



预制桩在岩石地基中的应用

顾列平

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

摘要: 在淤泥层较厚持力层为岩石地基的地质条件下, 常采用冲、钻孔灌注桩嵌岩, 但在施工过程中塌方塌孔严重、安全性差, 如何突破预制桩本身具有无法穿过孤石和滚石的特性, 实现嵌岩是工程中需要研究的问题。结合实际工程设计与施工, 根据工程地质和荷载情况, 通过采用不同的桩体及桩靴形式, 成功实现预制桩在岩石地基中嵌岩的目标。

关键词: 预制桩; 岩石地基; 嵌岩

中图分类号: U 655.55*1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0152-06

Application of precast pile to rock foundation

GU Lie-ping

(China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: It is common to use punching cast-in-place pile or drilling one to embed into rock under the geologic circumstances that silt stratification is thick and supporting course is rock foundation. However, safety issues including cave in and collapse arise in the process of construction. Therefore, breaking through the bottleneck that the precast pile can not cross the boulder and stonefall to realize rock embedment is an issue to needing study in the engineering. Combining the engineering design and actual construction, we adopt different types of piles and pile shoes and realize the embedment of the precast pile in the rock foundation.

Keywords: precast pile; rock foundation; embedded rock

福建马尾地区淤泥层较厚, 下卧土层由于承载力不够或下卧层厚度不能满足规范要求, 常需选用岩石层作持力层。为了满足嵌岩要求, 设计人员常常选用冲、钻孔灌注桩^[1-2], 但这种桩型在淤泥层厚的地区施工过程中塌方塌孔严重, 沉桩进度缓慢、安全性差, 给施工造成极大困难, 同时桩基费用亦相应增加。工程实践证明: 冲、钻孔灌注桩在这样的地质条件下不是最佳选择。如何突破预制桩本身具有无法穿过孤石和滚石的特性, 实现嵌岩是工程中需要研究的问题。设计根据本工程受力特点, 结合地质情况, 通过对船台水上滑道、船台和起重机轨道采用不同桩型和不同形式的钢桩靴预制桩方案, 成功实现预制桩在

岩石地基中嵌岩或穿入风化岩一定深度的目标。本工程预制桩在岩石地基中的成功应用, 对覆土较薄或淤泥层较厚、持力层为岩基的地区提供了有益的借鉴。

1 工程概况

福建马尾造船厂造船部分技术改造工程由船台工程^[3]、200 t 龙门起重机轨道工程与 60 t 门座起重机轨道工程、码头工程和总组平台等组成(图 1)。

船台长 200 m, 宽 35 m, 滑道总长 239 m, 其中伸入闽江 45 m 段称水上滑道段, 滑道中心距 7.5 m, 船台滑道总长 245 m, 坡度 1:20。

收稿日期: 2016-04-20

作者简介: 顾列平(1965—), 女, 高级工程师, 从事港口、船厂水工及地下工程设计研究工作。

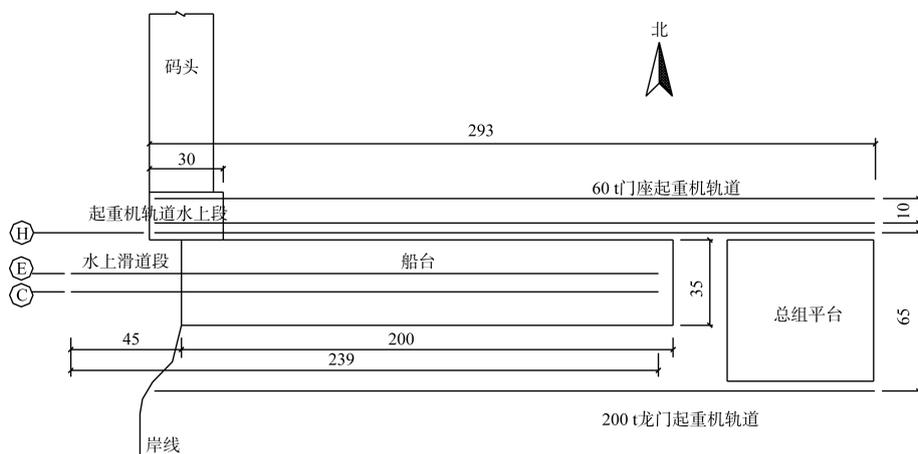


图1 工程总平面(单位:m)

船台南北两侧设置200 t龙门起重机轨道(轨道间距65 m),北侧设置60 t门座起重机轨道(轨道间距10 m),轨道总长293 m,其中在船台北侧有长30 m的起重机轨道伸入闽江,该段称起重机轨道水上段,由200 t龙门起重机轨道1根和60 t门座起重机轨道2根共同组成一平台。

2 工程地质特征

地质勘察报告揭示:地层自上而下有杂填土层、淤泥层、残积亚黏土混砂层,强风化晶屑凝灰熔岩层、中风化晶屑凝灰熔岩层、微风化晶屑凝灰熔岩层,土质情况如下。

杂填土层:以黏性土及淤泥质土为主,上部较干燥,下部很湿,稍密,土质较软,厚度从1.3~6.5 m。

淤泥层:为高压缩性土层,厚度变化较大,除个别孔缺失外,厚度0.65~30.90 m。

残积亚黏土混砂层:厚度变化大,分布不均,且下卧有淤泥质土,淤泥质土为软弱层,除6个孔缺失外均有分布,但厚度变化较大,为0.25~7.50 m,且软硬不均。

以上各层均不宜作本工程基础持力层。

强风化晶屑凝灰熔岩层:除2个孔缺失外均有分布,厚度变化较大,为0.15~10.10 m,且其岩面坡度大,有风化不均现象,不宜选作桩端持力层。

中风化和微风化岩层:强度高,承载力大,

只要桩端嵌入一定深度即可保证桩的稳定性,故以中风化岩和微风化岩作桩端持力层最为理想。

地质勘察报告写明:因预制桩无法穿过孤石和滚石且无法嵌岩,而沉管桩无法嵌岩,也无法沉入40 m深以下,故可排除预制桩和沉管桩。建议选用冲、钻孔灌注桩,它可穿透孤石(滚石),也可嵌岩,是该工程桩基较合适的桩型。

3 工程难点

从地质勘察报告可知,本工程位置地质复杂,淤泥层厚度大,平均厚度大于25 m,而残积亚黏土混砂层太薄不能作为持力层,只能选择岩石层作持力层。地质勘察报告明确建议选用冲、钻孔灌注桩,以便于桩穿透孤石(滚石),同时可嵌岩,但工厂在其他工程中曾采用过冲、钻孔灌注桩,由于场区淤泥层太厚,施工过程中塌方塌孔严重,施工难度极大,造成桩基费用亦相应增加,沉桩进度缓慢,安全性差,工厂的工程实践证明冲、钻孔灌注桩在这样的地质条件下不是最佳选择。

工程场地的持力层岩面起伏坡度大,甚至出现悬崖状地形变化,同时岩层厚度变化亦很大,且多处出现强风化岩层中夹中风化岩层。如此复杂的地形,打桩对桩长及进入持力层深度极难控制。

在这样的地质条件下,如何在岩石地基中突破预制桩本身具有无法穿过孤石和滚石的特性,

实现嵌岩，如何控制沉桩和持力层深度，是本工程需要研究解决的问题。

4 技术措施

4.1 设计桩型选择

设计根据工程受力特点，结合地质情况，分别对船台水上滑道、船台和起重机轨道采用不同桩型、不同形式的钢桩靴预制桩方案。

船台水上滑道(图2)伸入闽江约45 m，滑道处于主航道一侧，为防止工程建成后造成航道淤积，设计选用透水性强的桩基方案，沿滑道轴线单根设置。从图中可以看出该区域持力层上部覆盖层较薄，滑道至覆土层表面自由长度大(最大自

由长度达7 m，见图2b)最左端第1根桩)，为确保桩身稳定，桩必须进入中风化岩一定深度，实现嵌岩。设计采用2种保证措施：一是防止在打桩过程中会有部分桩无法打入中风化岩，设计选用 $\phi 1\ 000\text{ mm}$ PHC空心管桩，空心部分内径 $\phi 740\text{ mm}$ ，一旦桩没有进入预期深度，可利用空心部分，以钻机在桩空心部位钻岩至中风化岩面，实现嵌岩；二是增加打桩过程中桩的自身穿透性，设计采用带钢管桩钢桩靴方案，钢桩靴长度2 m，以期桩尖顺利进入中风化岩2 m，钢管桩内径 $\phi 740\text{ mm}$ 与PHC桩空心部分一致，当桩没有进入预期深度，以钻机在桩空心部位钻岩至中风化岩面下2 m，下钢筋笼，灌注混凝土，确保实现嵌岩。

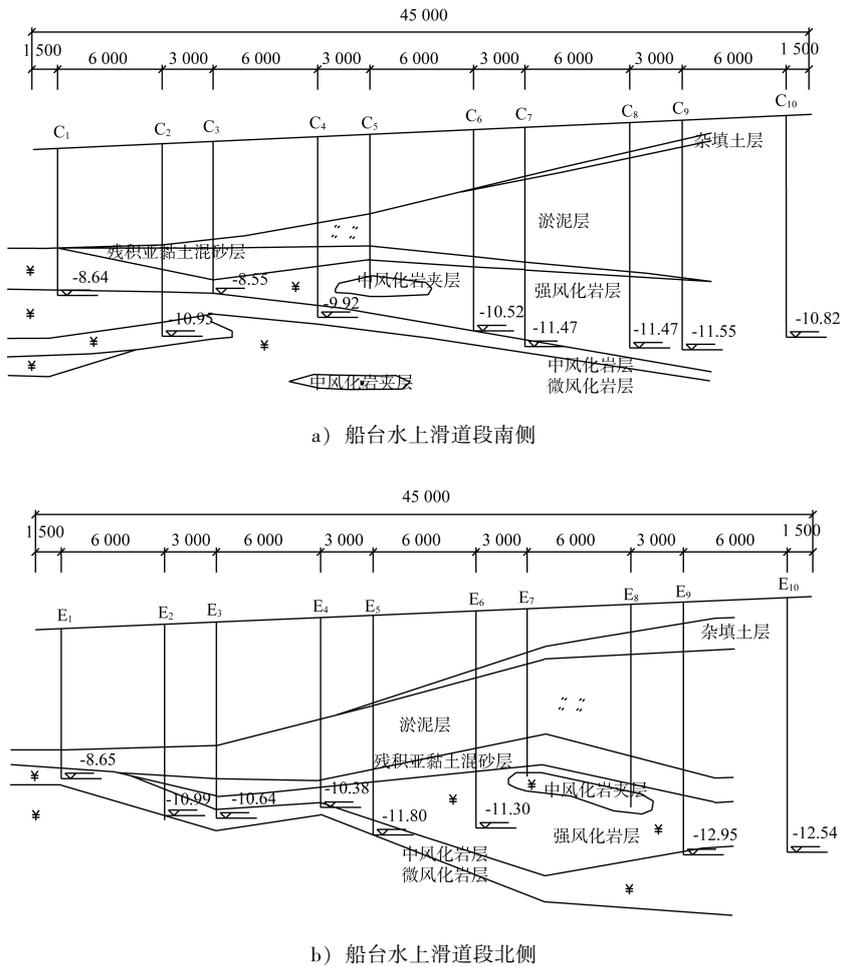


图2 钢管桩钢桩靴(尺寸: mm; 高程: m。下同)

起重机轨道(水上段)(图3)伸入闽江30 m，同时起靠船作用。桩基采用直桩与叉桩共同作用，选择600 mm×600 mm钢筋混凝土预制方桩，因为

要承受水平力，桩基必须嵌入中风化岩一定深度，以保证其稳定，故钢桩靴选用H型钢桩尖，以增加其穿透力。

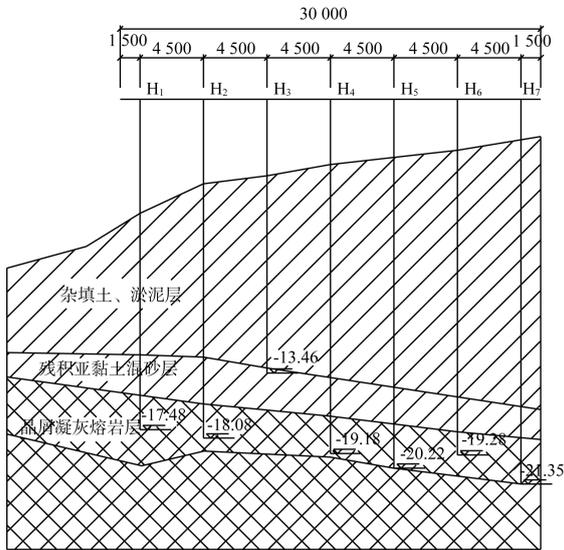


图 3 起重机轨道水上段 H 钢桩靴

船台、起重机轨道(陆上段)(图 4)荷载大, 受力特点为垂直向受力, 持力层埋深较深。故选择 600 mm×600 mm 钢筋混凝土预制方桩, 为便于穿透复杂夹层, 桩靴采用四周包角钢形式, 以增加其穿透能力。

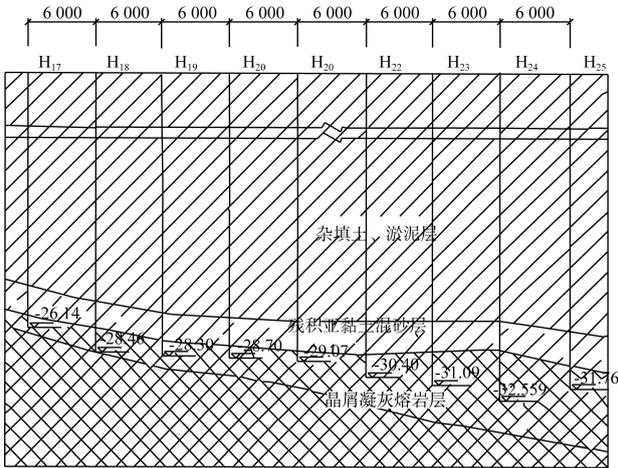


图 4 船台、起重机轨道陆上段四周包角钢钢桩靴

4.2 设计对沉桩控制要求

因岩面起伏变化大, 无法以桩尖高程控制沉桩, 故设计要求沉桩以贯入度控制。钢管桩钢桩靴和 H 型钢桩靴要求贯入度不大于 30 mm 每 10 击; 四周包角钢钢桩靴要求贯入度不大于 35 mm 每 10 击。

沉桩过程需控制好桩身垂直度, 为避免打桩过程中的倾斜, 要求尽量不使用送桩器。

为验证沉桩设备性能、桩身结构强度、贯入

度的控制要求与地质情况是否相适应, 沉桩前需进行沉桩试验。

由于地质复杂, 为保证沉桩效果、检测桩身质量, 在沉桩过程中选择重要部位和代表桩型进行物探和动测检测, 为判断沉桩是否满足设计要求提供依据。

5 工程应用分析

在沉桩过程中根据物探^[4]和动测数据^[5]结合地质报告对比, 对沉桩过程包括停锤贯入度和贯入度控制、桩尖进入持力层的位置及深度进行分析, 综合确定采用不同钢桩靴的预制桩是否满足设计要求。

5.1 沉桩数据

3 种钢桩靴桩尖进入基岩沉桩控制数据见表 1。

表 1 3 种钢桩靴桩尖进入基岩沉桩控制数据

钢桩靴形式	桩编号	总捶击数/击	停锤贯入度/mm	贯入度 ≤3mm 的捶击数	贯入度 ≤3.5mm 的捶击数
钢管桩钢桩靴	C ₁	331	2.0	80	
	C ₂	490	2.0	80	
	C ₃	249	2.0	190	
	C ₈	526	1.0	170	
	C ₁₀	300	1.0	70	
	E ₁	142	1.0	40	
	E ₂	284	1.0	90	
	E ₃	233	2.0	30	
	E ₉	629	2.0	330	
	E ₁₀	588	2.0	200	
H 型钢桩靴	H ₁	144	2.1	30	
	H ₂	157	3.0	10	
	H ₃	354	1.9	31	
	H ₄	254	2.5	32	
	H ₅	219	2.0	38	
包角钢桩靴	H ₁₈	400	3.3		30
	H ₁₉	264	3.3		15
	H ₂₀	719	3.1		16
	H ₂₁	508	3.1		16
	H ₂₂	648	3.5		23

表中仅抽取与图 2~4 中对应的部分桩的沉桩数据。表中桩编号从 C₁~E₁₀ 为钢管桩钢桩靴, H₁~H₅ 为 H 型钢桩靴, H₁₈~H₂₂ 为包角钢钢桩靴; 其中编号为 C₈、C₁₀、E₉、H₃、H₅、H₁₈ 的桩进行

了 PDA 高应变检测。

5.2 沉桩控制和效果分析

5.2.1 钢管桩钢桩靴

本工程应用在船台水上滑道处,共 20 根 PHC 桩,沉桩采用 KB-60 柴油锤。在打桩过程中,按贯入度控制有部分桩未进入中风化岩,施工按照设计要求,以钻机在桩空心部位钻岩,下钢筋笼,灌注 C30 混凝土,利用 PHC 桩空心部位实现嵌岩目的。

根据实际沉桩情况结合地质勘察报告资料对比分析,采用钢管桩钢桩靴的预制桩有 11 根桩占总数的 55% 进入地质剖面揭示的中风化岩,有 3 个桩占总数的 15% 进入中风化岩夹层,有 6 根桩占总数的 30% 进入强风化岩深度很深或接近中风化岩面,满足承载力和嵌岩要求,达到预期效果(图 2)。

5.2.2 H 型钢桩靴

本工程应用在起重机轨道水上段,共 35 根 600 mm×600 mm 预应力混凝土方桩,沉桩采用 KB-60 柴油锤。

根据实际沉桩桩尖位置结合物探资料对比,除 1 根桩桩尖未进入风化岩,其余桩均进入强风化岩底或中风化岩面,造成此桩桩尖仅进入残积土层可能是岩面起伏较大,局部岩面抬高未显示出来,分析认为采用 H 型钢桩靴的预制桩在岩石地基中满足了承载力和嵌岩要求,达到预期效果(图 3)。图 3 中仅绘出荷载最大的 200 t 龙门起重机轨道下桩基。

5.2.3 四周包角钢桩靴

本工程应用在船台、起重机轨道陆上段,共 364 根 600 mm×600 mm 预应力混凝土方桩,沉桩采用 HD-1 型步履式打桩机,DM-62 柴油锤。

根据实际沉桩桩尖位置结合物探资料对比,桩基均进入强风化岩,达到预期效果(图 4)。图 4 中仅绘出荷载最大的 200 t 龙门起重机轨道下桩尖位置与物探资料对比情况。

5.2.4 沉桩效果对比

钢管桩钢桩靴、H 型钢桩靴、四周包角钢桩靴,从地质勘察报告和物探资料来看,桩尖绝

大部分均进入强风化岩底或中风化岩面,其中钢管桩钢桩靴穿透力最强,有约 70% 的桩进入地质剖面揭示的中风化岩或进入中风化岩夹层,满足工程嵌岩需要,保证桩身稳定。如果经济条件许可建议采用钢管桩钢桩靴,一旦桩未进入预期深度,可利用空心部分,以钻机在桩空心部位钻岩至中风化岩面,确保实现嵌岩。包角钢桩靴桩尖大部分进入晶屑凝灰熔岩一定深度,但较 H 型钢桩尖进入深度稍差,这 2 种钢桩靴形式建议应用在覆土较厚垂直向受力的工程中,可节省桩基成本。

5.3 桩身动测分析

5.3.1 测试方法和目的

采用 PDA 动测方法,测定单桩极限承载力及打桩过程中桩身完整性。

5.3.2 抽样数据

船台水上滑道段(钢管桩钢桩靴),预制 PHC 桩共 20 根,对其中的 C_8 、 C_{10} 、 E_9 桩进行 PDA 高应变检测,除 C_{10} 桩因清感器安装位置处局部混凝土松动导致检测数据有误外,另 2 根桩检测数据有效,占总数的 10%。

龙门起重机轨道水上段(H 型钢桩靴),预制方桩 35 根,其中 PDA 高应变检测桩 4 根,占总数的 11.4%。

船台、龙门起重机轨道陆上段(四周包角钢桩靴),预制方桩共 364 根;其中 PDA 高应变检测桩 22 根,占总数的 6.0%。

5.3.3 单桩极限承载力和桩身质量认定

按规范规定,动测桩检测数量不小于总桩数的 5% 且不少于 5 根,目前各区域、各种桩尖类型抽检数均大于规范要求,动测结果除 1 根桩因清感器安装位置处局部混凝土松动,造成数据有误外,其余各桩承载能力均满足设计要求,且桩身质量完好。

6 结语

1) 沉桩经物探、动测检测与地质报告对比分析,带钢桩靴的预制桩在岩石地基中满足了嵌岩

要求, 达到预期效果, 证明钢桩靴的设计是成功的。

2) 从动测报告反映桩身质量完好, 承载力满足设计要求, 证明沉桩以贯入度控制是合适的, 且贯入度的控制量较适中, 既满足设计要求, 又避免了因过分锤击造成桩身损坏。

3) 带钢桩靴的预制桩与冲、钻孔灌注桩相比, 施工简便速度快, 桩身质量易保证, 且整个施工场地较干净, 成功地避免了冲、钻孔灌注桩在较厚的淤泥质土层中施工时的塌方塌孔问题, 施工安全性强, 虽然增加了物探和动测检测, 在经济上该桩较冲钻孔桩仍节约费用约 10%。

4) 本工程预制桩在岩石地基中的成功应用, 为在覆土较薄或淤泥层较厚、持力层为岩基的地区的桩基设计提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [2] 中港第三航务工程局科学研究所. JTJ 285—2000 港口工程嵌岩桩设计与施工规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 中交天津港湾工程设计院有限公司. GB/T 8502—2005 纵向倾斜船台及滑道设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [4] DZ/T 0170—1997 浅层地震勘察技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [5] 中国建筑科学研究院, 中港第三航务工程局科学研究所. JGJ 106—2014 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 151 页)

3) 不同冲深条件下, 桩基础的位移值均较小, 这是由于模型整体刚度较大引起。在波浪作用下, 基础水平位移响应的纵向值大于横向值, 约为 3~6 倍。随着冲刷深度、水深的增大, 桩基础的位移幅值呈总体变大的趋势。

参考文献:

- [1] WARDHANA K, HADIPRIONO F C. Analysis of recent bridge failures in the United States [J]. Journal of performance of constructed facilities, 2003, 17 (3): 144-150.
- [2] LIANG F, BENNETT C R, PARSONS R L, et al. A literature review on behavior of scoured piles under Bridges [C]//International Foundation Congress & Equipment Expo 2009 Florida: [s.n.], 2014.
- [3] WANG Z H. Influence of scour effects on the seismic response of reinforced concrete bridges [J]. Engineering structures, 2014, 76: 202-214.
- [4] 王哲, 许四法, 庄迎春. 双排筒桩海堤受力性状分析[J].

岩土工程学报, 2011, 33(S 2): 367-372.

- [5] 吴加云, 徐伟, 邹建文. 特大型钢吊箱在波浪荷载作用下动力响应研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30: 234-237.
- [6] KONG X, CAI C S, HOU S. Scour effect on a single pile and development of corresponding scour monitoring methods[J]. Smart materials and structures, 2013, 22: 1-13.
- [7] 戴国亮, 龚维明, 沈景宁, 等. 东海大桥海上风电场基础波浪理论分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35: 456-461.
- [8] 南京水利科学研究院. JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [9] 交通运输部天津水运工程科学研究所. JTS/T 231-2—2001 海岸与河口潮流泥沙数值模拟技术规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [10] 贾承岳, 梁发云, 王玉. 冲刷深度对单桩自振频率影响的试验分析初探[J]. 结构工程师, 2013, 29(1): 114-117.
- [11] RICHARDSON E V, DAVIS S R. Evaluating scour at bridges[M]. Washington D C: Office of Bridge Technology, FHWA, 2001.

(本文编辑 郭雪珍)