

# 塑造智慧变革

2018年海克斯康新产品新技术发布暨用户大会

HxGN Local Beijing 2018

2018年9月10日-12日 北京·国家会议中心

# 塑造智慧变革



HEXAGON

海克斯康



北京  
国家会议中心

2018年

9月10-12日

[2018.hexagonchina.com.cn](http://2018.hexagonchina.com.cn)

# 徕卡测量仪器在FAST项目建设与运营过程中的应用

---

范生宏 北京普达迪泰科技有限公司

日期 2018-09-12

# 目录

1. FAST工程介绍
2. FAST工程反射面节点测量系统
3. FAST工程馈源支撑测量系统
4. FAST工程单元面板测量系统
5. 北京普达迪泰公司介绍
6. 总结

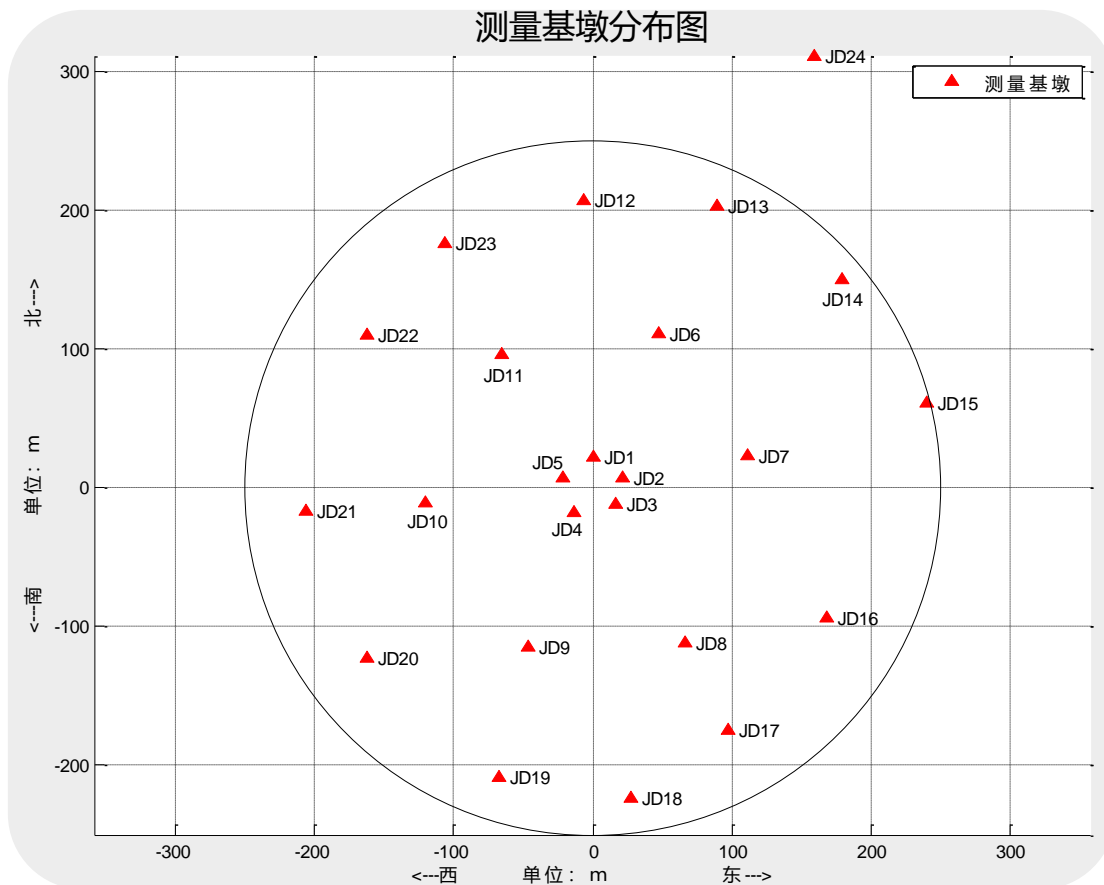
# 1. FAST工程介绍



500米口径球面射电望远镜（Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope），简称FAST，位于贵州省黔南布依族苗族自治州平塘县克度镇大窝凼的喀斯特洼坑中，工程为国家重大科技基础设施，“天眼”工程由主动反射面系统、馈源支撑系统、测量与控制系统、接收机与终端及观测基地等几大部分构成。

FAST作为世界最大的单口径望远镜，将在未来20至30年保持世界一流地位。全新的设计思路，加之得天独厚的台址优势，使其突破了望远镜的百米工程极限，开创了建造巨型射电望远镜的新模式。

# 1. FAST工程介绍



FAST工程建设与运营过程中的测量工作主要包括:

- 1、施工控制网测量
- 2、测控基准网测量
- 3、反射面节点测量
- 4、馈源支撑测量
- 5、反射面单元面板测量

其中,反射面节点测量、馈源支撑测量、反射面单元面板测量为全自动化的测量系统。望远镜500米口径内已经建好了23个稳定测量基墩,为反射面节点测量、馈源支撑测量提供稳定的基础与差分点。

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### a) 系统介绍

主动反射面是 FAST 工程的重要子系统之一，在初始状态为半径300米（口径500米）的标准球面，在实时控制下可形成300米口径的瞬时抛物面。反射面节点测量系统主要实现对2226个索网节点的标定测量和观测测量，并把测量结果反馈给反射面控制系统，形成闭环控制，以保证望远镜的面型精度，提高观测效率。

#### 标定模式：

望远镜在静止状态下，对初始球面或特定的抛物面进行测量。

测量精度：RMS 1.5mm

测量效率：整网标定90分钟（2226点）

#### 观测模式：

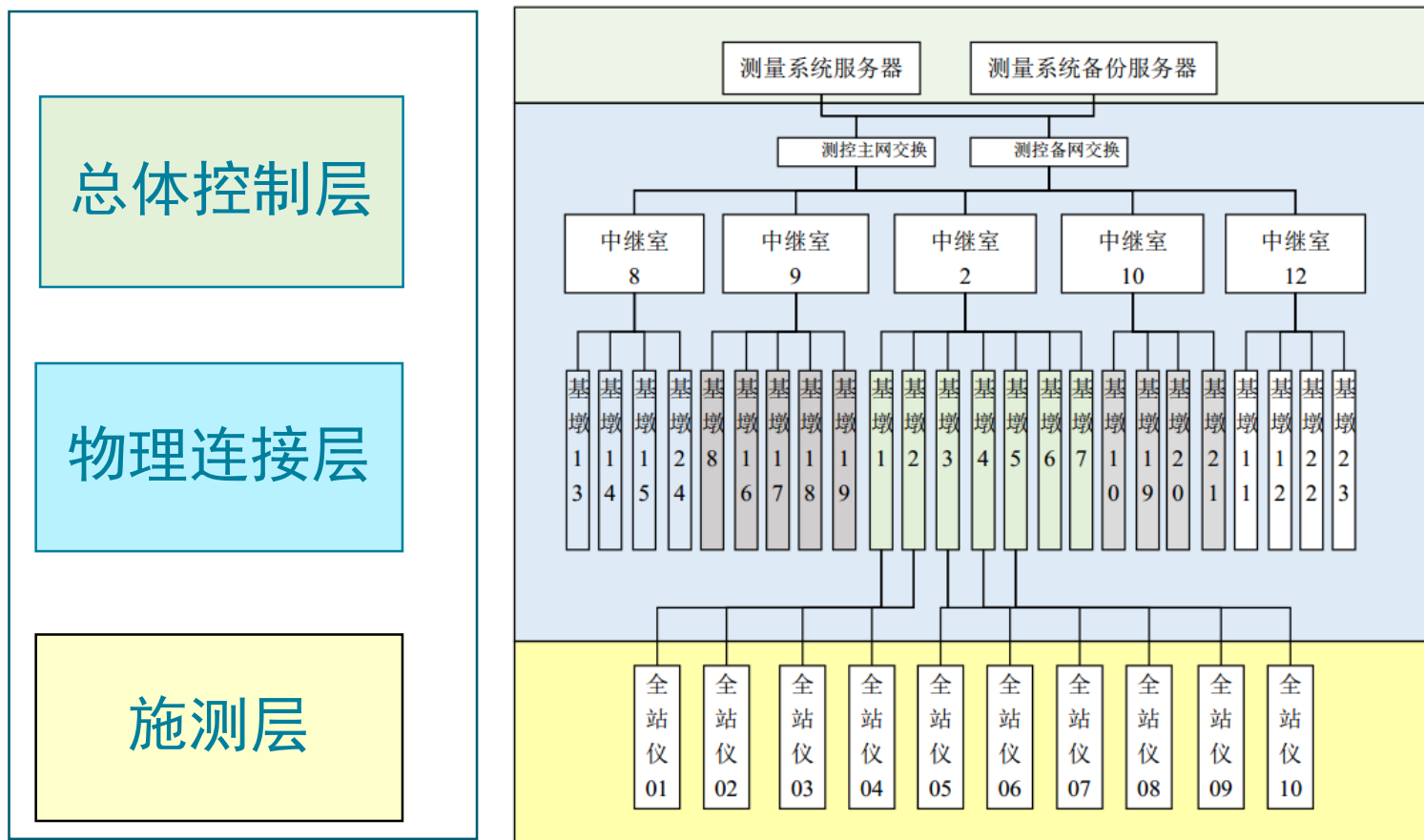
望远镜在进行天文观测时，对瞬时抛物面进行动态测量。

测量精度：RMS 2mm

测量效率：瞬时抛物面有效口径内节点测量时间10分钟（700~800点）

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### b) 测量设备及组网方案



**总体控制层：**由两台服务器和测量系统软件组成，负责与总控系统和反射面控制系统的通讯、时间基准统一、观测计划解析、测量数据解算、测量任务分配、测量仪器远程控制、数据处理与上传等工作。

**物理连接层：**由以太网交换机、光电转换器、串口服务器、光纤串口模块以及相应电缆、光缆组成，负责总体控制层与施测层的通讯连接、电路控制等工作。

**施测层：**由10台TS60全站仪和多台气象站组成，分别安装在反射面中心区域的5个测量基墩上，通过物理连接层与总体控制层相连，对靶标实施测量并上传数据。



## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### b) 测量设备及组网方案



徕卡TS60全站仪



棱镜

#### TS60全站仪:

测角精度: 0.5"

测距精度: 0.6mm+1ppm (精测模式、棱镜)

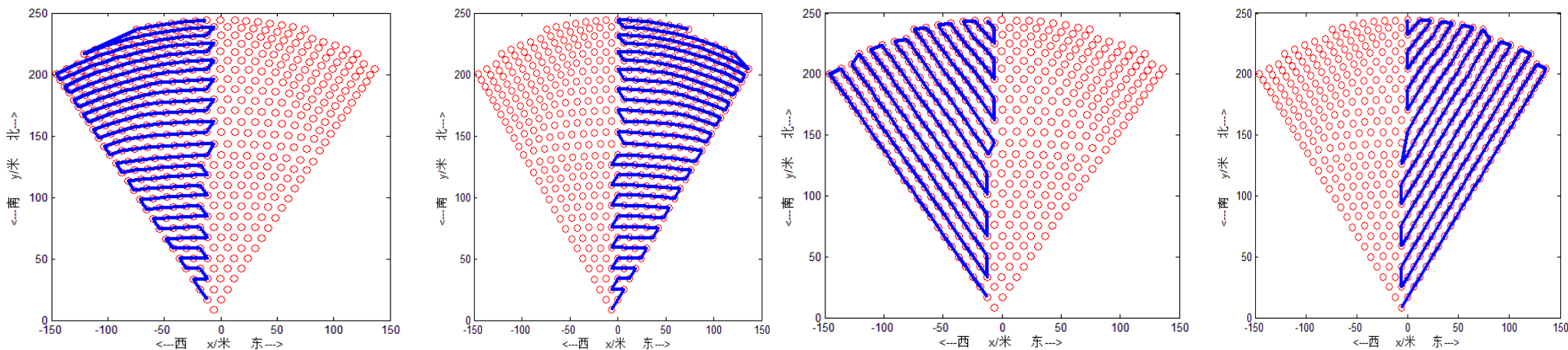
1.0mm+1ppm (标准模式、棱镜)

#### 棱镜:

棱镜常数: -0.1mm

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### c) 动态测量规划



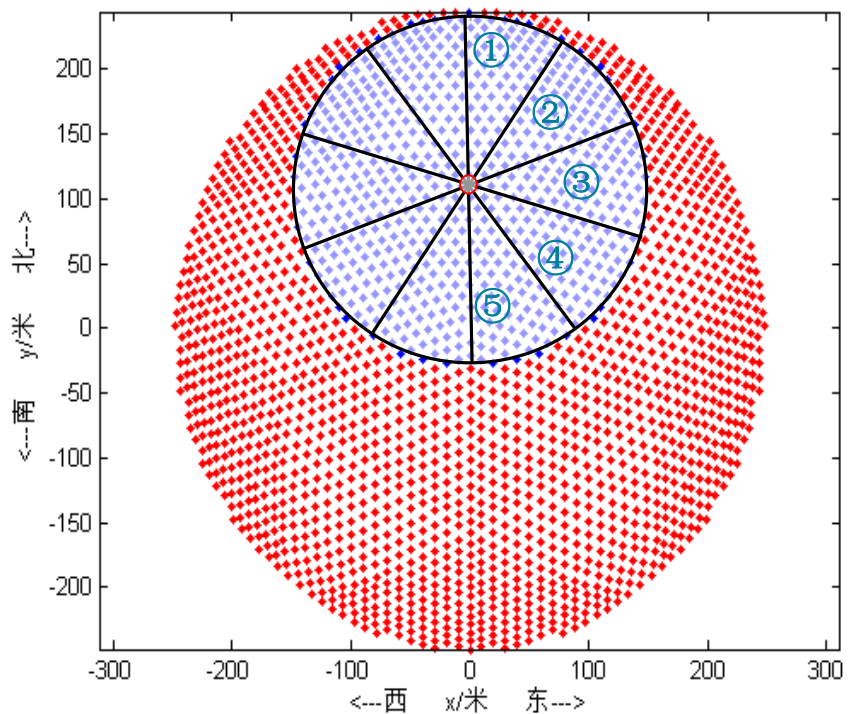
	左		右	
	水平优先	垂直优先	水平优先	垂直优先
水平总转角 (弧度)	13.9546	3.5617	17.0721	6.3289
垂直总转角 (弧度)	1.4049	3.9570	1.6260	4.0335

测量路径:

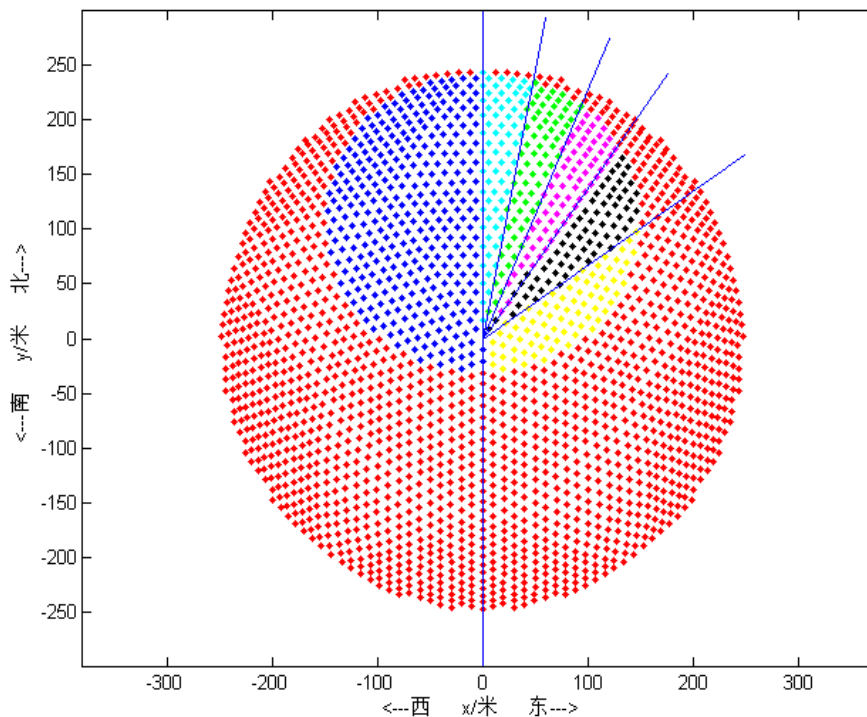
按垂直方向优先模式下水平角、垂直角总转角相差不大，总的转角更小，因此在驱动全站仪转动过程中花费时间更少，有利于测量效率的提高。

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### c) 动态测量规划



以抛物面顶点为中心，对抛物面进行角度平均分割



以反射面中心为起点，对抛物面进行等点数分割

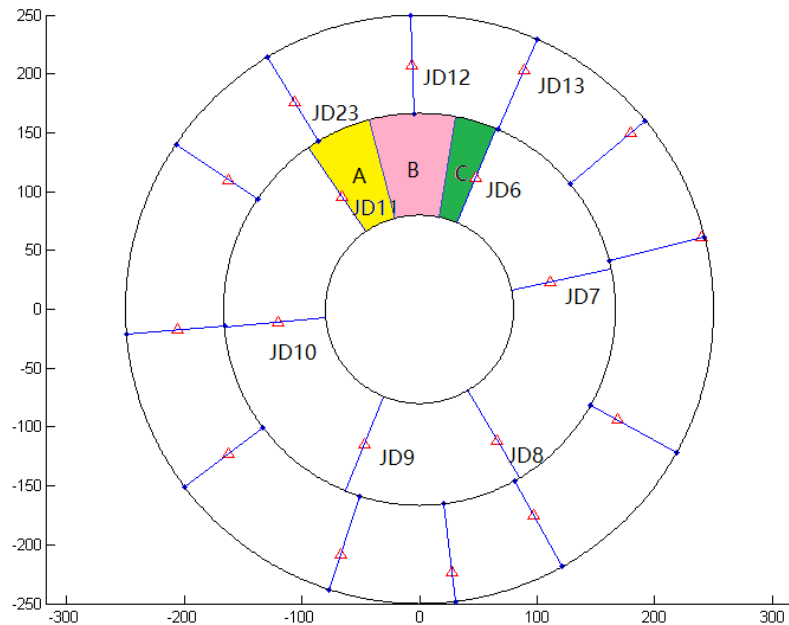
#### 测点分配:

以抛物面顶点为中心，对抛物面进行角度平均分割，全站仪水平角转动过大。

以反射面中心为起点，对抛物面进行等点数分割，全站仪总体上转动角度更小，便于测量控制和提高测量效率。

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### d) 差分改正



使用多差分点分配不同的权重系数，可以得到最好的差分效果。即：选择与测量点较近的基墩圈作为基础差分圈，在该圈上选取和目标节点最近的两个基墩作为两个40%差分点。另一个20%差分点选择与基础差分圈相邻的基墩圈上与测量点水平夹角最小的基墩。

如果两个40%差分点计算得到的改正系数分别为 $d_1$ 和 $d_2$ ，20%差分点计算得到的改正系数为 $d_3$ ，则目标节点经过改正后的测量值应为 $TB=TR-TR*(0.4*d_1+0.4*d_2+0.2*d_3)$ 。

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### e) 测量效率试验

标定模式

1.标定任务名称	20161025-标定测量效率测试-01	测量模式	整体标定
计划标定点数	2226	标定成功点数	2221
开始标定时间	17:27:43	完成标定时间	18:40:38
<b>标定耗时(分钟)</b>	<b>73</b>	测试标准	不大于 180 分钟
2.标定任务名称	20161025-标定测量效率测试-02	测量模式	整体标定
计划标定点数	2226	实际标定点数	2221
开始标定时间	21:51:15	完成标定时间	23:03:57
<b>标定耗时(分钟)</b>	<b>73</b>	测试标准	不大于 180 分钟

备注：1、设计使用10台全站仪，测试中仅适用5台，效率指标改为不大于180分钟；  
2、测试中5个节点存在馈源舱遮挡或指向错误，无法观测。

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### f) 测量效率试验

观测模式

1.观测任务名称	20161026-抛物面效率测试-01	测量模式	观测测量
计划测量点数	705	实际测量点数	705
开始测量时间	21:34:45	完成测量时间	21:50:46
<b>测量耗时(分钟)</b>	<b>16</b>	测试标准	不大于 20 分钟
2.观测任务名称	20161027-抛物面效率测试-02	测量模式	观测测量
计划测量点数	705	实际测量点数	705
开始测量时间	11:21:18	完成测量时间	11:37:44
<b>测量耗时(分钟)</b>	<b>16.5</b>	测试标准	不大于 20 分钟

备注：设计使用10台全站仪，测试中仅适用5台，效率指标改为不大于20分钟；

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### f) 测量精度验证

标定模式

日期	任务名称	开始测试时间	结束测试时间	标定点数	均方根误差 RMSE (mm)
10.25	20161025-标定测量精度测试-01	19:56:45	21:12:07	2256	1.1595
10.26	20161026-标定测量精度测试-02	09:07:11	10:23:39	2256	1.2366
10.26	20161026-标定测量精度测试-03	16:24:56	17:35:15	2256	1.4851
评价标准		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标定测量精度测试采用测量基墩棱镜的方式;</li> <li>2. 标定测量精度测试采用全站仪精密测距模式;</li> <li>3. 标定点数超过 2225;</li> <li>4. 测试采用 5 台全站仪;</li> <li>5. 均方根误差 RMSE 不大于 1.5mm。</li> </ol>			

## 2. FAST工程反射面节点测量系统

### e) 测量精度验证

观测模式

日期	任务名称	开始测试时间	结束测试时间	标定点数	均方根误差 RMSE (mm)
10.25	20151025-观测测量精度测试-01	14:06:54	14:56:09	2256	1.6984
10.25	20151025-观测测量精度测试-02	18:57:19	19:52:06	2256	1.1644
10.26	20151026-观测测量精度测试-03	10:35:11	11:30:05	2256	1.4929
评价标准		<ol style="list-style-type: none"><li>1. 观测测量精度测试采用测量基墩棱镜的方式；</li><li>2. 观测测量精度测试采用全站仪标准测距模式；</li><li>3. 标定点数超过 2225；</li><li>4. 测试采用五台全站仪；</li><li>5. 均方根误差 RMSE 不大于 2mm。</li></ol>			



### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### a) 系统介绍

馈源舱是500米口径球面射电天文望远镜（FAST）的核心部件，由悬挂在6个高塔上的6根钢索拖动，通过测量和控制系统的协调工作，调整馈源到要求的观测位姿。馈源支撑测量系统由一次索驱动位姿测量系统和精调平台位姿测量系统两部分组成，采用精密的测量仪器，为馈源支撑控制系统提供一次支撑和精调平台的精确位姿信息，完成馈源位姿的测量任务，实现馈源精确定位。

#### 一次索驱动测量

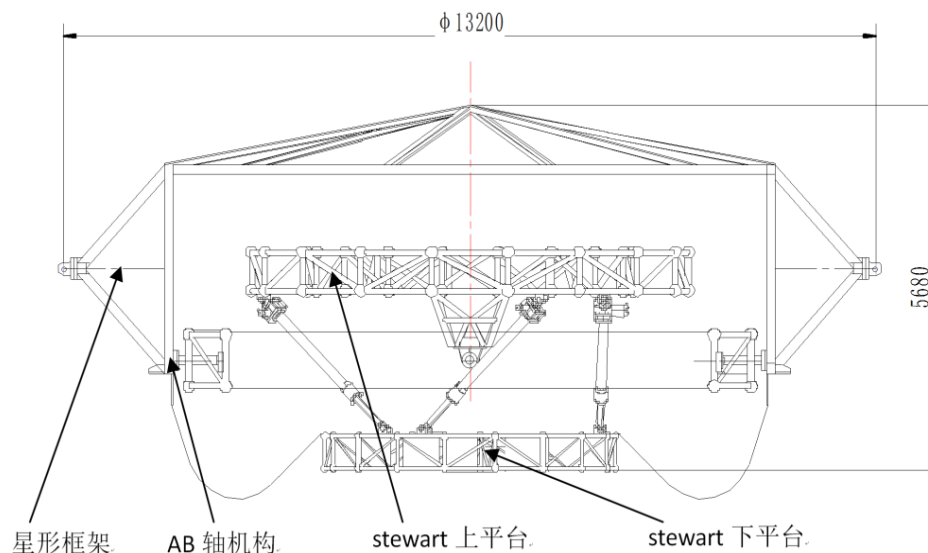
位置精度：±17mm

测量频率：1Hz

#### 精调平台测量

位置精度：RMS 3mm

测量频率：5Hz



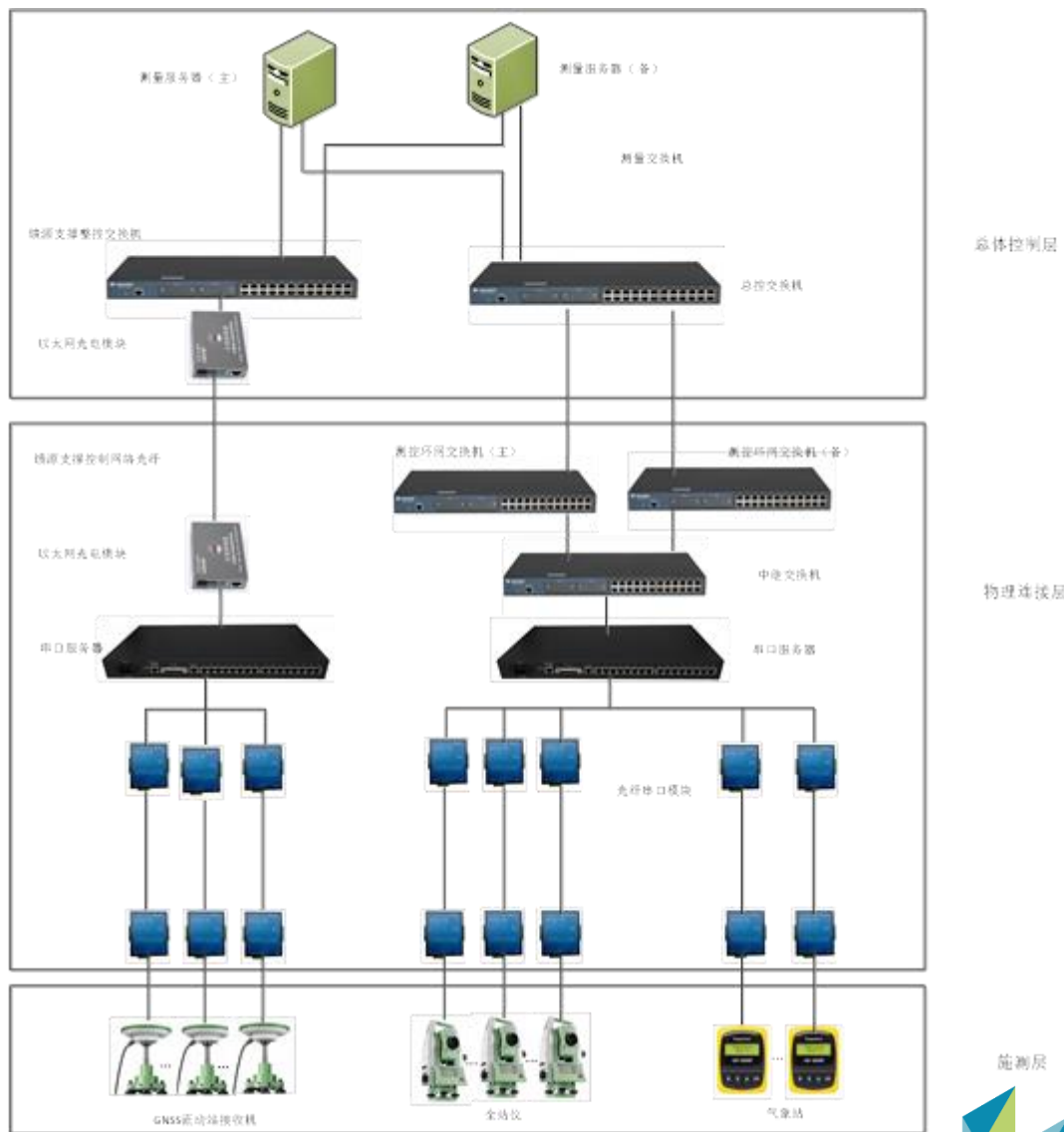
### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### b) 测量设备及组网方案

**总体控制层：**位于FAST望远镜中央控制室内，由馈源支撑测量系统服务器和相应的测量系统软件组成，负责与总控系统和馈源支撑整体控制系统的通讯、时间基准统一、观测计划解析、测量数据解算、测量设备通信与控制、系统故障诊断与处理、数据上传等工作。

**物理连接层：**由工业以太网交换机、中继室内的串口服务器、光纤串口模块、基墩屏蔽箱内的直流电源、全站仪屏蔽体内的光纤串口模块以及相应电缆、光缆组成，负责总体控制层与施测层的通讯连接、电路控制等工作。

**施测层：**由**13台高精度全站仪**（一次索驱动测量4台、精调平台测量6台、差分点测量3台）、**8台GNSS接收机**和6台气象站组成，分别安装在反射面中心区域的测量基墩上，通过物理连接层与总体控制层相连，负责馈源舱位置测量和气象数据采集。



### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### b) 测量设备及组网方案



徕卡TS60全站仪



测量靶标



徕卡GS10接收机

#### GNSS测量

2台基准站

6台流动站

#### 全站仪测量

一次索驱动测量 4台

精调平台测量 6台

差分测量 3台

#### 气象测量

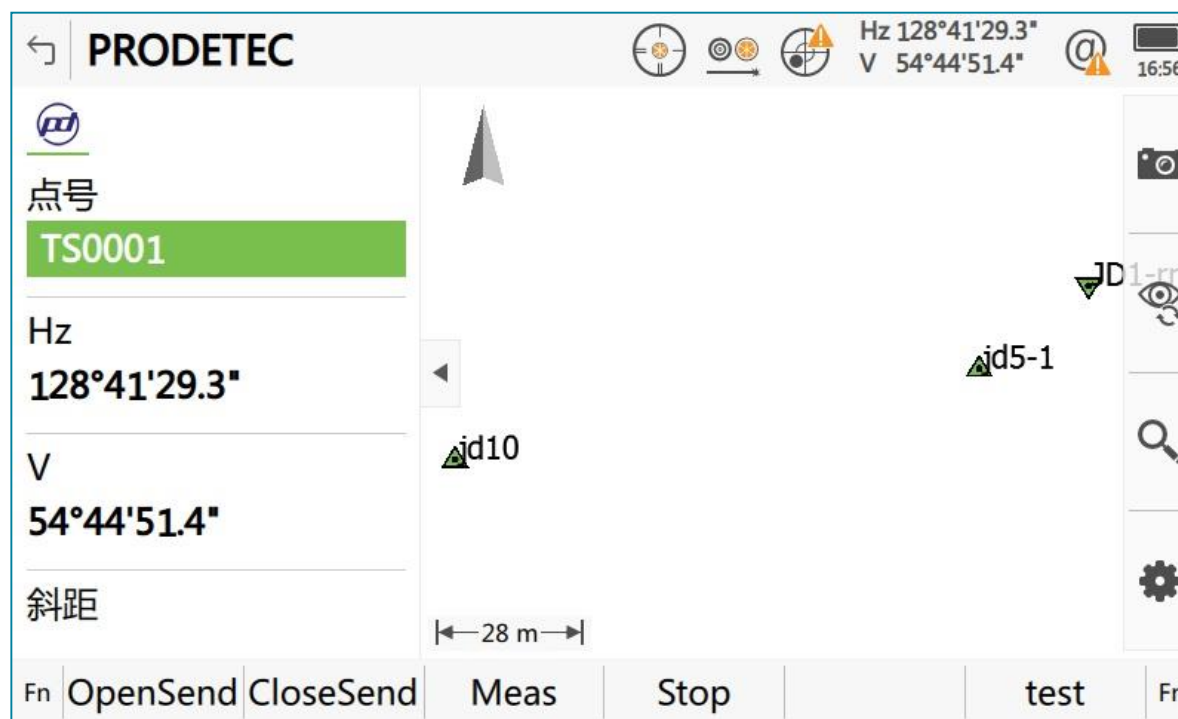
气象站 3台

### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### c) 双向通信机载程序设计

机载程序功能为：

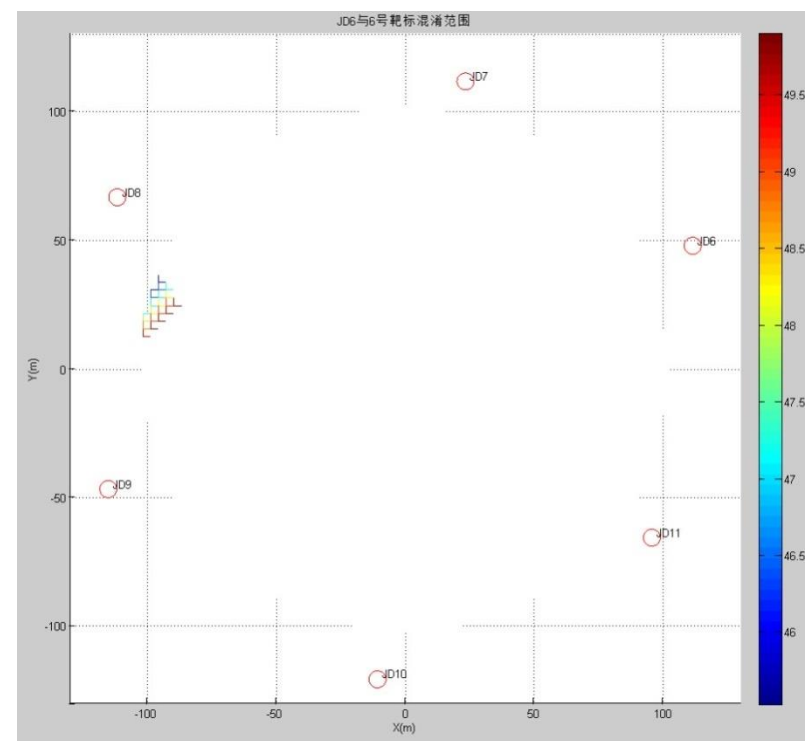
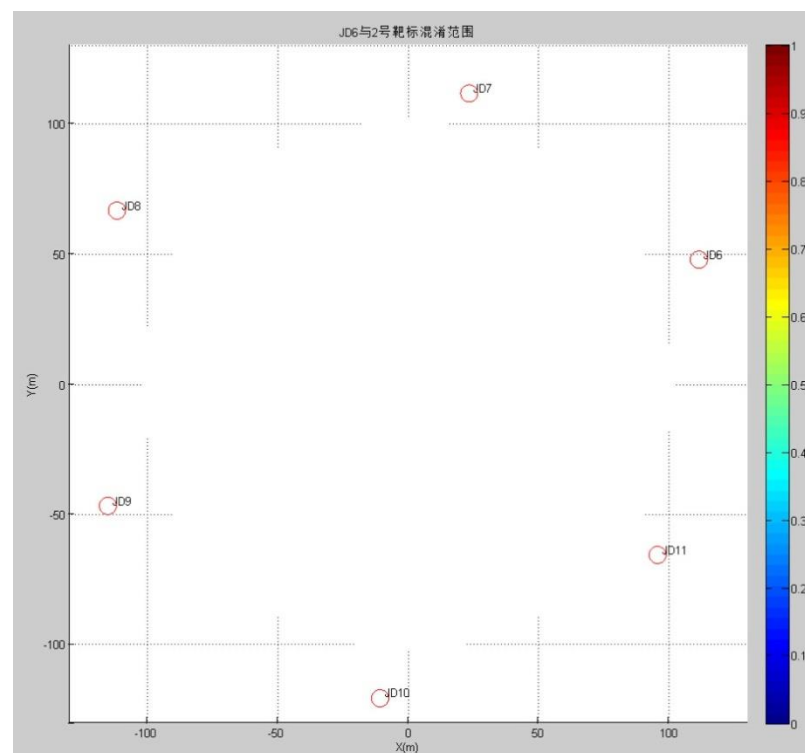
- 双向通信  
(命令下发+数据返回)
- 全站仪远程开机
- 全站仪自动寻靶
- 气象参数补偿
- 开始连续测量 (5HZ)
- 停止连续测量
- 丢靶找回
- 远程授时



### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### d) 靶标混淆性分析

根据前期试验，当全站仪与能看到的靶标夹角大于0.5度时靶标不会混淆。采用JD6、JD8、JD9、JD10四个测站分别测1号、3号、4号、5号靶标不存在混淆。JD7、JD11两个测站分别测量2号、6号靶标在某些位置存在混淆的可能，但2号靶标和6号靶标不会同时出现混淆的工况。由上述可见，在观测过程中，至少可以提供5个靶标的有效测量数据，满足精调平台位姿的解算需求。

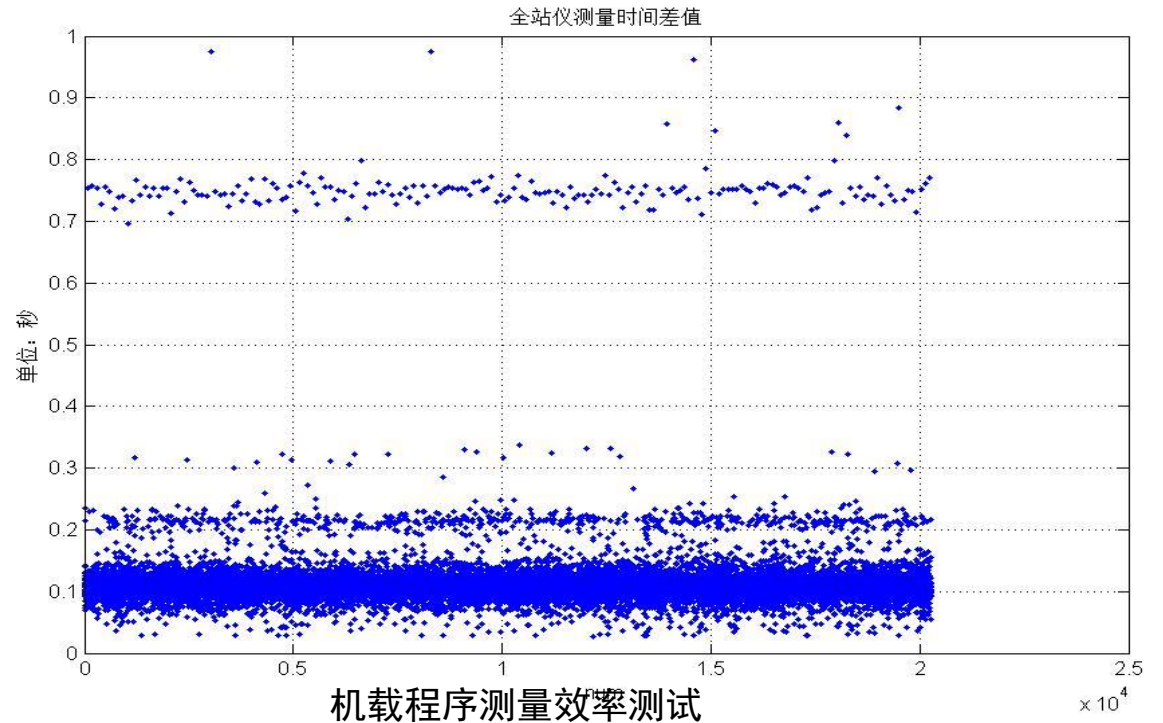


### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### e) 测量效率测试

```
195 【2016-03-02 16:19:39:161】 %R1P,0,0:0,1.979729081286088,1.  
196 【2016-03-02 16:19:39:458】 %R1P,0,0:0,1.979728813065186,1.  
197 【2016-03-02 16:19:39:771】 %R1P,0,0:0,1.979728634251252,1.  
198 【2016-03-02 16:19:40:068】 %R1P,0,0:0,1.979728664053574,1.  
199 【2016-03-02 16:19:40:380】 %R1P,0,0:0,1.979728976977959,1.  
200 【2016-03-02 16:19:40:693】 %R1P,0,0:0,1.979729051483765,1.  
201 【2016-03-02 16:19:41:099】 %R1P,0,0:0,1.979728708757058,1.  
202 【2016-03-02 16:19:41:411】 %R1P,0,0:0,1.979728753460541,1.  
203 【2016-03-02 16:19:41:708】 %R1P,0,0:0,1.979728529943123,1.  
204 【2016-03-02 16:19:42:224】 %R1P,0,0:0,1.979728321326867,1.  
205 【2016-03-02 16:19:42:271】 %R1P,0,0:0,1.979728768361702,1.
```

PC与全站仪交互测量效率测试



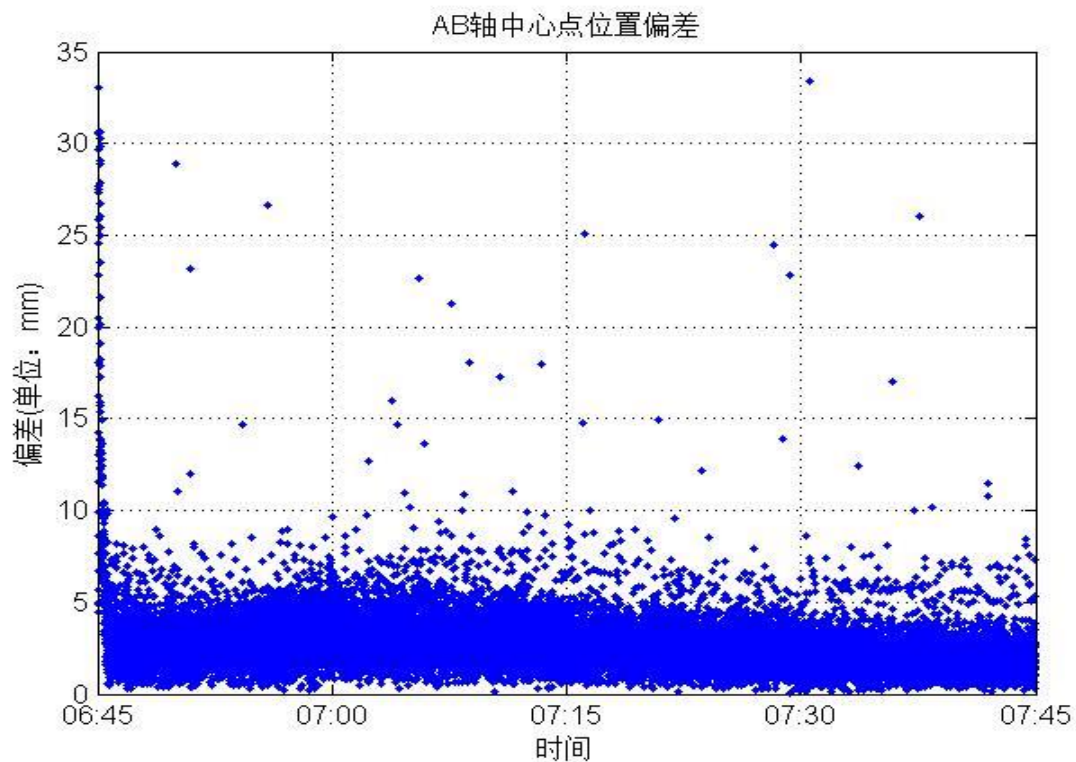
(1) PC机与全站仪双向交互，测量频率最多可以达到3HZ。

(2) 使用机载程序向PC机发送数据，每两次测量的时间间隔小于120ms，可满足5HZ测量需求。

(仪器内部自校准停摆时间不计入)。

### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### f) 测量精度验证

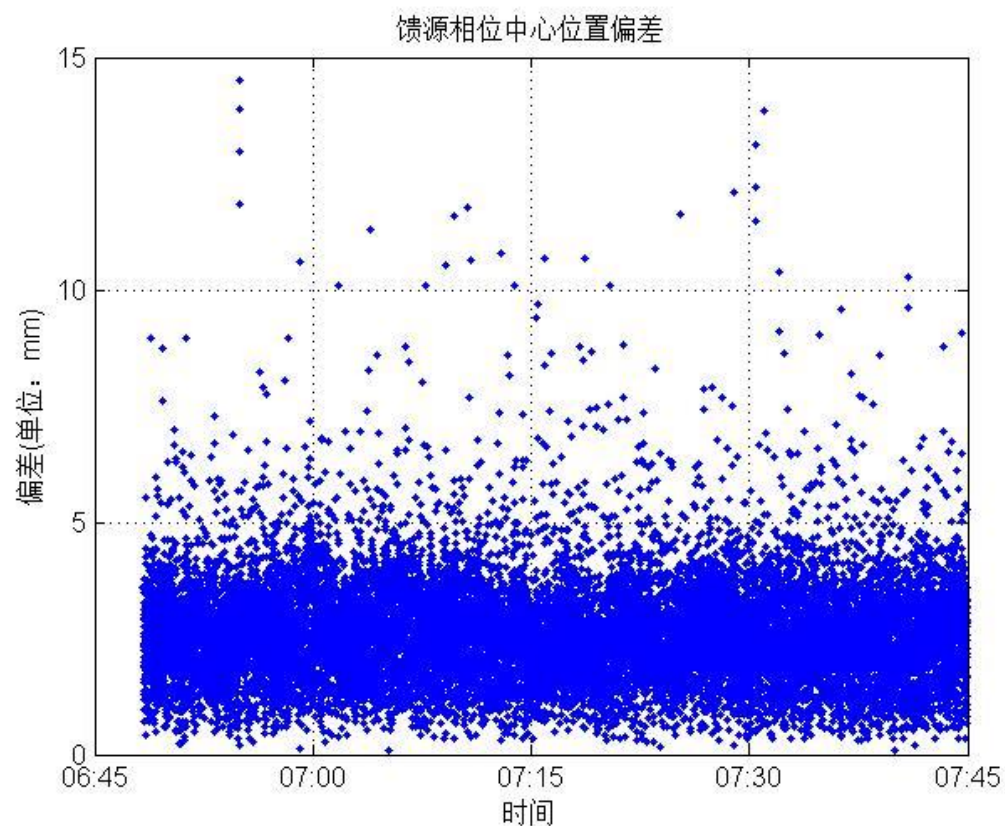


#### 一次索驱动测量精度

以20170929跟踪观测数据计算，AB轴中心点理论位置与实测值位置偏差为RMS 3.4mm，该误差包含测量误差与控制误差，可见测量误差小于RMS 3.4mm，满足且优于一次索驱动测量精度 $\pm 17\text{mm}$ 的技术指标。

### 3. FAST工程馈源支撑测量系统

#### f) 测量精度验证



#### 精调平台测量精度

以20170929跟踪观测数据计算，去除开始跟踪阶段的测量数据，馈源相位中心的整体精度为RMS 2.8mm，该误差包含测量误差与控制误差。可见测量误差小于RMS 2.8mm，满足精调平台测量精度RMS 3mm的技术指标。



## 4. FAST工程单元面板测量系统

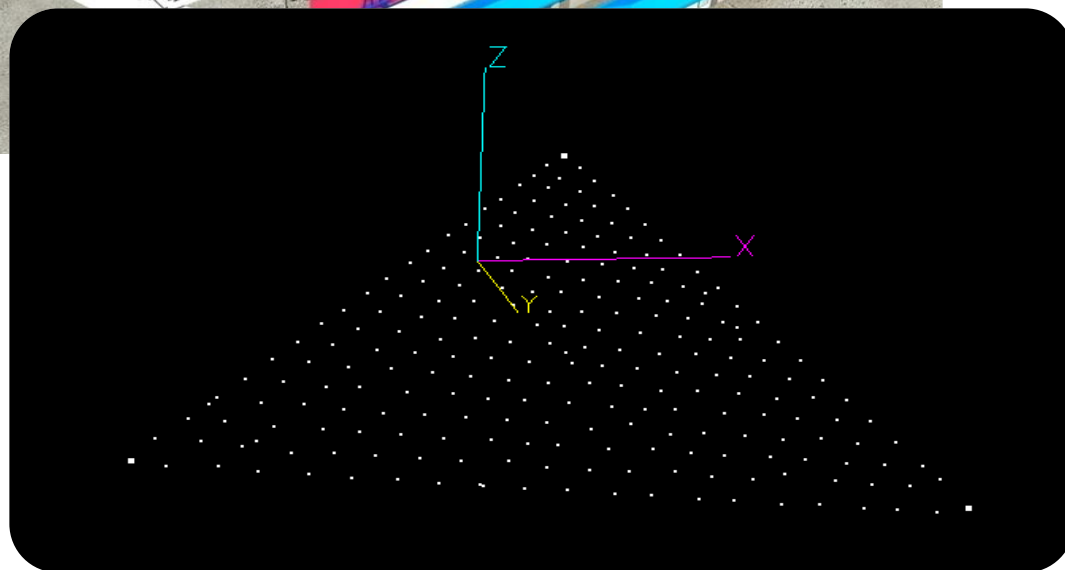
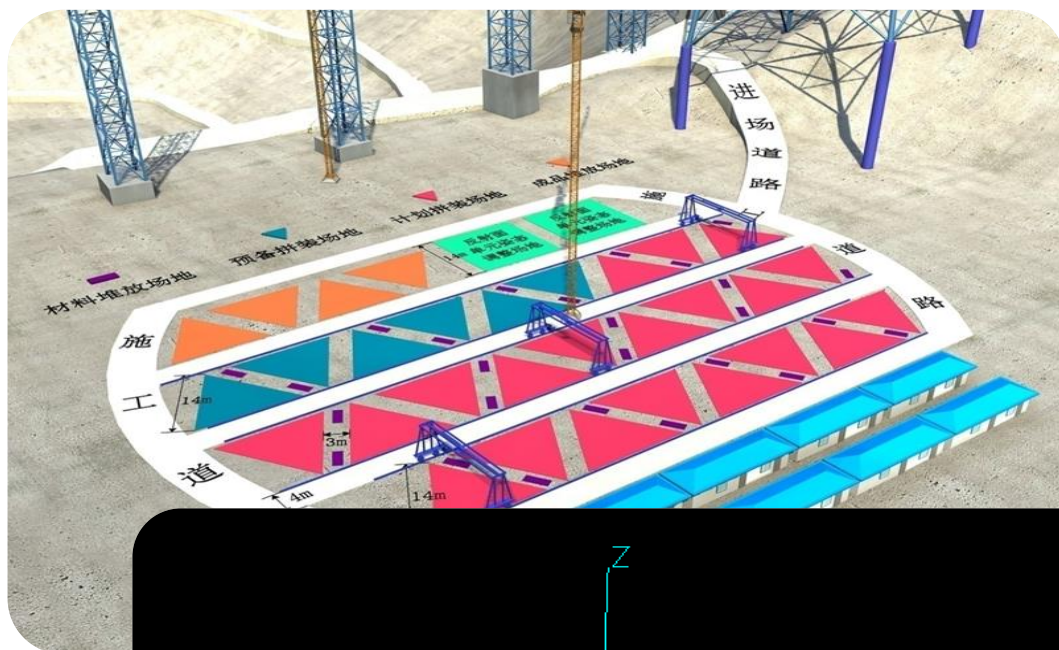


FAST望远镜的反射面共有4450块单元面板组成，单元面板主要为三角形，边长约11米，每块面板又由不同数量的小三角形组成。

单元面板在FAST工程现场组装，组装完成后进行面型精度测量，测量后对面型进行调整，经过多次测量调整，面型合格后再进行吊装。

使用**摄影测量**的方式，获取每块单元面板中66个调整点的坐标，将测量结果投影到理论的FAST球面上，根据测量结果调整面板，保证每一块FAST单元面板的面型精度达到2mm。

## 4. FAST工程单元面板测量系统



为FAST工程单元面板测量设计了一套自动化的龙门式摄影测量系统，实现测量、调整、报表输出的全自动化，一块11m\*11m大小的面板测量由人工测量方式的20分钟提高到自动测量的5分钟，由原来的一天测量4-5块面板提高到一天测量25~35块面板，在预定工期内指导完成了所有面板的拼装和调整。

## 5. 普达迪泰公司介绍

### a) 公司概况

北京普达迪泰科技有限公司（以下简称“普达迪泰”）是国内技术领先的精密测量设备与测量综合解决方案供应商，公司于2012年正式注册成立，总部位于北京市海淀区，在西安、长春、成都等地设有驻外办事处。

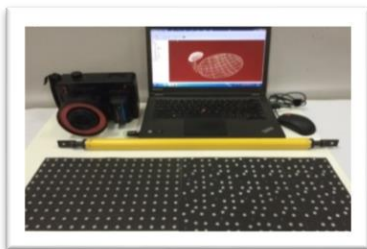
2016年6月，成立了子公司北京阿凡达智能科技有限公司，专注于移动载体无人机与机器人技术、产品和解决方案；2016年11月，成立了子公司普达迪泰（天津）智能装备科技有限公司，定位于自主可控的自动化装配、高精度行业测量设备与仪器的研发和生产；2018年7月，与中国核工业建设集团23所签约成立中核普达科技有限公司，致力于为我国核工业建设、运营提供高精度的测量技术和人才支撑。

公司产品已成功应用于近百家用户，领域覆盖军事、航天、航空、船舶、水利、汽车、水电、重工、铁路、钢铁、核工业等军工及先进制造行业。公司坚定地走自主创新的发展之路，以提供一流的技术、解决方案与产品为己任，通过持续的努力，已形成专家型的团队，核心研发团队博士、硕士学历以上员工占70%以上，为公司提供了持续创新的动力源泉。



## 5. 普达迪泰公司介绍

### b) 公司产品-测量系统



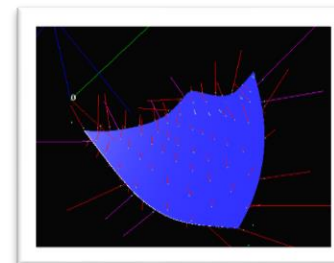
IDPMS三维摄影测量系统



IDPMS-D高动态检测系统



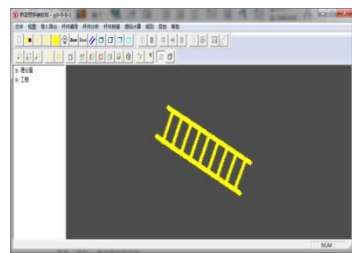
InPEMS智能工业测量系统



SAS复杂曲面分析计算软件



FDS智能柔性检测系统



DAS数字拼装系统



ATPIS轨道板自动化检测系统



AFD-4无人机工业测量系统

## 5. 普达迪泰公司介绍

### b) 公司产品-智能终端



工业测量相机



手持测量相机



机载测量相机



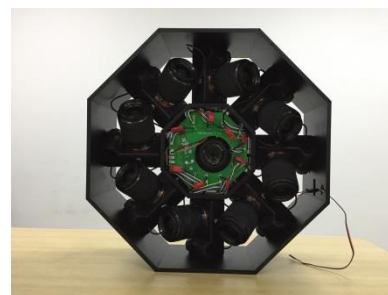
控制器



五相机倾斜摄影



九相机系统



大面阵九相机系统



吊舱

## 5. 普达迪泰公司介绍

### b) 公司产品-无人机



AFD-1



AFD-2



AFD-4



AFD-8



AFD-R

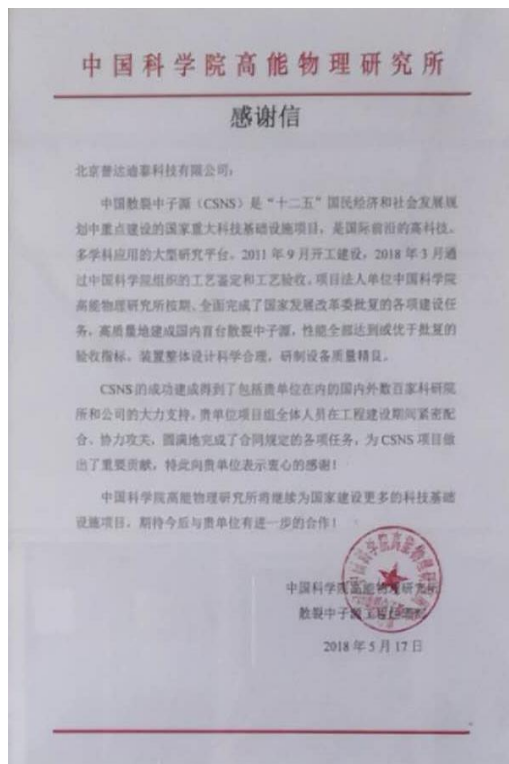


AFD-WS301

## 5. 普达迪泰公司介绍

### c) 典型项目

- 中国散列中子源测量机器人
- 中国探月工程CE-3月面巡视器视觉系统标定
- 中国航天交会对接地面测量验证系统
- 中国航天热真空环境摄影测量系统
- 南极太赫兹望远镜面板测量系统
- 高铁动车组车身几何测量系统
- 某大型装置基准网体系设计
- 一百公里正负电子对撞机（CEPC）预研



## 6. 总结

- 1) 在FAST望远镜500米口径内测量需要考虑垂线偏差的影响，采用全网综合的测站定向平差方法，可以显著提高测量精度；
- 2) 气象条件对天顶距测量精度影响较大，采用角度差分可以显著提高测量精度；
- 3) 全站仪机载程序可以实现双向通信，提供5HZ的测量数据；
- 4) 徕卡测量产品具有较高的测量精度和可靠性，可在苛刻环境中长时间稳定运行，在某些项目中具有不可替代的作用。



—— 谢 谢 ——





如果您对此篇PPT感兴趣，请扫描二维码