

文章编号: 1002-0268 (2001) 06-0055-03

挖孔桩孔壁岩土动力参数探测和评价

苏兴钜

(福建省龙岩市高速公路建设指挥部 福建 龙岩 364000)

摘要: 介绍漳龙高速公路石崆山、建安关、九砂溪高架桥桩基爆破成孔后, 采用弹性波测试其孔壁岩土动力特性参数, 并将其结果与设计钻探资料比较, 为修正设计、改进施工工艺提供科学依据, 确保桩基结构的合理性和质量的可靠性。

关键词: 孔桩孔壁; 动力参数; 探测评价

中图分类号: U443.15

文献标识码: A

Digging Pile Blast Hole Wall Rock/soil Dynamic Parameters Detection and Assessment

SU Xing-ju

(Fujian Longyan Expressway Construction Headquarters Fujian Longyan 364000 China)

Abstract: After being shaped of the blast hole on the pile foundations of the viaducts of Shikongshan, Jiananguan and Jiushaxi of Zhang-Long expressway, the blast hole rock/soil dynamic parameters are detected with elastic wave, and the detected results are compared with those got from the design digging. The detection provides scientific basis for modification of the design and improvement of the construction technology, to ensure the rationality of the pile foundation structure and reliability of the quality.

Key words: Blast hole wall of digging pile; Dynamic parameter; Detection and assessment

1 工程概况

福建省漳龙高速公路起点漳州长洲, 终点龙岩龙门, 全长 117km。其中龙岩段 38.643km, 设计行车速度 80km/h, 路基宽度 23m, 总投资 22.5 亿元。工程分三期实施, 新祠至龙门一、二期工程 25.435km, 于 2000 年 1 月 18 日建成通车。三期工程石崆山至新祠 13.208km, 总投资 10.5 亿元。

漳龙高速公路龙岩段三期工程, 地形险恶, 地质复杂, 桥隧构造物约占总里程的 70%, 工程造价高达 8000 万元/km。石崆山至溪柄库区由石崆山 II 号、九砂溪箱梁连续刚构, 石崆山 I 号、建安关、如山头预应力混凝土连续 T 梁和溪柄钢筋混凝土箱拱桥组成, 桥梁总长达 4.4km。该桥沿两侧悬崖峭壁的狭隘山谷中布设, 最小平曲线半径 250.5m, 桥上最大纵坡达 4.7%, 最高桥墩 80.2m。该段高架桥桩基共 8553m/346 根, 除处于水库库区内的 40 根桩采用钻

孔灌注桩外, 其余 306 根均采用人工挖孔爆破法施工。

2 弹性波测试意义

弹性波是地基土动力特性测试项目之一, 目前已广泛应用于重大工程的工程勘察。在本段高速公路不仅应用于桩基成孔质量并壁强度的检测, 而且应用于出现病害隧道的拱顶空穴和隧道顶煤洞采空区位置的探测, 为病害处理提供了可靠的依据。

该桥因所属地形险峻、地质情况复杂, 施工条件极其恶劣, 若出现废桩, 无法进行抬桩或补桩处理, 只有在原位重新成桩, 为此必须对灌注桩的各个环节进行严控。目前对成桩后的桩基完整性和混凝土强度可采用超声波进行检测与评定, 桩基承载力可采用动静载试验测试等控制成桩后的质量。但桩基的事故有些是在成孔期间造成的, 成孔质量如何也将直接影响成桩质量。由于桩基成孔施工中的地质复杂性和混凝

土灌注的不可见性, 加大了其质量控制的难度。采用先进的弹性波检测仪测试成孔的桩基, 可对设计进行修正, 并为选择合理的施工方法和改进施工工艺提供科学依据。对控制桩基的工程质量状况, 保证结构的可靠性有着重要的意义。

该结构物所处地质较破碎、裂隙水丰富, 桩基挖孔施工时爆破效果差, 且过程控制不严, 班组随意爆破现象严重, 降低了桩基孔壁岩体的动力参数。为准确掌握爆破引起的岩土参数的降低情况, 1999 年 12 月对已达设计标高的 8 个孔桩进行了孔壁探测, 取得了相应的成果。

3 弹性波探测基本原理

由物理学可知, 岩石可抽象为弹性固体介质, 当弹性固体介质受到外力冲击时, 弹性体介质受到应力作用会产生应变, 在作用于介质的应力消失后, 应力和应变失去平衡, 应变就在介质中以弹性波的形式由介质中的质点依次向周围传播, 它对应着两种波动: 压缩波(纵波)和剪切波(横波)。岩石中波的传播速度, 表征岩石的物理力学特性, 因而为采用弹性波探测法探测岩石强度提供了地球物理前提。弹性波探测法就是利用岩石的固有性质(密度与弹性), 通过激发的弹性波的传播, 利用检波器记录它们传播到地面各接收点的时间, 并研究振动波的特性, 确定岩石的动力参数。

4 弹性波探测仪器设备

选用国家科学技术部、国家税务总局、对外贸易经济合作部、质量技术监督局、环境保护总局 5 个机关批准的国家重点新产品 SWS-G 型多功能多波工程勘探与工程检测仪。

配用 4Hz(剪切波探测)和 100Hz(压缩波探测)拾震器。探测时用粘合剂将拾震器与井壁岩石紧密耦合。触发器灵敏度、放大器及记录系统的分辨率均满足规范要求。

5 测试方法

第一批共探测了 8 个孔, 分别为石崆山 II 号右线高架桥 2 墩的 2-1、2-4, 建安关高架桥 45 墩的 45-2、46 墩的 46-2, 九砂溪高架桥 13 墩的 13-2、14 墩的 14-2、19 墩的 19-1、20 墩的 20-2。

对每一爆破孔沿井壁探测三条垂向剖面。被检测的井孔径达 2m, 具有沿井壁垂向逐点布置探测器的空间, 因此可采用波速检层法人工布点进行探测, 测

点间距取 1m, 由于部分孔壁已采用混凝土护壁, 所以护壁部分不需全部探测。但是应自上而下逐点探测, 才能准确计算波速值, 因此, 只取一条垂向剖面进行全孔逐点探测, 护壁以下位置只需要在护壁处探测 1m(即两点), 再往下依次逐点探测, 以确保资料的准确性。本次探测 24 条剖面, 共计 313 点。

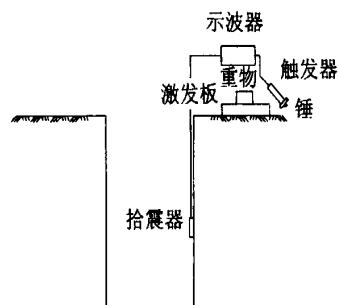


图 1 波速测试示意图

现场测试如图 1 所示。在距孔口水平距离为 L 的 S 处(1~3m)放置一与地面紧密耦合的板, 板的长向中垂线对准测试孔中心, 用大锤正、反向敲击产生振源, 拾震器用粘合剂与井壁探测点位上的岩石紧密耦合。然后轮流水平敲击木板两端, 可接收到极性相反的二组剪切波(横波 S), 用大锤中点垂向敲击木板, 使之产生压缩波(纵波 P)。仪器接收波到达时间, 则可分别计算出剪切波和压缩波速度。一个深度重复 2~4 次并检查波形无明显问题后, 将检波器换到另一深度处进行测试。

6 数据处理

6.1 波速计算

波速由水平、垂直检波器的记录, 分别可得到剪切波、压缩波从振源到每一测试深度的时间。并按式(1)对每一深度测得的时间作斜距校正

$$T' = \frac{H+H_0}{\sqrt{L^2 + (H+H_0)^2}} \times T_L \quad (1)$$

式中, T' 为校正后的时间压缩波或剪切波从振源到达测点经斜距校正后的时间, s; H 为测点深度, m; H_0 为激发板(振源)与孔口的高差, 当 H_0 低于孔口时为负, m; L 为振源(板中心)到测试孔的水平距离, m; T_L 为剪切波或压缩波从振源到达测点的实测时间(初至时间), s。

绘制时间曲线图, 以深度 H 为纵坐标, 时间为横坐标。波速层的划分, 应结合地质情况, 按时距曲线上具有不同斜率的折线段确定, 见图 2。每一层波速层的压缩波或剪切波波速, 应按下式计算

$$V = \Delta H / \Delta T \quad (2)$$

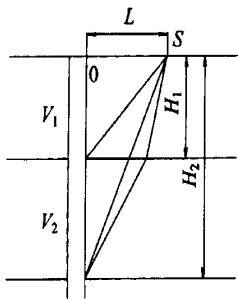


图2 波速行程计算图

式中， V 为波速层的压缩波或剪切波波速， m/s ； ΔH 为波速层厚度， m ； ΔT 为压缩波或剪切波传到波速层顶面的时间差， s 。

6.2 地基土动力参数

地基土的动力参数，根据实测地基土的剪切波速 V_s 和压缩波 V_p ，可计算剪切模量 G 、泊松比系数 ν 和弹性模量 E ，计算公式如下

$$G = \rho V_s^2 \tag{3}$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \tag{4}$$

$$E = 2(V_p + \nu)\rho V_s^2 \tag{5}$$

式中， G 为剪切模量， MPa ； ν 为泊松比系数； ρ 为地基的质量密度， t/m^3 ； V_p 为压缩波波速， m/s ； V_s 为剪切波波速， m/s ； E 为弹性模量， MPa 。

地基土的抗压强度 R 和抗剪强度 τ 可根据地基土的物理力学指标性质计算得到。

7 实测成果

现以九砂溪高架桥13#墩13-2桩基孔壁剖面I偏距 $S=1.5\text{m}$ 的检测结果为实例列于表1。表中 t 为走时， V_p 为压缩波波速， V_s 为剪切波波速， E 为弹性模量， G 为剪切模量， R 为抗压强度， τ 为抗剪强度（井壁岩石原位强度）。实测成果的波速曲线图和强度曲线图见图3和图4。

表1

深度 (m)	压缩波		剪切波		E $10^4(\text{MPa})$	G $10^4(\text{MPa})$	R (MPa)	τ (MPa)
	$t(\text{ms})$	$V_p(\text{m/s})$	$t(\text{ms})$	$V_s(\text{m/s})$				
6	5.00	1237	7.85	788	0.3798	0.1639	7.60	0.59
7	5.76	1280	9.06	804	0.4008	0.1707	8.02	0.63
8	6.30	1786	9.90	1147	0.8012	0.3486	16.02	1.25
9	6.83	1835	10.73	1172	0.8444	0.3654	16.89	1.32
10	7.36	1847	11.56	1179	0.8582	0.3711	17.16	1.34
11	7.87	1926	12.38	1199	0.9120	0.3853	18.24	1.42
12	8.36	2010	13.20	1203	0.9506	0.3893	19.01	1.48
13	8.78	2344	13.85	1514	1.2513	0.5478	23.77	1.83
14	9.18	2465	14.48	1565	1.5316	0.6588	29.10	2.24
15	9.55	2668	15.07	1673	1.7774	0.7557	33.77	2.57
16	9.90	2823	16.65	1734	1.9436	0.8118	36.93	2.81

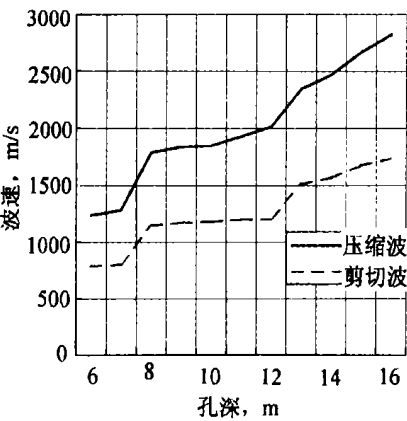


图3 波速曲线图

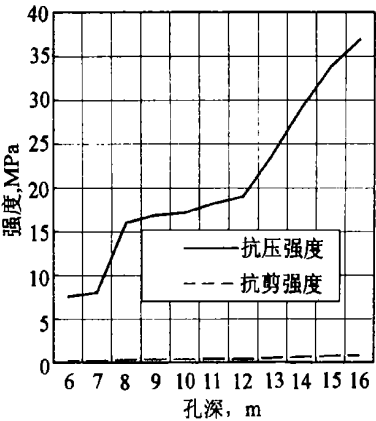


图4 强度曲线图

人为因素，增加了扣分点。

2. 全 主要体现在引用的标准较全和检验评定的项目全这两方面。

(1) 引用的标准较全 据不完全统计，本标准引用国际、国外标准和中华人民共和国国家标准、行业标准共 120 多个。从内容上看，除公路桥梁常用规范、标准、规程外，主要还包括：悬索桥用的各种材料的技术条件、检验方法、检验标准；各种材料、焊缝超声波探伤方法和探伤结果分级，射线照相和质量分级，铁路钢桥保护涂装，涂装通用技术条件，成品、半成品验收、包装、标志及质量证明书的一般规定，以及其它行业验收规范和标准。

(2) 检验评定的项目全 本标准检验评定项目包括 7 个单位工程（即 A、B、C、D、E、G、Ga 7 个合同段）、24 个分部工程、1 000 多个分项工程。检验评定项目包含了标准适用范围内的全部工程项目。与交通部现行检评标准比较，增加了锚碇锚固系统、索鞍、钢箱梁、缆索系统制造等项目，将上述项目的工厂管理模式转变为工程管理模式，引入了监理、监督机制，更符合工程实际。

3. 实 本标准的“实”主要包含两个方面内容：

(1) 本标准来源于实践。

本标准的形成过程离不开生产实践。在制订前，进行了大量调研和分析，借鉴了包括虎门大桥、江阴大桥、海沧大桥在内的国内外同类型桥梁的成功实践

经验，结合本项目实际情况，编制的本标准（讨论稿）征求了承担过西陵大桥、虎门大桥、江阴大桥、海沧大桥等工程项目的监理、制造加工单位的意见及建议，修订后的征求意见稿通过了国内具有丰富实践经验的专家评审。从本标准的形成过程可以看出，本标准是实践的产物。本标准检评指标、技术性能指标来源于科研试验。如改性沥青、改性沥青混合料技术性能指标来源于桥面铺装科研与试验，钢箱梁匹配性指标来源于 3+1 匹配性工艺试验等。

(2) 本标准能够实事求是反映工程项目质量情况，具有实用价值。紧密结合本项目实际，充分考虑本项目的技术特点、管理特点以及制订的质量目标，为实现规范化管理提供了依据和尺度；融技术规范为一体，注重标准的原则性、通用性，既适用于质量控制，又适用于质量检评，具有较大的实用价值；质量控制上有实效，本标准的使用促进了钢箱梁制造、主缆索股制作、上部结构安装等项目工艺的改进，制造设备和检测手段的更新，促进了工程质量总体水平的提升。

参考文献：

[1] 中华人民共和国交通部. 公路工程质量检验评定标准 (JTJ071-98), 北京: 人民交通出版社, 1998.
[2] 中华人民共和国铁道部. 铁路钢桥制造规范 (TB10212-98), 北京: 中国铁道出版社, 1998.

(上接第 57 页)

8 结论

根据实测结果分析，2 号孔桩所属岩石强度较高，深度 4m 以下抗剪强度均大于 3MPa，而且往下强度更大。其余桩孔所属岩石强度均较低，普遍抗剪强度最大仅略大于 3MPa。其中 13-2 孔底部抗剪强度均小于 3MPa，该桩与设计取值相差较大，经检算需对该桩桩基进行修正。

将桩基孔壁动力参数测试成果与设计钻孔资料比较，岩土参数有所降低，这与挖孔爆破增加了岩层的裂隙有关。为此对孔桩挖孔爆破方案进行改进，提出

了孔桩桩基控制爆破施工工艺要求大纲，杜绝了随意爆破造成岩层整体性破坏、降低岩体力学性质和扩颈、孔斜、孔壁塌陷的现象。通过对孔桩桩基孔壁检测，改进了施工工艺，取得了较好的效果，保证了该重要构造物灌注桩在高难度施工条件下，高质量地完成。

参考文献：

[1] 地基动力特性测试规范 (GB/T50269-97). 1997.
[2] 岩土工程手册. 中国建筑工业出版社, 1994.
[3] 李斌. 公路工程地质. 北京: 人民交通出版社, 1986
[4] 胡大琳. 桥涵工程试验检测技术. 人民交通出版社, 2000
[5] 何樵登. 地震勘探原理和方法. 地质出版社, 1989