



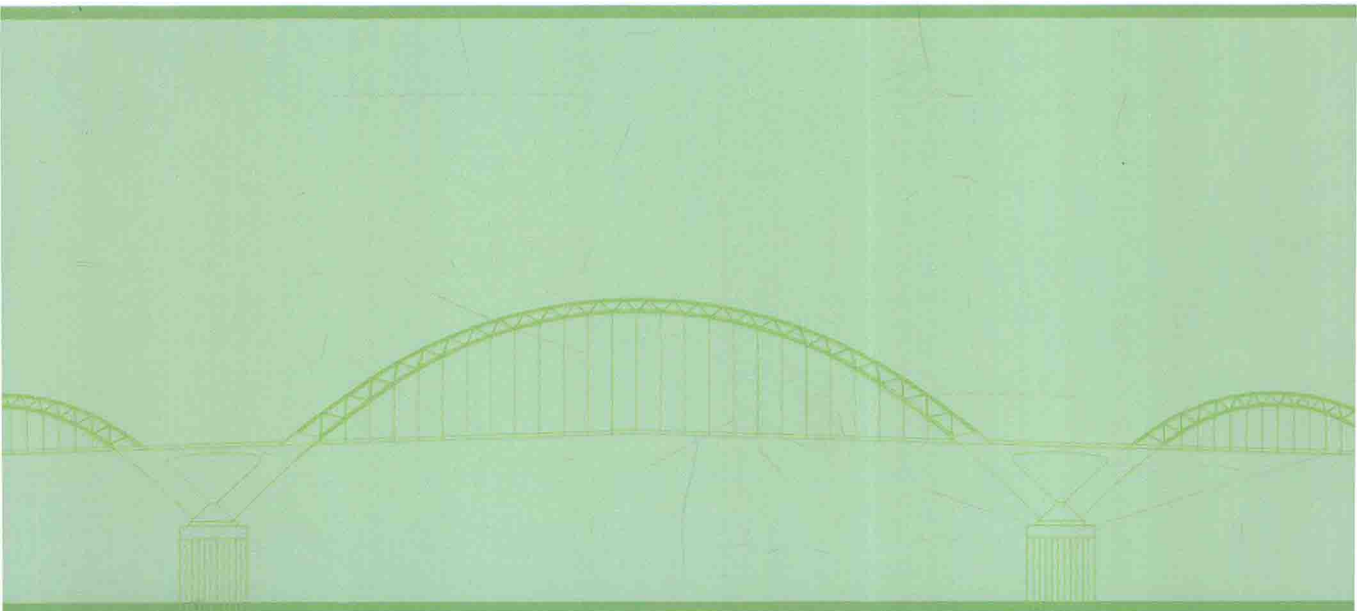
土木工程实验系列教材
TUMU GONGCHENG SHIYAN XILIE JIAOCAI

桥梁工程专业实验

QIAOLIANG GONGCHENG ZHUANYE SHIYAN

主 编 张汉平

副主编 钟穗东



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程实验系列教材

桥梁工程专业实验

主 编 张汉平

副主编 钟穗东



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程专业实验/张汉平主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2017. 5
土木工程实验系列教材
ISBN 978-7-5623-5186-3

I. ①桥… II. ①张… III. ①桥梁工程-实验-高等学校-教材 IV. ①U44-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 013360 号

桥梁工程专业实验

张汉平 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 王魁葵

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 10.25 字数: 250 千

版 次: 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

土木工程实验系列教材

编辑委员会

主 任：苏 成

副主任：王 湛

编 委：（按姓氏笔画排序）

巴凌真 邓 晖 杨医博

时丽珉 张汉平 郑亚晶

郑国梁 黄文通 程香菊

前 言

近年来,高校实验教学日益受到重视,从国家教育部到全国各高校都积极采取措施推进实验教学的创新发展,实验教学成为培养具有创新精神、创造能力和较强实践能力的高素质人才的重要组成部分。《桥梁工程专业实验》教材正是以培养创新型人才为宗旨编写而成的,对学生实验思维、创新探研与想象空间和创造力的培养具有较强的广泛性和实用性。

本书共有7章,详细讲述了桥用材料力学性能、桥梁构配件与张拉、桥梁测试技术和桥梁结构静动态特性、桥模结构模态分析与测试,以及桥梁模型结构的优化与异变探研试验等方面教学内容和实验指导,是现时桥梁专业实验的精品教材。书中除桥梁专业的常规实验外,凸显综合设计型、探索性的创新实验与教学方法,如结构桁架梁、桥型仿真类等一批试验,是编者多年参与实验教改、开发创新探研性实验教学成果的呈现,它充分体现了桥梁专业工程实例与课程实验融合的时代必要性,是教学与实际相容的范例教材。实践证实,这类实验能充分激发学生的学习兴趣、创新思维,提升学生的专业技能水平。

实验是人们认识事物的途径,是获取原始数据资料的重要手段,对所获取的原始资料只有经过周详的理论分析,才能做出正确的结论,才能为理论提供宝贵的资料和依据。因此,不应该把实验看成单纯经验性的操作;相反,它是一种根据丰富的原始资料对事物进行深入理论分析和探研的持续。在实验过程中自始至终贯穿着从实践到理论,从理论再到实践的辩证关系,由此可见教育领域中实践教学的充要性和可持续性。

《桥梁工程专业实验》既有专业理论的原理,又有实际实验的范例,其素材前瞻、内容适广,不仅为高校本专业本科和研究生提供实验教学内容的指导,同时亦可为相关学科研究人员、工程检测技术人员的工作实践提供有益的帮助和参考。

本书由张汉平、钟穗东负责撰写,许光辉参与部分编写工作。在编写过程中,得到业内学者的大力支持,对此深表感谢。因编写者水平有限,疏漏之处在所难免,诚望读者指正。

编 者
2016年9月

目 录

第 1 章 桥用预应力材料	1
1.1 预应力钢绞线力学性能检验	1
1.2 预应力锚具、夹具和连接器锚固性能检验	4
1.3 预应力材料硬度检验	9
1.4 预应力用混凝土波纹管力学性能检验	11
思考题	18
第 2 章 桥梁支座与伸缩装置	19
2.1 桥梁板式支座力学性能检验	19
2.2 盆式支座力学性能检验	26
2.3 张拉设备校验	28
思考题	30
第 3 章 混凝土结构件检验	31
3.1 混凝土力学性能	31
3.2 回弹法检验混凝土强度	36
3.3 超声法检测混凝土缺陷	40
3.4 钢筋直径、保护层厚度测试	47
3.5 钢筋锈蚀检测	48
思考题	49
第 4 章 应变电测技术	50
4.1 电阻式应变片性能与构造	50
4.2 应变电测原理	52
4.3 电阻应变片使用与应变测量分析实验	61
4.4 应变电测技术应用	70
4.5 振弦式应变传感器	72
思考题	76
第 5 章 结构动态特性实验	77
5.1 振动基本测量实验	77
5.2 悬吊结构索力测试	93
思考题	96
第 6 章 桥梁结构试验	97
6.1 钢筋混凝土单梁性能测定	97

6.2 T形梁荷载横向分布系数试验	101
6.3 桥梁结构静载试验	103
6.4 桥梁结构动载试验	105
6.5 桥梁安全监测系统(在线监测)	112
思考题.....	114
第7章 桥梁模型试验	115
7.1 模型制作相关理论	115
7.2 桁架结构分类及特点	119
7.3 模型有限元计算	122
7.4 组合桁架创新性试验	131
7.5 变截面连续箱剪力滞后效应分析试验	135
7.6 广州新光大桥教学模型探索性综合试验	139
思考题.....	142
附录一 试验仪器操作说明.....	143
附录二 实验要求与实验分析报告内容.....	155

第1章 桥用预应力材料

随着桥梁建造科学技术的快速发展,各种先进的施工工艺得到了进一步完善,预应力混凝土技术已被广泛采用。桥梁建设规模越来越大,施工质量和安全问题越显突出,对桥用预应力材料检验及张拉设备的校准尤为重要。

1.1 预应力钢绞线力学性能检验

1.1.1 钢绞线标记方法

预应力混凝土用钢绞线是主要的桥预应力筋,它是用冷拔钢丝制造,在绞线机上以一根稍粗的直钢筋为中心,其余钢丝围绕中心直钢筋进行螺旋状绞合,再经过低温回火处理而成的,其规格有3股、7股、19股等,其中以7股钢绞线为常用。

预应力钢绞线应成批验收,每批由同一钢号、同一规格、同一生产工艺制造的钢绞线组成,检验批每批不超过60t,每批3根。

检验依据:《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—2014)

标记方法:例如,公称直径为15.20mm,强度级别为1860MPa的七根钢丝捻制的标准型钢绞线标记为:预应力钢绞线1×7-15.20-1860-GB/T 5224—2014。

1.1.2 外观检验

预应力钢绞线的公称直径、直径允许偏差、中心钢丝直径加大范围应符合GB/T 5224—2014的规定。钢绞线的捻距应为钢绞线公称直径的12~16倍,如无特殊要求,钢绞线的捻编方向为左捻。钢绞线内不得有折断、横裂和相互交叉的钢丝;每根成品钢绞线表面不得带有任何形式的电接头。成品钢绞线表面不得带有润滑剂、油渍等降低钢绞线与混凝土黏结力的物质。钢绞线表面允许有轻微的浮锈,但锈蚀不得成肉眼可见的麻坑。用肉眼检查钢绞线表面质量,用精度为0.02mm的卡尺测量直径和捻距,直径应以横穿直径方向的相对两根外层钢丝为准,测得钢绞线中心钢丝直径 d_0 、外层钢丝直径 d 和捻距,可以算出钢绞线捻角 α ,钢绞线的参考截面面积 S_n 可以按式(1-1)计算。

$$S_n = \frac{\pi d_0^2}{4} \left(1 + \frac{6}{\sin \alpha} \frac{d^2}{d_0^2} \right) \quad (1-1)$$

常用1×7-15.20-1860-GB/T 5224—2014钢绞线参考截面面积 S_n 值取140.0mm²。

1.1.3 力学性能指标及检验项目

整根钢绞线的拉力实验结果应符合表 1-1 的规定。

表 1-1 钢绞线的力学性质(GB/T 5224—2014)

钢绞线 结构	钢绞线 公称直径 /mm	抗拉强度 R_m /MPa $\geq$	整根钢绞线 的最大力 F_m /kN $\geq$	整根钢绞线 的最大力的 最大值 $F_{m,max}$ /kN $\geq$	规定非比例 延伸力 $F_{p0.2}$ /kN $\geq$	最大力总 伸长率(L_0 ≥ 500 mm) $A_{gt}/\%$ $\geq$	应力松弛性能	
							初始负荷 相当于实际 最大力的 百分数/%	1000h 后应力 松弛率 $r/\%$ $\leq$
1×7 标准型	15.20	1470	206	234	181	对所有规格 3.5	对所有规格	对所有规格
		1570	220	248	194			
		1670	234	262	206		70	2.5
		1720	170	190	150		80	4.5
		1860	260	288	229			
		1960	274	302	241			

检查项目有：

(1) 屈服力

钢绞线屈服力采用引伸计标距(不少于一个捻距)的非比例延伸达到引伸计标距的 0.2% 时所受的力($F_{p0.2}$)。为便于供方日常检验,也可以测规定总延伸到达原标距 1% 的力(F_d),其值符合本标准规定的 $F_{p0.2}$ 值可以交货,但仲裁实验时测定 $F_{p0.2}$ 。测定 $F_{p0.2}$ 和 F_u 时预加荷载为公称最大力的 10%。

(2) 最大力 F_m

整根钢绞线的最大力实验按 GB/T 21839 的规定进行,如试样在夹头内和距钳口 2 倍钢绞线公称直径内断裂,达不到本标准性能要求时,实验无效。计算抗拉强度 R_m 时取钢绞线的公称横截面面积(钢绞线公称直径为 15.20 mm,公称横截面面积为 140 mm²)。

(3) 最大力总伸长率 A_{gt}

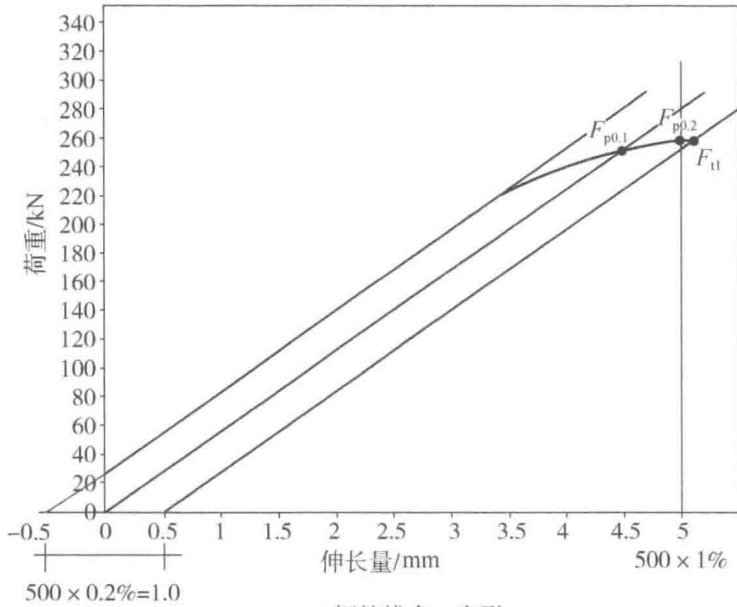
最大力总伸长率 A_{gt} 按 GB/T 21839 的规定进行测量。伸长率 A_{gt} 的精确值只能用引伸计测得,如果试样上的引伸计不能延伸到试样断裂,可按下列方法测定伸长率 A_t 代替 A_{gt} 。

测定钢绞线(15.20 mm)伸长率时,其标距 ≥ 500 mm,记录实验机夹紧时的距离 L ,若测定伸长的引伸计距离(标距 L)定为 500 mm,1% 即 5.0 mm 时的负荷 F_d 后,卸下引伸计,读取实验系统上显示位移值 L_1 。然后加荷至钢绞线断裂,此时记录上下工作台间的最终距离 L_2 ;测量伸长率时预加荷载对试样所产生的延伸率 0.1% 应在总延伸内。可理论计算钢绞线的伸长率

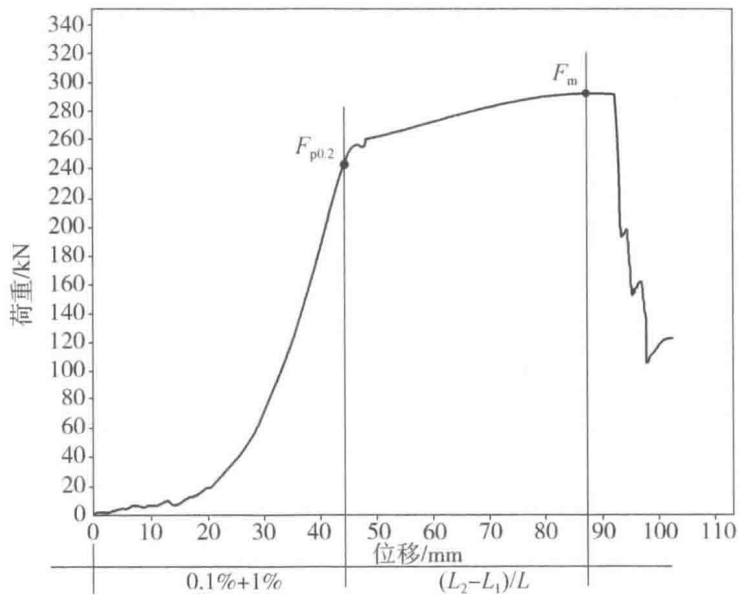
$$A_{gt} = 0.1\% + 1\% + \Delta L / L \tag{1-2}$$

其中, $\Delta L = L_2 - L_1$ 。

钢绞线加载过程曲线见图 1-1。



(a) 钢绞线力—变形



(b) 钢绞线力—伸长率

图 1-1 钢绞线加载过程曲线

(4) 弹性模量 E

弹性模量按 GB/T 21839 的规定进行测定, 在力—伸长率曲线中, 用 $0.2F_m$ 到

$0.7F_m$ 范围内的直线段斜率除以公称面积测定,斜率可以通过对测定数据进行线性回归得出,也可用最优拟合目测法得出。

检验结果修约与判定应符合 YB/T 081 的规定, R_m 精确至 10 MPa, A_{gt} 精确至 0.1%。从每盘钢绞线截取一根试样所进行的力学性能实验,每项实验结果均应符合标准规定值,如有一项不合格,则该盘钢绞线判定为不合格品,再从未实验的钢绞线中取 2 倍数量的试样进行不合格项的复验,如仍有一项不合格,则该批钢绞线判定为不合格品。

1.1.4 实验步骤

(1) 打开实验机电源与控制界面,开动油泵,油缸进油。

(2) 装夹钢绞线一端,力值清零,再装夹另一端。钢绞线两端装夹可加装带金刚砂的薄铝片,增加握裹力,可减少夹头打滑现象。记录 L 。

(3) 在夹持段中部安装引伸计。加载程序设定为加载至“预加荷载” $P_{初}$ 时,引伸计清零。

(4) 拆除引伸计固定针后开始实验,当引伸计达 1% 标距时,可记录 F_{II} 。保持荷载,取下引伸计,记录 L_1 。

(5) 当加力使试件破损后,记录 L_2 ,卸荷(实验机卸油)。

(6) 记录计算实验数据 E , $F_{p0.2}$, F_m , A_{gt} 。关闭电源,清理现场,工具复位。

1.2 预应力锚具、夹具和连接器锚固性能检验

锚具是在后张法预应力结构或构件中为保持预应力筋的张拉力将其传递到混凝土上所用的永久性锚固装置。

夹具常为临时性的锚固装置工具。在先张法预应力混凝土结构或构件施工时,为保持预应力筋的拉力并将其固定在张拉台座(或设备)上的临时性锚固装置;或者在后张法预应力结构或构件施工时,将千斤顶(或其他张拉设备)的张拉力传递到预应力筋上的临时性锚固装置(又称工具锚)。

连接器是用于连接预应力筋的连接装置。

检验依据:《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370—2015)。

1.2.1 产品分类

锚具、夹具和连接器按锚固方式不同,可分为夹片式(单孔和多孔夹片锚具)、支承式(墩头锚具、螺母锚具等)、锥塞式(钢质锥形锚具等)和握裹式(挤压锚具、压花锚具等)四种基本类型。

1.2.2 实验要求

锚具、夹具和连接器应具有可靠的锚固性能和足够的承载能力,以保证充分发挥预应力筋的强度。锚具静载锚固性能由预应力锚具组装件的静载实验测定的锚具效率系数 η_a 和达到实测极限拉力时的总应变 ε_{Ta} 来确定。

锚具、夹具的静载锚固性能应符合式(1-3)。

$$\eta_a = \frac{F_{Tu}}{n \times F_{pm}} \geq 0.95 \quad \text{或} \quad \eta_g = \frac{F_{Tu}}{n \times F_{pm}} \geq 0.95$$

$$\varepsilon_{Ta} \geq 2.0\% \quad (1-3)$$

破坏形式规定：预应力筋—夹具(或连接器)组装件的破坏形式应是预应力筋的破坏，而不应由夹具(或连接器)的失效导致实验终止。

索力中预应力材料用夹具的效率系数应符合式(1-4)。

$$\eta_a = \frac{F_{Tu}}{F_{ptk}} \geq 0.95, \varepsilon_{Ta} \geq 2.0\% \quad (1-4)$$

预应力筋公称极限抗拉力按式(1-5)计算。

$$F_{ptk} = A_{pk} \times f_{ptk} \quad (1-5)$$

式中 F_{Tu} ——预应力筋—锚具夹具或连接器组装件的实测极限拉力，kN；

F_{pm} ——预应力单根试件的实测平均极限抗拉力，kN；

F_{ptk} ——预应力筋的公称极限拉力，kN；

A_{pk} ——预应力筋的公称截面积，mm²；

f_{ptk} ——预应力筋的公称抗拉强度，MPa；

n ——预应力筋—锚具夹具或连接器组装件中预应力筋的根数；

η_a ——预应力筋—锚具组装件静载锚固性能实验测得的锚具效率系数，%；

η_g ——预应力筋—夹具组装件静载锚固性能实验测得的锚具效率系数，%；

ε_{Ta} ——预应力筋—锚具夹具或连接器组装件达到实测极限抗拉力 F_{Tu} 时，预应力筋受力长度的总伸长率，%。

锚固组装件静载实验采用多束钢绞线组装称为群锚实验，受力长度不得小于 3 m；用单束钢绞线组装称为单束锚固实验，单根预应力筋试件的受力长度不得小于 0.8 m。

实验用的测力系统，其不确定度不得大于 2%；测量总应变用的量具，其标距的不确定度不得大于标距的 0.2%，指示应变的不确定度不得大于标距的 0.1%。实验台座承载力应大于组装件中各预应力筋计算极限拉力之和的 1.5 倍，千斤顶额定张拉力和测力传感器额定压力应大于组装件中各预应力筋计算极限拉力之和。实验设备及仪器每年至少标定一次。

锚具组装件实验之前必须对单根预应力筋进行力学性能实验，每次随机抽取 6 个试件，且其试件应同组装件的预应力筋试件，从同一盘钢丝或钢绞线中抽取。

1.2.3 静载锚固性能实验

(1) 组装件装置。

应力筋—锚具或夹具组装件可按图 1-2 的装置进行静载锚固性能实验，受检锚具下方安装的环形支撑垫板内径应与受检锚具配套使用的锚垫板上口直径一致；预应力筋—连接器组装件可按图 1-3 的装置进行静载锚固性能实验，被连接段预应力筋(件 13)安装预紧时，可在实验连接器(件 8)下临时加垫对开垫片，加载后可适时撤除；单根预应力筋的组装件还可在钢绞线拉伸实验机上按 GB/T 21839 的规定进行静载锚固性能实验。

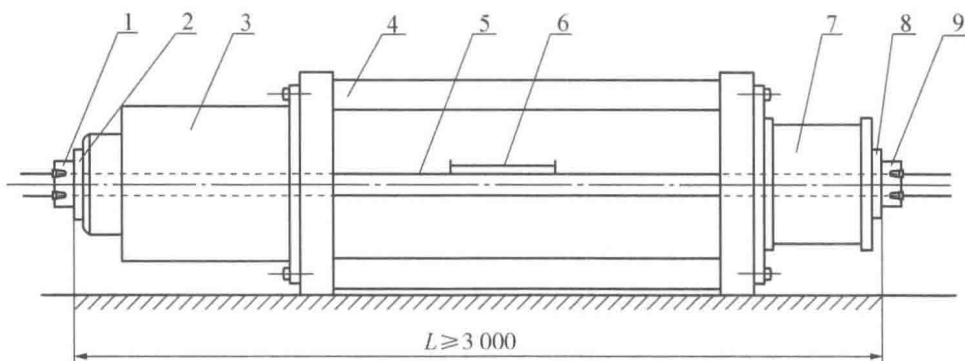


图 1-2 预应力筋—锚具或夹具组装件装置图

1, 9—实验锚具或夹具; 2, 8—环形支承垫板; 3—加载用千斤顶; 4—承力台座;
5—预应力筋; 6—总伸长率测量装置; 7—荷载传感器

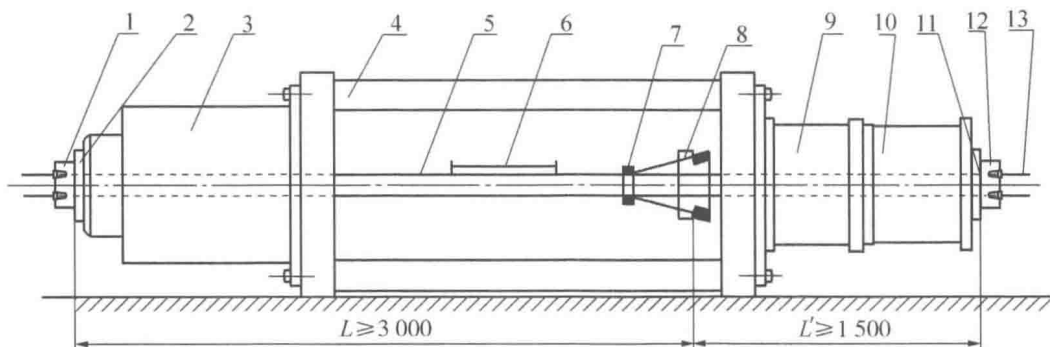


图 1-3 预应力筋—连接器组装件装置图

1, 12—实验锚具; 2, 11—环形支承垫板; 3—加载用千斤顶;
4—承力台座; 5—续接段预应力筋; 6—总伸长率测量装置; 7—转向约束钢环;
8—实验连接器; 9—附加承力圆筒或穿心千斤顶; 10—荷载传感器; 13—被连接段预应力筋

(2) 安装与初应力。

①受检预应力筋—锚具、夹具或连接器组装件应安装全部预应力筋。

②加载之前应先将各种测量仪表安装调试正确, 将各根预应力筋的初应力调试均匀, 初应力可取预应力筋公称抗拉强度 f_{ptk} 的5%~10%; 总伸长率测量装置的标距不宜小于1m。

(3) 加载步骤应符合下列规定:

①对预应力筋分级等速加载, 加载步骤应符合表1-2的规定, 加载速度不宜超过100 MPa/min; 加载到最高一级荷载后, 持荷1h, 然后缓慢加载至破坏。

②用实验机或承力台座进行单根预应力筋的组装件静载锚固实验时, 加载速度可加快, 但不宜超过200 MPa/min; 加载到最高一级后, 持荷时间可缩短, 但不宜少于10min, 然后缓慢加载至破坏。

表 1-2 静载锚固性能实验的加载步骤

MPa

预应力筋类型	每级应施加的荷载
预应力钢材	$0.20F_{ptk} \rightarrow 0.40F_{ptk} \rightarrow 0.60F_{ptk} \rightarrow 0.80F_{ptk}$
纤维增强复合材料筋	$0.20F_{ptk} \rightarrow 0.40F_{ptk} \rightarrow 0.50F_{ptk}$

③除采用夹片式锚具的钢绞线拉索以外,其他拉索的加载步骤应符合下列规定:由 $0.1F_{ptk}$ 开始,每级加载 $0.1F_{ptk}$,持荷 5 min,加载速度不大于 100 MPa/min,逐级加载至 $0.8F_{ptk}$;持荷 30 min 后继续加载,每级加载 $0.05F_{ptk}$,持荷 5 min,逐级加载直到破坏。

④对于非鉴定性实验,实验过程中,测得的 η_a , η_g , ε_{Tu} 应满足式(1-3)及破坏形式要求。

(4)实验过程中应对下列内容进行测量、观察和记录:

①荷载为 $0.1F_{ptk}$ 时总伸长率测量装置的标距和预应力筋的受力长度;

②选取有代表性的若干根预应力筋,测量实验荷载从 $0.1F_{ptk}$ 增长到 F_{Tu} 时,预应力筋与锚具、夹具或连接器之间的相对位移 Δa (图 1-4);

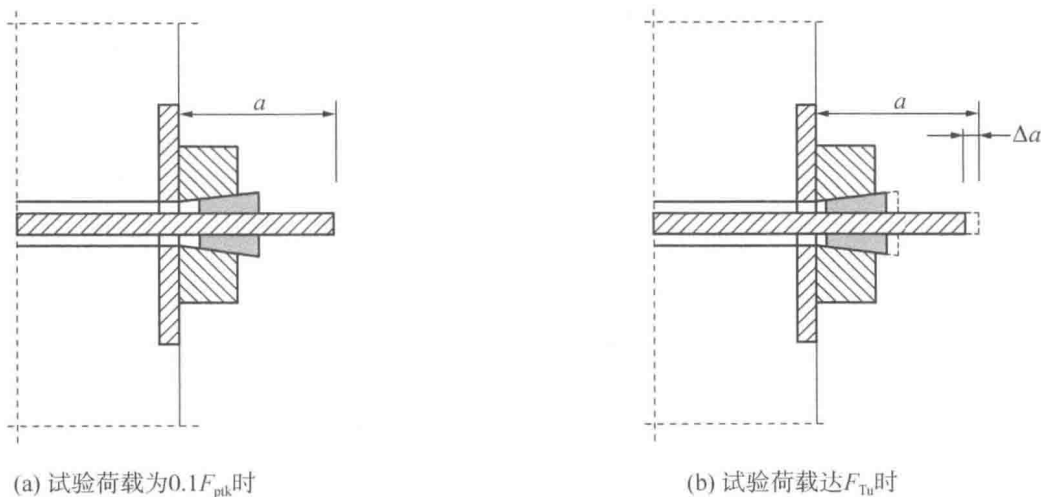


图 1-4 实验期间预应力筋与锚具、夹具或连接器之间的相对位移示意图

③组装件的实测极限拉力 F_{Tu} ;

④实验荷载从 $0.1F_{ptk}$ 增长到 F_{Tu} 时总伸长率测量装置标距的增量 ΔL_1 ; 并计算预应力筋受力长度的总伸长率 ε_{Tu} ;

$$\varepsilon_{Tu} = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{L_1 - \Delta L_2} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 ΔL_1 ——实验荷载从 $0.1F_{ptk}$ 增长到 F_{Tu} 时,总伸长率测量装置标距的增量, mm;

ΔL_2 ——实验荷载从 0 增长到 $0.1F_{ptk}$ 时,总伸长率测量装置标距增量的理论计算值, mm;

L_1 ——总伸长率测量装置在实验荷载为 $0.1F_{ptk}$ 时的标距, mm。

⑤如采用测量加载用千斤顶活塞位移量计算预应力筋受力长度的总伸长率 ε_{Tu} 应按式(1-7)计算。

$$\varepsilon_{Tu} = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2 - \sum \Delta a}{L_2 - \Delta L_2} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 ΔL_1 ——实验荷载从 $0.1F_{pk}$ 增长到 F_{Tu} 时, 加载用千斤顶活塞的位移量, mm;

ΔL_2 ——实验荷载从 0 增长到 $0.1F_{pk}$ 时, 加载用千斤顶活塞的位移量的理论计算值, mm;

$\sum \Delta a$ ——实验荷载从 $0.1F_{pk}$ 增长到 F_{Tu} 时, 预应力筋端部与锚具、夹具或连接器之间的相对位移之和, mm;

L_2 ——实验荷载为 $0.1F_{pk}$ 时, 预应力筋的受力长度, mm。

(5) 组装件的破坏部位与形式应符合下列规定:

夹片式锚具、夹具或连接器的夹片在加载到最高一级荷载时, 不允许出现裂缝或断裂; 在满足式(1-3)的条件下允许出现微裂和纵向断裂, 不应出现横向、斜向断裂及碎断; 预应力筋激烈破断冲击引起的夹片破坏或断裂属于正常情况; 握裹式锚具的静载锚固性能实验, 在满足式(1-3)后失去握裹力时, 属正常情况。

(6) 应进行 3 个组装件的静载锚固性能实验, 全部实验结果均应做记录。3 个组装件的实验结果均应符合式(1-3)及破坏形式规定, 不应以平均值作为实验结果。

(7) 预应力筋为钢绞线时, 如果钢绞线在锚具、夹具或者连接器以外非夹持部位破断, 且不符合式(1-3)及破坏形式规定, 应更换钢绞线, 重新取样做实验。

(8) 检测报告除数据记录外, 还应包括破坏部位及形式的图像记录, 并有准确的文字述评。

1.2.4 试件抽样与检验判定

对于同类型、同一批原材料和同一工艺生产的锚具、夹具或连接器应作为一批验收, 每批不超过 1000 套, 其抽样与判定见表 1-3。

对预应力锚具、夹具和连接器等检验要求, 一般是按产品的用途进行实验项目的检验。

表 1-3 检验项目、数量和结果评定

方式	实验项目/数量		判定规则
出厂检验	外观、尺寸	大于等于本生产批的 5% 且不应少于 10 [件(套)]	产品外观、尺寸及偏差应符合技术文件的规定 如果 1 个样品不符合要求, 则双倍数量样品重检; 如仍有 1 个样品不符合要求, 则对本批产品逐件检, 符合者判定合格
	硬度检验	大于等于本生产批的 3% 且不应少于 5 [件(套)], 每批抽样	产品硬度应符合技术文件的规定
	静载实验	3 套组装件用量 [件(套)]	2 套组装件不符合要求, 判定该批产品不合格; 1 套组装件不符合要求, 则双倍数量样品重检, 仍有不符合要求者则判定该批产品不合格

续表 1-3

方式	实验项目/数量	判定规则
型式检验	外观、尺寸、硬度检验、静载实验、疲劳荷载性能、锚固区传递力性能、低温锚固性能、锚板强度	其中一项不合格者, 则判定型式检验不合格
	内缩量、锚口摩阻损失	数据项目, 不作合格性判定
	张拉锚固工艺	工艺项目, 不作合格性判定

1.3 预应力材料硬度检验

金属的硬度实验, 一般可分为动载和静载的实验。动载实验常用的为弹性回跳法和用冲击力把淬火钢球压入试样的实验方法, 静载实验法为以一定形状的压头, 平稳并逐渐地施加载荷, 将压头压入试样, 以所得压痕的几何形状或压痕形状与载荷的相互关系来表示金属的硬度。

硬度是衡量材料软硬程度的一个性能指标, 硬度实验是机械性能实验中最简单易行的一种实验方法。硬度实验的方法较多, 原理也不相同, 测得的硬度值和含义也不完全一样。最常用的是静负荷压入法硬度实验, 即布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRA, HRB, HRC)、维氏硬度(HV), 其值表示材料表面抵抗坚硬物体压入的能力。而里氏硬度(HL)、肖氏硬度(HS)则属于回跳法硬度实验, 其值代表金属弹性变形功的大小。因此, 硬度不是一个单纯的物理量, 而是反映材料的弹性、塑性、强度和韧性等的一种综合性能指标。

实践证明, 金属材料的各种硬度值之间, 硬度值与强度值之间具有近似的相应关系。因为硬度值是由起始塑性变形抗力和继续塑性变形抗力决定的, 材料的强度越高, 塑性变形抗力越高, 硬度值也就越高。

金属硬度(Hardness)的代号为 H。按硬度实验方法的不同, 有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC)、维氏硬度(HV)、里氏硬度(HL)等。实际中, HB 和 HRC 应用较广, 两者的区别在于硬度计之测头不同, 布氏硬度计之测头为钢球, 而洛氏硬度计之测头为金刚石。

维氏硬度 HV 适用于显微镜分析。以 120 kg 以内的载荷和顶角为 136°的金刚石方形锥压入器压入材料表面, 用材料压痕凹坑的表面积除以载荷值, 即为维氏硬度值(HV)。

里氏硬度(HL)适用于手提式硬度计, 测量方便。利用冲击球头冲击产生弹跳, 得到冲头在距试样表面 1mm 处的回弹速度与冲击速度, 以其比值计算硬度, 公式: 里氏硬度(HL) = $1000 \times VB(\text{回弹速度}) / VA(\text{冲击速度})$ 。里氏硬度(HL)测量后可转化为布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC)、维氏硬度(HV)、肖氏硬度(HS)。或根据里氏原理直接用布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC)、维氏硬度(HV)、里氏硬度(HL)、肖氏硬度(HS)测量硬度值。

锚具、夹具或连接器的硬度检验依据：《金属材料 洛氏硬度实验》(GB/T 230.1—2009)；《金属材料 布氏硬度实验》(GB/T 231.1—2009)；《金属材料 维氏硬度实验》(GB/T 4340.1—2009)。

1.3.1 洛氏硬度检验

洛氏硬度是以压痕塑性变形深度来确定硬度值指标，在一定载荷下压入被测材料表面，由压痕的深度求出材料的硬度。洛氏硬度压痕很小，测量值有局部性，须测数点求平均值，适用成品和薄片，归于无损检测一类。根据实验材料硬度的不同，分三种不同的标度来表示：

HRA：是采用 60 kg 载荷和钻石锥压入器求得的硬度，用于硬度极高的材料（如硬质合金等）。

HRB：是采用 100 kg 载荷和直径 1.58 mm 淬硬的钢球压入器求得的硬度，用于硬度较低的材料（如退火钢、铸铁等）。

HRC：是采用 150 kg 载荷和钻石锥压入器求得的硬度，用于硬度很高的材料（如淬火钢等）。

洛氏硬度实验所得的硬度值是一无名数，没有单位（因此习惯称洛氏硬度为多少度是不正确的）。洛氏硬度直接在表盘上显示，也可以数字显示，操作方便。一般情况下，HRC 适用范围 20～67，相当于 HB 225～650（互换近似式 $1\text{HRC} \approx (1/10)\text{HB}$ ）。若硬度高于 HRC 20 则用 HRA，若硬度高于 67 则用 HRB。

洛氏硬度(HR)进行硬度实验时，洛氏硬度值 HR 是测量压头 10 kgf(98.1 N)预加载荷与总载荷（预载荷加主载荷）作用下所得压痕深度差来表示，因此压痕的深度是在保留 10 kgf(98.1 N)的载荷下测量，总载荷是根据所用压头及试件材料而规定选用 150 kgf(1471.1 N)、100 kgf(980.7 N)或 60 kgf(588.4 N)，所得硬度值分别以不同的标记表示。

载荷施加于试样时必须平稳，无冲击及振动，特别在施加 10 kgf(98.1 N)预载荷时更应注意，加荷速度以压入时间表示，对 A、B、C 标尺均为 4～6 s(C 标尺用 HRC 40～50 的硬度块)，总负荷的保持时间为 10 s，主负荷在 2～3 s 内卸荷后，立即可读数。

1.3.2 布氏硬度检验

布氏硬度(HB)是以一定大小的实验载荷，将一定直径的淬硬钢球或硬质合金球压入被测金属表面，保持规定时间，然后卸荷，测量被测表面压痕直径。布氏硬度值是载荷除以压痕球形表面积所得的商。一般以一定的载荷（一般 3 000 kg）把一定大小（直径一般为 10 mm）的淬硬钢球压入材料表面，保持一段时间，去载后，负荷与其压痕面积之比值，即为布氏硬度值(HB)，单位为 N/mm^2 。

布氏硬度(HB)一般用于材料较软的时候，如有色金属、热处理之前或退火后的钢铁。其压痕较大，测量值准，不适用于成品和薄片，一般不归于无损检测一类，其硬度上限值为 HB 650（不能高于此值）。布氏硬度的硬度值有单位，且和抗拉强度有一定的