



城市道路地下病害探测和三色预警智防平台 建设

汇报单位：杭州市市政设施管理中心 严向军

二〇二三年四月



CONTENT 目 录

01 / 概述

02 / 基本情况

03 / 探测工作

04 / 三色预警智防平台建设

概述

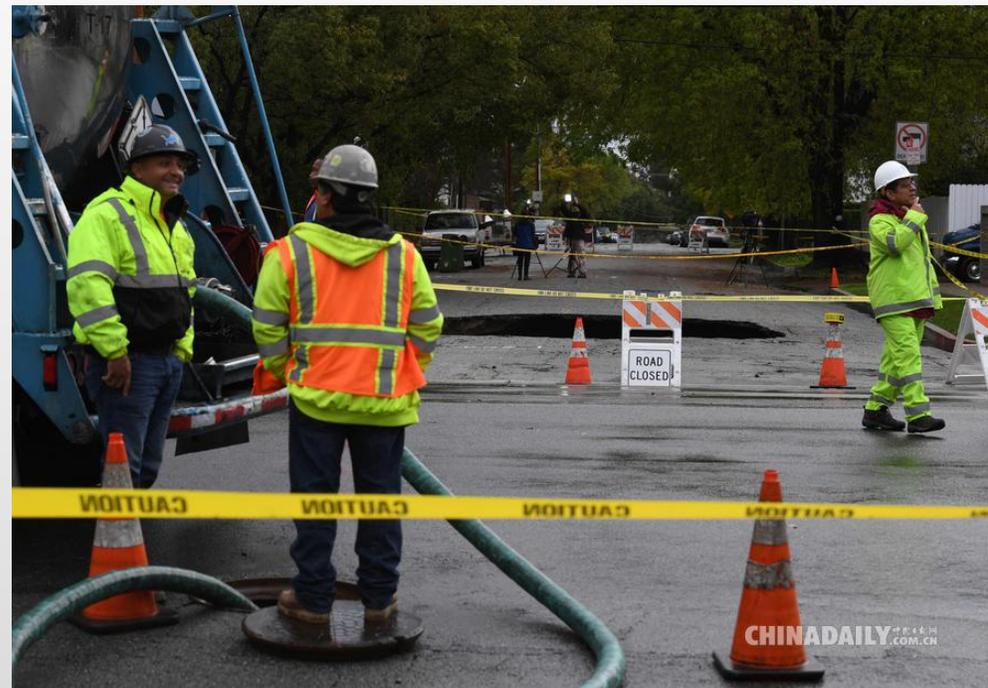
PART

01

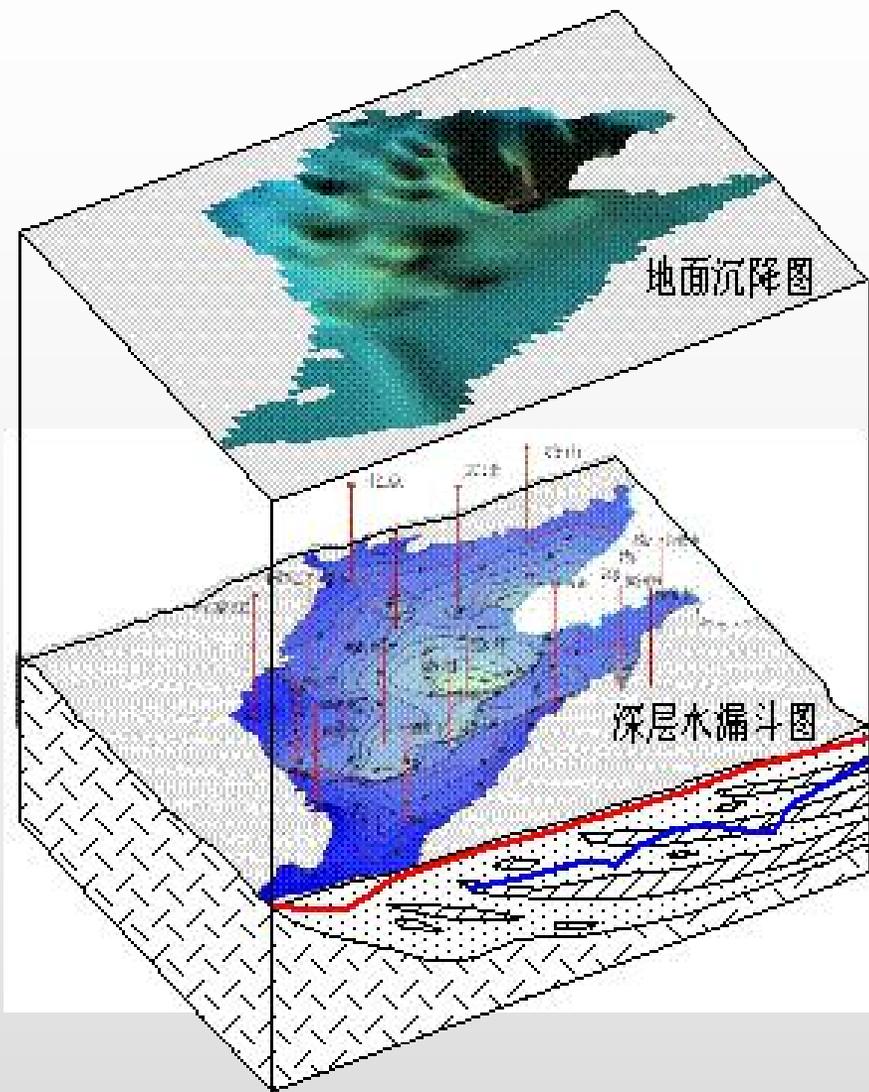




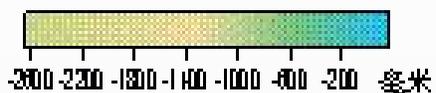
随着城市地下空间大规模开发利用，地质环境在人类活动的影响下，次生城市地质灾害问题日益突出，特别是地面沉降、地面塌陷、浅层气灾害、基坑突涌或管涌等问题频发。



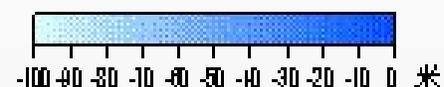
地下水超采造成的地面沉降



1、地面累积沉降量(地面沉降图)



2、深层水水压值(深层水漏斗图)



3、剖面图例



4、说明

(1)华北平原已经形成了7万平方公里的深层地下水漏斗区，以天津、廊坊、衡水、沧州等城市为中心。

(2)华北平原地面累积沉降大于200毫米的区域面积达到6.4万平方公里，天津累积最大沉降量3.25米，沧州达到2.5米。



“城”降

新华社发 徐骏 作





The Asahi Shimbun
微信号: kobesd.com

0元
NEWS
24

BREAKING NEWS 福岡

博多駅前道路大規模陥没

基本情况

PART

02



一、地形地貌特征

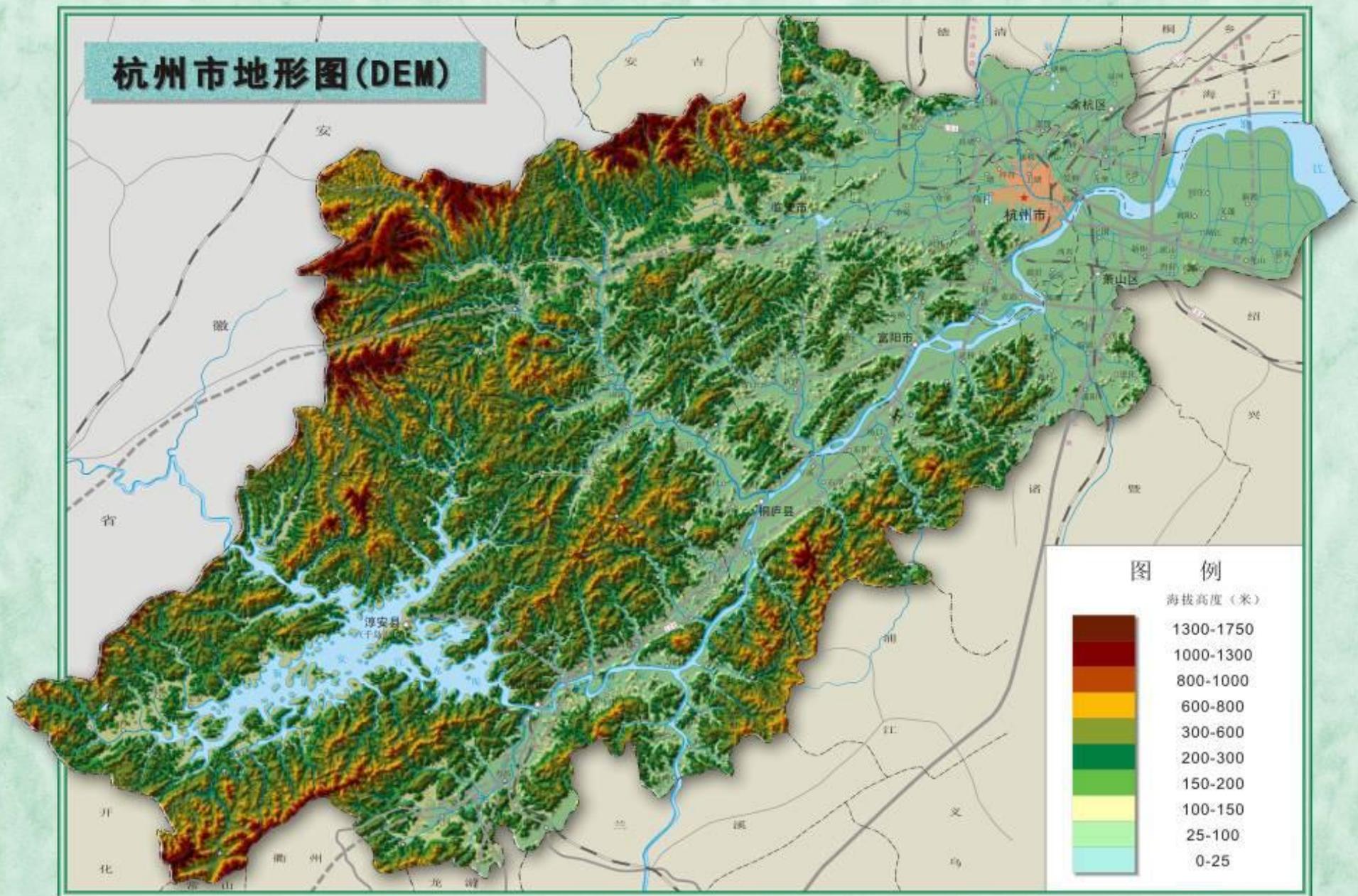


- 八山半水分半田

- 西部属浙西丘陵区，主干山脉有天目山等。

- 东部属浙北平原，地势低平。河网密布，湖泊密布，具有典型的“江南水乡”特色。

杭州地形地貌



二、城市水文和工程地质条件

杭州市工程地质结构总体上按地貌类型划分**低山丘陵区 (I)**、**山麓沟谷区 (II)**和**平原区 (III)**三个分区。

| 区 | 亚区 | 分布范围 | |
|---------|------------------------|---|-----------------------------|
| 平原区 III | 单层结构区 III ₁ | 硬土层单层结构区 (III ₁ ¹) | 分布在钱塘江流域区的下沙及江东 |
| | | 砂、砾层单层结构区 (III ₁ ²) | 分布在钱塘江流域区的下沙及江东、苕溪亚区的塘栖西侧 |
| | | 基岩层单层结构区 (III ₁ ³) | 分布在钱塘江、苕溪及浦阳江各流域区的山前地带 |
| | 双层结构区 III ₂ | 硬土层、砂、砾岩双层结构区 (III ₂ ¹) | 分布在钱塘江、苕溪及浦阳江各流域区 |
| | | 硬土层、基岩双层结构区 (III ₂ ²) | 苕溪流域区分布较广泛，钱塘江及浦阳江流域区相对局限 |
| | | 砂、砾石、基岩双层结构区 (III ₂ ³) | 苕溪及浦阳江流域区分布较广泛，钱塘江流域区相对局限 |
| | 三层结构区 III ₃ | 硬土层、砂砾层、基岩三层结构亚区 (III ₃) | 该区钱塘江及苕溪流域区分布较广泛，浦阳江流域区相对局限 |

| 区 | 亚区 | 分布范围 |
|---------|----------------------------------|--------------------------|
| 低山丘陵区 I | 坚硬块状火山岩亚区 (I ₁) | 萧山区南部、余杭区西北部 |
| | 坚硬-较坚硬火山碎屑岩亚区 (I ₂) | 萧山区南部及西部、余杭区西北部 |
| | 较坚硬碎屑岩亚区 (I ₃) | 杭州西部、余杭区西北部、半山及萧山湘湖 |
| | 软硬不均碎屑岩亚区 (I ₄) | 杭州西部、余杭区西北部、半山及萧山湘湖 |
| | 岩溶发育碳酸盐岩亚区 (I ₅) | 杭州西部、余杭区超山 |
| | 岩溶不发育碳酸岩亚区 (I ₆) | 杭州西部、余杭区西北部、超山及萧山区南阳、进化等 |

| 区 | 亚区 | 分布范围 |
|----------|-----------------------------------|-------------------|
| 山麓沟谷区 II | 冲洪积沟谷亚区 (II ₁) | 余杭区西部、西北部及萧山区南部 |
| | 冲洪积、坡洪积山谷堆积亚区 (II ₂) | 杭州西部、余杭区西北部及萧山区南部 |
| | 残积、残坡积堆积亚区 (II ₃) | 余杭区瓶窑山麓与平原区接壤地带 |

地质与地球物理特征



| 层号 | 柱状图 | 岩土名称及其特征描述 |
|----|-----|--|
| 1 | | 路基层, 沥青路面, 厚约30cm, 包括面层、基层和垫层。厚度1.20~2.00m。 |
| 2 | | 填筑土: 杂色, 稍密~中密, 成份杂, 由碎石、砂砾和黏性土等堆填而成, 块径2~15cm。 |
| 3 | | 土质均匀性差, 厚度1.80~3.50m。 |
| 4 | | 淤泥质黏土: 灰色, 流塑, 厚层状, 土质均匀, 易污手, 切面光滑, 有少量的腐殖质及有机质, 物理力学性质差。具高压缩性, 层厚10.20~15.00m。 |
| 5 | | 粉质黏土, 紫灰色, 黄灰色, 硬可塑, 厚层状, 土质均匀性一般, 局部混有少量的粉砂团块, 层厚3.60~6.70m。 |

上(下)城区典型地层结构简图

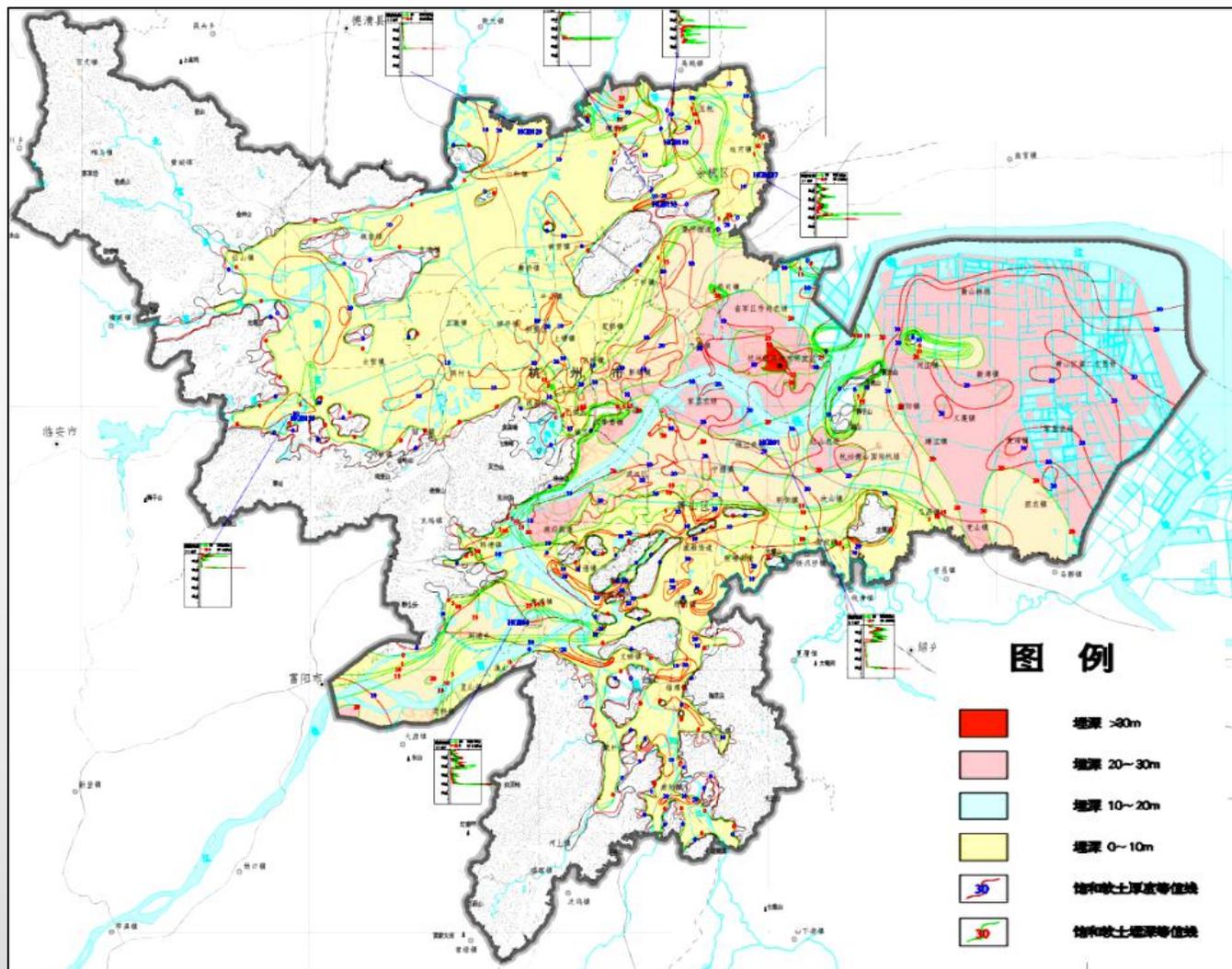
| 层号 | 柱状图 | 岩土名称及其特征描述 |
|----|-----|---|
| 1 | | 路基层, 沥青路面, 厚约30cm, 包括面层、基层和垫层, 厚度1.40~4.80m。 |
| 2 | | 淤泥, 灰色, 流塑, 切面较光滑, 含有较多有机质, 局部分布有暗塘, 由腐殖质等组成, 性质极差。厚度2.60~12.00m。 |
| 3 | | 粉质黏土, 灰色、灰黑色, 软塑, 切面光滑, 局部可见少量砾石, 含有机质和腐殖质。层厚0.60~5.70m。 |
| 4 | | 含砾粉质黏土, 黄褐色、棕黄色, 硬可塑, 含角砾, 含量约15%左右, 层厚1.00~1.50m。 |
| 5 | | 碎石混黏性土: 灰色, 中密, 湿, 含有较多碎石和角砾, 主要由碎石和黏性土组成, 层厚2.80~10.00m。 |
| 6 | | 泥质粉砂岩, 紫红色, 粉砂质结构, 厚层状构造, 泥质胶结, 局部可见砾岩夹层, 属软岩, 厚度大, 未揭穿。 |

西湖区典型地层结构简图

工程地质条件

饱和软土分布

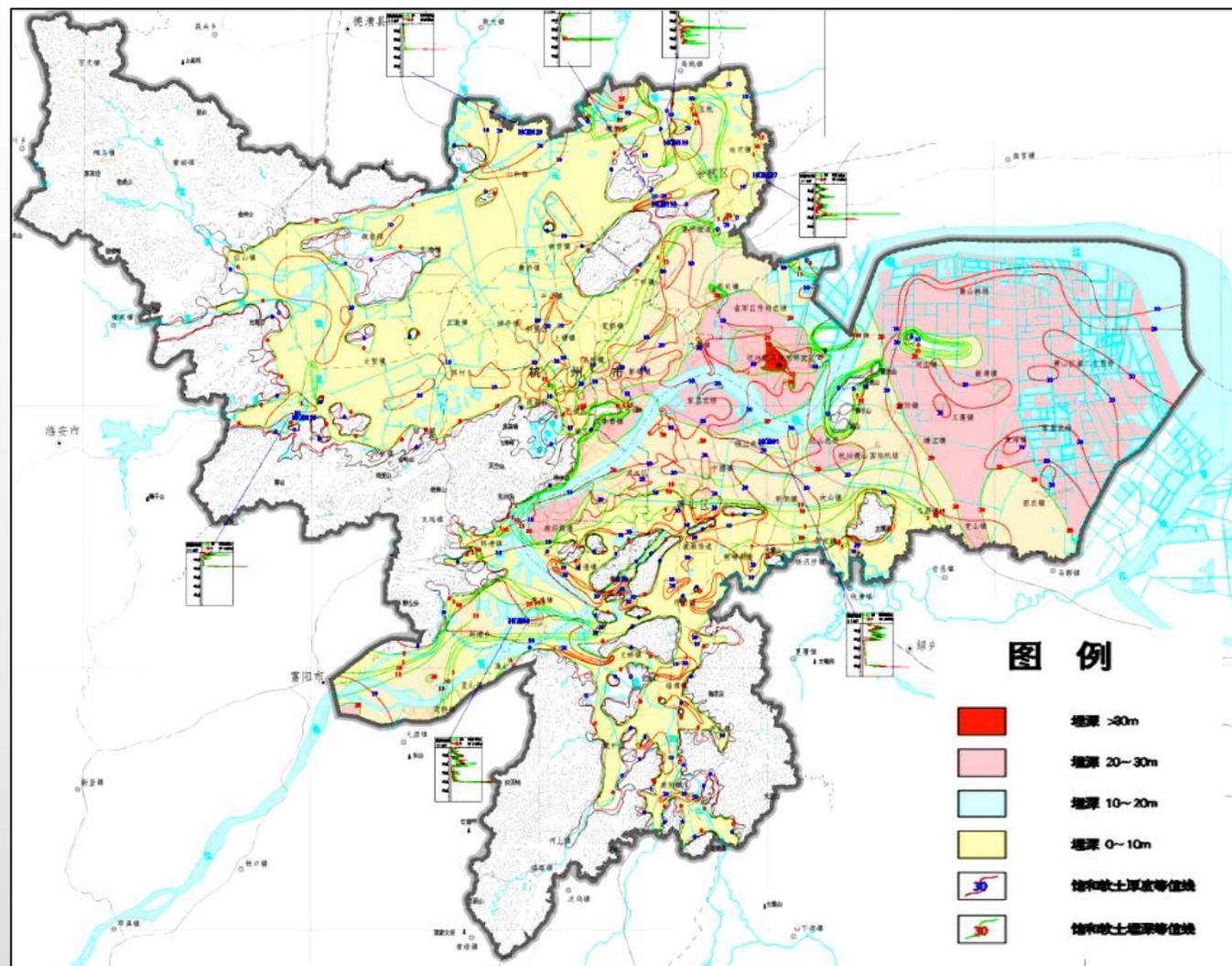
- 饱和软土层形成于全新世中期、早期、晚更新世晚期，属浅海相、滨海相、泻湖相、河谷相、湖沼相等的粘性土沉积物，天然孔隙比大于等于1.0，天然含水量大于液限，包括淤泥、淤泥质土、泥炭和泥炭质土等。
- 软土具有流变性、高压缩性、低强度的特点，在基坑开挖过程中，基坑侧壁易产生较大变形，坑底易隆起；当软土受到振动后，土结构被破坏，强度降低，很快变成稀释状态，易产生侧向滑移、沉降及基底侧向挤出等现象。
- 软土广泛分布于杭州平原区，主要有三层软土层。



工程地质条件

第一层饱和软土

- 第一软土层主要分布于苕溪流域和浦阳江流域，顶板埋深一般 $< 5.0\text{m}$ ，厚度 $2\text{--}18\text{m}$ 不等。
- 苕溪流域的古荡-大关-笕桥一带，浦阳江流域长河-西兴、新街-衙前一带该层厚度较大，多在 $5\sim 15\text{m}$ 左右，其余地区相对较薄，厚度多小于 5m ；
- 钱塘江流域，因后期河流切割冲刷，该层基本缺失或分布较薄。

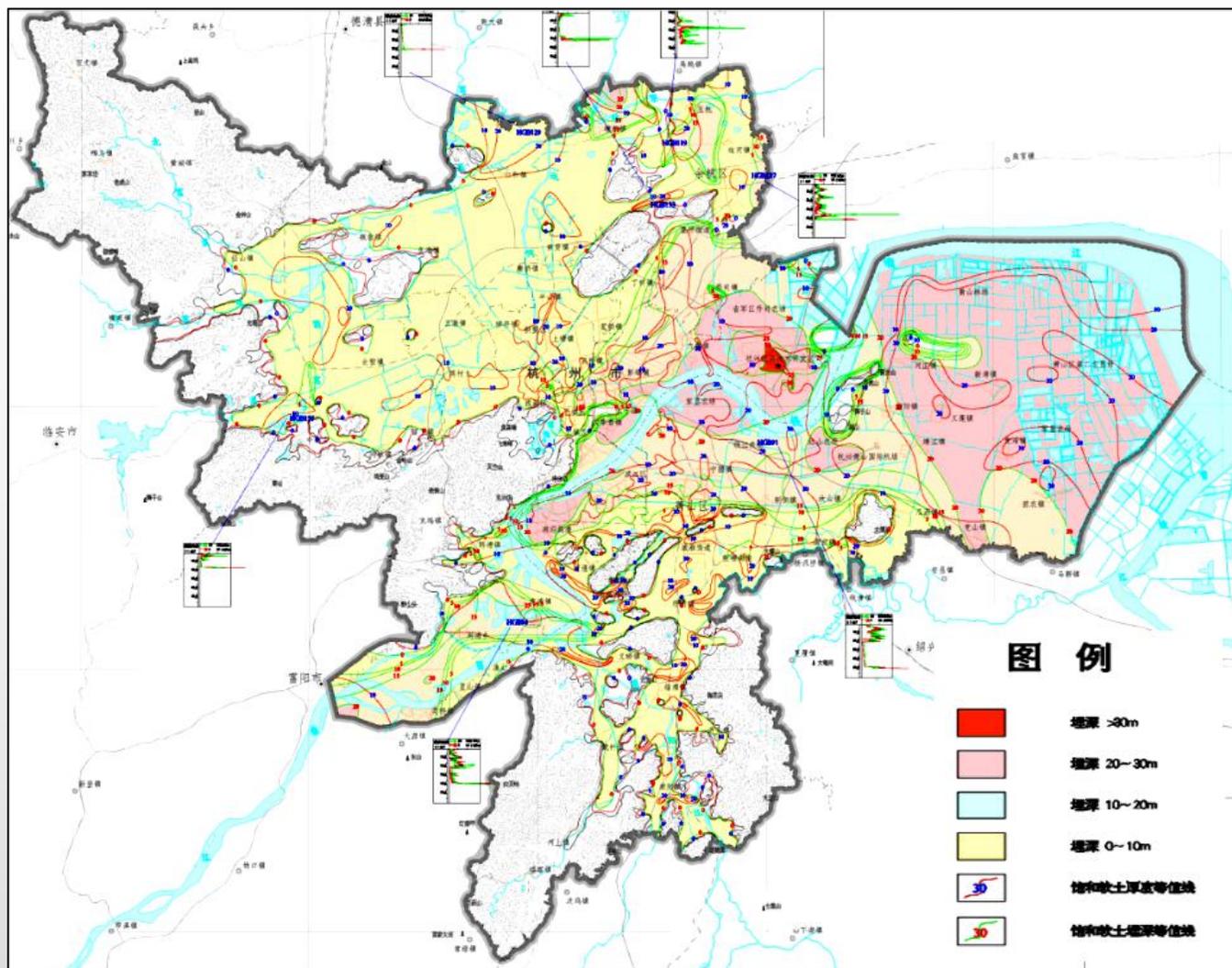


工程地质条件

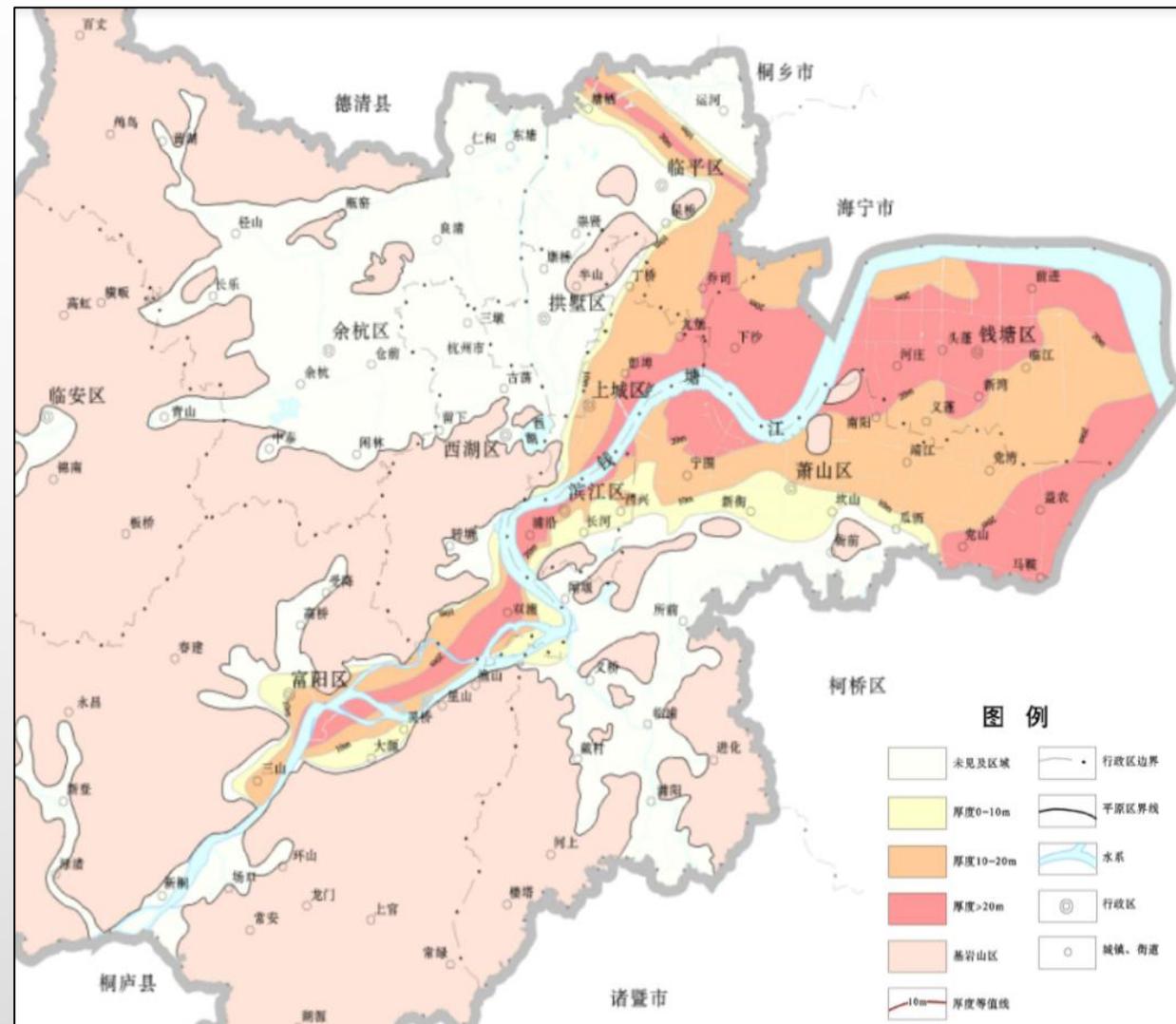
第二、三层软土

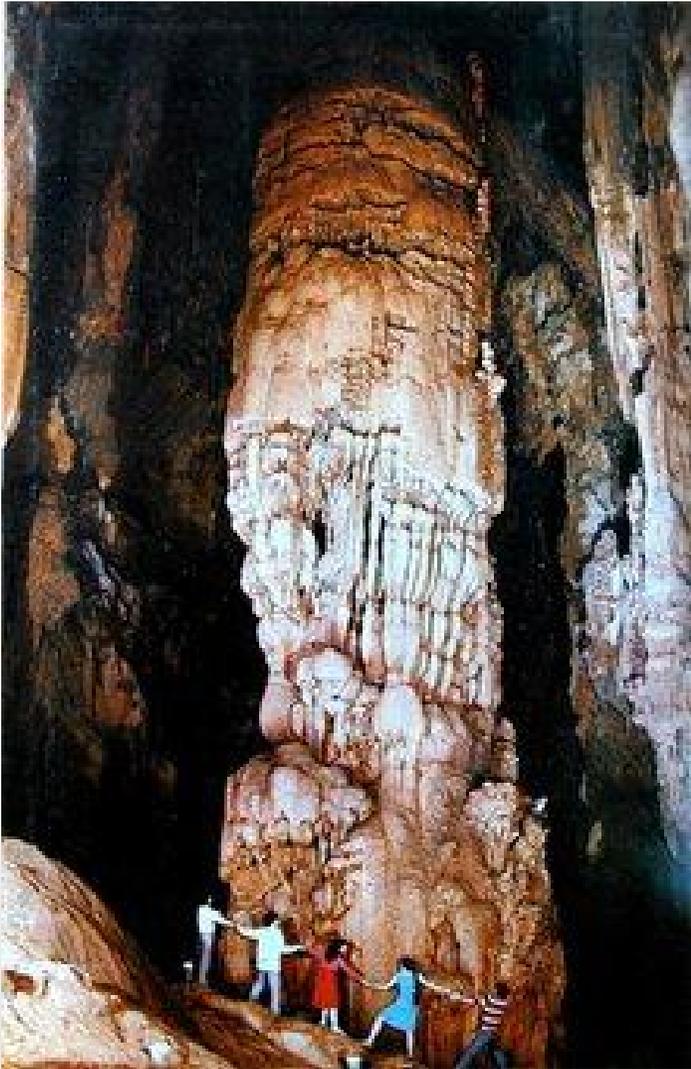
➤ 第二软土层分布广泛，顶板埋深5-15m，厚3-25m。滨江区、钱塘区、萧山区东北部、上城区东部等地厚度较大，钱塘区临江-益农一带埋深 > 15m，厚度 > 20m。

➤ 第三软土层主要分布于良渚~仓前~留下一线以东，浦沿~湘湖~所前一线以北，顶板埋深一般25~45m，厚度3~15m。其中，埋深大于40m、厚度大于10m的集中分布区主要在钱塘区。



- 饱和粉土（砂土）主要系全新世中晚期钱塘江河口沉积的冲海积堆积物，其岩性主要为砂质粉土、粉砂、粘质粉土等，多呈稍密-松散状，渗透性较好，结构强度低，遇水易坍塌，易发生管涌和流沙等工程问题。
- 饱和粉土（砂土）主要分布于钱塘江两岸，星桥-丁桥-西湖一线以东，长河-西兴-新街-坎山-瓜沥一线以北，一般直接出露于地表或埋藏于填土层下，厚度一般10-25m。





西湖区灵山洞



临安区瑞金洞



桐庐瑶林仙境

三、城市建设和开发

截至目前，杭州地铁运营线路共12条，分别为杭州地铁1号线、2号线、3号线、4号线、5号线、6号线、7号线、8号线、9号线、10号线、16号线、19号线，共设车站260座，换乘车站46座。运营里程共计约516千米（不含2条市域线）



四、近年发生的塌陷



2008年11月15日
地铁1号线湘湖站基坑坍塌
21人死亡, 4人重伤, 20人轻伤

2015年4月1日
之江路与之浦路交叉路口基坑坍塌

2016年4月21日
文二路学院路口东南侧地面塌陷

四、近年发生的塌陷



2018年11月22日
禹航路与南渠北路交叉口地面塌陷



2019年3月7日
5号线万安桥站附近塌陷



2019年8月28日
建国北路体育场路至凤起路段塌陷

四、近年发生的塌陷



2019年9月10日
西兴路和丹枫路交叉口人行道路面塌陷



2020年6月30日
浦沿街道冠路口地面塌陷



2020年6月30日
上沙路与学源街口路面塌陷

四、近年发生的塌陷



2020年9月24日
西兴路与江南大道路口基坑坍塌



2020年12月29日
西溪路庆丰新村段人行道塌陷
2人死亡



2021年5月10日
闻涛路江陵路路口附近路面塌陷

探测工作

PART

03



一、探测成果



●2021年，共完成全市4323条（段）、3885公里城市道路全覆盖检测，工作总结得到省、市主要领导的肯定。

●2022年，继续开展常态化检测，并加强对城市核心区域、粉砂土质区域、地铁施工及深基坑等重点工程周边区域的检测。全市共完成检测2270.69公里。

●2023年，已下达检测任务1590公里，对亚运保障道路、场馆周边及重点区域和重要道路安排一次全覆盖检测，做好亚运会的全面保障。

二、原因分析



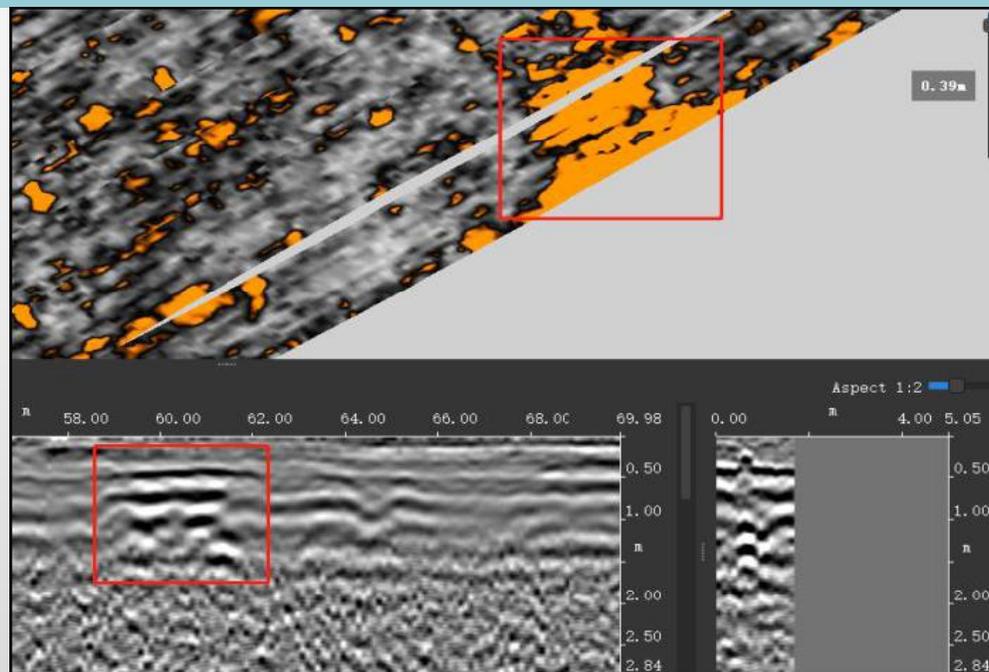
根据前两年的隐患成因排查分析，造成道路地下安全隐患的原因主要为：

- 1、施工影响
- 2、管道问题
- 3、地质原因
- 4、重载车辆、雨水长期冲刷等其它原因

三、典型案例



- 三维雷达道路检测中，发现有典型的强反射异常，推断道路下方疑似存在空洞病害。
- 经钻孔验证，确定为空洞病害，病害面积约 21.84m^2 ，埋深 0.4m ，净空约 2.5m 。



三、典型案例



- 发现空洞病害后，立即要求道路养护单位立即对空洞病害进行开挖修复处置。
- 在现场开挖中发现，道路结构层以下水土已大量流失，仅仅剩下沥青混凝土层，具有极大的塌陷风险。
- 最终开挖修复面积达40m²。

四、治理措施



- （一）问题导向精准施策，治理地下空洞和脱空。
- 检测发现的空洞、脱空等隐患，各区采取地面注浆补强、开挖回填或强化基坑维护等方式立即整改，并同步落实第三方专业单位复测和属地定期观测。所有已查明的土体疏松已落实属地专人定期巡查并加强监测。
- （二）结果导向落实责任，治理地下管线破损和渗漏。
- 建立健全管线勘测检测常态化机制，落实重点地段、工程周边管线每天全覆盖巡查及污水主次干管、老旧管线的重点巡查；积极运用CCTV、QV等设备和技术对管理的污水管进行全覆盖检测，确保管线运行安全；试点应用供水管道噪声感知设备，二污干管试点安装光纤传感器；开发供排水管道AR巡检技术，用可视化方式使巡检人员通过手机直观了解周边地下管线情况。
- （三）原因导向强化监管，治理深基坑和盾构施工的安全隐患。
- 搭建地下空间智防系统平台，加强地铁、深基坑等重点在建工程安全文明施工的全过程监管，引入第三方监测单位，实时监测基坑、隧道和周边环境安全。

五、问题分析

- 高水位，探测深度不足
- 埋深大，动态变化难以掌握
- 强扰动，影响因素多
- 高架路，卫星信号弱

三色预警智防 平台建设

PART
04



一、建设依据

数字化改革重大契机

◆2021年2月起，袁书记在全省数字化改革会议上多次提到杭州路面塌陷事件相关的内容。

◆2021年6月19日杭州市人民政府办公厅印发了《杭州市地下隐患智防应用体系建设工作方案》的通知，由市建委牵头，启动开展杭州市地下隐患智防应用体系建设工作。

◆2021年8月31日，浙江省建设厅《省建设厅关于发布全省住房城乡建设系统数字化应用场景第一批试点项目及试点单位的通知》明确将杭州作为**城市生命线及地下空间综合治理**多个应用场景的集成应用试点。

◆2021年10月28日，浙江省数字化改革领导小组下发《关于印发全省数字化改革重大应用“一本帐本S₁”目录的通知》，其中省建设厅的“**浙里城市生命线及地下空间综合治理应用**”被列入目录中。

杭州市人民政府办公厅

杭州市人民政府办公厅关于印发 杭州市地下隐患智防应用体系建设工作方案 的通知

各区、县（市）人民政府，各相关部门、相关直属单位：

《杭州市地下隐患智防应用体系建设工作方案》已经市政府同意，现印发给你们，请认真组织实施。



浙江省住房和城乡建设厅文件

浙建改发〔2021〕49号

省建设厅关于发布全省住房城乡建设系统 数字化应用场景第一批试点项目 及试点单位的通知

各市、县（市、区）建委（建设局）、城管（综合执法）局、住房公积金中心，杭州市房管局、园文局，宁波市、舟山市水利局：

根据《省建设厅关于开展全省住房城乡建设系统数字化应用场景建设试点工作的通知》（浙建改函〔2021〕200号）和省数字化改革部署要求，经各地申报和我厅比选，确定了第一批试点项目及试点单位，现予以发布。请各试点单位按照试点工作要求，组建工作专班，落实建设资金，在我厅牵头处室统筹下，高质量推进应用场景建设，每月5日前向我厅报送试点工

浙江省数字化改革领导小组文件

浙数改发〔2021〕3号

浙江省数字化改革领导小组 关于印发全省数字化改革重大应用 “一本账S₁”目录的通知

各市、县（市、区）数字化改革领导小组，省直属各单位：
《全省数字化改革重大应用“一本账S₁”目录》已经省委主要领导同志同意，现印发给你们，请对照抓好落实，加快平台贯通、功能贯通、体制机制贯通，推进特色改革，打造“硬核”成果。



一、建设依据

群众的关注及需求

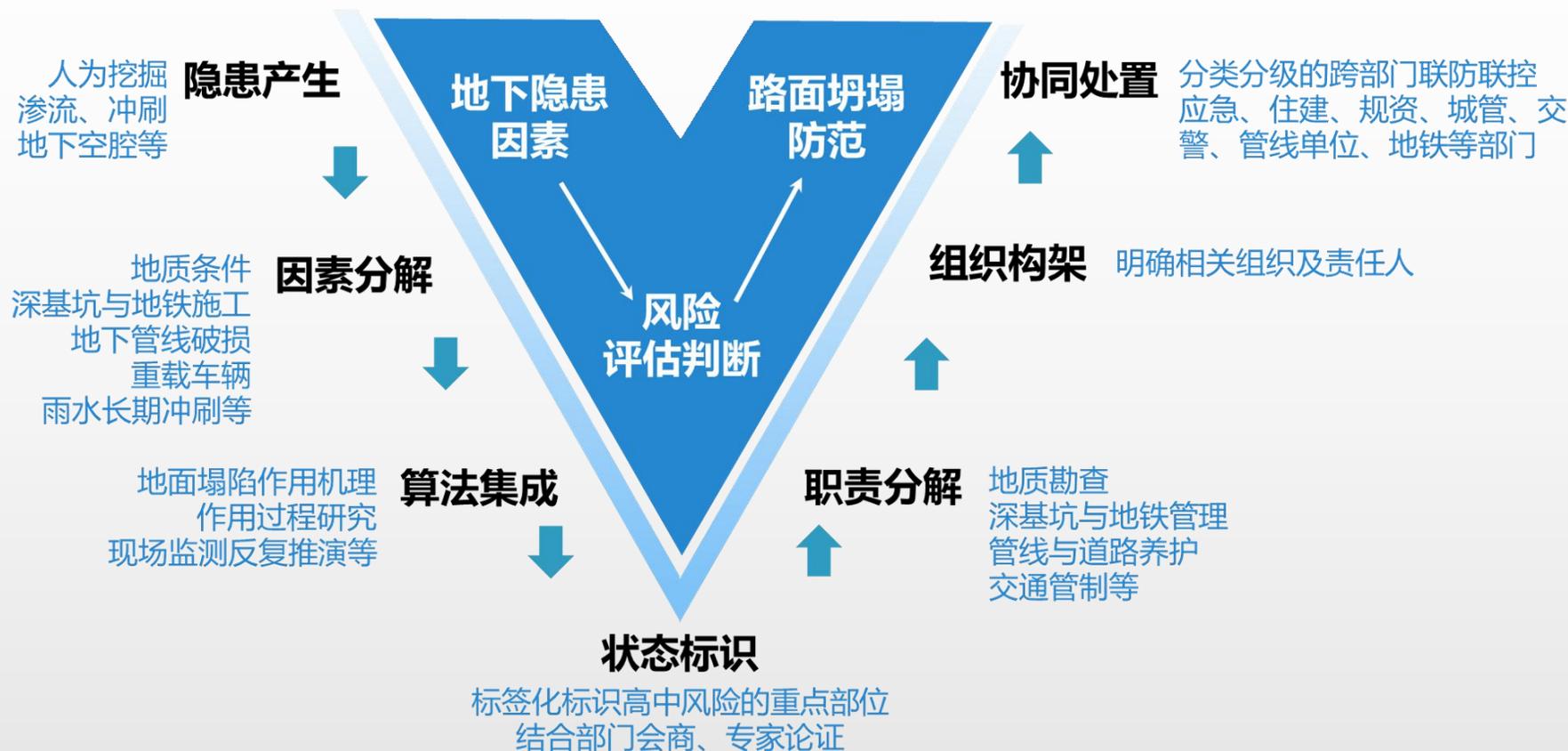
习总书记指出，要更好推进以人为核心的城镇化，使城市更健康、更安全、更宜居，成为人民群众高品质生活的空间。

现状：地下空间安全是城市运行安全管理的重要内容，与人民群众生命财产安全紧密相关。城市地下隐患成因复杂，其本质是城市地下空间高强度开发与地下空间粗放管理之间的矛盾。当前全方位埋设感知设备监测成本过高、技术不成熟。

具体需求：

- ①要能摸清底数，要搞清楚地下有什么、在哪里、处于什么状态。
- ②要能判断重点部位，分析出哪里是路面塌陷的中高风险区域。
- ③要能联动处治，相关部门要能对相应隐患进行处治和监管。

二、主要做法



努力实现三大目标

✓ 地下空间底数清

✓ 隐患风险判断准

✓ 联动处治能指挥

二、主要做法

1、底数清，勾勒地下空间三维底图

静态数据
孪生映射

- 土层厚度
- 岩土类型
- 地层组合
- 岩溶发育情况
- 地下水位

地质
条件

- 管线种类
- 使用年限
- 管线材质
- 管线埋深
- 管线密集程度

地下
管线

- 基坑施工
- 盾构施工
- 开挖深度
- 支护方案
-

人工
扰动

- 重载道路分布
- 重载车辆运行频次
- 病害体检测
-

道路
条件

动态数据
孪生感应

- 地下水位监测
-

- 供水管网压力
- 上下水区块对比
- 上水区间流量
- 上水听漏
- 污水泵站流量

- 基坑横向纵向位移
- 地铁盾构作业传感器
-

- 重型车运行GPS数据
- 探地雷达
-

...

2、判断准，建立综合风险分析模型

城市路面塌陷综合风险评估分析模型

- 不同因素在不同条件下的相互作用机理和作用结果
- 区分地质条件、区分影响因素
- 分类评估、综合分析，计算路面安全指数
- 中科院、浙大专家领衔研制



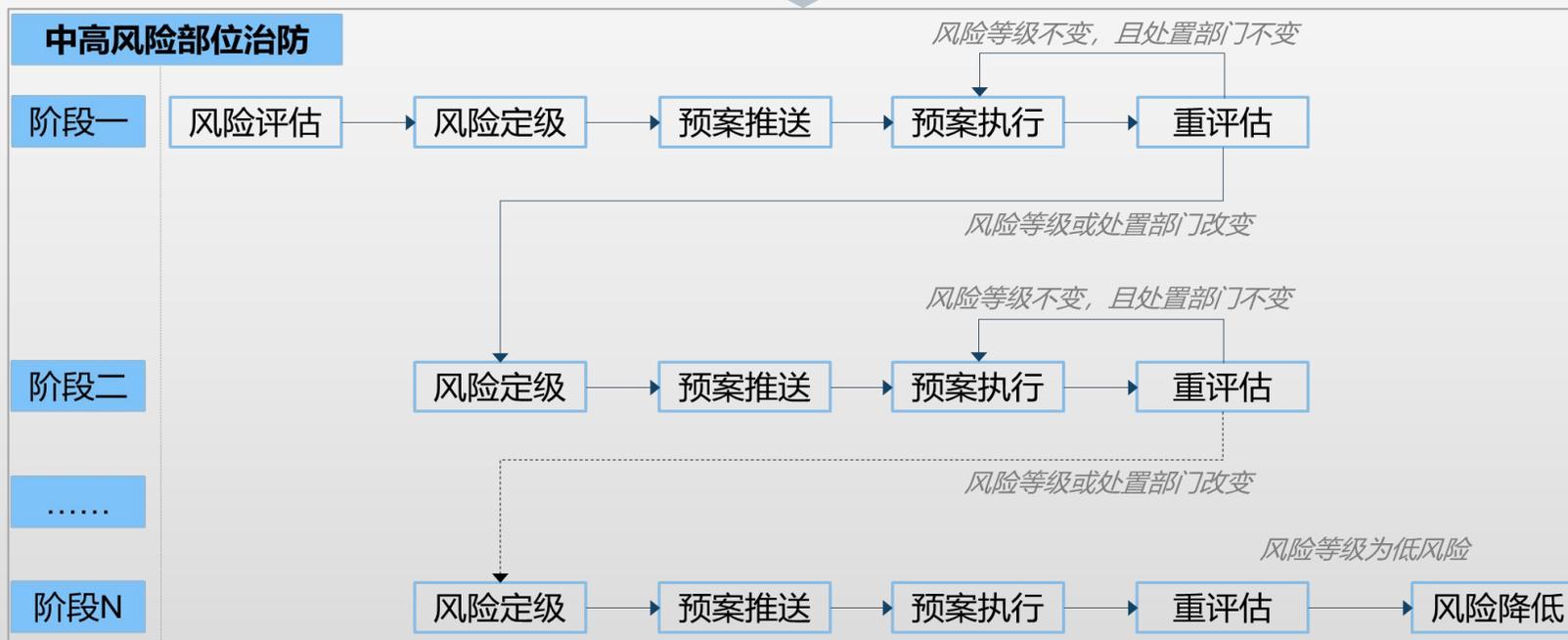
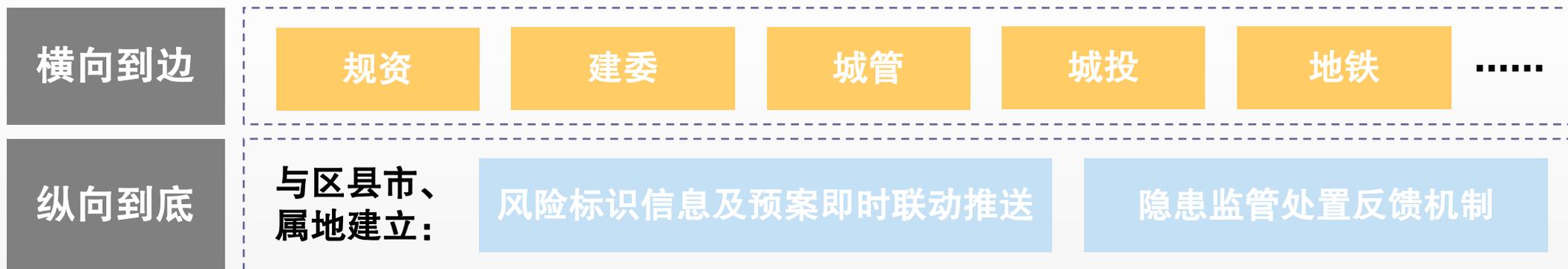
路面塌陷综合风险一张图：

高风险等级区

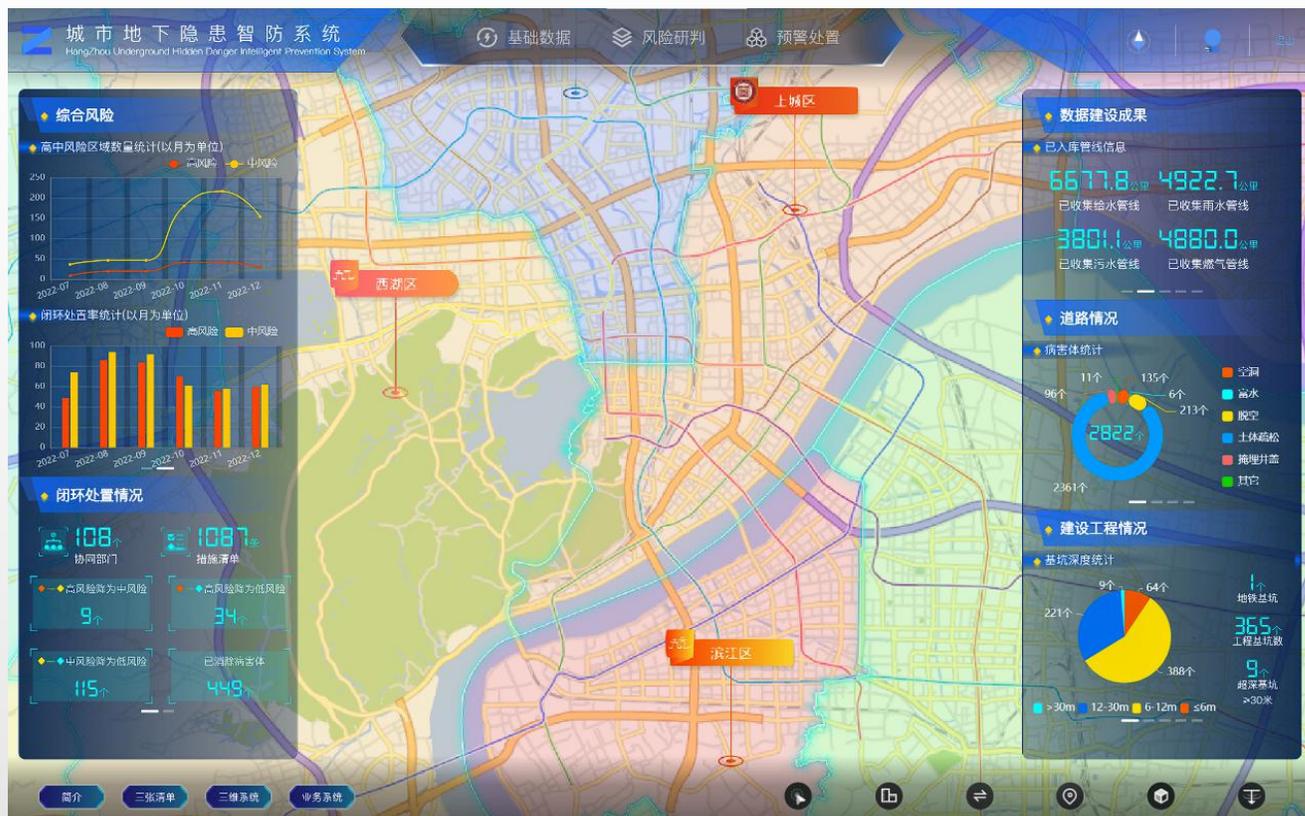
中风险等级区

低风险等级区

3、能指挥，重构跨部门联防联控机制



三、实战成效



本场景于2021年11月上线，运行至今已实现对杭州市十城区建成区范围近900平方公里的全面覆盖，归集超1100平方公里地质数据、2万余公里各类管线、719处地下市政设施等基础数据，汇聚各条线12类路面坍塌因子数据，形成路面塌陷综合风险分析算法模型并持续推进算法迭代升级。累计对314处中、高风险点进行管控，完成3.5万余次闭环处置，降低或消除中、高风险点155处。

感谢聆听，请指正！

