

团 体 标 准

T/JSCTS 89—2026

公路桥梁预应力碳纤维板加固施工
作业规程

Code of practice for strengthening construction of highway bridges using
prestressed carbon fiber plate

2026-01-28 发布

2026-04-01 实施

江苏省综合交通运输学会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 施工准备	2
5 施工作业	4
6 质量控制	7
附录 A(资料性) 碳纤维板实际伸长量和理论伸长量计算方法	9
附录 B(资料性) 碳纤维板张拉记录表	10
附录 C(资料性) 施工质量检查控制记录表	11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏现代路桥有限责任公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：江苏现代路桥有限责任公司、江苏连徐高速公路有限公司、江苏宁杭高速公路有限公司、江苏扬子江高速通道管理有限公司。

本文件主要起草人：袁守国、孟令国、吴尚岗、吕波、王子扶、孙洪滨、胡健、童浩、李国铭、张武兴、朱志远、李杰、刘尧、陈若升、郭道俊、苗宁宁、李立斌、强扶平、郭启林、刘成才、王曦、周家凯、武顺、仝帅、唐何国、陆一帆、戴相虎。

公路桥梁预应力碳纤维板加固施工 作业规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁预应力碳纤维板加固施工作业施工准备、施工作业和质量控制的要求。本文件适用于公路桥梁预应力碳纤维板的加固施工作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有修改单)适用于本文件。

- GB/T 13657 双酚 A 型环氧树脂
- GB/T 26752 聚丙烯腈基碳纤维
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
- JT/T 532 桥梁用碳纤维布(板)
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JT/T 1267 桥梁用预应力碳纤维板—夹持式锚具
- JT/T 1450 桥梁用预应力碳纤维板(筋)体外束
- JTG F90 公路工程施工安全组织技术规范
- JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
- JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

预应力碳纤维板 **prestressed carbon fiber plate**

采用高强度的连续碳纤维按一定规则排列,经胶黏剂浸渍,黏结固化后形成的具有纤维增强效应的可张拉复合板材。

[来源:JT/T 1267—2019,3.1.2]

3.2

夹持式锚具 **gripping anchorage**

用于保持碳纤维板的拉力并将其传递到桥梁构件上的夹片式锚固装置。

注:包括张拉端锚具和固定端锚具。

[来源:JT/T 1267—2019,3.1.1,有修改]

3.3

定位板 **locating plates**

连接被加固桥梁构件和锚具的重要承力装置。

注：其作用是将锚具传来的碳纤维板预应力传递到被加固构件上，包括张拉端定位板和固定端定位板。

3.4

压条 layering

用以对预应力碳纤维板形成压紧作用的紧固件。

4 施工准备

4.1 一般规定

4.1.1 应按照设计文件和技术规范要求编制施工组织设计，高空施工作业平台应有详细的设计图纸，且结构强度、刚度、稳定性应满足要求。

4.1.2 技术人员应熟悉设计文件，主要包括桥型、跨径、主梁截面形状、桥墩形式、混凝土设计强度等相关内容。

4.1.3 应组织技术人员及现场施工作业人员进行安全、技术交底。

4.1.4 施工安全应符合 JTG F90 的要求。

4.1.5 施工过程中做好环境保护工作。

4.1.6 钢材材质应符合 JTG/T J22 的要求。

4.2 人员要求

4.2.1 项目经理、技术负责人、专职安全员等项目管理人员配置应符合相关要求。

4.2.2 作业人员应具备桥梁养护或预应力张拉等相关工作技能。

4.2.3 作业人员应接受安全培训，特种作业人员应持证上岗。

4.3 设备仪器

4.3.1 施工设备、检测仪器应按施工组织设计要求配置，且施工设备应符合表 1 要求，检测仪器应符合表 2 要求。

4.3.2 检测仪器在使用前应送至具有标定资质的第三方单位进行标定校核。

表 1 施工设备

项次	设备类型	技术参数	备注
1	千斤顶	张拉千斤顶的额定张拉力宜为所需张拉力的 1.5 倍，且不应小于 1.2 倍；与千斤顶配套使用的压力表应防振，最大读数为张拉力的 1.5 倍~2 倍，精度不低于 1.0 级	千斤顶使用前应校准、检验和标定
2	压力泵	分辨率应不低于 0.1 MPa，示值误差不应超过 1%	压力泵包含手压泵和机压泵，根据实际需求选用；在使用前应进行标定和保压试验
3	发电机组	满足施工作业基本电力需求	可根据现场情况调整
4	辅助用具	—	包括扳手、电风镐、打磨机、吹风机、抹刀、电钻等

表 2 检测仪器

项次	设备类型	技术参数	备注
1	空鼓锤	伸长长度 1 m 以上	检测待加固区域混凝土空鼓情况
2	游标卡尺	量程 0 mm~150 mm	测量碳纤维板宽度和厚度、胶厚度
3	卷尺	量程 20 m 及以上	测量碳纤维板长度、锚具尺寸定位放样
4	直角钢尺	量程 20 cm 及以上	测量钻孔深度和螺栓植入深度
5	激光角度仪	精度 ± 0.1	测量植入螺栓垂直度
6	数显水平尺	量程 20 cm 及以上	校核梁底开槽修补部位水平度
7	钢筋探测仪	可探测保护层厚度范围: 1 mm~120 mm	无损检测混凝土结构中钢筋位置、直径及保护层厚度

4.4 材料

4.4.1 碳纤维板

4.4.1.1 碳纤维应采用 GQ4522 聚丙烯腈基碳纤维,其性能应符合 GB/T 26752 的规定。

4.4.1.2 碳纤维复合树脂应采用双酚 A 型环氧树脂,其性能应符合 GB/T 13657 的规定。

4.4.1.3 碳纤维板检验应符合下列要求。

- a) 检验批次:以 3 000 m 为一批,不足此数量时,按一批计。每批次进场质量证明文件、保质期、到货数量、外观检验一次,全数检查;
- b) 检验方法:外观、尺寸、力学性能采用一次抽样法,每组随机抽取 5 个样本。

4.4.1.4 碳纤维板进场检验的外观、尺寸和力学性能应符合以下要求。

- a) 外观:在正常(光)照度下,碳纤维板颜色应保持一致,无明显色差,展开后无明显弯折,表面干净,不应有裂纹、气泡或杂质等缺陷。
- b) 尺寸:碳纤维板的尺寸偏差应小于或等于 $\pm 1\%$;同一检验批取样数量应大于或等于 1% ,且不少于 3 片。检验方法:用精度为 0.01 mm 的千分尺,对碳纤维板的厚度和宽度进行检验,随机选取 3 处测量,取算术平均值。
- c) 基本性能:抗拉强度标准值、受拉弹性模量、伸长率、纤维复合材料与基材正拉黏结强度、层间剪切强度应符合 JT/T 532 和 JT/T 1450 的规定。

4.4.2 胶黏剂

4.4.2.1 胶黏剂包含以下品种:

- a) 粘钢胶,用于锚固装置与槽口混凝土接触面的连接;
- b) 植筋胶,用于定位板、压条钻孔位的植筋与混凝土的连接;
- c) 混凝土表面底胶,在碳纤维板位置混凝土表面所刷的界面底胶;
- d) 碳纤维板胶,在混凝土表面底胶上所刷的填充胶,用于连接混凝土与碳纤维板。

4.4.2.2 碳纤维板浸渍、粘贴用胶黏剂不应使用不饱和聚酯树脂、醇酸树脂。

4.4.2.3 粘钢胶应采用专用改性环氧胶黏剂、改性乙烯基酯胶黏剂等。

4.4.2.4 胶黏剂进场检验应符合以下要求。

- a) 检验批次:按照品种采购同一批次材料。按批次逐批进行检验,每检验批取样不少于 1 次。
- b) 检验方法:在确认产品包装及标识完整的前提下,检查产品合格证、出厂日期、出厂检验报告

和进场复验报告。

- c) 力学性能:抗拉强度、受拉弹性模量、抗压强度、抗剪强度、伸长率应符合 GB 50728 中 I 类 A 级胶和设计文件的要求。

4.4.3 夹持式锚具

4.4.3.1 锚具检验应符合以下要求。

- a) 检验批次:原则上按照品种采购同一批次材料。按批次逐批进行检验,每检验批取样不少于 1 次。
- b) 检验方法:在确认产品包装及标识完整的前提下,检查产品合格证、出厂日期、出厂检验报告和进场复验报告。
- c) 基本性能:力学性能、静载锚固性能、夹持疲劳性能和松弛性能应符合 JT/T 1267 和设计文件的要求。

4.4.3.2 锚具宜在工厂进行碳纤维板试装。

4.4.4 锚栓

锚栓符合以下要求:

- a) 锚栓外观表面应光洁、无锈、完整,栓体不应有裂纹或其他局部缺陷;
- b) 螺纹不应有损伤。

4.4.5 定位板

定位板符合以下要求:

- a) 定位板应按 JT/T 722 的规定进行防腐涂装;
- b) 定位板外观表面应光洁、无锈、完整,不应有裂纹或其他局部缺陷。

4.4.6 压条

压条符合以下要求:

- a) 压条应按 JT/T 722 的规定进行防腐涂装;
- b) 压条边缘应倒钝打磨,表面应光洁、无锈。

4.4.7 防护材料

防护材料符合以下要求:

- a) 碳纤维板表面防护材料的性能及使用环境应符合 JTG/T J22 的相关规定;
- b) 防护材料的黏结性能应与涂刷的胶黏剂相容并能可靠黏结。

5 施工作业

5.1 一般规定

5.1.1 对施工关键要素进行现场复核(主要包括桥梁病害部位、碳纤维板的规格尺寸、锚具材质型号和定位、张拉力等),并按照设计图纸对桥梁病害进行处治。

5.1.2 使用碳纤维板体外预应力加固的混凝土构件,其现场实测混凝土抗压强度应不低于 35 MPa。

5.1.3 对可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的桥梁构件,设计文件应补充相应的施工安全措施和施工监控要求,并应在施工中执行。

5.1.4 施工宜在环境温度高于 5℃ 的条件下进行,并应符合结构胶的施工温度。当环境温度低于 5℃ 时,应采用低温固化型的结构胶或采取升温措施。

5.1.5 设计要求对碳纤维板张拉过程进行监测时,可通过安装传感器对碳纤维板进行全过程监测。

5.1.6 宜进行首件工程认可,对完成的首件工程进行自评,完善施工作业指导书。

5.1.7 预应力碳纤维板加固由碳纤维板、固定端锚具、张拉端锚具、固定端定位板、张拉端定位板、压条、锚栓、张拉螺杆、反力钢板、螺母、千斤顶、千斤顶垫块等组成,如图 1 所示。

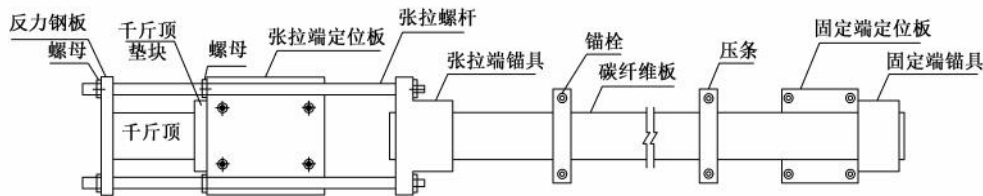


图 1 预应力碳纤维板加固示意图

5.2 施工流程

施工工艺流程应按照图 2 所示。

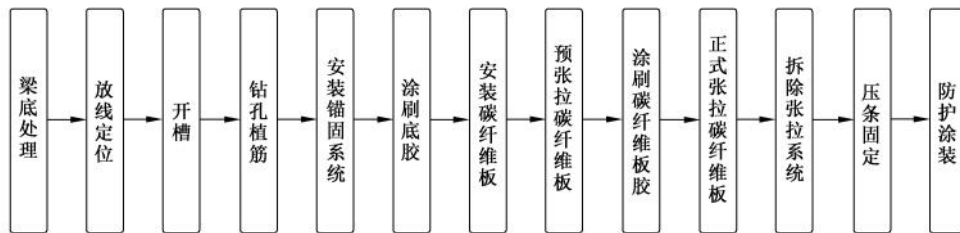


图 2 预应力碳纤维板加固施工工艺流程图

5.3 梁底处理

5.3.1 在碳纤维板粘贴位置及两侧扩大 4 cm 进行基面处理,打磨露出新面,并吹除粉粒,待底面干燥后再用丙酮喷洗表面。

5.3.2 若清理后梁底存在混凝土破损、露筋、空洞等情况,应先对外露钢筋打磨除锈、涂刷阻锈剂,并采用环氧砂浆修补,当梁底存在裂缝时应按照设计及 JTG/T J23 的要求进行修补。

5.4 放线定位

5.4.1 测量放样前应探测桥梁构件内的钢筋和钢绞线位置和走向,施工时不应对其造成破坏。

5.4.2 精确定位碳纤维板的中心线、梁底中心线、锚具位置、钻孔位置。

5.4.3 根据放样进行尺寸核对,张拉端预留出张拉空间。

5.5 开槽

5.5.1 使用切割机、电风镐等电动工具沿两端锚固装置放线区域开槽,开槽深度应满足设计要求,并且保证钢筋保护层厚度大于或等于 15 mm。

5.5.2 开槽后使用环氧砂浆修补,待完全固化后用打磨机打磨平整,并用水平仪校核。

5.6 钻孔植筋

5.6.1 使用钢筋探测仪标记钢筋位置,当定位板、压条孔位与钢筋位置冲突,可纵向整体微调。钻孔位

置、钻孔深度、钻孔垂直度、钻孔孔径、植筋数量、植筋深度、植筋胶性能等参数应满足设计文件及 GB 50367、JTG/T J22 相关要求。

5.6.2 当碳纤维板的长度大于 2 m 时,每隔 2 m 布置压条的植筋孔。

5.7 安装锚固装置

5.7.1 安装前,在锚固装置底面上均匀涂抹粘钢胶。

5.7.2 待粘钢胶干燥后,先安装两端定位板,再固定锚具,并保持两端中心线一致。

5.7.3 定位板应安装在碳纤维板的两侧,确保碳纤维板在张拉过程中保持平直。

5.7.4 定位板与碳纤维板之间应保持 2 mm~3 mm 的间隙。

5.8 涂刷底胶

5.8.1 涂刷混凝土表面底胶(厚度≤400 μm),底胶不应出现气泡。

5.8.2 干燥后方可进入下一道工序。

5.9 安装碳纤维板

5.9.1 应按公式(1)计算裁剪碳纤维板。

$$L_0 = L_g + 2 \times L_m - \Delta L_s + 10 \dots\dots\dots(1)$$

式中:

L_0 ——裁剪长度,单位为毫米(mm);

L_g ——工作长度,指张拉前两夹具前端之间的直线距离,单位为毫米(mm);

L_m ——锚固长度,纤维板在夹具内长度,单位为毫米(mm);

ΔL_s ——碳纤维板张拉实际伸长量,单位为毫米(mm),见附录 A 中公式(A.1)。

5.9.2 碳纤维板待粘贴面用丙酮擦拭干净,锚具及夹片用布条清理干净。

5.9.3 碳纤维板穿过固定端锚具孔道,外露约 30 mm;对锚具的上下夹片进行预顶,直至外露长度不超过 5 mm;上下夹片齐平,碳纤维板与孔道中心线一致。

5.9.4 碳纤维板穿过张拉端锚具,轴线偏差不超过 20 mm。

5.9.5 在张拉端安装顶升装置,千斤顶中心、孔道中心及锚具中心线应平行。

5.10 预张拉碳纤维板

5.10.1 预张拉前应根据设计、千斤顶和手压泵标定报告等测算张拉控制应力、手压泵表盘数值及理论伸长量。

5.10.2 预张拉应采用逐级张拉,张拉顺序为设计张拉力的 10%→20%→50%→75%→100%→持荷 5 min。每级张拉结束持荷至少 2 min 后测量每级碳纤维板伸长量,检查锚固系统状态,达到设计张拉力后逐步卸载千斤顶。

5.10.3 在千斤顶到达极限行程位置后对锚固螺母进行紧固限位,调整千斤顶和反力钢板位置,继续张拉,直至张拉力达到设计张拉力。

5.10.4 预张拉结束后拆除限位压条,拆下张拉端锚具和碳纤维板。

5.11 涂刷碳纤维板胶

5.11.1 在碳纤维板的表面均匀涂抹碳纤维板胶,胶层沿宽度方向呈中间厚两边薄的凸起状,平均厚度不应小于 2 mm。

5.11.2 托起碳纤维板,安装限位压条,对碳纤维板形成压紧作用,使碳纤维板与混凝土表面的间距控

制在 $2\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ 。

5.12 正式张拉碳纤维板

5.12.1 正式张拉应采用逐级张拉,张拉顺序为设计张拉力的 $10\% \rightarrow 20\% \rightarrow 50\% \rightarrow 75\% \rightarrow 100\%$ → 持荷 5 min ,每级张拉结束持荷至少 2 min 后测量、记录碳纤维板的伸长量,碳纤维板张拉记录表见附录 B。

5.12.2 每级张拉结束后,碳纤维板伸长量的实测值应满足理论伸长量的要求;实际伸长量与理论伸长量偏差率应不大于 6% 。

5.12.3 在张拉端安装张拉锚固装置,调整装置位置,使其纵向中心线与碳纤维板中心线重合。

5.12.4 在千斤顶到达极限行程位置后对张拉端锚固螺母进行紧固限位,调整千斤顶和反力钢板位置,继续张拉,直至张拉力达到设计张拉力。

5.12.5 加压或者减压时,千斤顶的行程速度应控制在 20 mm/min 以内,不应快速冲、放千斤顶行程。

5.12.6 张拉过程中,碳纤维板与梁底混凝土应粘贴密实,如有空隙应补注黏结胶。

5.12.7 预应力碳纤维板张拉的过程中,监测、记录碳纤维板的张拉力和伸长量,确保碳纤维板张拉力达到设计值。

5.12.8 当张拉力达到设计要求时,应持荷 5 min ,若张拉力出现损失,应进行张拉补足。

5.12.9 张拉完成后应进行伸长偏差率复核,按公式(2)计算。

$$p_s = \left| 1 - \frac{\Delta L_s}{\Delta L_a} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

p_s ——伸长偏差率, $|p_s| \leq 6\%$;

ΔL_s ——碳纤维板张拉实际伸长量,单位为毫米(mm),见公式(A.1);

ΔL_a ——碳纤维板张拉理论伸长量,单位为毫米(mm),见公式(A.2)。

5.13 拆除张拉系统

5.13.1 持荷稳定后检查锚固系统,如无异常可将千斤顶缓慢减压,卸载后移走千斤顶;若出现异常,由技术人员进行检查,必要时减压。

5.13.2 卸除千斤顶荷载并拆掉千斤顶、反力钢板等张拉装置,割掉过长的张拉杆。

5.14 压条固定

5.14.1 拧紧压条,使碳纤维板与混凝土表面间距符合要求。

5.14.2 清除碳纤维板两侧边溢出的黏结胶。

5.15 防护涂装

5.15.1 张拉施工完成后,碳纤维板表面按设计要求涂抹表面防护材料(厚度 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$),表面防护材料的性能及使用环境可按 JTG/T J22 的相关规定执行。

5.15.2 碳纤维板施工后 24 h 内,应防止雨淋或风沙、灰尘的污染。

6 质量控制

6.1 预应力碳纤维板加固施工过程中应对施工质量等进行实时观测,测量项目及指标应符合表 3 的相关要求,施工质量检查控制记录表见附录 C。

表 3 预应力碳纤维板加固施工作业实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法或频率
1	混凝土表面修补平整度/mm		≤ 5	2 m 钢尺测量,全部
2	钻孔植筋	锚栓孔深度/mm	+10,0	游标卡尺,抽查 20%,且不少于 5 处
		锚栓孔直径/mm	+2,-1	游标卡尺,抽查 20%,且不少于 5 处
		钻孔垂直度/(°)	≤ 3	角尺,抽查 20%,且不少于 5 处
3	锚具安装位置偏差/mm		± 10	尺量,全部
4	预应力碳纤维板长度偏差/%		1	钢尺,全部
5	预应力碳纤维板伸长量/%		± 6	尺量,全部

6.2 空鼓检查

6.2.1 碳纤维板与混凝土之间的黏结质量可用锤击法或其他有效探测法进行检查。根据检查结果确认的总有效黏结面积不应小于总黏结面积的 95%。

6.2.2 探测时,应将粘贴的碳纤维板分区,逐区测定空鼓面积(即无效黏结面积);若单个空鼓面积不大于 10 000 mm²,允许采用注射法充胶修复;若单个空鼓面积大于或等于 10 000 mm²,应核查原因后再施工。

附录 A

(资料性)

碳纤维板实际伸长量和理论伸长量计算方法

A.1 预应力筋张拉的实际伸长量可按公式(A.1)计算。

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad \dots\dots\dots(A.1)$$

式中:

ΔL_s ——碳纤维板张拉实际伸长量,单位为毫米(mm);

ΔL_1 ——从初应力至实际张拉控制应力的实测伸长量,单位为毫米(mm);

ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长量,单位为毫米(mm),可采用相邻级(10%~20%)张拉伸长量推算。

注:由于存在锚具变形、碳纤维板的回缩和接缝压缩等情况,碳纤维板在0%~10%张拉控制应力作用下的伸长量可采用相邻级10%~20%张拉伸长量进行推算,碳纤维板的实际伸长量计算方法为 ΔL_1 =实际张拉控制应力的伸长量-10%· σ_{con} 的伸长量, ΔL_2 =20%· σ_{con} 的伸长量-10%· σ_{con} 的伸长量,其中 σ_{con} 指设计张拉控制应力。

A.2 碳纤维板理论伸长量可按公式(A.2)计算:

$$\Delta L_a = \frac{L_c \times F_c}{A_c \times E_c} \quad \dots\dots\dots(A.2)$$

式中:

ΔL_a ——碳纤维板张拉理论伸长量,单位为毫米(mm);

L_c ——碳纤维板工作长度,指两夹具前端之间的直线距离,单位为毫米(mm);

F_c ——碳纤维板张拉力,单位为牛顿(N);

A_c ——碳纤维板截面积,单位为平方毫米(mm²);

E_c ——碳纤维板弹性模量,单位为兆帕(MPa),弹性模量数据来源于厂家或第三方检测报告。

附 录 B
(资料性)
碳纤维板张拉记录表

碳纤维板张拉记录表见表 B.1。

表 B.1 碳纤维板张拉记录表

张拉单位/人员					张拉日期/时间	
张拉标段/编号						
碳纤维板型号规格				张拉设备		
碳纤维板总长/mm						
碳纤维板计算长度/mm						
张拉力控制力/ kN		油表读数/ kN	碳纤维板理 论伸长量/ mm	碳纤维板实际 伸长量/ mm	伸长 偏差率/ %	持荷时间/ min
10% 张拉力						
20% 张拉力						
50% 张拉力						
75% 张拉力						
100% 张拉力						
记录说明：						

附 录 C
(资料性)
施工质量检查控制记录表

施工过程中施工质量检查控制记录表见表 C.1。

表 C.1 施工过程中施工质量检查控制记录表

检查单位/人员		检查日期/时间					
检查标段/编号							
编号/位置	混凝土表面 修补平整度/ mm	锚栓孔深度/ mm	锚栓孔直径/ mm	钻孔垂直度/ (°)	预应力碳纤维板 长度偏差/mm	锚具安装位 置偏差/mm	
检查结论							
记录说明：							