

曲线上 100 m 简支桁架桥梁设计研究

吴孙尧

(上海同豪土木工程咨询有限公司, 上海市 200092)

摘要:以一座位于缓和曲线上的主孔 100 m 的简支钢桁架桥为例, 分析了曲线上做桁架桥时的主要设计要点, 具体阐述了曲桥直做时的构造处理方法, 分析了简支桁架桥梁的纵向变形特征, 提出了两种释放纵横梁轴向约束的具体设计方案, 通过有限元分析了此类桥梁的主要静动力响应, 可为同类桥梁工程的设计提供借鉴。

关键词:曲线; 简支; 桁架桥; 曲桥直做; 顶推施工

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0083-05

0 引言

随着钢结构桥梁建设的不断发展, 钢桁架桥以其承载力大、跨越能力强、造型美观等优势, 逐渐成为钢结构桥梁的重要推广桥型^[1], 尤其在结构跨径 80~150 m 且桥面建筑高度受限时, 下承式简支钢桁架桥在功能、经济、美观等方面均较突出, 因此往往成为结构跨越方案的首选。

本文以一座位于缓和曲线上的主孔 100 m 的简支钢桁架桥为例, 探讨了其设计要点, 为类似工程设计提供借鉴。

1 桥梁总体布置

某匝道桥位于缓和曲线上, 为跨越现役都香高速主线而设, 匝道全宽 12.25 m。桥梁与都香高速线路呈斜交 40°, 现役高速公路不允许长时间封闭交通, 因此没有落墩条件, 需 100 m 左右一孔跨越, 且桥梁纵断面净空非常紧张。根据以上限制条件, 采用总体方案为下承式简支钢桁架。为尽可能地减少封闭交通的时间, 工法采用步履式顶推施工。总体布置情况见图 1~图 3, 钢桁架自重 11 275 t, 钢材采用 Q355D。

桥梁全长 100 m, 桥宽 12.25 m, 单幅布置。主桁采用带竖杆的等高度三角形桁式, 桁高 12 m, 高跨比为 1/8.33。主桁中心距为 16.2 m, 纵向共 12 个节间, 标准节间长度 8 m。

主桁弦杆、桥门架采用箱形截面, 腹杆、上平联、

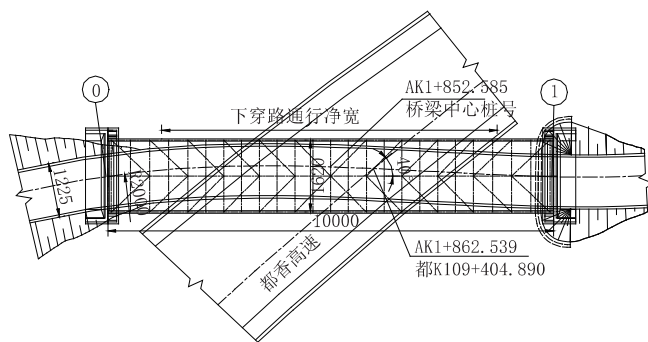


图1 桁架桥平面布置(单位:cm)

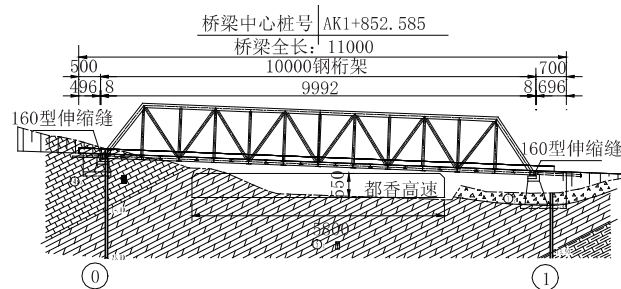


图2 桁架桥立面布置(单位:cm)

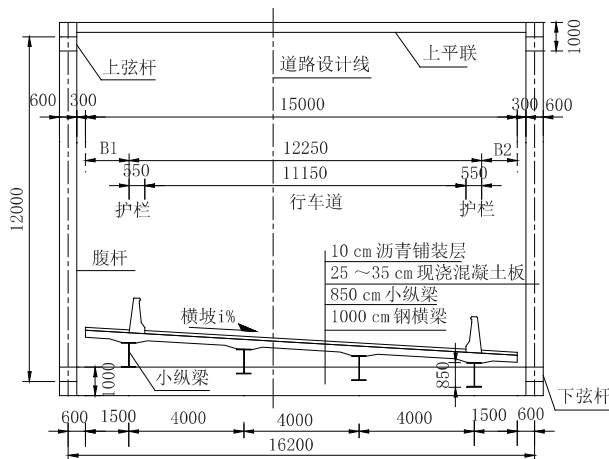


图3 桁架桥断面布置(单位:mm)

横梁均采用 H 型断面。桥门架采用单梁式框架结构。杆件主要截面尺寸见表 1。

收稿日期: 2020-12-21

作者简介: 吴孙尧(1983—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

表1 桁架杆件尺寸表

单位:mm

杆件	截面形状	b	h	侧/腹板厚	顶/底板厚
上弦杆	矩形	600	1 000	42/48/52	38/48/52
下弦杆	矩形	600	1 000	32/42/48	32/42/48
斜腹杆	矩形	600	500	28/24	32/28
直腹杆	工字型	600	500	20	28
横梁	工字型	900	950	32	48/52
纵梁	工字型	600	800	16	24

桥面系采用纵横梁体系,不设下平联。桥面采用现浇混凝土板,板厚为25 cm,支点加腋至35 cm。桥面铺装采用10 cm 沥青铺装。

钢桁架总体施工方案为工厂焊接、现场以栓接为主。主桁采用整体式节点,其杆件均采用现场栓接;横梁与主桁连接、纵梁与横梁连接均采用现场栓接;平联采用现场焊接。

2 设计要点

2.1 平曲线与超高的处理方式

本桥平曲线位于缓和曲线上,靠近0号台附近曲线半径仅220 m,桁架平面线型设计有两种方案。方案一为曲桥直做,方案二为直接做一个曲线桁架桥。考虑到桁架结构上下弦杆以轴向变形为主,且抗扭能力较差,本桥曲线半径过小,单孔跨径也较大,综合考虑后采用方案一,即以直代曲做法。

为包络匝道桥外轮廓线,确定最经济的桁架宽度,桁架中心距由此确定为16.2 m,混凝土板宽15 m,弦杆宽度60 cm,预留操作空间30 cm(见图4)。

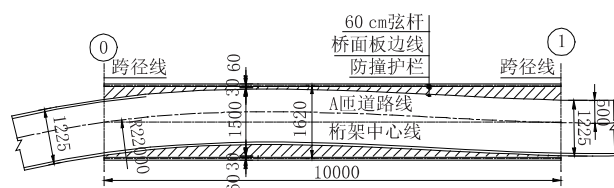
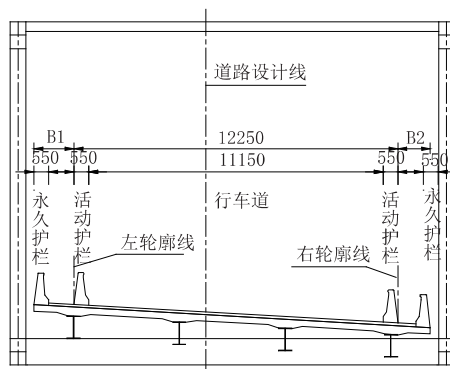


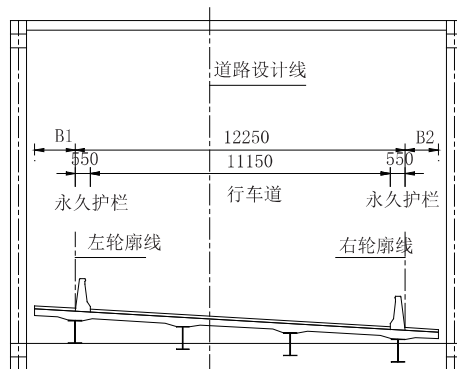
图4 桁架以直代曲做法平面示意图(单位:cm)

防撞护栏有两种布置方式(见图5)。方案一是同桁架平行做成直线,并沿着匝道路线轮廓线设置水马等活动护栏。这种设置在匝道上具备可行性,因为匝道的路线设计车速仅40 km/h。其优点是结构施工简单,受力也比较明确,构造之间的关系简洁。其缺点是桥头处的永久护栏与道路护栏衔接不顺畅,存在车辆正面撞击护栏的风险。

方案二是直接沿着匝道轮廓线设置永久防撞护栏。其优点是防撞设施与路线一致,缺点是桥面系结构较复杂,施工放样难度相对较大,且阴影区域铺装处理、排水均较麻烦。



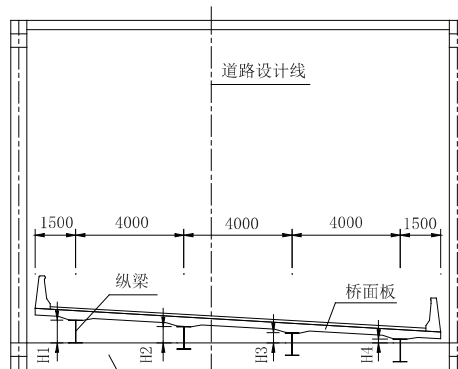
(a)方案一



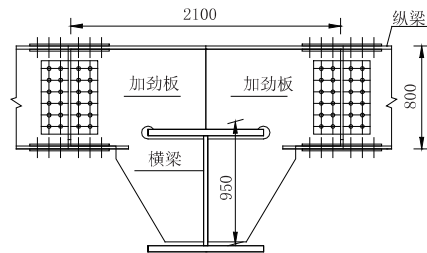
(b)方案二

图5 防撞护栏设计方案(单位:cm)

本匝道桥位于超高渐变段上,纵断面位于3.95%的直线段上。为了便于桁架加工和现场顶推施工,考虑将主桁架平做(不设纵坡和横坡),超高渐变通过纵梁与横梁连接的高度变化实现(见图6)。



(a)断面布置



(b)纵横梁连接节点构造

图6 超高渐变的构造处理方案(单位:cm)

2.2 纵向受力体系的处理方法

为了明确结构以主桁作为受力结构,以纵横梁

体系仅作为传力结构, 应尽可能避免或减少纵横梁体系参与整体受力。

由于主桁在竖向荷载作用下, 下弦杆受拉后轴向伸长, 横梁在纵桥向的变形将受到纵梁的约束, 因此纵梁会参与受拉, 而横梁将产生较大的面外弯曲变形, 对横梁的受力不利, 结构整体受力和传力路径复杂, 降低了结构的整体可靠度。为了尽可能改善这种情况, 需要释放纵梁的轴向约束。

释放纵梁轴向约束的方式有两种。第一种方法是先释放后固定。该方法采用焊接连接实现较困难, 因此考虑采用栓接。纵梁与横梁栓接时, 一侧直接拧紧, 另一侧开长孔先不终拧, 在桁架钢结构架设完成、桥面混凝土板施工完成后, 将长孔一侧螺栓终拧, 最终成为横梁和纵梁固结体系。该方案仅少量的二期和活载作用下, 纵横梁参与桥轴向的受力(见图 7)。其缺点是顶推完成之后需要局部临时封道做终拧的工序。

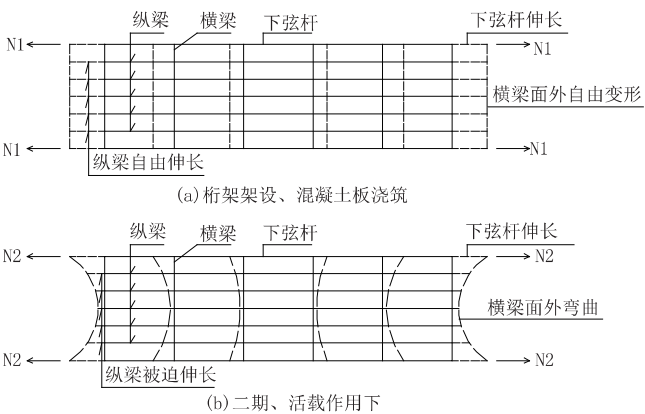


图 7 桁架纵向两阶段变形协调特性

第二种方法是轴向体系一次成型, 桥中设断缝。纵梁直接与横梁焊接, 但在桥跨中央将纵梁与横梁释放梁端轴向约束(可通过栓接实现), 混凝土板直接做断缝, 并设置桥面伸缩缝。

由图 8、图 9 可见, 设缝后弦杆和纵梁的受力分配发生变化, 横梁面外弯矩总体上均明显改善, 结构受力更加明确。

2.3 伸缩缝型号选择

与普通梁式桥不同的是, 桁架桥下弦杆以轴拉为主。在自重和活载等竖向力作用下, 下弦杆本身会有较大的轴向伸长, 因此伸缩缝设置时, 除了考虑常规的温度力、制动力、风等水平荷载外, 还要额外考虑下弦杆在竖向力作用下的变形。此外, 简支桁架桥往往一端设固定支座, 另一端为活动支座, 因此活动端的变形将控制伸缩缝的选型。

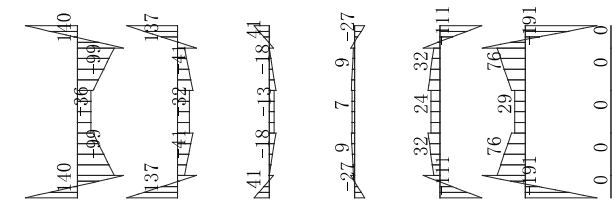
	148	136	133	135	145	164
3	45	72	79	73	50	0
2	-5	-3	-1	-2	-3	0
1	-5	-3	-1	-2	-3	0
0	45	72	79	73	50	0
-1	148	136	133	135	145	164

(a) 桥中设缝(左 1/2 平面)

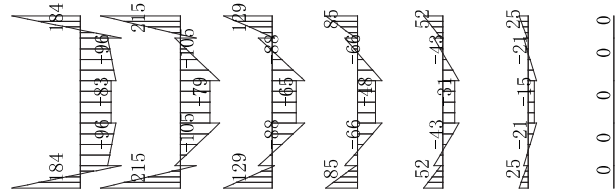
	146	130	121	116	113	112
5	43	73	84	89	90	91
4	2	12	22	30	35	38
3	2	12	22	30	35	38
2	43	73	84	89	90	91
1	146	130	121	116	113	112

(b) 桥中不设缝(左 1/2 平面)

图 8 弦杆和纵梁轴向应力比较



(a) 桥中设缝(左 1/2 平面)



(b) 桥中不设缝(左 1/2 平面)

图 9 横梁面外弯曲应力比较

本桥桁架的伸缩缝开口量、闭口量见表 2。

表 2 桁架活动端水平位移值			单位: mm
荷载或作用	作用方向	水平位移 / mm	类型
结构一期自重	竖向	30.1	闭口量
铺装和护栏	竖向	6.2	闭口量
整体降温	水平	-27.1	闭口量
整体升温	水平	29.5	闭口量
活载	竖向	5.5	闭口量
制动力	水平	-0.5	开口量

由表 2 可知, 总闭口量为 71.3 mm, 开口量为 27.6, 开闭口共计 98.9 mm。按照规范^[2]考虑 $\beta=1.3$ 的安全系数后, $C=98.9 \times 1.3=128.6$ mm。由此本桥考虑梁端设结构缝 80mm, 伸缩缝型号选择 D160 型。另外, 更需要注意的是, 竖向荷载对闭口值的贡献占 60%, 对开闭口总量贡献占 40%以上。因此, 伸缩缝选型和梁端结构留缝时, 要充分考虑竖向荷载的影响。

2.4 栓接节点设计要点

总体方案采用工厂焊接, 现场栓接。拼接运输节

段按 8~14 m 一段控制(见图 10)。

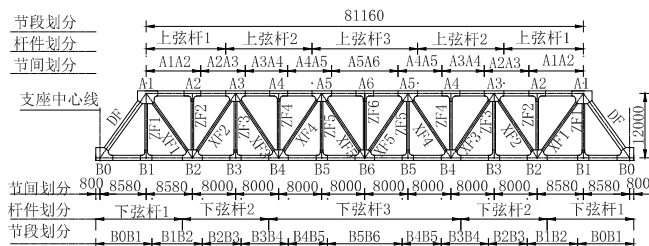


图 10 桁架节段总体划分示意图(单位:mm)

主桁节点均采用整体式节点板, 节点板厚度同弦杆腹板厚, 节点板高度由其法向应力和拼接杆件的构造要求控制。主桁架采用板件等强连接原则确定螺栓数量, 并按规范对拼板和螺栓考虑 10% 的富裕^[3-4](见图 11)。

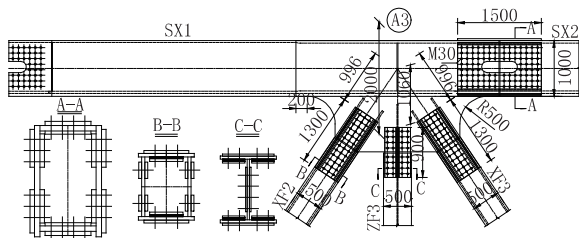


图 11 上弦杆节点示意图(单位:mm)

本桥主桁架总重量为 750 t, 钢结构总量 1 275 t, 节点重量约 225 t, 约占主桁架重量 30%。因此, 结构分析时, 应充分估算栓接节点重量对结构受力的影响。

2.5 施工方案

本桥跨越现役都香高速公路主线,下穿路没有临时支撑条件,考虑采用步履式顶推施工。从两侧桥头情况来看,1号台侧更适合作为顶推场地,因此考虑从1号台侧往0号台侧方向顶推,顶推重量为1355 t(钢桁架重1275 t,钢导梁重80 t),顶推力约256.8 t。

$$H = K G_{\mu} + G i^{[1]}$$

式中: K 为安全系数, 取 1.5; G 为顶推总重; μ 为摩擦系数, 取 0.1; i 为顶推滑道坡度。

$$H=1.5 \times 1355 \times 0.1+1355 \times 0.0395=256.8 \text{ t.}$$

顶推施工主要工序分为四步,见图 12。

3 结构有限元分析

采用 Midas Civil 2020 建立有限元模型,采用桥博 V4.3 校核。有限元模型见图 13。桁架杆件均采用梁单元模拟,上下弦杆、端斜杆采用刚接模拟,余杆件采用铰接模拟,释放杆件梁端的弯曲自由度;横梁和主桁采用铰接连接。

考虑的荷载主要有结构恒载、二期、整体升降温、风荷载、汽车活载等。

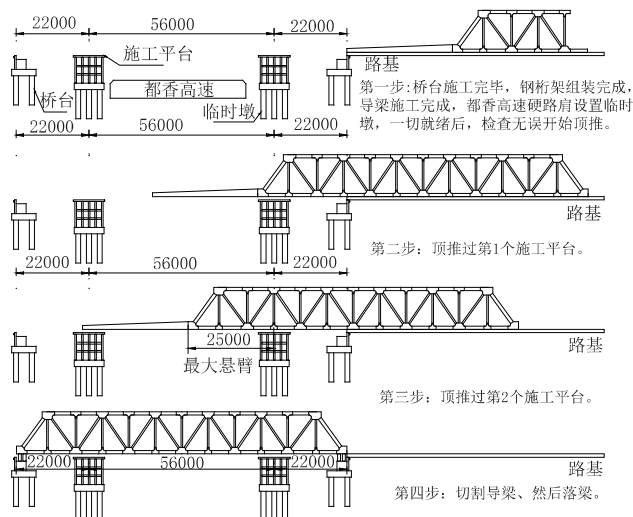


图 12 顶推施工工序图(单位:cm)

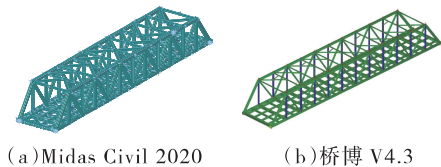


图 13 桁架结构有限元模型

静力作用下,主桁杆件的主要效应见表 3。

表 3 主桁杆件的主要效应

效应类型	计算工况	桥博 V4.3	Midas Civil 2020
支座恒载支反力 /kN	恒载	7 193	7 194
支座活载支反力 /kN	活载	1 840	1 822
支座标准组合反力 /kN	标准组合	9 034	9 032
上弦杆 - 轴力 /kN	基本组合	23 925	23 964
下弦杆 - 轴力 /kN	基本组合	20 803	20 876
腹杆 - 轴力 /kN	基本组合	13 735	13 717
上弦杆 - 轴力 /kN	自重	14 334	14 352
下弦杆 - 轴力 /kN	自重	13 164	13 190
上弦杆最大压应力 /MPa	基本组合	220	222
下弦杆最大拉应力 /MPa	基本组合	223	226
跨中挠度 /mm	活载	25.8	26.1

结构的动力特性见图 14,一阶侧弯基频为 0.73 Hz,一阶竖弯基频为 1.6 Hz。

表 3 中应力已考虑压杆局部稳定和整体稳定折减。由表 3 可见,通过截面设计,桁架的整体应力水平基本控制在 220 MPa 左右。拉杆扣除螺栓孔后,其净截面应力水平也在安全范围内。从挠度来看, $26.1 \text{ mm} < L/600^{[2]} = 166.7 \text{ mm}$,桁架结构竖向刚度一般不控制设计。

4 结 语

经过以上分析,可以得出以下结论:

(1)桁架桥总体布置时,应着重考虑桥梁的施工

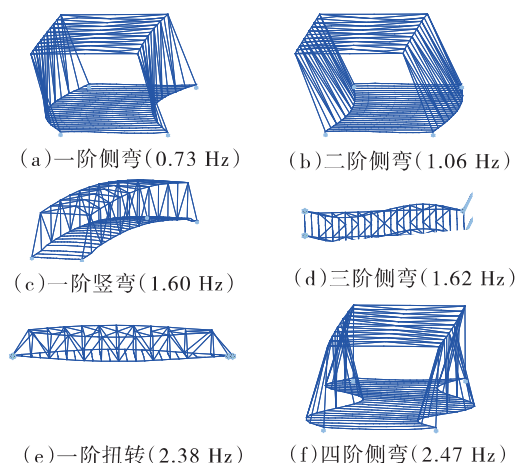


图 14 结构动力特性

方式。在平曲线半径小于 300 m 的曲线上做桁架桥,宜通过曲桥直做实现,桥面超高可由桥面系来调整,桁架宜做成平坡结构。

(2)桁架设计时,应尽可能避免桥面纵横梁参与同主桁共同承受轴向力,宜通过构造措施降低其影

响。

(3)简支桁架桥在伸缩缝设计时,竖向荷载对结构闭口量的影响是不可忽略的,将直接影响结构伸缩缝选型和结构缝的设定。

(4)桁架结构采用栓接时,拼接处节点重量是不可忽略的因素,可占主桁架的 25%~30%。对于公路桥,疲劳并不控制结构设计,因此采用焊接方式,经济性更加突出。

(5)本研究可为其他同类型桁架桥工程设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 陈志明,王贤强,张建东,等.大跨径简支钢桁架桥顶推架设施工技术[J].施工技术,2018(47):643-646.
- [2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] 赵延衡.桥梁钢结构细节设计[M].西安:西安交通大学出版社,2011.
- [4] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

(上接第 69 页)

4.2 堆载预压法

堆载预压法的基本原理为地基在预压荷载作用下排水固结,地基产生变形,地基强度从而得以提高,卸去预压荷载后再建造建(构)筑物,不仅地基承载力能够提高,而且可以有效控制工后沉降。堆载预压法对各类软弱地基均有效,但对于泥炭等有机沉积地基则不适用,且工期较紧张的项目不适宜使用。

根据该案例的详细勘察报告及现场调查,场地下伏 2 层软弱土层,采用堆载预压合适。但由于道路施工工期紧,无法提供足够的预压时间,因此无条件采用堆载预压法。

5 总 结

结合福建某滨海新区拟建高等级市政道路的具体案例,本文对滨海地区城市道路的地基处理方案

进行的详细的分析和探讨,从实际地质勘探成果出发,结合案例中拟建道路的具体情况给出了针对软基和液化地基的详细处理方式,并提供具体计算参数和假设,通过计算复核处理方式的可行性。

滨海地区城市道路地基处理是市政基础设施建设的先行保障,有针对性的探讨和研究,保证滨海地区城市道路地基的高品质建设,是沿海城市新区发展的重要举措。

参考文献:

- [1] 侯潇.城市道路软基处理及混凝土路面施工技术探讨[J].智能城市,2020(5):167-168.
- [2] 卢志伟.福建某江滨路软基处置方案探讨[J].福建交通科技,2020(2):23-27.
- [3] 林文忠.市政道路软基处理方案分析[J].江西建材,2020(3):111-112.