

钢护筒复合桩基承载力研究

陈辅一

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730010)

摘要: 钢护筒常用于水中桩基施工的临时措施, 作为永久构造并考虑参与桩基受力, 研究钢护筒复合桩基的承载能力。以某座黄河桥为例, 对比计算钢护筒复合桩基和钢筋混凝土桩基在地震作用下的承载能力, 结果表明: 考虑钢护筒参与受力后, 桩基承载能力显著提升, 有效提升了高地震区桥梁桩基的抗震设计。为提高钢护筒复合桩基与承台连接的可靠性, 设计了一种钢护筒与承台的刚性锚固构造。

关键词: 钢护筒复合桩基; 承载能力; 腐蚀速率; 锚固构造

中图分类号: U443.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0245-03

Study on Bearing Capacity of Steel Casing Composite Pile Foundations

CHEN Fuyi

(Gansu Transportation Planning, Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730010, China)

Abstract: Steel casing is commonly used as a temporary measure for the construction of underwater pile foundation. It is designed as a permanent structure and considered to participate in pile foundation stress. The bearing capacity of steel casing composite pile foundation is studied. Taking a Yellow River bridge as an example, the bearing capacity of steel casing composite pile foundation and reinforced concrete pile foundation under earthquake action is compared and calculated. The results show that after considering the steel casing participating in the stress, the bearing capacity of pile foundation is significantly improved, which effectively solves the seismic design of bridge pile foundation in high earthquake areas. In order to improve the reliability of the connection between the steel casing composite pile foundation and the base slab, a rigid anchoring structure between the steel casing and the base slab is designed.

Keywords: steel casing composite pile foundation; bearing capacity; corrosion rate; anchoring structure

0 引言

桥梁水中桩基础多以钢护筒作为辅助措施, 目前多数工程设计中忽略了钢护筒效应, 设计时不考虑钢护筒参与受力。钢护筒桩基可视为钢筋混凝土桩周包裹钢管而成, 桩身会受到钢管的环箍作用, 当桩基受水平力作用时, 桩体表现出钢管—钢筋混凝土复合结构的受力特性, 因此钢护筒的存在会改变桩基的受力性能并提高其承载能力^[1-4]。

本文以黄河流域某桥梁工程为例, 建立桥梁有限元模型, 计算地震作用下的桩基内力, 分别设计等直径的钢筋混凝土桩基和钢护筒复合桩基, 通过对比2种形式桩基的承载能力, 当考虑钢护筒参与受力后桩基承载能力显著提高。

1 钢护筒复合桩基承载力计算

钢护筒复合桩基可按钢管混凝土压弯构件进行受力计算。当只有轴心压力和弯矩作用时可按下列公式计算^[5]:

当 $N/N_u \geq 0.255$ 时:

$$\frac{N}{N_u} + \frac{\beta_m M}{1.5M_u(1 - 0.4N/N'_e)} \leq 1 \quad (1)$$

当 $N/N_u < 0.255$ 时:

$$-\frac{N}{2.17N_u} + \frac{\beta_m M}{M_u(1 - 0.4N/N'_e)} \leq 1 \quad (2)$$

式中: N 、 M 分别为构件轴心压力及弯矩值; β_m 为等效弯矩系数; N_u 为轴压稳定承载力设计值; M_u 为受弯承载力设计值; N'_e 为计算系数。

2 钢护筒腐蚀速率及有效厚度的确定

钢护筒长期暴露在空气、水分或地层中, 在桥梁服役过程中会发生腐蚀, 设计时应考虑钢管在桥梁设计寿命周期内的腐蚀。钢管壁厚扣除腐蚀部分后

收稿日期: 2024-07-31

基金项目: 甘肃省科技计划(科技重大专项)(21ZD8JA003)

作者简介: 陈辅一(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事高速公路桥梁设计工作。

剩余的厚度作为钢管有效壁厚,在验算钢护筒桩基承载力时,应采用钢管的有效厚度进行计算。钢护筒复合桩基在设计时,应考虑钢管预留的腐蚀厚度,钢管预留腐蚀厚度可按式(3)计算:

$$\Delta\delta = V[(1 - P_1)t_1 + (t - t_1)] \quad (3)$$

式中: $\Delta\delta$ 为预留腐蚀厚度; V 为钢管的腐蚀速度; P_1 为保护措施的效果,如没有任何措施取 $P_1 = 0$; t_1 为施加保护年限; t 为钢管的设计年限。

钢管的腐蚀速度是确定钢管有效壁厚的前提。钢管腐蚀速度可在现场进行实测,无条件时可按文献[6]中所给出的建议值确定,海水环境中钢管桩单面年平均腐蚀速度可按表1取值。其他条件下,根据工程结构所处水位深度,当钢护筒位于平均低水位以上部位,年平均腐蚀速度可取0.06 mm/a;当钢护筒位于平均低水位以下,年平均腐蚀速度可取0.03 mm/a。

表1 海水环境中钢管单面年平均腐蚀速度

部位	$V/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$
大气区	0.05~0.10
浪溅区	0.20~0.50
水位变动区、水下区	0.12~0.20
泥下区	0.05

3 两种桩基形式的承载力对比

以某黄河大桥为例,建立结构有限元模型(见图1)。分别设计2种桩基形式:(1)钢筋混凝土桩基,桩径280 cm,主筋强度类型采用HRB500,主筋直径d32 mm,主筋共104根,配筋率1.36%,主筋每两根一束,束筋之间净距8.4 cm。箍筋采用HPB300,箍筋直径d12 mm,钢筋保护层厚度7.5 cm(见图2);(2)钢护筒桩基,桩径280 cm,钢护筒采用Q235,钢护筒外径280 cm,壁厚 $t=30$ mm,护筒内按最小配筋率0.5%布置48根d32 mm钢筋(见图3),钢护筒年平均腐蚀速率按0.05 mm/a,钢护筒计算有效壁厚 $t=25$ mm。分别计算地震作用下两种形式桩基内力及承载力,结果见表2。

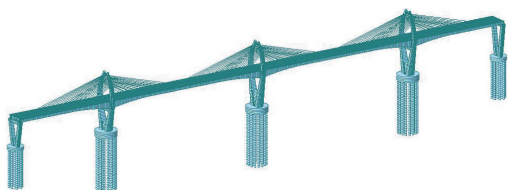


图1 有限元计算模型

通过计算结果可知,钢护筒桩基考虑钢管受力时,其承载力略高于钢筋混凝土桩基。由于钢护筒

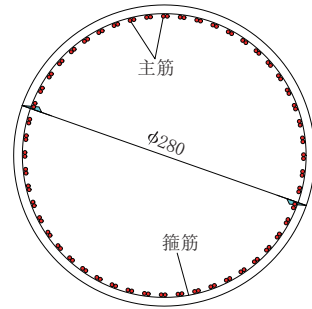


图2 钢筋混凝土桩基截面示意图

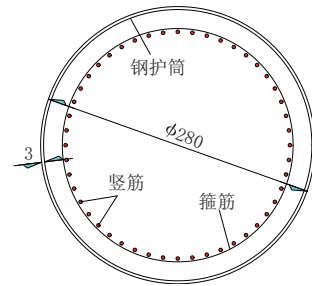


图3 钢护筒桩基截面示意图

表2 两种桩基形式的承载力计算结果

荷载组合	N/kN	$M/(\text{kN}\cdot\text{m})$	钢筋混凝土桩基 承载力/kN	钢护筒桩基 承载力/kN
荷载组合一	60 755	32 544	1.51	1.61
荷载组合二	63 692	30 111	1.53	1.63

设计需考虑制作加工及施工时不至发生过大变形及钢护筒的腐蚀问题,钢护筒在满足承载力要求的同时须满足构造最小壁厚的要求。通常钢护筒桩基护筒以下为普通钢筋混凝土桩基,须按构造布置钢筋且满足最小配筋率0.5%的要求。综上所述,钢护筒桩基考虑护筒参与受力后,桩基主筋用量可节约63%,因此,钢护筒作为桩基的永久构件,考虑其参与受力,可有效减少桩基配筋率,降低工程造价。

4 钢护筒与承台锚固构造设计

以往工程设计中,钢护筒仅作为桩基施工时的辅助措施,钢护筒端部简单埋入承台即可,无需考虑其锚固问题。为保证桩基承载力,将钢护筒作为桩基的受力构件,需要不削弱承台的承载力且能更好发挥钢护筒复合桩基承载力、保证承台与桩基之间的传力可靠,故此就需要研究钢护筒复核桩基与承台之间施工方便且可靠度高的锚固方式。

工程中应用到的承台与钢护筒锚固形式有预埋钢筋、预埋钢板带及预应力钢筋锚固。钢筋预埋法即在护筒顶缘处设置一块承压钢板,承压钢板上根据设计焊接满足锚固力需求的钢筋,但通常情况下由于锚固钢板面积有限,所以锚固钢筋的焊接数量

也有限(见图4)。预埋钢板带的方法即将深入承台混凝土中的钢管切割成钢板带,并在钢板带上焊接补强钢筋,利用钢板带的形式可以有效解决承台钢筋布置时与钢护筒的干扰问题,但此方法本质与预埋钢筋类似(见图5)。预应力钢筋锚固形式类似预埋钢筋的方式,是将预应力钢筋一端锚固到锚固钢板上,另一端在靠近承台顶缘进行张拉锚固。

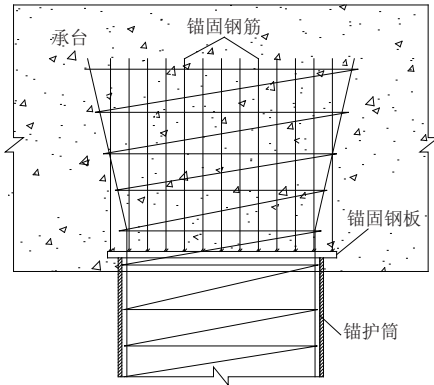


图4 钢筋锚固板连接构造

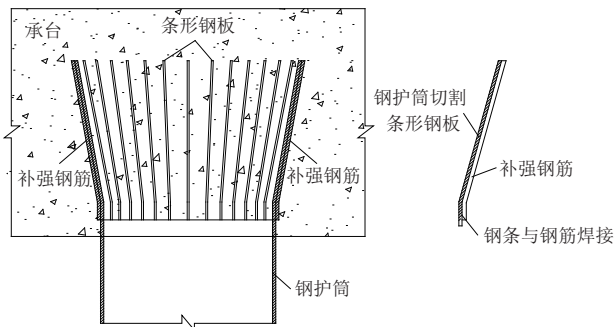


图5 钢板带连接构造

上述锚固方式均可视为柔性锚固,钢护筒深入承台距离仅满足一般的施工构造要求即可。而对于高地震区的桥梁桩基础,因其承受较大的弯矩,应考虑更加可靠的刚性锚固方式。根据对实际工程项目进行研究,设计了一种承台与钢护筒的锚固方式(见图6)。通常在水中利用钢护筒施工完成桩基础后,将多出承台底面的钢护筒进行切割,而本文设计的锚固构造在钢护筒顶缘预留 $1.5\sim 2.0D$ 的长度(D 为钢护筒外径),将该部分护筒完全浇筑于承台混凝土中;为保证钢护筒与承台混凝土具有足够的锚固力,在钢护筒外侧均匀焊接剪力钉。钢护筒顶缘焊接承压钢板,并在承压钢板上方布置若干层钢筋网,以此提高承台顶部混凝土的承压能力,使得桥墩竖向力能更好地传递到桩基,承压板处设置过浆孔以保证护筒内桩基混凝土浇灌密实。为解决承台底缘钢筋与钢护筒相互干扰的问题,钢护筒外侧焊接钢筋连接钢板,使承台钢筋与钢筋连接钢板等强度焊接,从而使得钢筋传力连续。

筋网,以此提高承台顶部混凝土的承压能力,使得桥墩竖向力能更好地传递到桩基,承压板处设置过浆孔以保证护筒内桩基混凝土浇灌密实。为解决承台底缘钢筋与钢护筒相互干扰的问题,钢护筒外侧焊接钢筋连接钢板,使承台钢筋与钢筋连接钢板等强度焊接,从而使得钢筋传力连续。

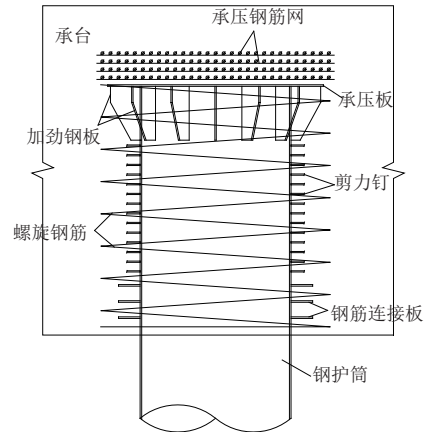


图6 刚性锚固构造

5 结语

钢护筒复合桩基设计时,考虑钢护筒参与受力,与普通钢筋混凝土桩基进行抗震作用下的承载力对比,结果表明,考虑钢护筒参与受力后,桩基承载力明显提升,可大幅减小混凝土桩基的配筋率,降低工程造价。为更好地发挥钢护筒复合桩基的受力性能,设计了一种钢护筒与承台的锚固构造设计,可提高钢护筒与承台连接的可靠性,在高地震区可以更好地传递荷载。

参考文献:

- [1] 黄亮生,冯向宇.钢护筒参与桩身受力的构造处理和计算分析[J].结构工程师,2005,21(4):52-55.
- [2] 焦刘圆,路迪,王大会.钻孔灌注桩永久性钢护筒施工工艺探讨[J].公路,2020(6):57-60.
- [3] 黄泰鑫,原学明,李孟然.永久性钢护筒参与受力的桩基抗震性能研究[J].中外公路,2015,35(4):196-198.
- [4] 刘建国.考虑滑移损伤效应的大尺度钢护筒-钢筋混凝土组合构件工作性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.
- [5] GB 50936—2014,钢管混凝土结构技术规范[S].
- [6] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].