

## 缺陷长度对孔道注浆饱满度检测值的影响\*

高翔

(天津市交通运输工程质量安全监管总站, 天津 300384)

**摘要:** 为更准确地应用穿透法对预应力孔道注浆质量进行检测, 对试验梁缺陷情况进行 9 d 连续跟踪检测, 分析了缺陷长度对注浆体弹性波波速的影响, 提出了缺陷长度—注浆饱满度关系的修正值, 建立了缺陷长度与饱满度值的对应关系, 为孔道注浆质量评价等级界限的建立及评价界限的可靠性分析提供参考。

**关键词:** 桥梁; 穿透法; 孔道注浆; 缺陷长度; 饱满度

**中图分类号:** U445.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2017)05-0170-02

后张法预应力施工技术的难点是注浆饱满度, 而注浆质量的好坏直接影响预应力桥梁的承载力和耐久性。目前, 国内预应力砼梁施工中主要通过监理现场旁站控制注浆质量, 不能客观反映施工质量的好坏。预应力孔道注浆过程中, 管道堵塞、灌浆材料、机械或人为因素等问题都会造成沿预应力筋灌浆不密实现象, 降低预应力砼梁的承载能力与耐久性。桥梁预应力锚索注浆质量检测仪利用弹性波检测注浆密实度, 通过注浆饱满度反映注浆质量的好坏。但由于计算得到的饱满度实际上是测试波的衰减表现, 而非孔道内实际缺陷尺寸占整体孔道的百分比, 这就为如何通过百分比区分缺陷大小带来了困难。该文通过试验, 分析缺陷长度对孔道注浆饱满度检测值的影响。

## 1 检测原理

JL-BPAC(A) 桥梁预应力锚索注浆质量检测仪是一种锚索内注浆质量检测设备, 它利用弹性波的传播机理和超磁致弹性波震源的特性, 用超磁致弹性震源从预应力锚索的一端输入弹性波信号, 在锚索的另一端接收该弹性信号, 根据弹性波的入射信号和传播输出信号, 利用弹性波在预应力锚索不同结构传播的传导函数计算分析预应力锚索的注浆质量。注浆质量用饱满度表示, 计算公式如下:

$$D = \frac{C_b - C_t}{\alpha(C_b - C_m)} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $D$  为注浆饱满度;  $C_b$  为相同材质和规格锚索的波速平均值(m/s);  $C_t$  为预应力孔道压浆体的波

速(m/s);  $\alpha$  为预应力孔道压浆体的浆与锚索的弹性刚度系数, 一般以试验压浆的标准梁作为注浆最饱满来确定  $\alpha$  值, 在没有试验梁的情况下则测试一定数量梁的数据, 以首波最靠右的那个孔道作为注浆最饱满确定  $\alpha$  值;  $C_m$  为砼的波速平均值(m/s)。

## 2 试验方案及数据分析

由于注浆材料配合比不当或现场搅拌问题, 浆体凝固时产生较大收缩或浆体沉积与水分分离形成大量泌水现象, 导致预应力孔道出现空洞缺陷。该缺陷是预应力孔道的主要缺陷之一。虽然饱满度指标  $D$  能反映孔道的注浆质量, 但其只是波速修正比值, 与实际孔道缺陷占孔道总长的百分比并不是一一对应关系。为了建立其对应关系, 设置 6 组不同缺陷长度的试验孔道(见表 1), 利用桥梁预应力锚索注浆质量检测仪进行 9 d 跟踪检测, 分析注浆体稳定过程中弹性波的变化特性。剔除异常值后的检测数据见表 2。

表 1 试验孔道的情况

缺陷长度/m	孔道形状	是否张拉	钢绞线数量/根	状况描述
0	直线	是	4	标准管
1	弯曲	是	4	1 m 缺陷孔道
2	弯曲	是	4	2 m 缺陷孔道
3	弯曲	是	4	3 m 缺陷孔道
4	弯曲	是	4	4 m 缺陷孔道
5	弯曲	是	4	5 m 缺陷孔道

\* 基金项目: 天津市交通运输科技发展计划项目(2016A-03-03); 河北省高等学校科学技术研究项目(ZD2017217)

表 2 不同缺陷长度下试验孔道的弹性波波速

龄期/d	不同缺陷长度(m)下的弹性波波速/(m·s <sup>-1</sup> )						预测空管波速/	压浆料波速/
	0	1	2	3	4	5	(m·s <sup>-1</sup> )	(m·s <sup>-1</sup> )
0	4 418	4 448	4 499	4 522	4 590	4 598	4 840	4 079
1	4 456	4 500	4 551	4 584	4 626	4 660	4 831	4 211
2	4 469	4 528	4 559	4 590	4 629	4 671	4 834	4 290
3	4 479	4 530	4 572	4 604	4 639	4 679	4 836	4 316
4	4 479	4 529	4 571	4 603	4 638	4 680	4 840	4 322
5	4 476	4 531	4 568	4 603	4 651	4 681	4 837	4 335
6	4 478	4 531	4 571	4 605	4 641	4 678	4 835	4 337
7	4 478	4 530	4 569	4 607	4 640	4 679	4 831	4 332
8	4 479	4 531	4 569	4 606	4 641	4 683	4 838	4 346
9	4 479	4 532	4 570	4 602	4 641	4 681	4 838	4 333

由表 2 可知:试验孔道的弹性波波速随着龄期的增长呈上趋势,第 4 d 时趋于稳定。为了进一步分析缺陷长度和弹性波波速的关系,取 0、6、9 d 检测数据进行缺陷一波速关系分析,结果见图 1。

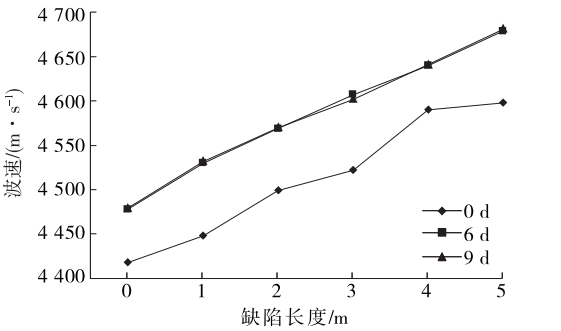


图 1 缺陷一波速关系曲线

由图 1 可知:随着缺陷长度的增加,弹性波波速增大。但其增长趋势并非单纯的线性或其他形式,这是由于预应力孔道弹性波的传播介质是包含了预应力钢绞线、注浆料、梁体砼及可能形成缺陷的空洞、水分等复杂结构,弹性波传播过程中遇到空洞、麻面缺陷或较大颗粒集料等时会产生散射、反射吸收等现象,使弹性波在预应力孔道中的传播特性变得十分复杂,其传播速度与缺陷长度不能以一个相对理论化的公式回归出来,即使回归,也未必能保证回归结果的准确性。

目前,根据由经验公式计算出的饱满度指标  $D$  对饱满度情况进行分类的孔道质量评价方法在河北省孔道质量评级体系中已得到广泛应用。为了研究评价体系的界限值与缺陷值之间的关系,对不同龄期、不同缺陷长度下的饱满度  $D$  进行计算分析,结果见表 3。

表 3 不同注浆缺陷长度下的计算饱满度  $D$

龄期/ d	不同缺陷长度(m)下的饱满度 $D$ /%						预测空管 饱满度/%
	0	1	2	3	4	5	
0	80.00	75.57	68.26	65.23	56.72	55.35	3.66
1	86.69	80.76	71.26	66.14	60.54	54.43	4.83
2	93.22	84.23	78.75	73.68	64.25	58.45	4.27
3	96.57	87.45	78.62	72.25	63.68	59.35	5.43
4	96.65	87.62	79.58	73.14	63.52	59.49	4.56
5	97.88	89.24	78.68	74.25	64.42	58.26	5.13
6	98.21	88.87	79.45	75.12	64.47	58.47	4.64
7	97.67	88.78	78.86	75.53	63.46	56.57	5.42
8	99.13	89.35	79.25	76.64	63.33	57.03	4.64
9	97.53	88.86	79.86	75.51	63.28	57.47	4.73

根据表 3,计算饱满度  $D$  的龄期范围为高于 4 d。对满足该范围的检测值求均值,结果见表 4。

表 4 不同缺陷长度下的注浆饱满度均值

缺陷长度/m	饱满度 $D$ /%	缺陷长度/m	饱满度 $D$ /%
0	98.08	4	68.12
1	88.49	5	60.68
2	81.32	>28	4.89
3	75.09		

根据表 4 对现有孔道注浆质量评级体系中的界限值进行修正和补充(见表 5),建立新的质量评价体系。

表 5 缺陷长度一波饱满度评价标准修正

质量等级	饱满度 $D$ /%	孔道内缺陷特征概述
A	$\geq 90$	注浆饱满,浆体凝结良好
B	90~80	0.5~1 m 缺陷
C	80~60	1~3 m 缺陷
D	$\leq 60$	>4 m 缺陷

(下转第 204 页)

沿途抛撒而产生二次扬尘。

(2) 施工工艺活动所产生扬尘的防治措施。1) 对易产生扬尘的施工,如清扫作业面及透层“镜面”部分拉毛处理等,采取湿法作业,边洒水边施工。2) 硬化拌和站内的便道,增加清扫和洒水次数。3) 进行搅拌砂浆、砼及其他易产生扬尘的作业时,搭设防护棚罩,采取除、吸尘措施。防护棚除进出口外,其他各立面用防尘网或其他材料封闭。4) 拌和站四周架设喷淋装置,防治扬尘扩散。

(3) 施工原材料(散料)堆放在风力作用下所产生扬尘的防治措施。1) 水泥、粉煤灰、石灰、矿渣等细颗粒散体材料安排在库内存放或严密遮盖,临时性货场采取严格的篷盖和围挡措施,运输和卸料时用帆布遮盖或封闭。2) 水泥、粉煤灰等材料进料时,保证材料罐顶的密封性能,预留通气孔并在罐顶设置布袋除尘器。

(4) 施工现场裸露土地在风力作用下所产生扬尘的防治措施。对施工现场的裸露土地及时进行覆盖或绿化或采取喷洒抑尘剂等降尘措施。

## 4 结论

(1) 路基、路面施工过程中,运输阶段产生的扬尘量较大,约占整个施工阶段扬尘的90%,其他工序的扬尘量相对较少,对运输阶段扬尘量的控制尤

为重要。

(2) 运输阶段扬尘量的影响因素主要为车和路,要求密闭运输,防止沿途抛撒而产生二次扬尘,且车辆必须清洗干净后才能上路;影响运输扬尘量的主要因素为道路是否硬化和洒水,洒水是非常有效的扬尘防治措施,硬化加洒水能更好地防治道路上扬尘量。

(3) 凡是易扬尘的施工活动都应采取湿法作业,先喷淋再作业,边作业边喷淋,以降低施工造成的扬尘量。

(4) 对施工现场散装原材料进行密闭或覆盖;对现场裸露的土地及时覆盖或喷洒抑尘剂,防止产生扬尘。

## 参考文献:

- [1] JTJ 034—2000,公路路面基层施工技术规范[S].
- [2] Countess R, Barnard-Harding W, Ese, et al. Methodology for estimating fugitive windblown and mechanically resuspended road dust emissions applicable for regional scale air quality modeling[R]. California: Countess Environmental, 2001.
- [3] 沈红红.市政道路建设过程中的扬尘防治研究[J].江苏科技信息, 2014(14).

收稿日期:2017-06-15

\*\*\*\*\*

(上接第171页)

表5只是针对试验标段孔道数据的经验修正值,由于数据有限只能作较粗略的修正,同时对蜂窝或麻面等缺陷形式对检测 $D$ 值的影响,由于试验难度大没有进行修正。

## 3 结论

(1) 在预应力孔道注浆质量检测中,随着孔道内缺陷长度的增加,弹性波波速增大。

(2) 通过试验得出缺陷长度与注浆饱满度的对照关系,并对现有孔道注浆质量评级体系进行修正,建立了新的评价体系。但只对数据进行了粗略修正,对于蜂窝或麻面缺陷形式对检测 $D$ 值的影响有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 梁永广.预应力桥梁孔道注浆联合检测及数据挖掘技术研究[D].天津:河北工业大学,2012.

- [2] 魏连雨,梁永广,马士宾,等.基于超声波的预应力波纹管注浆密实性与空洞部位检测技术[J].无损检测, 2012,34(4).
- [3] 钱浩.桥梁预应力注浆质量评价方法及实验研究[D].天津:河北工业大学,2013.
- [4] Newtonson Craig M, Eberhard Marc O. Nondestructive evaluation using numerical simulation of impact response[J]. ACIM Aterical Journal, 2000,97(8).
- [5] Saka M, Salam Akanda M A. Ultrasonic measurement of the crack depth and the crack opening stress intensity factor under a no bad condition[J]. Journal of Non-destructive Evaluation, 2004,23(2).
- [6] 魏连雨,梁永广,王清洲.桥梁预应力孔道注浆质量检测试验研究[J].中外公路,2013,33(6).
- [7] 张鹏,胡劲松,靳巍巍,等.关于“桥梁预应力孔道压浆质量无损检测技术规程”的讨论[J].城市道桥与防洪, 2011(7).

收稿日期:2017-04-21