

航测技术在高速公路勘测中的应用与实施 ——以二广高速为例

喻 雄^{1,2}, 邱赞富²

(1 东华理工大学, 江西 抚州 344000; 2 广东省公路勘察规划设计院有限公司, 广东 广州 510507)

摘要:以二连浩特至广州高速公路(粤境段)为例,着重介绍了航测技术在高速公路勘测中的工作流程与相关技术的运用,对其在高速公路勘测中的应用现状与发展前景进行了总结与展望。

关键词:高速公路勘测;航测内、外业;DEM 技术;实施

中图分类号: TP79 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-5867(2008)06-0161-04

Application and Implementation of Aerial Photography in Highway Surveying

YU Xiong^{1,2}, QIU Zan-fu²

(1 East China University of Science and Technology, Fuzhou 344000, China

2 Guangdong Highway Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510507, China)

Abstract Based on the Highway Surveying of E Lianhaote to Guangzhou (in Guangdong), this paper introduced the principle and workflow of technical design and implementation of aerial photography in Highway Surveying. Finally, it put forward the present situation and foreground application in Highway Surveying.

Key words Highway Surveying; office and field work of aerial photography; DEM technology; implementation

0 引言

随着我国国民经济的飞速发展,经过近 20 年的建设,国家高速公路网络逐步完善,高速公路工程建设不断延伸,现在已经进入山区,目前由于山区高速公路的地形、地质、水文、气候等条件极为复杂,基础资料相对缺乏,造价高,设计周期长,高速公路路线选线技术难度大,为了提高公路测设水平,加快测设速度,保证测设质量,采用航测、数字地面模型等先进技术,加强对基础资料的勘测,运用计算机技术将其数字化、信息化,对高速公路规划和建设的各方面进行全面提升。为适应高速公路交通形势大环境和小环境的发展变化,在实际工作中加大和深化新技术的应用具有现实可行性及必要性。

1 技术可行性

随着科学技术的发展、AutoCAD 系统的不断完善和高速公路勘测技术的深入应用,使得高速公路勘测涉及

的工程测量、遥感、地质、物探、钻探、测试和试验等技术不断更新换代,其工作方法、技术标准、产品内容以及生产管理模式等发生了较大的变化,特别是内、外业资料的采集数字化、计算机技术以及地理信息系统的应用,使高速公路勘测设计进入了一个全新的阶段,形成了“一体化、智能化”的应用模式,在高速公路勘测技术中大规模使用航测数字化测图技术,具有技术上的可行性。本文以二广高速为例,加以介绍。

2 航测工艺流程

如图 1 所示。

航测外业技术工作主要包括:航空摄影、控制测量、像片控制点联测、像片调绘。

本次航空摄影采用航摄相机型号为 RC1Q 航摄飞机为运-5 航摄影片为 Kodak2402 摄影比例尺一般为 1:8 000 飞行高度约 1 200 m,航线重叠度平均为 60%,旁向重叠度平均为 30%,像幅为 23 cm × 23 cm。控制测量、像片联测全面

收稿日期:2008-08-20

作者简介:喻雄(1966-),男,湖南安化人,高级工程师,硕士,主要研究方向:高速公路工程测量及 GPS 技术应用,全野外数字化成图。

采用 GPS 测量, 像片调绘采用简化调绘技术。

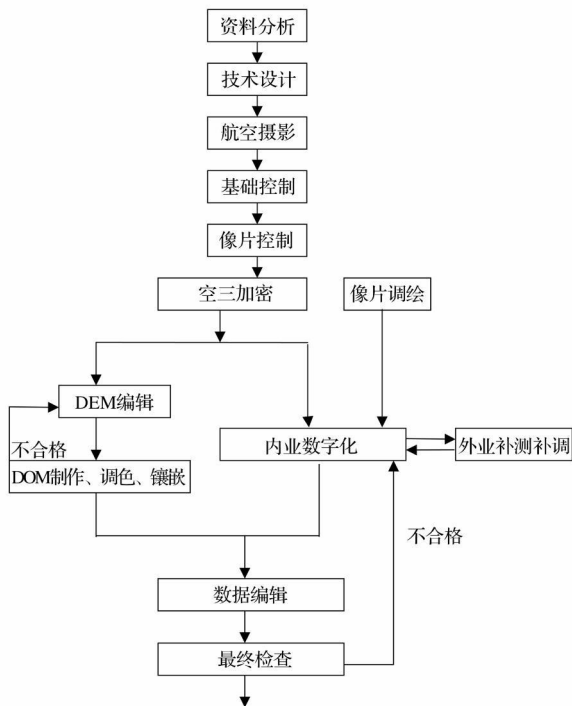


图 1 航测工艺流程图

Fig 1 The technical flow chart of aerial photography

3 航测外业实施

1) 四等 GPS 控制网沿设计线位的走向每隔 2.5 km 布设一对相互通视的点, 点间距在 500~800 m 之间, 与路中线的横向距离为 200~300 m, GPS 标石采用现场浇筑的方式, 便于长期保存, 共完成四等 GPS 点 66 个, 并在现场绘制点之记, 填写简要说明。

2) 像控点采用航带网模式布设, 基线跨度 ≤ 4 条, 方案符合规范及设计要求, 除个别点外 (为相邻航带公用点), 均按标准点位布设。像片整饰均符合设计要求。像控点的平高测量全部采用 GPS 联测方法进行。使用 8 台 GPS 同步观测 40 min, 构成若干个同步环、异步环, 共联测均匀分布的平面已知点 11 个、高程已知点 14 个, 互做检核。共完成像控点 123 个。

3) 像片调绘采用全野外调绘法, 采用放大至 1:4 000 调绘片调绘。调绘范围为初拟中线两侧各 400 m 范围, 互通立交范围按投标线位的 1:10 000 平线位图中立交位置的范围。外业调绘人员沿线位全线走通, 对重要水渠 (特别是山脚的水沟)、地物等的地形、地貌特别注意。调绘密林地区的平均树高时, 在平均树高有变化的地方分别量注。调绘片实地严密接好, 并由第二人检查、签名。拼接后的地物、地貌没有改变其真实形状及相关位置; 跨越两个调绘片的线状地物和面状地物, 如河流、道路、大的居民区、植被、土质等其名称、等级、登记一致。

调绘采用室内判读、野外调查的方法。对影像清晰的地物, 外业以定性调绘为主。影像模糊或被阴影遮盖

的重要地物在调绘片上进行补调, 补调方法采用以明显地物点为起始点的交会法, 补调的地物在调绘片上表明与明显地物点的相关距离。房屋被树木等遮盖, 只能看到房屋的一个或两个角的, 外业要量取足够的尺寸, 供内业编辑。

4 航测内业处理

航测内业技术工作主要包括: 空中三角测量、数据采集、图形编辑。

1) 空中三角测量: 本测区采用 Virtuzo 全数字自动空三加密量测系统 (AATM) 采集像点坐标数据, 且用 PAT-B 光束法平差程序解算坐标及高程。严格依据现行规范及设计书作业, 各项技术指标符合设计书要求。

定向点残差、多余控制点 (检查点) 不符值与公共点限差满足设计书要求。

相对定向上下视差不大于 10 μ , 最大 15 μ 。但每个像对不少于 50 个点。

2) 数据采集采用 JX4 和 Virtuzo 等全数字摄影测量工作站进行立体数字测图。

相对定向中, 平原、微丘 < 0.005 mm; 重丘、山岭 < 0.008 mm。绝对定向后, 平面坐标误差: 平原、微丘 < 0.2 mm; 最大 < 0.3 mm。重丘、山岭 < 0.3 mm; 最大 < 0.4 mm。平原、微丘区全野外布点高程定向误差均在 0.25 m 以下, 其余未超过加密点高程中误差的 0.75 倍。航测成图严格按照《高速公路摄影测量规范》(JTJ065-97) 行业标准执行。

数据采集: 本工序利用全数字测图仪进行数据采集。作业人员在作业前将仪器严格检校, 做好记录, 使仪器保持良好状态, 作业中严格按操作规程作业。

输入参数: 主要是像片号、基线、焦距、框标数据、图廓点坐标、定向点数据、模型号等软件所需要的各种参数。

用改正后的焦距测绘, 内定向时测标严格对准框标, 框标坐标量测误差不得大于 0.02 mm。

相对定向各点的残余上下视差一般为 0.01 mm, 最大不得大于 0.015 mm。

定向符合要求后, 将地形图内容按照全数字测图仪各相应功能模块进行 3 维数据采集。

本次测区属山地、高山地混合型, 测区内上库区交通不方便, 竹林丛生, 植被繁茂, 由于天然地理条件所限, 采用航测内业成图, 现场采集植被高度数据。在内业测图时, 先尽可能在露出地表的地方测高程点, 然后在整片都有厚植被覆盖的地方减去现场采集来的植被高度, 以此来获取地表的正确高程。把实测点放到模型上, 检测模型精度。在外业可以测点的地方, 采集高程点, 尽可能均匀分布整个测区, 但实际上往往有些特殊困难地方达不到要求, 这时就需要上模型来获取这些地方的空间数据。内业成图完成后, 实地校测。通过比对 JX-4C 航测内业成图与传统全野外数字化测图, 发现前者的地理形状更贴近真实, 它能够把陡崖、陡峭的河边等野外人工到达不了的地方以及山梁、山沟的形状如实地表现出来, 弥补了

全野外数字化测图实测点测不到位、数量不能覆盖测区每个点的缺点。

外业已进行全野外调绘,采集数据时,参照调绘片在仪器上认真地辨认测绘。原则是外业定性、内业定位,当外业调绘确有错误,内业根据立体模型影像改正,并在调绘片背后加以说明。

3)图形编辑

图形编辑前检查上一道工序提供的信息是否齐全。作好准备工作后,利用编图工作站软件,在计算机上对照调绘片,按图式规格编辑成数字地形图。

图幅编号采用前进方向由右向左统一顺序编号,图内的符号、数字、注记,一律朝北;内图廓间公里格网数字头朝高速公路数增加方向。

对等高线、高程注记点,进行 3 维编辑,不损失其高程信息。

作业员编辑完后,上机自查自校,室检查员进行过程检查,在此基础上回放出纸图进行室、院两级检查,图形文件采用 DWG 格式提供成果。

5 精度分析

5.1 平面起算点相容性分析

本次收集的 5 个平面起算点为国家 C 级网 GPS 成果,相容性检查误差值在 0.001~0.199 m 之间,最弱边长相对精度为 1/61 926 分析表明此次所联测的 5 个国家 C 级点是相容的,可作为本次测区起算成果。

5.2 四等 GPS 测量作业方法及平差过程

四等 GPS 测量采用静态模式进行,共观测四等点 66 个,联测国家 C 级点 5 个。观测采用 8 台接收机同步观测,大地四边形连接。同步观测时间均超过 60 min,卫星高度角 $\geq 15^\circ$,经计算,同步环最大闭合差为 6.0 μm ,环中点为 EG17 EG16 EG15,异步环最大闭合差为 9.5 μm ,环中点为 EG57 EG56 EG55(如表 1 所示),精度优于《高速公路勘测规范》限差。

四等 GPS 边长经全站仪实地检测 10 条边,精度较好。边长检测精度在 1/40 726~1/541 333 之间。

高程控制采用常规水准测量,在此不另行分析。

3)像控点测量采用 GPS 技术测量平面及高程,像控

点平差计算采用整网平差方式,软件采用南方 GPS 平差软件,WGS-84 坐标系下 3 维约束平差,1980 西安坐标系下 2 维约束平差。

表 1 四等 GPS 控制网主要精度统计

Tab 1 The main accuracy statistics of fourth order GPS control network

项目	点位中误差 (mm)	比例误差 (μm)	边长相对精度
最大	7.054 (EG01)	4.5	1:61 926 (EG07-EGS08)
最小	2.791 (EG15)	0.1	1:4 151 616 (EG48-EG53)
平均	4.0	0.8	1:280 000
规范限差	50.0	10	1:40 000

同步环最大闭合差 μm	6.0	环中点为 EG17 - EG16-EG15
异步环最大闭合差 μm	9.5	环中点为 EG57 - EG56-EG55

表 2 主要精度指标

Tab 2 The main accuracy indexes

项目	平均点位中误差 (mm)	同、异步环比例误差 (μm)	边长相对精度
最大	22.867	13.8	1:22 146
最小	0	0.1	1:1 129 268
平均	7.0	1.2	1:100 000
规范限差	50.0	20	1:20 000

像控点高程测量内符合精度 ± 6.3 cm,优于规范要求的 ± 20 cm,检查点最大差值:11.4 cm,最小差值 0.6 cm,各项技术指标均符合规范规定限差,平差后成果符合《规范》要求,检核点较差符合限差要求,成果可作为测图作业的依据。

4)地物点检查精度统计分析:经实地采集数据,分成多个检测段,检查地形图地物点 570 个,精度统计分析(如表 3 所示)。

表 3 精度统计分析表

Fig 3 The accuracy statistics

高程差值 /cm	$0 < x \leq 0.67$	$0.67 < x \leq 1$	$1 < x \leq 1.33$	$1.33 < x \leq 2$	$2 < x \leq 4$	> 4
总数 (570)	279	106	36	62	73	14
百分比%	48.9	18.6	6.3	10.8	12.8	2.5

经分析误差在 4 cm 以上的点多数位于树丛中和立体阴影处。以上数据表明,97.5% 的误差在 2 倍中误差以内,大于 95%,大于 2 倍中误差的数据为 2.5%,小于 5%,数据服从正态分布,检测数据可信,并且满足规范要求。

5)利用航测技术提供 3 维数字化地形图,将 DEM 数

据映射到 3 维立体模型上检查并修改,最终得到 DEM 数据,与数字地面模型技术相结合,可自动高速地为路线设计提供设计所需的地形、地貌、地物等各种原始数据,能较大程度地取代人工内、外业测量工作,便于进行路线多方案比选和路线优化设计。

6 结束语

1) 航测技术对各个环节要求较高,需精心设计,仔细运作。要特别注意技术设计书的设计与编制,严格按照规范进行作业。根据勘查设计的要求以及测区踏勘的具体情况,制订满足要求的技术方案;对参与人员进行针对性的技术培训,如掌握公路测量技术特点,在工作开展前做好技术交底与有关规范的宣讲落实,在作业生产过程中进行技术指导,对生产过程中出现的技术问题及时解决,对使用的仪器进行检校和观测参数的设置与检查,对生产过程中的资料数据及时进行处理,提出是否返测的意见,便于及时安排生产。

2) 航空摄影质量的好坏,关系着后续工作的进度与质量;目前,航空摄影工作受气象、空中管制、地形条件等因素的影响较大,经常成为各个项目开展后续工作的瓶颈,因此,在相机类型、摄影时间、航摄范围、比例尺、航带设计以及机组人员的配备或委托等方面要做好统筹规划,要多方案准备。

3) 像片调绘,要做好调绘像片和器材的准备,选好调绘路线,提高野外调绘的效率。先在室内进行像片判读,对能确定性质的地物、地貌在像片上进行草绘,以便于现场的调查、修正、补充,作业完成后,要认真自校,接边时如发现问题,要及时纠正。

4) 根据建立数模的要求,对全野外采集的实测点与航测数模采样点之间的高程进行大量细致的精度分析,路线初步设计在 1:2 000 大比例尺地形图上由 DEM 读取

数据,由航测数据直接形成的数模内插产生的地面线,便于进行多方案比选和路线平、纵优化设计,在初步设计阶段,这对设计质量的提升至关重要,而航测数模技术可用于路线初步设计,这已经是国内外同行的共识,本次测量的结果充分地证明了这一点,但在施工图设计时的运用,能否符合精度要求,尚需进一步研究。

5) 航测数字化成图技术(还有新的机载激光扫描技术)作为测量工作中现有的采集原始数据最高效的手段,在路线设计自动化系统中起着愈来愈重要的作用。航测数模技术与路线 CAD 系统相结合,将形成数据采集与处理、路线设计与计算,各种设计图表输出等一整套路线自动设计系统,这必将是路线设计向 3 维可视化发展的方向。

参考文献:

- [1] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002
- [2] 王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1979
- [3] JTJ061-99公路勘测规范[S]// 中华人民共和国行业标准. 北京: 人民交通出版社, 1999
- [4] 宁津生,陈俊勇,李德仁,等. 测绘学概论[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004
- [5] 魏二虎,黄劲松. GPS测绘[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003

[责任编辑: 栾丽杰]

(上接第 157 页)

3 结束语

月球地图投影是月球地图数学基础建立的主要内容,各种比例尺的月球地图又是人类在月球上进行工程建设的基本要求,也是月球测绘技术的基础性和前瞻性工作,直接影响到未来月球空间信息与专题信息的处理、共享、表达与应用。本文提出了适应月球全球、月球区域、月球大中比例尺的多层次系列月球地图投影,构成了月球投影系统的基本框架。月球投影的选择与设计是十分复杂的系统工程,上述投影的确定仅是初步方案,需要广泛论证和在实践中进一步完善。

月球探测是人类走出地球摇篮、迈向浩瀚宇宙的第一步。测绘科学与技术贯穿于月球探测的全部过程,随着研究范围从地球表面及近地空间延伸到月球甚至其他行星和星际空间,月球测绘必将突破若干前沿技术,推动

测绘科学的深入发展。

参考文献:

- [1] 吴忠性,杨启和. 数学制图学原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1989
- [2] 陈俊勇. 月球航天探测和月球测绘[J]. 河南理工大学学报, 2005, 24(4): 249-254
- [3] 陈俊勇. 月球地形测绘和月球大地测量[J]. 测绘科学, 2004, 29(2): 1-5
- [4] 孔祥元,张松林,魏二虎,等. “嫦娥”工程与月球测绘学[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(1): 117-120
- [5] 燕琴,高武俊,刘锋. 月球探测中的测绘技术[J]. 测绘科学, 2004, 29(4): 61-62
- [6] 陈琼,郑勇,苏牡丹,等. 月球地图投影理论和方法研究[J]. 测绘通报, 2006(4): 26-30

[责任编辑: 王丽欣]

(上接第 160 页)

- [3] 胡华科,郑春燕,杨强,等. 特殊情况下悬高测量方法的再探讨[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2005, 21(1): 30-33
- [4] 郭宗河. 悬高测量及其改进[J]. 测绘工程, 1999, 8(2): 62-64

- [5] 徐汉涛. 精确悬高测量方法的探讨[J]. 测绘通报, 2004, (6): 65-66
- [6] 合肥工业大学, 重庆建筑工程学院, 天津大学, 等. 测量学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000

[责任编辑: 姚艳霞]