

软土地区电缆沟工程沉降分析

刘燕平, 楼佳悦, 李毅

(浙江华云电力工程设计咨询有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对软土地基上电缆沟工程的不均匀沉降问题, 本文以舟山某海缆登陆工程为背景, 建立了软基处理有限元模型。结合现场的监测情况, 验证了模型的正确性, 并对不同处理方式的软基后期沉降结果进行了预测。结果表明: 砂桩处理段典型断面阶段沉降量将达 102 mm; 塑料排水板处理段典型断面在道路中线附近的阶段沉降量最大, 将达 308.2 mm。分析所得结果为控制后续的沉降提供了参考依据。

关键词: 软土地基; 不均匀沉降; 数值分析; 沉降监测

中图分类号: TU478

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)05-0366-06

Analysis on settlement of cable trench engineering in soft soil area

LIU Yan-ping, LOU Jia-yue, LI Yi

(Zhejiang Huayun Electric Power Engineering Design Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to solve the problem of uneven settlement of cable trench engineering on soft soil foundation, a finite element model of soft foundation treatment was established based on a submarine cable landing project in Zhoushan. Combined with field monitoring, the finite element model was validated and the settlement results of soft foundation in the later stage of different treatment methods were predicted. The results show that the settlement of the typical section of the sand pile treatment section will reach 102 mm. The settlement of the typical section of the plastic drainage plate treatment section near the middle line of the road is the largest and will reach 308.2 mm. The analysis results can provide a reference for controlling the subsequent settlement.

Key words: soft soil foundation; uneven settlement; finite element analysis; subsidence monitoring

0 引言

为满足城市景观要求, 避免线路占用有限的通道, 城市电力线路越来越多的采用地下电缆沟的结构型式。软土地区中的电缆沟因长期、持续的地基变形而较产生不均匀沉降, 特别是滨海围海造田以及沉积时间短的软土, 土性参数差且分布具有较大的离散性。国内外关于软土地基的处理形式, 相对来说已比较成熟, 从最初的砂桩作为竖向排水体将路堤堆载产生的不同深度的超孔隙水压力排水, 用足够长的时间增加软土的固结度, 从而减小软土地基的工后沉降。后来发展出来采用塑料排水板, 为了增加堆载过程中稳定性, 也采用真空预压, 为此也有衍生出来的真空联合堆载预压。

许多学者也对此进行了研究和分析, 潘瑞春

等^[1] 针对我国软土地基处理方案中存在的一些问题, 提出了 3 种方案: (1) 土工织物法结合塑料排水板处理软基, 加快土体固结, 提高地基承载力; (2) 土工格栅结合振冲碎石桩法处理软基, 发挥地基最大承载力; (3) 柱锤冲扩碎石桩结合 CFG 桩处理软基, 有效提高地基承载力, 且能降低工程造价。曹建伟等^[2] 以浙江某地电缆改迁工程为背景, 针对软土地基中电缆沟产生不均匀沉降的问题, 提出了换填法和水泥搅拌桩法的地基处理方案, 并采用有限元法对处理方案进行了建模分析, 认为在软土地层中根据地层分布情况酌情采用换填法或水泥搅拌桩法能够有效控制电缆沟工后沉降, 现场监测的工后一年沉降数据进一步验证了该处理方案的有效性。季世超等^[3] 针对 220 kV 兴雀、二白线电缆改迁工程中, 由于软土地基固结沉降引

起电缆管沟结构变化的问题进行了研究分析,并提出了相关处理措施方案,为今后的电缆敷设、改迁等出现的管沟沉降问题处理提供了参考依据。

本文依托浙江舟山某海缆登陆后的电缆沟工程,结合现场监测情况以及有限元数值模拟方法,对砂桩处理段与塑料排水板处理段的电缆沟沉降进行了分析。

1 工程背景

舟山市岱山县大小鱼山东侧促淤堤及大桥接线成陆工程地处舟山群岛西北部、岱山岛西侧的大小鱼山岛,在大渔山岛东侧,本工程为大桥接线成陆工程部分,工程建设主要为鱼山大桥在鱼山岛侧登陆后的路上引桥和接线引道建设提供陆域,同时为 220 kV 海缆登陆后的陆上敷设提供陆域。施工阶段对电缆沟所有位置进行了沉降观测,共布设 18 个沉降观测点,如图 1 所示,该场地表层为 3.5 m 左右的淤泥,其下为 33 m 左右的淤泥质粉质黏土层,该层含水是为 42.6%,孔隙比 1.262,天然重度为 17.3 kN/m³,压缩模量为 2.5 MPa。

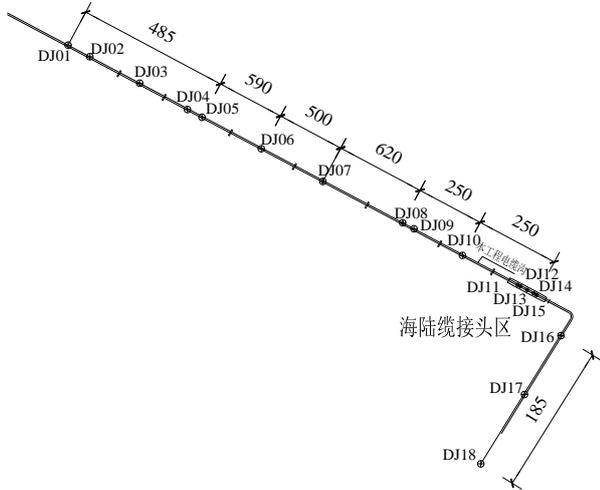


图 1 电缆沟沉降观测点 (单位: cm)
Fig. 1 Settlement observation point of cable trench (Unit: cm)

2 沉降现场情况

砂桩处理段与塑料排水板处理段分别于 2017 年 11 月 30 日与 2017 年 10 月 30 日施工完毕,自 2018 年 5 月 2 日起至 2019 年 3 月 21 日,鱼山工程项目部对电缆沟沉降情况进行了持续监测,最后一次监测完成后累计沉降如表 1 所示,根据表 1 绘制出所有测点的沉降如图 2 所示,在桥架处的沉降如

图 3 所示,沉降速率如图 4 所示。

表 1 鱼山工程陆缆部分各观测点近两次电缆沟沉降
Tab. 1 Recent cable trench settlement of observation points in the land cable section of Yushan project

观测点编号	累计沉降量/mm	观测点编号	累计沉降量/mm
DJ1	3.2	DJ10	328.8
DJ2	15.9	DJ11	215.0
DJ3	57.7	DJ12	110.2
DJ4	112.5	DJ13	127.9
DJ5	154.9	DJ14	186.5
DJ6	211.8	DJ15	240.3
DJ7	70.8	DJ16	458.2
DJ8	247.5	DJ17	394.1
DJ9	272.1	DJ18	282.4

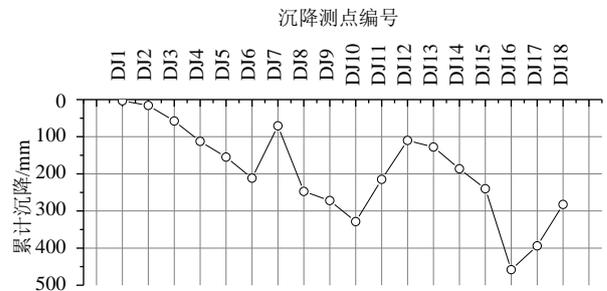


图 2 所有测点沉降曲线
Fig. 2 Settlement curves for all measuring points

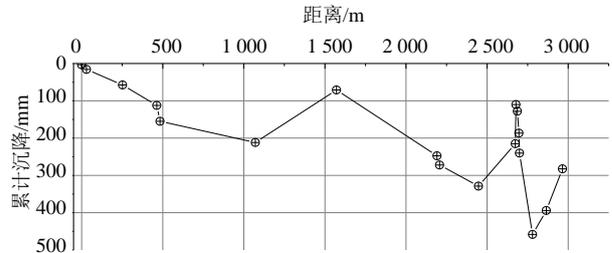


图 3 桥架处 (砂桩处理段) 差异沉降
Fig. 3 Differential settlements at the bridge frame (sand pile treatment section)

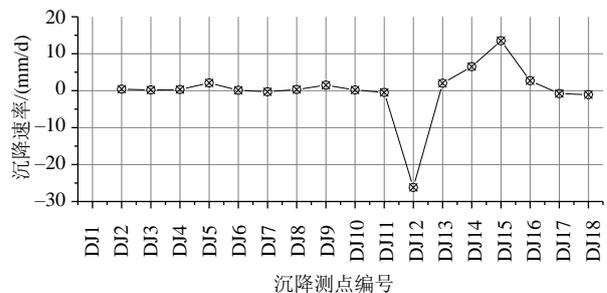


图 4 沉降速率分布
Fig. 4 Settlement rats distribution

结合沉降监测数据,为进一步确认本工程陆缆

段沉降的影响，开展了沉降复核检查工作。经现场排查，全线仅在跨越规划东随塘河处的桥架电缆沟（观测点 DJ11~DJ14 段）处出现差异沉降，其余区域均为均匀的整体沉降。

本工程在桥架电缆沟（图 5 中②~③段）两侧出现“裂缝”（如图 5 中的东、西侧裂缝），且在裂缝两侧的电缆沟段存在“一头高一头低”的差异沉降。原因是桥架电缆沟段下部设有灌注桩基础，其相对沉降较小，桥架两侧的常规电缆沟段（图 6 的中①~②段和③~④段，每段的一头搁在桥架电缆沟的桩基承台上）下部无桩基础相对沉降量大，因此两侧的常规电缆沟段不可避免地出现了“一头高一头低”的差异沉降，且在桥架电缆沟与两侧常规电缆沟之间出现“裂缝”（实际设计在该处已考虑为断开的变形缝，并非结构破坏）。

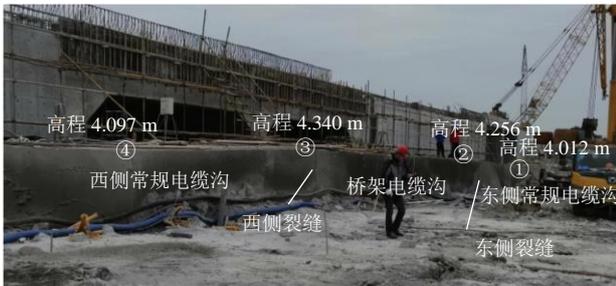


图 5 桥架电缆沟段差异沉降现场图

Fig. 5 Scene of differential settlement of bridge cable trench

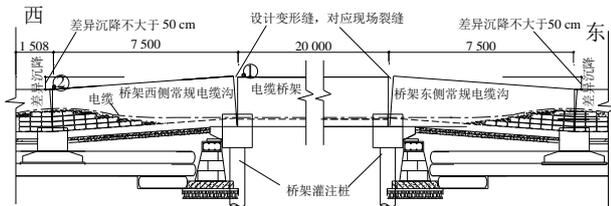


图 6 桥架电缆沟段设计示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the cable section of the bridge

现场对①、②、③、④号位置点的沟体顶部进行了高程测量，继而得出①、②号点之间以及③、④号点之间的高差，即需重点关注的差异沉降，目前①、②号点之间以及③、④号点之间的差异沉降均为 24 cm。

由于桥架处监测点 DJ11、DJ12、DJ13、DJ14、DJ15 距离较近，差异沉降大，可能会对结构产生应力集中等不利影响。根据监测点位置以及当前阶段监测沉降值，计算出各监测点之间差异沉降，分别达 26.2mm/m、-1.96mm/m、-6.51mm/m 和 -13.45 mm/m。由图 1 和图 3 可知，桥架处两侧差异沉降大，中间差异沉降小，这可以解释桥架两侧

出现较大裂缝的现象。

3 典型断面数值计算分析

3.1 有限元模型

根据场地情况，路基及电缆沟均为长条状，因此采用二维平面应变进行计算。建模时综合考虑计算时间与计算规模的协调，模型区域选取 120 m×70 m。其中砂桩处理段有限元整体计算分析模型如图 7 所示，有限元网格见图 8 所示，模型共 3 899 个单元，31 383 个节点。

模型的边界条件是：模型底部为固定支撑，即土体水平向和竖向位移均约束；模型的四周为水平约束，竖向自由。模型中对于土层及砂桩实体采用小应变土体硬化模型；路堤及路面结构层采用摩尔库伦模型。模型计算参数如表 2 和表 3 所示。计算工况包括塑料排水板软基处理、路堤堆填、路面结构施工以及最后固结完成，见表 4 所示。

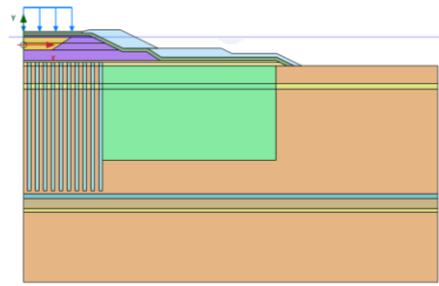


图 7 有限元模型

Fig. 7 Finite element model

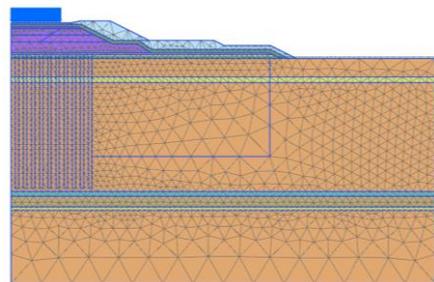


图 8 有限元网格

Fig. 8 Finite element model

3.2 砂桩处理段

砂桩处理段（AK0+000~AK0+575）修建共耗时 288 个工作日，堤顶道路修建时间共耗时 90 个工作日。将已有监测数据与模型计算结果（工况 13 阶段沉降）进行比对，监测时间为道路施工完毕后 2018 年 5 月 2 日至 2019 年 3 月 21 日，该砂桩处理区间内包含 5 个监测点，分别为 DJ11、DJ12、DJ13、DJ14 和 DJ15，均位于桥架处。

表 2 HSS 土体本构模型参数表
Tab. 2 HSS soil constitutive model parameter table

地层名称	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	c'/kPa	$\varphi'/^\circ$	E_{50}/MPa	$E_{\text{oced}}/\text{MPa}$	E_{ur}/MPa	G_0/MPa	m
灰色淤泥质粉质黏土	17.3	3	25	2.5	2.5	12.5	25.0	0.8
灰绿粉砂	18.8	1	28	9.3	9.3	40.0	80.0	0.6
灰色粉质黏土	18.4	6	28	9.98	9.98	49.9	99.8	0.8
灰色砂质粉土	18.7	1	27	10.0	10.0	50.0	80.0	0.6
灰色粉质黏土	19.2	5	28	7.8	7.8	38.9	78.0	0.8
吹填砂	16	0	33	35	35	105	175	0.6

表 3 摩尔-库伦土体本构模型参数表
Tab. 3 MC soil constitutive model parameter table

结构名称	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	E/MPa	ν'	c'/kPa	$\varphi'/^\circ$	R_{inter}
抛石	20	400	0.15	30	33	0.67
碎石层	20	100	0.10	0	40	0.67
管装沙袋	18	35	0.20	1	33	0.67
排水垫层	17	35	0.20	1	33	0.67
路面结构层	22	40	0.20	10	40	0.67

表 4 数值计算工况表
Tab. 4 Numerical calculation condition table

工况序号	工况名称	计算类型
1	地应力场平衡	K ₀ 过程
2	地基加固(排水板、砂桩)	固结
3	路堤堆填第1层	固结
4	路堤堆填第2层	固结
5	路堤堆填第3层	固结
6	路堤堆填第4层	固结
7	碎石层修建	固结
8	水抛石修建	固结
9	陆抛石修建+宕渣堆填	固结
10	电缆沟施工	固结
11	路面结构施工	固结
12	固结至监测开始	固结
13	固结至现阶段监测结束	固结
14	固结至最小孔压	固结

由图 9 可知, 模型计算值与 DJ12、DJ13 监测点沉降曲线拟合较好, 各个监测点之间存在较大离散性。因此用该模型计算该砂桩处理段具有较高准确性, 可以较准确地预测 DJ12 与 DJ13 测点的沉降趋势。图 10 为阶段沉降曲线图, 可知在今后固结将持续进行, 在 7 年内土体将持续产生较大固结沉降, 预测阶段沉降可达 102 mm。

3.3 塑料排水板处理段

塑料排水板 (AK0+575~AK2+400) 修建共耗时 258 个工作日, 堤顶道路修建时间共耗时 90 个工作日。将已有监测数据与模型计算结果 (工况 13 阶段沉降) 进行比对, 监测时间为道路施工完毕后 2018 年 5 月 2 日至 2019 年 3 月 21 日, 该塑料排水板处理区间内包含 3 个监测点, 分别为 DJ8、DJ9、DJ10。

由图 11 可知, DJ10 监测点沉降曲线与计算值拟合较好, 沉降值与趋势基本一致, 验证了模型的正确性。由图 12 可知在今后固结将持续进行, 在 9 年内土体将持续产生较大固结沉降, 预测阶段沉降可达 308.2 mm, 达到沉降收敛的时间及后续预测沉降值均大于砂桩处理段。

3.4 差异沉降计算

排水塑料板段与砂桩处理段也存在不均匀沉降, 设计时考虑电缆桥架处考虑的最大差异沉降为 50 cm, 即电缆桥架部分和桥架两侧常规电缆沟段的顶部高差不大于 50 cm 时, 差异沉降可通过沟内留有的电缆余度弥补, 根据沉降现场检查情况分析表明: 目前电缆沟土建完工后一年的累积差异沉降约 24.03 cm, 差异沉降段的电缆支架也均未出现变形, 电缆状态安全且仍有一定余度。但沉降曲线仍未收敛, 根据数值计算预测结果可知后续差异沉降将增加 20.6 cm, 累计沉降为 44.63 cm, 小于 50 cm。因此后续监测仍需重视。

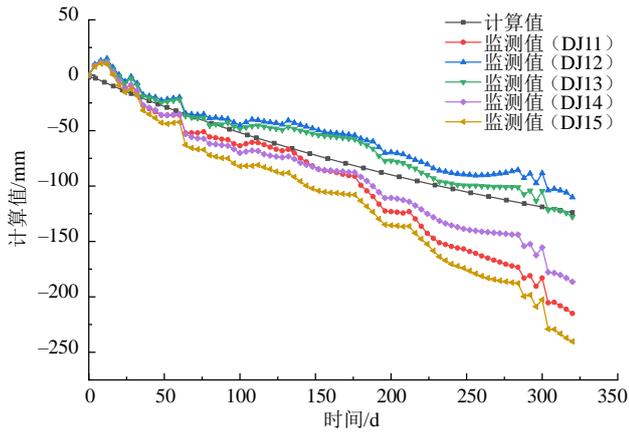


图9 砂桩处理段计算与监测沉降曲线

Fig. 9 Settlement curve of calculated and monitored value of sand pile treatment section

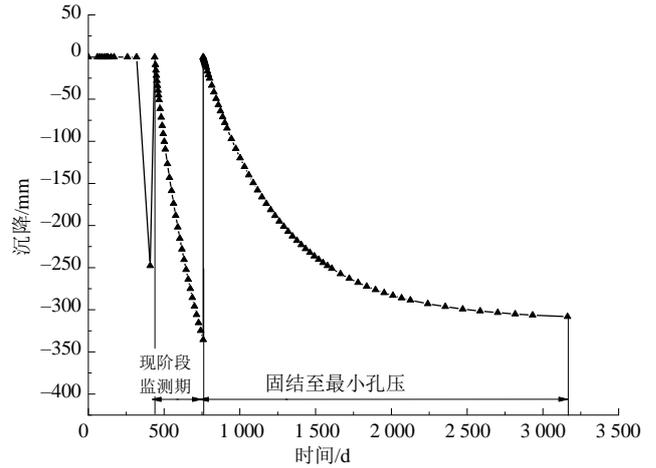


图12 数值计算各工况阶段沉降曲线

Fig. 12 Numerical simulation settlement curve of each working condition

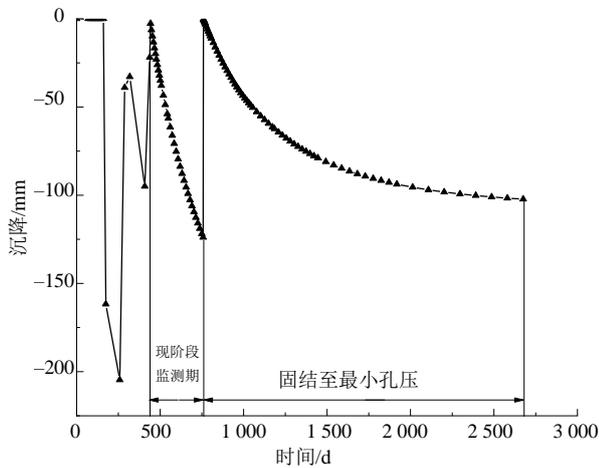


图10 数值计算各工况阶段沉降曲线

Fig. 10 Numerical simulation settlement curve of each working condition

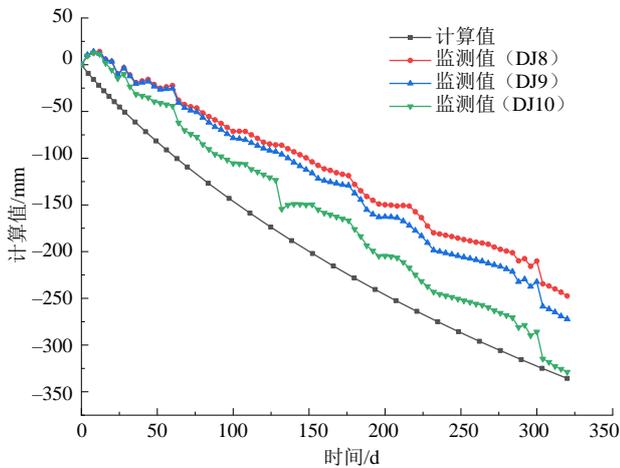


图11 塑料排水板处理段计算与监测沉降曲线

Fig. 11 Settlement curve of calculated and monitored value of plastic drainage plate treatment section

4 结 论

通过数值模拟对砂桩处理段与塑料排水板处理段2个典型断面进行计算分析,模拟其从施工开始至固结完成的整个阶段工况,得出以下结论:

(1) 砂桩处理段典型断面最大沉降发生在抛石宽肩台。根据计算结果预测,砂桩处理段典型断面阶段沉降量将达102 mm。

(2) 塑料排水板典型断面最大沉降发生在道路中线。数值模拟结果能较好拟合DJ10测点的沉降曲线并预测其未来沉降趋势。根据计算结果预测,塑料排水板处理段典型断面沉降主要发生在整个路堤区域,其中道路中线附近的阶段沉降量最大,达308.2 mm。

(3) 根据计算结果,不同软基处理段差异沉降仍将持续增加。鉴于桥架处已有差异沉降为23 cm,预测差异沉降继续增加20.6 cm左右,小于设计规定的最大差异沉降50 cm。在后续固结沉降过程中,应加强沉降监测。减少路面重车通行,沉降过大区段经过论证可采用换填等方式进行处理。另外在桥架处局部差异沉降较大,对桥架结构产生不利影响,D11监测点与D12监测点之间差异沉降达26.2 mm/m,后续应加强沉降监测。

参考文献

[1] 潘瑞春,黄瑞章,周新年,等. 道路工程软土地基处理方案选择研究进展[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2012, 8(10): 23-26.

- PAN Rui-chun, HUANG Rui-zhang, ZHOU Xin-nian, et al. Research progress in the selection of soft soil foundation treatment schemes for road engineering[J]. Journal of Highway and Transportation Technology, 2012, 8(10): 23-26.
- [2] 曹建伟, 朱司丞, 潘少良. 软土地层中电缆沟不均匀沉降控制措施研究[J]. 山西建筑, 2016, 42(31): 131-133. CAO Jian-wei, ZHU Si-cheng, PAN Shao-liang. Research on control measures for uneven settlement of cable ditch in soft soil layer[J]. Shanxi Architecture, 2016, 42(31): 131-133.
- [3] 季世超, 岳灵平, 俞强, 等. 浅析 220 kV 兴雀、二白线电缆改迁工程管沟沉降处理[J]. 湖州师范学院学报, 2014, 36(S1): 128-134. JI Shi-chao, YUE Ling-ping, YU Qiang, et al. Analysis of pipe ditch settlement in 220 kV Xingque and Erbai line cable reconstruction projects[J]. Journal of Huzhou Teachers College, 2014, 36(S1): 128-134.

【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 20 多年来得到了广大读者的欢迎。20 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, 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 1 106 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) 工程地质及勘察; (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, 在此表示感谢。

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。

龚晓南