

# FAST 早期科学计划书

Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST)是我国天文大科学装置，于2016年9月25日建成，进入调试阶段，在满足工程调试需求的情况下进行力所能及的早期科学观测。目前已取得脉冲星发现等科学成果，初步完成了习总书记四个要求中的“早出成果”。未来的半年多，FAST项目必须完成两个相互关联的战略目标 1) 建立并完善 FAST 的观测模式，量化 FAST 的科学能力，2) 利用 FAST 的独特优势，例如灵敏度和天空覆盖，考虑试运行过程中的技术限制，例如跟踪精度和换馈效率，力图取得更多重要科学成果，逐步完成习总书记的其他要求。

FAST 早期科学是一个广义概念，包含望远镜基本建设完成到成功验收和投入常规运行前的全部科学实验内容，具体的分为三个阶段。1) 整体调试阶段 2) 科学试运行 3) 早期科学运行。目前处于调试和科学试运行，19 波束接收机逐步正常工作，力争产生重大发现和突破，辅助 FAST 的国家验收，为正式运行打开局面。

本文档分为早期科学项目（1-8）及 FAST 巡天规划及测试计划两部分。本文档关于 FAST 的灵敏度和基本性能基于 Nan et al. 2011, IMJPD。

## 早期科学项目

### 早期科学项目 1

**项目名称：脉冲星科学**

**科学意义：**脉冲星相关科学是 FAST 建设伊始就计划开展的主要科学目标之一。我们计划利用 FAST 望远镜的高灵敏度，针对一些较亮的脉冲星开展跟踪观测。通过这些观测测量这些脉冲星的单脉冲、巨脉冲、偏振特性，以及它们的脉冲轮廓、流量变化、子脉冲漂移，脉冲消零特性和星际闪烁等观测特征。通过这些观测来开展脉冲星辐射机制、中子星物理、以及星际介质相关的科学研究。以期在脉冲星科学研究方面取得一些早期突破。

**FAST 的独特优势：高灵敏度**

**接收机及基本技术要求：超宽带、19 波束接收机等**

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**王坤、王培、卢吉光、张承民、张蕾、朱炜玮、姚菊枚、岳友岭、彭勃、喻业钊、王琳、寇菲菲、潘之辰

源表（目标总数 59）：

源名称	RA	Dec
B0301+19	3:04:33	+19:32:51.4
B0320+39	3:23:27	+39:44:52.9
B0329+54	3:32:59	+54:34:43.5
B0525+21	5:28:52	+22:00:04
B0540+23	5:43:10	+23:29:05
B0611+22	6:14:17	+22:30:36
B0626+24	6:29:06	+24:15:43.3
B0820+02	8:23:10	+01:59:12.4
B0834+06	8:37:06	+06:10:14.5
B0919+06	9:22:14	+06:38:23.3
B1112+50	11:15:38.4	+50:30:12.2
B1133+16	11:36:03	+15:51:04.4
B1237+25	12:39:40	+24:53:49.2
B1541+09	15:43:39	+09:29:16.3
B1612+07	16:14:40.9	+07:37:31.0
B1737+13	17:40:07	+13:11:56.6
B1859+03	19:01:32	+03:31:05.9
B1859+07	19:01:39	+07:16:34.8
B1900+01	19:03:30	+01:35:38.3
B1900+06	19:02:50	+06:16:33.4
B1905+39	19:07:35	+40:02:05.7
B1907+02	19:09:38	+02:54:50.6
B1907+03	19:10:09	+03:58:28.0
B1907+10	19:09:49	+11:02:03.3
B1913+10	19:15:30	+10:09:43.6
B1915+13	19:17:40	+13:53:56.9
B1918+19	19:21:04	+19:48:44.7
B917+00	19:19:50.663	+00:21:39.8
B1919+21	19:21:45	+21:53:02.2
B1920+21	19:22:53	+21:10:41.9
B1923+04	19:26:24	+04:31:31.6
B1929+10	19:32:14	+10:59:32.4
B1929+20	19:32:08	+20:20:46.4
B1933+16	19:35:48	+16:16:39.9
B1937+21	19:39:39	+21:34:59.1
B1944+17	19:46:53	+18:05:41.2
B1946+35	19:48:25	+35:40:11.0
B1953+50	19:55:19	+50:59:55.2
B2000+40	20:02:44	+40:50:53.9
B2011+38	20:13:10	+38:45:43.3
B2016+28	20:18:04	+28:39:54.2
B2020+28	20:22:37	+28:54:23.1

B2021+51	20:22:49.8	+51:54:50.2
B2053+36	20:55:31	+36:30:21.4
B2106+44	21:08:20	+44:41:48.8
B2111+46	21:13:24	+46:44:08.8
B2113+14	21:16:13.752	+14:14:21.04
B2154+40	21:57:02	+40:17:45.9
B2217+47	22:19:48	+47:54:53.9
B2303+30	23:05:58	+31:00:01.7
B2310+42	23:13:09	+42:53:13.0
B2315+21	23:17:57.8	+21:49:48.0
J0218+4232	02:18:06.3	+42:32:17.3
J0249+58	2:49:24	+58:51:47.00
J1246+22	12:46:38	+22:53
J1532+2745	15:32:10.364	+27:45:49.40
J1800+50	18:01:00	+50:28
J1913+0832	19:13:00.5	+08:32:05.1
J1932+1059	19:32:13.9	+10:59:32.4
J2001+42	20:02:00	+42:43

## 早期科学项目 2

### 项目名称：脉冲星测时

**科学意义：**脉冲星是宇宙中最精确的灯塔和时钟，对脉冲星的脉冲到达时间开展测时观测可以带来极为精确的时间、距离、双星轨道、中子星质量等测量。通过研究高度稳定的一些脉冲星、还可以在强场下检验引力理论、限制超核密度物质状态方程、和探测引力波等。我们计划对一些特殊脉冲星开展常规测时观测、在此同时检验 FAST 望远镜时间测量系统、建立 FAST 脉冲星测时能力、并且在开展测试的同时开展一些早期科学研究。该观测计划包括对高精度脉冲星的到达时间测量测试，以及对一些有独特兴趣的系统，如密近、掩食双星、开展少量测时观测，进行双星轨道测量和中子星质量测量等科学研究。

**FAST 的独特优势：**高灵敏度，比 Arecibo 更大可见天区

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**卢吉光、代实、冯毅、朱炜玮、张蕾、岳友岭、胥恒、岳友岭、袁建平、徐仁新、袁懋、寇菲菲、王琳、缪晨晨

### 源名（共 71 个目标）

源名	RA	Dec
J0023+0923	0:23:16	+09:23:23
3FGL J0212.1+5320	2:12:11	+53:21:36.8
J0218+4232	2:18:06	+42:32:17.3
J0251+26	2:51:08	+26:05:00

J0348+0432	3:48:43	+04:32:11
SGR 0501+4516	5:01:07	+45:16:33.92
B0525+21	5:28:52	+22:00:04
J0534+2200	5:34:32	+22:00:52.0
J0627+0706	6:27:44	+07:06:12.7
B0656+14	6:59:48	+14:14:21.5
J0751+1807	7:51:09	+18:07:38.4
B0823+26	8:26:51	+26:37:23.7
B0919+06	9:22:14	+06:38:23.30
J0943+1631	9:43:30	+16:31:37
J0953+0755	9:53:09	+07:55:35.7
J1022+1001	10:22:58	+10:01:52.7
J1023+0038	10:23:48	+00:38:40.84551
J1115+5030	11:15:38	+50:30:12.2
XDINS J1308.6+2127	13:08:48	+21:27:06.8
J1518+0204	15:18:33	+02:04:47.8153
J1532+2745	15:32:10	+27:45:49.40
J1543-0620	15:43:30	-06:20:45.25
XDINS J1605.3+3249	16:05:19	+32:49:18.0
J1640+2224	16:40:17	+22:24:08.8
J1641+3627E	16:41:41	+36:27:37
J1713+0747	17:13:49	+07:47:37.4
J1741+1351	17:41:31	+13:51:44.1
J1810+1744	18:10:37	+17:44:37
B1825-0935	18:25:31	-09:35:22.3
B1832+0029	18:32:51	+00:29:27
J1839+15	18:39:00	+15:00:00
B1849+0409	18:49:03	+04:09:42.3
B1852-0635	18:52:57	-06:35:57
J1854+0306	18:54:03	+03:06:14
J1857+0943	18:57:36	+09:43:17.1
J1906+0746	19:06:49	+07:46:25.90
SGR 1900+14	19:07:14	+09:19:20.1
J1909+21	19:09:32	+21:03:00
B1907+03	19:10:09	+03:58:28.0
J1910+0517	19:10:38	+05:17:56.1
J1911+0102A	19:11:11	+01:02:09.74
J1911+00	19:11:48	+00:37
J1913+1330	19:13:18	+13:30:32.8
J1913+1102	19:13:29	+11:02:05.70
B1917+00	19:19:51	+00:21:39.8
B1923+04	19:26:24	+04:31:31.6
B1929+1357	19:29:11	+13:57:35.9
J1913+1330	19:33:38	+24:36:39.6
SGR 1935+2154	19:34:56	+21:53:47.79

B1937+21	19:39:39	+21:34:59.1
J1949+3106	19:49:30	+31:06:03.8
J1953+1846A	19:53:46	+18:47:04.8472
B1957+20	19:59:37	+20:48:15.12
SGR 2013+34	20:13:57	+34:19:48
J2017+0603	20:17:23	+06:03:05.5
B2020+28	20:22:37	+28:54:23.104
B2035+36	20:37:24	+36:21:24.1
J2043+1711	20:43:20.8	+17:11:28.9
J2043+2740	20:43:43.5	+27:40:56
J2047+1053	20:47:00	+10:53:00
J2052+1218	20:52:47	+12:18:00
B2113+14	21:16:14	+14:14:21.04
J2129-0429	21:29:45	-04:29:05.59
XDINS J2143.0+0654	21:43:03	+06:54:17.0
J2145-0750	21:45:50	-07:50:18.499
J2215+5135	22:15:32	+51:35:39
B2217+47	22:19:48	+47:54:53.93
J2302+4442	23:02:47	+44:42:22.0
J2317+1439	23:17:09	+14:39:31.2
J2339-0533	23:39:39	-05:33:05.59
J1048+2339	10:48:43.4270	+23:39:53.503

### 早期科学项目 3

#### 项目名称：脉冲星搜寻

**科学意义：**FAST 领先世界的灵敏度使其成为发现新脉冲星的最佳利器。通过长积分观测来发现暗弱的脉冲星是 FAST 望远镜的相对优势方向。我们计划利用望远镜对一些有很大机会发现新脉冲星的目标（例如球状星团、超星新遗迹、已知双星系统等）、和一些如果发现新脉冲星将带来重要突破的目标（例如邻近卫星星系等）进行跟踪观测。

**FAST 的独特优势：**高灵敏度，比 Arecibo 更大可见天区

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**于萌、王培、王琳、代实、朱炜玮、刘阔、严俊、李葳、余文飞、张承民、张蕾、周平、侯贤、岳友岭、彭勃、潘之辰、喻业钊

**源表（共 75 目标）：**

源名	RA	Dec	目标类型
M3	13:42:12	+28:22:38.2	Globular Cluster
M5	15:18:33	+02:04:51.7	Globular Cluster
M13	16:41:41	+36:27:35.5	Globular Cluster

NGC7089	21:33:27	-00:49:23.7	Globular Cluster
M53	13:12:55	+18:10:05.4	Globular Cluster
NGC6229	16:46:59	+47:31:39.9	Globular Cluster
Pal 14	16:11:01	+14:57:28	Globular Cluster
M15	21:29:58	+12:10:01.2	Globular Cluster
M92	17:17:07	+43:08:09.4	Globular Cluster
M71	19:53:46	+18:46:45.1	Globular Cluster
NGC2419	7:38:08	+38:52:56.8	Globular Cluster
Triangulum II	2:13:17	+36:10:42.4	satellite galaxies
Segue 2	2:19:16	+20:10:31	satellite galaxies
Leo T	9:34:53	+17:03:05	satellite galaxies
Segue 1	10:07:04	+16:04:55	satellite galaxies
Leo I	10:08:27	+12:18:27	satellite galaxies
Sextans Dwarf Spheroidal	10:13:03	-01:36:53	satellite galaxies
Ursa Major I Dwarf	10:34:53	+51:55:12	satellite galaxies
Willman 1	10:49:21	+51:03:00	satellite galaxies
Leo II	11:13:29	+22:09:17	satellite galaxies
Leo V	11:31:10	+02:13:12	satellite galaxies
Leo IV	11:32:57	-00:32:00	satellite galaxies
Virgo I	12:00:10	-00:40:48	satellite galaxies
Coma Berenices	12:26:59	+23:55:09	satellite galaxies
Canes Venatici II	12:57:10	+34:19:15	satellite galaxies
Canes Venatici I	13:28:03	+33:33:21	satellite galaxies
Boötes III	13:57:00	+26:48:00	satellite galaxies
Boötes II	13:58:00	+12:51:00	satellite galaxies
Boötes I	14:00:06	+14:30:00	satellite galaxies
Hercules	16:31:02	+12:47:30	satellite galaxies
Pegasus III	22:24:23	+05:25:12	satellite galaxies
Pisces II	22:58:31	+05:57:09	satellite galaxies
M32	0:41:00	+40	satellite galaxies
NGC205	0:00:40	+41:41	satellite galaxies
NGC598	0:01:34	+30:39	satellite galaxies
Canes I	12:18:00	+35.8	satellite galaxies
M101	14:03:00	+54.6	satellite galaxies
NGC672	1:51:00	+27.8	satellite galaxies
NGC5194	13:09:00	+44	satellite galaxies
Canes II	12:22	+45.4	satellite galaxies
NGC2541	8:12:00	+49.9	satellite galaxies
NGC7640	23:24:00	+40.9	satellite galaxies
NGC925	2:28:00	+33.8	satellite galaxies
Coma I	12:36:00	+31	satellite galaxies
NGC1023	2:35:00	+39.9	satellite galaxies
NGC4062	12:03:00	+31.6	satellite galaxies
NGC3675	11:23:00	+43.2	satellite galaxies
NGC628	1:38:00	+15.3	satellite galaxies

B1534+12	15:37:10	+11:55:55.43387	DNS
J1518+4904	15:18:17	+49:04:34.25119	DNS
J1829+2456	18:29:35	+24:56:18.193	DNS
B1913+16	19:15:28	+16:06:27.3868	DNS
J1906+0746	19:06:49	+07:46:25.9	DNS
G074.0-08.5	20 51 00	+30 40 12	SNR
G039.2-00.3	19 04 04.5	+05 27 12	SNR
G063.7+01.1	19 47 52.08	+27 45 00	SNR
G065.7+01.2	19 52 13.7	+29 25 08	SNR
G020.0-00.2	18 28 07.0	-11 34 60	SNR
G024.7+00.6	18 34 46.08	-07 05 49.2	SNR
G027.8+00.6	18 38 52.01	-04 16 16	SNR
G049.2-00.7	19 23 49.92	+14 06 00	SNR
G38.7-1.3	19 07 16	+04 32 30	SNR
G67.7+1.8	19 54 28	+31 29 02	SNR
J2032+3937	6:43:12	+39.62	GAIA2 binary
J2037+4322	3:50:24	+43.49	GAIA2 binary
J1949+2513	17:45:36	+25.36	GAIA2 binary
J2035+4121	6:28:48	+41.59	GAIA2 binary
J2027+4003	17:45:36	+39.90	GAIA2 binary
J2022+3840	14:52:48	+38.84	GAIA2 binary
Swift J185003.2-005627	18 50 03.20	-00 56 27.0	LMXB
IGR J00291+5934	00 29 03.06	59 34 19.0	LMXB
Aql X-1	19 11 16.05	00 35 05.8	LMXB
J0357+3205	3:57:53	+32:05:25	Taurus/Fermi PSR
3FGL_J1322.3+0839	13:22:20	+08:39:20	Fermi-LAT-FAST
3FGL_J1309.0+0347	13:09:02	+03:47:27	Fermi-LAT-FAST

## 早期科学项目 4

**项目名称：**河内中性氢观测

**科学意义：**中性氢是 FAST 主要科学目标之一。我们计划使用 FAST 望远镜对可见天区的河内中性氢成图（大规模成图测试包含在 CRAFTS 巡天中，见巡天规划），并对一些源进行重点观测。这些源包括分子云中中性氢窄线自吸收的赛曼效应、与  $\gamma$  射线超新星遗迹成协 HI 高速云等。

**FAST 的独特优势：**高灵敏度，比 Arecibo 更大可见天区

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**左沛、石惠、庆道冲、汤宁宇、朱明、肖莉、张馨心、钱磊、Carl Heiles、Marko Krco

源表（共 7 个目标）：

源名称	RA	Dec
DR4	20:20:50	+40:26
HB21	20:45:00	+50:35
CTB109	23:01:35	+58:53
4C+00.77	20:21:01.91	+00:44:42.6
4C+01.76	20:14:34.64	+01:14:31.5
4C+01.46	19:55:13.72	+01:54:10.6
4C+00.74	19:55:25.28	+00:50:25.3

## 早期科学项目 5

**项目名称：**河内分子谱线观测

**科学意义：**谱线科学是 FAST 主要科学目标之一。由于中性氢 21 厘米线的重要性，中性氢观测单列一类，与其他谱线有关的观测统称为分子谱线观测。我们计划使用 FAST 望远镜对一些源进行重点观测，在接收机频段内同时进行中性氢（作为频率指示和定标指示）和分子谱线观测。这些源包括猎户座分子云（已有数据编号：3001、3043）、类星体（河内星际介质吸收，已有数据编号：3002、3007）、Smith 高速中性氢云和 Lockman Hole（已有数据编号：3030）、OH 脉泽（数据编号：3006、3031）、普朗克冷云核（化学演化，已有数据编号：3025）、黄超巨星（数据编号：3029）、彗星（数据编号：3034）。

**FAST 的独特优势：**高灵敏度，比 Arecibo 更大可见天区

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**王均智、石惠、汤静、汤宁宇、任致远、李小虎、李芮、李娟、张江水、张馨心、罗干、段言、钱磊、秦胜利、漆春华、Carl Heiles、Marko Krco

源表（目标总数超过 500，仅列部分代表）：

源名称	RA	Dec
Orion BN/KL	05:35:14.16	-05:22:21.5
Orion Bright Bar	05:35:22.30	-05:24:33.0
ulirg10	04:34:00.03	+08:34:44.6
ulirg59	16:52:58.97	+02:24:01.7
$\chi$ Cygni	19:50:33.92	+32:54:50.6
Comet 46P...	-	-
Lockman Hole	10:51:56	+57:25:32
L1489	04:04:43.0	+26:18:57.0
L1544	05:04:17.2	+25:10:42.8
B 68	17:22:38.2	-23:49:54.0
J18517+0312	18:54:13.4	+03:16:10
J18574+0812	18:59:51.4	+08:16:47



J18422+0104	18:44:46.8	+01:08:03
J19240+1806	19:26:17.0	+18:12:15
J18485+0010	18:51:08.9	+00:14:32
TMC 2-3	04:29:57.6	+24:11:26
L1527 A-1	04:35:05.1	+26:08:37
L1534	04:36:36.4	+25:35:14
TMC1CP	04:38:38.5	+25:36:30

## 早期科学项目 6

**项目名称：**其他观测

**科学意义：**除了脉冲星、中性氢和分子谱线，FAST 还计划了一些探索性的科学目标，例如探测近邻恒星射电耀发（特别是褐矮星）、太阳系外行星的可能射电探测、恒星风-恒星磁场相互作用、通过测量射电源流量变化探测行星际闪烁（可使用 FAST 对定标源观测数据），计划在系统进一步调试完善及目标源出现明确特征时进行尝试。

**FAST 的独特优势：**高灵敏度，比 Arecibo 更大可见天区

**项目参与人列表（姓氏笔画顺序）：**汤静、岳楠楠、刘丽佳、钱磊、高扬

**源表（目标总数超过 500，仅列部分代表）：**

源名称	RA	Dec
HD 189733	20:00:43.71	+22:42:39.1
V830 Tau	04:33:10.0	+24:33:43
BD+20 1790	07:23:44.0	+20:24:51
AD Leo	10:19:36.277	+19:52:12.06

## 早期科学项目 7

**项目名称：**河外星系之低频射电氢原子复合线(RRL)搜寻与 HI/OH 吸收线探测

**联系人：**朱明、刘彬、吴忠祖，郑征，彭勃

**科学意义：**

**中性氢吸收线的星系：**通过观测 ALFAFA 巡天发现的星系吸收线候选体，证认出有中性氢吸收线的星系，成倍增加中性氢吸收线星系样本，同时与发射观测相结合，更有效地测量河外星系中性氢气体的温度、光深等参量。

**河外 HI/OH 吸收线探测：**由于中性氢及羟基的射电谱线都比较弱，HI 和 OH 吸收线几乎是射电波段探测高红移中性氢和羟基的唯一手段（e. g. Allison et al. 2015, Gereb et al. 2014, Maccagni et al. 2017）。利用大量的 HI 吸收线，我们可以勾画出河外大尺度中性氢的分布，以及探测 AGN 附近致密气体的分布。而河外羟基吸收线，到现在为止则仅探测到一例，如果高灵敏度的 FAST 能够探测到更多的羟基吸收线，则会大大提高探测样本，并对高红移分子的分布给出更好的限制。

**河外星系低频射电复合线观测：**星际介质中低温中性原子气体 (Cold Neutral Medium, CNM) 可通过低频 (<1GHz) 电离碳射电复合线 (Carbon Radio Recombination Line, C-RRL) 示踪。根据谱线强度随跃迁能级主量子数的变化规律，可得到 CNM 气体的电子温度、电子密度等物理参数，并可用于分析其热力学状态。通过碳、氢的复合线强度比，可以计算元素离子丰度比、估计气体电离度。可与电离碳超精细结构远红外谱线 [CII]158um、HI 吸收线进行相关性研究。对河外星系的探测，还可研究中性气体的不同组分在各星系中的相对丰度，及星系中氢原子到氢分子的转变规律。

目前，在对河外星系的低频 C-RRL 探测中，仅 LOFAR 对 M82 成功探测。使用 FAST 开展此类搜寻，可扩大河外星系低频 C-RRL 的研究样本，同时弥补 LOFAR 在频率覆盖范围较窄的不足，以进行更完备的模型分析。另外，在 >1GHz 频率范围搜寻电离氢 H-RRL，在 1-1.7 GHz 范围内进行 H-RRL 谱线 (~25 条) 叠加，获得超高谱线灵敏度，以获得星系中 WIM 物理性质。

### FAST 的独特优势：

对于近似点源的 HI 和 OH 吸收的观测，FAST 有足够的绝对灵敏度 (raw sensitivity)，可以用较高的普分辨率探测到线宽通常较窄的中性氢吸收。这些源相对于 FAST 在 L 波段的 beam 基本上都是点源，其背源流量可以参考 ALFAFA 星表，可以给 FAST 定标作参考，所以是十分适合利用刚建成但是部分完成调试状态的 FAST 进行的工作。FAST 的高灵敏度使其在相对弱的 RRL 观测研究中具有独特优势。并且频率范围 270~870MHz 的连续覆盖是观测低频 RRL 的理想条件，优于 Arecibo 及 GBT。相比于 VLA，单口径望远镜对弥散气体辐射更加敏感，因此更有优势。与 LOFAR 可形成频率覆盖的优势互补。

**源表：**ALFALFA 吸引源表，FAST 可见天区内的明亮射电点源（在其他波段有吸收特征）。

### 源表：

源名称	RA	Dec
NGC1052-DF2	02:41:46.80	-08:24:12.0
M77	02:42:40.7	-00:00:47.8
J000520.21+052411.80	00:05:20.22	+05:24:10.1
J045647.17+040052.94	04:56:47.17	+04:00:53.2
J0741+3111	07:41:10.70	+31:11:59.8
J075525.51+172836.59	07:55:25.42	+17:28:37.5

3C190	08:01:33.5	+14:14:42.2
J084307.11+453742.8	08:43:07.11	+45:37:42.8
J090325.54+162256.0	09:03:25.54	+16:22:56.0
J0954+1743	09:54:56.80	+17:43:31.1
NGC3079	10:01:57.8	+55:40:48.5
J1009+0713	10:09:02.10	+07:13:43.9
J102230.29+304105.11	10:22:30.31	+30:41:05.8
J102400.53+511248.1	10:24:00.53	+51:12:48.1
J103932.12+461205.3	10:39:32.12	+46:12:05.3
J104117.16+061016.92	10:41:17.16	+06:10:16.5
NGC3628	11:20:17.0	+13:35:22.2
J112332.04+235047.8	11:23:32.04	+23:50:47.8
NGC3690	11:28:31.3	+58:33:41.8
J124707.32+490017.9	12:47:07.32	+49:00:17.9
J130132.61+463402.7	13:01:32.61	+46:34:02.7
3C293	13:52:17.8	+31:26:46.7
J142210.81+210554.1	14:22:10.81	+21:05:54.1
J152446.01+230723.5	15:24:46.01	+23:07:23.5
J153452.95+290919.8	15:34:52.95	+29:09:19.8
J155902.70+230830.4	15:59:02.70	+23:08:30.4
J162439.08+234512.20	16:24:39.42	+23:45:17.5
J170815.25+211117.7	17:08:15.25	+21:11:17.7
Cyg A	19:59:28.3	+40:44:02.0
J223246.80+134702.04	22:32:46.28	+13:47:00.7
Cas A	23:23:19.7	+58:48:42.0

## 早期科学项目 8

**项目名称：**定点河外星系中性氢探测

**联系人：** 艾美，朱明， 纪丽，孙玮，张水乃，郑征，郑政，胡剑，钱磊，蒋雪健，王杰、张博

### 科学意义：

利用 FAST 观测具有探测到 CO 但是没有测到中性氢 21cm 线的河外星系。我们在 COLD GASS 等一些巡天样本中找到了 19 个有 CO（最重要的 H<sub>2</sub> 示踪分子）但是没探测到中性氢 21cm 发射线的星系。这种有分子气体但是没有探测到中性氢的现象在物理上是比较难以理解的，因为 H<sub>2</sub> 都是从 HI 形成，而且 H<sub>2</sub> 云外围应该被 HI 包围。我们希望能够利用 FAST 探测到这些星系的中性氢成分，并对星系内中性氢-分子氢之间的转化以及星系的演化能有更深的理解。

**UDG 星系的中性氢观测：**UDG 星系(ultra diffuse galaxies)是最近几年通过超深成像(ultra-deep imaging) 技术发现的一类极端低表面亮度星系，中心亮度  $\mu_{g,0} >$

24 mag/arcsec<sup>2</sup>, 有效半径  $r_e > 1.5$  kpc, 其恒星质量比类似大小的正常星系小两个量级。观测表明, UDG 可大致分为两类, 一类颜色较红 ( $g-i \sim 0.8$ ), 形状较圆, 在星系团环境中; 另一类颜色较蓝 ( $g-i \sim 0.4$ ), 形状不规则, 在星系群和场环境中。其中很多蓝 UDG 是富气体的,  $M_{\text{HI}}/M_* \sim 1-100$ 。由于 UDG 面亮度非常低, 用光学或近红外光谱测量其红移和动力学信息非常昂贵, 需要 8 米级望远镜几小时的曝光。而若用单天线射电望远镜测量其 HI 谱线, 可以比较容易得到红移和旋转速度等。ALFALFA 巡天已经发现了 115 个 UDG (Leisman et al. 2017), 显示了射电观测在 UDG 研究中的威力。UDG 目前主要有两种形成理论。一种是形成于具有较大角动量参数的暗晕中 (Amorisco & Loeb 2016), 另一种是星系形成早期的反馈过程将气体吹到较大半径处 (Di Cintio et al. 2017)。HI 观测可以直接测量 UDG 的气体含量, 有助于揭示其形成机制。

Arecibo 未观测到、预计 HI 质量大的星系的观测: 在 Arecibo 与 SDSS 巡天重合的天区, 有部分偏蓝星系没有被 Arecibo 的 ALFALFA 巡天观测到, 而这些星系根据颜色星等信息, 计算出的 HI 质量要高于 ALFALFA  $4.5\sigma$  的探测极限至少 3 倍以上, 这些星系可能是偏离颜色星等关系的奇异星系。FAST 目前的灵敏度与 ALFALFA 相当。我们计划对这些星系进行跟踪观测, 检测由光学波段得到的星系恒星质量与 HI 质量的关系的准确性, 并发现偏离该关系的奇异星系。

探测高红移星系团尺度的中性氢: B-O 效应指出, 红移在 0.1 以上, 星系团内部蓝色星系的比例显著增加, 而临近宇宙 ( $z=0$ ) 星系团内部绝大部分是颜色偏红的星系。蓝色星系通常被认为是富含中性氢气体的星系, 而红色的星系通常是气体缺乏的。根据 Butcher-Oemler 1984 年的观测结果, 在红移 0.4 处星系团的蓝星系比例高达 20%-40%, 意味着星系团内有更多年轻的, 富含中性氢气体的星系。在短短的 4Gyr 内, 星系的颜色, 形态, 气体含量, 恒星形成性质都经历了巨大的改变。由于观测设备的限制, 目前还无法从中性氢角度对这一现象进行研究, ALFALFA 巡天红移最高为 0.06, HIPASS 巡天红移最高为  $cz=12000$  km/s, 无法对这一现象进行深入研究。目前 WSRT 望远镜阵列经过长时间积分, 探测到了两个红移为 0.2 的阿贝尔星系团内的 160 个成员星系。FAST 灵敏度高, 有能力探测红移为 0.2 的富蓝星系的星系团尺度的中性氢, 对这两个源的测试观测将为未来探测更高红移星系团尺度的中性氢信号提供基础, 这对研究星系的演化以及与环境的作用有着重要的意义。

星系团间中性气体的性质与演化: 星系团间介质 (intracluster medium, ICM) 的冲压剥离 (ram-pressure stripping) 过程可以有效地移除星系团中晚型星系内部的冷气体。然而, 因为缺乏对热传导过程和热气体粘滞特性清晰的认识, 被剥离的冷气体与高温 ICM 混合加热过程的很多细节仍有待查明。并且, 冷热气体混合形成的多态气体也改变了 ICM 的物理性质和辐射特征。加热混合过程会持续多久? 有多少比例的冷气体可以转化为新的恒星 (如 Sun et al. 2007)? 冷热气体混合过程是否产生特殊的辐射特征 (如电荷交换过程, Zhang et al. 2014)? 以上问题的解答需要多波段数据的综合分析, 而其中最重要的组成部分即为对剥离的中性气体深度观测。

晚型星系 NGC 4388 位于 Virgo 星系团 ( $d=17$  Mpc) 中, 在 $\sim 2$  亿年前 (Vollmer 2009) 经历的冲压剥离过程中, 损失了约 85% 的中性气体 (Cayatte et al. 2010)。从这个星系剥离出来的中性气体形成了一条延伸至东北方向的 $\sim 100$  kpc 长度的尾迹 (Oosterloo & van Gorkum 2005, 0vG05; 见图 1)。在靠近 NGC 4388 一端, 中性气体尾迹与  $H\alpha$  示踪的电离气体成协 (图 1 中黑色椭圆; Yoshida et al. 2002)。尾迹的形态和气体含量为人们研究冲压剥离和冷热气体混合过程提供了极为有用的信息 (Roediger et al. 2006; Vollmer & Huchtmeier 2007, VH07)。

然而, 受望远镜口径和/或曝光时间的限制, 此前的观测仅仅探测到了  $M_H > 10^{19}$   $\text{cm}^{-2}$  的中性氢气体。综合孔径望远镜 (WSRT, 0vG05) 观测只能捕捉高柱密度结构的辐射; 而单镜观测 (Effelsberg-100m, VH07) 的波束宽度太大 (9.3 角分), 并且, 因为受到临近的 M87 射电连续谱辐射的干扰, 到目前为止人们只得到了有限的中性气体的信息。FAST 的大孔径意味着更小的波束和更大的集光面积。我们希望通过 FAST 的  $H\text{ I } 21\text{cm}$  深度观测, 得到 NGC 4388 内剥离的中性气体更为完备的信息, 特别是有着较低柱密度的延展结构; 并且结合 CO、 $H\alpha$ 、X 射线等多波段数据, 分析多态气体的辐射特征和综合性质, 从而得到对 ICM 内中性气体演化更为清晰的理解。

**FAST 的独特优势:** FAST 的高增益, 高灵敏探测敏度, 空间分辨率, 是现今最大口径且最适合做暗弱中性氢探测的望远镜。

**源表:**

源名称	RA	Dec
COLDGASS_124006	00:19:47.33	+00:35:26.8
[TT2009]30	02:22:54.7	+42:42:45
COLDGASS_108080	08:01:34.49	+09:18:17.5
COLDGASS_56319	08:03:22.76	+09:57:45.8
PID3033-18	08:50:56.79	+29:12:0.66
PID3033-22	09:13:39.47	+29:59:34.58
PID3033-12	09:16:1.78	+17:35:23.33
MaNGA_8250-6104	09:21:38.74	+43:43:34.1
COLDGASS_109045	09:25:15.42	+10:53:12.2
PID3033-3	09:29:7.2	+30:8:26.85
MaNGA_8439-6102	09:31:06.76	+49:04:47.1
COLDGASS_109097	09:38:34.45	+08:53:16.4
PID3033-5373	09:59:59.7	+05:19:52
PID3033-13	10:07:30.67	+14:58:2.5
Abell963	10:17:3.9	+39:01:31
PID3033-5721	10:32:17.9	+27:40:03
PID3033-5826	10:42:09.1	+13:44:45
PID3033-5840	10:43:31.0	+24:55:14
PID3033-5882	10:46:45.4	+11:49:21
KKH65	10:51:59.2	+28:21:45
PID3033-1	10:57:55.12	+8:30:16.25
PID3033-6	10:58:00.04	+8:25:4.34

PID3033-30	10:58:28.32	+24:22:23.33
NGC3521sat	11:05:40.7	+00:07:15
PID3033-9	11:08:24.97	+28:36:42.18
PID3033-6277	11:15:06.0	+14:47:02
PID3033-6350	11:20:14.7	+13:35:21
COLDGASS_12460	11:20:48.31	+03:50:21.0
N3625-DGSAT-4	11:21:40.79	+57:24:37.0
N3669-DGSAT-3	11:26:38.78	+57:41:19.1
PID3033-24	11:52:42.6	+20:37:52.7
PID3033-27	11:40:41.67	+20:20:34.61
PID3033-25	11:44:2.15	+19:56:59.36
PID3033-11	11:44:47.8	+19:46:24.29
PID3033-5	12:01:47.64	+21:5:8.58
COLDGASS_112106	12:03:36.94	+02:37:49.7
PID3033-15	12:06:38.92	+28:10:26.88
COLDGASS_24094	12:20:30.18	+11:20:27.4
NGC4388NE(30â€™x30â€™)	12:26:30	+12:50:00
PID3033-23	12:35:41.17	+26:31:23.06
PID3033-7772	12:36:19.9	+25:59:34
NGC4631dw1	12:40:57.0	+32:47:33
PID3033-7961	12:47:47.0	+04:20:07
PID3033-8024	12:54:07.4	+27:09:09
PID3033-8054	12:55:48.5	+04:18:15
PID3033-29	12:56:27.86	+26:59:14.7
PID3033-28	12:57:31.96	+28:28:36.97
PID3033-8	12:58:35.19	+27:35:46.95
PID3033-10	12:58:35.33	+27:15:52.85
PID3033-19	12:59:35.71	+27:57:33.35
PID3033-16	13:00:08.13	+27:58:36.98
PID3033-7	13:00:33.68	+27:38:15.91
COLDGASS_113100	13:00:35.68	+27:34:27.3
PID3033-14	13:00:37.86	+28:3:29.12
PID3033-20	13:03:49.95	+28:11:8.62
KDG218	13:05:43.9	-07:45:32
PID3033-17	13:24:10.01	+13:58:35.52
COLDGASS_7050	13:49:09.69	+02:45:11.6
PID3033-21	13:52:22.75	+21:32:21.66
KK227	13:56:10.1	+40:18:12
PID3033-8853	13:56:11.0	+05:00:39
M101-DF5	14:04:28.1	+55:37:00.4
M101-DF7	14:05:48.3	+55:07:58.4
M101-DF4	14:07:33.4	+54:42:36.6
M101-DF6	14:08:19.0	+55:11:24.8
PID3033-26	14:08:30.7	+8:55:54.87
COLDGASS_7286	14:14:32.05	+03:11:24.9

COLDGASS_114048	14:28:55.80	+25:44:15.5
PID3033-9436	14:39:11.1	+05:22:07
COLDGASS_9704	14:40:59.30	+03:08:13.5
PID3033-4	14:42:49.59	+8:47:43.61
PID3033-9915	15:35:23.5	+12:02:51
PID3033-9935	15:37:36.9	+05:58:28
COLDGASS_26958	15:46:54.34	+05:53:28.4
PID3033-10041	15:49:00.8	+05:11:27
Abell2192	16:26:37	+42:40:18
COLDGASS_10943	22:15:40.59	+13:36:17.0
COLDGASS_10948	22:16:36.89	+13:15:14.4
COLDGASS_10952	22:16:57.96	+13:32:35.1
PID3033-2	23:13:40.5	+14:1:15.57
PegII-UDG37	23:22:08.2	+09:54:47
PegII-UDG25	23:22:19.5	+09:37:07

## FAST 巡天规划和测试计划

### 1、FAST 多科学目标同时扫描巡天

Commensal Radio Astronomy FasT Survey (CRAFTS)

### 2、银道面与仙女座大星系巡天

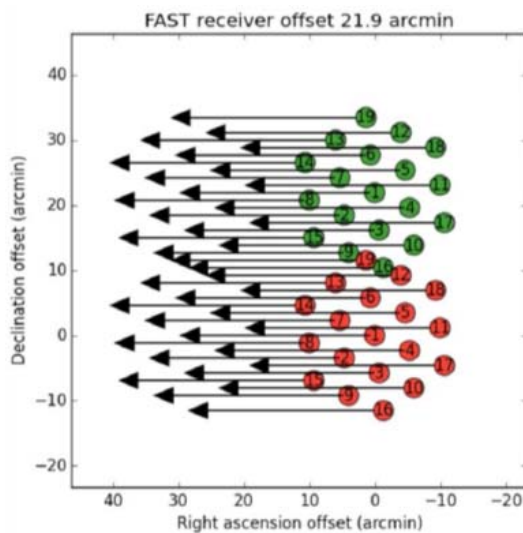
Galactic plane and Andromeda Survey (GAS)

### 1、FAST 多科学目标同时扫描巡天

Commensal Radio Astronomy FasT Survey (CRAFTS)

CRAFTS 是 FAST 的首个大型巡天项目，自 2017 年开始得到国家重点研发专项支持（成员见下）。它利用 19-波束接收机通过漂移扫描的方式扫描赤纬-14 度到 66 度之间的所有天区。在漂移扫描过程中将同时进行脉冲星搜寻和中性氢 21 厘米线巡天，此项观测技术为国际首创。19-波束接收机的频率范围为 1.05-1.45GHz，每个波束的大小为 2.9'，因此每个点源在漂移过程中的有效积分时间大约是 12 秒。我们将对整个可见天区扫描 1-2 遍，总观测时间约为 220 天，约合 5000 小时。此巡天的灵敏度约是 ALFALFA 巡天的两倍左右。

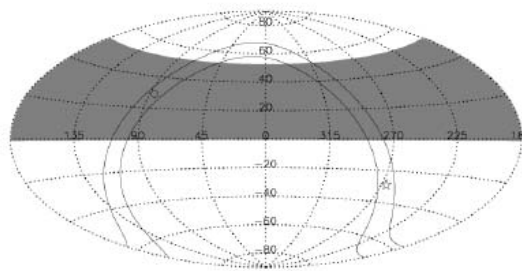
项目主要科学目标为：利用 FAST 发现新射电脉冲星和 FRB 的突破；深入研究脉冲星射电单脉冲及其微结构，推动纳赫兹引力波测量；探测到超过 10 万个气体星系，研究星系演化；完成北天区空间分辨动态范围最高的中性氢巡天，精细刻画银河系气体结构和揭示星际介质演化规律；搜寻 OH 超脉泽源和有机大分子及其他生命起源相关分子。



FAST 19 波束接收机漂移扫描巡天策略。

（上图）19 波束接收机旋转角度及扫描模式。

（下图）漂移扫描天区。阴影区域为 FAST 全口径照明覆盖区域。实线表示银纬  $\pm 5^\circ$ ，五角星表示银心，圆圈表示反银心方向。



### 课题成员：

课题 1 “FAST 漂移扫描脉冲星巡天搜索”：李菡（负责人）、钱磊、George Hobbs、朱炜玮、戴子高



课题 2 “基于 FAST 观测的脉冲星物理及引力波探测”：徐仁新（负责人）、李柯伽、岳友岭、张力

课题 3 “中性氢星系巡天”：朱明（负责人）、方陶陶、孔旭、张同杰

课题 4 “利用 FAST 漂移扫描多科学目标同时巡天的银河系结构研究”：邱科平（负责人）、王均智、吴京文、吴月芳

项目专家组：严俊、乔国俊、郑兴武、武向平、杨戟、张其洲、沈志强、王娜、朱宗宏、陈学雷、姜鹏、李葭、郑晓年、盘军、左成刚

#### **相关 PID:**

3002, 3003, 3015, 3017, 3025, 3049

#### **测试和先导内容包括:**

国外中性氢扫描盲搜 (HI Blank Survey Test) 充分利用夜晚漂移扫描(drift scan) 模式开展盲搜测试

对于 19 波束旋转角和扫描模式进行实验，比对成像效果，覆盖效率等。

对于 Lockman hole 这一全天中性氢柱密度最低的天区进行定标测试，与 LAB, GBT, HI4PI 等进行全面定标比对。

对 FAST 已发现脉冲星候选体开展格点认证和后遂观测，每个候选体需要约 2 次格点跟踪观测，每次格点观测计入换源时间约需 1 小时。在 2019 预计 FAST 将发现 ~100 个新脉冲星。虽然大部分发现需要通过国际合作来开展后遂观测、还是有相当部分的候选体对于其他大型望远镜而言太暗弱，因此只能由 FAST 自己认证。另外，对新发现的候选体进行格点认证也可以帮助我们确定该脉冲星的精确位置，并对其可能的科学意义进行初步探索，有助于 FAST 提早获得有重大意义的发现。对极少数有重要科学意义的目标，需要用 FAST 开展若干小时的后遂观测，来挖掘它们背后的科学成果。

利用 CRAFTS 项目开发的实时 FRB 探测后端对 FAST 天区内的重复 FRB 和可能的重复 FRB 开展跟踪观测。进行后端性能测试的同时有希望发现更多的 FRB 重复暴现象，或者对于 FRB 现象是否普遍存在重复进行有效的限制。

## 2、银道面与仙女座大星系巡天

### Galactic plane and Andromeda Survey (GAS)

本项目旨在利用 FAST 对银河系、仙女座大星系 (M31) 和附近矮星系的深度观测，结合数值模拟，来研究近邻星系群内部重子物质和暗物质的分布。本项目利用 19-波束接收机通过长时间积分的模式来对银道面及 M31 进行深度或者中度覆盖。每个点积分时间约为 1 小时，覆盖 M31 约需 100 小时，另外覆盖附近的矮星系还需要约 300 小时。最终的探测灵敏度将达到中性氢柱密度约  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 。

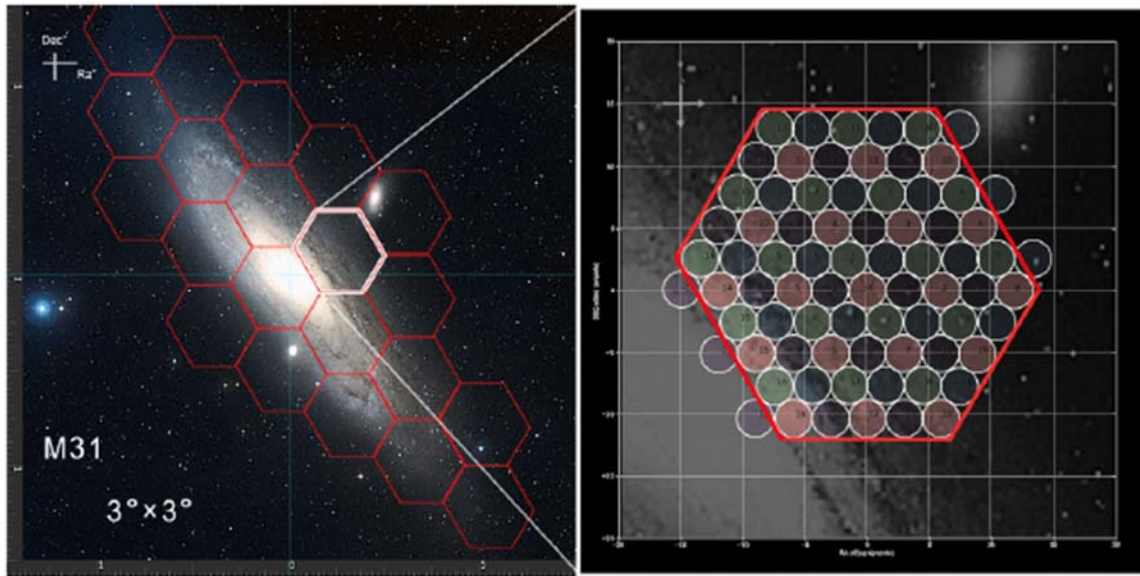
主要研究目标为：建立银河系最完备及 M31 中以前未知的脉冲星样本，并展开引力检验、星系动力学等课题研究；获取北天银盘冷中性氢气体最完整的测量，结合“银河画卷”巡天的分子气体信息，系统研究星际介质演化；结合 X 射线观测和脉冲星色散等多波段观测，探测星系周围热气体成分；进行高分辨率的暗物质及气体数值模拟，结合 FAST 观测结果来量化解释、预言银河系-M31 星系系统的气体分布及暗物质成分等特征。

利用 FAST 19 波束接收机对银盘进行 10-30 分钟左右的积分观测，探测灵敏度可以超过 Arecibo 同类项目 4-6 倍，超过其他望远镜数十倍。预期可直接发现上千颗新脉冲星 (Smits et al., 2009; Lorimer private communication)，其中很多会是毫秒脉冲星和双星系统。FAST 的高灵敏度还有希望发现埋藏在银盘上深处的脉冲星，对于研究银河系结构和性质有重大意义。利用 FAST 在跟踪模式下 (积分半小时/两小时) 超高的探测灵敏度探索 M31 星系外沿 HI 沿着径向分布。以前的观测计划已经给出 M31 到半径 35 kpc 左右 (Chemin et al. 2009, Braun et al. 2009)，在其给定的预测流量情况下，如果外盘继续按照预期的轮廓外延，半小时观测可探测到 45 kpc 处的中性氢，两小时积分则可外延至 48.4 kpc。(假定系统温度 25 K, 频率分辨率 1 MHz (2000 个通道)，有效接收面积  $A_{\text{eff}}=50000 \text{ m}^2$ ，盘旋转速度 200 km/s)。我们希望通过这次观测明确 M31 气体盘在外沿是否依然遵循推论的轮廓分布，或者在给定最大流量限定的条件下判定存在阶段。

#### 测试和先导内容包括：

对银盘 Arecibo 覆盖区域外进行拼接脉冲星搜索，发现更多银盘深处的毫秒脉冲星和脉冲星双星系统。该项目旨在利用 FAST 望远镜的灵敏度优势，在其他大型望远镜 (如 SKA) 完全运行之前率先开展脉冲星巡天和发现，为我国脉冲星科学研究积累原创科学目标。

在开展脉冲星数据采集的同时，利用原创的高频噪声模式，实现多科学目标同时观测。利用一次巡天计划完成多种科学目标，并开展 M31 星系盘的边沿 HI 的径向分布测量的先导研究。



M31 深度积分覆盖方案。每个六边形代表一次格点观测，包含了 4 次 FAST-19 波束指向拼接（右图），展示为 21 个格点，对 M31 星系的光学成分完整覆盖。

针对脉冲星发现和谱线测量对射电环境极为敏感、19 波束脉冲星搜寻数据量超出 FAST 目前存储解决方案等严峻挑战，巡天测试项目计划开发 FAST 多波束 RFI 监测和消减方案，以及脉冲星数据压缩方案。在科学任务可行的条件下，力争保存下一份大小合理的 FAST 银盘多科学目标巡天数据，在项目运行结束后一段时间后向全国科学家开放这些宝贵科学数据。