

香港地区Mini桩设计与施工技术研究

李永芳

中铁十五局集团电气化工程有限公司

摘要: 粤港澳大湾区与内地基础设施建设合作正在纵深推进,越来越多的内地建筑施工企业中标香港、澳门特区的工程项目,Mini桩作为港澳地区建筑工程常采用的主流桩型,被广泛应用。本文依托香港元朗屏公营房屋发展基础设施工程-青山公路(屏山段)及朗天路人行天桥Mini桩施工项目,对Mini桩设计、施工、桩基检测环节进行分析研究,总结出Mini桩设计参数、施工工艺、基桩检测的关键点,为今后类似工程施工提供参考。

关键词: Mini桩施工;承载力设计;基桩检测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.09.018

一、前言

Mini桩(小孔径钻孔桩)是香港地区建筑工程中常采用的两种主流桩型之一,其施工工艺与内地钢筋混凝土灌注桩较为相似,不同之处在于钢筋骨架、桩身材料有较大差别。Mini桩钢筋骨架是由数根大直径螺纹钢筋组成钢束,并放置于桩孔中,桩身材料由非收缩水泥浆构成。Mini桩还在钻孔内放置永久钢护筒,并嵌入三级或以下的微风化岩层。

Mini桩因其设计灵活、地基处理牢固,施工占地少、噪音低、污染少且易于施工等优点在香港地区广泛应用。如:隔音屏、人行天桥、小型别墅、小型商场的基础及支护工程。香港元朗区岩层多为大理石、石灰岩,埋藏深度在40~100m,因此Mini桩对于因施工场地面积受限、桩孔深度较长、上部荷载较小的建筑物的工程非常适合。本文以香港“元朗屏公营房屋发展基础设施工程-青山公路(屏山段)及朗天路”人行天桥Mini桩施工为例,介绍该桩型设计与施工技术。

二、项目简介

该项目位于香港元朗区,人行天桥长为40m,分为3段,桥体跨越公路、1段水渠,共布设墩柱6根,桥墩基础采用Mini桩基,桩径为273mm,桩长介于55.0~59.0m之间,嵌岩深度介于2.0~6.5m之间。根据桩长及嵌岩深度不同,单桩竖向抗压承载力值也不同,其值介于379~1331kN之间,基桩总数为46根。

三、Mini桩的设计

(一) Mini桩桩身断面形式

本项目Mini桩身骨架由4根Φ50的螺纹钢筋束组成,孔壁放置永久性刚套管,桩身采用非收缩型水泥浆,其构造形式见图1。

(二) Mini桩单桩竖向抗压承载力值的确定

在工程设计中,一般单桩的理论安全荷载不应超过2950kN。此荷载包括未经群桩效应修正之前的附加荷载、上部结构荷载及负摩擦力、土体、桩帽及桩体重量等。永久性钢套管及其与土体的摩阻力、桩体的端承力不予考虑。

单桩的理论安全承载力应取以下三者中的最小者,即:

$$R = \min \{R_1, R_2, R_3\}$$

①R1: 根据基岩与水泥浆的设计结合强度、桩体嵌岩段长度、桩底周长确定。

$$\text{即: } R_1 = u \cdot l \cdot f_{rg}$$

其中: u —桩底周长; l —桩体嵌岩段长度; f_{rg} —基岩与水泥浆的设计结合强度。

②R2: 根据钢筋与水泥的设计结合强度、桩体嵌岩段钢筋的有效周长、桩体嵌岩段长度确定。

$$\text{即: } R_2 = n \cdot u_s \cdot l \cdot f_{sg}$$

其中: u_s —桩体嵌岩段钢筋的有效周长; l —桩体嵌岩段钢筋的长度; f_{sg} —钢筋与水泥的设计结合强度; n —钢筋数。

③R3为在桩的设计中钢筋的允许承载力,

$$\text{即: } R_3 = n \cdot A \cdot f_s$$

其中: f_s —钢筋设计抗压强度; n —钢筋数; A —钢筋截面积。

在设计中基岩与水泥浆的结合强度 f_{rg} 不可以超过0.7MPa,基岩的定义应为三级(即中风化)或以上而且双管取芯率不低于85%,其设计抗压强度可超过5000kPa。本项目采用的500B钢筋最大的抗压强度不得超过190MPa。水泥浆与钢筋之间的结合强度 f_{sg} 最大不超过0.8MPa。

根据上述分析,Mini桩单桩竖向抗压承载力的设计参数与内地钻孔灌注桩相差较大,Mini桩设计参数主要考虑桩体嵌岩长度、水泥浆强度、钢筋数量及其抗压强度相关。灌注桩单桩竖向抗压承载力标准值设计参数为桩体与土体的侧摩阻力、桩底端承力、桩长及桩径。

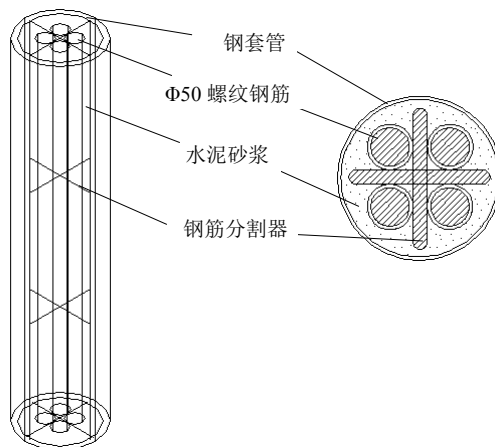


图1 Mini桩桩身断面形式

四、Mini桩的施工

(一) 施工工艺

(二) 地质勘探

考虑Mini桩桩身嵌岩设计,在基桩施工前,应对现

场地层进行勘探调研，以验证设计单位确定的基桩区域基岩深度和岩石强度，通过现场采取岩样，做岩石单轴极限抗压强度试验，确定嵌岩段岩石强度是否达到设计要求，并为设计单位重新修订桩长提供依据。还可根据地质勘探报告，绘制施工区域内地层结构图，为桩孔施工提供参考。

(三) 测量放样

Mini桩工程开始前，建立一套精准的场地施工控制网，并经监理单位审查通过后方可实施。根据施工测量技术要求，既要保证工作面平整不破坏场地原有地貌，又要保证Mini桩的施工精度。至少设置3个坐标基准桩作为桩位偏移测量的参考，还应设置高程参考桩，用作检查桩孔深度。

Mini桩的放样采用极坐标法进行，为了保证施放精度，点位施放完成后，再用另一个起始方向对该点进行角度和距离复测，计算出该点坐标，并与理论坐标比对，从而判定是否满足精度要求。桩位施放点无误后，用10cm长的铁钉钉于实地，用红布条标注桩号。

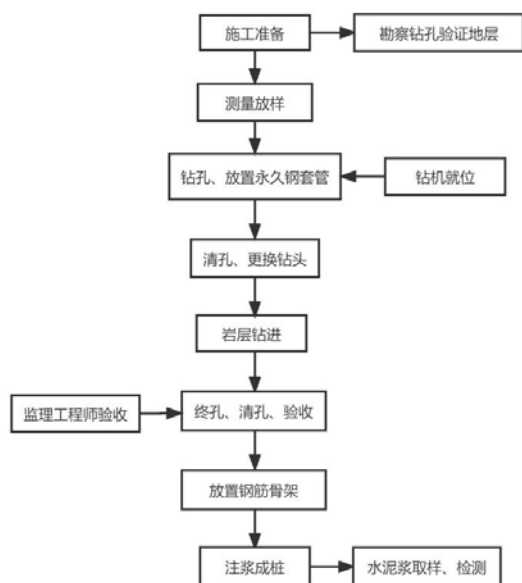


图2 Mini桩施工工艺流程图

(四) 钻孔施工

1. 钻孔设备

Mini桩施工采用JD110A型全液压履带式多功能钻机，并配备ODEX钻头和DTH潜孔锤进行土层和岩层的钻进，利用空压机高压风力吹走套管内的泥土或岩屑。

2. 钻孔

(1) 土层钻进

钻机就位及垂直度校核后，利用钻机动力和压缩空气驱动ODEX钻头，钻头的转动及气动锤的冲击力来切削土层，并同步把永久钢套管一起嵌入桩孔内。ODEX钻头最大的特点是底部有扩孔器，钻进时（顺时针）钻头两个扩孔器打开，使得钻头增大，钢套管跟着钻头下钻带入土层中；钻至目标深度后，反钻几下（逆时针），使扩孔器回收，钻头变小，方便钻头从套管中脱离。

考虑钻机高度限制，需将永久性钢套管切割成6.0m的长度，再套入至钻头上，将其埋入钻孔中。根据钻进

深度，重复此流程放置钢套管，直至基岩顶部。新加套管与已埋入土中的钢套管采用焊接方式接长。钢套管外表有一层防锈涂层，但不考虑钢套管侧壁与土层之间的摩阻力，故焊接头可不进行防锈涂装。钢套管至少嵌入基岩面下300mm，管底应平整嵌入岩石面，以避免在清孔时土岩结合面出现塌孔。钢套管一般高出地面200mm。

(2) 岩层钻进

初步清渣后，换用Φ240mm DTH潜孔锤进行嵌岩部分钻进，嵌岩直径不小于250mm，钻至设计要求的嵌岩深度为止。成孔期间，同时进行排渣及取岩样工作，方法是利用空气压缩机、风管及钻杆把稳定压力的压缩空气送进至钻头前端的出风口位置，即钻孔的底部，利用风压把泥渣及碎石强排出桩孔外，然后透过集水沟把泥渣疏导至沉淀池中。在岩层钻进过程中，应按照监理商定的间隔采集岩石样品，以验证岩石强度是否满足设计要求。

(3) 第一次清孔

桩钻孔完成后，再利用压缩空气及清水把钻孔内的沉渣进行初步清理，待第一次钻孔清洁完成后，请现场监理工程师检查确认。

(五) 终孔、清孔

1. 终孔

钻至设计深度后，要不断抽取从孔底返出的沉渣，以观察并判断沉渣厚度是否符合，确定基岩等级是否满足设计要求，自检合格后，邀请监理工程师检查验收，重点检查桩孔深度、岩石等级等，检查合格后开始再次清孔。

2. 清孔

清孔采用空气冲洗法，清除桩孔中的沉渣。空气冲洗法是在桩孔内注满清水，然后把一条直径约75~100mm的钢管放进至桩底，钢管外接高压风管和空压机，利用气举法把桩孔内的泥渣及石碎抽排出孔外，清孔过程中空压机的压力将低于钻井过程的压力，以防止地面水力断裂。清孔期间需不断往桩孔内灌注清水，以保持孔内水头高度，直至孔底无沉渣、水质不浑浊，并采集清孔水样，供监理检查，以确认钻孔的清洁度。

(六) 放置钢筋骨架

钢筋骨架由500B级高屈服强度螺纹钢组成，钢筋骨架在加工场制作，通常利用钢质扎带或铁丝绑扎牢固，首先绑扎好嵌岩段钢筋，同时将聚氯乙烯注浆管固定在钢筋骨架上，并由监理工程师检查合格后，吊装安放至钻孔内。放置桩孔内的钢筋骨架用夹具临时固定在钢套管顶部，然后由起重机吊装安装剩余部分，钢筋连接采用直螺纹套筒机械连接，不允许焊接。重复钢筋连接工序，直到钢架骨架总长度达到设计要求。暴露的钢筋用塑料板覆盖，在直螺纹套筒上安装保护帽，以防止水泥浆液渗入。

(七) 注浆

水泥浆由临近施工现场最近的预拌灌浆供应商供应（类似内地商品混凝土供应链），水泥浆中加入非收缩外加剂，以提高水泥浆的非收缩性能。在灌浆工作开始

前,应根据美国材料及试验协会发行的《预制骨料混凝土浆液流动的标准试验方法》(ASTM C939)对桩进行流锥流出试验,水泥浆流量一致性应大于15秒,否则不得向任何桩注入水泥浆。

注浆采用水下灌注法进行,通过高压注浆泵把预拌的水泥浆注入桩孔内,注浆压力为2~4MPa,由底部开始缓缓地向上灌注,并籍此把桩孔内的积水从底部向上排出。注浆过程中,应保持浆液连续灌注,避免空气残留在桩孔内,导致空隙或蜂窝的出现,直至水泥浆液由注浆管顶部流出,且其黏稠率与水泥浆液相似或采取浆液进行流锥流出试验,其值大于15秒,方可停止灌注。

水泥浆水灰比为0.38~0.45,强度要求在第7天不小于30MPa,第28天不小于40MPa,水泥浆的泌水率在前

3个小时内不应超过2%,总泌水率不超过4%,所有水分应在24小时内全部吸收,常温下浆液的自由膨胀率不超过10%。

五、桩基检测

载荷试验按英国规范BS8004进行,采用快速循环加载方式逐级施加,当达到设计荷载两倍时,保持荷载72小时,且沉降量达到稳定标准后开始卸载。再按照加载顺序反向卸载。

通过对3组试桩检验数据进行分析,P1试验桩长54.6m,嵌岩深度2.0m,其设计荷载为384kN,P2试验桩桩长为56.1m,嵌岩深度3.5m,设计荷载为759kN,P3试验桩桩长为58.6m,嵌岩深度6.0m,设计荷载为1328kN。各桩的荷载沉降数据如表1所示。

表1 荷载沉降数据表

桩号	荷载-沉降记录									嵌岩深度 (m)
P1	荷载 (kN)	192	384	576	768	576	384	192	0	2.0
	沉降 (mm)	3.15	4.38	5.84	7.15	6.03	3.29	1.23	0.23	
P2	荷载 (kN)	379.5	759	1138.5	1518	1138.5	759	379.5	0	3.5
	沉降 (mm)	2.19	3.38	5.87	7.95	6.22	3.11	1.02	0.17	
P3	荷载 (kN)	664	1328	1992	2656	1992	1328	664	0	6.0
	沉降 (mm)	3.68	5.45	7.89	10.13	8.24	5.87	2.05	0.26	

从表1可以得出,P1、P2、P3试验桩在2倍工作荷载作用下,沉降量分别为7.15mm、7.95mm、10.13mm,沉降量较小,说明单桩竖向抗压承载力仍有一定储备。

Mini桩单桩竖向抗压承载力合格标准与灌注桩单桩承载力合格标准存在较大差异。

灌注桩单桩竖向抗压承载力特征值检测是按照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2021)进行,根据静载试验先确定出单桩极限抗压承载力,单桩竖向抗压承载力特征值按单桩竖向抗压极限承载力值的50%取值,再对照设计要求,判定其是否满足。

Mini桩单桩竖向抗压承载力合格标准是按照香港特区政府屋宇署的《认可人士作业备考》(Practice Note for Authorized Persons PNAP66, 2000)的规定,通过静载试验确定出桩的实际沉降量,与理论计算值进行比对,如果实际沉降量小于理论计算值,则表示单桩竖向抗压承载力合格。

Mini桩单桩沉降量理论计算值采用下式计算:

$$S_c = PL/AE + d/120 + 4mm$$

其中: S_c -理论计算沉降量 (mm)

P-为设计荷载的2倍 (kN);

L-桩长 (mm);

A-潜岩段截面积 (mm²);

E-杨氏模量, $E_{\text{钢筋}}=200\text{kN/mm}^2$;

D-潜岩段直径,取235mm。

由上式可得P1桩 $S_c=12.00\text{mm}$,P2桩 $S_c=18.23\text{mm}$,P3桩 $S_c=28.39\text{mm}$ 。可见,三根桩实际沉降量均小于理论计算值,桩的承载力满足设计要求。

六、结论

(一) Mini桩具有设计灵活、地基处理牢固、施工占地少、噪音低、振动小、污染少且易于施工等优点,

在香港地区人行天桥、运输带、小型别墅和商场的基础工程中广泛应用。

(二) Mini桩的竖向抗压承载力除受嵌岩深度和水泥浆强度影响外,还受岩体强度、钢筋屈服强度等材料因素影响,设计时应考虑各种材料的强度匹配,经济合理选择材料,以免造成浪费。

(三) Mini桩施工设备较为昂贵,需要投入较多的永久性钢套管,钢筋消耗量较大,建设成本较高。

(四) 香港地区工程设计,一般采用较为保守的设计方法,例如忽略钢制套管与覆盖层、水泥浆与钢套管之间的摩阻力,所以应在今后的工程实践中,可以试验测定此部分的作用。

(五) Mini桩单桩竖向抗压承载力值检测合格标准与灌注桩单桩竖向抗压承载力检测合格标准存在较大差异。灌注桩承载力特征值按单桩竖向抗压极限承载力的50%取值确定,并判定其是否满足设计要求; Mini桩单桩竖向承载力合格标准取决于静载试验实际沉降量是否小于理论计算值,来判定单桩竖向抗压承载力是否合格。

参考文献

[1] 高翔. 微型桩设计及施工[J]. 工程勘察, 2003 (06): 31-33.
 [2] 张建初. 香港地区嵌岩H型钢桩的设计与施工[N]. 中国公路学报, 2007 (09): 74-77.
 [3] 何荣坚, 潘学. 澳门地区迷你桩施工技术[N]. 广东交通职业技术学院学报, 2014 (13): 32-35+82.
 [4] 建筑桩基技术规范: JGJ94-2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
 [5] 建筑基桩检测技术规范: JGJ106-2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.