

GREAT-PCE 用户指南

目录

第一章 概述.....	1
第二章 卫星钟差解算原理.....	2
2.1 基本观测方程.....	2
2.2 PCE 函数模型.....	2
2.3 随机模型	4
第三章 环境要求和许可证	5
3.1 许可证	5
3.2 环境要求	5
3.3 版权	5
第四章 编译与安装.....	6
4.1 Windows	7
4.2 Linux	10
第五章 软件使用说明	12
5.1 数据下载	12
5.2 GREAT-PCE 软件.....	13
第六章 算例数据处理说明	14
6.1 算例文件目录结构	14
6.2 在VS中进行参数配置与运行	14
第七章 附录.....	16
7.1 PCE XML 配置文件说明	16
7.2 PCE 结果文件说明	20

第一章 概述

GREAT (GNSS+ REsearch, Application and Teaching) 软件由武汉大学测绘学院设计开发，是一个用于空间大地测量数据处理、精密定位和定轨估钟以及多源融合导航的综合性软件平台。软件中，核心计算模块使用 C++语言(C++17)编写，辅助脚本模块使用 Python3 和 C-Shell 语言实现自动化数据处理。其中，所有 C++模块的编写都遵循 Google 开源项目代码风格指南，并且使用 GIT 工具进行版本控制。GREAT 软件使用 CMake 工具进行编译管理，用户可以灵活选择 GCC、Clang、MSVC 等主流 C++编译器。目前软件提供了 Windows 和 Linux 平台的命令行应用程序。

GREAT-PCE 是 GREAT 软件中的一个重要模块，主要用于精密卫星钟差解算。GREAT-PCE 由 2 个可移植程序库组成，分别是 LibGREAT 和 LibGnut。LibGREAT 库主要用于最小二乘解算，包括估计中涉及的数据解码、存储以及 PCE 算法的实现。LibGnut 库来源于开源 GNSS 软件 G-nut，包括 GNSS 数据的解码和存储以及基本参数配置模块。GREAT-PCE 主要特点包括：

- 支持 GPS、GLONASS、Galileo、BDS-2/3 等卫星导航系统
- 支持双频无电离层组合观测值组合方式
- 支持整体解算与仿实时解算两种模式

为服务大地测量与导航领域的青年学子，现开源GREAT软件精密卫星钟差估计部分的代码。此为内测版，时间仓促，不足之处恳请批评指正，我们将持续完善。

第二章 卫星钟差解算原理

2.1 基本观测方程

测码伪距和载波相位是 GNSS 导航定位的两个基本观测量。对于任一 GNSS 系统的任一频率，测码伪距 P 及载波相位 L 观测值（单位为米）可表述为

$$P_{r,n}^s = \rho_r^s + c(t_r - t^s) + \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + T_r^s + dm_{r,n}^s + e_{r,n}^s \quad (2.1)$$

$$L_{r,n}^s = \rho_r^s + c(t_r - t^s) - \gamma_n \cdot I_{r,1}^s + T_r^s + \lambda_n \cdot (b_{r,n} - b_n^s) + \lambda_n \cdot N_{r,n}^s + \delta m_{r,n}^s + \varepsilon_{r,n}^s \quad (2.2)$$

式中：

上标 s 表示卫星的标识；下标 r 和 n 分别表示接收机和频率的标识；

c 表示真空中的光速，单位为米/秒；

t_r 、 t^s 分别为接收机和卫星端的钟差，单位为秒；

$I_{r,1}^s$ 为 L1 频率对应的电离层延迟误差，单位为米；

T_r^s 为卫星信号传播路径上的对流层延迟，单位为米；

γ_n 为与频率 f 相关的电离层系数，即 $\gamma_n = f_1^2 / f_n^2$ ；

λ_n 为载波相位波长，单位为米/周；

$b_{r,n}$ 和 b_n^s 分别表示接收机端和卫星端未检校相位时延的小数部分，单位为周；

$N_{r,n}^s$ 为整周模糊度，单位为周；

$dm_{r,n}^s$ 和 $\delta m_{r,n}^s$ 分别表示伪距和载波相位观测值的多路径效应，单位为米；

$e_{r,n}^s$ 和 $\varepsilon_{r,n}^s$ 分别表示伪距和载波相位观测值的噪声，单位为米；

ρ_r^s 为卫星至接收机的几何距离 $\rho_{r,g}^s$ 及其余延迟项 $d\rho_r^s$ 的综合，单位为米。

卫星至接收机的几何距离 $\rho_{r,g}^s$ 可表示为：

$$\rho_{r,g}^s = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} \quad (2.3)$$

式中： (X^s, Y^s, Z^s) 和 (X_r, Y_r, Z_r) 分别为卫星和接收机在地心地固系下的三维坐标。

GNSS 定位过程中，卫星的坐标通常可由广播星历或精密星历计算得到，接收机的三维坐标当作未知数进行估计。

2.2 PCE 函数模型

从 GNSS 基本观测方程出发，可以构建 PCE 函数模型。对于双频观测数据，

通常采用无电离层（Ionosphere-Free, IF）组合消除一阶电离层延迟的影响。对于传播路径上的对流层延迟，无论是湿分量还是干分量，均可以表达为天顶对流层延迟与对应投影函数的乘积，对流层延迟的干分量通常通过先验模型进行改正，如萨斯塔莫宁模型等，因此这里不再给出。而对流层湿分量由于具有较强的不确定性，难以精确的模型化，因此通常采用参数估计的方式获得对流层湿分量。其他误差如卫星和接收机端天线相位中心偏差（Phase Center Offset, PCO）与天线相位中心变化（Phase Offset Variation, PCV）、相对论效应、固体潮和海潮、相位缠绕等都可以通过已有的误差模型进行改正。另外，由于卫星和接收机端的硬件延迟与钟差参数耦合在一起，因此常将两者合并为一个参数，此时的钟差吸收了硬件延迟部分。因此，卫星钟差估计的观测方程可以表示为：

$$\begin{cases} L_{r,IF}^s = \rho_{r,g}^s + c(dt_{r,IF} - dt_{IF}^s) + m_r^s Z_r + \lambda_{IF}^s (N_{r,IF}^s + b_{r,IF} - b_{IF}^s) + \varepsilon_{r,IF}^s \\ P_{r,IF}^s = \rho_{r,g}^s + c(dt_{r,IF} - dt_{IF}^s) + m_r^s Z_r + e_{r,IF}^s \\ dt_{r,IF} = t_{r,IF} + d_{r,IF} \\ dt_{IF}^s = t_{IF}^s + d_{IF}^s \end{cases} \quad (2.4)$$

式中， $dt_{r,IF}$ 和 dt_{IF}^s 分别表示吸收了码硬件延迟的接收机钟差和卫星钟差。由于不同 GNSS 卫星的频率和信号结构都不相同，因此在同一款 GNSS 接收机中码延迟 $dt_{r,IF}$ 各不相同。因此，在多系统钟差估计过程中，不同卫星系统对应的接收机钟差存在差异，这种差异称为伪距观测值的系统间偏差（Inter-System Bias, ISB）。同样地，在载波相位观测值中，相位延迟也各不相同，也存在类似的系统间偏差。另外由于 GLONASS 不同的卫星有不同的频率系数，因此不同 GLONASS 卫星对应的接收机的硬件延迟也存在差异，被称作为频率间偏差（Inter-Frequency Bias, IFB）。

在对多系统数据进行联合解算的时候，需要考虑 ISB 和 IFB 的影响。对于系统间偏差通常由两种处理方式，一种是独立钟差法，另一种是 ISB 参数法。独立钟差法对不同卫星系统的观测值设置系统独立的接收机钟差参数。当引入 ISB 参数时，则选择一个系统的接收机钟差作为基准钟差，其他系统的接收机钟差则在基准钟差的基础上加上相对于该基准钟差的 ISB 参数，即：

$$dt_{r,g} = dt_{r,G} + d_{r,g} \quad (2.5)$$

其中, $dt_{r,G}$ 表示 GPS 观测值对应的接收机钟差, $d_{r,g}$ 为系统 g ($g = G, R, C, E$ 等) 相对于 GPS 接收机钟差的 ISB, $dt_{r,g}$ 为系统 g 对应的接收机钟差。

由于卫星钟差和接收机钟差被同时解算, 因此方程是秩亏的。一般 P1 和 P2 的无电离层组合观测值被用作解算基准, 当使用其他类型的码类型观测值时需要引入差分码偏差 (Differential Code Bias, DCB) 进行修改。同时, 对于所有估计的 ISB 和 IFB 参数需要引入零均值基准, 即所有测站对同一系统的 ISB 参数的和为零并且对同一频率 GLONASS 卫星的 IFB 参数的和为零。

2.3 随机模型

参见 GREAT-PVT_1.0.pdf (<https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-PVT/tree/main/doc>)

第三章 环境要求和许可证

用户可以使用开源、跨平台的编译工具 CMake 在他们自己的操作系统 (Windows、Linux 或 Macintosh) 上构建可执行的二进制应用程序。

3.1 许可证

GREAT-PCE 是一个开源软件，遵循GNU通用公共许可证 (版本3) (<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>)。

3.2 环境要求

应用程序是由VS (Microsoft Visual Studio)在Windows 11 (64位)上构建的。文件夹中包含了所有必需的动态链接库。

3.3 版权

开发人员:

- 武汉大学 GREAT 团队, Wuhan University

三方库:

- GREAT-PCE 使用G-Nut 库 (<http://www.pecny.cz/>) Copyright (C) 2011-2016
GOP - Geodetic Observatory Pecny, RIGTC.
- GREAT-PCE 使用 pugixml 库 (<http://pugixml.org>) Copyright (C) 2006-2014
Arseny Kapoulkine
- GREAT-PCE 使用 Newmat 库 (http://www.robertnz.net/nm_intro.htm)
Copyright(C) 2008: R B Davies
- GREAT-PCE使用Eigen库 (<https://eigen.tuxfamily.org>) Copyright (C) 2008-2011 Gael
Guennebaud

第四章 编译与安装

该软件包可以通过网站<https://github.com/GREAT-WHU>访问。将软件包 **GREAT-PCE_<ver>.zip** 解压到适当的目录 **<install_dir>**。GREAT-PCE 目录结构如下。

表4.1 GREAT-PCE 软件目录结构

目录/文件	目录/文件	说明
./src		源代码
	./app	GREAT-PCE 主程序
	./LibGREAT	精密卫星钟差解算库
	./LibGnut	Gnut 库
	./third-party	三方库（Eigen）
	CMakeLists.txt	CMakeLists 文件
./ sample_data		算例数据
	./PCE _2020100	PCE 算例
./doc		文档文件
	GREAT_PCE.xml	PCE 配置文件模板
	GREAT-PCE_1.0.pdf	用户指南

4.1 Windows

以下说明展示了如何在 Windows 上构建 GREAT-PCE 可执行程序。

- (1) 通过网站 (<https://cmake.org/download/>) 获取并安装 CMake。请注意，CMake 版本的最低要求是 3.0.0。
- (2) 执行 cmake-gui。
- (3) 执行 “Browse Source...”，然后选择目录 `<install_dir>/GREAT-PCE_
_<ver>/src`，或者将目录 `<install_dir>/GREAT-PCE_
_<ver>/src` 中的 CMakeList.txt 拖放到 cmake-gui 界面。然后将属性 “Where to build the binaries” 修改为 `<install_dir>/GREAT-PCE_
_<ver>/src/build`。
- (4) 执行 “Configure” 并为项目选择集成开发环境 (Integrated Development Environment, IDE) (仅在第一次单击 “Configure” 按钮时出现)。

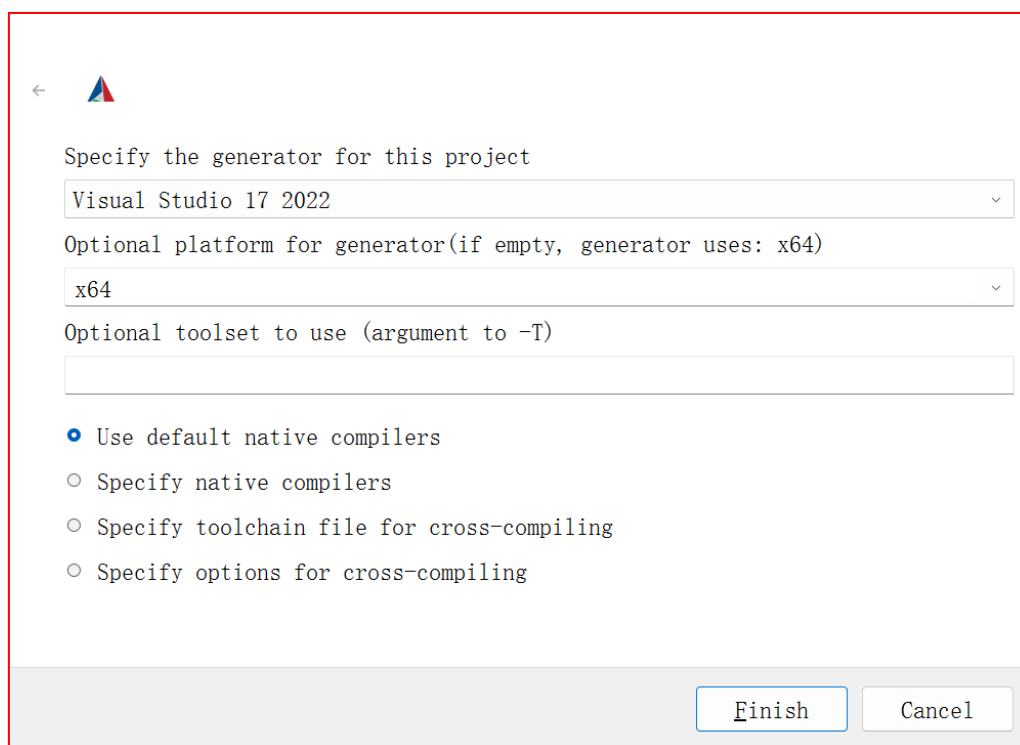


图4.1 IDE 选择示例

- (5) 配置三方库路径。

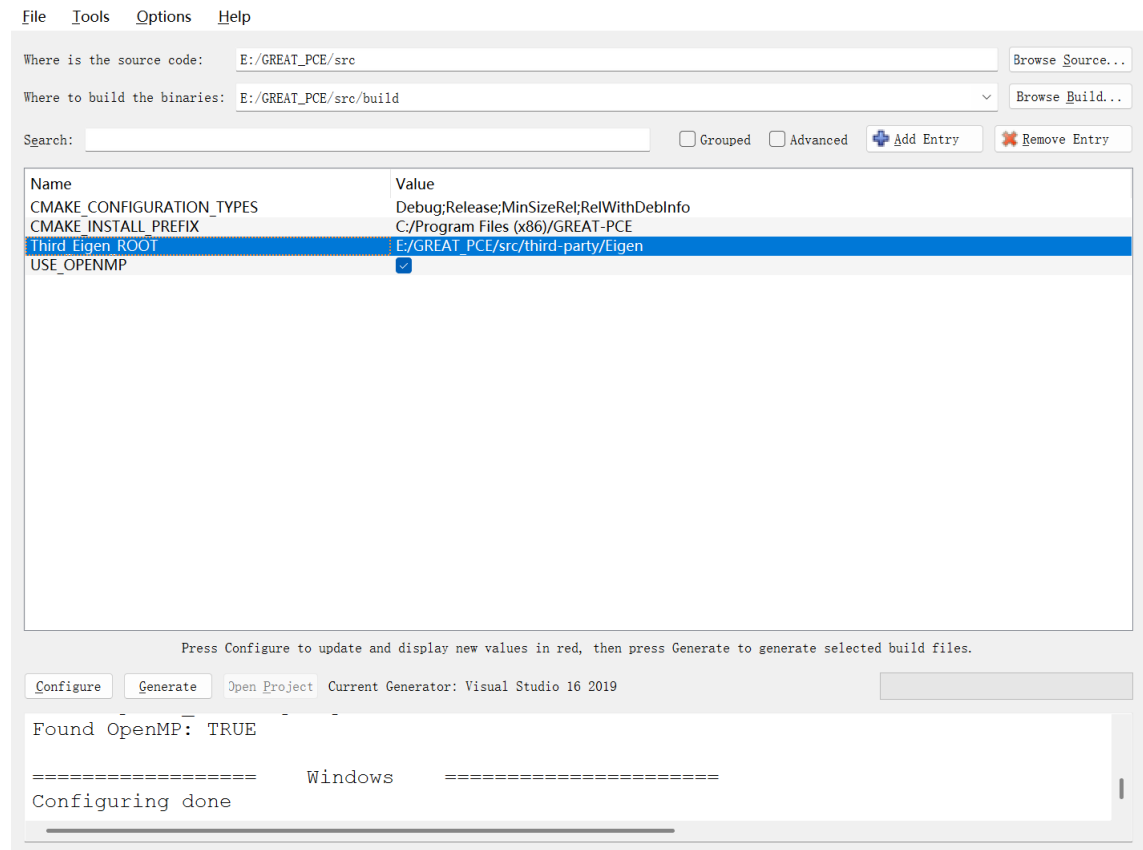


图 4.2 配置三方库路径

(6) 执行“Generate”将构建文件写入 `<install_dir>/GREAT-PCE_<ver>/src/build`。

(7) 执行“Open Project”，然后在相应的 IDE 中编译源代码。

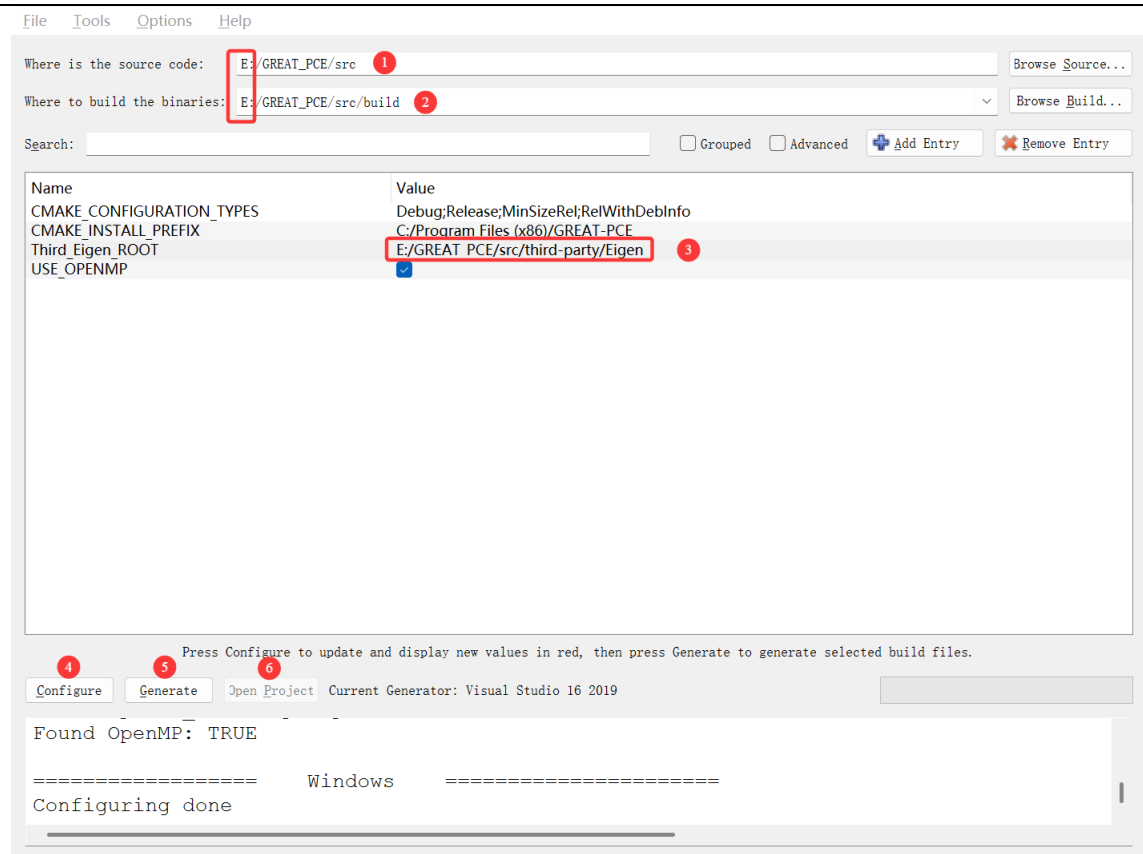


图 4.3 GREAT-PCE 在 Windows 环境下的编译过程

4.2 Linux

对于 Linux 环境，您可以按照以下说明在 Linux 上构建 GREAT-PCE 可执行程序。

(1) 通过网站 (<https://cmake.org/download/>) 获取 CMake 并安装。请注意，CMake 的最低版本要求是 3.0.0。

(2) 在目录 `<install_dir>/GREAT-PCE_<ver>/src` 中创建 “build” 目录并切换到该目录。

1. mkdir build

2. cd build/

(3) 执行 `cmake3 ../` 然后执行 `make -j8` 以编译源代码。GREAT-PCE 的可执行程序可以在 `<install_dir>/GREAT-PCE_<ver>/src/build_Linux/Bin` 中找到。

3. cmake3 ..

4. make -j8

```

(base) [jqwu@new-c7-02 src]$ mkdir build
(base) [jqwu@new-c7-02 src]$ cd build/
(base) [jqwu@new-c7-02 build]$ cmake3 ..
-- The C compiler identification is GNU 4.8.5
-- The CXX compiler identification is GNU 4.8.5
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc - works
-- Detecting C compiler ABI info
-- Detecting C compiler ABI info - done
-- Detecting C compile features
-- Detecting C compile features - done
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++ - works
-- Detecting CXX compiler ABI info
-- Detecting CXX compiler ABI info - done
-- Detecting CXX compile features
-- Detecting CXX compile features - done
--
=====
-- .ooooo. .ooooo. .ooooo. .o. .ooooo.
-- d8P' `Y8b `888 `Y88. `888' `8 .888. 8' 888 `8
-- 888 `888 `888 `d88' 888 .8'888. 888
-- 888 888ooo88P' 888ooo8 .8' `888. 888
-- 888 ooooo 888'88b. 888 " .88ooo8888. 888
-- `88. `88' 888 `88b. 888 o .8' `888. 888
-- `Y8bood8P' o888o o888o o888oooood8 o88o o8888o o888o
--
=====
-- The GREAT (GNSS+ Research, Application and Teaching) software is designed and developed at Wuhan University for
-- scientific and engineering application and teaching in geodesy and navigation fields.
--
-- It is written in standard C++. GREAT-PCE supports multi-system PCE solutions.
--
=====
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX11
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX11 - Success
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX0X
-- Performing Test COMPILER_SUPPORTS_CXX0X - Success
-- operation system is : Linux-5.4.0-212-generic
-- current platform is : Linux
-- CMake version is : 5.4.0-212-generic
-- C compiler is : /usr/bin/cc
-- C++ compiler is : /usr/bin/c++
-- Build directory is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/build_Linux
-- The program main directory is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src
-- include path for LibGnut is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/third-party/Eigen
-- include path for LibGnut is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/LibGnut
-- include path for is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/third-party/Eigen
-- include path for LibGREAT is : /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/LibGREAT
--
===== Not Windows =====
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /data02/jqwu/software/GREAT_PCE/src/build
(base) [jqwu@new-c7-02 build]$ make -j8
Scanning dependencies of target LibGnut
[ 0%] Building CXX object ../build_Linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallfltmat.cpp.o
[ 1%] Building CXX object ../build_Linux/LibGnut/CMakeFiles/LibGnut.dir/gall/gallobs.cpp.o

```

图 4.4 Linux 系统 CMake 配置结果示例

(4) 在这里，CMake 将自动找到系统上的默认 C/C++ 编译器及其构建工具。如果 CMake 报告找不到编译器错误，如 “CMake Error: CMAKE_C_COMPILER not set”，您应根据链接 (<https://stackoverflow.com/questions/45933732/how-to-specify-a-compiler-in-cmake>) 指定 C/C++ 编译器的路径。同样，您可以根据链接 (<https://cmake.org/cmake/help/latest/manual/cmake-generators.7.html>) 为 CMake 指定构建工具。

第五章 软件使用说明

5.1 数据下载

GREAT-PCE 软件所需的输入文件包括观测值、广播星历、精密轨道、精密测站坐标、差分码偏差（Differential Code Bias, DCB）、IGS天线文件、行星星历文件、海潮文件、地球定向参数文件，表 5.1 和表 5.2 分别列出了 GREAT-PCE 软件所需输入文件的格式说明和获取方式：

表5.1 GREAT-PCE 输入文件及文件格式

输入文件	文件描述	文件格式说明
RINEXO	GNSS 观测值	https://files.igs.org/pub/data/format/rinex304.pdf
RINEXN	广播星历	https://files.igs.org/pub/data/format/rinex304.pdf
SINEX	精密测站坐标	https://files.igs.org/pub/data/format/sinex.txt
SP3	精密轨道	https://files.igs.org/pub/data/format/sp3d.pdf
DCB	差分码偏差	https://files.igs.org/pub/data/format/sinex_bias_100.pdf
jpleph_de405	行星星历	https://ssd.jpl.nasa.gov/planets/eph_export.html
oceanload	海潮文件	http://holt.oso.chalmers.se/loading/example_blq.html
poleut1	地球定向参数文件	参见GREAT-PVT_1.0.pdf (https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-PVT/tree/main/doc)
atx	天线文件	https://files.igs.org/pub/station/general/antex14.txt

表5.2 GREAT-PCE 输入文件及数据获取方式

输入文件	文件描述	数据获取方式说明
RINEXO	GNSS 观测值	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/
RINEXN	广播星历	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2024/brdc/
SINEX	精密测站坐标	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/
SP3	精密轨道	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/
DCB	差分码偏差	https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/bias/
jpleph_de405	行星星历	https://ssd.jpl.nasa.gov/ftp/eph/planets/Linux/
oceanload	海潮文件	http://holt.oso.chalmers.se/loading
poleut1	地球定向参数 文件	参见GREAT-PVT_1.0.pdf (https://github.com/GREAT-WHU/GREAT-PVT/tree/main/doc)
atx	天线文件	https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/

5.2 GREAT-PCE 软件

在进行 GREAT-PCE 精密钟差解算之前，用户需要生成 XML（Extensible Markup Language，可扩展标记语言）格式的配置文件，PCE 解算的配置文件的详细设置请参见附录 7.1。为方便参考和修改，为 PCE 解算提供了名为“GREAT_PCE.xml”的模板配置文件，该文件位于<install_dir>/GREAT-PCE_<ver>/doc 文件夹下。

需要注意的是，算例中提供的是 Windows 下 xml 文件，在 Linux 环境下运行可执行程序时，要将 xml 文件中的路径分隔符改为“/”。PCE 解算的结果文件格式可参见附录 7.2。

第六章 算例数据处理说明

6.1 算例文件目录结构

PCE 算例数据在文件夹 `<install_dir>/GREAT-PCE_<ver>/sample_data/PCE_2020100`，选取 2020 年 4 月 9 日的数据进行 PCE 解算，文件目录结构如下：

表6.1 PCE 算例文件目录结构

目录/文件	说明
<code>./gnss</code>	GNSS 数据文件夹
<code>./log_tb</code>	测站周跳探测信息文件夹
<code>./model</code>	系统文件夹
<code>./obs</code>	观测值文件夹
<code>./xml</code>	xml 配置文件夹
<code>./result</code>	结果输出文件夹

6.2 在VS中进行参数配置与运行

PCE数据解算分为以下几步：

- (1) 在Visual Studio 解决方案资源管理器中打开 `app` 文件夹，右键 `GREAT_PCE`，将 `GREAT_PCE` 设为启动项目。

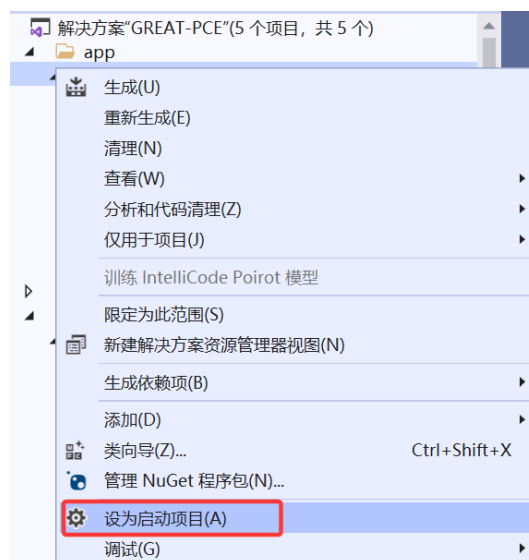


图6.1 GREAT_PCE 设为启动项目

- (2) 右键 GREAT_PCE，选择属性，将算例所在目录设为工作目录，并设置命令参数。

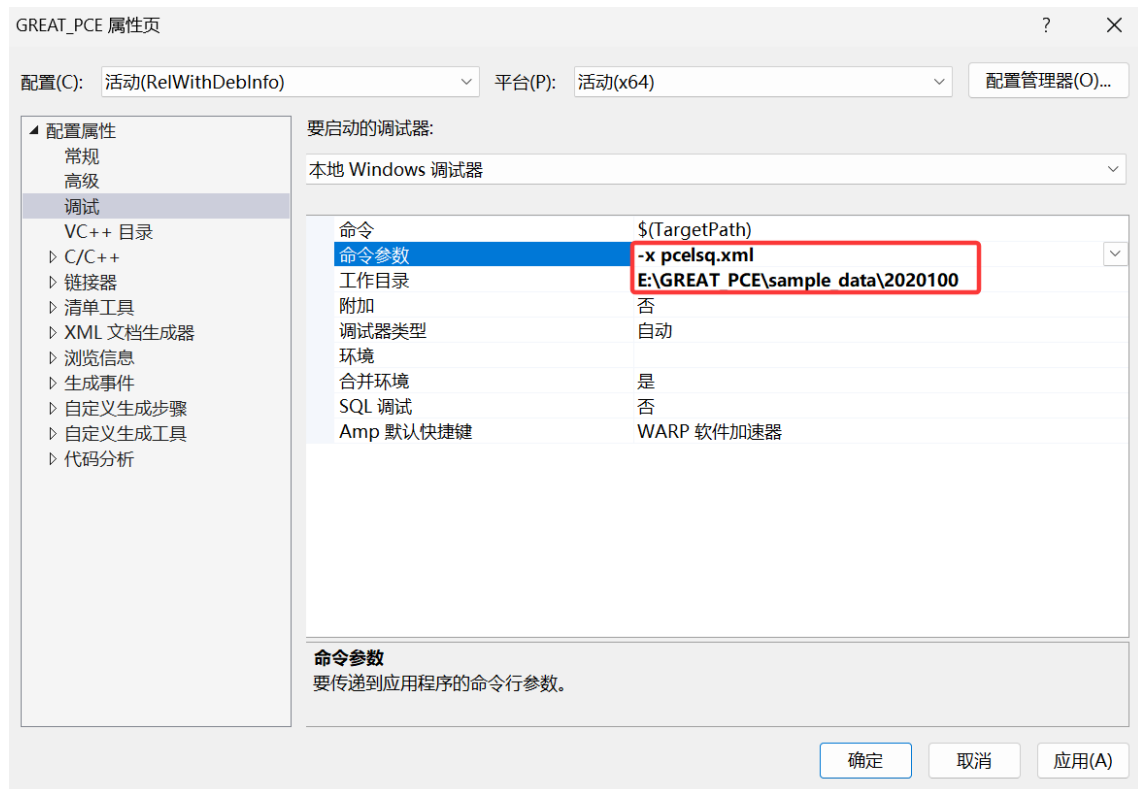


图6.2 PCE 解算命令参数和工作目录设置

- (3) 运行即可（一般选择RelWithDebInfo模式运行）。

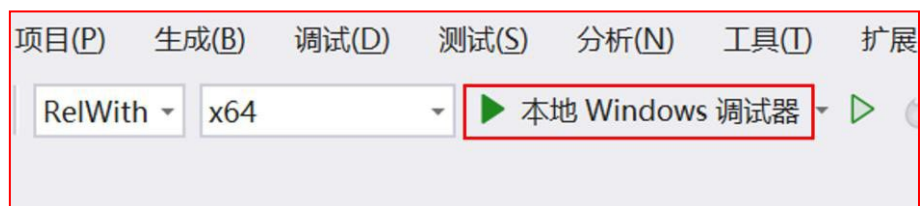


图6.3 运行 GREAT-PCE

第七章 附录

7.1 PCE XML 配置文件说明

配置文件格式为 xml，其中包含了输入输出文件设置、处理方案、解算策略等信息。每行中以"<!--"开始并以"-->"结尾的部分为注释。下表展示了 PCE XML 文件的格式。

表7.1 PCE xml 配置文件说明

项目	说明	XML 文件中的 标签或属性
GREAT_PCE 的基础设置（一级节点）		<gen>
开始时刻	设置开始时刻的 GPS 时，格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"	<beg>
结束时刻	设置结束时刻的 GPS 时，格式为"YYYY-MM-DD hh:mm:ss"	<end>
卫星系统	设置参与解算的卫星系统	<sys>
测站列表	设置参与解算的测站列表，4 位字符	<rec>
采样频率	设置观测值的采样频率	<int>
估计方法	最小二乘	<est>
测站信息	设置测站坐标初值，接收机和天线类型信息	<receiver>
GREAT_PCE 的输入文件设置（一级节点）		<inputs>
RINEX 观测值文件	用于进行解算的 RINEX 观测值文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04, 3.05 格式。	<rinexo>
RINEX 广播星历文件	用于进行解算的 RINEX 广播星历文件。支持 RINEX 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01, 3.02, 3.03, 3.04, 3.05 格式。	<rinexn>
精密星历文件	用于进行解算的精密星历文件。	<sp3>
天线文件	用于天线相位中心改正的卫星天线信息文件	<atx>
海洋潮汐文件	用于潮汐改正的海洋潮汐文件	<blq>
行星星历文件	用于计算行星参数	<de>
地球定向参数文件	用于地球定向参数	<poleut1>

项目	说明	XML 文件中的标签或属性
DCB 文件	用于进行差分码偏差改正的 DCB 文件	<biabern>
SINEX 文件	精密测站坐标文件	<sinex>
GREAT_PCE 的输出文件设置（一级节点）		<outputs>
日志文件	用于记录输出的日志信息	<log>
卫星钟差计算结果	卫星钟差计算结果文件	<satclk>
接收机钟差计算结果	接收机钟差计算结果文件	<recclk>
GREAT_PCE 的测站和卫星参数设置（一级节点）		<parameters>
测站坐标和接收机钟差参数sigma	待估参数的先验 sigma	<STA>
卫星钟差参数sigma	待估参数的先验 sigma	<SAT>
GREAT_PCE 的解算设置（一级节点）		<process>
相位观测值	是否使用载波相位观测值： --true: 使用 --false: 不使用	<phase>
对流层参数	是否估计对流层参数： --true: 估计 --false: 不估计	<tropo>
对流层梯度投影函数	对流层投影函数参数	<grad_mf>
对流层梯度参数	对流层投影函数参数 --true: 估计 --false: 不估计	<gradient>
电离层参数	是否估计电离层参数： --true: 估计 --false: 不估计	<iono>
对流层模型	使用的对流层模型	<tropo_model>
参考钟的sigma	参考钟的先验 sigma	<sig_ref_clk>
观测值组合	用于解算的观测值组合方式	<obs_combinatio>

项目	说明	XML 文件中的标签或属性
截止高度角	可用卫星观测值的最小高度角	<minimum_elev>
测站待估参数的先验 sigma	测站待估参数的先验 sigma	<sig_init_crd>
lsq计算模式	计算模式: --LSQ: 整体解 --EPO: 仿实时逐历元解	<lsq_mode>
系统间偏差参数	系统间偏差约束 --ISB+CON	<sysbias_model>
坐标约束	坐标约束方法: --est: 估计值约束 --fix: 固定解约束 --kin: 动态约束	<crd_constr>
动态模式	是否为动态模式: --true: 是 --false: 不是	<pos_kin>
观测值加权	确定观测值权重的方法	<obs_weight>
北斗卫星码偏差	是否改正北斗卫星的码偏差: --true: 是 --false: 不是	<bds_code_bias_corr>
周跳探测	周跳探测模型 --default 默认 --turboedit	<slip_model>
观测值频率	用于解算的观测值频率个数	<frequency>
GREAT_PCE	的卫星设置（一级节点）	<gps>/<bds>/<gal>/<glo>
观测值的先验sigma	伪距	sigma_C
	载波相位	sigma_L
频率	卫星频率，对应频段，可选值 1/2/3/4/5	<freq>
卫星	卫星 PRN 号	<sat>
频段	设置不同卫星系统对应频段的观测值 --GPS: 1->L1, 2->L2, 5->L5 --GAL: 1->E1, 5->E5a, 7->E5b, 8->E5, 6->E6 --BDS: 2->B1I, 7->B2I, 6->B3I, 1->B1C, 5->B2a, 9->B2b, 8->B2a+b --GLO: 1->G1, 2->G2	<band>

示例:

```

<gen>
  <beg> 2020-04-09 00:00:00 </beg>      <!--> begin time <!-->
  <end> 2020-04-09 23:59:30 </end>      <!--> end time <!-->
  <int> 300 </int>                      <!--> sampling interval <!-->
  <sys> GPS GLO GAL BDS </sys>          <!--> system ex: GPS GAL GLO QZS BDS SBS <!-->
  <rec>                                  <!--> site (4-char upper) <!-->
      ABMF ABPO AIRA ALGO ANMG AREG ARHT ARUC ASCG BIK0 BOGT BOR1
      BRAZ BREW BRST BSHM CCJ2 CEDU CHPG CKIS CPVG CRO1 CUSV DARW
      DAV1 DGAR DJIG DUBO DYNG FAA1 FALK FFMJ GAMB GAMG GANP GCGO
      GLPS GODN GOP6 GRAZ GUAM HARB HERS HKWS HOB2 HOFN IISC JFNG
      JOZE KARR KAT1 KERG KIRU KITG KOKV KOUC KOUG KRGG LAUT LHAZ
      LMMF MAJU MAL2 MAS1 MATG MAW1 MAYG MCHL METG MGUE MIZU MRO1
      NICO NIUM NKLG NYA2 OHI3 OUS2 OWMG PADO PALM PARK PERT PICL
      PIE1 PNGM POLV POTS POVE PTBB PTGG QUIN RAEG REYK RGDG ROAG
      SALU SAMO SASK SAVO SCH2 SCRZ SEYG SGOC SOD3 SOLO STHL STJ3
      STK2 STR1 SUTH THTG TLSE TOW2 TSK2 TWTF UFPR ULAB UNB3 UNSA
      URUM VACS VILL VOIM WARN WIND WTZZ WUH2 XMIS YAR3 YARR YEL2
      ZAMB ZIM3
  </rec>
  <est> LSQ </est>                      <!--> Estimator : LSQ <!-->
</gen>

```

图7.1 PCE XML 配置文件示例 (a)

```

<gps sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!--> GPS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>                                <!--> satellite prn <!-->
      G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10 G11 G12 G13 G14 G15
      G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24 G25 G26 G27 G28 G29 G30
      G31 G32
  </sat>
  <band> 1 2 </band>                  <!--> the satellite frequency, for example, C5X, is represented as 5 <!-->
  <freq> 1 2 </freq>                  <!--> satellite frequency, corresponding to band, optional value 1/2/3/4/5 <!-->
</gps>
<glo sigma_C="3.0" sigma_L="0.01"> <!--> GLO pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>
      R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 R12 R13 R14 R15
      R16 R17 R18 R19 R20 R21 R22 R23 R24
  </sat>
  <band> 1 2 </band>
  <freq> 1 2 </freq>
</glo>
<gal sigma_C="0.6" sigma_L="0.01"> <!--> GAL pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>
      E01 E02 E03 E04 E05 E07 E08 E09 E11 E12 E13 E14 E15 E18 E19
      E21 E24 E25 E26 E27 E30 E31 E33 E36
  </sat>
  <band> 1 5 </band>
  <freq> 1 2 </freq>
</gal>
<bds sigma_C="1.7" sigma_L="0.01"> <!--> BDS pseudorange sigma & phase sigma <!-->
  <sat>
      C06 C07 C08 C09 C10 C11 C12 C13 C14 C16 C19 C20 C21 C22 C23
      C24 C25 C26 C27 C28 C29 C30 C32 C33 C34 C35 C36 C37 C38 C39
      C40 C41 C42 C43 C44 C45 C46
  </sat>
  <band> 2 6 </band>
  <freq> 1 2 </freq>
</bds>

```

图 7.2 PCE XML 配置文件示例 (b)

```
<process
phase="true"
frequency="2"
obs_combination="IONO_FREE"
minimum_elev="7"
obs_weight="PARTELE"
slip_model="turboedit"
tropo="true"
tropo_mf="gmf"
tropo_model="saastamoinen"
gradient="false"
grad_mf="BAR_SEVER"
crd_constr="EST"
sig_init_crd="100"
lsq_mode="EPO"
sysbias_model="ISB+CON"
ztd_model="PWC:120"
bds2_isb="true"
ref_clk="PTBB"
sig_ref_clk="0.001"
num_threads="1">
</process>
```

图 7.3 PCE XML 配置文件示例 (c)

```
<receiver>
<!-- receiver coordinate, receiver and antenna information -->
<rec X="2919785.79248433" Y="5383744.95957728" Z="1774604.86460751" dX="0.0003" dY="0.0005" dZ="0.0002" id="ABMP" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="TM57971.00 NONE" />
<rec X="4097216.53505846" Y="4429119.20580444" Z="2065771.17052466" dX="0.0003" dY="0.0004" dZ="0.0002" id="ABRP" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="ASB7019450 M SCIS" />
<rec X="3530185.88859742" Y="4118797.20571714" Z="384036.71307338" dX="0.0013" dY="0.0011" dZ="0.0010" id="ALBA" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="918129.12865173" Y="4346071.32388963" Z="4561977.91176851" dX="0.0001" dY="0.0003" dZ="0.0003" id="ALGO" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3TH DELTA" ant="A0AD/M 2 NONE" />
<rec X="1270827.0233716" Y="6242631.30528462" Z="307792.40039258" dX="0.0005" dY="0.0014" dZ="0.0003" id="ARMP" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="JAVRINGANT DM SCIS" />
<rec X="1942816.42492502" Y="5894077.15913908" Z="1796884.34509259" dX="0.0003" dY="0.0006" dZ="0.0002" id="AREG" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="1312626.51366975" Y="311171.09986419" Z="6213081.92559394" dX="0.0004" dY="0.0003" dZ="0.0015" id="ARST" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="JAVRINGANT DM SCIS" />
<rec X="3500416.60775827" Y="3390432.76550829" Z="4103027.64622121" dX="0.0014" dY="0.0014" dZ="0.0014" id="ARUC" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="ASB7019450 M SCIS" />
<rec X="1744398.87876329" Y="46116037.02407526" Z="512731.91161304" dX="0.0003" dY="0.0006" dZ="0.0002" id="BOGT" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="JAVRINGANT DM NONE" />
<rec X="6121151.56719975" Y="1563978.94930969" Z="872615.30061648" dX="0.0008" dY="0.0008" dZ="0.0008" id="ASCO" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="1249005.13220536" Y="4513917.41987275" Z="4316147.90451131" dX="0.0005" dY="0.0013" dZ="0.0011" id="BIKO" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3TH DELTA" ant="JAVRINGANT DM SCIS" />
<rec X="1744398.87876329" Y="46116037.02407526" Z="512731.91161304" dX="0.0003" dY="0.0006" dZ="0.0002" id="BOGT" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="JAVRINGANT DM NONE" />
<rec X="3738358.19117177" Y="1148173.94690677" Z="5021815.89939424" dX="0.0003" dY="0.0002" dZ="0.0004" id="BORI" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="4115014.06412540" Y="4506461.63869710" Z="1741443.76730785" dX="0.0004" dY="0.0004" dZ="0.0002" id="BRAI" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM57971.00 NONE" />
<rec X="2112007.36698761" Y="3705351.82274276" Z="4726827.03202427" dX="0.0002" dY="0.0003" dZ="0.0004" id="BREM" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="ASB7019450 M SCIS" />
<rec X="4231162.39539821" Y="332746.40761706" Z="4745131.08089305" dX="0.0004" dY="0.0002" dZ="0.0005" id="BRST" obj="SMX" rec="TRIMBLE ALLOY" ant="TM57971.00 NONE" />
<rec X="4395951.14159759" Y="3080707.24314317" Z="3433498.28632124" dX="0.0004" dY="0.0005" dZ="0.0005" id="BRSM" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="TM59800.00 SCIS" />
<rec X="4490605.12101119" Y="3483895.03183944" Z="2884928.32162490" dX="0.0004" dY="0.0004" dZ="0.0003" id="CCG" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 SCIS" />
<rec X="3753473.20745070" Y="3912741.03109024" Z="3347955.68111599" dX="0.0003" dY="0.0003" dZ="0.0002" id="CEDU" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="A0AD/M 2 NONE" />
<rec X="4163476.68279630" Y="4163821.99090823" Z="2444511.07873722" dX="0.0004" dY="0.0006" dZ="0.0004" id="CHPO" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="5583182.67882800" Y="2054142.71702856" Z="2292146.20101637" dX="0.0005" dY="0.0002" dZ="0.0002" id="CRES" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="JAVRINGANT DM NONE" />
<rec X="5626883.44241523" Y="2380932.34213038" Z="1824483.99374171" dX="0.0005" dY="0.0003" dZ="0.0002" id="CPVO" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="260771.33640025" Y="5488076.56220916" Z="1932767.97431186" dX="0.0003" dY="0.0004" dZ="0.0002" id="CROJ" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="JAVRINGANT DM SCIS" />
<rec X="1132014.99153951" Y="6092528.83869387" Z="1504663.11224343" dX="0.0002" dY="0.0006" dZ="0.0002" id="CUEP" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="JAVRINGANT DM NONE" />
<rec X="4091359.6230447" Y="4684606.41836199" Z="1408579.10635259" dX="0.0004" dY="0.0004" dZ="0.0004" id="DARW" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="468854.58862120" Y="2285099.17291518" Z="5914955.71630597" dX="0.0001" dY="0.0002" dZ="0.0004" id="DAVI" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="LEIAR25.R3 LEIT" />
<rec X="1516268.75626460" Y="6029977.73205271" Z="801719.404681571" dX="0.0002" dY="0.0004" dZ="0.0001" id="DGBA" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="ASB7019450 M NONE" />
<rec X="4583085.93090860" Y="4250982.66045992" Z="1266243.20576697" dX="0.0005" dY="0.0005" dZ="0.0002" id="DJIG" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="417603.96318847" Y="4044529.83453926" Z="4881432.12878502" dX="0.0001" dY="0.0003" dZ="0.0004" id="DUBO" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="A0AD/M 2 NONE" />
<rec X="5247393.64620741" Y="3076866.39878510" Z="131521.01191460" dX="0.0005" dY="0.0003" dZ="0.0002" id="EALJ" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="LEIAR25.R4 LEIT" />
<rec X="2106811.40533313" Y="3355170.76019874" Z="4981786.22717472" dX="0.0002" dY="0.0003" dZ="0.0004" id="FALM" obj="SMX" rec="SEPT POLARIS" ant="ASB7019450 M SCIS" />
<rec X="4053455.64839561" Y="617729.91517694" Z="4869395.87030087" dX="0.0008" dY="0.0004" dZ="0.0008" id="FTMA" obj="SMX" rec="JAVAD TRE 3 DELTA" ant="LEIAR25.R3 LEIT" />
<rec X="4147127.25730366" Y="4152221.82638240" Z="2480032.87921883" dX="0.0006" dY="0.0004" dZ="0.0004" id="GAMP" obj="SMX" rec="TRIMBLE NET9" ant="TM59800.00 NONE" />
<rec X="3929181.26905130" Y="1455236.97003154" Z="4793454.04519306" dX="0.0007" dY="0.0004" dZ="0.0008" id="GANP" obj="SMX" rec="TRIMBLE ALLOY" ant="TM59800.00 SCIS" />
```

图 7.4 PCE XML 配置文件示例 (d)

```
<inputs>
<rinexo> <!-- rinex obs file -->
obs\abmf1000.20o obs\abpo1000.20o
obs\airal1000.20o obs\algi1000.20o
obs\anmg1000.20o obs\areg1000.20o
obs\arht1000.20o obs\aruc1000.20o
obs\ascg1000.20o obs\bik01000.20o
</rinexo>
<DE> model\jpleph_de405.great </DE> <!-- Planetary ephemeris file -->
<poleut1> model\poleut1_2018_2021 </poleut1> <!-- ERP file -->
<leapsecond> model\leap_seconds </leapsecond> <!-- leapsecond file -->
<atx> model\igs_absolute_14.atx </atx> <!-- Antenna correction file -->
<biabern> <!-- DCB file -->
gnss\PI12004.DCB
gnss\P22C22004_RINEX.DCB
</biabern>
<rinexn> gnss\brdm1000.20p </rinexn> <!-- rinex nav file -->
<sp3> <!-- precise orbit file -->
gnss\com21003.sp3
gnss\com21004.sp3
gnss\com21005.sp3
</sp3>
<blq> model\oceanload </blq> <!-- oceanload file -->
<sinex> gnss\igs20P2100.snrx </sinex> <!-- sinex file -->
</inputs>
<outputs append="false" verb="0"> <!-- output file: whether append & verb: the larger the value, the more detailed the output log. -->
<log> model\pcelog.log </log> <!-- log file -->
<satclk> result\clk_2020100 </satclk> <!-- satellite clock result file -->
<recclk> result\rec_2020100 </recclk> <!-- receiver clock result file -->
</outputs>
```

图 7.5 PCE XML 配置文件示例 (e)

```
<parameters>
<STA ID="XXXX" sigCLK="9000" sigPOS="0.1_0.1_0.1" sigZTD="0.201" />
<SAT ID="XXX" sigCLK="5000" />
</parameters>
```

图 7.5 PCE XML 配置文件示例 (f)

7.2 PCE 结果文件说明

clk_yyydyoy文件记录了精密卫星钟差解算结果，具体如下（详细说明文档可参考IG

S rinex_clock格式说明 https://files.igs.org/pub/data/format/rinex_clock304.txt) :

表 7.2 GREAT-PCE 结果文件说明

行号	行名	行说明	格式
1	RINEX VERSION / TYPE	版本号和文件类型	F4.2,17X, A1,20X, A1,22X
2	INTERVAL	钟差数据采样率	I6
3	PGM/RUNBY / DATE	创建当前文件的程序名称, 创建当前文件的机构名称, 创建当前文件的时间	A19,2X, A19,2X, A21,2X,
4	# / TYPES OF DATA	存储的不同钟差数据类型的数量, 钟差数据类型列表	I6, 5(4X,A2)
5	# OF CLK REF	基准钟差数量, 文件数据起始时间, 文件数据结束时间	I6,1X, I4,1X, 4(2I,1X), F10.6,2X, I4,1X, 4(2I,1X), F10.6,2X
6	END OF HEADER	头文件的结束标记符	65X
7-End	TYP/EPOCH/CL K	钟差类型, 卫星或接收机名称, 历元时间 (年、月、日、时、分、秒) , 数据个数, 钟差数据	A2,1X, A9,1X,or A4,6X,or A3,7X, I4,1X,4(I2,1X) F9.6,1X I2,3X, E19.12,2X E19.12

示例：

```

      2.00      C      G      RINEX VERSION / TYPE
      300.00
GREAT      SGG-WHU      20250415 092510 UTC PGM / RUN BY / DATE
1      AS      # / TYPES OF DATA
1      2020 4 9 0 0 0.000000 2020 4 9 23 55 0.000000# OF CLK REF
      END OF HEADER
AS C06 2020 4 9 0 0 0.000000 1 2.431538520208E-04
AS C07 2020 4 9 0 0 0.000000 1 8.779530291978E-04
AS C08 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -1.925871223932E-04
AS C09 2020 4 9 0 0 0.000000 1 4.592995917464E-04
AS C10 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -8.376302121258E-04
AS C11 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -2.913675034709E-04
AS C12 2020 4 9 0 0 0.000000 1 3.464591220881E-04
AS C13 2020 4 9 0 0 0.000000 1 3.707347837451E-04
AS C14 2020 4 9 0 0 0.000000 1 2.788359763366E-04
AS C16 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -6.882601137175E-04
AS E01 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -8.319506038685E-04
AS E02 2020 4 9 0 0 0.000000 1 1.251455188413E-04
AS E03 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -2.858220292672E-04
AS E04 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -5.016719481971E-04
AS E05 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -3.902279691117E-04
AS E07 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -3.655533609389E-04
AS E08 2020 4 9 0 0 0.000000 1 6.195078922128E-03
AS E09 2020 4 9 0 0 0.000000 1 6.099142625577E-03
AS E11 2020 4 9 0 0 0.000000 1 2.168022590206E-03
AS E12 2020 4 9 0 0 0.000000 1 5.863593422540E-03
AS E13 2020 4 9 0 0 0.000000 1 3.999324032658E-04
AS E14 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -9.706633098174E-04
AS E15 2020 4 9 0 0 0.000000 1 8.711510327287E-04
AS E18 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -1.069126121629E-03
AS E19 2020 4 9 0 0 0.000000 1 -2.982993191206E-04

```

图 7.6 GREAT-PCE 结果输出文件示例