

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.06.008

RTK 技术在露天矿布孔中的应用研究^{*}

王 毅 杨 军 徐振洋 余德运

北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室(北京,100081)

[摘 要] 针对国内一些露天矿布孔现状及存在的问题,使用 GPS RTK 测量技术,分析精确测量、布孔理论,并在露天矿爆破设计及施工现场进行实验研究。结果表明:应用 GPS RTK 技术进行精确布孔,较之前的布孔方式,较大提高了布孔定位精度及工作效率,布孔误差降低了将近 20%,工作效率约提高了 1 倍;使用精确布孔技术,可以有效降低大块率,爆破大块率由 5.0% 降低到 2.6%;使用精确布孔技术,改善了爆破效果,降低了二次破碎费用,节省了挖运成本,取得了良好的经济效益。

[关键词] 露天矿 爆破 布孔 RTK

[分类号] TQ560.7 TD235.4+2

引言

在露天台阶爆破中,现在多用步量、拉尺等方法进行粗略的参数采集与炮孔标定,也有一些矿山采用全站仪进行布孔。这些方法每次都需要反复调整才能确定孔位,生产效率低下;而且布孔的随意性较强,误差较大,导致爆破后大块和根底较多,影响块度的均匀性和采装效率^[1-4]。

近几年来,国内出现了将 GPS 技术和钻机相结合的新型钻孔设备,可以精确地实现布孔定位,但是由于设备较为昂贵,尚未能推广应用。本文结合新疆巴里坤县别斯库都克露天矿台阶爆破的爆破设计参数及地质地形特点,介绍一种基于 RTK 的布孔技术^[5]。

1 RTK 技术理论及应用基础

1.1 RTK 技术理论

RTK(real time kinematic)又称实时动态差分技术,是一项以载波相位观测值为基础,通过差分的方式去除大部分误差的测量技术。RTK 技术是利用 2 台以上的 GPS 接收机,同时接收其所能观测到的卫星信号,其中任意选择 1 台作为基准站,其余的作为移动站。在 RTK 作业模式下基准站和移动站保持同时观测到 4 颗以上的卫星,基准站通过电台通信的方式,将其观测值和测站坐标信息传递给移动站;移动站接收来自基准站的数据,并将其和自己采集到的数据组成差分观测值进行实时处理,进而给出厘米级的定位结果^[6-7]。图 1 为 RTK 工作原理图。

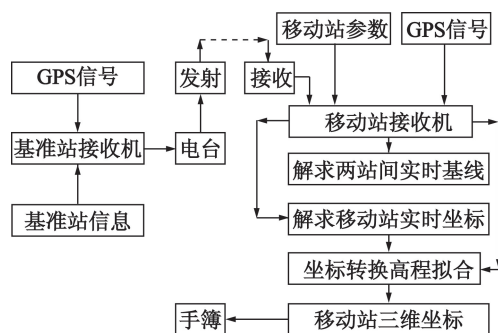


图 1 RTK 工作原理图

Fig.1 Functional diagram of RTK

1.2 RTK 技术应用基础

与传统测量手段相比,RTK 技术受通视条件等外界因素的影响和限制较小,作业效率高,使得定位、测量等工作变得更加轻松。RTK 在作业过程中,不存在误差积累,保证了作业精度。RTK 作业自动化、集成化程度高,移动站所配备的手簿的内装式软件控制系统,可自动实现多种测绘功能,减少了人为误差。目前 RTK 测量技术已被广泛接受并应用于各种测绘生产实践中^[8-10]。

2 RTK 的布孔操作

2.1 校正

RTK 在使用前必须校正。在作业区内选择地形比较开阔、无遮挡物的地方架设基准站(在未知点上架设基准站),然后在已知点进行校正。在手簿中输入移动站的已知坐标,将移动站与已知点

* 收稿日期:2013-07-10

作者简介:王毅(1985~),男,硕士研究生,从事爆破工程技术研究。E-mail:w20051019@126.com

通信作者:杨军(1960~),男,教授,博导,研究方向为爆破理论和爆破技术。E-mail:yangj@bit.edu.cn

对中整平,调整移动站,使气泡处于正中位置,进行坐标校正。校正完成以后,使用点测量功能进行定测比对,误差控制在 3 cm 以内,就完全能够满足布孔的精度要求。

2.2 操作步骤

1)在爆区确定后,对手簿进行设置。将屏幕下方显示内容调为高程、垂距和里程。高程 = 该点的海拔 - 实际杆高,若将杆高设置为“下平台高度 + 实际杆高 - 超深”,那么屏幕上的高程即为该点的孔深。

2)根据自由面和最小抵抗线,在前排选择两个控制点 A、B,测量这两个点并保存到手簿,作为后面直线放样的基准点。

3)保持垂距不变,沿点 A、B 确定的直线进行放样,里程的变化即为两点之间的间距。已知孔距 a ,当里程变化一个 a 值,即得到一个孔位。屏幕上显示的高程,即为该孔的孔深。

4)选取两孔之间的中间点,保持里程不变,改变垂距,垂距的改变量即为排距。确定两点后,按照步骤 3)进行放孔。

5)由于每个孔位显示的高程即为该处的孔深,故在布孔的同时对孔深进行标注,可以自行标注,也可以由其他人员配合进行标注,以提高工作效率。

6)假定炮区孔网参数排距为 5 m,孔距为 6 m,在手簿的屏幕上,高程显示的是对应孔位的孔深,保持垂距不变,里程的改变量即为布孔时的孔距。沿着所设定的直线放样,使里程的改变量为 6 m,即确定了其中的一个孔位。改变垂距,使其改变量为 5 m,则可以依次确定后排的孔位。

7)布孔后,由于坡面凹凸不齐,坡面角陡缓各不相同,须对前排进行适当的调整,但不能变化太大,应该逐步调整,控制抵抗线在合理的范围之内,以提高爆破质量。

8)使用 RTK 后,布孔效率大大提高,布孔所耗费的时间减少了很多,两个人一组配合布孔,一个小时布孔数在 200 个左右;也可单个人员独自进行作业,一个小时布孔数在 80 个左右。使用 RTK 布孔,较好地满足了生产需要。

3 RTK 在露天矿的应用

3.1 别斯库都克露天矿概述

新疆巴里坤县别斯库都克露天煤矿位于巴里坤县城西北方向约 150 km 处,行政区隶属于巴里坤县大红柳峡乡,区内为戈壁地带,地形平缓。该矿地质条件复杂,岩石节理裂隙发育,普氏系数为 6 ~ 8 之

间,中间有软弱夹层。露天煤矿目前已进入生产盛期,年平均土石方剥离量在 $1.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 以上。日常生产爆破的频率高、规模大、布孔任务重、对布孔量和布孔的精度要求高。常规布孔方法占用了大量的人力和物力,而且布孔精度不高,爆破效果不是很理想。别斯库都克露天煤矿使用的是尚未装备 GPS 的潜孔钻机,采用 RTK 作为布孔的手段,较好地满足了生产需要。

别斯库都克露天煤矿使用的 RTK 是南方测绘的 S86T,其水平精度为 $\pm 1 \text{ cm}$,垂直精度为 $\pm 2 \text{ cm}$,静态、快速静态平面精度为 $\pm 2.5 \text{ mm}$,静态、快速静态高程精度为 $\pm 5 \text{ mm}$,S86T 测绘仪的各种标称精度足以满足布孔的精度需求。

目前,国内使用 RTK 布孔方式主要有:直接使用 RTK 布孔、将 RTK 和爆破设计软件相结合布孔。限于目前的爆破技术条件,前者是使用较多的一种布孔方法。

3.2 不同布孔方式效果对比

布孔区域位于 1264 平台,该区域岩石以灰砂岩为主,节理裂隙发育,选择其中地质地形较为接近的部分作为实验区域,其基本参数为:台阶高度 12 m,孔径 150 mm,梅花形布孔,孔距为 6.5 m,排距为 4.5 m;装药为现场混装乳化炸药,连续耦合装药,每孔装药量控制在 180 kg 左右;起爆方式采用 ORICA 高精度雷管进行逐孔起爆,地表管延期时间控制排为 17 ms,雁行列为 65 ms,孔内管延期时间为 600 ms。

3.2.1 布孔精度的对比

布孔完成后,在不同布孔方式的区域任选 40 个炮孔,使用 RTK 进行收孔并以最后排最后一个孔作为基准孔,利用 Cass 软件进行处理来衡量其它孔位是否存在偏差。

根据所测布孔的数据,从中任意选取 12 个孔作为样本进行评判,并剔除个别因地形变化而进行人工调整使得误差较大的孔位。表 1 为拉尺方法测量数据,表 2 为使用全站仪方法测量数据,表 3 为运用 RTK 测量数据。

根据表 1 和表 3 列出的布孔误差数据,对误差进行求和平均处理得出:使用 RTK 方法布孔比人工拉尺方法布孔较大地降低了布孔误差,误差降低了约 20%。

依据方差公式(1),对 3 组数据分别进行处理,并剔除因为临空面的变化而进行人工调整导致偏差较大的孔位,然后分别对 X 方向和 Y 方向进行方差计算。

表 1 拉尺方法的布孔误差

Tab.1 Holes arrangement error using tape

编号	坐标 X/m	坐标 Y/m	误差 △X/m	误差 △Y/m
2	4920580.000	411873.800	0.280	0.691
6	4920570.000	411871.400	0.172	0.017
8	4920581.376	411869.454	0.248	0.462
12	4920561.000	411867.900	0.021	0.362
16	4920573.000	411860.200	0.127	0.149
18	4920563.000	411857.200	0.272	0.140
22	4920553.000	411853.700	0.127	1.139
26	4920554.000	411848.500	0.096	0.523
28	4920545.000	411850.100	0.595	1.632
32	4920556.000	411842.900	0.560	0.384
36	4920535.000	411840.400	1.359	1.275
38	4920536.000	411834.900	0.003	0.797

表 2 全站仪方法的布孔误差

Tab.2 Holes arrangement error using total station

编号	坐标 X/m	坐标 Y/m	误差 △X/m	误差 △Y/m
2	4920641.000	411939.700	0.054	0.038
6	4920631.000	411936.600	0.483	0.441
8	4920643.071	411934.587	0.327	0.178
12	4920623.000	411933.600	0.862	1.257
16	4920634.000	411925.800	0.508	0.345
18	4920624.000	411922.500	0.172	0.002
22	4920615.000	411919.600	0.096	0.333
26	4920617.000	411914.300	0.272	0.333
28	4920606.000	411915.600	0.403	0.430
32	4920618.000	411908.700	0.127	0.104
36	4920598.000	411907.200	0.727	0.821
38	4920598.000	411901.900	0.340	0.861

$$D(X)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^n\Delta Z^2。$$

(1)

式中: D 为方差; N 为项数; ΔZ 为在该方向上的误差。

拉尺方法:剔除编号为 22、28、36 的孔,对其余的孔位进行计算,结果如下:

$$D(X)=0.0813;$$

$$D(Y)=0.2132;$$

$$D(X+Y)=D(X)+D(Y)=0.2945。$$

全站仪方法:由于孔号为 12、36、38 的孔位为前排孔,其位置需要根据临空面的变化进行调整,故存在较大偏差,不能真实地反应出布孔手段的技术水平,故在计算时将其去除,对其余的孔位计算结果如

表 3 RTK 方法的布孔误差

Tab.3 Holes arrangement error using RTK

编号	坐标 X/m	坐标 Y/m	误差 △X/m	误差 △Y/m
2	4920859.515	412171.027	0.354	0.038
6	4920850.467	412168.097	0.405	0.077
8	4920860.741	412165.892	0.318	0.008
12	4920840.635	412164.384	0.361	0.168
16	4920852.661	412156.963	0.063	0.025
18	4920843.098	412153.954	0.097	0.355
22	4920833.387	412150.491	0.054	0.536
26	4920834.714	412145.386	0.484	0.160
28	4920824.173	412147.268	0.201	0.551
32	4920836.541	412140.041	0.518	0.292
36	4920815.934	412138.298	0.177	0.436
38	4920816.924	412133.186	0.260	0.541

下:

$$D(X)=0.0992;$$

$$D(Y)=0.0845;$$

$$D(X+Y)=D(X)+D(Y)=0.1837。$$

RTK 方法:由于最小抵抗线变化较小,对部分孔位进行的人工调整幅度不大,但还是选取了有一定变化的孔位剔除,力求更真实地反映出布孔的精确度。计算结果如下:

$$D(X)=0.0856;$$

$$D(Y)=0.0621;$$

$$D(X+Y)=D(X)+D(Y)=0.1477。$$

表 4 列出以上 3 种布孔方式的布孔精度。

表 4 布孔精度

Tab.4 Accuracy of holes arrangement

布孔方式	布孔偏差(方差)	布孔精度
拉尺布孔	0.2945	较低
全站仪布孔	0.1837	较高
RTK 布孔	0.1477	较高

由表 4 可以看出:使用 RTK 方法和全站仪方法布孔的精度较高,使用人工拉尺的方法进行布孔的精度较差。

3.2.2 布孔效率的对比

对于布孔效率,采用的参数是相同人数布完一定数目的孔位所需要的时间。布孔安排是两个人一组,配合作业,其具体用时如表 5 所示。

由表 5 得出:使用 RTK 布孔的效率最高,使用全站仪布孔的效率次之,使用 RTK 布孔比使用全站仪布孔,效率提高了 1 倍多,效率最低的是使用人工

表 5 布孔所用时间

布孔方式	拉尺布孔	全站仪布孔	RTK 布孔
布孔数量/个	40	40	40
耗费时间/min	35	22	10

拉尺的方法进行布孔。

3.2.3 爆破效果的对比

使用传统方式布孔,爆破后爆堆表面常常出现大块,爆堆内部岩石的破碎也不是很均匀,且存在拉底的现象,总体大块率高。据矿方的综合统计,传统布孔方式的大块率在 5.0% 左右,二次破碎量大,清运工作进展较慢。使用 RTK 布孔后,孔网误差明显减小,爆破效果也取得了很大的提高。爆破后爆堆表面的大块明显减少,爆堆内部的岩石破碎较为均匀,大块率也明显降低,据矿方统计大块率仅有 2.6%,清运工作效率也明显提升。爆破后爆堆表面岩石分布情况如图 2、图 3 所示。



图 2 拉尺布孔爆破效果

Fig. 2 Blasting effect using tape



图 3 RTK 布孔爆破效果

Fig. 3 Blasting effect using RTK

3.3 RTK 和爆破设计软件相结合

3.3.1 布孔流程

对于工作面比较整齐、地势平坦、起伏不大的爆区,尝试使用了爆破设计软件进行孔位设计,然后运用 RTK 进行布孔操作^[11-13]。

1) 采集台阶数据,使用 RTK 对爆区进行数据

采集,须包括整个台阶的全方位的采点坐标,特别是爆区的范围。对于地势起伏大的地方,要尽可能多测点,使测量的结果尽可能符合实际地形;对于地势平坦的地方,可以适当减少测量的点数。

2) 根据采集的数据,使用三维地形生成软件得到爆破平台的地形,使用爆破软件进行设计处理,输出孔网参数、超深、填塞等参数,并可以生成孔网参数的 DAT 文件。

3) 将输出的包含孔参数的 DAT 文件拷贝到 S86T 的手簿上,并储存在 Job 目录下的文件中,然后利用点放样功能进行放样、布孔。

4) 实地放样时,确保 GPS 移动站在固定解的状态下进行放样,以保证布孔的质量,并采取压袋子的方法对孔位进行标识和保护。

5) 验孔后,发现布孔的精度较高,误差在 ±5 cm 以内,可以满足生产需求。

3.3.2 改进方向

将三维激光扫描仪与 GPS RTK 结合起来使用。三维激光扫描仪的点位精度是毫米级,GPS RTK 的精度是厘米级,故可以运用三维激光扫描仪来采集台阶数据,然后将数据导入到爆破设计软件进行设计和布孔。这样在满足精度要求的前提下,既可减少工作量,也可提高工作效率。

开发适用于安卓系统的爆破设计软件,进一步实现在手机、平板电脑上的智能爆破设计。RTK 手簿和移动站之间采用的是蓝牙技术进行通信,同时也可以实现 RTK 手簿和手机、平板电脑、笔记本电脑之间进行无线数据传输,布孔和验孔都会变得更加方便。

4 结论

1) 使用 RTK 精确布孔技术后,布孔精度有了明显的提升。与人工拉尺布孔相比,采用 RTK 技术的布孔误差降低了近 20%,爆破作业现场孔位布设与爆破设计更加契合。RTK 精确布孔技术与其他布孔方式相比,作业效率有了大幅度的提高,使用 RTK 布孔后,单个工作人员就能完成布孔工作,且布孔效率较高,与使用全站仪布孔相比,效率约提高了 1 倍。

2) 使用 RTK 精确布孔技术以后,爆破效果有了明显改善,爆破以后台阶底部基本上没有残留根底,块度分布也更均匀,大块率明显降低。据矿方统计数据显示,爆破大块率可以由 5.0% 左右降低为 2.6%。

3) 精确布孔技术既减少了二次破碎的费用,又提高了挖运的效率,可降低爆破成本。

参 考 文 献

- [1] 董立国. 露天采石场中深孔爆破的布孔实践[J]. 河北煤炭, 2009(4): 11-13.
Dong Ligu. Practice on the hole arrangement of deep-hole blasting in open-air quarries[J]. Hebei Coal, 2009(4): 11-13.
- [2] 朱贵波. 露天矿深孔爆破的布孔实践[J]. 有色矿山, 2002, 31(2): 4-7.
Zhu Guibo. Hole arrangement practice of deep-hole blasting in open pit mine[J]. Nonferrous Mines, 2002, 31(2): 4-7.
- [3] 蒲传金. 炮孔因素对露天台阶爆破效果的影响分析[J]. 爆破, 2008, 25(1): 25-28.
Pu Chuanjin. Analysis on the influence of borehole factors on open bench blasting effect[J]. Blasting, 2008, 25(1): 25-28.
- [4] 李玉清, 宋日, 李渊, 等. 露天矿高台阶抛掷爆破炸药配方设计及现场制备[J]. 爆破器材, 2013, 42(3): 37-40.
Li Yuqing, Song Ri, Li Yuan, et al. Design and onsite preparation of explosives used for high step casting blast in open-pit mine[J]. Explosive Materials, 2013, 42(3): 37-40.
- [5] 沈立晋, 刘颖, 汪旭光. 国内外露天矿山台阶爆破技术[J]. 工程爆破, 2004, 10(2): 54-58.
Shen Lijin, Liu Ying, Wang Xuguang. Bench blasting technique in open pit mines at home and abroad[J]. Engineering Blasting, 2004, 10(2): 54-58.
- [6] 李巧莲, 刘军. GPS(RTK)技术在矿山测量中的应用[J]. 采矿技术, 2006, 6(3): 611-613.
- [7] 李芬芳, 尤仁锋, 王迪. GPS 在露天矿孔位放样中的应用[J]. 采矿技术, 2012, 12(2): 96-97.
- [8] 毛家峰. GPS RTK 技术在煤田地质勘探测量布孔中的应用[J]. 煤炭技术, 2008, 27(12): 127-128.
Mao Jiafeng. Application of GPS RTK in arranging holes in coal field geological exploration measure[J]. Coal Technology, 2008, 27(12): 127-128.
- [9] 栗明明, 张云鹏, 吴风华. 基于 RTK 技术实现露天深孔定位[J]. 工程爆破, 2011, 17(2): 43-44, 69.
Li Mingming, Zhang Yunpeng, Wu Fenghua. Open-air deep-hole positioning system based on RTK technology[J]. Engineering Blasting, 2011, 17(2): 43-44, 69.
- [10] 杨方盛. 全站仪在工程放样中精度的研究[J]. 煤炭技术, 2011, 30(7): 119-120.
Yang Fangsheng. Study of project lofting accuracy of electronic tachymeter total station[J]. Coal Technology, 2011, 30(7): 119-120.
- [11] 肖福坤. 炮孔计算机辅助设计系统研究[J]. 煤炭技术, 2006, 25(10): 35-36.
Xiao Fukun. Research on blast-hole computer-aided design system[J]. Coal Technology, 2006, 25(10): 35-36.
- [12] 王佩佩. 露天矿生产爆破设计软件研究与开发[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
Wang Peipei. Research and development of production blasting design software of open-pit mine[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.
- [13] 熊代余, 顾毅成. 岩石爆破理论与技术新进展[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

Application Research of RTK in Open-pit Mine Hole Arrangement

WANG Yi, YANG Jun, XU Zhenyang, YU Deyun

State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology (Beijing, 100081)

[ABSTRACT] GPS RTK technology was introduced to solve some existing problems about holes arrangement in domestic open pit mine. Theories of accurate and precise measurements and holes arrangement were analyzed. Results show that the application of the RTK technology, compared to the previous ways used to holes arrangement, significantly facilitates in the position accuracy and efficiency. The error of holes arrangement has been decreased by about 20% as well as the efficiency increased by 1 times. Block rate has been effectively reduced from 5.0% to 2.6%. Improvement of blasting effect has been achieved, the secondary blasting and digging costs are saved, and accordingly good economic benefits are obtained.

[KEY WORDS] open pit mine, blasting, holes arrangement, RTK