

基于软土地基的预制箱梁制梁台座设计

姚洪波, 安欣然, 刘 嘉

(商丘师范学院, 河南省商丘市 476000)

【摘要】结合某铁路特大桥引桥箱梁制梁工程实例,介绍了在软土地区制梁台座的设计方案和基础处理方法。该设计和计算流程简单,用最简易快捷的施工方案就满足了对箱梁制作的需要,为箱梁施工质量提供了保障,可为同类软土地上预制梁时提供参考和借鉴。

【关键词】预制箱梁;软土地基;制梁台座

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2021.01.031】

【中图分类号】U445.47

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2021)01-0107-05

Design of Beam-Making Pedestal for Precast Box Beam Based on Soft Soil Foundation

YAO Hong-bo, AN Xin-ran, LIU Jia

(Shangqiu Normal University, Shangqiu, Henan, China 476000)

Abstract: Combining an example of a box beam making project for an approach bridge of a railway large bridge, the design scheme and foundation treatment method of girder base in soft soil area are introduced. The design and calculation process are simple, and the simplest and quickest construction plan can meet the needs of box girder making, and provide a guarantee for the quality of box girder construction. It can be used for reference when prefabricating beams on similar soft soil foundations.

Keywords: precast box beam; soft soil foundation; beam-making pedestal

装配式箱梁有优良的力学特性,具有较大的刚度和强大的抗扭性能,整体性好,预制简单方便,施工速度快,截面不是很宽,非常适合铁路桥。近年来,大型铁路桥梁尤其是高速铁路桥梁采用预应力装配式箱梁的数量迅速增加,应用广泛。大型的预制箱梁重量大而且质量标准高,在生产过程时对制梁台座的稳定性和重复利用率要求高。特别是在软土地区,地基的加固处理方案重要性凸显,处理措施得当可大幅提高地基的强度和弹性模量,保证地基稳定,降低软弱地基的压缩性^[1]。

1 工程概况

1.1 工程简介

某铁路特大桥桥位位于黄河三角洲冲积平原,该桥滩地铁路引桥采用 40 m 预应力混凝土简支箱梁,全桥只有 22 片箱梁。全桥箱梁均位于直线上,梁设计长度 40.6 m,梁顶宽 3.9 m,箱梁高 2.8 m,距跨中腹板

最薄处为 0.18 m,距支点 0.3 m 处腹板变厚为 0.44 m。该箱梁在每支点处各设一道隔板,隔板厚度为 0.6 m。单片梁混凝土方量为 102.7 m³,吊装重量 270 t。箱梁的结构如图 1 与图 2 所示(图中长度单位均为毫米)。

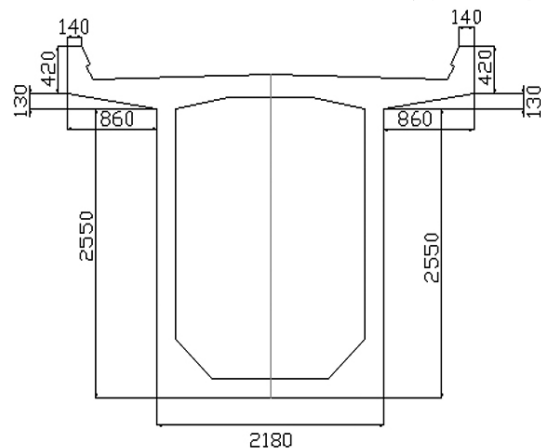


图 1 箱梁跨中结构横截面图

【收稿日期】2021-01-15

【作者简介】姚洪波(1979-),男,湖南益阳人,商丘师范学院讲师,工程师,硕士,研究方向:土木工程、工程测量。

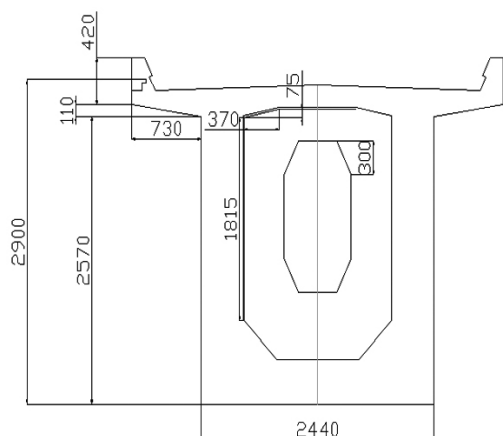


图2 箱梁端部结构横截面图

箱梁混凝土标号为C60,挡碴墙混凝土采用强度等级为C60。为确保高强混凝土施工质量,混凝土采用自建混凝土搅拌站生产,混凝土罐车运输至箱梁预制场,再使用泵送浇筑。

1.2 工程地质条件

该桥位处地势平坦,桥址范围内地表以下0~3 m以第四系河流的粉土、粉质粘土和粉砂为主,粉土地基承载力特征值 $f_{ak}=100$ kPa,粉质粘土 $f_{ak}=140$ kPa。为了保证安全性,计算时取垫层下为粉土层。地下水位深度在地面以下3 m~4 m,台座基础和垫层都位于无水地层中,故不需要考虑地下水对地基承载力的影响。

总体上来讲,桥址处的土层地基承载力差,不利于施工大吨位箱梁。因施工场地限制,而且预制梁片数只有22片,为节约施工成本、加快施工进度,要将制梁场地设置在软土地基上。预制梁施工作业得以顺利推进的前提在于选择合适的预制梁场地,具体应兼顾现场地形、成本、进度等多方面情况,要求所选场地可满足预制梁大批量存放的要求,以提高预制梁的运输效率^[2]。在最优的梁场平面布置形式下,并保证梁场安全适用、经济合理,选择恰当的地基处理

措施以满足承载力和沉降控制的要求则成为本工程的重点及难点^[3]。

2 台座支点位置的施工方案

施工前对梁场区域进行清表、砍树挖根、平整场地,局部较软部位进行级配碎石换填处理^[4]。本工程40 m铁路预应力箱梁自重270 t,重力荷载较大,根据《铁路桥涵施工规范》及设计文件要求,结合实际施工的需要,该桥制梁台座由台座基础以及台座基础上的台座组成。箱梁张拉完成后,箱梁形成简支梁的受力模式,支点分布在梁端的台座端部,所以台座支点位置受到的荷载最大,这一位置的结构是台座设计和施工的重点。为了防止台座的梁端支点位置在箱梁的施工过程当中开裂或倾覆,需采取一些技术措施减小基底压应力值和绕支点旋转的弯距值,具体方法如下:

1)台座施工前对支点位置的地基土进行换填处理,换填层结构为:50 cm水泥稳定土垫层加70 cm碎石垫层。换填承载力高的垫层能有效修正台座底部持力层的地基承载力。具体见图3与图4箱梁台座设计图(图中未注明的长度单位均为毫米)。

2)台座支点位置施工柔性扩大基础,钢筋混凝土柔性基础宽度和长度不受基础刚性角的约束,可以在合理配筋的条件下按施工需要扩大基础的底面结构尺寸,有效地增大基础底面积,达到减少基底应力的目的。

3)扩大基础呈阶梯状,基础第二级向台座中心点延伸2 m,并与混凝土台面联结,联结面埋设接茬钢筋。这种施工方法可以使扩大基础与台座中部台面形成整体,有利于台座端部扩大基础和中部台面共同受力,形成和绕支点旋转弯距反向的力矩,有效防止扩大基础的倾覆。

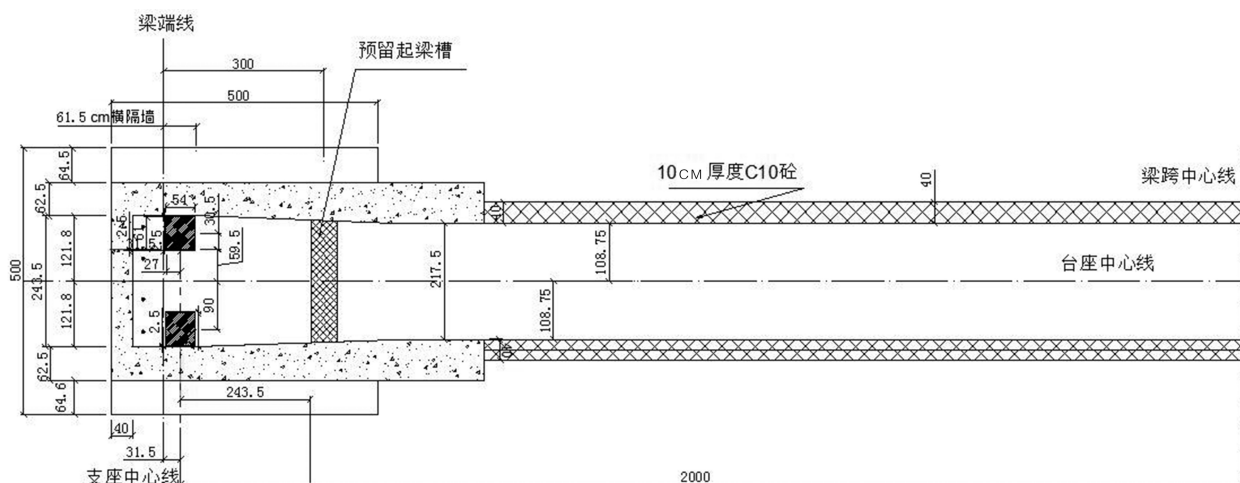


图3 箱梁台座平面设计图

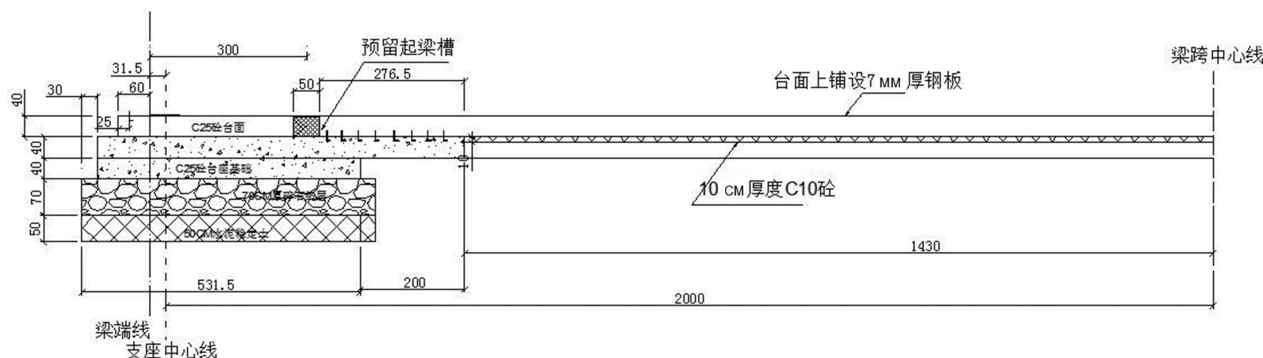


图4 箱梁台座侧面设计图

3 箱梁台座设计计算过程

箱梁施工台座的受力主要有两种情况:一是浇筑箱梁混凝土完成,荷载主要包括箱梁混凝土、模板以及人和机具等的重力(因为荷载较小,可忽略不计),此时荷载可认为是均布在台座上;二是从张拉开始到移梁的时候,荷载逐步向台座的两端集中。很明显,第一种受力情况下台座均匀承载箱梁和模板的重量,基本都能满足,只有第二种情况是最不利情况。针对实际施工对工期和质量的要求,设计最简易快速的施工方案,台座端部使用最简单的扩大基础形式。取台座两端基底处的荷载进行分析和验算,台座设计重点是台座端部扩大基础。

3.1 模型分析

张拉完成后,台座两端的受力形式类似于独柱扩大基础,梁的重力荷载类似于独柱荷载。验算时主要制梁台座扩大基础地基承载力,验算时取最不利工况,其余工况不再做详细计算^[9]。如果一般的扩大基础经过验算后不满足承载力要求,再考虑在扩大基础底下增加桩基础等加固。

3.2 受力分析

F_k ——台面自重引起的重力荷载(只计算基础上的台座重力,尺寸先按箱梁结构和经验取长4.8*宽2.44*厚0.4 m设计);

Q_k ——基础自重引起的重力荷载(尺寸先按4.8*4.5*0.6 m设计);

F_k ——箱梁自重引起的重力荷载(箱梁与模板自重合约280 t,两端基础按最不利条件时,可视为每个基础分配为一半箱梁自重荷载, $G=mg=2800$ kN);

M_k —— F_k 在偏心作用下引起的弯矩(偏心距离0.9 m)。

当梁张拉完成后两端部台座扩大基础受到偏心力 F_k ,垂直于(近似垂直于)基础底部形心的 G_k 和由于偏心力引起的弯矩 M_k 以及基础自重 Q_k 共同作用。由于这些外力的作用,基底产生反力 P_k ,台座扩大基础是偏心受力结构,基底反力不均匀,基底边缘出现最大基底反力 P_{kmax} 和最小基底反力 P_{kmin} 。其中1立方

砼重力荷载取为23 kN。

$$F_k = G/2 = 2800 \div 2 = 1400 \text{ kN}$$

$$M_k = F_k e = 1400 \times 0.9 = 1260 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$G_k = mg = 4.8 \times 0.4 \times 2.44 \times 23 = 107.7 \text{ kN}$$

$$Q_k = mg = 4.5 \times 4.8 \times 0.6 \times 23 = 298 \text{ kN}$$

3.3 初步选择基础底面尺寸

γ_c ——基底以上土与基础的平均重力密度, $\gamma_c = 20 \text{ kN/m}^3$; d ——基础埋深;

基础底面积应满足 $A_0 \geq \sum FK / (f_a - \gamma_c \times d)$ 。

假定基础埋深 $d = 0.7 \text{ m}$,基础宽度 $b = 4.5 \text{ m}$,先考虑无碎石垫层方案进行检算。

桥址范围内地表以下0~3 m常为粉土或粉质粘土,粉土地基承载力特征值 $f_{ak} = 100 \text{ kPa}$,粉质黏土地基承载力特征值 $f_{ak} = 140 \text{ kPa}$ 。取台座底部持力层最不利条件为粉土层,则取 $f_{ak} = 100 \text{ kPa}$ 。粉土层的承载力修正值 $\eta_b = 0.3$, $\eta_d = 1.5$ 。基础范围内只有一种土层,则基础底面以上土的加权平均重力密度 $\gamma_m = \gamma_{粉} = 19.9 \text{ kN/m}^3$ (查阅设计地质资料得 $\gamma_{粉} = 19.9 \text{ kN/m}^3$)。修正后的粉土层承载力特征值:

$$\begin{aligned} f_a &= f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) + \eta_b \gamma (b - 3) \\ &= 100 + 0.3 \times 19.9 \times (4.5 - 3) + 1.5 \times 19.9 (0.7 - 0.5) \\ &= 114.9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\text{由此 } A_0 \geq (1400 + 107.7 + 298) / (114.9 - 20 \times 0.7) = 17.9 \text{ m}^2。$$

由于荷载偏心,设基础面积增大20%, $A = 1.2 A_0 = 21.5 \text{ m}^2$ 。

设计基础长度和宽度比 $l/b \leq 1.2 \sim 2$,取 $l = 4.8 \text{ m}$;
 $l/b = 1.07 \leq 1.2$,满足要求。 $l \times b = 4.5 \times 4.8 = 21.6 > 21.5 \text{ m}^2$ 。

3.4 验算基底最大压应力

作用在扩大基础上相对于基底形心的力矩标准值: $\sum M_k = 1260 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

$$\text{合力偏心距: } e' = \sum M_k / \sum (F_k + G_k + Q_k)。$$

基础埋深70 cm,回填土自重按每立方20 kN计算,则:

$$Q_{kt} = 4.5 \times 4.8 \times 0.7 \times 20 = 302.4 \text{ kN}$$

$$e' = 1260 / (1400 + 107.7 + 298) = 0.7 \text{ m} < l/6 = 4.8/6 = 0.8 \text{ m}$$

基底边缘最大压力标准值:

$$P_{Kmax} = [(F_k + G_k + Q_k) / A] \times [1 + (6/l) \times e] \\ = 83.5(1 + 6 \times 0.7/4.8) \\ = 156.6 \text{ kPa} > 1.2 \times f_t = 137.8 \text{ kPa}$$

$$P_{Kmin} = [(F_k + G_k + Q_k) / A] \times [1 - (6/l) \times e] \\ = 83.5(1 - 6 \times 0.7/4.8) = 10.4 \text{ kPa}$$

承载力不满足施工要求,解决方法是铺设碎石垫层。

3.5 碎石垫层检算

假设填铺 70 cm 厚碎石垫层 $Z=0.7 \text{ m}$, $d=0.7 \text{ m}$ 。

$Z+d=1.4 \text{ m}$ 。 $\gamma_m=19.9 \text{ kPa}$, $\eta_b=0.3$, $\eta_d=1.5$ 。

碎石垫层底部处经过修正后的粉土层地基承载力特征值:

$$f_{az} = f_{akz} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d+Z-0.5) \\ = 100 + 0.3 \times 19.9 \times (4.5-3) + 1.5 \times 19.9 \times (1.4-0.5) \\ = 100 + 8.9 + 26.9 = 135.8 \text{ kPa}$$

垫层底部处土的自重应力:

$$p_{cz} = 19.9 \times 1.4 = 27.86 \text{ kPa}$$

基底平均压应力 $p_k = p_{kmax} + P_{Kmin} = 83.5 \text{ kPa}$

基础底面处土的自重应力 $p_c = 19.9 \times 0.7 = 13.9 \text{ kPa}$

$z/b=0.7/4.5=0.15 < 0.25$ 取 $\theta=20^\circ$, 垫层底部处土的附加应力。

$$P_z = l \times b(p_k - p_c) / [(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)] \\ = 4.8 \times 4.5 \times (83.5 - 13.9) / [(4.5 + 2 \times 0.7 \times \tan 20^\circ) \\ (4.8 + 2 \times 0.7 \times \tan 20^\circ)] \\ = 56.5 \text{ kPa}$$

因 $p_z + p_{cz} = 56.5 + 27.86 = 84.4 \text{ kPa} < 1.2 f_{az}$

$$= 1.2 \times 135.8 = 162.9 \text{ kPa}$$

故碎石垫层的厚度足够。

碎石垫层的宽度计算:

$$B \geq b + 2z \tan \theta = 4.5 + 2 \times 0.7 \times \tan 20^\circ = 5.0 \text{ m}$$

取 $B=5.0 \text{ m}$, 碎石垫层顶部处基础任意一侧边宽 B' , $B' = (B-b)/2 = 5 - 4.5/2 = 0.25 \text{ m}$ 。

规定 B' 宜大于 0.3 m , 取 $B'=0.35 \text{ m}$, 则最终实际施工取 $B=5.2 \text{ m}$, 符合要求。

实际施工时,为确保承载能力和抗倾覆,换填层结构为:50 cm 水泥稳定土垫层加 70 cm 碎石垫层。换填承载力高的垫层能有效修正台座底部持力层的地基承载力。

3.6 基础底板高度的确定

基础有效高度 h_0 应能满足以下条件。 $V \leq 0.7 \beta_h f_t l h_0$, V 为 I—I 截面处的剪力。

$$P_{kmin} = [(F_k + G_k + Q_k) / A] \times (1 - 6/l \times e) = 10.4 \text{ kPa}$$

$$P_{kl} = 2.8 \times (P_{kmax} - P_{kmin}) / 4.8 + P_{kmin} = 105.9 \text{ kPa}$$

$$P_k' = 1/2(P_{kl} + P_{kmin}) = 58.15 \text{ kN/m}^2$$

$$V = P_k' \times b \times (1 - 0.5 \times 2 - 1) = 52.95 \times 4.5 \times 2.8$$

$$= 732.68 \text{ kN}$$

f_t 为 C20 砼抗拉强度设计数,取 $f_t=1.1 \text{ N/mm}^2$ 。

β_h 为受剪承载力的截面高度影响系数。取 $\beta_h=1$ (1 为基础长), $l=4.8 \text{ m}$ 。

$$h_0 \geq V / (0.7 \beta_h f_t l) = 732.68 \times 1000 / (0.7 \times 1 \times 1.1 \times 4.8 \times 1000) = 198.2 \text{ mm}$$

取 $h_0=560 \text{ mm}$, $h=h_0+40=600 \text{ mm}$ 。

实际施工中,为了保证台座有足够的强度和刚度,循环利用时不会发生变形,台座混凝土和台座混凝土一般均加大为 C25 或 C30 的标号。

3.7 基础底部的配筋

基础截面与配筋如图 5 与图 6 台座基础结构示意图(图中未注明的长度单位均为毫米)。

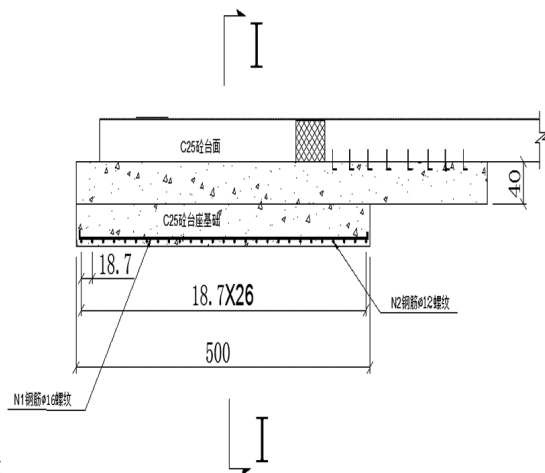


图 5 台座基础结构纵向示意图

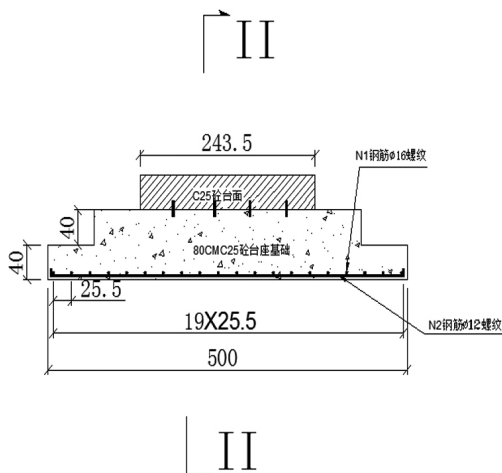


图 6 台座基础结构横向示意图

钢筋设计抗拉强度 II 级钢 $f_y=380 \text{ N/mm}^2$ 。

1) 基础底板 I—I 截面受力钢筋面积检算 II—II 截面最大弯矩:

$$M_{MAX} = 1/2 P_k' \times b (1 - 0.5 \times 2 - 1)^2 = 0.5 \times 52.95 \times 4.5 \times 2.8^2 = 1025.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

基础底板 II—II 截面受力钢筋面积 A_s :

$$A_s = M_{max} / (0.9 f_y h_0) = 1025.7 \times 106 / (0.9 \times 380 \times 560)$$

$=5355.9 \text{ mm}^2$

钢筋 N_1 选用 27 根 $\Phi 16@22 \text{ cm}$, $A_s'=27 \times 200.9=5425.9 \text{ mm}^2 > A_s$ 满足设计要求。

2) 基础底板 I—I 截面受力钢筋面积检算:

$$M_{\max}=1/2 p_{k\max} \times 4.8 \times (0.51 \times 2)^2=390.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$A_s=M_{\max}/0.9 f_y h_0=390.0 \times 106/0.9 \times 380 \times 560 \\ =2036 \text{ mm}^2$$

N_2 钢筋选用 20 根 $\Phi 12@24.8 \approx 25 \text{ cm}$, $A_s'=20 \times 113.1=2262 \text{ mm}^2$, 满足设计要求。

4 施工变形监测

按《精密工程测量规范》(GB/T15314-94)和本桥设计要求,结合项目实际情况,为确保制梁台座不会出现大的沉降和变形,应做变形观测。实际施工中在台座中的最不利部位布设沉降观测点 6 个,分别为台座的 4 个角点以及跨中 2 个点,分别命名为 D1~D6 点,具体位置见图 7 所示(图中未注明的长度单位均为毫米)。测量标志预埋在台座面以下 20 cm 位置,观测仪器采用精密水准仪。在每一片箱梁浇筑前、张拉前、张拉后、提梁前这四个时间节点分别对这 6 个观测点进行沉降观测。经对本桥全部 22 片箱梁预制施工中对这 6 个点的沉降监测,在箱梁浇筑和张拉过程中最大沉降观测数据均小于 2 mm,满足台座使用与规范要求。

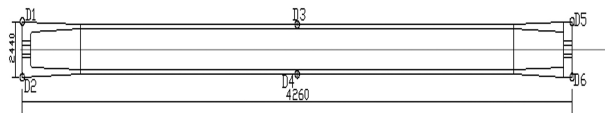


图7 沉降观测点位布置图

5 结论

这个在软土地区 40 m 箱梁制梁台座的设计方案和基础处理方法通过实际应用,变形监测结果表明在箱梁浇筑和张拉过程中制梁台座的变形非常小,其强度和变形符合规范与设计要求。该台座端部设计只采用了最简易的扩大基础,一般无需再增加桩基础,施工简单快速,成本较低,对软土地区的同类制梁台座设计有一定的参考作用。

【参考文献】

- [1]万雨晴.软基地区预制梁台座设计[J].铁道建筑技术,2017(6):47-51.
- [2]陆杰.预制梁施工技术在高速公路工程建设中的应用[J].工程技术与应用,2020(16):76-77.
- [3]王金香.软土地区 250km/h 箱梁存梁台座设计方案研究[J].山西建筑,2021(2):81-82.
- [4]李楠,刘骞.山区预制梁场施工技术[J].云南水利发电,2020(6):94-97.
- [5]周水兴等.路桥施工计算手册[M].北京:人民交通出版社,2001.

(上接第 61 页)

精益求精、吃苦耐劳的匠心精神,在持续的坚持和奋斗中做出成绩。企业评判一个人能为公司创造价值、能为企业带来收益,那就是有用之才。学生毕业一年多后的回访调查显示,J 学院机械类 95%的毕业生得到了晋升。

3.3 高端就业再出发

高端就业是指所在的企业不论公司影响力还是价值,抑或是个人收益、成绩、工作稳定性等方面都有一定优势。高端就业分为两种情况:一种是从始业教育到技能锤炼都付出更多的努力,把匠心文化融入到工作、学习之中,顶岗实习时获得高端就业岗位;另一种是在顶岗实习到稳定就业中努力奋进、不断提升,从而获得本单位或其他单位的高端就业岗位。这两种情况均为高职学生在岗位上秉承匠心文化精神、艰苦奋斗的结果。调查显示 J 学院机械类学生毕业一年后央企、国企、技术骨干就业率 2019 年为 31%。高端就业不是职业生涯的结束,毕业不是奋斗的终点,只要高职学子秉承优秀的校园匠心文化,落实在工作、生活和学习中,定会实现更大社会价值。

4 结语

本研究通过对高职院校校园文化建设的梳理,探

析出优秀校园匠心文化从入学、实训到立业的三段育人过程。归纳出高职院校匠心文化自奠基、提升和夯实——对应的三段育人全过程递进培育的路径。在高职院校中传承、发扬、深化匠心育人文化,为高职院校全过程培育学生的匠心精神提供理论支持。同时让校园匠心文化精神不仅仅贯穿学生的在校生涯,还能把校园匠心文化精神传承在青春立业后的职业生涯规划发展中,真正把校园匠心文化全过程培养路径打通、做实,实现匠心文化在高职院校内传承、渗透。

【参考文献】

- [1]高波,黄书怡.武学文化对高校学生思想政治教育的促进作用研究[J].黄河水利职业技术学院学报,2019(3):96-97.
- [2]高波.高校学生网络思政工作的创新路径探究[J].教育科学,2020(1):129-130.
- [3]李雨.新时代大学生劳动教育的育人价值与育人导向[J].河南科技学院学报,2020(6):58-62.
- [4]张丽华.高职创新创业教育人才培养模式研究[J].科技视界,2015(30):241.
- [5]吴雄彪,高波,蔡翔.高职学生自我教育体系优化和效能的实践探索[J].金华职业技术学院学报,2016(6):1-5.