

高原多年冻土区铁路 GPS 控制测量工法

(TGJGF-03·04-56)

中铁十八局集团有限公司

一、前言

中铁十八局集团公司承担了青藏铁路格拉段 9 标和 18 标全长约 80km 的施工任务。两个标段均位于青藏高原腹地无人区,线路经过地段海拔 4685 ~ 5072m,是全线海拔最高的段落,为多年冻土区。在高原多年冻土区进行铁路施工控制测量必须解决两个难题:一是控制桩易受冻融循环影响遭受破坏,二是高原的恶劣气候条件对测量精度和效率的影响。针对这两大难题,一方面改进控制桩埋设方法,另一方面引入 GPS 测量技术,成功解决了高原多年冻土区的控制测量问题。2002 年 7 月后应用于全线控制测量,效果理想,具有精度高、速度快的优点,产生显著了经济效益和社会效益。在此基础上整理形成本工法。本工法的核心技术通过了中国铁道建筑总公司组织的评审,已在《铁道建筑技术》杂志上发表。

二、工法特点

1. 在多年冻土区采用套管法埋设控制桩,具有桩点可靠、速度快、成本低、对周边环境影响小的优点。
2. 采用 GPS 接收机代替全站仪进行导线测量,测量人员劳动强度低,测量成果准确可靠,测量进度快。

三、适用范围

本工法适用于各种地理环境下的铁路、公路工程二等及二等以下精度要求的控制测量。

四、工艺原理

多年冻土区活动层的冻胀过程将对测量控制桩产生冻胀力,当冻胀力大于控制桩的锚固力时,控制桩将被拔起而破坏。因此,《青藏铁路(格拉段)多年冻土地地区路基工程(含环保)施工技术细则》要求,除设在牢固基岩上的点外,控制桩应埋入多年冻土至少 2 倍天然冻结上限深度,季节融化层范围内桩周部分用粗颗粒土换填。按照上述规定控制桩埋深需达 6 ~ 10m,开挖、回填和换填工程量巨大,对周边环境破坏严重。为此,在对多年冻土区桩基、明挖基础的冻胀力和防冻胀措施广泛调研的基础上,研发了套管法埋设控制桩技术。具体做法是利用钻机钻深度大于 3 倍天然冻结上限深度的孔;然后将作为控制桩用的钢管用混凝土锚固在天然冻结上限以下的多年冻土中,以提供对控制桩的锚固力;最后在天然上限范围内的钢管控制桩以外埋设套管,套管与钢管控制桩之间填塞沥青渣油,以消减天然冻结上限以上季节冻结层对钢管控制桩的冻拔力。

高原恶劣的自然条件极大影响了常规测量的精度和效率。利用 GPS 测量受大气折光、温度、气压等环境因素影响小、控制点间不要求通视、可全天候进行高精度观测的优点,用 GPS 接收机直接代替全站仪进行导线测量,即每个导线点均用 GPS 观测,实现高原恶劣自然条件下控制测量的高精度、高效率。

五、施工工艺

GPS 测量和其他方法测量有类似之处,首先选点布桩,然后进行外业测量和数据解算,主要差别在于仪器和测量作业方式不同。

(一)控制桩布设原则

1. 便于全站仪、水准仪等其他测量仪器进行测量;
2. 点位附近地形要尽量开阔,但不允许在大范围的水面附近布点;
3. 两相邻点间距离一般不小于 500m,不大于 1000m,以便互相通视;

4. 在大桥附近布设相应的控制点,一般每岸可设2个点;
5. 点位布置尽量形成大地四边形,提高控制网整体精度。

(二) 套管法埋设控制桩

套管法埋设控制桩见图1。

用地质钻机钻孔,孔径120mm,钻孔完成后按图1所示及时进行控制桩及套管的埋设,防止钻孔内积水结冰,影响桩位稳定。

在 $\phi 40$ 钢管壁上用钢钉冲直径2mm,深3mm的小眼作为测量点位。

多年冻土区天然冻结上限在一定地理范围内变化不大,并且套管法埋设控制桩的设计中有一定安全储备,因此在一定范围内 h 可以取一定值,以便于施工控制。

(三) GPS 控制测量

1. 仪器性能指标

工程测量常用的仪器是静态接收机,我们使用的是苏州一光仪器有限公司生产的SGS210型GPS接收机,其性能指标见表1。

表1 SGS210型GPS接收机主要技术参数

标准特征	并行12通道;L1 C/A+载波相位
定位精度	静态精度:5mm±2ppm;快速静态精度:10mm±2ppm
接口特性	标准RS-232C串口通信接口;通信速率9600bps
锁定时间	首次捕捉<45s;重新捕捉<3s
环境参数	工作温度:-20℃~55℃;存储温度:-30℃~65℃
功耗	小于4W

2. 测量精度指标

依据《新建铁路工程测量规范》、《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》,GPS控制网精度取C级,测量精度标准按下式计算:

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

式中 δ ——网中相邻点间距离中误差(mm);

a ——固定误差,取10mm;

b ——比例误差,取5ppm;

d ——相邻点间距离(km)。

根据上式计算,一般相邻点距离1km时, δ 要求小于11mm,取10mm/km为精度控制指标。

3. 作业方法

(1) 布网形式

GPS常用的布网形式一般有五种:跟踪站式、会站式、多基准站式、同步图形扩展式和单基准站式。工程测量常用同步图形扩展式,它的布网形式又包括了点连式、边连式、网连式、混连式,一般采用边连式进行测量,精度和效率都比较高。

(2) 外业测量方法

采用4台接收机,一个同步观测同时测4个点,按照边连式测量,见图2。

A1、B1、C1、D1组成一个同步观测网,观测结束后C1、D1两个测站不动,A1、B1测站分别迁移到A2、B2测站,与C1(C2)、D1(D2)测站进行同步观测,以此类推进行外业观测。

同步观测时间按照规范要求,每次观测45min,观测两次即一个测站观测90min以上。数据采样间隔为15s。

仪器的对中整平操作和经纬仪一样。仪器架设好,检查合

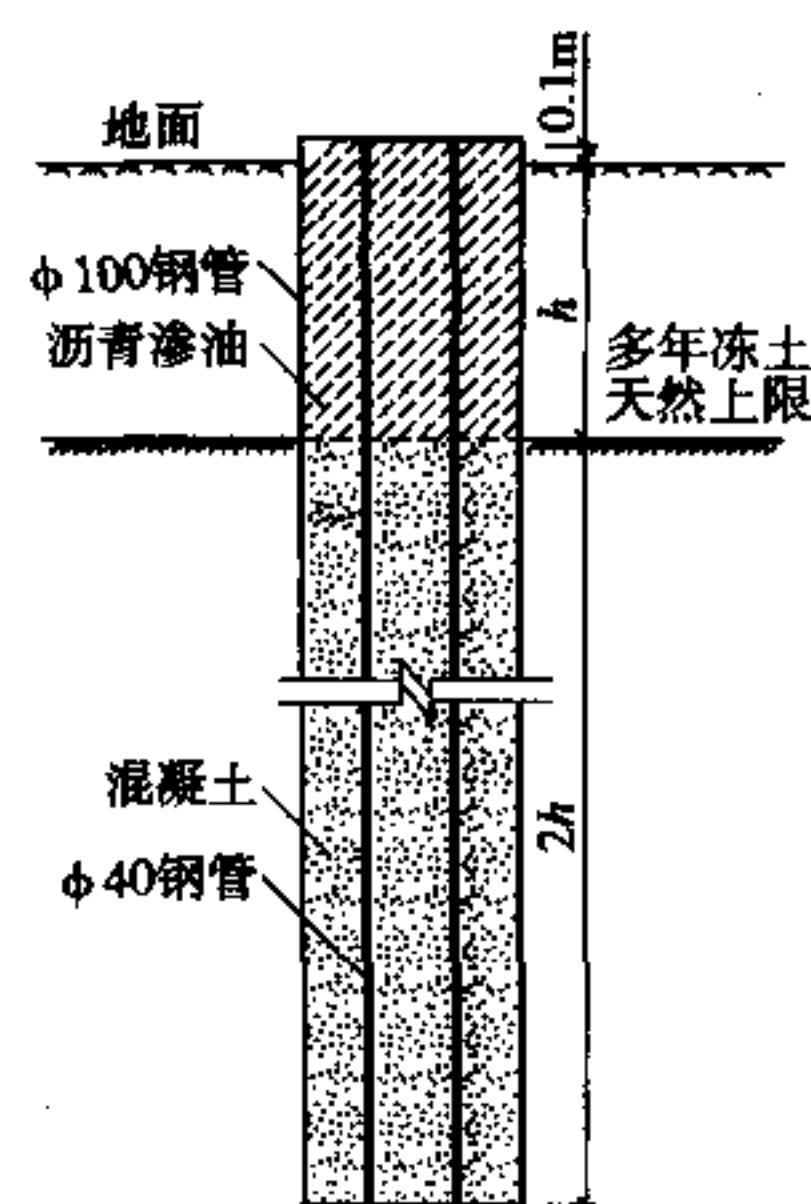


图1 套管法埋设控制桩

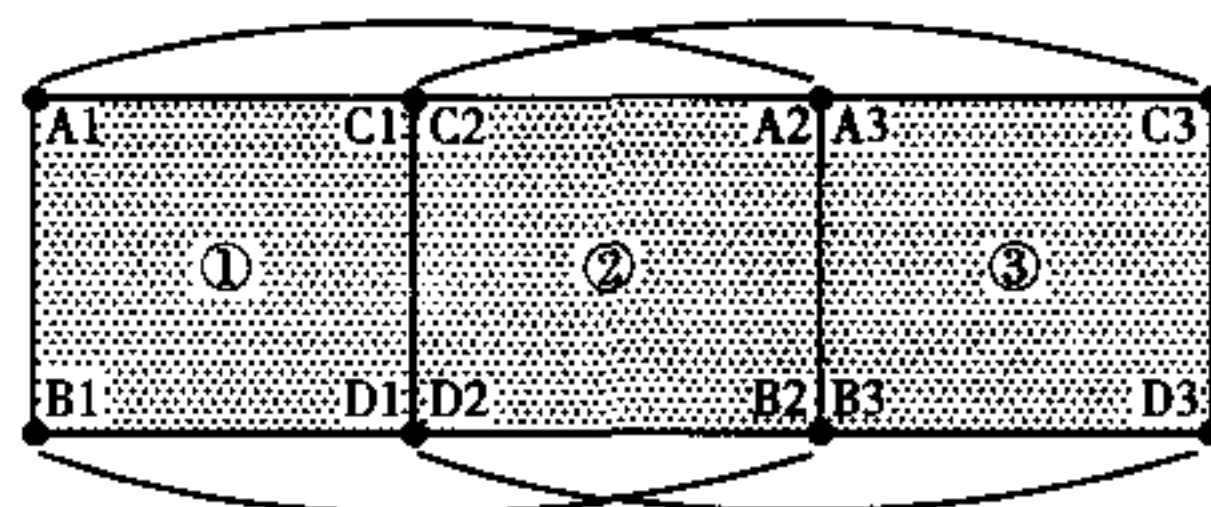


图2 四台接收机边连式测量测站转移

格后,开启接收机,按照仪器操作规程使用,按规定时间和参数进行观测,接收卫星数据。在仪器观测中不允许随意关闭重启接收机、改变接收机预置参数、改变天线位置、不允许在接收机 20m 范围内使用对讲机、手机等无线电设备,以保证观测数据准确。

在测量过程中,及时记录测站号、测点名、GPS 卫星信息、PDOP 值等信息,供内业数据处理使用。

4. 内业数据处理、测量平差

GPS 基线解算及网平差是全球定位系统测量获得最终可使用测量成果的关键。我们采用集格式转换、基线解算、网平差功能于一体的 LIP5.0 软件进行数据处理。处理流程见图 3。

(1) 基线解算

基线就是同步观测的 GPS 数据计算得出的两点间的向量,是 GPS 数据处理的第一步,用之判断测量的精度。解算过程如下:

①原始观测数据的读入 读取原始的 GPS 观测数据,把采集器中的数据传输到电脑。

②外业输入数据的检查与修改 读入了 GPS 观测值数据后需要对观测数据进行必要的检查,检查的项目包括:测站名、点号、天线高等,以避免外业操作时的失误。

③设定基线解算的控制参数 基线解算的控制参数决定了数据处理软件采用何种处理方法来进行基线解算,通过控制参数的设定,可以实现基线的精化处理。常用的参数有卫星高度角、起算历元、数据采集率等,严格按照操作规程进行参数选择。

④基线解算 这个过程一般是自动进行的,无须过多的人工干预。

⑤基线质量检验 基线解算完毕后,其结果并不能马上用于后续的处理,还必须对基线的质量进行检验,只有质量合格的基线才能用于后续的处理,如果不合格,则需要对基线进行重新解算或重新测量。基线的质量检验需要通过 RATIO、PDOP、RMS 以及同步环闭合差、异步环闭合差和重复基线较差来进行。一般要求 RATIO 大于 2、PDOP 大于 6、RMS 小于 0.01m。

(2) WGS-84 坐标系自由网平差

基线解算后进行 WGS-84 坐标系自由网平差,检查基线的测量精度,检验 GPS 网是否达到设计精度指标。当成果中某条基线超限时可以认为该基线或其附近存在有粗差基线,此时可以将其删除,重新解算平差。但此时应保证剩余基线仍能构成独立闭合环,否则应及时重测或补测有关基线或同步图形,以保证整体的测量精度。

(3) 约束网平差、坐标系转换

基线成果一般提供精度指标和 WGS-84 坐标系数据,不能直接用于施工。在基线解算完成后,选择坐标系,输入起算点坐标,进行当地坐标系(北京 54 或西安 80 坐标系)下的坐标计算,输出可以应用的测量数据。这个过程又叫约束网平差。

至此,GPS 控制测量工作即告结束。

六、机具设备(见表 2)

七、劳动组织(见表 3)

八、质量控制

(一) 采用的质量标准

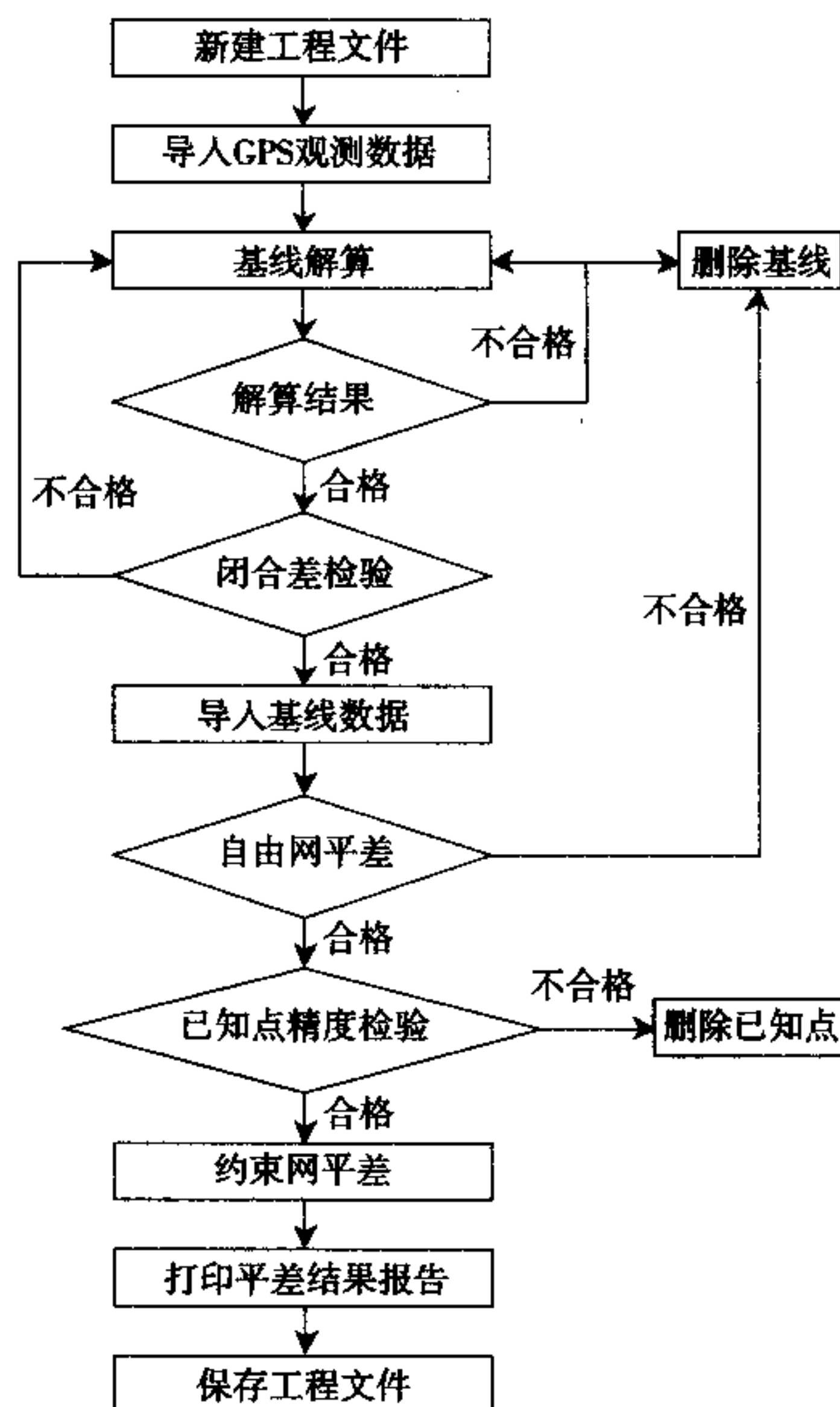


图3 数据处理流程

表2 机具设备

序号	机具名称	规格型号	数量	备 注
1	地质钻机	DZ100	1	北京探矿机械厂
2	材料车	EQ141	1	
3	切割机	5kW	1	加工钢管用
4	电焊机	310	1	
5	汽油喷灯		2	融化沥青
6	GPS接收机	SGS210	4	苏州一光仪器公司
7	电 脑	CPU 主频 400MHz	1	数据处理用
8	交通车	BJ2031	2	
9	对讲机	Motorola	5	

表3 劳动组织

序号	工种	人数	工作内容
1	测量工程师	1	方案制定,组织协调
2	司 钻	1	操作钻机
3	钻 工	2	配合司钻
4	埋桩普工	3	埋桩,填混凝土沥青
5	材料车司机	1	运送材料
6	测量班长	1	测量实施 控制质量
7	测 量 员	3	测量
8	交通车司机	2	运送人员往来

《新建铁路工程测量规范》(TB10045—2000);

《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054—97);

《青藏铁路(格拉段)多年冻土地地区路基工程(含环保)施工技术细则》2001年9月;

《青藏铁路(格拉段)多年冻土地地区桥涵工程施工技术细则》2001年9月。

(二)质量控制重点

1. 埋设控制桩时,根据钻孔情况判断冻土上限深度,确定合理的桩长和套管长度。

2. 仪器对中整平精度,对中 $<2\text{mm}$,整平不超过半格。

3. 同步观测时间 $\geq 45\text{min}$,有效卫星数 >5 个,卫星高度角 $>15^\circ$ 。

4. 数据处理要求:RATIO >2 ,RMS <0.02 ,基线精度高于 $1/10000$

九、安全措施

1. 钻机钻进时,严格遵守操作规程,严禁违章操作。

2. 融化沥青渣油时,严禁掺加汽油、柴油,以防止沥青渣油起火;负责融化和填充沥青渣油作业的工作人员必须严格按照劳动保护的相关要求做好防护,防止烧伤、烫伤。

3. 雷雨天不进行野外测量。道路泥泞、积雪及登高时,必须穿防滑鞋。

4. 加强高原安全行车和法纪教育,遵章守纪、安全行车。

5. 高原自然条件恶劣,作好医疗卫生保障,配备足够的药品,氧气和其他医疗器材,保证人员健康。

十、技术经济分析

在多年冻土区采用地质钻机钻孔,套管法埋设测量控制桩,技术先进,安全可靠;与常规埋桩方法相比,不仅效率高、成本低,可产生显著的经济效益,而且对周边环境基本无影响,解决了控制桩埋设中的环保问题,社会效益显著。初步测算,每个控制桩可以节约直接成本2000元左右。

GPS测量基本不受外界环境影响,受人为因素影响也较常规测量小得多,具有自动化程度高、测量精度高、测量效率高等优点,在高原恶劣自然环境下与全站仪相比具有不可比拟的优势。在高原导线控制测量中采用GPS接收机与采用全站仪相比可提高工效3~4倍,可大大减少测量人员、测量仪器、附属车辆的投入,能产生显著的经济效益。GPS测量技术的优势可在普通地区铁路、公路工程控制测量中得到同样的发挥。

十一、工程实例

中铁十八局集团公司承担了青藏铁路格拉段 9 标和 18 标全长约 80km 的施工任务。两个标段共布置控制桩 121 个,其中采用地质钻机钻孔,套管法埋设控制桩 104 个。埋设控制桩自 2002 年 7 月 10 日开始,2002 年 8 月 15 日结束,其间停工 10d,共用 25d,平均日成桩 4.2 个,最高日成桩 8 个。埋桩速度较机械开挖换填方法快得多,且对周边环境基本无影响。2002 年、2003 年两年间共 4 次利用设置在牢固基岩上的控制点对附近采用套管法埋设的控制点用全站仪、水准仪进行水平位置、高程复核,方位角偏差在 3" 以内,高程偏差在 2mm 以内,证实了套管法埋设控制桩的可靠性。两个标段的导线测量(所有的导线点)采用 4 台 GPS 接收机按边连式进行。首次 GPS 测量自 2002 年 9 月 1 日开始,由于道路不通,进度偏慢,2002 年 10 月 6 日结束,共用 36d,实际测量时间 22d,平均日测 5.5 个点,6km 左右,最高日完成 6 个同步观测,10 个点,10km。2003 年进行的两次测量时间均在 15d 左右,而采用一套全站仪进行测量大约需要 60d 时间。最弱边精度达到了 1/21410,满足了施工生产的需要。

该工法在青藏铁路格拉段 9 标和 18 标的应用创造了显著的经济效益。控制桩埋设较常规做法节约直接成本 20 万元以上;采用 GPS 测量仪器与投入两套常规测量仪器相比节约投资 25 万元以上;测量班人员少投入 6 人,测量配属车辆少投入 1 台,三年施工期共节约成本约 120 万元以上。套管法埋设控制桩保护了环境,青藏铁路建设总指挥部、青藏铁路环保监理单位给予了充分肯定,社会效益显著。

执笔:陈 鹏 于英洲 张银军 周 瑾 任博云