

# 三维设计在尾矿库设计中的应用

## Application of 3D Design in TSF Design

李云清(中国恩菲工程技术有限公司,北京 10038)

**摘要:**本文通过介绍 Bentley 软件中的 GEOPAK 模块在尾矿库库容计算及筑坝工程量计算中的应用,对比说明三维设计在尾矿库设计中的优势。BIM 理念已经在尾矿库设计中领域得以应用,随着技术的发展,BIM 的理念将会贯彻在尾矿库的设计、施工、放矿、监测等各个方面,形成尾矿库全生命周期的仿真管理系统。

**关键词:**三维设计; GEOPAK; 库容计算; 坝体工程量计算

**中图分类号:** TD926 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)05-0071-04

**Abstract:** 3D design has been widely used in the architecture and water conservancy industries, but not commonly in TSF design. In this paper, the application of Bentley GEOPAK module in the calculation of TSF storage capacity and damming workload is introduced, and the advantages of 3D design in TSF design are illustrated. BIM concepts has been applied in the field of TSF design. With the development of technology, the concepts of BIM will be implemented in the design, construction, ore drawing, monitoring and other aspects of TSF, forming a simulation management system for the whole life cycle of TSF.

**Key words:** 3D design; GEOPAK; storage capacity calculation; damming workload calculation

## 1 前言

BIM 技术的发展,已经广泛应用于建筑、水利、机械设计行业<sup>[1-2]</sup>。BIM 模型可以包含从规划、设计、施工、运营管理等全生命周期中各阶段的信息。在设计领域中,二维设计理念已经逐渐在被三维设计所取代,三维设计与二维设计相比的优势见表 1。

表 1 三维设计与二维设计的优劣势对比

项目	优势	劣势
三维设计	可视性好,立体、直接,不需要专业知识就可以理解,可以直接看到成品,多专业结合,减少碰撞、错误	设计软件操作复杂,软件价格贵
二维设计	设计软件容易掌握、价格便宜	可视化差,无法见到成品,需要一定的想象力,多专业间的交叉碰撞难以发现

三维设计以其可视化、协同性等优势正逐步向各设计领域推广,其中也包括尾矿库设计领域。

尾矿库工程设计<sup>[3]</sup>,是一项复杂且需对种因素

进行综合性考虑的工作,以往的尾矿库设计大多是在二维平面图上进行,地形地貌的空间立体感缺失,造成设计人员无法准确判断地形和地貌的特征。三维设计的发展,避免了设计人员在二维图纸和三维实体之间的思路转换,设计成果准确地反映设计者的意图。通过三维设计软件,设计人员可以在计算机上快捷、准确地实现三维建模,可以多方面、多角度的呈现尾矿库全貌。

本文通过介绍尾矿库设计中尾矿库库容计算、尾矿库库容利用系数计算及坝体工程量计算的方法,来展示三维设计在尾矿库工程设计的应用,对比传统二维设计方法,显示三维设计的优势。

## 2 软件介绍

目前主流的三维软件包括 Bentley、CATIA、Solidworks、Civil 3D 等,本文主要介绍 Bentley 中的 GEOPAK 软件在尾矿设计中的应用。

GEOPAK 是 Bentley 公司出品的一款三维辅助设计软件,它具有一整套灵活的动态场地设计工具,广泛应用于工程项目,如场地平整,公路、水电站、矿山项目等<sup>[4]</sup>。工程场地主要使用 GEOPAK Site 模块来实现场地的开挖、回填、坝体的堆筑等设计。GEOPAK 软件具有以下特点<sup>[5-7]</sup>:

(1)能以不同的设计方案进行快速的浏览,并能通过功能强大的场地模型工具对设计成果进行可视化的编辑。在通用设计平台中建立建筑物各部位

[作者简介] 李云清(1988 -),男,工程师,主要从事矿山配套尾矿库工程设施的设计与研究。

[引用格式] 李云清. 三维设计在尾矿库设计中的应用[J]. 中国矿山工程,2022,51(5):71-74.

三维模型,将分部模型组装完成后提取建筑物与基础接触的特征轮廓线并结合地形地质的三维数字模型在中就可以实现场地的三维可视化设计。

(2)能够很容易的建立模型和对模型进行修改设计,从而可以大幅的提高工作效率。

(3)将地质资料和数字地模导入,并将建筑物的特征轮廓线投影到实际设计高程然后按照给定设计坡比在原地形上进行放坡、修筑马路等。

(4)在建筑物基础开挖有交集的地方软件可自动处理或者人工干预进而防止重复计算开挖量。

### 3 应用实例

#### 3.1 总库容计算

尾矿库库址方案比选阶段,往往需要选定多个库址、坝址,通过计算比较,综合选择库容满足要求,工程量最小的方案作为最优方案。

二维的通常做法,通过 CAD 软件,在等高线地形图上初步选定坝轴线的位置,根据坝高和边坡坡度进行放坡,与相应标高的等高线相连,然后将坝体与各标高等高线围成的封闭面积依次记录,利用台体体积公式近似推求尾矿库库容。此方法的缺点如下:

(1)改变坝轴线位置或者库容不够,需重新进行放坡,重复以上工作,耗费时间,且容易出错,不容易校核。

(2)等高线不封闭、部分缺失、精度不足等,需人工进行连接、内插等。

GEOPAK 软件通过模拟尾矿库的地面形态,将地面模型数字化,最大程度地利用所有已知高程信息(包括等高线、高程点等)。在建模过程中,信息的传递主要通过模型生成的中间内部文件实现,无需人工量求和读取数据,较大程度地避免了人为差错的出现。GEOPAK 软件计算库容的主要步骤如下:

(1)首先将地形文件作为参考导入到 DGN 文件中。

(2)提取地形文件中的高程信息(等高线、高程点等),存储在 dat 文件中,具体如图 1 所示。

(3)利用 dat 文件生成包含三角网信息的 tin 文件,具体如图 2 所示。

(4)利用 Site Modeler 生成 gsf 文件,gsf 文件中以生成的地形 tin 文件输入为存在地形,在其基础上进行坝体的建模。

(5)坝体建模完成后,利用 Analysis 模块下的 Volumes 功能进行库容计算,同时可输出各标高下的库容。

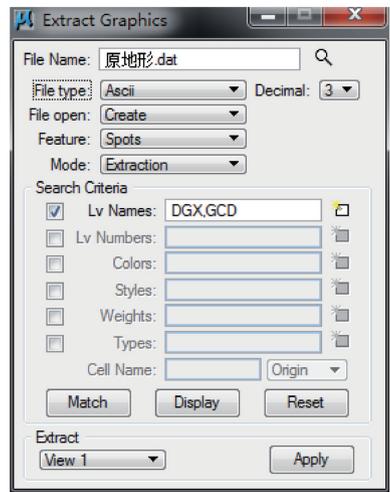


图 1 提取高程信息

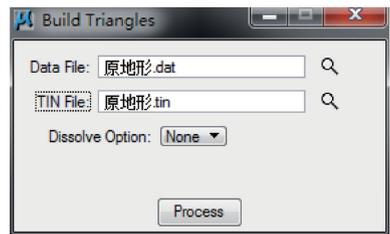


图 2 生产 tin 文件

某工程选矿厂产生尾矿量为 6 832.98 t/d,每年工作 300 d,服务期为 24 年,尾矿性质如下:尾矿比重为 2.7,尾矿粒度  $-0.074 \text{ mm}$  占 60%,尾矿堆积干密度取  $1.3 \text{ t/m}^3$ 。经过计算所需尾矿库库容至少为  $4 919.75 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。表 1 为分别采用二维方法与三维方法库容计算对比表,两种方法所计算的库容相差  $4.10 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,误差率为 0.08%,两者的精确度都较高,但是二维方法的耗时较高,一旦改变坝轴线位置或者坝高,试算花费的时间较长,相比二维方法,三维前期基础工作准备好后,后期调整的耗时往往很短。

表 1 二维方法与三维方法计算对比表

	库容计算成果/ $10^4 \text{ m}^3$	首次 耗时/h	重复计算 耗时/h
二维方法	5 125.45	8	8
三维方法	5 121.35	4	1~2

利用三维软件,可方便、快捷的检查地形数据错误,可迅速得出坝高-库容曲线,更改方案时,可迅速判断新方案库容是否满足要求,可生动、形象的展示各方案的相对位置。

#### 3.2 有效库容计算

尾矿库的有效库容是指尾矿坝体外表面以下、

库底面以上用于贮存尾矿(含悬浮状尾矿浆体)的空间容积。尾矿库区别于水库在于尾矿库的有效库容是斜面,而水库的库容是平面。这就导致利用二维设计方法计算有效库容比较困难,无法准确计算出库容利用系数。

传统的设计方法是根据《尾矿设施设计参考资料》给出的不同库型、不同放矿方式的经验库容利用系数值,粗略估算尾矿库的有效库容,但是对于地形比较复杂,放矿工艺采用库前库尾联合放矿或者采用库前库周支沟联合放矿的尾矿库的库容利用系数往往难以准确估算。

某尾矿总库容  $2.858 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,有效库容  $2.572 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,属于二等库,尾矿堆积坝采用上游式尾矿筑坝。尾矿库位于某河沟中上游山间河谷地带,尾矿库主沟走向为东西向,尾部向西北倾斜,由一个主沟和四个支沟组成,其中右岸3个支沟,左岸1个小型支沟。尾矿库的库型为较宽阔山谷型但是支沟较多,根据以往经验采用库前式排矿时,库容利用系数仅为0.8,为了提高库容利用系数,增大尾矿库的有效库容,采用库前与库周支沟联合放矿的方式。

利用 GEOPAK 软件,在已建好的尾矿库模型的基础上进行放矿模拟,验证尾矿库的有效库容是否可以达到预期。首先,进行坝前放矿模拟,参照坝体放矿的方法,坝前放矿往往很难放到支沟中,就需要在支沟处单独进行放矿模拟;对于支沟放矿,可以采用圆形扩散的方式进行模拟,此种模拟方式比较符合现场实际情况。通过坝前及支沟放矿模拟,计算出有效库容  $2.572 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,总库容  $2.858 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,库容利用系数为0.9,增大了尾矿库的有效库容约  $2.800 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

不同的地形环境,很难利用以往的经验,但是通过利用 GEOPAK 软件,模拟不同的放矿模式,可以较准确的确定尾矿库的有效库容。

### 3.3 坝体工程量计算

对于尾矿库工程,无论是上游式尾矿筑坝法、中线式尾矿筑坝法、下游式尾矿筑坝法还是采用一次建坝形式,都需要计算坝体的工程量。尤其是采用废石尾矿联合堆存工艺时,筑坝的废石量需与采场开采的废石量相平衡,坝体堆筑需考虑尾矿库内尾矿上升速度、坝体的稳定性等因素。

某尾矿库采用废石筑坝,最终坝顶标高 1 070 m,最大坝高 260 m,坝轴线长 2 350 m,坝顶宽 255 m,上游坝坡 1:2.0,最终下游坝坡 1:3.0。尾矿

后期坝堆筑采用两台排土机与汽车堆筑同时进行。开采初期废石量较少,废石中含有较多松散土,初期废石利用率低,且初期尾矿上升速度快,要求后期坝的上升速度至少与尾矿的上升速度同步;同时还有考虑排土机的移设时间长,尽量减少移设次数等因素。汽车堆筑负责保证坝体高度的上升超过尾矿水位的上升速度,排土机向下排土,排土高度为 40 m,负责坝体宽度方向的延伸,保证坝体稳定。综合考虑各项因素,平衡排土机所排废石量与汽车堆筑的废石量至关重要。表 2 为每年开采废石量与拟用于堆筑尾矿坝的废石量。

表 2 每年开采废石量与拟用于堆筑尾矿坝的废石量

年数	开采废石量/ $10^4 \text{ m}^3$	拟用于堆筑尾矿 坝废石量/ $10^4 \text{ m}^3$
1	1 500	1 000
2	1 500	1 200
3	1 500	1 500
4	1 500	1 500
5	1 500	1 500
6	1 700	1 700
7	1 700	1 700
8	1 700	1 700
9	1 700	1 700
10	1 700	1 700
11	1 750	1 750
12	1 750	1 750
13	1 750	1 750
14	1 750	1 750
15	1 750	1 750
16	1 200	1 200
17	1 200	1 200
18	1 200	1 200
19	1 200	1 200

根据每年开采废石的总量,分别估算排土机与汽车堆筑的废石量。在 GEOPAK 中先假定一段平台的长度,根据坡度进行放坡操作。然后利用查询工具,查询这一平台的工程量,与估算的排土机的排放废石量相比,进行调整,缩短或者加长平台的长度,继续进行放坡操作,直到此平台的工程量与估算量相差不大,然后进行下一平台的长度选择。以此方法进行,直到堆筑到坝顶标高。此时,每一平台每期所需的废石量可以精确得到,并且每期堆筑坝体

的轮廓线可以精确在地形图上显示。图3所示为第9年末尾矿坝堆筑轮廓,图4所示为尾矿坝最终堆筑轮廓,由图可以清晰的看到尾矿坝的每期变化情况,每期堆筑坝体的轮廓线所在位置等。

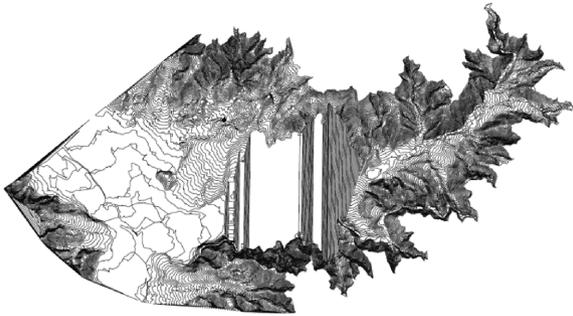


图3 第9年末尾矿坝堆筑轮廓

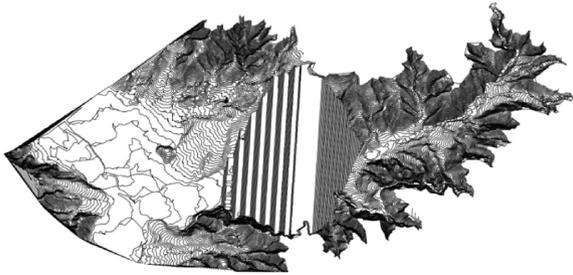


图4 尾矿坝最终堆筑轮廓

如果使用传统方法二维进行试算,每选定一个平台的长度,就要在二维地形图中进行放坡,然后利用二维的方法计算工程量,计算结果与估算量相比较,进行调整,然后继续上一步骤的手动放坡,手动计算工程量,如此反复,直到平衡。

二维方法的计算量大,耗时长,容易出现错误。三维操作只需要选定坝顶或者平台所需放坡的直线,输入坡度,即可完成上述工作,方便快捷。而且在生产中可根据生产实际情况产生的废石量来调整坝体堆筑进度等。

## 4 结论

在 Bentley 平台的基础上,充分利用计算机的计算能力和三角网差分法给场地设计尤其是复杂的边坡开挖、坝体堆筑提供了巨大的支持。计算精度在很大程度上依赖于地形测量基础数据以及设计工程师所选用的三角网格精度,相比于常规二维设计通过剖切典型断面计算工程量,三维设计能够更准确迅速的计算机算工程量,更真实形象地反应堆筑坝体的效果。

GEOPAK 软件有实时设计功能即通过调整对应设计要素线重新运算后,整个工程的模型随着更新使三维坝体堆筑变得更加直观,重新运行工程量查

询命令可以得到更新后的工程量。运用软件进行辅助设计能够实时反映坝体堆筑三维效果,形象的反映工程整体布置,并高效的辅助实际坝体的堆筑,在坝体分区方案比选优化以及工程量统计上有着无与伦比的快捷。此外还可以根据三维模型的放坡边界线得出工程的占地面积并指导应用于征地移民工作检查边坡设计方案的合理性进而避免过多的高边坡出现。

三维协同设计是设计行业的一个发展趋势。随着勘测设计工作的市场化,通过竞争业主对设计成果的质量要求,将会越来越高,而工程设计周期却越来越短,利用进行辅助设计,不仅可以快速地进行工程的方案优选比较,同时对设计方案的修改也能在很短的时间内及时反馈,尤其是在开挖及回填工程量的计算统计上。

尾矿库坝坡渗流、稳定分析往往需要利用其他软件进行,目前三维软件发展也在向着更便捷的操作方向,将渗流、稳定等分析模块集成在一款软件中,设计者只需要进行一次模型,尾矿库所有的信息都将集成在模型中,可以在模型中进行三维渗流模拟,进而完成三维坝坡稳定分析,可以查找安全系数最小的剖面等等功能。

BIM 已经在设计尾矿库设计领域得以应用,随着技术的发展,BIM 的理念将会贯彻在尾矿库的设计、施工、放矿、监测等各个方面,形成尾矿库全生命周期的仿真管理系统,为业主管理尾矿库提供便利。

### [参考文献]

- [1] 任远谋. BIM 在我国建筑行业应用影响因素研究 [D]. 重庆:重庆大学,2016.
- [2] 李向东,霍莉莉,刘艳娟. 三维技术与 BIM 在水利设计行业的应用现状与发展探索[J]. 水利规划与设计, 2017(10): 141 - 143 + 167.
- [3] 李文海,魏海,金格飞,等. CATIA 在尾矿坝地质建模中的应用[J]. 中国水运(下半月),2020,20(4): 37 - 38.
- [4] 赵伟,张翔宇. Microstation V8 中文版实用手册 [M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [5] 孙程. 基于 GEOPAK Site 的三维开挖辅助设计 [J]. 人民长江,2013,44(17): 26 - 28.
- [6] 赵一新,李政鹏,屈志刚. GEOPAK 在前坪水库工程场地开挖的应用及工程优化 [J]. 西北水电,2014(5): 97 - 99.
- [7] 高峰,郑学鑫,宋会彬. 基于 GEOPAK 软件的尾矿库全生命周期仿真管理系统研究[J]. 有色设备,2021, 35(3): 19 - 22.