

文章编号: 0451-0712(2005)07-0183-06

中图分类号: U416.26

文献标识码: A

# 高等级公路沥青混凝土路面再生适用性

李海军, 林广平, 黄晓明

(东南大学交通学院 南京市 210096)

**摘 要:** 针对高等级公路沥青混凝土路面材料与结构特性, 结合沥青混凝土路面不同再生方法的工艺特点, 分析了沥青混凝土路面材料及层面不同的再生机理, 并且从旧路材料和工艺方法两方面进行了沥青混凝土路面再生利用的适用性评价。

**关键词:** 路面工程; 沥青混凝土面层; 再生; 适用性

近十余年来, 我国公路建设迅速发展, 到 2003 年底, 高等级公路通车里程已突破 27 万 km, 其中高速公路通车里程近 3 万 km, 沥青混凝土路面里程占 75% 以上。虽然高等级公路沥青混凝土路面的设计寿命为 15 年, 但从实际情形看, 由于通行质量的原因或通行能力的需求, 大部分沥青混凝土路面在运营后, 短的 2~3 年, 长的 8~10 年就进入大面积维修或拓宽改造期。因此, 我国即将进入一个高等级公路大规模维护和改造期, 并将持续相当长的时间。我国经济虽有了很大的发展, 但实力仍不雄厚, 公路建设投资有限, 不能满足公路交通运输业迅速发展的需求。另外, 高品质沥青供不应求, 供应量不足需求量

的 2/3。沥青混凝土路面大修、重建等常规改造维修方法, 不仅耗用大量的砂石及沥青等限量资源, 占用大量的公路工程建设资金, 而且遗弃属于不可降解物质的旧沥青混凝土, 既占用大量的场地, 还会造成大面积的环境污染。从某种角度讲, 沥青属于高分子聚合物范畴, 具有溶解、沉淀等热力学可逆过程的性质, 这决定了旧沥青混合料是一种可以再生利用的材料资源, 并且, 由于我国沥青混凝土路面服务周期偏短, 其中的沥青与砂石材料可利用价值更为巨大。

## 1 高等级公路沥青混凝土路面特点

沥青混凝土路面是由多种材料构成的复杂体,

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2002AA335100)。

收稿日期: 2004-11-06

所以, 可以认为: 在某一温度下(如 10℃), 若峰值力差不多, 那么在其他温度下, 其延度还是呈对应关系的; 若峰值力相差比较大, 但在都比较小的情况下, 则在其他温度下, 延度变化顺序一致, 直至发生突变(在更低的温度下); 若峰值力相差比较大, 且有的比较大的情况下, 则降低一个温度等级, 延度大小顺序就有可能发生变化(即突变前后)。这就是单一延度的局限性所在。

## 3 小结

通过分析误差的影响以及 SHRP 动态剪切模量和低温弯曲劲度的变化, 认为在 5℃ 到 35℃, 温度的影响远远小于误差的影响, 针入度对数与温度将呈现明显的线性关系, 任何的不一致则主要是由误差

引起的。

对于  $T_{800}$  和  $T_{1.2}$  来说, 由于不同的沥青具有相似的累积效应, 在客观上部分弥补了非线性所产生的影响, 因此认为前者在 60℃ 以内, 后者在 -15℃ 以上时, 非线性基本上不影响对不同沥青高低温性能的判定。但改性沥青  $T_{1.2}$  的适用性则有疑问。

峰值力极大地影响不同温度下的延度变化, 这是某一温度下单一延度的局限性所在。

## 参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 人民交通出版社, 2001.
- [2] 陈惠敏. 关于沥青针入度指数[J]. 石油沥青, 2003, (12).

与一般公路相比,高等级公路沥青混凝土路面的服务对象有着交通量大、轴载重、交通渠化和行驶速度高等特点。由此,高等级公路沥青混凝土路面在设计方法、材料特性,直至使用性能的衰变规律等方面与一般公路都有所不同。而沥青混凝土路面设计特点、材料特性以及损坏特征,与再生沥青混凝土路面结构设计、再生机理以及再生方法密切相关。

### 1.1 设计特点

高等级公路沥青混凝土路面设计以分析法(也称力学—经验法)为基础,通过层状弹性分析确定路面对荷载的反映,并可判断由于交通或环境等原因导致的不同类型的潜在破坏,进而帮助设计人员选择合适的结构以将损坏降低到允许限度。

与经验法相比,分析法在初始设计及养护改建方面具有以下优点<sup>[1]</sup>:(1)较强的可变荷载适用性;(2)更好地利用现有材料及新材料;(3)提高使用性能预估的可靠度;(4)更好地考虑施工工艺(比如不同路面结构的压实);(5)在较低成本下路面性能极大化。

在沥青混凝土路面再生过程中,应从沥青混凝土路面的分析法设计出发,比照、分析现有路面不同类型的损坏,找出设计中的不足,弥补并应用于再生路面的设计。

### 1.2 材料特性

材料性状对高等级公路沥青混凝土路面性能非常重要。材料力学模型的准确建立有助于确定路面结构内部的应力、应变与弯沉。破坏标准的确定也是表征材料特性的一个重要环节。对于沥青混凝土路面,在定义材料的力学特征时,必须正确考虑其服务条件<sup>[2]</sup>,包括:(1)与荷载有关的应力状态;(2)环境状况(湿度和温度);(3)施工条件。

沥青混合料具有弹性、粘弹性和弹塑性的性质,并且承受多种环境条件,受力复杂。所以,模拟混合料在一定温湿环境下对车辆荷载的形变反映特性的测试方法,对沥青混凝土路面设计结果影响很大。目前,沥青混合料通常由静态试验或在相对低变形条件下来测定其特性,而基于使用性能的力学设计分析则要求进行材料动态荷载试验,以确定材料在尽可能模拟实际使用条件下的荷载形变反映和耐久性。

材料的性状及其变迁规律,体现了沥青混凝土路面再生的机理,也是检验再生效果的关键指标,同时还是进行再生沥青混合料设计的数据基础。

### 1.3 损坏特征

以分析法为基础的设计方法中,控制指标主要

有:永久变形、温度开裂和疲劳开裂,这也是高等级公路沥青混凝土路面较多出现的病害。在路面破损中,车辙与裂缝占了路面破损中的80%以上。车辙损坏是高等级公路沥青混凝土路面不同于一般公路的一个显著特点。

永久变形或车辙的形成原因包括剪切流动和混合料压实(体积变化),但前者被认为占有更大比例。由于剧冷而造成的开裂称为低温开裂,而由温度循环导致的开裂称为温度疲劳开裂。疲劳开裂则是在气温环境影响下,经受荷载反复作用的路面,长期处于应力应变交迭变化状态,致使路面强度逐渐下降。当荷载重复作用超过一定次数后,在荷载作用下路面内产生的应力就会超过强度下降后的结构抵抗力,使路面出现裂纹。

沥青混凝土路面不同的损坏特征,反映了路面材料及结构方面的薄弱环节,是确定沥青混凝土路面再生工艺设计和材料设计的基本依据。

## 2 沥青混凝土路面材料再生的适用性

沥青混凝土路面的再生,关键在于旧沥青混凝土路面材料性能的恢复与利用。旧砂石材料的再生应通过掺加新集料来调整旧集料级配来完成,而旧沥青的再生在于根据其老化机理和老化性状,选用相应的工艺工序,混溶适宜的新沥青、再生剂,恢复其应有的路用性能。可以看出,旧沥青和旧砂石材料的性状如何,是决定沥青混凝土路面再生适用性的关键。

### 2.1 再生机理

旧沥青混凝土路面的再生包括旧沥青粘结剂的再生利用和旧骨料的再生利用,其中旧沥青粘结剂的再生是沥青混凝土路面再生的关键。沥青混凝土路面再生机理是进行再生材料设计和工艺设计的基本依据。

#### 2.1.1 基于组分移行的调合理论

沥青材料是由沥青质、胶质、油分等几种组分组成的混合物,而且沥青的某一种组分,如油分,也同样是由分子量大小不等的碳氢化合物所组成的混合物。那么,从混合物的角度,考虑到沥青老化是其组分“移行”的结果,用不同组分配比的再生剂或新沥青混溶老化沥青,进行组分调合,得到性能适宜的沥青,从而完成沥青的再生。

国内外许多研究表明,在针入度和粘度指标方面,新沥青与旧沥青的调合呈对数直线或双对数直线关系,并以此作为进行再生沥青混合料配比设计

的依据。

东南大学交通学院采用SHRP性能指标对新旧沥青调合规律进行了大量研究。图1是壳牌S70老化沥青与泰国T90沥青调合后沥青的车辙因子。

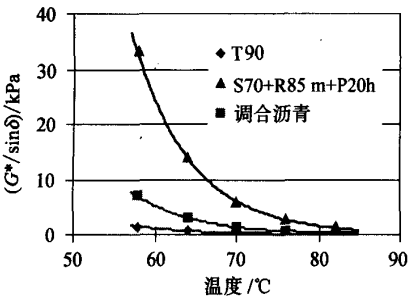


图1 调合沥青的高温性能

分析试验数据得出,新旧沥青与调合沥青的车辙因子(用 $G_{mix}$ 表示)有式(1)对数直线关系:

$$\lg G_{mix} = a \lg G_1 + (1+a) \lg G_2 \tag{1}$$

而针对低温劲模量则有如式(2)的调合关系:

$$S_{mix} = a S_1 + (1-a) S_2 \tag{2}$$

上述关系式为在再生沥青混合料设计中采用以性能指标为基础的SHRP方法提供了便利。

2.1.2 溶液相容性理论

溶液相容性理论认为:在一种溶液中,溶质的溶解度参数与溶剂的溶解度参数的差值小于某一定值时,即能形成稳定的溶液。

据此,将沥青视为由软沥青质溶解沥青质形成的溶液,则针对性质稳定、耐老化性能好的沥青有式(3)成立:

$$\Delta\delta = \delta_{AT} - \delta_M < K \tag{3}$$

式中: $\Delta\delta$ 为沥青质与软沥青质溶解度的参数差,  $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ ;  $\delta_{AT}$ 为沥青质的溶解度参数,  $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ ;  $\delta_M$ 为软沥青质溶解度参数,  $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ ;  $K$ 为稳定溶液溶解度参数差的限值,  $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ 。

根据有关研究, $K=0.76$ 时的沥青有较好的相容性,沥青较为稳定,路用性能较好。而回收沥青的 $K$ 一般在1.0以上,即随着老化的进行,沥青中各组分化学结构发生变化,引起沥青中沥青质与软沥青质溶解度参数的变化,导致沥青质与软沥青质溶解度参数差值增大,相容性降低。

由此,沥青的再生可认为是调节、降低沥青各组分溶解度参数差,增加沥青溶液相容性的过程。在旧沥青中掺加再生剂或软沥青,一方面可使沥青质的相对含量降低,提高沥青质在软沥青质中的溶解度;同时,掺加的再生剂和软沥青又可提高软沥青质对沥青质的溶解能力,使软沥青质与沥青质的溶解度参数差值降低。

2.1.3 材料复合理论

复合理论将复合材料视为一个多相系统,复合材料的力学性能、热性能等都遵循混合物定律方程,即式(4)表征的复合法则:

$$M = M_1 V_1 + M_2 (1 - V_1) \tag{4}$$

式中: $M$ 为复合材料的性能; $M_1$ 为基本相的性能; $M_2$ 为分散相的性能; $V_1$ 为基本相的体积百分比。

沥青混凝土路面材料冷再生机理可用材料复合理论来解释,其中旧骨料为基本相,添加的水泥、乳化沥青以及原有旧沥青等粘结剂为分散相。那么,再生混合料的性能,如力学性能、热稳定性能等,与旧骨料、各种粘结剂及其含量都密切相关。

2.2 旧路面材料性状及其再生适用性

2.2.1 流变性质

老化沥青在流变指标上表现为粘度增大,针入度增加,延度减小,软化点升高。表1是老化沥青流变指标随某A型再生剂掺量的变化情况。可以看出,随着再生剂掺加比例的增加,老化沥青的流变指标逐渐向新沥青方面过渡。由此说明,从流变力学指标角度,旧沥青材料具有较好的再生适用性。

表1 A型再生剂掺量对老化沥青性能的影响

再生剂掺量/%	0	1	3	5	7	9	11
60℃粘度/(Pa·s)	457	404	323	263	216	179	149
针入度/0.1mm	38.1	50.4	57.2	67.6	79.3	104.6	106.5
延度(15℃)/cm	20	38	55	67	81	88	96
软化点/℃	63.1	61.3	58.8	57.2	55.6	54.1	52.7

2.2.2 再老化性质

沥青混凝土路面热再生工艺中,旧沥青受热时间及受热强度都不亚于普通拌制沥青混合料。因此,

旧沥青在耐热老化方面的再生适用性,即再老化后的性能如何应值得重视。

对已进行短期和长期老化的壳牌S70沥青再次

进行短期老化,测试SHRP性能指标变化情况,并与S70原始沥青短期老化前后SHRP性能指标的变化幅度进行对比。低温劲度变化对比情况见图2。

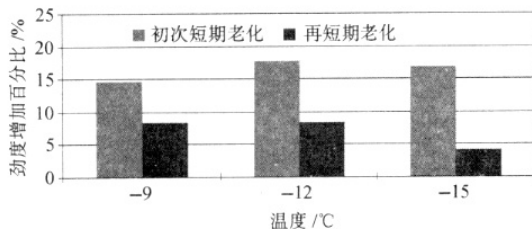


图2 壳牌S70沥青再老化低温性能变化情况

从测试结果可以得出,旧沥青再老化速率相对变缓。考虑到已得出的低温劲度调合的直线线性关系,如果用于调合的软沥青的耐老化性能与S70相近时,那么,调合出的再生沥青的耐老化性能(用指标变化率表征)要好于原始沥青S70。因此,也可以得出,在受热再老化方面,旧沥青也有着良好的适用性。

### 2.3 旧砂石材料性状及其再生适用性

与普通沥青混合料组成机理相同,沥青混凝土路面旧矿料在再生沥青混合料中贡献的依然是级配和强度。所以,应掌握受车辆荷载和环境气候作用几年、甚至十几年的旧矿料性状变化情况,以便对其再生适用性做出判断。

#### 2.3.1 级配特征

旧沥青砂石材料的级配性状直接影响到其再生作为路面结构层的适用性。图3是某一级公路沥青混凝土上面层旧料经破碎直接筛分和抽提沥青后集料筛分的结果对比。

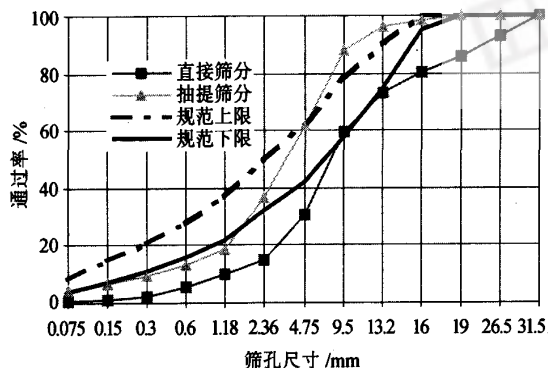


图3 沥青上面层旧料两种筛分结果

从旧料抽提筛分结果可以看出,经过长期交通荷载以及回收破碎的作用,旧沥青粗集料部分细化成细集料,而细集料进一步细化的程度较小,最终粉

料量的变化并不是很明显。由此得出,旧集料级配细化并不严重,骨料级配的本质没有改变,在再生中完全可以通过添加相对较粗的新骨料进行调整,形成合格的沥青混合料级配。

在沥青混凝土路面冷再生中,收集的旧集料直接作为骨料被冷拌。因此,应对旧集料收集状态的表观级配组成状况进行分析,并以此为基础进行冷再生沥青混凝土路面的材料配比设计。显然,由于旧沥青的裹覆结团作用,旧料原样筛分结果比抽提后筛分结果粗很多,但将该级配组成与高等级公路基层级配碎石规范要求相比较,仅细料通过率不满足要求,且偏差较小。因此,针对路面基层,旧料有较好的冷再生适用性。

#### 2.3.2 强度与形状

回收旧骨料的强度和颗粒形状也影响着沥青旧料再生的适用性。表2为广佛高速公路旧骨料的相关检测结果<sup>[4]</sup>。可以看出,除针片状含量偏大外,旧骨料其他指标均满足规范对新骨料的要求。针对细长扁平颗粒含量较多情况,再生时只要添加使用针片状含量小的碎石,即可弥补该缺陷。因此,从强度和颗粒形状方面讲,旧集料也有较好的再生适用性。

表2 回收旧集料的质量检验结果

指标	规范要求	测试值	
		1~2 碎石	0.5~1 碎石
压碎值/%	≤28	21.5	
洛杉矶磨耗损失/%	≤30	22.6	
视密度/(g/cm <sup>3</sup> )	≥2.5	2.658	2.645
吸水率/%	≤2	1.78	1.90
与沥青的粘附性/级	≥4	5	5
细长扁平颗粒含量/%	≤15	18.2	21.3

### 3 沥青混凝土路面再生方法的适用性

沥青混凝土路面的再生利用方法取决于需要再生的路面结构状况、结构层次、层次的材料性状,以及再生成型路面层次的功能、设备状况及经济条件等诸多方面。再生对象不同,使用目的不同,应采用不同的再生方法。

#### 3.1 再生方法及其特点

旧沥青混凝土路面的再生,是指将不能满足路用要求的旧沥青混凝土路面,通过混合新组分或受热整型等方式,重新铺筑成为新的沥青混凝土路面结构层。按照再生路面组成材料的拌和温度及拌和



地点,可将沥青混凝土路面再生方法分为厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生和就地冷再生等 4 类。

3.1.1 厂拌热再生

厂拌热再生,是将旧沥青混凝土路面面层,经过翻挖、铣刨,回收集中到再生拌和厂,根据需要进行破碎筛分预处理,再掺入一定比例的新骨料、新沥青、再生剂等,用改装的或特制的再生沥青混凝土搅拌设备进行加热拌和后,运至施工现场,热铺成为新的沥青混凝土路面结构层。

在厂拌热再生方法中,因添加了新骨料、新沥青和再生剂等新组分,故应针对再生沥青混合料拟用层面进行专门的材料性能配比设计,同时也应进行相应的拌制及摊铺工艺设计。因此,沥青混凝土层的重铺也可以和新路施工一样,分别按下面层、中面层和上面层(磨耗层)的不同技术要求进行。

3.1.2 就地热再生

就地热再生,是将旧沥青混凝土路面上面层,经过表面加热、翻松铣刨,并根据情况掺入一定比例的新沥青、再生剂和新骨料等,利用移动式现场拌和设备进行加热拌和,热铺成为新的沥青混凝土路面面层。

可以看出,就地热再生针对的是沥青混凝土路面表面层,对表面层进行性能恢复、整型,改善沥青混凝土路面包括排水性能的功能性服务性能。根据待再生路面的病害特点和设计要求,可以采用的就地热再生技术方案有 4 种:整型、重铺、复拌和复拌+罩面。

3.1.3 厂拌冷再生

厂拌冷再生,是指将旧沥青混凝土路面面层或基层,经过翻挖、回收、破碎、筛分,再掺入一定比例的新粘结剂(乳化沥青、泡沫沥青、水泥等)、新骨料等,利用工厂拌和设备进行冷态拌和,铺筑成为新的沥青混凝土路面结构层。

沥青混凝土路面的冷再生是在自然环境温度下完成沥青混凝土路面的翻挖、破碎、新材料的添加、拌和、摊铺及压实成型,重新形成路面结构层的一种工艺方法。由于粘结剂是在冷态状态下拌和形成,其分布均匀性和粘附性并不理想,与粒料的粘结性也相对较差。所以,厂拌冷再生混合料主要用于沥青混凝土路面基层、底基层的铺筑,也可用于已铺好碎石和喷好油的低等级路面面层。

3.1.4 就地冷再生

就地冷再生,是将旧沥青混凝土路面面层或基层,经过冷破碎、翻松,掺入一定比例的新粘结剂(乳

化沥青、水泥、泡沫沥青等)、新骨料(当路面的沥青含量太高或是需要改善骨料的级配时),利用现场移动式拌和设备在需要再生的路面上进行冷态拌和施工,铺筑成为新的沥青混凝土路面结构层。

沥青混凝土路面的就地冷再生也是在自然环境温度下完成沥青混凝土路面的翻挖、破碎、新材料的添加、拌和、摊铺及压实成型等工艺。同样的原因,就地冷再生混合料也主要用于沥青混凝土路面基层、底基层的铺筑,其上面一般要进行沥青混合料面层的铺筑。

3.2 不同结构层的再生利用

能够处理的路面层面由现场(铣刨)设备与再生拌和设备搅拌工艺所决定。根据不同再生方法的设备、工艺特点,总结得到不同再生方法能够处理的路面层面如表 3 所示,按适用性程度依次为能、一般、不能。

表 3 不同再生方法能够处理的沥青混凝土路面层面

再生方法	表面沥青混凝土层	沥青混凝土路面面层	半刚性基层	低等级沥青混凝土路面基层
厂拌热再生	能	能	不能	不能
厂拌冷再生	能	能	能	不能
就地热再生	能	一般	不能	不能
就地冷再生	一般	一般	能	一般

3.3 再生形成的结构层

依据沥青混凝土路面不同再生方法和工艺水平,结合沥青混凝土路面结构与材料构成特点,分析得出不同再生方法能够再生形成的沥青混凝土路面层面,见表 4。

表 4 不同再生方法能够再生形成的沥青混凝土路面层面

再生方法	表面沥青混凝土层	沥青混凝土路面面层	高等级沥青混凝土路面基层	低等级沥青混凝土路面基层
厂拌热再生	一般	能	能 (柔性基层)	—
厂拌冷再生	不能	不能	能	能
就地热再生	一般	能	—	—
就地冷再生	不能	不能	一般	能

4 结语

(1)在沥青流变指标、耐老化性和骨料性状等方

面,高等级公路沥青混凝土路面材料有良好的再生适用性。沥青混凝土路面再生时,应根据旧料再生机理,选用适宜的再生工艺,以达到应有的再生效果。

(2)不同再生方法和工艺有不同的要求和特点,对不同沥青混凝土层面有不同的针对性;同时,不同的沥青混凝土路面结构组合和材料性状,也有不同的再生方法适用性。

#### 参考文献:

- [1] Monismith C L, Brown S F. Developments in the Structural Design and Rehabilitation of Asphalt Pavements over Three Quarters of a Century [R]. AAPT, 1997.
- [2] 邓学钧,黄晓明. 路面设计原理与方法[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 吕伟民,严家俊. 沥青路面再生技术[M]. 北京:人民交通出版社,1989.
- [4] 王欣,何文锋,刘先森. 旧沥青路面混合料检测及其性能评价[J]. 广东公路交通,2003,(3).
- [5] 李强. 水泥稳定废旧沥青混合料用于路面基层(底基层)的研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士论文,2002.
- [6] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海:同济大学出版社,2001.

## Recycling Applicability of Asphalt Concrete Pavement for High-Type Highways

LI Hai-jun, LIN Guang-ping, HUANG Xiao-ming

(Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** To counter the high-type asphalt concrete pavement materials and structure characteristics, the recycled mechanism of different asphalt concrete pavement lays and materials is analyzed according to the different craft characteristic of the recycled methods on asphalt concrete pavement, and the applicability appraisal of the asphalt concrete pavement recycling is also carried out on the basis of the old pavement material and recycling craft method.

**Key words:** pavement engineering; asphalt concrete surface course; recycling; applicability

### 广西高速公路网规划通过评估

2004 年~2030 年《广西高速公路网规划》通过专家的评估。根据专家建议,该《规划》经适当修改、完善报自治区政府批准后将作为今后广西高速公路网规划和建设的指导性文件。

该《规划》是广西交通厅在国家高速公路网规划的基础上,根据广西经济发展和城市布局的需要,考虑建立中国—东盟国际大通道和泛珠三角经济区交通需求,对各路线的走向,主要控制点,与邻省的接线方案及需要城市的过境及相互衔接方案,提出了广西高速公路网的建设目标、建设序列、资金需求、资金能力和措施等。

《规划》范围包括纳入国家高速公路网的路线和广西地方高速公路路线,广西行政区域范围的所有高速公路,期限以 2004 年为基年,目标年为 2030 年。

广西交通厅以国家高速公路网在广西的“二纵四横”为主体,以适应广西城镇体系规划为重点,根据广西壮族自治区经济社会发展和适应广西自治区城镇体系规划“一个区域中心城市和七轴、四群、四带”发展格局,建设“四纵六横”的布局方案,将目标规划为以省会南宁为中心,以放射线路布局实现省会便捷连接周边省会的省际高速公路通道 13 个,其中广东 5 个、湖南 3 个、贵州 3 个、云南 2 个以及连接重要港口、国家一类口岸、邻国首都等的高速公路 4 条。20 万人口以上的城市、县城由高速公路便捷连通,6.8%以上县城高速公路行驶时程不超过 30 min。规划总里程为 5 353 km,其中列入国家高速公路网 3 432 km,广西地方高速公路 1 921 km,于 2030 年全部建成。