

筑牢地质安全屏障，守护企业安全生产

彭卫平

广东省首届工程勘察设计大师、总岩土工程师 13925186921

教授级高工 注册土木工程（岩土）师 一级建造师

广州市城市规划勘测设计研究院
广东省城市感知与监测预警重点实验室
城市安全技术研究中心

目 录

- 1 城市地质安全隐患**
- 2 地灾防治关键技术与实践**
- 3 应急救援技术探索**

1

城市地质安全隐患

- (1) 广州城市发展新需求
- (2) 企业安全生产面临的地质环境
- (3) 地面灾变典型案例
- (4) 研究技术路线

城市风貌：六脉通四海，青山半入城；十里洋塘烟雨霏（山、水、城、田、海）

《水经注》：睹巨海之浩茫，观原蔽之殷阜，斯诚海岛青艘之地。（北魏，郦道元）

北部地区

5292km²

山体森林的生态风貌

北部低山丘陵

中部低丘台地

南部冲积平原

中部地区

1339km²

传统与现代交融的都市风貌

南部地区

803km²

滨海新城风貌

1.1 广州市城市发展新需求---全国先进制造业基地、改革开放排头兵

广州的四大核心功能包括：

国际商贸中心

广州是国际商贸的重要中心，吸引全球商家和投资者

全国先进制造业基地

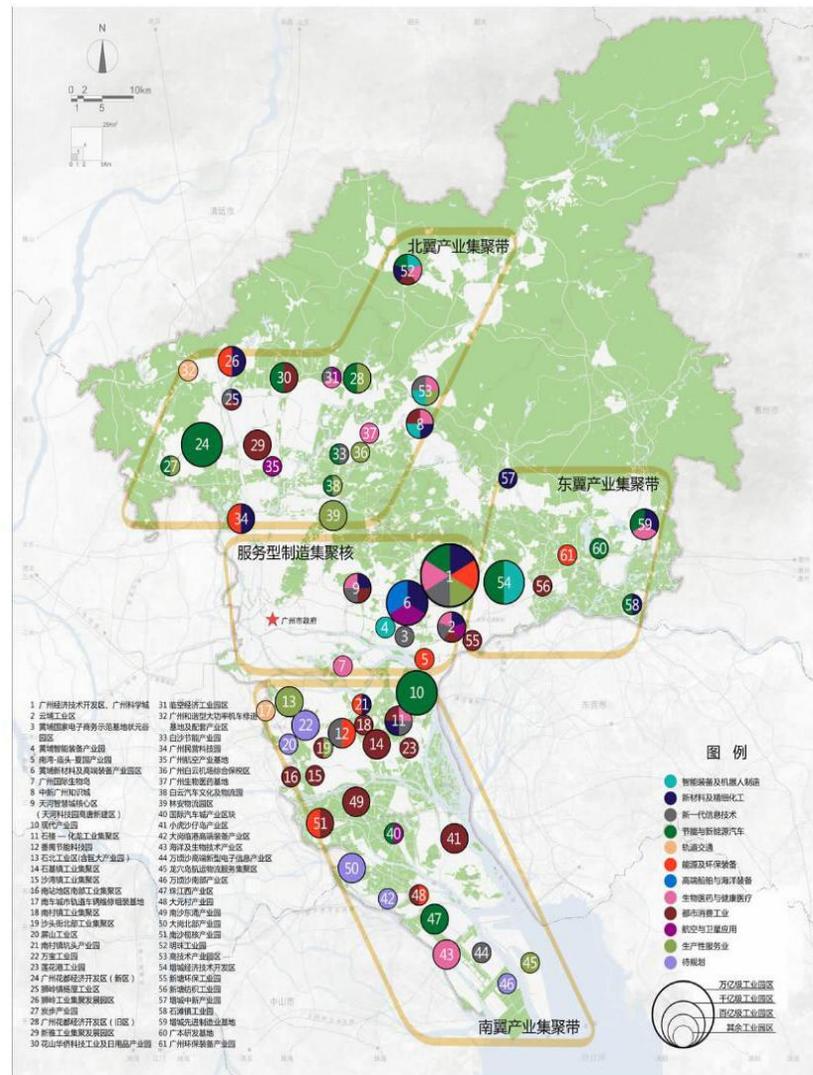
广州在先进制造业方面具有领先地位，推动制造业的发展和

综合性门户

广州在区域合作和国际交流中发挥关键作用

国际科技创新中心重要承载地

广州在科技创新方面具有重要地位，是科技创新的重要承载地



▲ 广州市“一核三翼多点支撑”先进制造业布局图

1.1 广州市城市发展新需求



2018年10月，习近平总书记视察广东时，要求广州实现**老城市新活力**，在综合城市功能、城市文化综合实力、现代服务业、现代化国际化营商环境方面**出新出彩**。



◆ 运营现代科学技术手段、大数据、物联网，用“绣花功夫”建设和管理特大城市，保证社会经济高质量发展，实现**老城市、新活力**。

1.2 大型滑坡---城市安全面临的巨大灾难

2015年11月20日深圳光明填土场高速滑坡，73人死亡，4人下落不明，17人受伤，房屋损毁



1.2 深圳光明滑坡事件促使深圳城安院建立

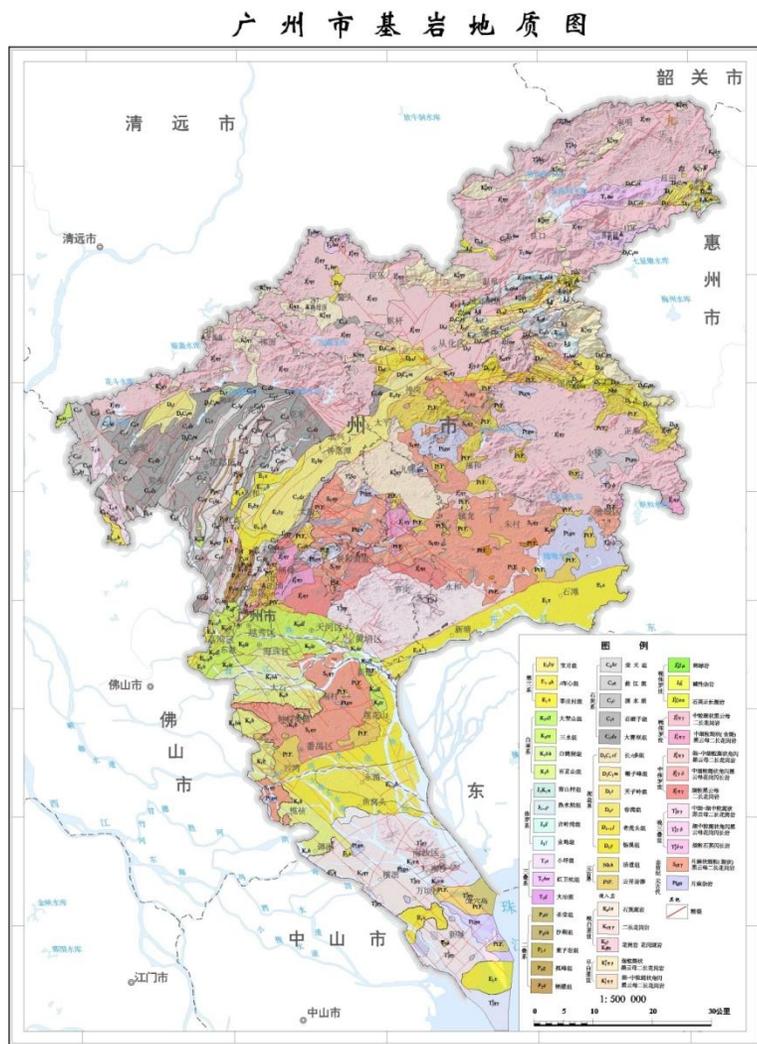
面向政府：深圳市城市公共安全技术研究院（深圳城安院）

围绕自然灾害、事故灾难、公共卫生、社会安全全场景，提供城市级安全保障方案
覆盖**应急、住建、交通、消防、水务、规自、燃气、气象**等多个领域



2015年“12.20”滑坡事故促使深圳城安院2016年初成立；
时任深圳市委书记马兴瑞、深圳市长许勤为公司揭牌

1.2 城市（企业）安全面临的地质环境

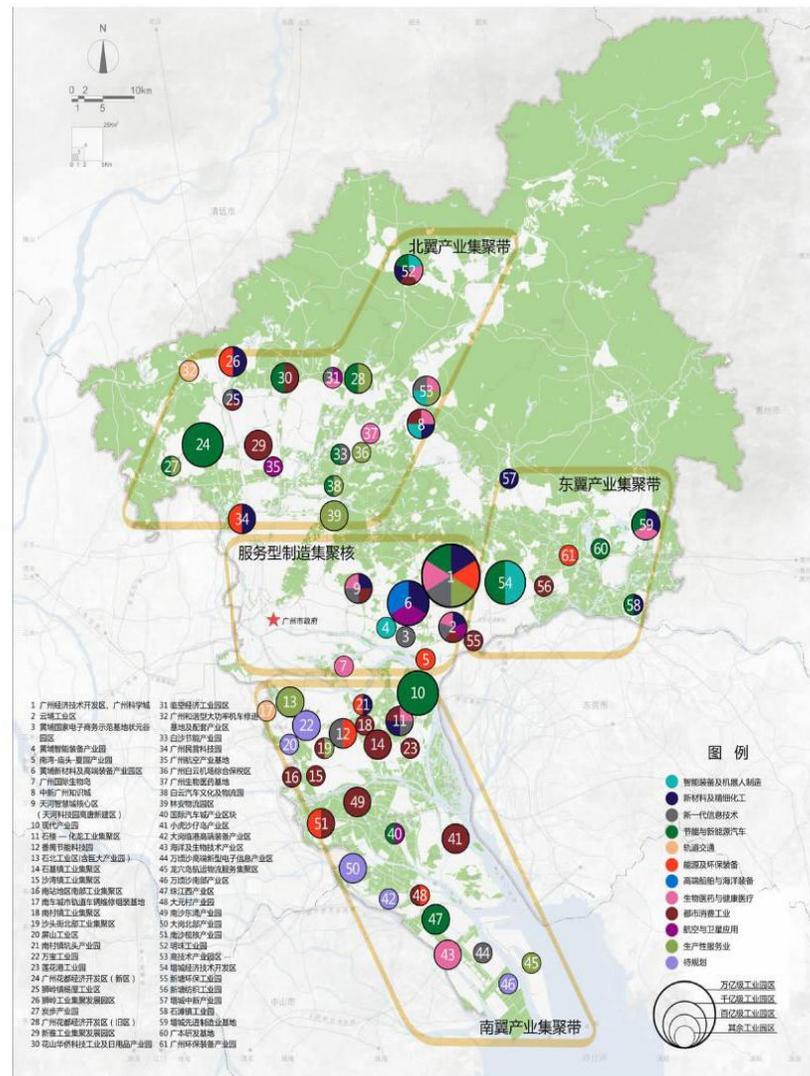


▲ 广州市基岩地质图

广州地下复杂

“地质博物馆”

- 1 地质构造复杂
- 2 岩土体种类多
- 3 北部滑坡崩塌
- 4 西部岩溶采空
- 5 东部孤石崩塌
- 7 南部厚层软土
- 8 地下水埋藏浅



▲ 广州市“一核三翼多点支撑”先进制造业布局图

1.3 地面灾变典型案例

2018年6月8日黄埔某山庄，台风“艾云尼”特大暴雨，地表雨水汇聚冲刷诱发坡面孤石滑落，撞击房屋剪力墙。



大量不稳定块体

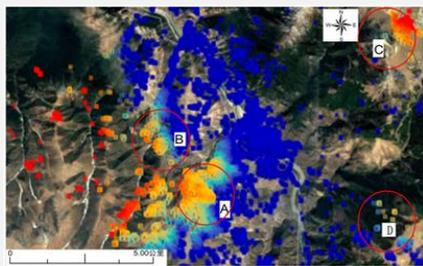
危岩体：岩体直立边坡高约80m，坡体上不稳定块体构成巨大潜在危险源。

高度约80m

1.4 地灾监测感知现状—方法较单一、时效性不足、可视化程度不高

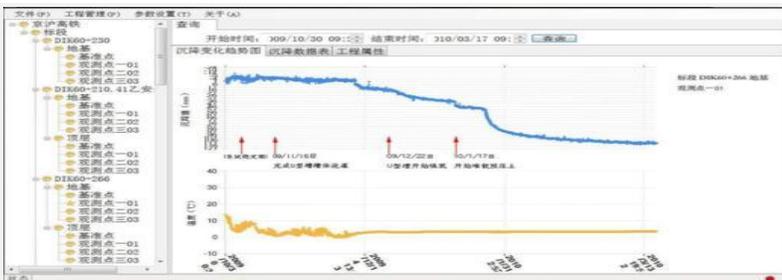
□ 监测手段单一、监测数据缺乏地质信息支撑、监测平台可视化程度不高。协同多源观测手段，结合地质信息，研发实时、动态、高可靠性地灾监控技术已成为地灾防治领域亟待突破的核心技术方向。

监测手段



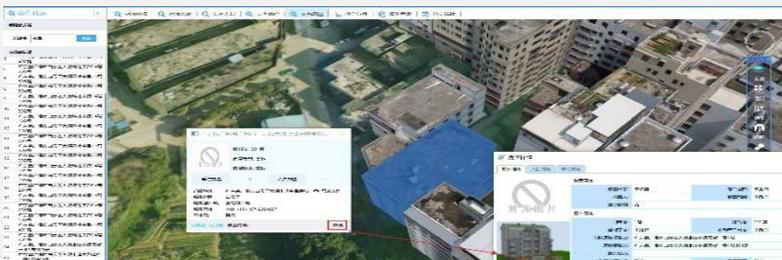
单一空间定位及监测手段**存在各自短板**，难以实现自然地灾监测全覆盖

监测信息



常规监测数据**缺乏地质信息支撑**，难以实现突发性地灾的事前研判及预警

监测平台



既有监测平台**时效性不足，可视化程度不高**，难以实现三维场景下地灾的实时动态监测预警及“第一现场”应急决策

1.4 面临的技术难点—底数不清、机理不明、预测不准、避险不少

广州地面灾害的 3个90%现象

约90%
发灾点不在已发现隐患管理范围内

约90%
灾害发生在每年的汛期期间（4-10月）

约90%
灾难性事件与人类工程活动有关

“三高”

高位

高隐蔽

高突发

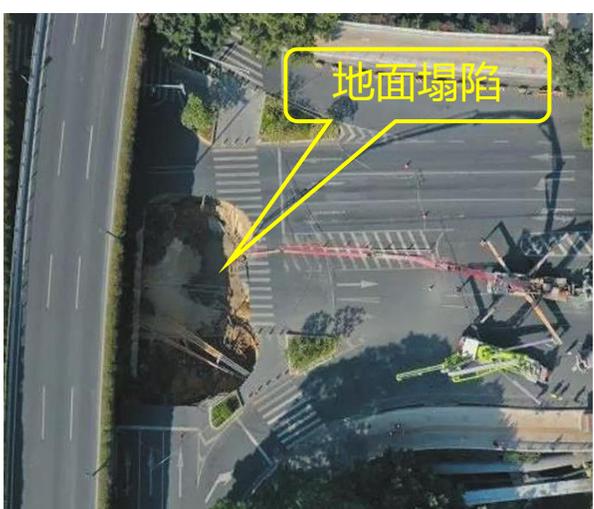
高陡边坡孤石滚落
崩塌



植被覆盖区山体滑坡与崩塌



地铁暗挖施工引发地面塌陷



地处高位、人迹罕至、难至

高植被覆盖率

痛点

- ① 隐患点在哪里?
- ② 致灾影响范围?
- ③ 什么时候发生?

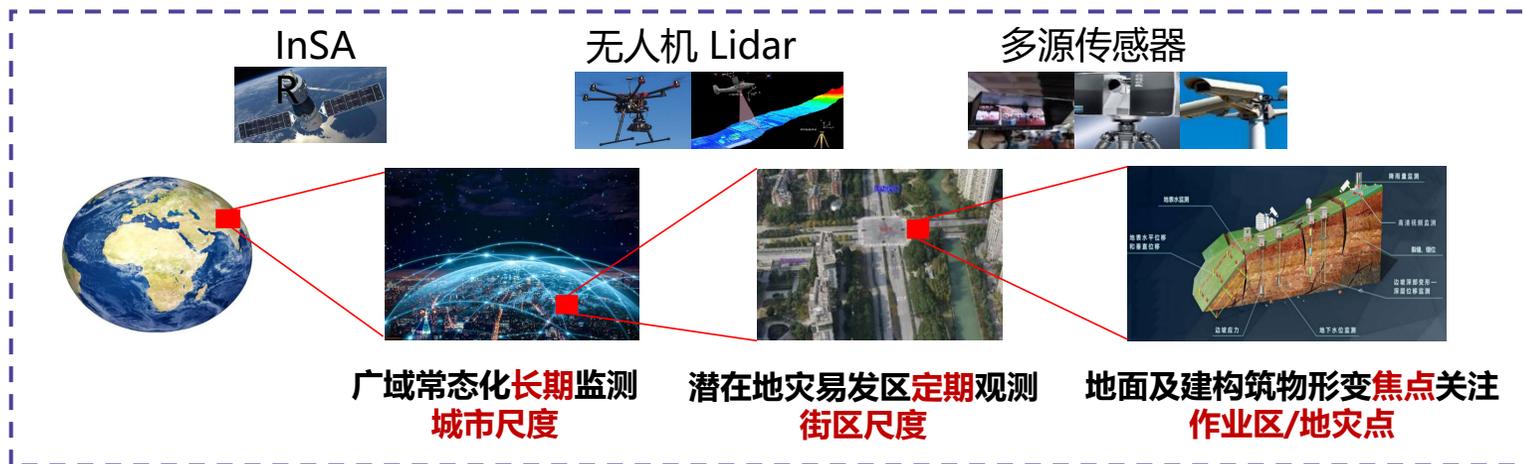
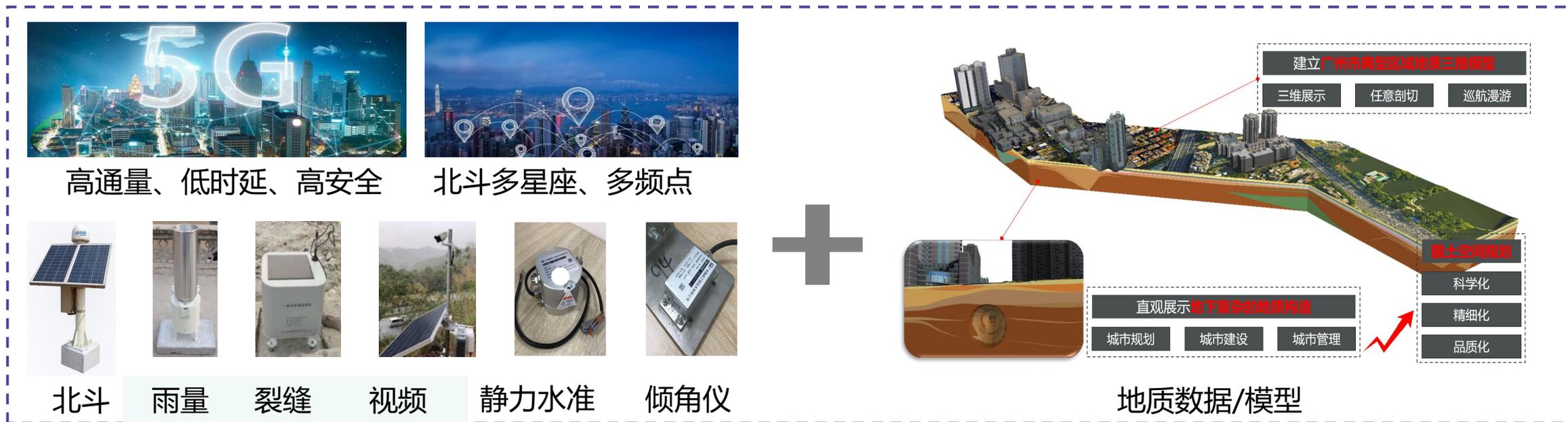


难点

- ① 发现难：传统手段难以做到全覆盖排查
- ② 机理难：个体差异大，无统一评价方法
- ③ 预警难：传统监测预警误报、漏报率高

1.4 研究的整体思路——构建全息时空地灾感知和防控技术体系

□ 主要思路：基于北斗+5G，构建天-空-地-体融合、面向地灾感知、识别、监控的全息时空融合技术体系。



两条路线：

1. 天-空-地-体多时空尺度数据全息融合；
2. 针对不同地质结构和地灾类型的致灾机理、主控因素、预警方案研究。

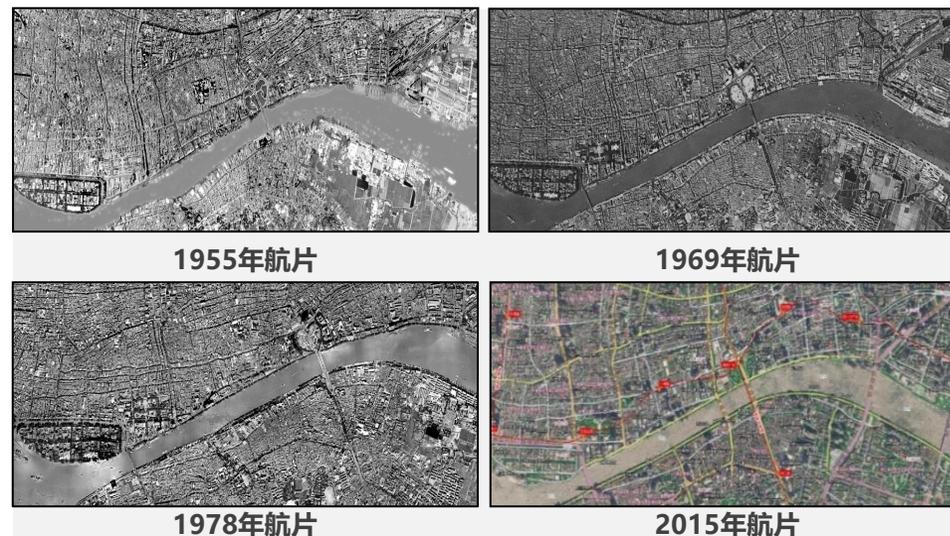
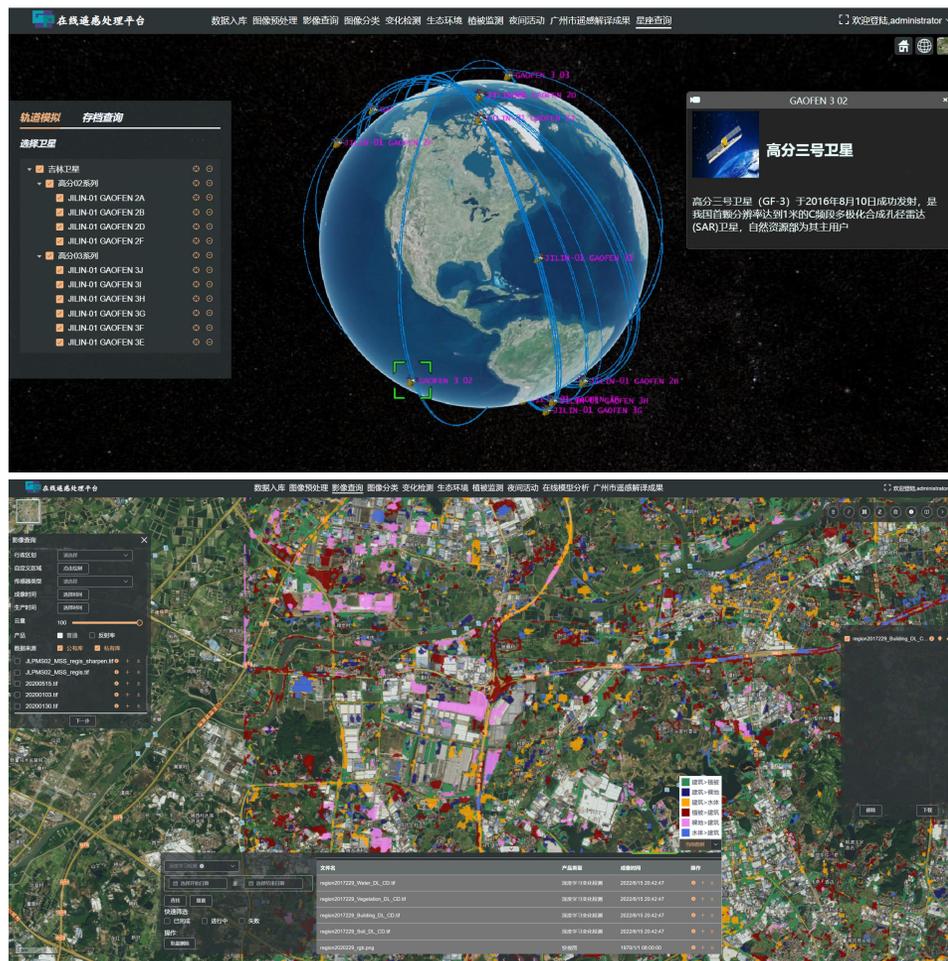
2

地灾防治关键技术与实践

- (1) 天-空-地多时空全息融合调查技术
- (2) 复杂斜坡极端降雨预警模型研究
- (3) 灾变机理研究与防控
- (4) 地质数智化应用

2.1 天-空-地多时空全息融合调查技术

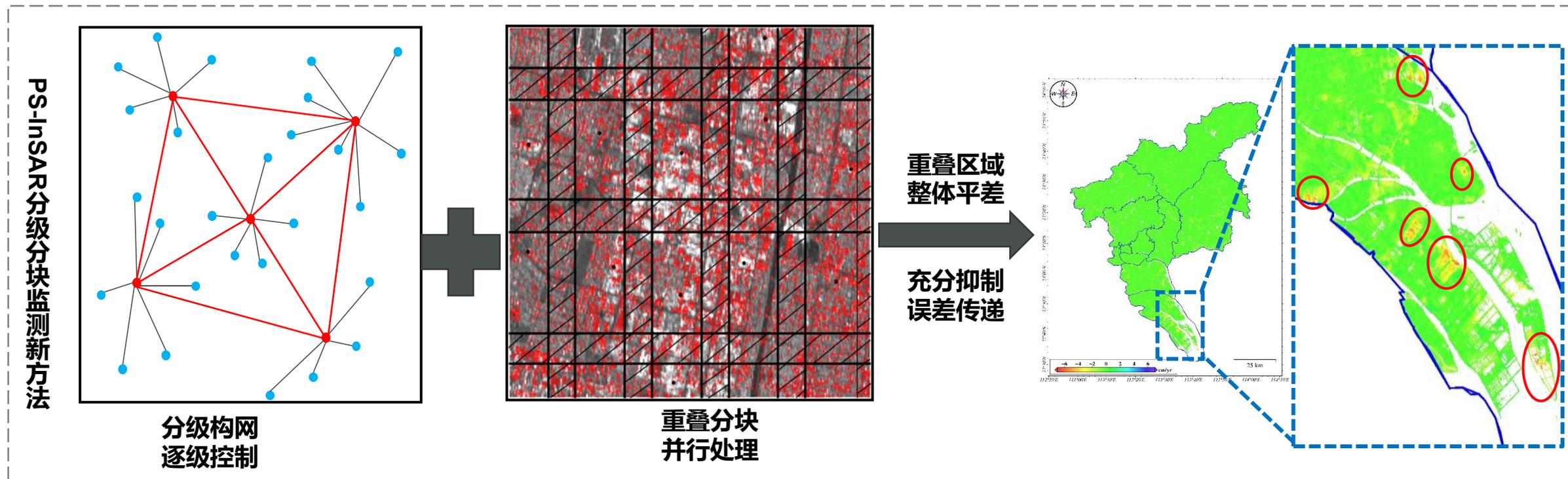
- 1985年我院承担**广州市航空遥感综合调查指挥部**，开展航空遥感综合调查技术研究。
- 具有省级卫星节点，与中科院、长光卫星合作，可快速获取国内外108颗卫星数据，**实现广州市亚米级(0.5m/0.75m)、双月度影像覆盖。**



- 1955、1978、1999年高分辨率影像（航测，2米分辨率）
- 1969年的可见光影像（Keyhole，2.5米分辨率）
- 自1986年以来多光谱影像（Landsat卫星数据，30米分辨率）、雷达卫星数据（Sentinel）等
- 自2004年以来可见光影像（WorldView 亚米级）
- 自2013年以来高分系列影像（GF-1、GF-2、GF-3）
- 自2012年以来夜光遥感（NPP、珞珈一号）
- 国产环境卫星（HJ）数据

2.1 天-空-地多时空全息融合调查技术---PS-InSAR广域普查

- 提出基于**分级分块策略新方法**，大幅拓宽监测范围，有效解决传统PS-InSAR算法大范围形变监测中存在的精度低、效率低的问题，在保证精度前提下，提升监测效率**约40倍**，可以实现高效的**广域形变监测**。

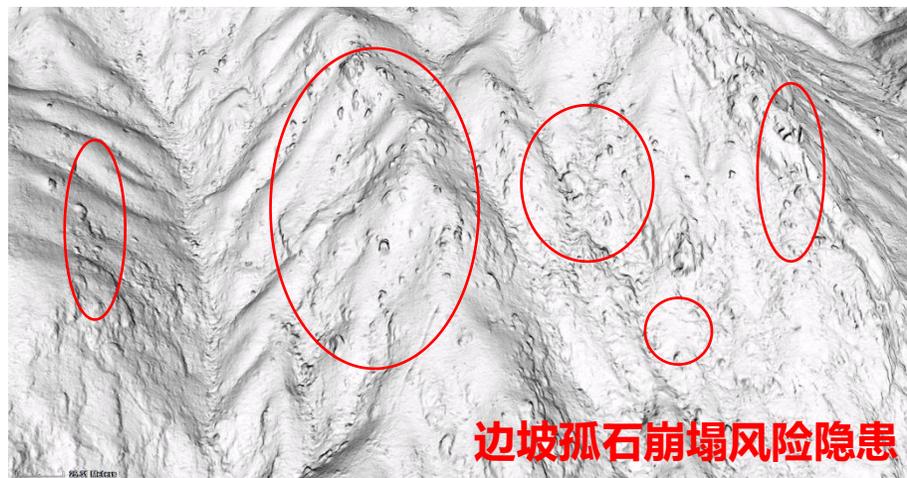


(1) Hou, J. et.al. Block PS-InSAR ground deformation estimation for large-scale areas based on network adjustment. 2021, *Journal of Geodesy*.

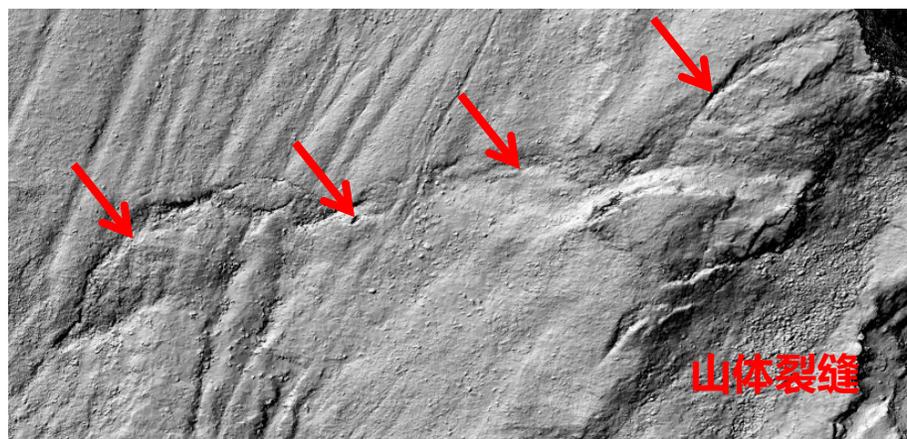
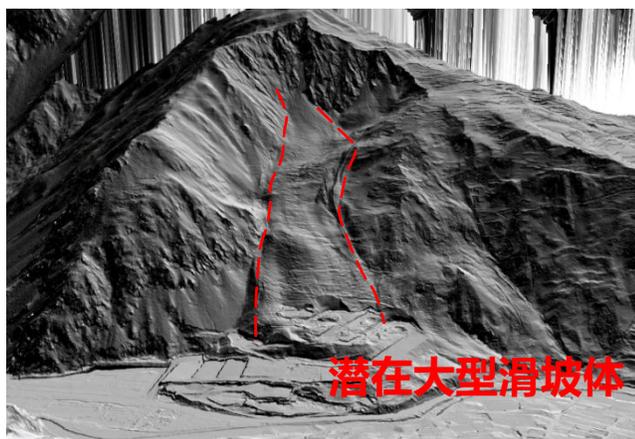
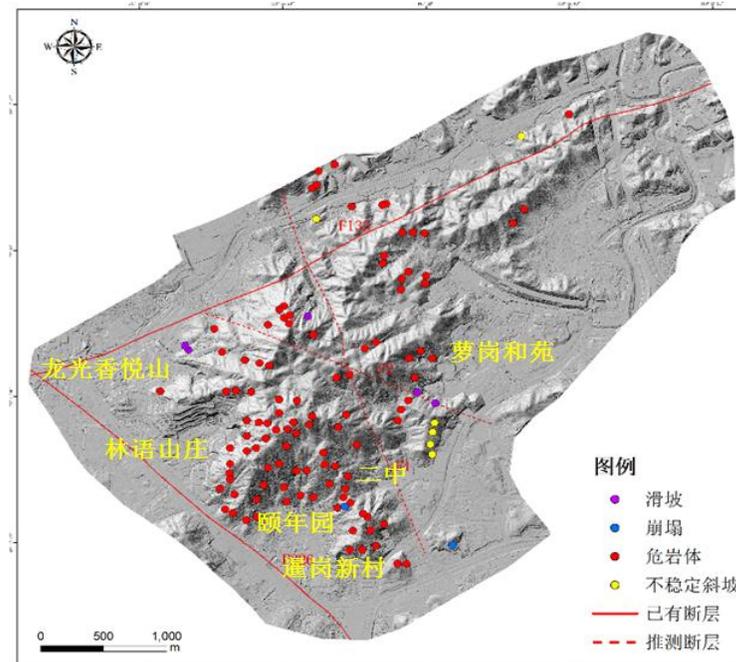
(2) 大范围高精度的InSAR形变监测数据处理方法; 专利号: ZI201910214782.1

2.1 天-空-地多时空全息融合调查技术---机载LiDAR激光扫描技术

- 针对高位隐蔽风险区域，采用机载LiDAR和倾斜摄影技术，基于点云的多回波特性和倾斜摄影技术，识别潜在山体“损伤”，如：坡面表层孤石、山体裂缝、潜在滑坡体等，经现场复核解译准确率达**80%以上**。



黄埔区暹岗山全域详查	识别风险隐患数量
危岩体数量	106处
直径大于3m孤石数量	1350个
不稳定性斜坡	11处



【院研究课题】：机载高密度激光扫描在地表危岩体探测中的应用研究，RD219020453。

2.1 天-空-地多时空全息融合调查技术---精细化现场勘查

- 针对解译圈定的风险图斑和潜在隐患区域，开展拉网式人工野外调查，并辅以补充钻探、物探及土工综合测试，查明各隐患风险点孕灾条件、发育特征、威胁对象及稳定性情况。

1

坡体概况：包括地理位置、地形地貌、灾害历史、灾害类型、形态、几何特征、植被类型及覆盖情况、人类活动程度等。

2

孕灾条件：包括调查点及周边的地质构造、地层岩性、微地貌、工程地质条件、岩土体结构类型、地下水类型、边坡外形特征、结构特征、地下水露头。

3

威胁对象：包括威胁范围、对象类型、相对位置距离、潜在经济损失、威胁人口数量、危害程度分级等。

4

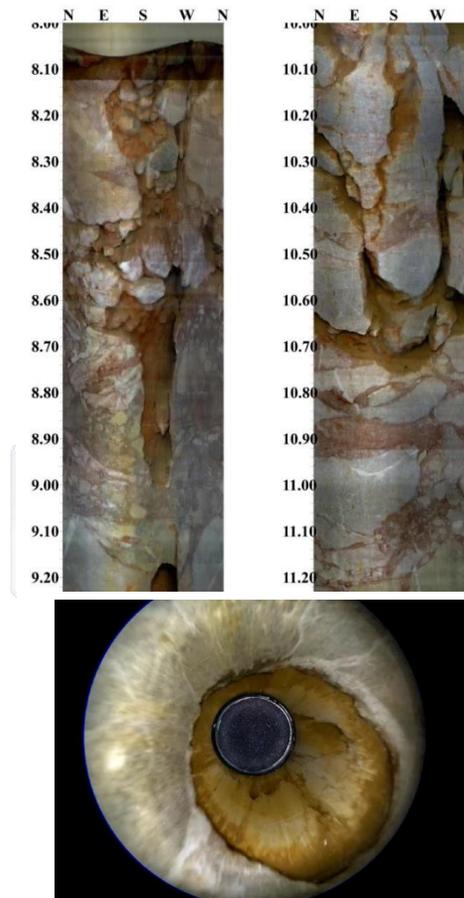
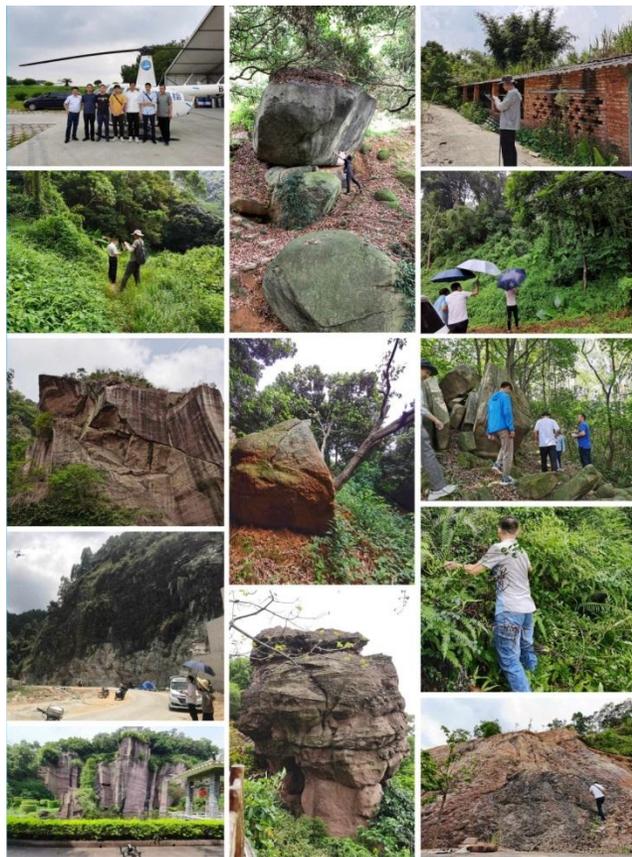
现状评估：包括现今变形破坏迹象（裂缝、隆起、沉降、剥坠落、树木歪斜、建筑变形、渗冒混水）、历史发灾次数、时间、规模、可能主导和诱发因素、灾情等。

5

孤石调查：包括数量、形态、位置、几何特征、规模、风化程度、来源、出露程度、失稳诱发因素、失稳模式。

6

稳定性判别：包括地质灾害类型、破坏模式、规模、失稳诱发因素、目前稳定性状况、发展趋势分析、防治建议等。



2.2 复杂斜坡极端降雨预警模型研究---地质灾害的时空发育特征

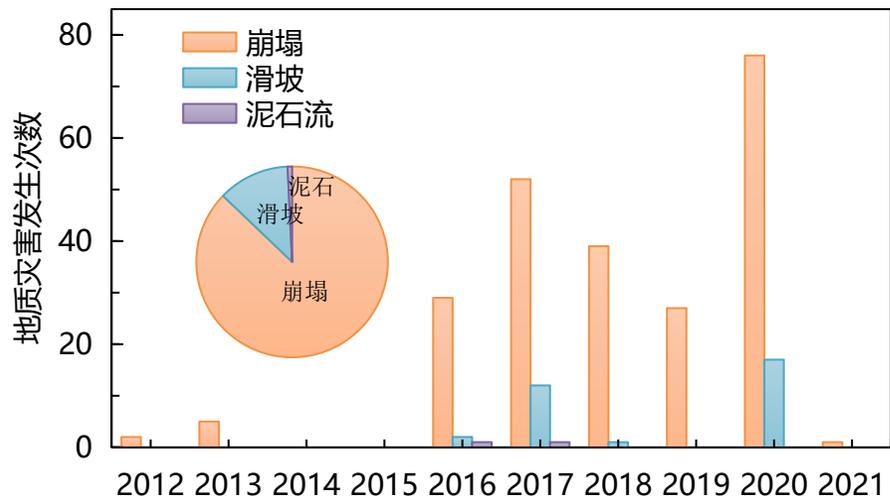


图2.1-1 黄埔区斜坡类地质灾害历年分布及占比图 (2012-2021年)

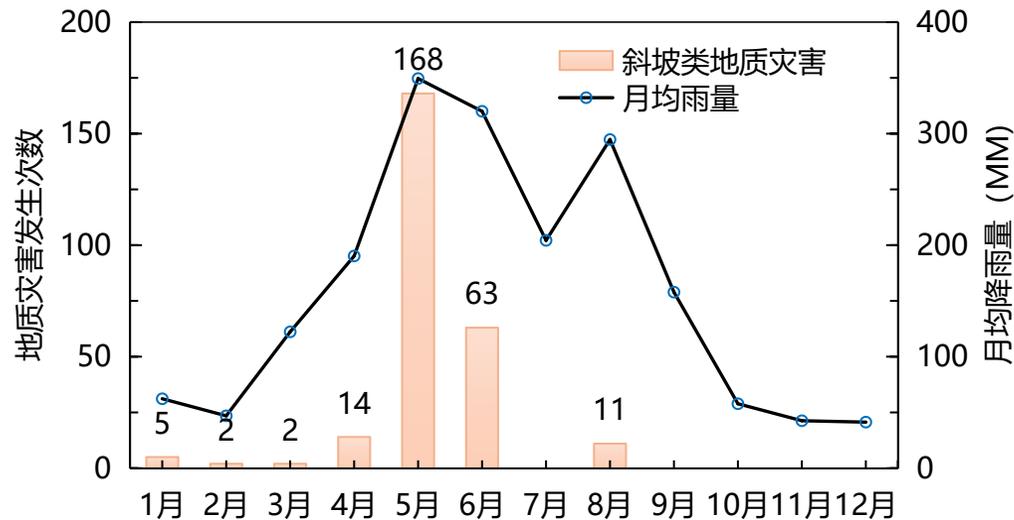


图2.1-2 黄埔区斜坡类地质灾害与月均降雨关系图



图2.1-5 黄埔区永和街道鸣泉山庄伴生泥石流 (2020年5月22日)

按照规模等级划分

按照物质成分划分

按照规模等级划分

按照物质成分划分

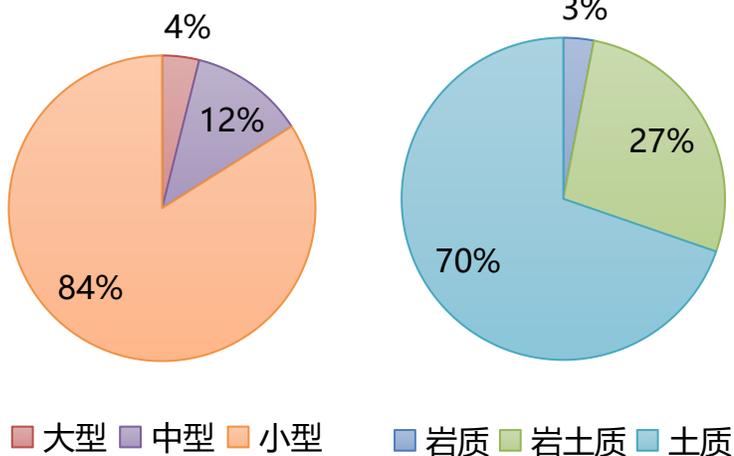


图2.1-3 黄埔区崩塌灾害类型划分及占比

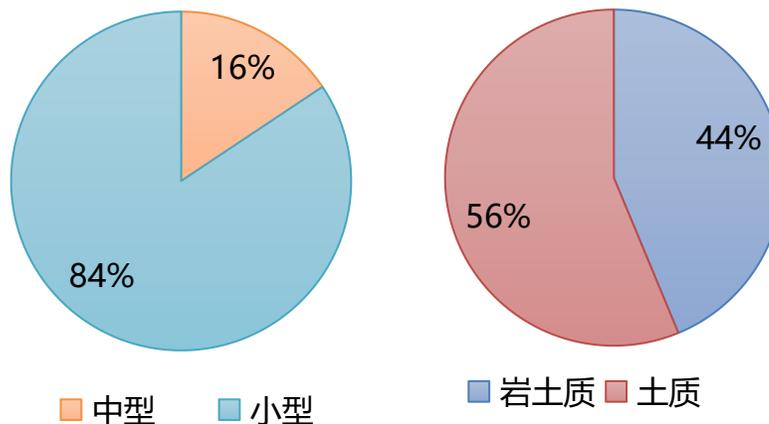


图2.1-4 黄埔区滑坡灾害类型划分及占比

- ▶ 黄埔区斜坡类地质灾害在发生的月份也存在明显的规律。2012~2021年黄埔区斜坡类地质灾害合计265处，主要发生在前汛期（4~6月份），共计245处，占斜坡类灾变总数的92%；后汛期（7~9月），共计11处，占斜坡类灾变总数的4%；1~3月和10~12月斜坡类灾变共计9处，占斜坡类灾变总数的3%。

2.3 灾变机理研究与防控---类斜坡类灾害

■ 提出广州市主要4类斜坡类灾害（土质崩塌、土质滑坡、岩质崩塌和孤石崩塌）的破坏模式和致灾机理

土质崩塌破坏模式及致灾机理	灾害类型	破坏模式	破坏机理	典型案例
	土质崩塌	倾倒式崩塌	坡顶发育近垂直裂缝，坡面汇水面积较大，植被稀少，冲刷较严重，降雨期间，边坡后缘裂缝充水，在自重、动静水压力等作用下，坡顶土体向临空方向发生倾倒破坏，导致边坡失稳破坏，发生崩塌。	
		滑移式崩塌	坡体有倾向临空面的结构面，坡面汇水面积大，植被较少，受雨水冲刷较严重，在降雨期间，边坡土体含水量增加，土体自重增加，强度降低，沿结构面的剪应力增大，当剪应力大于结构面抗剪强度时，边坡便会沿结构面发生滑移式破坏。	
		鼓胀式崩塌	坡顶后缘有垂直裂隙发育，坡体内发育近水平结构面，边坡高度较高，坡面汇水面积大，植被较少，受雨水冲刷较严重，雨水沿坡顶后缘的垂直裂隙渗入坡体，导致边坡岩土体软化，当上覆土层的自重荷载大于土层的抗压强度时，坡体内土体被挤出，当土体重心移出坡外时，边坡发生鼓胀破坏。	

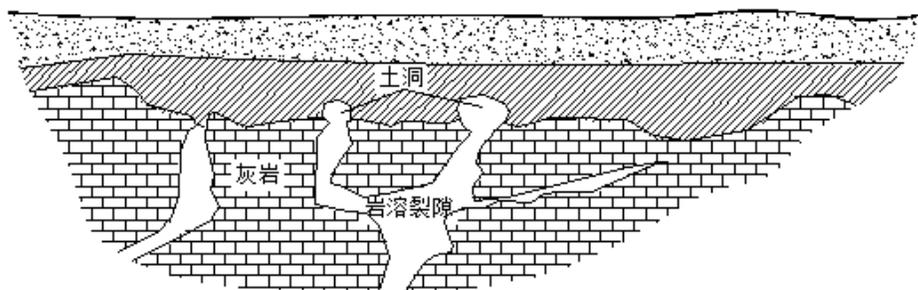
土质滑坡破坏模式及致灾机理	灾害类型	破坏模式	破坏机理	典型案例
	土质滑坡	圆弧滑动	主要发育于坡度较陡的均匀土质边坡，坡面可见裂缝，坡面汇水面积大，冲刷较严重，在自重和降雨等外力作用下，坡体内和坡脚处出现剪应力集中现象，应力集中贯穿坡体便会失稳破坏，破坏面形状呈圆弧形，故称之为圆弧滑动。	
平面滑动		主要发生在花岗岩或变质岩风化残积土较薄、基岩面平整的边坡内，坡度较陡，风化残积土覆盖于基岩之上，在自重和降雨等外力作用下，坡面和坡脚会出现应力集中现象，但下伏基岩的强度远高于上覆残积土层，导致最大剪应力无法切割基岩，当土-岩界面处剪应力大于两者的相互作用力时，坡体便会发生沿土-岩交界面的滑动破坏，称之为平面滑动。		

孤石崩塌破坏模式及致灾机理	灾害类型	破坏模式	破坏机理	典型案例
	孤石崩塌	倾倒-滚落式崩塌	原地风化的基岩或后期经外力作用搬运至此的孤石部分或全部出露于堆积物中，边坡坡度一般较陡，汇水面积较大，植被稀少，孤石临空条件较好，基座受雨水软化和水流冲刷产生变形，从而导致上部孤石失稳滚落。	
牵引-滑移式崩塌		发育于密林下冲沟内或坡表覆盖层之上的孤石受下部基座土体支撑，构成稳定系统，当基座受外力作用失稳时，上部孤石与覆盖层间摩擦力小于下滑力，孤石整体受基座影响而失稳滑动。		

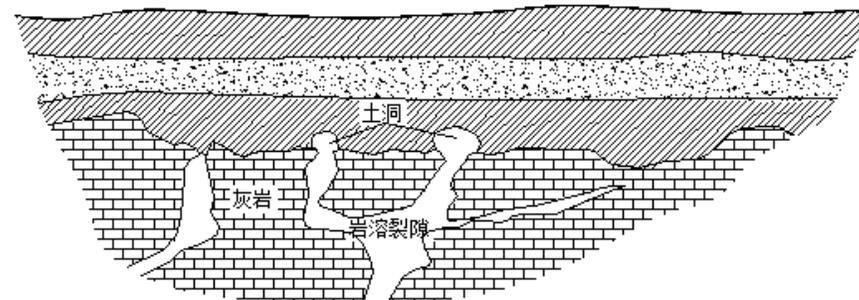
岩质崩塌破坏模式及致灾机理	灾害类型	破坏模式	破坏机理	典型案例
	岩质崩塌	倾倒式崩塌	坡体后缘张拉裂隙明显，结构面张开，前方临空条件良好，伴随着强烈的卸荷作用，在自重、动静水压力、震动和人类活动等作用下，岩体向临空方向发生较强烈的倾倒变形，直至失稳，完全脱离母岩，造成危岩体灾害。	
		滑移式崩塌	边坡岩体破碎，岩体表面与内部发育多条张拉裂隙，在雨水侵蚀及风化作用下裂隙进一步扩展，主结构面与坡面倾向相同，倾角较小，在重力作用下脱离母岩滑移破坏。	
拉裂式崩塌		受裂隙切割和下部岩腔影响，高悬于陡岩上端和岩腔顶部的危岩体，随卸荷裂隙不断加深加宽，一旦裂隙发育切割整个危岩体，使其脱离母体，危岩在重力作用下从母体突然脱离失稳产生崩塌。		

2.4 灾变机理研究与防控---岩溶地面塌陷机理分析

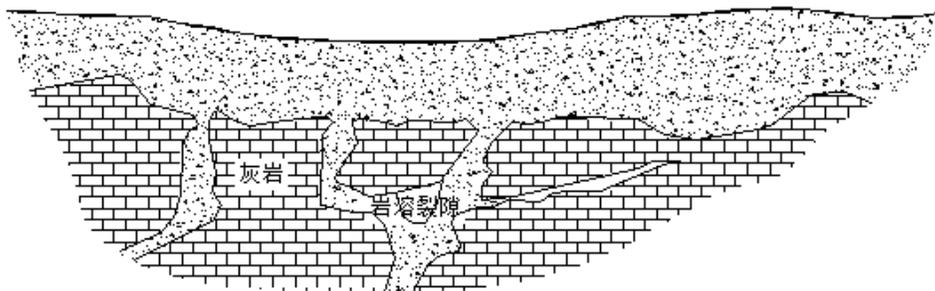
- 基于广州地区岩溶发育程度和覆盖层结构特征，研究岩溶地面塌陷发育规律，提出了广州市4种岩溶地面塌陷模式，揭示了岩溶地面塌陷致灾机理，提出了岩溶注浆加固止水的关键技术。



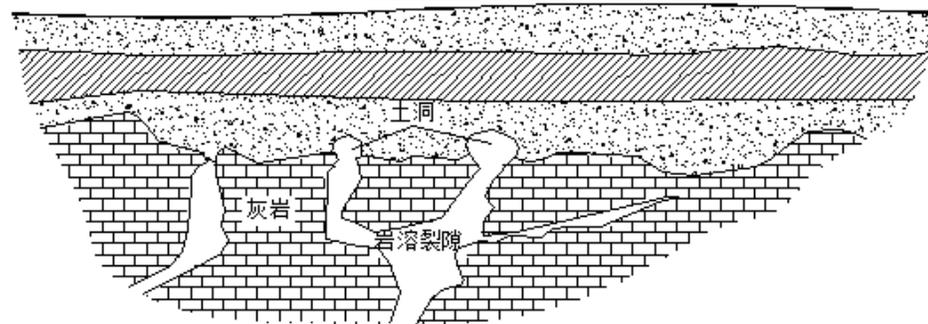
下粘上砂二元结构岩溶塌陷模式



下粘上砂、粘多元结构岩溶塌陷模式



下砂上粘多元结构岩溶塌陷模式



下粘上砂、粘多元结构岩溶塌陷模式

2.4 地质数智化应用---广州市地质信息共享服务平台

□ 依托我院海量地质数据，构建广州市地灾监测网络，搭建广州市地质信息共享服务平台，实现广州地质专题图、监测数据一网统管。

地质灾害监测预警

危险点 432 | 历史高点 870 | 隐患点 138 | 风险点 967

定位	名称	地址	状态
边坡	广州市南...	广州市南沙区大涌镇骏马路40-1...	启用
边坡	沙头角岭...	沙头角岭上街26号院内西侧边...	启用
边坡	流溪河林...	流溪河林场新群工区礼堂北西侧...	启用
边坡	花都区桃...	花都区梯面镇西坑村芙蓉路侧...	启用
边坡	白田镇三...	白田镇三村村梅地社坊路良花...	启用
边坡	南沙街石...	南沙街石路上街86号北侧边坡塌...	启用

在册地质灾害隐患点

区域	在册隐患点个数	威胁人数总和	潜在经济损失总和(万元)
全部	138	3745	17425.4
白云区	3	690	1249
从化区	87	2036	9292.6
番禺区	10	168	808
海珠区	0	0	0
花都区	2	31	70
黄埔区	0	0	0
荔湾区	2	120	600

突发地质灾害调查统计

历年数据统计 分区统计

已完成治理核销隐患点

历年完成治理核销统计 核销数量分区统计

无人机监控

2024年10月10日 星期四 16:06:01

预警监测

广州组合反射率 台风路径图 气象卫星云图

3

应急救援技术探索

- (1) 城市安全新挑战
- (2) 应急救援技术探索

3.1 城市安全新挑战

党的二十大报告指出：

推进**国家安全体系和能力现代化**，以**新安全格局保障新发展格局**。建立大安全大应急框架：构建全面、系统的**安全管理和应急响应体系**，不仅要关注传统的安全生产领域，还要涵盖社会生活的各个方面，形成全方位的安全保障格局。

二十届三中全会指出：

“围绕推进国家安全体系和能力现代化，**构建联动高效的国家安全防护体系，推进国家安全科技赋能**；健全重大突发公共事件处置保障体系；建立人工智能安全监管制度。”

城市环境与企业安全生产密切相关
城市安全与企业安全生产相互依存



安全生产治本攻坚三年行动

国务院安委会印发的《安全生产治本攻坚三年行动方案(2024-2026年)》：

“ 加快**推动安全生产监管模式向事前预防数字化转型**，推进**人工智能、大数据、物联网等技术与安全生产融合发展**。 ”

省、市相继引发《安全生产治本攻坚三年行动实施方案(2024-2026年)》：

“ 通过三年治本攻坚，强化党委和政府、部门和生产经营单位统筹发展和安全的理念，安全监管能力显著提升。**本质安全水平大幅提升，全市安全生产形势持续稳定向好**。 ”

国务院安全生产委员会文件

安委〔2024〕2号

国务院安全生产委员会关于 印发《安全生产治本攻坚三年行动 方案(2024—2026年)》的通知

各省、自治区、直辖市人民政府及新疆生产建设兵团，国务院安委会各成员单位，有关中央企业：

《安全生产治本攻坚三年行动方案(2024—2026年)》已经国务院领导同志同意，现印发给你们，请结合实际认真贯彻落实。各省级安委会要加强工作统筹，及时将重点工作完成情况和阶段性工作进展报送国务院安委会办公室。

企业安全生产面临外部环境的严峻挑战

□ 近年来全球极端天气频发，**极端气候事件愈发频繁且正在成为常态**，广州区域内**各类城市安全事件突发频发**，严重威胁企业生产安全。



- **地震**可能导致企业厂房倒塌、设备损坏、人员伤亡等安全事故。
- **洪水**可能引发企业淹水、设备受损、生产中断等安全事故。
- **台风**可能带来强风、暴雨等恶劣天气条件，影响企业的正常运营和员工安全。

3.2 城市安全技术研究总体方向

□ 9月5日，应急局叶芳局长参与院“城市安全技术研究中心”揭牌，勉励中心发挥规划院政府智库担当，助力广州应急工作创新发展。

1 构建安全应急科创平台

2 打造安全应急数据中台

3 编制安全应急产品谱系

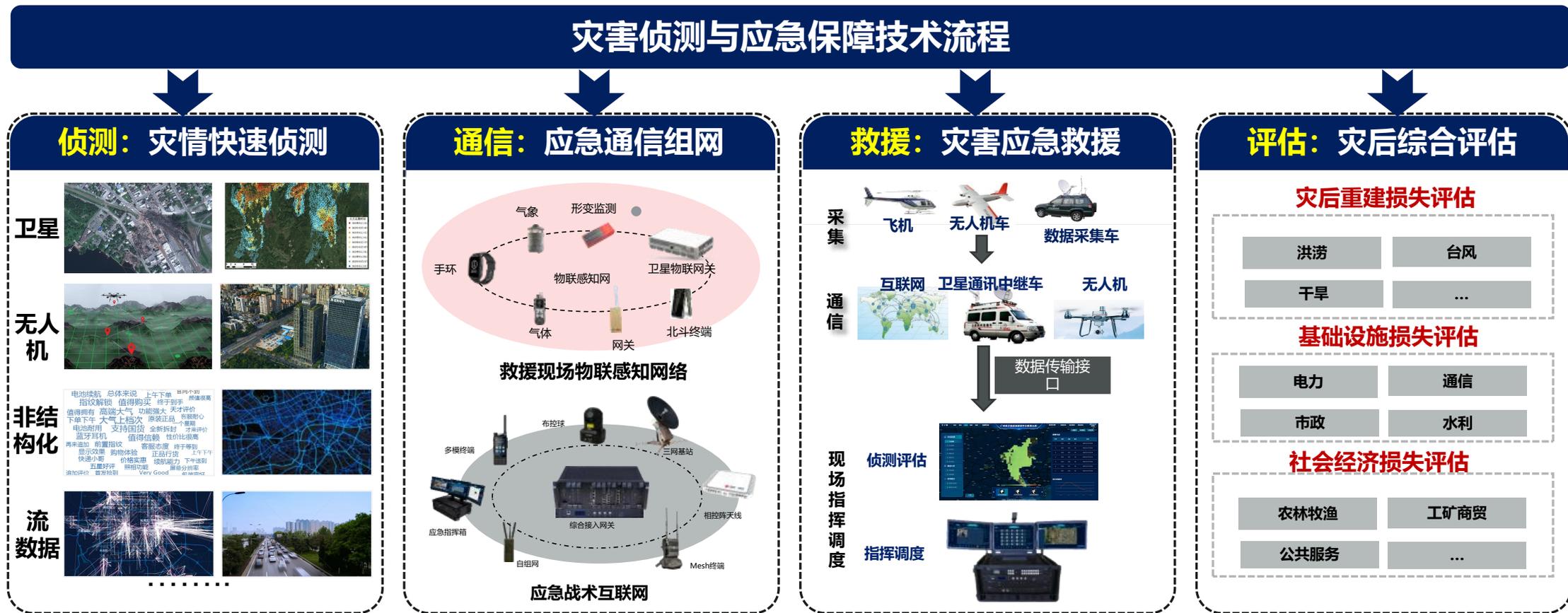


2024年9月5日，城市安全技术研究中心揭牌

3.2 总体研究思路

看得清、联得通、救得快、估得准。

灾害侦测与应急保障技术流程



总体目标：

构建**侦测-通信-救援-评估**的快速应急响应能力（**应急技术能力+应急资源统筹能力**）

谢谢！

广州市城市规划勘测设计研究院
广东省城市感知与监测预警重点实验室
城市安全技术研究中心