

# 预应力孔道灌浆密实度检测评价技术体系的研究

张武毅

(浙江交科工程检测有限公司, 杭州 311200)

**摘 要:**后张法预应力孔道灌浆质量是影响结构的承载力和耐久性的重要因素之一,在国内外引起了广泛的重视。对此,针对孔道灌浆缺陷的定义、检测方法、评价指标和标准以及验证方法等方面进行了研究,并形成了相应的评价体系。通过对浙江省灌浆密实度地方指南及编制的体系研究,结合十三个工程的实际应用,证明了该体系的有效性和可靠性。

**关键词:**预应力梁;冲击弹性波;灌浆密实度;无损检测

**中图分类号:**TU378.1

**文献标志码:**A

## 引 言

随着我国公路桥梁建设事业的快速发展,预应力混凝土桥梁已在我国桥梁建设中占据主导地位,被广泛应用于杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥与苏通大桥等重要基础建设项目上<sup>[1-2]</sup>。同时,在中等跨度的各类桥梁上,基于后张法的预应力混凝土桥梁占了绝大多数。

其中,孔道灌浆密实状况是影响梁体承载力特别是耐久性的重要因素。为此,国内许多省份和单位都开始了灌浆密实度检测工作。例如,2013年1月,浙江省交通运输厅在“浙江省公路工程竣(交)工验收实施细则(试行)”中,将压浆密实度列入抽查项目,且比例不低于构件或预应力束的3%。

然而,对于检测所应采取的方法、检测位置、检测结果的可靠性和精度等方面尚无非常清晰的认识。对基于检测结果的桥梁施工质量评价也没有明确的评价标准和体系,从而严重地影响了相关工作的深入开展<sup>[3-4]</sup>。为此,本文结合浙江省灌浆密实度的地方指南及编制进行了基于冲击弹性波对灌浆密实度检测体系的研究,并通过山西龙城高速、河南郑卢高速等十三个工程的实际应用,证明了该体系的有效性和可靠性。

## 1 国内外灌浆密实度研究现状

### 1.1 灌浆缺陷的危害

早在20世纪50年代,瑞士工学院的 Wvans R H 就对此问题进行了研究。该问题真正引起人们足够重视的是 Ynys - y - Gwas 桥梁垮塌事故。该桥位于英国威尔士,建于1953年,在没有受到任何外在冲击,并且毫无征兆的情况下于1985年2月1日突然倒塌。此外,比利时 Schelde 河上的一座桥梁的垮塌,以及建于1957年的美国康涅狄格州的 Bissell 大桥于1992年炸毁重建,其原因均在于预应力钢筋锈蚀导致桥的安全度下降<sup>[5]</sup>。

灌浆不密实不仅对预应力混凝土桥梁的耐久性有很大的影响,而且对桥梁的即时承载力也有相当的影响。王一<sup>[6]</sup>等人在模型试验和数值分析的基础上指出,对于全空管道其开裂荷载较全密实孔道低10%,而最大挠度则可能增加50%。

此外,对于沿海以及潮湿地区,灌浆缺陷的危害更为显著。

### 1.2 灌浆缺陷分级

结合国外经验与叶见曙、张峰提出的灌浆密实度的分级标准,建议将灌浆密实度分为4级(图1):

A级:注浆饱满或波纹管上部有小蜂窝状气泡,与

钢绞线不接触。

B 级:波纹管上部有空隙,与钢绞线不接触。

C 级:波纹管上部有空隙,与钢绞线相接触。

D 级:波纹管上部无砂浆,与钢绞线相接触并严重缺少砂浆。D 级又可细分为 D1、D2 和 D3 级,分别对应

于大半空、接近全空和全空。

根据检测技术的水平状况,将预应力灌浆缺陷分为大规模缺陷和小规模缺陷两级。其中,大规模缺陷对应于 D 级,而小规模缺陷主要对应 B 级、C 级和部分灌浆料强度严重低下的疏松型缺陷。

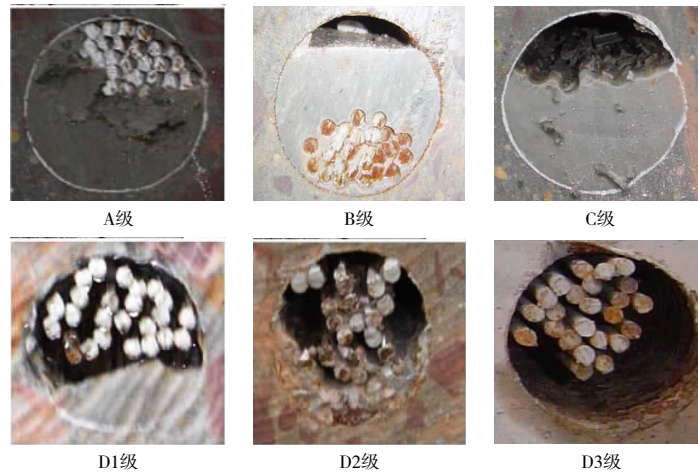


图 1 灌浆密实度分级

### 1.3 灌浆密实度检测方法

按测试所采用的媒介大致可以分为<sup>[7-11]</sup>:

(1) 基于电磁波的检测方法(如电磁雷达)。该方法有许多学者进行了研究。目前,一致的观点是:

- ①由于受金属屏蔽,因此不适合于铁皮波纹管。
- ②电磁雷达受钢筋影响大、适用范围窄、对缺陷不敏感和测试精度低。

(2) 基于超声波的检测方法。理论上,利用灌浆缺陷对波速的影响,采用对测的方法可以检测灌浆缺陷,国内也有学者从事这方面的研究和实践。但需要从板的两侧面对测,而且需要耦合,因此作业性差,效率很低,难以实用。

(3) 基于放射线(X光、伽马射线等)的检测方法。该方法的检测精度较高,但存以下明显的缺点:

- ①测试设备复杂。
- ②具有放射性。
- ③需要底片等费用,检测成本高。

在国内基本上没有得到应用。

(4) 基于冲击弹性波的检测方法。该方法被认为是最有前途的方法,可分为两类:

- ①基于孔道两端穿透的方法。
- ②基于反射的冲击回波等效波速法(IEEV)。

基于冲击弹性波灌浆密实度测试方案,其最大的特点在于既可以快速定性测试,也能够对有问题的管道进行缺陷定位,从而达到了测试效率和精度的最优化。

## 2 推荐检测方法

基于冲击弹性波的方法,不仅可以对预应力孔道灌浆进行快速定性检测,也可进行精确的定位检测,通过定性、定位方法的结合,可对施工问题处理提供可靠依据<sup>[12-13]</sup>。

### 2.1 冲击弹性波检测方法灌浆指标定义

在测试过程中为将定性测试的结果量化,该方法引入了综合灌浆指数  $I_f$ 。当灌浆饱满时,  $I_f = 1$ , 而完全未灌时,  $I_f = 0$ 。因此,通过定性测试方法中的各种方法(全长衰减、全长波速、传递函数)可得到相应的灌浆指数  $I_{EA}$  (全长衰减),  $I_{PV}$  (全长波速)和  $I_{TF}$  (传递函数)。同时,综合灌浆指数可以定义为:

$$I_f = (I_{EA} \cdot I_{PV} \cdot I_{TF})^{1/3}$$

只要某一项的灌浆指数较低,综合灌浆指数就会有较明显的反映。综合灌浆指数的评价方法见表 1。

表 1 灌浆指数评价方法

评价方法	综合灌浆指数 $I_f$
指 标	0.95 以上为良好 0.80 ~ 0.95 为一般 0.80 以下为较差

为了定位测试的结果量化,进一步引入灌浆密实度指数  $D$ 。当灌浆饱满时  $D = 1$ , 而完全未灌时  $D = 0$ 。定义孔道压浆质量健全时权重为 1, 松散型权重为 0.5, 上部小孔洞权重为 0.5, 大空洞权重为 0, 并令  $N_A$  代表健全

测点数,松散型测点数为  $N_B$ ,上部小空洞测点数为  $N_C$ ,大空洞测点数为  $N_D$ ,  $M$  为总测点数,因此灌浆密实度指数可表示为:

$$D = \frac{N_A \times 1 + N_B \times 0.5 + N_C \times 0.5 + N_D \times 0}{M}$$

一般情况下注浆率大于 0.95,则该孔道注浆质量为优;0.9-0.95 之间为良;低于 0.9 就应该考虑处理。具体评价方法见表 2。

表 2 灌浆具体评价方法

灌浆密实度指数 $D$	评价
0.95 以上	良好
0.90~0.95	较好
0.85~0.90	一般
0.85 以下	较差

在各个孔道灌浆质量的检测结果的基础上,结合检测距离和抽样方式等因素,还可以将梁体的灌浆质量分为 4 类,即 I~IV 类梁。

## 2.2 缺陷验证方法

当采用 IEEV 法定出缺陷位置后,常在此位置进行钻孔(通常采用 10 mm 左右的钻杆)。不仅可以起到验证的作用,还可作为补浆孔以便处理。一般有:

### (1) 光学方法:

①肉眼观察:最直观,但需要开孔较大,10 mm 左右的钻杆不够。

②内窥镜观察:相对而言,适用面最广,可以利用小口径孔,但要注意聚焦等问题。

(2)阻抗变化:即利用钻孔过程中阻抗、声响的变化来判定是否遇到空腔。

### (3) 机械工具:

①穿丝:铁丝是否能穿过,一般适用于较长、以及埋深较浅的缺陷(如顶板、空心板)。

②挂钩:用小钩去挂钢绞线,若能钩住钢绞线即表明钢绞线存在较大的缺陷,整体未被包裹。

## 2.3 现场不同梁型检测及验证统计结果

通过对国内十三个工程的数百个灌浆孔道进行了定位检测及验证发现:

(1)现浇梁中存在较为严重的灌浆缺陷。灌浆密实度指数  $D$  在 0.90 以上仅 3.13%,而在 0.70 以下占 68.75% (图 2)。

(2)对于预制梁,灌浆密实度指数  $D$  在 0.95 以上占统计的 57.97%,在 0.85 以下的占 8.70% (图 3)。

总体上看,预制梁灌浆情况较好,但还是存在不同程度的灌浆缺陷。

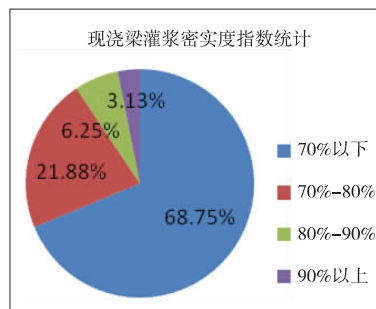


图 2 现浇梁灌浆密实统计

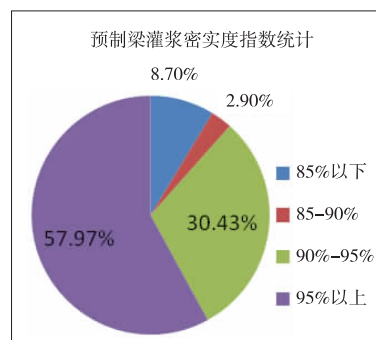


图 3 预制梁灌浆密实统计

## 3 结束语

本技术体系以基于冲击弹性波的预应力孔道灌浆密实度检测技术为基础,包括缺陷定义、分级、检测方法、评价标准和验证方法等多个方面。同时,该套体系已在多个实际工程中进行了应用,取得了良好的效果,有利于施工质量的保证。

## 参考文献:

- [1] 徐建达,杨超,季文洪,等.预应力管道压浆质量无损检测技术综述[A].第十四届全国混凝土及预应力混凝土分会学术会议论文[C].北京:2007.
- [2] 栾健.预应力管道灌浆质量检测的试验研究[D].长沙:中南林业科技大学,2011.
- [3] 李跃华.桥梁预应力孔道注浆质量检测探讨[J].工程地球物理学报,2012(1):24-25.
- [4] 邓屹松.预应力孔道注浆状态对大跨 PC 箱梁桥受力性能影响研究[D].长沙:湖南大学,2011.
- [5] 吴佳晔,杨超,季文洪.预应力管道灌浆质量检测方法的现状和进展[J].四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(5):3-4.
- [6] 王一.具有初始几何缺陷的薄壁箱梁桥使用性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.

- [7] 吴佳晔.采用双方向发振减小弹性波动信号测试误差的技术[P].中国专利:ZL200510021851.5,2011-11-03.
- [8] 吴佳晔,张高强.冲击弹性波激励残留信号的消减及反射信号的抽出技术[P].中国专利:ZL200910082851.4,2012-04-11.
- [9] Abdel O B, Jean C C. EMD-Based Signal Filtering[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(6): 2196-2202.
- [10] 姜盼.超声波检测预应力梁孔道压浆质量的试验研究[D].哈尔滨:东北林业大学, 2012.
- [11] 程海潜. PC 弯曲孔道内接触应力、预应力摩阻损失及张拉伸长量研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2011.
- [12] 张一新. 桥梁预应力孔道弹性波传播特性研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2012.
- [13] Sansalone M, Street W. 冲击-回波法及其现场型仪器在砼结构无损检测中的应用[A]. 土木工程无损检测国际会议译文集[C]. 1997.
- [10] 姜盼.超声波检测预应力梁孔道压浆质量的试验

## Study on the Testing Evaluation Technology System of Prestressed Duct Grouting Compactness

ZHANG Wuyi

(Zhejiang Science and Engineering Detection Co. Ltd., Hangzhou 311200, China)

**Abstract:** The grouting quality of post-tension prestressing duct is one of the important factors affecting the structure capacity and durability, and attracts wide attention both domestically and internationally. Therefore, the definition of duct grouting defects, the inspection and testing method, evaluation parameters and standard as well as the verification method, are studied, and the corresponding evaluation system is formed. Furthermore, through the research of grouting compactness local guide and compiling system in Zhejiang, and combined with the practical applications of more than ten projects, the effectiveness and reliability of the system are proved.

**Key words:** prestressed beam; impact-elastic wave; grout fullness; nondestructive testing