

基于钻孔数据的三维地层模型分析

马宁

(山西太钢工程技术有限公司,山西太原 030009)

[摘要] 将三维建模应用于工程地质中表达地层环境,通过数字化方式为工程地质相关评价提供重要依据。分别利用处于不同地形下两项工程的钻孔和地质数据等资料,综合绘制工程地层剖面并构建三维地层模型,通过结合虚拟钻孔、专家经验等方式优化模型,使独立、不均匀的钻孔数据以三维可视化的方式将地层结构等信息具体形象表达。还原了地层沉积分布情况及内部细节,可辅助分析不同场地的工程地质特征,提出经济合理的地基处理方式,并在后续基坑开挖和桩基施工时验证地层模型表达符合现实地层分布。

[关键词] 三维地层建模;钻孔数据;工程场地;可视化

[中图分类号] TU201.4;TU441

[文献标志码] B [文章编号]1005-6270(2024)03-0125-04

Analysis of 3D Stratigraphic Model Based on Borehole Data

MA Ning

(Shanxi Taigang Engineering & Technology Co.,Ltd, Taiyuan Shanxi 030009 China)

Abstract: 3D modeling is applied to express the stratigraphic environment in engineering geology. And through digitalization, it provides an important basis for engineering geology evaluation. Boreholes and geological data of two projects in different terrains are used to draw engineering stratigraphic section and construct 3D stratigraphic model. The model, combined with virtual drilling and expert experience, the independent and uneven borehole data can express the stratum structure and other information in a 3D visualization way. The distribution and internal details of stratum deposition are restored, which can be used to analyze the engineering geological characteristics of different sites and propose economic and reasonable foundation treatment methods. The stratigraphic model is verified to be consistent with the real stratum distribution during the excavation of the post-sequence foundation pit and pile foundation construction.

Key words: 3D stratigraphic modeling; borehole data; engineering site; visualization

0 引言

工程建设是区域、城市乃至国家发展进程中必不可少的环节,各类建筑工程修筑在地壳表面不同的岩土介质中^[1],工程地质勘察为工程建设提供重要的地质参数,尤其大型工程建设场地会面临地质构造复杂、地层变化多样的情形。目前,多数工程地质勘察单位仍在以二维静态的方式表达工程地质特征的传统地质信息处理方式,而通过计算机建模可视化方法能将三维地层模型应用于工程地质领域中,拓展未知区域勘察,满足对大区域地层实时观察的需求,并为后续设计所需地质参数、地基处理、基坑支护及施工提供有效辅助参考,提升工程建设的合理性。通过三维动态方

式展示出工程地层的几何特征及各类属性,对工程建设信息化发展具有重要的现实意义。

三维地质建模由 Simon W Houlding 提出,集一系列地学信息解译、空间数据管理、数学建模及可视化等工具应用于地质分析中,用来预测多个地质变量的空间变化,是对地下地质结构的展示和研究^[2-3]。计算机快速发展条件下,三维建模软件也逐渐成熟,因其直观、灵活、完整地展现复杂地质构造、地层分布等地质特征,已广泛应用于煤铀油气能源和矿产资源的开采、储量估算等地质探索研究

[收稿日期]2023-12-07

[作者简介]马宁,男(1993-),山西太钢工程技术有限公司,工程师,从事岩土工程方面的工作。

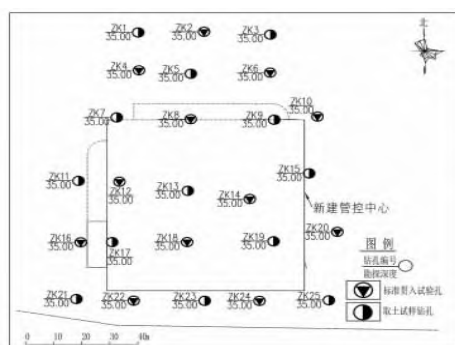
中^[4-5]。在工程地质领域,涉及区域小、地层浅及地质结构相对简单,可任意切割地层剖面展现地层结构,更为直观、形象地显示出区域地质体特征,为岩土工程勘察提供便利条件。钻孔数据可详细、准确地表现岩土层分布情况^[6],作为原始数据对后续地层剖面及三维建模具有十分重要的意义。三维建模形态以表面建模和实体建模为主^[7],表面建模以地层为研究对象,因其便捷高效广泛应用于商业建模软件中。将已有的原始地质勘探资料进行预处理,导入理正工程地质勘察CAD软件,绘制工程地质剖面图,石文软件(Gxplorer)构建三维工程地层模型,使得野外工程钻探取得的独立、不均匀的地质信息转化为可视、连续形象的三维模型^[8],清晰完整地表达出工程建设区域地质体内部的地层构造细节和宏观地质体特征,有助于推断把握工程场地地层整体分布情况,为地质评价提供参考,解决工程中的实际问题^[9],有效实现“三维可视化”目标。

1 三维工程地层模型建立

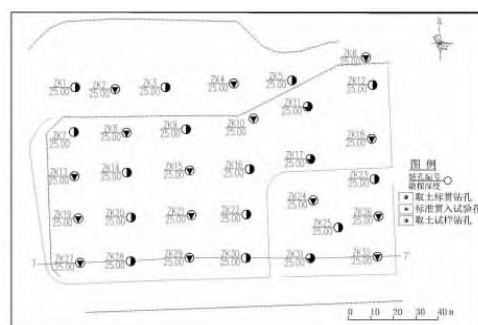
1.1 基本地质数据整理分析

钻孔的分布情况、信息丰富程度及精度等,对于地层变化相对简单的场地而言较少合理的数据便可控制,但对于地质结构复杂多样的场地,控制性数据的种类、数量和精度会对工程地质剖面图和地层模型造成不同程度的影响。

分别选取位于中国宝武太原钢铁(集团)有限公司厂区东部新建太钢智慧生产管控中心(简称“智控中心”)工程场地和地处山西孟县的山西太钢鑫磊资源有限公司内新建活性石灰回转窑(简称“石灰回转窑”)工程场地构建三维工程地层模型,见图1。中国宝武太钢集团现为全国唯一的不锈钢全产业链企业,新建的智控中心将多个生产单位集中智能化管理,新建活性石灰回转窑能为太钢提供重要的高品质活性石灰。



(a) 太钢智慧生产智控中心场地



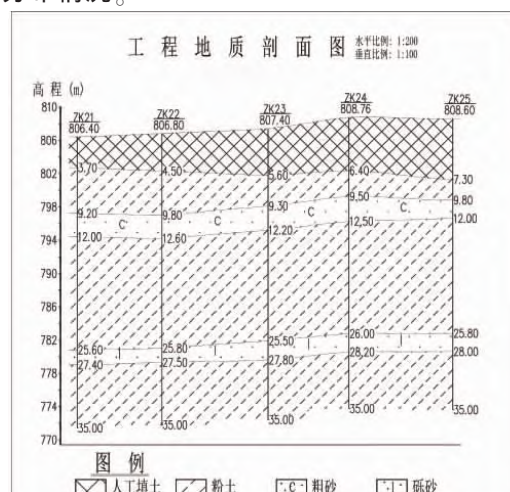
(b) 新建石灰回转窑场地

图1 钻孔平面位置图

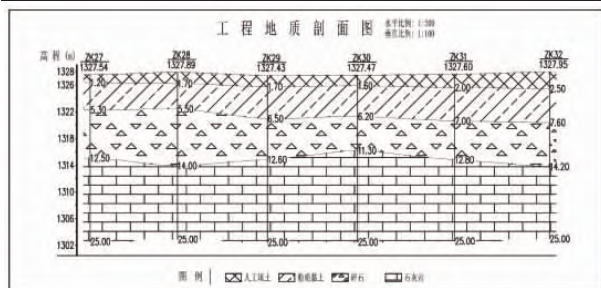
根据实际工程场地旧建筑物分布、地质特征、上部建(构)筑物功能及相关规范要求等,两工程场地钻孔布点方式和勘探深度不一。其中石灰回转窑工程场地属低中山地貌,地层深部为中风化-未风化石灰岩层,钻孔深度为25 m,为表现该工程场地地势情况,利用北侧已有钻孔ZK1~ZK6体现地形高差;智控中心场地位于太原盆地,属于汾河左岸II级阶地,地层变化单一,钻孔深度为35 m。结合场地实际地形与建(构)筑物的分布位置,两工程场地钻孔分布间距较为紧密,可较好地揭露地层分布并还原地质特征。

1.2 钻孔数据加载及绘制工程地质剖面图

钻孔数据是记录岩土层在竖直方向上的分布情况^[10],通过沿东-西及南-北方向连接多个钻孔数据形成勘探线。录入理正工程地质勘察软件,关联CAD对应平面底图后,依据勘探线绘制地层剖面图,以沉积轮回为基础,通过将野外鉴定与室内试验得出的物理力学性质特征相结合进行地质与力学分层(图2),可了解场地沿钻孔剖面土层及岩层的分布情况。



(a) 太钢智慧生产智控中心场地



(b)新建石灰回转窑场地

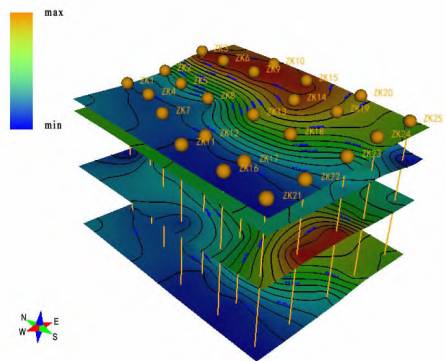
图2 地层剖面图

石灰回转窑工程场地勘察深度范围内地层分布由上至下分别为人工填土层、第四系全新统冲洪积粉质黏土层和碎石土层、奥陶系上马家沟组中-未风化石灰岩层和泥岩层。土层类型和厚度变化较大,且工程地质性较差,但深部岩层地质结构稳定。该区域为人工整平场地,周边整体地形为阶梯式,南北两侧均砌有毛石挡墙,地面标高相差较大。

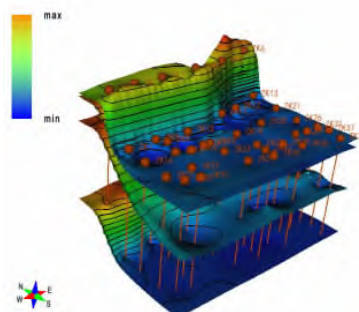
智控中心工程场地勘察深度范围内地层分布由上至下分别为人工填土层、第四系全新统冲洪积褐黄色粉土层(夹褐色粗砂层)、第四系上更新统冲洪积褐黄色粉土层(夹褐色砾砂层)。该场地原为旧建筑和树林地,人工填土层厚度不一。

2 构建等值图及工程地层模型分析

整理两场地钻孔数据,提取钻孔位置信息(钻孔编号、横坐标、纵坐标、钻孔标高、钻孔深度)、地层划分信息(钻孔编号、地层名称、层顶深、层底深)和土层岩层信息(钻孔编号、岩土层描述、层顶深、层底深)等数据用于后续的三维地层建模中。将整理后的钻孔数据依次导入石文软件,通过绘制不同地层的层顶、底面地形图并对应生成三维层面,显示出不同层面的地势情况。为更直观地显示工程场地标高差,将三维等值图和工程地层模型Z轴(高度向)比例放大(图3)。



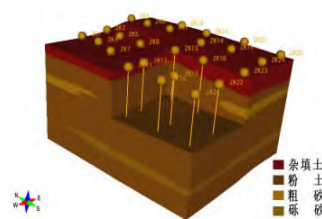
(a)太钢智慧生产智控中心



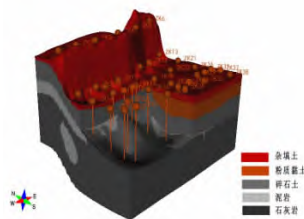
(b)新建石灰回转窑

图3 地层顶面三维等值图

钻孔资料仅揭示有限范围内的地层分层信息,构建地层模型是将离散的钻孔数据通过插值计算生成地层界面^[11-12],构建三维地层框架用以描述相应地层结构空间位置之间的关系是构建三维模型的关键所在,其结构建模精度将影响后续实体模型的准确性。结合虚拟控制钻孔、多源数据融合及专家经验指导等方法进一步控制优化地层建模。接着通过层序建模后将地层分布状态以三维空间形式展布,同时可设置钻孔三维属性加载至三维地层模型中,便于观察钻孔分布位置。最后运用具体岩土层信息,插入工程地质剖面,约束构建三维地层模型,更为精细展示内部结构细节及空间地质特征。将构建的三维模型通过形成不同方位切片、椅形图等形式展开,不同角度直观地显示出地质体内部岩土层分布情况(图4),更加直观地展现了一般基础持力层或采用桩基时所穿越的土层及桩端持力层所在位置。



(a)太钢智慧生产智控中心



(b)新建石灰回转窑

图4 三维地层模型

结合工程场地现状及钻孔剖面进一步分析,发现智控中心工程场地(图5)呈东高西低,地势稍有起伏。分别按东西向和南北向构建地层模型切片(图6),人工填土下以粉土为主,地层变化相对简单,南北两侧地表下约10 m深处出现2 m厚粗砂夹层,除北侧场地外,在地表下约27 m深处普遍存在2 m~3 m厚的砾砂夹层。结合实际场地和剖面图显示东西两侧地势高差为3.3 m,由西向东随着人工填土层的变厚,地势逐渐变高,人工填土堆积层最厚处可达7.3 m,而西侧临近运煤铁路线,与地势较低的铁路线齐平,部分区域在2 m深处便出现粉土层。

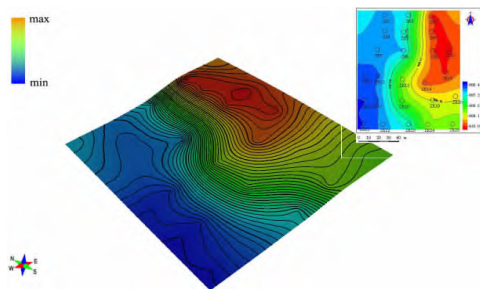


图5 智控中心工程场地三维地面等值图

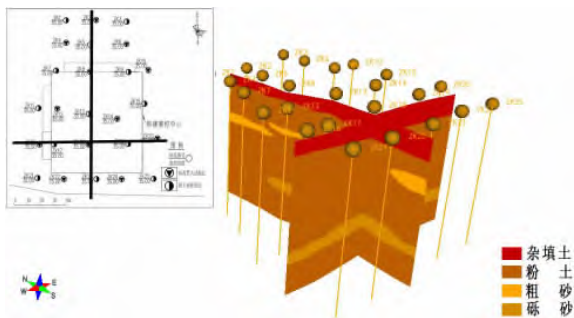


图6 智控中心工程场地三维地层模型切片

石灰回转窑整体工程场地地面(图7)呈现出陡坡态势及北高南低地貌,旧钻孔ZK1~ZK6所在地为与石灰岩山体连接的采石场传输场地,与本工程场地地面标高相差10余m,之间为砌有近90°的挡墙。通过前期凿平突出岩体,填埋低洼区域的方法,对该工程场地进行了统一整平。结合工程地质剖面图,构建的地层模型(图8)反映出承载力较高的岩层分布情况,整体北高南低的地势特征使南北两侧泥岩层高差接近20 m;构建的地层模型切片(图9)反映出工程场地初见基岩深度和上覆沉积物不一,北部存在石灰岩与泥岩互层现象,且初见未风化石灰岩深度达19 m,向南逐渐变浅约深12 m,上覆出现碎石土沉积。而南侧区域人工填土

层与碎石土层之间存在约5 m厚的粉质黏土层。所构建的地层模型切片直观地反映了山地岩土层的分布特征和不均匀性。

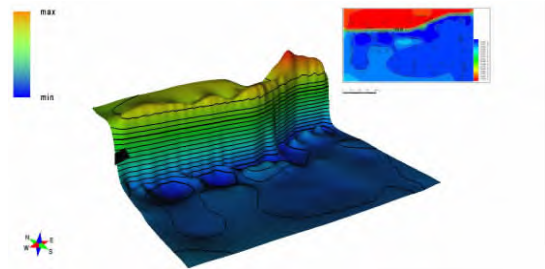


图7 石灰回转窑整体工程场地三维地面等值图

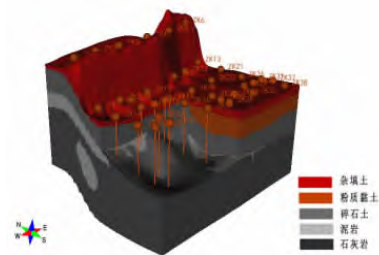


图8 石灰回转窑整体工程场地三维岩土层模型

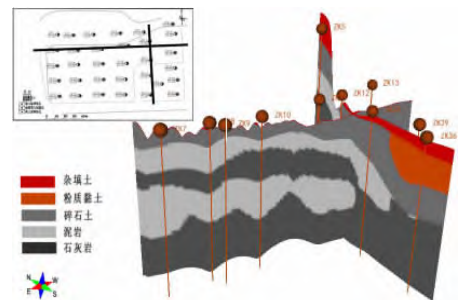


图9 石灰回转窑整体工程场地三维地层模型切片

两个工程场地在后续的大面积基坑开挖和桩基施工中有效验证了三维工程地层模型的准确性,模型表达符合现实情况。智控中心场地土层变化较为单一,研究区域内不存在影响场地稳定性及其它危及工程安全的不良地质作用;石灰回转窑场地岩土层类型和厚度分布不均,体现出不同时期沉积特征和变化,同时也表明该场地地层、岩性特征复杂多变,因此在该区域建造不同的建(构)筑物时,应根据建筑物的荷载、基础形式、基础埋深等采取不同的、经济合理的地基处理方式。

3 结语

选用两个不同地形特征的工程场地为例,构建三维工程地层模型,显示出不同场地各土层和岩层

(下转第138页)

MJS 施工期间数值较大,造成这样的原因主要是其扰动影响明显大于 MJS 施工,同时围护结构施工周期明显大于 MJS 施工时间,亦造成一定时间的空间效应,总体可以看出,离围护结构施工越远的桥墩其受扰动影响较小,但因离围护结构较近的桥墩沉降显著,而双曲拱桥亦为一整体结构,从而造成了一端沉降、一端上抬的现象,但总体数值可控;

(3)基坑开挖采取分段分区开挖,开挖期间桥墩沉降量最大,约占总沉降量的 70%,说明开挖期间的扰动影响在几个施工阶段中的影响最大;

(4)由于基坑开挖期间对双曲拱桥的影响变化是显著的,因此,开挖前期在二期基坑与桥墩之间打入 MJS 隔离桩,形成一道有效的隔离屏障非常必要,有利于限制桥墩的差异沉降。

参考文献

[1] 王升.深基坑施工对邻近高铁桥梁影响研究[J].

铁道建筑,2014(09):102-104.

[2] 王浩然,徐中华.复杂环境条件下的基坑工程设计与实测分析[J].地下空间与工程学报,2011,07(05):968-976.

[3] 黄菲,刘袁振,孟江.地铁基坑施工对邻近桥梁的影响[J].安徽建筑,2022,29(06):101-103.

[4] 姜博.深基坑开挖对既有桥梁的影响研究[D].成都:西南交通大学,2012.

[5] 曲星,白东锋.地铁车站施工对临近桥梁影响的保护措施研究[J].科技资讯,2016,14(12):38-39.

[6] 梁发云,李镜培,褚峰.超深基坑对城市桥梁保护区影响的初步探讨[J].岩土工程学报,2006,28(增刊1):1466-1469.

[7] 余世为,阮世强,郎志雄.明挖法地下道路施工对邻近桥梁桩基的影响研究[J].施工技术(中英文),2022,51(02):83-86+92.

(上接第128页)

分布状态,以三维可视化的方式,较为真实地还原现实地层的沉积分布情况,并反映了内部结构细节,为基础工程设计、地基处理方式及土建施工等提供充分辅助依据,同时为非专业人员直观清晰地认识地层结构具有重要的现实意义。将三维模型可视化应用于岩土工程勘察领域,优化传统二维空间定性分析方式,进而可促进勘察行业向数字信息化进一步发展。

参考文献

[1] 白世伟,贺怀建,王纯祥.三维地层信息系统和岩土工程信息化[J].华中科技大学学报(城市科学版),2002(01):23-26.

[2] SIMON W H.3D Geoscience modeling: computer techniques for geological characterization[J].Springer Verlag,1994,46(03):85-90.

[3] 方海东,刘义怀,施斌,等.三维地质建模及其工程应用[J].水文地质工程地质,2002(03):52-55.

[4] 马宁.基于钻孔大数据的鄂尔多斯盆地东北缘砂岩型铀矿三维地质成矿分析[D].长春:吉林大学,2020.

[5] LEMON A M, JONES N L. Building solid mod-

els from boreholes and user-defined cross-section[J].Computers and Geosciences,2003,29(05):547-555.

[6] 朱良峰,吴信才,刘修国,等.基于钻孔数据的三维地层模型的构建[J].地理与地理信息科学,2004,20(03):26-30.

[7] 陆文哲,陶海冰,朱益军,等.基于地层层序表集的三维地层建模方法研究[J].岩土力学,2013,34(02):585-592.

[8] 何满潮,李学元,刘斌,等.工程岩体三维构模中钻孔数据处理方法[J].岩石力学与工程学报,2005(11):1821-1826.

[9] 薛永,余叶妹,钱艺柏.三维建模在文化展示建筑及其景观施工中的应用[J].江苏建筑,2012(增刊1):11-13.

[10] 李璐,刘新根,吴蔚博.基于钻孔数据的三维地层建模关键技术[J].岩土力学,2018,39(03):1056-1062.

[11] 夏艳华,白世伟.三维地层建模钻孔数据预处理研究[J].岩土力学,2012,33(04):1223-1226+1239.

[12] 贺怀建,白世伟,赵新华,等.三维地层模型中地层划分的探讨[J].岩土力学,2002(05):637-639.