



预应力混凝土管桩现存应力 测试方法研究

吴锋^{1,2}, 卓杨², 邱松²

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 利用应力释放的力学原理, 开展预应力混凝土管桩现存应力测试方法研究, 通过数模分析得到不同钻孔深度和孔径对应力释放程度的关系曲线, 给出在不损伤内部主筋情况下根据结构特点选取合理钻孔深度和孔径的方法, 并通过相应的现场试验进行验证。

关键词: 预应力混凝土管桩; 现存应力; 应力释放

中图分类号: U 655.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0031-04

Measurement of existing stress in prestressed concrete piles

WU Feng^{1,2}, ZHUO Yang², QIU Song²

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: This paper studies the existing prestressed concrete pipe's stress measurement method using the mechanical stress release principle, and obtains relationship curves between drilling depth & diameter and different stress release levels by mathematical modeling. Furthermore, it presents the method for choosing reasonable drilling depth and diameter according to the structural characteristics and without injuring the internal main reinforcement, which is verified by corresponding site experiments.

Key words: prestressed concrete pipe; existing stress; stress relief

预应力混凝土管桩由于抗弯承载力高和成本低等诸多优点, 在水运工程桩基工程中得到了广泛的使用。由于混凝土管桩在制桩和使用过程中存在许多无法确定的因素, 如施工误差、施工错误和预应力损失等, 因而导致使用中的预应力管桩中混凝土应力与理论分析结果有一定差异, 这就使得理论计算无法得出混凝土管桩中的真实内力^[1]。预应力筋作为预应力混凝土结构中的关键受力部件, 其现存预应力是影响结构承载力的一个至关重要的参数, 且随着应力损失的发生该参数具有一定的不确定性。因此, 正确取得在役预应力混凝土结构中的现存预应力值具有重要的工程

意义, 可以为在役混凝土结构使用性能评估、维护以及是否需要加固提供最直接的依据。

构件实际应力测试的基本原理是依据局部应力解除法的力学原理, 即是应力释放, 也就是采用钻孔、切割等手段将构件的现有应力释放为零, 通过测试应力释放前后的应变变化, 推算出应力释放前构件的实际应力^[2-5]。由于预应力混凝土管桩产品为薄壁结构, 厚度在150 cm左右, 在进行钻孔应力释放时, 对主筋可能造成损伤, 影响其正常使用, 因此有必要确定合理的切割深度和切割半径。本文进行了预应力混凝土管桩现存应力测试方法研究, 给出了不同钻孔深度和孔径

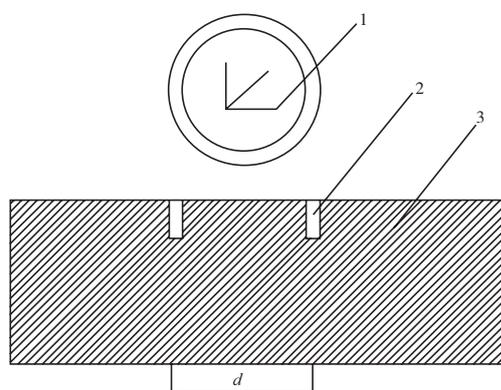
收稿日期: 2012-03-02

作者简介: 吴锋(1978—), 男, 高级工程师, 从事港工结构研究。

对应力释放程度影响关系曲线，并进行了相应的试验验证，可以根据研究成果确定合理的钻孔深度和孔径。

1 试验方法与原理

为了测试结构构件中某一点的工作应力，将构件完全截断是没有必要的，实际上只需要在测试点周围开一定深度的槽，解除测试点周围的约束使之产生弹性恢复变形，从而导致构件的应力重新分布，当槽深达到一定深度时，即可使测点处局部工作应力完全释放，通过对测点应变释放的量测，可以求出该点的工作应力，切割示意图如图1所示。方孔开槽容易引起应力集中现象，并且在已建结构中，由于受力的不利因素影响，开孔有可能带来构件受力状态的恶化，因此本文选取圆形截面切割可以有效避免上述不利因素的影响。



注：1. 电阻应变片；2. 混凝土测区；3. 环形槽

图1 测试混凝土工作应力

预应力混凝土管桩受力比较单一，主要承受轴向的拉力和压力作用，因此在采用应力释放法时，需要在桩身切割部分混凝土，然后测试轴向应变片应变变化，即可得到其现有应力状态。在切割桩身混凝土过程中，需要确定切割的深度和切割的直径大小，以便测试并计算切割部分的混凝土的应变释放百分比，然后根据材料的弹性模量和泊松比，准确推断出原有应力。

2 试验结果影响因素分析

2.1 材料均匀性

混凝土是由胶结材、粗骨料、细骨料等多种

介质组成的非均质体，在进行应变测量时，为克服细观非均质带来的测量误差，对应变片的标距有一定的要求，一般认为只有应变片的标距与骨料粒径匹配，可以将混凝土作为宏观均质体进行应变测试。

对于钢筋混凝土构件，钢筋的影响尤其是预应力筋的影响对测试结果影响较大。因为混凝土与钢筋（钢绞线）之间的粘结力较强时，会引起构件表面的应力无法完全释放。一般情况下，应力释放所采用的切割或钻孔过程中机具的震动会降低混凝土对钢筋（钢绞线）的握裹力，而且切割区域的尺度也远远小于钢筋预应力传递长度，一旦切割开来，切割体混凝土对钢筋的握裹力远远不足以建立原有的预应力。但考虑到混凝土对钢筋的握裹力不可能均匀分布，为保证被测构件的应力完全释放，必须同时布设多个测点。

2.2 水对试验结果的影响

水对应变测试的影响有很多方面：1) 造成绝缘程度不良引起读数不一致，绝缘程度不良引起仪器灵敏度下降；2) 会改变测试混凝土的弹性模量。饱和混凝土的弹性模量大于干燥时的弹性模量，由于环孔内混凝土的弹性模量增大，在释放相同应力的情况下，饱和混凝土表现出来的就是应变值的释放量变小。在现有情况下，水影响应变测量的量还不清楚，只有通过防水处理，然后再测试应变计与试件间的绝缘值，尽量减小水对应变测试的影响。本文试验中采用防水处理，首先在试验中应变测点部位先打层很薄的环氧树脂底胶，这层底胶既是作为粘结用的也是防水用的，待24 h胶完全凝结，再在应变片表面盖一层环氧树脂，这样应变片就完全包裹在环氧树脂里，环氧树脂有很好的防水效果，同时也有良好的绝缘作用。

3 现存应力试验研究与理论分析

通过数值模拟的方法计算在相同预应力不同钻孔内径和切割深度条件下，测点处纵向应力在钻孔过程中的变化规律。在此定义应力释放率 $\beta = 1 - \sigma_i / \sigma_0$ ， σ_i 为不同钻孔深度处测点应力值， σ_0 为未钻孔前测点应力值， σ_i 与 σ_0 的符号规定：压应

力为负值, 拉应力为正值, 应力释放率 β 反映了钻孔处纵向应力释放的快慢程度。典型钻孔区域应力分布云图如图2所示, 从图中可以看出, 当钻孔深度比较深时, 钻孔表面的应力基本趋于均匀, 因此可以通过试验测试测量其表面的平均应变率。

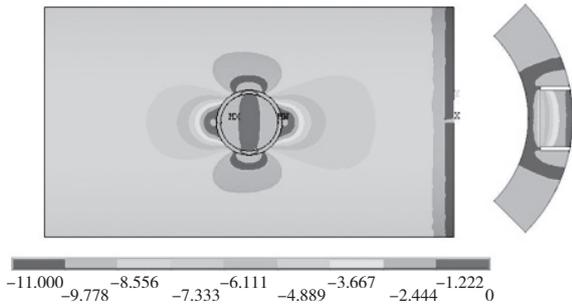
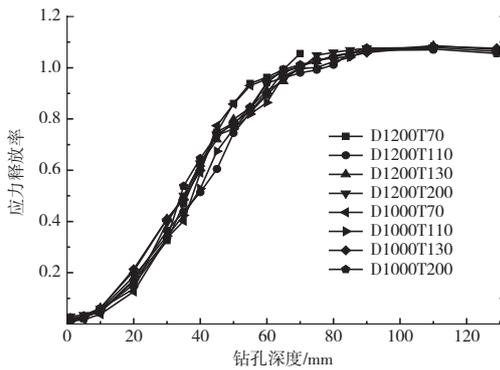
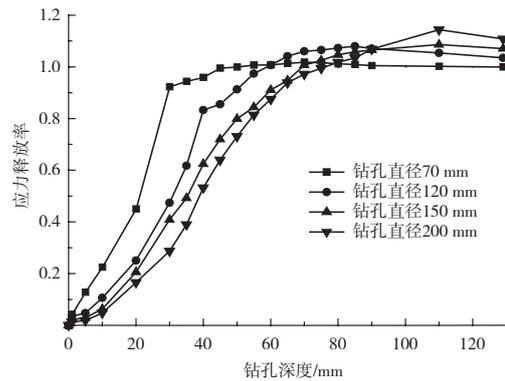


图2 钻孔区域应力分布云图

为进一步研究不同桩径和壁厚对钻孔应力释放规律的影响, 数值模拟分析了钻孔直径保持不变, 管桩直径为1 200 mm和1 000 mm时, 不同壁厚情况下, 钻孔深度、壁厚、应力释放率之间的相互影响。图3a)为当壁厚在70、110、130和200 mm时, 钻孔表面的平均应力释放率与钻孔深度的关系曲线。从图3a)中可以看出, 当管桩直径和壁厚变化时, 应力释放率变化曲线基本保持不变, 说明管桩的直径和壁厚对钻孔的应力释放基本没有影响。选取直径1 200 mm, 壁厚130 mm PHC管桩, 钻孔直径在70, 120, 150, 200 mm时, 应力释放率和钻孔深度的关系曲线如图3b)所示, 从图中可以看出, 钻孔深度逐渐增大, 切割的圆柱表面的应力逐渐趋于零, 即构件既有应力逐步释放为零, 在不同钻孔直径下钻孔深度与应力释放率的关系曲线基本趋于一致, 且随着钻孔直径的增大, 钻孔深度逐渐增加。



a) 不同壁厚



b) 不同钻孔直径

图3 钻孔深度与应力释放率关系曲线

为进一步确定在应力完全释放情况下, 钻孔深度与直径的相互影响关系, 对钻孔直径50~200 mm的情况进行分析, 应力完全释放时钻孔直径与深径比关系曲线如图4所示, 对数据点进行线性拟合, 拟合公式 $\alpha=0.807-0.00226D$, 其中 α 为钻孔深度与钻孔直径比值; D 为钻孔直径。在实际工程测试中, 为了在测试中不损伤钢筋混凝土构件主筋, 同时可以准确测试构件现存应力, 可根据实际情况, 选取构件的保护层厚度为钻孔深度, 根据上述拟合公式可以确定在此深度情况下的最大钻孔直径。

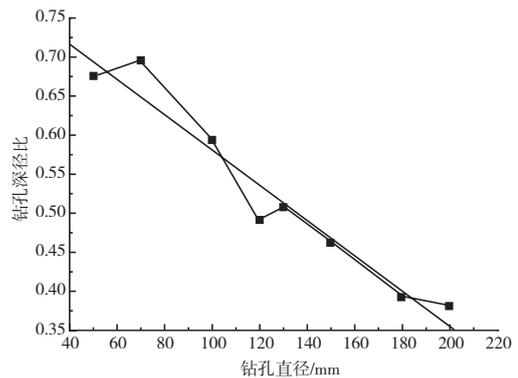


图4 应力完全释放时钻孔直径与深径比关系曲线

为验证上述数值分析结果的可靠性, 制作了一根AB型PHC桩, 外径800 mm, 壁厚110 mm, 长12 000 mm。图5为PHC桩预压应力测试开孔图。贴片处桩身表面经过砂纸打磨及涂刷环氧树脂等表面处理, 每组应变片上覆盖止水胶作防水处理, 钻孔直径为150 mm。切钻孔过程中, 每达到一定的钻孔深度后, 进行应变测量。



图5 钻孔及应变片布置

在管桩不同部位处进行了两组钻孔试验，图6为2组试验中应变片上应变与钻孔深度关系曲线。从图中可以看出，当钻孔深度达到70 mm左右时，切割块上的应变基本保持不变，此时应力基本完全释放，排除现场试验误差等因素的影响，钻孔深度与直径之间的关系符合理论计算的拟合公式。

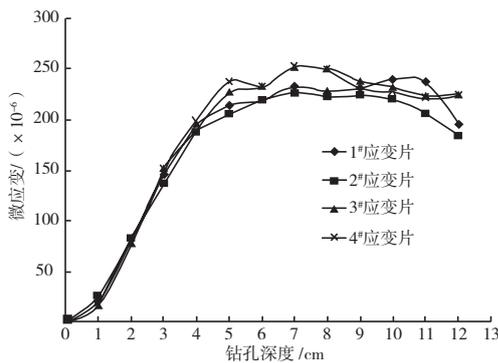


图6 应变与钻孔深度关系曲线

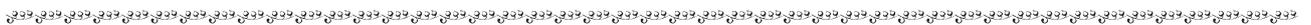
4 结论

通过理论分析和现场试验，采用钻孔应力释放法，进行了预应力混凝土管桩现存应力测试方法研究，分析了管桩直径和壁厚对钻孔表面应力释放率的影响。研究表明，不同的管桩直径和壁厚对钻孔表面的应力释放率没有影响。同时给出了不同钻孔孔径、钻孔深度与应力释放程度的关系，得到了在预应力混凝土管桩的应力全部释放时钻孔直径与深度的相互关系。该成果在实际测试中具有较强的现实指导意义，可在构件微破损试验中得到其现存应力，为准确进行既有结构评估提供可靠的测试方法。

参考文献:

- [1] 时蓓玲,周国然,余立新,等. 码头结构的评估方法研究[R]. 上海: 中交上海三航科学研究院, 2004.
- [2] 丁乃庆. 高桩码头锈蚀破损面板残余承载力评估方法[J]. 海洋工程, 2001(1): 45-50.
- [3] 李名进, 刘文峰. 桥梁无损检测应用述评[J]. 人民珠江, 2007(4): 78-80.
- [3] 易伟建, 向洪. 钢筋混凝土受压构件工作应力的测试与分析[J]. 工业建筑, 2007, 37(1): 52-56.
- [4] 姜增国, 刘丹娜, 贾巧燕. 利用钻孔周边应力集中估算在役混凝土结构现存预应力初探[J]. 武汉工程大学学报, 2008(6): 66-68.

(本文编辑 郭雪珍)



著作权授权声明

全体著作权人同意：论文将提交《水运工程》期刊发表，一经录用，本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。