

文章编号: 1007-2993(2023)05-0574-07

道路软基处理方案选型研究

何长明 黎 军

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东广州 510060)

【摘要】 道路软基处理质量直接影响行车安全性和舒适性, 确定一种经济、合理、环保的软基处理方案是道路软基处理的关键。软基处理方案选型需从地质条件适应性、路基稳定性、工期要求、地基承载力要求、工后沉降值要求等方面进行技术可行性分析, 从软基处理工程费用和运营维护费用等方面进行经济合理性分析, 从周边环境、施工期环境影响、运营期环境影响和资源消耗情况等方面进行环境影响分析。根据技术可行性、经济合理性和环境影响的分析结果, 引入层次分析法建立软基处理方案选型的层次分析模型。结合专家决策系统和模糊理论, 对各影响因素进行量化评价, 从而将复杂的非定量因素问题简单化, 通过实例验证层次分析模型在软基处理方案选型中的适应性。

【关键词】 道路工程; 软基处理; 方案选型; 层次分析法; 专家决策系统; 模糊理论

【中图分类号】 U 416.1

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2023.05.010

Study on Selection of Road Soft Foundation Treatment Scheme

He Changming Li Jun

(Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, Guangdong, China)

【Abstract】 The quality of road soft foundation treatment directly affects the driving safety and comfort. To determine an economic, reasonable and environmental friendly soft foundation treatment scheme is the key to the success or failure of road soft foundation treatment. The technical feasibility analysis is carried out from the aspects of geological condition adaptability, subgrade stability, construction period requirements, foundation bearing capacity requirements, post construction settlement value requirements, etc; The economic rationality should be analyzed from the aspects of soft foundation treatment engineering cost and operation and maintenance cost; Environmental impact analysis shall be carried out from the aspects of environmental impact from surrounding area, during construction, and during operation, as well as resource consumption. According to the analysis results of technical feasibility, economic rationality and environmental impact, the analytic hierarchy process is introduced to establish the analytic hierarchy process model of soft foundation treatment scheme selection. Combined with expert decision system and fuzzy theory, the influencing factors are quantitatively evaluated, so as to simplify the complex non quantitative factor problem. An example is given to verify the adaptability of analytic hierarchy process model in the selection of soft foundation treatment scheme.

【Key words】 road engineering; soft foundation treatment; scheme selection; analytic hierarchy process; expert decision system; fuzzy theory

0 引言

随着工程技术的发展, 软基处理方法越来越多。软基处理方案适用的土层不同, 处理效果、工程投资以及对环境的影响均不尽相同, 选择一种技术可行、经济合理、节能环保的软基处理方案是软基处理成功的关键^[1-2]。

传统的软基处理的方案选择大多依据经验判断, 缺少量化数据支撑, 个人知识水平和工程经验的差异性导致方案选择、处理效果不尽相同, 选型不当时达不到预期的处理效果^[3]。

为此, 国内外学者对软基处理方案选型进行了广泛研究。程贤志等^[4]、李国维等^[5]通过试验段来确定经济合理的处治方案; 苏谦等^[6]、刘刚等^[7]通过技术经济比较来选择软基处理方案; 刘益良等基于模糊数学和灰色理论的软基处理方案评价效果对比研究^[8-9]; 朱维伦等^[10]、田园园^[11]通过专家打分的方法, 运用层次分析法对公路软基处理方案进行优选, 为软基处理方案选择提供了新的思路。

基于上述分析, 为推广基于层次分析法的方案选型, 从技术可行性、经济合理性及环境影响因素对

影响软基处理的各因素详细分析, 构建层次分析模型, 利用专家决策系统对模型进行权重分配, 将复杂的软基处理方案选型数字化, 为软基处理方案的选择提供量化的依据, 也为工程技术人员选择合适的软基处理方案提供参考。

1 技术可行性影响因素分析

软基处理方案首先应满足技术上可行。技术可行性包括软基处理方案在相应的地质条件具有适应性, 能够满足路基稳定性、施工工期和地基承载力要求, 也能满足路基工后沉降值要求, 且具有施工便捷、

施工质量可控等特点。

1.1 地质条件适应性

常见的软土地基是指由淤泥、淤泥质土、冲填土或其他高压缩性土层构成的地基。地质条件适用性包括岩土层适用性、十字板剪切强度和软土深度等指标。软基处理方案的选择的需根据岩土层情况, 软基深度确定合适的处理方案。

常用软基处理方案的适用土层、不适用土层和处理深度(见表1)。

表1 常用软基处理方法适用岩土层

处理方法	加固深度/m	适用岩土层	不适用岩土层
排水固结法	≤ 25	淤泥、淤泥质土和冲填土等饱和软黏土	不宜用于表层覆盖层厚度大于5 m的回填土或承载力较高的黏性土
水泥搅拌桩	单向 ≤ 15 双向 ≤ 20	十字板剪切强度不小于10 kPa、有机质含量不大于10%的软土地基	不宜处理泥炭土、有机质土、pH值小于4的酸性土、塑性指数大于22的黏土及腐蚀性土
高压旋喷桩	≤ 25	十字板剪切强度不小于10 kPa、有机质含量不大于10%的软土地基	不适合有动水压力和已涌水的工程
CFG桩/素混凝土桩	≤ 25	十字板剪切强度不小于20 kPa的软土地基	含水量大于65%或夹有较高承压水时的软土应慎用
加芯水泥搅拌桩	≤ 35	十字板剪切强度不小于10 kPa、有机质含量不大于10%的深厚软土地基	不宜处理泥炭土、有机质土、pH值小于4的酸性土、塑性指数大于22的黏土及腐蚀性土
预应力管桩	≤ 40	软土深度大于20 m的深厚软土地基	抛石地基不适合

从表1可以看出, 各种软基处理方式都有一定适用范围, 处理深度也不相同。软基处理方案选型时宜优先根据地质情况、软土层的深度进行选择。

1.2 路基稳定性

路基稳定性主要是指软土地基上因填土产生的路基整体和局部稳定性, 路基填土高度 H 适宜的软基处理方案如下:

(1) $H < 6$ m 时, 可采用堆载预压、真空预压或复合地基处理。

(2) 6 m $\leq H < 8$ m 时, 宜采用真空预压或复合地基处理。

(3) $H \geq 8$ m 时, 宜采用复合地基处理。

1.3 道路施工工期 T 要求

(1) $T < 1$ a 时, 宜采用复合地基处理。

(2) 1.0 a $\leq T < 1.5$ a 时, 可考虑采用复合地基、真空联合堆载预压等方法。

(3) $T \geq 1.5$ a 时, 可采用排水固结法、复合地基处理。

1.4 地基承载力 f_{ak} 要求

(1) 80 kPa $\leq f_{ak} < 120$ kPa 时, 宜采用排水固结法、柔性桩复合地基处理, 可采用轻质土填筑。

(2) 120 kPa $\leq f_{ak} < 160$ kPa 时, 宜采用柔性桩或

刚性桩复合地基处理, 可采用轻质土填筑, 不宜采用排水固结法处理。

(3) $f_{ak} \geq 160$ kPa 时, 宜采用刚性桩复合地基或刚-柔组合桩复合地基处理, 不宜采用排水固结法、柔性桩复合地基。

1.5 工后沉降值 s 要求

(1) $s < 10$ cm 时, 宜采用刚性桩复合地基或轻质土填筑。

(2) 10 cm $\leq s < 30$ cm 时, 可采用柔性桩复合地基、真空联合堆载预压、堆载预压法等方法。

(3) 30 cm $\leq s < 50$ cm 时, 可采用柔性桩复合地基、真空联合堆载预压等方法。

(4) $s \geq 50$ cm 时, 可进行简单的软基处理, 软土层较薄时也可不进行软基处理。

1.6 施工质量受控程度

深层软基处理方案的质量受控程度包括施工工艺便捷性和施工质量受控水平(见表2)。

从表2可以看出, 宜优先选择工艺便捷、质量可控的施工工艺。

2 经济合理性影响因素分析

在满足技术可行性前提下, 软基处理方案选型还要重点考虑经济合理性, 包括软基处理工程费用、

表2 软基处理施工质量控制水平

软基处理方案	施工便捷性	质量可靠度	综合
堆载预压法	★★	★★★	★★★
真空预压法	★	★★	★
水泥搅拌桩	★★★	★	★★
高压旋喷桩	★★	★★	★★
CFG桩	★★	★★	★★
素混凝土桩	★★	★★	★★
加芯搅拌桩	★★★	★	★★
预应力管桩	★★	★★★	★★★

注: ★用于描述施工质量控制水平。

运营期维护费用以及因软基处理增加(或减少)的用地费用等。

2.1 软基处理工程费用

在满足功能的前提下,软基处理宜选择工程费用较低的排水固结法处理,如采用复合地基时,可参考表3选择合适的软基处理方案。

表3 常用复合地基处理造价

软基处理方式	直径/m	延米造价/元	桩间距/m	单位处理面积延米造价/元
水泥搅拌桩	0.5	65	1.2	45
高压旋喷桩	0.5	160	1.4	81
CFG桩	0.4	145	1.6	56
素混凝土桩	0.4	135	1.6	53
预应力管桩	0.4	225	2.2	46

从表3可以看出,采用复合地基处理时,水泥搅拌桩的单位面积造价最低,高压旋喷桩单位面积造价最高,预应力管桩、CFG桩、素混凝土桩由于桩径小、桩间距较大,单位面积造价居中。

使用表3数据时需注意深度的影响。如软基深度28m,采用水泥搅拌桩悬浮桩处理时,水泥搅拌桩桩长可取15~20m,单位处理面积水泥搅拌桩造价为675~900元;采用0.4m预应力管桩处理时,刚性桩需保证进入持力层不小于2m,单位处理面积管桩造价为1380元。

2.2 运营期维护费用

运营期维护费用主要指由于软基的工后沉降,导致路桥过渡段日常维修的工作量。

从表4可以看出,复合地基、轻质土路堤运营维护费用较少,堆载预压、真空预压工后沉降相对较大,为保证行车安全和舒适,有必要在日常维护时对桥头路段等工后沉降要求高的路段进行调平处理。

表4 常用软基处理方案运营期费用及用地系数

软基处理方式	运营期费用	用地系数
堆载预压	★★★	1.05
真空预压	★★	1.1
反压护道	★★	1.2
轻质土路堤	★	0.8~0.9
复合地基类	★	1.0

注: ★用于描述运营期费用高低。

2.3 对用地的影响

不同的软基处理方案占地不同,如反压护道方案占地最大,真空预压法需增加反压及隔离墙的用地。而轻质土处理时基本为垂直放坡,可以比常规路基更省地,带来一定的经济效益和社会效益。常用软基处理方案的用地系数见表4。

3 环境影响

环境影响包括软基施工期环境影响,运营期环境影响和资源消耗情况。

3.1 周边环境影响因素

软基处理方案的选择需“因地制宜”,充分考虑周边环境,如道路拓宽工程,周边有重要的建(构)筑物时,不宜采用排水固结法处理;当加固深度范围内强透水层中存在流动地下水或承压水时应慎用水泥搅拌桩或高压旋喷桩。周边环境敏感性因素见表5。

表5 软基处理方案敏感性因素

软基处理方法	环境敏感因素
气泡混合轻质土	地下水位高影响抗浮
强夯、强夯置换	周边噪音、振动敏感区
塑料排水板、袋装砂井	旧路拓宽工程或周边有重要建(构筑物)
堆载预压	周边有重要建(构筑物);临河路基慎用
真空预压	周边有重要建(构筑物)
碎石桩/砂桩	周边噪音、振动敏感区
水泥搅拌桩(粉喷)	地下有强透水层或承压水;周边环境要求高
水泥搅拌桩(浆喷)	地下有强透水层或承压水;含水量较大的土层
高压旋喷桩	地下有强透水层或承压水
CFG/素砼桩(振动沉管)	周边噪音、振动敏感区
CFG/素砼桩(长螺旋)	周边噪音
预应力管桩(锤击)	周边噪音、振动敏感区
预应力管桩(静压)	地基承载力较低

3.2 施工期环境影响因素

在地基处理设计和施工中应注意保护环境,处理好地基处理与环境保护的关系。

与地基处理施工有关的环境污染(见表6), 主要有噪声、振动、大气污染、地面沉降、施工场地泥浆及废弃物排放等。

表6 软基处理施工期环境影响因素表

软基处理方法	可能的环境影响				
	噪音	振动	大气污染	泥浆及废弃物	地面沉降与变形
气泡混合轻质土				★	
强夯、强夯置换	★★★★	★★★★			★
塑料排水板、袋装砂井					★★★
堆载预压					★★★
真空预压					★★★
碎石桩/砂桩	★★★				
水泥搅拌桩(粉喷)			★★★		
水泥搅拌桩(浆喷)				★★	
高压旋喷桩				★	
CFG/素砼桩(振动沉管)		★★★			
CFG/素砼桩(长螺旋)				★★	
预应力管桩(锤击)	★★★				
预应力管桩(静压)					★

注: ★表示影响的严重程度, 空白表示影响很小。

3.3 运营期外部环境的相互影响

运营期外部环境的相互影响主要包括两方面: 一是采用的软基处理方案在运营期要对环境影响小, 如浅层换填采用废弃沥青混凝土料时对地下水造成影响; 二是软基处理本身受周边衔接地块软基处理方案影响小, 如道路采用真空预压法处理, 在运营后如周边邻近地块也采用真空预压法处理, 可能造成道路的沉降、开裂, 影响道路的运行安全。

采用的软基处理方式应尽可能不影响后续项目施工, 如地铁施工、周边建筑物基坑施工、锚索施工等。

3.4 资源消耗情况

资源消耗标准是在产品生产过程中各种物资的消耗标准。软基处理主要消耗水、电(或油)以及砂、石、水泥等矿产资源。由于水为可再生资源, 故本次资源消耗评价主要评价不可再生资源(砂、碎石、水泥等)。常用软基处理方案的资源消耗对比见表7。

从表7可以看出, 强夯法消耗资源矿产资源(砂、碎石、水泥)较少, 散体材料桩(砂石桩、碎石桩)和强夯置换法消耗的资源较多。

表7 软基处理方案资源消耗

软基处理方式	资源消耗
强夯法、夯实法	★
堆载预压、真空预压法	★
砂桩、碎石桩	★★★
强夯置换法	★★★
水泥搅拌桩	★★
高压旋喷桩	★★
CFG/素砼桩	★★★
预应力管桩	★★★

注: ★表示消耗不可再生资源程度。

4 层次分析法在道路软基处理方案选型的应用

4.1 层次分析法简介

层次分析法(AHP)是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统, 将目标分解为多个目标或准则, 进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次, 通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序, 以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。层次分析法具有系统性高、简洁实用、所需信息量少等优点。

4.2 建立层次分析模型

确定软基最佳处理方案时, 先进行方案初选, 再根据 AHP 方法进行最优方案确定。在利用 AHP 方法进行最后确定时, 影响软基处理方案的因素很多, 将这些因素根据彼此间的关系进行归类, 可分为技术可行性、经济合理性和环境影响三大类。基于上述因素, 深厚软土路桥过渡段软基处理方案层次分析结构模式见图1。

4.3 选型模型的权重分配

权重的分配可以根据经验选定, 也可以根据统计或专家评分法来确定。本文权重的确定采用经验+专家评分法, 对影响软基处理方案的主因素(技术可行性、经济合理性和环境影响)采用经验分析法; 对子因素采用专家评分法, 根据专家调查意见表, 采用评分方法来确定这些因素的相对重要性权重。

从表8可以看出, 软基处理深度小于15m时, 采用常规的软基处理方式技术上均能实现, 经济评价权重最大。随着软基处理深度的增加, 技术评价权重越来越大, 特别是软基处理深度大于25m时, 采用常规的软基处理方式从技术上较难实现, 故技术评价权重最大。

目标层 A	道路软基处理方案 A														
准则层 B	技术可行性 B1						经济合理性 B2			环境影响 B3					
子准则层 C	C11 岩土层适应性	C12 十字板剪切强度	C13 软土深度	C14 路基稳定性	C15 施工工期要求	C16 地基承载力要求	C17 工后沉降要求	C18 施工质量控制水平	C21 软基处理工程费用	C22 运营维护费用	C23 新增用地费用	C31 周边环境影响因素	C32 施工前环境影响	C33 运营期外部影响	C34 资源消耗情况
方案层 D	方案 D1, 方案 D2, 方案 D3 ……														

图 1 软基处理方案层次分析结构模型

表 8 评价模型权重值 %

软基处理深度	技术可行性	经济合理性	环境影响	总值
$H < 15 \text{ m}$	35	40	25	100
$15 \text{ m} \leq H < 25 \text{ m}$	40	35	25	100
$H > 25 \text{ m}$	45	30	25	100
综合评价	35 ~ 45	40 ~ 30	25	100

综合分析: 技术可行性权重为 35% ~ 45%, 经济合理性权重为 40% ~ 30%, 环境影响权重为 25%。

本次重点研究深厚软土地基($H > 25 \text{ m}$)方案选型, 选择具有代表性的 40 位软基处理专家对软土地基方案选型评价因素权重进行评价, 影响权重咨询结果汇总见表 9。

表 9 权重评分 %

子因素	相对重要程度				
	极其重要	重要	较重要	宜考虑	不考虑
权重分值	9	7	5	3	1

4.4 选型模型的权重的计算与分析

本次选取了具有代表性的 40 位专家及相关技术人员对路桥过渡段软基处理方案选型进行调查, 调查表汇总情况见表 10。

从表 10 可以得出以下信息:

(1) 主因素中“技术可行性”中所有子项均有评价等级为“极其重要”, 最多 29 次(占比 72.5%), 最少 7 次(占比 17.5%); 主因素中“经济合理性”中仅 1 项评价等级为“极其重要”, 共 13 次(占比 32.5%); 主因素中“对环境的影响”中有 3 项评价等级为“极其重要”, 均为 5 次(占比 12.5%); 这也验证了技术合理性权重 > 经济合理性权重 > 环境影响权重。

(2) 技术可行性中, 以“软土深度”权重最为突出, 这也是软基处理方案选型时关键性因素。其次是

“岩土层适应性”和“工后沉降要求”, “施工质量受控程度”权重最小。

(3) 经济合理性中, 以“软土处理工程费用”权重最为突出, 这也是软基处理方案选型需重点考虑的问题, 其次是“运营期维护费用”, “新增用地费用”权重最小。

(4) 环境影响中, 以“施工期间的环境影响”权重最为突出, 其次是“运营期环境影响”和“周边环境影响因素”, “资源消耗情况”权重最小。

表 10 专家咨询意见汇总表

主因素	子因素	评价等级			
		极其重要	重要	较重要	宜考虑 不考虑
技术可行性	岩土层适应性	23	11	6	
	十字板剪切强度	11	25	4	
	软土深度	29	9	2	
	路基稳定性	19	14	7	
	施工工期要求	12	18	8	2
	地基承载力要求	11	20	9	
	工后沉降值要求	21	19		
经济合理性	施工质量受控程度	7	15	16	2
	软基处理工程费用	13	12	11	4
	运营期维护费用		10	17	13
对环境的影响	新增用地费用		2	17	21
	周边环境影响因素	5	6	7	20 2
	施工期间的影	5	11	15	9
	运营期间的影	5	6	7	22
	资源消耗情况		8	29	3

根据权重评分、计算, 各因素权重值计算结果见表 11。

从表 11 可以看出, 软基处理方案选型的主因素中技术可行性权重最大。

表 11 选型模型各因素计算结果

因素	权值	因素	权值
岩土层适应性	6	软基处理工程费用	13
十字板剪切强度	6	运营期维护费用	9
软土深度	6	新增用地费用	8
技术可行性		周边环境影响因素	6
路基稳定性	6	环境	
施工工期要求	5	施工期间的影	8
地基承载力要求	5	响	
工后沉降值要求	6	运营期间的影	7
施工质量受控程度	5	响	
		资源消耗情况	4
		小计	100

为定量评价各方案的优劣, 针对不同的评价等级(很好、较好、一般、较差、很差), 结合各评价指标的权重, 拟定模糊评价指标描述与评分对照表(见表 12)。

表 12 模糊评价指标描述与评分对照表

评价项目	评价	很好	较好	一般	较差	很差
岩土层适应性	等级	很适应	适应	一般	不适应	很不适应
	评分	6	5	3	1	0
十字板剪切强度	等级	很适应	适应	一般	不适应	很不适应
	评分	6	5	3	1	0
软土深度	等级	完全满足	满足	一般	难以满足	完全不能
	评分	6	5	3	1	0
路基稳定性	等级	很好	较好	一般	较差	很差
	评分	6	5	3	1	0
施工工期要求	等级	最短	较短	一般	长	最长
	评分	5	4	3	2	1
地基承载力	等级	最高	高	一般	较低	最低
	评分	5	4	3	2	1
工后沉降值	等级	最小	较小	一般	较大	很大
	评分	6	5	3	1	0
质量受控程度	等级	受控	易控	一般	难控	不受控
	评分	5	4	3	2	1
软基处理工程费用	等级	最低	较低	一般	较高	最高
	评分	13	10	7	4	1
运营期维护费用	等级	最低	较低	一般	较高	最高
	评分	9	7	5	3	1
新增用地费用	等级	用地最小	用地较小	一般	用地较大	用地最大
	评分	8	6	4	2	0
周边环境影响因素	等级	很适应	适应	一般	不适应	很不适应
	评分	6	5	3	1	0
施工期间的影	等级	最小	较小	一般	较大	最大
	评分	8	6	4	2	0
运营期间的影	等级	最小	较小	一般	较大	最大
	评分	7	6	4	2	0
资源消耗情况	等级	最小	较小	一般	较大	最大
	评分	4	3	2	1	0

4.5 工程实例应用——桥头段软基处理方案选型

项目位于广州市南沙区, 规划道路为城市主干路, 设计速度 60 km/h, 红线宽度 45 m, 双向 6 车道。拟建跨涌桥桥面宽度 45 m, 桥台填土高度 3.5 m。

桥头路段地势开阔, 无重要建(构)筑物。工程场区内软土主要为淤泥、淤泥质细砂、淤泥质粉质黏土。从软土的埋深看, 桥台处地层上部软土层底深度在 17.30 ~ 19.90 m, 其下细砂层厚度 3.0 ~ 4.8 m, 细砂层下卧软土层深度 13.0 m, 软土层底埋深大于 33.20 m。

桥梁基础采用钻孔灌注桩, 南侧路基段软基采用水泥搅拌桩复合地基处理, 北侧路基段采用袋装砂井+超载预压法处理。

(1) 软基处理方案的定性选择

从技术可行性分析, 本项目为桥头段软基处理, 软土层深厚, 工后沉降要求高, 故排除排水固结法处理, 宜采用复合地基处理。

结合本项目软土深度大于 30 m 的特点, 可以选用预应力管桩、预应力管桩+水泥搅拌桩处理, 也可以考虑加芯水泥搅拌桩处理。

同时, 考虑到本项目桥头段软土有一细砂夹层, 也可以考虑采用柔性桩复合地基, 桩底设置在细砂层的方案。

(2) 路桥过渡段软基处理方案的比选

根据分析, 提出 4 种软基处理方案: 预应力管桩、管桩+水泥搅拌桩、加芯水泥搅拌桩和水泥搅拌桩。4 种软基处理方案均采用复合地基处理方法, 但其造价和处理深度不同, 采用常规的定性评价难以客观、全面地选择合适的软基处理方案。

参考 4.4 节分析, 对 4 种软基处理方案打分(见表 13)。

从表 13 可以看出, 预应力管桩的扣分项主要是工程费用较高, 扣 6 分, 总分 94 分; 长短桩复合地基的扣分项主要为施工工期要求扣 1 分、施工质量受控程度扣 1 分、工程费用扣 3 分, 共扣 5 分, 总分 95 分; 加芯水泥搅拌桩的扣分项主要为岩土层情况扣 1 分、软基处理深度扣 1 分、路基稳定性扣 1 分、施工工期要求扣 1 分、施工质量受控程度扣 1 分、工程费用扣 3 分, 共扣 8 分, 总分 92 分; 水泥搅拌桩的扣分项主要为岩土层情况扣 1 分、软基处理深度扣 5 分、路基稳定性扣 1 分、地基承载力扣 2 分、工后沉降值扣 5 分、施工工期要求扣 1 分、施工质量受控程度扣 1 分、运营期维护费用扣 2 分, 共扣 18 分, 总分 82 分。

从评分情况看, 水泥搅拌桩复合地基处理得分最低, 不适合作为推荐方案, 扣分的主要因素为软基处理深度不满足要求、工后沉降值大; 得分较高的是长短桩复合地基和预应力管桩, 其技术可行性较好、环境影响小。得分最高的长短桩复合地基可作为本

表 13 软基处理方案评分表

因素	权值	预应力管桩	长短桩复合地基	加芯搅拌桩	水泥搅拌桩
岩土层适应性	6	6	6	5	5
十字板剪切强度	6	6	6	6	6
软土深度	6	6	6	5	1
路基稳定性(填土高度)	6	6	6	5	5
施工工期要求	5	5	4	4	4
地基承载力要求	5	5	5	5	3
工后沉降值要求	6	6	6	6	1
施工质量受控程度	5	5	4	4	4
软基处理工程费用	13	7	10	10	13
运营期维护费用	9	9	9	9	7
新增用地费用	8	8	8	8	8
周边环境影响因素	6	6	6	6	6
施工期间的影	8	8	8	8	8
运营期间的影	7	7	7	7	7
资源消耗情况	4	4	4	4	4
小计	100	94	95	92	82

项目推荐方案。

5 结论

(1)软基处理方案选型宜先结合技术可行性、经济合理性和环境影响进行定性比选,提出有价值的比选方案。

(2)通过引入层次分析法、专家决策系统和模糊理论,从技术可行性、经济合理性和环境影响三方面对影响深厚软土区软基处理方案选择的各因素详细分析,并对各影响因素进行评价,可将复杂的非定量因素问题简单化,为软基处理方案定量选型提供依据。

参 考 文 献

- [1] 郑刚,龚晓南,谢永利,等.地基处理技术发展综述[J].土木工程学报,2012,45(2):128-146.
- [2] 何长明,彭功勋.深厚软土区路桥过渡段差异沉降控制[J].岩土工程技术,2021,35(5):294-298.
- [3] 王岭.珠江三角洲地区大面积软土地基处理方法的研究[D].广州:广东工业大学,2005
- [4] 程贤志,张广明.不同加固方案在软土路基处治中的应用效果比较[J].公路,2007,(7):113-115.
- [5] 李国维,鄂海清,赵贞恺.佛开高速公路软基路堤拓宽处理及拼接现场试验[J].公路,2012,(2):15-21.
- [6] 苏谦,赵文辉,王亚威,等.高速公路深厚软基路桥过渡段处理方案技术经济比较[J].公路,2016,61(1):52-56.
- [7] 刘刚,张军.浏醴高速公路软土地基处治技术研究[J].公路工程,2011,36(4):32-36.
- [8] 刘益良,付旭,刘晓立,等.基于模糊数学和灰色理论的软基处理方案评价效果对比研究[J].施工技术,2018,47(17):95-99.
- [9] LIU Y L, FU X, LIU X L, et al. An evaluation model of soft foundation treatment based on the analytic hierarchy process and gray theory[C]// Proceedings of The International Conference on Materials Science, Energy Technology and Environmental Engineering (MSETEE2016), 2016.
- [10] 朱维伦,常爱新,李坤.基于层次分析法的宜宾过境高速公路软基处理方案比选[J].交通标准化,2014,42(23):197-200.
- [11] 田园园.安九公路软土地基处理方案选择及变形研究[D].合肥:安徽建筑大学,2020.

收稿日期:2022-07-16