

铝合金人行天桥下部基础快速化施工研究

蒋仕持

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 铝合金人行天桥经过最近 10 多年的发展,已逐渐成为市政工程人行天桥中的一个新的分支。目前已有的工程实践中,铝合金人行天桥上部结构的施工多采用工厂预制、现场拼装的方式,但下部基础仍采用传统的钻 / 挖孔桩或现浇扩大基础等,导致全桥现场施工周期依然较长,无法充分发挥和体现铝合金人行天桥快速化施工的优势。为了解决这一问题,结合铝合金人行天桥的特点,按两种跨径的桁架式铝合金人行天桥分别计算出下部基础的主要尺寸,提出采用扩大基础和桩基础对应的快速化施工方案,并对施工方案中的关键点提出具体措施。

关键词: 铝合金;人行天桥;下部基础;预制拼装;PC 桩

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0139-04

0 引言

铝合金人行天桥经过最近 10 多年的发展,已逐渐成为市政工程人行天桥中的一个新的分支。在这一发展过程中,已有不少专家和学者采用理论计算、数值模拟和现场测试等方法充分研究了该结构形式的力学性能,为铝合金人行天桥上部结构的研究和进一步创新提供方向上的指导,为工程实践提供了重要的参考依据^[1]。目前已有的工程实践中,铝合金人行天桥上部结构的施工多采用工厂预制、现场拼装的方式,但下部基础仍采用传统的钻 / 挖孔桩或现浇扩大基础等,导致全桥施工周期依然较长,无法充分发挥和体现铝合金人行天桥快速化施工的优势。目前国内人行天桥下部基础快速化施工相关的研究较少,本文将结合铝合金人行天桥的特点,研究天桥下部结构快速化施工的方案。

传统人行桥下部基础一般采用混凝土 / 钢立柱 + 现浇桩基础 / 扩大基础形式。一般来说,当持力层埋深较浅且基础可利用场地较大时,优先采用扩大基础;当持力层埋深较深或障碍物(如市政管网)较多导致可利用场地很小时,优先采用桩基础。本文选用了两种跨径的桁架式铝合金人行天桥进行计算,根据计算结果拟定桩基础方案和扩大基础方案的主要尺寸规格,并提出对应的快速化施工方案。

1 算例概况

1.1 算例一

根据我院设计的人行天桥跨径大多为双向 6 车道 + 中央分隔带,因此该算例采用两跨 18.4 m+18.4 m 布置形式,桁架高度 2.0 m,全桥宽度 4.716 m。采用 Midas Civil 建立空间杆系模型,见图 1。



图 1 18.4 m+18.4 m 桁架梁空间杆系模型

1.2 算例二

算例二采用某单跨 52 m 铝合金桁架人行天桥,跨中桁架高度 4.8 m,全桥宽度 3.85 m。采用 Midas Civil 建立空间杆系模型,见图 2。

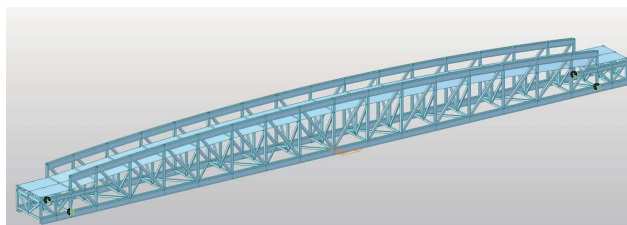


图 2 单跨 52m 桁架梁空间杆系模型

永久荷载包括桥梁自重、桥面铺装、栏杆、各种桥上设施等;活载考虑人群荷载,系统升温取 46℃,降温取 46℃,结构沉降取 1/3 000L(L 为桥梁跨径),风荷载采用 10 年风,风速为 26.0 m/s,支座采用球钢支座。由计算模型提取出的上部反力(单支座反力)见表 1。

收稿日期: 2021-01-26

作者简介: 蒋仕持(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁工程设计、研究工作。

表 1 算例上部结构反力

跨径	位置	荷载组合	竖向力 /kN	横向水平力 /kN	顺向水平力 /kN
18.4 m+18.4 m	中墩	自重	74.1	0.0	0.0
		最大标准组合	396.5	56.1	0.0
		最小标准组合	49.1	-56.1	0.0
	边墩	自重	40.5	0.0	0.0
		最大标准组合	224.6	0.0	0.0
		最小标准组合	33.6	0.0	0.0
单跨 52 m	边墩	自重	187.5	0.0	0.0
		最大标准组合	495.0	62.7	0.0
		最小标准组合	150.3	-59.7	0.0

2 桩基础方案

2.1 桩基础尺寸

考虑每个支座下设置一根立柱和一根桩，同时为合理分配横向水平力，在墩顶处用构件将两立柱连接，仅传递水平力。按表 1 的反力并考虑基础自重，基础按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)^[2]、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)^[3]进行计算，得出基础采用各种桩径下所需桩长，见表 2。其中，桥墩采用钢立柱（内灌注混凝土），土层考虑为单一土层， $q_{ik}=30\text{ kPa}$ ， $f_{a0}=150\text{ kPa}$ ， $k_2=1.5$ ， $\gamma_2=18\text{ kN/m}^3$ 。

表 2 各种桩径下桩长

单位: m

跨径	位置	0.6 m 桩	0.7 m 桩	0.8 m 桩	1.0 m 桩
18.4 m+18.4 m	中墩	14	11.5	10	8
	边墩	9	7.5	6.5	—
单跨 52 m	边墩	15	13	11	8.5

按照承载能力极限状态和正常使用极限状态对桩基础进行验算，计算出各种桩径下普通钢筋混凝土桩配筋率，见表 3。其中，活动支座处水平力考虑摩擦力，摩擦系数取 0.05。

从计算结果可知，铝合金人行天桥由于自重轻，桩基承载力需求不大，桩长和桩径都较小，对桩身强度要求也不高。同时考虑到上部结构较轻，地震作用下，下部基础的抗震需求也相对较小，故可采用预制桩代替灌注桩来减少下部结构的施工工期。

表 3 各种桩径下桩基配筋率

跨径	位置	0.6 m 桩	0.7 m 桩	0.8 m 桩	1.0 m 桩
18.4 m+18.4 m	中墩	1.85%	1.10%	0.56%	0.36%
	边墩	构造	构造	构造	—
单跨 52 m	边墩	2.92%	1.99%	0.92%	0.59%

2.2 桩基础快速化施工方案

2.2.1 预制管桩概况与施工方案

目前，国内预制桩主要分为钢筋混凝土预制方桩 / 管桩(RC 桩)、预应力混凝土管桩(PC 桩、PHC 桩、PRC 桩等)、钢桩(钢管桩、H 型桩及其他异型钢桩)等。预应力混凝土管桩在我国的生产应用十分广泛，早在 2010 年，我国管桩的年生产量已超 3 亿 m^[4]。管桩的标准化工作也有很大的发展，我国现有各类预应力混凝土管桩的相关规范标准有 30 多部，设计可参考的规范和图集主要为《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476—2009)^[5]、《预应力混凝土管桩技术标准》(JGJ/T 406—2017)^[6]、《预应力混凝土管桩》(10G409)^[7]和各地地方标准等。考虑到预应力混凝土管桩的技术成熟性和铝合金天桥的特点，本文预制桩采用 PC 桩。

采用预制桩的天桥基础快速化施工方案如下：

- (1)工厂预制 PC 桩。
- (2)运输至施工现场。
- (3)通过锤击法、静力压桩法、振动法和水冲法等沉桩。
- (4)预制并运输钢立柱。
- (5)通过焊接、法兰连接、机械连接等方法将桩与钢柱结合。

完成以上步骤即可施工上部结构。这比普通灌注桩基础可大大节省现场施工时间。

2.2.2 桩柱连接方式与 PC 桩优缺点

PC 桩和立柱的预制、安装较为成熟，本文主要研究预制桩与钢柱连接的细部构造。

钢立柱直径和 PC 桩相同时，推荐采用焊接法连接桩和立柱，即在钢柱底部焊接法兰盘，钢柱底部内侧焊接柱脚加劲，将柱底法兰同桩的端板焊接，保证接头连接强度不小于桩身强度。连接构造如图 3 所示。

桩径较小的桩基($d\leq 600\text{ mm}$)可以采用机械齿合接头连接。此种方法更加快速，施工时直接将钢立柱底部的连接销插入桩顶连接槽即可完成连接，可用于上下楼梯处立柱与桩基的连接。连接构造如图 4 所示。

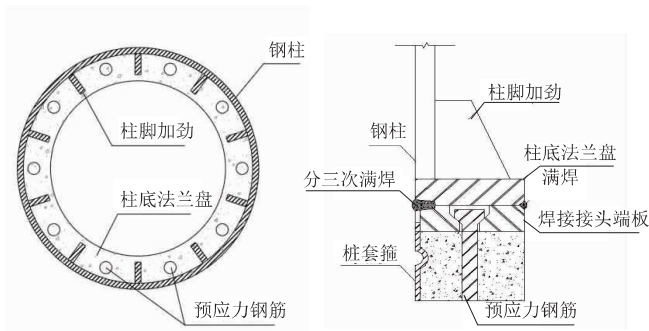


图 3 桩柱焊接接头平面及细部构造

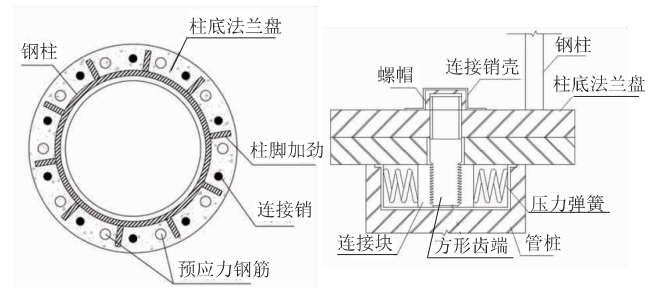


图 4 桩柱机械齿合平面及细部构造

大直径 PC 桩与不等直径钢柱连接,可以采用螺栓连接,即预制前在桩内预埋螺栓并在端板开孔(或采用比桩径大的端板并在桩身外侧处打孔,无须预埋螺栓),钢柱底部焊接与之匹配的法兰盘和柱脚加劲板,通过螺栓将立柱和桩基连接。后续可用包封混凝土包裹法兰,避免螺栓松动和锈蚀。连接构造如图 5 所示。

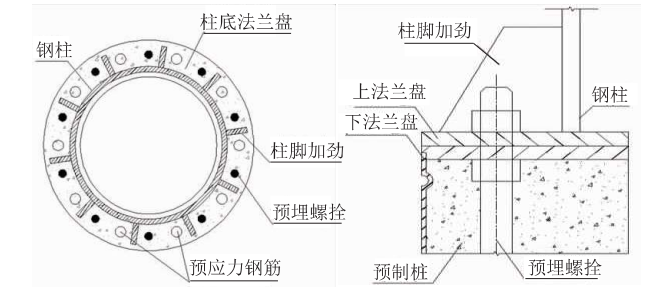


图 5 桩柱螺栓接头平面及细部构造

另外,需采用群桩基础时,可在预制承台上预留后浇洞。PC 桩端板上焊接连接钢板,然后连接钢板上焊接钢筋,钢筋与预制承台连接通过后浇混凝土进行连接。

采用 PC 桩代替灌注桩主要优点如下:

- (1) 桩身强度高、抗裂性能好,一般情况下比采用灌注桩更经济。
- (2) 成桩质量好,由于其在工厂预制,桩身质量有保障。
- (3) 运输、吊装和沉桩方便,施工工期大大降低。由于铝合金天桥质量轻,桩长、桩径都较小,便于运输和安装。

(4) 环境友好,施工中无沙石、水泥,无泥浆污染,施工场地需求小。

PC 桩的缺点主要如下:

- (1) 施工水平要求相对较高,施工不当易造成桩身破碎、倾斜、折断等。
- (2) 对周围道路、管线等影响较大。由于 PC 桩沉桩时桩周土体被挤密,容易使周围土体水平移动或竖向隆起,可通过采用“引孔法”缓解此问题。
- (3) 由于截面减小导致抗剪承载力减弱。

3 扩大基础方案

3.1 扩大基础尺寸

扩大基础按每一个立柱对应一个扩大基础、横向两个立柱共用一个扩大基础两种方案进行计算。城市天桥一般纵桥向尺寸受限,故单基础平面采用方形、矩形两种。按表 1 的反力并考虑基础自重,计算出各种扩大基础尺寸(见表 4)。其中,基础埋深取 1.5 m,立柱高度取 5.5 m,基础高度取 1.0 m,并做成阶梯状(阶梯高度 0.5 m,上层尺寸比下层小 0.6 m), f_{a0} 按 100 kPa 和 150 kPa 分别计算, $k_1=0, k_2=1.5, \gamma_1=\gamma_2=18 \text{ kN/m}^3$ 。

		表 4 扩大基础尺寸(横桥向×顺桥向)		单位:m	
跨径	位置	f_{a0} / kPa	方形基础	矩形基础	合并基础
18.4 m+ 18.4 m	中墩	100	3.6 × 3.6	4.4 × 2.7	7.1 × 3.1
		150	3.2 × 3.2	3.8 × 2.3	6.1 × 2.1
	边墩	100	2.3 × 2.3	3.0 × 1.8	—
		150	1.6 × 1.6	2.1 × 1.3	—
单跨 52 m	边墩	100	4.2 × 4.2	5.2 × 3.2	8.1 × 4.1
		150	3.8 × 3.8	4.5 × 2.8	7.3 × 3.3

计算结果表明:

- (1) 地基承载力为 100 kPa 时,扩大基础尺寸受地基承载力控制;地基承载力为 150 kPa 时,扩大基础尺寸受合力偏心矩控制。
- (2) 由于基础弯矩主要由横向风荷载产生,加大横向尺寸可稍微减小基础面积,合并基础也可减小基础总面积。
- (3) 由于铝合金天桥自重轻,扩大基础底易出现拉应力,导致基础尺寸需求较大而地基承载力需求不大。对于大跨径铝合金天桥,不推荐采用扩大基础。

3.2 扩大基础快速化施工方案

根据以上计算结果,在地基承载力 f_{a0} 不小于

150 kPa 时,铝合金人行天桥扩大基础短边尺寸基本可以控制在 3.0 m 以内;重量在 30 t 以下,天桥扩大基础基本可以通过公路运输到现场进行安装。

因此,对铝合金人行天桥采用扩大基础方案时的快速化施工方案如下:

(1)根据地质条件选择适当的持力层。当持力层地基承载力 f_{a0} 太小导致基础尺寸过大时,通过合适的地基处理、加固措施提高承载力。

(2)预制场预制扩大基础并预埋法兰盘和螺栓。

(3)基坑开挖、基础运输至现场并吊装。

(4)预制并运输钢立柱。

(5)基础和立柱通过螺栓连接并回填基坑。

完成以上步骤即可施工上部结构,相比现浇扩大基础,可大大节省现场施工时间。钢立柱与预制扩大基础连接示意如图 6 所示。

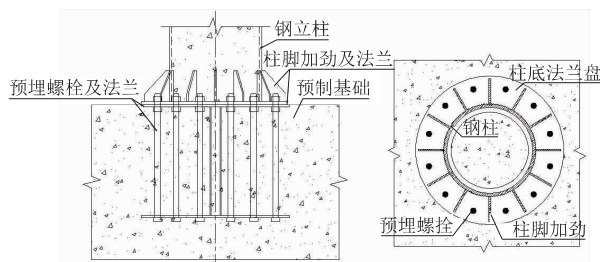


图 6 钢立柱与预制扩大基础连接示意

上述施工方案中制约现场施工工期的主要是地基处理的工期,本文推荐采用下述较为快速的地基处理方法。

地基处理的基本方法一般有置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋等。一般来说,换土垫层法操作简单,成本较低,速度快,适用性强,可作为扩大基础软弱地基处理的首选方案。但其只适合处理 3 m 范围内

的换土垫层,换土厚度越大,造价成本越高,也不适合处理地下水位高、渗透性强的地基。因此,当基础底部软弱土层层底埋深较浅时(<4 m),推荐采用换填法进行地基处理。

当软弱土层层底埋深较深时(4~8 m),推荐采用预制桩进行加固。预制桩桩体采用边长 150~300 mm 的钢筋混凝土方桩,现场直接打入至持力层,然后铺设褥垫层。此方法操作简单、速度较快、适用性较强。而对于软弱土层层底埋深过深时,不推荐采用扩大基础。

4 结 语

本文结合铝合金人行天桥的特点,按两种跨径的桁架式铝合金人行天桥分别计算出下部基础的大致尺寸,并分别提出了采用桩基础和扩大基础对应的快速化施工方案。相比传统现浇桩基础/扩大基础方案,可大大缩短现场施工的工期。对于 PC 桩与立柱的连接提出了三种连接构造,对于扩大基础地基处理推荐了较为快速的处理方案,可为铝合金人行天桥下部基础快速化施工提供参考。

参考文献:

- [1] 孙旭霞,肖佳明,郑本辉.桁架式铝合金人行天桥的应用与发展概述[J].城市道桥与防洪,2020,259(11):76-78.
- [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] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [4] 蒋勤俭,王晓峰,钟志强,等.2012年预制混凝土行业发展报告[J].混凝土世界,2013(3):49-53.
- [5] GB 13476—2009,先张法预应力混凝土管桩[S].
- [6] JGJ/T 406—2017,预应力混凝土管桩技术标准[S].
- [7] 10G409,预应力混凝土管桩[S].

(上接第 118 页)

具体工程中选型的科学性,减少由设计人员主观性带来的局限,提高决策的合理性。

(2)实例应用表明,该算法计算方便,结果稳定,在生态护坡的选型中具有可行性和适用性。

参考文献:

- [1] 王思腾,唐慧雅.关于生态河道堤防护岸工程的设计[J].工程建设与设计,2020(11):113-115.
- [2] 吴君民,贾卉.基于层次分析法的智能垃圾分类回收效益影响因素研究[J].价值工程,2020,39(1):85-89.

- [3] 张臻,王龙昌,杨松,等.基于 AHP 法的四川省水资源可持续利用综合评价[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):213-218.
- [4] 蔡楠,杨扬,方建德,等.基于层次分析法的城市河流生态修复评估[J].长江流域资源与环境,2010,27(4):213-218.
- [5] 范道津.现代咨询方法与实务[M].中国计划出版社,2009.
- [6] 梁慷,曹欣,王红霞.常见生态护坡形式及特点[J].基建管理优化,2016(28):31.
- [7] 束明方.生态护坡在水利工程中的设计形式[J].建筑建材装饰,2018,(1):194.