

厦成高速公路郴州至宁远段控制测量的分析与评价

李云星

(湖南省第一测绘院, 湖南 衡阳 421008)

[摘要] 本文结合厦成高速公路郴州至宁远第二合同段实际情况和公路测量的特定要求, 详细阐述了该标段控制测量的技术路线与设计方案, 控制测量成果的精度不仅满足了相应规范的要求, 也符合实际工程的需要, 表明该技术方案是可行的, 可供相关公路测量工作参考。

[关键词] 控制测量; 控制网; 精度

[中图分类号] P258 [文献标识码] B [文章编号] 1001-8379 (2008) 01-0034-04

Analysis and Evaluation on Control Survey of Chenzhou to the Ningyuan Section of Xia Cheng Highway

LI Yun-xing

(The First Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Hengyang 421008, China)

Abstract: This article elaborated this sign section control survey technology and the design plan in detail according to the actual situation and the highway surveying specific request of Chenzhou to the Ningyuan second contract section of Xia Cheng highway. The control survey achievement precision has not only satisfied the corresponding standard request, also conformed to the actual project need. It indicated this technical design plan was feasible, and the plan may be supplied as reference. to the correlation highway surveying work.

Key words: Control survey; Control net; Precision

1 引言

厦门至成都高速公路(下称“厦成高速”)是国家高速公路网规划的重点工程之一。2006年8月至12月期间,湖南省第一测绘院受有关公路勘察设计部门的委托,承担了厦成高速郴州至宁远第二合同段的1:2000带状地形图航空摄影测量项目。在项目实施过程中,基础控制和像片控制是整个测绘项目的关键和重点。控制测量的设计方案、技术路线直接影响着下一步公路勘察设计与施工的质量,在

此回顾控制测量实施的有关情况,对控制测量的成果作出客观的评价。

2 工程概况

2.1 地理位置

厦成高速郴州至宁远第二合同段(下称“第二合同段”)位于东经 $112^{\circ}05' \sim 112^{\circ}35'$ 、北纬 $25^{\circ}27' \sim 25^{\circ}37'$ 之间。线路呈东西走向,全长约60 km。如图1:



图1 第二合同段在湖南省高速公路网中的位置

2.2 地形地貌

项目区域地处湘南中低山、丘陵区。相对高差一般在 150~320m 之间,向西地势起伏逐渐减小,终点路段相对高差一般在 20~60m 之间。路线区地貌单元属残丘洼地、河流阶地及低山地貌,冲沟纵横,大部分山坡陡峭,形成陡坎,沟谷切深一般为 20~40m,沟谷底宽度多数大于 10~20m,地形坡度一般为 30~50°,山顶多呈条带状、少量呈椭圆状。区域内地形条件较复杂,地表人工建筑物、构筑物多而密集,山坡植被十分发育,林木茂盛、灌木、杂草丛生,多高秆农作物分布。因此,测绘难度很大,控制测量的视线普遍受到限制,几何水准测量施测也相当困难。

2.3 控制网概况

按照《公路勘测规范》(下称“规范”)的要求和项目的实际情况需要,基础控制网共施测了 42 个公路三级 GPS 点,162 个一级导线点,四等水准精度的高程网路线长约 260km,控制包含多条比较线在内的设计线路约 140km;像片控制网共布设像片控制点 107 个,控制每条设计线路 500m 宽范围的主要测图区域约 70km²。

3 有关技术路线与设计方案的分析

控制测量是测绘工作的关键工序。第二合同段控制测量实施除了严格按照国家、行业各相关规范、规程进行设计和操作外,还结合项目的实际,制定了一些相关的重要技术方案。

3.1 平面坐标系统与高程系统的选取

湖南省南部地区,特别是郴州、永州地区的原有国家四等以上的大地点破坏严重。测量工作开始时,已经收集到的大地点的资料情况十分不乐观,点的数量少,分布不均匀,有的离测量区域甚远,有的相互精度不匹配,有的是破坏后修复的点位,其资料、精度情况也不详。近年来,在该区域内施测的国家 GPS C 级以上骨干控制网点尚无成果。因此,平面坐标要采用 1980 西安坐标系,难以做到。

第二合同段处于 3 度带第 38 分带中央子午线之西侧边缘。因分带引起的长度变形平均达 33cm/km (最大达 46cm/km);同时,测量区域整体海拔高度对施工测量的边长影响较显著,约在 3.0~6.3cm/km 之间,显然,该测量区域内投影长度变形不符合规范中规定的“投影长度变形值不应大于 2.5cm/km”的要求。为此,须选取合适的平面坐标系统和适中的高程抵偿面。

基于上述原因,平面坐标系统采用 1954 北京坐标系,按任意分带选取东经 112° 20′ 经线作为高斯

正形投影的中央子午线;同时,兼顾测量区域整体海拔高度倾向,选取海拔 270m 作为该区域之参考海拔高度,并将该高程面作为本测量区域的抵偿高程面。通过计算可知:在该坐标系统中,因分带引起的长度变形值不超过 1.2cm/km;因海拔高度引起的长度变形值不超过 2.0cm/km,两者共同作用的结果不超过 2.0cm/km,满足规范的要求。

3.2 基础控制的技术路线

由于受测量区域控制起算点(大地点、水准点)的局限和地形条件的限制,通过对多种测量方案的分析、比较,最终确定采用下列方案:

基础控制分两个等级,即公路三级 GPS 控制和一级导线控制。保证在离设计线路中线 50~300m 范围内,每 5km 有一对相互通视的三级 GPS 控制点,平均不超过 500m 有一对两两通视的一级导线点。公路三级 GPS 点全线组成一个整体网,采用可靠的 GPS 平差软件计算,确保全线整体控制框架精度的均衡。一级导线点局部联网或按单一导线形式布设,采用 2″ 级全站仪观测,数据处理采用严密平差。根据有关资料研究成果表明,测距边在 1km 以内,三角高程测定高差的中误差可小于 ±10mm,能达到四等水准测量的精度。所以,控制点高程采用四等水准和可替代四等水准的电磁波测距高程导线方法联测,选点时须控制相邻点间的距离不超过 1km,组成一个可整网平差的高程控制网,进行严密平差,保证全线基础控制点的高程精度能达到四等水准的精度。采用这种高程联测方法,避免了因测量区域三等以上水准高程起算点少、分布不均和山地施测几何水准困难的影响,工作量也与平面、高程分离测量的方案(如利用导线或 GPS 测平面坐标,再加设一些四等水准点点位,全线联测一定数量的四等水准点)相当,在测量精度和工作效率方面都能得到保证。

由于基础控制相邻点之间的距离比较远,给角度测量带来一定的困难,也会影响导线测量和电磁波测距高程的观测精度。为此,考虑到要增加角度测量的测回数来提高角度测量的精度,水平角增加 1 测回,垂直角对向各增加 1 测回。

3.3 像片控制的技术路线

对线路区域航摄像片资料进行分析,航摄像片比例尺平均在 1:8000 左右,航向重叠度满足要求,影像清晰,每条航线都是连续飞行,没有航线内的漏洞。因此,按照《公路航空摄影测量规范》(下称“摄影测量规范”)的有关规定和实际情况,像控点的布设采用单航线六点法,每隔 3 条基线布设一对像控点,个别地形复杂、山高林密、确实无法选择刺点目标的地方,采用了 3~4 条基线布设一对像控

点，像控点的点位符合摄影测量规范要求。

所有像控点均按平高点要求施测，6 条航线共布设像控点 107 个。所有像控点刺点工作均须在现场进行，并由第二人检查。像控点联测采用 GPS 测量，所有点整体联网平差，并测足够数量的平面起算点、四等水准及其以上精度的已知高程点，高程拟合时按平面拟合法解算像控点的拟合高程。

4 控制网的精度与评价

4.1 公路三级 GPS 控制网

公路三级 GPS 控制网共施测 42 个公路三级 GPS 控制点，联测平面起算点 5 个，过渡点 5 个，共计 52 个站点。在联测的 5 个国家大地点（其中二等点 2 个、三等点 3 个）中，经起算点兼容性检查，发现 2CSL（菜死岭）、3ZGL（斋公岭）不匹配，而 3GSCL（高狮财岭）、3XYL（小于岭）、2MSC（毛石砵）三个点相互兼容且匹配精度较好。因此，只利用 3 个兼容匹配的国家大地点作为公路三级 GPS 控制网平面起算点。

所有测站同步观测时间均大于 60 分钟，所有采

用基线均为双差整周固定解。经过复测基线检测、同步环检测、异步环检测，所有误差均在限差之内。在平差过程中，严格对基线同步环、异步环闭合差检查，剔除粗差，保证基线的质量。其精度统计如表 1。

在完成环线闭合差检查的基础上，进行三维无约束平差，确认 GPS 网中基线是否存在粗差及网的内部精度的可靠性，GPS 网的内部精度较好。其精度统计如表 2。

在完成上述检核的基础上，进行二维约束平差，本网的外部精度较好。精度统计如表 3。

可见，可以公路三级 GPS 网测量的精度比较高，满足规范的要求。

4.2 一级导线（网）

利用公路三级 GPS 点作为起算点，共布设一级导线（网）17 条共 162 点，导线（网）设计合理。导线边长经过斜距改平、高斯投影改化和高程归化（归化高程面 Hm 为 270m）。导线（网）采用严密平差，平差精度良好，精度统计如表 4。

表 1 环线闭合差检查精度统计

	同步环闭合差 ppm	异步环闭合差 ppm
	最大值	15.8
允许值	15.0	22.5

表 2 三维无约束平差精度统计

三维基线残差最大值			绝对误差 最大值 cm	最大相对误差		最弱点位中 误差 cm
X cm	Y cm	Z cm				
2.5	3.4	5.4	2.5	1/45535		±2.9
				BG06-BG07	615.4705m	

表 3 二维约束平差精度统计

二维基线残差最大值		绝对误差 最大值 cm	最大相对误差		最大点位 中误差 cm
X cm	Y cm				
1.9	1.8	2.2	1/46864		±3.58
			BG06-BG07	615.4705 m	

表 4 导线（网）相关精度指标

相关精度指标	测角 中误差 "	最弱点位 中误差 cm	方位角 闭合差 "	方位角 限差 "	距离相对 闭合差
区间	±(2.6~4.9)	±(1.3~5.4)	0~±19	±(24~44)	1/314080~1/23341
最大值	±4.9	±5.4	-19	--	1/23341

4.3 高程控制网

高程控制网采用四等几何水准和替代四等水准

的电磁波测距高程导线测量。利用 7 个Ⅲ等水准点（Ⅲ新蓝 17；Ⅲu551、Ⅲu512、Ⅲu519；Ⅲ车桂 01、

02、03), 作为高程控制网的起算点, 联测了 202 个未知点 (含公路三级 GPS 控制点和一级导线点), 共 227 个测段, 其中水准测段 43 个, 高程导线测段 184 个, 高程网路线全长约 260 km。

高程控制网由 25 个环线构成, 起算点分布均匀。水准路线和高程导线之间构成较多的环线, 保证了成果精度的可靠性。高程网采用平差, 成果精度良好, 每公里全中误差 $M_w = \pm 0.0047\text{m}$, 最大环线高程闭合差 0.030m (允许 $\pm 0.063\text{m}$)。

4.4 像片控制网

像片控制采用 GPS 联测。利用 10 个公路三级 GPS 点作为平面起算点和有四等水准精度点的高程作为起算高程(包括 10 个公路三级 GPS 平面起算点在内, 共 17 个高程起算数据), 全网共 124 个站点, 起算点精度较好且相互兼容。

像控 GPS 网图形强度好, 每个时段观测时间均大于 30 分钟, 且时刻至少有 4 颗分布均匀的有效观测卫星。基线预处理、GPS 网平差精度较高。有关精度统计如表 5、表 6。

表 5 三维无约束平差精度统计

三维基线残差最大值			绝对误差 最大值 cm	最大相对误差	最弱点位 中误差 cm
X cm	Y cm	Z cm			
2.78	5.60	12.89	6.90	1/30931	± 2.77

表 6 二维约束平差精度统计

二维基线残差最大值		绝对误差 最大值 cm	最大相对误差	最大点位 中误差 cm
X cm	Y cm			
1.63	1.02	1.92	1/35093	± 1.63

像控 GPS 网高程拟合采用平面拟合法, 高程拟合中误差小于 $\pm 0.05\text{m}$ 。

可见, 像控 GPS 网数据采集可靠, 基线预处理、内部精度及外部精度都较好, 成果可靠。

4.5 联测相关高速公路基础控制点的成果比较

为检查本合同段基础控制的精度, 并与相关联

的其他单位施测的基础控制点建立联系, 需采用等精度观测的办法联测一定数量相邻标段的基础控制点。测量过程中, 共联测了其他单位施测的基础控制点 4 个, 采用 1954 北京坐标系 ($L_0 = 112^\circ 20'$)、抵偿高程面为 270m、1985 国家高程基准的测量结果进行比较。如表 7。

表 7 本合同段基础控制与相邻标段基础控制点的对接比较

联测点数	ΔX 坐标 m	ΔY 坐标 m	点位位移 ΔS m	ΔH 高程 m
4	0.042	0.043	0.053	0.025

可见, 第二合同段的基础控制与相邻标段基础控制点的对接精度好, 也进一步验证第二合同段基础控制技术路线的可行性和测量精度的可靠性。

5 结语

第二合同段控制测量结合测量区域的特点, 按事先分析和确定的技术路线, 采取相应的技术措施, 充分将现代测绘技术和装备应用于公路测量的实践, 整个控制测量的工作比较严谨, 控制测量的精度不仅满足相应规范的要求, 也符合实际工程的需要, 其因地制宜的设计思路对相关公路测量的实际工作有一定的参考作用。

参考文献

[1] JTJ061-99, 公路勘测规范[S].

[2] CJJ 8-99, 城市测量规范[S].
[3] 董鸿闻. 地理空间定位基准及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2004.
[4] JTJ065-97, 公路摄影测量规范[S].
[5] JTJ/T066-98, 公路全球定位系统(GPS)测量规范[S].
[6] GB12898-91, 国家三、四等水准测量规范[S].

[收稿日期] 2007-09-10
[作者简介] 李云星, 男, 工程师, 从事测绘生产技术与管理工作。