

沈海高速改扩建工程无人机航测应用

王铭志 李丽洋

【山东鲁邦地理信息工程有限公司】

摘要：

近年来，随着我国经济的飞速发展，原有的高速公路建设标准已不能满足现代社会的需求，因此高速公路改扩建已经成为满足当前交通需求的根本手段，本文以沈海高速改扩建工程为例，结合当下飞马 D2000 无人机搭 D-OP3000 倾斜五镜头及 D-Lidar2000 雷达设备的测量方式，在符合精度标准的前提下完成了三维模型，1:2000 地形图及相关 DOM、DEM 等成果的制作。

关键词：

飞马 D2000 无人机；D-Lidar2000 雷达；倾斜模型；大比例尺地形图

1 项目背景

沈阳—海口高速公路，简称“沈海高速”，又称“沈海高速公路”，为中国国家高速公路网北南纵向主干线中的第二纵，是中国重要的南北公路交通大动脉之一。沈海高速公路于1984年6月27日开工建设，全长3710千米，设计速度80-120千米/小时。近年来，现有通行能力已不能满足经济社会发展需要，该高速的改扩建工程为省市重点工程。

本项目工程位于日照段，全长约68公里，面积约48平方公里。测区地形复杂，涉及丘陵、平原，植被茂密，种植果树、茶园等经济林木，交通便利。

公司承担1:2000地形图及相关DOM、DEM等成果的制作。

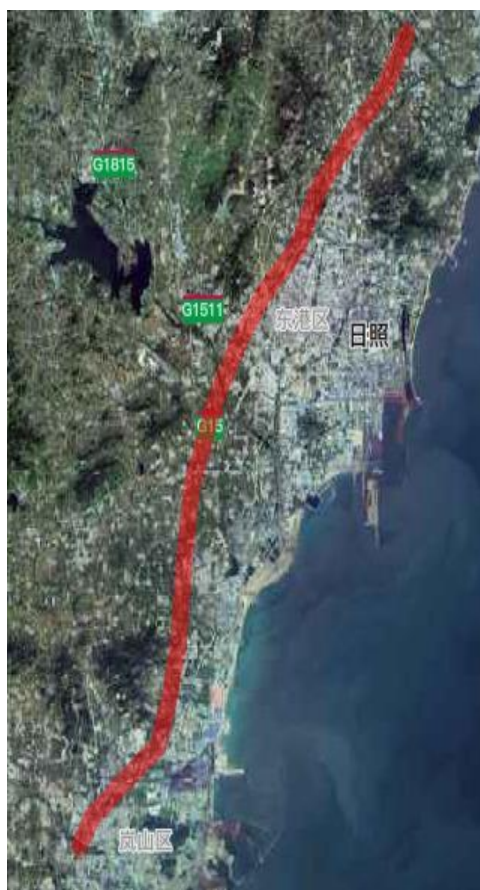


图1 测区范围示意图

2 技术路线

在编制好技术设计书并通过业主审核后，外业根据设计书要求使用飞马 D2000 无人机搭载 D-OP3000 倾斜五镜头及 D-Lidar2000 雷达设备，获取测区倾斜航拍影像及雷达点云，同时使用 RTK 设备在测区采集像控点、检查点、检核点；内业对外业获取的数据进行检查处理，获得空三、影像、模型、点云成果，在此基础上根据国家基本图图式采集 1:2000 地形图；加载内业影像及采集成果，外业进行调绘及修补测；内业根据外业成果进行编辑、入库并进行最终检查验收。

3 作业流程

3.1 航线规划

根据项目要求，使用飞马无人机管家-智航线模块规划航线，倾斜航飞按照地面分辨率 5cm 进行，相对航高 319 米，标准外扩航线，自动分区，共航飞 56 个架次，获取影像数据 909G；机载雷达航飞相对航高 140 米，50%重叠度，获取雷达数据 433G。因测区涉及管制空域，项目航飞总耗时 25 天。



图 2 像控点采集

3.2 内业数据处理

使用飞马提供的 IE 解算软件进行轨迹解算，获取高精度位置信息；使用飞马相片整理工具，对航飞相片进行批量改名、坐标写入等，快速整理航飞成果；利用空三处理软件进行空三计算，获取空三成果，利用进而生产倾斜模型和正射影像。使用外业控制成果对模型和正射影像进行精度检测，符合项目要求，具体指标详见精度分析。

使用飞马无人机管家的智激光模块进行点云解算，将原始点云数据去噪、航带平差、合并，利用外业控制成果进行点云精度检测。使用飞马无人机管家中的智点云模块对点云进行自动粗分类，针对项目不同区域采用不同分类方法与参数，在获取较为理想的分类效果后，针对部分茶园等困难区域进行手工分类，最终导出地面点成果，并输出 DEM 成果。

内业利用模型、正射影像、DEM 成果进行 1:2000 地形图生产，其中高程点等地貌要素由 DEM 提取编辑，同时利用雷达数据获取高压线悬高等信息，标注在相应位置；外业将内业影像转换格式后导入平板设备，加载内业采集成果进行外业调绘及修补测，因项目为高速项目，对高速附近管线要求较高，结合内业高分辨率影像及 RTK 实测确定各管线桩的空间位置；内业使用外业成果进行编辑、综合、赋值入库等，结合外业实测点位对最终成果进行精度检核，最终形成满足客户需求的 1: 2000 地形图成果。

整个项目从技术设计开始到最终提交成果共耗时 45 天，各工序压茬进行，有序衔接，做到边飞边处理，边采边检查成图，在确保精度的同时，提高各工序的工作效率。



图3 正射影像



图4 倾斜模型

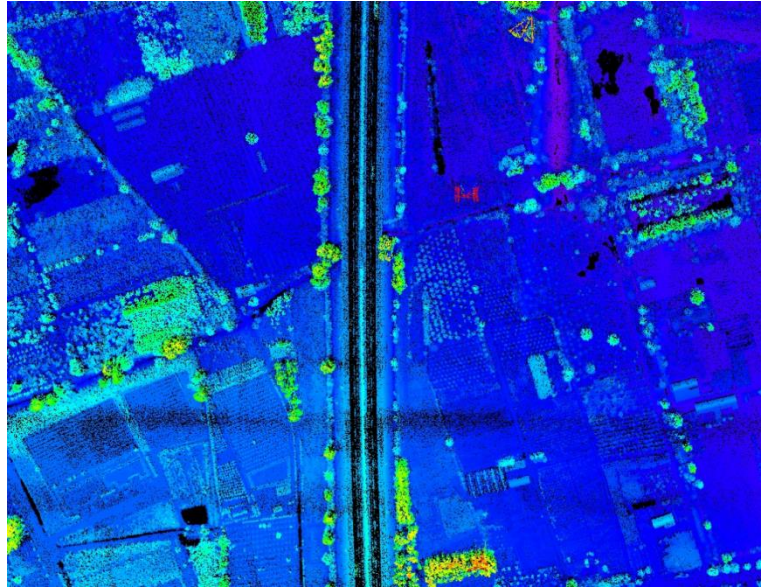


图5 原始雷达数据

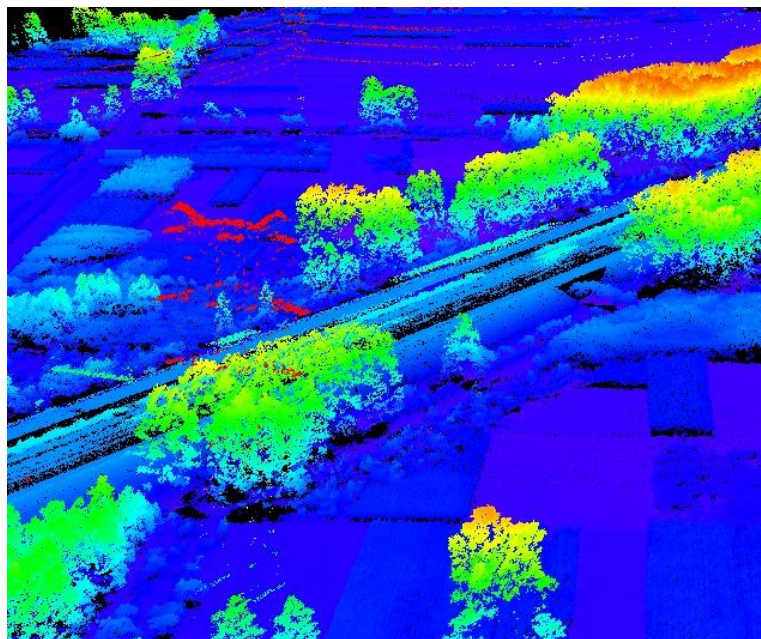


图6 雷达扫描高压线悬高

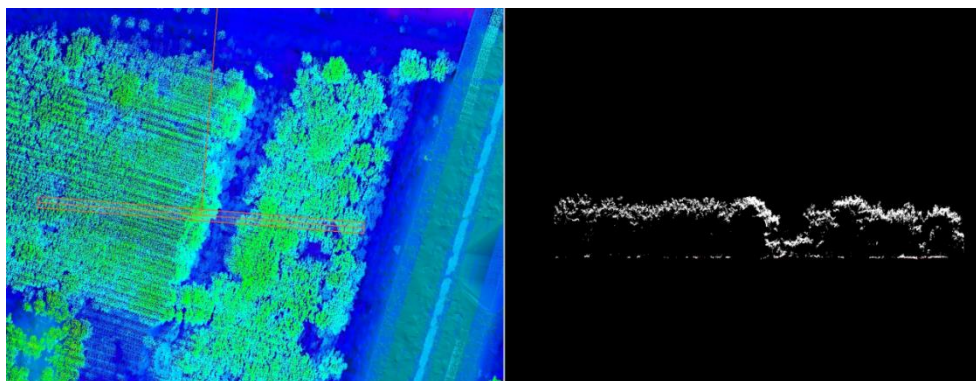


图 7 雷达扫描密集植被

4 精度

在测区范围内使用 RTK 实地共采集 164 个检核点，重点检核高程精度。使用此采集成果针对模型、正射影像、雷达点云等进行精度检核，按高精度检测计算，高程精度中误差 0.105 米，满足项目需求。

表 1 精度检核表

序号	X	Y	H	h	Δh
1	****092.975	***152.702	15.971	15.772	0.199
2	****092.656	***149.658	15.981	15.908	0.073
3	****068.263	***904.382	17.398	17.398	0.000
4	****018.101	***474.028	56.765	56.891	-0.126
5	****058.482	***405.84	61.705	61.882	-0.177
6	****934.306	***053.468	27.582	27.696	-0.114
7	****939.369	***052.706	27.659	27.761	-0.102
8	****193.589	***021.287	29.386	29.461	-0.075
9	****231.29	***011.039	29.501	29.579	-0.078
10	****891.948	***980.945	19.282	19.143	0.139
11	****920.416	***975.769	19.428	19.382	0.046
12	****951.285	***967.816	19.710	19.776	-0.066
13	****633.847	***825.62	35.237	35.330	-0.093

序号	X	Y	H	h	Δh
14	****628.275	***827.783	35.163	35.168	-0.005
15	****135.428	***192.21	47.220	47.220	0.000
16	****477.244	***391.089	26.204	26.204	0.000
17	****470.791	***387.477	23.338	23.107	0.231
18	****587.516	***342.259	27.234	27.234	0.000
19	****634.746	***334.787	27.993	27.993	0.000
20	****046.042	***328.195	28.731	28.731	0.000
21	****272.569	***166.051	30.671	30.636	0.035
22	****269.697	***168.772	30.621	30.578	0.043
23	****234.931	***964.709	26.359	26.520	-0.161
24	****235.186	***967.066	26.437	26.583	-0.146
25	****025.149	***028.845	33.806	33.819	-0.013
26	****841.26	***455.884	22.073	22.202	-0.129
27	****837.424	***455.82	22.097	22.167	-0.070
28	****347.908	***834.227	40.872	40.857	0.015
29	****353.909	***835.215	40.923	40.906	0.017
30	****073.272	***169.263	45.751	45.738	0.013
31	****073.288	***175.274	45.895	45.938	-0.043
32	****018.101	***474.028	56.765	56.891	-0.126
33	****058.482	***405.84	61.705	61.882	-0.177
34	****957.201	***553.891	21.358	21.524	-0.166
35	****812.718	***406.942	7.277	7.315	-0.038
36	****812.945	***409.924	7.245	7.303	-0.058
37	****476.525	***167.081	12.111	12.256	-0.145
38	****476.322	***166.017	11.984	11.984	0.000
39	****859.163	***329.317	16.898	16.898	0.000
40	****862.46	***331.433	16.922	16.922	0.000
41	****277.091	***826.381	30.061	29.995	0.066

序号	X	Y	H	h	Δh
42	****269.933	***545.21	16.510	16.575	-0.065
43	****275.399	***551.72	16.558	16.637	-0.079
44	****281.087	***551.406	15.825	15.924	-0.099
45	****584.591	***776.255	9.974	10.304	-0.330
46	****531.477	***269.475	8.238	8.260	-0.022
47	****528.152	***267.337	8.206	8.266	-0.060
48	****083.062	***903.776	7.266	7.331	-0.065
49	****084.307	***897.553	7.299	7.331	-0.032
50	****993.757	***438.335	14.796	14.796	0.000
51	****993.669	***437.942	14.805	14.805	0.000
52	****993.469	***436.486	14.757	14.757	0.000
53	****992.605	***432.542	14.664	14.664	0.000
54	****988.781	***425.255	14.565	14.447	0.118
55	****177.196	***017.475	9.844	9.962	-0.118
56	****173.63	***019.224	9.863	9.933	-0.070
57	****168.298	***021.888	9.876	9.936	-0.060
58	****164.761	***023.638	9.856	9.889	-0.033
59	****790.447	***198.212	8.590	8.557	0.033
60	****786.829	***199.868	8.593	8.590	0.003
61	****184.151	***518.847	19.961	19.845	0.116
62	****176.992	***519.119	19.889	19.792	0.097
63	****185.971	***530.202	19.691	19.649	0.042
64	****471.425	***986.177	8.384	8.465	-0.081
65	****470.752	***990.118	8.375	8.436	-0.061
66	****802.614	***494.877	21.062	21.189	-0.127
67	****801.208	***493.006	21.150	21.220	-0.070
68	****799.826	***497.867	20.990	21.220	-0.230
69	****940.321	***101.473	34.103	34.272	-0.169

序号	X	Y	H	h	Δh
70	****943.136	***099.784	34.487	34.525	-0.038
71	****948.59	***089.087	34.697	34.685	0.012
72	****288.077	***878.423	14.121	14.080	0.041
73	****287.167	***883.339	14.065	14.049	0.016
74	****286.342	***888.043	13.997	14.049	-0.052
75	****049.591	***275.576	25.892	25.986	-0.094
76	****050.015	***281.789	25.897	25.941	-0.044
77	****723.322	***522.706	16.241	16.136	0.105
78	****722.61	***528.598	16.231	16.160	0.071
79	****276.672	***832.364	30.069	30.126	-0.057
80	****277.091	***826.381	30.061	30.062	-0.001
81	****277.357	***822.37	29.995	30.071	-0.076
82	****604.566	***619.45	21.349	21.368	-0.019
83	****604.716	***625.41	21.442	21.467	-0.025
84	****611.19	***895.188	24.595	24.681	-0.086
85	****892.838	***271.576	13.768	13.855	-0.087
86	****370.353	***125.028	11.147	11.157	-0.010
87	****366.481	***129.422	11.146	11.152	-0.006
88	****408.238	***741.174	11.939	12.071	-0.132
89	****413.283	***744.408	11.929	12.083	-0.154
90	****184.151	***518.847	19.961	20.148	-0.187
91	****176.992	***519.119	19.889	20.177	-0.288
92	****649.54	***302.744	10.015	10.122	-0.107
93	****652.077	***297.549	10.030	10.228	-0.198
94	****654.675	***292.194	10.048	10.162	-0.114
95	****313.326	***728.311	9.436	9.606	-0.170
96	****304.661	***723.507	9.372	9.535	-0.163
97	****746.912	***524.912	8.523	8.629	-0.106

序号	X	Y	H	h	Δh
98	****740.957	***524.303	8.557	8.751	-0.194
99	****574.115	***573.023	9.311	9.457	-0.146
100	****866.961	***744.663	9.405	9.461	-0.056
101	****536.853	***585.733	15.613	15.686	-0.073
102	****610.534	***683.68	11.158	11.112	0.046
103	***609	***688.876	11.197	11.084	0.113
104	****603.693	***694.701	11.150	11.140	0.010
105	****597.374	***099.049	10.645	10.767	-0.122
106	****595.53	***098.318	10.680	10.730	-0.050
107	****597.429	***090.521	10.684	10.694	-0.010
108	****597.552	***084.541	10.635	10.679	-0.044
109	****611.316	***423.998	11.059	11.024	0.035
110	****606.03	***425.27	11.035	11.100	-0.065
111	****608.688	***420.716	11.015	11.151	-0.136
112	****610.739	***420.391	11.024	11.023	0.001
113	****829.503	***572.706	13.375	13.375	0.000
114	****535.661	***582.602	15.603	15.433	0.170
115	****526.634	***601.153	15.486	15.286	0.200
116	****742.997	***180.296	14.836	14.928	-0.092
117	****440.364	***988.433	44.313	44.325	-0.012
118	****681.394	***899.977	36.385	36.320	0.065
119	****678.115	***899.047	36.365	36.377	-0.012
120	****685.086	***902.004	36.329	36.329	0.000
121	****55.32	***1612.18	29.809	29.870	-0.061
122	****50.347	***1611.83	29.860	29.860	0.000
123	****32.885	***0936.58	27.686	27.569	0.117
124	****33.791	***0933.25	27.716	27.716	0.000
125	****41.54	***0911.23	32.074	32.135	-0.061

序号	X	Y	H	h	Δh
126	****41.442	***0920.35	32.357	32.283	0.074
127	****33.024	***0928.88	32.376	32.418	-0.042
128	****30.407	***0923.12	32.270	32.212	0.058
129	****26.211	***0913.69	32.208	32.149	0.059
130	****046.404	***967.578	41.402	41.767	-0.365
131	****379.991	***051.081	32.643	32.910	-0.267
132	****936.589	***532.885	27.686	27.788	-0.102
133	****933.256	***533.791	27.716	27.801	-0.085
134	****920.357	***341.442	32.357	32.348	0.009
135	****928.888	***333.024	32.376	32.394	-0.018
136	****913.691	***326.211	32.208	32.145	0.063
137	****905.729	***821.583	24.867	24.787	0.080
138	****910.579	***815.689	24.644	24.468	0.176
139	****605.082	***070.667	35.305	35.501	-0.196
140	****605.822	***074.529	35.365	35.450	-0.085
141	****611.793	***073.359	35.265	35.380	-0.115
142	****611.009	***069.371	35.254	35.338	-0.084
143	****920.73	***604.38	22.059	22.033	0.026
144	****779.541	***719.42	17.686	17.706	-0.020
145	****041.095	***226.805	25.145	25.167	-0.022
146	****043.479	***215.536	24.685	24.710	-0.025
147	****829.503	***572.706	13.375	13.375	0.000
148	****055.802	***319.373	28.753	28.784	-0.031
149	****051.93	***321.747	28.744	28.782	-0.038
150	****046.042	***328.195	28.731	28.568	0.163
151	****272.569	***166.051	30.671	30.887	-0.216
152	****269.697	***168.772	30.621	30.830	-0.209
153	****567.823	***552.718	46.094	46.094	0.000

序号	X	Y	H	h	Δh
154	****567.899	***555.293	46.036	46.094	-0.058
155	****017.154	***556.841	59.692	59.514	0.178
156	****021.791	***555.038	60.036	60.036	0.000
157	****581.849	***210.203	42.737	42.737	0.000
158	****580.777	***205.085	42.678	42.678	0.000
159	****613.502	***542.726	31.512	31.512	0.000
160	****612.197	***546.66	31.434	31.512	-0.078
161	****611.479	***548.855	31.415	31.438	-0.023
162	****609.599	***157.518	29.938	29.849	0.089
163	****612.183	***155.32	29.809	29.876	-0.067
164	****611.839	***150.347	29.860	29.775	0.085

5 结论

在项目过程中，飞马无人机完善的操作流程，减少人为出错的可能性；获取的高精度的位置信息，在保证精度的同时，可大大减少像控点数量，减少外业工作时间和工作强度，提高工作效率，减少项目成本。

因测区所在区域航飞受限，利用雷达无需光照特性，安排夜间飞行，保障了项目如期完成数据采集。

使用倾斜模型进行地形图采集，获取房屋层数、线杆位置走向、植被类型等信息，减少外业调绘工作量；模型清晰直观，符合一般人的认知，使内业人员更容易上手，减少培训成本。

在处理倾斜空三过程中，每个分区都需要添加部分检查点，在空三计算后查看检查点精度，若精度超限，立刻查找偏差原因，及时改正，避免在获取模型和正射影像后再进行精度检查，可能造成大量的时间和工作的浪费。

影像航飞高程控制一直是航测的重点也是难点，考虑到航飞效率、重叠度等因素影响，基线航高比不可能达到很大的程度，利用雷达高精度的点云数据，获取测区高精度DEM成果，在此基础上获取高程点、等高线等地貌要素，提高了工作效率；特别是植被密

集区域，传统航飞影像无法获取地面高程，利用雷达多次回波特性，获取相关区域地面点，极大提高了区域的地貌精度。

利用雷达可获取高压线上的散列点，精确量取高压线悬高数据，可完全取代人工野外实测，并且数据可复用性强，若线路变更，仍可获取周边相关数据，无需再次现场测量，既提高了数据精度、可靠性，又提高了工作效率，降低了生产成本。

本次采用倾斜航飞及雷达扫描方式完成 1:2000 地形图生产，获取了宝贵的经验，为今后的项目探索了更加高效的生产方式。让飞机多飞，让人员少跑，在增加精度的同时，减少人力的投入；让电脑多运行，让人工少参与，减少人力因素的偶发问题，为更高品质的测绘产品打下坚实的基础。