

复合材料在基础设施结构中的新应用 —— 交通、电力、新型建筑



清华大学

Tsinghua University



清华大学土木工程系

冯 鹏

2009年12月1日

引言——共同的特点

- n 应用量大，需求广阔
- n 复合材料的新兴市场
- n 公共事业，考虑全生命周期
- n 进入门槛较高
- n 需要技术创新
- n 技术综合性强
- n 市场有待开拓

内容

- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n 新型建筑
- n 结语

内容

n 引言

n 交通1：轻质快速架设桥梁

n 交通2：公路桥面板

n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕

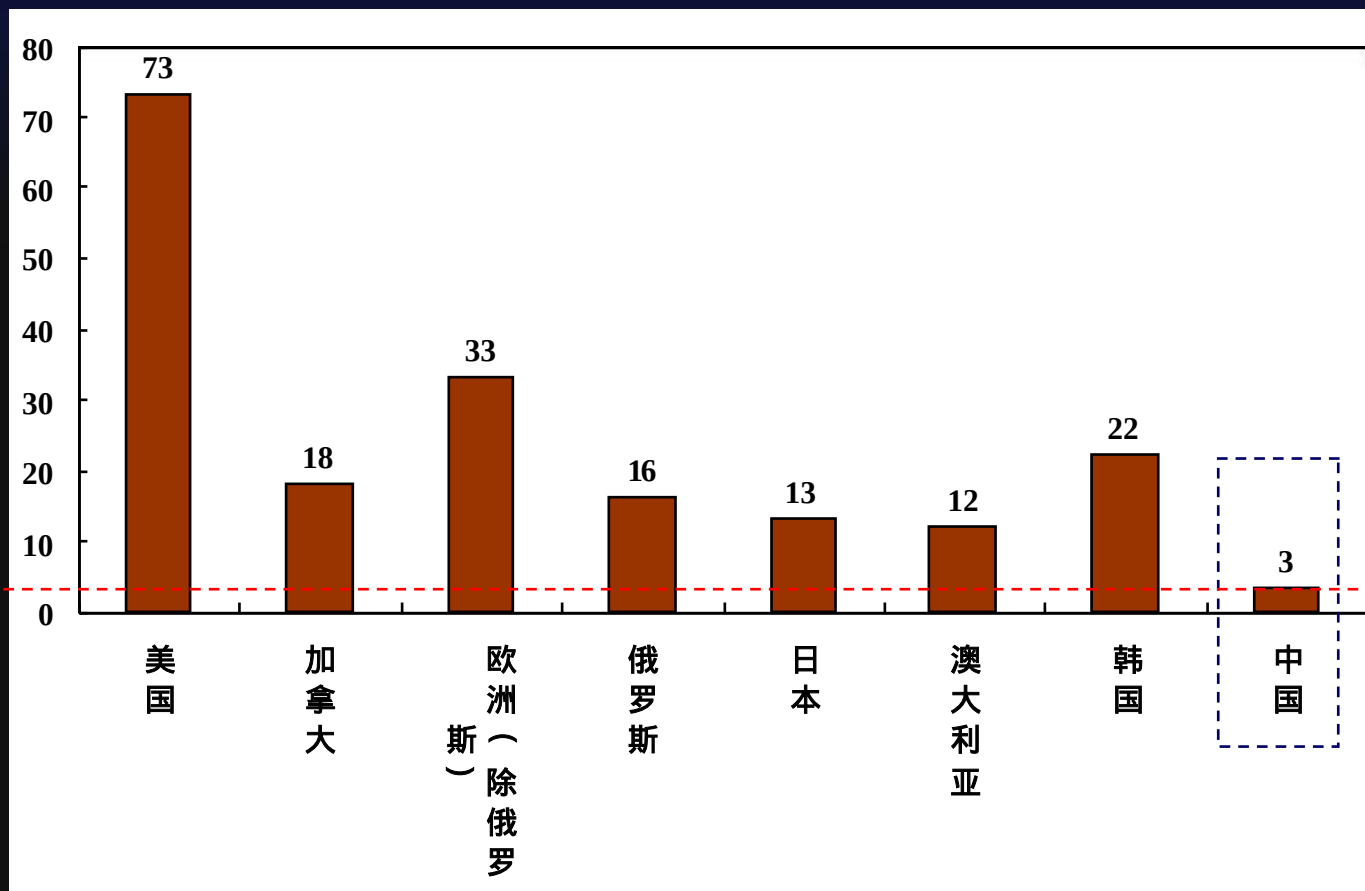
n 电力和通信杆塔

n 新型建筑

n 结语

1995-2009建成的采用FRP结构桥梁数量的不完全统计（座）

（包括FRP桥面板、FRP主梁、FRP组合结构、FRP拉索、FRP筋等形式）



南京斯贝尔



拉挤断面最大可达 $1000*200*10$



已完全具备生产能力



缠绕管直径可达8m以上



北玻有限



构件长度可达80m



FRP轻质快速架设桥梁

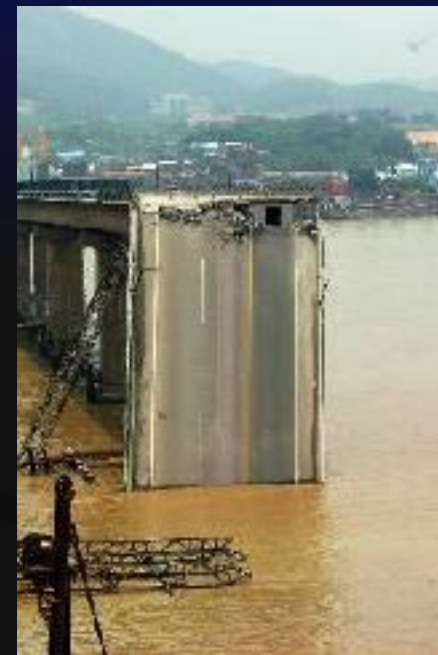
- 繁华街区的立体交叉
- 跨越不中断的铁路、公路
- 交通不便地区的桥梁
- 恢复灾害导致的交通中断
- 突发事件中提供交通保障
- 军事机动

亚特兰大桥 1天

纽约州桥 36小时

莫斯科人行桥 3小时

Parsons桥 4小时



轻质快速架设桥梁

是发挥 FRP 优势的最佳形式

- n 重量轻，施工架设方便
- n 抗腐能力强，免维护
- n 抗超载和抗疲劳
- n 可实现更大跨度



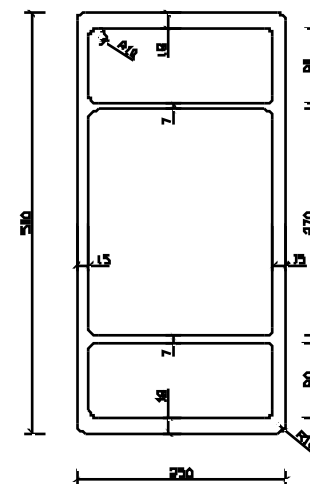
永久型 / 重复使用型

FRP轻质快速架设桥梁

海博思强 + 清华大学



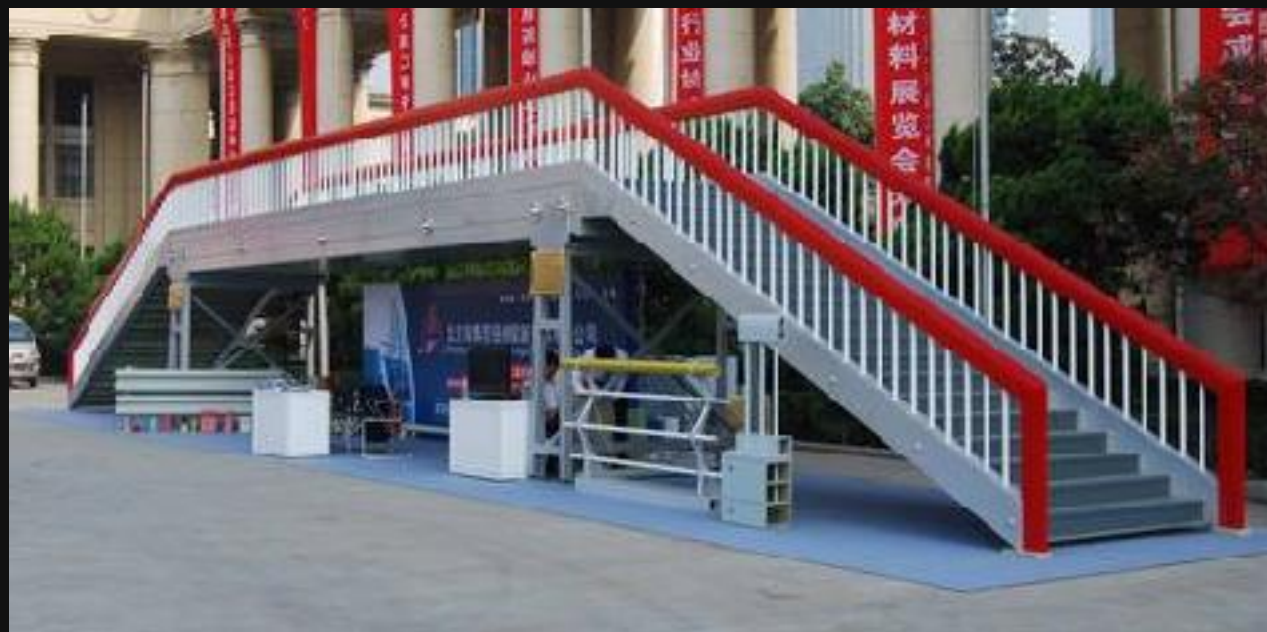
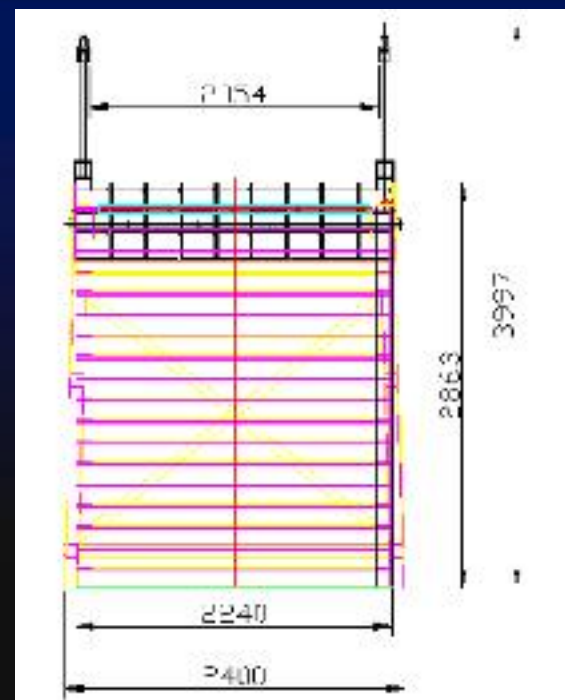
桥面宽3.38米，中跨24.0米，两边跨分别为7.5米与4.1米。



主梁

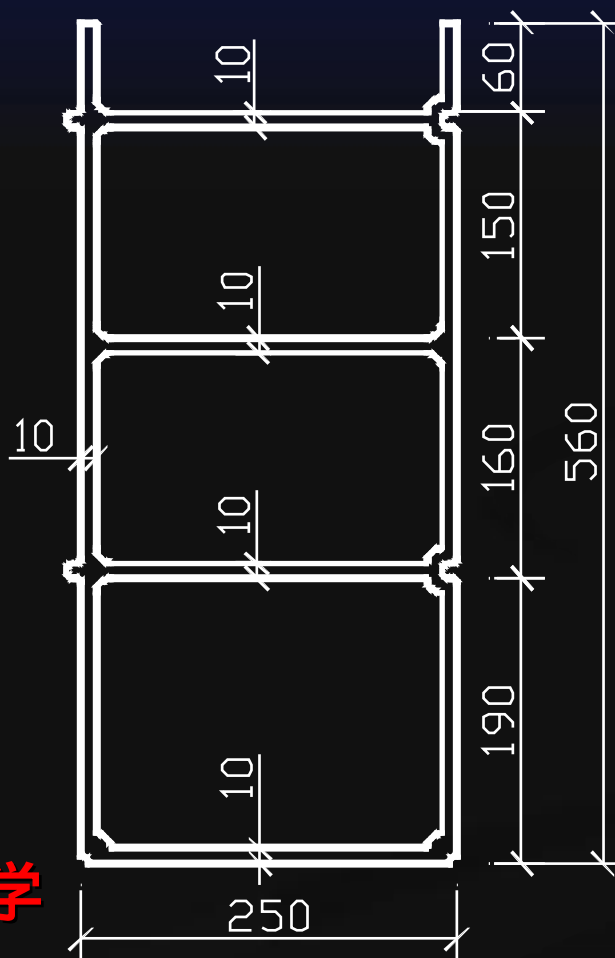
斜拉索

立柱外壳



FRP轻质快速架设桥梁

大截面FRP梁

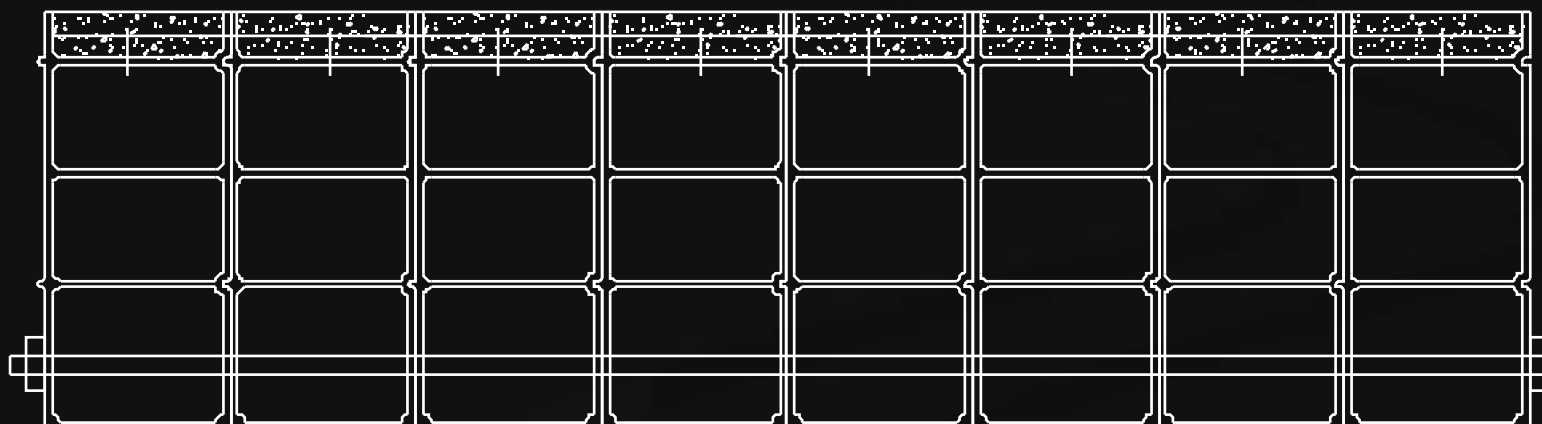
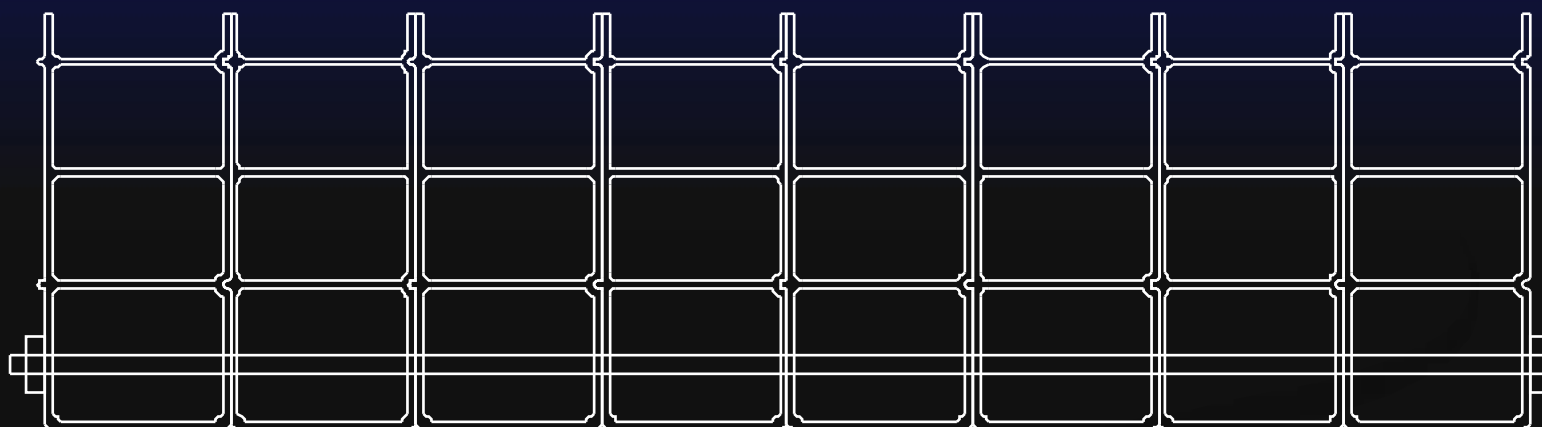


E玻纤+改性环氧树脂

截面积 20100 mm²

单位质量 42kg / m

海博思强 + 清华大学





极限荷载（单点加载）507kN

	变形控制 最大跨度 m	设计弯矩 kN·m/m	极限弯矩 kN·m/m	承载力 安全系数
全FRP 简支人行桥	14.5/16	303	1980	6.5
FRP-混凝土 简支人行桥	16/18	367	2734	7.4
FRP-混凝土 简支车行桥	12/13.5	903	2734	3.0

FRP轻质快速架设桥梁



长13.4m
宽2.3m
主梁最高0.6m
重量3.5t（主梁）
承载单点荷载30t

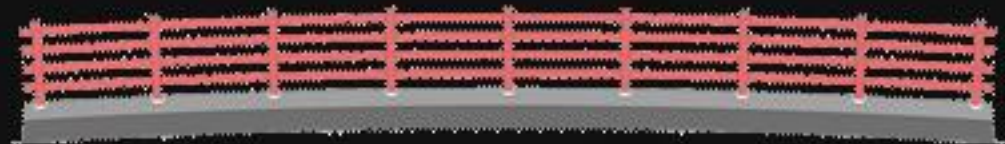
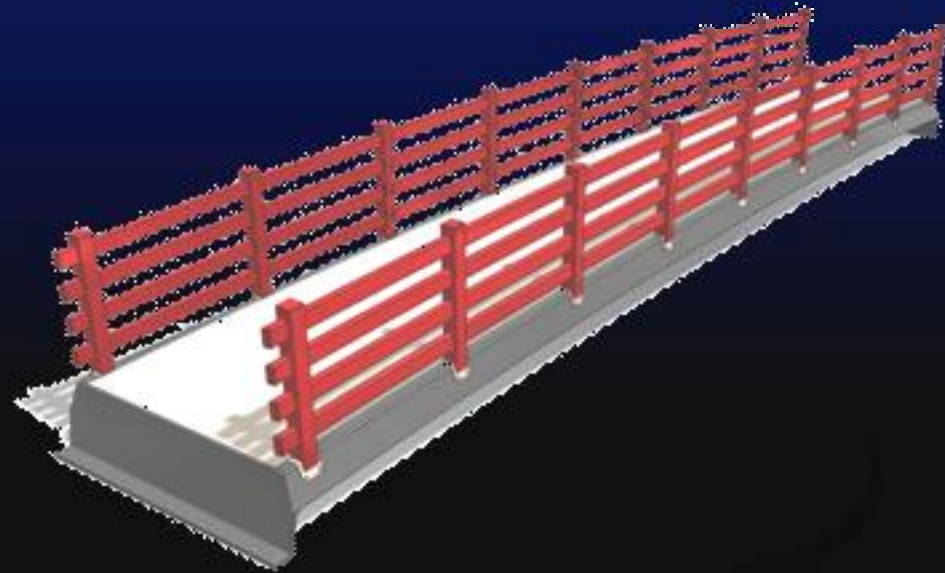


FiberCore + 帝斯曼 + 清华



FRP轻质快速架设桥梁

FiberCore + 帝斯曼 + 清华



FRP轻质快速架设桥梁

城市人行桥



跨线桥

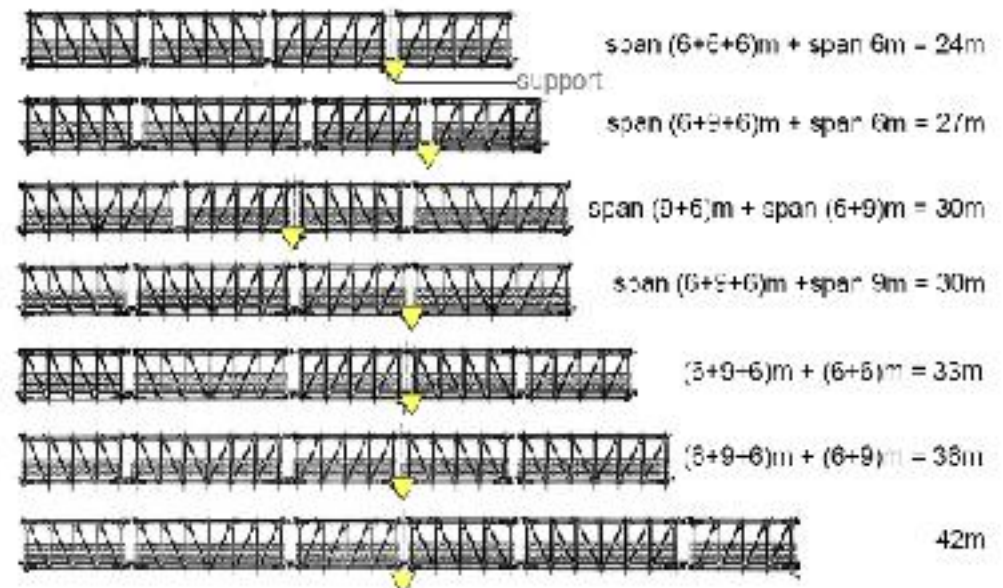
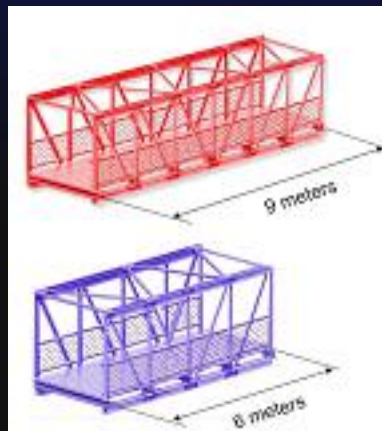


FRP轻质快速架设桥梁

桁架拼装式



Apatech



FRP轻质快速架设桥梁

车辙式



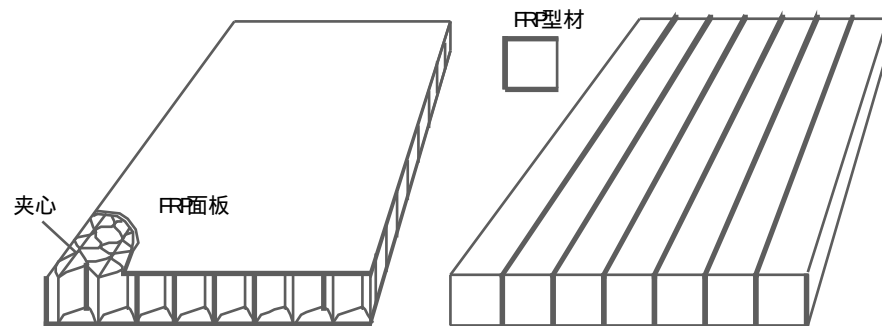
关键问题

- 结构体系与构件——设计与优化
- 架设与施工——架设动力、运输统一设计
- 连接构造——快速接头、组合连接
- 刚度控制设计——变形与振动
- 破坏模式控制——防止脆断、剪切

内容

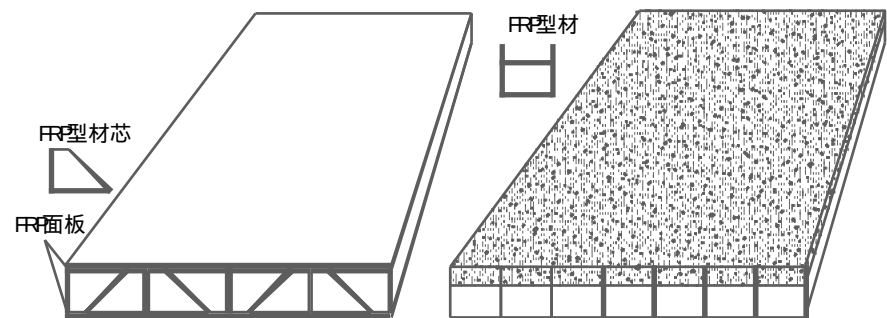
- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n 新型建筑
- n 结语

FRP桥面板



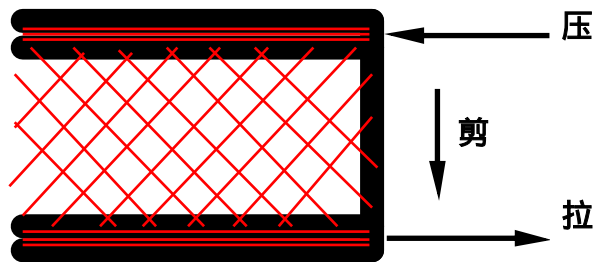
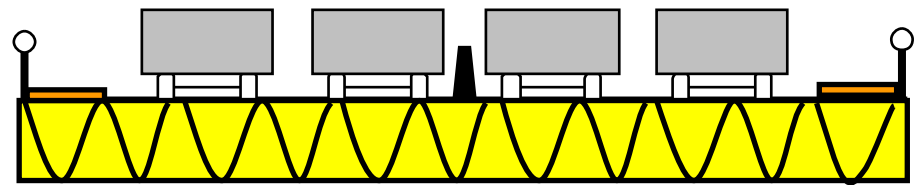
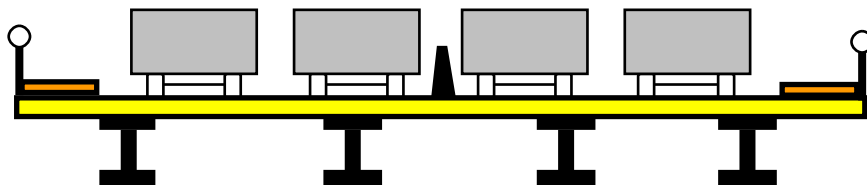
夹心板

AMP板



CSC板

组合板



- 自重轻
- 耐腐蚀
- 施工快捷
- 维护方便

FRP桥面板

构造	加工装配方法	
FRP夹心板 (Sandwich Deck)	手糊及机械辅助	
	RTM	
标准拉挤型材拼装板 (AMP Deck)	销接，榫接	
	螺栓连接	
	粘结	
	预应力挤压连接	
	综合以上	
面板-内芯管组合板 (CSC Deck)	型材芯	拉挤成型
		纤维缠绕
	面板	拉挤成型
		手糊



FRP桥面板



国家标准《纤维增强复合材料桥板》（在编） 20090824-T-609

（欢迎生产企业参与编写）

主题内容与适用范围

本标准规定了纤维增强复合材料（以下称为FRP）桥板的**产品型号、技术要求和检验规则**等。

本标准适用于主要以FRP构成受力结构的人行桥、车行桥梁和栈桥，采用标准化工艺成型，其他结构中的FRP水平承重结构也可采用。

国家标准《纤维增强复合材料桥板》（在编）

20090824-T-609

级别与编号

人行级 P

公路I级 TI

公路II级 TII

技术要求

原材料、成形工艺、外观尺寸、工艺参数要求、原位取样材料性能、构件性能（极限承载力、维持荷载24小时挠度、200万次疲劳加载刚度损失）。

试验方法和型式检验

运输、贮存及安装

关键问题

- 构件设计与优化
- 路面桥板一体化技术
- 桥板与结构连接
- 系列化产品
- 低成本

内容

- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n 新型建筑
- n 结语

城市铁路与高速铁路



中国在建和即将兴建的高速铁路客运专线和城际铁路里程已达**1.7万公里**。根据中国中长期铁路网规划方案，到2020年中国包括客运专线铁路、城际铁路、以及客车和货车运行的时速200公里以上高速铁路里程将会达到**5万公里**。

- “四纵四横”客运专线
- 城际客运系统（城际铁路）
- 经提速改造后的既有线
- 完善路网布局和西部开发性新线
- 海峡西岸铁路

有碴轨道与无碴轨道



缺点：

- 容易变形；
- 养护维修频繁；
- 维修条件差。



优点：

- 线路稳定、平顺，利于铺设无缝线路和高速行车；
- 维修工作量少；
- 坚固耐久、整洁美观、使用寿命长；
- 隧道、地铁中减少开挖。

无碴轨道板



- 尺寸精准
- 耐久可靠
- 配筋绝缘
- 安装方便



复合材料在无碴轨道板、轨枕中的应用

- 复合材料枕木
- 无碴道板中替代环氧涂层钢筋
- 新型FRP-混凝土组合轨道板



关键问题

- 构件设计与优化——自主知识产权
- 尺寸和平整度控制
- 徐变与疲劳性能
- 配套产品
- 成本控制

内容

- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n 新型建筑
- n 结语

电力和通信杆塔

- 减小输电走廊宽度
- 耐腐蚀性
- 防覆冰
- 轻质高强
- 安装轻便

- 杆
- 塔
- 横担
- 绝缘子



各种杆全生命周期成本分析

材料类别	使用寿命 / 年	建设成本	维修成本	年平均成本
木质杆	30	250	210	15
钢管杆	35	260	245	14
混凝土杆	35	350	245	17
FRP杆	80	900	0	11

FRP杆塔的发展

40多年前：

1962年，GFRP杆在美国West Oahu安装成功，最近才退出使用；我国进行过研究，未能推广使用。

目前：

- FRP杆应用最广的是美国

- 1995年以来，超过8000根FRP电杆在加州安装成功

- 2000年以来，超过1500根电杆在Rural Coops安装成功

- 2003年以来，超过300根电杆在Northwest Territories安装成功

- 美国土木工程师协会已经制定输电杆塔中FRP产品的应用标准

- 加拿大、日本、荷兰、意大利也有一定的研究和应用

- 我国正在大力推广应用

Ebert Composite公司



POWERTRUSION公司



SHAKESPEARE公司



RS公司



我国的FRP杆塔

2007年南方电网公司

引进RS公司杆，进行真型塔试验

2009年国家电网公司

湖南、北京、福建、浙江、天津、上海、山东、江苏 同时试验
全部采用复合材料横担，部分采用复合材料杆

2009年国家科技部

设立“863”计划项目研制开发

我国的FRP杆塔

2009年12月江苏电力公司采用复合材料横担已经上线试用

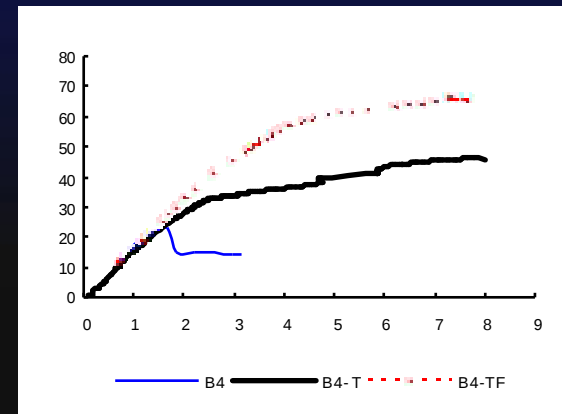
2009年11月湖南电力公司设计外业完成

其他各地电力公司已经开始试验



中国电科院

FRP加固金属杆塔技术- 清华大学



关键问题

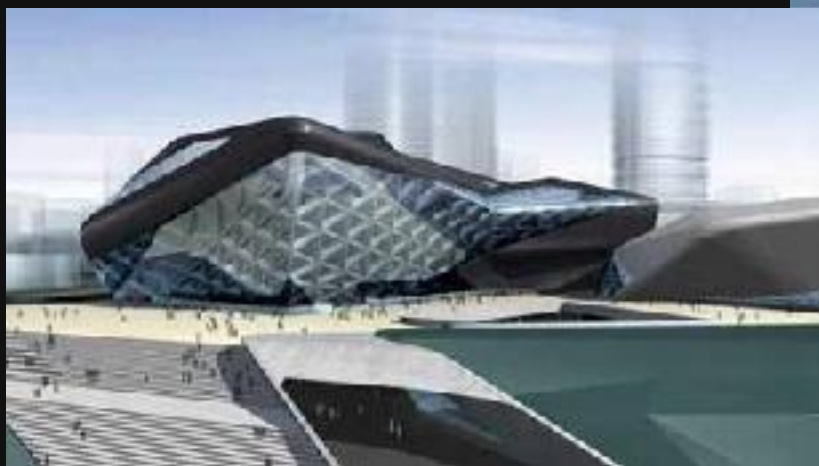
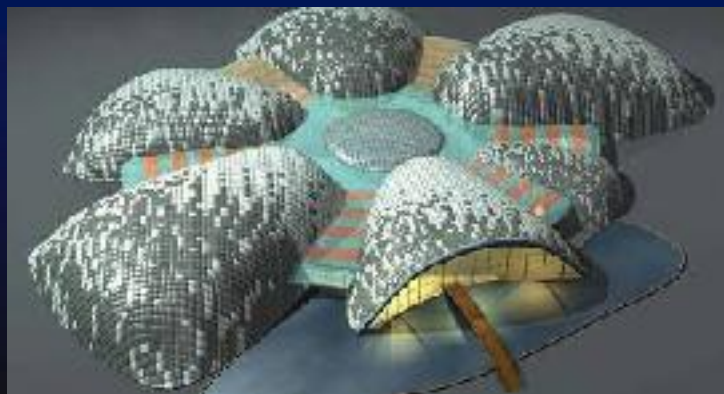
- 构件设计与优化——自主知识产权
- 电气性能与结构性能统一设计
- 连接构造
- 刚度控制
- 表面处理防污、防覆冰

内容

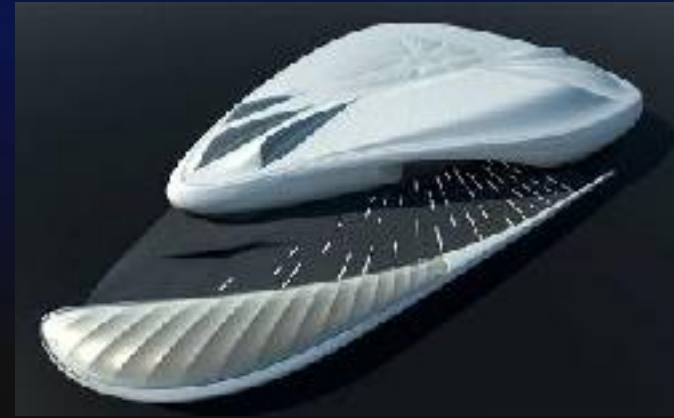
- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n **新型建筑**
- n 结语

建筑多样化

- 外形
- 功能
- 可移动



Zaha Hadid Chanel Mobile Art 香奈儿展馆



数字建筑



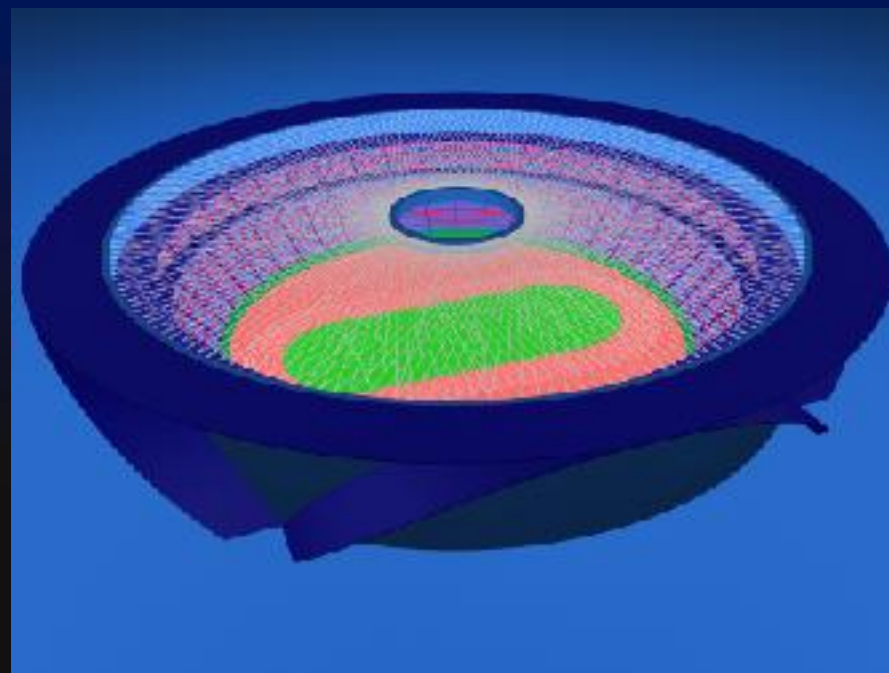
FRP Classroom 教室



Novartis Campus Main Gate Building 诺华制药园区入口建筑



? - FRP编织网建筑



关键问题

- 让建筑师了解复材
- 数字化成型
- 外观
- 合理结构设计

内容

- n 引言
- n 交通1：轻质快速架设桥梁
- n 交通2：公路桥面板
- n 交通3：铁路无碴道板 / 轨枕
- n 电力和通信杆塔
- n 新型建筑
- n 结语

结语

基础设施是复合材料应用的一片蓝海

前景——广阔

手段——协作

核心——创新



国际土木工程复合材料大会 CICE 2010

北京 友谊宾馆 2010.9.27-29

提供展位、报告、冠名等宣传形式

欢迎各位同仁参加和支持！

<http://www.cice2010.net>

谢谢大家