引文格式：张雪峰, 韩树祥, 石雪峰, 等. GNSS静态观测技术在石油勘探坐标转换中的应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 133-135. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2023.03.030

GNSS 静态观测技术在石油勘探坐标转换中的应用

张雪峰[1]，韩树祥[2]，石雪峰[1]，王亚军[2]
（1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司，天津 300452；2. 东方地球物理公司装备服务处，河北 涿州 072750）

摘　要：随着国家CGCS2000坐标系统的推广使用，我国石油行业存在巨大的坐标系统转换需求。以沁水盆地为例，基于已有国家控制点并新增部分控制点，构建了研究区GNSS控制网，再采用静态观测对各控制点进行两时段的连续观测，然后对观测数据进行处理与解算，求取研究区坐标转换参数，转换成果经过精度验核满足石油行业精度要求。实践表明，GNSS静态观测技术具有精度高、野外操作适应性强、成本较低的特点，适用于石油行业的坐标系统转换。

关键词：GNSS；静态观测；坐标系统转换；沁水盆地
中图分类号：P226⁺.3　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）03-0133-03

Application of GNSS Static Observation Technology in Coordinate Transformation of Petroleum Geophysical Data

ZHANG Xuefeng[1], HAN Shuxiang[2], SHI Xuefeng[1], WANG Yajun[2]
(1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Ltd., Tianjin 300452, China;
2. Equipment Service Department, Eastern Geophysical Company, Zhuozhou 072750, China)

Abstract: With the promotion of the national CGCS2000 coordinate system, there is a huge demand for coordinate system transformation in our petroleum industry. We used existing national control points and adding some new mores in Qinshui Basin to construct a GNSS control network at first. Then, we observed the coordinates of all control points by static observation method continuously. Finally, we processed and calculated the observation data, and obtained the coordinate transformation parameters of the study area. The results met the accuracy requirements of petroleum industry after accuracy verification. This practice shows that the GNSS static observation technology has the characteristics of high accuracy, strong adaptability to field operations and low cost, and is very suitable for the petroleum industry's coordinate system transformation.

Key words: GNSS, static observation, coordinate system transformation, Qinshui Basin

沁水盆地是我国重要的含煤盆地之一，近年来又陆续成为煤层气、致密气的重点勘探区域。由于历史原因，盆地内井位和大部分物探数据均为1954北京坐标系，部分矿权坐标为1980西安坐标系，不同坐标系统的数据无法叠合使用，导致老数据资料的极大浪费[1]。同时，为响应国家推广使用CGCS2000坐标的政策要求，需对盆地内现有物探资料进行坐标系转换。坐标转换已有相对成熟的方法和理论体系，但往往比较宏观，由于这不是一个严密的转换过程，因此受模型算法、参数取值甚至人为条件等诸多因素的制约[2]。每个区域都有“专属的”转换参数，即使是同一区域，采用不同的转换模型，其结果也存在差异[3]。本文采用GNSS静态观测方法，在区域现有控制点的基础上新增了部分测量点，进而构建GNSS静态观测控制网，以此求取坐标转换七参数。经验证，坐标转换结果精度满足石油物探行业需求。相较于传统测量手段，GNSS静态观测技术受限较少、成本较低，具有较强的实用性[4]。

1　GNSS静态测量控制网的布设

1.1　研究区概况

研究区位于山西省中南部，大致为沁水盆地范畴，地跨太原市、忻州市、临汾市、阳泉市、长治市、晋城市6个地区；东西横跨约210 km、南北纵贯约270 km，面积约5.7×10⁴ km²；属于典型的黄土高原黄土塬地貌，地表沟壑纵横，多为黄土层覆盖。

1.2　控制点选址原则与标石

布设GNSS控制网时，点位应选在视野开阔、交通方便、便于长期保存和使用的地方，且远离大功率无线电发射源、高压线和大片水域，以避免周围磁场

收稿日期：2021-11-26；修回日期：2022-02-23。
项目来源：中国海油青年科技与管理创新课题资助项目（JZTW2012KJ45）。
第一作者简介：张雪峰（1979—），博士研究生，工程师，主要研究方向为油气地质勘探，E-mail：zhangxf12@cnooc.com.cn。

对信号的干扰和减弱多路径效应影响[5]。在符合相关技术要求的前提下，所选点位还应方便其他测量手段进行扩展与联测，尽量选择在交通方便的地区，以提高作业效率。另外，近期将有大型工程建设的地区，不利于点位的长久保存。

标石整体为长方体，高度为40 cm，长宽均为20 cm。带十字刻画的不锈钢标志在预制过程中镶嵌在标石体上表面中部，标志直径为6 cm。在作业现场进行深埋，采用水泥、石子搅拌的砂浆筑牢，以保证标石基础坚实稳定、埋设牢固。

1.3 控制网等级与基本参数

根据选址原则，结合研究区现有的12个1954北京坐标系国家三角点分布情况，按照SY/T 5171–2020《陆上石油物探测量规范》物探一级网要求[6]，本文新增23个控制点，构建了研究区GNSS静态观测控制网（图1）。相关参数如表1。该控制网相邻点间的平均距离为53.89 km，符合物探一级网标准，可采用物探一级网限差进行检核。物探一级网基线解算采用双差解和单差解。基线长度大于15 km时，选择双差固定解和双差浮点解中的最优结果，基线解算后，进行重复基线和闭合环检验。

表1 研究区GNSS静态观测控制网相关参数

项目	内容		
坐标系统	1954北京坐标系	1980西安坐标系	CGCS2000
参考椭球	克拉索夫斯基椭球	西安80椭球	CGCS2000
椭球长半轴/ m	6 378 245	6 378 140	6 378 137
椭球扁率	1/298.3	1/298.257	1/298.257 222 101
投影	横轴墨卡托投影（高斯—克吕格）6°分带		
所在投影带	19		
中央子午线经度	111°E		
原点纬度	0°N		
北坐标加常数	0 m		
东坐标加常数	50 000 m		
投影带中央子午线比例因子	1		
高程基准	1985国家高程基准		

2 现场测量作业

本文采用4台Leica 1230和两台Leica GS10双频卫星定位仪观测控制网。所有仪器均经过河北省石油物探计量站的检验，在检定有效期内，持有有效检定证书。按照先整体后局部的原则，在研究区的四角和中部，从12个已知国家控制点中均匀挑选5个点作为框架网进行超长时间观测，用于整体控制网的起算，保证控制网精度的整体控制和误差分布合理。每个点位的观测时长不低于120 min，且至少进行两个时段的连续观测。一个时段观测完成后，重新对仪器进行整平对中，量取天线高并进行记录。采用边连接进行控制网扩展，根据作业调度安排，合理迁站，保证有足够的搬迁时间，保证所有仪器观测同时同步进行。

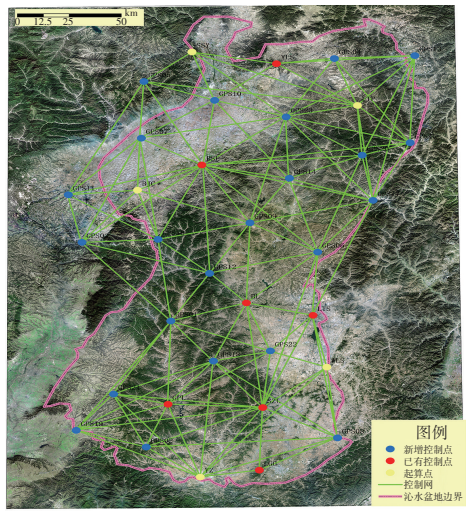


图1 研究区GNSS静态观测控制网

3 数据处理与网平差

3.1 数据处理流程

5个框架网点交由国家地理信息局大地数据处理中心进行高精度处理，与周边IGS跟踪站点联合解算，得到5个框架网点1980西安坐标系、CGCS2000、1954北京坐标系的坐标，作为控制网的起算数据。根据施工设计需求和SY/T 5171–2020《陆上石油物探测量规范》要求对基线质量进行检核。在CGCS2000下进行无约束平差，检验控制网的内符合精度。将国家地理信息中心购买的CQG2000高程异常图进行矢量化，制作为通用型的高程异常GGF模型，在SSOffice中加载获取已知1954北京坐标系控制点的高程异常，并计算得到相应的大地高。采用经典布尔莎三维转换方法求取控制网基准转换七参数，再利用求取的参数对部分已知点进行转换，并与原始坐标进行对比，以检核其精度。利用高程异常GGF模型，将大地高拟合为正常高。数据处理流程如图2所示。

3.2 基线解算与平差

基线解算与网平差均利用TBC2.81软件进行处理。解算得到基线185条，去除一条结果较差的基线，得到重复基线38对；生成同步环204个，最大同步环误差为0.306 ppm；生成异步环333个，最大异步环误差为1.13 ppm，均符合GB/T 18314–2009《全球定位系统（GPS）测量规范》要求[7]。

在经过重复基线较差、同步环闭合差、异步环闭合差检验基线质量合格后，进行无约束平差，分配所有闭合差。在CGCS2000下，固定5个由国家测绘地

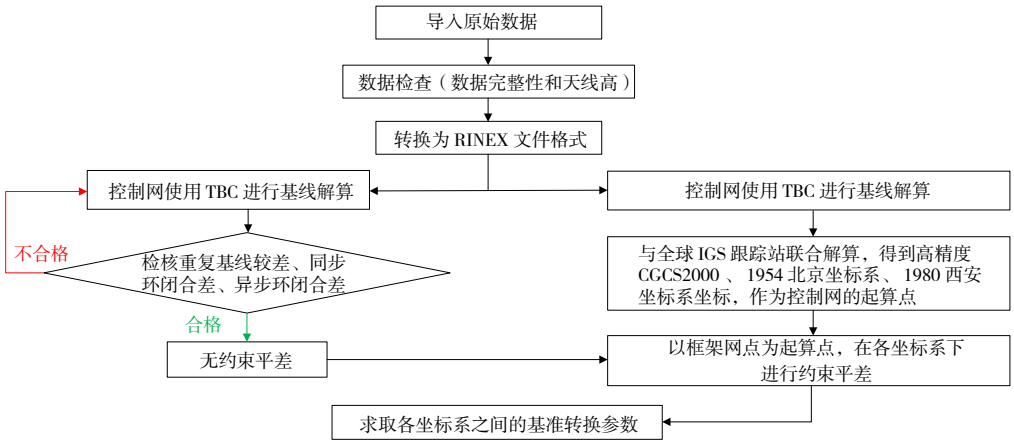


图2　GNSS静态观测数据处理流程图

理信息局大地测量数据处理中心提供的CGCS2000坐标，进行三维约束平差，得到所有网点的CGCS2000坐标。在95%置信度的情况下，x^2 卡方检验（95%）合格，且拥有很高的自由度（表2）。

表2　CGCS2000下的约束平差情况

平差统计		后处理矢量统计	
成功平差的迭代数	2	参考因子	1.00
网参考因子	1.00	冗余号	446.00
x^2 卡方检验(95%)	合格	先验标量	4.35
精度置信水平	95%		
自由度	446		

3.3　坐标转换参数求取与精度检核

将约束平差得到的国家三角点CGCS2000坐标成果、已知的1954北京坐标系成果与大地数据处理中心的成果相互验证后，利用SSOffice3.4软件平台计算研究区1954北京坐标系、1980西安坐标系向CGCS2000转换的转换七参数，并通过2000高程异常图量取已知三角点大地高。求取转换参数后，对转换参数精度进行内部点检核，即对参与转换参数求取的点进行转换。与原成果比较发现（表3），转换参数满足规范中内部点检核 $\triangle x \leqslant \pm 0.3$ m、$\triangle y \leqslant \pm 0.3$ m、$\triangle H \leqslant \pm 0.5$ m的要求，转换参数具有较高的精度，且精度等级一致。

为验证控制网成果与原成果的符合性，将12个三角点转换结果与已知控制点进行比较，结果表明其中10个点满足 $\triangle x \leqslant \pm 0.6$ m、$\triangle y \leqslant \pm 0.6$ m、$\triangle H \leqslant \pm 0.9$ m的外符合检验要求（表4）。另外，两个点北坐标最大为1.105 m，东坐标最大为1.074 m，不排除这两个点与其他三角点不在一个三角锁内或点位所在位置地壳因地震、山体滑坡等外力变动所致[8]。利用高程异常GGF模型拟合得到所有控制网点的正常高，对比12个国家控制点的拟合正常高和已知正常高发现，高程差最大值为1.657 m，其余11个点符合限差要求，说明高程异常模型可靠。

表3　坐标转换精度内部验核残差统计/m

控制点	BJ54–CGCS2000			XA80–CGCS2000			BJ54–XA80		
	dX	*dY*	*dZ*	*dX*	*dY*	*dZ*	*dX*	*dY*	*dZ*
控制点1	0	0.006 9	−0.059 8	0.008 8	0.009 3	−0.064 6	−0.000 6	0.001	−0.001 9
控制点2	−0.000 9	−0.007 7	0.030 4	−0.010 2	−0.008 8	0.032	−0.000 9	0.000 5	−0.001 3
控制点3	−0.004	−0.000 1	0.073 6	−0.006 8	0.009	0.078 9	0	0.001	−0.000 6
控制点4	0.005	−0.000 6	−0.049 6	0.008 4	−0.008	−0.053 9	−0.000 9	0.000 3	−0.001 9

表4　转换后1954北京坐标系结果与原始坐标比对核验统计/m

点号	北坐标差	东坐标差	正常高差
控制点1	0.313	−0.232	0.644
控制点2	0.380	0.032	−0.185
控制点3	−0.013	−0.381	−0.113
控制点4	0.406	0.120	0.163
控制点5	1.105	1.074	0.745
控制点6	−0.239	−0.504	0.219
控制点7	0.168	−0.013	−0.008
控制点8	0.138	0.062	0.476
控制点9	−0.005	−0.036	0.013
控制点10	−0.033	−0.152	0.045
控制点11	0.212	0.111	0.134
控制点12	−0.113	−1.032	1.657

4　结　语

1）利用区域已有控制网点和新增控制点构建区域控制网，可根据精度需求和地形地貌灵活调整控制点的数量和分布情况。控制点整体分布均匀，网型合理。

2）通过静态观测手段进行数据采集，精度较高，野外适应性强，成本和技术要求较低，十分适用于石油行业坐标转换。

3）通过联测大量已知控制点，可进行多方面对

（下转第141页）