

项目编号 S2016794

武汉大学大学生创新创业训练计划

项目科研总结

光学水准仪数字化关键技术研究及 其低成本实现

院（系）名 称：测绘学院

专 业 名 称 ： 测绘工程

学 生 姓 名 ： 陈亨 张力飞 江子豪 何欣 何升

指 导 教 师 ： 章迪 实验师

二〇一七年三月

一、摘 要

（一）项目成员基本情况

| | | | | | |
|--------|-----|---------|-----------|------------------------------------|-----------------------|
| 团队成员信息 | 姓名 | 院（系）、专业 | 专业 | | 年级 |
| | 陈亨 | 测绘学院 | 摄影测量与遥感 | | 大三 |
| | 何升 | 测绘学院 | 摄影测量与遥感 | | 大三 |
| | 何欣 | 测绘学院 | 摄影测量与遥感 | | 大三 |
| | 张力飞 | 测绘学院 | 摄影测量与遥感 | | 大三 |
| | 江子豪 | 测绘学院 | 大地测量与卫星导航 | | 大三 |
| | | | | | |
| 导师信息 | 姓名 | 院（系） | 职称 | 专业领域 | E-mail |
| | 章迪 | 测绘学院 | 实验师 | GNSS 测量；变形监测；PC 或智能终端测绘软件、虚拟仿真软件开发 | dzhang@sgg.whu.edu.cn |

（二）选题背景、目的及意义

水准测量是高程控制系统建立的主要手段，在工程建设中仍发挥着不可替代的作用。传统的几何水准测量是利用仪器建立一条水平视线，然后读取视线两端的水准标尺刻划，由刻划读数差计算出标尺立尺点的高差[1]，从而由一点的已知高程，推算另一点的高程。目前在工程建设中，应用广泛的水准仪分为光学水准仪和数字水准仪。光学水准仪虽然成本较低，但需要人工读数，效率低下，同时受到人为读数误差的影响。电子水准仪虽然可以实现自动读数，克服了人为读数误差的影响，工作效率高，但其价格昂贵，且不同厂家水准尺不可通用。

国内外对于数字水准仪的研究颇多，多集中于条码水准尺的编码、解码，但基于光学水准仪和普通“E”形水准尺测量进行数字化自动读数的研究甚少。针对以上现状，本文提出一种数字化的改良光学水准仪，以较低的成本实现了光学水准仪的自动读数，提高了工作效率，克服了人为读数误差的影响。

（三）初步收获和体会

立项至今，已成功实现了光学水准测量中的自动读数。获得了一项软件著作权，并向《测绘地理信息》期刊投稿。经过此次训练，成员的团队协作能力、分析归纳能力、交流沟通能力、动手能力、解决问题能力以及编程能力得到了充分的锻炼与提高，也了解了研究一个课题的基本流程。

二、正文

(一). 选题背景

光学水准仪普遍应用于水准测量中，在传统的光学水准测量工作中，读数和计算都是靠人工完成的，因此不可避免地受到人为因素的影响，人工读数误差和计算所需的较长时间使得工作效率比较低。

本项目所研究的数字光学水准测量系统，采用图像识别技术代替人工读数并自动计算，能够避免人为误差、提高计算速度，在低成本的前提下使水准测量的效率大大提高。此外，本项目的研究对地形变化、水位变化的自动监测等应用也有启发意义和参考价值。本项目的关键是图像识别技术，该技术是当前研究的热门课题之一。项目小组五名成员中有四位来自摄影测量专业，一名来自大地测量专业，对图像识别和测量自动化的研究有浓厚兴趣。小组成员都经历过丰富的水准测量实践，学习过 C、C#、MATLAB 等程序设计课程，并拥有数字图像处理程序开发的实战经验。该课题不仅与成员所学课程有紧密联系，对提高小组成员综合素质也有极大帮助。

(二) 项目成员组成及特长

团队由 5 名学习成绩优异、编程基础好、热爱科研的同学组成。全部通过了英语四级和六级考试，并且通过了全国计算机二级考试。拥有十分丰富的专业知识。

陈亨（摄影测量方向）：担任 2014 级测绘六班班长，有较强的团结协作和组织能力。曾在学生会学习部参与举办过多期“GEO”论坛。喜欢编程，能熟练使用 C、C#、MATLAB 语言。2016 年完成 M 语言编写的“交互式综合平差处理系统”。获得过丙等奖学金和测绘技能大赛三等奖。已通过大学英语四级和六级考试，具有阅读外文文献能力。

何升（摄影测量方向）：专业成绩优异，排名年级前五。喜爱编程，课余时间经常阅读编程书籍并动手编写。通过了全国计算机等级考试二级 C 语言考试和英语四级和六级考试，具有较扎实的编程基础，C/C++编程经验丰富，具备阅读英语文献的能力。2014-2015 年度被评为“优秀学生”并获得优秀学生丙等奖学金。

何欣（摄影测量方向）：爱好编程，喜欢探索，用 c#和 c 语言等计算机语言编写过关于测绘方面的各种小程序。通过全国计算机等级考试二级 C 语言考试和英语四级和六级考试，具有较扎实的编程基础。获得优秀学生、国家励志奖学金等各项荣誉。

张力飞（摄影测量方向）：专业成绩优秀，爱好数学，数学能力突出，具有较强的运用数学解决问题的能力。同时对计算机网络通讯具有浓厚的兴趣，并在自学与网络通讯有关的知识。具备一定的编程能力，通过了英语四级和六级考试，获得过 2014 至 2015 学年的丙等奖学金。

江子豪（大地测量方向）：专业成绩优秀，逻辑思维和推理分析能力较强，擅长写作和表达沟通。高中阶段获得过全国高中生物理竞赛省级三等奖；全国高中生数学竞赛市三等奖；爱眼日征文《亮眼迎未来》市二等奖；“我与长江”主题征文市第十七名。大学阶段通过了英语四级和六级考试，具备一定的英文阅读及写作能力，获得 14-15 学年度丙等奖学金。

（三）成员分工及协调配合情况

| 成员 | 分工 |
|-----|--|
| 陈亨 | 组长。统筹、管理、协调组员之间的工作；软件部分水准尺数字识别模块；软件著作权申请 |
| 张力飞 | 软件部分数字识别模块；程序调试；论文投稿 |
| 江子豪 | CCD 摄像头采购及组装；软件部分摄像头控制模块 |
| 何欣 | 软件部分背景分割模块及数字分割模块 |
| 何升 | 软件测试 |

（四）导师指导情况

章迪:男, 1984 年 9 月生, 湖南韶山人, 研究生学历, 实验师, 注册测绘师, 博士生。研究方向: GNSS 测量、变形监测、PC 或智能终端测绘软件、虚拟仿真软件开发。教学课程:《GNSS 测量与数据处理》、《测量平差课程设计》、《数字测图与 GNSS》、《实用测量技术》。

项目开展过程中, 章老师给予了我们许多帮助。在实验条件上, 多次为我们提供实验场地及器材; 在方案设计上, 多次和我们面对面讨论, 提出宝贵意见; 在整个项目开展过程中, 时常询问我们的进展情况, 督促我们按时完成计划。

（五）项目创新点及特色

1、由普通光学水准仪、水准尺、脚架、尺垫、CCD 摄像头、笔记本电脑及自主开发的测量软件组成一套完整的自动化水准测量系统。

2、CCD 摄像头加装在水准仪目镜前端, 用以捕获目镜中水准尺及十字丝的影像, 代替人眼观察。

3、利用数据传输实现笔记本电脑和 CCD 摄像头的连接, 通过笔记本电脑发送指令使摄像头拍摄影像并上传至笔记本电脑。

4、通过自主开发的测量软件处理图像, 实现读数、计算和是否超限的检核, 以代替人工。

5、与传统的人工测量相比, 该系统受人为因素影响小, 且测量速度较人工快, 工作效率高。

6、整套系统只需在传统光学水准测量工具的基础上添加一个 CCD 摄像头和笔记本电脑两项硬件和一套软件, 实现成本较低。

7、项目实现了水准测量自动化, 在该测量系统上加以改造, 可开发出地形沉降自动监测系统、水位变化自动监测系统等一系列自动测量系统。

8、软件操作简单, 极易掌握; 将软件移植到平板电脑或手机等智能终端, 可增加整个系统的便携性; 便于推广。

（六）项目实施的进展情况及初步取得的创新成果

经过长达两个学期的研究与实践,本项目已经能够初步实现自动识别水准尺读数的功能。

识别的主要思路是将读数的过程分为两个模块进行:识别整数部分与识别小数部分。以中丝的读数过程为例,中丝的整数部分等于中丝下方最临近的数字的大小,只要能够找到中丝下方最近的数字图案,并识别其数值,就能够完成整数部分的读数。读取小数部分的方法是确定中丝与上下最邻近的两个”E”字母符号的最底部的相对位置关系。中丝的小数部分读数等于中丝的位置减去下方”E”字母符号的最底部位置的绝对值除以两个”E”字母符号的最底部之间的距离后再乘以 1cm。将小数和整数部分加在一起就获得了完整的读数(在以上的论述中提及的位置均指图片纵轴方向的坐标位置,下同)。

下面分别展示几个关键功能的效果图:

1、水准尺从背景中分离的效果

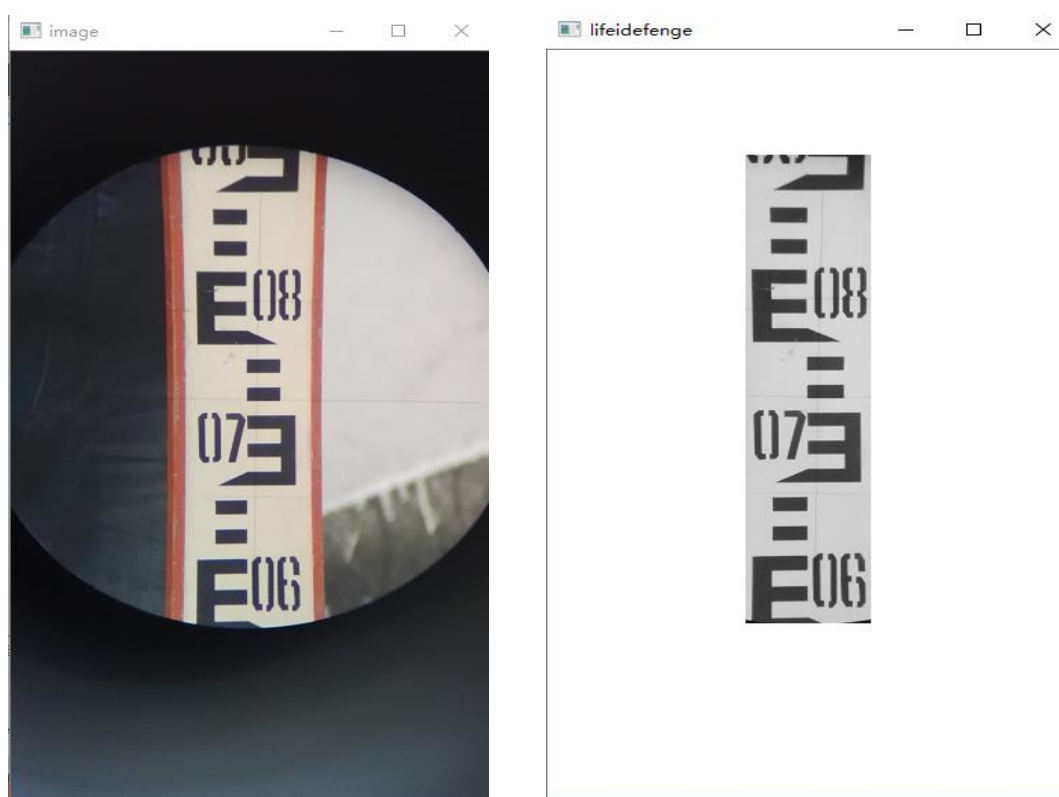


图 1 水准尺分割前后图（左为分割前，右为分割后）

2、初步识别数字位置的效果和去除不正确条带后的效果

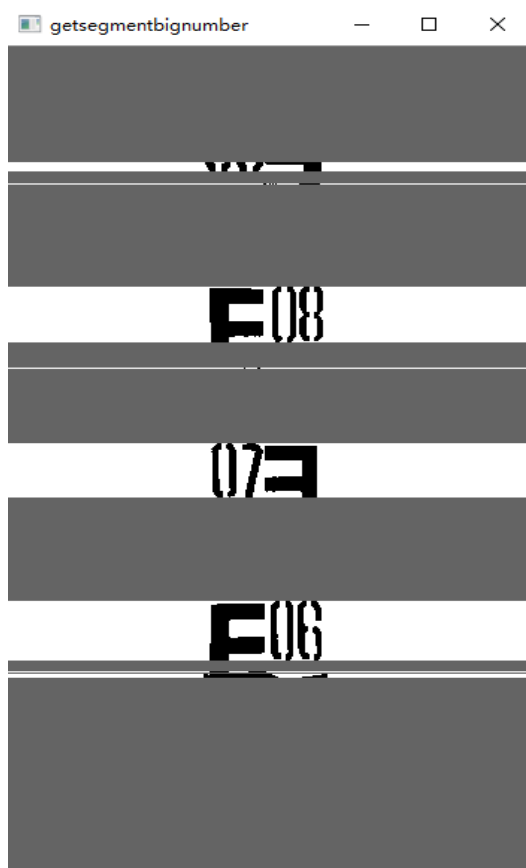


图 2 初步识别数字部分位置结果

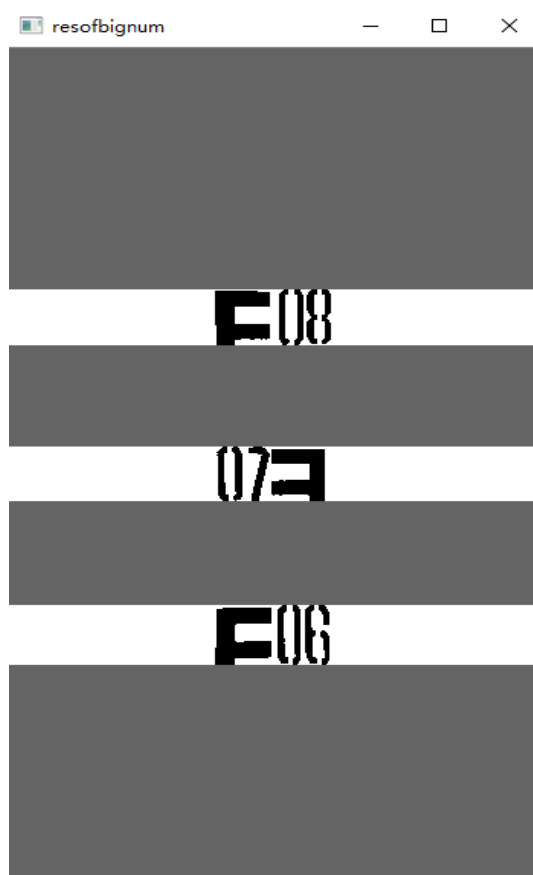


图 3 去掉假条带部分的结果

3、数字单独分割识别的效果

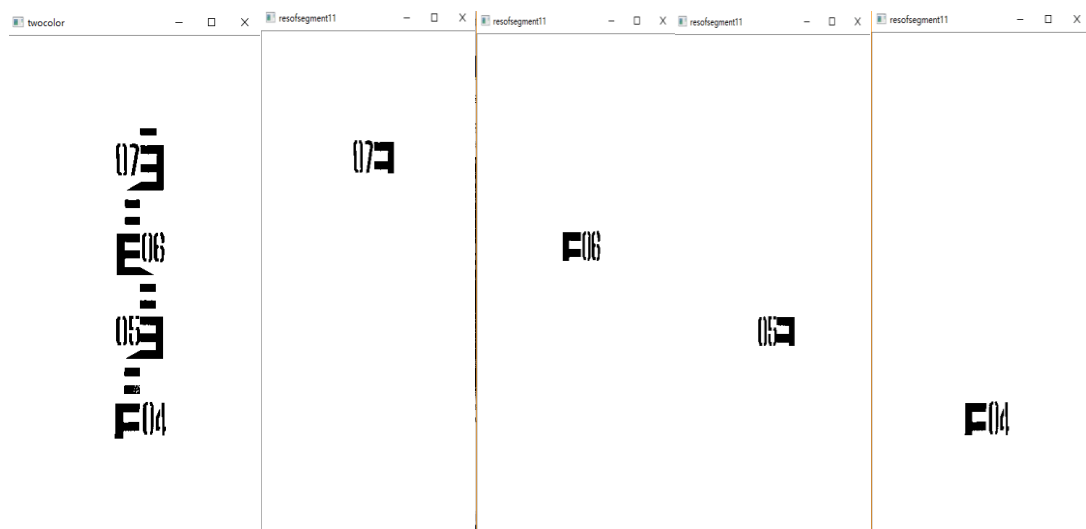


图 4 单独分割数字的效果

4、“E”型图案最底部的位置识别效果

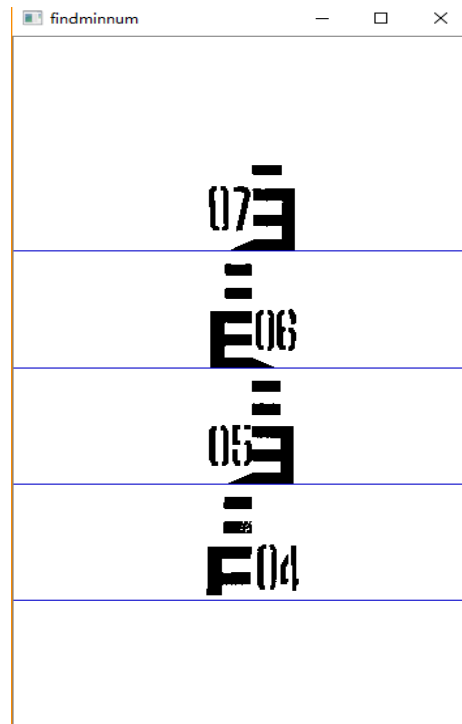


图 5 “E”型图案最底部的位置识别效果

5、学校内试验的过程和结果如下：

设计的方法是在一定范围内进行四等水准测量，测量的路线是一个闭合水准路线,具体路线为武汉大学信息学部友谊广场内。测量线路如图所示。测量时间为 2017 年 2 月 27 日，测量当天天气晴，能见度较高。



图 7 水准测量路线

测量的方法是同时进行人工和软件水准的测量，使用的水准仪是苏一光，参照的测量规范是《国家三四等水准测量规范》。实验结果见附录。

实验结果显示，使用该方法替代传统的测量手段是可行的。

本研究实现了低成本的光学水准仪数字化改进，可以在对水准尺的长期观测中起作用。本文认为，在本研究中还有以下的几个方面有待改进：

(1)、本系统应该具备实时通信的能力，不断地将观测的数据返回一个服务器，实时地将解算结果发送到电子手簿上，并且能够实时检查出超限的情况。

(2)、该方法的稳定性不够好，通常对照片的质量要求较高，如果出现过于暗或者明亮的图片，便不能正常的读数。

(3)、硬件方面没有找到合适的摄像头，建议定制一种可以通过蓝牙传输照片的摄像头，或者可以采用 4G 卡来实现数据传输的功能。

(4)、本方法还未做到实时的结果解算，需要事先将拍摄好的照片读入软件中然后才能解算出结果。希望通过嵌入式开发能够将程序写入硬件之中，以完成实时的结果解算。

(七) 项目实施过程中的收获与体会

本项目历时大概两个学期，以下将从项目初期、中期、末期，三个时期对本项目的实施过程以及从中获得的收获和体会做出阐述。

项目初期时，项目的组员主要讨论项目实施的方案，以及进行相应理论知识、编程知识的学习。虽然我们在项目答辩中已经给出了大体的实施路线，但是这些对于项目的实施是不够的。项目的每一步都要非常详细，要把每一步细分到最小化，同时使其可行性达到最大。

同时我们还要考虑方案的精度和可靠性。所以在真正实施项目前，我们进行了多种方案的讨论。比如大致有两种实施的思路，一种是用计算机完全模仿人言读数的方法进行光学水准尺的读数，另外一种制作一个模板水准尺，利用匹配的方法进行光学水准尺的自动读数。考虑到匹配的计算量比较大，于是我们决定采用前一种方法。因为前一种方案计算速度会较快，而水准测量中读数必须具备及时性，如果自动读数不能达到人眼读数的速度甚至非常缓慢的话，那么自动读数将会失去实用价值而无法被采用。因此我们考虑到读数的及时性，我们最终选择了前一种方案。在确定好项目实施的具体方案后，我们还进行了相关的知识的补充。由于本项目主要为图像的处理，因此我们学习了使用 opencv 进行 MFC 编程的相关知识，以及图像处理中于本项目相关的算法，比如 K-最邻近算法、基于不变矩的字符识别算法、背景分离算法、角点识别算法、在空间域中的图像预处理相关算法等。对于初期的工作主要是一个制定详细可行、精度可靠方案的过程，同时也是一个知识储备的过程。因此从中我们也体会到在进行一个项目实施时，我们以往学习的知识和理论是远远不够的，必须进行相应的补充和拓展，因此学习能力在项目实施中是非常需要的。项目初步阶段，由于缺乏科研经验以及知识储备有限，我们感觉有些不知所措，但这一阶段也是我们自我提升的过程。为了解决图像分割、模板匹配等图像识别中的关键性问题，我们参考了大量的算法，并借鉴了图像识别领域中成功且比较经典的案例，如人脸识别技术、车牌识别技术；为了编写处可视化的程序，我们阅读了许多 MFC 编程相关的书籍；另外，我们还对摄像头进行了反复的测试，以保证摄像头能够安装到水准仪的目镜上并拍摄清晰的图像。通过这一阶段的学习，我们掌握了许多新知识和技能。

项目中期时，项目的组员主要进行程序的编写。我们大致把项目分为：图像预处理、水准尺背景分离、角点识别、水准尺字符识别、三丝在图像中位置的确定以及最后的读数的推算。针对这六个部分，我们进行了分工，同时每个问题大概由两个人合作完成。在上述问题

的解决过程中，我们发现目前现有的相关的算法虽然理论基础很坚实，但对于我们的项目而言并不适用。因此在学习相关的算法时，还学要结合项目进行相应的改进。甚至在得不到好的改进算法时，我们甚至要自己针对项目给出一种原创算法。接着在算法实现的过程中，我们不可避免的遇到了许多编程方面的问题，有时一个程序错误要花好几天才能找出。因此在编程时，规范对于程序后续的改错会有很大的帮助。同时为了程序的相互交流，程序的必要备注显得必不可少。当然最重要的是遇到难以解决的问题时，我们进行的及时交流，以及坚持不懈的恒心，使得我们总能解决相应的问题。所以在中期，我们最大的体会是：方法要有针对性，要多交流讨论，最重要的是要坚持。项目开展过程中，难免会遇到一些阻力。比如，程序经常出现 BUG，数字识别准确度不高等问题。一系列的困难使我们有时候感到很无奈和迷茫，甚至想放弃。幸运的是，在指导老师悉心的帮助下，我们度过了难关。我们对程序进行反复检查并改进，最终修了程序中的漏洞；我们借来仪器，在不同环境下拍摄了大量的水准尺照片，为数字识别提供了足够多的模板以提高识别的准确度。

项目末期时，我们主要对程序进行了优化。对于之前编写的代码，我们进行了整理。对于可以编写为方法的代码，尽量编写为一个函数方法进行调用。对于每个函数尽量不超过 80 行，对于超过 80 行的尽量拆写为多个函数。总之使得程序具有好的组织性、可读性、稳健性。此外我们还进行了相应的实验：我们利用一个下午的时间进行相应的水准测量的实验。最后我们进行了项目的最后总结和交流，对于项目实施中关键问题以及关键的解决方法进行了归纳总结。

总体而言通过本次科研项目，我们收获都很多。大致有以下几点：1）交流和团结是做项目必不可少的；2）学习能力对于问题的解决至关重要；3）坚持不懈的恒心是团队不断向前的重要保证；4）创新往往可以另辟蹊径，巧妙地解决难题；5）取长补短，相互学习是团队不断进步的推力。6）严谨的态度是质量和精度的保证。

在将近两学期的项目研究过程中，我们收获了许多知识。动手实践提高了我们解决问题的能力，激发了我们对专业学习的热情，也培养了团队协作精神。这个阶段的经历必将对我们今后的学习和工作产生积极的影响。

(八)、附录

1、人工读数结果

表 1 人工读数结果

| 测站 编号 | 后 | 上丝 | 前 | 上丝 | 方向及尺 号 | 水准尺读数 | | K+黑 -红 | 高差中数 |
|----------|-------|----|-------|----|-----------|-------|------|-----------|------|
| | 尺 | 下丝 | 尺 | 下丝 | | 黑面 | 红面 | | |
| | 后距 | | 前距 | | | | | | |
| | 视距差 d | | 累积差Σd | | | | | | |
| 1 | 1309 | | 1297 | | 后 | 1271 | 6047 | +11 | +13 |
| | 1232 | | 1223 | | 前 | 1260 | 5932 | +15 | |
| | +77 | | +74 | | 后-前 | +11 | +115 | | |
| | +0.3 | | | | 计算 | | | | |
| 2 | 1238 | | 1376 | | 后 | 1162 | 5949 | +0 | -134 |
| | 1087 | | 1217 | | 前 | 1297 | 5982 | +2 | |
| | +151 | | +159 | | 后-前 | -135 | -33 | | -121 |
| | -0.8 | | -0.5 | | 计算 | | | | |
| 3 | 1384 | | 1206 | | 后 | 1291 | 5978 | +0 | +182 |
| | 1199 | | 1013 | | 前 | 1110 | 5895 | +2 | |
| | +185 | | +193 | | 后-前 | +181 | +83 | | +61 |
| | -0.8 | | -1.3 | | 计算 | | | | |
| 4 | 1291 | | 1091 | | 后 | 1235 | 6021 | +1 | +212 |
| | 1179 | | 0952 | | 前 | 1021 | 5710 | -2 | |
| | +112 | | +139 | | 后-前 | +214 | +311 | | +273 |
| | -2.7 | | -4.0 | | 计算 | | | | |
| 5 | 1134 | | 1382 | | 后 | 1051 | 5738 | +0 | -257 |
| | 0968 | | 1234 | | 前 | 1308 | 6095 | +0 | |
| | +166 | | +148 | | 后-前 | -257 | -357 | | +16 |
| | +1.8 | | -2.2 | | 计算 | | | | |
| 6 | 1360 | | 1267 | | 后 | 1294 | 6082 | +1 | +98 |
| | 1228 | | 1128 | | 前 | 1196 | 5885 | -4 | |
| | +132 | | +139 | | 后-前 | +98 | +197 | | +114 |
| | -0.7 | | -2.9 | | 计算 | | | | |

2、软件计算结果

表 2 软件读数结果

| 测站 编号 | 后 尺 | 上丝 | 前 尺 | 上丝 | 方向及尺 号 | 水准尺读数 | | K+黑 -红 | 高差中数 |
|----------|--------|----|--------|----|-----------|-------|----|-----------|------|
| | | 下丝 | | 下丝 | | 黑面 | 红面 | | |
| | 后距 | | 前距 | | | | | | |

| | 视距差 d | 累积差 Σd | | | | | |
|---|-------|----------------|-----|------|------|-----|------|
| 1 | 1308 | 1297 | 后 | 1271 | 6047 | +11 | +14 |
| | 1232 | 1223 | 前 | 1260 | 5931 | +16 | |
| | +76 | +74 | 后-前 | +11 | +116 | | |
| | +0.2 | | 计算 | | | | |
| 2 | 1237 | 1375 | 后 | 1161 | 5949 | -1 | -134 |
| | 1087 | 1217 | 前 | 1296 | 5982 | +1 | |
| | +151 | +158 | 后-前 | -135 | -33 | | -120 |
| | -0.7 | -0.5 | 计算 | | | | |
| 3 | 1384 | 1206 | 后 | 1291 | 5977 | +1 | +180 |
| | 1199 | 1014 | 前 | 1110 | 5897 | +0 | |
| | +185 | +192 | 后-前 | +181 | +80 | | +60 |
| | -0.7 | -1.2 | 计算 | | | | |
| 4 | 1289 | 1090 | 后 | 1235 | 6020 | +2 | +212 |
| | 1176 | 0952 | 前 | 1021 | 5709 | -1 | |
| | +113 | +138 | 后-前 | +214 | +311 | | +272 |
| | -2.5 | -3.7 | 计算 | | | | |
| 5 | 1134 | 1383 | 后 | 1051 | 5738 | +0 | -257 |
| | 0968 | 1234 | 前 | 1308 | 6095 | +0 | |
| | +166 | +149 | 后-前 | -257 | -357 | | +15 |
| | +1.7 | -2.0 | 计算 | | | | |
| 6 | 1360 | 1267 | 后 | 1295 | 6082 | +0 | +98 |
| | 1229 | 1128 | 前 | 1197 | 5885 | -1 | |
| | +131 | +139 | 后-前 | +98 | +197 | | +113 |
| | -0.8 | -2.8 | 计算 | | | | |

3、原始测量手簿

自_____至_____ 日期_____ 时间_____
 仪器型号_____ 天气_____ 影像_____
 组号_____ 观测者_____ 记录者_____

| 测站 编号 | 后 | 上丝 | 前 | 上丝 | 方向及 尺 号 | 水准尺读数 | | K+黑 —红 | 高差中数 | 备注 |
|----------|-------|----|----------------|----|------------|-------------------|-------------------|-----------|------|----|
| | 尺 | 下丝 | 尺 | 下丝 | | 黑面 | 红面 | | | |
| | 后距 | | 前距 | | | | | | | |
| | 视距差 d | | 累积差 Σd | | | | | | | |
| 1 | 1309 | 1 | 1297 | 2 | 后 | 1271 ³ | 5932 ⁴ | +26① | +13 | |
| | 1232 | 5 | 1223 | 6 | 前 | 1260 ⁷ | 6047 ⁸ | +10② | | |
| | +77 | ③ | +74 | ④ | 后—前 | +11⑤ | ⑥115 | ⑦+26 | | |
| | +3 | ⑧ | ⑨ | | | ⑩ | | | | |
| 2 | 1238 | | 1276 | | 后 | 1162 | 5949 | +0 | | |
| | 1087 | | 1217 | | 前 | 1297 | 5982 | +2 | | |
| | +151 | | +159 | | 后—前 | 5135 | 122 23 | | | |
| | -8 | | -5 | | | | | | | |
| 3 | 1384 | | 1206 | | 后 | 1291 | 5978 | 0 | | |
| | 1199 | | 1013 | | 前 | 1110 | 5895 | +2 | | |
| | +185 | | +193 | | 后—前 | +181 | +87 | | | |
| | -8 | | -13 | | | | | | | |
| 4 | 1291 | | 1091 | | 后 | 1235 | 5710 | +12+ | | |
| | 1179 | | 0952 | | 前 | 1021 | 6021 | -12 | | |
| | +112 | | +139 | | 后—前 | +214 | +311 | +13 | | |
| | -27 | | -1574 | | | | | | | |

图 8 原始测量手簿