

第2部分：《太阳能光热发电原理、技术及数值方法》的有关源程序

程序 2 壳管式储热器内二维固-液相变过程仿真子程序

2.1 物理问题描述

壳管式相变储热器是工程中常用的相变储热装置，壳体内包含多个传热管路，传热流体在传热管路内流动，壳侧填充相变储热材料，如图 1(a)所示。考虑到结构的对称性，为了简化计算，数值仿真时通常选择其中一个传热管和管外的相变材料构成的储热单元作为研究对象，如图 1(b)所示。储热单元为由内传热管和虚拟外管构成的同心套管结构，传热流体在内传热管内流动，通过内管壁与相变材料交换热量，实现储热和放热功能；外表面(虚拟的外管表面)由于对称性，按对称边界处理。

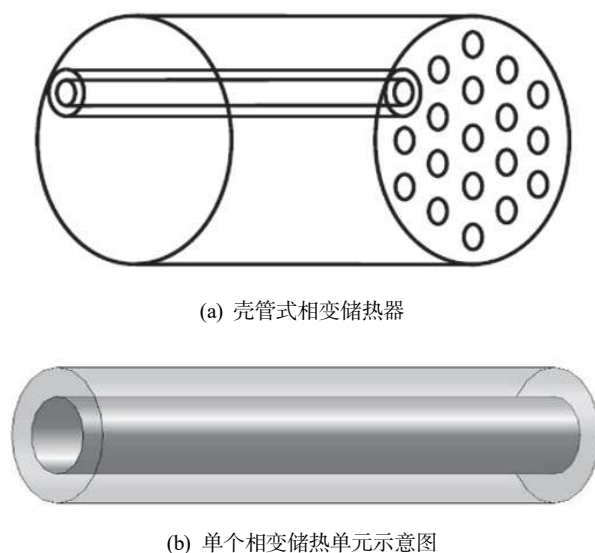


图 1 简化的壳管式相变储热器物理模型

从选取的研究对象可以看出，完整的相变储热模型，是一个三维柱坐标模型。但是，三维模型结构复杂，计算工作量大，在实际工程应用中多有不便。当液态相变材料的自然对流对相变储热过程的总体影响较小，或不存在自然对流时，或者通过采用考虑自然

对流的有效导热系数代替液态相变材料的实际导热系数时，可以把该三维模型简化为二维轴对称模型。二维模型即接近真实的物理模型，具有较高的计算精度；同时又有模型简单、计算效率高的优点，具有很好的工程应用及科研应用价值。

这里将以二维模型为例，介绍作者团队基于数值传热的 SIMPLE 主程序，所开发的二维固-液相变储热过程的数值仿真子程序。

2.2 源程序及变量说明

计算程序基于 SIMPLE 算法，具体实施方法及主程序可参见陶文铨院士《数值传热学》教材、课件及网页，这里不做详细说明。本部分仅给出作者自己编写的用户子程序代码，供感兴趣的读者参考，编程语言采用 FORTRAN 语言。数值仿真子程序中的主要变量说明，如表 2.1 所示。

表 1 二维固-液相变过程数值仿真子程序的主要变量表

变量名	变量说明
CA(I), CB(I)	传热流体控制方程中的系数
CONDF	传热流体导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
CONDP	相变材料导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
CPF	传热流体比热/(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
CPP	相变材料比热/(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
DT	时间步长/s
F(I,J,8)	上一时层控制节点上相变材料的温度/K
F(I,J,9)	上一时层控制节点上相变材料的熔化分数(0~1)
FOL(I,J)	控制节点上相变材料的熔化分数(0~1)
HLS	相变材料相变潜热/(J·kg ⁻¹)
HO(I)	传热流体的对流传热系数/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)
LAST	程序计算总时间设置/s
L1	轴向计算节点数
M1	径向计算节点数
PRF	传热流体普朗特数
QMF	传热流体的质量流量/(kg·s ⁻¹)
QL	潜热储热量/J
QS	显热储热量/J
QTES	总储热量/J
REF(I)	传热流体的雷诺数

续表

变量名	变量说明
RHOF	传热流体密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
RHOP	相变材料密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
RI	计算单元内径/m
RO	计算单元外径/m
T0	初始温度/K
TM	相变材料熔点/K
TTFIN	传热流体的进口温度/K
T(L,J)	控制节点上相变材料温度/K
TF(I)	控制节点上传热流体温度/K
TFO(I)	上一时层控制节点上传热流体温度/K
TFU(I)	控制容积界面上传热流体温度/K
UFIN	传热流体入口流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
XL	计算区域 x 方向(轴向)长度/m
YL	计算区域 y 方向(径向)长度/m
&	续行标志符
*	注释行标志符

该仿真子程序包括：网格生成模块、初始化模块、物性更新模块、边界设置模块、结果输出模块、源项设置模块、非稳态参数存储模块及熔化分数更新模块，共计 8 个模块，具体源程序如下：

```

*****
      SUBROUTINE USER
      PARAMETER (NI=202,NJ=202,NIJ=NI,NFMAX=10,NFX3=NFMAX+3)
*****
      DOUBLE PRECISION TITLE
      LOGICAL LSOLVE,LPRINT,LBLK,LSTOP
      COMMON F (NI,NJ,NFMAX),P (NI,NJ),RHO (NI,NJ),GAM (NI,NJ),
& CON (NI,NJ),AIP (NI,NJ),AIM (NI,NJ),AJP (NI,NJ),AJM (NI,NJ),
& AP (NI,NJ),X (NI),XU (NI),XDIF (NI),XCV (NI),XCVS (NI),
& Y (NJ),YV (NJ),YDIF (NJ),YCV (NJ),YCVS (NJ),YCVR (NJ),
& YCVRS (NJ),ARX (NJ),ARXJ (NJ),ARXJP (NJ),R (NJ),RMN (NJ),
& SX (NJ),SXMN (NJ),XCVI (NI),XCVIP (NI),AP0 (NI,NJ)
      COMMON DU (NI,NJ),DV (NI,NJ),FV (NI),FVP (NI),
& FX (NI),FXM (NI),FY (NJ),FYM (NJ),PT (NIJ),QT (NIJ)
      COMMON /INDX/NF, NP, NRHO, NGAM, L1, L2, L3, M1, M2, M3,

```

```

& IST, JST, ITER, LAST, TITLE (NFX3), RELAX (NFX3), TIME, DT, XL, YL,
& IPREF, JPREF, LSOLVE (NFX3), LPRINT (NFX3), LBLK (NFX3), MODE,
& NTIMES (NFX3), RHOCON
COMMON/CNTL/LSTOP, LTSTOP
COMMON/SORC/SMAX, SSUM
COMMON/COEF/FLOW, DIFF, ACOF
COMMON/TT/TIME1, DT1, IR
COMMON/MM/RHOT (NI, NJ)
COMMON/TREF/TREF
COMMON TF (NI)
DIMENSION U (NI, NJ), V (NI, NJ), PC (NI, NJ)
EQUIVALENCE (F (1, 1, 1), U (1, 1)), (F (1, 1, 2), V (1, 1)),
& (F (1, 1, 3), PC (1, 1))
DIMENSION TH (NI), THU (NI), THDIF (NI), THCV (NI), THCVS (NI)
EQUIVALENCE (X, TH), (XU, THU), (XDIF, THDIF), (XCV, THCV),
& (XCVS, THCVS), (XL, THL)
*****
***** LHS PROGRAM (ENTHALPY METHOD) *****
*****
DIMENSION T (NI, NJ), CONDPS (NI, NJ), CONDPL (NI, NJ), TFO (NI),
& RHOP (NI, NJ), CONDP (NI, NJ), RHOF (NI), AMUF (NI), CONDF (NI),
& ENTH (NI, NJ), FOLK (NI, NJ), DAT (NI), PRF (NI), UF (NI), REF (NI),
& XNUF (NI), HO (NI), CA (NI), CB (NI), CPF (NI), TFU (NI), XF (NI),
& XDP (NI)
DOUBLE PRECISION FOL (NI, NJ), RA (NI), FF, EFF
EQUIVALENCE (F (1, 1, 4), T (1, 1))
*****几何参数设置及网格生成模块
ENTRY GRID
LAST=1.0E+8 ! 设置程序总运行时间
DO 20 I=1,5
LSOLVE (I)=.FALSE. ! 设置主程序不需求解变量
20 LPRINT (I)=.FALSE.
LSOLVE (4)=.TRUE. ! 设置主程序需求解变量
RELAX (4)=0.6 ! 设置松弛因子
MODE=2 ! 设置模型为轴对称模型
XL=1.5 ! 轴向长度
RI=12.5E-3 ! 内径

```

```

RO=25.0E-3          ! 外径
R(1)=RI            ! 径向第一个节点位置
DI=2*RI
YL=RO-RI          ! 径向计算单元尺寸
L1=52             ! 轴向计算节点数量
M1=22             ! 径向计算节点数量
DT1=5.0           ! 时间步长
DT=DT1
PI=3.1415926      ! 圆周率
CALL UGRID
RETURN

```

*****物性及工况参数初始化设置模块

```
ENTRY START
```

*****设置各统计量的初始值为 0

```

QTES1=0.0          ! 总储热量初始值
QTES2=0.0          ! 总储热量初始值
QTES3=0.0          ! 总储热量初始值
QTES4=0.0          ! 总储热量初始值
QS=0.0            ! 显热储热量初始值
QL=0.0            ! 相变储热量初始值

```

*****确定相变材料的初始物性参数

```

TM=767+273.15     ! 相变温度
T0=550+273.15     ! 初始温度
T0=T0-TM          ! 初始温度与相变温度的差值
RHOP0=2390        ! 相变材料密度
WEIGHT=RHOP0*PI*(RO**2-RI**2)*XL ! 相变材料总质量
CPP0=1770         ! 相变材料比热容
CONDPS0=3.8       ! 相变材料固体导热系数
CONDPL0=3.8       ! 相变材料液体导热系数
HLS=816000        ! 相变材料的相变潜热

```

*****确定传热流体的初始物性参数

```
TTFIN=817+273.15 ! 传热流体入口温度
```

```

TFIN=TTFIN-TM          ! 传热流体入口温度减相变温度
UFIN=15                ! 传热流体入口流速
QMF=RHOFO*UFIN*PI*RI**2 ! 传热流体质量流量
RHOFO=1.862            ! 传热流体密度
CPFO=502.2            ! 传热流体比热容
CONDF0=0.133          ! 传热流体导热系数
AMUFO=5.982E-5        ! 传热流体黏度
PRFO=AMUFO*CPFO/CONDF0 ! 传热流体普朗特数
QIDEA=(WEIGHT*HLS+WEIGHT*CPP0*(TFIN-T0)) ! 理论最大储热量
DO I=1,L1
TF(I)=T0               ! 设置传热流体节点上的初始温度
TFU(I)=T0              ! 设置传热流体界面上的初始温度
ENDDO
DO 100 J=1,M1
DO 100 I=1,L1
T(I,J)=T0              ! 设置相变材料的初始温度
FOL(I,J)=0.            ! 设置相变材料的初始熔化分数
RHOP(I,J)=RHOP0       ! 设置相变材料的初始密度
100 CONTINUE
DO J=1,M1
DO I=1,L1
F(I,J,8)=T(I,J)       ! 存储当前时层相变材料温度
F(I,J,9)=FOL(I,J)     ! 存储当前时层相变材料熔化分数
RHOT(I,J)=RHOP(I,J)  ! 存储当前时层相变材料密度
ENDDO
ENDDO
DO I=1,L1
TFO(I)=TF(I)          ! 存储当前时层传热流体温度
ENDDO
DO I=1,L1
IF(X(I).LE.0.51.AND.X(I+1).GE.0.51) II1=I ! 设置监控点
IF(X(I).LE.0.95.AND.X(I+1).GE.0.95) II2=I ! 设置监控点
ENDDO
DO J=1,M2

```

```

      IF (Y(J) .LE. 0.002 .AND. Y(J+1) .GE. 0.002) JJ1=J ! 设置监控点
      IF (Y(J) .LE. 0.001 .AND. Y(J+1) .GE. 0.001) JJ2=J ! 设置监控点
      ENDDO
      RETURN
*****物性及系数更新模块
      ENTRY DENSE
****确定相变材料的物性参数 (考虑变物性的影响, 需修改此模块, 否则直接赋初始值)
      DO J=1, M1
      DO I=1, L1
      RHOP (I, J) =RHOP0           ! 相变材料密度等于初始密度
      CPP=CPP0                     ! 相变材料比热容等于初始比热容
      CONDPL (I, J) =CONDPL0       ! 液体导热系数等于初始导热系数
      CONDPS (I, J) =CONDPS0       ! 固体导热系数等于初始导热系数
      RHO (I, J) =RHOP (I, J)      ! 密度等于初始密度
      ENDDO
      ENDDO
      ZDP=0
****确定传热流体的物性参数 (考虑变物性的影响, 需修改此模块, 否则直接赋初始值)
      DO I=1, L1
      CPF (I) =CPF0                ! 传热流体比热容等于初始比热容
      CONDF (I) =CONDF0            ! 导热系数等于初始导热系数
      RHOF (I) =RHOF0              ! 密度等于初始密度
      AMUF (I) =AMUF0              ! 黏度等于初始黏度
      PRF (I) =PRF0                ! 普朗特数等于初始普朗特数
*****计算相关系数
      UF (I) =QMF / (PI*RI**2) /RHOF (I)      ! 传热流体界面上的流速
      REF (I) =RHOF (I) *UF (I) *DI /AMUF (I) ! 传热流体的雷诺数
      XA=PI*RI**2                        ! 传热管的横截面积
      XPL=PI*2*RI                        ! 传热管的周长
      XNUF (I) =0.022*REF (I) **0.8*PRF (I) **0.6 ! 传热流体的努塞尔数
      XF (I) =0.079*REF (I) **(-0.25)        ! 传热流体的阻力系数
      XDP (I) =2*XF (I) *RHOF (I) *UF (I) **2*XCV (I) /DI ! 单元内的压降
      ZDP=ZDP+XDP (I)                    ! 总压降

```

```

HO(I)=XNUF(I)*CONDF(I)/DI      ! 传热流体对流传热系数
CA(I)=HO(I)*XPL/(RHOF(I)*CPF(I)*XA) ! 控制方程中的常数 A
CB(I)=QMF/(RHOF(I)*XA)        ! 控制方程中的常数 B
ENDDO
RETURN

```

*****边界条件设置模块

```

ENTRY BOUND
TF(1)=TFIN      ! 传热流体入口节点温度边界
TFU(1)=TF(1)    ! 入口处界面温度等于节点温度
DO I=2,L2
TFU(I)=(2*CA(I)*T(I,1)+2*TFO(I)/DT1+
& (2*CB(I)/XCV(I)-1/DT1-CA(I))*TFU(I-1))/
& (CA(I)+1/DT1+2*CB(I)/XCV(I)) ! 计算各界面上的流体温度
ENDDO
TF(L1)=TFU(L2) ! 传热流体出口边界的温度
DO I=2,L2
TF(I)=(TFU(I)+TFU(I-1))/2 ! 计算各节点上传热流体温度
ENDDO
DO J=1,M1
T(1,J)=T(2,J) ! 相变材料在入口区的边界条件
T(L1,J)=T(L2,J) ! 相变材料在出口区的边界条件
ENDDO

```

*****据熔化分数设置导热系数

```

DO I=1,L1
DO J=1,M2
IF(FOL(I,J).GE.1.0.AND.FOL(I,J+1).LT.1.0)
DAT(I)=RMN(J+1)-R(1) ! 界面位置
IF(FOL(I,J).LE.0) CONDP(I,J)=CONDP(I,J)
IF(FOL(I,J).GT.0.AND.FOL(I,J).LT.1.0)
& CONDP(I,J)=CONDP(I,J)*FOL(I,J)+CONDP(I,J)*(1-FOL(I,J))
IF(FOL(I,J).GE.1.0) CONDP(I,J)=CONDP(I,J)
ENDDO
ENDDO
DO I=1,L1
T(I,1)=(CONDP(I,2)*T(I,2)+HO(I)*YDIF(2)*TF(I))
& / (CONDP(I,2)+HO(I)*YDIF(2)) ! 相变材料在内管表面的边界条件

```

```

T(I,M1)=T(I,M2)                ! 相变材料在外表面的边界条件
ENDDO
RETURN
*****参数计算及结果输出模块
ENTRY OUTPUT
IF(ITER.EQ.0) THEN
WRITE(8,401)
401 FORMAT(1X,' ITER',7X,'EPS',7X,'FOL(25,5)',7X,
& 'T(25,5)',7X,'T(50,15)',7X,'TF(L1)')
ENDIF
403 FORMAT(1X,I6,1P5E14.3)
Q1=0.                            ! 设置统计初始值为 0
Q2=0.
Q3=0.
Q4=0.
Q1=QMF*CPF0*(TF(1)-TF(L1))*DT1    ! 传热流体当前时层的放热量
DO I=2,L2
DO J=2,M2
Q2=Q2+2*PI*(CPP*(T(I,J)-F(I,J,8))
& +HLS*(FOL(I,J)-F(I,J,9)))
& *RHOP(I,J)*XCV(I)*YCVR(J)      ! 相变材料当前时层的储热量
ENDDO
ENDDO
DO I=2,L2
Q3=Q3+RHOF(I)*CPF(I)*PI*RI**2
& *(TF(I)-TFO(I))*XCV(I)        ! 传热流体当前时层储热量
Q4=Q4+2*PI*RI*XCV(I)*HO(I)*(TF(I)-T(I,1))*DT1 ! 传热量
ENDDO
IF(ITER.NE.0) EPS=(Q1-Q3-Q4)/(Q1+1.0E-30) ! 当前时层能量偏差
IF(ABS(EPS).LE.5.0E-5) THEN      ! 时间步内的收敛条件
LSTOP=.TRUE.
ENDIF
*****计算结果输出
IF(ITER/1000*1000.EQ.ITER) THEN
WRITE(*,401)
WRITE(*,403) ITER,EPS,FOL(25,5),T(25,5),T(50,15),
& TF(L1)+TM-273.15

```

```

        ENDIF
*****计算各环节总热量
        IF (LSTOP) THEN
            QTES4=QTES4+Q4           ! 通过壁面的总传热量
            QTES2=QTES2+Q2           ! 相变材料的总储热量
            QTES1=QTES1+Q1           ! 传热流体总放热量
            EFF=QTES2/QIDEA          ! 储热效率

            IF (ABS (1-EFF) .LE.1.0E-4)    LTSTOP=.TRUE. ! 程序结束条件
            DO I=2,L2
            DO J=2,M2
                QS=QS+2*PI*RHOP (I,J) *YCVR (J) *XCV (I)
& *CPP* (T (I,J) -T0)           ! 统计显热储热量
                QL=QL+2*PI*RHOP (I,J) *YCVR (J) *XCV (I)
& *HLS*FOL (I,J)               ! 统计相变储热量
            ENDDO
            ENDDO
            FF=0.
            DO I=2,L2
            DO J=2,M2
                FF=FF+FOL (I,J)           ! 各单元相变材料熔化分数累加
            ENDDO
            ENDDO
            FF=FF/((L1-2)*(M1-2)) ! 计算平均熔化分数
*****输出熔化分数为 0.25 时的温度和熔化分数分布
            IF (ABS (FF-0.25) .LE.1.0E-3) THEN
                OPEN (102,FILE='T25.DAT')
                WRITE (102,*) '"VARIABLES" "X" "Y" "T"'
                WRITE (102,*) 'ZONE I=',L1,'J=',M1,'F=POINT'
                DO J=1,M1
                DO I=1,L1
                    WRITE (102,67) X (I),R (J) *10,F (I,J,4) +TM-273.15,FOL (I,J)
                ENDDO
                ENDDO
                CLOSE (102)
            ENDIF
*****输出熔化分数为 0.5 时的温度和熔化分数分布

```

```

IF (ABS (FF-0.5) .LE.1.0E-3) THEN
OPEN (103,FILE='T50.DAT')
WRITE (103,*) '"VARIABLES" "X" "Y" "T"'
WRITE (103,*) 'ZONE I=',L1,'J=',M1,'F=POINT'
DO J=1,M1
DO I=1,L1
WRITE (103,67) X(I),R(J)*10,F(I,J,4)+TM-273.15,FOL(I,J)
ENDDO
ENDDO
CLOSE (103)
ENDIF

```

*****输出熔化分数为 0.75 时的温度和熔化分数分布

```

IF (ABS (FF-0.75) .LE.1.0E-3) THEN
OPEN (104,FILE='T75.DAT')
WRITE (104,*) '"VARIABLES" "X" "Y" "T"'
WRITE (104,*) 'ZONE I=',L1,'J=',M1,'F=POINT'
DO J=1,M1
DO I=1,L1
WRITE (104,67) X(I),R(J)*10,F(I,J,4)+TM-273.15,FOL(I,J)
ENDDO
ENDDO
CLOSE (104)
ENDIF

```

*****输出开始熔化时的温度和熔化分数分布

```

IF (ABS (FF-0.01) .LE.1.0E-3) THEN
OPEN (105,FILE='T01.DAT')
WRITE (105,*) '"VARIABLES" "X" "Y" "T"'
WRITE (105,*) 'ZONE I=',L1,'J=',M1,'F=POINT'
DO J=1,M1
DO I=1,L1
WRITE (105,67) X(I),R(J)*10,F(I,J,4)+TM-273.15,FOL(I,J)
ENDDO
ENDDO
CLOSE (105)
ENDIF

```

*****设置总体参数输出

```

IF (IR.NE.1.ANC. (IR-1)/60*60.EQ. (IR-1).OR.LTSTOP) THEN
OPEN (10,FILE='T.DAT')
WRITE (10,*) '"VARIABLES" "X" "Y" "T"'

```

```

WRITE(10,*) 'ZONE I=',L1,'J=',M1,'F=POINT'
OPEN(101,FILE='TF.DAT')
WRITE(101,*) '"VARIABLES" "X" "TF"'
WRITE(101,*) 'ZONE I=',L1,'F=POINT'
DO I=1,L1
WRITE(101,*) X(I),TF(I)          ! 输出传热流体的温度
ENDDO
DO 90 J=1,M1
DO 90 I=1,L1
WRITE(10,67) X(I),R(J),
& F(I,J,4)+TM-273.15,FOL(I,J)  ! 输出相变材料温度和熔化分数
90 CONTINUE
67 FORMAT(1X,1P4E14.3)
WRITE(9,402) TIME/60,F(II1,JJ1,4)+TM-273.15,
& F(II2,JJ2,4)+TM-273.15, F(II1,JJ1+1,4)+TM-273.15,
& F(II2,JJ2+1,4)+TM-273.15    ! 输出监控点温度
402 FORMAT(1X,1P5E14.3)
CLOSE(10)
CLOSE(101)
ENDIF
IF(IR.NE.1.AND.(IR-1)/60*60.EQ.(IR-1).OR.LTSTOP) THEN
WRITE(15,405) TIME/60,QTES1,QTES2,QTES4,QS,QL ! 输出储热量
405 FORMAT(1X,1P6E14.3)
WRITE(11,*) TIME/60
DO I=2,L2
IF(I.EQ.2.OR.DAT(I).EQ.YL.OR.DAT(I).GT.DAT(I+1)
& .OR.DAT(I).EQ.0.OR.I.EQ.M2)
& WRITE(11,*) X(I),DAT(I)      ! 输出固-液界面位置
ENDDO
WRITE(12,404) TIME/60,FF,TF(L1)+TM-273.15,EFF,Q1/DT1,
& Q2/DT1,Q3/DT1,Q4/DT1 ! 输出时间、熔化分数、出口温度、效率及速率
404 FORMAT(1X,1P8E14.3)
OPEN(1002,FILE='HF.DAT')
WRITE(1002,*) HO(1), ZDP      ! 输出传热流体的传热系数及压降
CLOSE(1002)
ENDIF
ENDIF
RETURN

```

*****控制方程中的系数及源项设置模块

```
ENTRY GAMSOR
IF (NF.EQ.4) THEN
DO I=1,L1
DO J=1,M1
GAM(I,J)=CONDP(I,J)/CPP      ! 导热系数/比热容
IF (J.EQ.M1) GAM(I,J)=1.0E-20 ! 对称边界设置
CON(I,J)=RHOP(I,J)*HLS/DT1*(F(I,J,9)-FOLK(I,J))
& /CPP                        ! 控制方程源项
ENDDO
ENDDO
ENDIF
RETURN
```

*****非稳态参数存储模块

```
ENTRY SAVEOLD
DO J=1,M1
DO I=1,L1
F(I,J,8)=T(I,J)      ! 储存相变材料温度
F(I,J,9)=FOL(I,J)   ! 储存相变材料熔化分数
RHOT(I,J)=RHO(I,J) ! 储存相变材料密度
ENDDO
ENDDO
DO I=1,L1
TFO(I)=TF(I)        ! 储存传热流体温度
ENDDO
RETURN
```

*****熔化分数更新模块 (需在主程序调用)

```
ENTRY CALFOL
DO I=2,L2
DO J=2,M2
FOL(I,J)=FOLK(I,J)+AP0(I,J)*T(I,J)*CPP*DT1/
& (RHOP(I,J)*HLS*YCVR(J)*XCV(I))      ! 计算新的熔化分数
```

*****根据当前时间层的熔化分数修正温度

```
IF (FOL(I,J).LE.0) FOL(I,J)=0.
IF (FOL(I,J).GT.0.0.AND.FOL(I,J).LT.1.0) T(I,J)=0
IF (FOL(I,J).GE.1.0) THEN
```

```

      FOL(I,J)=1.0
      T(I,J)=T(I,J)-(FOL(I,J)-FOLK(I,J))/(AP0(I,J)*CPP)*
& (RHOP(I,J)*HLS*YCVR(J)*XCV(I)/DT1)
    ENDF
  ENDDO
ENDDO
*****储存当前时层的融化分数值供下一时层使用
  DO I=2,L2
  DO J=2,M2
    FOLK(I,J)=FOL(I,J)
  ENDDO
ENDDO
RETURN
END

```