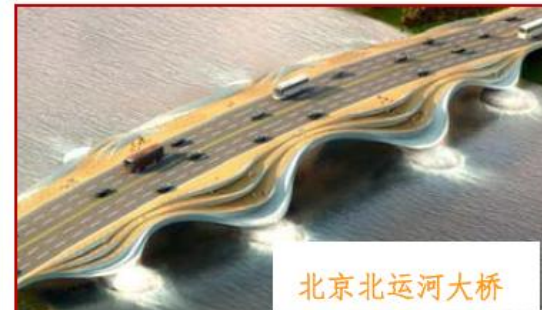




大跨高性能桥梁结构的研究

邵旭东

湖南大学桥梁工程系





大跨桥梁主要难题

大跨径桥梁由**混凝土**、**钢**或**钢-混凝土组合结构**形成，由于材料本身的限制，上述三类桥梁面临**三大硬骨头难题**亟待解决：



(1) 预应力混凝土连续箱梁普遍下挠开裂，严重者面临报废拆除的命运



钟祥大桥拆除



科罗巴岛桥垮塌



(2)钢桥面开裂和铺装层破损现象十分普遍，个别桥梁甚至出现10年24次修的局面



a) 铺装层开裂



b) 铺装层推移



c) 铺装层坑槽



d) 铺装层车辙

钢桥面铺装层病害



a) 面板裂纹



b) 纵肋与面板焊接处
裂纹



c) 纵肋与隔板焊
接处裂纹



d) 隔板撕裂

桥面钢结构疲劳裂缝

(3)钢-混凝土组合梁自重大、负弯矩区域混凝土易开裂，难以用于超大跨径桥梁

- 法国学者Brozzetti J.研究认为，当**连续梁**跨度超过**110m**后，钢-混凝土组合梁方案不合理；
- 德国学者Svensson认为组合梁**斜拉桥**经济跨径上限为**600m**。
- 对于**悬索桥**，由于加劲梁自重完全由主缆系统承担，而组合梁的自重约为钢梁的**2**倍，采用组合梁并不经济合理。



发展大跨径**高性能**桥梁结构，有望解决三个难题



何为“高性能结构”？

根据美国预应力混凝土协会PCI的定义：高性能结构融入了高性能材料和新型结构体系，具有良好的力学性能和耐久性能，并在全寿命经济性上具有优势。



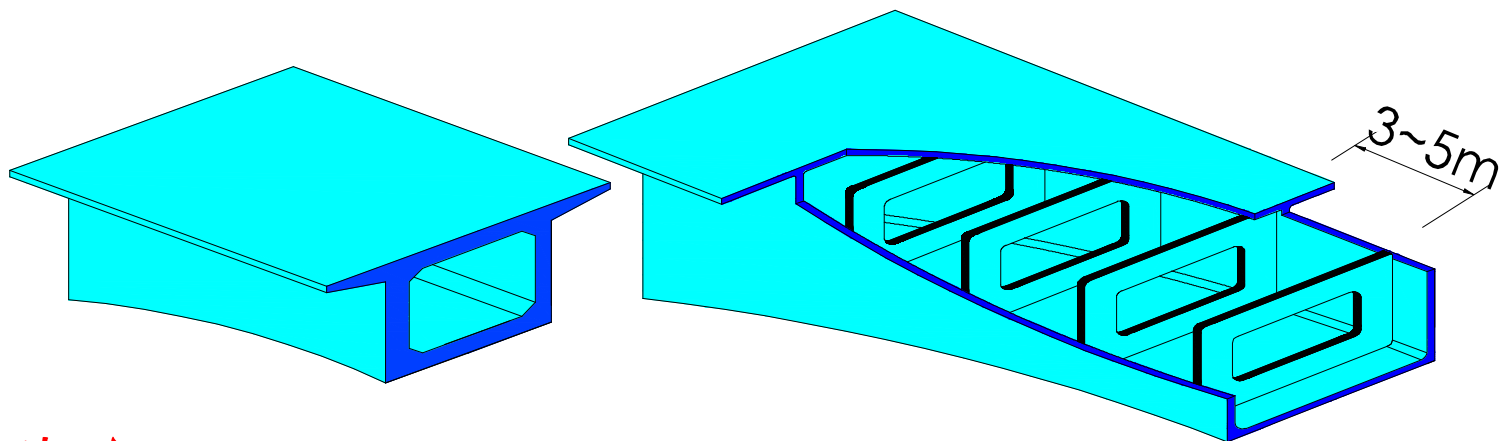
超高性能混凝土UHPC(Ultra-High Performance Concrete), 被认为是过去三十年中最具创新性的水泥基工程材料。抗压强度可达**150MPa**, 徐变系数仅为**0.3**左右。



但其抗拉强度仅为7~11MPa。通过对UHPC改性和加筋，将开裂前抗拉强度提高至40MPa以上，并以此材料为基础，发展了高性能桥梁结构。



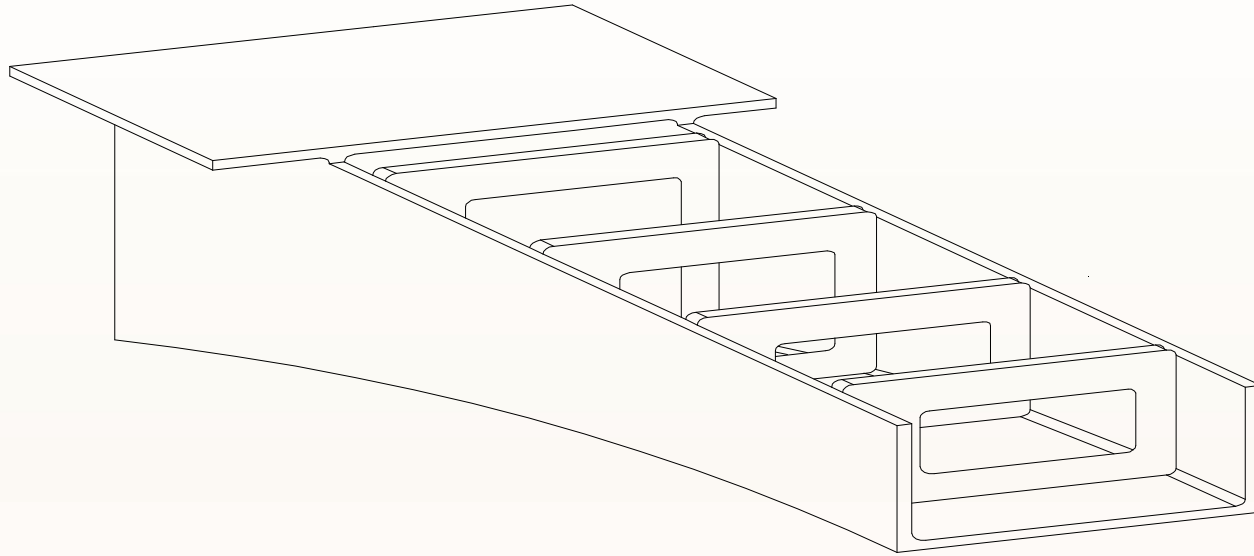
1. 高性能连续箱梁—解决开裂下挠难题，
并将连续梁经济跨径扩展至500m



传统预应力混凝土箱梁
(三向预应力)

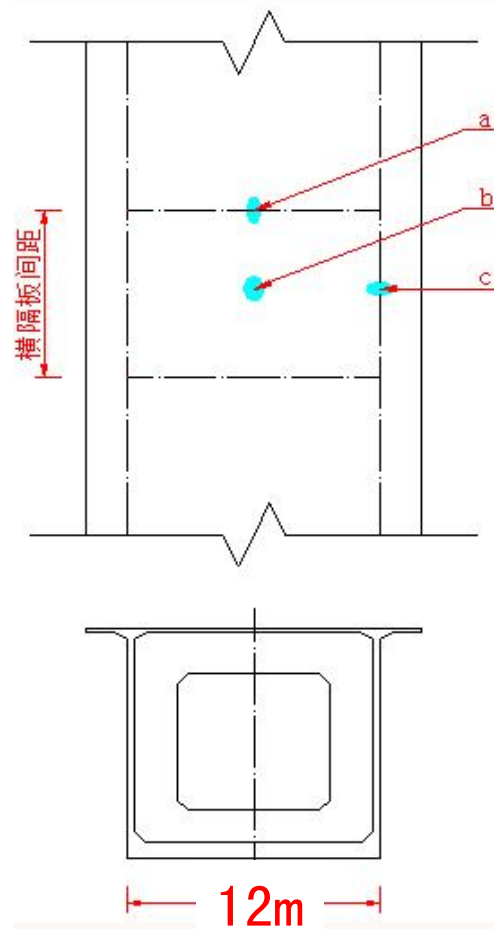
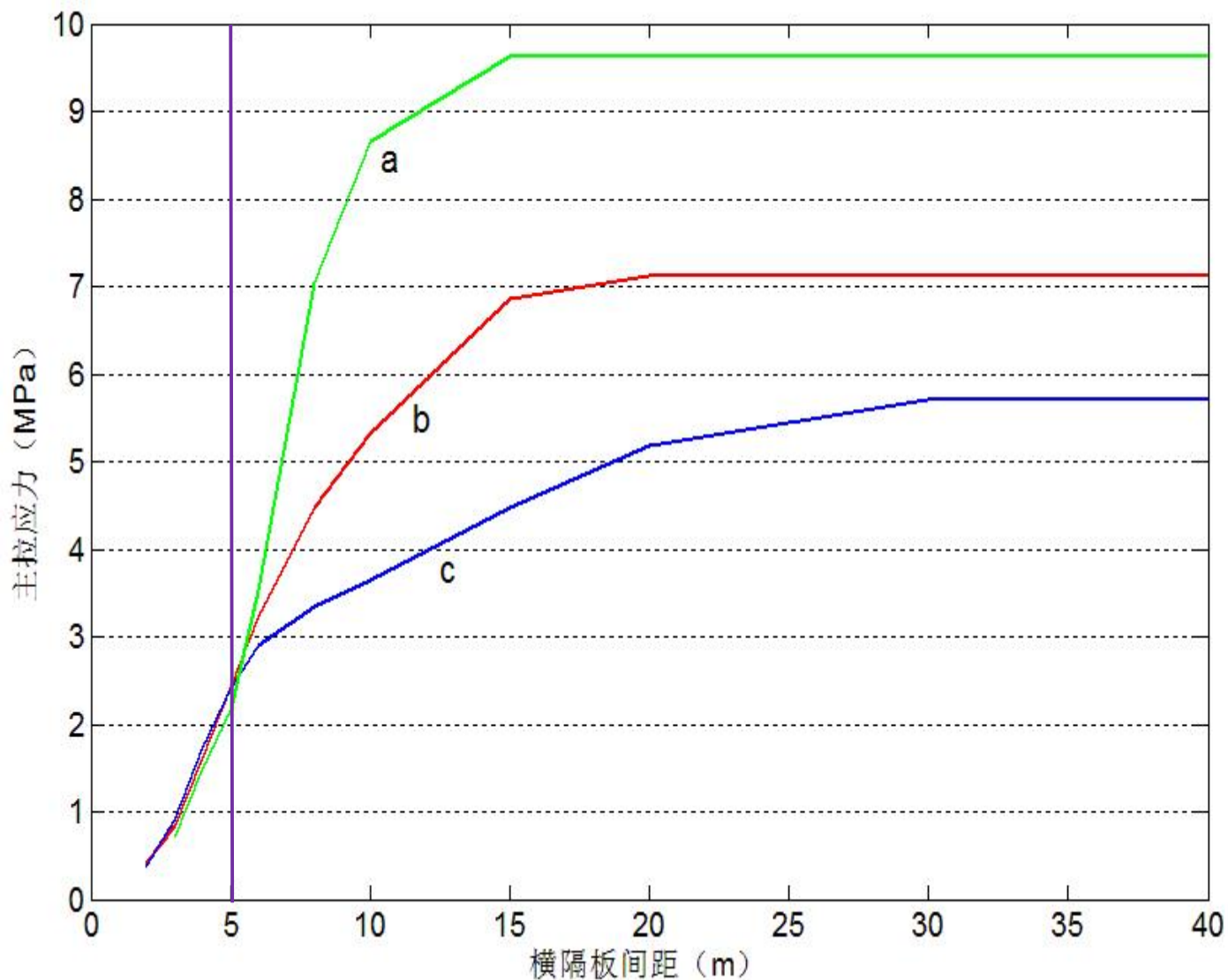
UHPC箱梁
(仅需纵向预应力)

- 1.采用UHPC薄型板件，大幅度减轻结构自重；
- 2.设置密集横隔板以：
 - (1) 防止箱梁畸变；
 - (2) 对顶板加劲，—取消横向预应力；
 - (3) 对腹板加劲，—取消竖向预应力；
 - (4) 对底板加劲，防止承压失稳；
 - (5) 方便体外预应力的布置与转向。




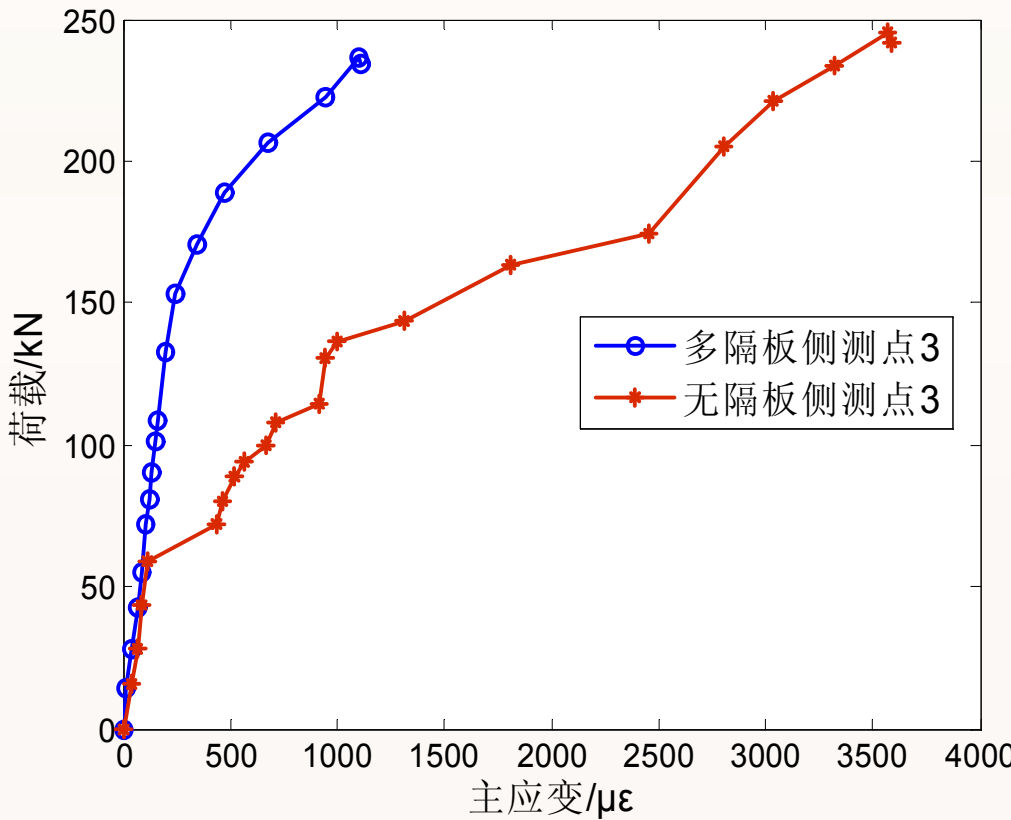

与传统PC箱梁桥相比，UHPC箱梁桥可减轻结构自重**50%—60%**，变三向预应力为纵向单向预应力。

顶板控制点主拉应力

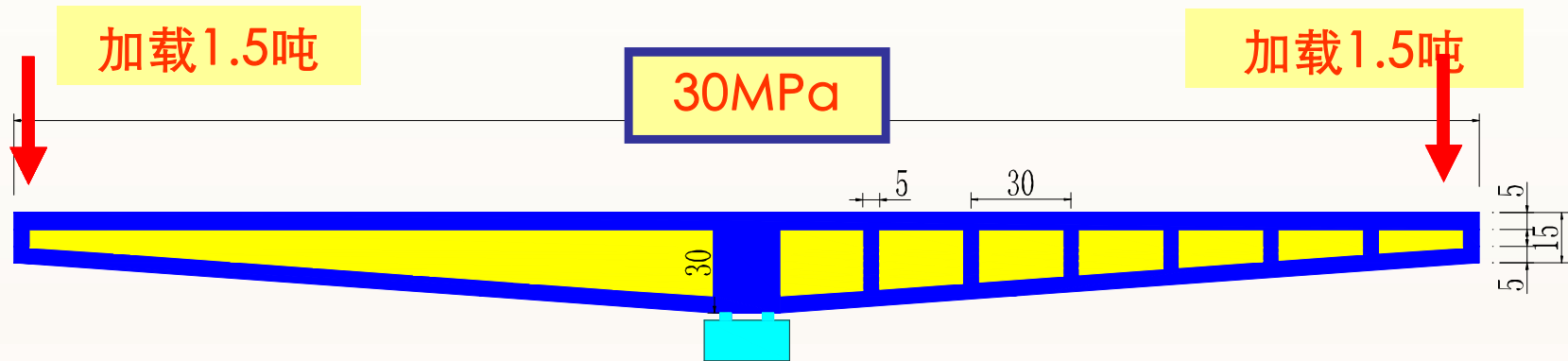


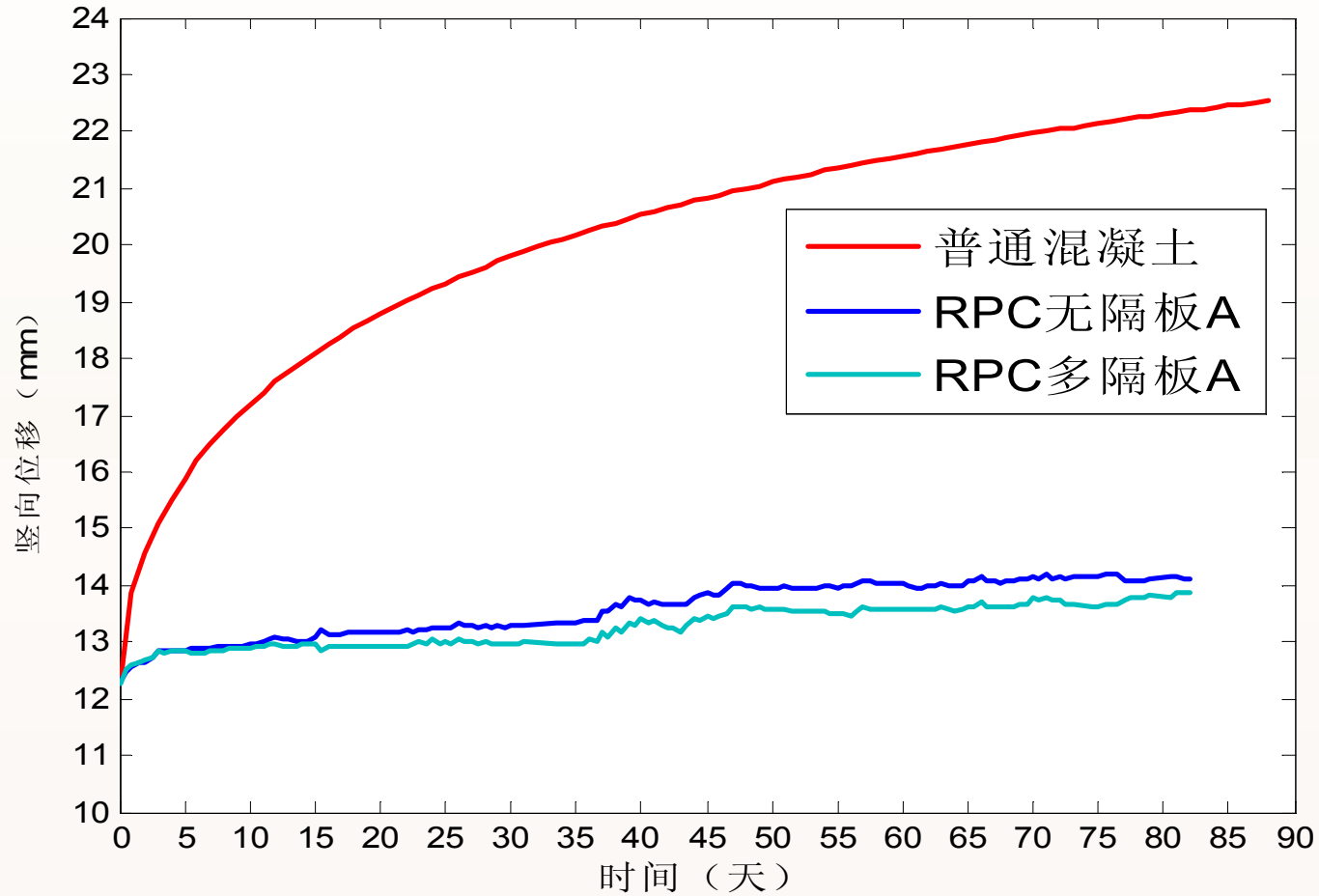


部分试验成果

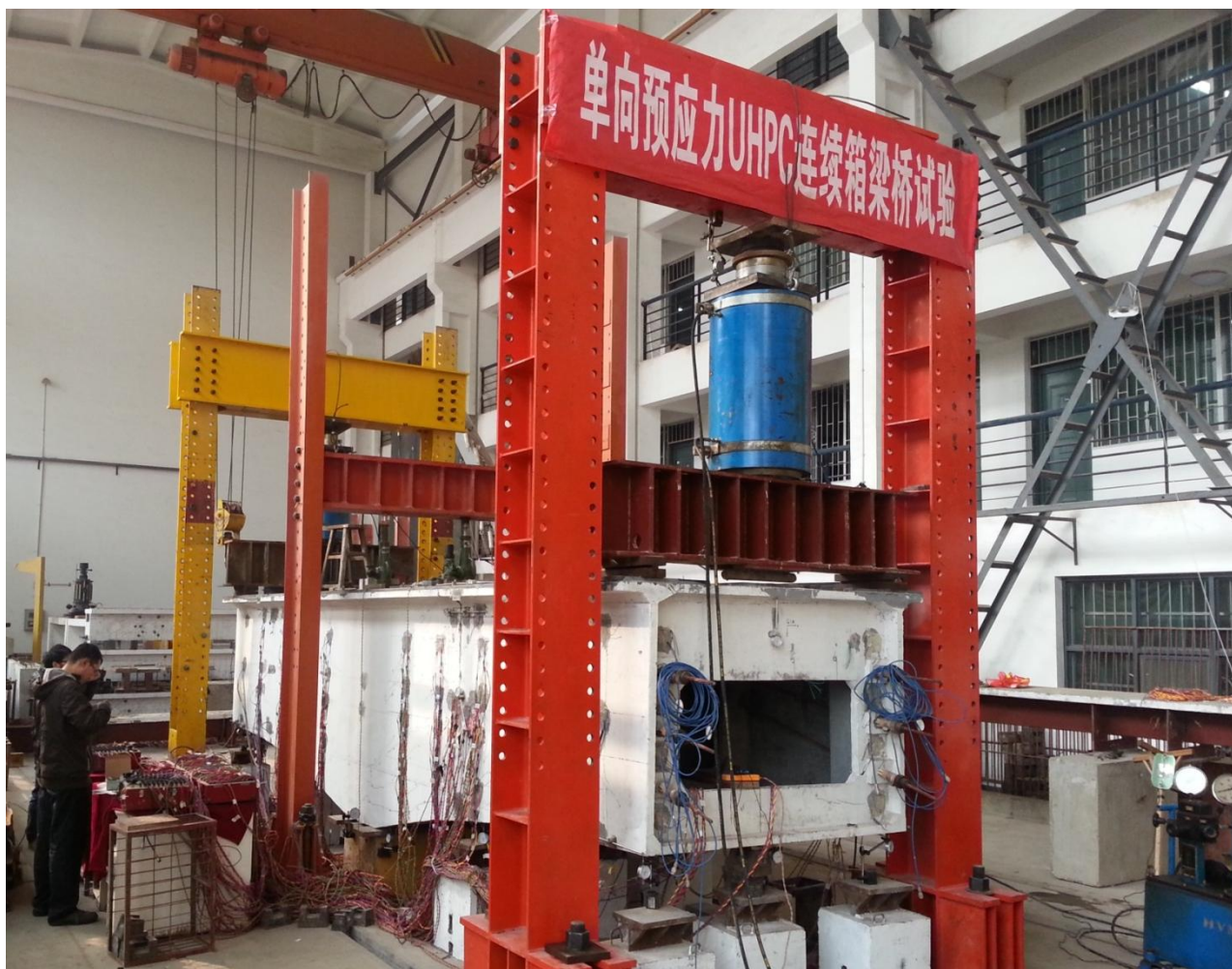
工况	加载图片	部分腹板测点的荷载—主应变曲线对比
<p>无隔板 自由端 附近部分，在 自由端 加载， 剪跨比 为2.1</p>		<p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">破坏</p>  <p>荷载/kN</p> <p>主应变/$\mu\epsilon$</p> <ul style="list-style-type: none"> —○— 多隔板侧测点3 —*— 无隔板侧测点3
<p>多隔板 自由端 附近部分，在 自由端 加载， 剪跨比 为2.1</p>		

多隔板情形下UHPC梁的徐变性能试验





加载点挠度时程曲线



跨径400m UHPC箱梁1:5节段模型试验

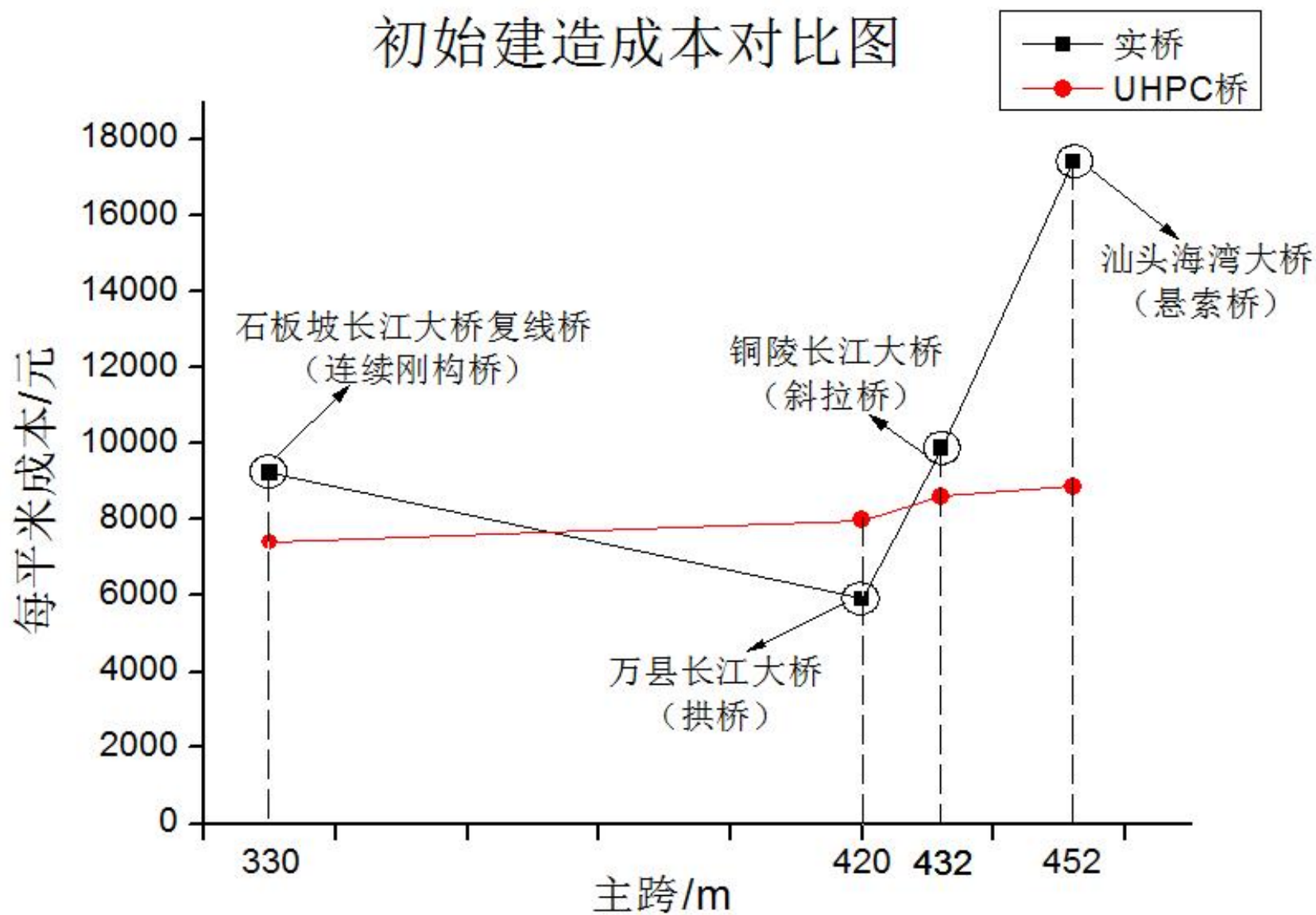
顶板：车辆荷载超载6倍不开裂；

腹板：超载2.2倍出现细微裂纹



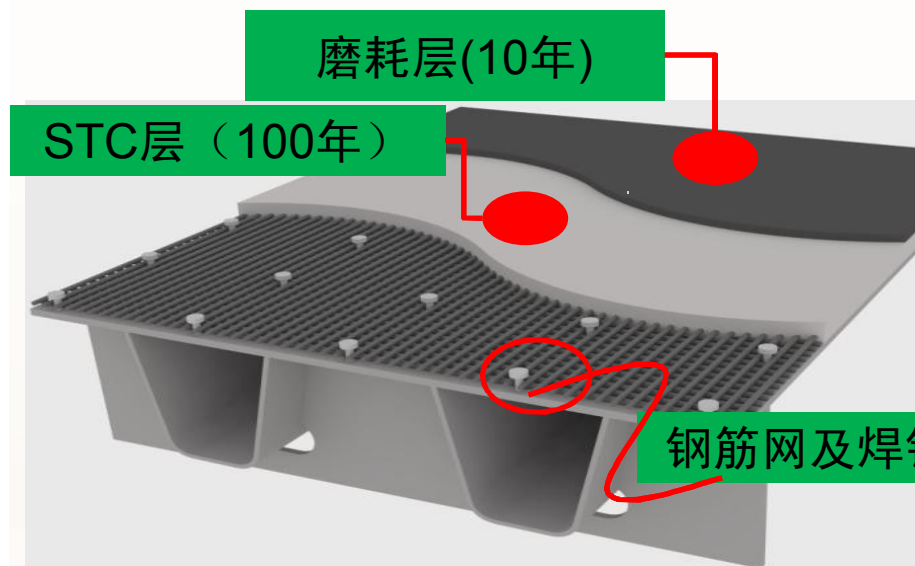
经济指标分析

初始建造成本对比图

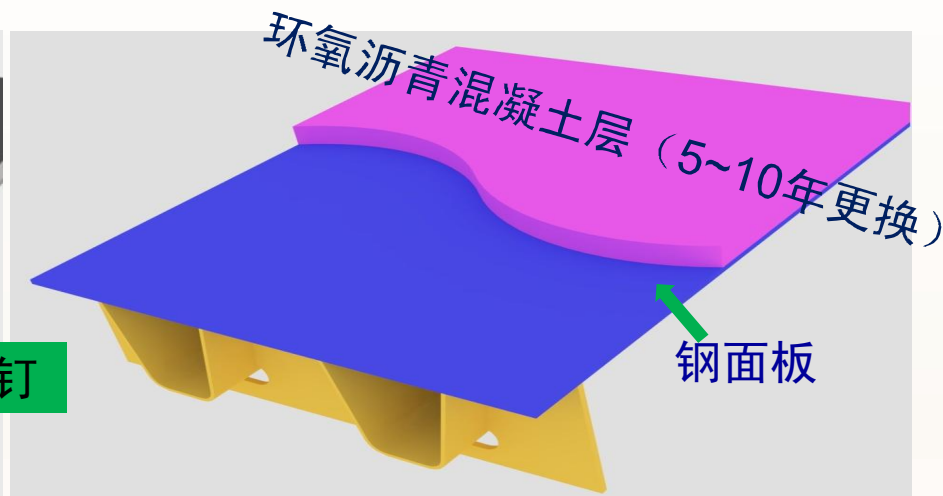




2. 超高性能轻型组合桥面—解决钢桥面及铺装开裂破损的难题



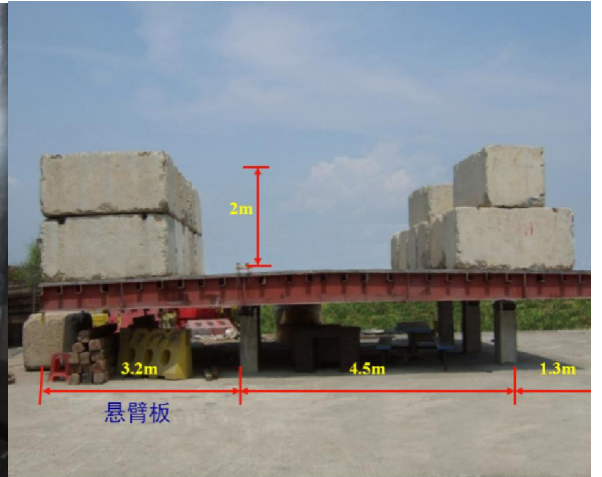
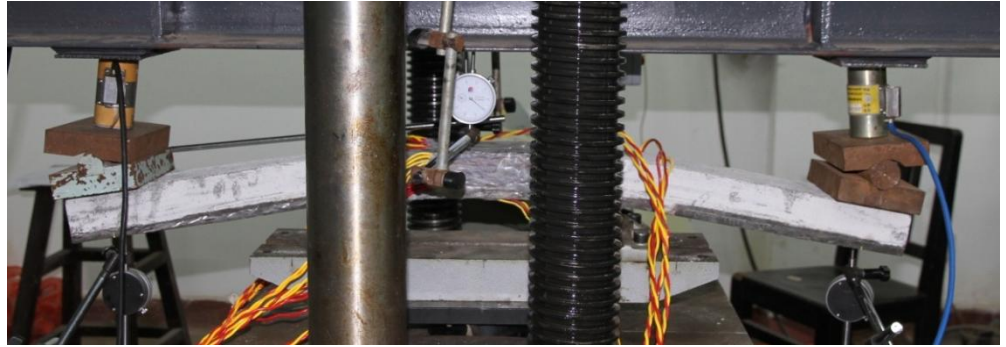
新体系



传统沥青体系

钢—STC轻型组合桥面优点:

- (1) 有效提高了桥面刚度，大幅降低钢桥面应力，延长正交异性钢桥面抗疲劳寿命**3倍**以上。
- (2) **彻底消除**钢桥面铺装的难题。





UHPC开裂前抗拉强度—42.7MPa

2014-5-27



UHPC疲劳抗拉能力—疲劳拉应力幅
0.0~21.3MPa，历经310万次未见开裂。

2014-5-27



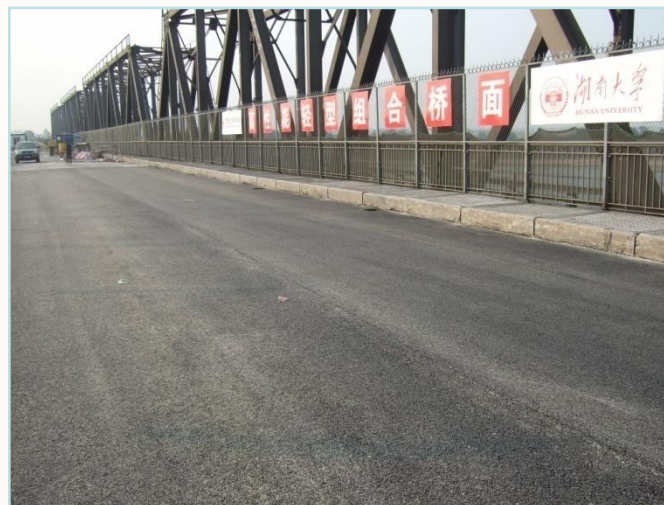
马房桥钢桥面铺装层病害



桥面现浇50mm厚STC层



80°C高温蒸养72h



施工完成后



马房大桥上做了五种方案。

环氧沥青、橡胶沥青铺装**开裂、车辙**；

钢夹心板、聚合物混凝土铺装**已破损**；

唯独轻型组合桥面**无任何病害**！



2013年11月通过了广东省交通运输厅鉴定



鉴定委员上桥察看，未见任何裂缝

2014-5-27

30

鉴 定 意 见

2013年11月26日,广东省交通运输厅在肇庆市主持召开了“超高性能轻型组合桥面结构新技术”项目成果鉴定会。鉴定委员会(专家名单附后)察看了马房大桥桥面使用状况,听取了项目组的汇报,审阅了鉴定资料,经质询与讨论,形成如下鉴定意见:

一、项目组提交的鉴定资料齐全,数据翔实可信,符合科技成果鉴定的要求。

二、项目组通过深入的试验研究、理论分析和工程实践,取得以下创新性成果:

1. 首次提出超高性能轻型组合桥面结构新体系,与目前常用的沥青铺装体系相比,不仅大幅提高了桥面结构的使用寿命,而且显著降低了正交异性钢桥面板开裂的风险。

2. 研发的超高韧性混凝土(STC)具有高强、高韧性、高耐久性等特点,将其应用于钢桥面上,收缩在蒸养过程中基本完成,从而避免了收缩开裂现象,解决了STC在钢桥面上应用的技术难题。

3. 通过对该新型桥面系的一系列静力和疲劳试验,探明了结构性能和主要影响因素,为工程应用奠定了坚实的基础。

4. 将该新型桥面系首次应用于马房桥上, 经对比,使用效果显著优于其它铺装方案。

综上所述,该项目成果对提高钢桥面系使用性能和耐久性能具有重要意义,经济社会效益显著, 具有广阔的应用前景。该项目研究成果达到国际领先水平。

建议:进一步加强施工工艺研究和工程应用,开展该新型桥面系设计和施工的标准化研究。

鉴定委员会主任:



副主任:

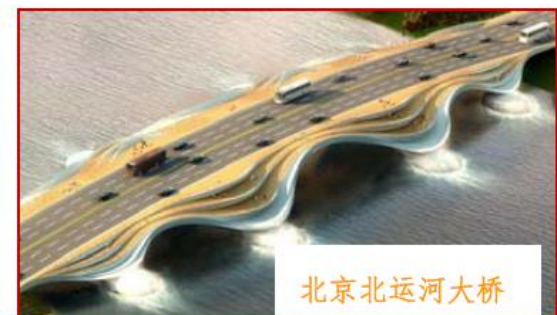


2013年11月26日

经对比,使用效果显著
优于其它铺装方案。

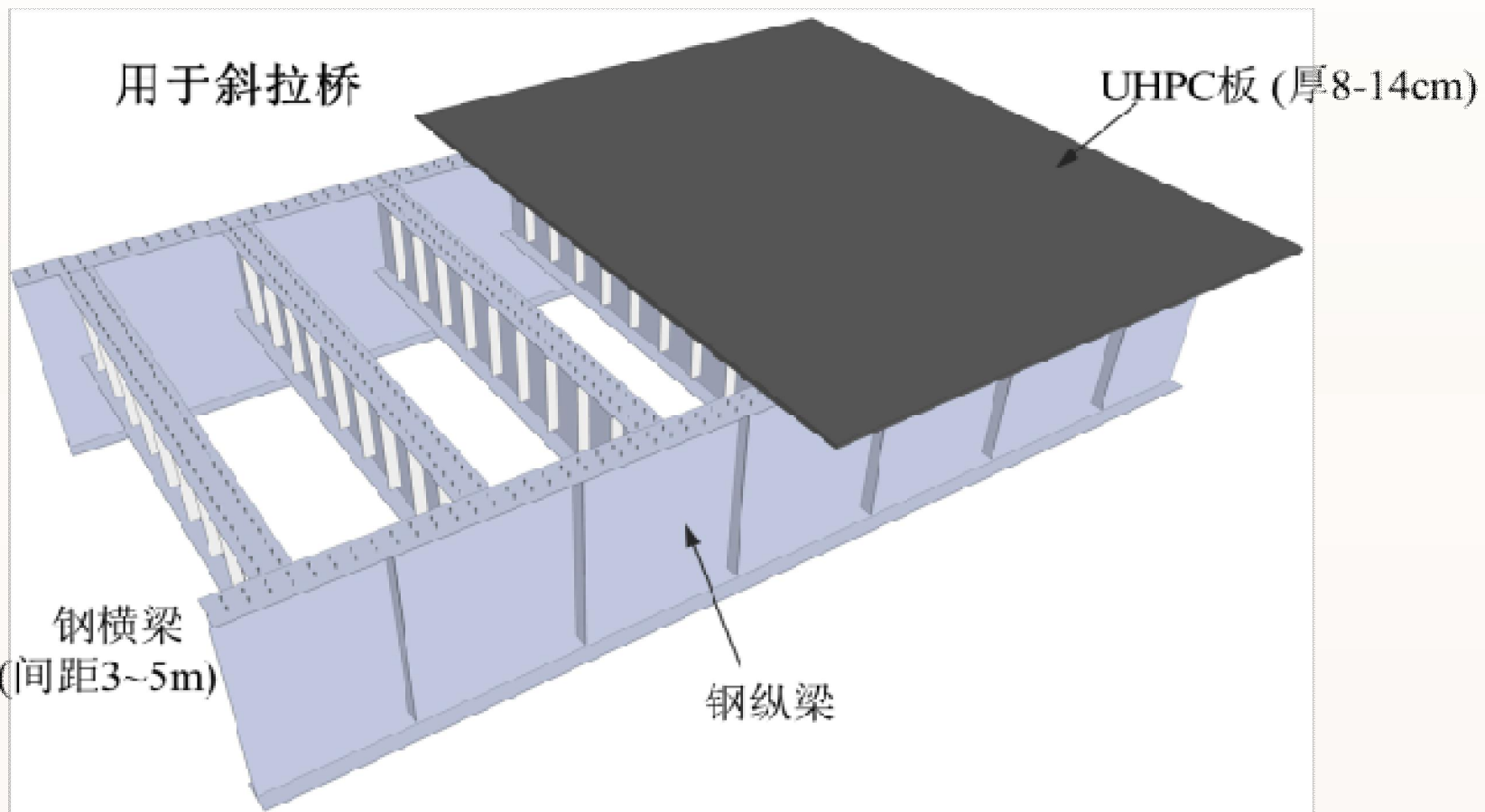
具有广阔的应用前景,
达到国际领先水平。

部分应用实桥：

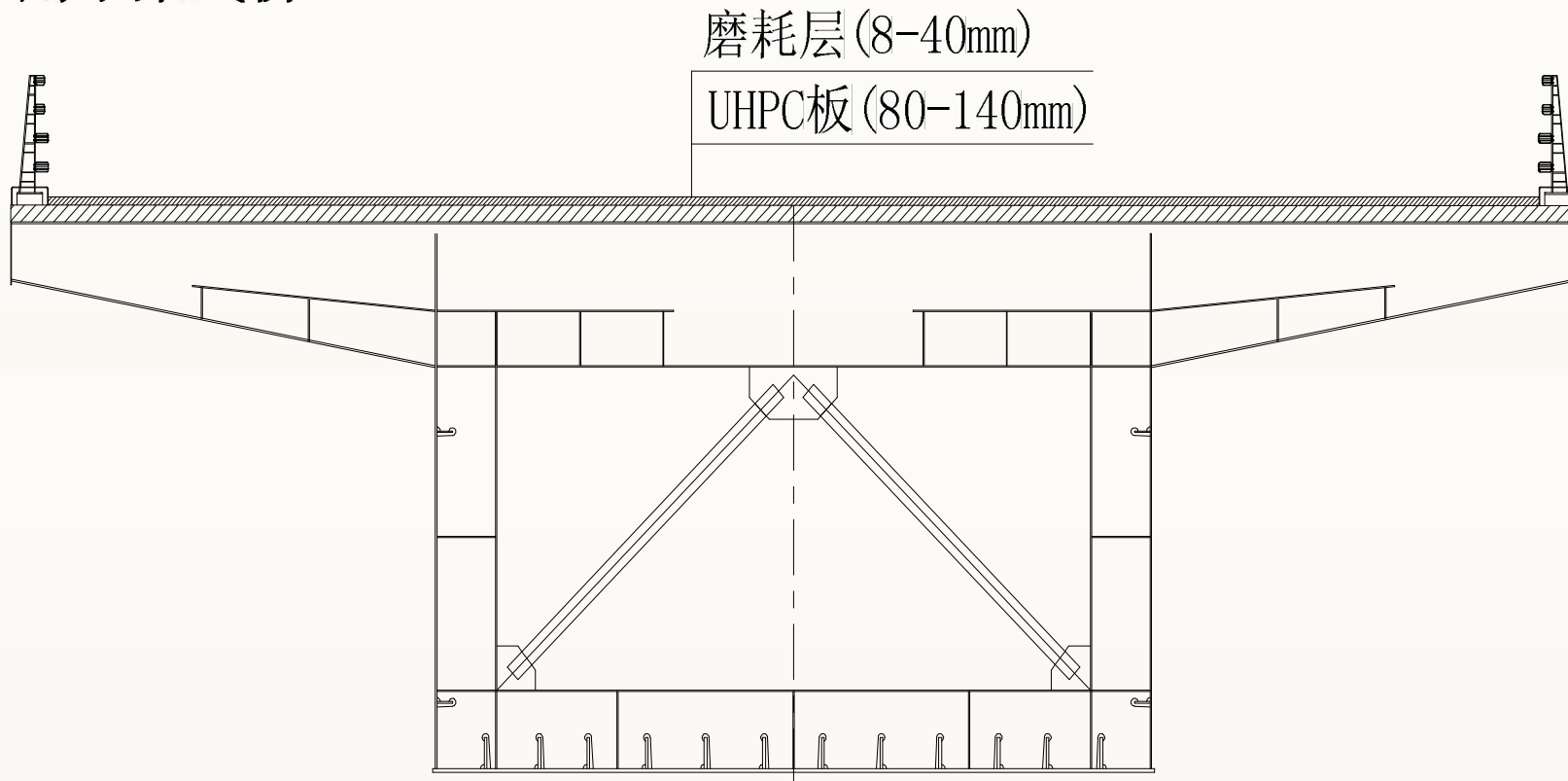




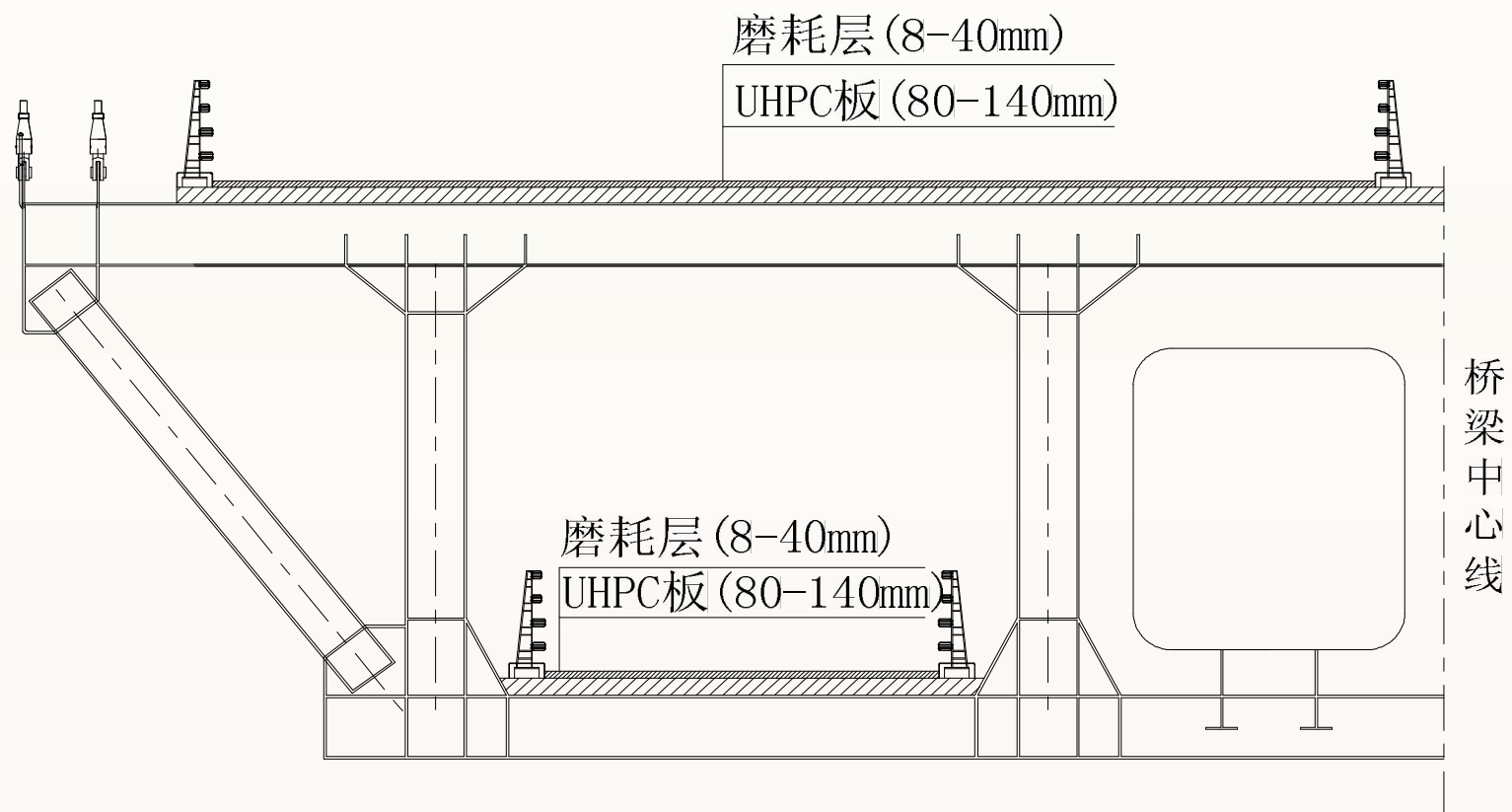
3. 钢-UHPC轻型组合梁——解决传统组合梁自重过大，易开裂的难题



用于梁式桥



用于悬索桥





- 自重仅为传统钢-混凝土组合梁的50%；
- 基本无开裂风险

抗**轮载冲切破坏**的最小面板厚度：

Harris等通过冲切试验得出结论：

- 普通混凝土板最小厚度**175mm**；
- UHPC板厚**25mm**足以抵抗冲切。

Harris, D.K. and Roberts-Wollmann, C.L., “Characterization of Punching Shear Capacity of Thin Ultra-High Performance Concrete Slabs,” *Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Ed., Fehling, E., Schmidt, M., and Stürwald. S., Kassel University Press, Kassel, Germany, 2008.

结语：

- 高性能结构能够解决大跨桥梁的主要难题；
- 高性能结构预期寿命可达200年，可能带来桥梁建设的重大变革。

An aerial photograph showing a dense urban landscape in the background, a wide river in the middle ground, and a university campus with various buildings and greenery in the foreground. The text '谢谢关注!' is overlaid in the center.

谢谢关注!

2014-5-27

40