

基于 3DEC 对分步开挖基坑的变形特性研究

Research on Deformation Characteristics of Step Excavation Foundation Pit Based on 3DEC

李玉蛟 陆威 盖尧周

Yujiao Li Wei Lu Yaozhou Ge

中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司 中国·河北 石家庄 050031

PowerChina Hebei Electric Power Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050031, China

摘要: 运用 3DEC 离散元软件建立三维数值模型, 对国电廊坊热电厂 2×350MW 供热机组工程翻车机室基坑进行数值模拟, 研究了基坑在分步开挖的过程中, 坑底、坑壁及周边土体的变形特征, 得出结论: 第一, 基坑周围地表沉降量随开挖深度的增加而增大, 沉降最大点向坑壁靠近。第二, 基坑壁变形最大处随开挖深度的增加而向下转移, 变形量在基坑开挖中期达到最大值, 随后逐渐衰减。第三, 基坑底部隆起值随分步开挖的进行而逐渐减小。基坑分步开挖, 未开挖土体具有足够的时间进行应力重组, 而不至于发生严重的变形破坏, 这对基坑设计和施工具有现实指导意义。

Abstract: Using 3DEC discrete element software, a three-dimensional numerical model was established to simulate the pit pit of tipper room of 2×350MW heating unit of Guodian Langfang Thermal Power Plant. The deformation characteristics of pit bottom, pit wall and surrounding soil during the step-by-step excavation of the pit were studied. The conclusion was drawn: Firstly, the surface settlement around the foundation pit increases with the increase of excavation depth, and the maximum settlement point approaches the pit wall. Secondly, the maximum deformation of the foundation pit wall shifts downwards with the increase of excavation depth, and the deformation reaches its maximum value in the middle stage of excavation, followed by gradual attenuation. Thirdly, the uplift value at the bottom of the foundation pit gradually decreases with the progress of step-by-step excavation. The excavation of the foundation pit is carried out in stages, and the unexcavated soil has sufficient time to undergo stress restructuring without serious deformation and damage. This has practical guiding significance for the design and construction of the foundation pit.

关键词: 离散元; 3DEC; 数值模拟; 基坑; 变形特性

Keywords: discrete element; 3DEC; numerical simulation; foundation pit; deformation characteristics

DOI: 10.12346/rb.v1i3.8390

1 引言

早在 20 世纪 50 年代, Terzaghi 等人根据大量的基坑变形及支护的实测资料, 提出了一套对基坑开挖稳定性及支护荷载值进行评估的方法, 称为总应力法, 此方法在之后的基坑工程中被广泛应用^[1,2]。在国内, 基坑工程从 20 世纪 80 年代开始兴起, 由于多为临时工程, 最初并未受到重视, 加之技术理论相对落后, 工程事故时有发生。直到 20 世纪 90 年代, 国内出现了基坑热, 相继出版了多部基坑著作, 1999 年国家建设部颁布了《建筑基坑支护技术规程》^[3], 随后上海、广州等地也颁布了当地的有关技术规程, 为基坑工程的设计

和施工提供了依据。

近年来, 随着中国经济的发展, 地铁、多层地下车库以及高层建筑的地下室等地下工程不断涌现, 出现了大量的深基坑工程。由于建筑物多为永久性工程, 人们对深基坑的关注度越来越高, 对基坑工程的质量要求也越来越高, 相应的带来了更大的技术难度。为了避免严重事故的发生, 必须对基坑的变形进行实时监测。然而, 由于实时监测属于事中控制, 当发现监测数值逼近控制临界值时, 需投入额外人力物力来进行控制, 增加工程造价, 稍有差错, 便会酿成工程事故。因此, 为了基坑工程的安全及减少工程造价, 预先对基

【作者简介】李玉蛟 (1990-), 男, 中国河北邢台人, 硕士, 工程师。

坑开挖过程中的变形特征进行模拟和预测是很有必要的。

论文应用 3DEC 离散元软件建立三维数值模型,对国电廊坊热电厂 2×350MW 供热机组工程翻车机室基坑进行数值模拟,研究了基坑在分步开挖的过程中,坑底、坑壁及周边土体的变形特征,为基坑的设计和施工提供参考。

2 工程概况及参数选取

2.1 工程概况

本基坑工程位于国电廊坊热电厂厂区内南侧,由翻车机室和输煤廊道两部分组成,基坑俯视图及纵剖面图分别如图 1 和图 2 所示。本工程场地设计平整标高 ±0.00m (相当于绝对标高 11.30m),翻车机室位置自然地面标高约为 -0.80m,翻车机室基坑底部为 -17.35m,然后逐渐升高至 -15.44m,内径为 27.00m。输煤廊道基坑与翻车机室基坑相接,最宽约为 10.4m,总长度约 51.29m。论文主要对翻车机室基坑在开挖过程中的变形特征进行研究。

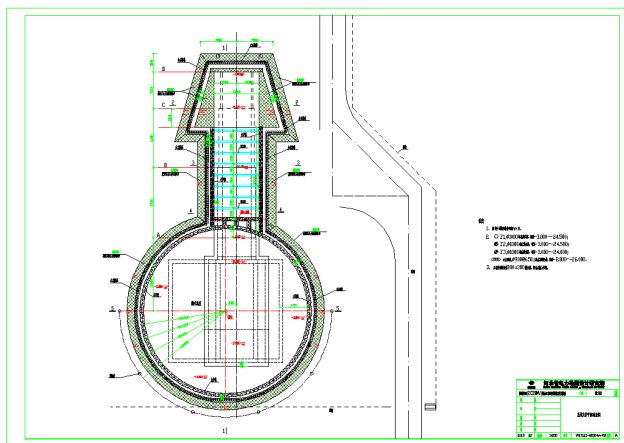


图 1 基坑俯视图

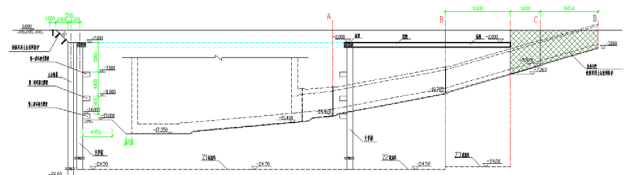


图 2 基坑纵剖面图

2.2 参数选取

根据现场勘查资料及实验数据,结合工程地质类比法,对基坑土体的物理力学参数进行取值。根据地质资料,厂区范围的地层分布较为复杂,主要可分为七层,为了提高建模及计算效率,将地层简化为三层,分别为:上部粉土、中部粉土夹粉质黏土、下部粉质黏土。由于土体的抗拉强度一般不大,且较难测定,故为了工程的安全性,本模型设定土体的抗拉强度为 0。各地层的物理力学参数值见表 1。

表 1 基坑土体物理力学参数表

土层名称	密度 (kg/m ³)	体积 模量 (MPa)	剪切 模量 (MPa)	内摩 擦角 (°)	黏聚 力 (kPa)	抗拉 强度 (MPa)
粉土	1890	9.1	5.1	28.7	16.7	0
粉土夹粉 质黏土	1940	7.6	3.7	19.2	27.4	0
粉质黏土	2100	5.3	2.6	30.3	41.6	0

3 基坑开挖数值模拟

3.1 模型的建立

根据圣维南原理可知,荷载的具体分布只影响荷载作用区附近的应力分布。所以,为了尽可能还原模型附近的应力及其他应力对本基坑模型的力学影响,设定基坑实际尺寸与计算模型边界的比例为 1 : 3。计算模型在 x 方向的宽度为 180m, y 方向的长度为 315m, z 方向的深度为 50m。地表面的 z=0, 圆形翻车机室中心点 x=0, y=0。基坑模型及纵剖面分别如图 3、图 4 所示。

该模型的计算分四步进行。第 1 步计算基坑开挖前的初始应力场,进行地应力平衡;第 2 步计算翻车机室基坑第 1 层开挖至 -8.40m;第 3 步计算翻车机室基坑第 2 层开挖至 -12.30m;第 4 步计算翻车机室基坑第 3 层开挖至 -17.35m,且输煤廊道同步开挖完成,提取土体的位移场。

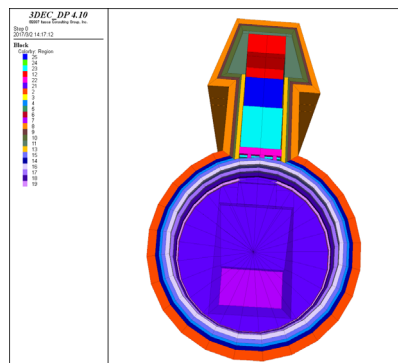


图 3 基坑模型

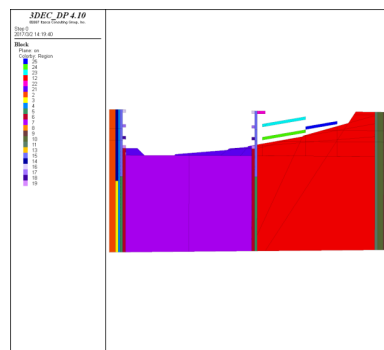


图 4 基坑纵剖面图

3.2 边界条件及网格划分

由于本工程地下水埋深较深，故本计算模型不考虑地下水渗流对基坑变形的影响。根据现场调查，基坑周边存在多个建筑，为保证数值计算的可靠性，模型的边界条件如下：在地表施加 30kPa 的均布荷载，约束土体四周的水平方向位移，约束底部的 3 个方向位移。单元网格采用 4 面体单元，为了在保证计算效率的前提下减小计算误差，本模型对基坑及其周围一定范围内的网格采取加密处理，整个计算模型划分网格数量为 2490064 个。网格划分如图 5 所示。

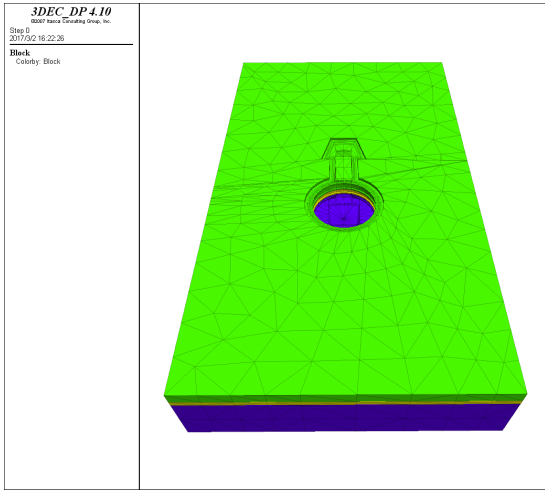


图 5 网格划分

4 离散元计算结果分析

根据离散元 3DEC 软件对基坑模型进行模拟，为了更好地研究基坑在开挖过程中周边地表的沉降及位移场和应力场的变化规律，在基坑两侧分别布置 3 个沉降监测点，其位置及名称如图 6 所示。

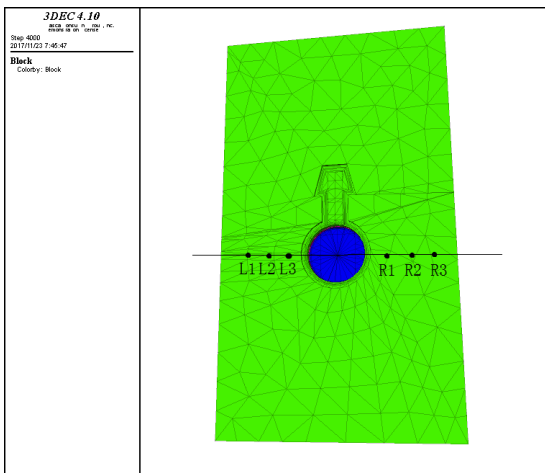


图 6 沉降监测点及典型剖面布置图

4.1 第一层开挖计算结果

4.1.1 基坑周围地面沉降

图 7 为第一层开挖后基坑周围监测点的位移图，从图

中可以看出，沉降值最大的两个监测点分别为 L2 和 R2，其位置大概位于基坑壁到模型边界的中部，沉降最大值为 0.284m。

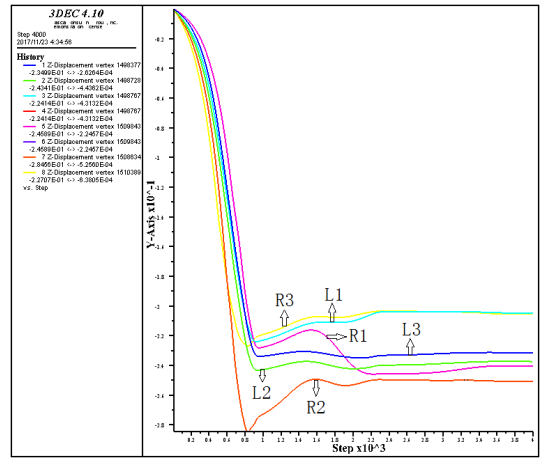


图 7 第一层开挖基坑周围监测点位移

4.1.2 基坑内部变形

图 8 为第一层开挖后基坑变形的位移矢量图，可以看出，在基坑开挖至 -8.40m 时，坑壁上缘和坑底中心的变形最为明显，坑壁上缘土体位移指向坑底，与垂直方向呈 29°~41° 夹角，夹角由坑壁上缘至底部逐渐减小；坑底位移垂直向上，表现为坑底隆起。

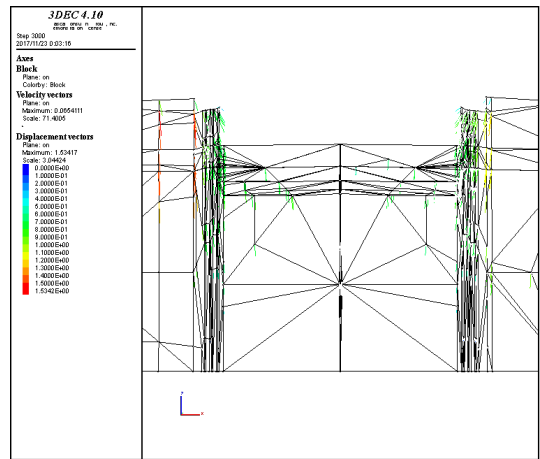


图 8 第一层开挖基坑位移矢量图

为了更好地研究此阶段基坑土体的变形特征，分别在坑壁上缘负 X 方向、正 X 方向、负 Y 方向及坑底中心布置监测点，监测点的位移如图 9 所示。图中可以看出，坑壁上缘的位移方向指向坑内，最大位移为负 X 方向监测点处，最大位移量为 0.172m；坑底中心表现为隆起，位移方向垂直向上，计算模型稳定之后的最大位移为 0.295m；坑壁及坑底的变形从初始状态到稳定状态的过程中，变形特征几乎相同，均经历了 3 个周期，每个周期内的位移速率均为先慢后快，且每个周期的迭代步长相近，最终位移不再变化，达到平衡；由于本模型直接将基坑开挖至 -8.40m，受卸荷影响，

基底变形较坑壁变形敏感，基底先发生缓慢变形，之后坑壁上缘才产生位移变形。

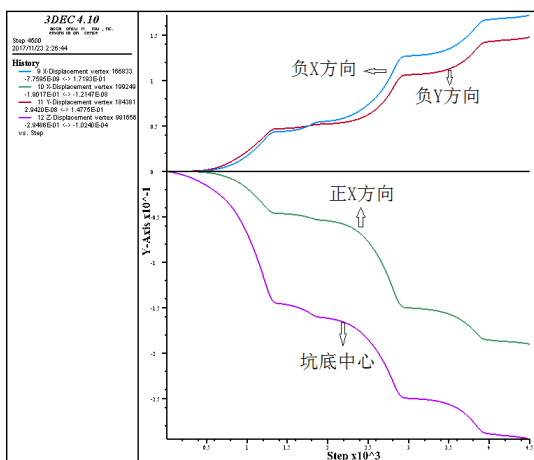


图9 第一层开挖基坑监测点位移

4.2 第二层开挖计算结果

4.2.1 基坑周围地面沉降

图10为第二层开挖后基坑周围监测点的位移图，从图中可以看出，沉降的两个最大值为基坑壁到模型边界中部的监测点L2和监测点R2，沉降最大值为0.285m。

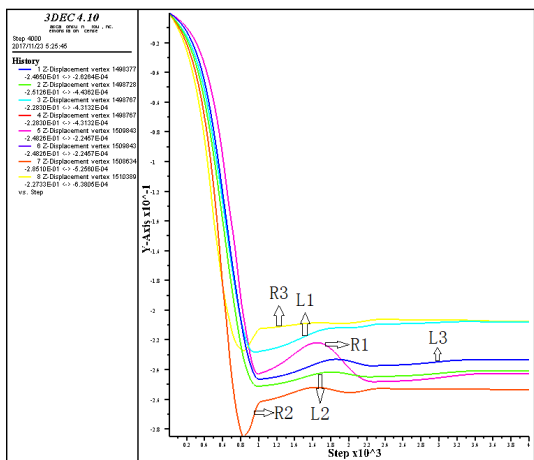


图10 第二层开挖基坑周围监测点位移

4.2.2 基坑内部变形

图11为第二层开挖后基坑变形的位移矢量图，可以看出，在基坑开挖至-12.30m时，坑壁中部约-6.50m处和坑底中心的位移矢量较密集，变形特征最为明显，坑壁土体位移指向坑底，坑壁上部与底部的位移方向与垂直方向约呈31°夹角，坑壁中部的位移方向与垂直方向约呈40°夹角；坑底位移垂直向上，表现为坑底隆起。

由于坑壁及坑底土体呈“凸”字形，为了更好地研究此阶段基坑土体的变形特征，分别在坑壁中部负X方向、正X方向、负Y方向及坑底中心布置监测点，监测点的位移

如图12所示。图中可以看出，坑壁中部的位移方向指向坑内，最大位移为正X方向监测点处，最大位移量为0.316m；坑底中心表现为隆起，位移方向垂直向上，计算模型稳定之后的最大位移为0.227m；坑壁及坑底的变形从初始状态到稳定状态的过程中，变形特征几乎相同，均经历了2个周期，每个周期内的位移速率均为先慢后快，后一周期的迭代步长较前一周期长，且位移变化幅度较大，表明此周期内基坑内力重组较为剧烈，基坑土体易在此阶段后期产生破坏变形；本模型模拟基坑分步开挖，在经历了第一步开挖后，内力经过一次重组，当再次卸荷，坑壁和坑底的土体变形均不敏感，在开挖一段时间后，基坑才开始发生缓慢变形。

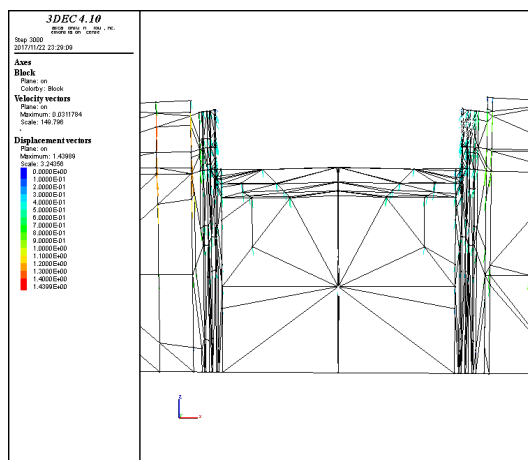


图11 第二层开挖基坑位移矢量图

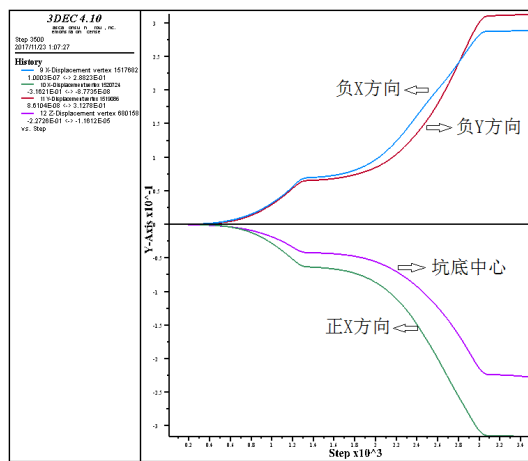


图12 第二层开挖基坑监测点位移

4.3 第三层开挖计算结果

4.3.1 基坑周围地面沉降

图13为第三层开挖后基坑周围监测点的位移图，从图中可以看出，沉降值最大的两个监测点分别为L2和R2，其位置大概位于基坑壁到模型边界的中部，两者最大值为0.288m。

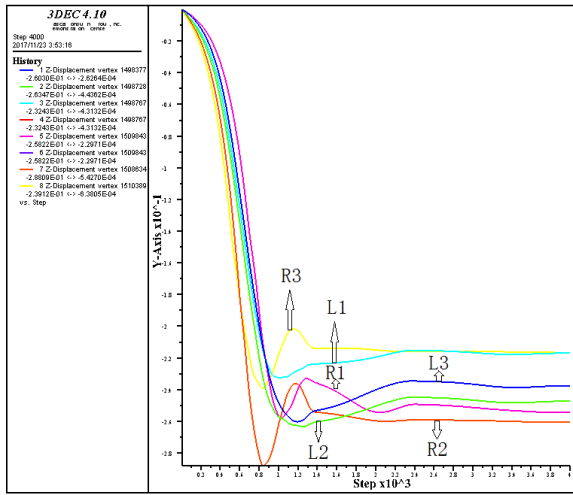


图 13 第三层开挖基坑周围监测点位移

4.3.2 基坑内部变形

图 14 为第三层开挖后基坑变形的位移矢量图，可以看出，在基坑开挖至 -17.35m 时，坑壁中部和底部以及坑底中心的位移矢量较密集，表明该位置变形速率较快，变形较明显，坑壁土体位移指向坑底，坑壁上部的位移方向与垂直方向约呈 30° 夹角，坑壁中部的位移方向与垂直方向约呈 39° 夹角；坑底位移垂直向上，表现为坑底隆起。

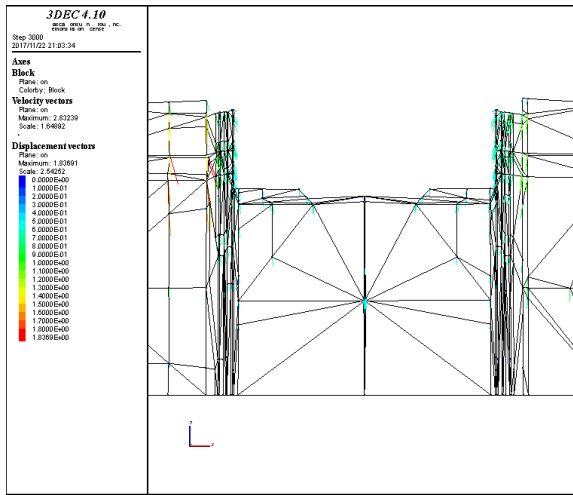


图 14 第三层开挖基坑位移矢量图

由于坑壁中部、下部及坑底中心变形较大，为了更好地研究此阶段基坑土体的变形特征，分别在坑壁中下部负 X 方向、正 X 方向、负 Y 方向及坑底中心布置监测点，监测点的位移如图 15 所示。图中可以看出，坑壁中部的位移方向指向坑内，最大位移为负 X 方向监测点处，最大位移量为 0.241m；坑底中心表现为隆起，位移方向垂直向上，计算模型稳定之后的最大位移为 0.124m；坑壁及坑底的变形从初始状态到稳定状态的过程中，其特征与上一步开挖后相

似，只是坑壁最大变形位置下移 [4-8]。

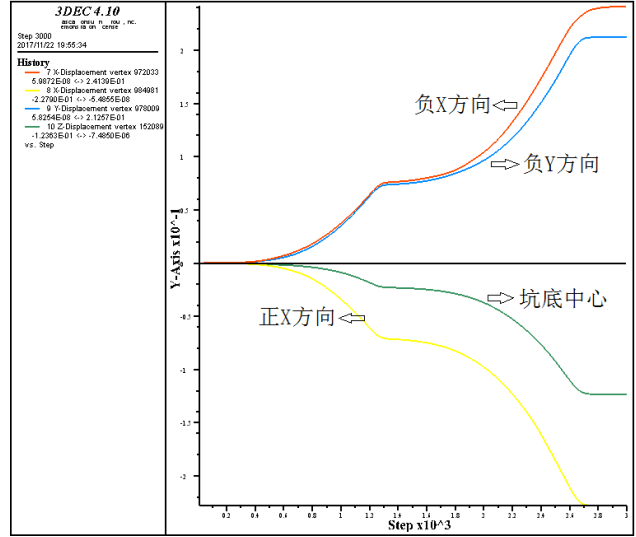


图 15 第三层开挖基坑监测点位移

5 结语

- ① 基坑周围地表沉降量随开挖深度的增加而增大，且沉降最大点向坑壁靠近。
- ② 基坑壁变形最大处随开挖深度的增加而向下转移，变形量在基坑开挖中期达到最大值，随后逐渐衰减。
- ③ 基坑底部隆起值随分步开挖的进行而逐渐减小。这是由于基坑分步开挖，每当上一步开挖完成且被开挖重新达到应力平衡后再进行下一步开挖，土体具有足够的时间进行应力重组，而不至于发生严重的变形破坏，这对基坑设计和施工具有现实的指导意义。

参考文献

- [1] Terzaghi. K, Peck R B. Soil Mechanics in Engineering Practice[M]. New York: [s.n.] 1948.
- [2] LAMBE T W, MARR W A. Stress path method: Second Edition[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1979(6): 73-81.
- [3] JQJ 120-99建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 高俊合,赵维炳,李兴文.深开挖有限元分析中释放荷载模型[J]. 河海大学学报,1999,27(1):47-52.
- [5] 何世秀,韩高升,庄心善,等.基坑开挖卸荷土体变形的试验研究[J]. 岩土力学,2003,24(1):17-20.
- [6] 黄传胜.地铁深基坑开挖变形预测方法及工程应用研究[D].长沙:中南大学,2011.
- [7] 巨能攀,赵建军,黄润秋,等.基于3DEC的边坡块体稳定性分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,28(6):925-928.
- [8] 秦四清.深基坑工程优化设计[M].北京:地震出版社,1998.