

文章编号: 1674—8247(2019)03—0016—03
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.004

马来西亚东海岸铁路桥梁基础形式研究

康银庚

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘 要:文章结合马来西亚东海岸铁路现场实际情况,综合对比 PHC 管桩及钻孔灌注桩两种常用桥梁桩基础形式的优缺点;根据 BS5400、BS8004 等英国标准及马来西亚当地设计习惯,进行桩基单桩承载力计算,选取 10 m 墩高的墩底荷载值及 6 种典型的地质资料对两种桩基础形式进行设计,从工程数量及综合造价进行了对比分析。研究表明:(1)在软土地区,采用 PHC 管桩基础不仅能节约 30% 左右投资,而且施工效率高、工期短、质量更可靠;(2)在地质条件较好的地区,采用钻孔灌注桩优势更明显。通过研究,为项目桩基础选型提供了依据,同时可为其他工程设计提供参考。

关键词:桥梁; PHC 管桩; 钻孔灌注桩; 承载力; 综合造价

中图分类号:U442.1 **文献标志码:**A

Study on Malaysia East Coast Railway Bridge Foundation Form

KANG Yingeng

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract:Based on the site actual situation of Malaysia east coast railway, the comparison and analysis of the advantages and disadvantages of PHC piles and bored piles and British Standards such as BS5400 and BS8004 as well as local design custom, the bearing capacity of single pile is calculated, the load value of the bottom of the pier with the height of 10m and six kinds of typical geological data are selected to design the two types of pile foundation, the quantity and comprehensive cost of the project are compared and analyzed. The result of the study shows that in soft soil area, the use of PHC pile can not only save about 30% of investment, but also increases construction efficiency, reduce construction duration and make the quality more reliable. However, at areas with better geological conditions, the advantage of bored pile is more obvious. The study will provide design basis for the selection of pile foundation and a reference for other projects.

Key words:bridge; PHC pile; bored pile; bearing capacity; comprehensive cost

PHC 管桩及钻孔灌注桩作为桥梁设计中两种常用的桩基础形式,有其各自的优缺点和适用性。为节约工程投资,加快施工速度,确定合理的桥梁基础形式至关重要。

马来西亚东海岸铁路项目位于马来西亚东部滨海带和中央山地带,其中 300 km 左右位于滨海平原区,局部地段存在松软层,成因类型主要为冲洪积、海积、

沼泽相沉积、湖积、河流冲洪积及坡积,厚度一般大于 5.0 m。土性有淤泥质黏土、粉质黏土、粉土、黏土、粉砂、细砂等,颜色为浅灰色、棕色、黄褐色,黏性土呈流塑—软塑状态,砂类土呈松散状态。

本文首先从设计、施工及环保等角度综合对比 PHC 管桩与钻孔灌注桩的优、缺点。然后结合现场实际情况,选取 6 种典型地质资料,采用 32 m 简支梁

收稿日期:2018-05-14

作者简介:康银庚(1986-),男,工程师。

引文格式:康银庚. 马来西亚东海岸铁路桥梁基础形式研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):16-18.

KANG Yingeng. Study on Malaysia East Coast Railway Bridge Foundation Form[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 16-18.

10 m墩高的墩底外力值,依据 BS5400^[1]、BS8004^[2]等英国标准及马来西亚当地设计习惯进行设计。最后综合对比其主要工程数量及造价,可为项目桥梁基础选型提供依据,同时可为其他项目提供工程借鉴。

1 桥梁基础形式对比分析

桥梁基础形式选用 PHC 管桩及钻孔灌注桩,对 2 种基础形式从设计、施工及环保等角度进行对比分析。

PHC 管桩是采用先张预应力法离心成型工艺,并经过 10 个大气压、180 ℃左右的蒸汽养护,制成的一种空心圆筒型混凝土预制构件^[3]。钻孔灌注桩则是在设计桩位上现场钻孔,然后吊放钢筋笼,浇注混凝土而成的^[4]。两者因其施工工艺不同,所用材料不同,具有明显的区别。

PHC 管桩是经严格的工厂标准化程序生产出来的,桩身质量可靠,施工速度快、工效高、工期短,现场施工工作较少,无泥浆、钻渣等废弃物,成桩质量较可靠。但采用锤击法施工时,现场噪音大、震动强;静压法施工机械笨重,进出场搬运不方便^[5]。同时 PHC 管桩具有强烈的挤土效应,打桩深度受限制,对地质要求较高,灵活性较差^[6]。

钻孔灌注桩环境适应性强,能钻透较为复杂的地层,将桩端嵌入岩层;施工时噪音小、无震动、地面无侧移;可以承受较大的水平荷载,具有较好的抗震性能。但因其现场施工工艺复杂,成桩质量难以控制,易发生缩径、断桩、桩身混凝土离析等质量事故,且桩底沉渣难以清理,影响桩端承载力^[7]。

2 单桩竖向承载力计算简介

本项目位于马来西亚,结构计算需采用英国标准,对于非嵌岩桩,与中国基于经验表格查取土的极限摩阻力 f_t 计算桩周摩阻力不同^[8],当地采用基于原位测试成果(SPT)与桩基承载力参数间的关系式来确定桩周摩阻力^[9]。本文利用修正的 Meyerhoff(1976)公式,并结合当地工程经验,单桩竖向受压承载力计算公式如下:

单桩竖向受压承载力:

$$Q = \frac{Q_s}{2} + \frac{Q_b}{3} \quad (1)$$

对于非黏性土:

$$Q_s = K_s \times N \times A_s \quad (2)$$

$$Q_b = K_b \times N_b \times A_b \quad (3)$$

对于黏性土:

$$Q_s = \alpha_c \times C_u \times A_s \quad (4)$$

$$Q_b = 9 \times C_u \times A_b \quad (5)$$

式中: Q ——设计单桩轴向承载力(kN);

Q_s ——桩周土极限侧向摩阻力(kN);

Q_b ——桩端极限承载力(kN);

K_s ——非黏性土经验系数;

N ——桩周土层标准贯入试验(SPT)值;

A_s ——桩周面积(m^2);

K_b ——非黏性土经验系数;

N_b ——桩端土层标准贯入试验(SPT)值;

A_b ——桩底面积(m^2);

α_c ——黏性土黏合系数;

C_u ——黏性土的无排水剪切强度(kPa)。

对于嵌岩桩,按照 Rosenberg & Journaux (1978)、Horvath (1978)及 Williams & Pells (1981)所推荐的岩石单轴抗压强度与相关承载力参数间的经验关系来确定:

$$Q_s = \alpha \times \beta \times q_{uc} \times A_s \quad (6)$$

$$Q_b = q_{uc} \times (RQD)^2 \times A_b \quad (7)$$

式中: q_{uc} ——岩石无侧限抗压强度(kPa);

α ——基于 q_{uc} 的折减系数;

β ——基于 RQD 的折减系数;

RQD ——岩石质量指标。

其余参数同上。

3 综合造价比较分析

本文结合全线地质情况,选取 6 处典型地质资料分别采用 PHC 管桩和钻孔灌注桩进行计算,综合对比其工程数量。地质柱状图,如图 1 所示。

通过图 1 可以看出,1 号、2 号地质条件较差,表层 25 m 范围内为流塑的淤泥及软硬塑的黏土,25 m 以下多为中密的砂层,钻孔至 60 m 未见基岩;3 号、4 号地质条件稍好,表层多为硬塑的黏土及中密的砂层,钻孔至 40 m 左右可见风化的岩层;5 号、6 号地质条件较好,表层多为硬塑的黏土,钻孔至 25 m 左右即可见风化的花岗岩。

通过与当地管桩公司的调研,马来西亚桥梁工程较多采用的是直径 0.6 m 的 PHC 管桩,且其运输、吊装方便,其余尺寸的管桩施工机械及设备较少,因此本文选用直径 0.6 m 的 PHC 管桩与直径 1.0 m 的钻孔灌注桩进行对比分析。

根据不同的地质资料,首先利用 Bowles(1996)^[10]提出的压缩模量 E_s 与标准贯入度 N 的关系计算各土层的 E_s 值,再利用 Glick(1948)^[11]提出的横向弹簧刚度 k_s 与压缩模量 E_s 的关系公式计算各土层的 k_s 值。然后选取 32 m 简支梁 10 m 墩高的墩底外力,利

用 MIDAS^[12-13] 软件, 分别建立直径 0.6 m 的 PHC 管桩模型和直径 1.0 m 的钻孔灌注桩模型。在满足墩顶刚度的前提下, 综合布置桩基形式, 并计算得到最大单

桩承载力。再通过自编 EXCEL 表格按照上述单桩竖向承载力计算公式, 算得各地质情况下, 两种桩基形式的主要工程数量及综合造价对比, 如表 1 所示。

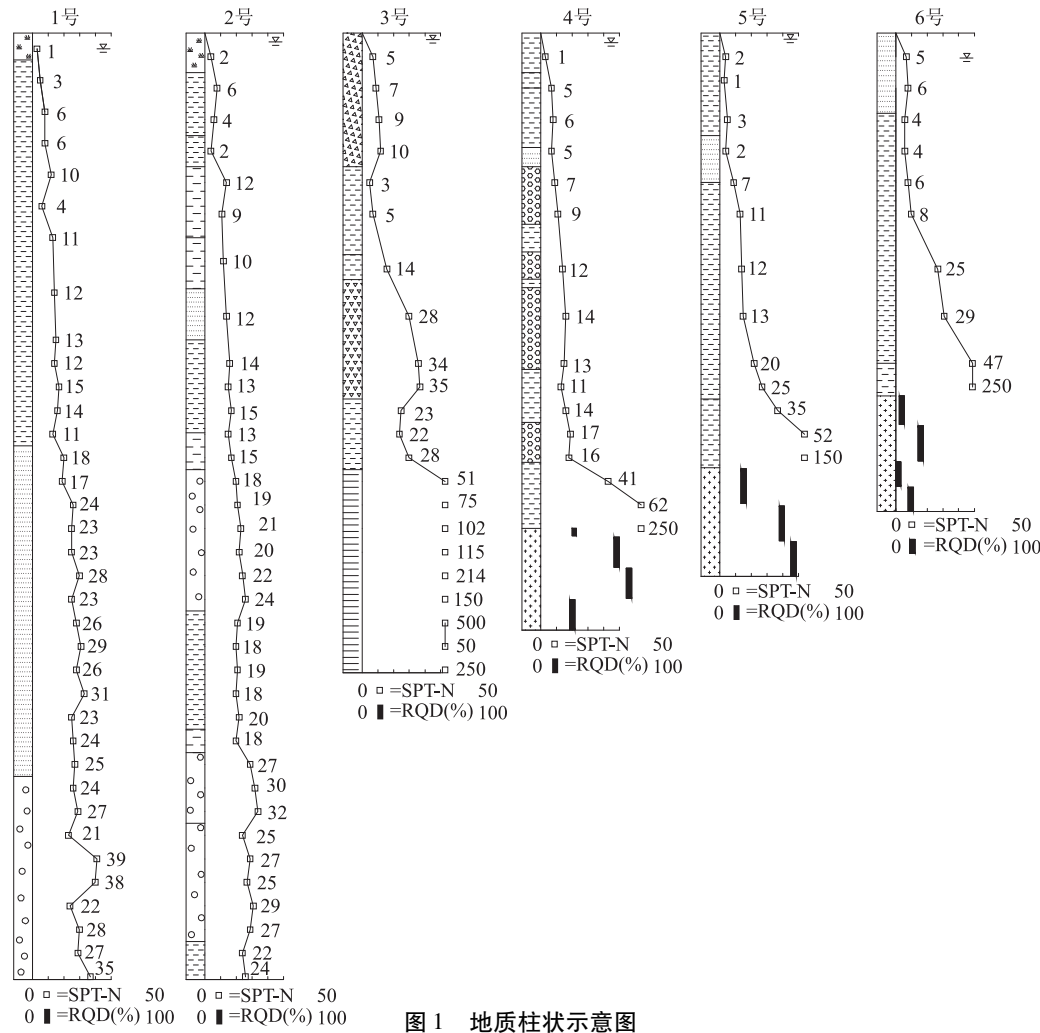


图 1 地质柱状示意图

表 1 主要工程数量及综合造价对比表

项目	1 号地质资料		2 号地质资料		3 号地质资料		4 号地质资料		5 号地质资料		6 号地质资料	
	钻孔桩	管桩	钻孔桩	管桩	钻孔桩	管桩	钻孔桩	管桩	钻孔桩	管桩	钻孔桩	管桩
桩根数/根	8	20	8	20	8	20	8	20	8	20	8	20
单根桩长/m	61	29	69	33	36	21	36	28	32	24	28	21
总桩长/m	488	580	552	660	288	420	288	560	256	480	224	420
单桩承载力设计值/kPa	4 132	1 678	4 164	1 742	4 351	1 715	4 196	1 730	4 183	1 690	4 176	1 745
桩基混凝土/m ³	383.3	111.3	433.5	126.7	226.2	80.6	226.2	107.5	201.1	92.1	175.9	80.6
承台混凝土/m ³	99.8	138.6	99.8	138.6	99.8	138.6	99.8	138.6	99.8	138.6	99.8	138.6
综合造价/万元	79.00	53.50	77.82	58.53	53.42	43.61	54.96	52.25	46.24	47.22	41.70	43.45
节省投资比例/%	32.3		24.8		18.4		4.9		-2.1		-4.2	

4 结论

本文选取 6 种典型的地质资料, 采用全线常用的 32 m 简支梁 10 m 墩高的墩底外力, 分别按照钻孔灌注桩及 PHC 管桩进行设计, 并对综合造价进行对比, 通过本文的分析可以得出以下结论:

- (1) 在软土地区, 采用 PHC 管桩可节省造价约 30% 左右, 同时可有效避免钻孔灌注桩施工时容易出现的塌孔、缩径、断桩等工程质量问题。
- (2) 随着地质条件逐渐变好, PHC 管桩的成本优势逐渐减弱。

(下转第 45 页)

参考文献:

[1] 唐超,姚令侃,孙晓丹. 穿越断裂带线路地表变形震害模式分析与定线策略[J]. 铁道标准设计, 2011, 55(9):12-16.
TANG Chao, YAO Lingkan, SUN Xiaodan. Earthquake Surface Deformation Damage Mode Analysis and Route Design Strategy for Railways acrossing Fault Zone[J]. Railway Standard Design, 2011, 55(9): 12-16.

[2] 张会刚,付开隆,张广泽,等. 小江活动断裂对渝昆铁路选线的影响及评价[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(1):60-63.
ZHANG Huigang, FU Kailong, ZHANG Guangze, et al. Evaluation of the Effect of Xiaojiang Active Fault on Route Selection of Chongqing-Kunming High Speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(1): 60-63.

[3] 王栋,张广泽,蒋良文,等. 川藏铁路成康段活动断裂工程效应及地质选线[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(10):6-11.
WANG Dong, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen, et al. Engineering Effect of Active Fault and Geological Alignment of Chengdu to Kangding in Sichuan-Tibet Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(10): 6-11.

[4] ZHANG Yuanze, RepluMaz A, WANG Guocan, et al. Timing and Rate of Exhumation along the Litang Fault System, Implication for Fault Re-organization in South East Tibet [J]. Tectonics, 2015, 34(6): 1219-1243.

[5] 段建中,谭筱虹. 滇西三江地区新生代主要走滑断裂性质及特征[J]. 云南地质, 2000, 19(1):8-23.
DUAN Jianzhong, TAN Xiaohong. The Nature and Feature of Cenozoic Main Strike-slip Fault in the Three-river Area of West Yunnan[J]. Yunnan Geology, 2000, 19(1): 8-23.

[6] 常祖峰,张艳凤,李鉴林,等. 德钦-中甸-大具断裂晚第四纪活动的地质与地貌表现[J]. 地震研究, 2014, 37(1): 46-52.
CHANG Zufeng, ZHANG Yanfeng, LI Jianlin, et al. The Geological and Geomorphic Characteristic of Late Quaternary Activity of the Deqin-Zhongdian-Daju Fault [J]. Journal of SeisMological Research, 2014, 37(1): 46-52.

[7] 吴薇薇,龙锋,杨建思,等. 2013年川滇交界香格里拉一得荣震群序列的重新定位、震源机制及发震构造[J]. 地球物理学报, 2015, 58(5): 1584-1596.
WU Weiwei, LONG Feng, YANG Jiansi, et al. Relocation, Focal Mechanisms and Seismogenic Structure of the 2013 Shangrila-Dêrong Earthquake Swarm Sequence in the Yunnan-Sichuan Border Region [J]. Chinese Journal of Geophics, 2015, 58(5): 1584-1596.

[8] 邓起东,于贵华,叶文华. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[M]. 北京:地震出版社,1992.
DENG Qidong, YU Guihua, YE Wenhua. Research on the Relationship between Surface Rupture Parameter and Magnitude of Earthquake [M]. Beijing: Seismological Press, 1992.

(编辑:刘会娟 张红英)

(上接第18页)

(3)当岩层埋深较浅、上层地质条件较好时,钻孔灌注桩反而更具成本优势。同时,因SPT值变大、土质变硬,此时PHC管桩的施打难度也相应增加,建议优先选用钻孔灌注桩。

参考文献:

[1] BS5400 Steel, Concrete and Composite Bridges-Part4: Code of Practice for Design of Concrete Bridges[S].

[2] BS8004 Code of Practice for Foundations[S].

[3] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.
SHI Peidong. Practical Pile Foundation Engineering Manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.

[4] 刘恩典. 钻孔灌注桩施工技术与质量控制研究[D]. 武汉:华中科技大学,2005.
LIU Endian. Study on Construction Technology and Quality Control of Bored Piles [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.

[5] 李甫,王离. 浅析锤击管桩与静压管桩的若干区别[J]. 广东土木与建筑,2004,32(7):19-20.
LI Fu, WANG Li. A Brief Analysis of Several Differences between Hammer Pipe Pile and Static Pressure Pipe Pile [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2004, 32(7): 19-20.

[6] 杨志锋. 预应力管桩挤土效应研究及工程实测分析[D]. 天津:天津大学,2011.
YANG Zhifeng. Study on the Squeezing Effect of Prestressed Pipe Pile

and Its Engineering Measurement Analysis [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.

[7] 姜正平,明维,周展钊,等. PHC管桩与钻孔灌注桩的分析与对比[J]. 混凝土与水泥制品,2015,42(10):39-43.
JIANG Zhengping, MING Wei, ZHOU Zhanzhao, et al. Analysis and Comparison of PHC Pipe Pile and Bored Pile[J]. China Concrete and Cement Products, 2015, 42(10): 39-43.

[8] TB 10093-2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
TB 10093-2017 Code for Design of Foundation of Railway Bridges and Culverts [S].

[9] 吴晓东. 单桩竖向承载力参数确定方法探讨[J]. 建筑工程技术与设计,2014,2(9):940-942.
WU Xiaodong. Determination of Vertical Bearing Capacity Parameters of Single Pile [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2014, 2(9): 940-942.

[10] BOWLES, P. E. Foundation Analysis and Design[M]. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc. 1996.

[11] GLICK, G. W. Influence of Soft Ground in the Design of Long Piles. 2ndICSMFE, VOL. 4, 1948:84-88.

[12] 葛俊颖. 桥梁工程软件midas Civil使用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
GE Junying. Guide for the Use of Bridge Engineering Software MIDAS Civil [M]. Beijing: China Communications Press, 2013.

[13] 刘美兰. Midas Civil在桥梁结构分析中的应用(一)[M]. 北京:人民交通出版社,2012.
LIU Meilan. Application of Midas Civil in Bridge Structure Analysis (1) [M]. Beijing: China Communications Press, 2012.

(编辑:赵立红 苏玲梅)