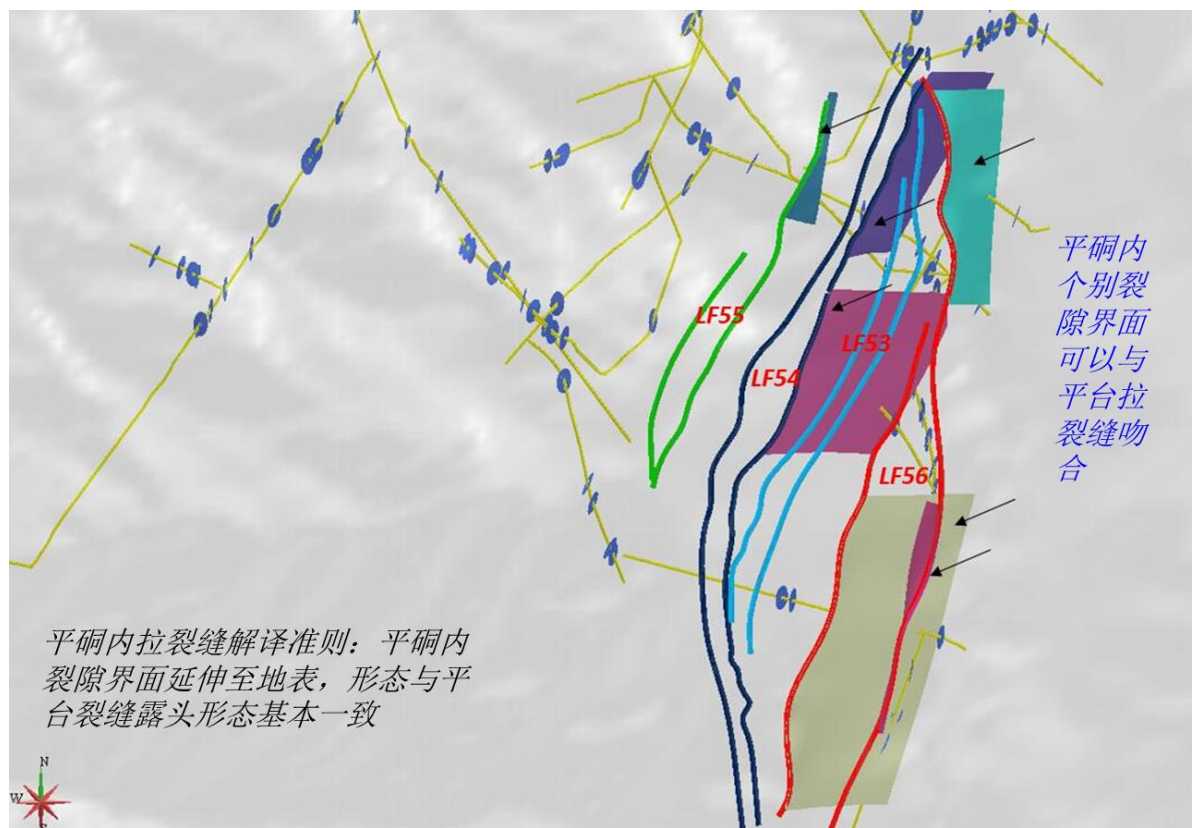
4.1.2岸坡断层分布三维模型



557条断层

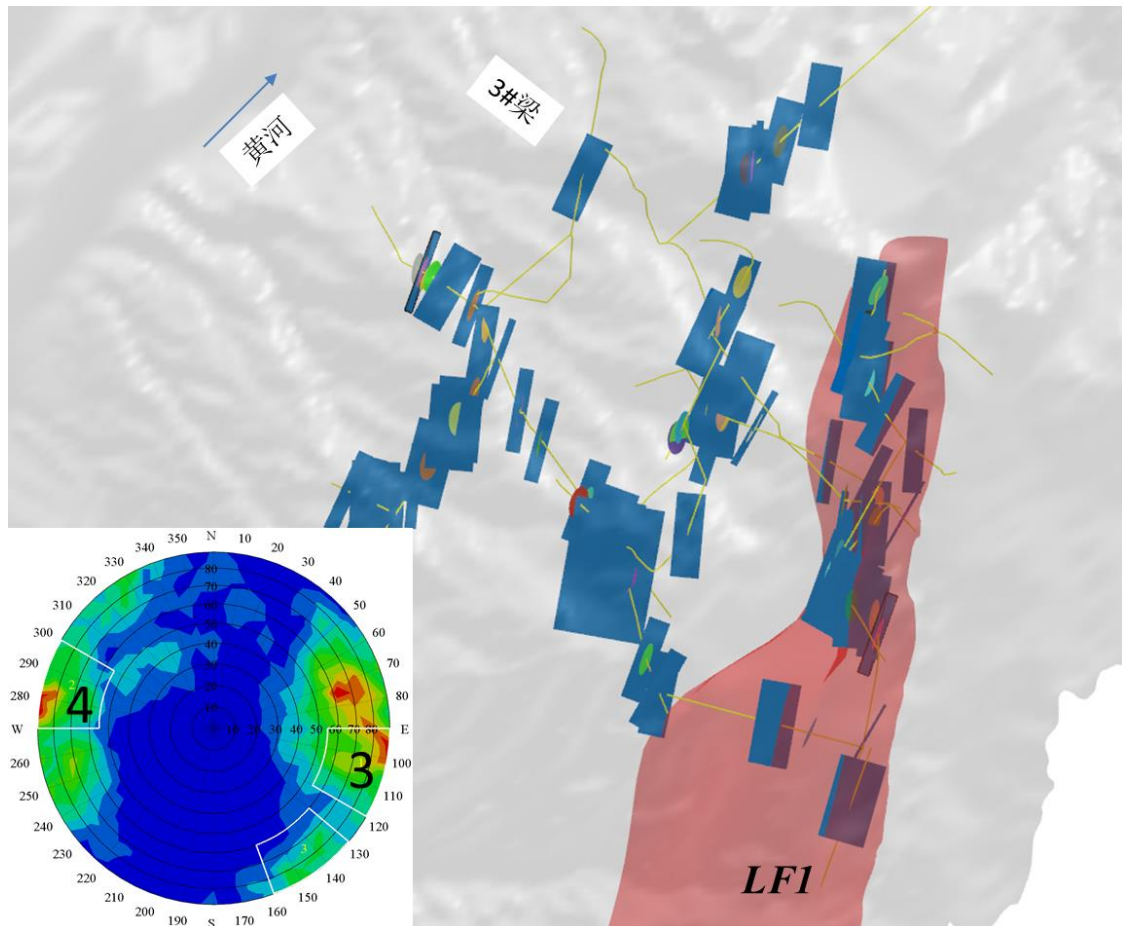
- 第1组：与岸坡走向夹角大于30°，陡倾下游；第2组与之共轭
- 第3组：与岸坡走向夹角小于30°，陡倾下游，第4组与之共轭
- 第5组：与岸坡走向夹角小于30°的走向断层，陡倾坡内。
- 第6组与之共轭
- 第7组：走向断层，中倾坡外。

岸坡平硐揭露的断层统计图

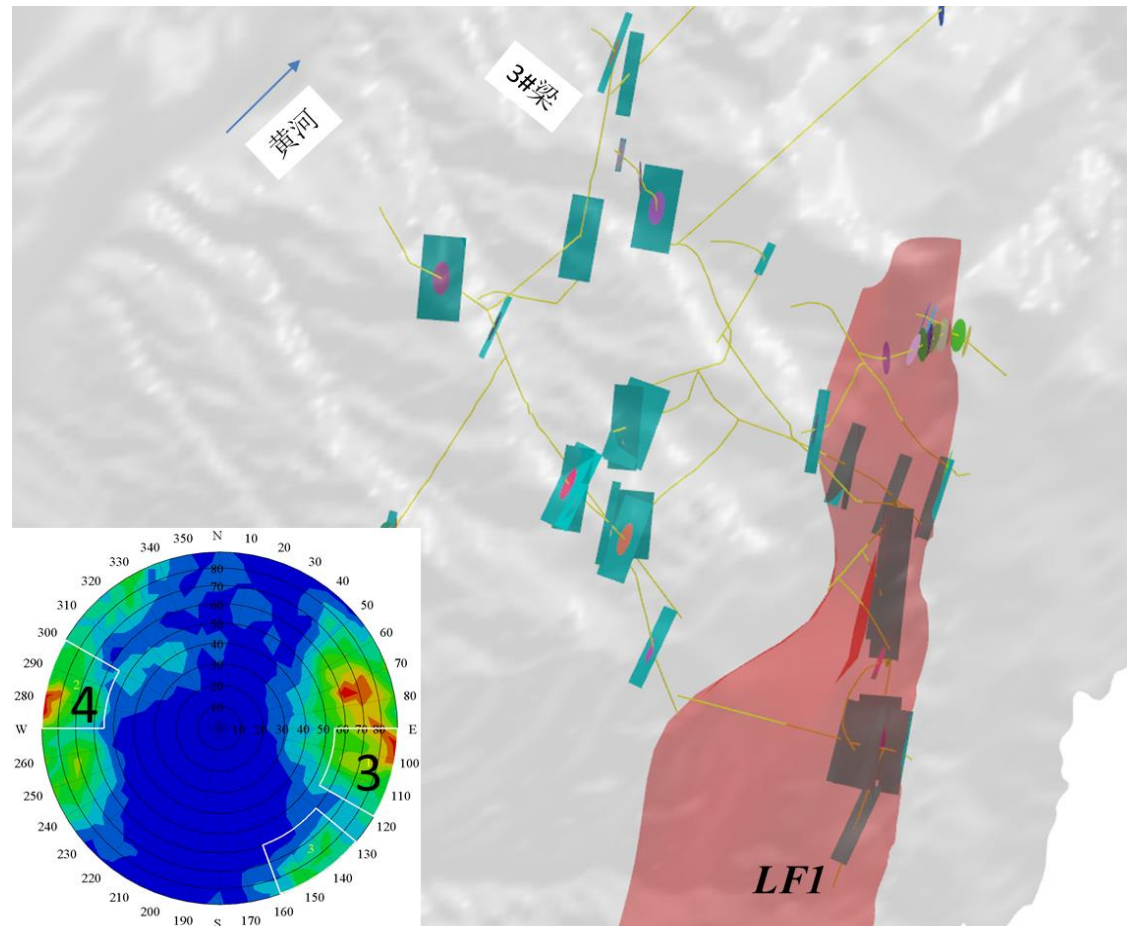


岸坡顶部平台长大裂隙最大可能延伸长度的三维模型

4.1.3 控制性断层三维模型



岸坡斜向陡倾坡内断层三维模型

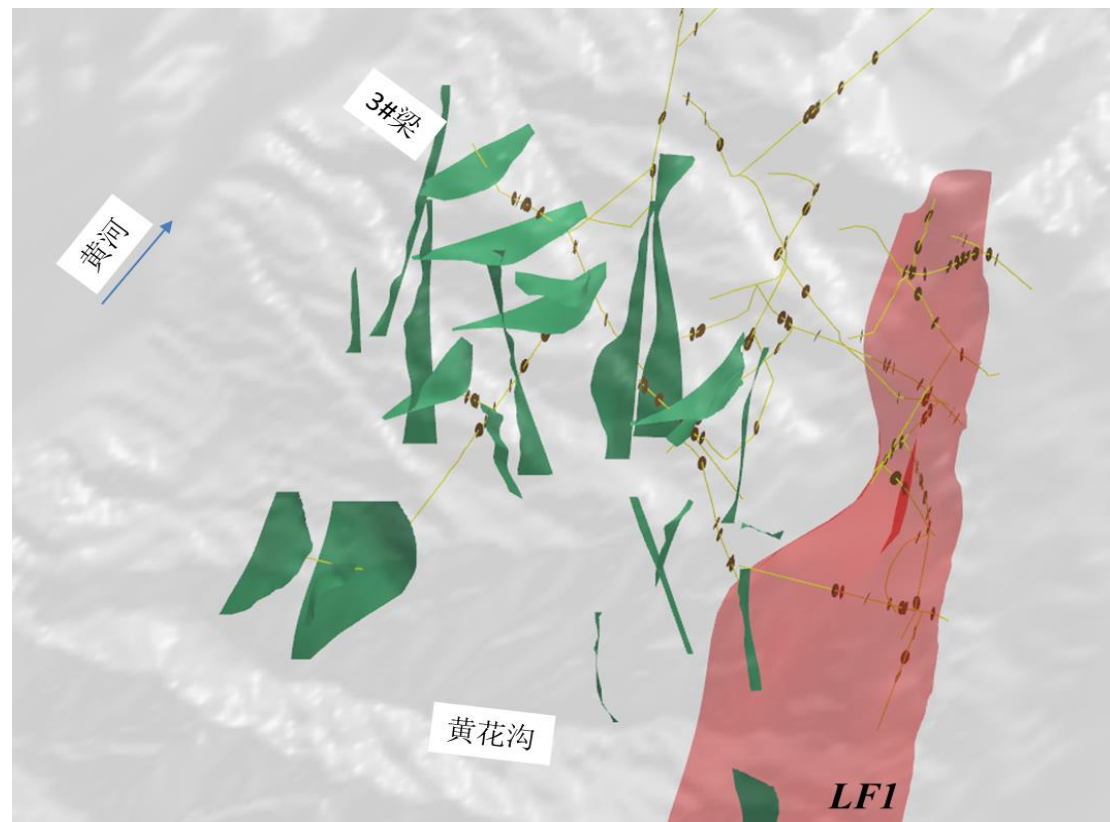


岸坡斜向陡倾坡外断层三维模型

4.1.4地表出露断层三维模型



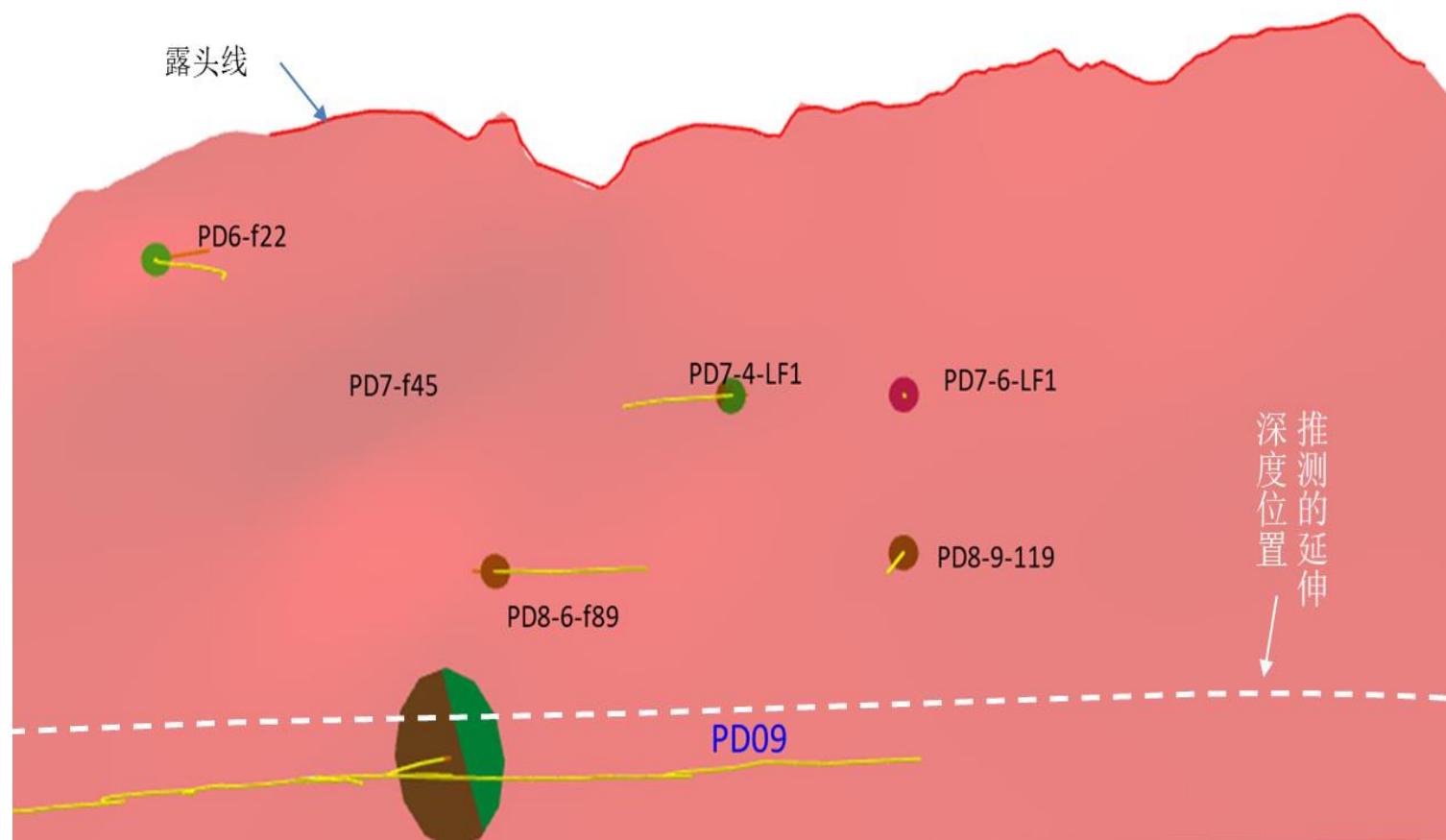
以岸坡断层地表露头线创建的三维模型



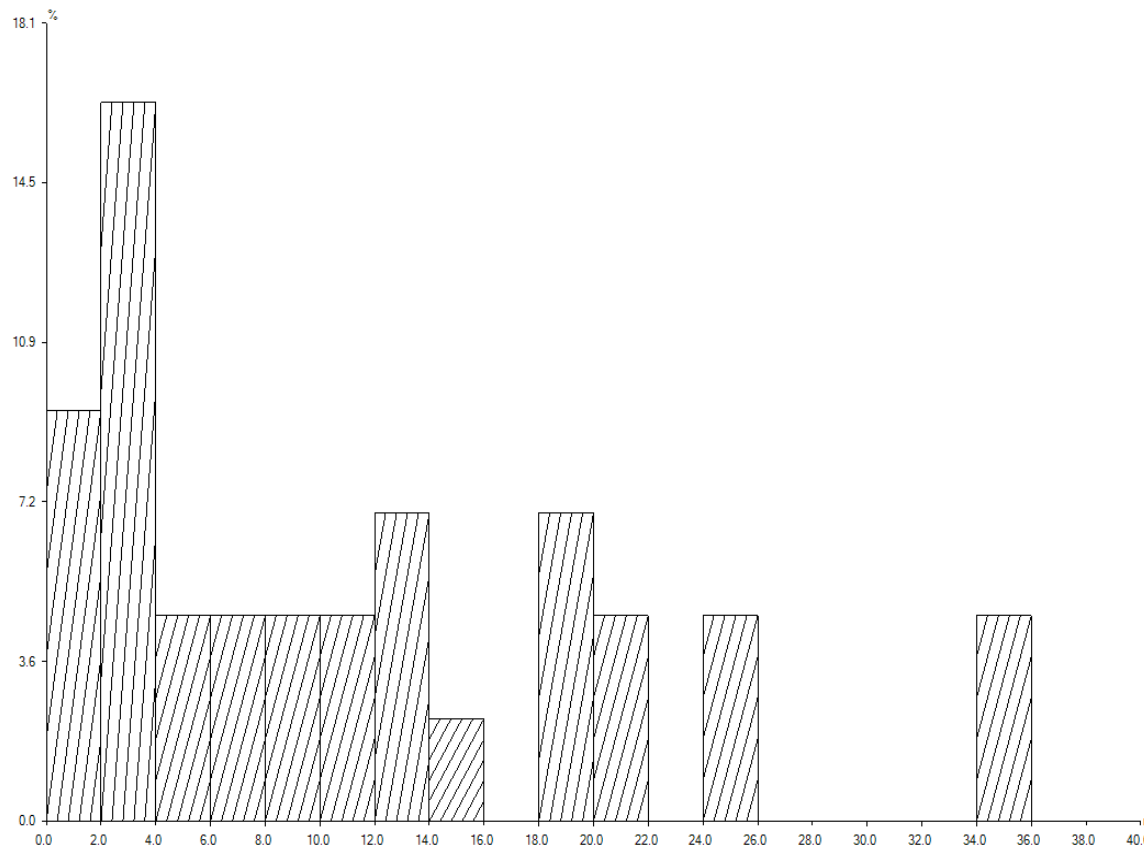
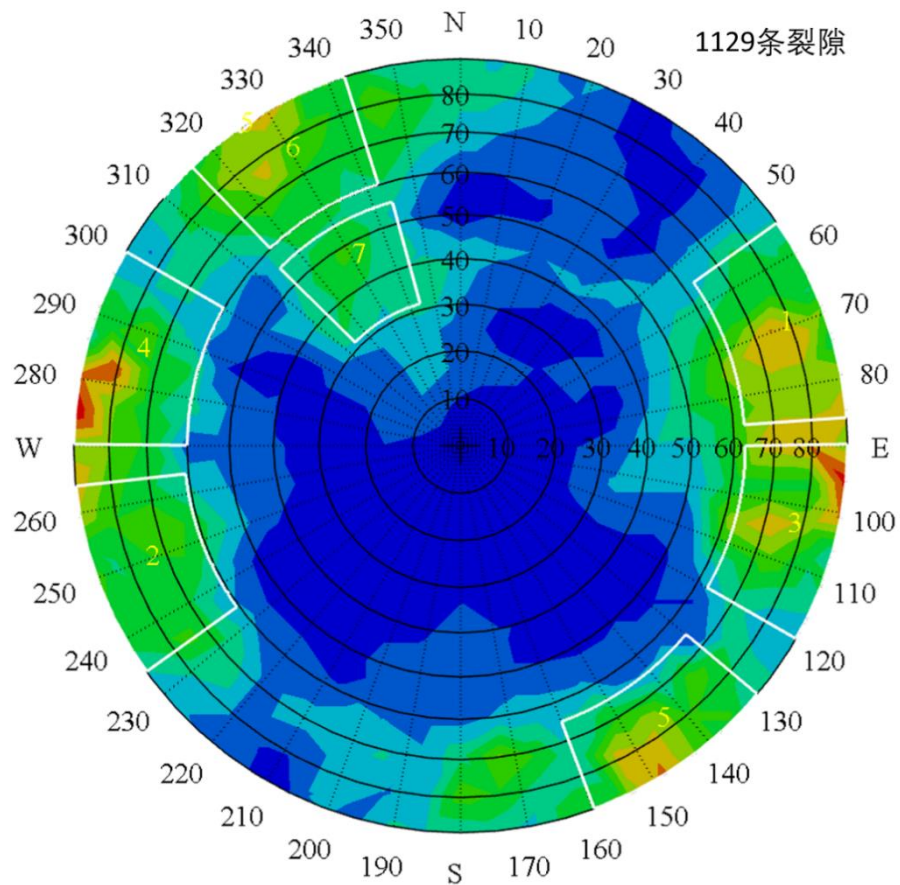
以岸坡地表裂缝为依据创建的三维模型

4.1.5 岸坡顶部平台长大裂隙延伸深度解译模型

勘探结果显示，PD6_f22、PD7-4_LF1、PD7-F45、PD7-6_LF1、PD8-9_119之间空间位置和产状特征均能与地表LF1后缘保持良好。PD09揭露的露头与LF1缺乏良好一致性，因此推断LF1未延伸到PD09、即2600m高程。



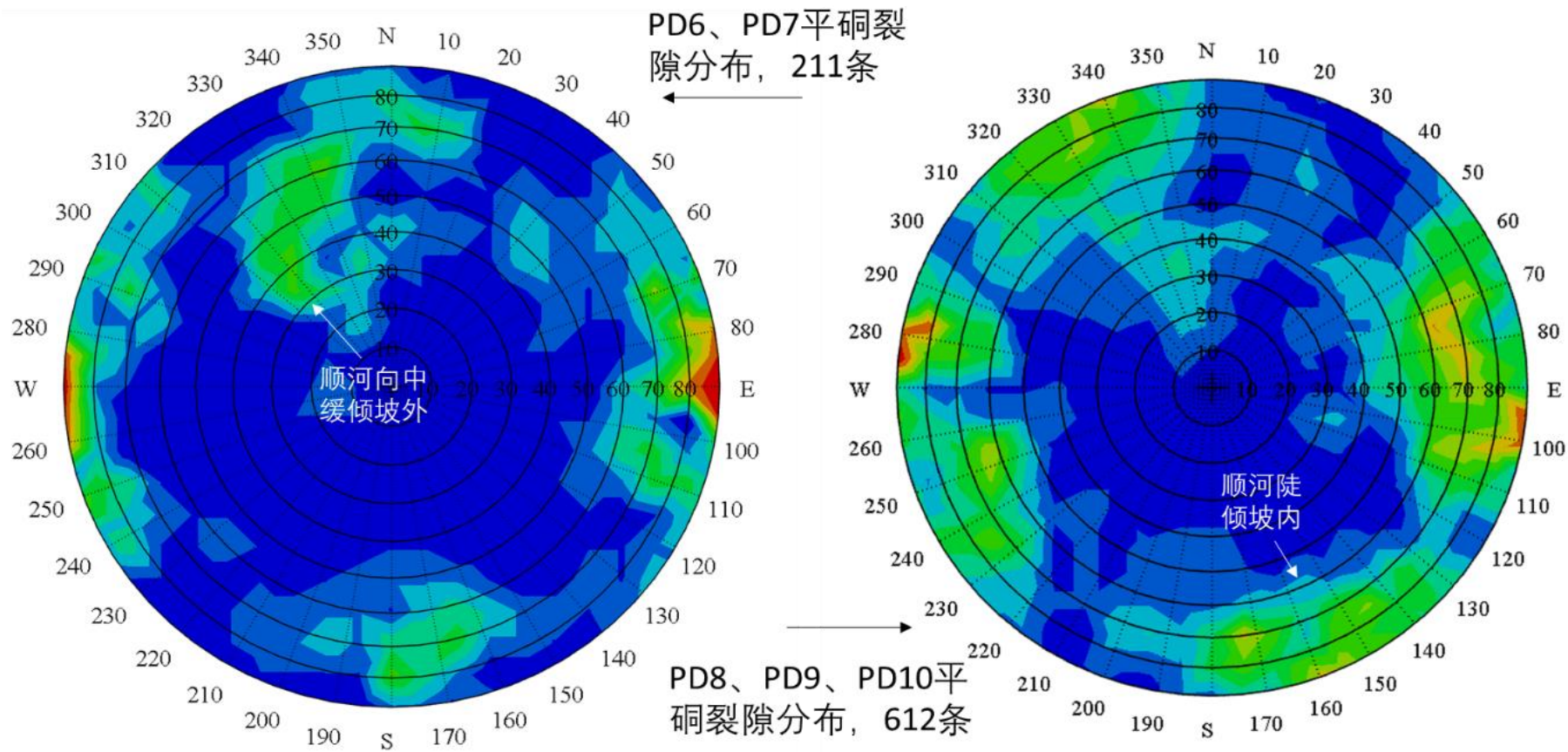
4.1.6岸坡裂隙统计分布



岸坡平硐揭露的裂隙统计图（包括卸荷裂隙、张开裂缝）

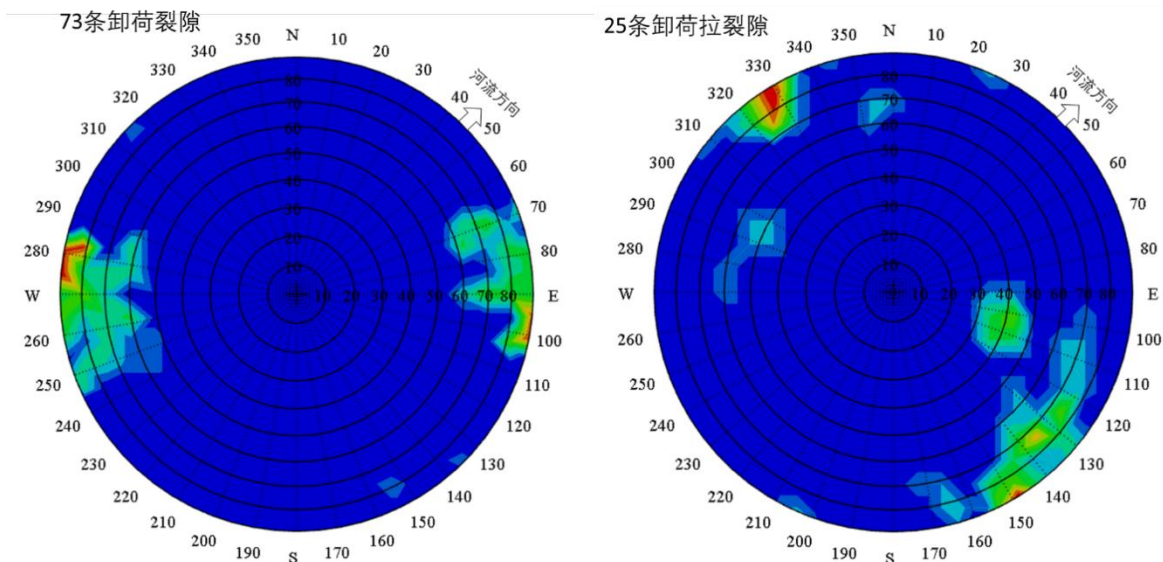
岸坡平硐揭露的顺河陡倾坡内裂隙间距统计分布

4.1.7 优势性裂隙与空间分布

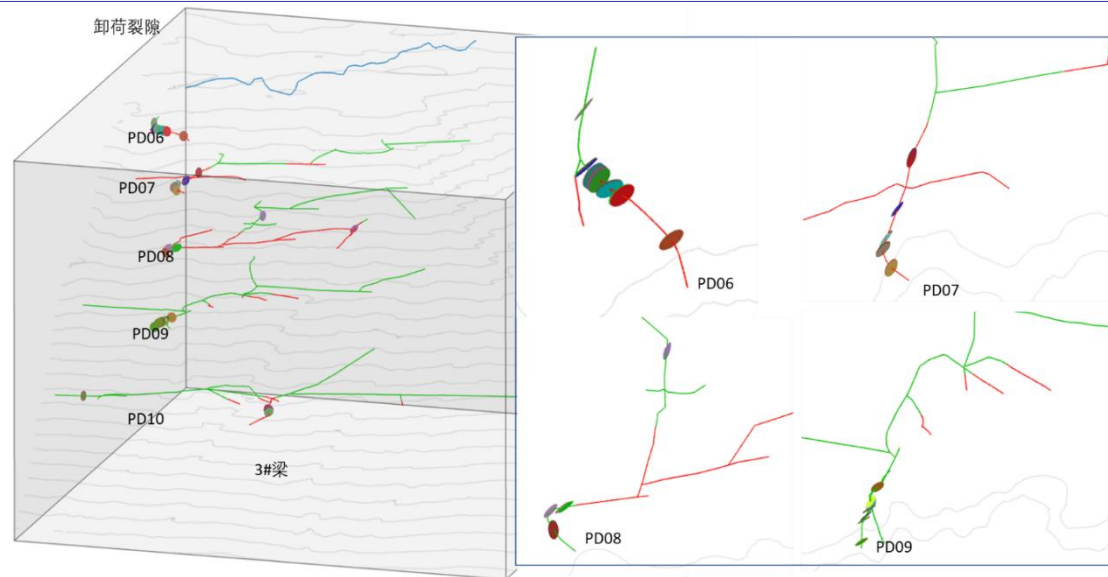


岸坡2750m以上（左）和以下（右）平硐揭露裂隙极点等密图

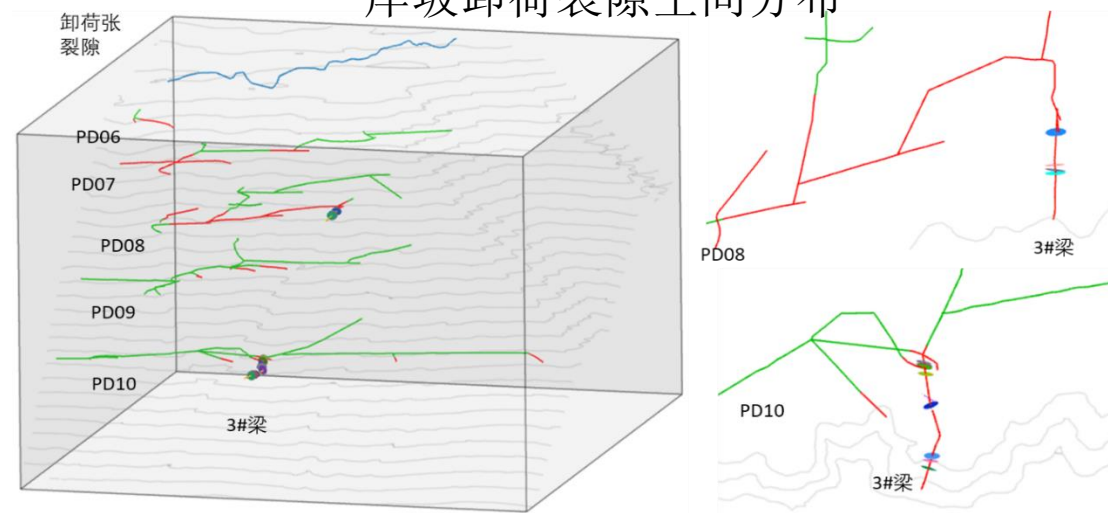
4.1.8卸荷裂隙与空间分布



岸坡平硐揭露的卸荷裂隙（左）和张开裂缝统计图

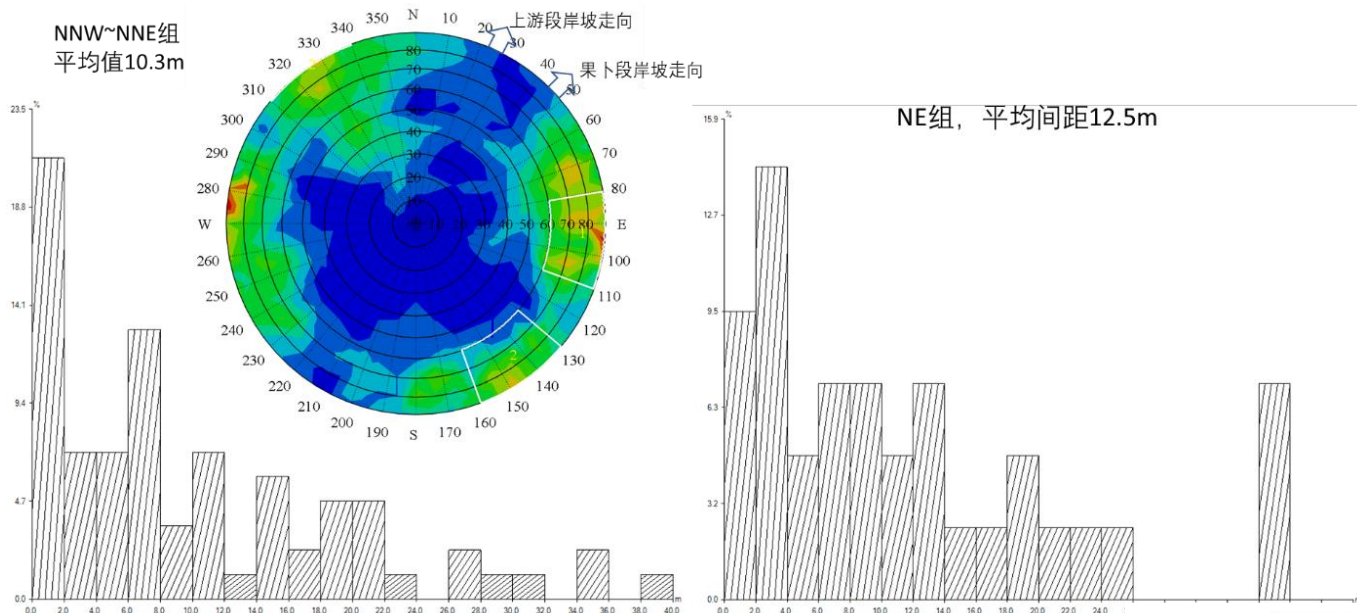


岸坡卸荷裂隙空间分布

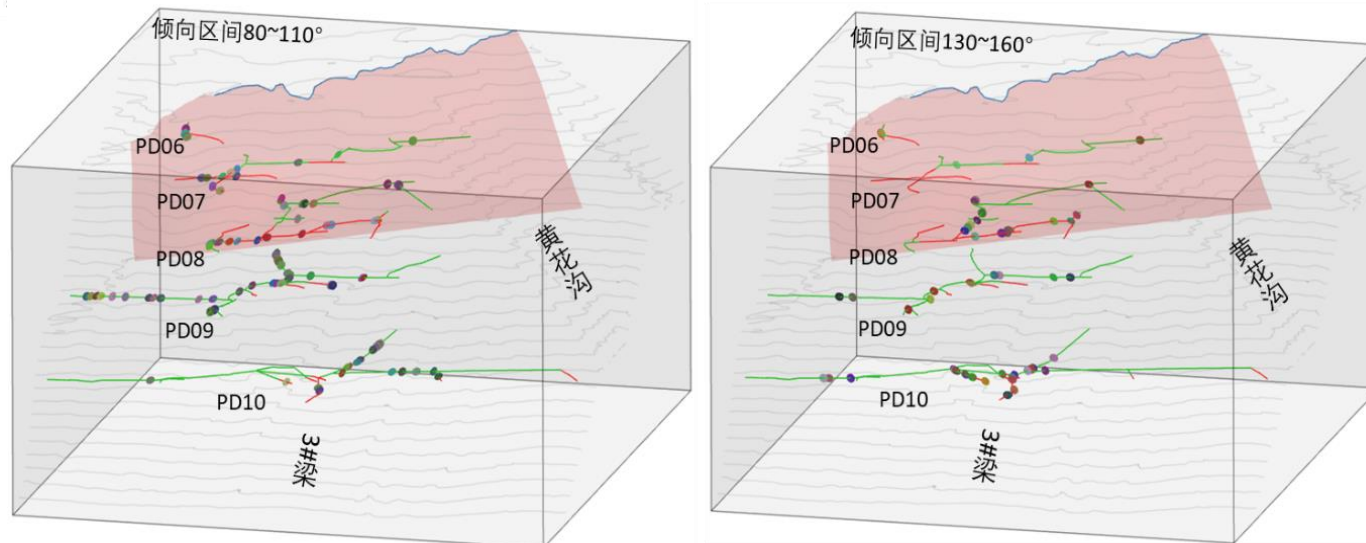


岸坡卸荷张裂隙空间分布

4.1.9 控制性裂隙与空间分布



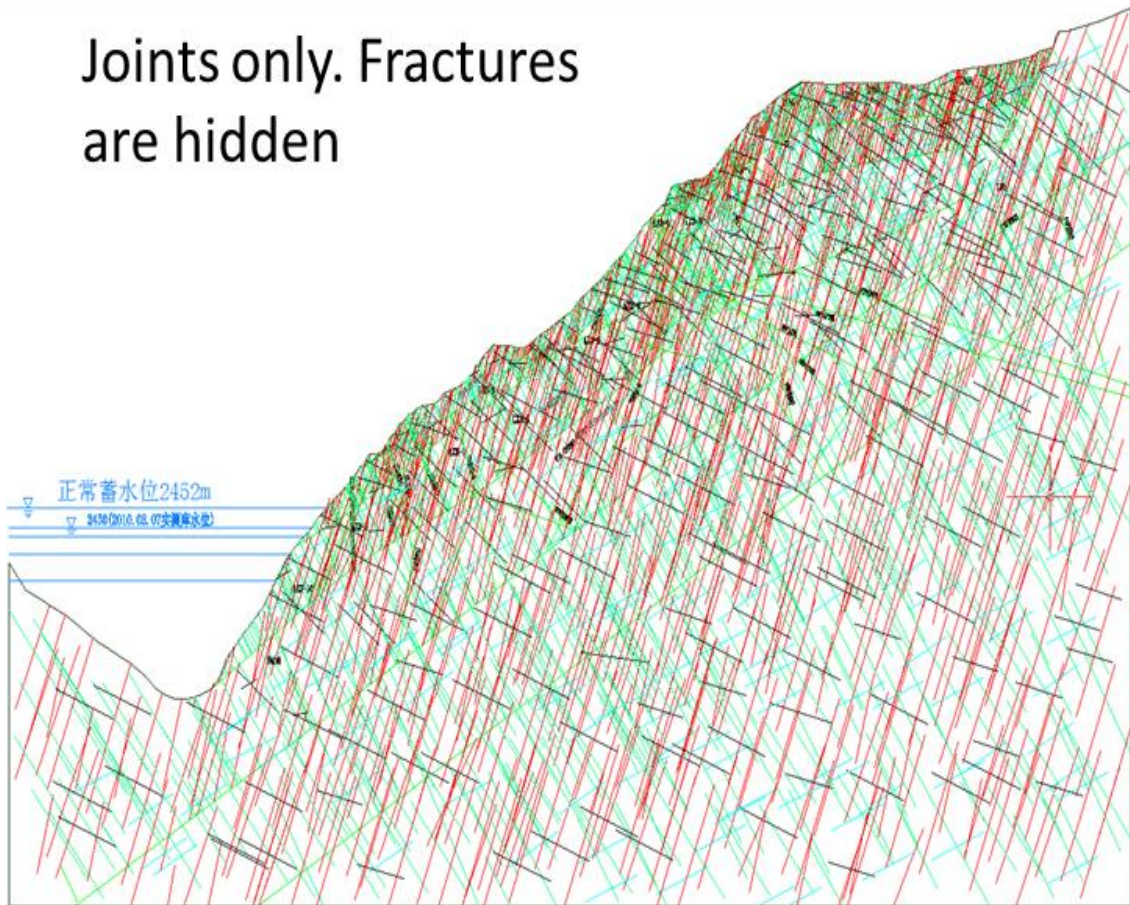
岸坡两组控制性裂隙间距统计分布



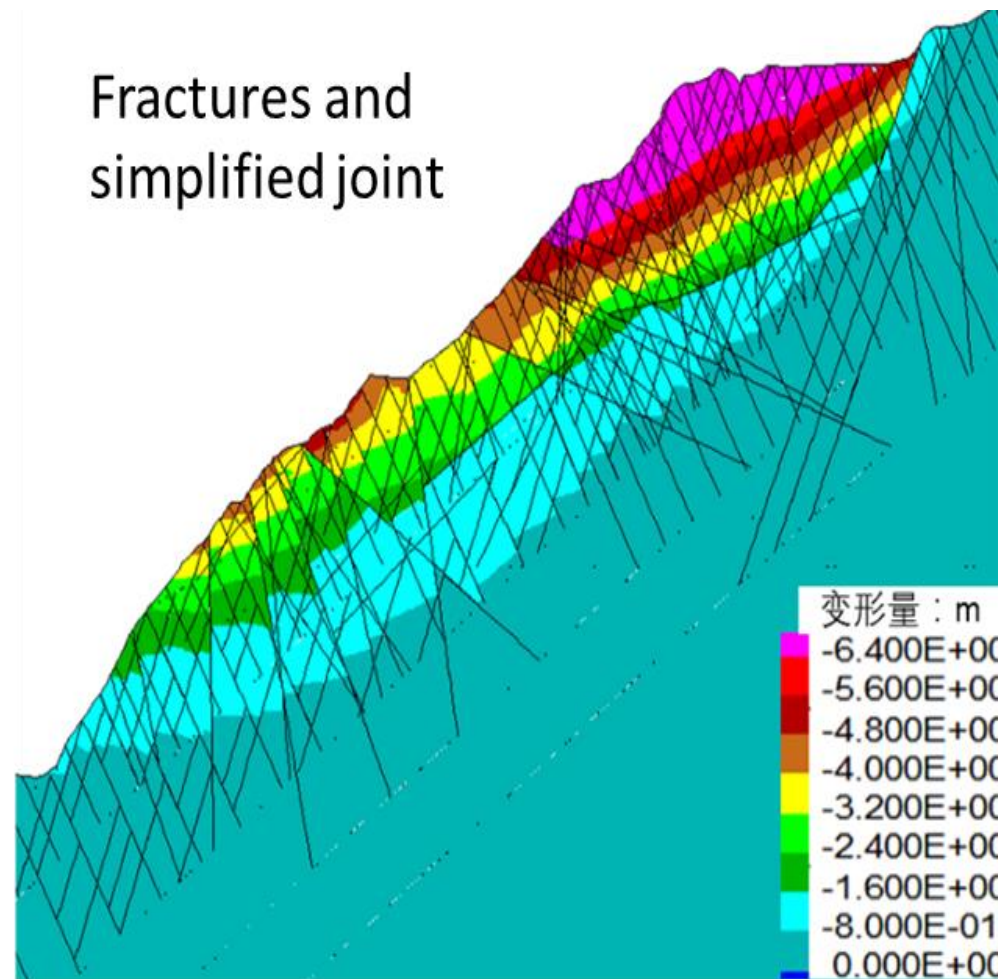
两组控制性裂隙露头空间分布

4.1.10 节理网络模拟—数值计算的基础

Joints only. Fractures are hidden

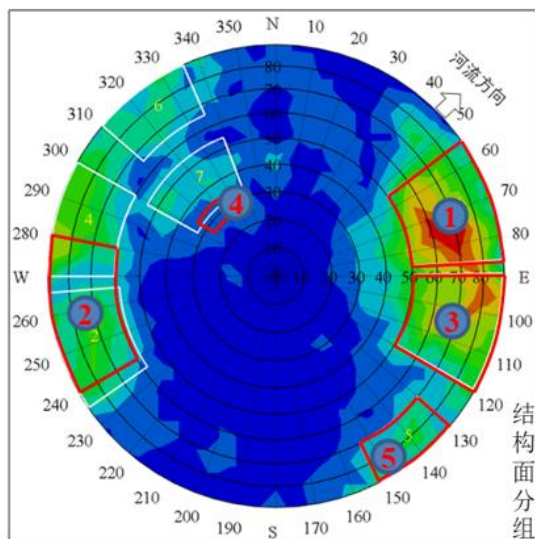


Fractures and simplified joint



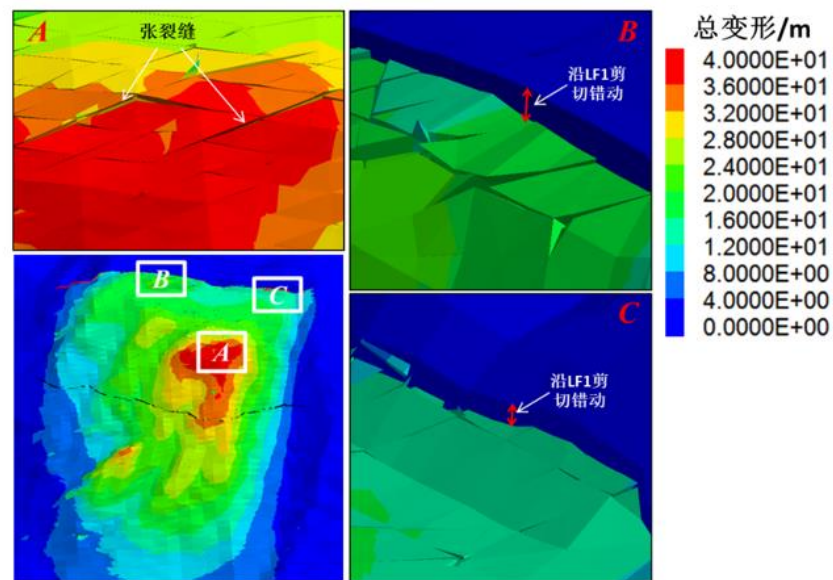
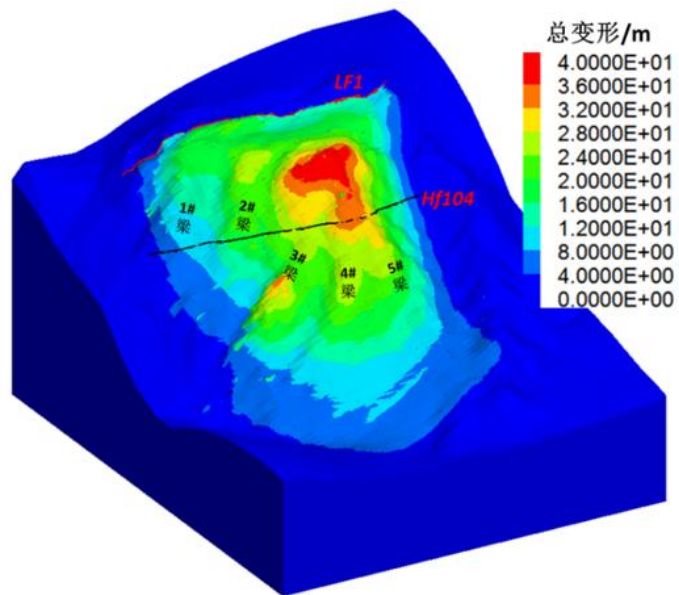
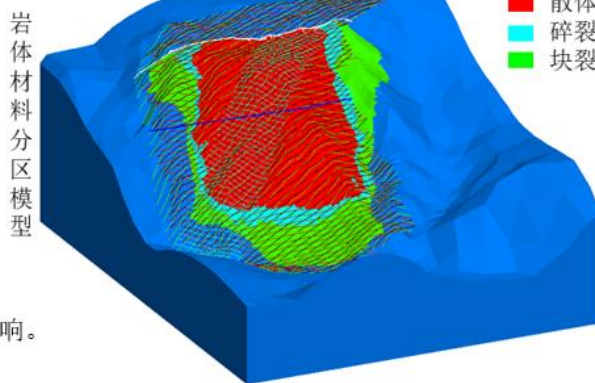
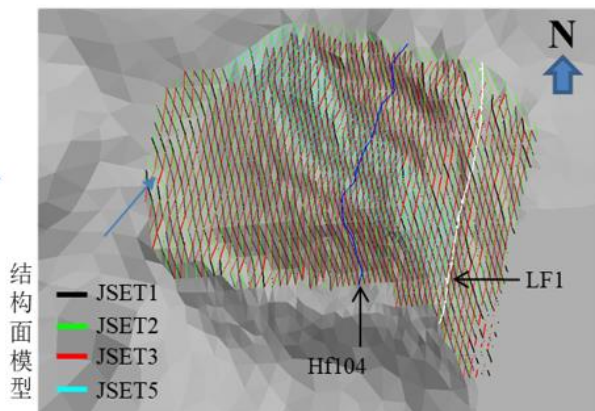
岸坡V剖面地质模型（左）与二维计算模型（右）

4.1.11 基于地质模型的三维数值建模



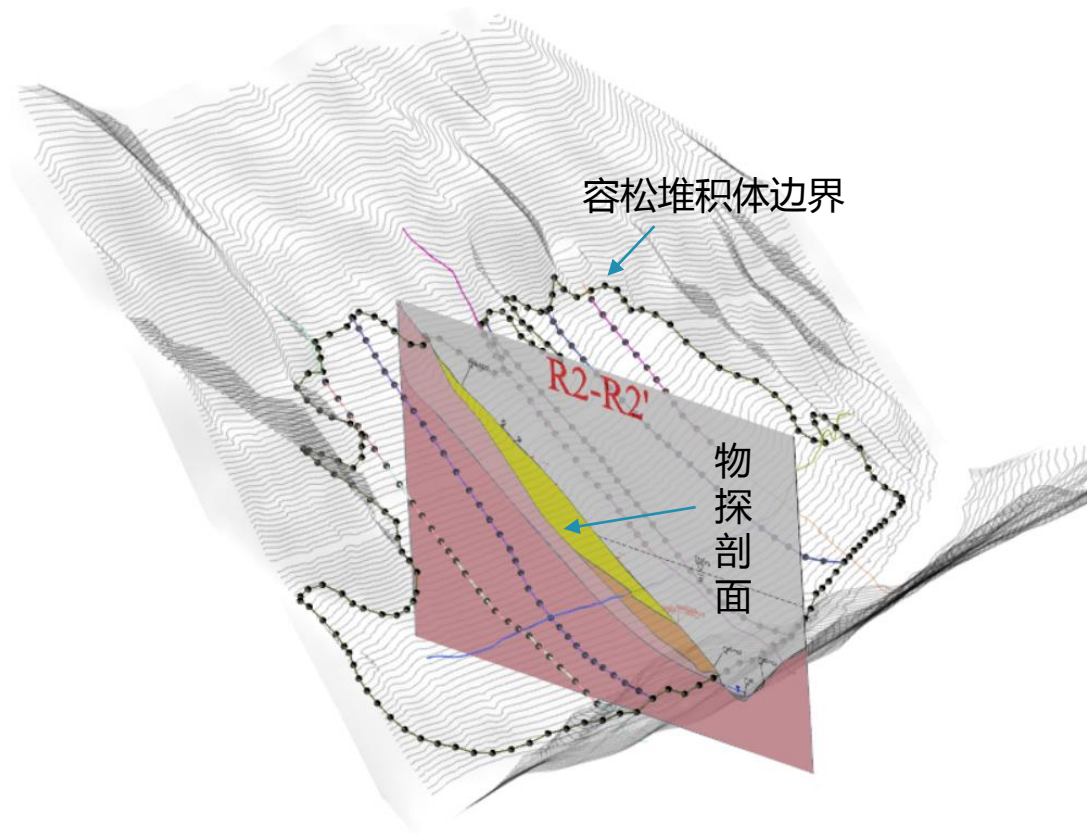
模型主要参数说明:

- 长大结构面: LF1、Hf104;
- 优势性结构面: 主要纳入四组优势性裂隙(左侧上图所示), 其中第2组旨在综合体现了SW60°—NW80°范围内顺坡陡倾结构面作用;
- 优势性结构面间距: 以2700m高程为界, 间距比率为1.25;
- 岩体力学材料设置: 体现岩体结构带及区域断裂的影响。



岸坡三维模型与验证

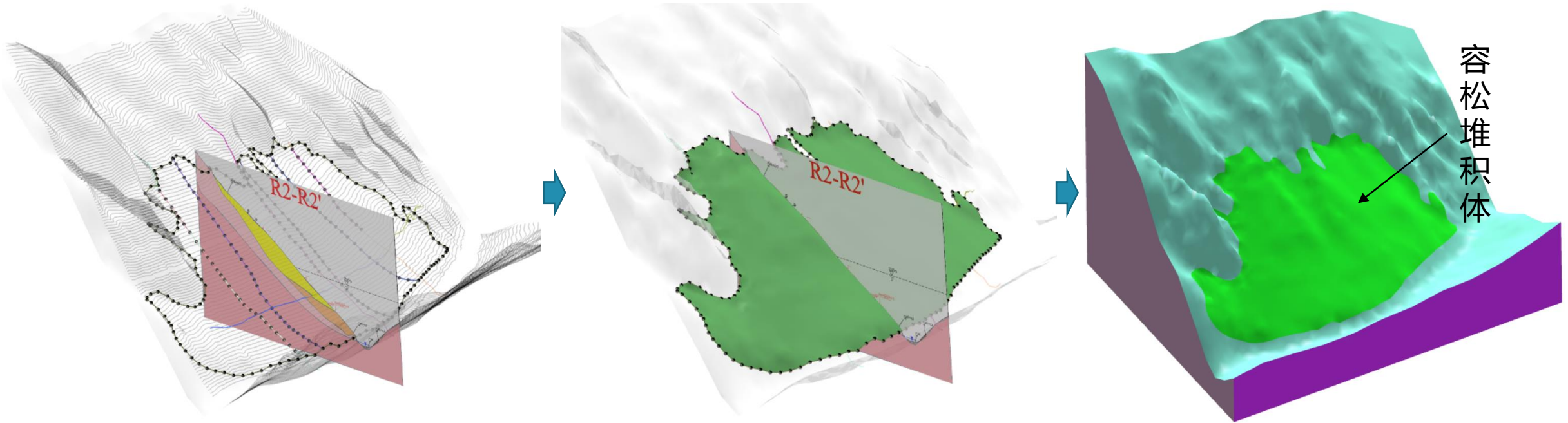
4.2 堆积体BIM技术应用：地质建模与分析



4.2.1 三维地质模型：少量勘探+大量物探



勘探起到校正作用！



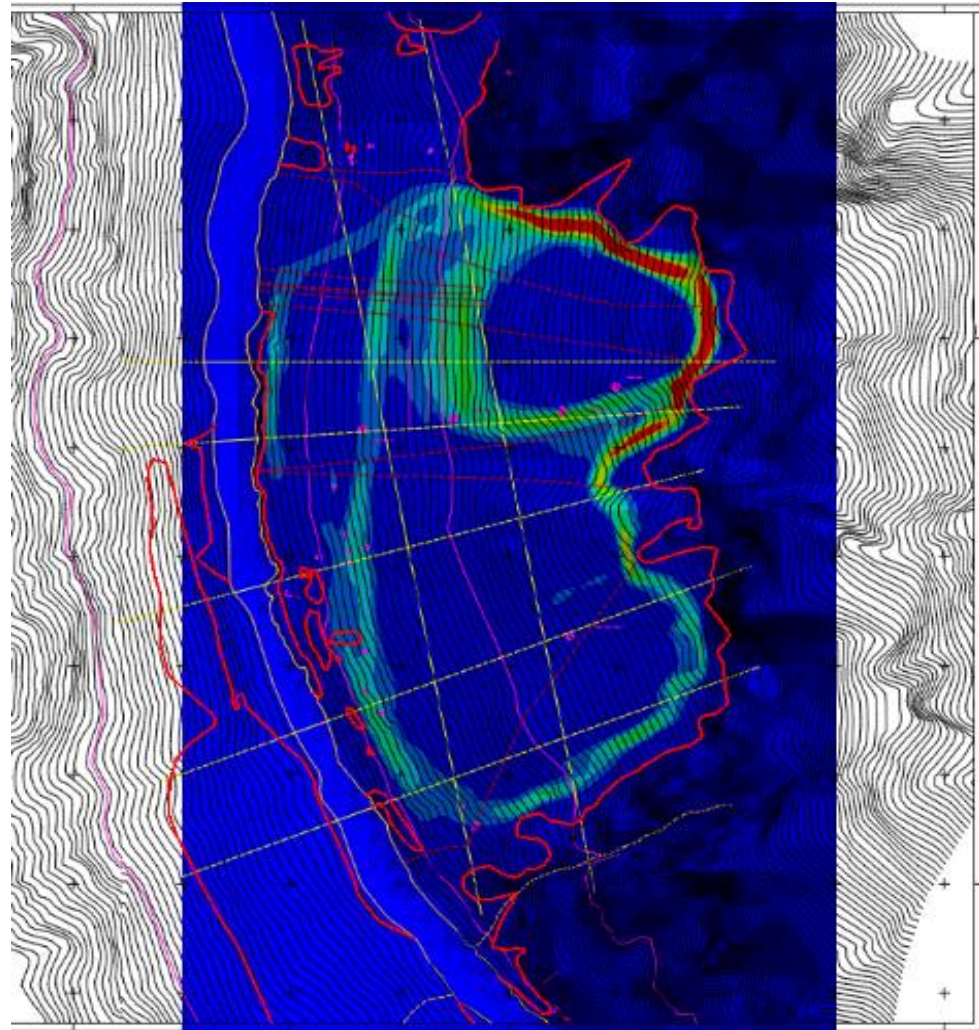
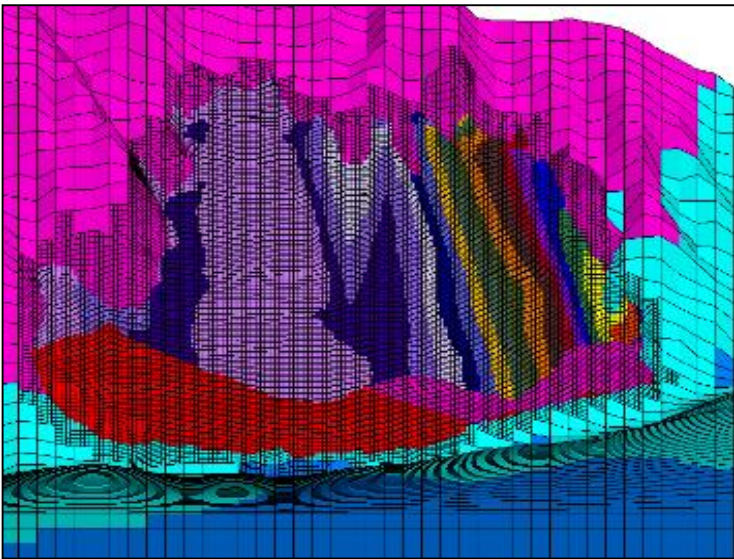
- 容松堆积体地表出露边界
- 物探剖面推测容松堆积体底板
- 局部部位推测厚度

覆盖层建模流程

容松堆积体地质模型

4.2.2容松堆积体数值模型

基于地质三维模型创建地质边界可靠的
FLAC3D 计算模型



地质边界条件正确的数值计算结果用于堆积体的地质分区（稳定分区），受地质结构影响，**4,000**万方堆积体中约**400**万方稳定较差，需要进行工程处理，明确回答了工程问题，需要



CONTENT

1. 工作背景
2. 边坡工程BIM技术路线
3. 边坡工程BIM关键技术
4. 应用案例
- 5. 小结**

- **BIM技术边坡模块开发建立在大型工程实践基础上，必须掌握核心技术和持之以恒的不懈努力**
 - 国际现有BIM平台不能完全满足要求，必须是掌握核心技术的**自主开发**
 - 边坡工程BIM平台研发离不开大型工程实践，需求分析及功能规划旨在解决实际工程遇到的重难点问题，必须是特定**建模技术**的**行业定制**开发
 - 满足边坡工程BIM要求的特定技术非常**稀少**，平台开发周期平均**15**年
- **BIM技术应用于边坡工程，显著提高边坡工程三维信息化水平，针对性解决工程实践遇到的重难点问题，且会成为新的市场准入门槛**
 - 政策要求和推动：2016~2020发展纲要...
 - 技术先进性和成熟性：基于DSI建模技术、水电等行业的成功应用
 - 应用积累：通过技术手段解决应用过程的问题（含位置信息的结构面统计、勘探解译）



边坡工程技术大会

Slope Engineering Technology Convention

敬
请
关
注



微
信
公
众
号