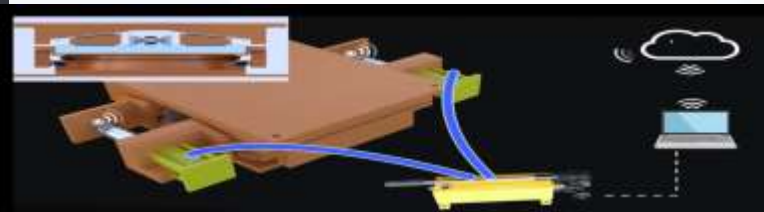
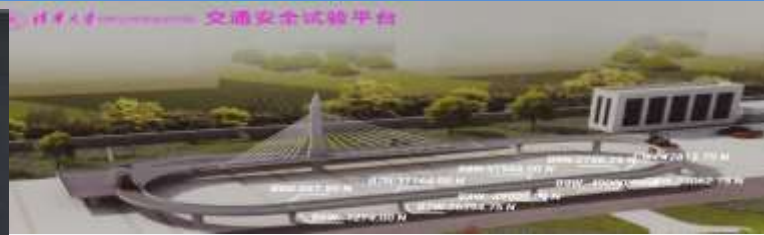


基于约束边界条件力学智能测控技术的桥梁智慧建造



济通股份

结构智能连接件·新一代物联网

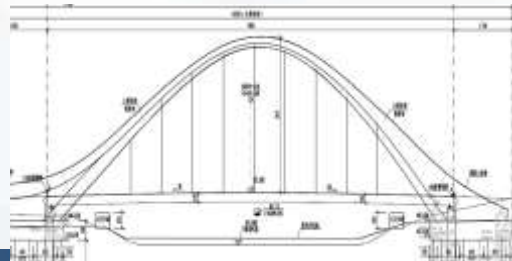


伍大成 济通股份董事长、产品经理
华威大学IT硕士、重庆大学自动化学士，四川省万人计划领军人才

智能建造：约束边界条件力学测控的价值

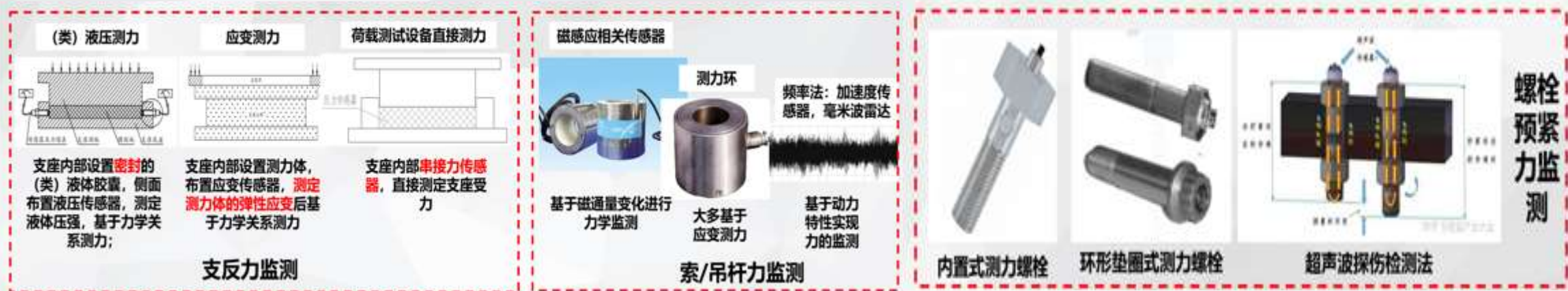
约束边界条件（受力）状态（支座、索、其它承力连接件）测控的价值：

- **减少假设**：准确、可靠地反映/调节桥梁**结构内力的分布和应力集中**状态；
- **预防和诊断**：更早发现问题，避免结构变形、裂缝、失稳、动力学性能劣化等受力不均导致的结果产生；
- **优化设计和施工**：结构、尺寸和材料的优化，施工方法的优化。
- **测量与控制**：自适应结构和虚实互动数字孪生。



数字孪生MAPE-K模型：智慧结构2.0

约束边界条件长效测量：全球测量技术瓶颈



传感元件

漂移、蠕变、损坏：**不可避免**；

传感器可更换/
校准

间接测量

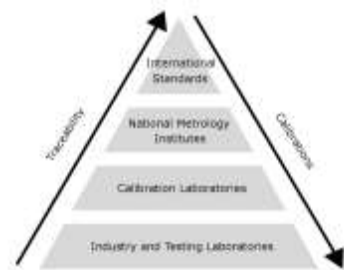
$F=f(x,y,z..)$: 函数关系会发生变化; 其中x: **应变、磁导率、频率**等传感器读数;

系统校准/
函数更新

使用状态

持续承载: 荷载清零难或不可行:
显著区别于称重传感器使用的常规**量值传递溯源**。

超常测量
新型量值溯源



结构内力智能测控技术 ——现状与瓶颈

12:38 【习近平：要打好科技仪器设备、操作系统和基础软件国产化攻坚战】

财联社2月22日电，中共中央政治局2月21日下午就加强基础研究进行第三次集体学习。习近平强调，要协同构建中国特色国家实验室体系，布局建设基础学科研究中心，超前部署新型科研信息化基础平台，形成强大的基础研究骨干网络。要科学规划布局前瞻引领型、战略导向型、应用支撑型重大科技基础设施，强化设施建设事中事后监管，完善全生命周期管理，全面提升开放共享水平和运行效率。要打好科技仪器设备、操作系统和基础软件国产化攻坚战，鼓励科研机构、高校同企业开展联合攻关，提升国产化替代水平和应用规模，争取早日实现用我国自主的研究平台、仪器设备来解决重大基础研究问题。

工信部等七部门联合印发《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025年）》

1.建立健全创新体系。支持建设一批国家级智能检测装备重点实验室、工程研究中心、创新中心等研发创新载体，加强前沿和共性技术研发。充分发挥行业龙头企业、科研机构、高校等作用，推动产业链协同创新，加快创新成果转移转化。鼓励企业加强技术中心建设，开展关键技术和应用技术开发。

2.加强核心技术攻关。积极跟踪国内外智能检测装备技术发展趋势，研究新型量值传递溯源、超常测试技术等智能检测理论方法和共性技术。加强与重点领域用户需求对接，开发适配制造工艺的专用检测技术。推进人工智能、5G、大数据、云计算等新技术融合应用，提升智能检测装备感知、分析、控制、决策能力和水平。

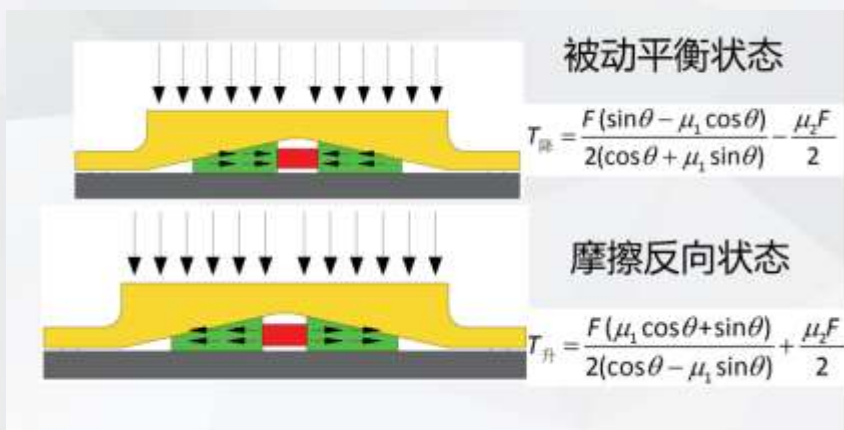
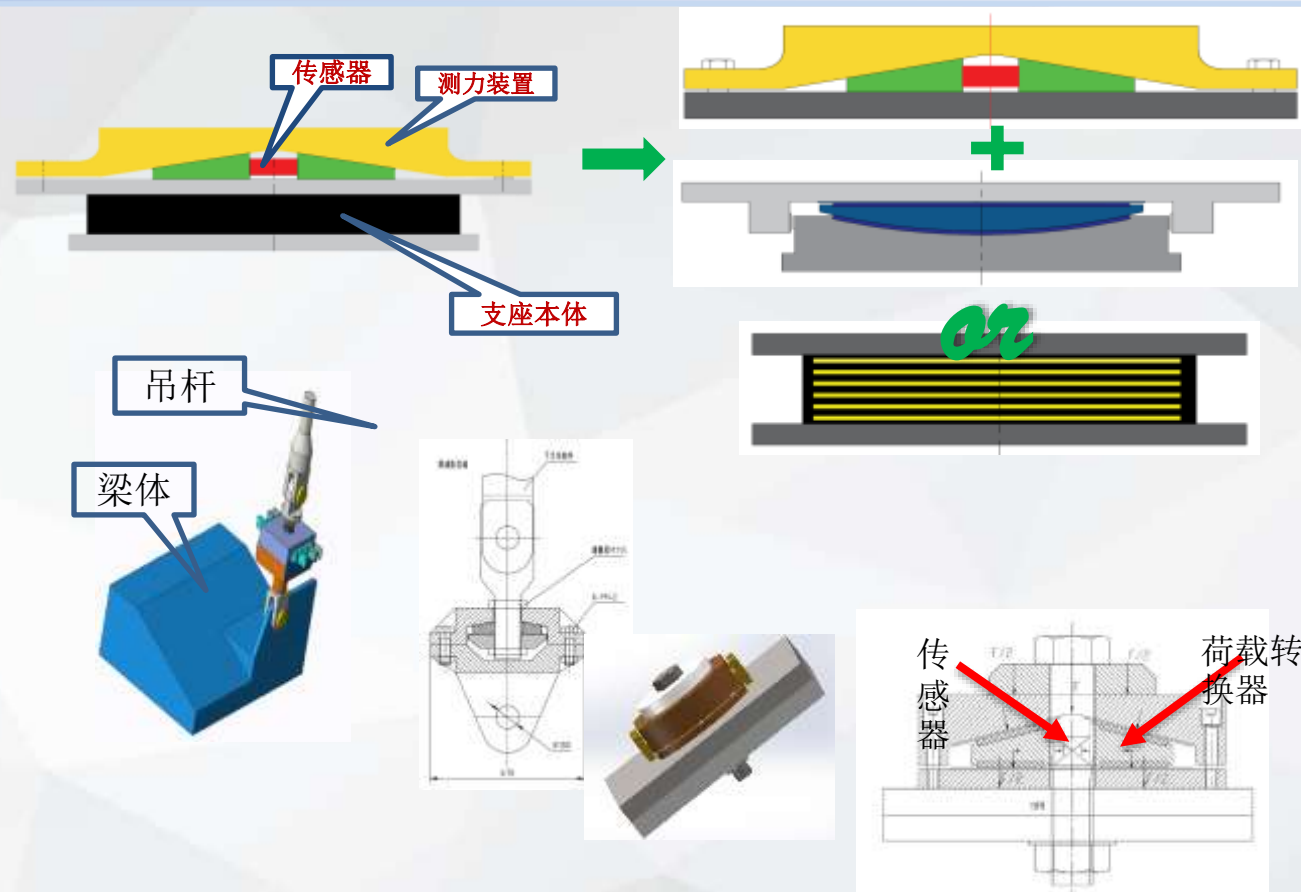
Bridge Adaptive Digital Twin with Lifecycle Internal Force Monitoring and Control

The load distribution of boundary conditions such as bridge bearings and suspension cables, is a key factor in determining the internal forces within a bridge. It provides valuable insight into the stability and safety of the structure and holds significant weight in the calculation of various structural analytical models.

结构内力智能测控技术 —— 实施方案

解决方案

- 1, 楔形块: 受力转向。
- 2, 传感器: 水平力传感器可更换 (校准)。
- 2, 力值与传感器函数关系更新:
 - 竖向力/摩擦力/水平约束力 (长效测量)
 - 水平动力 (即时测量) / 摩擦力/竖向力
- 3, 摩擦反向: 不产生位移或极小位移 (0.05mm), 过程不影响结构内力。



- Bearingsmart: 支座反力
- CableSmart: 索力
- Boltsmart: 螺栓预紧力



测试报告及证书

测力原位校准报告

1 仪器处于受力 (F) 状态

2 执行原位校准操作

- 传感器校准(T)
- 函数更新 $F'=f(T)$
- 过程中受力状态及高度无影响

3 对比力与校准结果 (F,F')

- 精度
- 重复性误差

4 工作测力仪校准证书

- 0.2P-1P

《桥梁支座反力监测通用技术规程》CECS标准
《桥梁支座反力楔形转换测量及调节装置》团体标准 (发布)
《桥梁智能支座校准技术规程》JJF国家标准 (联合部公路院申报)
江西公路学会标准申报中

1033610

NIMTT 中国测试技术研究院
National Institute of Measurement and Testing Technology

测试报告

Test Report

报告编号: 测试字第 202302000265 号 防伪码
Report No. c4cc637fb806b239
1578dc20c2c2b91
d0e4db87fe7ec712
2e8035c194b036bc

客户名称 济通智能装备股份有限公司
Client Name

联络信息 成都市新津县工业园区 A 区兴园 10 路 669 号
Contact Information

样品名称 螺栓智能测控装备原位校准准确性试验 (力学测试)
Sample Name

型号 / 规格 XIBS-600
Model

样品编号 G22C1025
Sample No.

标称生产单位 济通智能装备股份有限公司
Manufacturer

批准人 唐静

NIMTT 中国测试技术研究院
National Institute of Measurement and Testing Technology

校准证书

Calibration Certificate

证书编号: 校准字第 202302002570 号 防伪码
Certificate No. c3072706c3312668f
83c43b561966322d
a73a2b4f228a2622b
46817c9196c1a67f9

客户名称 济通智能装备股份有限公司
Client Name

联络信息 成都市新津县工业园区 A 区兴园 10 路 669 号
Contact Information

器具名称 索力智能测力系统 (工作测力仪)
Instrument Name

型号 / 规格 XICS-600
Model

器具编号 G22C1026(索力测力系统)/TCL-01 (指示装置)
Serial No.

制造单位 济通智能装备股份有限公司
Manufacturer

测试报告

Test Report

报告编号: 测试字第 202302000266 号 防伪码
Report No. a63f3aa57ec0b812
e52d257017d6656b
87137e45a05162e7
26cc108630844811

客户名称 济通智能装备股份有限公司
Client Name

联络信息 成都市新津县工业园区 A 区兴园 10 路 669 号
Contact Information

样品名称 索力智能测控装备轴力调整试验 (力学测试)
Sample Name

型号 / 规格 XICS-600
Model

样品编号 G22C1026
Sample No.

标称生产单位 济通智能装备股份有限公司
Manufacturer

同心协济

融会贯通

现场原位校准-江西大广高速

同心
协济



大广高速 (江西段) 扩建工程 40MN智能测力支座现场校准试验, 动力: 2*200t.

结论:
 多次试验重复性误差 < 1%;
 免顶升支座更换实验/调高 (力) 实验: 未执行。

融会
贯通

智慧建造：韧性提升



牛田洋大桥：2022年7月7日-7月13日的支座反力数据呈现震荡、下降趋势，除了因为温度造成的支座反力重新分配因素，与施工通报的桥梁正在进行的全桥索力调整和施工压重逐步移除等情况一致。支座受力分配在安全范围内，不需要调节。

2023年6月18日，完成原位校准。



序号	T _L /kN	T _r /kN	计算/kN	等效 μ	tan(θ)	备注	最小坡度	水平和竖向力比值/%	标定平均竖向力/kN	标定竖向力偏差%
4	572.8	386.9	7677.7	0.012	0.125	2023/6/18牛田洋 支座1第 一轮标定	0.024	5.04%	7660	0.2%
5	577.9	380.7	7669.0	0.012	0.125		0.026	4.96%	7660	0.1%
6	579.9	385.8	7725.4	0.012	0.125		0.025	4.99%	7660	0.9%
7	579.4	393.1	7793.6	0.012	0.125		0.023	5.07%	7660	1.6%
8	561.3	376.6	7302.6	0.012	0.125		0.024	5.02%	7660	-2.1%
9	566.8	371.8	7308.9	0.012	0.125		0.026	4.93%	7660	-2.0%
10	572.4	391.3	7710.9	0.012	0.125		0.023	5.08%	7660	0.7%
11	570.3	384.0	7715.9	0.012	0.125		0.023	5.11%	7660	0.7%
12	575.2	393.2	7747.5	0.012	0.125		0.023	5.09%	7660	1.1%
13	573.7	385.0	7749.1	0.012	0.125		0.023	5.10%	7660	1.2%
14	577.0	391.8	7750.2	0.012	0.125		0.024	5.05%	7660	1.2%
15	582.4	397.5	7838.9	0.012	0.125		0.023	5.07%	7660	2.3%
16	561.2	376.9	7304.8	0.012	0.125		0.024	5.02%	7660	-2.0%

同心协济

融会贯通

结构内力智能测控技术 —— 实施方案

同心
协力



融会
贯通

可靠的直接调节：调节目标是测量参数。

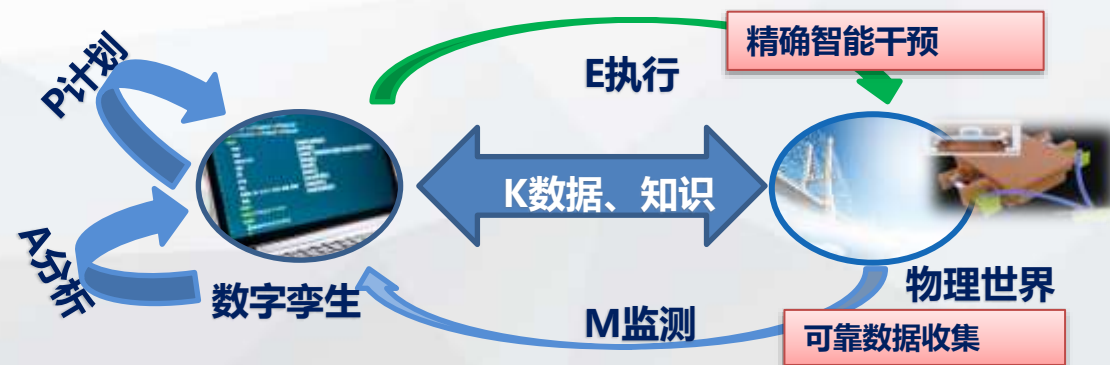
- 避免使用不可靠的假设和计算。
- 调节完成后的结果是测量结果。

结构不顶升：

- 动力显著减小 (2-8%)
- 避免体系转换

自适应结构

- 约束边界条件成为定值
- 设计优化



数字孪生MAPE-K模型：智慧结构2.0

通过力—位移双约束反馈控制机制，可实现结构受力最优化干预性重新分配。

调力精度可达到牛顿力级。



济通科技

支座 · 伸缩缝 · 结构连接件

结构内力智能测控技术 —— 实施方案

超大吨位支座顶升试验：



支座更换**免同步顶升**；
大幅降低的动力装备要求；
不影响结构内力分配/主动调整结构内
力分配到合理区间。

结构关键
连接件全
寿命设计

- 济通科技-中国二重 联合试验：
- 实验室环境超大吨位 (**14000T**) 支撑高度调节，(当前世界记录：6000T)，**使用千斤顶：500T*2**
- 超大吨位测力与校准纪录。



同心
协济

融会
贯通

智能高度可调测力转体支座



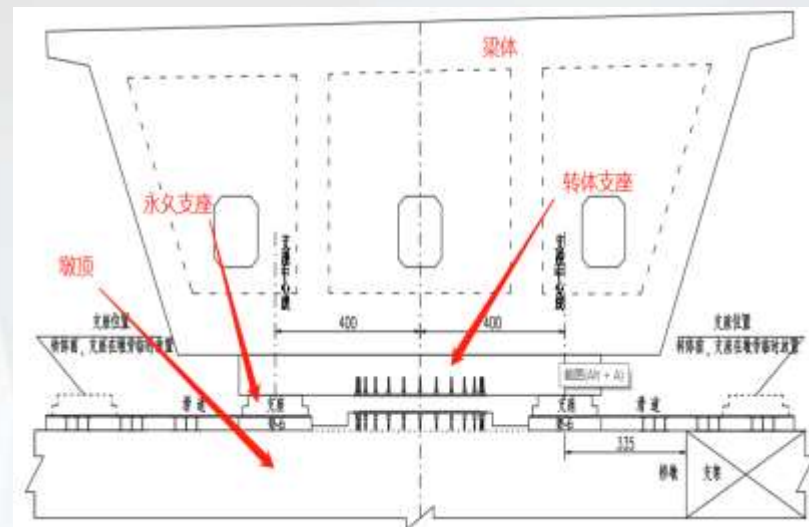
墩底转体

- 基础平面尺寸极大。
- 基坑敞口时间长，转体系统易锈蚀。
- 桥梁+墩身：大牵引力。
- 转体重心高：倾覆风险。



墩顶转体

- 转体重量明显减小
- 转体重心低，转体结构可靠性高
- 建造及施工成本低
- 尤其适用于墩高较大或施工环境复杂的情况。

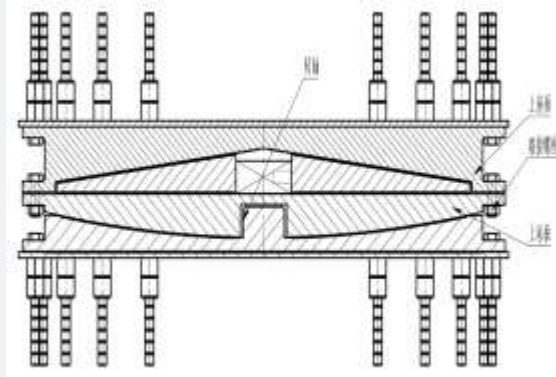
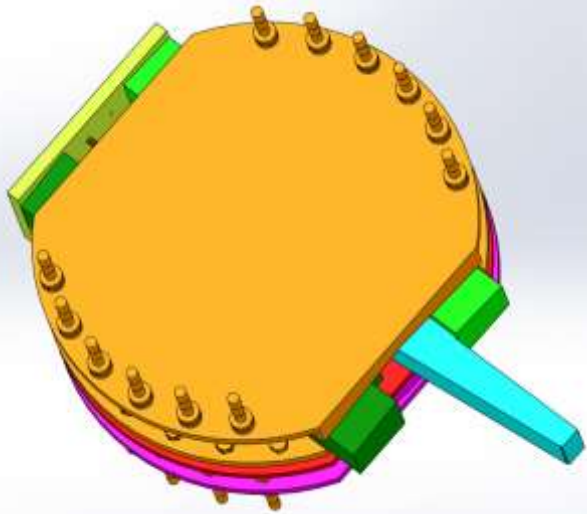


墩顶转体立面图

采用墩顶转体施工时，施工完成后，桥梁由永久支座受力，此时可将转体支座取出

传统取出方式是在墩顶加千斤顶进行同步顶升，将梁顶起来后取出转体支座。由于桥梁恒载大，达1万吨以上，采用同步顶升施工，费用高、施工难度大，安全性低

智能高度可调测力转体支座



10T手拉葫芦装载于牵引反力架



拉动手拉葫芦，模拟梁转动



设置后端拉力设备并拉紧



拆除调整块限位挡板



后端拉力设备卸载，调整块滑出



体系转化完成，支座脱空

支座特点

- 1) 支座可万向转动、万向承载、能很好的满足上部结构各种荷载所产生的反力的传递、转动要求，保证反力合力集中、明确、安全可靠。
- 2) 支座下球板采用超大球面与球面耐磨板组合，良好的耐磨性，适应平面360度转角，转动灵活，同时具有自动对中，防止偏心荷载导致桥梁倾覆作用；
- 3) 支座具有**测力功能**，可在施工过程中即实了解桥梁的内力情况；
- 4) 支座高度可以向下调节，**无需顶升梁体**即可实现转体后梁体的体系转化，同时支座可以在不顶升梁体的情况下取出，工程费用低，施工效率高，经济、社会效益显著。



跨领域的业绩积累



济通股份
智慧 · 卓越 · 结构 · 服务

公路



南部嘉陵江三桥

- 矮塔斜拉桥
- 超大吨位支座 (14000吨, **全球最大吨位测力支座**)
- 施工期结构内力监测



江西大广高速大阿大桥

- 连续梁 (超静定结构)
- 测力调力支座, 动力学测量和原位校准
- 江西公路学会拟召开**学术专题会议**



黄泥梁子大桥

- 580m悬索桥 (漂浮体系)
- 支座测力与现有监测技术结合, 接入健康监测系统

四川省公路设计院、
四川路桥、
重庆大学

市政



智慧蓉城示范应用场景

- 拱桥、连续梁桥
- 支座、吊杆全自动力学自适应体系, 毫米波雷达位移测量
- 拟开发新一代健康监测算法 (重庆大学基础设施智能诊治中心)



重庆黄桶沱大桥

- 765m悬索桥
- 拟部署支座、主索鞍反力, 主缆、吊索、散索力监测与自适应体系
- **重庆城投、重庆交大科研项目**



绍兴二环鉴湖大桥

- 连续梁 (超静定结构)
- 运营期内力监测

蜀道集团
重庆交通大学
上海城建院、中建西南院

轨道



汕头牛田洋快速通道

- 公轨两用斜拉桥
- 施工期和运营期全面支座反力力学监测和调节, 并做**结构全寿命示范研究**, 监控数据**已有效支持施工阶段相关工作**
- 产值300余万元, 带动产值1000余万元



南宁亭洪路延长线

- 跨铁路货站
- 全寿命投资收益分析及养护管理变革 ("**建管一体化**" 探索) 研究
- 产值350万

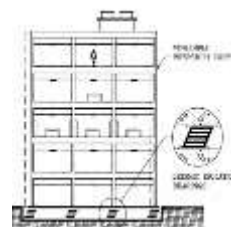


重庆15号线井口站高

- 轨道交通桥梁
- 通过智能调力测高支座实现轨道交通桥梁的可靠安全诊断及应对局部沉降的智能高度调节

中铁大桥院、
中铁咨询、南宁建筑设计集团、
南宁城投万町、
重庆铁路集团

建筑



- 与设计/减隔震领先企业基于"智慧韧性建筑体系"开展技术推广、市场合作

四川大学等

地灾



新津大件路边坡治理

- 高边坡
- 预应力锚索测力, 结合位移监测技术, 实现对地质灾害更提前、可靠的预警及边坡治理的可靠性提升
- 预计产值: 约100万元



基坑、隧道工程

- 寻找应用场景: 形成以智能锚索为核心的智能监测、治理体系

地质灾害国家重点实验室 (成都理工)
深圳工勘集团地环院

初见成效, 获得多点应用, 需要与合作伙伴结成联盟, 进一步大幅广泛应用

与行业领先企业共同孵化基于核心技术的新市场

约束体系优化：结构韧性提升

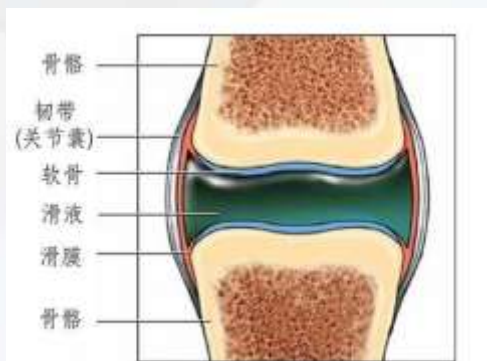


Mayo Clinic: Resilience is the ability to adapt to difficult situations.



韧性连接

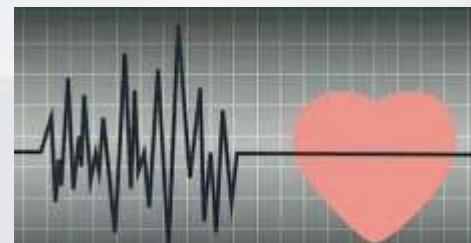
- 隔震
- 减震（振）
- 柔性约束连接



智能化自适应能力

- 监测
- 控制

基于生命体征的自动输液泵
vital signs-based infusion pump
血压监测-血管收缩剂注射
(norepinephrine 去甲)



科技
结构连接件

同心
协济

融会
贯通

智能连接件+NPR新材料提升结构韧性

可靠内力和位移感知：

自适应治理：支反力、索力重新分配

- 局部沉降
- 收索徐变
- 其它约束条件发生变化

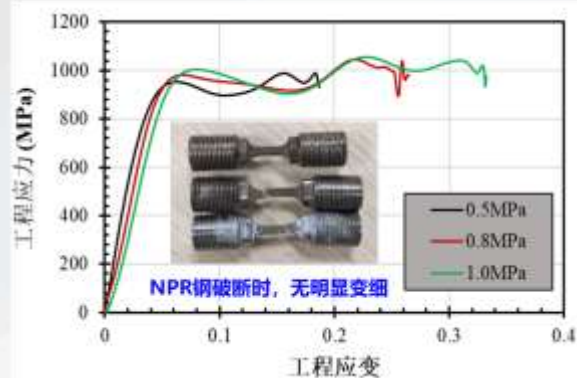
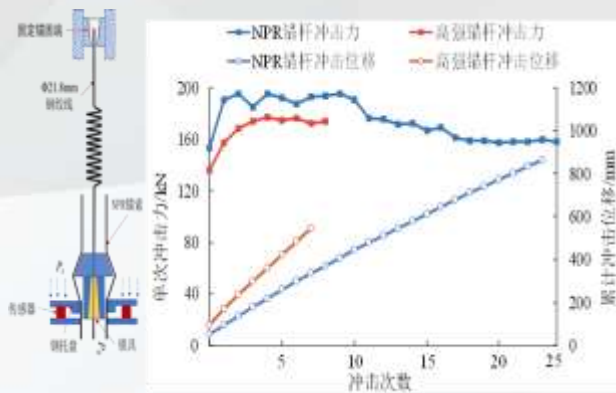
预应力的自适应动态保持

- 结构预应力
- 边坡、隧道支护锚索预应力

装置受力条件的主动干预：动态保持结构减隔震、防落梁、抗倾覆能力。

恒阻大变形材料的结合应用（负泊松比材料）

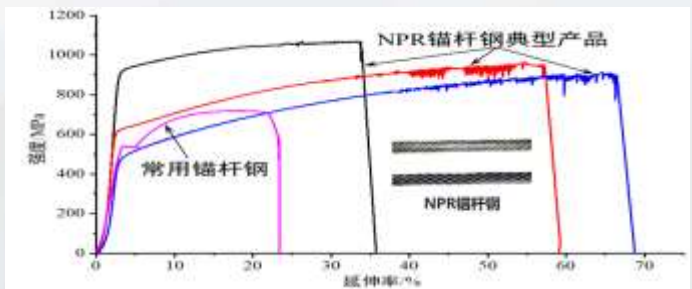
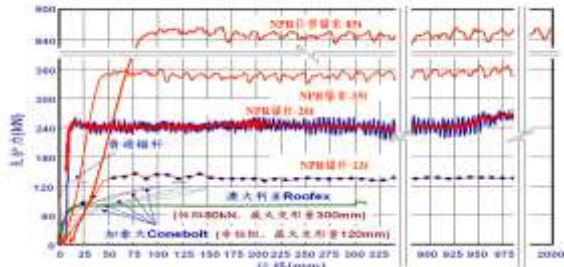
- 破断延伸率超过60%
- 无颈缩现象
- 屈服平台消失
- 抗冲击性能
- 减隔震/防落梁/预应力



◆ 2008年研发了1G-NPR锚杆/索产品
 > 2019年获中国专利金奖, 2021年获ISRM技术发明奖



◆ 1G-NPR锚杆/索力学性能国内外对比



深部岩土力学与地下工程 成都济通路桥
 国家重点实验室 科技有限公司

战略合作框架协议



同心协济

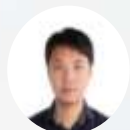
融会贯通

愿景：孵化智能建造和数字孪生卡脖子技术

结构力学



王剑明
技术中心主任
西南交通大学
土木本科、硕士
及在读博士、
高级工程师



梁鑫
新业务技术总监
剑桥大学结构博
士，海外领先结
构咨询公司工作
经历及超高层/房
地产经验



孟宪亮
结构技术总监
天津大学结构
本科，中建西
南院结构设计
(主任工程师)
从业经历



张兴
设计总监
烟台大学结构
硕士，复杂工
程减隔震设计
经验和标准制
定经历



邹贻军
支座技术总监
西南交大在读
研究生(机械)、
高级工程师。20
余年机械设计、
科研经历。



李雄
伸缩缝总监
西南交大在读
研究生(机械)
高级工程师。20
余年机械设计、
科研经历。



胡盟
国际技术总监
西南交通大学
机械本科，丰
富的国际标准
及解决方案经
验



梁家勇
研发总监
四川大学力
学本科，负
责公司科研
管理并担任
项目经理



任寰弋
IT总监
电子科技大学
自动控制硕士、
前IBM资深软
件工程师，多
个国际开发项
目任项目经理



伍大成
产品经理
华威大学IT硕
士、重庆大学
自动化学士，
前IBM经理，
科研和IT从业
经历

同心
协济

融会
贯通

机械及材料力学

信息技术和物联网

澳門科學技術發展基金與國家科技創新聯合科研資助 (FDCT-MOST項目)

基於內力感知的橋梁全要素數字孪生及智能推演關鍵技術研究
Research on Key Technologies of Total Factor Digital Twin and Intelligent Inference Key Technology Research

申請實體：澳門科技大學 計算機科學與工程學院
項目負責人：王文敏 教授

合作單位：西南交通大學 土木工程學院
項目負責人：勾紅葉 教授

參與單位：成都通達橋樑科技股份有限公司
負責人：伍大成 高級工程師

汕頭市牛田洋快速通道工程
牛田洋大橋基于全寿命周期耐久型智能测力支座及系统研究
工程技术服务合同

CECS

CECS-***-20*

廈門第三東通道工程
科研項目建議書

項目名稱：智慧韌性結構約束邊
界條件關鍵技術研究

中冶橋樑科技(集團)有限公司
濟通智能裝備股份有限公司

戰略合作框架協議書

成都通達橋樑科技(集團)有限公司
濟通智能裝備股份有限公司

成都城市未來場景實驗室
入駐協議

證書

成都通達橋樑科技(集團)有限公司

榮譽證書

四川省
企業技術
創新工作站

**重大科學問題
和工程技術難題**

題目：如何實現土木結構內力感知的全生命週期
量值傳遞溯源？
Title: How to achieve full life cycle metrological trace-
ability of structural internal force monitoring?
所屬類型：工程技術難題
所屬領域：工程測量學
所屬學科：土木工程
作者信息：
朱沙 中國測試技術研究院
勾紅葉 西南交通大學
伍大成 濟通智能裝備股份有限公司

關鍵詞：結構內力、新型量值傳遞溯源技術、應
位校準、自適應數字孪生
Key Words: Structural internal force, Innovative
metrological traceability technology, in-situ calibration,
Adaptive digital twin

中國工程測量標準化協會
結構測力支撐校準標準
China Standard for Force Measuring Theory of Structure

四川省
企業技術
創新工作站

2022年
四川省
企業技術
創新工作站

中冶橋樑科技(集團)有限公司
濟通智能裝備股份有限公司

戰略合作框架協議

四川省
企業技術
創新工作站

2020年
省級
工業設計中心

深部國家重點實驗室
智能裝備研究中心

四川省
企業技術
創新工作站

2020年
省級
工業設計中心

四川省
榮譽
證書