高速公路长寿命路面研究

王选仓　教授　博士生导师

长安大学　公路学院

E-mail：wxc2005@163.com

联系电话：82334836

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

目　录

一　长寿命路面研究与实践

二　复合式长寿命路面成套技术研究

三　长寿命路面验证评价与维修再生技术

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1. 长寿命路面定义与特点
2. 长寿命路面设计理念
3. 我国长寿命路面研究和建设现状
4. 交通运输部科技中长期发展规划

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

长寿命路面被称作长效性或永久性路面。

美国沥青路面协会（APA）关于永久性路面的定义为：路面使用年限至少为35年，并且在使用年限内确保路面不发生结构性破坏，只需进行周期性养护，平均罩面时间不小于12年。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

美国部分州关于长寿命路面的使用年限也各有其定义，其部分地区关于长寿命路面的使用情况见下表：

美国部分州永久性路面使用年限

州名	西维吉尼亚州	堪萨斯州	俄亥俄州	华盛顿州	加利福尼亚州	科罗拉多州	伊利诺斯州
使用期	40年	30年	35年	40年	50年	30年	40年

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

日本长寿命路面设计目标是 2倍于现在的路面寿命。

因功能性破坏进行大中修周期在15年以上，路面承重结构寿命 40~60年。

日本长寿命路面组合类型

组合A	组合B	组合C
5 cm 低噪音面层	5 cm低噪音面层	5 cm低噪音面层
25 cm连续钢筋混凝土基层	25 cm碾压混凝土基层	5 cm高粘度改性沥青联结层
40 cm水泥稳定处理底基层	40 cm水泥稳定处理基层	30 cm预制钢筋混凝土板
无	无	30 cm水泥稳定处理基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

英国 长寿命路面特性 ：

1. 路面一般不会发生结构性变形；
2. 路面抗疲劳能力高；
3. 交通量不超过某一限值。

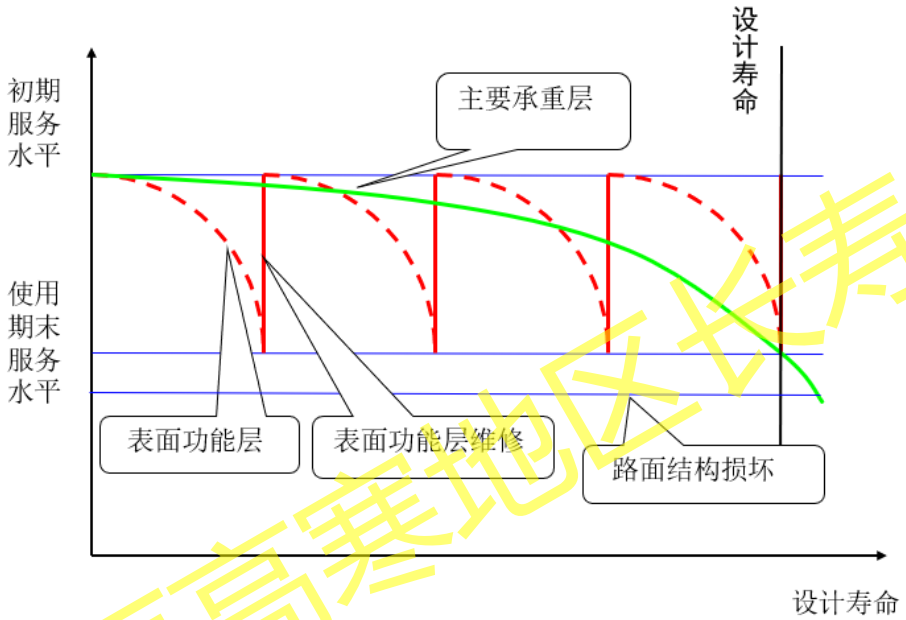
只要及时对路面车辙和裂缝进行处治，路面可以长时间保持良好状态

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

综合相关国家的研究 ，长寿命路面是指路面设计寿命超过40年的路面结构 。



长寿命路面寿命示意图

长寿命路面设计标准：

①表面功能层寿命应达到8年以上；

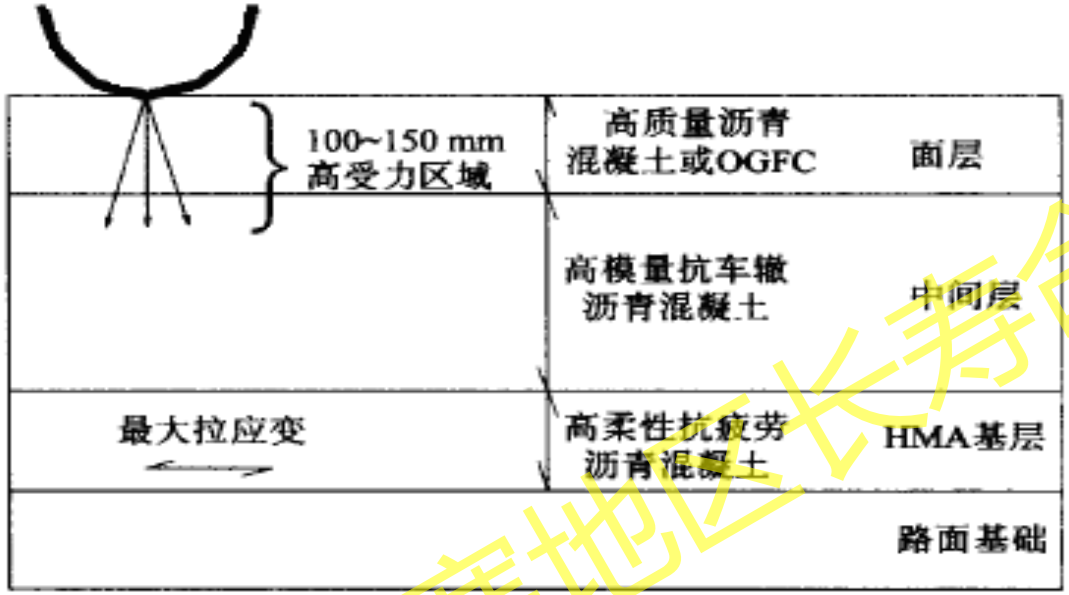
②主要承重层寿命应达到40年以上；

③各层强度控制指标选用相应规范进行验算。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点



长寿命沥青路面结构示意图

(1) 轮载下100～150mm区域是高受力区域，也是各种损坏(主要是车辙)易发区域；

(2) 磨耗层（面层）：40～75mm高性能沥青混凝土，为车辆提供良好的行驶界面，应具有足够的表面构造深度，抗车辙、水稳定性好；

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

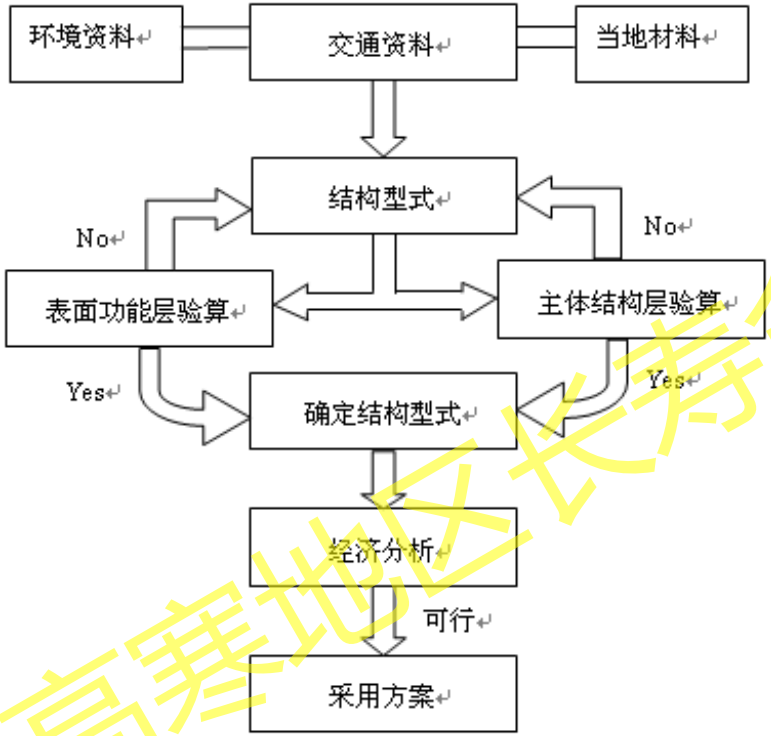
(3) 中间层：100～175mm高模量抗车辙沥青混凝土，起到连接和扩散荷载的作用，应具有高模量(刚度)、抗车辙特性；

(4) 基层：75～100mm高柔性抗疲劳沥青混凝土，起到消除疲劳破坏的作用，最大拉应变产生在基层底部，该区域最易发生疲劳破坏，所以该层应具备柔性高、抗疲劳能力强、水稳定性好等优点。

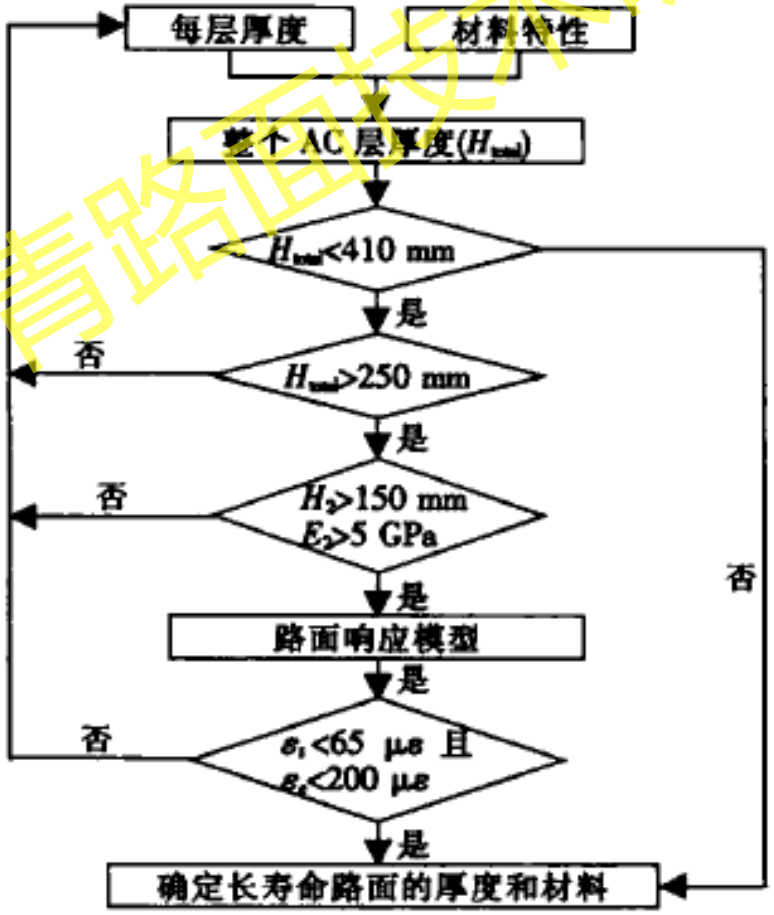
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点



长寿命路面结构设计流程图



长寿命路面厚度确定流程图

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

传统路面存在的问题

1. 采用半刚性基层结构(结构单一)
2. 面层厚度比国外的薄(总厚度相当)
3. 路面的破坏形式与设计指标不一致
4. 易出现结构性破坏，修复困难

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

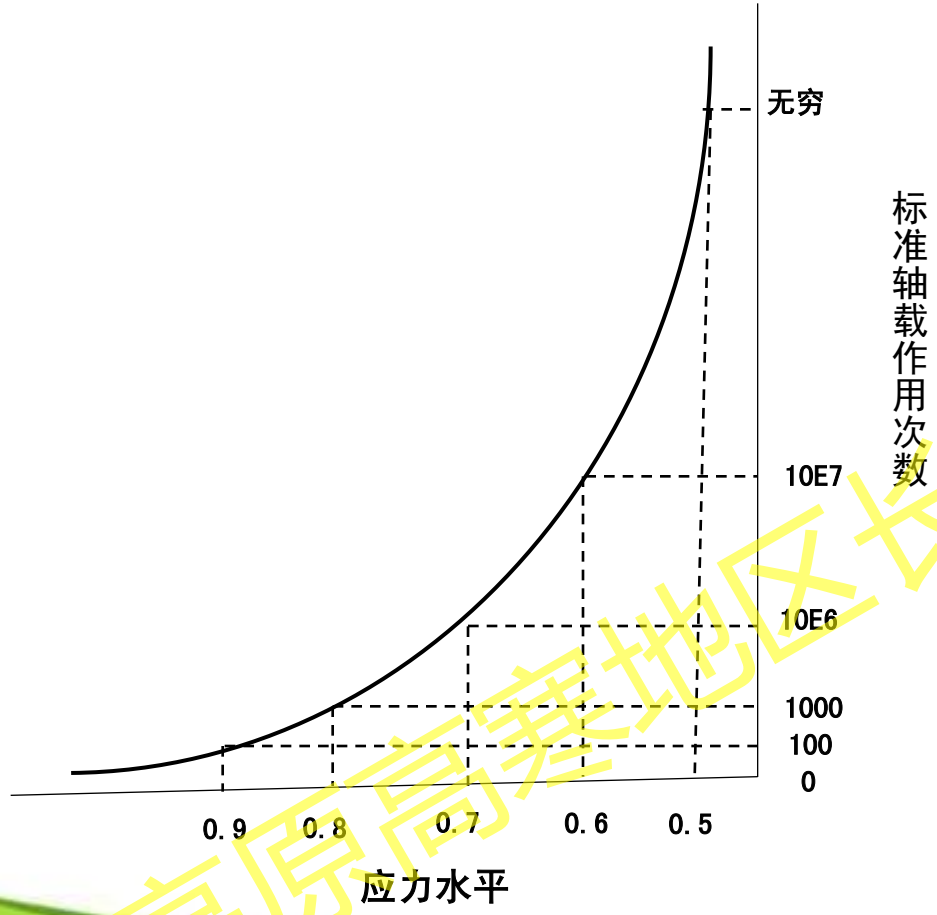
一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

1.长寿命路面定义与特点



路面疲劳与应力水平的关系

路面疲劳寿命与轴载应力水平有关。

在低应力水平条件下，路面寿命才能长久。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2. 长寿命路面设计理念

按功能合理设计结构层

基本前提:

HMA 路面足够厚,以消除自下而上的路面破坏。

结构

① 路面必须有合适的厚度和刚度以抵抗变形;

② 具有足够厚度和良好性能以抵抗自基层底的疲劳开裂。

功能

① 上面层设计主要考虑抗车辙能力和抗磨耗能力;

② 中间层设计主要考虑抗车辙能力;

③ 基层设计主要考虑抗疲劳能力。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.1 研究现状

目前我国尚无长寿命路面设计统一标准。

主要研究省份及单位：

山东、广东、江苏、河南、吉林等省，长安大学、东南大学、交通部公路科学研究所、江苏交通科学研究院等，有些还铺筑了试验路。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

1、沥青面层

第一阶段：2005年以前(—2005)

第二阶段：2005年至2010年(2005—2010)

第三阶段：2010年至今(2010—)

2、沥青路面基层

3、混凝土路面

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

① 沥青面层（2005年以前） 典型代表结构：“4+5+6”

4cm 细粒式沥青混凝土上面层

5cm 中粒式沥青混凝土中面层

6cm 粗粒式沥青混凝土下面层

	半刚性基层	半刚性底基层
层数	1	1
	1	2
	2	1
常用材料	粒料类基层	稳定类基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

① 沥青面层（2005年以前） 典型代表结构：“4+5+6”

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
滨大高速（山东）	4 cmSMA-13 +5 cmAC-20 +6 cmAC-25	32 cm二灰碎石 + 20 cm石灰土	68 cm
广惠高速（广东）	4 cmAK-16A +5 cmAC-20 +6 cmAC-25	40 cm5%水泥稳定碎石+20 cm3%水泥稳定碎石	75 cm
长春至四平	4 cm细粒式AC +5 cm中粒式AC +6 cm粗粒式AC	25 cm水泥砂砾 +30 cm砂砾	70 cm
长邯高速（山西）	4 cmAC-16Ⅰ +5 cmAC-20Ⅰ +6 cmAC-20Ⅰ	15 cm水泥稳定碎石 +20 cm水泥稳定碎石	50 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

① 沥青面层（2005年以前）

京津塘高速

主线行车道路面结构

4cm沥青混凝土
6cm沥青混凝土
12cm沥青碎石混合料
35cm二灰稳定碎石
20cm级配碎石

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

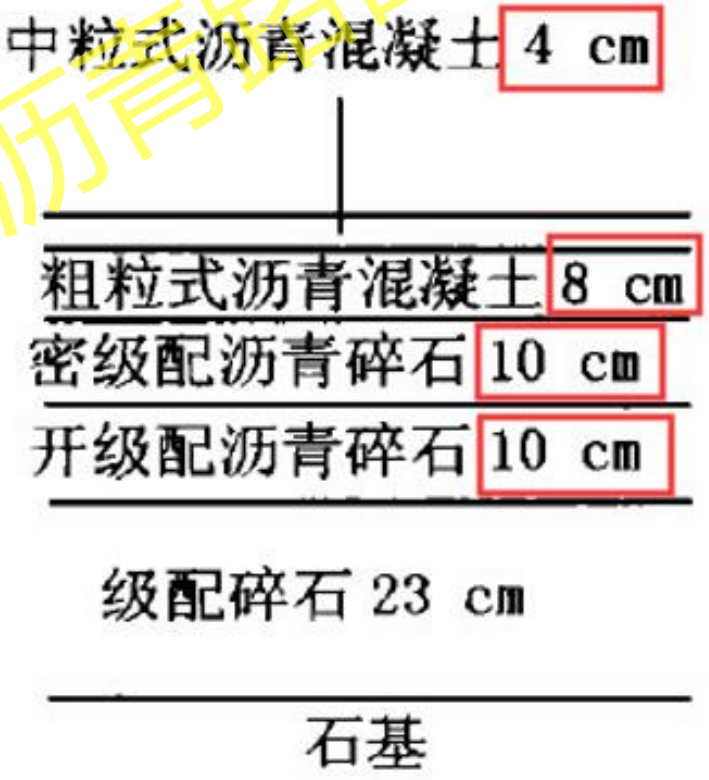
3.2 国内沥青路面典型结构

① 沥青面层（2005年以前）

广深高速

主线行车道

路面结构



高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005—2010） 典型代表结构：“4+6+8”

4cm	细粒式沥青混凝土上面层
6cm	中粒式沥青混凝土中面层
8cm	粗粒式沥青混凝土下面层

	半刚性基层	半刚性底基层
层数	2	1
	2	2
常用材料	粒料类基层	稳定类基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005—2010） 典型代表结构：“4+6+8”

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
广佛高速（广东）	4 cm SMA-13 + 6 cm GAC-20 + 8 cm GAC-2	40 cm5%水泥稳定级配碎石+20 cm4%水泥稳定级配碎石+20 cm级配碎石	98 cm
济广高速（山东）	4 cm改性沥青混凝土 +6 cm改性沥青混凝土 +8 cm粗粒式沥青混凝土	19 cm水稳碎石 +20 cm低剂量水稳碎石	57 cm
青莱高速（山东）	4 cmSMA-13 +6 cmAC-20I +8 cmAC-25I	36 cm水稳碎石 +20 cm水稳砂砾	74 cm
同三高速（山东）	4 cmSMA-13 +6 cmAC-20	32 cm水稳碎石 +20 cm石灰土	70 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005— ） 陕西省典型代表结构①：

“4+6+12”

4cm 细粒式沥青混凝土上面层

6cm 中粒式沥青混凝土中面层

12cm 粗粒式沥青混凝土下面层

	半刚性基层	半刚性底基层
层数	2	1
	2	2
常用材料	粒料类基层	稳定类基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005—） **陕西省**典型代表结构①：“**4+6+12**”

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
咸阳至旬邑	4 cm改性AC-13 ＋6 cm改性AC-20 ＋12 cmATB-30	36 cm水泥稳定碎石 ＋18 cm水泥稳定碎石或二灰碎石	78 cm
西商高速	4 cmSBS改性SMA-13 +6 cmSBS改性AC-20 +12 cmATB-25	36/38 cm水泥稳定碎石基层 +20 cm水泥稳定碎石底基层	78/80 cm
西安至铜川第二通道	4 cmSBS改性AC-13 +6 cmSBS改性AC-20 +12 cmATB-30	40 cm水泥稳定碎石基层 +20 cm水泥稳定碎石底基层	82 cm
青兰高速陕西段	4 cmAC-13SBS沥青混凝土+6 cmAC-20SBS沥青混凝土+12 cmATB-30沥青稳定碎石	36 cm5%水泥稳定碎石 +18 cm4%水泥稳定碎石	76 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005—） **陕西省**典型代表结构②：“5+7+10”

5cm 细粒式沥青混凝土上面层

7cm 中粒式沥青混凝土中面层

10cm 粗粒式沥青混凝土下面层

	半刚性基层	半刚性底基层
层数	2	1
	2	2
常用材料	粒料类基层	稳定类基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

② 沥青面层（2005—） 陕西省典型代表结构②：“5+7+10”

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
柞小高速	5 cmAC-16SBS改性沥青混凝土+7 cmAC-20SBS改性沥青混凝土+10 cmATB-30沥青稳定碎石	36 cm5%水泥稳定碎石+20 cm4%水泥稳定碎石	78 cm
小康高速	5 cmAC-16SBS改性沥青混凝土+7 cmAC-20SBS改性沥青混凝土+10 cmATB-30沥青稳定碎石	36 cm5%水泥稳定碎石+20 cm4%水泥稳定碎石	78 cm
凤永高速	5 cmSMA-16沥青混凝土+7 cmAC-25改性沥青混凝土+10 cmATB-30粗粒式沥青碎石	32 cm二灰稳定碎石+20 cm水泥稳定砂砾	74 cm
永寿至咸阳	5 cmSMA-16沥青混凝土+7 cmAC-25改性沥青混凝土+10 cmATB-30粗粒式沥青碎石	32 cm二灰稳定碎石+20 cm水泥稳定砂砾	74 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

③ 沥青面层（近年来）

近年来，部分省市采用较厚的沥青层结构。

典型代表结构：

“4+6+8+8” “4+6+8+10” “4+6+8+12”

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

③ 沥青面层（近年来） 典型代表结构：“4+6+8+8”

4cm 细粒式沥青混凝土
6cm 中粒式沥青混凝土
8cm 粗粒式沥青混凝土
8cm 粗粒式沥青混凝土

	半刚性基层	半刚性底基层
层数	2	1
	2	2
常用材料	粒料类基层	稳定类基层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

③ 沥青面层（近年来） 代表道路：“4+6+8+8”

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
泉三高速	4 cm改性SMA-13+6 cmAC-20C中粒式改性沥青混凝土+16 cmATB-25沥青稳定碎石	18 cm级配碎石 +32 cm3%水泥稳定碎石	76 cm
浦南高速	4 cmAC-13SBS改性沥青混凝土 +6 cmAC-20C中粒式改性沥青混凝土+16 cmATB-25沥青稳定碎石	15 cm级配碎石 +32 cm水泥稳定碎石	73 cm
龙长高速	4 cmAC-13SBS改性沥青混凝土 +6 cmAC-20C中粒式改性沥青混凝土+16 cmATB-25沥青稳定碎石	16 cm级配碎石 +30 cm水泥稳定碎石	72 cm
武夷山至邵武	4 cmAC-13C沥青混凝土抗滑层+6 cm AC-20C中粒式沥青混凝土+16 cm ATB-25	32 cm二灰稳定碎石 +20 cm水泥稳定砂砾	78 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

③ 沥青面层（近年来） 代表道路：“4+6+8+10”。

高速名称	面层结构	基层结构	总厚
荣乌高速新河至辛庄子段	4 cmSMA-13+6 cm中粒式改性沥青混凝土+8 cm下面层+12 cm LSPM-30	18m水稳碎石上基层+18 cm水稳碎石下基层+20 cm石灰粉煤灰掺碎石底基层	86 cm
菏泽至关庄高速	4 cmSMA-13+6 cmAC-20+8 cmAC-25 +12 cmLSM-30上基层	20 cm水稳碎石下基层+18 cm二灰土底基层	68 cm
菏泽至关庄高速至鲁豫界	4 cmSMA-13+6 cmAC-20I+8 cmAC-25I+12 cmLSAM-30	17 cm二灰碎石+18 cm二灰土	65 cm
济青南线	4 cmSMA-13+6 cmAC-20I+8 cmAC-25I+ 10 cmLSPM-30	1 cm改性沥青表处+36 cm5%水稳碎石+20 cm4%水稳砂砾	85 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

③ 沥青面层（近年来） 代表道路：“4+6+8+12”。

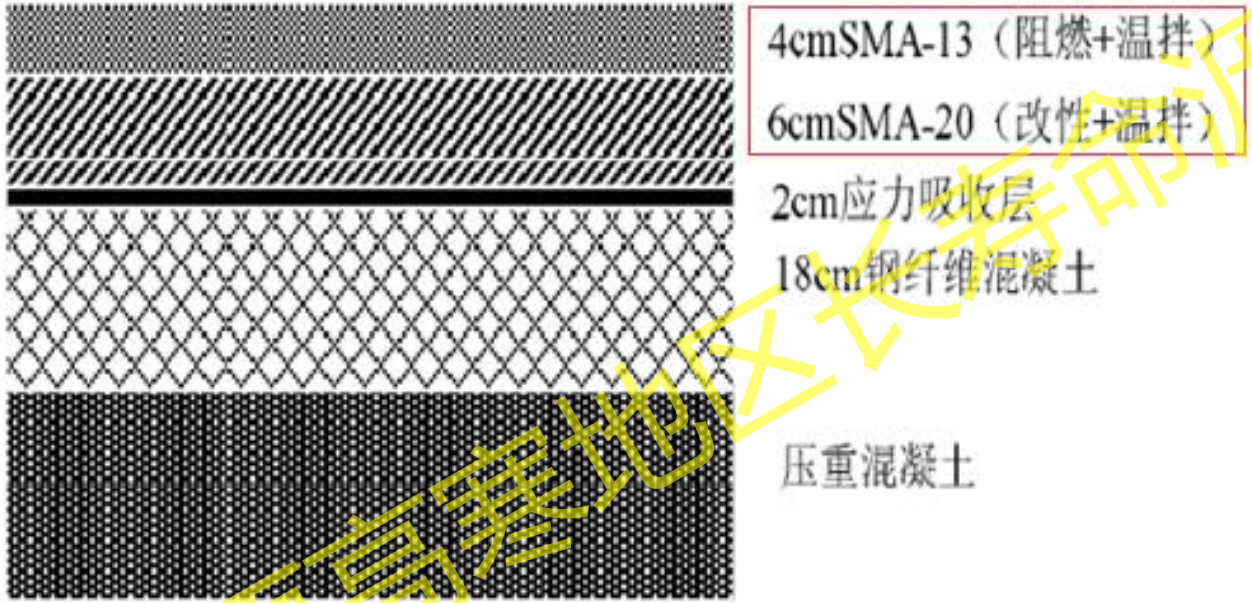
高速名称	面层结构	基层结构	总厚
清河镇到都家街	4 cm SBS改性SMA-13+ 6 cm AC-20 + 8 cm AC-25+ 12 cm MAC改性LSM-30 + 下封层	18m水稳碎石上基层+20 cm石灰粉煤灰掺碎石底基层	68 cm
滨州沾化县—德州	4 cm SMA-13+6 cm AC-20I+8 cm AC-25I +12 cm LSM-30	18 cm水稳碎石下基层 +18 cm二灰土底基层	66 cm
青临高速（青州—临沭）	4 cm改性SMA-13 + 6 cm 改性AC-20 + 8 cm AC-25 + 12 cm LSPM-30+热沥青加预拌碎石下封层	16 cm水稳碎石+16 cm水稳碎石+18 cm二灰碎石 +15 cm二灰土	95 cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

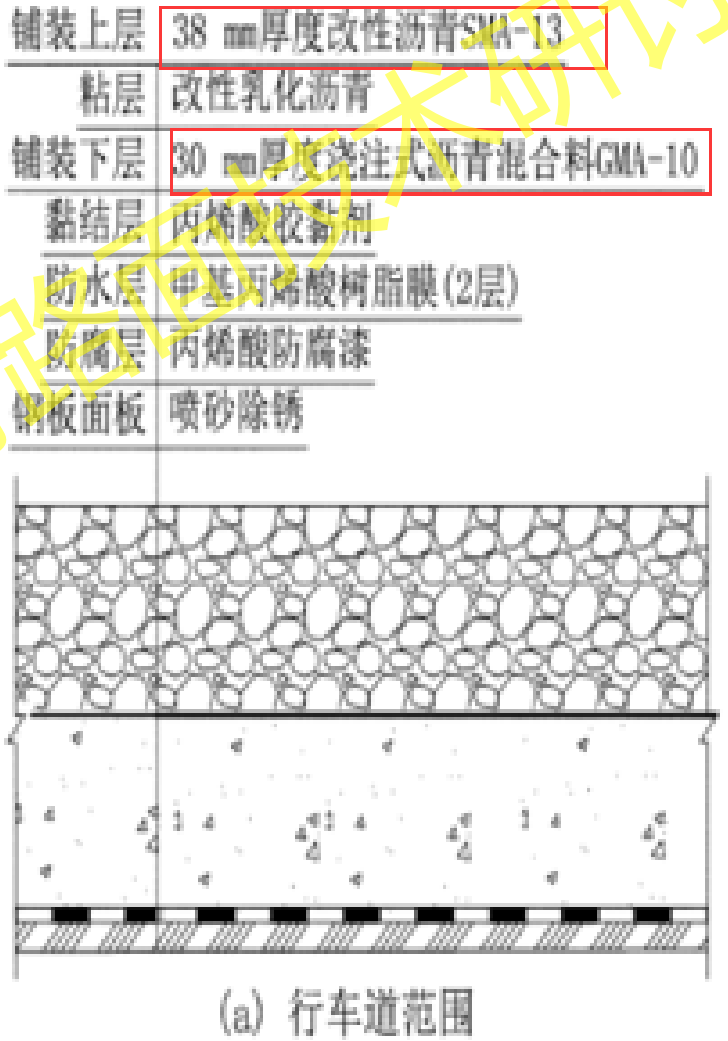
3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

④ 港珠澳大桥路面结构



隧道路面结构



桥面铺装方案

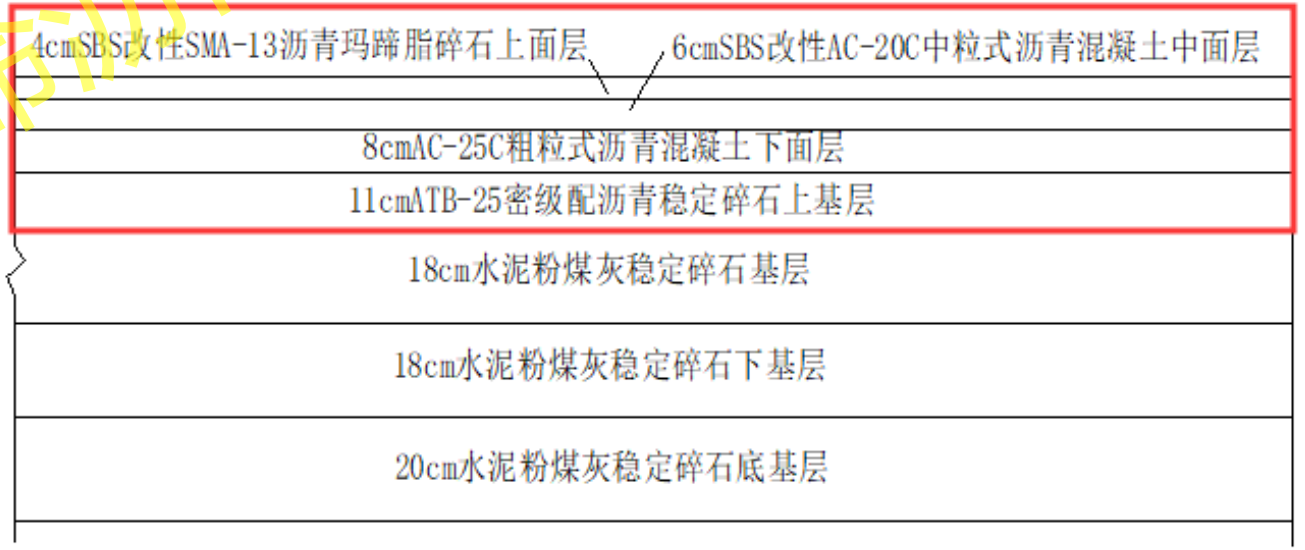
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑤ 高速公路改扩建路面关键技术研究

- 2013年6月，河北省交通运输厅批准立项
- 课题编号： 2013-2-7
- 完成单位：
  - 河北省高速公路石安改扩建筹建处
  - 长 安 大 学
  - 河北广通路桥集团有限公司
- 时间：2012年9月至2015年9月



路面结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑥ 新疆喀-叶-墨高速公路改扩建项目

- 2017年6月，新疆维吾尔自治区交通厅建设科技项目
- 高速公路建设旧路面桥面利用与寿命预估方法研究
- 完成单位：
  - 新疆维吾尔自治区交通建设管理局
  - 长安大学

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑥ 新疆喀-叶-墨高速公路改扩建项目

依托工程：G3012喀-叶-墨高速公路喀什地区和和田地区境内。

项目全长434.32km，其中改建利用段136.232km（31.4%），计划于2017年6月开始建设，2020年6月全面建成，建设总工期3年。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑥ 新疆喀-叶-墨高速公路改扩建项目

上面层	4 cmSBS改性沥青 (AC-16)
中面层	6 cm中粒式沥青混凝土(AC-20)
下面层	8 cm 粗粒式沥青混凝土(AC-25I)
上基层	14 cm厂拌热再生基层
基层	20 cm水稳碎石
底基层	20 cm就底冷再生水泥稳定砂砾
土基	

路面结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑦ 新疆吐乌大乌奎高速公路改扩建项目

项目名称：新疆高速公路改扩建工程规范体系研究及编制

承担单位：

新疆维吾尔自治区交通建设管理局

长安大学

交通运输部科学研究院

交通运输部公路科学研究院

新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑦ 新疆吐乌大乌奎高速公路改扩建项目

方案		直接加铺补强	挖除加铺 补强层设计	挖除后再生利用	新建路面或两侧 拼宽
面层	上面层	5cm中粒式SBS改性沥青混凝土（AC-16C）			
	中面层	6cm中粒式SBS改性沥青混凝土（AC-20C）			
	下面层	8cm粗粒式沥青混凝土（AC-25C）			
封层		碎石下封层			
基层		21cm5.5%水泥稳定砂砾	36cm5.5%水泥稳定砂砾	36cm5.5% 水泥稳定砂砾	36cm5.5% 水泥稳定砂砾
底基层				就地水泥冷再生	18cm4.5% 水泥稳定砂砾
路面结构层底面以下		既有路面面层	既有路面基层	既有路面底基层	土基模量 75MPa

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑧ 山东改扩建项目

- 2013年5月，交通运输部建设科技项目（2013 318 J08 220）
- 高速公路扩容改造技术标准研究
- 完成单位：
  - 山东省交通运输厅公路局
  - 山东省交通规划设计院
  - 长安大学

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑧ 山东改扩建项目

上面层	4 cmSBS改性沥青抗滑表层(AK-16B)
中面层	6 cm中粒式沥青混凝土(AC-20I)
下面层	8 cm 粗粒式沥青混凝土(AC-25II)
上基层	12 cm大粒径沥青碎石
基层	36 cm水泥稳定碎石
底基层	18 cm水泥稳定碎石
土基	

路面结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.2 国内沥青路面典型结构

⑨ 内蒙古包茂高速

- 2019年4月，内蒙古兴泰建设集团科技项目（X-SZ-2071209-02-15-0001）
- 内蒙古重载大温差乳化沥青冷再生路面性能提升技术研究
- 完成单位：
  - 内蒙古兴泰建设集团
  - 长安大学

4 cm AC-13 SBS改性
8 cm ATB-25 SBS改性
10 cm 乳化沥青再生
20 cm 水稳碎石
原路面基层

路面结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.3 国内水泥路面典型结构

① 准兴高速

项目名称：准兴重载高速公路水泥混凝土路面结构与施工关键技术研究

任务来源：内蒙古自治区交通科技项目（NJ-2013-14）

完成单位：长 安 大 学
内蒙古准兴重载高速公路有限责任公司
中交第三公路工程局有限公司

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

一 长寿命路面研究与实践

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.3 国内水泥路面典型结构

项目依托内蒙古准格尔至兴和（准兴）重载高速公路，是我国近10年来修筑的唯一重载高速公路水泥混凝土路面，全长265km。

2017年获中国公路学会一等奖

中国公路学会

科学技术奖证书

为表彰中国公路学会科学技术奖获得者，特颁发此证书

项目名称：准兴重载高速公路水泥混凝土路面结构与施工关键技术研究

奖励等级：一等

获 奖 者：长安大学

2017年1月

证书号：A16-1-008-001

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

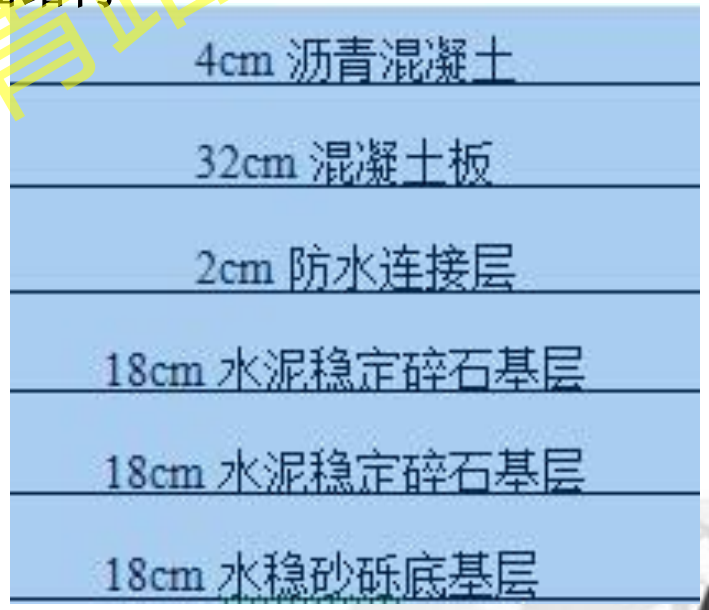
3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.3 国内水泥路面典型结构

① 准兴高速

（1）普通混凝土路面结构

轻载方向



重载方向

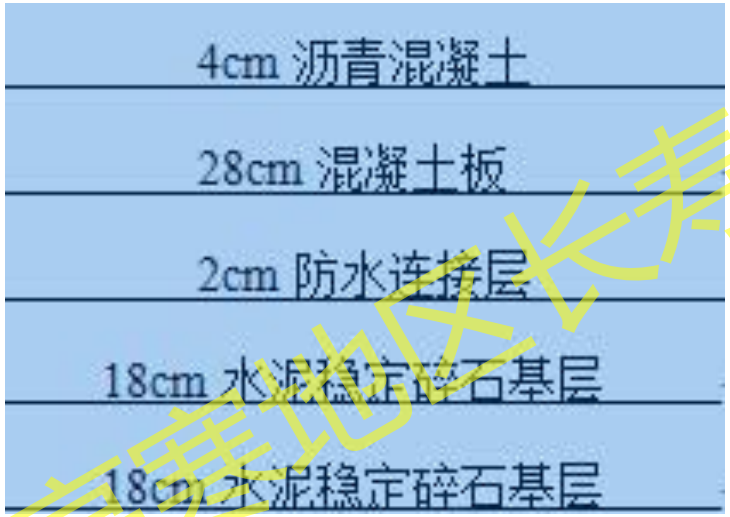
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

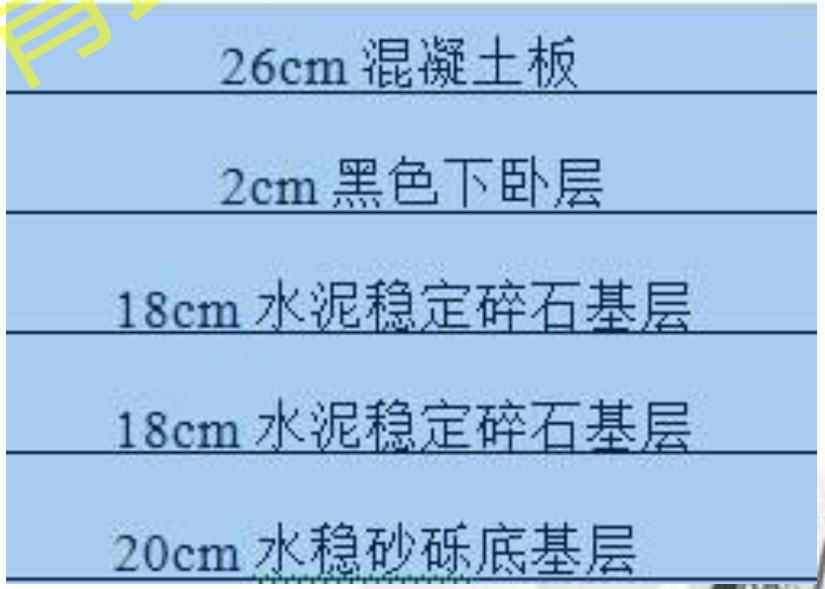
3.3 国内水泥路面典型结构

① 淮兴高速

（2）复合式混凝土路面结构



（3）钢纤维混凝土路面结构



高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.3 国内水泥路面典型结构

② 三柳高速

30 cm 高抗折水泥混凝土面层
3 cm 橡胶沥青混凝土
透层
20 cm 5% 水泥稳定碎石基层
18 cm 4% 水泥稳定碎石底基层
20 cm 级配碎石垫层

设计累计当量轴次为4543.3（万次）

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

美国长寿命沥青路面设计实例

道路名称	设计年限	交通量	路面结构
I-5	40	—	磨耗层5cmOGFC，最大公称粒径19mm，沥青PG70-28 25cmSuperpave19，沥青PG70-22 碎石化混凝土
I—35	—	2001年平均日交通量12，400辆，卡车占36%；预计2021年平均日交通量23，100辆	磨耗层7.5cmSMA19，沥青PG76-22 联结层7.5cm，最大公称粒径19mm，沥青PG76-22 20cm最大公称粒径19mm，沥青PG70-22 抗疲劳层5cm，Superpave12.5，沥青PG64-22 20cm石灰稳定土
I—695	30	预计2020年平均日交通辆236，000辆；ESALs为76，000，000	磨耗层5cmSMA 3.75cm，最大公称粒径25mm，沥青PG70-22 30cm，最大公称粒径37.5mm沥青稳定碎石 15cm级配碎石
I—710	30	ESALs为200，000，000	磨耗层2.5cm，OGFC，改性沥青 7.5cm排水沥青混凝土，油石比4.7% 15cm沥青混凝土，沥青PG64-16，油石比4.7% 抗疲劳层7.5cm沥青混凝土，油石比5.2%

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4长寿命路面结构实例

20年设计交通量，SAL×10⁶		3		10		20		30
总沥青层厚度		290		345		370		405
SMA厚度（mm）		—		—		35		65
Supempave 厚度（mm）		50		50		—		—
联结层厚度（mm）		115	90	140	115	140	125	150
HMA基层厚度（mm）		125	150	155	180	165	180	190
集料基层厚度（mm）		—		—		330		430
集料底基层厚度（mm）		380		250		—		—
非冰冻敏感路基土厚（mm）		345		315		220		200
维修1	年	20		15		15		15
	铣刨一罩面厚度	50		50~100		65~115		65~115
维修2	年	32		30		30		30
	铣刨一罩面厚度	50		50		50		50~75

密歇根州永久性路面设计推荐结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

俄亥俄州Wayne US 30道路永久路面结构设计参数

材料	模量	泊松比	厚度
SMA PG76-22M（设计空隙率3.5%）	E=3450MPa	μ=0.35	4 cm
Superpave 19 PG76~22M（设计空隙率4%）	E=3450MPa	μ=0.35	4.5 cm
联结层PG64-22（302，设计空隙率4.5%）	E=3450MPa	μ=0.35	设计层
抗疲劳层 PG64-22（302，设计空隙率3%）	E=3450MPa	μ=0.35	10 cm
集料基层	E=140MPa	μ=0.4	15 cm
路基	CBR=4,5,6	μ=0.45	

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

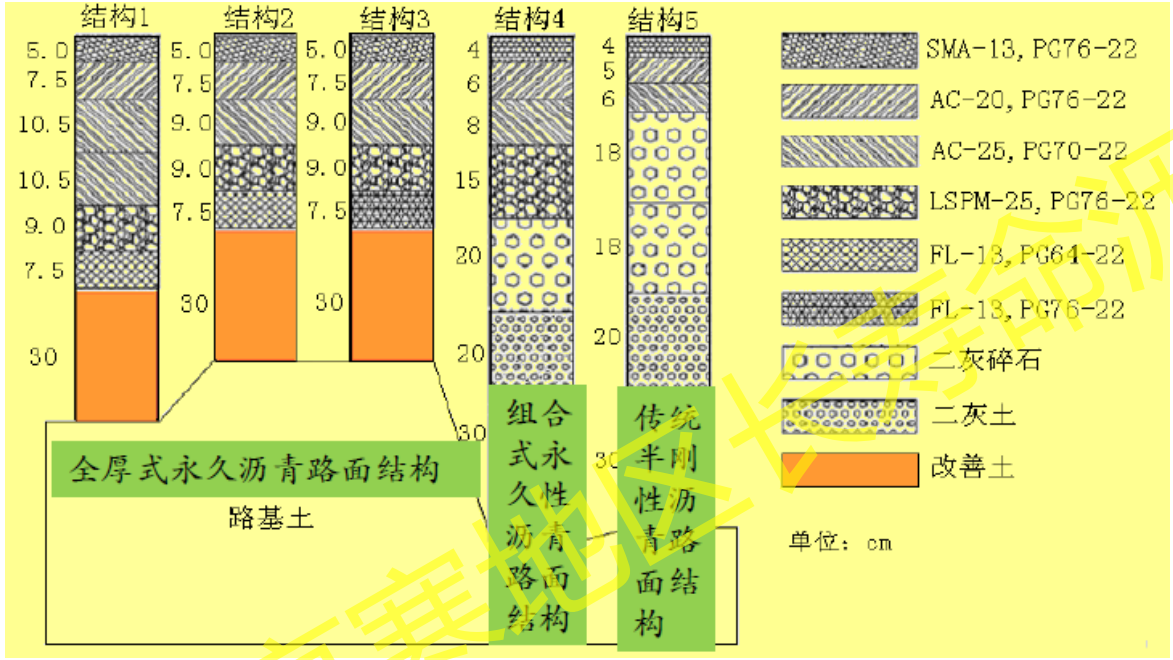
3.4 长寿命路面结构实例

山东省永久性路面试验路（G18滨州市境内）

高原高寒地区长寿命路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例



山东省永久性路面试验路

试验路5种组合，总长5 公里，投资2600万元；

控制指标，

沥青层底拉应变S1为75με；S2、S3为125με，

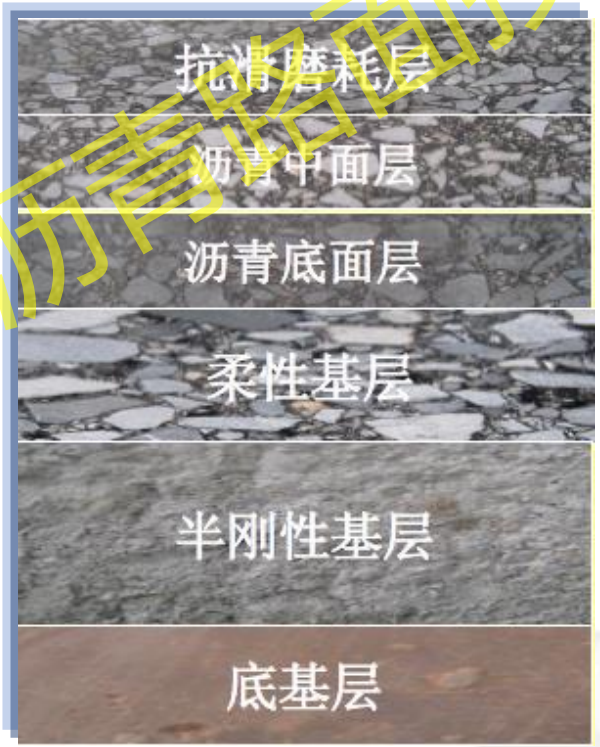
路基顶面压应变值为200με。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

4cm	SMA-13
6cm	SUP-20
8cm	SUP-25
12-15cm	LSPM-30
34-36cm	水稳碎石 或二灰碎石
20cm	石灰土或二灰土



山东省 永久路面 推荐结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

5种组合试验路

沿江高速公路长寿命路面试验路结构方案

D	E	C	B	A(常规结构)
沥青层45cm	沥青层10cm	沥青层25cm	沥青层25cm	沥青层18cm
SMA-13 4cm	SMA-13 4cm	SMA-13 4cm	SMA-13 4cm	SMA-13 4cm
CDAC-20 6cm	CDAC-20 6cm	CDAC-20 6cm	CDAC-20 6cm	CDAC-20 6cm
CDAC-25 8cm	CRCP 26cm	CDAC-25 8cm	CDAC-25 8cm	CDAC-25 8cm
ATB-25 18cm		ATB-25 7cm	ATB-25 7cm	CS基层 19cm
FDAC-13 9cm	CS基层 20cm	GRH过渡层 15cm	CS基层 15cm	CS基层19cm
GRH 16cm		CS基层 16cm	CS基层 16cm	
二灰土底基层 15cm	二灰土底基层 20cm	二灰土底基层 20cm	二灰土底基层 20cm	二灰土底基层 15cm
石灰处理土基 80cm	石灰处理土基 80cm	石灰处理土基 80cm	石灰处理土基 80cm	石灰处理土基 80cm

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

沪宁高速公路拓宽段工程试验段结构

科研单位	结构类型	结构方案		
江苏省交通科学研究院	全厚式沥青路面	面层	4cm细粒式HMA+8cm中粒式HMA	路面厚度:79 cm 沥青层厚:39 cm
		基层	27cm沥青稳定碎石	
		底基层	40cm石灰土	
		路基	土基	
	沥青碎石基层结构（下卧石灰土）	面层	4cm细粒式HMA+8cm中粒式HMA	路面厚度:79 cm 沥青层厚:37 cm
		基层	25cm沥青稳定碎石+20cm级配碎石	
		底基层	22cm石灰土	
		路基	土基	
	沥青碎石基层结构（下卧水稳碎石）	面层	4cm细粒式HMA+8cm中粒式HMA	路面厚度:79 cm 沥青层厚:28 cm
		基层	16cm沥青稳定碎石+20cm级配碎石	
		底基层	31cm水泥稳定碎石	
		路基	EPS路基	

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3. 我国长寿命路面研究和建设现状

3.4 长寿命路面结构实例

其他省市 典型长寿命路面结构

4cm 沥青混凝土抗滑表层
5cm 中粒式沥青混凝土中面层
如花沥青矿粉粘结层
24cm 碾压混凝土面层
8cm 碎石排水垫层

大梅沙隧道路面结构

2cm 热拌超薄沥青砂
4~6cm AC-13 上面层
6~8cm AC-20 中面层
8~10cm AC-25 下面层
8~12cm LSPM-25 柔性基层
15~20cm 6%水泥稳定碎石
土基

新机场高速公路长寿命路面结构

5cm 沥青清混凝土
24cm 粉煤灰碾压混凝土
基层

虎门大桥引道工程复合式路面结构

沥青混凝土 5cm（中粒式 AC，Ea=1200MPa）
碾压混凝土 22cm
水泥稳定碎石 16cm（水泥剂量 5%，Ea=1200MPa）
水泥稳定碎石 16cm（水泥剂量 3%~4%，模量 700~1100MPa）

厦门环岛高速公路的RCC+AC复合式路面结构

4cm，SBS 改性沥青，SAC16-1+（SBS 改性沥青防水粘结层）
8—14cm，AH-30，SAC25-1+（70 号沥青粘结层）
19cm，CBG-25 水泥稳定碎石+（水泥粉或净浆粘结）
19cm，CBG-25 水泥稳定碎石
19cm，LFS 石灰粉煤灰稳定土
19cm，LFS 石灰粉煤灰稳定土
0.8—1.5m 深土基

河北省沿海高速公路长寿命路面

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.交通运输部科技中长期发展规划

交通运输科技创新中长期发展纲要（2021-2035）

提出了实施道路基础**设施耐久延寿**与智慧维养创新工程。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4. 长寿命路面中长期发展规划

围绕道路基础设施绿色建造、耐久延寿、智慧维养、路车协同等方向开展基础研究和应用基础研究，通过新材料、新工艺、新结构等交叉融合，实现技术升级，规划如下：

到2025年，道路基础设施结构与材料设计理论、建造技术实现升级，路面使用寿命从15年延长至30年以上；

2030年，道路基础设施结构与材料设计理论、建造技术实现转型，实现大宗工业固废和道路材料的100%自循环利用；

2035年，形成比较成熟的适应未来交通工具和永久开放的智能道路基础设施技术体系等重大原创成果，实现路面使用寿命40年以上，建成我国首座使用寿命200年以上的超级桥梁。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4. 长寿命路面中长期发展规划

重点研究方向一长寿命基础设施：

面向道路基础设施材料长寿命与绿色可持续发展的需求，

重点支持新一代长寿命路面结构设计理论与方法、全寿命周期内道路设施的结构与材料一体化、**在役道路性能延寿**、道路基础设施服役性能跨尺度表达与融合等关键技术研发。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

尉许高速公路长寿命路面项目概况

河南尉许高速公路地理位置

本项目北起开封市尉氏县，向南经过鄢陵县、长葛市和许昌县，止于许平南高速孙刘赵互通式立交，路线全长64.284km。本路段路基宽度28米，双向六车道，设计行车速度120Km/h。

本项目在路面结构、车道划分、综合防排水等以及施工技术等方面，**全线应用科研成果，具有重大的社会效益和经济效益。**

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

尉许高速公路长寿命路面项目概况

- 2003年9月，河南省交通厅建设科技项目
- 2005年12月，会议鉴定，鉴定评价为**国际先进**
- **高速公路长寿命路面典型结构成套技术研究**
- 完成单位
  - 长　安　大　学
  - 河南瑞贝卡实业有限公司

获得河南省2006年科技进步一等奖

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

尉许高速公路长寿命路面项目概况

- 2000年6月，河南省交通厅建设科技项目
- 2002年12月，会议鉴定，鉴定评价为**国际先进**
- **河南省高等级公路路面长期性能研究**
- **获得河南省2002年科技进步二等奖**

№ 0004464

河南省科学技术进步奖

证　书

为表彰河南省科学技术进步奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：河南省高等级公路路面长期性能研究

奖励等级：贰等奖

获 奖 者：王选仓

河南省人民政府

2002 年 12 月 20 日

证书号：2002-J-064-R02/10

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

二 复合式长寿命路面成套技术研究

1. 尉许高速公路长寿命路面结构研究
2. 尉许高速路面板块划分与车道布置
3. 复合式路面温度场分布与温度应力分析
4. 尉许高速水泥混凝土板接缝钢筋布置与施工技术
5. 尉许高速公路水泥路面施工与层间技术研究
6. 尉许高速长寿命路面寿命预估
7. 尉许高速长寿命路面施工技术指南
8. 尉许高速公路长寿命路面技术经济分析

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1 尉许高速公路长寿命路面结构研究

1.1 尉许高速长寿命路面结构模型

1.2 尉许高速公路路基设计研究

1.3 尉许高速公路基层设计研究

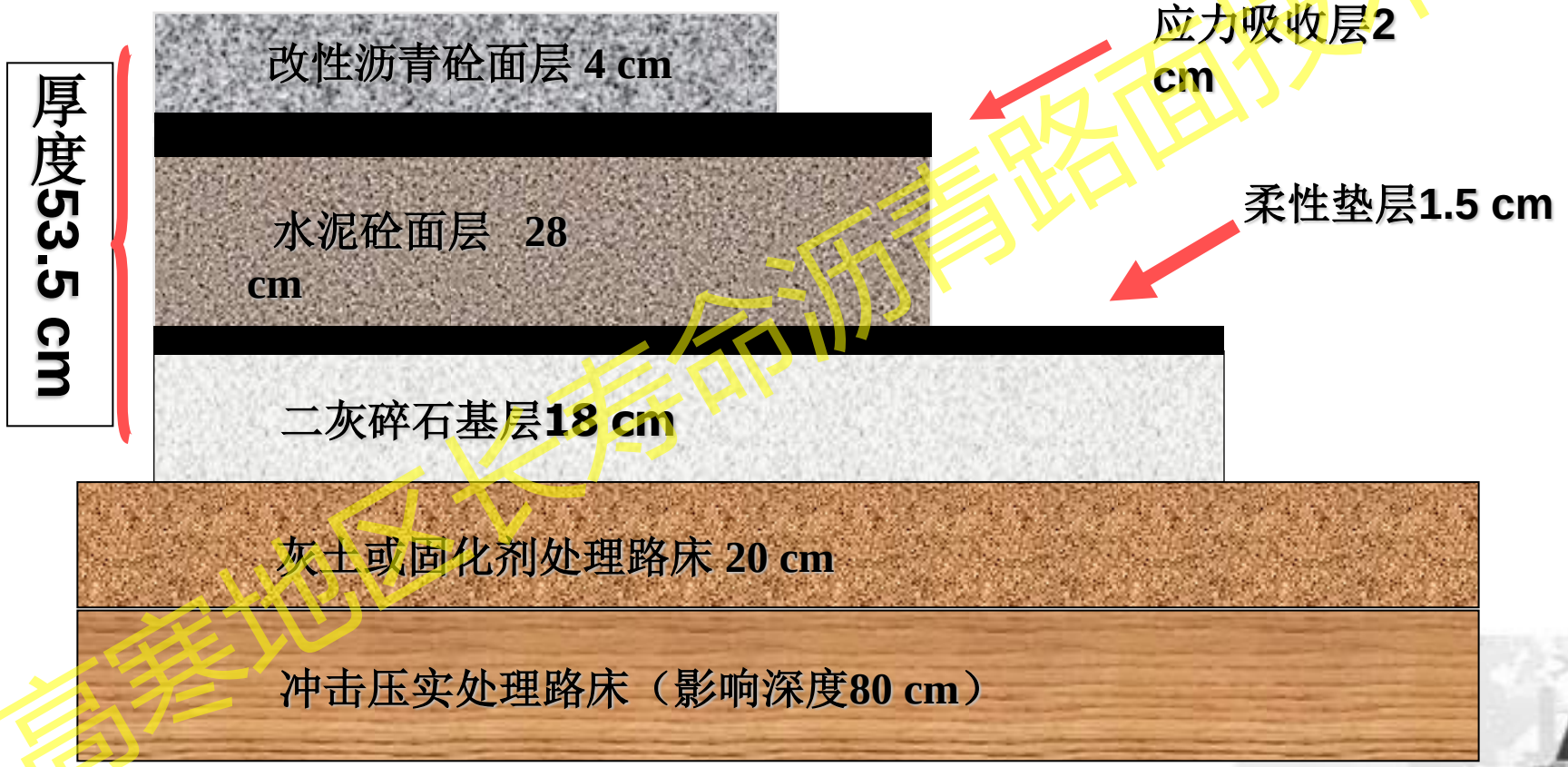
1.4 尉许高速公路面层设计研究

1.5 防水设计

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1 尉许高速公路长寿命路面结构研究

1.1 尉许高速长寿命路面结构模型



河南尉许高速公路长寿命路面结构

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.2 尉许高速公路路基设计研究

■冲击压实技术处理路基

采用冲压处理路基，对路基重复冲碾13遍，提前完成约4 cm的路基沉降，形成稳定、均匀连续的高速公路上路床。

■固化剂处理路床

采用冲击压实技术对路基进行冲压后，路基表面容易形成薄层覆土，从而容易形成软弱层。尉许高速公路针对这种情况，对路基顶面20 cm土层采用土壤固化剂稳定路基土。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.3 尉许高速公路基层设计

■基层中掺加硫酸钠

提出在二灰稳定碎石基层中掺加硫酸钠早强剂，提高二灰碎石的早期强度，减少裂缝，降低施工难度，保证基层质量。

■基层顶部设置防水联结层

课题组提出在水泥混凝土板底部设置1.5 cm的防水连接层。它与传统的下封层不同，具有良好的隔水效果,起到保护基层的作用，有效的防止了水泥混凝土路面常见的各种病害。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.4 尉许高速公路面层设计 水泥混凝土面层设计

① 采用高抗折水泥混凝土

设计弯拉强度达5.5MPa，其板底应力水平则降低3%～4%左右，而路面设计寿命可以提高30年左右 。

② 采用大厚度水泥混凝土面板

采用28 cm厚水泥混凝土面板，板底荷载应力降低10%左右，比常规26 cm厚混凝土板的极限寿命提高40年左右 。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.4 尉许高速公路面层设计 水泥混凝土面层设计

③ 采用3m×4m混凝土路面板

减少约20%的板底温度翘曲应力，10%左右的板底疲劳应力，大大延长了水泥混凝土面板的使用寿命；

④ 面层板全部缩缝设传力杆

使行车荷载在板块之间平稳过渡，可以防止重载车辆对路面的损坏，保证路面行驶舒适性。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.4 尉许高速公路面层设计

沥青混凝土面层设计

① 设置高品质的应力吸收层

所设置的应力吸收层具有突出的粘结力，保证了黑白路面之间的粘结。同时，其突出的高温抗剪切变形能力和低温延展性及柔韧性，起到了防水，防止反射裂缝等作用。

② 采用高性能改性沥青混凝土面层

采用改性沥青稳定密级配混凝土，可大大缓和行车荷载对水泥混凝土板的冲击振动，并有利于扩散荷载以及便于养护维修，增强路面耐久性起到关键作用。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.5 防水设计

尉许高速公路路面结构采取“以防为主，层层设防，防排结合”的排水原则，并根据地形，采用分散与集中的排水方式。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2 尉许路面板块划分与车道布置

2.1 车道划分

2.2 板块划分影响

2.3 荷载应力分析

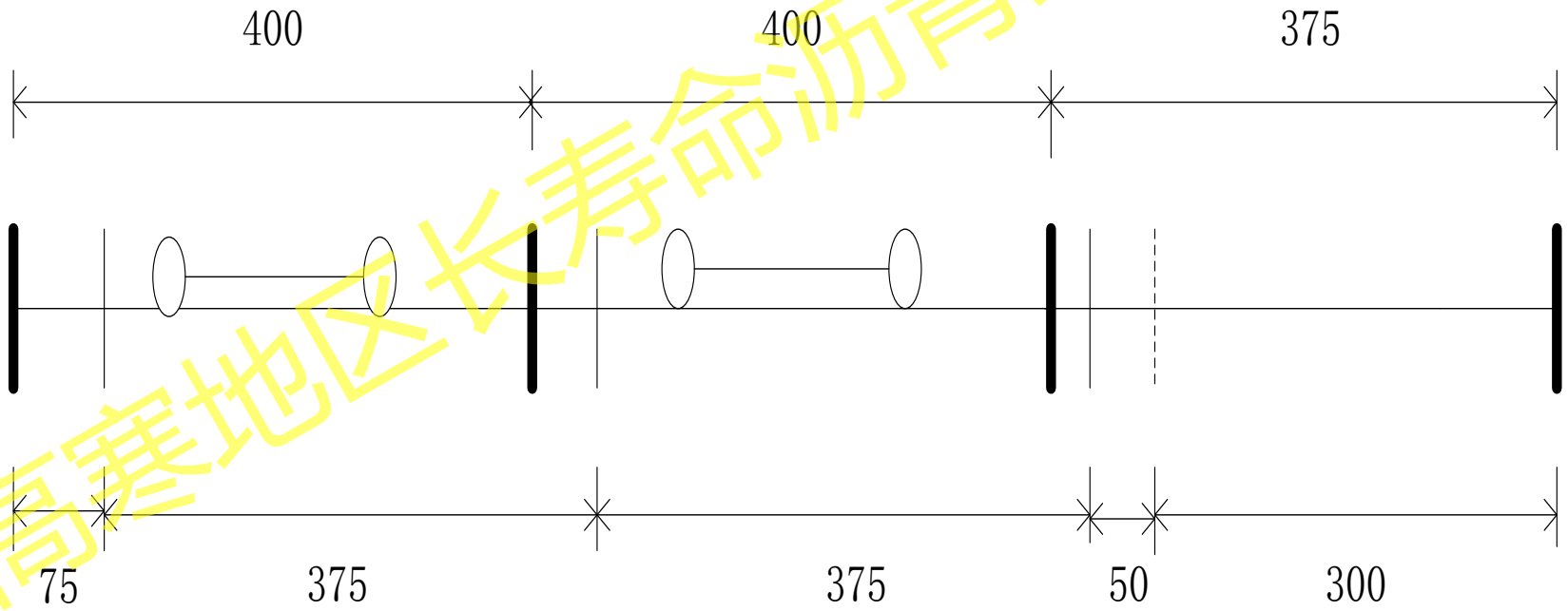
2.4 横向缩缝间距对缝隙的影响

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2 尉许路面板块划分与车道布置

2.1 车道划分

水泥混凝土板平面尺寸通常采用4.5m×6m，4m×5m，板宽一般大于3m；高速公路行车道宽度一般为 3.5m～3.75m 。

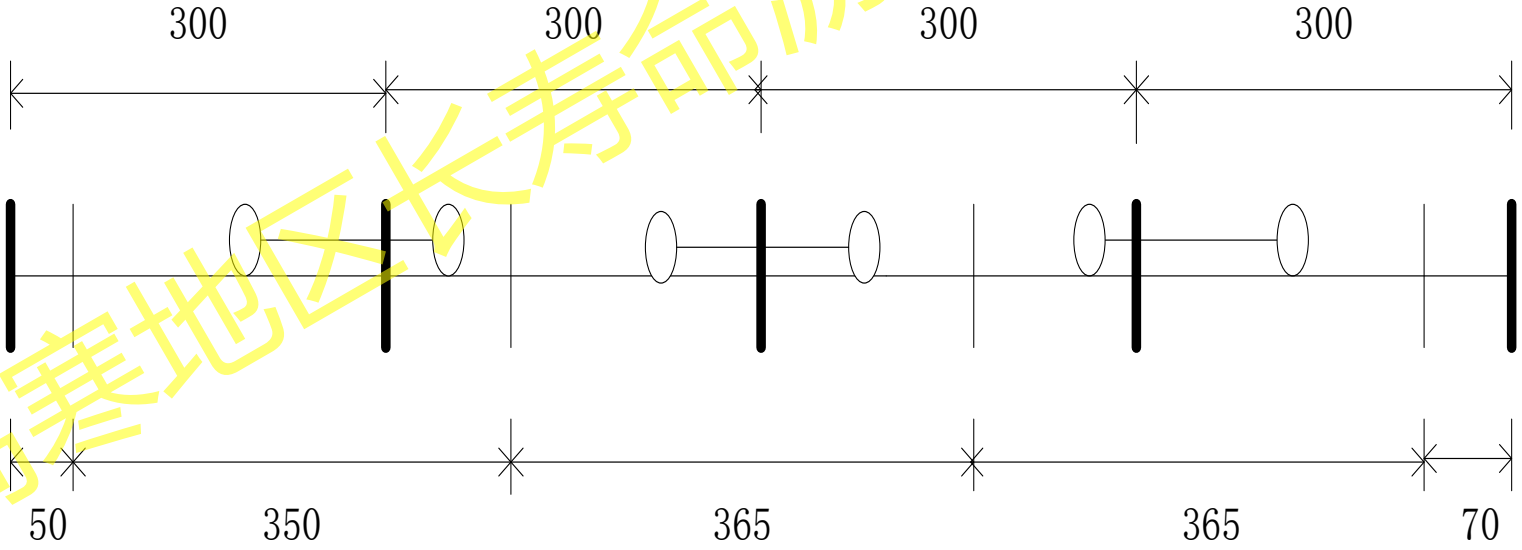


常规车道划分

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.1 车道划分

这样的划分方式经常导致车辆行驶在一块混凝土板上，或使一侧车轮沿缝行驶，致使混凝土板底经常处于高应力水平的荷载作用下，造成混凝土板因局部应力过大而破坏，实际使用寿命降低。



3m×4m板的车道划分

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2 尉许路面板块划分与车道布置

2.1 车道划分

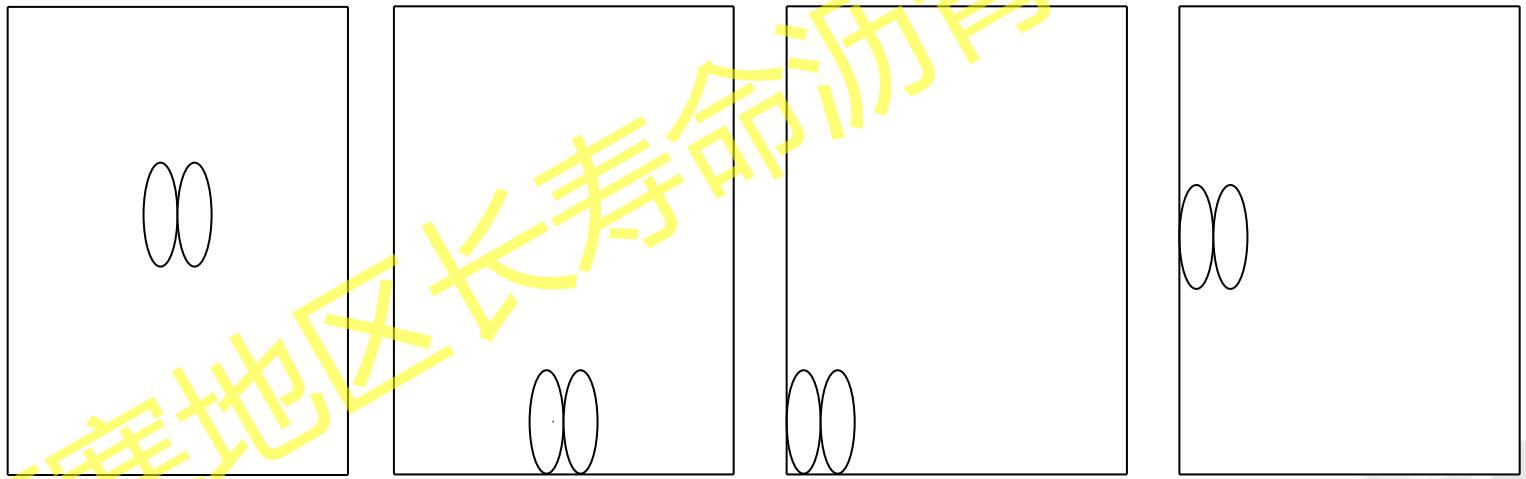
尉许高速公路的车道划分，较常规车道划分，车轮作用在纵缝边缘的频率有了很大的降低，这就意味着混凝土板块最不利荷载位置处的车轮作用大大降低。

因而，尉许高速公路所采取的车道划分结合小板块型式，降低了板底高应力出现的概率，在很大程度上避免了混凝土板的早期破坏。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.2 板块划分影响

对尉许高速公路，按标准轴载BZZ-100对荷载布置在不同位置时的混凝土板进行应力计算。



（1）板中　（2）板横缝边缘　（3）板角　（4）板纵缝边缘

荷载作用位置

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.2 板块划分影响

不同荷载位置的板底应力

荷载作用位置	板底拉应力（MPa）
板中	0.481
板角	0.655
板横缝边缘中部	0.741
板纵缝边缘中部	0.901

尉许高速公路板块划分方式荷载应力降低47%。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.2 板块划分的影响

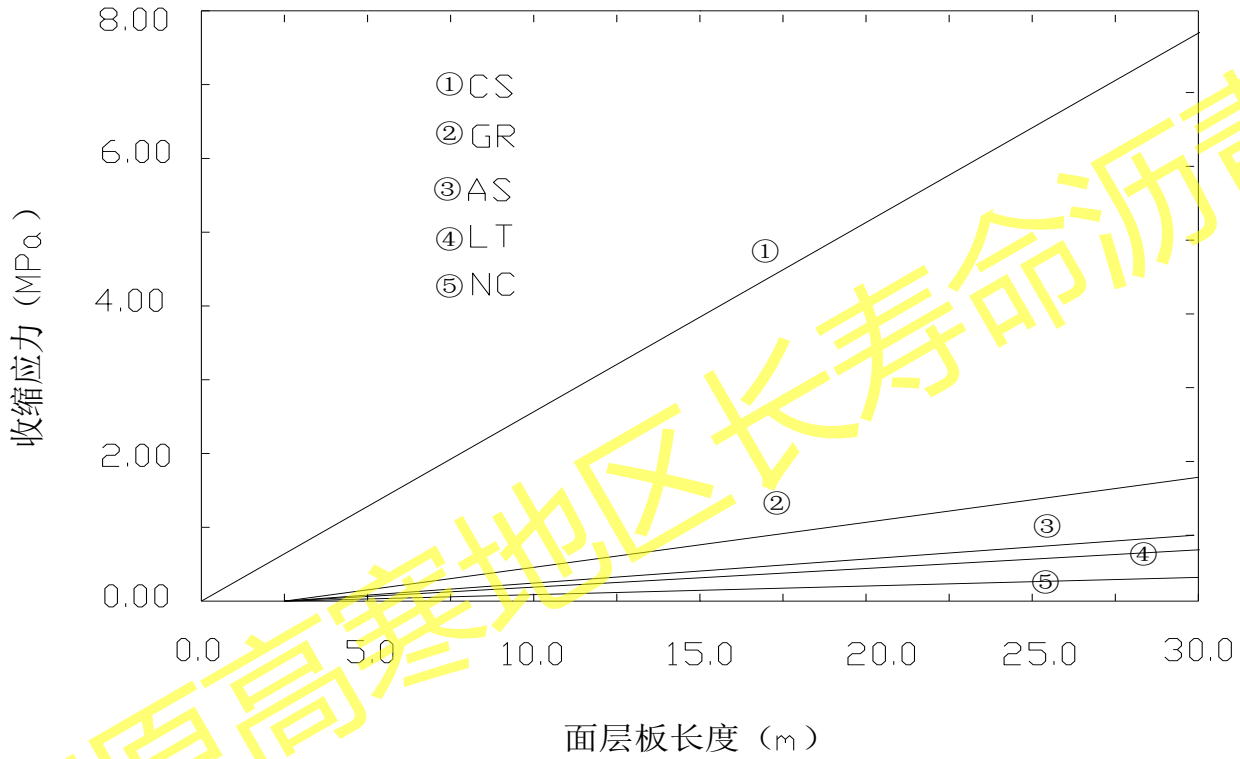
荷载作用在板中时即车辆骑缝而行的情况，板底拉应力最小。

而尉许高速在国内首次提出并采用的3m×4m小板块，结合“四改六”的行车道划分，能确保各个行车道上的车辆骑缝而行。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析

（1）板块尺寸对收缩应力的影响



面层板最大干燥收缩应力（28d）随基层类型和板长的变化

影响混凝土面板收缩应力的因素主要有基层与面层界面上的剪应力、混凝土板长度等。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析

（1）板块尺寸对收缩应力的影响

- 板越长，最大干燥收缩应力越大。
- 基层对面层板的约束作用越大，板长对最大收缩应力的影响越明显 。

尉许高速公路在基层上采用了1.5 cm的防水联接层，能大大减小基层对混凝土板的约束，在很大程度上降低了混凝土板的干燥收缩应力。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析

（2）不同板块的温度翘曲应力

板块	4m×5m	3m×4m	降低百分比
板中σ_x(Mpa)	2.714	1.644	39%
板中σ_y(Mpa)	1.906	0.96	50%
板长边缘中点σx(Mpa)	2.428	1.499	38%
板短边缘中点σ_y(Mpa)	1.499	0.714	52%

板长（m）	4	5	6
σ_x（MPa）	1.499	2.428	3.287

4m板长的温度翘曲应力要比5m板长小38%左右；

4m板长的温度翘曲应力要比6m板长小54%左右。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析 （2）不同板块的温度翘曲应力

板厚为28 cm时板块温度应力对比表

AC层厚度（m）	温度应力（MPa）	板块尺寸			减小量（%）	减小量（%）
		4.5m×6m	4m×5m	3m×4m		
$h_a=0$	温度翘曲应力	2.014	1.926	1.652	18	14
	温度疲劳应力	0.980	0.911	0.703	28	23
$h_a=0.06$	温度翘曲应力	1.209	1.155	0.992	18	14
	温度疲劳应力	0.388	0.365	0.255	34	30

通过以上计算分析可知，尉许高速在国内第一次提出的3x4m板块水泥混凝土路面比常规板块水泥混凝土路面的温度应力明显减小。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析

（3）荷载应力分析

板厚对荷载应力的影响

PCC板厚度（m）	荷载应力（MPa）	减小量（MPa）	
0.26	0.999	0.051	注：板块尺寸为3m×4m
0.27	0.948	0.047	
0.28	0.901	0.043	
0.29	0.858		

可见，随着PCC板厚度的增加，荷载应力逐渐减小；

板厚hc＝28 cm时临界荷位处产生的荷载应力比hc＝26 cm时小10％左右。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析 （3）荷载应力分析

尉许高速公路在河南省第一次采用28 cm超厚的水泥混凝土板厚设计，有效减小了荷载应力，从而从根本上减小了车辆荷载对路面面层的破坏。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析

（3）荷载应力分析

AC层厚度对板底弯拉应力的影响

AC层厚度（m）	板底最大弯拉应力（MPa）	减小量（%）	
0	0.901	3%	注： 板块尺寸为 3m×4m hc为0.28m
0.02	0.874	3%	
0.04	0.846	3%	
0.06	0.819	3%	
0.08	0.791		

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 荷载应力分析 （3）荷载应力分析

AC层厚度对层间剪应力的影响

层间剪应力随着AC层厚度的增加而逐渐减小。不过，当AC面层厚度达到6 cm后，继续增大层厚对降低层间剪应力的效果变得不明显 。

AC层和PCC板厚度对重载的影响

尉许高速公路采用的28 cmPCC板厚和6 cmAC层厚度设计，**它的一次性破坏最小荷载为849.4KN**，这样的路面结构大大减小重载对高速公路面层的破坏，对延长路面使用寿命起到关键作用。

高原高寒地区大寿命沥青路面技术研讨会

2.4 横向缩缝间距对板缝宽度的影响

缩缝缝隙宽度及其日变化量的增大，使填缝料很易失效，路表水易于渗入而浸湿基层，坚硬材料易于贯入而引起接缝碎裂或拱起。

缩缝间距越小，缩缝缝隙宽度及其日变化量越小，传荷能力就越大，板的受力状况越好。

尉许高速公路采用的4m板长，可以有效避免接缝病害的发生，大大提高接缝的传荷能力。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3 复合式路面温度应力分析

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

3.2 有沥青层的PCC板温度应力分析

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

PCC板温度梯度变化规律

- 对于6种不同的公路自然区划，温度梯度的年最大值一般出现在5～7月，年最小值一般出现在11～1月，与气温的年变化基本是一致的。
- 温度梯度在一昼夜内经历了由负到正、再到负的循环变化过程。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3 复合式路面温度应力分析

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

沥青层厚度对混凝土板最大温度梯度的影响

沥青层的存在使得复合式路面混凝土板的最大温度梯度值小于相同厚度的普通水泥混凝土路面板。对PCC+AC复合式路面结构的温度梯度进行大量计算，结果表明：

1. PCC板与AC层材料热物理性质有差异，整个结构的温度分布曲线在PCC板与AC层接触界面处出现不平滑现象，但这种不平滑现象会随着AC层厚度的增加而改善。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3 复合式路面温度应力分析

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

2. 普通水泥混凝土路面的日最大温度梯度出现时刻为13：00～14：00；而对于复合式路面，当AC层厚度分别为4 cm、8 cm、12 cm时，PCC板的最大温度梯度及板顶最高温度分别是15点、16点、17点。即AC层每增厚4 cm时，PCC板的最大温度梯度及板顶的最高温度发生时刻要滞后1小时。
3. 当ha<2 cm或ha>4 cm时，最大温度梯度随沥青层厚度的增加而减小；
4. 当2 cm < ha<4 cm时，最大温度梯度随沥青层厚度的增加而增大。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

5. 当AC层厚度小于4 cm时，PCC＋AC结构中PCC板顶的最高温度大于PCC路面板顶的最高温度；
6. AC层大于8 cm时，PCC＋AC路面结构中PCC板顶的最高温度与PCC路面板顶的最高温度相差很小。
7. 当AC层厚分别为4 cm、8 cm、12 cm时，PCC＋AC结构中PCC板的最大温度梯度约为普通水泥混凝土路面最大温度梯度的70％、50％、35％。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3 复合式路面温度应力分析

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

《公路水泥混凝土路面设计规范》PCC板最大温度梯度建议值

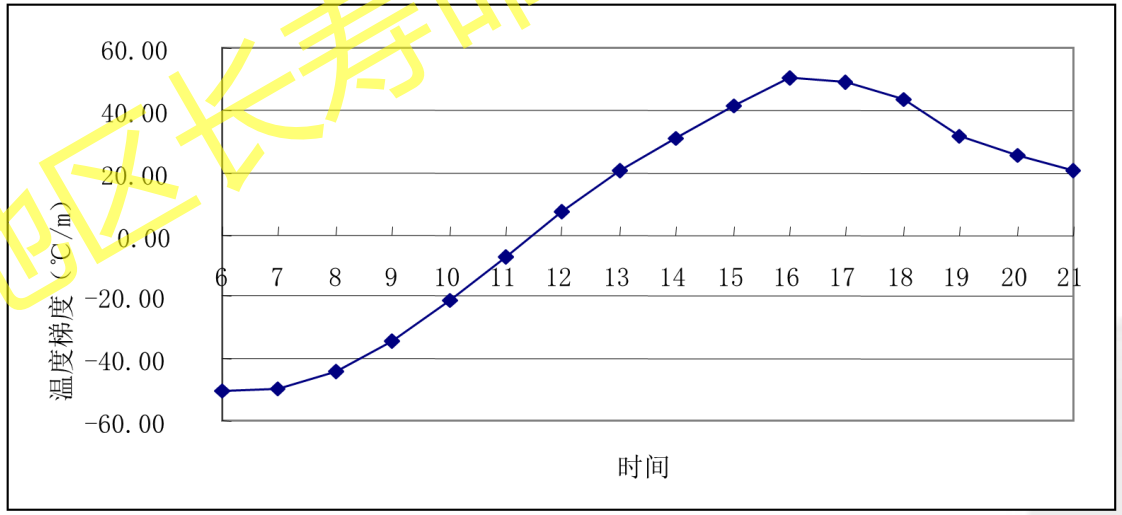
自然区划 / AC层厚度（cm）	Ⅱ、Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ、Ⅵ	Ⅶ
0	83～88	90～95	86～92	93～98
4	58～62	62～67	60～65	66～70
8	40～43	46～48	43～49	47～50
12	28～30	30～32	29～31	31～33

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

尉许高速公路温度场及温度梯度计算与分析

许昌地区八、九月份平均气温为28.7℃，通过收集尉许高速公路沥青混凝土以及水泥混凝土的材料参数，运用温度场计算程序计算出尉许高速公路的温度场分布及其温度梯度如下表所示。



尉许高速公路温度场分布

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

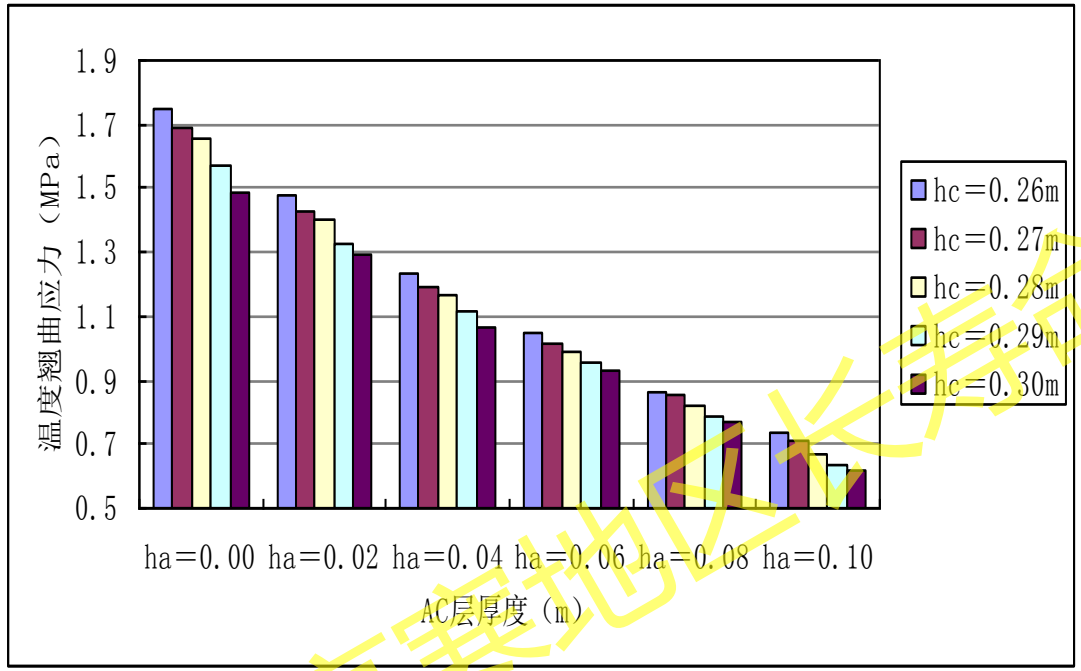
3 复合式路面温度应力分析

3.1 有沥青层的PCC板温度梯度分析

1. 尉许高速公路的日最大温度梯度出现在16：00左右，而普通水泥混凝土路面的日最大温度梯度一般出现在13：00～14：00，最大温度梯度滞后了约2～3个小时。
2. 尉许高速公路的最大温度梯度为50.36℃/m，而规范推荐值为58～62℃/m，所以尉许高速公路采用规范推荐值进行设计是偏于安全的。并且与不加AC层的普通水泥混凝土路面相比（温度梯度为83～88℃/m），温度梯度降低32.64～37.64℃/m，降低约39％～43％。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3.2 有沥青层的PCC板温度应力分析

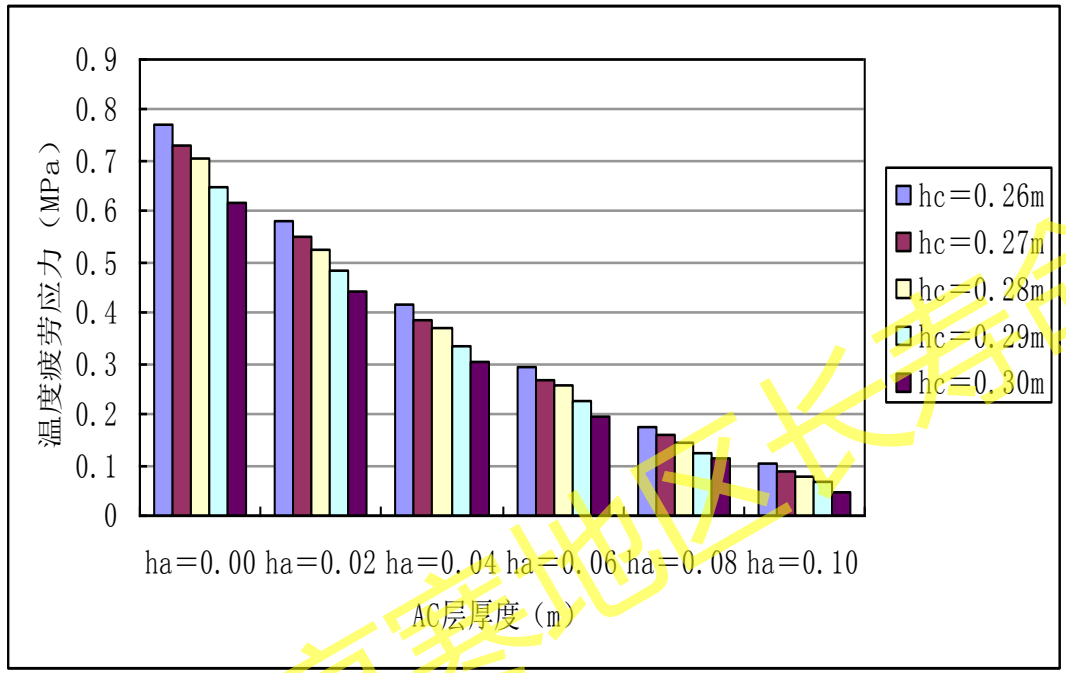


板长为4mPCC板温度翘曲应力

尉许高速公路路面结构的最大温度翘曲应力为0.992MPa，而普通水泥混凝土（ha=0 cm）的温度翘曲应力变化范围为1.484～1.747MPa，相比之下，降低约33.2%～43.2%。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3.2 有沥青层的PCC板温度应力分析



板长为4mPCC板温度疲劳应力

尉许高速公路的最大温度疲劳应力为0.255MPa，而普通混凝土路面的最大温度疲劳应力变化在0.617～0.773MPa，相比之下，降低了约58.7％～67.0％。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4 尉许高速公路水泥混凝土板接缝钢筋布置与施工技术

4.1 传力杆设置

4.2 拉杆设置

4.3 多车道传力杆自动植入机（MDBI）研发与应用

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.1 传力杆设置

尉许高速公路在缩缝处全部设置传力杆，对提高接缝传荷能力，降低应力折减系数有很大的作用。

尉许高速公路采用的传力杆直径为Φ32钢筋，设计间距在路边缘为45 cm，中间为30 cm，每道缩缝共计38根。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.2 拉杆设置及传荷能力分析

尉许高速公路纵缝拉杆采用φ16螺纹钢筋，长度为80 cm。

（1）传荷能力

缩缝处挠度传荷系数为75%，胀缝处挠度传荷系数为67%，而无传力杆缩缝的传荷系数为35%～60%。可见，设传力杆缩缝的传荷系数增大了15%～45%，传荷能力有很大程度的提高。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.2 拉杆设置及传荷能力分析

（2） 应力折减系数

单轴轴载作用于纵缝处应力折减系数

接缝类型	无传力杆缩缝	设传力杆缩缝	降低百分比
Lw取计算值	0.819～0.904	≤0.719	12.21%~20.91%
Lw取实测值	0.819～0.894	0.732～0.765	2.93%~18.12%

双轴轴载作用于纵缝处应力折减系数

接缝类型	无传力杆缩缝	设传力杆缩缝	降低百分比
Lw取计算值	0.842～0.914	≤0.755	10.33%~17.4%
Lw取实测值	0.842～0.906	0.766～0.795	5.58%~15.45%

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.2 拉杆设置及传荷能力分析

（2） 应力折减系数

单轴轴载作用于横缝处应力折减系数

接缝类型	无传力杆缩缝	设传力杆缩缝	降低百分比
Lw取计算值	0.810～0.914	≤0.677	16.42%~25.93%
Lw取实测值	0.810～0.903	0.694～0.739	8.77%~18.16%

双轴轴载作用于横缝处应力折减系数

接缝类型	无传力杆缩缝	设传力杆缩缝	降低百分比
Lw取计算值	0.783～0.896	≤0.645	17.62%~28.01%
Lw取实测值	0.783～0.884	0.663～0.708	9.58%~25%

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

4.3 多车道传力杆自动植入机研发与应用

尉许高速公路首次设计并研制了宽12.5m的钢筋植入机（分离式和整体式两种），使水泥混凝土滑模摊铺由于施工缩缝传力杆自动植入而实现大规模连续施工成为可能，为有效减轻缩缝竖向变形，提供连续、舒适的行车条件打下了基础。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

独立式传力杆
植入机前视图

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

悬挂式传力杆植入机后视图

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
MDBI植入机植入传力杆施工
1 8:11PM
106/173

传力杆钢筋植入
修整后效果图

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5 尉许高速公路水泥混凝土路面施工与层间技术研究

5.1 滑膜摊铺施工

5.2 新型防水联结层技术研究

5.3 应力吸收层技术研究

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.1 滑模摊铺施工

为保证路面施工质量和工程进度，在河南省第一次全面采用滑模摊铺技术进行水泥混凝土面板施工。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

滑模摊铺施工

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
裸化机研制
1 4:19AM

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
改良型裸化机
10 3:41AM
114/173

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

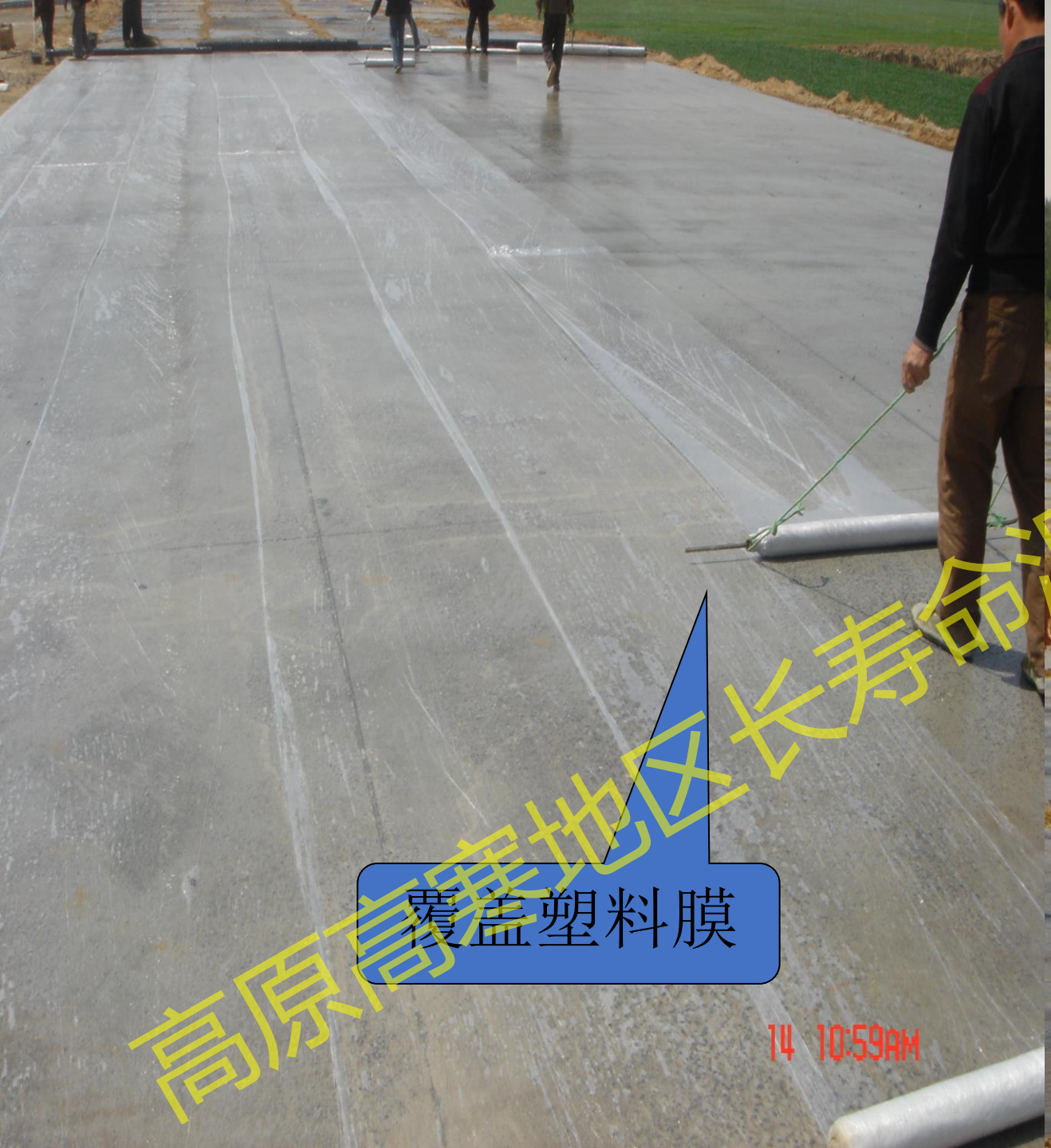
裸化施工

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

3mx4m 板块划分

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会



高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.2 新型防水联接层技术研究

在半刚性基层与水泥混凝土路面板之间设置防水联接层，与通常的0.6～0.8 cm厚的封层相比，我们采用的沥青防水联接层厚达1.5 cm，其功能是：

1. 消除混凝土板下半刚性基层的不均匀支撑，起整平作用；
2. 防止水泥混凝土板与半刚性基层之间的反复摩擦产生的半刚性基层的磨损，起缓冲与“软着陆”作用；

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.2 新型防水联接层技术研究

3. 防止水分下渗而对基层及路基造成的冲刷，作为复合路面防水与排水的第三道屏障；

4. 起应力消减层的作用，减轻半刚性基层反射裂缝对上部路面的影响；

5. 最后是保护基层，充当施工期间的临时路面。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.2 新型防水联接层技术研究

材料组成

①乳化沥青中的沥青符合道路石油沥青标准；

②矿料采用满足规范要求的石料，粘附性大于4级；

③上层：ES-2 3-5：石屑＝25：75；

下层：ES-4 5-10：3-5：石屑＝14：36：50。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.2 新型防水联接层技术研究

主要技术指标

①车辙试验动稳定度 DS＞600次/mm

②小梁弯曲试验最大破坏应变

εmax＞2000uε

③设计空隙率2-4%

④压实空隙率＜5%

⑤ 5℃延度＞50 cm

首次采用软化点75℃以上，5℃延度30 cm以上的高品质改性沥青，为应力吸收层和防水联结层提供了优质材料。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区火书命沥青路面技术研讨会
防水联接层施工

5.3 应力吸收层技术研究

应力吸收层功能

- 防止黑白路面脱离的“二层皮”现象；
- 防止沥青层因反射裂缝而开裂；
- 防水和排水作用。

应力吸收层性能要求

- 突出的粘结力；
- 足够的高温抗变形与低温抗开裂能力；
- 不透水性。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

5.3 应力吸收层技术研究

主要技术指标

①抗剪强度：τ=（ C +δtgϕ ）≥ τmax

②车辙试验动稳定度：DS≥2000次/m（实际值2000～2100）

③小梁弯曲试验最大破坏应变：εmax≥3500 uε（实际值5000以上）

④设计空隙率≤3%（实际值2%～3%）

⑤压实空隙率≤5%（实际值2%～3%）

高原高寒地区交通部沥青路面技术研讨会

应力吸收层施工

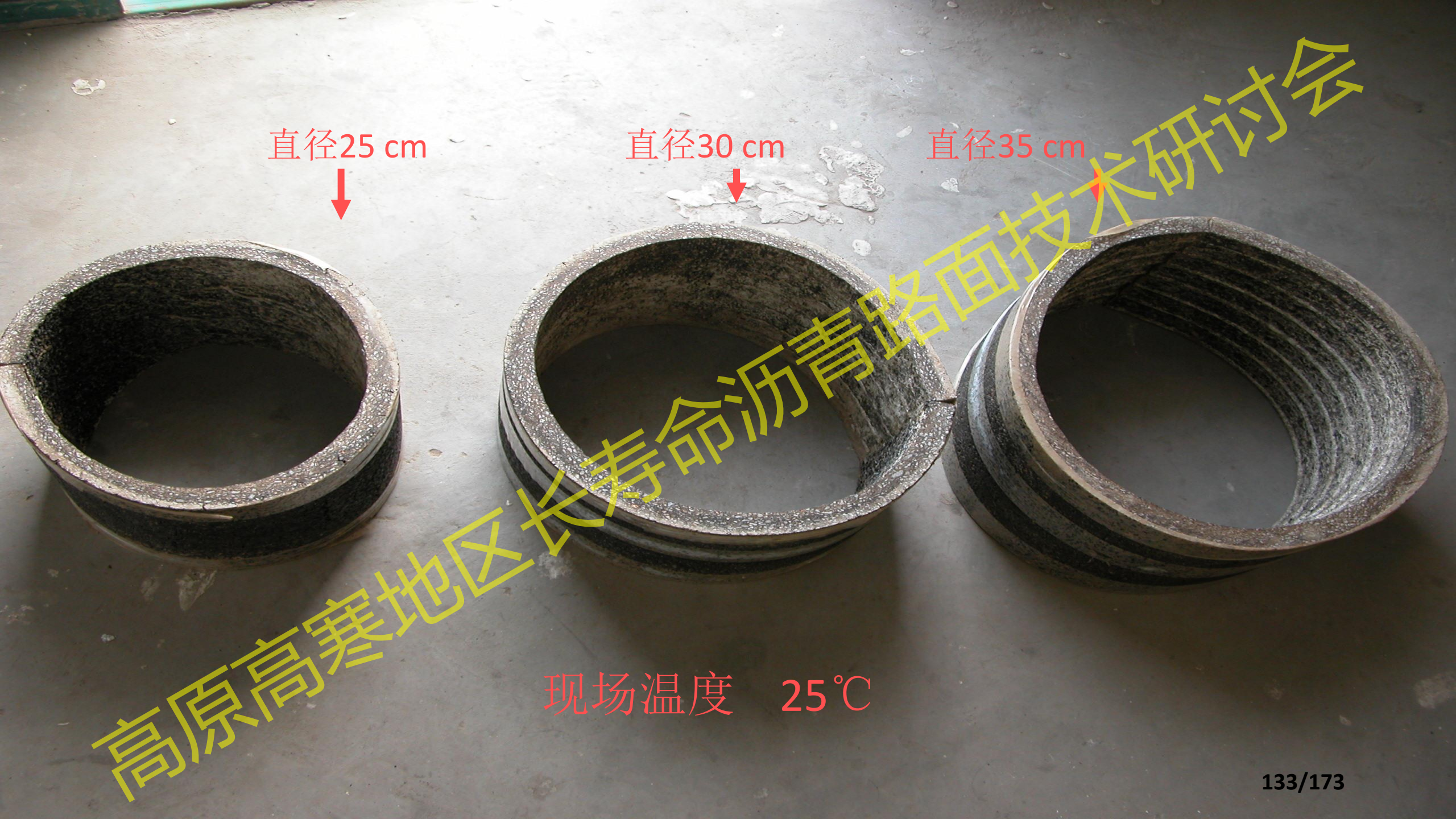
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研究会
2 cm 应力吸收层
28 cm 水泥砼面层

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会


直径25 cm
直径30 cm
直径35 cm
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
现场温度　25℃

6 尉许高速公路长寿命路面寿命预估

6.1 极限寿命预估影响因素分析

6.2 设计参数和实际参数对极限寿命预估影响分析

6.3 重载车辆作用下道路使用寿命预估

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（1）AC层厚ha与PCC板厚hc

寿命(年) hc(m) / ha(m)	0.04	0.06	0.08
0.26	7.9	13.7	31.5
0.27	12.2	27.9	55.5
0.28	26.5	51.9	99.7
0.29	50.7	91.3	169.7

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（2） 板长L

寿命(年) / 板厚hc（m） / 板长L（m）	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
4	13.7	27.9	51.9	85.3	150.2
5	8.2	20.6	40.3	68.3	118.9

板长4m预估的极限寿命在不同板厚情况下都要大于板长5m预估的极限寿命，分别是1.67、1.35、1.28、1.25、1.26倍。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（3）水泥混凝土弯拉强度fr

水泥混凝土弯拉强度的设计值为5.5MPa，而在实际检测中达到6.0MPa以上。

水泥混凝土弯拉强度fr（MPa）	5.0	5.5	6.0
极限寿命（年）	16.3	51.9	88.3

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6 尉许高速公路长寿命路面寿命预估

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（4）应力折减系数kr

接缝传荷能力的应力折减系数kr	纵缝为设拉杆的企口缝			纵缝为设拉杆的平缝			纵缝为不设拉杆的平缝或自由边
	0.76	0.80	0.84	0.87	0.89	0.92	1.0
极限寿命（年）	**198.3**	**118.2**	**74.4**	**51.9**	**41.0**	**27.7**	**7.8**

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（5）可靠度系数γγ

可靠度系数γ_γ	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.4
极限寿命（年）	147.4	81.6	51.9	33.5	20.4	14.9

可靠度系数从1.15开始每增加0.05，极限寿命分别减少了44.6%、36.4%、35.5%、39.1%和26.9%，可靠度系数对预估的极限寿命影响都是相当巨大的。

从直观上来说，可靠度系数其实是一个安全系数，尤其现在超重载较为严重，所以从保守角度上来说可靠度系数应该大一些。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（6）偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数kc

kc	1. 25	1. 275	1. 3	1. 325	1.35
极限寿命（年）	77.9	62.9	51.9	42.7	34.9

对接缝传荷能力的应力折减系数、可靠度系数、综合系数Kc等主观性比较强的因素，取值应该在规范规定的范围内与实际相结合，经过反复推敲以后再确定其值，否则寿命预估的结果会大相径庭。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（7）车道数

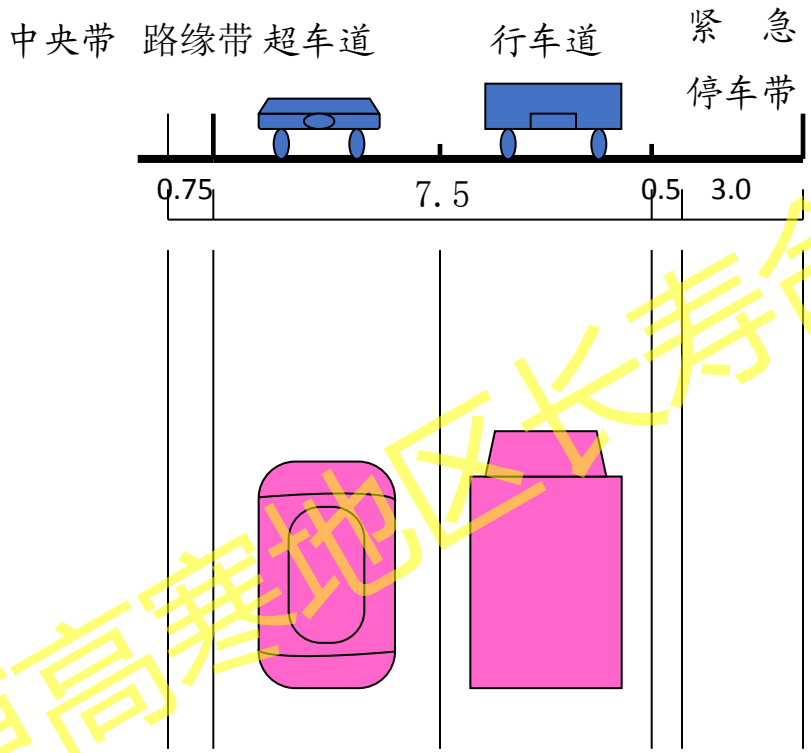
尉许高速公路实施“四车道改六车道”方案，即在28m路基上设置六车道。六车道分担四车道的车辆荷载，将速度相对较慢、载重较大的大货车与托挂车分流，既提高了车道的通行能力，又延长了车道的使用寿命。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

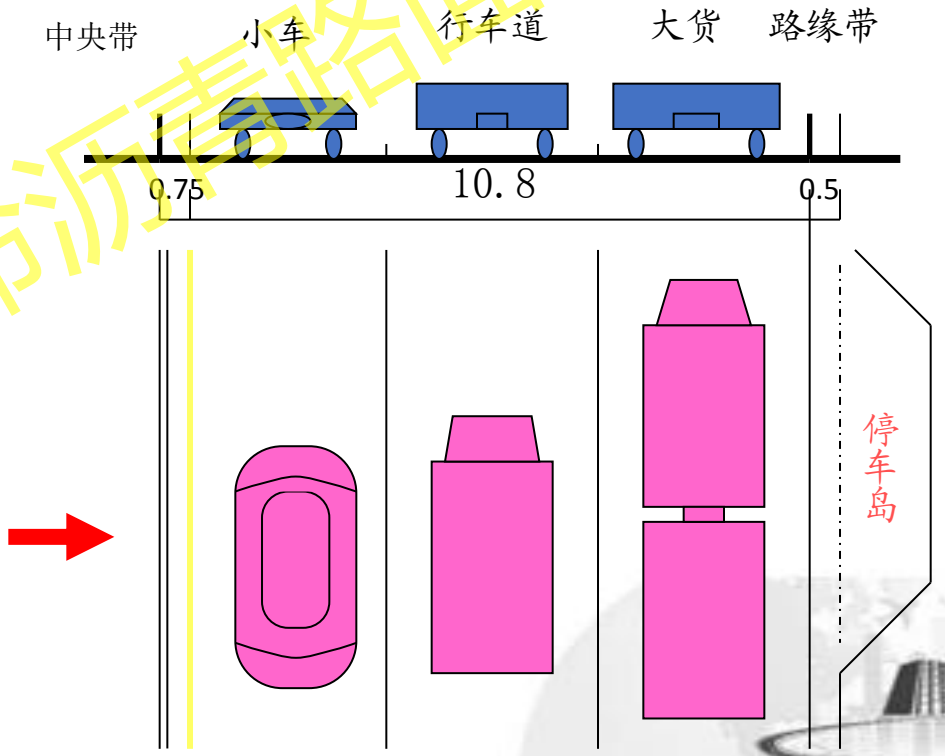
6 尉许高速公路长寿命路面寿命预估

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（7）车道数



双向四车道布置图

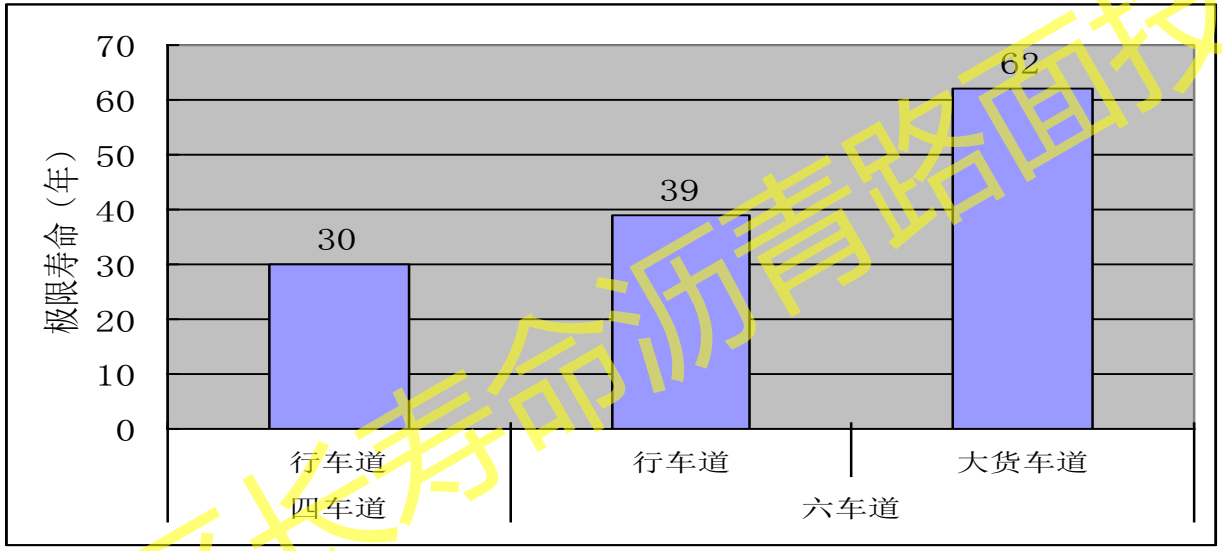


双向六车道布置图

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.1 极限寿命预估影响因素分析

（7）车道数



车道数对寿命的影响分析

如果原有车道的使用寿命为30年时，在相同的路面结构下，四车道改六车道后，行车道的寿命可以提高到原来的1.3倍，达到39年，相应增加的大货车道寿命是62年。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

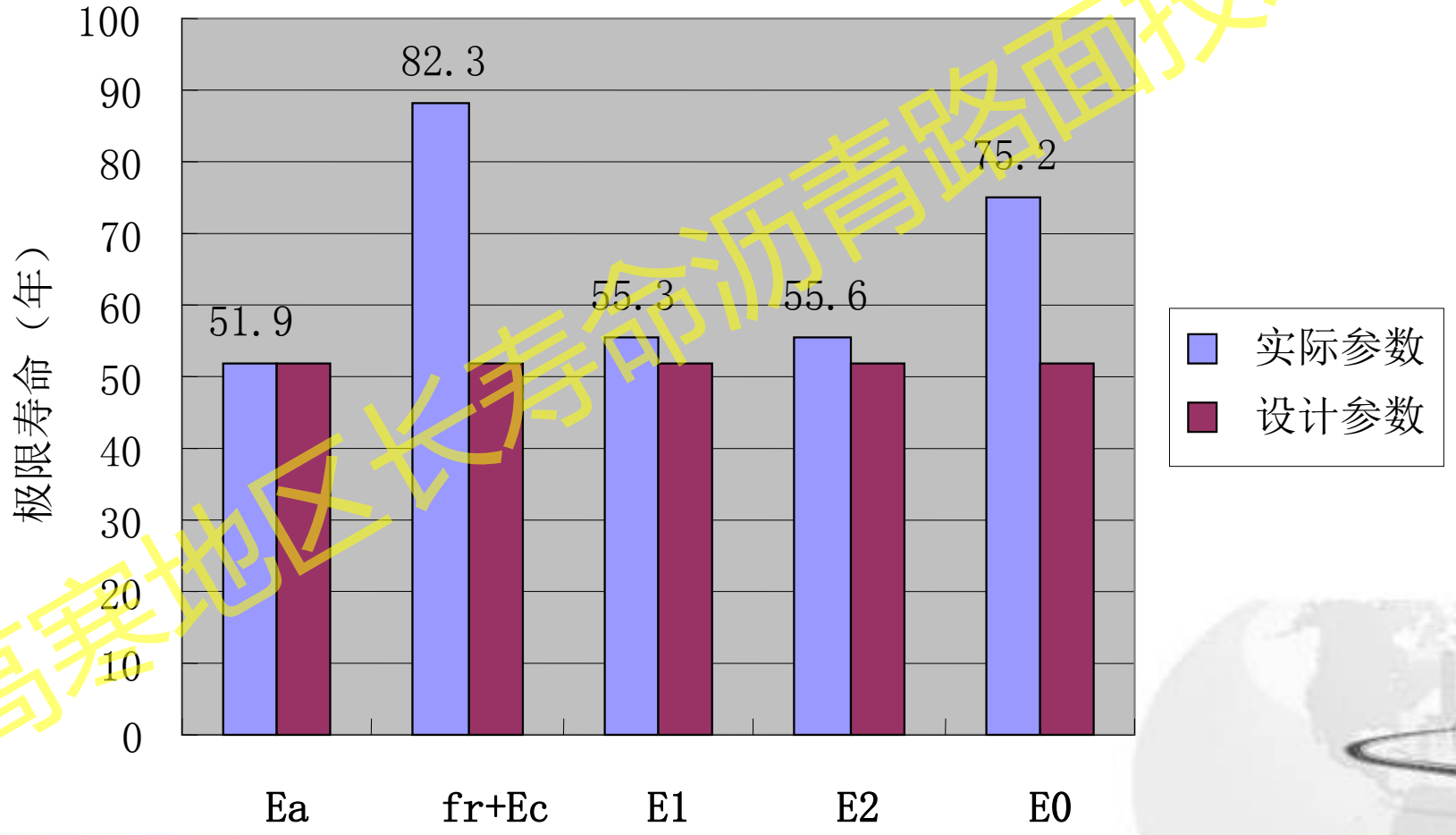
6 尉许高速公路长寿命路面寿命预估

6.2 设计参数和实际参数对极限寿命预估影响分析

取值分析 / 路面结构	设计值（MPa）	极限寿命（年）	实际值（MPa）	极限寿命（年）
沥青混凝土回弹模量	1400	51.9	1500	51.9
水泥混凝土弯拉强度	5.5		6	82.3
水泥混凝土的弯拉弹性模量	31000		31925	
二灰碎石的回弹模量	1500		1800	55.3
固化土的回弹模量	150		194	55.6
路床顶面的回弹模量	40		86	75.2

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.2 设计参数和实际参数对极限寿命预估影响分析



高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.3 重载车辆作用下寿命预估

长安大学对重载作用下的水泥混凝土路面设计进行过系统的研究，相对于现行的水泥混凝土路面设计规范，最大的不同是将重轴载的轴载换算公式改为基于二次曲线疲劳方程，其轴载换算结果相对于现行的16次方指数法要提高很多。

课题组运用长安大学“重载水泥混凝土路面设计规范”，对重载作用下的尉许长寿命路面进行了寿命预估。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

6.3 重载车辆作用下寿命预估

重载作用下路面寿命预估（年）

超载轴次 / 超载率	10%	20%	30%	40%
10%	48.8	43.5	37.6	30.2
20%	40.3	**35.4**	29.3	22.7
30%	**31.6**	**28.6**	21.4	15.5
40%	23.2	19.5	14.8	8.9

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

7 高速公路长寿命路面施工技术指南

- 7.1 冲击式压路机处理路基技术指南
- 7.2 固化土施工指南
- 7.3 基层施工技术指南
- 7.4 新型防水联接层施工技术指南
- 7.5 路面面层混凝土施工技术指南
- 7.6 应力吸收层施工技术指南

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

8 尉许高速公路长寿命路面技术经济分析

尉许高速公路长寿命沥青路面经济效益

通过长寿命路面结构成套技术在尉许路上的全面应用，使高速公路的设计**寿命成功达到50年以上**。

尉许高速公路概算投资20.05亿元，实际建设费用15.92亿元，**直接节约建设费用4.13亿元。**

- ✓ **比普通四车道高速公里节约3.4亿元；**
- ✓ **比标准六车道节约9.8亿元以上。**

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

项目概况

- **交通运输行业重点科技项目**（2018-MS2-042）
- **高速公路长寿命复合路面验证评价与维修再生技术研究**
- **承担单位：**
  - 越秀(中国)交通基建投资有限公司
  - 中交第一公路勘察设计研究院有限公司
  - 河南越秀尉许高速公路有限公司
  - 长安大学
  - 中交瑞通路桥养护科技有限公司

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

三 长寿命路面验证评价与维修再生技术

1. 尉许高速路面使用性能评价

2. 尉许高速反射裂缝处治措施研究

3. 长寿命复合路面再生技术研究

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1 尉许高速路面使用性能评价

1.1 PQI指标评价

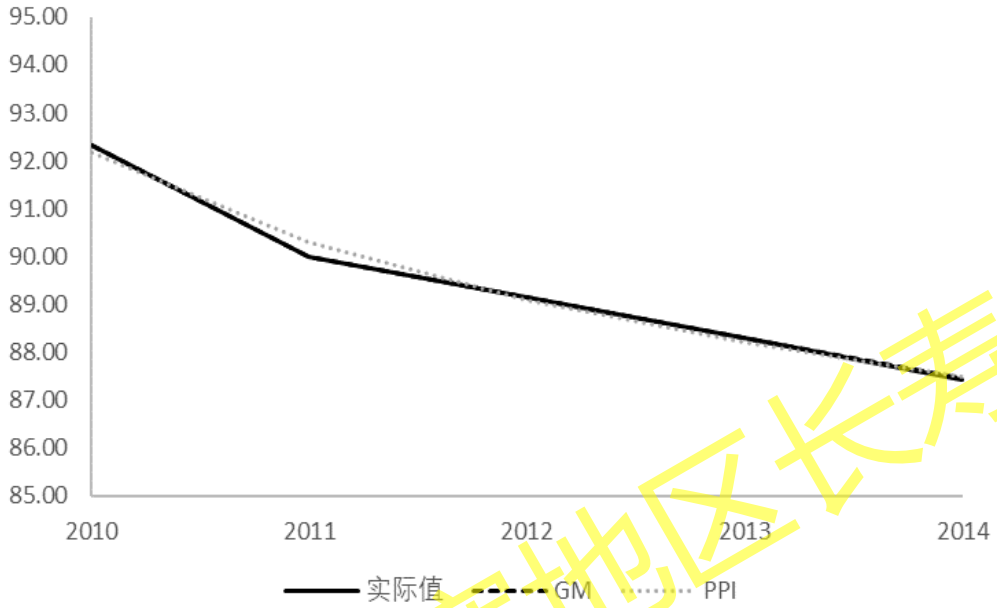
1.2 断板率指标评价

1.3 水泥混凝土板强度评价

1.4 反射裂缝评价

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.1 PQI指标评价



2010年-2014年 PQI预测值与实际值对比

调查发现，综合评价指标PQI从2010年的92.33逐年降低至2014年的87.43，评价等级从优变为良。因此尉许高速路面使用性能良好。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.2 断板率指标评价

路面断板状况（DBL）评定

桩号	交叉裂缝（块）			角隅断裂（块）			纵、横、斜向裂缝（块）			板块总数(块)	断板率(%)	评价
	轻	中	重	轻	中	重	轻	中	重			
下行线 K108+530~K109+580	0	0	0	1	0	0	6.6	11.4	11	1050	2.9%	良
上行线 K108+530~K109+580	0	0	0	1	0	0	4	7.2	6	1050	1.7%	良

尉许高速旧水泥混凝土板的整体结构状况良好

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

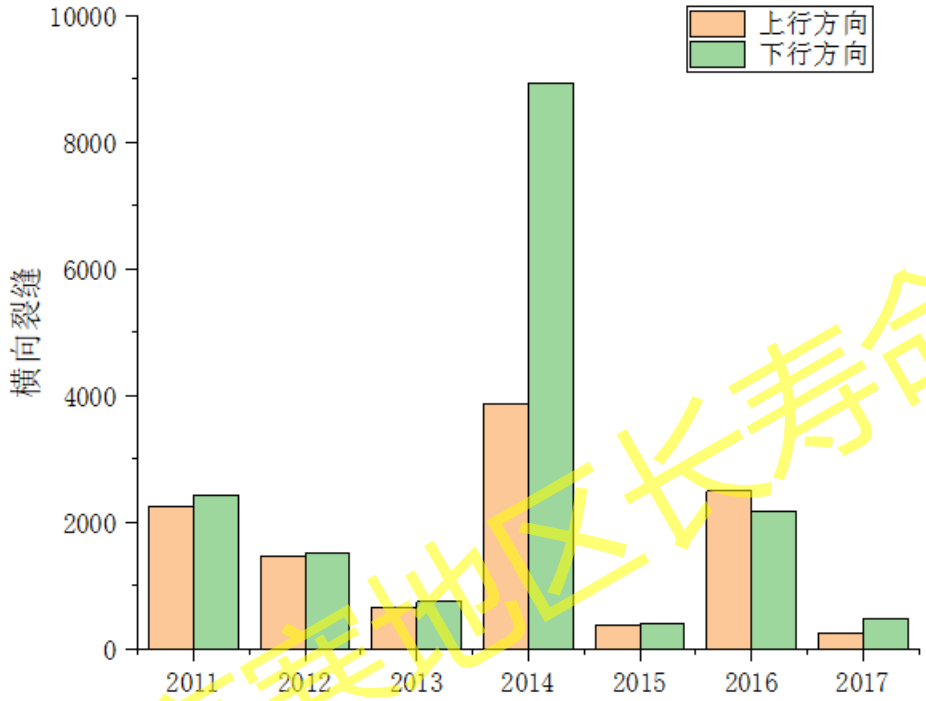
1.3 水泥混凝土板强度评价

试验得到尉许高速公路水泥混凝土板的抗弯拉强度为4.5MPa，抗压强度为36 MPa，相较于设计值，分别降低了18.2%，31.4%。

根据历年累计当量轴载次数及增长率，得到了尉许高速水泥混凝土板的剩余使用寿命为32年。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

1.4 反射裂缝评价



2011-2017年上下行方向横向裂缝总值

（1）普通路段
第一年横向裂缝平均值为10.02m²
第二年横向裂缝平均值为20.15m²，
第三年横向裂缝平均值为51.98m²。

（2）特殊路段
第一年平均值为7.10m²，
第二年平均值15.02m²，
第三年平均值为190.98m²。

主要反射裂缝在第三年时扩展

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
裂缝

裂缝

裂缝

2 尉许高速反射裂缝处治措施研究

2.1 长寿命复合路面应用效果评价

2.2 既有应力吸收层性能恢复技术及应用效果评价

2.3 路面结构力学特性分析

2.4 复合路面裂缝处力学响应模型构建及分析

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.1 长寿命复合路面应用效果评价

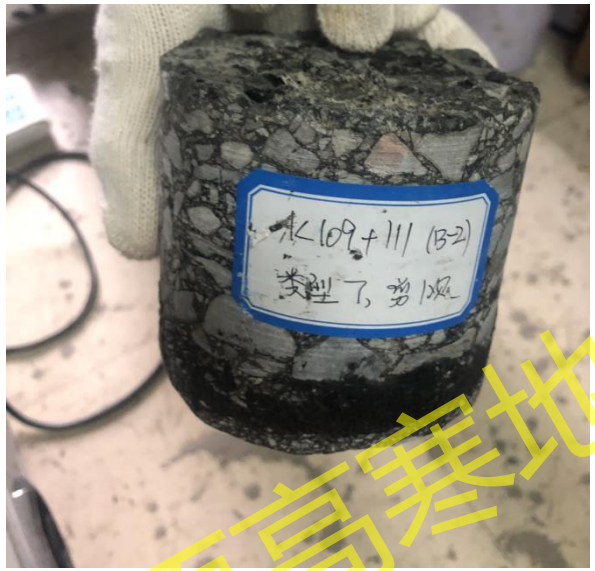
对旧路和2017年试验段进行现场钻芯取样及室内试验，综合评价尉许高速既有路面应力吸收层性能，优选更适于复合式长寿命路面的应力吸收层形式。

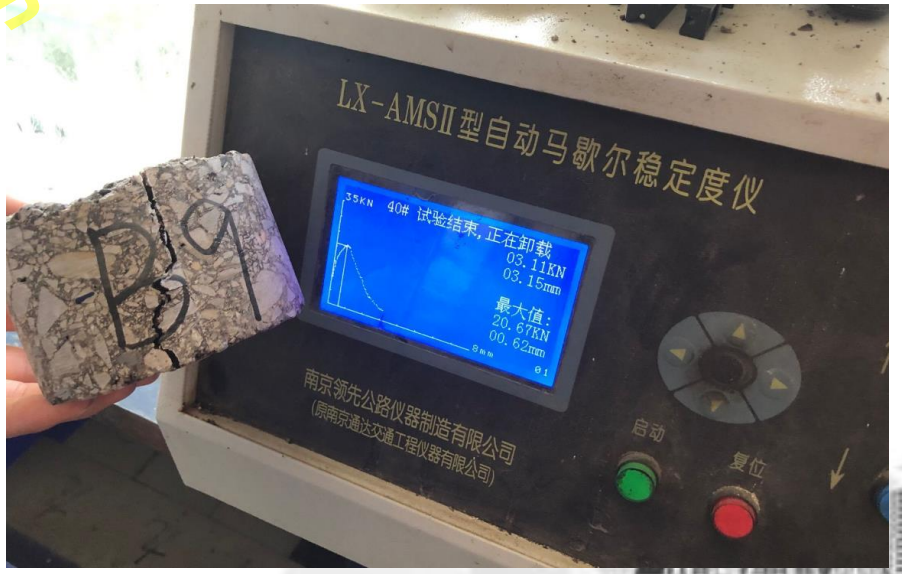
现场钻芯

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.2 既有应力吸收层性能恢复技术及应用效果评价

对既有应力吸收层性能恢复技术进行研究，采用抗剪强度试验、拉拔强度试验、界面粘结强度试验、抗裂性能试验等评价还原剂对既有应力吸收层的粘结特性和抗裂特性的恢复效果。





应力吸收层试验

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 路面结构力学特性分析

针对尉许高速公路新型的路面维修方案及加铺方案，构建各方案有限元分析模型，结合现场实测力学参数，采用模型分析各方案路面的温度应力及荷载应力，研究各新型方案的力学特性、破坏模式和疲劳特性。

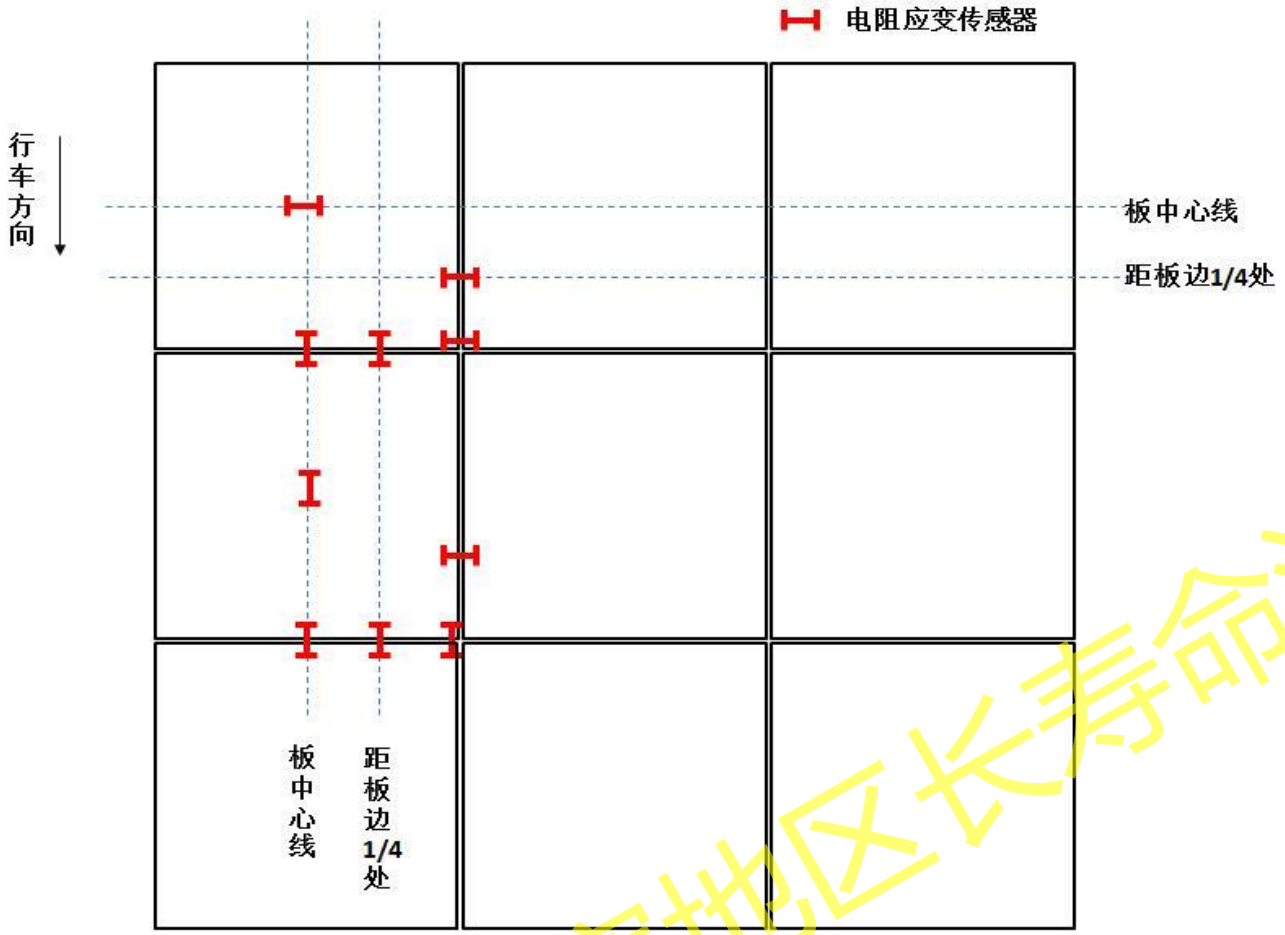
高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

2.3 路面结构力学特性分析

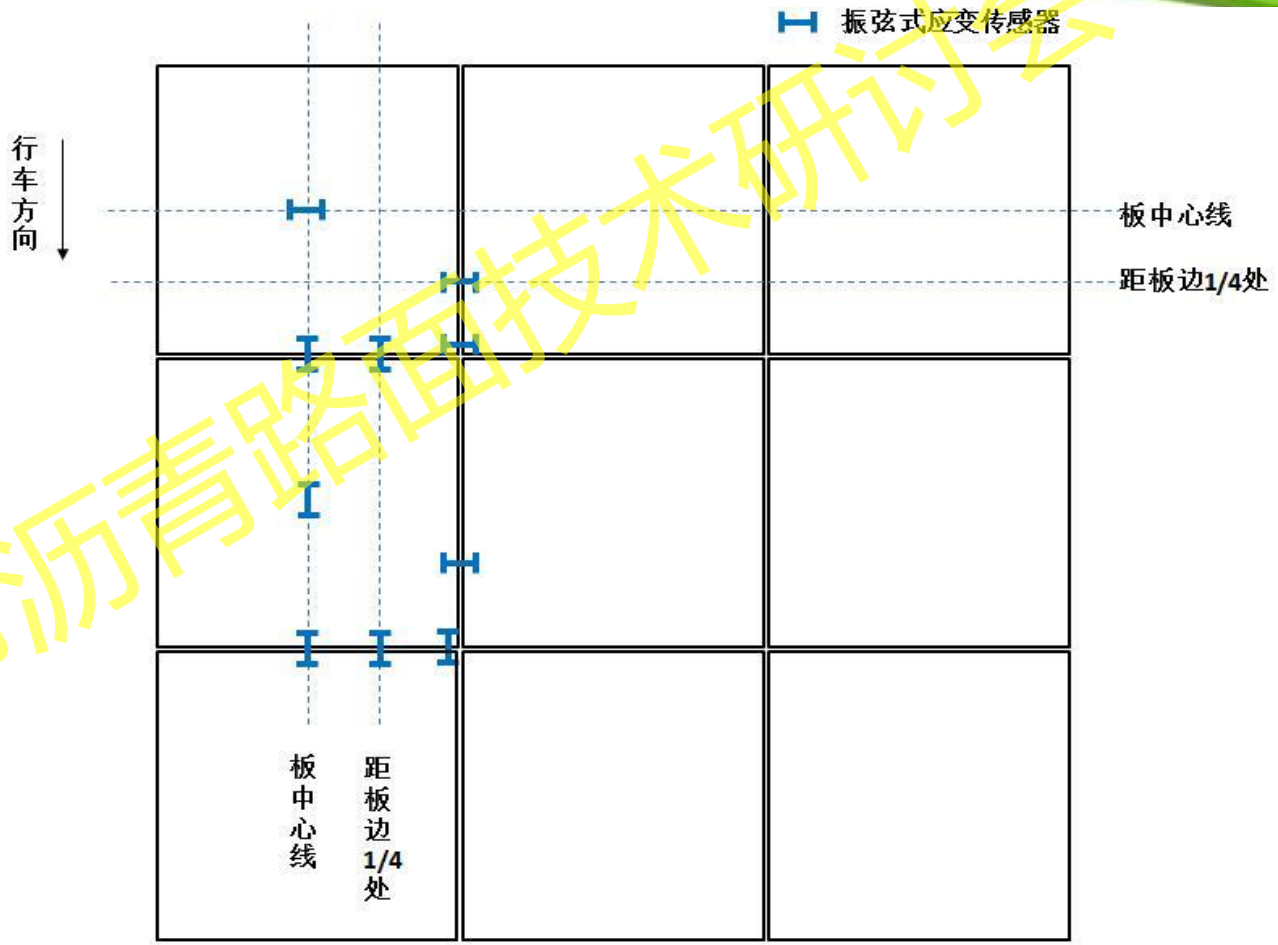
方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
SMA-13	SMA-13	SMA-13		
AC-20C	AC-20C	AC-20C		
STRATA	AC-25C	橡胶沥青同步碎石	AC-16C（就地热再生）	AC-16（新料）
水泥混凝土板	橡胶沥青同步碎石	AC-13I	改性沥青应力吸收层	AC-16C（就地热再生）
改性沥青稀浆封层	水泥混凝土板	橡胶沥青同步碎石	水泥混凝土板	改性沥青应力吸收层
水泥粉煤灰稳定碎石	改性沥青稀浆封层	水泥混凝土板	改性沥青稀浆封层	水泥混凝土板
地基	水泥粉煤灰稳定碎石	改性沥青稀浆封层	水泥粉煤灰稳定碎石	改性沥青稀浆封层
	地基	水泥粉煤灰稳定碎石	地基	水泥粉煤灰稳定碎石
		地基		地基

尉许高速公路维修加铺方案

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会



电阻应变传感器埋设方案



振弦式应变传感器埋设方案

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

现场埋设传感器

2.4 复合路面裂缝处力学响应模型构建及分析

构建沥青路面裂缝处力学响应模型，并分析长寿命复合路面在交通荷载和温度荷载作用下的裂缝发展及反射规律。

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

现场实测板角处应变

4 长寿命复合路面再生技术研究

4.1 再生路面结构力学分析

4.2 再生路面试验路铺筑与测试

4.3 再生沥青混合料组成设计及性能研究

4.4 既有应力吸收层性能评价与恢复技术研究

4.5 沥青混合料现场热再生施工技术提升研究

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

就地热再生铣刨

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会

就地热再生加铺

就地热再生前后路面对比

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会
就地热再生取芯

谢 谢！

高原高寒地区长寿命沥青路面技术研讨会