

水利地质勘察中的三维地质建模技术研究

刘 飞

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300250

摘要:当前,在水利工程勘测的领域内,三维地质建模技术已成为不可或缺的工具。它能够将地下的岩层结构、水文地质等信息以三维形式生动展现,让设计人员能够直观地把握地质情况,有效识别和分析地质问题,同时也便于各专业间的沟通和协作。在本项目研究中,采用中国电建集团中南勘测设计研究院基于Bentley公司Microstation平台开发的专业工程地质三维设计软件(PowerGeo),选取某防洪堤改造工程项目作为案例,针对水利地质勘察中的三维地质建模技术具体运用进行详细分析,以供参考。

关键词:水利地质勘察;三维地质;建模技术

前言:三维地质建模技术,作为现代地质科学领域的重要里程碑,早在1993年,由加拿大学者Simon Woulding首次提出。它通过计算机技术的强大力量,在虚拟的三维空间中综合运用空间信息管理、地质解释、空间分析预测、地学统计学、实体内容分析及图形可视化等多种手段,为地质学研究开辟新的视角和方法。

1 项目介绍

某防洪堤改造工程,全程约5.1公里。旨在对现有的堤防体系进行全面改造升级,并对穿堤管涵进行改扩建作业,以提高整个区域的防洪能力。在该工程地质构成复杂多样,涉及的地层,主要包括第四系人造填土和第四系冲积堆积物,后者主要以粉质黏土、黏性土、含淤泥质黏性土和砂砾层为主,表明该区域的土质以松软为特征。

2 三维地质建模技术

三维地质建模技术是一门利用现代计算机技术,在三维虚拟环境中整合空间信息管理、地质解释、空间分析及预测、地球统计学、内容实体分析和图形可视化等多种手段来解决地质问题的创新科技。这种技术通过综合运用不同的建模方法,如离散点源法、剖面框架法以及多源数据耦合建模法,使得处理和分析复杂地质结构成为可能。

离散点源法依据地形的高程点、钻孔、探坑等勘查数据点的高程以及地形等高线等三维空间数据,通过特定的计算方法,在虚拟空间中重建三维地形。这种方法通过不同地点高程数据的综合分析,构建出精确的地形三维模型。

剖面框架法则是基于一系列已知的二维地质剖面,通过对地质体及其揭露面的赋值与计算,采用多种软件工具形成连续的地质面或立体的地质体模型。这一方法

使得地质剖面间的空间关系得以清晰呈现,为深入理解地下结构提供强有力的支持。

多源数据耦合建模法则进一步拓宽三维地质建模的视野。这种方法通过整合钻孔、探坑及其他多种类型的勘查数据与地表出露的地质空间信息,利用复杂的计算与数据融合技术,构建出更为复杂且细致的三维地质模型。

3 水利工程三维地质建模现状

国际上对三维地质建模及其可视化分析的研究起步相对较早,这一领域不仅在理论探讨上取得丰富成果,在软件开发和实际应用等方面也已达到较成熟的水平。得益于计算机科学的不断进步以及相关理论基础的深化研究,国外已经开发出多款功能强大的三维地质建模软件,这些软件在功能和规模上都已经形成相当的体系。然而,由于这些软件往往价格不菲,并且考虑到各地区具体地质条件的差异,这些软件在目标应用与水利工程地质分析需要方面存在显著的差异,因而在中国的水利工程领域应用受到一定的限制。

随着计算机技术在地球科学领域的应用,尽管中国的地质工程师仍主要采用二维方法进行地质体的分析与研究,并且开发许多二维制图软件,但对于三维地质建模及可视化分析的研究也在不断探索之中。国内专家和学者越来越重视水利水电工程的三维设计和可视化模拟,并已取得一定成果。尽管如此,国内在这一领域尚未形成完善的理论体系和软件成果,总体上仍处于探索阶段。对于水利工程来说,其固有的特点包括地质信息的不可见性、不规则性以及数据存储的巨大需求,这导致三维地质建模技术在水利工程中的推进速度相对缓慢。此外,水利工程地质勘察阶段收集的各类地质信息,包括地形地貌、地层界限、断层和褶皱结构、地下水位以及风化程度等,在分析和解释上多为二维且静态

的,难以直接、完整、准确地展示地质体在空间上的变化规律和实际情况。这在很大程度上无法满足水利工程分析和计算的要求。

近些年,我国经济的持续发展、数字中国构想的提出及智慧水利理念的推广,借助计算机强大的运算能力和高效的图形处理能力,三维地质建模技术已成为水利工程不可逆的未来趋势。这项技术在地质体的三维重构和可视化方面的发展,将极大地推动水利工程BIM设计向前发展,为水利工程带来地质信息的数字化、信息化和可视化支持,从而有效提高水利工程设计、施工和管理的质量和效率。

4 水利地质勘察中的三维地质模型构建方法

4.1 模型建设思路

PowerGeo软件由两个主要部分组成:数据管理系统和图形处理界面。数据管理系统负责收集和整理工程勘察中获得的原始数据,这些数据涉及工程区域的地层结构、地质情况、风化程度以及钻探试验结果等。在对这些基础资料做初步分析和处理后,为地质模型的构建提供必要的数据库。图形处理部分则以这些基础数据为依托,进行地质界面的描绘和三维地质模型的构建。整个建模流程开始于三维地形的创建,接着是钻孔数据和地质剖面模型的生成,然后根据已知的地质信息构建不同的地质界面。在完成这些步骤之后,依据地质界面分别生成对应的地质体,最终形成完整的三维地质模型。三维地质模型建成后,它可以应用于各种后续工程活动中,比如虚拟的开挖作业、加速地质剖面的生成、参与协同设计项目和施工阶段的动态模拟等^[1]。

4.2 地质模型

4.2.1 三维地形面

在该工程项目区域,现存一份比例为1:1000的详细地形图。通过对这份地形图进行系统的整理和分析,勘察人员采用Bentley公司推出的GEOPAK Site软件作为工具。这款软件的强大之处在于能够精确地提取地形图上的关键信息,包括等高线和具体的高程点数据。基于这些数据,创建TIN(三角不规则网络)文件,构建一个地形的三角网格面,并形成精确模拟现实地形的三维模型。这一过程中,首先是通过软件对等高线和高程数据进行高效提取,确保后续建模的准确基础。接着,利用这些提取的数据生成TIN文件,结合三维空间中的点云数据,通过算法自动连接成一个个三角形,这些三角形紧密贴合现实地形的起伏,共同组成一个三维的地形网格面。

4.2.2 钻孔勘探模型

通过PowerGeo软件的图形界面功能,直接访问并利

用存放于数据库中的勘察数据。生成精确的钻孔和勘探线模型。这些钻孔模型,能够依据多种分类标准,如地层分布、岩石类型以及不同风化程度,进行分段处理。例如,通过岩性分类的细分展示,可以直接观察到在不同深度下岩石的具体类型及其变化;通过对风化层的划分,清楚地看到岩石在不同环境因素影响下的变化趋势。

4.2.3 地质界面

建立在钻孔和勘探线模型的基础之上,通过采用剖面分析工具,进行勘探剖面的编辑和优化,识别和标定不同的地质分界线,进而构造出一个细致的地质线框模型。这个过程不仅涉及到简单的线条绘制,更重要的是对地质结构的深入理解和精准描绘,每一条界线的确定都基于严密的地质数据和专业的地质判断。接下来,依托这些划分明确的地质分界线和所汇总的数据信息,创建具体的地质界面。如人工填土层的底面、粉质黏土层的底面、砂砾石层的底面、全风化板岩的底面以及强风化层的底面等多种界面形式。每一个地质界面的生成都是基于实际勘测数据和地质属性的精细分析,它们将共同构成一个立体的、多层次的地质构造模型^[3]。

4.2.4 三维地质模型生成

专业人员通过PowerGeo软件的图形工具,能够在不同地层界面之间创建精细的网格体结构。精确地映射和模拟地下各个地质层的复杂构造,进而将对应的地质特性,如岩石类型、孔隙度、含水量等信息真实的反应出来,并形成一个完整的网格体。确保三维地质模型在地质属性方面的准确性和科学性,并为地质勘探、资源评估以及环境监测等提供可靠的数据支持。

为了更好的提高模型的实用性和观赏性,PowerGeo软件还支持在这些网格体上应用不同的材质效果。其可以根据地质属性的不同,让每个网格体都有不同的颜色、纹理乃至透明度,此时的地质层次和构造特征,将更加的逼真。其可以帮助专业人员,更深入理解复杂的地质情况,对于非专业人士来说,其也能帮助他们更加直观感受到地下世界的奥妙。

5 水利地质勘察中的三维地质建模技术应用要点

5.1 地形开挖

当工程和地质专业人员运用Bentley公司的GEOPAK Site软件进行基坑开挖设计时,他们可以清楚的看到三维空间中地质完整的模拟和开挖过程。其能帮助用户,直观地观察到在达到预定开挖深度时,各个地质层面的具体情况,而且还能根据各层的岩石性质差异,详细计算出所需的开挖和回填材料量。其次,三维地质模型的使用,可以帮助设计人员,更快更好的开展施工方案检验

工作。根据基坑设计要求,构建的桩基模型,以及与之相结合的地质模型,可以使设计人员,更清楚的看到桩基是否成功触及到所需的承载层。

5.2 加快出图速度

在传统的设计流程中,设计方案的任何变更往往会带来一系列复杂的连锁反应,其中明显的一项就是剖面位置的调整。这种调整迫使地质专业人员不得不投入大量时间重新进行剖面的绘制,处理和修正,既耗时又影响工程进度。而三维地质模型技术的引入和应用,可以很好的解决这一问题,使出图的速度大幅度的提升。在模型建立完成后,利用三维地质模型技术,用户就可以随心所欲地进行模型的剖切,而不必担忧因设计变更给地质分析带来的重复劳动。通过软件操作,几乎在瞬间,就可以得到一个更新后的二维剖面图,不但能节约时间,还能提高工作效率。此外,设计人员可以借助三维地质模型技术,从多个角度和尺度观察和分析地质情况,这也是传统二维图纸所无法比拟的^[5]。这种立体的、多角度的视角,让设计师能更准确、更全面地理解地下情况,为工程设计的合理性和准确性提供强有力的保障。同时,这种技术还支持快速的方案比对和评估工作。设计人员可以依据项目需求,快速调整剖切方向和位置,从而比较不同设计方案对地质结构影响的差异,有助于科学决策和优化设计。三维地质模型技术还极大地便利与其他专业领域的交叉协作。

5.3 协同设计

通过采用协同设计平台,设计师们能够将地质与设计模型无缝对接。这使得直接从地质模型提取重要信息,如岩石类型、风化程度及地下水位等,变得轻而易举,为方案设计的精确性和合理性提供坚实的基础。这种整合方式不仅简化复杂的工作流程,也让设计师能够便捷地接触到核心的地质数据,优化设计方案。设计过程中,方案的变更是常有的事,这往往给设计工作带来不小的挑战。传统做法中,任何一个小小的变更都可能需要

设计人员进行大量的计算和调整,耗费时间和精力。然而,借助协同设计平台,设计人员可以轻松地根据地质模型数据,及时对设计方案进行必要的修正或更新。

5.4 动态模拟

在现代水利工程行业,BIM技术的应用已成为促进施工管理高效化的关键。借助BIM技术,工程项目的参与者能够将各专业的模型细致地按照施工顺序进行拆分与重组,进而实现对工程施工过程的动态模拟。这种方法不仅展现施工过程的每一个细节,确保施工方案的科学性和实际可行性,为施工的顺利进行提供强有力的支持。

结语:三维地质建模的技术发展,从最初基于单一数据源构建简单的层状模型,到现在能够综合多源数据建立描述复杂地质构造的详尽模型,标志着地质科学研究和应用领域的一个质的飞跃。这不仅促进地质学的理论和实践的深入发展,也为矿产勘查、工程建设、环境保护等多个领域提供有力的技术支持。本文基于前人的研究,使用PowerGeo软件进行三维地质建模的过程,以及建模成果在实践中的应用效果。通过创建透水管道的三维地质模型,这一实例不仅阐明建模的基本步骤,还展示出模型带来的具体益处。

参考文献

- [1]李东弘,袁彦超,王春晓.三维地质建模技术在水利水电工程中的应用[J].水科学与工程技术,2020,(05):41-44.
- [2]赵意,吴坤占,甘龙,等.三维地质建模在水利工程勘察中的应用[J].资源信息与工程,2019,34(02):61-62+66.
- [3]方正.三维地质建模技术在水利水电工程中的应用[J].中国水运,2018,(10):75-76.
- [4]王小锋.三维地质建模技术在水利水电工程中的应用[J].水科学与工程技术,2018,(02):62-66.
- [5]谢济仁,乔世范,钱骅,等.虚拟钻孔技术在水利水电三维地质建模中的应用[J].铁道科学与工程学报,2014,11(03):123-128.