

JJF(浙)

浙江省地方计量技术规范

JJF(浙) 1187—2022

地下水封石洞油库容量校准规范

Calibration Specification for Capacity of Underground Oil Storage
in Rock Caverns

2022-05-07 发布

2022-08-07 实施

浙江省市场监督管理局 发布

地下水封石洞油库容量 校准规范

JJF (浙) 1187-2022

Calibration Specification for Capacity of
Underground Oil storage in Rock Caverns

归口单位：浙江省市场监督管理局

主要起草单位：舟山市质量技术监督检测研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

浙江海洋大学

宁波上航测绘有限公司

本规范委托舟山市质量技术监督检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

李存军（舟山市质量技术监督检测研究院）

陈贤雷（舟山市质量技术监督检测研究院）

吴泽南（舟山市质量技术监督检测研究院）

郝华东（舟山市质量技术监督检测研究院）

施浩磊（舟山市质量技术监督检测研究院）

参加起草人：

王金涛（中国计量科学研究院）

竺柏康（浙江海洋大学）

包江（宁波上航测绘有限公司）

陈俊学（舟山市质量技术监督检测研究院）

目录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 术语.....	1
3.2 计量单位.....	2
4 概述.....	2
4.1 地下水封石洞油库构造.....	2
4.2 地下水封石洞油库用途.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 容量.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 技术条件.....	2
6.3 安全条件.....	2
6.4 校准用标准器及配套设备.....	3
7 校准方法.....	4
7.1 校准前准备.....	4
7.2 三维激光扫描法测量步骤.....	4
8 容量表的编制.....	7
9 校准结果表达.....	8
附录 A 全站仪法.....	9
附录 B 控制网的布设方法和要求.....	13
附录 C 原始记录参考格式.....	19
附录 D 校准证书内页参考格式.....	25
附录 E 容量表参考格式.....	26

引言

本规范是根据各类地下水封石洞油库的设计、建造和使用情况，对其计量特性、容量校准方法和数据处理方法等进行约定，适用于地下水封石洞油库容量校准。

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。本规范所用术语，除在本规范中专门定义的外，均采用 JJF1001《通用计量术语及定义》和 GB/T 14911《测绘基本术语》，本规范所用计量单位均采用国家法定计量单位。

本规范是首次制定。

地下水封石洞油库容量校准规范

1 范围

本校准规范适用于单座洞罐容量不小于 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$, 人工建造的用于储存原油、成品油的地下水封石洞油库首次使用前的容量校准。其他类似洞库容量校准可参考本规范。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB 50026-2020 工程测量规范

GB/T 50455-2020 地下水封石洞油库设计标准

GB 50996-2014 地下水封石洞油库施工及验收规范

凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本规范; 凡是不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语和定义

GB/T 50455-2020、GB 50026-2020 界定的及以下术语适用于本规范。

3.1.1 参照水平面 reference level

在对洞室和巷道内附件的起止点进行测量时, 由水准仪视准轴水平旋转形成的由充装液体所形成的水平面。

3.1.2 标高 elevation

由水准仪和标高尺所测量的某一点到参照水平面的高度。

3.1.3 计量管 measuring tube

计量洞罐内沿垂直方向安装的用于测量油品液位高度的定位管段。

3.1.4 计量基准点 datum point

位于计量管正下方的洞底以上位置, 用于计量起始的参照点。

3.1.5 参照高度 reference height

计量管液位计安装平面至计量基准点之间的垂直距离。

3.2 计量单位

计量单位采用国家法定计量单位。

4 概述

4.1 地下水封石洞油库构造

水封洞库是一种地下岩洞中的油库，由若干洞罐组成，洞罐由洞室、洞室封头、连接巷道、施工巷道、计量管、密封塞、竖井、泵坑、集水池、各类管线和其他附件组成。

4.2 地下水封石洞油库用途

水封洞库是利用“水封”原理，将原油及其产品储存于地下，经过容量标定后，具有了计量特性，成为一种特殊的计量容器。

5 计量特性

5.1 容量

给出水封洞库容量的实际值，其单个洞罐总容量校准的扩展不确定度应满足以下要求：

采用三维激光扫描法的校准扩展不确定度为 0.15% ($k=2$)；

采用全站仪法的校准扩展不确定度为 0.25% ($k=2$)。

6 校准条件

6.1 环境条件

洞罐内无明显振动干扰源；洞罐内空气中应无明显悬浮灰尘、颗粒；避免直射光源对光电测量设备干扰；环境相对湿度： $\leq 95\%$ 。

洞罐内应无明显积水、渗水、大石块和泥浆等障碍物和杂质。

6.2 技术条件

在新建水封洞库工程验收后，封闭水封洞库前进行校准。

若洞罐表层附着黑色强吸光介质，则无法使用全站仪法和三维激光扫描法。

6.3 安全条件

校准人员必须遵守相关安全规范，避免交叉作业。

校准人员若进行高空作业，应使用牢固耐磨的安全带，并确保登高设备牢固、安全；避免陷入积水明显区域（如集水池等）。

校准人员必须穿着工作服、防护鞋，佩戴手套和安全帽，防毒面具和护目镜等防护用品根据现场实际情况选择佩戴。

空气中氧气、有害气体、粉尘含量等应符合 AQ 3028-2008 化学品生产单位受限空间作业安全规范的要求。

6.4 校准用标准器及配套设备

校准用标准器及配套设备主要技术参数见表 1 和表 2。

表 1 校准用标准器技术参数表

设备名称	测量范围	准确度等级或最大允许误差	备注
全站仪	(1.5~1000) m	测角准确度等级: 不低于 II 级 测距准确度等级: 不低于 II 级	
三维激光扫描仪	(0.6~130) m	测距最大允许误差: $\pm (2+10 \times 10^{-6}L)$ mm 水平和垂直方向测量最大允许误差: $\pm 20''$ (注: L 是测量距离, 单位 m)	
钢卷尺	(0~100) m (0~200) m	II 级	使用时进行修正
测深钢卷尺	(0~50) m	最大允许误差: ± 2 mm	使用时进行修正
激光测距仪	(0.5~100) m	± 1.5 mm	
自动安平水准仪	(1~100) m	DSZ3 级及以上	自动补偿

表 2 校准用配套设备技术参数表

设备名称	型号规格/测量范围	备注
空盒气压表	(800~1060) hPa	± 2 hPa
温湿度表	(-10~50) °C (10~95) %RH	最大允许误差: ± 1.5 °C; $\pm 7\%$ RH
温度计	(-10~50) °C	最大允许误差:

设备名称	型号规格/测量范围	备注
		$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 带修正值使用
标高尺	(0~3) m	最大允许误差: $\pm 1\text{mm}$
防爆灯具	——	满足要求
对讲机	——	满足要求
安全带	——	满足要求
棱镜	——	满足要求
三脚架	——	满足要求
对中杆	——	满足要求
便携式有毒有害气体检测仪	——	满足要求
数据处理软件	——	满足本规范的计算要求

7 校准方法

7.1 校准前准备

校准前环境条件、技术条件、安全条件分别满足 6.1、6.2、6.3 的要求。选择三维激光扫描法或全站仪法进行测量，全站仪法见附录 A。

7.2 三维激光扫描法测量步骤

7.2.1 三维激光扫描法布设方法的选择

三维激光扫描法设站方法分为控制网布设、标靶布设和控制网—标靶混合布设方法，在满足测量不确定度要求的前提下，根据现场实际情况进行选择。

7.2.1.1 控制网布设方法

参照附录 B 的方法建立控制网，根据控制点坐标确定每一站三维激光扫描仪的坐标和方位角。

7.2.1.2 标靶布设方法

标靶选用可旋转平面标靶或球形标靶，推荐选用球形标靶，标靶布设应符合下列规定：

- a) 标靶应均匀布置且高低错落，满足点云数据拼接要求；
- b) 相邻扫描站的公共标靶个数应不少于 3 个；

c) 标靶与扫描仪间的距离应与扫描仪性能、扫描参数设置相匹配, 确保能准确拟合靶心坐标, 且靶心坐标拟合误差不超过 1mm。

7.2.1.3 控制网—标靶混合布设方法

为了减少扫描仪基于标靶方式多站拼接的累计误差, 可以将水封洞库分成若干段, 每一段采用标靶拼接方式布设, 段与段直接采用控制网方式布设。

7.2.2 洞室点云数据采集

7.2.2.1 扫描站布设

扫描站的布设应符合下列规定:

- a) 扫描站应设置在机器视野开阔、地面稳定的安全区域;
- b) 扫描站扫描范围应覆盖整个扫描目标物, 可根据三维激光扫描仪测量范围均匀布设站点, 两站间有效点云的重叠度不低于 40%;
- c) 目标物结构复杂、通视困难或线路有拐角的情况应适当增加扫描站, 两站间重叠率不低于 20%;
- d) 采用导线控制网, 在控制点附近布设扫描站进行精扫。

7.2.2.2 数据采集

点云数据采集应满足下列要求:

- a) 扫描前使扫描仪温度与环境温度保持一致;
- b) 确保镜头无起雾现象, 开始测量;
- c) 记录项目名称、扫描日期、扫描站号、扫描站布设简图等信息, 存储扫描数据; 一站扫描结束后, 检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性。

7.2.3 参照高度的测量

将测深钢卷尺尺锤放入液位计导向管中, 使尺带紧贴下尺槽或下尺点标识位置, 缓慢放下尺带, 让尺带在尺锤的重力作用下垂直下落, 尺锤顶部刚好接触到计量基准点, 并确认尺锤直立, 此时读取液位计导向管法兰盘上沿所对应的尺带刻度, 即为液位系统参考高度。收回尺带按以上步骤重新测量, 测量 4 个方位, 四次测量之差最大不得超过 1mm, 取平均值作为参照高度。

7.2.4 计量基准点的测量

在计量基准点附近增加扫描站，确保三维激光扫描仪准确测量基准点坐标。在数据处理软件上完成点云数据配准和坐标系转换后，读取计量基准点的高程坐标作为起算点。

7.2.5 数据处理

数据处理流程包括点云数据配准、坐标系转换、降噪与抽稀、点云提取和体积计算。

7.2.5.1 数据配准

选择控制点、标靶、特征地物点进行点云数据配准时，应采用不少于 3 个同名点建立转换矩阵进行点云配准，配准后同名点的精度应不低于 2mm；

7.2.5.2 坐标系转换

应采用不少于 3 个分布均匀的同名点，通过七参数模型进行坐标系转换，转换时宜固定比例因子，转换残差应小于临近控制点中误差的 1/2；小范围或单一扫描目标物可采用一个已知点和一个已知方位进行坐标系转换。

7.2.5.3 降噪与抽稀

点云数据中存在脱离扫描目标物的异常点、孤立点时，应采用滤波或人机交互进行降噪处理，点云数据抽稀应不影响目标物特征识别与提取。

7.2.5.4 点云提取

点云提取选用 xyz、pts、las 等通用格式。

7.2.5.5 体积计算

a) 洞罐容量

将洞罐按铅垂线均匀切 N 等分的水平薄片 V_i ，薄片高度小于等于 5cm，计算每份薄片体积，累加得到洞罐容量 V 。

$$V = \sum_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

b) 水平薄片体积

水平薄片体积通过均匀切的上下相邻的水平薄片截面面积。

$$V_i = \frac{1}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i \times S_{i+1}}) \times \Delta h \quad (2)$$

式中: $\Delta h = h / N$

S_i ——第 i 个水平薄片的截面面积, mm^2 ;

S_{i+1} ——第 $i+1$ 个水平薄片的截面面积, mm^2 ;

Δh ——水平薄片厚度, m ;

h ——洞罐计算高度最高点 to 最低点的铅锤高度, m ;

N ——水平薄片数量。得到 n 个点为 p_1, p_2, \dots, p_n , 取一点 $o(x, y)$, 其坐标值为 $(0, 0)$, 可在薄片内或薄片外任意位置, 将相邻两点 $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 与 $o(x, y)$ 组成一个三角形, 其面积为 (其值可能为正, 可能为负):

$$S_{\Delta OP_1P_2} = \frac{1}{2}(x_1 \times y_2 - x_2 \times y_1) \quad (3)$$

重复以上步骤对 $\Delta OP_2P_3, \Delta OP_3P_4, \dots, \Delta OP_{n-1}P_n$, 三角形进行计算并累加, 得到水平薄片截面面积为:

$$S_i = \left| \frac{1}{2} \sum_i^n (x_i \times y_{i+1} - x_{i+1} \times y_i) \right| \quad (4)$$

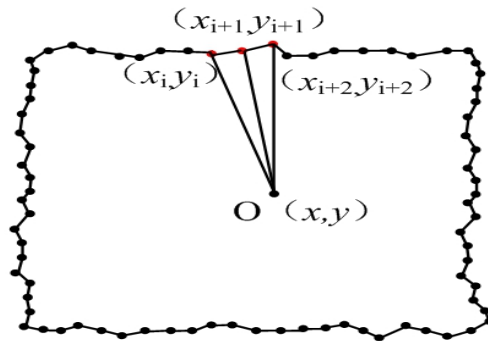


图 1 水平薄片截面面积

8 容量表的编制

容量表的高度最小分度为毫米, 容量最小分度为不大于 0.1m^3 。容量表的起点高度一般为零点, 但液位计有测量盲区时, 容量表也可从液位计的最小高度作为容量表的起点, 但该液位以下高度只作为参考, 不作计量使用。

9 校准结果表达

水封洞库经校准后出具校准证书、容量表和容量表曲线图，原始记录参考格式见附录 C，校准证书内页参考格式见附录 D，容量表参考格式见附录 E。

附录 A

全站仪法

A.1 校准原理

通过建立并测量导线控制网，将洞罐内所有位置的空间坐标统一到一个三维坐标系下。定义洞室的长度延伸方向为 X 轴，X 轴顺时针转 90 度（垂直于洞室延伸）方向为 Y 轴，洞室高程方向为 Z 轴，测量洞罐断面、封头、泵坑、内部附件坐标并记录（记录格式见附录 B），形成洞罐三维坐标模型，应用数据处理软件计算罐容表。

A.2 校准步骤

A.2.1 布设控制网

按附录 B 的方法布设控制网。

A.2.2 断面测量

a) 根据布设的控制网，采用自由设站方式进行传递坐标的测量。自由设站宜选用符合要求且不少于 3 个控制点作为交会基准，设站点各观测方向之间的夹角宜为 $30^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。

b) 设站点的布设应沿着洞室（巷道）中线方向每间隔 2m 布设，在洞室（巷道）折点处应增加设站点。

c) 将全站仪架设在设站点上，整平全站仪，输入气象改正信息，在周边可通视的不应少于 3 点的既有控制点上架设反射棱镜，并应分别量取仪器高和棱镜高，应精确至 1mm；

d) 依次选择并瞄准既有控制点，应逐点逐测回进行方向和距离测量并应自动记录；

e) 应利用自由设站数据处理软件，对观测数据进行处理，计算测站坐标与交会残差，并应进行残差分析；

f) 若某个观测方向的计算残差超限，应舍弃超限方向，并应重新进行交会计算；

c) 将全站仪水平旋转至洞室（巷道）中线垂直方向，按表 A.1 的要求测量断面点并记录。

表 A.1 断面点测量要求

测量位置	点间距 (m)
拱顶部分	≤ 0.3
直线段部分	≤ 0.5

A.2.3 洞室封头测量

a) 将全站仪架设在封头附近的洞室（巷道）中线上，并使得全站仪的最大仰角不大于 60° 。

b) 按自由设站方式获取全站仪坐标和方位角。

c) 将全站仪照准封头边界，依次测量封头边界，封头边界测量点距离步进应不大于表 A.1 规定的距离步进值。

d) 将全站仪照准封头面，在封头边界内，取垂直距离 0.5m，水平距离 0.5m，先垂直方向，再水平方向依次测量封头面上各点坐标。

A.2.4 泵坑/坑道测量

根据泵坑/坑道的几何形状，使用手持激光测距或钢卷尺测量其几何尺寸，并求其体积。测量泵坑/坑道距离最近控制点所在平面的标高差和泵坑/坑道深度计算出泵坑/坑道的起点高度和止点高度。在测量泵坑/坑道上沿标高和深度时，在对称的 4 位置测量并记录，取平均值，当变化较大时，可适当增加测量位置。

A.2.5 内部附件测量

水封洞库内附件一般具有规则的几何形状，测量出其几何尺寸，即可求出其体积。同时还需确定各附件的起点高度和止点高度，即测量各附件的最低点和最高点到控制点所在平面的标高差。对于不能实际测量的附件，也可采用竣工图纸标注的数据。

A.2.6 计量基准点测量

在测量过程中，应使用全站仪对计量基准点 Z 坐标进行测量，并作为容量计算的起点。

A.3 数据处理

A.3.1 洞室与巷道容量计算

a) 将多个洞室和巷道容量按图 A.1 逐层计算, 并按照其高程位置, 纳入总体高程的逐层容量计算中, 从而得到整体的高程—容量表和曲线。

b) 依次将采集的每断面测量数据按 10cm 的高程间隔进行三次样条插值, 计各点坐标为的 X 坐标为 X_{ij} 。(i 为 Y 方向序号, 间距为 Δj ; j 为 Z 方向序号, 间距为 Δi)

c) 计算 j 层面积为:

$$S_j = \sum_{i=2}^n \frac{\Delta_i \times (L_{ij} + L_{(i+1)j})}{2} \quad (\text{A.1})$$

式中 L_{ij} 为 x_{ij}^R 、 x_{ij}^L 之间直线距离 $L_{ij} = |X_{ij}^R - X_{ij}^L|$ 。

d) 单个洞室/巷道的在 j 高程处容量为:

$$V_j = \sum_{i=2}^j \frac{\Delta_j (S_j + S_{j-1})}{2} \quad (\text{A.2})$$

e) 单个洞室/巷道的总容量为:

$$V = \sum_{i=2}^m \frac{\Delta_j (S_j + S_{j-1})}{2} \quad (\text{A.3})$$

f) 洞室与巷道在 j 高程总容量为:

$$V_{j\text{总}} = \sum V_j \quad (\text{A.4})$$

g) 洞室与巷道在总容量为:

$$V_{\text{总}} = \sum V \quad (\text{A.5})$$

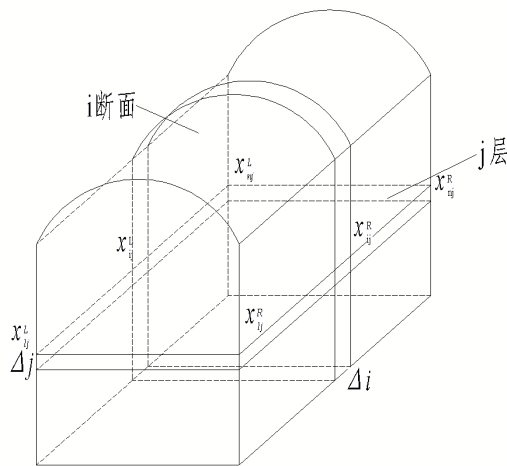


图 A.1 洞室与巷道容量计算示意图

A.3.2 内部附件数据处理

洞室内的进出管线、泵阀及其他附件体积按几何形状计算，在编制容量表时，应在其起点高程与止点高程之间平均扣除；当附件体积使洞室有效容量增加时则应平均增加。

A.3.3 泵坑/坑道数据处理

对于圆柱形泵坑，各直径变化位置对应的直径值按照该值的高程排序，并计算泵坑上沿及泵坑底板高程。泵坑体积计算公式如下，其他形状泵坑/坑道根据其几何形状进行计算。

$$V = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} \pi (R_i^2 + R_{i+1}^2) \cdot |H_i - H_{i+1}| \right) \quad (\text{A.6})$$

在编制容量表时，直径变化位置之间的体积计算按照相邻直径变化位置直径值的线性插值进行计算。

附录 B

控制网的布设方法和要求

B.1 平面控制网

B.1.1 采用导线测量方法建立平面控制网。

B.1.2 导线测量的原理

导线测量的原理是在地面上按一定要求选定一系列的点，每一个点都设置测量标志，将相邻点连接后构成地面上的导线。测量各导线边的长度和各导线点（控制点）的转折角，再将观测结果归算到平面坐标系上。

如图 B.1 所示，以已知的 K_1A 边平面坐标方位角 α 为起始水平方位角，用归算后的折角依次推算各导线边的坐标方位角。根据起始控制点 K_1 的已知平面直角坐标 (X_{k1}, Y_{k1}) 和平面导线上各导线边的长度及坐标方位角，逐个推算出各控制点的平面直角坐标。

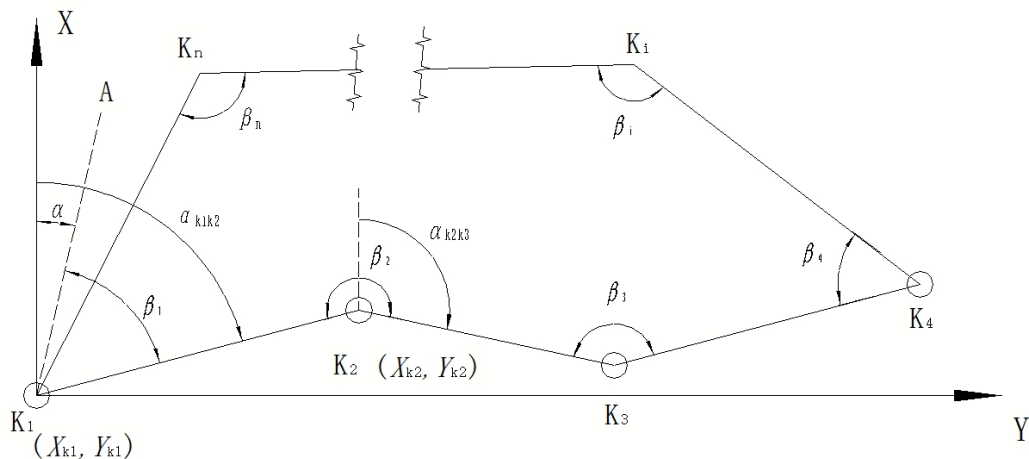


图 B.1 导线测量基本原理图

B.1.3 导线控制测量的技术要求

B.1.3.1 导线控制测量的主要技术应符合表 B.1 的要求。

表 B.1 导线控制测量的主要技术要求表

导线长度 L (km)	测角中误差 ($''$)	测距中误差 (mm)	测距相对中 误差	方位角闭合 差 ($''$)	导线全长闭 合差
$2 \leq L < 5$	2.5	18	1/80000	$5\sqrt{n}$	$\leq 1/35000$
$L < 2$	5	15	1/30000	$10\sqrt{n}$	$\leq 1/15000$

B.1.3.2 导线控制网布设与测量原则:

a) 能够布设为闭合导线的应布设为闭合导线, 不能布设为闭合导线的采用支线形式布设;

b) 控制点位应选在稳固地段, 视野应开阔且方便加密、扩展和寻找;

c) 相邻控制点之间应通视良好, 确保洞室(巷道)内任意位置两个以上控制点可通视;

d) 相邻两点之间的视线倾角不宜过大;

e) 应充分利用符合要求的原有控制点;

f) 导线相邻边长不易一般不宜超过 1: 3 的比例;

g) 用全站仪测量距离前, 应进行气象元素的测定。读数前应将温度计悬挂在离开地面和人体 1.5m 以外的地方, 且读数精确至 0.2℃; 气压表应置平, 指针不应滞阻, 且读数精确至 50Pa, 并将数据输入全站仪。

B.1.4 导线控制测量的步骤

a) 如图 B.1 所示, K_1 为起始控制点, 设 K_1 点平面坐标为 $(0, 0)$, 在控制点 K_2 处架设全站仪, 在控制点 K_1 、 K_3 处架设棱镜, 整平对中全站仪后, 盘左照准控制点 K_1 处棱镜并测距, 读取水平角读数 $\gamma_{左}$ 和水平距离 $d_{21左}$ 。顺时针转动照准部瞄准控制点 K_3 处棱镜并测距, 读取水平读数 $\beta_{左}$ 和水平距离 $d_{23左}$ 。倒转望远镜, 使成盘右位置, 先瞄准控制点 K_3 处棱镜并测距, 读取水平读数为 $\beta_{右}$ 和水平距离 $d_{23右}$, 再逆时针转动照准部瞄准控制点 K_1 处棱镜并测距, 读取水平读数 $\gamma_{右}$ 和水平距离 $d_{21右}$ 。

b) 将全站仪搬站到下一个控制点, 重复 a) 步骤, 完成全部测量工作。

B.1.5 导线控制测量的数据计算

B.1.5.1 2C 值的计算

为避免产生粗大误差, 对水平读数必须进行校核, 计算 2C 值:

$$2C_1 = \gamma_{左} - (\gamma_{右} \pm 180^\circ) \quad (\text{B.1})$$

$$2C_2 = \beta_{左} - (\beta_{右} \pm 180^\circ) \quad (\text{B.2})$$

要求 $|2C_1 - 2C_2| \leq 15''$ ，如果超过限值，应检查原因并重新测量。每台仪器的2C值均应接近一个常数，如发现变化较大，则应找出原因，并重新对仪器进行检查与校正。

B.1.5.2 水平角的计算

上、下半测回角的计算如下式，如为负数则加 360° 。

$$\alpha_{\text{上}} = \beta_{\text{左}} - \gamma_{\text{左}} \quad (\text{B.3})$$

$$\alpha_{\text{下}} = \beta_{\text{右}} - \gamma_{\text{右}} \quad (\text{B.4})$$

水平角（一测回角） α_i 的计算如下式：

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{\text{上}} + \alpha_{\text{下}}}{2} \quad (\text{B.5})$$

B.1.5.3 导线边长的计算

取两控制点间互测的四个平距值的平均值作为导线边长。

B.1.5.4 角度闭合差的计算

导线角度闭合差是导线测量时内业计算的一部分，其目的是为了减小误差对测量角度的影响，为导线方位角的计算降低误差。

对于闭合导线， n 边形闭合导线内角和的理论值为：

$$\alpha_{\text{理}} = (n - 2) \times 180^\circ \quad (\text{B.6})$$

式中： n ——导线边数或转折角数。

由于观测水平角不可避免地含有误差，致使实测的内角之和测不等于理论值理，两者之差，称为角度闭合差，用 f_β 表示，即：

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - \sum \beta_{\text{理}} \quad (\text{B.7})$$

式中： $\sum \beta_{\text{测}}$ ——实测的内角之和。

方位角闭合差应不大于表 B.1 的规定值。

B.1.5.5 水平角改正的计算

按平均分配原则计算转折角改正数，如果不能整除，余数加到对应边长差最大的角中：

$$V_{\beta} = \frac{-f_{\beta}}{n} \quad (\text{B.8})$$

B.1.5.6 改正后的水平角的计算

改正后的水平角 β_i' 等于所测水平角 β_i 加上水平角改正 γ_{β} ，改正后的闭合导线内角和应等于理论值。

$$\beta_i' = \beta_i + \gamma_{\beta} \quad (\text{B.9})$$

B.1.5.7 各导线边的坐标方位角的计算

根据起始边的已知坐标方位角及改正后的水平角，推算其他各导线边的坐标方位角，最后推算出起始边坐标方位角，它应与原有的起始边已知坐标方位角相等，否则应重新检查计算，如图 B.1 中：

$$\alpha_{k_1k_2} = \alpha + \beta_1' \quad (\text{B.10})$$

式中： $\alpha_{k_1k_2}$ —— K_1K_2 导线边的坐标方位角；

α —— K_1A 的起始方位角；

β_1' —— $\angle AK_1K_2$ 改正后的水平角。

$$\alpha_{k_2k_3} = \alpha_{k_1k_2} + \beta_2' - 360^{\circ} \quad (\text{B.11})$$

式中： $\alpha_{k_2k_3}$ —— K_2K_3 导线边的坐标方位角；

$\alpha_{k_1k_2}$ —— K_1A 的起始方位角；

β_2' —— $\angle K_1K_2K_3$ 改正后的水平角。

以此类推计算所有坐标方位角，最后推算出的起始边坐标方位角，它应与原有的起始边已知坐标方位角相等，否则应重新检查计算。

B.1.5.8 坐标增量的计算

根据已推算出的导线各边的坐标方位角和相应边的边长，计算各边的坐标增量。以图 B.1 中导线边 K_1K_2 为例，其坐标增量为：

$$\Delta x_{k_1k_2} = D_{k_1k_2} \cos \alpha_{k_1k_2} \quad (\text{B.12})$$

$$\Delta y_{k_1k_2} = D_{k_1k_2} \sin \alpha_{k_1k_2} \quad (\text{B.13})$$

B.1.5.9 坐标增量闭合差的计算

闭合导线，纵、横坐标增量代数和的理论值应为零，即：

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x_{\text{th}} &= 0 \\ \sum \Delta y_{\text{th}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.14})$$

实际计算所得的区 $\sum \Delta x_{\text{th}}$ 和 $\sum \Delta y_{\text{th}}$ 不等于零，从而产生纵坐标增量闭合差 W_y ，和横坐标增量闭合差 W_x ，即

$$\left. \begin{aligned} W_x &= \sum \Delta x_{\text{th}} \\ W_y &= \sum \Delta y_{\text{th}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.15})$$

B.1.5.10 导线全长闭合差和导线全长相对闭合差的计算

计算导线全长闭合差 W_D ：

$$W_D = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (\text{B.16})$$

计算导线全长相对闭合差 W_K ：

$$W_K = \frac{W_D}{\sum D_i} \quad (\text{B.17})$$

式中： D_i ——各导线边长；

B.1.5.11 分配坐标增量闭合差

按与边长成正比的原则，将分配坐标增量闭合差分配到各边对应的纵、横坐标增量中去：

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= -\frac{W_x}{\sum D_i} D_i \\ v_{yi} &= -\frac{W_y}{\sum D_i} D_i \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.18})$$

B.1.5.12 改正后的坐标计算

各边坐标增量计算值加上相应的改正数，即得各边的改正后的坐标增量。改正后纵、横坐标增量之代数和应分别为零。

B.2 高程控制网

B.2.1 采用水准测量方法建立高程控制网。

B.2.2 高程控制测量的技术要求

B.2.2.1 高程控制测量的主要技术应符合表 B.2 的要求。

表 B.2 高程测量的主要技术要求

L (km)	每千米高差全中误差 (mm)
$L < 5$	10

B.2.2.2 洞内高程控制测量，应符合下列规定：

- a) 水准点宜按每 200m 间距设置 1 个；
- b) 水准点可利用导线点，也可单独埋设。

B.2.3 高程控制测量的方法

选取适当位置安平水准仪。将标尺立于控制点上，保持垂直，用水准仪依次测量可测范围内的所有控制点标高。测量完成后换站依次测量其他所有的控制点。每次移动水准仪后应重复测量已知标高的临近控制点的标高，使其能修正到同一参照水平面。待所有定位控制点标高测量完成，设测量参照点的相对高程为 0，其余各控制点依此计算高程。能够闭合的控制线的高程闭合差应小于 $(2\sqrt{n})$ mm， n 为单程测站数。不能够闭合的控制线应采用回测到起始控制点进行数据校核，超差应查找原因，重新测量。高程闭合差在允许范围内，进行高程平差计算，将高程闭合差平均分配到控制点的高程上。

附录 C

原始记录参考格式

导线控制网测量外业记录表

受校单位: 罐号: 气温: 气压:

共 页 第 页

测站	测回	目标	盘左	盘右	2C	2C互差	水平角 (° ' ")		距离 (m)			
			° ' "	° ' "	"	"	半测回	一测回	第1次	第2次	互差	平均
			⑤	②	⑤=①-②±180	⑤-⑥	⑦	(⑦+⑧)/2	⑨	⑩	⑨-⑩	(⑨+⑩)/2
			③	④	⑥=③-④±180		⑧					

校准

记录

校核

日期

年

月

日

水准测量内业计算表

点号	测站数 (站)	观测高差 (m)	改正数 (m)	改正后 高差 (m)	高程 (m)
1	2	3	4	5	6
Σ					
f_h (mm) =		$f_{h限}$ (mm) =			

校准

记录

校核

日期

年

月

日

内部附件测量原始记录 (单位: mm)

受校单位:

罐号:

附件	长度	宽度	直径	数量	总体积 (L)	起点	止点

附件简图:

泵坑/坑道测量

形状:

 圆筒 长方体 其他

简图与测量值:

直径	高度	总体积 (L)	起点	止点

校准

记录

校核

日期

年 月 日

附录 D

校准证书内页参考格式

校准结果及说明

1 校准结果:

总容量: _____m³; 相对扩展不确定度: _____%($k=2$)

测量方法: _____。

2 说明:

证书正文结束, 后附容量表和容量曲线表共_____页。

