

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2022.04.012

【工程应用】

浅谈基坑工程的一些教训和经验

张振海

(上海新荣阳投资控股集团, 上海 200082)

摘要: 基坑工程不仅理论性很强, 实践性也很强, 目前尚不能完全精确定量计算, 需要通过定性判断进行完善与补充。本文首先从几个典型案例进行反面论证, 阐述基坑工程需要在概念上判断其正确性, 此为取得成功的必要条件; 其次从典型案例进行正面论证, 阐述即使存在潜在隐患风险的基坑工程, 只要在概念判断上正确并采取适当的措施, 也可能取得成功的结果。理论与实践紧密结合并兼顾项目的经营行为, 才能保障基坑工程的安全。

关键词: 理论与实践; 模型计算; 失败教训; 成功经验

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)04-0354-07

Case studies and lessons of excavation experience

ZHANG Zhen-hai

(Shanghai Xinrongyang Investment Holding Group, Shanghai 200082, China)

Abstract: Excavation is not only very theoretical, but also very practical. At present, quantitative calculation cannot provide accurate results, and needs to be improved and supplemented by qualitative judgment. In this paper, several accidents were first introduced to demonstrate the importance of right concepts and theories in excavation, which is the essential condition for success. Secondly, several success projects expound that even if there are potential risks in excavation, as long as the concept judgment is correct and appropriate measures are taken, it is possible to achieve successful results. In order to ensure the safety of foundation pit engineering, the theory and practice should be closely combined, and the business operations should also be taken into account.

Key words: theory and practice; numerical calculation; accidents; lessons

0 引言

基坑工程时有事故发生, 从概率角度来看, 基坑工程事故不能完全避免, 只能向概率更低的方向努力。本文研究正是基于此现象, 通过基坑工程成功与失败的案例分析, 追根溯源, 总结规律, 采取“应之以治”的措施^[1]。

基坑工程涉及多学科交叉, 基坑工程设计计算式需要先明晰概念, 然后在概念清楚的基础上建立数学模型开始设计计算。

其次基坑工程离不开实践的指导, 这是因为: (1) 岩土材料的物理力学特性要先通过勘察取样, 然后再开展相关试验获得, 勘察取样方式

确定了岩土参数的不确定性与信息的不完整性;

(2) 基坑工程涉及多学科交叉, 各学科之间又存在着复杂的相互作用, 定量计算需要简化模型, 这样难免存在“失真”现象; (3) 现有设计计算严重依赖规范, 规范适用于常规工程的常规设计, 针对的是普遍问题, 对一些特殊工程的特殊问题很难适用^[2]; (4) 建筑材料的复杂性以及新材料、新工艺、新方法不断涌现, 对现有知识体系提出了巨大挑战, 现有理论需要进一步拓展研究; (5) 不同设计计算方法、不同设计软件存在较大差异, 同一基坑用不同的软件计算, 结果也会相差很大^[3]。由此可见基坑工程不能完全按照理论进行分析, 需要借助工程实践不断补充与完

收稿日期: 2021-11-28

作者简介: 张振海 (1970—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事结构工程、基坑工程的研究工作。E-mail: 540967536@qq.com。

善,两者有机结合才能保证工程安全。

每个具体的基坑工程如同“水无常形”,相对应的科学理论则应“兵无定势”。龚晓南院士提倡:“在岩土工程分析中要重视工程经验,重视各种分析方法的适用条件。岩土工程的许多分析方法都是来自工程经验和案例分析,而不是来自精确的理论推导。影响基坑工程稳定性和变形的因素很多、很复杂,设计软件也难以全面反映”^[4]。顾宝和专家也提出:“土工问题分析中由于计算条件的模糊性和信息的不完全性,单纯力学计算不能解决实际问题,需要岩土工程师综合判断。不求计算精确,只求判断正确”。

1 概念错误导致工程失败

概念是本质,概念错误势必导致基坑工程的失败,下面通过几个案例从反面进行论证。

(1) 天津某项目基坑出现险情

2018年天津滨海新区某项目,基坑围护变形,水平位移超出了正常范围(35 mm),累计变形量为178.9 mm,形成基坑险情^[5],因及时采取措施,基坑没有出现大的险情。如图1所示。

该工程地基为滨海新区新造陆地,填土层土质结构性差且时间短(10年之内),将锚杆黏结受力体放在此层中不合理。另外离基坑4 m处为生活区,大量的生活用水流向地下,弱化了锚索牵引力,导致锚索失效。



图1 基坑发生险情与基坑边建生活区

Fig. 1 Dangerous situation and temporary buildings beside the foundation pit

(2) 上海七宝某基坑土方坍塌

2018年上海闵行区七宝新龙路基坑出现坍塌,如图2所示。

该基坑土层属于粉土与淤泥质土,黏聚力较低、内摩擦角较小;临时基坑坡度不大于1:1.5,实际为1:1^[6]。此类土体中挖土高度大于4 m时应分级放坡^[7],但实际未分级放坡^[6]。钢筋棚位于坍塌附近区域,基坑边堆载对基坑产生侧向推力,削弱了基坑边坡的稳定性。



图2 基坑坍塌、土方滑坡示意图

Fig. 2 Schematic diagram of foundation pit collapse and landslide

(3) 南宁某中央广场基坑坍塌

2019年南宁绿地中央广场基坑体系出现坍塌。坍塌前两天出现险情,最大位移达500 mm,但相关人员评估后错误地认为基坑安全而没有采取加固的措施,只是简单采取了停工处理;其后两天险情加重至坍塌,如图3所示(正在倾倒中的坑体)。



图3 正在倾倒中的坑体

Fig. 3 Dam body in dumping

该基坑工程设计图纸中没有显示出道路内包含有自来水等相关的管线,也没有考虑管线对锚索的影响。锚索处于长期漏水的自来水管道处,漏水造成锚索结构失效。基坑坍塌前已出现了大量涌水现象,以及变形超过规定值,此时应采取断水、堵水以及加固措施而非只是停工。

此工程项目设计单位不按国家规范进行设计,基坑在道路边的设计应进行基坑的变形设计,

而非只是稳定性设计。设计方案未经专家论证就提前施工,施工单位不按设计和规范施工,即甲方、设计、施工都“无知无畏”野蛮工作^[8]。

(4) 余姚某基坑支撑体系折断

2020年浙江余姚某项目发生基坑支撑混凝土梁折断,柱倾斜(踢脚破坏)的事故,如图4所示。

该事故主要由管理不善造成。基坑开挖过程中,土方车辆管理不善而抄近路,在部分水平支撑混凝土梁上行车,导致混凝土结构损坏,形成隐患。同时清洁车辆的水源不断向地下渗漏,部分土壤流失、强度降低。

淤泥与淤泥质土上的行车重量很大,加上土体强度降低,土体挤压后将荷载传到基坑侧边立柱,造成立柱倾斜与折断(踢脚破坏)。



图4 基坑支护折断

Fig. 4 Foundation pit struts broken

从上述几个基坑案例可以看到,概念错误引起的工程事故,超挖、渗漏水影响、整体开挖与分片开挖、施工顺序等问题的解决都需要明确的基坑受力和变形机理为支撑,基坑工程设计应强调按变形控制设计,考虑周围建(构)筑物及地下管线的相互影响。

“无知无畏”的野蛮施工是管理层面业绩需要(盲目指挥),经济层面效益需要(压缩成本),时间层面工期需要(缩短工期)等多方原因引起的。科学设计、合理施工才是工程安全的重要保障。

2 概念正确取得成功案例

概念正确将是取得成功的前提条件,下面例举4个案例从正面进行分析。

(1) 绍兴某基坑隐患明显却能安然无恙

绍兴某基坑位于老旧小区边,基坑边有20世纪80年代所建房屋,为非桩基结构,此房屋山墙距距离围墙(红线)只有3m,处理不慎极易形成此老旧房屋的基础变形。项目所处地址位于“水网区域”,明河与暗浜密集分布,地下水稳定水位埋深在0.47~1.47m,与河道水位相同^[9]。基坑开挖深度及影响范围内土层主要为杂填土、粉质黏土、黏质粉土、淤泥质土等。在这样的土层上开挖,淤泥质土的力学性能很差,会引起基坑的不稳定与基坑坑底隆起等问题。基坑又在河道边,地下水位很高,开挖存在的风险大,为此采取3个措施:

a) 采取措施保障基坑边老旧小区安全,这里变形是主要问题。因此从概念方向上采用两个办法:一是减少开挖面积,将车库南面取消,车库所缺部分增加到东面的2层车库中;二是将中间(西部)车库部分进行加强支护,加强基坑变形监测,如图5所示。

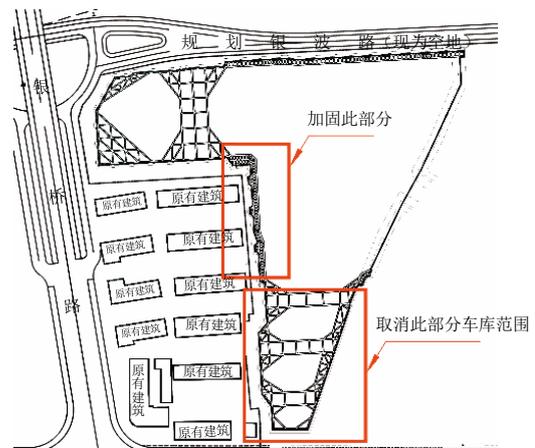


图5 基坑边老旧小区房屋

Fig. 5 Old residential houses enclosure of old community

b) 2层地下室的开挖深度为10.75m,项目当地规定超过8m的基坑宜进行双内支撑体系,参考当地规定建议,经过多次论证后,采用“单层内支撑体系”结合“锚索补强”的方式,保证基坑稳定^[10],如图6~7所示。

c) 严格按基坑规定施工。灌注桩、压顶梁、支撑梁及连系梁混凝土强度达到100%后才开始挖土;土方开挖按分区、分层(2m内)、先撑后挖、先换撑后拆撑。压顶梁及支撑梁上设置禁界区域,防范包括挖土机在内对支撑梁进行的碾压,保证了工程的顺利施工。



图6 深基坑部位加强支撑

Fig. 6 Strengthening support at deep foundation pit



图7 锚索加强节点详图

Fig. 7 Anchor cable reinforcement node

(2) 慈溪某基坑“先浅后深”开挖安然无恙
常规基坑工程施工是“先深后浅”，但慈溪某项目二期的低层商业用于出售，三期多层商业是自持物业；开发商基于资金原因先施工二期低层商业用房，再建设三期多层自持商业房，即形成了“先浅后深”的基坑开挖顺序。本项目采取了如下措施：

a) 型钢、钢管与填芯。在二期商业与三期商业之间的重力式水泥搅拌桩中插入型钢，其次是用钢管将此型钢进行连接，将钢管埋入二期商业的底板中将坝体（水泥土挡土墙）牵引；再次将二期商业离坝体 7.5 m 范围内的空心桩进行灌实，增强剪切力。如图 8~9 所示。

b) 两道锚索代替内支撑。按常规 2 层地下室深基坑为内支撑进行支护，但案例所采取的“先浅后深”的方式，内支撑无受力点，为此采用两道锚索进行，相当于两道内支撑的受力体系。

c) 先锚后挖施工。施工采用先锚后挖，首先完成围护桩、冠梁与第一道锚索；其次挖地下室 1 层土，达到 2 层地下室顶板约 -5 m 高度时进行第二锚索施工。

d) 顶板牵引的补强。地面硬化的宽度按 1.5 倍基坑深度设置，即大约 15 m 以上的水平宽度；其次是将冠梁的钢筋深入到地面硬化钢筋混凝土板内（200 mm 厚）。



图8 补强“浅与深”部位处的坝体示意

Fig. 8 Schematic diagram of dam body at 'shallow and deep' parts of reinforcement



图9 补强“浅与深”部位处的坝体实图

Fig. 9 In-site diagram of dam body at 'shallow and deep' parts of reinforcement

(3) 湛江某先浅后深基坑也能安然无恙

湛江某项目分为两期，第一期为 1 层地下室，二期为 2 层地下室，因 1 层地下室比 2 层的地下室施工速度快，因此需要快速建至 16 层后预售回笼资金（当地预售条件是 2/3 结构完成，即总高 24 层建到 16 层），二期的地下 2 层需要在 1 期资金回笼后才进行开工，即房地产公司基于资本驱动需要进行“先浅后深”基坑施工。

为此，在 1 层地下室与 2 层地下室之间需要进行围护结构才能保障楼房的安全与基坑的安全，否则先进行 2 层地下室施工则按坡率法进行放坡到 1 层地下室区域的施工，以及按常规在有围护措施条件下，8 号楼可以建至 10 层（大量经验数据统计得出），但本项目的要求是 16 层，比常规高出 6 层，约 18 m 的高度，仍需要进一步加强支护结构才

能保障楼房建到16层的安全性。

为此,采取4个措施:a)一期地下室负1层地下室底板(-5.0 m)与围护冠梁连为一体,利用结构板增强支护稳定性;b)在8号楼南侧与东侧、13楼西南角增加直径为400 mm的实心管桩进行补强,深入到地下2层基础的长度按地下2层1.5倍深度,即9 m左右,桩顶端的钢筋与一期地下室1层底板钢筋焊接相接,形成整体受力体系;c)在8号楼南面与东面两侧,地下室2层底板(-10.0 m)靠围护桩处,增设暗梁宽0.40 m×厚0.30 m(同底板厚),将此暗梁与围护桩连为一体,并在增强支护桩相邻的两跨范围约10 m范围内地下2层底板先行施工,增加底板水平支撑作用;d)地下2层地板处在两跨约10 m范围内的管桩桩芯内浇灌混凝土,内置长9 m的4根Φ16钢筋。如图10~11所示。

通过以上措施,既保障了基坑的施工安全,也顺利满足了项目资金周转需要。

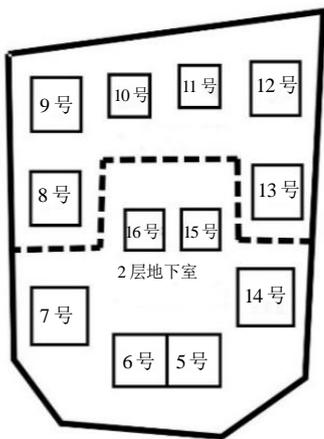


图10 先施工地下1层区域
Fig. 10 Construction of the first basement area

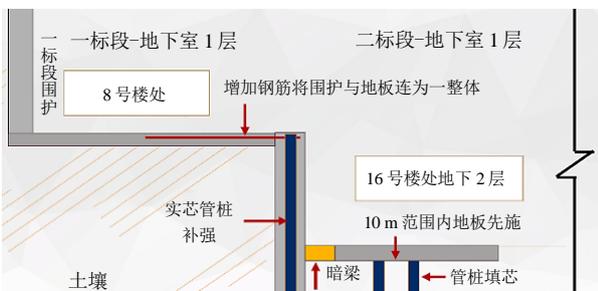


图11 采取措施示意图
Fig. 11 Schematic diagram of measures taken

(4) 海口某基坑锚索改变也能安然无恙

海口某基坑工程施工至基坑南侧-8.1 m标高,打设锚索时钻至12~16 m深度后无法钻进。后了

解到道路管廊下部有满堂布置的三轴搅拌桩。为此进行了方案调整:a)在标高-8.1 m处,施工一道长度12.0 m旋喷锚索;b)在相对标高-9.1 m处增加一道直径150 mm,长度30.0 m的普通锚索,设置自由段长度20.0 m,采用全套管钻进(能穿过管廊底部坑内加固部分)锚固段长度10.0 m;c)坑底采用高压旋喷桩进行加固处理(深度4.0 m,宽度2.0 m),如图12~13所示。

方案调整后基坑开挖过程中一度出现个别部位漏清水现象,漏水严重处进行了堵塞,不严重处没有封堵,只在底部进行排水收集,基本保证了基坑的安全。

单位:m

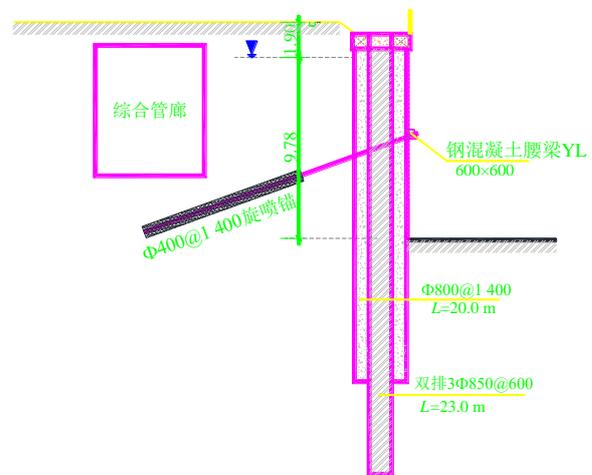


图12 原设计的施工图
Fig. 12 Construction drawing of original design

单位:m

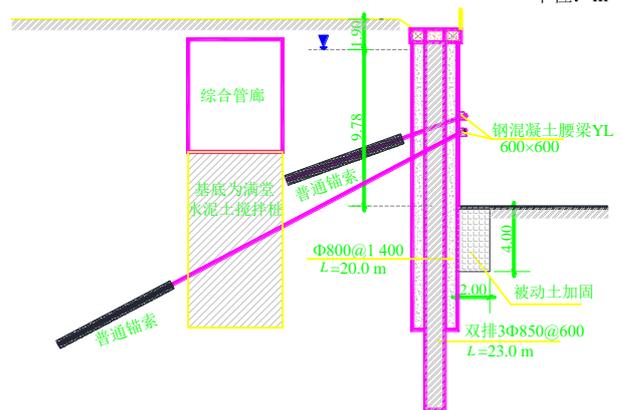


图13 调整方案后施工图
Fig. 13 Construction drawing after adjustment scheme

3 基坑工程兼顾经营与安全

基坑工程设计涉及到多方面问题,不仅要考虑技术安全,也要兼顾成本和工期。对于前面介绍的“先浅后深”基坑开挖工程,也可以通过技术手

段满足安全性要求。

3.1 通常做法

从安全角度考虑, 基坑工程应该先施工与开挖深部基坑, 完成后再施工浅部基坑, 这样的施工顺序可以较好地保障基坑安全。但目前很多项目特别是房地产项目受制于资本, 常采用“高速周转”经营模式, 需要采用“先浅后深”的基坑开挖顺序, 目的是浅基坑施工工期短, 快速将楼房建到某个规定高度后可以“预售”回笼资金, 对于自持物业部分, 由于不能进行销售产生现金流, 一般最后建设, 这样资金成本相对低一些。

3.2 建设到地面±0.000后停的做法

这种情况下可以选择先进行深基坑的施工, 将其施工到与浅基坑相同高度时, 同时施工浅基坑, 将深基坑所在的建筑物建到地面±0.000时停止。而浅基坑所在的建筑物继续施工, 这样既能保障两个基坑与建筑物的安全, 又能平衡资金回流与后期工程建设的要求。

前文介绍的慈溪基坑工程项目, 房地产公司所自持的大型商业不能销售, 需要投入大量的建设资金。但湛江的基坑项目, 通过“先浅后深”方法, 成功实现了现金流收入。可见通过工程技术手段, 如上部浅基坑底板处水平拉结、下部深基坑底板处水平支撑, 管桩填芯增强搞剪力, 或者采用SMW工法桩、钻孔灌注桩、锚索加强性等方法, 因地制宜, 可以同时满足资金和安全两方面的要求。

4 结论

基坑工程是实践性很强的学科, 需要充分建立在科学的理论概念上, 其次才是定量计算, 否则错误概念上再精确的计算也毫无意义。本文通过工程事故和成功案例介绍, 强调了设计中概念的重要性, 只要采取适当的措施, 就可以规避潜在风险, 保障基坑安全。基坑工程设计还需要兼顾项目的经营行为, 服务于整体利益与大局。

参考文献

[1] 李广信. 漫话土力学[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.

LI Guang-xin. Some Thoughts Concerning Soil Mechanics[M]. Beijing: People's Communications Press Co., Ltd., 2019.

[2] 顾宝和. 岩土工程典型案例述评[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

GU Bao-he. Review of Typical Cases of Geotechnical Engineering[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2015.

[3] 龚晓南. 基坑工程实例 8[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.

GONG Xiao-nan. Example of Foundation Pit Engineering 8[M]. Beijing: People's Communications Press Co., Ltd., 2020.

[4] 龚晓南. 基坑工程实例 3[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

GONG Xiao-nan. Foundation Pit Engineering Example 3[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010.

[5] 天津华北工程勘察设计有限公司. 天津滨海新区紫御庭苑项目基坑位移监测成果报告[R]. 天津, 2018.

Tianjin Huabei Engineering Survey and Design Co., Ltd. Report on Monitoring Results of Foundation Pit Displacement of Ziyutingyuan Project in Tianjin Binhai New Area[R]. Tianjin, 2018.

[6] 七宝生态商务区 18-03 地块商办项目“12-29”坍塌较大事故调查组. 七宝生态商务区 18-03 地块商办项目“12-29”坍塌较大事故调查报告[R]. 上海, 2019.

Investigation Team of “12-29” Collapse Accident of Commercial Project of Plot 18-03 in Qibao Ecological Business District. Investigation Report on Major Collapse Accident of “12.29” Commercial Project of Plot 18-03 in Qibao Ecological Business District[R]. Shanghai, 2019.

[7] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 基坑工程技术标准: DG/TJ 08—61—2018[S]. 上海: 同济大学出版社, 2018.

Shanghai Municipal Commission of Housing And Urban-Rural Development. Technical Standard for Foundation Pit Engineering: DG/TJ 08—61—2018[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2018.

[8] 南宁市住房和城乡建设局. 执法检查责令整改通知书[R]. (南住建改 2019 第 0000993、0000995 号). 南宁, 2019.

Nanning Housing and Urban-Rural development Bureau.

- Notice of Rectification Ordered by Law Enforcement Inspection[R]. (nsjg2019 No. 0000993 and 0000995). Nanning, 2019.
- [9] 浙江土力工程勘测院. 绍兴三湖路项目岩土工程勘察报告[R]. 绍兴, 2018.
Zhejiang Geotechnical Engineering Survey Institute. Geotechnical Investigation Report of Shaoxing Sanhu Road Project[R]. Shaoxing, 2018.
- [10] 浙江省地矿勘察院(岩土工程研究所). 绍兴三湖路项目A、B区地下室基坑支护方案设计[R]. 绍兴, 2018.
Zhejiang Institute of Geology and Mineral Exploration (Institute of Geotechnical Engineering). Design of Basement Foundation Pit Support in Areas A and B of Shaoxing Sanhu Road Project[R]. Shaoxing, 2018.

【简 讯】

《土力学及基础工程实用名词词典》(第二版)简介

《土力学及基础工程实用名词词典》(浙江大学出版社, 1993)出版二十多年来得到了广大读者的欢迎。二十多年来我国土木工程建设快速发展, 对外交流日益增多, 不少设计、施工技术人员承担域外工程。近年来, 不少读者希望词典能够再版。为了适应需要, 我们在第一版的基础上组织编写了第二版。第二版对第一版收编的词条进行了修订、补充、完善, 收编的汉语词条从723条扩展到1106条。

《土力学及基础工程实用名词词典》(第二版)收录了土力学及基础工程领域的常用词条和相应的英文词条。词条释文力求正确、简明、全面, 并尽可能包括设计、施工所需资料。词条索引共有3种: (1) 词条分类检字索引; (2) 词条拼音检字索引; (3) 词条英文检字索引。查阅方便。

《土力学及基础工程实用名词词典》(第二版)内容分30个部分, 分别为: (1) 综合类; (2) 工程地质及勘查; (3) 岩土分类; (4) 室内试验; (5) 原位测试; (6) 土的物理性质; (7) 渗透性和渗流; (8) 应力; (9) 位移和变形; (10) 固结; (11) 抗剪强度; (12) 本构

模型; (13) 岩土动力性质; (14) 地基承载力; (15) 地基处理; (16) 浅基础; (17) 复合地基; (18) 桩基础; (19) 特种基础; (20) 土坡稳定; (21) 挡土结构和喷锚结构; (22) 堤与坝; (23) 土压力; (24) 基坑工程与降水; (25) 地下工程; (26) 动力机器基础; (27) 地基基础抗震; (28) 土工合成材料; (29) 环境岩土工程; (30) 其他。

《土力学及基础工程实用名词词典》(第二版)主编龚晓南, 副主编谢康和。罗勇博士、连峰博士、李瑛博士、王志达博士、沈扬博士、郭彪博士、吕文志博士、张杰博士、陈东霞博士、史海莹博士、张磊博士、张雪婵博士、黄大中博士等在浙江大学学习期间参与了本词典词条的遴选、编写和校对工作。本词典在编写过程中还得到了浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心同事们的大力支持, 陆水琴和王笑笑等同志为本词典的排版、校对等做了许多工作, 在此谨表谢意。

由于编者水平有限, 本词典中难免有错误和不当之处, 敬请读者批评指正。