

三维复杂排渗体的结构特征及有限元网格加密技术*

郭洪兴 速宝玉 詹美礼

(河海大学水利水电工程学院 南京 210098)

摘 要 通过研究水利水电工程中常用的由排水廊道和排水孔组成的排渗系统结构特征,提出了工程渗流控制中带有复杂排渗系统的有限元分析网格生成及其加密技术,设计编制了有限元分析前处理软件.该软件已在冶勒水电站枢纽工程和横山热电厂灰坝工程的渗流控制优化分析计算中成功地用于渗控分析有限元计算的前处理,生成了三维有限元网格.该软件的应用,使本需 20 余天的前处理工作得以在短短的 1~2 d 内完成,为实现复杂渗控系统的优化布置多方案比较创造了条件.本文研究的有限元网格加密技术具有较大的应用价值.

关键词 三维复杂排渗体;自动生成软件;排水廊道;排水孔

中图号 TV139.14

在岩土工程中,由于水的渗漏而引起的破坏占了相当大一部分.为了减少这种破坏,工程中必需采取各种各样的防渗和排渗措施.为了选取较优的防排渗布置方案,工程人员就要对多种防排渗布置方案进行计算比较.以往改变方案时常常需要花费大量的时间人力来准备有限元计算的前置数据——网格信息^[1].由于人力时间所限,就不得不减少优选的比较方案,这就达不到真正优选的目的.为此,很有必要编制防、排渗体的有限元网格数据自动生成软件.作者在深入分析研究工程中常用的由排水廊道和排水孔组成的排渗体的结构特征基础上,设计编制了该类型的三维复杂排渗体的有限元网格数据自动加密生成软件.该软件在冶勒工程和横山热电厂工程的计算中运行良好,为这些工程的渗控优化计算节约了较多时间,大大提高了工作效率.

1 排水廊道和排水孔组成的排渗体系结构特征

由排水廊道和排水孔组成的排渗体系一般有如下几种形式 (a)排水廊道加水平排水孔,图 1(a);(b)排水廊道加竖直排水孔,图 1(b);(c)排水廊道加水平和竖直排水孔,图 1(c).

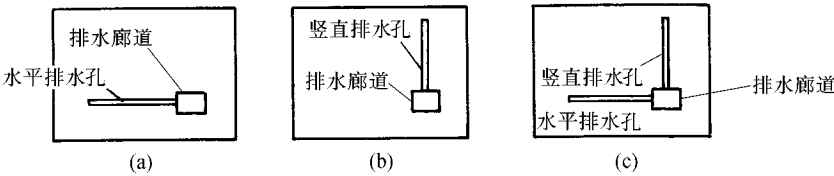


图 1 排水孔在一个母单元内的排渗体的几种形式

Fig.1 Several drainage body structures with drain holes in one super-elemant

在选择优化方案时排水廊道及排水孔的长度可能变化很大,如果只把排渗体布置在一个母单元内(在整体区域的剖分中,本文把包含排渗体的单元称为母单元),可能导致母单元的尺寸太大.为避免这种情况,考虑把排渗体布置在两个单元内,此时,与图 1 对应的排渗体形式如图 2 所示,既可将排水孔布置成单排,也可将排水孔布置成多排.

收稿日期:1998-10-06
第一作者简介:郭洪兴,男,工程师,水力学及河流动力学专业,现主要从事计算机网络研究.
* 国家自然科学基金资助项目(59879004),水利部水利技术开发基金资助项目(97472603).

2 网格加密形式

从上述可以看出,由排水廊道和排水孔组成的排水体系的网格加密,当用计算机自动生成网格数据时,其最复杂的结构布置形式就是排水廊道和排水孔都布置在多个单元内的情形.下面就先说明这种布置形式的网格加密形式,其余的布置形式都可在这种形式基础上作一些调整而得到.

2.1 排水廊道和排水孔都布置在多个单元内的排渗体系的网格加密形式

由于排水孔的直径多在 30 cm 以内,排水廊道的宽度和高度一般在 3 m 左右,而母单元的宽度和高度时常在几十米的量级上,它们的尺寸相差非常大,所以其网格加密形式采用从母单元外边到廊道逐步加密过渡,从廊道到排水孔再逐步加密过渡的两级加密形式.要加密图 3(c) 所示的母单元,首先在横向(垂直于廊道轴线方向,即图 3 中的 1—1 剖面)按图 4(a)的形式,在纵向(平行于廊道轴线方向,即图 3 中的 2—2 剖面)按图 4(b)的形式进行第一级加密.由母单元经三层过渡和排水廊道形成加密网格,其中排水孔包含在块体 33—34—35—46—45—44 和 37—38—39—40—47—46 内.对这两个块体,再在横向按图 5(a)的形式,在纵向按图 5(b)的形式进行第二级加密,依然采用三层过渡形成加密网格.在排水孔附近,按图 6 的形式进行加密^[1].

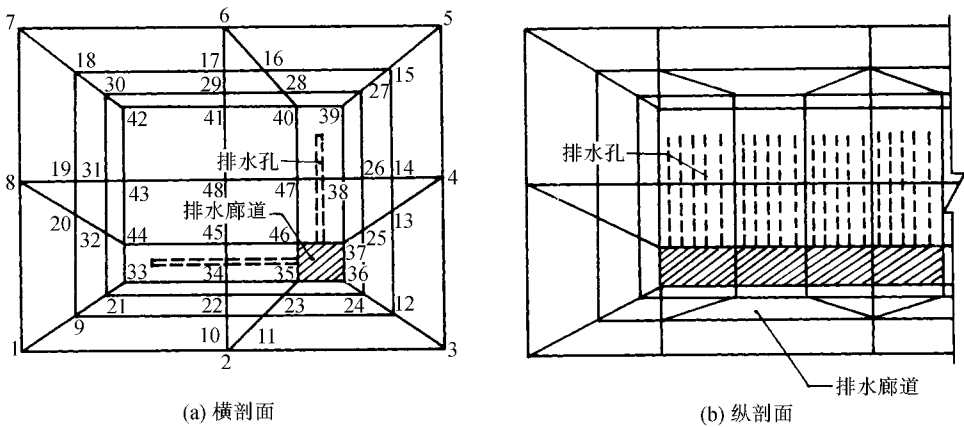


图 4 第一级加密形式
Fig.4 The first level of refined mesh scheme

2.2 其余排渗体系的网格加密形式

其它几种结构形式的排渗体系,可以看作是第一种排渗体系的特殊形式,只要对第一种加密形式作一些线、面移动即可满足相应的结构形式^[2~5].

排水孔只处在一个母单元内的排渗体系的网格加密形式,只要把图 4(a)中的线 P_8P_4 所在的面平移到线 P_7P_5 所在的面,线 P_6P_2 所在的面平移到线 P_7P_1 所在的面即可.排水廊道只处在一个母单元内的排渗体系的网格加密形式已完全包含在第一种形式之内.

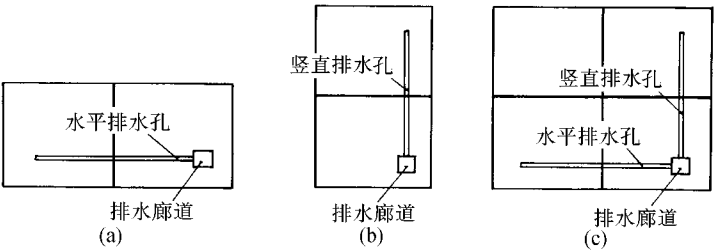


图 2 排水孔在多个母单元内的排渗体的几种形式
Fig.2 Several drainage body structures with drain holes in several super-elements

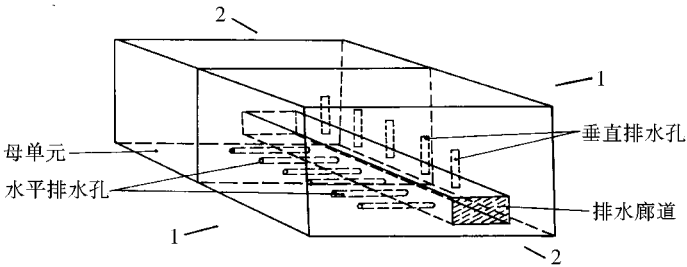


图 3 排水廊道与排水孔结构

Fig.3 Structure of drainage gallery and drain hole

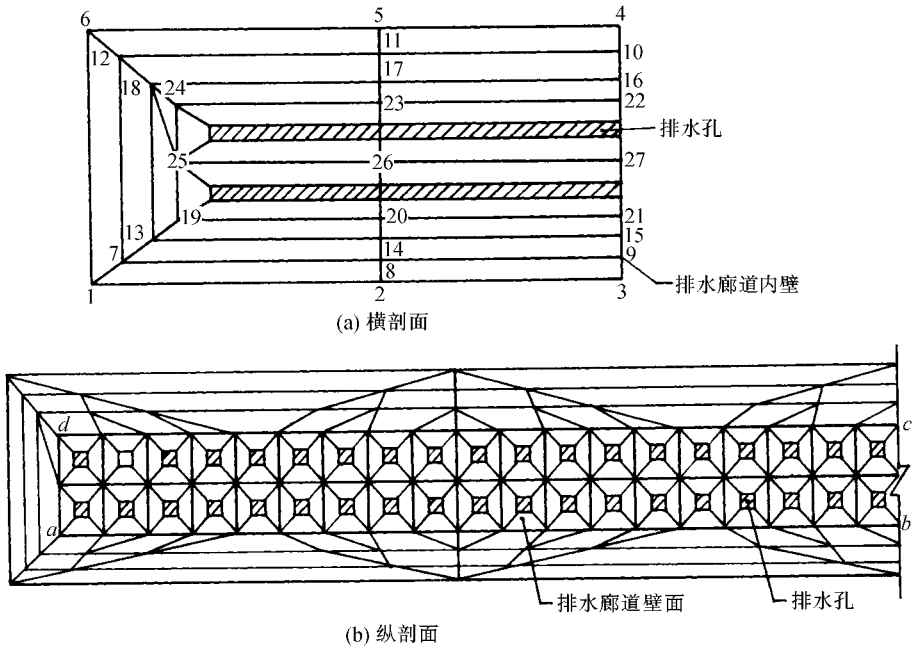


图 5 第二级加密形式
Fig.5 The second level of refined mesh scheme

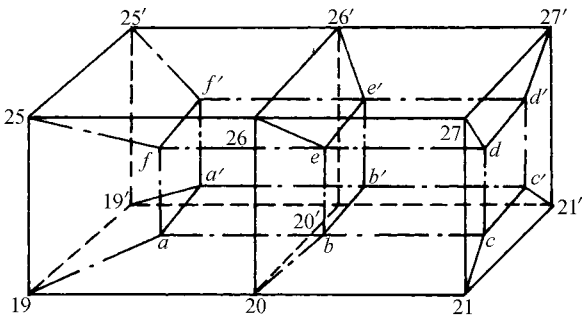


图 6 排水孔周围单元加密形式
Fig.6 The refined mesh scheme for elements around drain holes

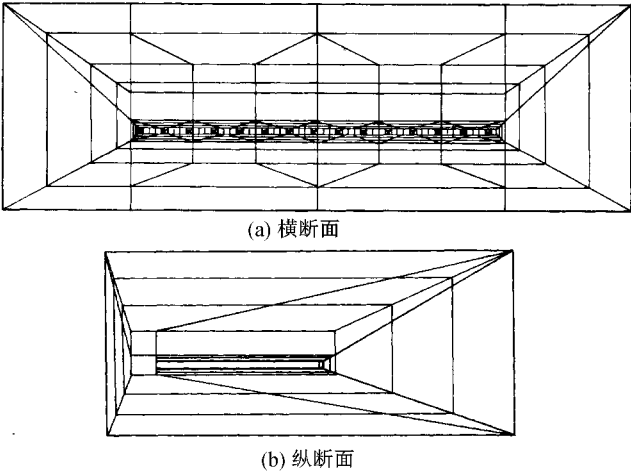


图 7 网格剖分算例
Fig.7 Example of mesh generation

3 程序实现及算例

由于排水廊道的长度、排水孔的长度和个数及布置排数是未知的,所以程序实现的关键点是采用何种数据结构,使得结点编号及单元信息的正确形成最方便.作者处理这一问题时采用了链式结构.将横断面上点之间的关系转化为链之间的关系,而纵断面上点之间的关系转化为链上结点的搜索路径问题.这样就把这个空间剖分问题转化成了两个平面问题,大大减小了编程的复杂度.

由于 C++ 语言具有很强的指针处理功能^[7],便于实现链表这种数据结构,所以作者在 C 环境下实现了上述算法.大量的算例和工程应用表明,该软件通用性很强,运行良好.图 7 是排水廊道加水平排水孔组成的排渗体用该软件剖分后的网格图.母单元 30 m×30 m×20 m,排水廊道长 60 m,排水孔长 15 m,排水孔布置成一排,间距 1 m.

参 考 文 献

1 张海燕.基于实体造型的三维有限元网格自动剖分 [学位论文].大连 :大连理工大学 ,1995
2 Baehmann P L ,et al.Robust geometrically based automatic two dimensional mesh generation.Int J Numer Meth Eng ,1987 24
3 George P L. Automatic mesh generation.Applications to Finite Methods Wiley ,Chichester ,UK ,1991
4 Van Phai N. Automatic mesh generation with tetrahedron elements.Int J Numer Mesh Eng ,1982 ,18
5 Yerry M A. Shepard M S. Automatic three-dimensional mesh generation by the modified-octree technique. Int J Numer Meth Eng , 1984 20
6 严蔚敏 吴伟民.数据结构.北京 :清华大学出版社 ,1991
7 颜雪松 赵志明.学习和使用 Borland C + + .南京 :南京大学出版社 ,1994

Structure Features of 3-D Complex Drainage Body
and Refined-Mesh Technique of FEM

Guo Hongxing Su Baoyu Zhan Meili

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Abstract Automatic mesh generation and refined-mesh technique for seepage control analysis is developed for the drainage body with drainage galleries and drainage holes in hydroelectric projects. The pre-processing software of FEM numerical calculation is coded and is successfully applied to the seepage control analysis of the Yele Hydroelectric Project and the Ash Dam Project of Hengshan Thermal Power Plant. The pre-processing work of FEM finished manually in more than twenty days can be done in one or two days by use of the software. With the help of the software ,the optimization design of complex seepage control systems can be achieved. So automatic mesh generation and refined-mesh technique presented in the paper have good application prospects.

Key words 3-D complex drainage body ;automatic mesh generation software ;drainage galleries ;drainage holes

《水利水电科技进展》征订启事

《水利水电科技进展》(双月刊 ,国内统一刊号 CN32 - 1258/TV ,国际标准刊号 ISSN1006 - 7647).主要刊登与水利、水电、水运、海洋、土木、环境等学科有关的文章 ,为水利水电工程建设及运行管理提供有借鉴意义的新颖实用技术和科技信息.主要栏目有方针与政策、专题综述、研究与开发、规划与勘测、设计与施工、工程管理、经济交流、国外动态等 ,适合广大工程技术人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读.

本刊由河海大学主办 ,全国各地邮局均可订阅 ,邮发代号 28 - 244 ,1999 年全年订价 30.00 元 ,也可直接汇款至编辑部订阅(另加包装邮寄费 6.00 元).编辑部地址 :南京市西康路 1 号河海大学《水利水电科技进展》编辑部 ,邮政编码 210098.汇款时务请注明“订水利水电科技进展”.联系电话 (025)3713777 转 50335.