

基于 TChart 的大坝位移场可视化

李子阳^{1,2},包腾飞^{1,2},朱赵辉^{1,2}

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;

2.河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心,江苏 南京 210098)

摘要:为了从整体上了解坝体位移规律,提高监测资料的分析效率,借助 Delphi 开发环境,提出了一种运用 TChart 控件来实现大坝三维位移场可视化以及交互操作的有效手段.即将大坝位移测点及监测数据构成的体数据,以等参单元形函数插值生成坝体位移的 3D 规则数据场,再根据位移值大小赋予相应部分的颜色并设置 Chart 和 Series 相关属性,继而调用 TChart 的相应图件进行图像的绘制与编辑.结合某坝实测数据,将这些方法与技术集成实现,取得了良好效果,说明了 TChart 控件在大坝位移场可视化技术研究中的有效性.

关键词:体数据;规则数据场;形函数插值;TChart 控件;大坝;位移场;可视化

中图分类号:TV698 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2008)04-0496-05

在大坝安全监控中,为了判断大坝的安全状态,需要对大量的监测数据进行分析评判^[1].由于数据量太大,分析工作需要大量的时间和人力.另外,传统的规律分析方法仅限于对单个测点过程线进行绘制,难以产生坝体整体变形的效果.

相对于数据和文字,人们对图形图像具有更强的信息获取能力.如果将大坝安全监测中存在的大量数据通过可视化手段变成图像,就能更好地看出其中的规律.所以,可视化技术正成为大坝安全监测数据处理与分析越来越重要的一种工具.

TChart 控件作为一种有效的图形开发工具,在图像处理上有着非常强大的功能,它通过便捷的编程接口,不仅可以降低实现数据可视化的难度和复杂性,还能大大提高效率^[2].本文以大坝位移监测为例,运用有效的数学方法对监测数据进行处理,通过 Delphi 环境和 TChart 控件,实现对大坝位移场的三维可视化动态仿真.

1 大坝监测中的体数据及可视化

体数据可以定义为一个离散有界的三维空间上的采样函数,如果采样是规则有结构的,即在空间的 3 个方向上采样是均匀的,则称这种体数据为规则有结构^[3].借助体数据可视化技术研究体数据的表示、操作和显示方法,就可以看出体数据复杂的内部结构.由文献^[4]可知,大坝监测的体数据可以定义为大坝安全监测从垂线、引张线、测压管或应变计等监测仪器中获取的坝体点的三维数据,其可视化就是运用计算机图形学和图像处理技术,将监测所得的体数据在三维空间上生成坝体性态的三维图像,通过人机交互,监测人员可以对图像进行缩放、旋转、移动、整体或局部显示等一系列操作.

相应地,所有位移测点与监测数据就构成了大坝的位移体数据.如果测点均匀地分布在坝体三维网格上,即在 x, y, z 3 个方向上,测点之间的距离均相等,这种结构化体数据就构成了规则数据场.但在实际测点布置中,沿坝轴线和高程方向不可能完全均匀分布,而坝体的大尺度特征,使得监测数据只能是对三维位移连续数据场的有限采样.如此取得的监测数据,具有明显的离散性和稀疏性,为了生成规则的网格数据,以适应可视化输入要求并取得较好的三维图像显示效果,首先应对已有位移体数据进行图像三维插值,重构 3D

收稿日期:2007-10-22

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAC14B03) 国家自然科学基金(50579010) 中国水电工程顾问集团公司科技项目(CHC-KJ-2007-02) 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金(50539030-1-3)

作者简介:李子阳(1983—),男,安徽亳州人,博士研究生,主要从事大坝安全监测研究.

规则数据场。

2 形函数图像插值

2.1 图像插值算法

目前,对图像进行插值运算的常用方法有最邻近插值、线性插值、样条插值和克里金插值等^[5]。但这些插值方法没有考虑到物体几何形状的变化,间距较大时插值精度不高,可能会使图形的细节产生退化(如边缘模糊等),由此重建出的三维图像表面往往会产生伪像。其他的插值方法还有最小曲率法^[6]和信号抽样插值算法^[7]等,在改善体数据的三维可视化图像质量方面均有较好的效果,但算法较为复杂或应用较为单一,基本限于医学、地质等领域。

鉴于大坝形状的不规则性以及图像观察分析对局部或细节的要求较高,本文插值运算采用有限元位移模式思想,按照绘图精度要求,以位移测点并选取部分坝基点作为单元节点将坝体离散化,并以形函数的形式用节点位移来表示坝体内任一点位移。由于是空间结构,采用空间八节点等参单元形函数的位移模式进行三维图像插值。

2.2 形函数三维插值

在有限元法中,单元位移场 u 可以表示为

$$u = Nu_e \tag{1}$$

式中 N 和 u_e 分别为单元形函数矩阵和单元节点位移向量。在空间八节点立方体等参单元中,形函数取为

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi_i\xi)(1 + \eta_i\eta)(1 + \zeta_i\zeta) \quad (i = 1, \cdots, 8)$$

插值时,以位移测点及部分坝基点(坝基点位移设为 0)作为单元节点,对新生成的点 P (图 1),首先以牛顿迭代法按坐标变换式将其整体坐标转化为所在单元的局部坐标 (ξ, η, ζ) ,再代入式(1)即可根据已知节点位移求出新增 P 点位移。

与其他插值方法相比,该方法在新生成点位移的求解中,利用了其周围 8 个节点的信息,所得插值结果规律变化合理,能较好地反映实际位移变化^[8],而且该方法对结构形状与数据分布形式要求较低,适应性更广。

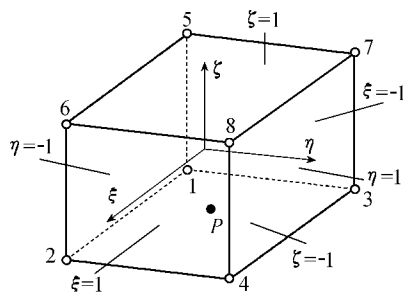


图 1 空间八节点等参单元

Fig.1 Eight-node isoparametric element

3 TChart 控件在大坝位移场可视化中的应用

对插值形成的 3D 规则数据场,即可利用 TChart 控件进行三维图像绘制。

TChart 控件在 Delphi 里是一个标准的图形显示控件,通过控件选项板中的“Standard”、“Additional”和“3D”等选项卡,可以绘制线条图、面积图、点图和三维表面图、三角面图等类型的图件。利用 TChart 绘制图形,可以静态设计,也可以通过其便捷的编程接口实现动态生成及图形的编辑操作,以满足绘制多种图形的需要。

本文采用“3D”选项卡的 Triangle Suf. 图件绘制三维位移场,即位移场由均匀分布的数据点按照一定的规则构成的一系列不相交的三角面组成。绘制时主要借助“AddSeries”方法向 Chart 图表添加要显示的数据序列,通过 Title,Axis 和 SeriesColor 等操作设置 Chart 和 Series 的属性。

为了动态显示数据,需要在运行中对每个 Series 进行赋值并设置属性,部分程序段如下:

```
Procedure TFormDistributMap.Draw3D(Sender:TObject);
Var MyPoint = Record X:Real;Y:Real;Z:Real;Name:String;TableName:String;End;
OldMark:Array[0..100] of MyPoint;//测点信息(坐标、名称及数据表)
OldData:Array[0..100] of Real;//整编位移值
NewMark:Array[0..800] of MyPoint;//规则数据场点信息
NewData:Array[0..800] of Real;//规则数据场位移值
SelDate:TDateTime;//选中日期
Begin ... ..;Chart1.Title.Text.Text:= '大坝位移场三维图';
```

```
Chart1.LeftAxis.Automatic := True ; Chart1.DepthAxis.Automatic := True ;
Chart1.BottomAxis.Automatic := True ; Chart1.Series[n].IrregularGrid := True ;
For i := 1 To SeriesNum Do
    With (Chart1.Series[n] As TTrisurfaceSeries) Do Addxyz (NewMark[i].X, NewMark[i].Z, NewMark[i].Y
+ NewData[i]) ;
    If NewData[i] >= MinData + 0.2 * (MaxData-MinData) Then Series[n].SeriesColor := ClRed ; ... .. ; End ;
Chart 的部分属性(Title、Axis) 也可以通过‘ Editing Chart ’对话框的‘ Axis ’和‘ Title ’等选项卡进行静态设计[9]. 另外, TChart 还提供了漫游工具——TeeCommander 控件. 通过此控件, 可以实现图像的旋转、移动、缩放
等操作以及保存、打印等通用功能.
```

4 大坝位移场可视化的实现

4.1 工程概况

本文所采用的数据为某拱坝位移监测资料. 大坝分 43 个坝段, 每个坝段长 20 m, 最大坝高近 300 m, 坝体及坝基共布设了 9 条正垂线和 9 条倒垂线监测系统, 计 44 个正垂测点和 11 个倒垂测点(图 2). 因为是绘制坝体变形图, 倒垂测点不予考虑, 为便于划分单元, 新增 11 个坝基点. 因此, 参与计算绘图的节点共计 55 个.

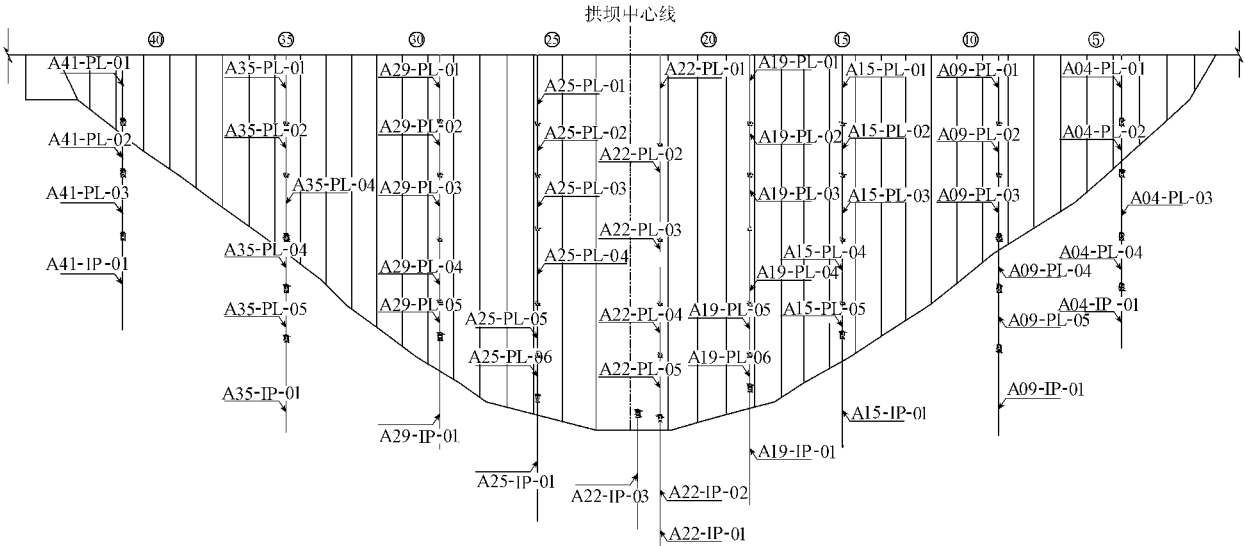


图 2 大坝垂线测点分布
Fig.2 Distribution of plumb measuring points of the dam

4.2 可视化总体框架

绘制位移图时, 首先从所有的测点测值中查询所选日期测点位移整编值, 然后运用形函数插值生成 3D 规则数据场, 再根据位移值大小赋予相应部分的颜色并设置 Chart 和 Series 相关属性, 最后调用 TChart 指令进行图像的绘制. 其基础框架由数据库、可视化绘图、图像漫游等部分组成, 如图 3 所示.

4.3 几点技术说明

由于监测系统的实测数据或多或少地存在系统误差和粗差, 甚至还存在错误, 计算前需进行数据整编; 一些整编数据(如正垂线测值)可能是相对位移, 需将其转化为绝对位移. 而所取节点并非均匀分布, 如此取得的监测数据, 是不规则网格数据场. 因此, 为取得较好的图像显示效果, 在可视化显示前要对监测数据进行预处理, 包括对原始观

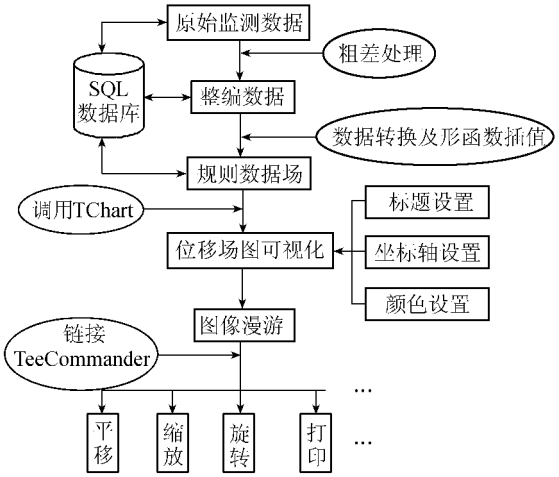


图 3 大坝三维位移场可视化框架
Fig.3 Visualization framework of 3-D displacement field of the dam

测数据进行粗差别出、数据转换和通过插值生成由均匀网络组成的 3D 规则数据场。

本例中坝体横向只布置了一组测点,忽略坝体位移横向变化,认为横向位移一致.考虑坝体尺寸,通过形函数插值生成沿竖直面投影的 20 m×20 m 的均匀网格。

4.3.1 数据管理

坝体位移监测所形成的体数据量较大,借助 SQL 数据库进行数据存储、编辑以及查询,以提高速度,实现实时数据管理.绘制图形时,用户自行输入查询日期,利用动态 SQL 查询语句^[10]对测点测值进行查询,查询结果借助 StringGrid 表格控件显示。

查询测值并显示的部分语句如下：

```
Procedure TFormDistributMap.GetAllOrgaDataWithDate(Sender : TObject) ;
Begin (变量定义同前)
  For i := 1 To 55 Do Begin SelDate := ShowDateTimePicker.Date ;
    OldData[i] := GetOrgaData (OldMark[i].TableName, SelDate) ;//根据测点表及日期查询测点整编数据
  //测点整编数据显示
  StringGrid1.Cells[0,i] := IntToStr(i) ;StringGrid1.Cells[1,i] := OldMark[i].Name ;StringGrid1.Cells[2,i] := FloatToStr (OldData[i]) ;
  End ;End ;
```

4.3.2 动态显示

为了多角度观察坝体位移变化情况,不仅链接了 TeeCommander 控件,而且借助 TTimer 控件^[11]和 TCheckBox 控件,实现了自动旋转.同样,借助这 2 个控件,可以任意选择时段进行自动播放,动画显示坝体变形规律.当选中相应 TCheckBox 按钮激活后,Chart 将自动旋转或播放图像。

部分实现程序段如下：

```
Procedure TFormDistributMap.Timer1Timer(Sender : TObject) ;//自动旋转过程
Begin With Chart1.View3DOptions Do Rotation := (Rotation + 1) Mod 360 ;End ;
Procedure TFormDistributMap.Timer2Timer(Sender : TObject) ;//动态播放过程
Begin NextDateSpeedButtonClick(Sender) ;//下一天数据场显示
  If DaysTrackBar.Position = DaysTrackBar.Max Then Timer2.Enabled := False ;End ;//如果是中止时间,动画结束
```

4.4 三维位移场的显示操作

采用第 3 节介绍的方法,可以实现所有测点测值信息的整体显示(图 4) ;也可以借助‘Standard’选项卡的‘Area’和‘Horizontal Area’图件按坝段(图 5)或按高程察看坝体位移.显示出来的三维数字模型,可以任意旋转、平移、缩放、拉伸以及动画播放等,用户能够从不同方向和角度观察坝体变形,全局了解坝体位移分布的空间形态。

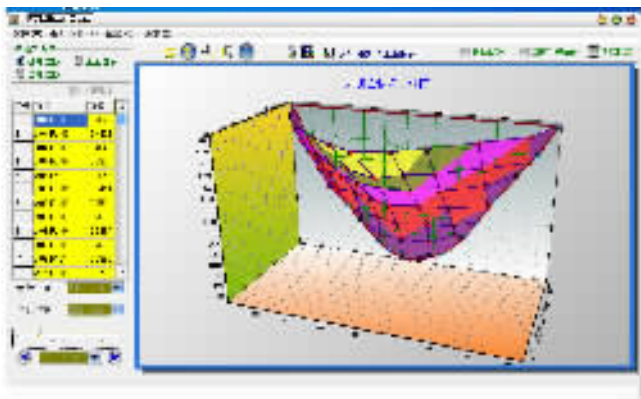


图 4 大坝三维位移场显示
Fig.4 3-D displacement field of the dam

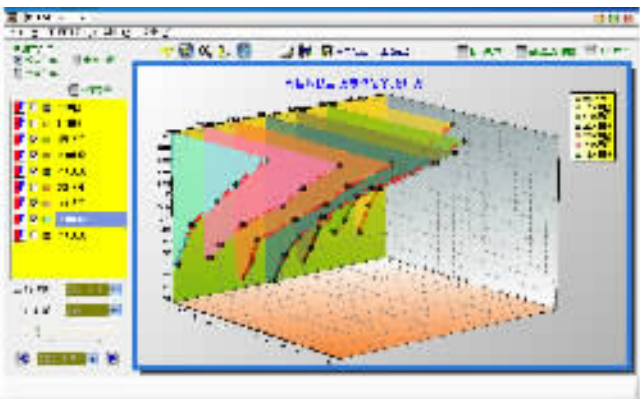


图 5 典型坝段位移挠曲线显示
Fig.5 Displacement curves of typical dam sections

若用户对图形的质量要求不高,也可不经插值直接用不规则三角网模型通过分散的数据点生成的连续三角面来近似绘制大坝变形三维图.但是,这种方法在数据过于密集或缺乏时往往会生成细小、狭长的三角面,尤其是在数据突变时,图形显示可能会比较混乱.

5 结 论

在大坝安全监测系统的开发中,可视化技术的应用越来越广泛.借助 TChart 控件强大的图像处理功能进行大坝位移场可视化绘图,简洁直观高效.本文讨论了根据大坝位移监测的三维空间离散体数据,运用等参单元形函数插值生成 3D 规则数据场,并在 Delphi 开发环境下,调用 TChart 的相应图件生成三维位移图像的过程和方法.实例表明,生成的图像真实自然,并可以实现动态和局部观察,能够直观地表现出坝体整体及各部位的位移变化情况.

参考文献:

- [1] 吴中如.水工建筑物安全监控理论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [2] 郭江峰.TChart 和 TDBChart 组件在地质绘图中的应用[J].安徽理工大学学报:自然科学版,2005,25(3):14-16.
- [3] 管伟光,马颂德.三维体数据可视化技术[J].CT理论与应用研究,1995,4(1):1-6.
- [4] 宋卫卫,李冠华,欧宗瑛.医学体数据三维可视化技术[J].计算机工程与应用,2006(18):22-26.
- [5] LEHMANN T M, GONNER C, SPITZER K. Survey interpolation methods in medical image processing[J]. IEEE Trans Med Image, 1999, 18(11):1049-1075.
- [6] 祁民,张宝林,梁光河.高密度电法的三维数据场可视化[J].地球物理学进展,2006,21(3):981-986.
- [7] 朱瑾,张尤赛,王建华.图像三维插值算法研究[J].华东船舶工业学院学报:自然科学版,2005,19(4):65-67.
- [8] 李子阳,王建,金永强.大坝水平裂缝稳定性分析[J].水力发电,2007,33(7):36-41.
- [9] 李丹荣,杜维.基于 Delphi6.0 的实时数据采集与分析系统[J].机电工程,2003,20(5):64-67.
- [10] 穆彤娜,于洪敏,张铁成.数据库系统综合查询方法研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):260-264.
- [11] 高海峰,何福友,黄考利,等.活用高级语言进行串行通信[J].计算机工程,1999,25(9):73-74;100.

TChart-based visualization of dam displacement field

LI Zi-yang^{1,2}, BAO Teng-fei^{1,2}, ZHU Zhao-hui^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, HoHai University, Nanjing 210098, China ;

2. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, HoHai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : In order to understand the entire law of dam displacement and improve the analysis efficiency of monitoring data, a TChart-based technique in Delphi that realizes the visualization of the 3-D displacement field of the dam and includes the interactive operation is described in detail. First, according to the volume data consistent with the coordinates and monitoring data from dam displacement measurement points, the 3-D regular data field of dam displacement is generated by shape function interpolation of the isoparametric element. Then, based on the displacement values, the corresponding parts are endowed with colors, and the relevant attributes of the Chart and Series are set. Finally, the corresponding maps of TChart are called for drawing and editing images. The methods and techniques are applied to an arch dam and good results are obtained. This shows that the TChart component is effective in the visualization of the 3-D displacement field of the dam.

Key words : volume data ; regular data field ; shape function interpolation ; TChart component ; dam ; displacement field ; visualization