



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

EVI2025 第八屆全球動力總成&海陸空驅動系統年會

EVH1000

電動車千人會

# 中國混動專用變速器DHT構型創新與實踐



徐向陽 教授

北京航空航天大學 交通科學與工程學院

國家乘用車自動變速器工程技術研究中心 常務副主任

北航智能傳動研究中心 (Intelligent Transmission Research Center, BUAA)



## 被告内容

1. 混动变速器发展背景
2. 混动系统构型综合评价
3. 中国DHT构型创新与实践
4. 总结



# 被告内容

1. 混动变速器发展背景
2. 混动系统构型综合评价
3. 中国DHT构型创新与实践
4. 总结

# 1. 混动变速器发展背景



2020年9月20日习总书记联合国75届大会中国“双碳”目标承诺



2030碳达峰

2060碳中和



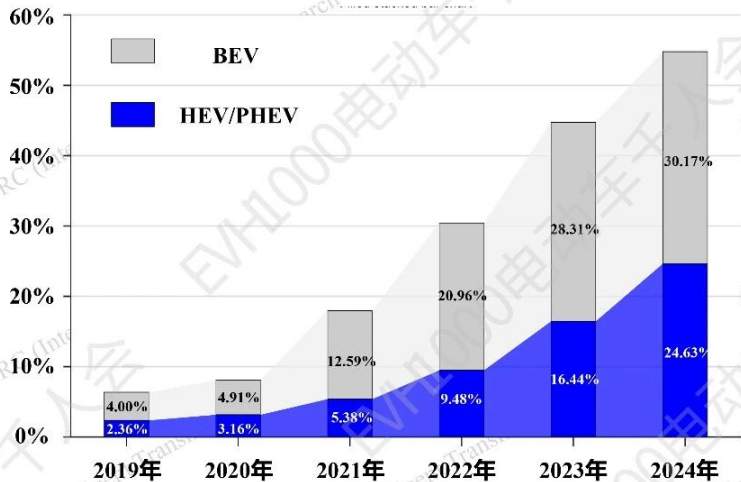
电动化

BEV

HEV/PHEV



# 1. 混动变速器发展背景



数据来源: 中国汽车工业协会(CAAM)—乘用车

## 中国混动技术发展历程

**1.0时代 (~2018)**  
跟随与积蓄力量

**2.0时代 (2019~2023)**  
创新与突破

**3.0时代 (2024~)**  
智能赋能持续引领

# 1. 混动变速器发展背景——第一阶段：跟随与积蓄力量（~2018）

动力性

劣

优



不同混动技术路线目标  
都是面向HEV

中国新能源汽车鼓励的是  
PHEV

对PHEV和HEV, 是不是  
有更好技术路线?



# 被告内容

1. 混动变速器发展背景
2. 混动系统构型综合评价
3. 中国DHT构型创新与实践
4. 总结

## 2. 混动系统构型综合评价

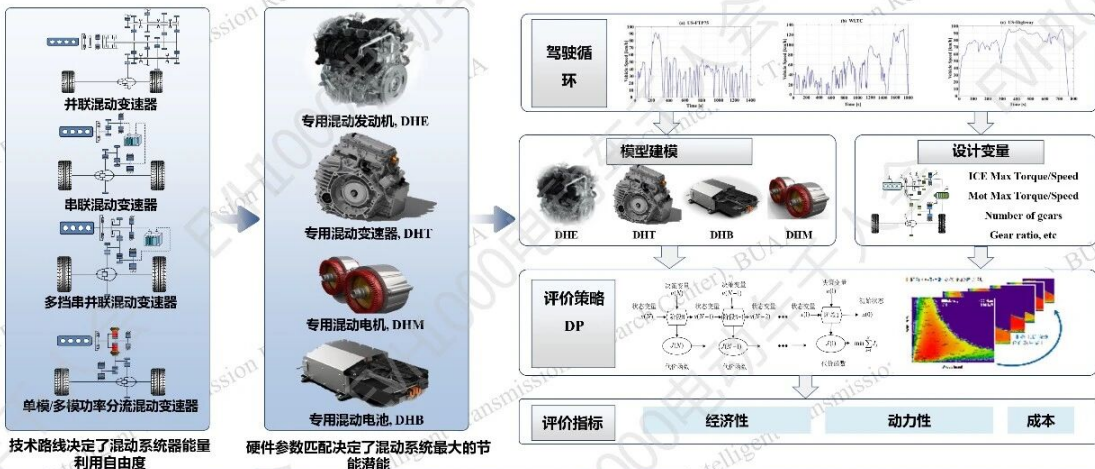
**Q1: 如何去评价混动构型技术路线?**

**Q2: 串并联混动构型(SPHT)是否需要考虑挡位?**

**Q3: 如果考虑挡位, 是增加发动机直驱挡位还是电机直驱挡位, 两者或者都增加挡位?**

## 2. 混动系统构型综合评价

### 北航团队创新提出混动系统构型综合评价方法和评价平台

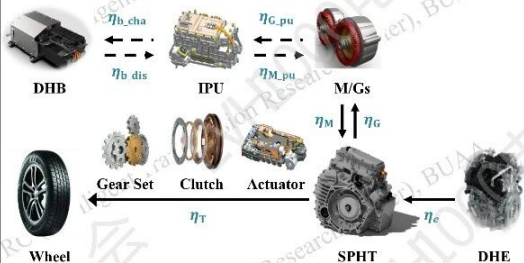


后向仿真平台: 消除了 (1) 设计参数, 和(2) 能量管理策略对技术路线评估的影响

## 2. 混动系统构型综合评价

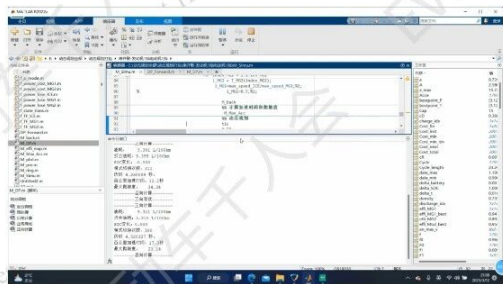
### 北航团队创新提出混动系统构型综合评价方法和评价平台

每个部件参数考虑设计需求



对可能的设计参数方案空间  
进行“参数遍历”

基于DP的快速评估方法



矩阵运算取代了循环嵌套  
从数小时缩短到不到20秒

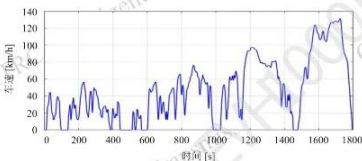
为混动技术路线评估和决策提供了科学的评价方法和高效的评价工具

## 2. 混动系统构型综合评价

### 评价指标

#### 经济性

SoC平衡状态下100 km 油耗

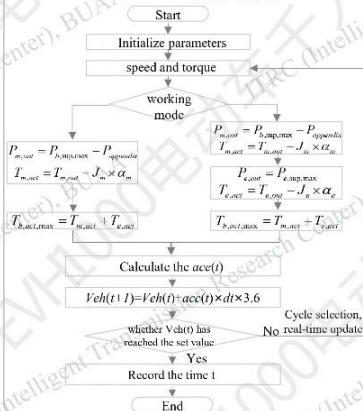


WLTC

时长	1801 s
最高车速	131.98 km/h
平均速度	46.52 km/h
标准差	36.11 km/h
RMS	58.89 km/h

#### 动力性

0-100km/h 加速时间



#### 成本t

基于主要零部件的成本估计

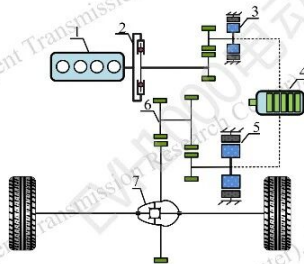
Structure	Mot			
	1	2	3	4
1	4 sets of FAGs 1 clutch	5 sets of FAGs 2 clutch	6 sets of FAGs 3 clutch	7 sets of FAGs 4 clutch
	5 sets of FAGs 2 clutch	6 sets of FAGs 3 clutch	7 sets of FAGs 4 clutch	8 sets of FAGs 5 clutch
I C E	6 sets of FAGs 3 clutch	7 sets of FAGs 4 clutch	8 sets of FAGs 5 clutch	9 sets of FAGs 6 clutch
	7 sets of FAGs 4 clutch	8 sets of FAGs 5 clutch	9 sets of FAGs 6 clutch	10 sets of FAGs 7 clutch

$$C_{MGs} = (28 + 30) \times (P_{Mot} + P_{Gen})$$

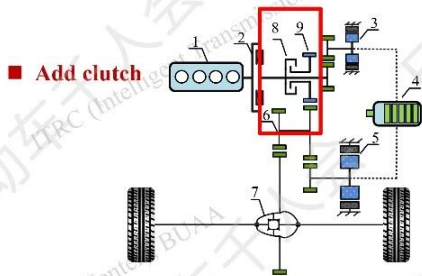
- 电机—28元/kW
- 控制器—30元/kW
- 齿轮副—150元
- 挡位/模式切换机构—600元
- 液压模块—600元

## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果1: 串联混动系统和串并联混动系统对比



串联混动系统(SHT)



串并联混动系统(SPHT)

#### ■ 串联混动系统SIIT和串并联混动系统SPIIT对比:

- (1) SPHT有离合器, 需要有相应的液压控制系统 (电磁阀, 液压油路设计等)
- (2) SPHT具有并联工作模式, 使模式切换控制逻辑和能量管理策略更复杂

## 2. 混动系统构型综合评价

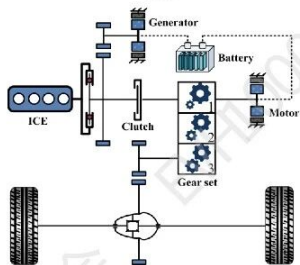
### 结果1.3: 串联混动系统和并联混动系统性能对比



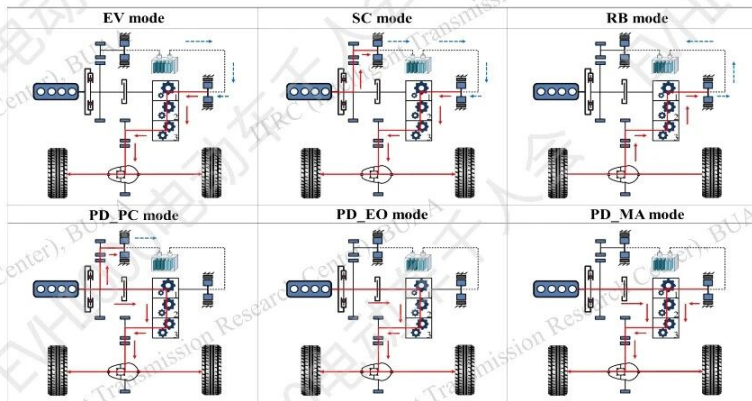
- 对于A级车，SPHT和SHT的油耗在城市循环工况下差别最少
- 在三种循环工况下（US-FTP75/WLTC/US-Highway）SPHT的燃油经济性都好于SHT
- SPHT在高速和高负荷需求的情况下，比SHT节能效果更明显

## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果2: 不同档位数量的串并联混动变速器动力性、经济性和成本对比



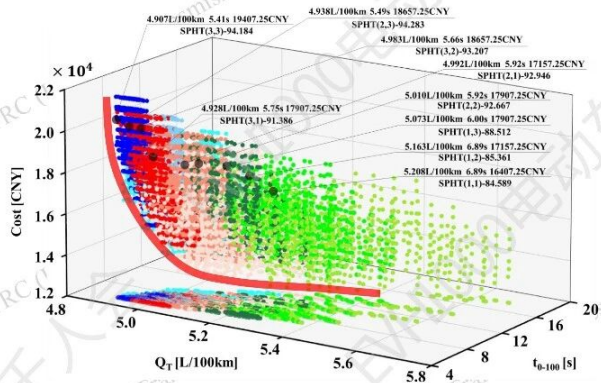
不同挡位数量串并联混动变速器  
基本构型



SPHT具有多种工作模式和高的能量调节自由度

## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果2.1: 不同档位数量的串并联混动变速器动力性、经济性和成本对比



### 串并联混动系统综合排序 (取决于权重因子)

Legend	Average score
● SPHT(1,1)	63.36
● SPHT(1,2)	68.11
● SPHT(1,3)	74.59
● SPHT(2,1)	77.84
● SPHT(2,2)	80.10
● SPHT(2,3)	83.48
● SPHT(3,1)	75.91
● SPHT(3,2)	85.42
● SPHT(3,3)	87.67

Rank	SPHT	Score	$Q_T$ [L/100km]	$t_{0-100}$ [s]
1	SPHT(2,3)	94.283	4.938	5.49
2	SPHT(3,3)	94.184	4.907	5.41
3	SPHT(3,2)	93.207	4.983	5.66
4	SPHT(2,1)	92.946	4.992	5.92
5	SPHT(2,2)	92.667	5.010	5.92
6	SPHT(3,1)	91.386	4.928	5.75
7	SPHT(1,3)	88.512	5.073	6.00
8	SPHT(1,2)	85.361	5.163	6.89
9	SPHT(1,1)	84.589	5.208	6.89

靠近帕利托边界的点主要是增加发动机挡位数量，不是增加电机挡位数量

## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果3.1: 不同挡位数量的P2混动系统动力性和经济性对比分析

#### P2-6 挡

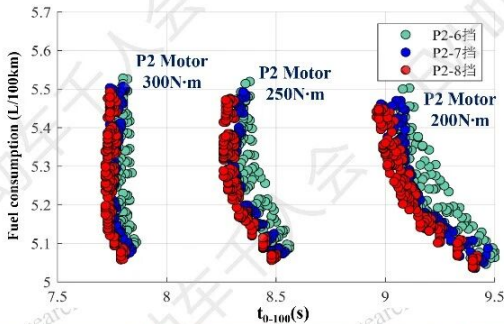
参数	Min	Max	Step	Loop
传动比(1 挡) [-]	12	18	0.5	13
传动比(6 挡) [-]	1.8	3.0	0.1	13
电机最大扭矩[N·m]	200	300	50	3

#### P2-7 挡

Parameter	Min	Max	Step	Loop
传动比(1 挡) [-]	12	18	0.5	13
传动比(7 挡) [-]	1.8	3.0	0.1	13
电机最大扭矩[N·m]	200	300	50	3

#### P2-8 挡

参数	Min	Max	Step	Loop
传动比(1 Gear) [-]	12	18	0.5	13
传动比(8 Gear) [-]	1.8	3.0	0.1	13
电机最大扭矩[N·m]	200	300	50	3



	P2	P2-6	P2-7	P2-8
平均油耗[L/100km]		5.2761	5.2646	5.2538
经济性改善		-	0.218%	0.205%

增大P2电机扭矩可以显著提高动力性, 增加挡位数量对节能的贡献有限

## 2. 混动系统构型综合评价

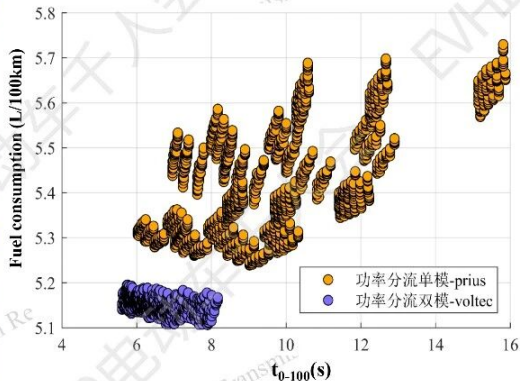
### 结果3.2: 功率分流系统动力性和经济性对比分析

单模功率分流系统(Prius)

Parameter	Min	Max	Step	Loop
行星排固有传动比 $k[-]$	-2.8	-1.8	0.2	6
齿圈到轮端传动比 $[-]$	3.2	6.4	3.2	2
EM到轮端传动比 $[-]$	6	10	2	3
发电机最大扭矩[N·m]	110	140	30	2
发电机最高转速[rpm]	13000	15000	1000	3
电机最大扭矩[N·m]	200	300	50	3
电机最高转速[rpm]	13000	15000	1000	3

双模功率分流系统(Voltec)

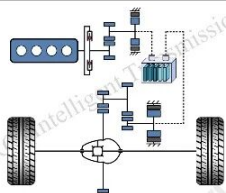
参数	Min	Max	Step	Loop
行星排1固有传动比 $k_1[-]$	-2.4	-1.8	0.2	4
行星排2固有传动比 $[-]$	-2.4	-1.8	0.2	4
发电机最大扭矩[N·m]	110	140	30	2
发电机最高转速[rpm]	13000	15000	1000	3
电机最大扭矩[N·m]	200	300	50	3
电机最高转速[rpm]	13000	15000	1000	3



双模功率分流动力性和经济性明显好于单模功率分流, 但结构复杂的也明显提升

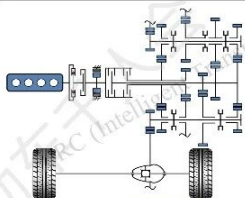
## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果4: 不同混动变速器技术路线对比分析



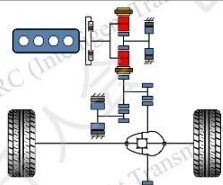
多次能量转换  
低能量高效率利用

串联 (增程) 混动



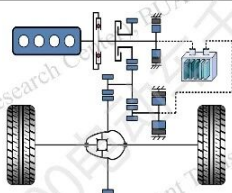
单电机  
不能同时驱动和发电

并联混动P2+AT/AMT/DCT



结构复杂  
控制难

单模功率分流/双模功率分流



结构简单  
多工作模式  
控制灵活

单/多挡位串并联混动

## 2. 混动系统构型综合评价

### 结果4: 不同混动变速器技术路线对比分析

评价指标: 经济性(50%), 动力性(50%)— $t_{0-100}$ [s]:40%, 最大爬坡度[%]:30%,  $t_{80-120}$ [s]:20%, 最高车速[km/h]:10%

排序	拓朴构型	得分	油耗 [L/100km]	$t_{0-100}$ [s]	最大爬坡度 [%]	$t_{80-120}$ [s]	最高车速 [km/h]	排序	拓朴结构	得分	油耗 [L/100km]	$t_{0-100}$ [s]	最大爬坡度 [%]	$t_{80-120}$ [s]	最高车速 [km/h]
1	SPHT(3,3)	96.37	5.0032	5.53	59.38	3.51	245	9	P2-7 Gears	88.29	5.0684	7.81	59.38	7.30	214
2	SPHT(3,2)	94.89	5.0178	5.94	59.14	3.75	243	10	P2-6 Gears	87.53	5.0826	7.83	59.38	7.27	214
3	SPHT(2,3)	93.61	5.0537	5.55	59.38	3.96	245	11	SPHT(1,3)	86.21	5.1773	6.24	59.38	4.31	245
4	SPHT(2,2)	92.29	5.0623	6.04	59.14	4.70	245	12	SPHT(1,2)	82.16	5.2110	7.43	57.65	5.14	245
5	Dual-PS	91.74	5.1416	5.61	59.38	2.48	323	13	SPHT(1,1)	79.27	5.2244	7.43	57.65	5.14	175
6	SPHT(3,1)	90.80	5.0821	6.25	58.67	3.70	237	14	Single-PS	78.14	5.3045	6.06	59.38	3.89	189
7	P2-8 Gears	88.88	5.0577	7.79	59.38	7.24	214	15	Series	55.81	5.6165	7.87	50.49	6.41	189
8	SPHT(2,1)	88.68	5.1100	6.33	58.67	4.00	221								

注: SPHT(2,1) 发动机有2个挡位, 电机有1个挡位

多挡串并联最优, 依次是双模功率分流, P2, 单挡串并联, 单模功率分流。  
3/4个挡串并联具有最优的性能, 2挡串并联具有最好的性价比, 单挡串并联成本最优

## 2. 混动系统构型综合评价



单模功率分流  
混动变速器



单挡串并联  
混动变速器



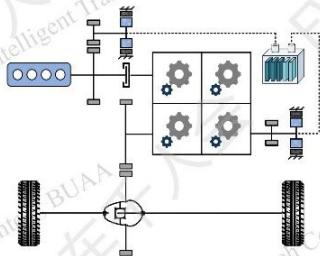
串联  
混动变速器



P2  
混动变速器



双模功率分率  
混动变速器



**发明多挡串并联混动变速器基础构型**

**更适合PHEV/HEV的混动变速器技术路线**

**具有更好的动力性和经济性**

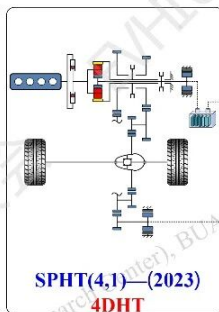
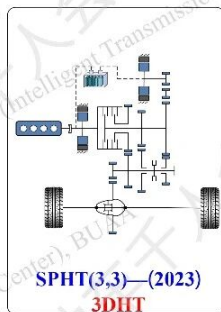
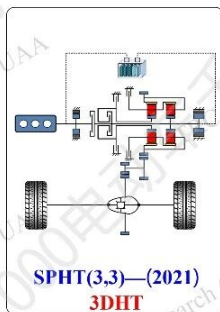
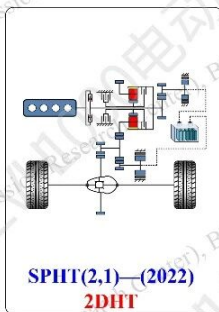
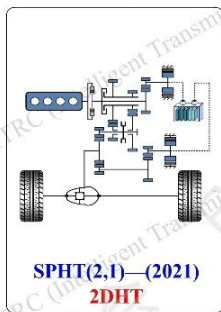
**多挡串并联混动系统是中国创新发明的更适合PHEV的新的混动技术路线  
具有更好的动力性和经济性**



## 被告内容

1. 混动变速器发展背景
2. 混动系统构型综合评价
3. 中国DHT构型创新与实践
4. 总结

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践



国际首个  
定轴齿轮  
2挡串并联混动变速器

国际首个  
行星齿轮机构  
2挡串并联混动变速器

国际首个  
双行星排双电机同轴  
3挡串并联混动变速器

国际首个  
发动机和电机3挡9模  
3挡串并联混动变速器

国际首个  
功率分流 + 多档位  
4挡串并联混动变速器

与长城、广汽、吉利、奇瑞、东风合作开发了2DHT / 3DHT / 4DHT

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践



SPHT(2,1)



长城魏、哈弗等



SPHT(2,1)



广汽传祺等



SPHT(3,3)



吉利银河、领克等



SPHT(3,3)



奇瑞捷途、风云等



SPHT(4,1)

















东风系列车型

基于上述创新, 中国企把多挡串并联混动变速器推广应用到了不同车型上

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

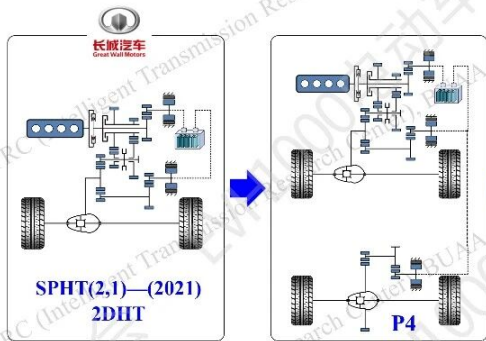
#### 中国代表性混动车型与同级别Toyota/Honda车型油耗对比

车型							
企业							
构型	PS	SPHT(1,1)	SPHT(2,1)	SPHT(2,1)	SPHT(3,3)	SPHT(3,3)	SPHT(4,1)
整备质量/总重 (kg)	1660/2195	1729/2260	1750/2170	1670/2045	1901/2300	1935/2336	1725/2121
公告油耗 (L/100km)	5.10	5.49	4.90	4.76	5.02	5.00	4.81
与Toyota/Honda对比节油率			3.92%/10.74%	6.67%/13.29%	1.57%/8.56%	1.96%/8.92%	5.68%/12.38%

注：油耗测量是在电池SoC平衡下的测量值

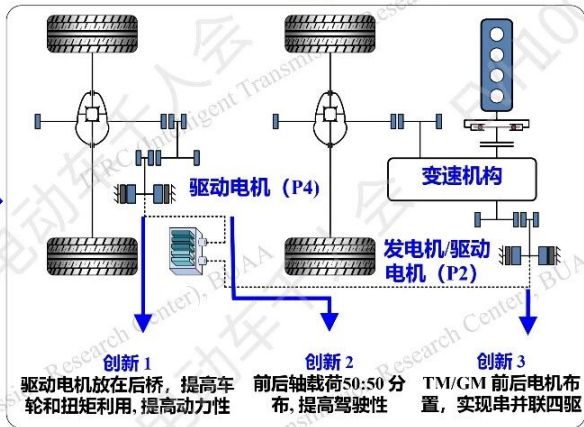
**整车试验测试结果表明：多挡串并联混动变速器具有更好的节油性能**

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践



四驱混动构型是否有更好的方案?

#### Hi4 概念



通过前后桥实现多动力源 (发动机/发电机/电机) 机电耦合, 底盘发挥机电耦合功能, 同时双电机实现混动四驱

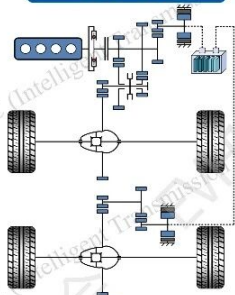
### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

#### 构型创新: 四驱混动系统Hi4



长城汽车  
Great Wall Motors

#### Hi4—2代



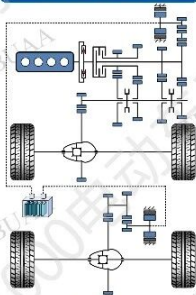
前桥: ICE+GM (2DHT)

后桥: P4 (1挡)

换挡机构: 同步器和离合器

目标车辆: 紧凑行城市SUV

#### Hi4—3<sup>rd</sup> 三代



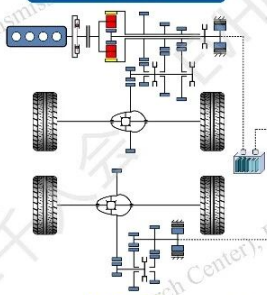
前桥: ICE+EM (4DHT ICE-4速/Mot-2速)

后桥: P4 (1挡)

换挡机构: 两个同步和离合器

目标车辆: 中/大型SUVs & MPVs

#### Hi4—Z



前桥: ICE+EM (功率分流+3AMT, 3DHT)

后桥: P4 (2速)

换挡机构: 三个同步器和离合器

目标车辆: 道路/非道路大型 SUV

Hi4是国际上首个专为智能混动四驱设计的DHT, 兼顾经济性和动力性、越野性, 用2电机实现四驱

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

#### Hi4 智能四驱电混架构

全球首款双电机四驱电混架构

**混动专用高热效率发动机**  
工程热效率  $\geq 41.5\%$

1.5L  
最大功率 101kW  
最大扭矩 135N·m

1.5T  
最大功率 130kW  
最大扭矩 210N·m

**多挡混动专用变速箱**  
传动系统效率  $98\%$

**安全高效智能动力电池**  
SAE- EFFICIENT + INTELLIGENT POWER BATTERY

- 高安全：采用超电芯+电芯，1CT7电芯率
- 高能量：半导流片+电芯（液冷），电芯能量密度 $237\%$

**大功率高效后电桥**  
电机效率  $\geq 96.5\%$

电机功率：功率密度高，体积小，效率高，电桥效率高

电机效率：半导流片+电芯（液冷），电桥效率高

24V低压混合动力系统

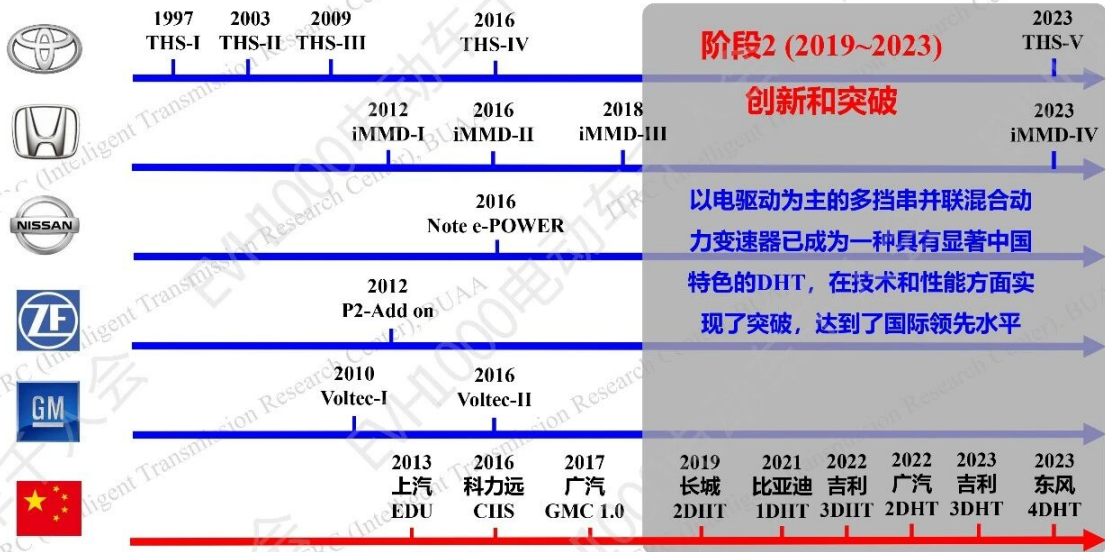
**快 顺 静 省 安全**

- 换挡平顺：换挡平顺，换挡平顺
- 静音舒适：静音舒适，静音舒适
- 省油节能：省油节能，省油节能
- 安全可靠：安全可靠，安全可靠



## Hi4 混动系统获得中国汽车工程学会2025年科技进步特等奖

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践



**阶段2 (2019~2023)**

**创新和突破**

以电驱动为主的多挡串并联混合动力变速器已成为一种具有显著中国特色的DHT，在技术和性能方面实现了突破，达到了国际领先水平

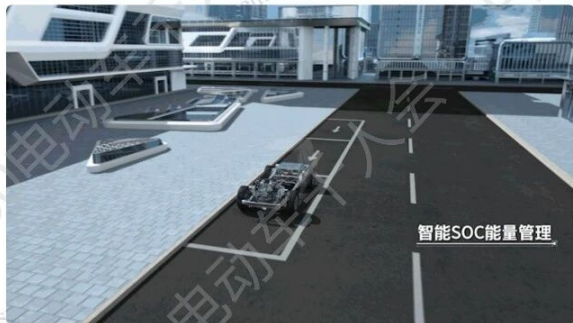
### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

系统效率优化已经接近极限  
再优化效率会大幅度提高成本

构型创新已经接近极限  
更多的挡位和工作模式，边际贡献有限，但会大幅提高复杂度和成本

如何去进一步降低标准循环工况或者实际驾驶工况油耗？

阶段3 (2024~): 智能赋能，持续引领



### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

## 北航团队：基于多源信息融合的混合动力系统智能能量管理技术

#### 技术目标

融合智联前瞻信息与车辆实时状态信息实现全场景、全速域下的多动力源能量动态优化管理

#### 关键技术

#### 研发配套

#### 感知

1. 不同视域下静态场景识别
2. 驾驶风格与车速倾向识别
3. 车辆实时状态评估
4. 动力传动系统状态评估
5. 油电能量利用状态评估
6. ...

#### 决策

1. 中长工况与功率需求预测
2. 电池全局能量动态规划优化
3. 多目标协调决策优化
4. 双核任务部署与功能请求
5. 大数据自适应决策分析
6. ...

#### 控制

1. 能量轨迹跟随控制
2. 混动系统工作模式控制
3. 混动系统功率优化分配
4. 能量自适应回收控制
5. 人机交互控制
6. ...

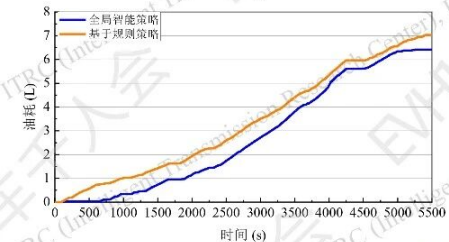
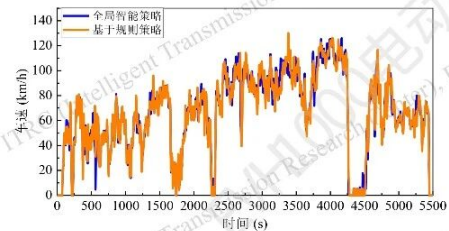
- 车机导航地图
- ADAS V2地图
- 1R1V环境感知传感器

- 原始感知信息解析模块
- 高算力双核控制器 (含通讯)
- 动力总成大数据私有云平台

- 混动目标整车
- 代码生成工具链
- 标定测试工具链

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

实车验证效果——不同电池状态、场景、工况适应性测试 (相同路程、相同初始状态跟车对比)



平均节油率达7.72%，实现能量管理策略在线动态全局优化

### 3. 专用混动变速器DHT构型创新和实践

## 2025年度中国汽车十大技术趋势

### 06 趋势6：智能高效混合动力控制策略将持续优化并日益普及

技术类型：规模显著提升技术

技术重要性：智能化技术为混合动力系统节能潜力进一步释放提供了关键技术支撑。个性化、全局优化成为混动能量管理策略量产应用的新范式

技术发展趋势：2025年，过半数车企将在混动车型上量产应用智能化动力控制策略

个性化、全局优化成为混动能量管理策略量产应用新范式



智驾域  
动力域  
底盘域  
协同域控



车辆 交通  
能源 信息  
多智能体融合



大数据  
大模型  
全方位赋能

以智能化为特征的3.0时代，会推动我国混动技术的持续创新和引领



## 被告内容

1. 混动变速器发展背景
2. 混动系统构型综合评价
3. 中国DHT构型创新与实践
4. 总结

## 4. 总结

- **混合动力不是一种过渡技术，与纯电动技术路线长期共存，战略互补**
- **配备多挡串并联混动变速器的乘用车，在动力性和经济性方面明显优于单挡串并联、功率分流和串联（增程）**
- **中国混合动力技术实现了从跟随到引领，DHE/DHT/DHB技术全面突破，形成了以电驱动为主的中国特色多挡串并联技术路线**
- **混合动力未来竞争的关键是智能化能量管理策略，智能化水平决定了竞争力**
- **动力系统发展趋势：系统高效化、驱动电气化、控制智能化、能源多样化**



# Thanks!