

CORS技术进展与应用

目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

3. 基于CORS的变形监测系统

4. 基于CORS的扩展应用

5. CORS未来发展

目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

3. 基于CORS的变形监测系统

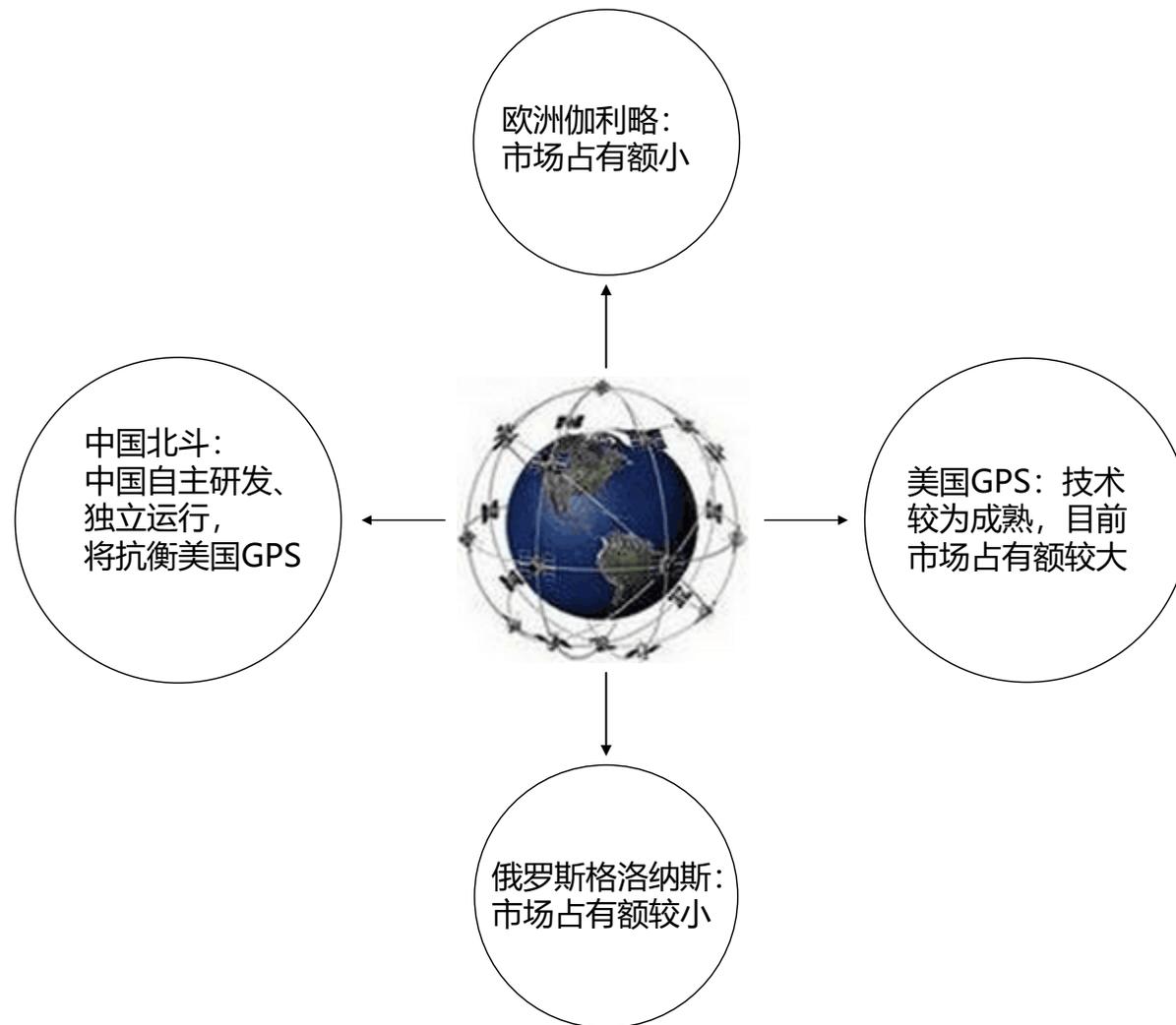
4. 基于CORS的扩展应用

5. CORS未来发展

卫星定位系统概况

■ 全球GNSS系统

- 全球定位系统 GPS (美国1980)
- 格洛纳斯系统GLONASS (俄罗斯1982)
- 北斗卫星导航系统 BDS (中国2000)
- 伽利略定位系统Galileo (欧盟2002)



GPS (<http://www.gps.gov/>)

■ 星座

卫星数：设计星座(21+3)，当前31颗健康卫星

卫星轨道：6个，高度2万公里，倾角 55° ，
周期 11^h58^m

■ 信号(CDMA)

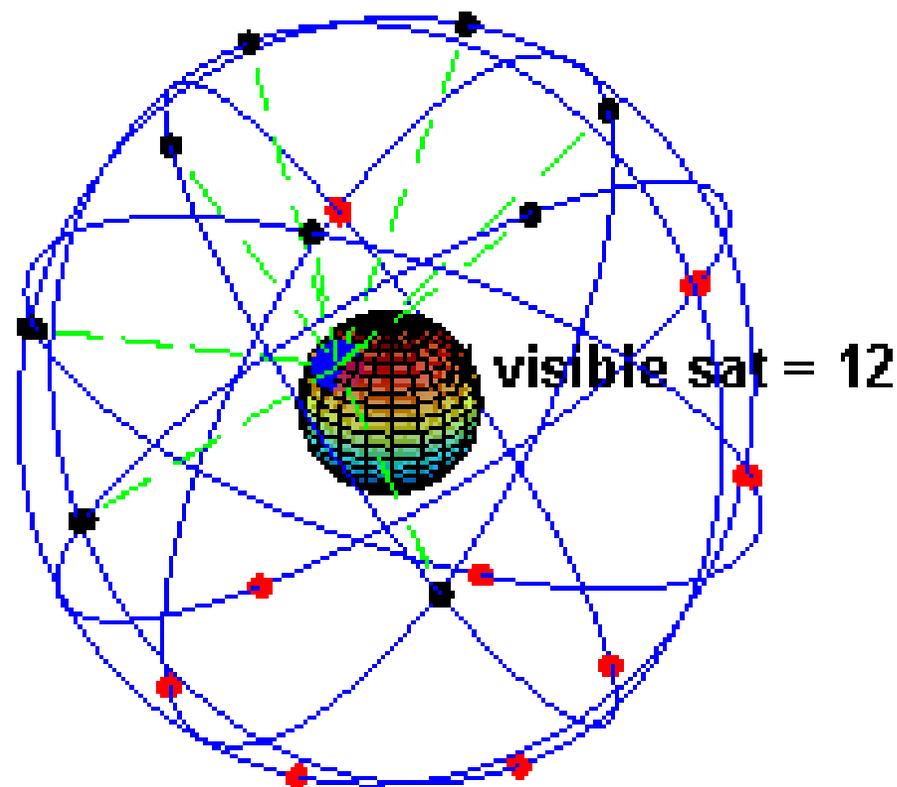
L1: 1575.42MHz

L2: 1227.60MHz

L5: 1176.45MHz

■ 坐标系

WGS84



■ GPS卫星类型

➤ 实验卫星

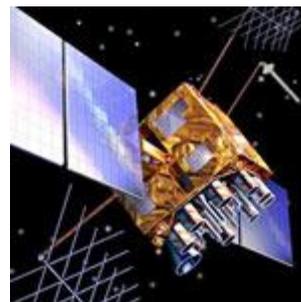
- BLOCK I (1978–1985)

➤ 正式卫星

- BLOCK II (1989–1990)
- BLOCK IIA (1990–1997)
- BLOCK IIR (1997–2004)
- BLOCK IIR-M (2005–2009)
- BLOCK IIF (2010–2016)

➤ 未来计划

- GPS III (2016开始发射)



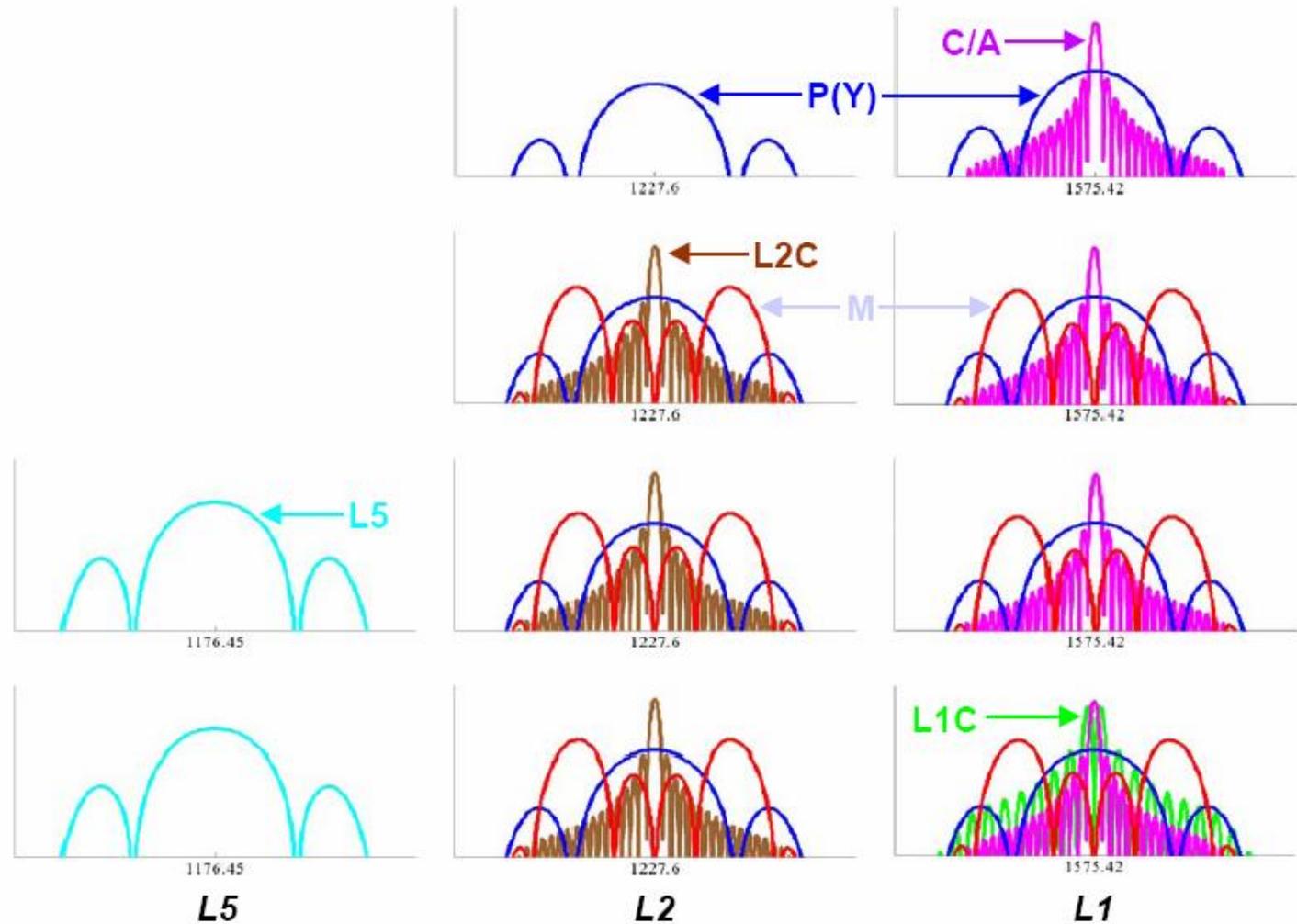
GPS信号

Block II/IIA/IIR
Dual Frequency Semi-
codeless P(Y)

(Block IIR-M)
Dual Frequency
L1 C/A&L2C

Block IIF
Three Frequency
L1 C/A, L2C,&L5

GPS III
L1C, L2C, L5,
&L1 C/A Code



■ 星座

卫星数：设计星座24，当前24颗健康卫星

卫星轨道：3个，高度1.9万公里，倾角 64.8° ，
周期 $11^h15^m44^s$

■ 信号 (FDMA)

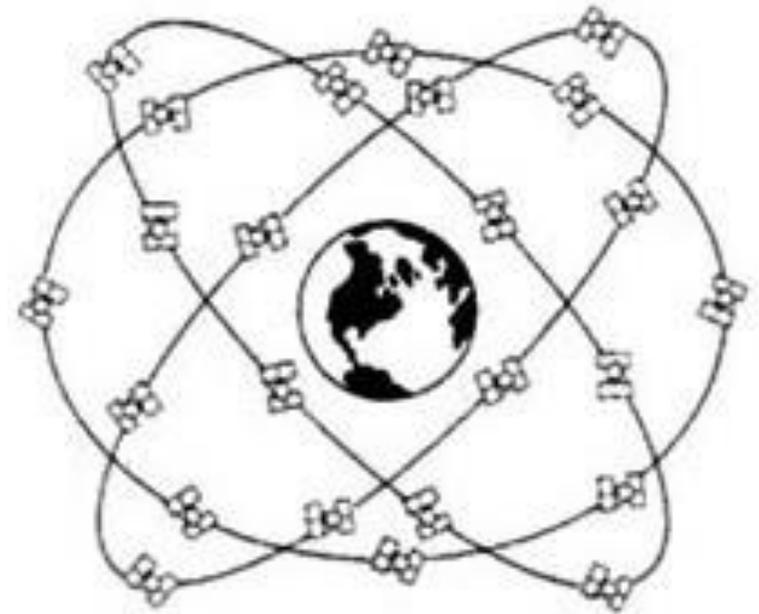
$L1=1602+k\cdot 0.5625\text{MHz}$

$L2=1246+k\cdot 0.4375\text{MHz}$

$L3=1202.025\text{MHz}$

■ 坐标系

PZ90



BDS(<http://www.beidou.gov.cn/>)

■ 星座

卫星数：35颗 (5颗GEO, 3颗IGSO, 27颗MEO),
当前20颗

卫星轨道：3个, 高度2.7-3.6万公里,
MEO&IGSO轨道倾角 55°

■ 信号 (CDMA)

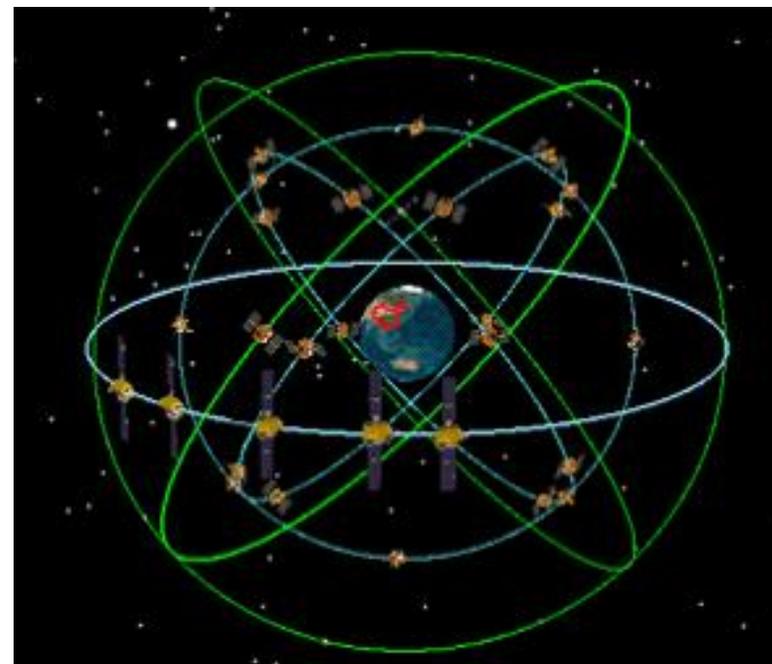
B1=1575.42MHz

B2=1191.795MHz

B3=1268.52MHz

■ 坐标系

2000国家大地坐标系
(CGCS2000)



北斗系统

■ 现阶段服务区域

东经 $55^{\circ} \sim 180^{\circ}$

南纬 $55^{\circ} \sim$ 北纬 55° 之间的大部分区域；

重点区域为东经 $70^{\circ} \sim 145^{\circ}$ ，北纬 $5^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 的大部分区域。

信号覆盖西至波斯湾霍尔木兹海峡，东至美国中途岛西部，北至俄罗斯腾达，南至澳大利亚、新西兰南部海域。



北斗系统

■北斗性能

目前提供4种服务：公开服务, 授权服务, 广域差分服务, 短报文服务

- 公开服务指标

定位精度: 优于 10 m 测速精度: 优于 0.2 m/s, 授时精度: 优于 20 ns

- 精密定位服务指标

静态平面精度可达2cm, 高程精度可达4cm

- 北斗三代性能

与美国GPS三代性能相当, 全面优于GLONASS系统

■ 星座

卫星数：27+3，当前12颗在轨卫星

卫星轨道：3个，高度2.3万公里，
轨道倾角 56°

■ 信号 (CDMA)

L1=1575.42MHz

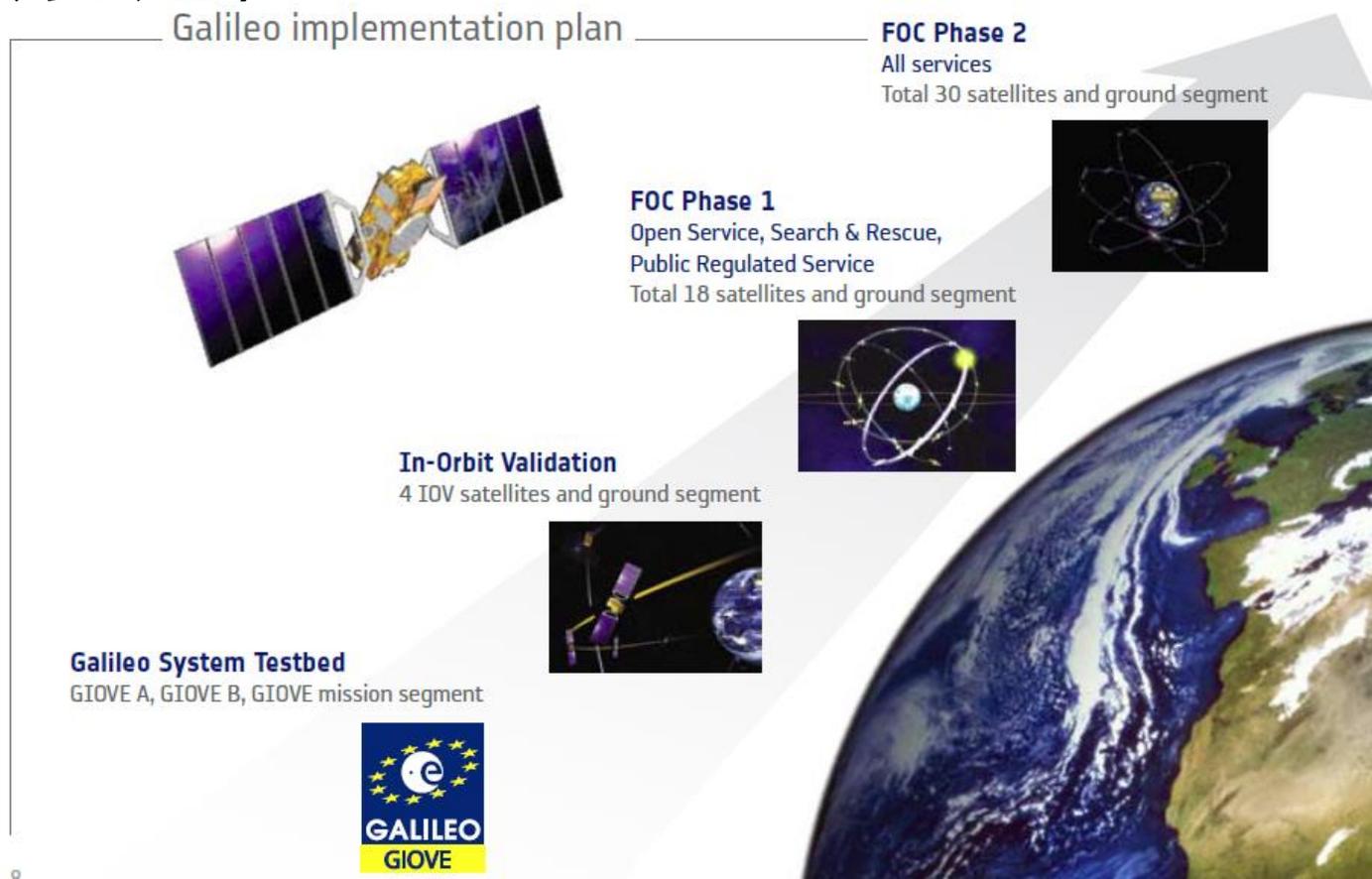
E6=1278.75MHz

E5a=1176.450MHz

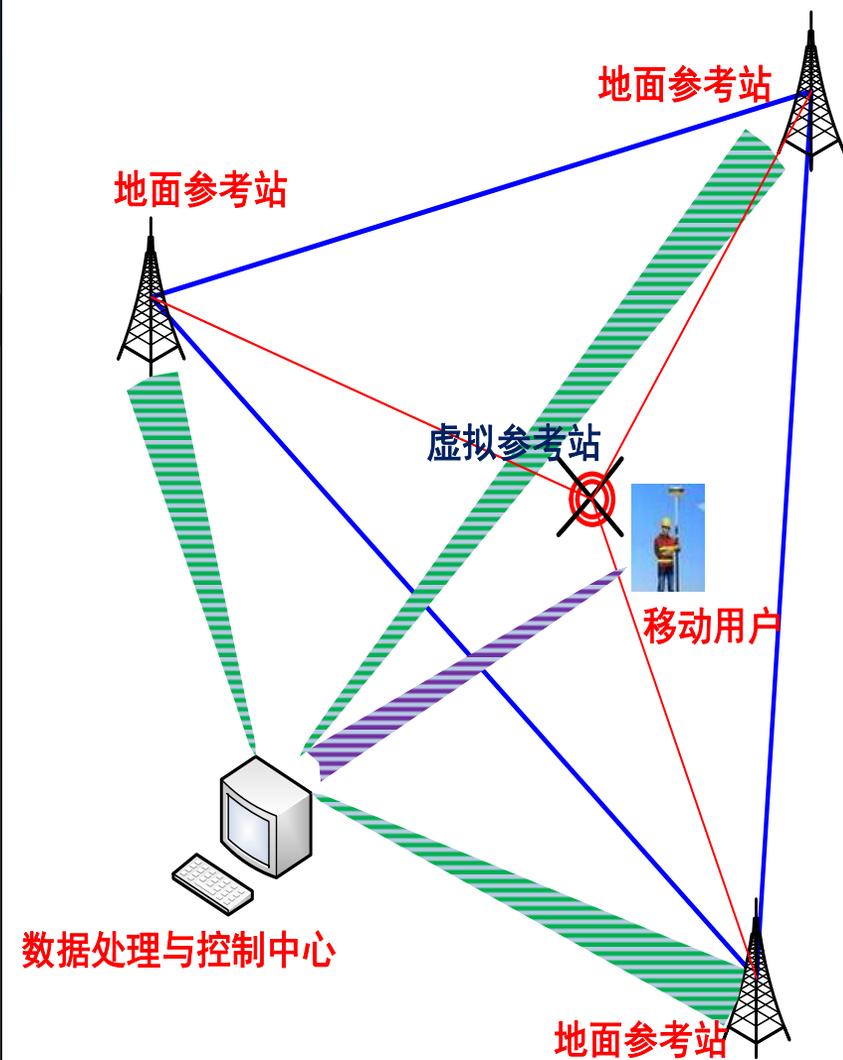
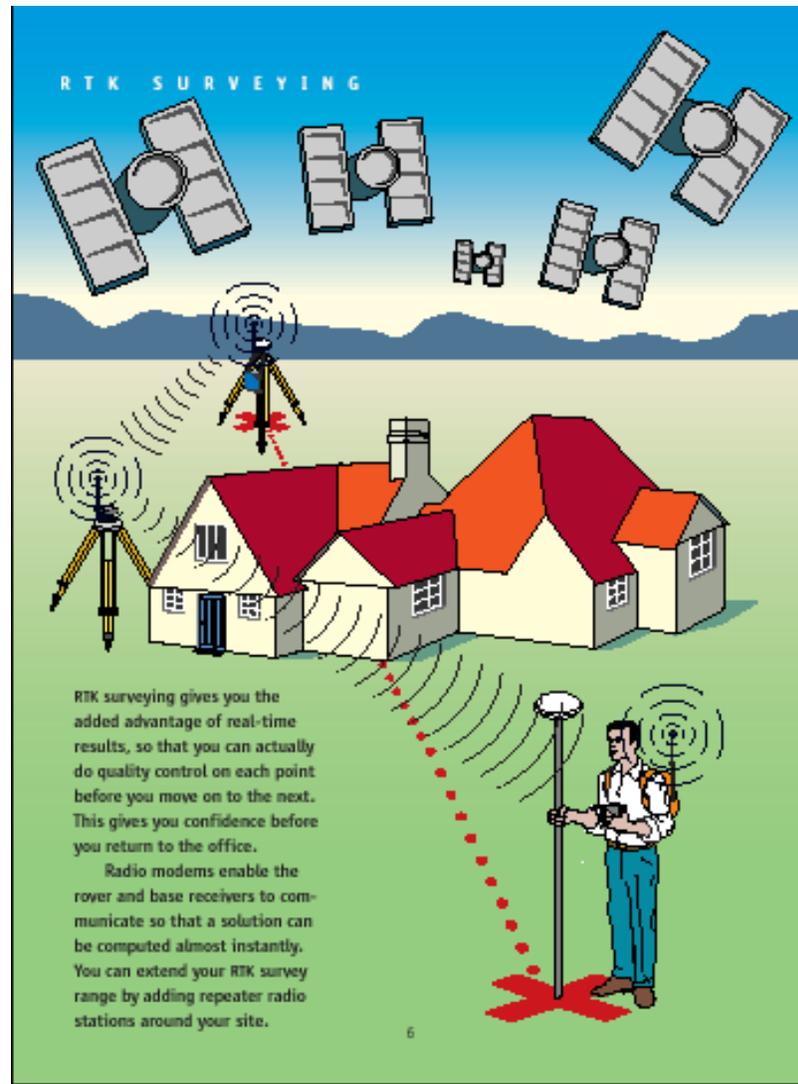
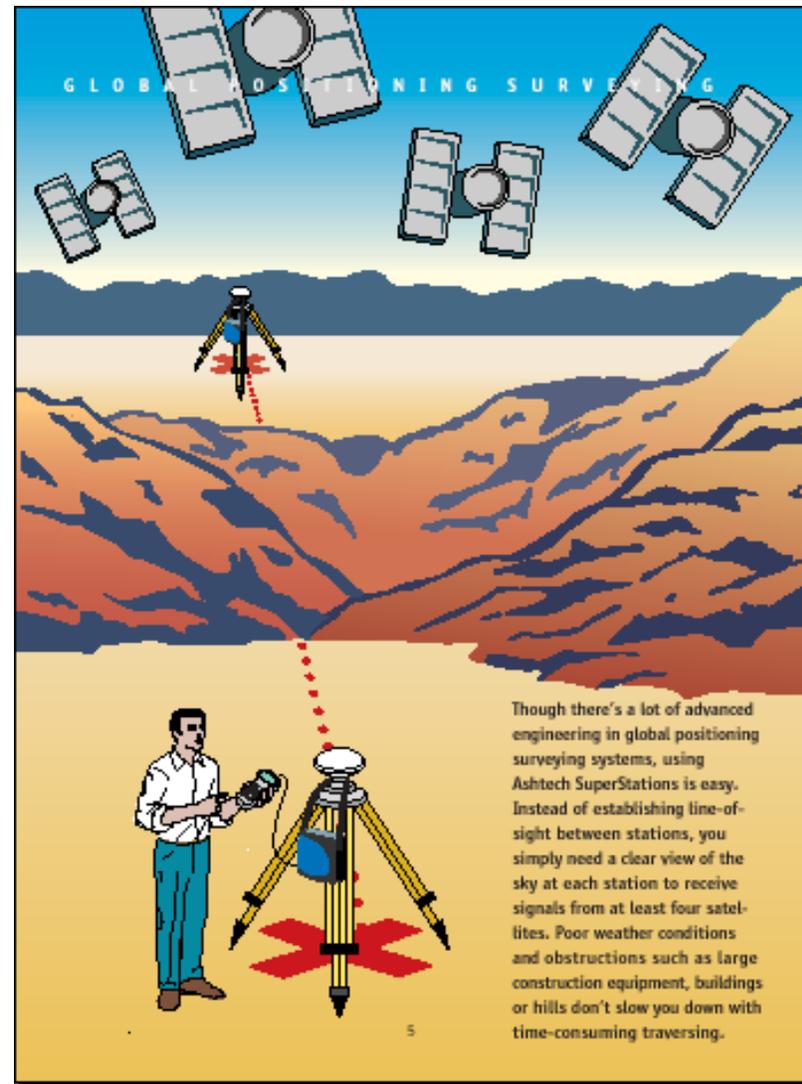
E5b=1207.14MHz

■ 坐标系

GTRF



静态相对定位->RTK->NRTK



目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

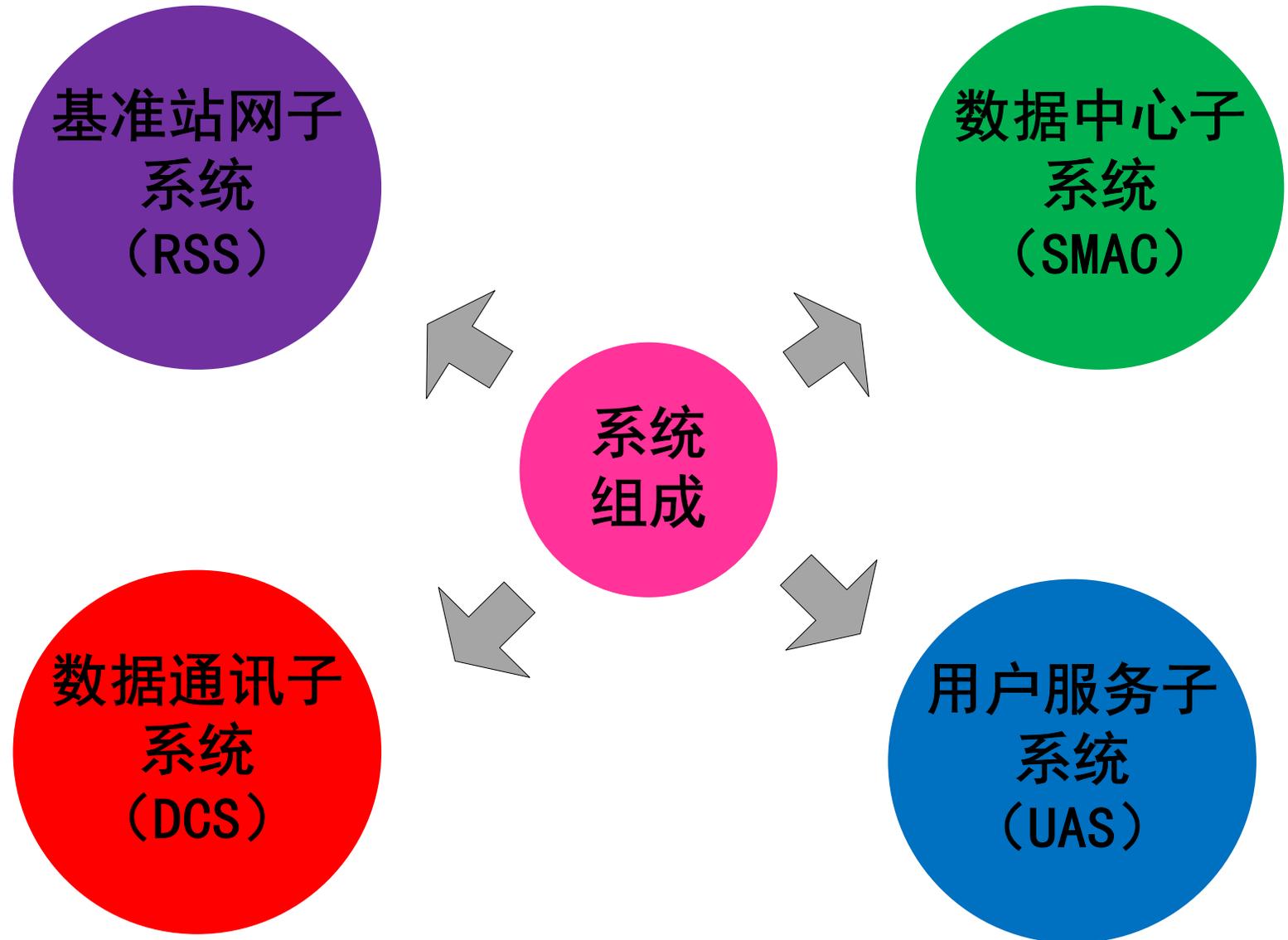
3. 基于CORS的变形监测系统

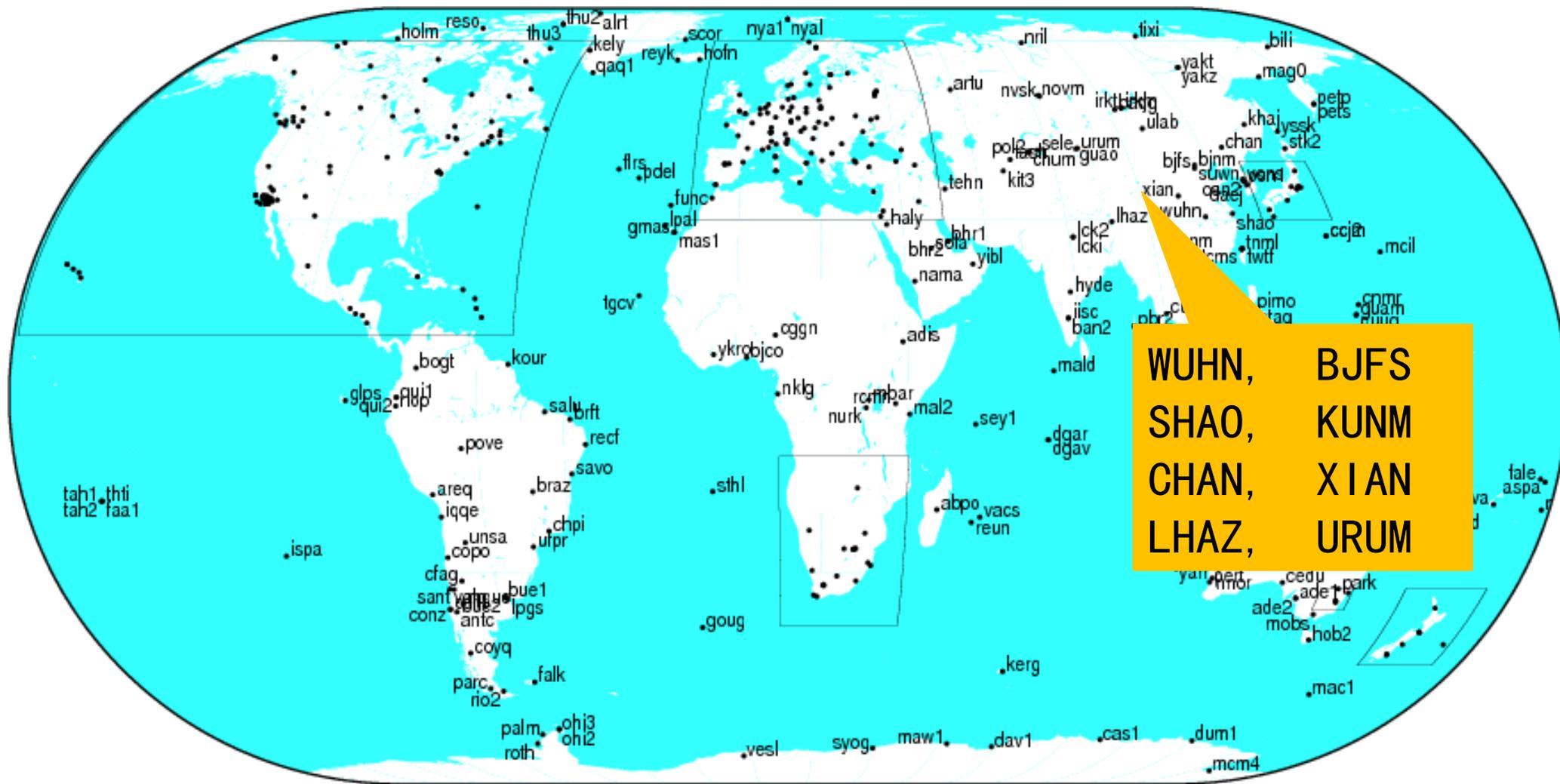
4. 基于CORS的扩展应用

5. 总结与展望

2 连续运行参考站CORS

- 基准站网
- 数据中心
- 数据通信
- 用户服务
- 全球基准站网
- 国家基准站网
- 区域基准站网
- 专业应用站网





CORS数据资源

观测数据和产品

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/>

<ftp://garner.ucsd.edu/pub/rinex/>

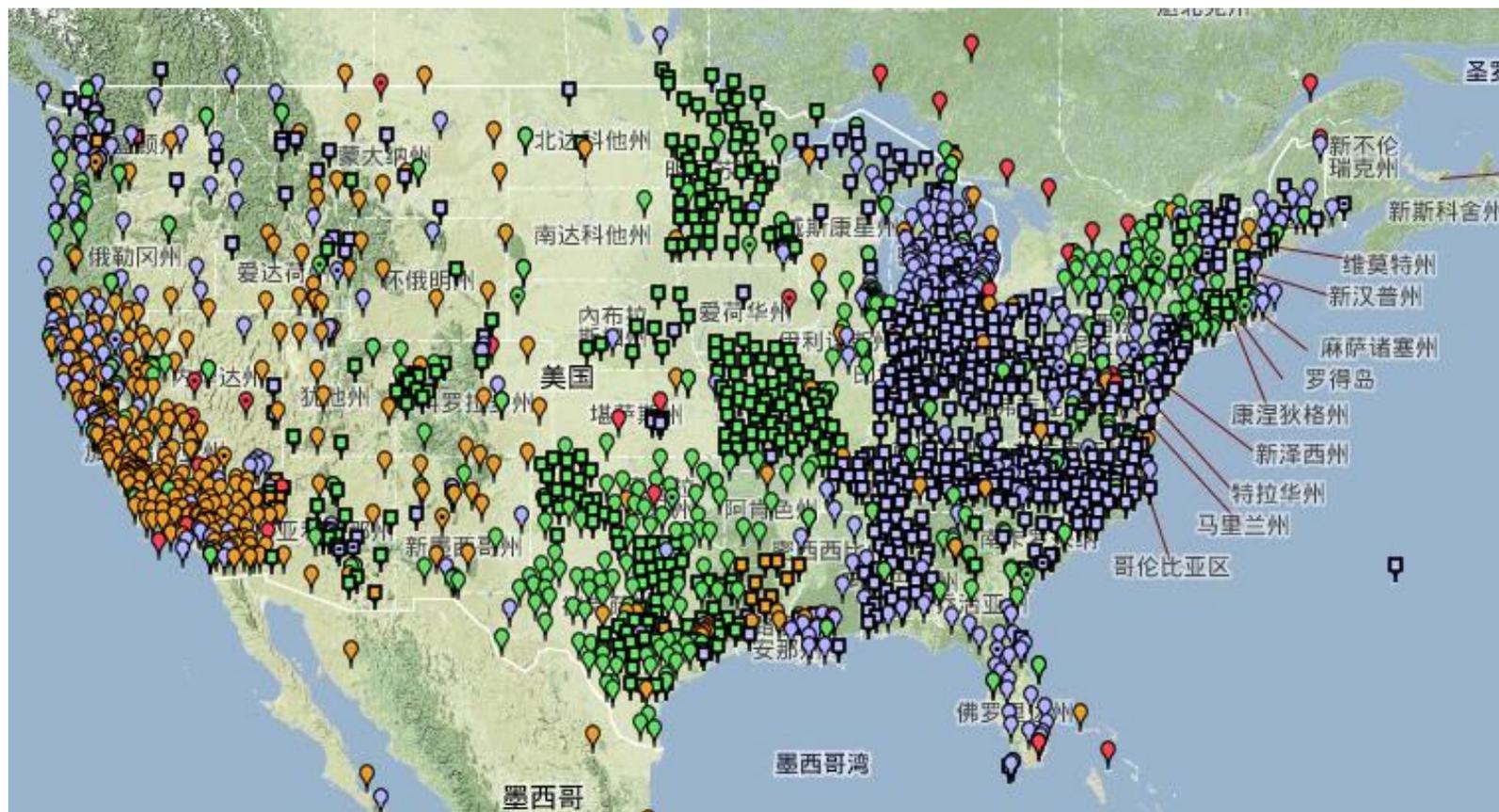
<ftp://garner.ucsd.edu/pub/nav/>

<ftp://igsws.unavco.org/>

<ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/>

<http://www.geod.nrcan.gc.ca>

美国CORS



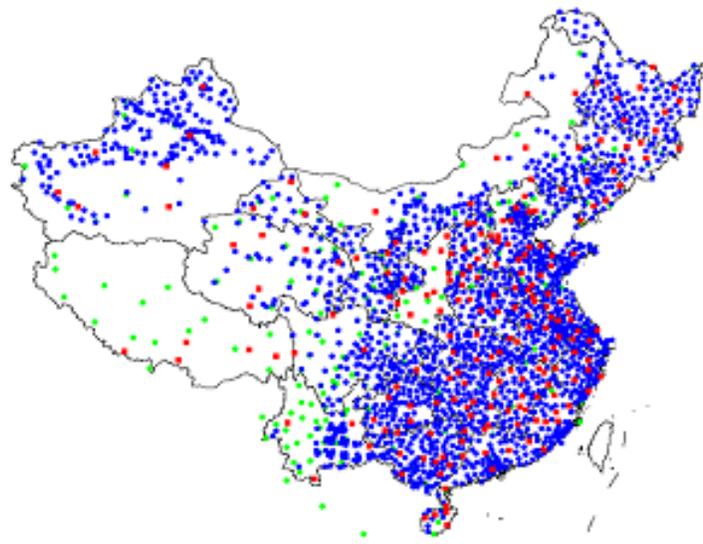
- ①厘米级定位和导航
- ②利用CORS来发展GIS
- ③监测地壳形变
- ④支持遥感的应用
- ⑤求定大气水汽分布
- ⑥监测电离层

http://www.ngs.noaa.gov/CORS_Map/ (1800站点)

中国CORS

目前提供服务:

- 基础测绘服务
- 网络RTK服务
- 位置服务
- 气象服务
- 地壳形变监测
- 地震监测服务
- 地质灾害监测预警
- 其他军事、科研服务
- ...

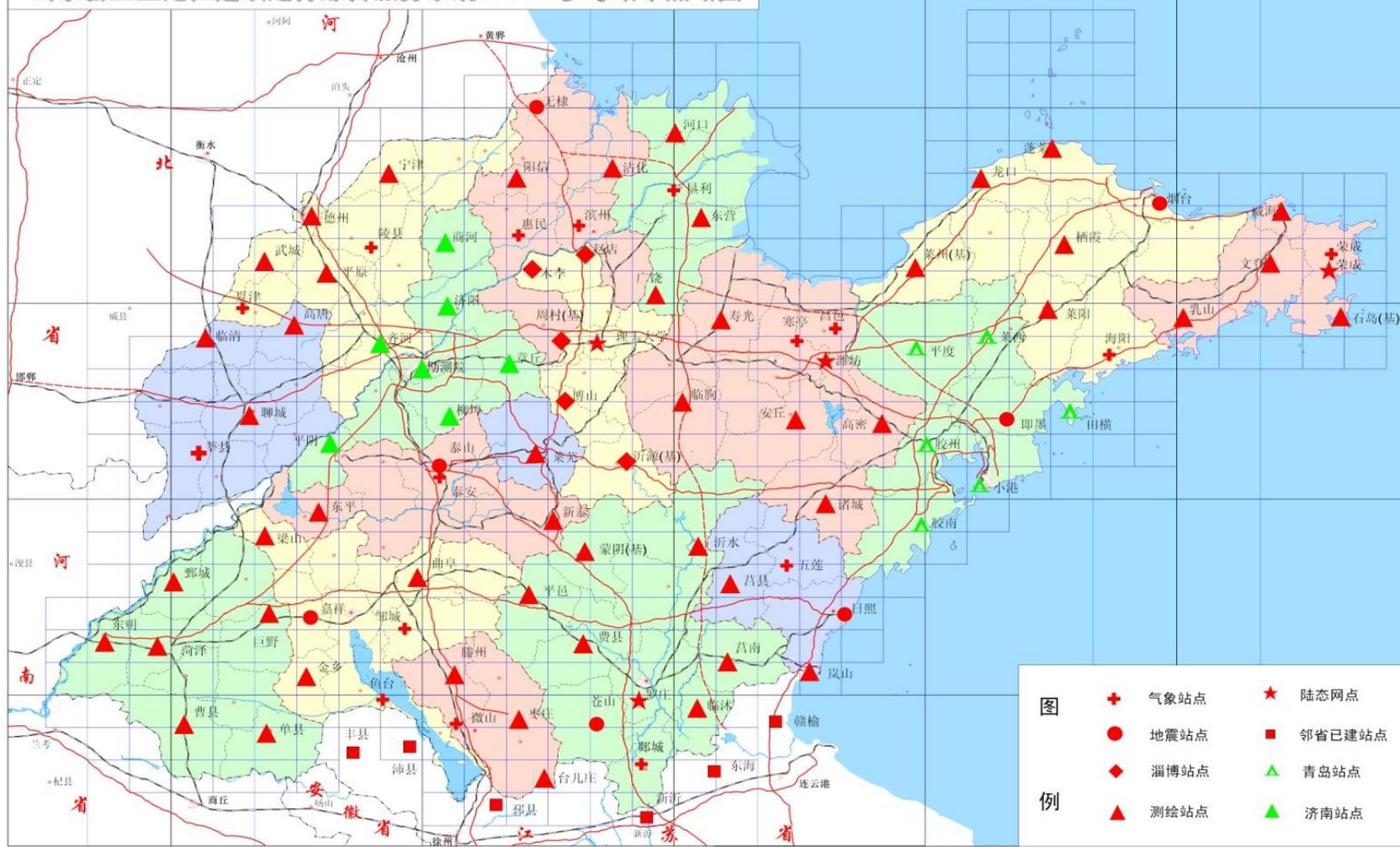


约3000站点, 东部相对密集



SDCORS

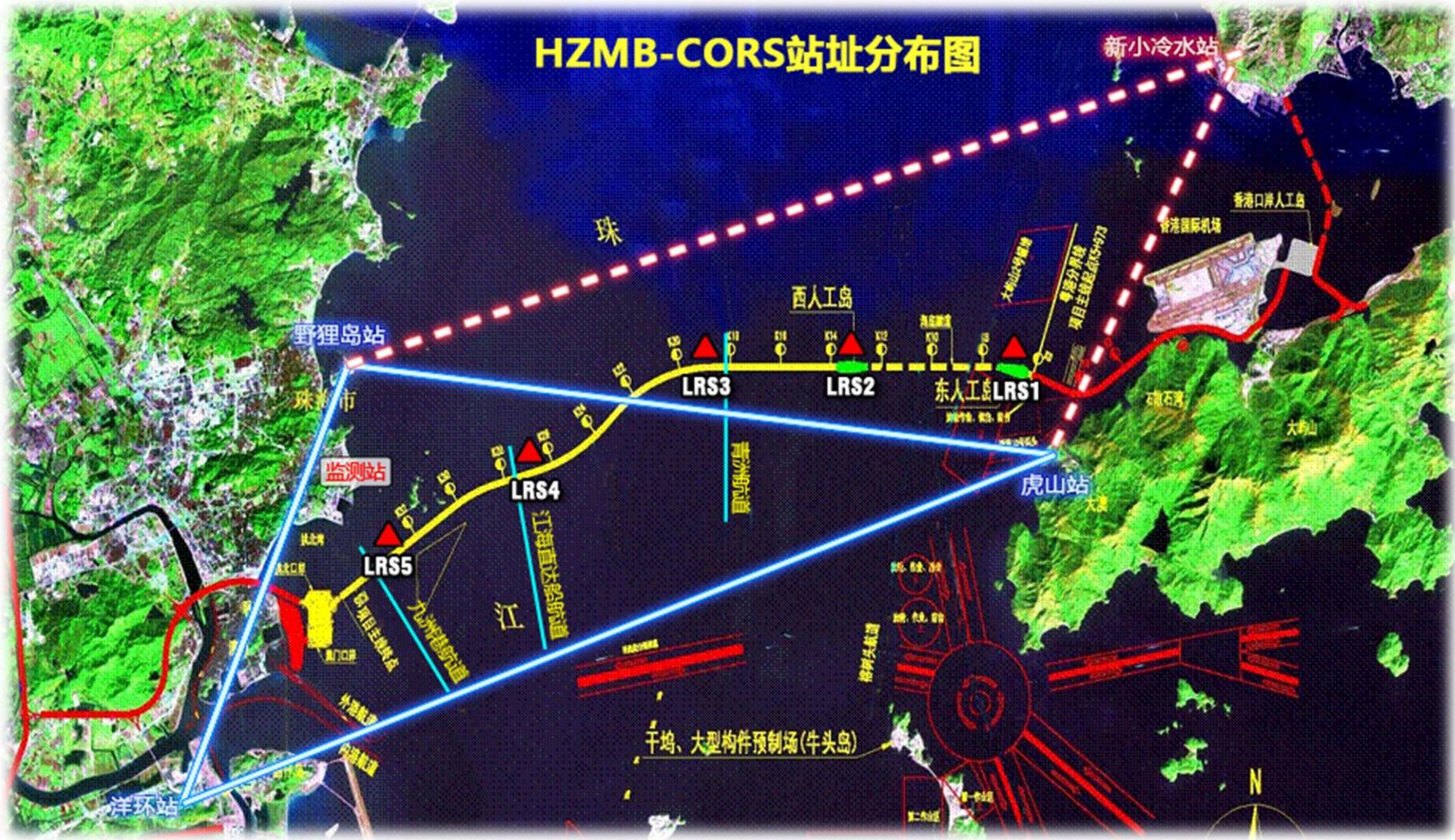
山东省卫星定位连续运行综合服务系统SDCORS参考站布点略图

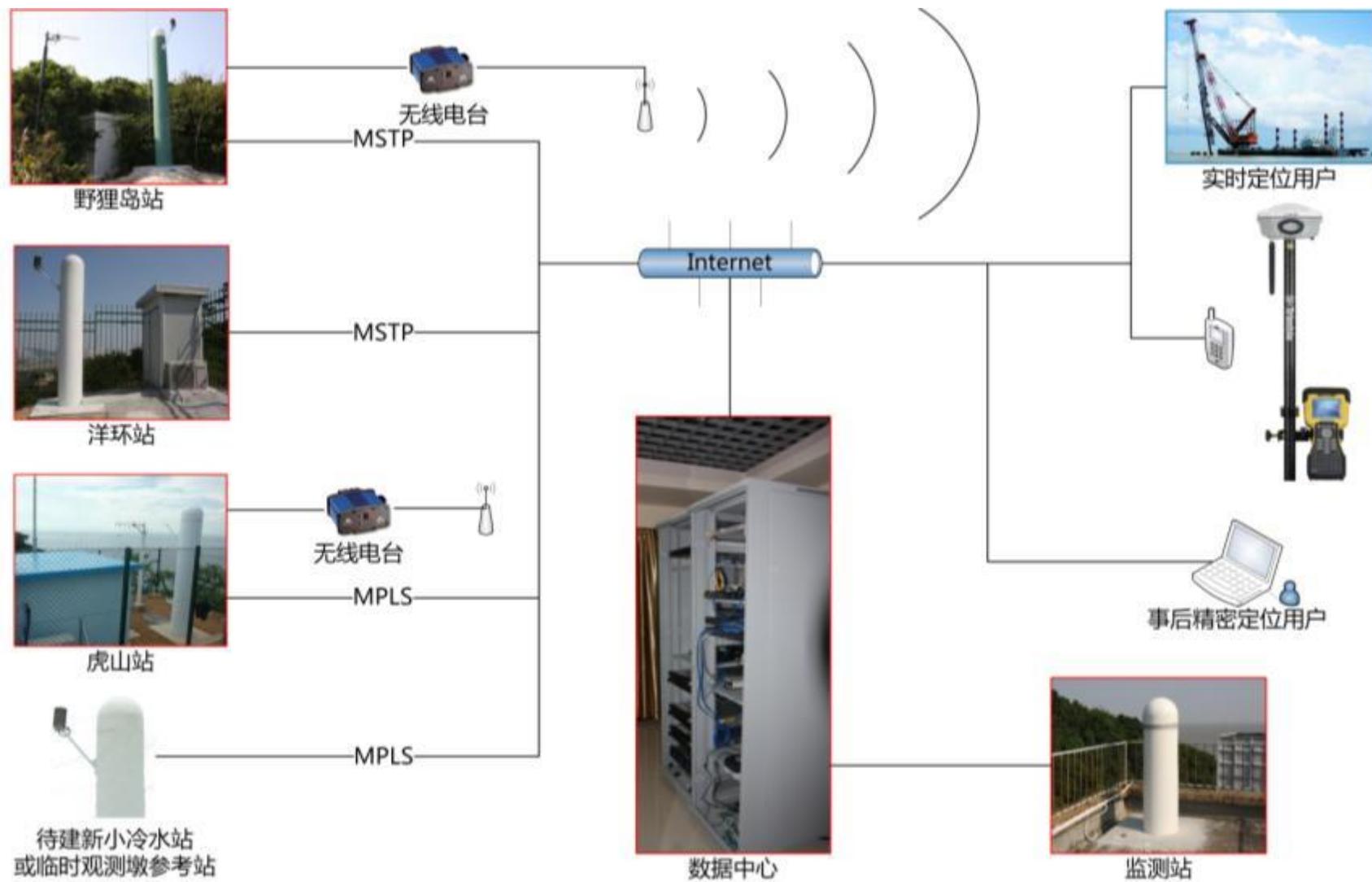


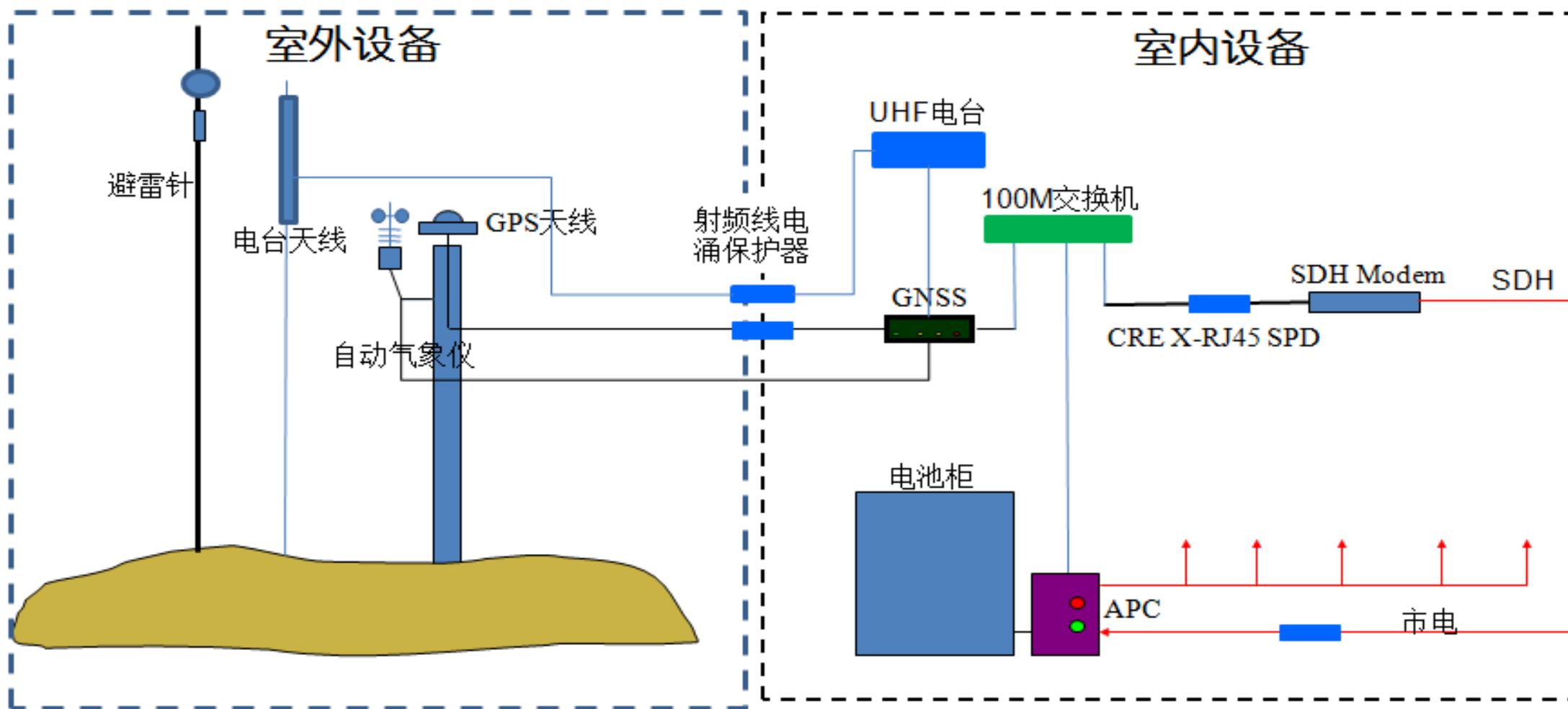
| 站点类型 | 建设单位 |
|---------------|----------|
| 新建站点 | 山东省国土资源厅 |
| 行业及地市已建成 CORS | 山东省气象局 |
| | 济南规划局 |
| | 青岛国土局 |
| | 淄博国土局 |
| | 日照国土局 |
| 共享邻省站点 | 烟台规划局 |
| | 国家陆态网 |
| | 江苏 CORS |

武汉市CORS











- 气象仪主机、电台、稳压电源
- GPS主机、交换机、光纤盒、光电转换器
- UPS主机和UPS电池柜

千寻位置



产品服务

解决方案

开发中心

千寻社区

帮助文档

手机千寻

千寻跬步 FindM
亚米级高精度定位服务

千寻知寸 FindCM
厘米级高精度定位服务

千寻见微 FindMM
静态毫米级高精度定位服务

千寻云踪 FindS
位置数据服务

千寻优行 FindU
行人增强定位服务

千寻优航 FindV
车载增强定位服务

FindNow
A-GNSS加速定位服务

千寻位置

精准位置服务 掌握新体验



iOS版下载



Android版下载

当前安卓版本仅支持5.0及以上系统



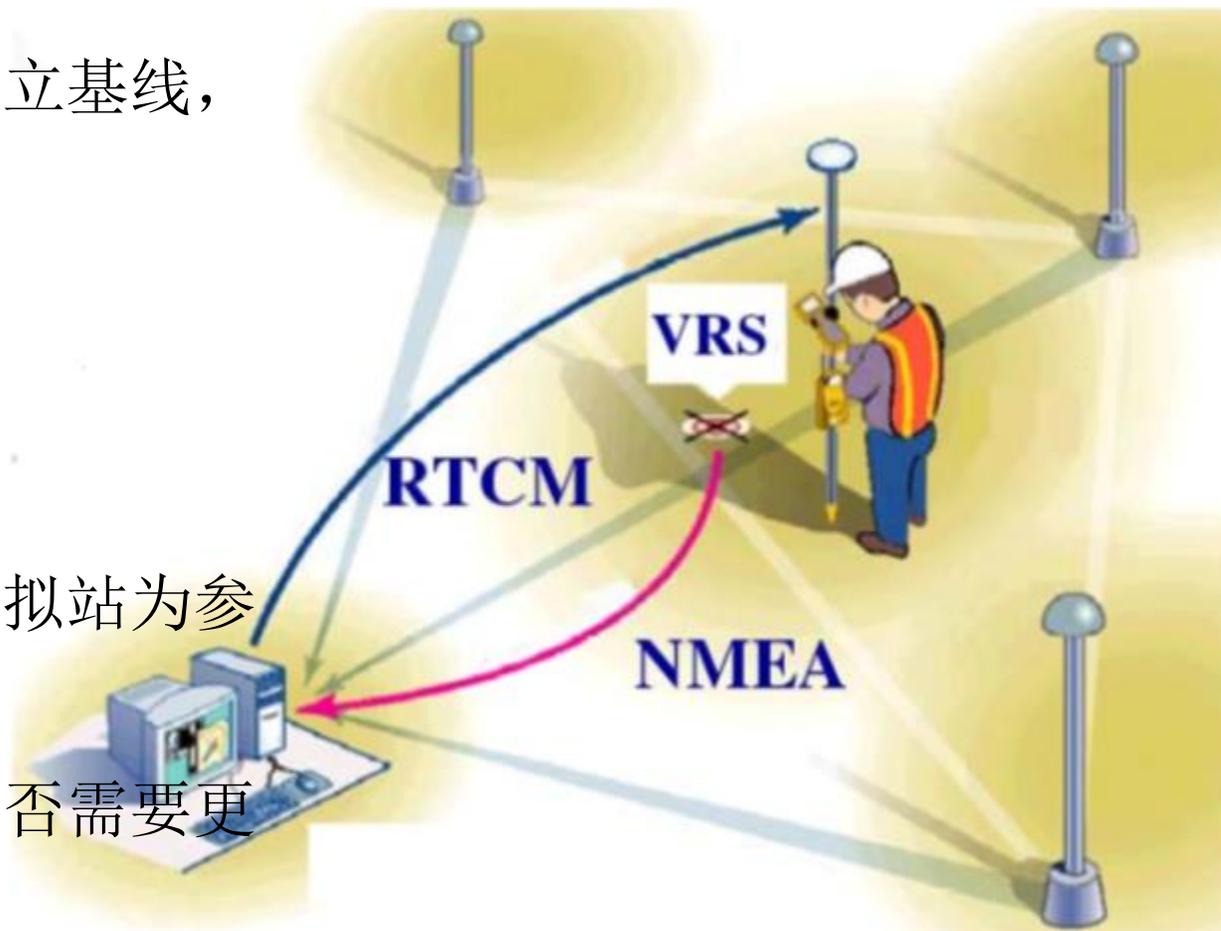
扫码下载

CORS关键技术

- 虚拟参考站技术(VRS)
 - TRIMBLE(GPSNet/Pivot)
- 区域改正数技术(FKP)
 - GEO++
- 主辅站技术 (MAC、i-MAX)
 - LEICA(Spider)

VRS工作机制

- (1)参考站实时采集数据并传输到控制中心
- (2)控制中心按照一定的原则**构建网络**并形成独立基线，实时解算得到相应基线的载波相位**整周模糊度**
- (3)根据上一步基线解构建**系统误差模型**
- (4)流动站发送概略坐标到控制中心
- (5)控制中心根据流动站发来的坐标**建立虚拟站**
- (6)流动站用户在运动过程中的每个位置均以虚拟站为参考点构成短基线得到**流动站RTK解**
- (7)控制中心根据流动站与虚拟点的距离判断是否需要更新虚拟点
- (8)回到步骤(1)继续循环

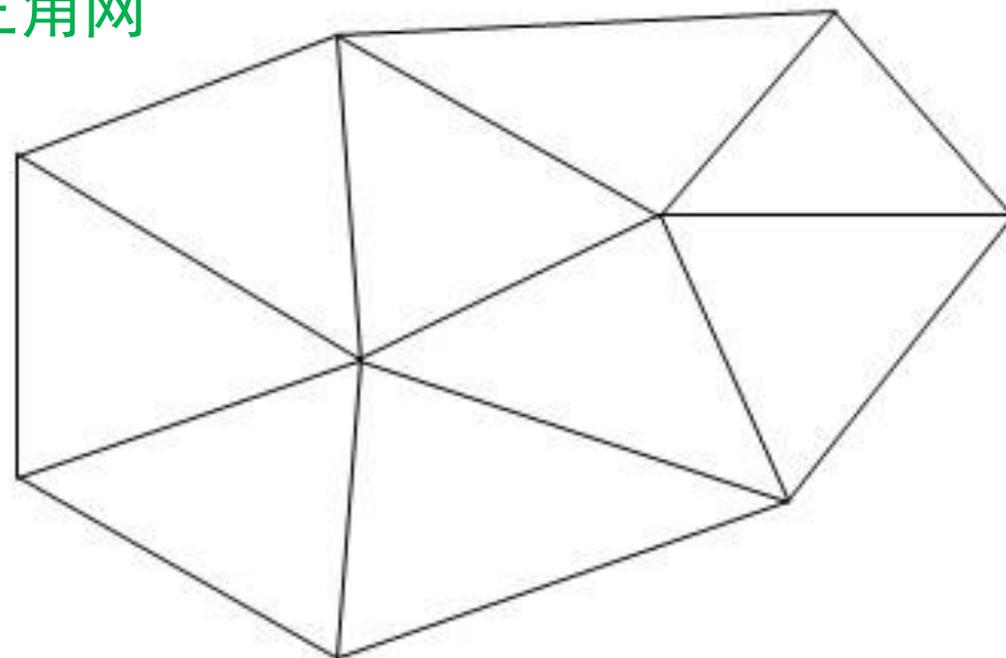


□ VRS关键技术

- 网络剖分
- CORS长基线模糊度实时解算
- 空间相关误差实时估计与建模
- 虚拟观测置生成与播发
- 用户RTK定位

➤ 网络剖分 组建CORS三角形网络-De launay三角网

- (1) **空外接圆性质**。在离散点集所形成的De launay三角网中，其每个三角形的外接圆均不包含点集 V 中的任何其它点；
- (2) **最大的最小内角性质**。在由离散点集所形成的De launay三角网中，De launay三角网中三角形的最小内角是最大的。



De launay三角网的两个性质，决定了De launay三角网具有极大的应用价值。CORS参考站构建三角网，De launay三角网是最佳的选择。

De launay三角网生成算法

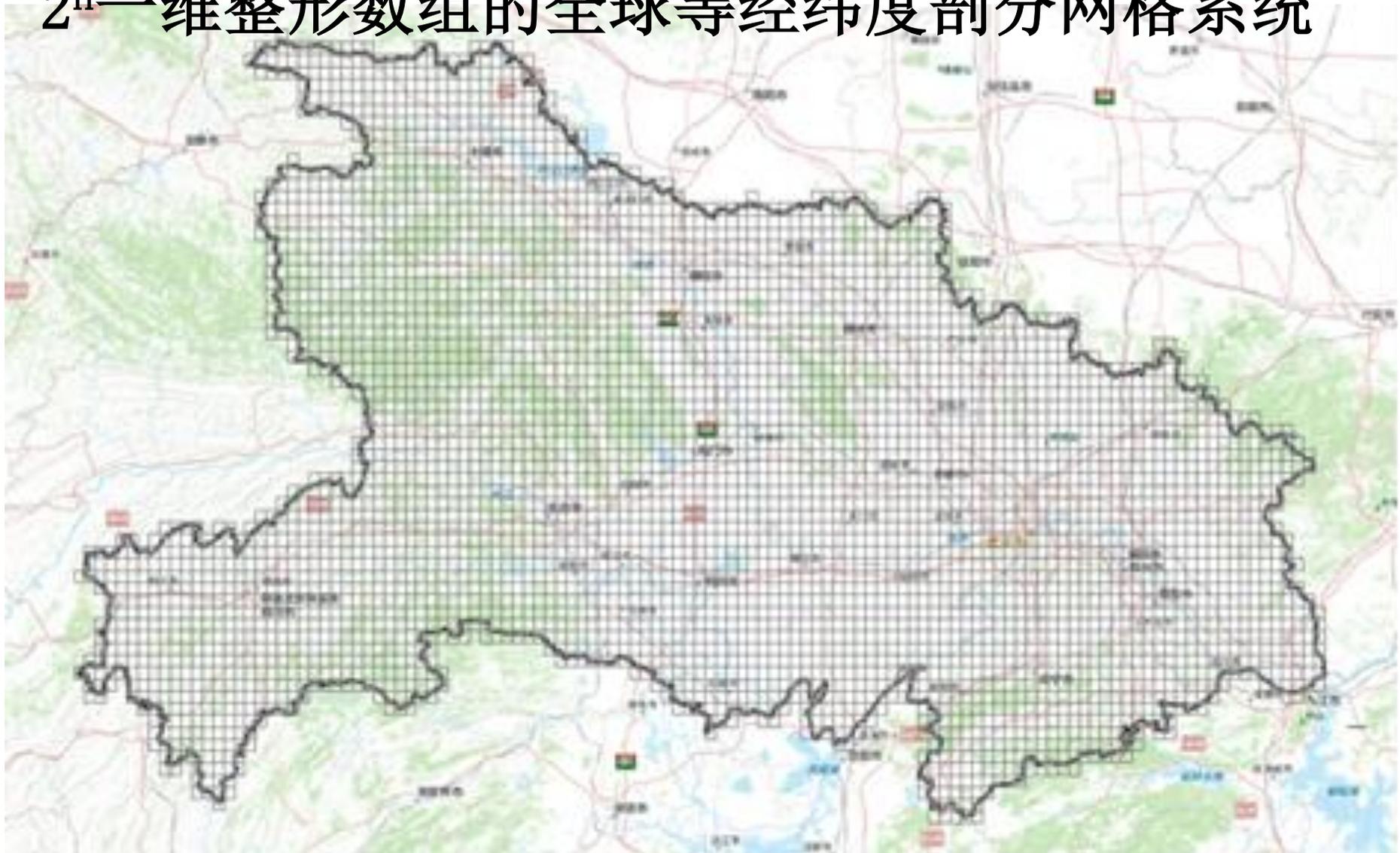
- 分割-归并法/分治算法
- 逐点插入法
- 区域生长法

参考文献：

- ① 用Visual C语言实现的De launay三角剖分算法_文伟.pdf
- ② 基于De launay三角网的大规模CORS基准站组网技术研究_梅生强.pdf
- ③ De launay三角网的生成算法研究_武晓波.pdf
- ④ De launay三角网构网技术在连续运行卫星定位服务系统中的应用_邹蓉.pdf

GeoSOT网格剖分

2^n 一维整形数组的全球等经纬度剖分网格系统

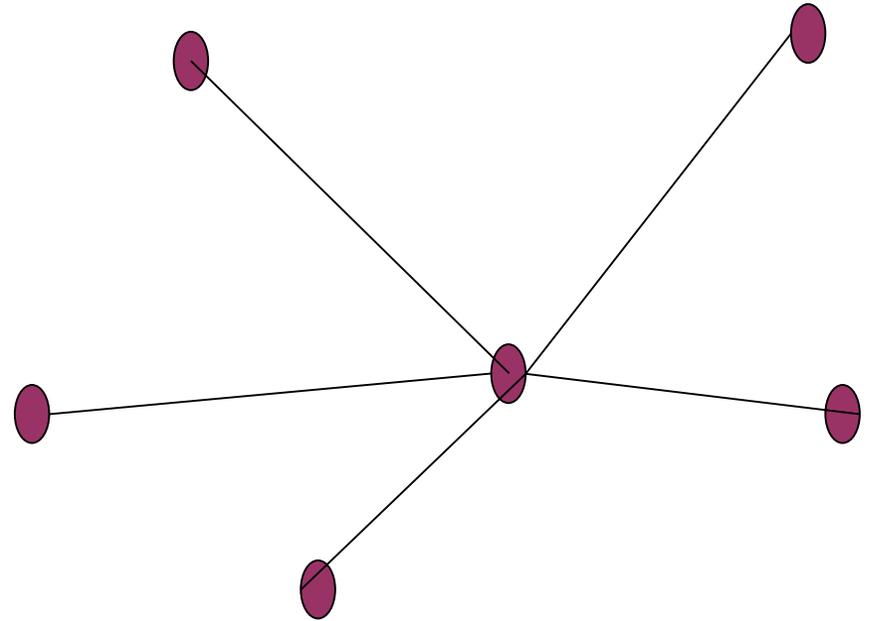


➤ CORS长基线模糊度实时解算

根据CORS全部站点构建的整体Delaunay三角网，再划分为基本解算单元(cell)，按多基线多卫星进行模糊度实时解算。

$$N_{WL} , N_{IF} \Rightarrow$$

$$N_1 = \frac{N_{IF} + 60N_{WL}}{17}$$



| 组合类型 | | j | | i | | 波长 | 电离层 | 名称 |
|------|-----|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------|------|-------------|
| h | j | a | b | c | d | λ_h/m | 是否有关 | |
| WL | WL | 1 | -1 | 0 | 0 | 0.8619 | 否 | 宽巷 |
| NL | NL | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.1070 | 否 | 窄巷 |
| IF | IF | 77 | -60 | 0 | 0 | 0.0063 | 是 | 电离层无关 |
| GF | GF | 60 | -77 | 0 | 0 | ∞ | 否 | 几何无关 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.1903 | 否 | L1 |
| 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.2442 | 否 | L2 |
| MW | WL | 1 | -1 | $-\frac{17}{137}$ | $-\frac{17}{137}$ | ∞ | 是 | 几何电离层无关宽巷 |
| W1 | WL | 1 | -1 | $-\frac{17}{60}$ | 0 | -3.0421 | 是 | L1 码电离层无关宽巷 |
| W2 | WL | 1 | -1 | 0 | $-\frac{17}{77}$ | 3.9040 | 是 | L2 码电离层无关宽巷 |
| M1 | M1 | $-\frac{9529}{2329}$ | $\frac{9240}{2329}$ | 1 | 0 | ∞ | 是 | L1 码伪距多路径 |
| M2 | M2 | $-\frac{9240}{2329}$ | $\frac{9529}{2329}$ | 0 | 1 | ∞ | 是 | L2 码伪距多路径 |

➤ 空间相关误差实时估计与建模

$$S_B^j = S_A^j + \Delta S_{AB}^j = S_A^j + \Delta S_{AB}^{ref} + \nabla \Delta S_{AB}^{ref, j}$$

平面模型、曲面模型

➤ 拟观测置生成与播发

$$L_{vrs, i}^k = L_{mst, i}^k + \lambda_i^k \Delta N_{vrs-mst}^k + \Delta G_{vrs-mst}^k - \Delta I_{vrs-mst, i}^k + \Delta T_{vrs-mst}^k + \Delta O_{vrs-mst}^k$$

$$P_{vrs, i}^k = P_{mst, i}^k + \Delta G_{vrs-mst}^k + \Delta I_{vrs-mst, i}^k + \Delta T_{vrs-mst}^k + \Delta O_{vrs-mst}^k$$

➤ 用户RTK定位

- 平面坐标转换：外业点校正（相似变换）
内业转换模型（相似变换/仿射变换/多项式…）
- 大地高转换正常高：外业点校正（数学拟合）
内业转换模型（数学拟合/似大地水准面模型
/EGM2008…）

目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

3. 基于CORS的变形监测系统

4. 基于CORS的扩展应用

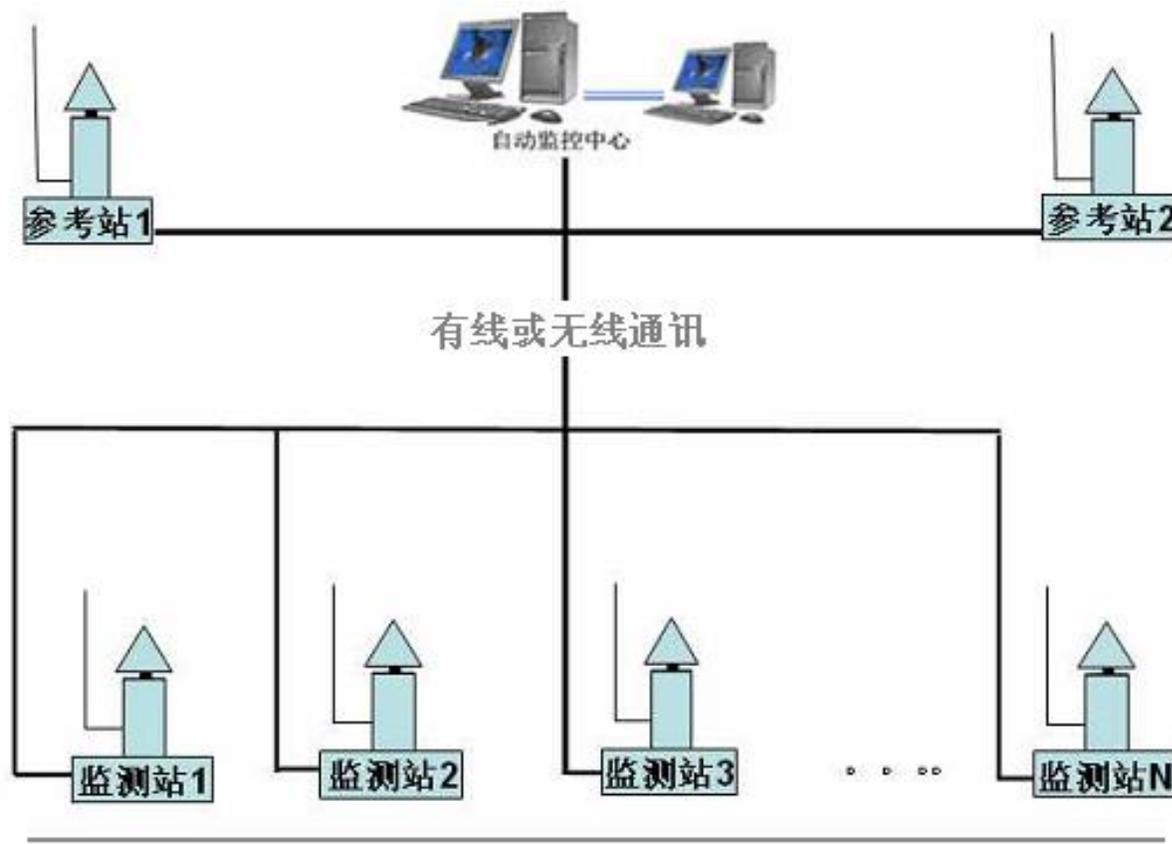
5. 总结与展望

变形监测

■ 全球卫星导航系统 (GNSS)监测方法

通过GNSS技术直接监测滑坡、地震带敏感点三维坐标、三维位移以及水平和高程形变量

优点：作业简单方便，具有测站间无需通视，不受天气影响，全天候监测，自动化程度高，缺点是技术相对复杂



观测墩、避雷针、供电系统、通讯系统

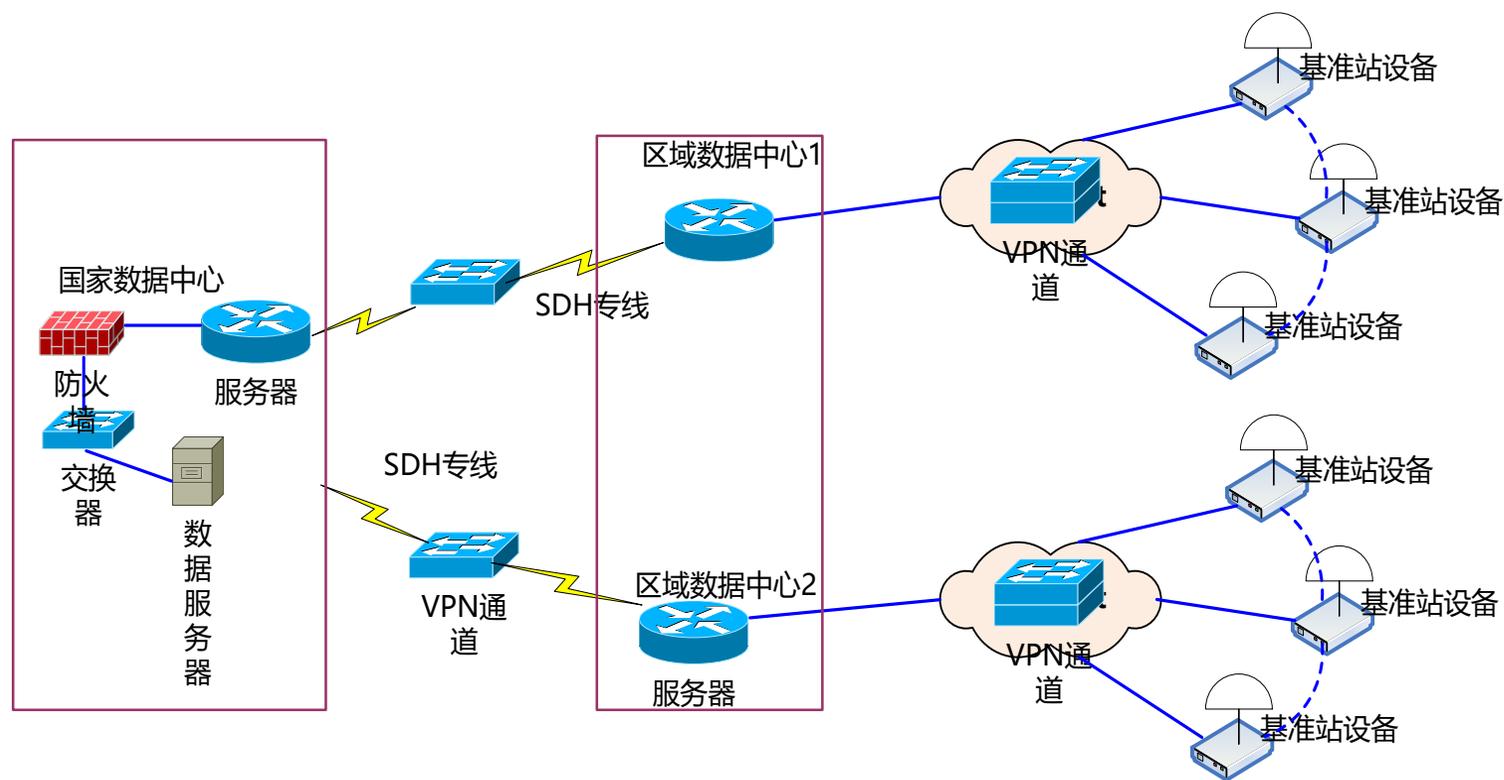
■ 两级CORS结构

• 国家CORS

分为服务中心、分析中心和备份中心实现数据交换、数据共享、数据服务等

• 区域CORS

开展区域内服务，满足局部地区地质灾害监测等需求。





- 王国塔:沙特,1007m,计划2018年建成
- 迪拜塔:阿联酋,828m,2010年竣工
- 武汉绿地中心:中国,636m,计划2017年建成
- 东京晴空塔:日本,634m,2012年竣工
- 上海中心大厦:中国,632m,2014年竣工
- 埃及胡夫金字塔136m,英国林肯大教堂160m,
美国帝国大厦443m,台北101大厦509m,

没有最高，只有更高！





BDS-A6#



TP01(BDS-A5#)



D3



GM10/AR10

D4



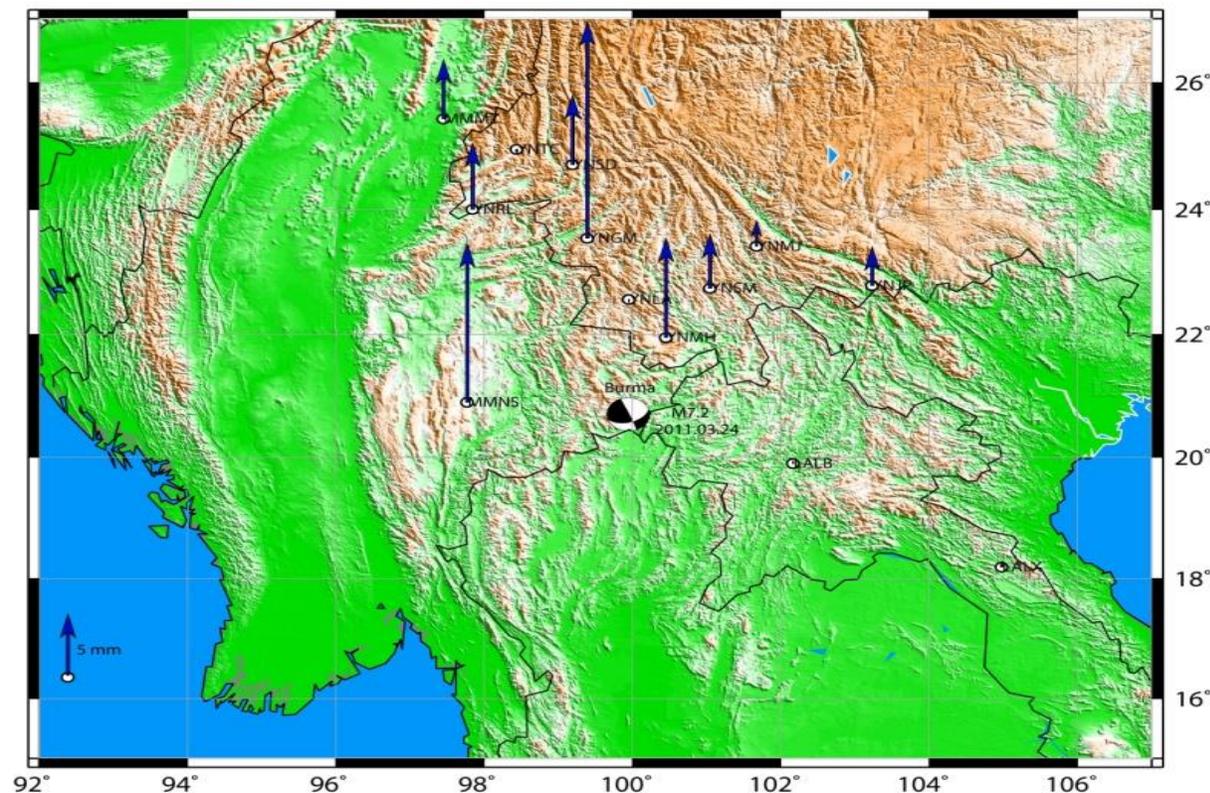
TP03



北斗CORS系统用于青藏高原地表位移监测

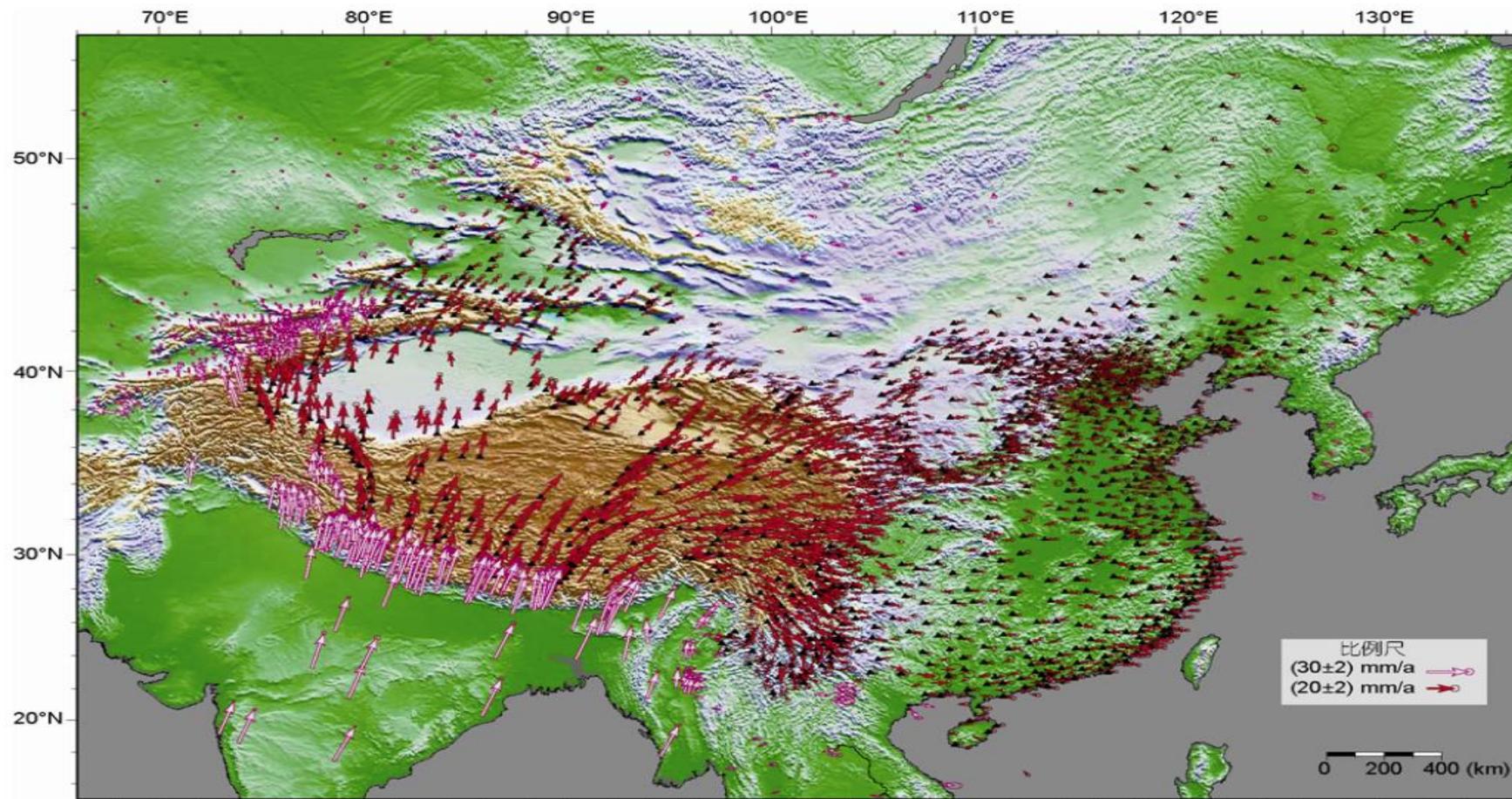
■ 地表位移

滑坡体、地震带形变过程中最直观的反应指标，包括**水平位移**和**垂直位移**。通过监测点三维坐标实时监测，大面积获取监测去地标位移。



CORS系统用于中国地壳运动监测

■ 国家地壳运动监测



中国大陆地壳运动图

基于连续运行参考站的滑坡与地震监测系统

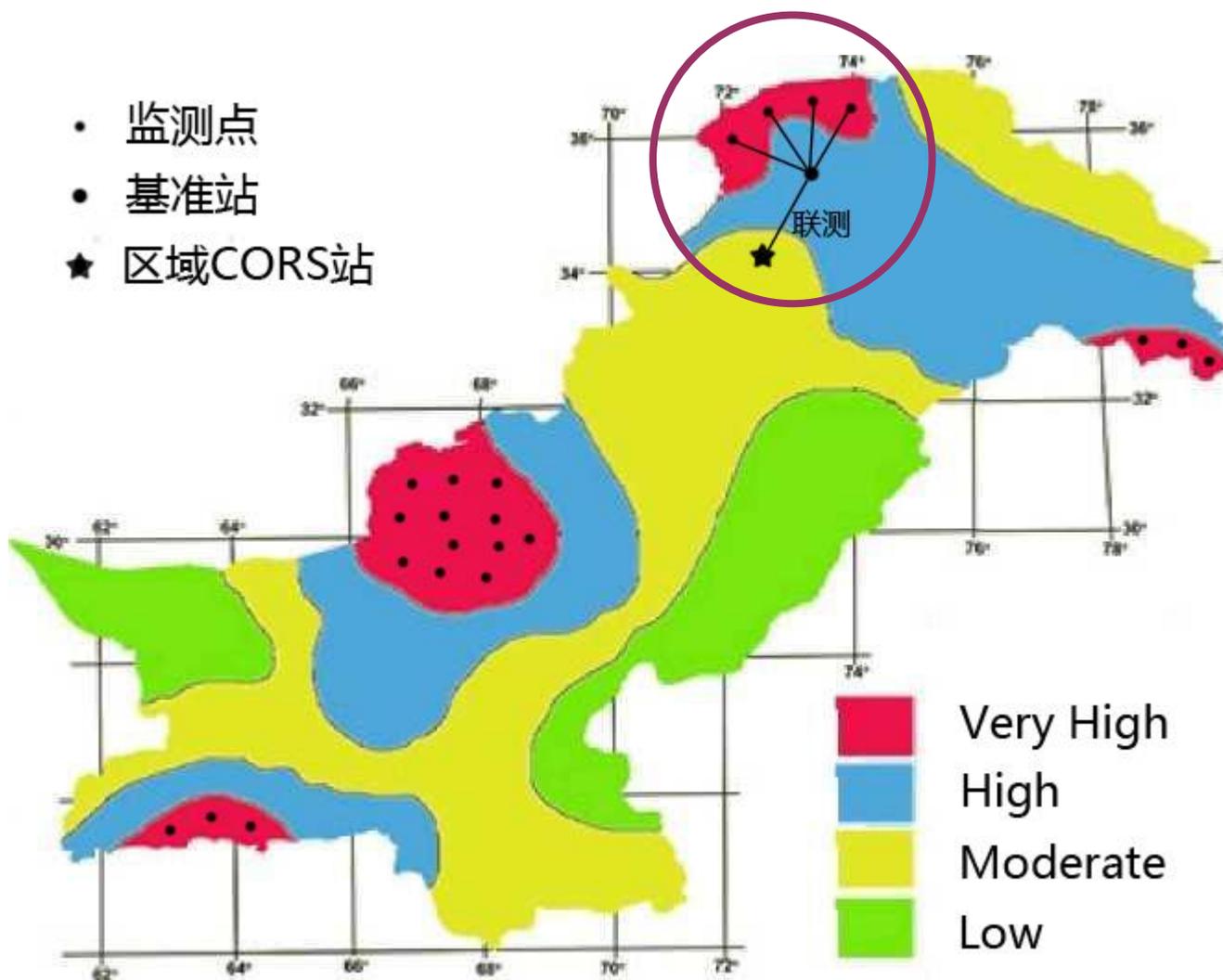
■ 地震带区域布点

● 基准站点布设原则

- 布设地质结构稳固，距地震带保持距离
- 观测条件良好
- 每个基准点上设置坚固稳定的观测墩
- 与该区域CORS站点进行联测

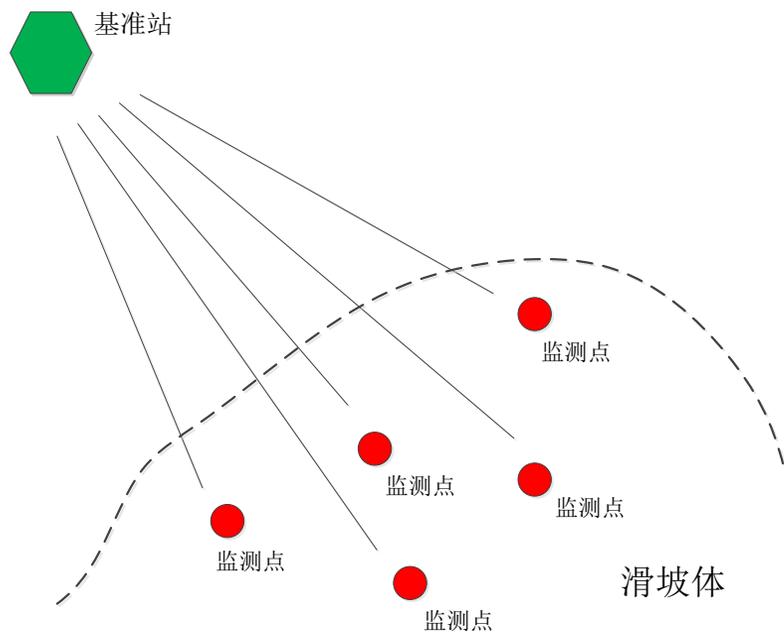
● 监测站点布设原则

- 监测点应均匀分布地震带区域
- 进行全天24小时连续不间断监测。
- 天线用强制对中器对中并进行整平、定向



基于北斗连续运行参考站的滑坡与地震监测系统

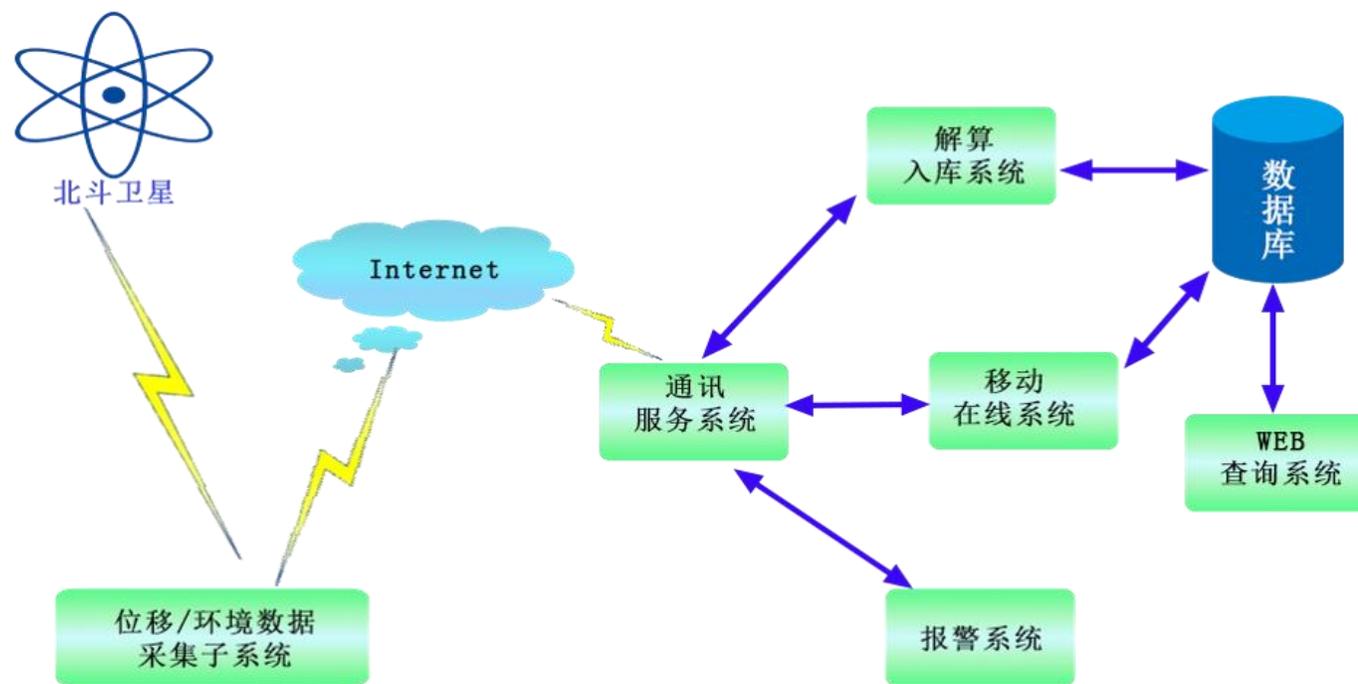
■ 滑坡监测点布设



■ 监测系统构成

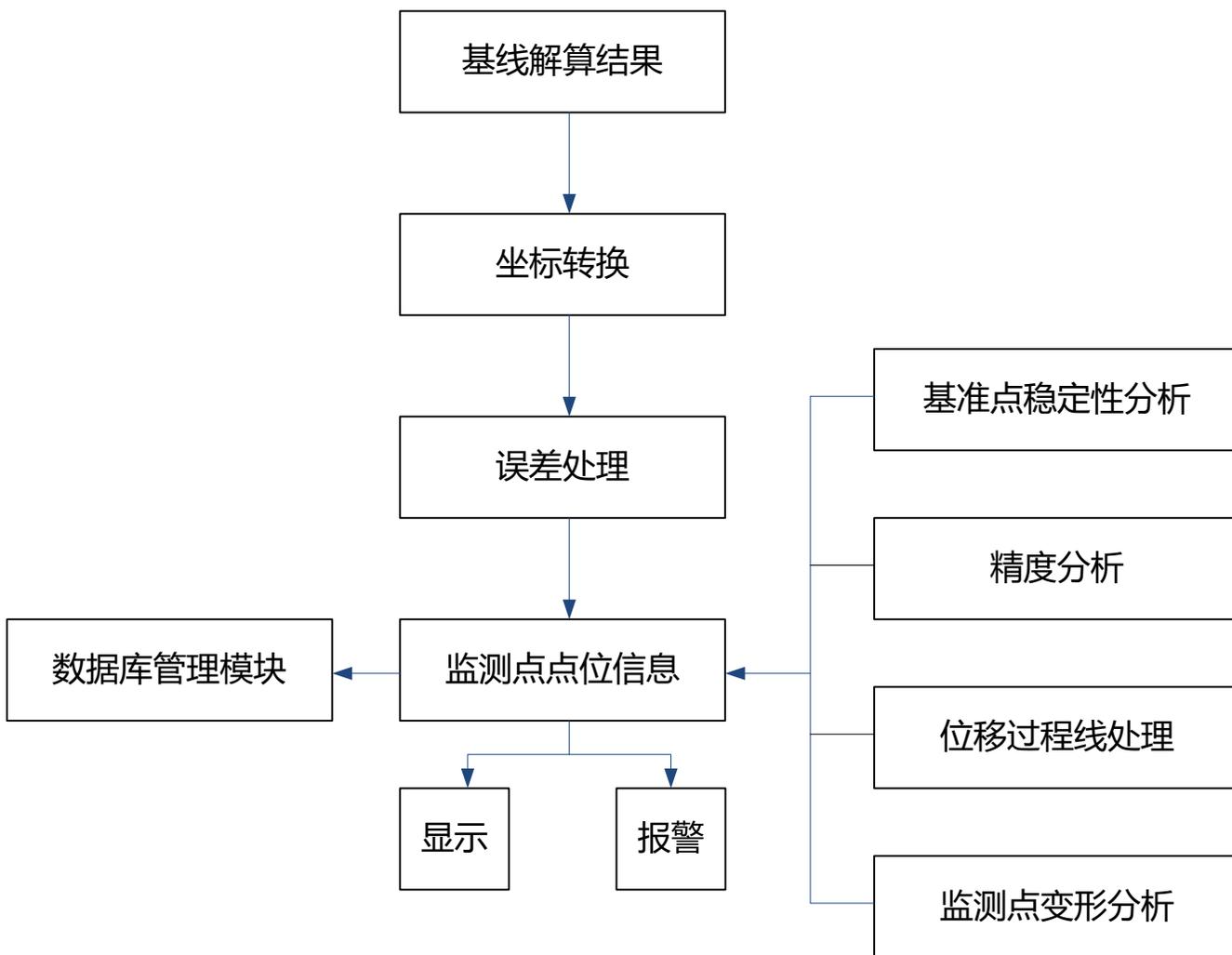
❖ 系统包括4部分：

- 数据采集子系统
- 数据传输与通信子系统
- 数据管理子系统
- 数据处理与分析子系统

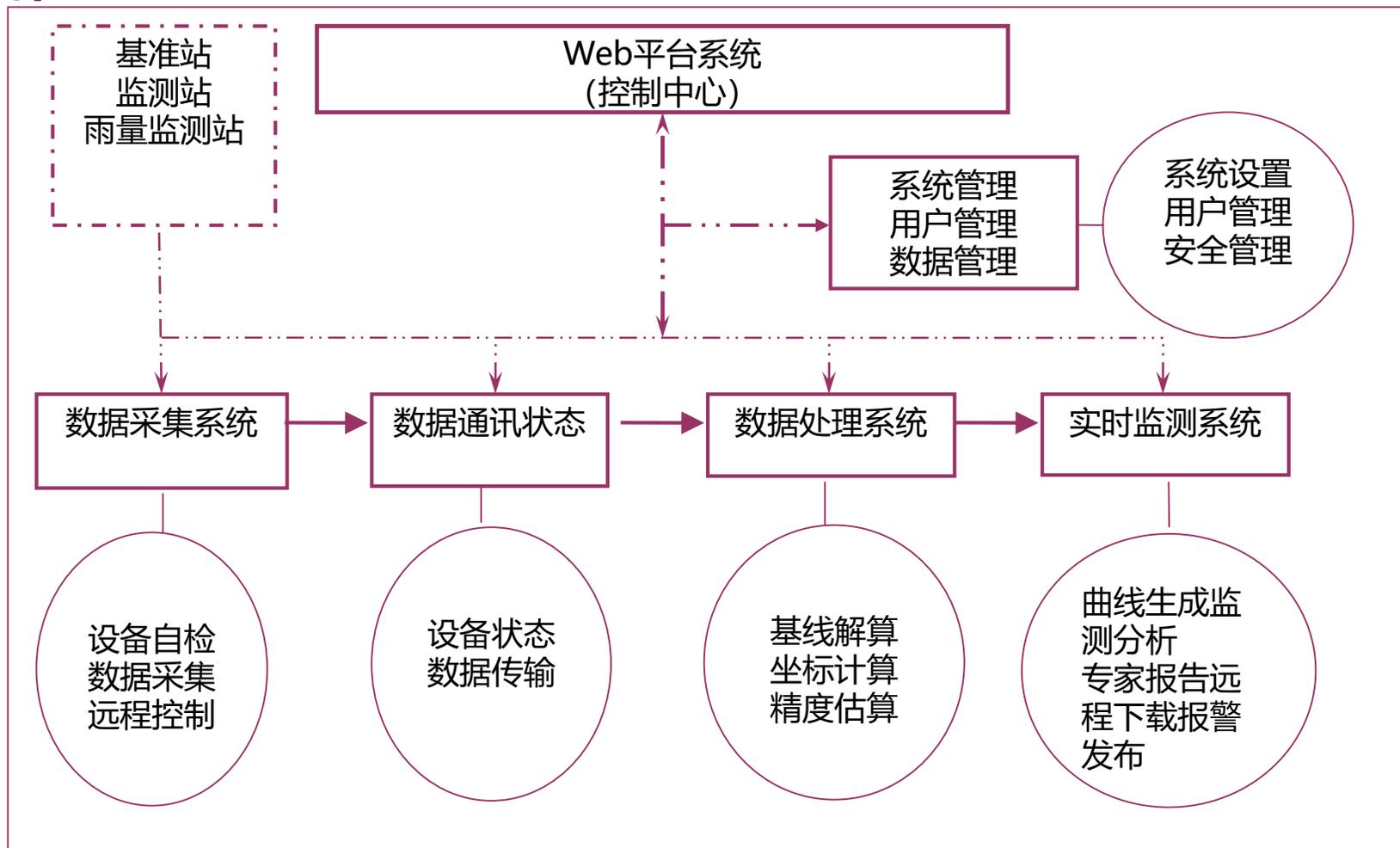


■ 监测点变形量提取及分析

- ❖ 坐标转换
- ❖ 变形提取以及显示
- ❖ 精度分析
- ❖ 基准点稳定性分析
- ❖ 短消息发送报警信息



■ 系统监测流程



■ 监测系统特点

- 监测的安全性、稳定性和可靠性
- 监测系统可以全天候运行，不受天气影响
- 监测结果可以通过GPRS、无线网桥或北斗卫星系统进行远距离回传。
- 提供有效的数据接口，支持和政府相关安全监测平台的对接对联。
- 具有光电隔离功能，可有效抗击雷击。
- 高频无线数据传输技术，双向通讯，可以传输视频信号。
- 支持使用变化曲线、三维模型对监测点位移情况进行全面展示。
- 报警功能和方式多样化，通过短信、邮件、声光、网页弹出框进行报警。

目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

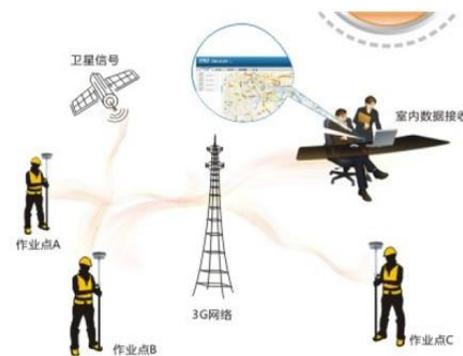
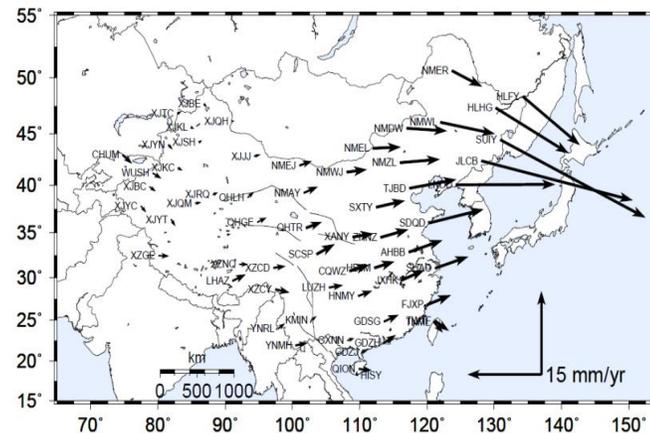
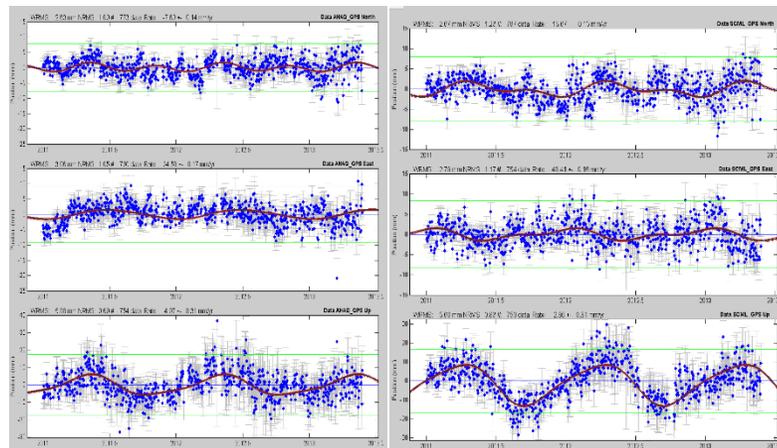
3. 基于CORS的变形监测系统

4. 基于CORS的扩展应用

5. 总结与展望

■ 基础测绘

- 国家坐标框架维持
- 国家板块运动监测
- 区域大面积沉降监测
- 城市独立坐标系建立
- 网络RTK施工放样
- ...



■ 位置服务



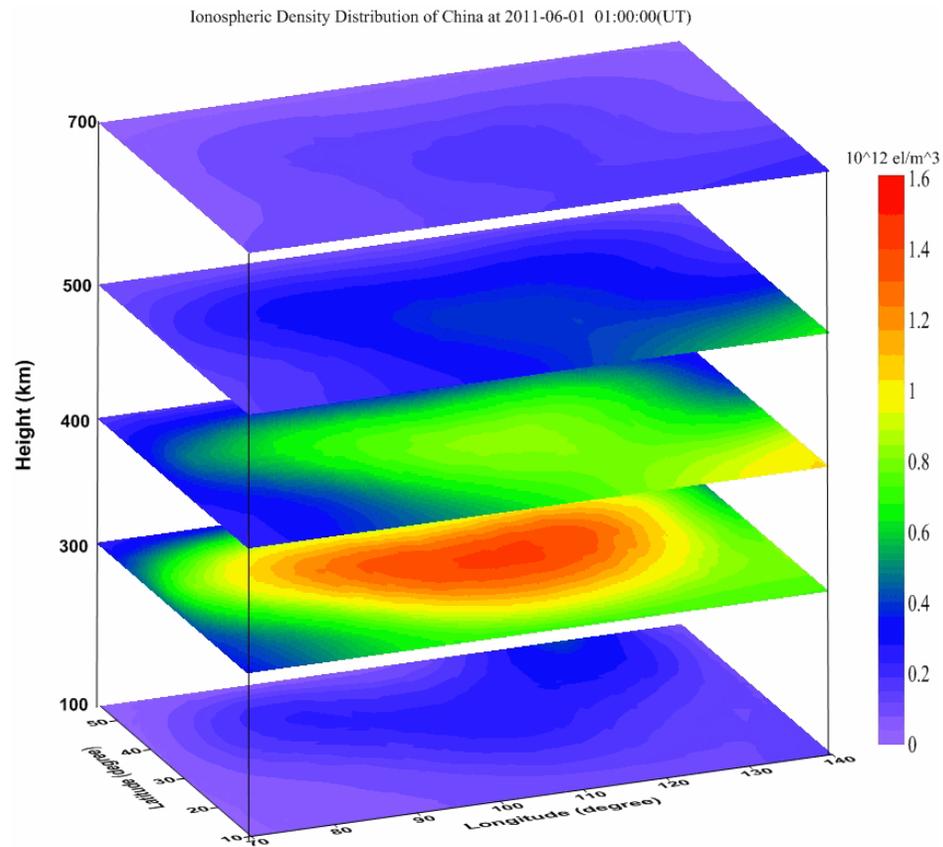
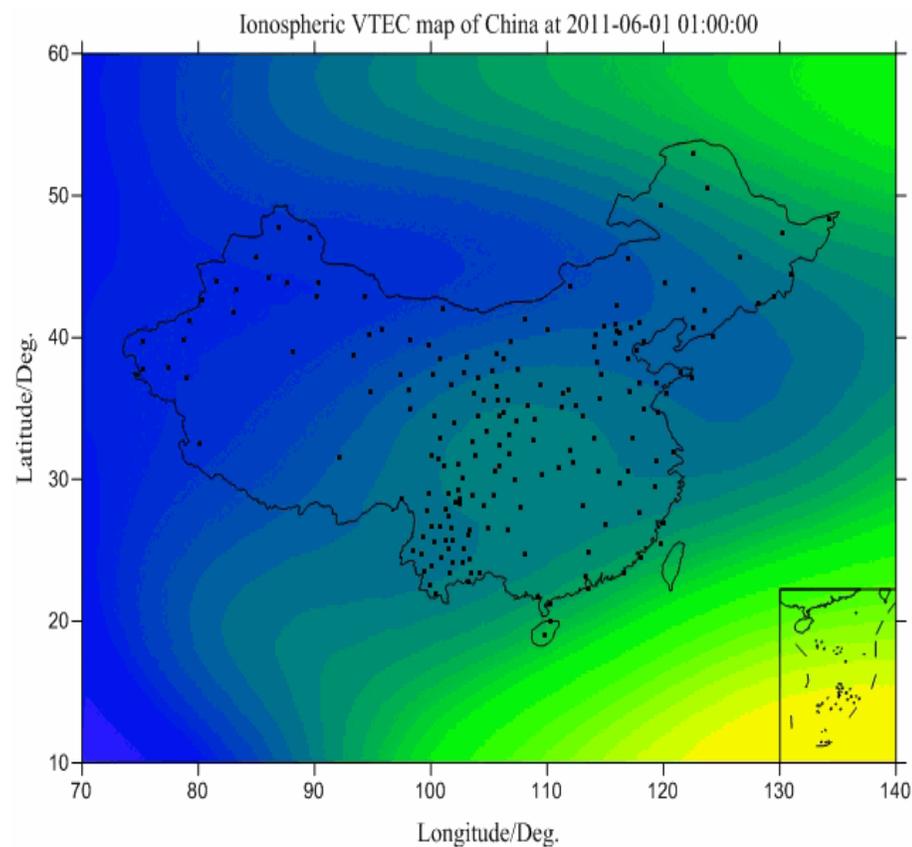
灾后搜救



车载导航



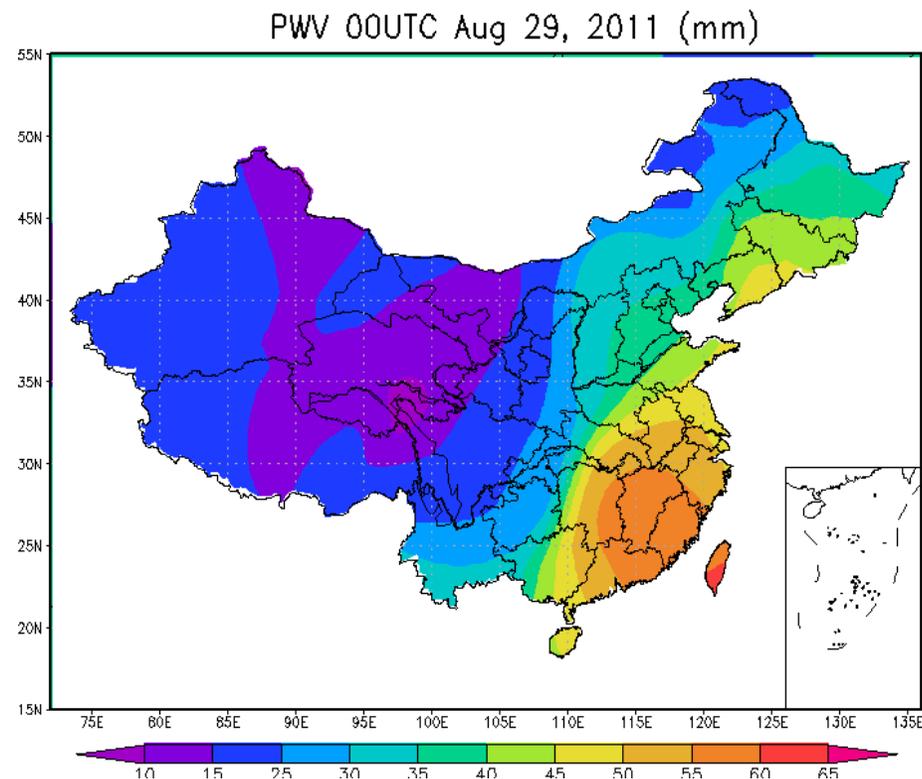
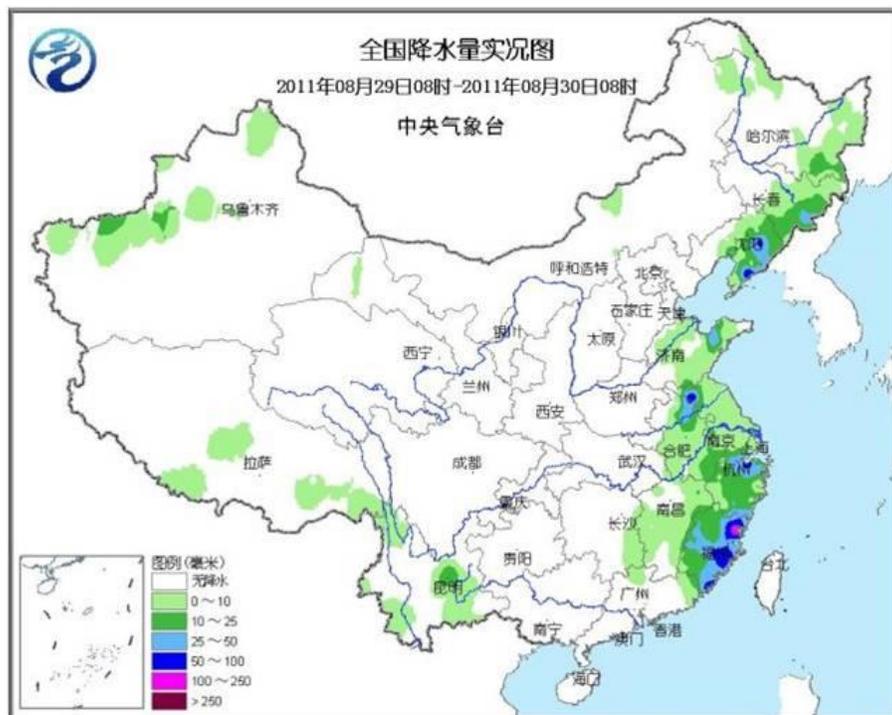
■ 电离层异常监测



利用GNSS参考站监测中国区域电离层电子密度变化图

■ 辅助气象服务

利用GNSS参考站监测中国区域上空对流层延迟量，反演水汽变化。



GNSS可降水量变化与降水量实况印证图

左图：2011年8月29日南玛都台风登陆

右图：中国气象局气象探测中心

目录

卫星定位

1. 卫星定位系统概况

2. 连续运行参考站(CORS)

3. 基于CORS的变形监测系统

4. 基于CORS的扩展应用

5. CORS未来发展

CORS未来发展

- (1)长距离网络RTK
- (2)基于非差的PPP-RTK
- (3)多系统集成的网络RTK
- (4)CORS+物联网



谢谢！