

道路曲线放样方法的实验

卢松耀¹, 王东晓², 王德征²

(1. 广东有色工程勘察设计院, 广东 广州 510080; 2. 海南省三亚市测绘院, 海南 三亚 572000)



摘要: 对曲线放样的常见方法进行了比较分析, 提出了改进方法, 结合实例对自由设站极坐标法、DGPS-RTK 法曲线测设方法进行了深入讨论, 给出了相应的数据处理方法和实验方法, 实验结果表明 DGPS-RTK 技术使曲线放样精度更高, 实现更便捷。

关键词: 曲线放样; 极坐标法; 差分全球定位系统; 实时动态差分法

中图分类号: P258

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2010) 06-0136-03

Method for Road Curve Lofting

LU Songyao¹, WANG Dongxiao², WANG Dezheng²

(1. Guangdong Nonferrous Metals Engineering Investigation Institute, Guangzhou 510080, China ;

2. Sanya Institute of Surveying and Mapping, Sanya 572000, China)

Abstract: This article described common methods of setting out on the curve were compared, the improved method, a station with an example of polar coordinates by random setting station, DGPS-RTK method Curve method of in-depth discussions, the corresponding data processing methods and experimental methods, experimental results showed that the DGPS-RTK technology allowed more precise curve setting to achieve more convenient.

Key words: curve lofting; polar coordinates; difference global positioning system; real-time kinematic

根据国家有关规定, 在工程施工建设中不能偏离工程设计的要求, 需要测量技术人员将设计的待建工程建(构)筑物的位置、大小和形态在实地中标定出来。放样或测设是工程设计及施工之间的桥梁和纽带, 在实际工程中, 标桩就是放样的结果, 是工程施工建设的依据^[1]。

铁路、公路、隧道、运河等线状工程都是由直线段和曲线段组成的, 直线段的放样技术比较成熟, 而曲线段放样相对比较复杂。在进行曲线测设时, 需要检核测设的成果质量是否达到设计要求, 同时还应考虑放样方法的实用性、适用性、效益性、便捷性及实现的难度等。在优化现有放样方法的基础上进行创新, 以充分发挥曲线测设在线状工程项目建设过程中的作用^[1]。

1 传统曲线测设方法及比较

1.1 偏角法

偏角法的原理是以曲线起点或终点至曲线上的任一点*i*的弦线与切线*T*之间的弦切角 δ_i (偏角)和弦长*l*来确定实际的位置, 其优点是计算和操作方法比较简

单、灵活, 并且能够自行闭合, 自行检核。偏角法测设圆曲线的方法如图1所示。

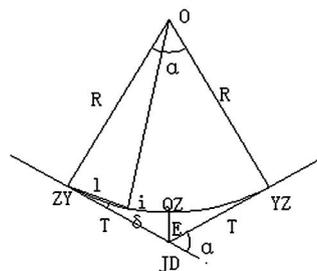


图1 偏角法测设圆曲线

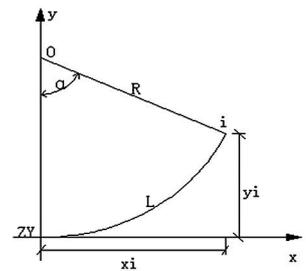


图2 切线支距法测设圆曲线

1.2 切线支距法

切线支距法测设缓和曲线是以缓和曲线起点(ZH)或终点(HZ)为坐标原点, 以过原点的切线为*X*轴, 过原点的半径为*Y*轴, 利用缓和曲线和圆曲线段上各点的坐标*x*、*y*来设置曲线。切线支距法测设圆曲线如图2所示, 一般用在支距较短的场合, 如果支距较长, 可用偏角法, 而全站仪则采用极坐标法最佳。

1.3 极坐标法

极坐标法是以自然站点出发, 后视另一已知点, 拨出极角 Q_i , 在此方向上量极距 S_i , 即可确定待定点

的位置。该方法具有计算简单，操作灵活方便的优点，但需要根据实际所选定的极坐标系进行各待测设点的坐标反算。

1.4 几种传统曲线测设方法的比较 [2]

在以钢尺量距的常规方法进行曲线放样中，应用较为普遍的是偏角法及切线支距法。在偏角法中，以曲线起点、终点为依据，用偏角法测设曲线的计算和操作都较为简单灵活，且可以自行闭合，自行检核，不必再用其他途径进行误差检核，这样给测设工作带来了很大的方便，提高了作业的效率，且减少了误差的产生。而切线支距法测设曲线时，由于各曲线点是独立测设的，其测角及量边的误差都不积累，所以在支距不太长的情况下，具有精度较高，操作较简便的优点，但用切线支距法进行测设时，它不能自行闭合，自行检核，单个测设点误差不易控制。所以对已测设的曲线点，要实量其相邻两点间的距离，以作检核，切线支距法适用于支距较短的场合，如果支距较长宜采用偏角法进行测设。在传统钢尺量距的常规方法外，极坐标法具有比以上几种方法更优越的特点，用测距仪量距代替钢尺量距可达到更高质量、高效率放样的目的。

曲线放样优化改进方法使得曲线测设操作更便捷，解算更快速，而且在测设方法上有了很大的改变，从钢尺量距到电子测距再到 GPS 或全站仪自动测距，评断曲线放样的优化方法的指标就是在工程施工测量中的精度的提高。

2 自由设站极坐标法曲线测设

2.1 自由设站极坐标法曲线测设原理

应用全站仪自由设站极坐标法测设曲线，使曲线测设中距离测量的便捷性、精确性大大提高。该方法的关键步骤是各待测设点极坐标的计算问题。为了便于计算放样元素，该方法将由直线段、圆曲线段、缓和曲线段组合而成的曲线归算到统一的导线测量极坐标系统中。如图 3 所示为以 ZH 点为坐标原点建立的切线支距坐标系， α 为线路的转向角。

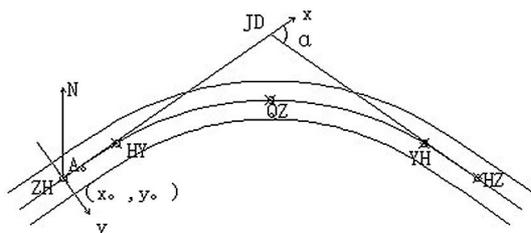


图 3 自由设站极坐标法测设曲线

2.2 自由设站极坐标法曲线测设实例

本例分别对一条单圆曲线和一条带缓和曲线的圆

曲线进行了放样实验，在放样中使用徕卡 TC702 全站仪对线路的中桩进行测设。

圆曲线放样：已知曲线转角 $\alpha_1=33^\circ 20' 01''$ ，半径 $R_1=100\text{ m}$ ，线路前进的偏向为（右偏为 1），交点 JD_1 的里程桩号为 K_0+100 ， JD_1 的坐标(35731.464, 30121.226)， JD_1 到 ZY 点方位角 $A_0=225^\circ 10' 30''$ 。根据以上已知信息计算得到曲线综合要素为：切线长 $T=29.938\text{ m}$ ，曲线长 $L=58.178\text{ m}$ ，外矢距 $E=4.385\text{ m}$ ，切曲差 $q=1.698\text{ m}$ 。在此次放样中，以 10 m 为桩距，计算所得的各放样点中桩的里程、横坐标以及纵坐标如表 1 所示。

表 1 圆曲线放样计算成果表/m

点号及桩位	桩号	坐标 X	坐标 Y
ZY 中桩	K 0+70.06	35710.359	30099.992
1 中桩	K 0+80.00	35717.004	30107.377
2 中桩	K 0+90.00	35722.916	30115.436
QZ 中桩	K 0+99.15	35727.598	30123.295
4 中桩	K 0+100.00	35727.995	30124.046
5 中桩	K 0+110.00	35732.189	30133.119
6 中桩	K 0+120.00	35735.456	30142.566
YZ 中桩	K 0+128.24	35737.428	30150.564

表 2 带缓和曲线的圆曲线放样数据

综合曲线放样计算成果表			
点号及桩位	桩号	坐标 X	坐标 Y
ZH 中桩	K 0+28.23	35743.356	30179.722
01 中桩	K 0+30.00	35743.708	30181.455
02 中桩	K 0+40.00	35745.665	30191.262
03 中桩	K 0+50.00	35747.468	30201.098
04 中桩	K 0+60.00	35748.984	30210.982
05 中桩	K 0+70.00	35750.081	30220.92
HY 中桩	K 0+78.23	35750.573	30229.136
07 中桩	K 0+80.00	35750.622	30230.904
08 中桩	K 0+90.00	35750.51	30240.901
QZ 中桩	K 0+98.39	35749.902	30249.27
10 中桩	K 0+100.00	35749.732	30250.869
11 中桩	K 0+110.00	35748.292	30260.763
YH 中桩	K 0+118.55	35746.539	30269.133
13 中桩	K 0+120.00	35746.196	30270.539
14 中桩	K 0+130.00	35743.485	30280.163
15 中桩	K 0+140.00	35740.283	30289.636
16 中桩	K 0+150.00	35736.723	30298.98
17 中桩	K 0+160.00	35732.932	30308.233
HZ 中桩	K 0+168.55	35729.602	30316.111

带缓和曲线的圆曲线：已知曲线转角 $\alpha_2=34^\circ 30' 00''$ ，半径 $R_2=150\text{ m}$ ，缓和曲线长 $l_0=50\text{ m}$ ，线路前进的偏向为（右偏为 1），交点 JD_2 的里程桩号为 K_0+100 ， JD_2 的坐标(35757.654, 30250.052)， JD_2 到 ZH 点方位角 $A_0=258^\circ 30' 31''$ 。根据以上已知信息计算得到曲线综合要素为：切线长 $T=71.768\text{ m}$ ，曲线长 $L=140.321\text{ m}$ ，

表3 圆曲线对比/m

中桩 点号	DGPS-RTK		全站仪		Dx cm	Dy cm
	坐标 X	坐标 Y	坐标 X	坐标 Y		
ZY	35710.359	30099.992	35710.364	30099.98	-0.5	1.2
1	35717.004	30107.377	35717.024	30107.367	-2	1
2	35722.916	30115.436	35722.91	30115.454	0.6	-1.8
QZ	35727.598	30123.295	35727.581	30123.282	1.7	1.3
4	35727.995	30124.046	35727.984	30124.031	1.1	1.5
5	35732.189	30133.119	35732.191	30133.131	-0.2	-1.2
6	35735.456	30142.566	35735.454	30142.564	0.2	0.2
YZ	35737.428	30150.564	35737.433	30150.556	-0.5	0.8

外矢距 E=7.791 m, 切曲差 q=3.216 m。在此次放样中, 以 10 m 为桩距, 计算所得的各放样点中桩的里程、横坐标以及纵坐标如表 2 所示。

3 DGPS-RTK 法曲线测设

3.1 DGPS-RTK 法曲线测设原理

实时动态 (Real Time Kinematic, 简称 RTK) 是以载波相位观测量为根据的实时差分 GPS (DGPS) 测量技术, DGPS-RTK 法曲线测设原理如图 4 所示^[3-4]。

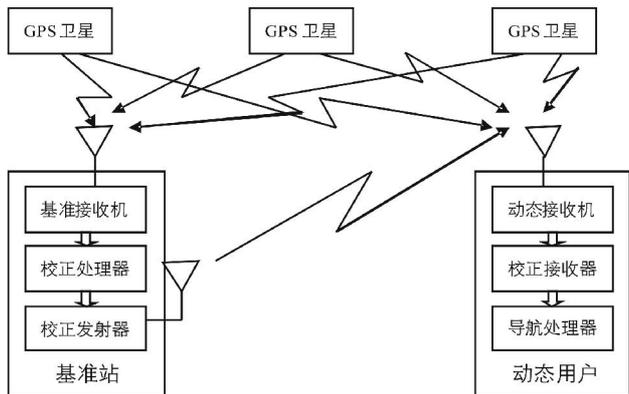


图4 DGPS-RTK 法曲线测设

3.2 GPS-RTK 放样道路曲线实例

用 DGPS-RTK 方法分别对一条单圆曲线和一条带缓和曲线的圆曲线的放样实例, 本放样实验使用美国天宝 GPS Trimble R8 接收机, 只对线路的中桩进行测设, 实地放样所使用的数据与前面自由设站全站仪极坐标法放样所用的数据相同, 目的在于对于同样的道路曲线的放样, 可以比较自由设站全站仪极坐标法放样和 DGPS-RTK 方法放样的点位之间的差值。

曲线测设信息同 2.2 所述。DGPS-RTK 放样单圆曲线和带有缓和曲线的圆曲线的各中桩在 CASS 6.0 成图软件中的放样展点图如图 5、图 6 所示。

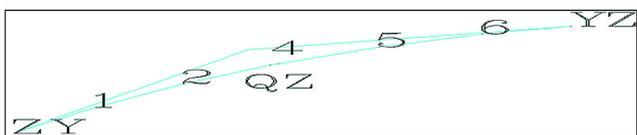


图5 圆曲线放样展点图

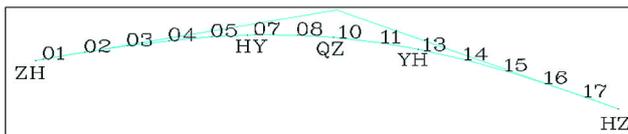


图6 带缓和曲线的圆曲线放样展点图

在本实例中, 分别使用了自由设站的全站仪极坐标法和 DGPS-RTK 方法对两段道路曲线进行了中桩测设。同时用钢尺量得的两次放样对同一个放样点的点位测设坐标之差, 如表 3、表 4 所示。通过比较测量结果可以看出: 同一中桩二种方法测得坐标之差的最大值分别为: X=2.4 cm, Y=3.0 cm。均在规定的容许范围内, 说明 GPS-RTK 的测量成果是精确可靠的。从上述定位精度一致性检验结果来看, GPS-RTK 技术测量的点位精度可达厘米级, 各放样点之间不存在误差积累, 内符精度较好, 与全站仪测定结果符合得较好, 较好地满足了公路设计和施工中的定线、放样测量的精度要求^[5]。

表4 缓和曲线对比/m

中桩 点号	RTK		全站仪		Dx cm	Dy cm
	坐标 X	坐标 Y	坐标 X	坐标 Y		
ZH	35743.356	30179.722	35743.359	30179.728	-0.3	-0.6
01	35743.708	30181.455	35743.715	30181.464	-0.7	-0.9
02	35745.665	30191.262	35745.678	30191.256	-1.3	0.6
03	35747.468	30201.098	35747.455	30201.072	1.3	2.6
04	35748.984	30210.982	35748.975	30210.997	0.9	-1.5
05	35750.081	30220.92	35750.094	30220.932	-1.3	-1.2
HY	35750.573	30229.136	35750.564	30229.145	0.9	-0.9
07	35750.622	30230.904	35750.631	30230.925	-0.9	-2.1
08	35750.51	30240.901	35750.533	30240.913	-2.3	-1.2
QZ	35749.902	30249.27	35749.913	30249.258	-1.1	1.2
10	35749.732	30250.869	35749.738	30250.86	-0.6	0.9
11	35748.292	30260.763	35748.287	30260.774	0.5	-0.9
YH	35746.539	30269.133	35746.541	30269.121	-0.2	1.2
13	35746.196	30270.539	35746.182	30270.544	1.4	-0.5
14	35743.485	30280.163	35743.461	30280.155	2.4	0.8
15	35740.283	30289.636	35740.274	30289.606	0.9	3
16	35736.723	30298.98	35736.732	30298.988	-0.9	-0.8
17	35732.932	30308.233	35732.925	30308.242	0.7	-0.9
HZ	35729.602	30316.111	35729.609	30316.121	-0.7	-1

4 结 语

从本文实验结果可看出, 基于自由设站全站仪极坐标和 DGPS-RTK 的曲线测设方法完全可以满足道路曲线放样的需要, 虽然曲线放样方法随着科学技术的进步在不断发展, 但基本原理大致相同, 在保障放样精度的前提下, 可根据工程的实际需要, 因地制宜选择适合的曲线放样方法为工程建设服务。(下转第 141 页)

5 所示, 分别采用 2 个、4 个、6 个、9 个、13 个、16 个地面控制点进行辅助空三平差计算。该区域内外业均匀布测了 36 个精度检查点, 其精度与控制点精相同。

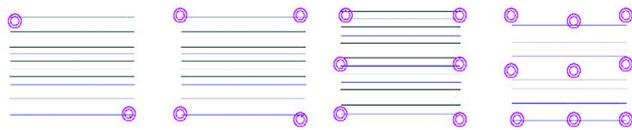


图 5 控制点布点方案及数量

2) 平差计算结果。不同地面控制点数量、布点位置辅助空三平差计算结果如表 3 所示。

表 3 不同地面控制点数量、布点位置辅助空三平差计算结果

布点方案	2 个点	4 个点	6 个点	9 个点	13 个点	16 个点
定向点平面中误差/m	0.012	0.420	0.520	0.965	0.848	0.983
定向点高程中误差/m	0.011	0.038	0.071	0.331	0.277	0.289
检查点平面中误差/m	3.279	2.788	2.900	2.856	2.926	2.875
检查点高程中误差/m	20.604	15.261	6.157	2.902	1.810	1.658

3) 结果分析。由以上结果可以初步看到: 当无构架航线时, 采用 IMU/GPS 辅助空三加密, 一般平面控制点应多于 6 个, 高程控制点应多于 13 个。

4 结 语

从目前来看, IMU/DGPS 提供的摄站坐标还不可

完全取代地面控制点的作用, 因此采用 IMU/DGPS 辅助空中三角测量, 还需要布测一定数量的地面控制点来解决和改正 IMU/GPS 系统漂移误差, 但所需的外业地面控制点的数量, 相对常规空三加密来讲是减少了, 同时对于有构架航线的区域来讲, 其控制点的位置要求也没有常规加密对点位位置的要求严格。

因此, IMU/DGPS 辅助空三仅是减少了对地面控制工作的依赖, 从而节省野外控制测量工作量、缩短航测成图周期、降低生产成本、提高生产效率。

从其他相关研究和分析来看, 在绝对精度方面, 采用 IMU/DGPS 辅助空三与 GPS 辅助空三的实际精度基本相当。

参考文献

- [1] 李德仁, 周月琴. 摄影测量与遥感概论[M]. 北京: 测绘出版社, 2001
- [2] 袁修孝. GPS 辅助空中三角测照原理及应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2001
- [3] 李学友. IMU / DGPS 辅助空中三角测量概述[J]. 测绘科学, 2005, 30(5): 110-113
- [4] Li Xueyou. First Experience of IMU/DGPS Supported Photogrammetry in China [C]. // Proceedings of XXth ISPRS. 2004, 7: 870-875
- [5] 李学友, 赵荣军. IMU / DGPS 辅助航测技术在大比例尺航测成图中的应用[J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 60-61

作者简介: 黄悦康, 工程师, 主要从事航测遥感测绘生产技术与管理工作。

(上接第 138 页)

参考文献

- [1] 张正禄, 李广云. 工程测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005
- [2] 顾孝烈, 程效军, 鲍风. 测量学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999
- [3] 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 等. GPS 测量原理及应用(修订版)[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006

- [4] 高跃宏. 城市道路曲线放样的一种新方法[J]. 洛阳工业高等专科学校学报, 2002, 49(2): 41-42
- [5] JTJ C10-2007. 公路勘测规范[S]

第一作者简介: 卢松耀, 工程师, 主要从事工程测量的生产及质量管理工作。

重要更正

因排版错误本刊 2010 年第 4 期第 66 页项目来源应该为: 长江科学院科学研究基金资助项目 (YJJ0806), 特此更正。对因此给作者所造成的不便, 深表歉意。

《地理空间信息》编辑部

2010-11-23