

# 禁飞区带状测区免像控航测技术研究与应用示范

作者：王国栋 马宁

单位：《哈尔滨市国土资源勘测规划院》

联系方式：马宁 15304818625 1532429730@QQ.com

## 摘要：

本项目技术的重要性体现在利用复合翼无人机免像控技术，探索出的适应空管区安全飞行要求，且囊括飞行计划制定、航线规划设计、飞行参数调整、航测精度控制、飞行时间跨度设定等多项内容的应用策略与技术方案。其创新之处在于作为黑龙江省应用免像控无人机航测技术完成部队禁飞区范围内大型线性基建项目的测绘工作，并同时满足空管带位置特殊飞行要求与带状航测区精度控制要求的研究与应用成果。

## 关键词：

带状飞行；禁飞区；数字表面模型；数字正射影像

## 1 项目概述

### 1.1 项目背景

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十九大和十九届二中、三中全会精神，坚持以人民为中心的发展思想，创新完善基层政务公开机制，全面梳理公开事项、明确公开内容、规范公开流程、完善公开方式，扎实推进农村集体土地征收基层政务公开工作。由于近年来，抢种、抢栽和抢建现象在各地征地拆迁过程中屡见不鲜，既增加了征地补偿财政支出和建设项目投资负担，也阻碍了征地拆迁工作顺利实施。因此土地征收的证据保全工作极为重要。2019年3月受哈尔滨市城投投资控股有限公司委托，我院承担了哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架（学府路一闫家岗）段航测项目。作业范围跨道里和南岗两个区，长23.8公里、宽300米，面积7.1平方公里。由于该征收范围内存在抢建、抢栽、抢种等行为，按黑龙江省哈尔滨市城投投资控股有限公司要求，对上述区域开展无人机航空摄影测量工作。作业所在区域为禁飞区域，作业难度大，作业时间受到严格控制，因此实施方案采用分区域、分段的航测作业方式，大大提高了工作效率，为完成项目提供了有力保障。

### 1.2 测区基本情况

测区地处我国东北部，是我国纬度最高、气温最低的城市，属中温带大陆性季风气候，四季分明。冬季漫长寒冷，而夏季则显得短暂凉爽。3-5月份为春季，易发生春旱和大风，气温回升快而且变化无常，升温或降温一次可达10℃左右。6-8月份为夏季，炎热湿润多雨，7月份平均气温19-20℃，最高气温达38℃。平均降水量占全年的60%-70%，由于降水集中，间有暴雨，易发生洪涝灾害。9-11月份为秋季，降

---

雨明显减少，昼夜温差变幅较大，9月份平均气温为10℃，10月份北部地区已到0℃，南部地区2-4℃。12-次年2月份为冬季，漫长而寒冷干燥，雪覆大地。1月平均气温零下15℃-零下30℃，最低气温曾达零下52.3℃。

作业区跨哈尔滨市道里区及南岗建成区。测区所在地最高海拔176m，最低海拔125m，平均海拔150米。介于东经126.21'至126°38'，北纬45°38'至45°42'之间，东依学府路，南接王岗空军大学，北靠群力新区，西邻哈尔滨太平国际机场。测区面积约为7.1平方公里，其中19公里在禁飞区内，而且测区复杂，相邻哈尔滨太平机场禁飞区，信号干扰严重。

## 1.3 成果要求

项目所需的成果数据包括：

### 1.3.1 2000 国家大地坐标系

### 1.3.2 1：500 比例尺的数字正射影像(DOM)

## 2 项目实施

### 2.1 技术路线

#### (1) 总体思路

无人机航测技术在信息技术条件的助推和支撑下，其自身的工作性能和作业优势不断优化和完善，现已成为服务于国家大型基建工程的最为重要的测绘手段之一。我院作为省内国土资源勘测的中坚力量，近年来不断提升航空摄影测量技术能力，积极引入免像控航测技术以解决我省交通困难、军事管制等域范围内作业人员进场布设像控点困难、测量工程量大等航测技术难题。在这一过程中更是注重实验研究和寻求技术突破，尤为关注我省域范围内航测精度要求较高、航测现状条件复杂、飞行干扰要素较多的难点片区，如禁飞区的航测技术方案设计和应对策略。随着承接的哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架段航测任务的正式启动，我院的免像控航测技术率先在跨度长达23.8km、宽度300m的沿线涉及的带状测区进行试点实践应用，按照“测绘成果参数选定-工作区域现状勘查-策略与方案制定-项目实施-成果检验”的工作思路，成功实现科研成果的转化和落地。

#### (2) 研究方案

本项目利用免像控无人机航测技术，以满足成果需求为目标，以现状条件分析为基础，制定工作方案，并以工作方案为操作依据，在项目实施过程中严格执行，所得成果经自检和第三方检验，证实我院团队方案设计合理、技术运用得当、成果规范专业（详见图1）。

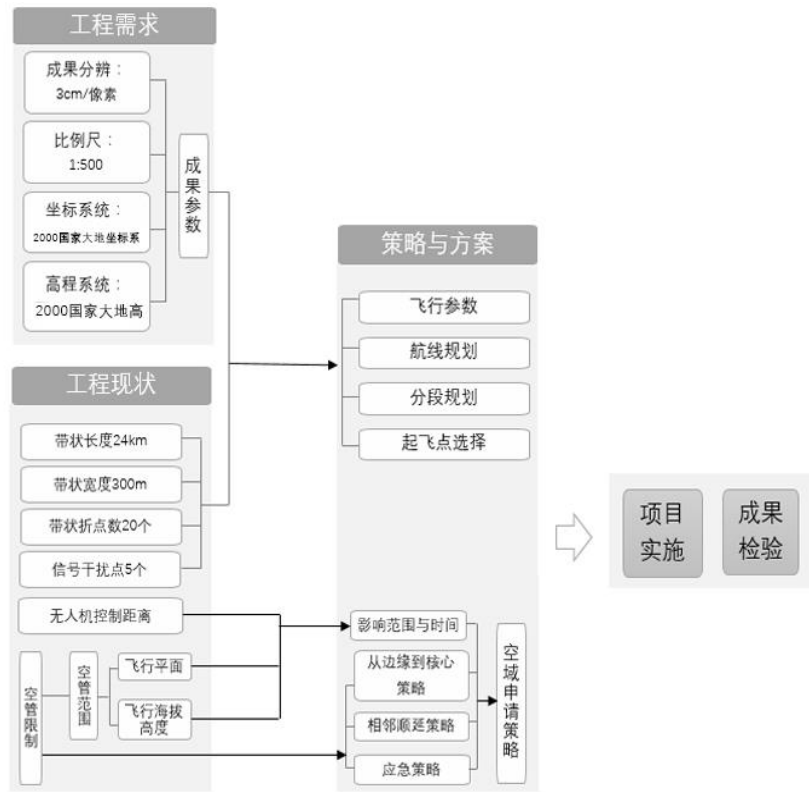


图 1 研究方案示意图

## 2.2 无人机及载荷

根据项目技术设计要求，项目组选取了飞马 V100 型无人机作为飞行平台。通过在该平台使用 V-CAM100 作为任务载荷，可以实现以下目标：

RTK 高精度实时定位，保持航线稳定性、可实现免像控作业。



图 2

### 3 研究内容

研究内容①：基于工程需求的测绘成果参数的选定。

本次禁飞区带状测区的最为重要的成果参数，即输出成果分辨率和成图比例尺分别为 3cm/像素和 1:500，工程平面坐标系统为 2000 国家大地坐标系，高程系统为 2000 国家大地高。

研究内容②：工程现状条件勘查与禁飞区限制条件解析。

本次带状测区自哈尔滨市跃兴街(学府路端口)始,呈 L 形走向,至机场路闫家岗处止,长度为 23.8km,宽度 300m 的狭长带状测区(见图 3),其中长达 19km 的区域(即航测面积的 79%)位于空军禁飞区(归属番号 93220 部队),共涉及到 3 个军用训练空域(空域半径分别为 7km、7km、7.5km);因沿线存在太平国际机场、发电站、高层住区等信号干扰点 5 处,无人机的控制距离设定为 3-4km 较为合理,结合带状测区的走向,预判本次航测所需带状折点数 20 个。受限于空军禁飞区的飞行管制需求,本次航测的飞行海拔高度为 358-409m,飞行平面即为航飞空域水平范围,其平面面积达 8km<sup>2</sup>。



图3 带状测区分布图

研究内容③：空域申请策略制定和航测方案设计。

基于前述各项工程现状勘查和航测限定条件解析，我院制定的空管区带状测区的工作计划可分为两大部分：空域申请策略的制定和航测方案的设计。空域申请策略的制定包括与禁飞区责任机构（93220 部队）协调并明确本次航测的操作时间和影响范围，在不影响空管区自身工作运行前提下，保证本次航测成果的质量和效率；采用从边缘到核心的飞行机制，即由带状测区的最远端口向 3 个军工训练空域的交汇区推进的工作方式；在实际航飞过程中，起飞点和基准站的初选和排序采用相邻顺延策略，依次完成各测区段的航飞工作；在依序推进各测区航飞任务时，飞行时段留有应急预案，针对单一测区段的空域申请，作业时间扩大到前后两个测区段的时长区间内，作为备用，以防出现应急事件。此外，同步制定具体的无人机航测方案，方案中包括飞行参数设定、航线规划设计、分区分段（12 个区块和 12 个时间段）规划实施、起飞点选取等专项设计内容。空域申请策略与航测方案设计为后续的航测项目中外业实施的顺利开展提供了全方位的技术保障并打下了坚实的工作基础。

研究内容④：航测数据获取与处理。

本次免像控航测实施环节主要包括现场踏勘、影像获取和数据处理三大主要部分（详见图 4），在实飞前进行现场探勘，选择测区内空旷且无明确遮挡物的多个节点作为起降点，采用飞马 v100 无人机并架设飞马基准站；通过飞马无人机管家专业版软件“单基站+PPK”模式连接黑龙江省 CORS 采集基准站数据；上传已设计好的航线；在无人机执行单次飞行任务后、下载机载 POS 以及机载差分数据；通过无人机管家专业版软件下载基站数据；利用飞马无人机管家软件进行数据转换和解算，获得 POS 数据；通过空三加密和点云处理，生成 DSM 和 TDOM 数据。在这一过程中航测内容涉及 7.1km<sup>2</sup> 的摄区面积、107.1km 的航线总长、24 条航线数量（见图 5）、共计航摄相片量达 2932 张。

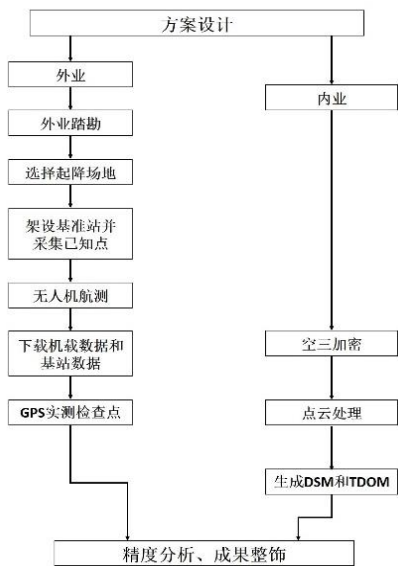


图4 航测项目实施工作流程

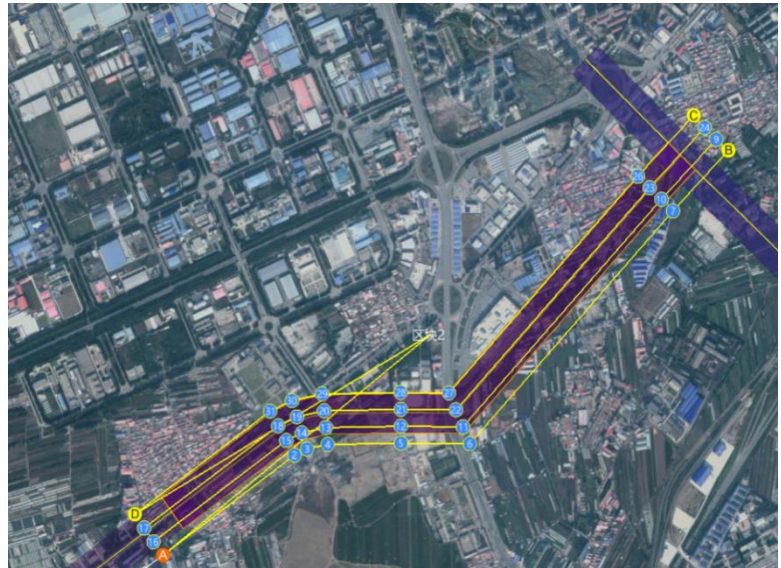


图5 测区航线设计图（局部）

研究内容⑤：成果精度分析与控制研究。

为保证数据成果的可靠性，我院专业团队在飞马无人机管家智拼图中导入测区控制点文件，完成刺点工作，并将所有控制点设置成检查点，两相对比可知实际点位与软件预测点位相差 1-2 个像素；使用“PPK+控制点”进行空三平差，输出检查点的平差报告。报告结论是平面中误差 4.3cm，高程中误差 3.6cm，满足 1: 500 航测成图规范要求。

通过以上五个关键技术步骤，最终得到哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架段免像控无人机航测成果及精度检测统计表作如下（见图 6 及表 1）。

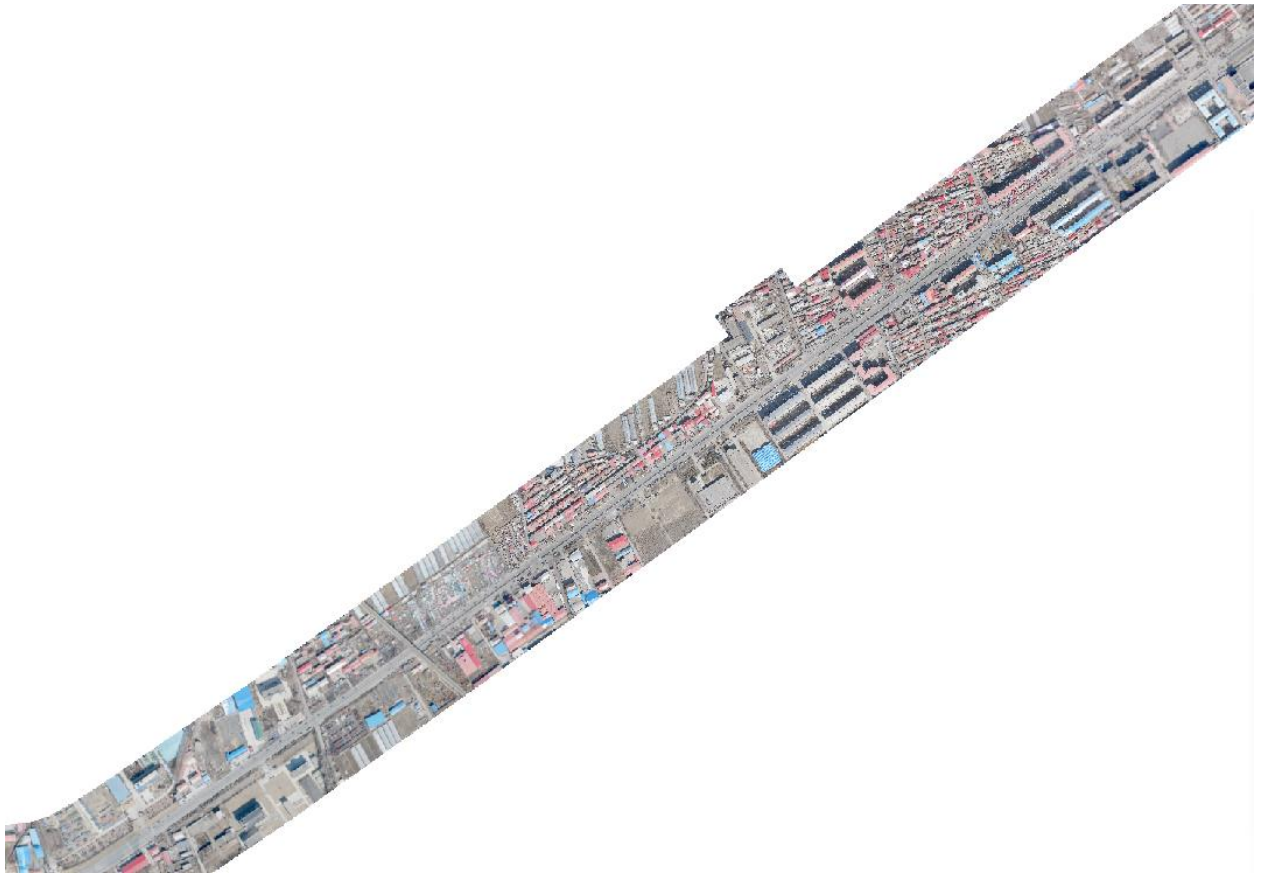


图6 哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架段免像控无人机航测成果（局部）

表 1 精度统计表

无控空三报告				
ID	TYPE	DX	DY	DZ
KZ1	CHK	-0.036	0.013	-0.027
KZ2	CHK	0.031	-0.011	0.035
KZ3	CHK	0.025	0.018	0.051
KZ4	CHK	-0.012	0.028	-0.056
KZ5	CHK	-0.022	-0.007	-0.028
KZ6	CHK	0.035	-0.031	-0.037
KZ7	CHK	-0.026	-0.033	0.012
KZ8	CHK	-0.012	-0.037	0.026
KZ9	CHK	0.050	-0.026	-0.022
KZ10	CHK	-0.06	-0.035	0.047
平面中误差		±4.3cm		
高程中误差		±3.6cm		

研究内容⑥：不同飞机精度控制研究。

2017年6月我院接到五常市安家镇土地整治项目，利用无人机对该项目进行航空摄影测量，提交成果为数字线划图（DLG），无人机型号为YS09固定翼无人油机，载荷相机为双镜头，参数如下：

相机型号:canon 5D

传感器尺寸:45×34mm

有效像素（双镜头）:4200万（5616×3744）

镜头参数:24mm定焦

航线为走廊型航线，飞行比例尺为1:500，飞行高度300米，地面分辨率3公分，飞行面积为70平方公里，控制点个数70个，检查点个数13个，像控点共83个，利用航天远景软件对所采集的照片内业处理，最终成果精度如下：

表 2 五常市安家镇土地整治项目成果精度统计



有控精度统计				
ID	TYPE	DX	DY	DZ
KZ1	CHK	0.051	-0.038	-0.040
KZ2	CHK	-0.048	0.030	-0.070
KZ3	CHK	0.036	-0.040	0.065
KZ4	CHK	-0.030	0.036	0.059
KZ5	CHK	0.040	-0.035	-0.057
KZ6	CHK	-0.030	0.040	-0.062
KZ7	CHK	0.041	-0.038	0.049
KZ8	CHK	-0.044	-0.055	-0.065
KZ9	CHK	0.040	-0.045	0.064
KZ10	CHK	-0.050	-0.035	0.061
KZ11	CHK	0.044	-0.051	-0.050
KZ12	CHK	-0.036	0.050	-0.061
KZ13	CHK	0.036	-0.033	0.065
平面中误差		±5.8cm		
高程中误差		±6.0cm		

由以上对比数据研究可知，免像控精度完全能达到有像控的精度控制，能够实现 1：500 成图要求。

## 4 关键技术

### 4.1 禁飞区航测安全应对策略技术

应对多方限制因素，制定飞行安全策略，策略对应为双向负责，即满足航测作业时间需要又最小影响正常军事飞行作业，同时策略建立可以指导航测整体飞行方案规划。策略具备科学性与可行性。

### 4.2 带状测区免像控技术

无人机可以根据测量区的地貌特征，结合带状测区狭长的特点，配备无人机基站模块，实现与数传链路共用一个电台的最简架构。基站与无人机管家之间，可通过 WIFI 连接实现管家对基站的全部功能设置和

---

操作。最终的 RTK 链路从基站通过 wifi 到无人机管家所在电脑，再通过地面电台与无人机进行通讯。从 RTK/PPK 融合解算输出“真”高精度曝光点 GPS 位置，到基于检校场畸变模型约束的最优相机模型拟合，以及基于空三附加参数的偏心距改正，最终实现无人机的无控高精度直接定向，极大减少无人机航测外业工作以及满足艰险地区数据获取等要求。

### 4.3 成果精度检测技术

利用外业 GPS 采集测区的现状地物点，之后导入到无人机管家制拼图软件，完成测点工作，并将控制点设置检查点，进行空三平差输出检查点平差报告，输出精度分析。

对大型带状禁飞区域开展无人机免像控技术测量工作，作业难度大，作业时间受到严格控制。而空域申请策略中提出的对影响范围与时间、从边缘到核心、相邻顺延、应急策略的研究，为在禁飞区内开展工作提出了新的思路。通过飞行参数的计算、航线规划、分段规划以及起飞点选择策略的提出，解决了测量范围过长导致数据精度不够的问题且大大提高了工作效率，勘测人员的工作强度和任务量也有所下降。测量所取得的成果用于上级部门对该范围内土地的征收，可为人为抢建、违建等情况的发生提供更直观有效的依据，为合理进行土地资源勘查和有序开发提供有力保障。

## 5 技术创新点

### 5.1 创造性地制定出禁飞区免像控无人机航测的技术流程

禁飞区带状测区免像控航测技术研究与应用示范，从基于工程需求的测绘成果参数的选定到工程现状条件勘查与禁飞区限制条件解析、再从空域申请策略制定和航测方案设计，到航测项目实施和成果检验形成了一整套详实完备的技术流程。此项技术流程对禁飞区责任机构意味着最节省的他方介入时间和明确的空域航飞权利授予，便于微调自身的训练计划，将所受影响范围缩减到最小；对我院乃至我省的专业航测团队来说，这是禁飞区免像控无人机航测的首次且成功地尝试，验证了我院在航测精度要求较高、航测现状条件复杂、飞行干扰要素较多的难点片区的专业技术实力。

### 5.2 高标准地解决带状测区免像控平面精度控制的技术难题

通过本次哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架段无人机航测成果的顺利交付，可知由无人机航测系统（包括 PPK 数据获取、无人机基站模块、无人机管家软件等）得到的 DSM、DOM 能够达到 1:500 数字测图的要求，验证了其在禁飞区带状测区免像控大比例尺地形图测绘中的可行性。本次航测的应用示范意味着免像控航测技术在多方条件制约之下无需封闭区域进行作业，不影响现状场地的生产和生活，仍可发挥其独特的技术优势，获取高精度高质量的影像数据。我院技术团队在免像控平面精度控制方面的技术突破必将逐渐成为我省测绘地理信息行业的航测数据获取的核心技术方法。

---

## 6 应用情况

哈尔滨市城投投资控股有限公司为了保证哈尔滨市机场第二通道迎宾路高架项目顺利有效地进行，对本单位研究成果进行了应用。哈尔滨市城投投资控股有限公司要求正射影像分辨率优于 5 公分，影像清晰，带状飞行免相控平面及高程中误差优于 $\pm 10$  公分，本单位研究的禁飞区带状免像控技术完全达到了哈尔滨市城投投资控股有限公司的要求，没有本次研究技术每天每组只能测量 2 公里，应用研究技术后，内业处理每人每天就可以完成 5 公里的矢量化工作，仅有少量的外业调绘工作。本次应用研究不仅为哈尔滨市第二通道高架桥项目提供了征地影像证据，同时为快速完成土地征收起到了至关重要的作用。

## 7 总结展望

项目的顺利实施再次体现了飞马 V100 型无人机在实景三维生产中的巨大优势。改型设备所具备的操作性简便、飞行稳定、定位精准、数据获取效率高等特性可以满足各类高精度地理信息数据产品的生产需要。

通过多个实景三维项目的实施，我院也得出了如下经验和期望：

本次项目作为黑龙江省应用免像控无人机航测技术完成空军飞行管制区范围内大型带状项目的测绘工作。其难点之一在于飞行区域为空中管制区域，需与空军进行协调，同时在固定时间内完成全部航测任务。另一难点在于该项目为带状区域，为节约时间，减少外业控制点的联测的工作量，采用 RTK+PPK 高精度 GPS 的附加参数无控定向算法，与国内差分无人机相比，精度更高，数据处理更便捷，实现无控直接成图，大大缩短了工作时间，具有突出的时效性。

现今，无人机倾斜摄影技术已被广泛运用于城市三维建模，就连土地利用也开始从粗放型转变为集约型。在今后无人机技术的发展中，倾斜摄影测量技术也将广泛应用到土地征收证据保全的工作中。倾斜摄影获得三维数据可以真实地反映地物的本来面貌，客观地再现了地物，地貌的外观、结构以及高程，为土地征收提供更加有力的保障与支撑。