

# 线性工程加密控制网布设方法

孙培芪

(中交一航局第一工程有限公司)

**摘要:** 线性工程具有施工范围广, 施工总体难度大以及自然环境与社会环境复杂等特点, 施工精度难以得到有效控制。为此采用布设加密控制网的方法, 对线性工程进行整体精度把控。依托雄安新区至北京大兴国际机场快线二标段工程指挥部一分部施工项目, 通过选点、布设、网型构建、GPS 静态测量、二等水准测量以及数据处理等步骤, 对布设加密控制网的技术方法进行研究, 获得针对该施工线路的加密控制网。经平差计算及应用结果表明, 加密控制网满足施工精度要求, 可为线性工程整体施工提供精度控制保障。

**关键词:** 线性工程; 控制网; 静态观测; 水准测量; 平差

## 1 工程概况

雄安新区至北京大兴国际机场快线二标段工程指挥部一分部从西向东依次途经雄安新区容城县和雄县。起讫里程为 K81+772.279—K89+890.390, 线路全长 8.118 km。线路所属地区位于华北平原, 主要为冲积平原, 地形开阔, 地面高程约 6~27 m, 地势由西北向东南缓倾。场地现状以村庄、农田、林地为主, 沿线多深塘, 并穿越多条河流。主要施工内容为 1 个高架车站和 2 个高架桥梁区间(不含铺轨)。高架车站为雄州站, 高架桥梁区间为高架起点—雄州站、雄州站—雄安站高架区间桥梁工程。

雄州站位于雄县组团北侧防护绿地南, 为路侧两层高架车站, 地上一层为站厅层, 地上二层为站台层, 车站总长 261.2 m, 其中站台层 197.6 m, 标准段宽 36.5 m, 有效站台长度 190 m, 每侧站台宽度 9.0 m, 车站总建筑面积 19 299 m<sup>2</sup>。站前广场近期实施范围仅包含车站必要的消防环路、站前集散广场及局部绿化。

根据施工范围以及施工内容, 为该施工段落布设加密控制网。根据设计与施工要求, 需要在设计交桩中的 CP II 测量控制点的基础上布设加密施工控制点, 并以此为基础直接为桩基、承台、墩柱施工提供平面和高程基准, 加密点之间的直线距离控制在 600~800 m 之间, 相邻控制点之间确保相互通视无障碍。

## 2 选点与埋设

加密点的选取应满足以下条件<sup>[1]</sup>: 1) 点位布

设于交通便利、基础稳定、易于保存的地方; 2) 点位便于安置仪器, 周围视野开阔, 高度角 15°以上无障碍物遮挡卫星信号; 3) 远离大功率无线电发射源以及高压输电线等强烈干扰卫星信号接收的物体; 4) 点位附近避免有大面积水域, 避免多路径效应的影响; 5) 加密点宜选在距离线路中线 50~200 m 且稳固可靠不被施工破坏的范围内, 点间距在 600~800 m 之间。

依据规范以及设计的相关要求, 加密点采用现场浇筑混凝土桩, 混凝土的配比为水泥:砂子:碎石=1:2:3, 加密点埋设见图 1。根据施工要求以及实际施工环境, 选择布设 8 个加密控制点。加密点的编号采用 JMD 加数字的形式, 即 JMD1—JMD8。布设完成后, 加密点按照要求绘制点之记, 并做好保护工作。

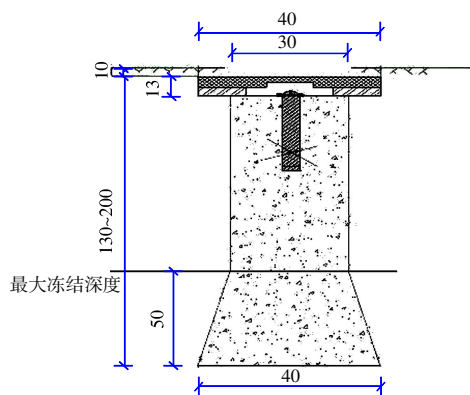


图 1 加密控制点埋设示意图(cm)

## 3 起算基准

高程起算基准严格按照 GB/T 12897—2006《国

家一、二等水准测量规范》实施。为保证线路高程衔接的平顺性，水准复测联测至相邻一标和三标各 1 个水准点，高程系统为 1985 国家高程基准。

平面坐标系统采用雄安新区城市平面坐标数据，平面控制网复测精度等级分别为二等 GNSS 网(CP I)和二等 GNSS 网(CP II)，其中 CPI 与 CP II 为设计交桩的高等级加密点。平面坐标采用雄安新区城市坐标系成果。平面基准为 CP I 控制网采用标头及标尾与一标及三标搭接 CP I 控制点；CP II 控制网采用标段端头及标段内部经 CP I 复测合格的 CP I 控制点。

### 4 加密控制网布设精度标准

#### 4.1 平面控制网技术

GNSS 测量作业基本技术要求见表 1。

表 1 GNSS 测量作业基本技术要求

静态测量项目	二等(CP I)	三等(CP II)
卫星高度角/(°)	≥15	≥15
有效卫星总数/个	≥4	≥4
时段长度/min	≥90	≥60
观测时段数/个	≥2	≥1
数据采样间隔/s	10~20	10~20
PDOP 或 GDOP	≤6	≤8

注：PDOP 为位置精度因子，GDOP 为几何精度因子，二者均为 GNSS 中的精度评估指标，描述卫星几何分布对定位精度的影响程度。

#### 4.2 高程控制网技术

高程控制测量严格按《国家一、二等水准测量规范》进行，测区高程控制网采用二等水准观测进行布设。进行二等水准观测时，应满足高差不符值 $\pm 4\sqrt{L}$  ( $L$  为水准路线测量全程长度)的技术标准要求。路线总长度不大于 400 km。在进行二等水准单站观测时，前后视距均在 3~50 m 之间，

视距差不大于 1.5 m、累计不大于 6 m，观测视线高度处于 0.55~1.8 m 之间，重复测数不小于 2 次。在高程数据处理过程中，测距总和与高差总和精确至 0.01 mm，最终高程结果精确至 0.1 mm。

#### 4.3 平差

根据 TB 10101—2018《铁路工程测量规范》相关要求，平面基础控制网 CP I 接收机固定误差不大于 5 mm，比例误差系数不大于 2 mm/km，基线边方向中误差 $\leq 1.3''$ ；线路平面控制网 CP II 接收机固定误差不大于 5 mm，比例误差系数不大于 3 mm/km，基线边方向中误差 $\leq 1.7''$ 。

水准测量作业结束后，每条水准路线应按测段往返测高差不符值计算每 km 水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$ 。 $M_{\Delta}$  应满足二等水准的规定， $M_{\Delta}$  不大于 1.0 mm，附和路线或环线闭合差为 $\pm 4\sqrt{L}$ 。

$M_{\Delta}$  计算公式为：

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left( \frac{\Delta^2}{L} \right)}$$

式中： $\Delta$  为测段往返测高差不符值，mm； $L$  为测段长，km； $n$  为测段数。

### 5 平面控制网型构建及施测

加密网平面控制网布设要求以设计交桩中的 CP I 或 CP II 点为起算点，采用边联结方式扩展，形成由三角形或大地四边形组成的带状网，与线路两侧和中间的部分 CP I 或 CP II 点进行联测。静态网测量等级按照与设计交桩成果 CP II 同等级的三等 GPS 网进行，使用双频接收机观测，按照同精度的扩展方式测量。依据施工范围以及实际地理位置，构建加密控制网进行静态观测，见图 2。由图 2 可知，该网型以设计交桩中的 CP I 008 与 CP II 018 为起算点，途中经过 JMD1—JMD8，并关联 CP I 009 与 CP II 016 作为控制点进行复核。

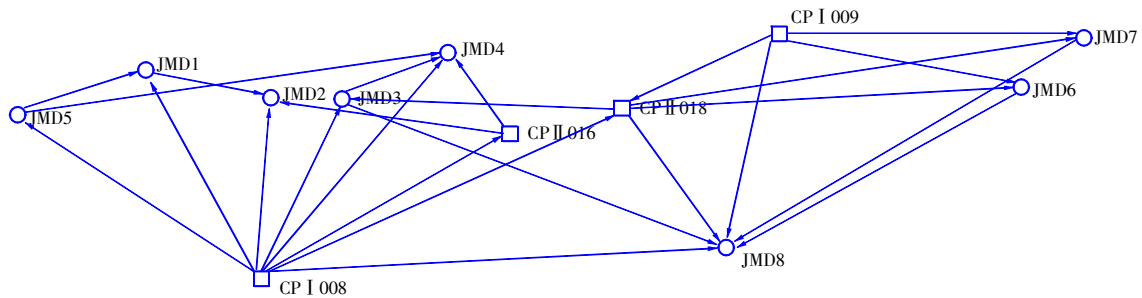


图 2 平面控制网示意图

网型布设完毕以后，根据观测顺序进行静态测量，严格遵守调度命令，遵循基线组网设计所

确定的作业模式，所有参与作业的接收机所配制的参数应相同。按规定时间同步观测<sup>[2]</sup>。不得随意

变更观测点位以及观测顺序。观测前，检查接收机的电源线、天线等完好无破损并连接正确。确保接收机的架设位置和参数信息正常后，通过手簿遥控启动 RTK 开始测量。各测站观测前后需分别量取仪器高，2 次量取值之差不大于 2 mm，取均值作为该测站最终仪器高。相对于同一测站的不同观测时段，每一次观测前必须重新进行天线基座整平、对中操作，并重新测量仪器高度。仪器开始观测并接收数据后，及时将测站名、测站号、时段号以及仪器高等信息完整地记录在手簿上。观测时，注意接收机的警告信息，及时处理各种特殊情况。

同一测站的某一时段观测中，不能关闭接收机或重新启动，不可改变接收的预置参数，禁止移动天线位置以及点击其他功能键。接收机静置或观测期间防止出现仪器震动、碰撞以及信号遮蔽等情况。确认一个测点的全部观测任务及所有规定的作业项目均完成且观测记录及信息保存完整无缺失后，再将点位标识恢复原状后进行下一站观测。

## 6 控制网高程测量

加密控制网高程测量按照国家二等水准测量标准进行观测，采用闭合水准路线，起闭于前后相邻位点的 BM3 和 BM4 控制点，其中，BM3 与 BM4 为设计交桩的高等级高程点。进行水准测量时，使用精度不低于 0.2 mm/km 的精密电子水准仪，3 m 钢瓦条码水准尺以及 5 kg 及以上重量的转点尺垫。精密电子水准仪自动观测记录，采用单线路往返观测，一条路线的往返观测必须使用同一类型的仪器和转点尺垫，并且沿同一路线进行。在单日水准测量外业作业中，对构成的水准环(或附和路线)进行连续观测，严禁中途设立临时转点体整，仅可在完成一个完整环线(或附和路线)的单程测量后进行体整。对于同一水准环(或附和路线)的测量，其往测与返测宜分别安排于上、下午的不同时段进行，避免集中在一个时间段往返。

二等水准测量前，确保  $i$  角(即视准轴与水准管轴之间的夹角)的绝对值不大于 15"。使用电子水准仪进行二等水准往返观测，并尽量沿同一条路线进行，严格遵循奇、偶站的观测顺序。每一测段必须采用偶数站结束，由往测转为返测时，互换前后尺再观测。

## 7 数据处理

### 7.1 平面控制网数据处理

通过静态观测获取的 GPS 观测数据，需要进行数据处理以及质量评估，分析其是否满足设计规范要求。观测完毕后，及时进行基线解算。解算过程中若出现不合格的情况，第一时间补测或重测。基线解算完成并验证合格后，再进行重复基线差和基线异步环校核。由不同测量时段的基线向量边组成的异步基线环，其坐标分量闭合差应符合以下公式：

$$W_X \leq 3\sqrt{n} \sigma$$

$$W_Y \leq 3\sqrt{n} \sigma$$

$$W \leq 3\sqrt{3n} \sigma$$

式中： $W_X$  为 X 坐标闭合差，mm； $W_Y$  为 Y 坐标闭合差，mm； $W$  为平面坐标闭合差，mm； $n$  为环或附和导线的边数； $\sigma$  为标准差，mm。

标准差  $\sigma$ ，作为相应等级 GNSS 网的中误差精度指标，用以下公式表示：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2}$$

式中： $d$  为以公里为单位的距离值(同步环和异步环检核时， $d$  为环平均边长；重复基线较差检核时， $d$  为基线长)； $a$ 、 $b$  为 GNSS 网的等级指标，其中  $a$  为固定误差系数， $b$  为比例误差系数。

同一基线向量边的重复性基线较差应不大于  $3\sqrt{n} \sigma^{[3]}$ 。当校对发现测量数据不能满足精度要求时，及时补测或重测。当基线解算结果符合精度要求后才能进行 GPS 控制网的整体平差计算。

GPS 控制网约束平差采用二维约束平差方式，把本标段内 3 个稳定的 GPS 点坐标作为已知空间三维大地坐标并以此为基准进行约束平差，得到各 GPS 控制点的空间三维大地坐标后再对各 GPS 控制点实施高斯任意带平面投影以获取各点的测量、加密平面成果坐标。GPS 控制网的约束平差也可直接采用本标段范围内相对稳定的 GPS 高斯任意带投影平面直角坐标进行强制约束的二维约束平差，得到各 GPS 点的测量、加密平面成果坐标<sup>[4]</sup>。加密网平面平差处理采用南方 SGO 数据处理软件对控制网进行平差处理。

### 7.2 高程控制网数据处理

本次高程测量首先检查各测段的往返测高差不符值若小于  $\pm 4\sqrt{L}$  时，则认为本次水准观测满足规范精度要求，否则对该段路线重新观测。若

高差不符值满足规范精度要求,根据合格的往返测高差不符值计算本次高程水准观测整体的每公里偶然中误差  $MH$ ,若计算得到的偶然中误差不符合规范要求,对部分或全部的路线进行重测。

通过检查并确定水准观测合格后,方可进行数据平差处理。加密网高程测量整体平差以高级水准点 BM3、BM4 为高程基准,采用徕卡水准仪自带水准数据处理软件对高程网进行平差计算。

## 8 计算结果

经过加密平面控制网静态测量数据平差解析与加密高程控制网二等水准观测数据平差解析,得到 JMD1—JMD8 的平面坐标、高程值以及平差计算结果,见表 2。由表 2 可知,平差所得到的数据结果满足设计规范要求,项目施工段加密控制网布设完成。

表 2 加密点平面坐标与高程值

加密点	X/m	Y/m	高程/m	W/mm	MH/mm
JMD 1	4 319 834.651	504 479.224	8.697	3.2	2.8
JMD 2	4 319 751.619	505 045.622	9.941	2.7	2.1
JMD 3	4 319 783.256	505 319.087	13.472	1.6	1.9
JMD 4	4 319 793.946	505 864.289	11.023	2.5	2.3
JMD 5	4 319 604.748	506 451.232	11.226	1.8	2.6
JMD 6	4 319 930.854	510 184.270	9.098	1.9	1.5
JMD 7	4 320 481.961	510 924.722	9.177	3.1	2.8
JMD 8	4 320 977.625	511 329.062	7.464	2.4	2.2

## 9 结语

随着加密控制网布设技术的不断进步及其应

用领域的不断拓展,不仅为城市规划建设提供测量基准,更为公路、铁路以及桥梁等线性工程施工建设的整体精度控制提供了坚实的基础保障。本文根据实际施工需求,在合适的位置埋设加密控制点,并按照设计、规范要求构建合理的控制网型以及施测路线。在此基础上,使用 GNSS 静态测量方法及其数据解算功能,得到各个加密点的平面坐标,另外,根据相应等级的水准测量及数据处理可以得到各个加密点的高程值,从而获取各个加密控制点的平面及高程数据。通过平差计算,验证各个加密控制点的数据精度满足设计、施工以及规范的要求,从而完成线性工程的加密控制网布设。

本文总结形成了一整套线性工程加密控制网布设的总体流程以及精度控制方法,可为后续类似工程施工提供参考借鉴。然而,依托工程的地理位置处于平原地区,地势起伏相对较缓,针对山区以及高原等环境复杂地区的线性工程,加密控制点的平面坐标以及高程数据的获取方式与精度要求仍需进一步的探讨与研究。

## 参考文献:

- [1] 章如芹,徐良骥,高双. GPS 静态测量在控制测量中的应用[J]. 北京测绘,2014(1):100-103.
- [2] 冯志成. 工程测量中应用 GPS 控制测量平面及高程精度[J]. 工程建设与设计,2017(1):111-113.
- [3] 缙晓阳. 基于 CORS 的静态长基线观测的精度分析与应用[J]. 矿山测量,2017,45(3):72-76.
- [4] 李文滔. GPS 全球卫星定位系统静态测量数据处理[J]. 工程技术研究,2017(7):112-113.