

第9章 水泥混凝土路面

9-1 水泥混凝土路面构造

9-1-1 路面构造和要求

水泥混凝土路面构造及基本要求

表 9-1

项 目	内 容 和 要 求
路面构造的组成部分	<p>竖向构造</p> <p>由位于土基之上的水泥混凝土面层以及基层、垫层(底基层)等路面结构层构成。结构层各层的材料、厚度根据土基和垫层、基层、水泥混凝土路面板各层的功能、强度要求,以及当地自然条件、工程地质情况确定。</p> <p>为便于施工,混凝土路面板一般采用等厚度横断面。混凝土路面横坡一般采用1%~2%,潮湿多雨地区宜取较大值;如横断面采用折线型,则中间取较小值,两边取较大值。机场水泥混凝土道面横坡一般采用5%~10%。</p>
	<p>平面构造</p> <p>为限制因温度、湿度变化引起的混凝土路面板内应力,混凝土路面面层划分为一定尺寸的板块。为防止雨水的渗入和加强板块之间的联系,混凝土板块之间做成各种类型的接缝并进行封缝</p>
	<p>连接构造</p> <p>为保证混凝土路面与其它结构物连接处结构可靠过渡平顺,在与沥青路面、桥梁、过路结构物以及交叉口的分块接缝布置,均需采用一定的连接构造措施</p>
构造的基本要求	<p>路面厚度</p> <p>各结构层次的材料质量、尺寸均需符合设计和有关规范的规定,并且需同时满足按设计、使用经验规定的最小厚度值(例如水泥混凝土板最小厚度为18cm),以及按选用的材料规格和施工工艺要求规定最小厚度值(例如上海市目前的砾石砂尺寸偏大垫层的最小厚度为15cm)</p>
	<p>面层</p> <p>面层水泥混凝土板应具有较高的强度,且耐磨、耐久,冰冻地区应耐冻。</p> <p>混凝土面层应平整,并具有一定的粗糙度(详见第14章)</p>
	<p>基层</p> <p>基层应平整、坚实,保证混凝土面层有良好的连续支承(不脱空)。同时,基层还需为铺混凝土路面板时运料车、混凝土摊铺机具的行驶和作业以及模板的支设创造条件。如施工时有半幅施工半幅通车的需求时,应再按通车要求进行验算;通车后,混凝土面层浇筑前,基层需进行修复,使符合设计要求</p>
	<p>垫层</p> <p>垫层应有一定的强度和水稳定性,冰冻地区应耐冻并使路面结构的总厚度满足防冻最小厚度要求。同时,垫层还需为基层的铺筑压实创造条件</p>
	<p>混凝土板块划分</p> <p>混凝土板块的划分需尽可能避免轮子压着接缝或沿着板边紧靠接缝行驶,板块的大小宜接近20m²左右,不过大或过小,板长与板宽的尺寸宜较为接近,不得出现窄长板。</p> <p>连接构造宜使不同类型结构物的沉降差异、刚度差异有一个平顺的过渡,且结构牢固</p>

9-1-2 路面的竖向构造

水泥混凝土路面结构层的构造和要求

表 9-2

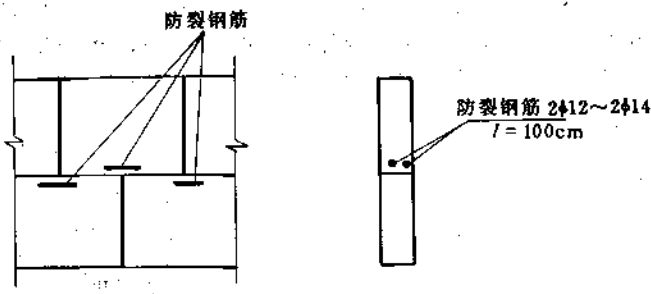
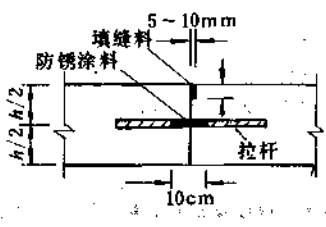
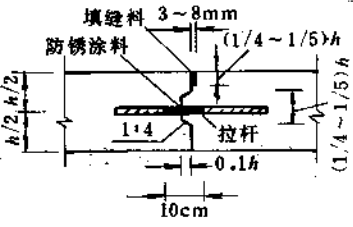
项 目	结 构 层 的 构 造 和 要 求		
水 泥 混 凝 土 路 面 面 层 要 求	基本概念	面层是整个路面结构的上层,直接承受车辆和大气的的作用,并与周围环境协调,它承受车轮荷载的竖向力、水平力、冲击力和轮胎真空抽吸力的作用,以及大气温度、湿度变化的影响,是最直接地反映路面行驶品质和路容的层次	
	强 度	混凝土路面板应具有较高的强度,其 28d 龄期的抗折强度应达到下列要求:	
		交通量等级	使用初期一个车道的标准轴载日作用次数
		特 重	$>1\ 500$
		重	$200 \sim 1\ 500$
		中 等	$5 \sim 200$
		轻	≤ 5
	注:标准轴载为 100kN		
	耐 磨	混凝土板应耐磨,除在强度上应满足以上要求外,在施工时需注意混凝土的配合比使表层的浮浆在 0.5~1cm 左右,并保证做面质量	
	耐 久 性	混凝土板应具有足够的耐久性,一般混凝土的单位体积水泥用量和最大水灰比值需符合表 9-11 规定	
	厚 度	混凝土板应具有足够的厚度,其厚度由设计确定。混凝土板强度高、刚度大,有较大的承受荷载、扩散荷载能力,其厚度与车辆荷载情况密切相关,例如,上海浦东新区的杨高路,连接延安东路隧道的延安东路、陆家嘴路、沪太一级公路等的混凝土路面板的厚度均为 24cm;上海杨浦区的军工路、沪南二级公路亭枫二级公路等均为 22cm;县乡公路、城市支路则一般为 20cm 左右,混凝土板的最小厚度为 18cm	
	表面性能	混凝土板应平整,并具有一定的粗糙度(详见表 9-29)	
路面基层的要求	基本概念	基层是水泥混凝土板与垫层或土基之间的结构层。水泥混凝土强度高、刚度大,无需基层起主要承重层作用(经验认为增厚 5cm 半刚性基层仅相当于 1cm 水泥混凝土面层),但混凝土板为弹性模量大,容许变形很小的脆性材料,因此,强调基层(或包括基层顶面以下的整个地基)为脆性混凝土板提供良好的支承条件	
	基本要求及相应的基层类型	水泥混凝土板下的基层应断面正确、平整、坚实、抗变形的能力强、整体性好并耐冲刷。基层材料应根据交通等级、当地条件和经济等因素选用贫混凝土、沥青混合料、水泥稳定土、石灰稳定工业废渣、级配碎石、级配砾石、填隙碎石、石灰稳定土等,其技术要求参见第 11 章。我国近些年来基层多采用水泥稳定砂砾、石灰稳定工业废渣等,效果良好。石灰稳定土和其它非整体型基层不适宜用于重交通道路以及冰冻地区的潮湿路段和其它地区的过湿路段。国外,由于轴载增加,交通频繁,为使水泥混凝土板下的基层能耐高速水流的冲刷侵蚀,而趋向于采用水泥剂量高的半刚性基层、低标号混凝土和多孔排水混凝土基层	

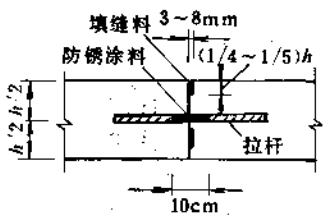
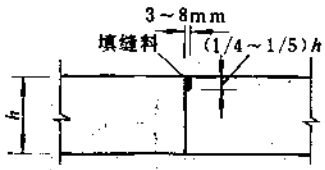
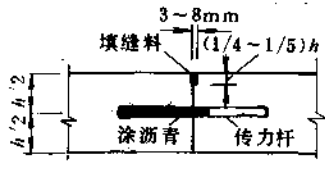
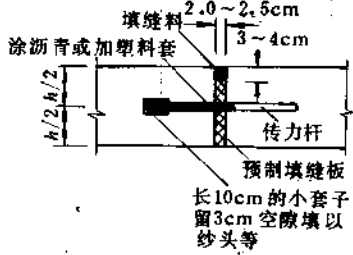
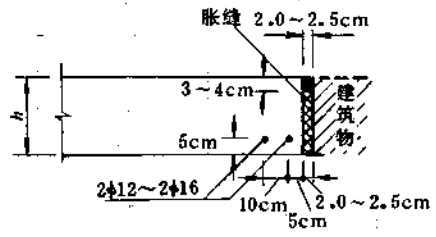
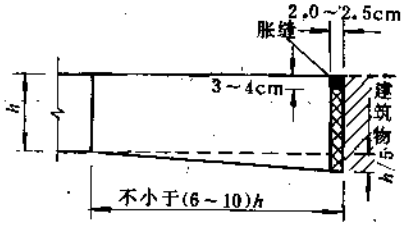
项 目		结 构 层 的 构 造 和 要 求				
路 面 基 层 的 要 求	基 层 顶 面 回 弹 模 量	基层顶面的当量回弹模量 E_t 值不得低于下列规定值:				
		交通量等级	特重	重	中等	轻
		当量回弹模量 E_t (MPa)	120	100	80	60
		基层顶面的当量回弹模量 E_t 值可根据设计的基层、垫层的设计厚度、计算回弹模量值和土基的计算回弹模量值计算确定。也可以在建成的或原有的道路上通过承载板试验确定;如条件不具备可用汽车实测基层顶面的回弹弯沉值并按测定条件确定计算回弹弯沉值,按下式确定基层顶面的当量回弹模量 E_t 值				
		公 式		说 明		
	$E_t = \frac{13739}{l_0^{1.04}}$		E_t ——基层顶面的当量回弹模量值(MPa); l_0 ——以黄河 JN—150 车测得的计算回弹弯沉值 $\left(\frac{1}{100}\text{mm}\right)$ 。			
厚度 宽度	基层的厚度由设计确定,但其最小厚度应大于或等于 15cm。其宽度应比混凝土板每侧至少宽出 25~35cm					
岩石路面上设平整层	岩石路面上铺筑水泥混凝土板时,应根据需要设置石屑、碎石、砂砾等平整层。平整层的厚度一般为 6~10cm					
路 面 垫 层 的 要 求	基本概念	垫层是介于基层和土基之间的结构层。垫层一般设置在水温状况不良的路段				
	垫层用料	应有一定的强度和水稳定性,在冰冻地区尚需具有较好的抗冻性。按垫层的作用可分为排水层、隔离层、防冻层等,而对垫层的材料要求有所区别。 垫层材料以就地取材为原则,可采用颗粒材料(砂、砂砾、炉渣等)、石灰土和水泥土等				
	厚度 宽度	垫层厚度由设计确定,但其最小厚度应大于或等于 15cm。其宽度应比基层每侧至少宽出 25cm				
	季节性冰冻区的防冻垫层	季节性冰冻地区应设置防冻垫层,使路面结构的总厚度不小于水泥混凝土路面防冻最小厚度的规定值(见表 7-12)				

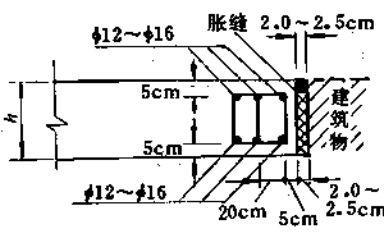
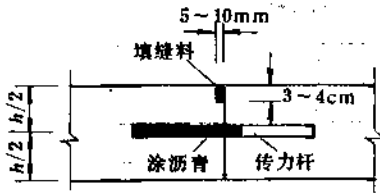
9-1-3 路面的平面构造

水泥混凝土路面平面构造和要求

表 9-3

项 目	平 面 构 造 的 内 容 和 要 求		
水泥混凝土路面板的分块	板的形状	<p>混凝土板一般采用矩形。划分板块的纵向接缝和横向接缝一般为垂直相交,其纵缝两侧的横缝应对齐,不得错位。在不得已情况出现错位时,与接缝相对的板边应加设防裂钢筋,见下图:</p> 	
	板宽	混凝土板宽度(纵缝间距)通常可等于车道宽度,且最大宽度宜不大于 4.5m	
	板长	<p>混凝土板长度(横缝间距)根据当地气候条件、板厚和经验确定,一般采用 4~5m,最大不得超过 6m。 [日]吉本彰调查使用 13~20 年老路裂缝的资料认为板长 L 与板厚 h 的关系在填方路段宜 $L(m) \leq 0.26h(cm)$,在挖方路段宜 $L(m) \leq 0.23h(cm)$。 [美]罗伯特·霍隆杰夫资料认为板长 L 与板厚 h 的大致规律为 $L(ft) \leq 2h(in)$,亦即 $L(m) \leq 0.24h(cm)$。 上海曾做过 4m×6m 的混凝土板,使用效果良好,目前常用的板块尺寸是 3.75m×5m</p>	
水泥混凝土路面接缝	类型	构造简图	说 明
	纵向施工缝		一般采用平缝。也曾采用过企口缝,此时板厚应大于 20cm,拆模须细致,防止企口损伤
	企口缝加拉杆型		

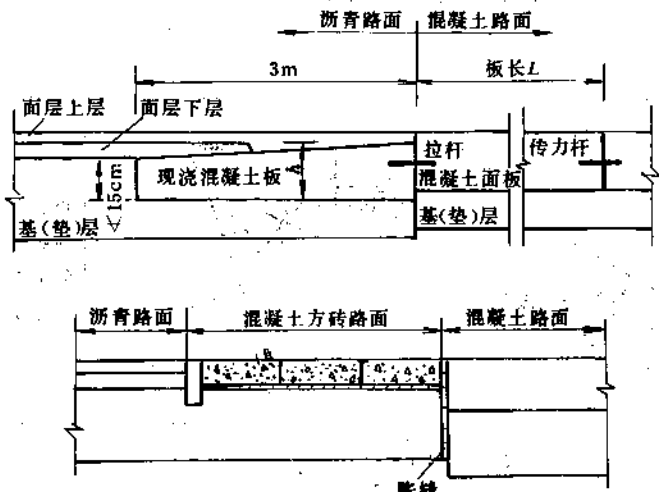
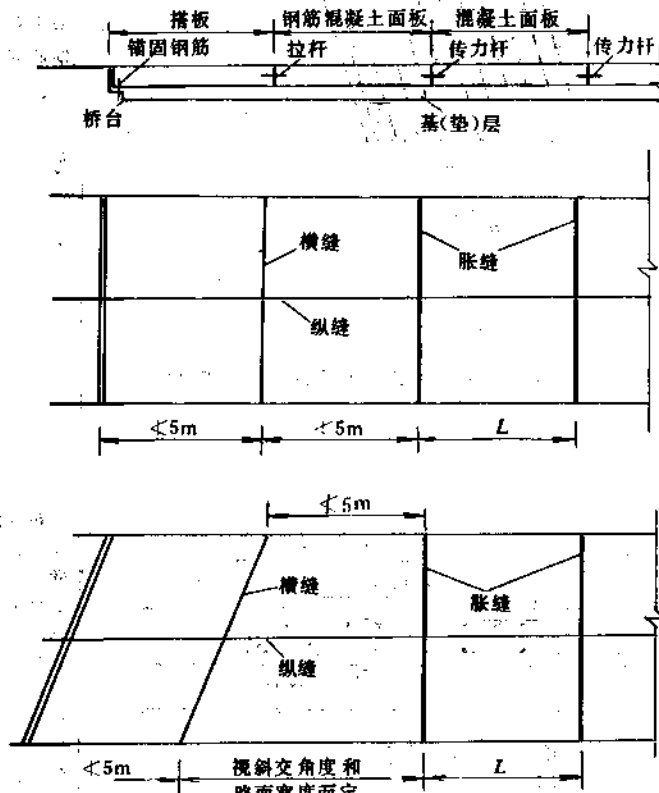
项 目	平面构造的内容和要求		说 明
水 泥 混 凝 土 路 面 接 缝	纵向 缩 缝	<p>类型: 假缝加拉杆型</p> 	<p>道路一侧二块板一次浇筑时,其中间的一条纵缝为纵向缩缝;边沿的二条纵缝则为纵向施工缝。</p> <p>为防止纵缝拉开,应采用假缝加拉杆型</p>
		<p>类型: 假缝型</p> 	<p>常用假缝型。</p> <p>在邻近胀缝或路面自由端部的三条缩缝内,均宜在板厚中央加设传力杆。</p>
	纵向 缩 缝	<p>类型: 假缝加传力杆型</p> 	<p>特重交通道路宜采用假缝加传力杆型</p>
	横 向 胀 缝	<p>类型: 传力杆(滑动)型</p> 	<p>胀缝宜尽量少设或不设。但在邻近桥梁或其它构筑物处、与沥青路面相接处、板厚改变断面处、隧道口、小半径平曲线、竖曲线处均应设置胀缝。</p>
		<p>类型: 边缘钢筋型</p> 	<p>与结构物或沥青路面相接时,在水泥混凝土路面端部的二条或三条横缝均应设置胀缝。</p>
		<p>类型: 厚边型</p> 	<p>夏季施工,板厚大于或等于20cm时可不设胀缝。其它季节施工或采用膨胀性大的骨料时,宜设胀缝,其间距一般为100~200m</p>

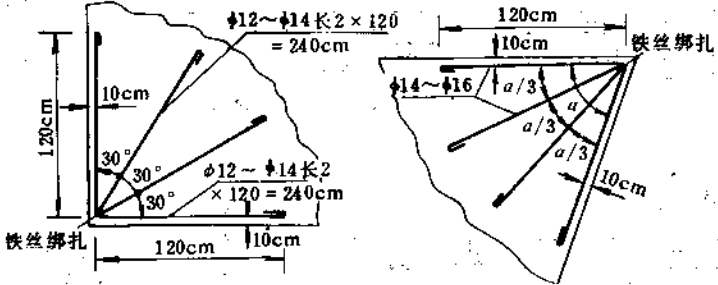
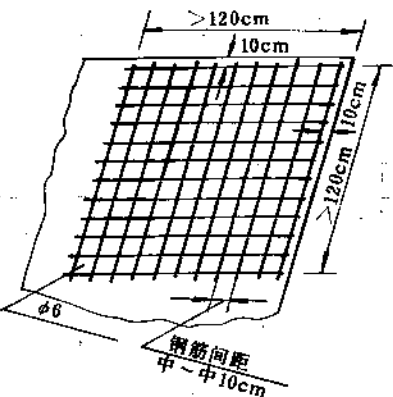
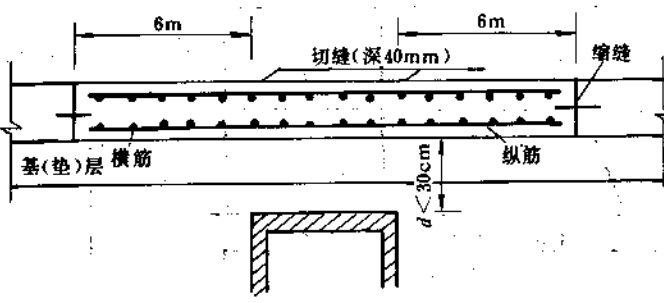
项 目		平 面 构 造 的 内 容 和 要 求				
水 泥 混 凝 土 路 面 接 缝	类型	构 造 简 图				说 明
	鼠笼式钢筋骨架型					鼠笼式钢筋骨架型构造,是边缘钢筋型构造的变型,上海、江苏、浙江等地均有所应用。左图引自《军用机场水泥混凝土道面设计规范(GJB 1278-91)》
	横向胀缝					施工结束或中断时设置。其位置宜设在胀缝或缩缝处。设在胀缝处构造同胀缝;设在缩缝处构造如左图
	缩缝处平缝加传力杆型	传力杆(滑动)型或鼠笼式钢筋骨架型,构造图同横向胀缝				
拉杆的尺寸及间距的规定(JTJ 012-94)	板宽(m)	板厚(cm)	直径(mm)	最小长度(cm)	最大间距(cm)	拉杆应采用螺纹钢筋并设于板厚中央。最外边的拉杆距接缝或自由边的距离应不大于 35cm。拉杆中间 10cm 范围内应涂防锈涂料。 拉杆的尺寸及间距系采用钢筋容许应力 $\sigma_s = 160\text{MPa}$, 钢筋同混凝土的容许粘结应力 $Z_R = 1.8\text{MPa}$, 混凝土板底与基层间的摩擦系数 $f = 1.5$ 计算而得
	3.00	≤ 20 21~25 26~30	12 14 16	60 70 80	90 90 90	
	3.50	≤ 20 21~25 26~30	12 14 16	60 70 80	80 80 80	
	3.75	≤ 20 21~25 26~30	12 14 16	60 70 80	70 70 70	
	4.50	≤ 20 21~25 26~30	12 14 16	60 70 80	60 60 60	
传力杆的尺寸及间距的规定(JTJ 012-94)	板厚(cm)	直径(mm)	最小长度(cm)	最大间距(cm)	传力杆一般采用圆钢筋,长度的一半再加 5cm 应涂沥青或再加小套子	
	≤ 20	20	40	30		
	21~25	25	45	30		
	26~30	30	50	30		

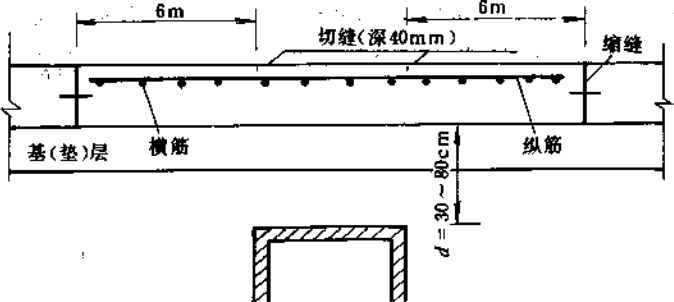
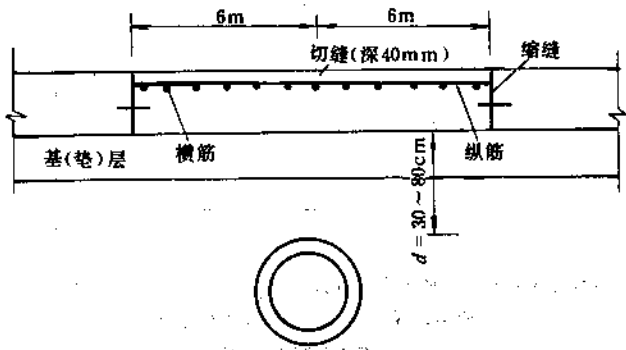
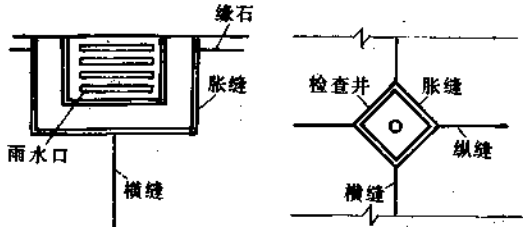
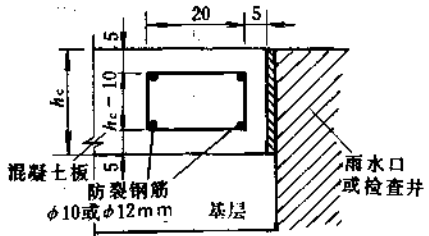
9-1-4 路面的连接构造

水泥混凝土路面连接构造和要求

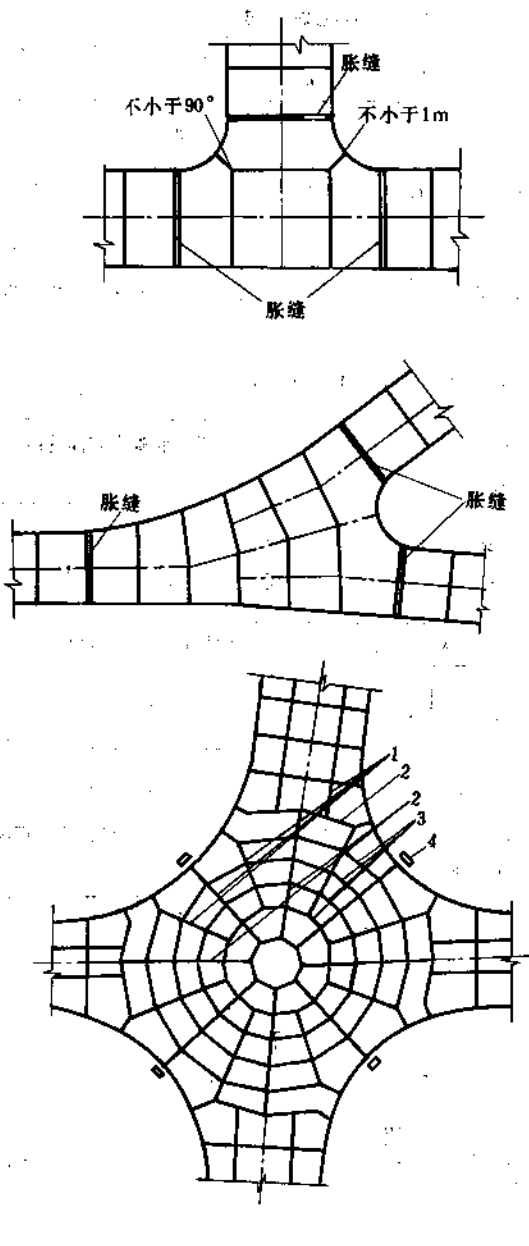
表 9-4

项 目	连接构造示例和有关构造措施	说 明
水泥混凝土路面与沥青路面相接		<p>水泥混凝土路面与沥青路面相接处,应考虑其刚度差异,沉降差异,使其平顺过渡,结构可靠,可参考左图示例构造措施过渡。上图适用于行车速度高的高级道路,下图适用于一般道路</p>
水泥混凝土路面与桥梁相接	<p>桥头设置搭板和钢筋混凝土面板</p> 	<p>搭板与混凝土面板间用钢筋混凝土面板过渡,其长度不小于5m。搭板与钢筋混凝土面板间的接缝设拉杆。钢筋混凝土面板与混凝土面板间的接缝为胀缝。桥梁为斜交时,钢筋混凝土面板的锐角部分采用钢筋网补强</p>

项 目	连接构造示例和有关构造措施	说 明
砌块或沥青路面过渡	<p>对于等级较低的道路,或作为高等级道路的过渡措施,桥头可铺筑一段混凝土预制砌块或沥青路面。当桥头设搭板时,其长度一般不小于5m;当桥头未设搭板时,其长度一般不小于8m</p>	
水泥混凝土路面与桥梁相接	<p>发针型钢筋补强布置</p> 	<p>角隅部分补强,可选用2根直径12~16mm的螺纹钢筋,布置在板的上部,距板顶不应小于5cm,距板边一般为10cm</p>
钢筋网补强布置		<p>板呈锐角形时,亦可采用双层钢筋网补强,钢筋可选用直径6mm,布置在板的上、下部,距板顶和板底以5~10cm为宜</p>
箱状构造物横穿道路	<p>箱状构造物如箱涵、通道等顶面标高与混凝土路面标高相同时,可参照水泥混凝土与桥梁相接情况处理。</p> 	<p>箱状构造物顶面距混凝土板底小于30cm或嵌入基层时,可采用双层钢筋网补强如左图。钢筋网分别布设于距板底和板顶1/3~1/4板厚处。钢筋为φ10~12mm,纵筋间距10cm,横筋间距20~30cm。如构造物顶面上基层厚度小于10cm,则该部分基层改为混凝土找平</p>

项 目	连接构造示例和有关构造措施	说 明
箱状构造物横穿道路		<p>当构造物顶面距混凝土板底为 30~80cm 时,可采用单层钢筋网补强,如左图。钢筋网布设在距板顶 1/3~1/4 板厚处。钢筋为 $\Phi 8 \sim 10\text{mm}$,纵筋间距 10~15cm,横筋间距 20~30cm</p>
管状构造物横穿道路		<p>当管状构造物的顶部距混凝土板底的距离 d 为 30~80cm 时,可如左图采用单层钢筋网补强,钢筋网布置在距板顶 1/3~1/4 板厚处。钢筋为 $\Phi 8 \sim 10\text{mm}$,纵筋间距 10~15cm,横筋间距 20~30cm。 d 小于 30cm 时,参照箱状构造物处理,用双层钢筋网补强</p>
与雨水口及检查井布置		<p>混凝土路面中的雨水口及各种检查井应设置胀缝与混凝土板完全隔开,并在其周围加设防裂钢筋。防裂钢筋采用 4 根直径 10mm 或 12mm 的钢筋</p>
防裂钢筋布置		<p>混凝土板的边缘距雨水口或检查井的最近边缘应大于或等于 1.5m</p>

项 目		连 接 构 造 示 例 和 有 关 构 造 措 施	说 明												
钢 筋 混 凝 土 板	板 厚	1. 钢筋混凝土板用于上述过路结构物相接处,也可用于水泥混凝土路面板尺寸较大或形状不规则、土质不均匀处,其板厚与其相接的素混凝土板相同	钢筋混凝土板中设置钢筋的目的在于使开裂的板拉束在一起控制裂缝张开宽度,故与其毗连的素混凝土板厚度相同												
	配 筋 计 算	2. 配筋计算。按混凝土收缩时把板块拉束在一起所需的拉力确定,如下式: $A=\frac{3 \cdot 2L_s h}{f_{sy}}$	A ——每延米板所需的钢筋面积(cm^2); L_s ——计算纵向钢筋时,为横缝间距(m);计算横向钢筋时为纵缝间距或纵缝与自由边之间的距离(m); h ——混凝土面板厚度(cm); f_{sy} ——钢筋的屈服强度(MPa)												
	钢 筋 布 置	3. 钢筋布置。纵、横向钢筋宜采用相同的直径。钢筋网的最小间距应为集料最大粒径的2倍。钢筋的最大间距和最小间距,一般规定如下表。钢筋的搭接长度宜大于其直径的25倍。钢筋应设在板面下1/3~1/2板厚范围内,外侧钢筋中心距接缝或自由边的距离为10~15cm。钢筋保护层的最小厚度应不小于5cm。 <table><tr><th>钢筋类型</th><th>普通钢筋</th><th>螺旋钢筋</th></tr><tr><td>最小直径(mm)</td><td>8</td><td>12</td></tr><tr><td>纵向最大间距(cm)</td><td>15</td><td>35</td></tr><tr><td>横向最大间距(cm)</td><td>30</td><td>75</td></tr></table>	钢筋类型	普通钢筋	螺旋钢筋	最小直径(mm)	8	12	纵向最大间距(cm)	15	35	横向最大间距(cm)	30	75	为避免板中应力集中,采用小直径的钢筋比大直径的钢筋应力分散,效果较好
	钢筋类型	普通钢筋	螺旋钢筋												
最小直径(mm)	8	12													
纵向最大间距(cm)	15	35													
横向最大间距(cm)	30	75													
钢 筋 屈 服 强 度	4. 钢筋的屈服强度,可按下表选用; <table><tr><th>钢筋种类</th><th>屈服强度(MPa)</th></tr><tr><td>I级(Q235)</td><td>235</td></tr><tr><td>II级(20MnSi、20MnNb) $d < 25\text{mm}$ $d \geq 28\text{mm}$</td><td>335 315</td></tr><tr><td>III级(25MnSi)</td><td>370</td></tr><tr><td>IV级(40SiMnV、45SiMnV、45SiMnTi)</td><td>540</td></tr></table>	钢筋种类	屈服强度(MPa)	I级(Q235)	235	II级(20MnSi、20MnNb) $d < 25\text{mm}$ $d \geq 28\text{mm}$	335 315	III级(25MnSi)	370	IV级(40SiMnV、45SiMnV、45SiMnTi)	540				
钢筋种类	屈服强度(MPa)														
I级(Q235)	235														
II级(20MnSi、20MnNb) $d < 25\text{mm}$ $d \geq 28\text{mm}$	335 315														
III级(25MnSi)	370														
IV级(40SiMnV、45SiMnV、45SiMnTi)	540														

项 目	连接构造示例和有关构造措施	说 明
交 叉 口 的 分 块 和 接 缝 布 置	 <p>1-纵缝 2-胀缝 3-缩缝 4-进水口</p>	<p>交叉口混凝土板块划分和接缝布置时注意事项:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 与交通流向相适应,给驾驶顺适的感觉; 2. 考虑排水流畅,避免坡度剧变; 3. 整齐美观,施工方便; 4. 混凝土板角不宜小于90°,当不得已出现锐角时也应尽量接近90°,并使之处于非重要行车部位; 5. 混凝土板最短边长应大于1m; 6. 当接缝为曲线时,混凝土板边长不宜过长; 7. 基本板块面积宜接近20m²,板长与板宽尺寸宜较为接近,不出现窄长板; 8. 避免轮子压着接缝或紧靠接缝行驶; 9. 各接缝应相对应,一般不得出现错缝; 10. 受力方向复杂处,宜设置胀缝释能。 <p>左图示例可供交叉口分块接缝布置参考</p>

9-2 配制混凝土的用料要求

9-2-1 水泥选用要求

水泥选用要求

表 9-5

项 目		内 容 和 要 求	
基 本 要 求	强度	强度高。混凝土板反复承受行车荷载和温度梯度、湿度梯度的弯曲作用,要求有较高的抗折(抗弯拉)强度和疲劳抗折强度	
	收缩性	收缩性小。混凝土在露天工作,需承受剧烈的温度、湿度变化而不致引起收缩裂缝	
	耐磨性	耐磨性强。混凝土承受车轮的反复作用,需有较高的耐磨性	
	抗冻性	抗冻性好。水冻结成冰,体积膨胀 9%,在季节性冰冻地区要求混凝土有高的耐冻性以抵抗冻融的循环作用	
品 种	可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和道路硅酸盐水泥。中等及轻交通的路面,也可以采用矿渣硅酸盐水泥。使用矿渣硅酸盐水泥时应严格控制用水量,适当延长搅拌时间,加强养护工作		
标 号	各级交通路面适用的水泥标号(JTJ 012-94)		
	交通等级	水泥标号	说 明
	特重	525	宜不低于左列规定
	重、中等、轻	425	
注 意 事 项	1. 水泥的物理性能和化学成份应符合国家有关标准的规定。水泥进场时,应有产品合格证及化验单。并应对品种、标号、包装、数量、出厂日期等进行检查验收。 2. 不同标号、厂牌、品种、出厂日期的水泥,不得混合堆放,严禁混合使用。出厂期超过三个月或受潮的水泥,必须经过试验,按其试验结果决定正常使用或降级使用。已经结块变质的水泥不得使用		

9-2-2 用砂选择

用砂选择

表 9-6

项 目	内 容 和 要 求
基本要求	砂(或石屑)应质地坚硬、耐久、洁净,符合规定级配,细度模数宜在 2.5 以上
细度模数 M_x 计算	<p>细度模数 M_x 是各号筛的累计保留量之和除以 100 之商,按下式计算: $M_x = \frac{\sum A_i}{100} = \frac{1}{100} (A_{10} + A_5 + A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.15})$</p> <p>式中: A_{10}、A_5、$A_{2.5}$、……$A_{0.15}$ 为 10、5、2.5、……0.15 号筛的累计保留量,以质量%计。</p> <p>$M_x = 3.1 \sim 3.7$ 为粗砂; $M_x = 2.3 \sim 3.0$ 为中砂; $M_x = 1.6 \sim 2.2$ 为细砂; $M_x = 0.7 \sim 1.5$ 为特细砂</p>

项 目	内 容 和 要 求							
技 术 要 求	细集料(天然砂或石屑)应符合下表技术要求(JTJ 012-94):							
	检 验 项 目				技 术 要 求			
	颗 粒 级 配				符 合 标 准 级 配 范 围			
	含泥量(冲洗法)(%)				≤3			
	硫化物及硫酸盐含量[折算为 SO ₃ (%)]				≤1			
	有机物含量(比色法)				不深于标准色			
标 准 级 配 范 围	细集料颗粒级配应符合标准级配范围(JTJ 012-94)							
	级配分区	筛 孔 尺 寸 (mm)						
		圆 孔			方 孔			
		10	5	2.5	1.25	0.60	0.30	0.15
		通过百分率(以质量百分数计)						
	I 区	100	90~100	65~95	35~65	15~29	5~20	0~10
	II 区	100	90~100	75~100	50~90	30~59	8~30	0~10
	III 区	100	90~100	85~100	75~90	60~84	15~45	0~10
注:I区基本属于粗砂,配制混凝土时内摩阻力大,保水性差,不易捣实成型,需采用较大的砂率。II区为中砂和一部分偏粗的细砂组成,系一般常用砂。III区为细砂和一部分偏细的中砂组成,宜采用较小的砂率。								

9-2-3 碎(砾)石选用要求

碎(砾)石选用要求

表 9-7

项 目	内 容 和 要 求			
基本要求	碎(砾)石应质地坚硬、耐久、洁净,符合规定级配,最大粒径不应超过 40mm			
技 术 要 求	检 验 项 目		技 术 要 求	
			碎 石	砾 石
	颗粒级配		符合标准级配范围	
	石料强度等级		≥3 级	≥3 级
	空隙率(%)		—	≤45
	压碎指标值(%)	水成岩	13~16	14~16
		变质岩或深成的火成岩	16~20	
		浅成的或喷出的火成岩	21~30	
	针、片状颗粒含量(%)		≤15	≤15
	软弱颗粒含量(%)		—	≤5
	硫化物及硫酸盐含量(折算为 SO ₃)(%)		≤1	≤1
	含泥量(冲洗法)(%)		≤1	≤1
	有机物含量(比色法)		—	不深于标准色
注:压碎指标值中,接近低值者适用于设计抗折强度较高的混凝土;接近高值者适用于设计抗折强度较低的混凝土。本表引自 JTJ 012-94。				

续上表

项 目	内 容 和 要 求									
标 准 级 配 范 围	粗集料颗粒级配应符合标准级配范围(JTJ012-94)									
	级配类型	粒 径 (mm)	筛孔尺寸(圆孔)(mm)							
			40	30	25	20	15	10	5	2.5
			通过百分率(以质量百分数计)							
	连 续	5~40	95~100	55~69	39~54	25~40	14~27	5~15	0~5	
		5~30		95~100	67~77	44~59	25~40	11~24	3~11	0~5
		5~20				95~100	55~69	25~40	5~15	0~5
	间 断	5~40	95~100	55~69	39~54	25~40	14~27	14~27	0~5	
		5~30		95~100	67~77	44~59	25~40	25~40	3~11	0~5
		5~20				95~100	25~40	25~40	5~15	0~5

9-2-4 拌制及养生用水要求

拌制及养生用水要求

表 9-8

项 目	内 容 和 要 求	
基本要求	清洗集料、拌和混凝土及养生所用的水,不应含有影响混凝土质量的油、酸、碱、盐类、糖和有机物等。 饮用水一般均适用于混凝土。 非饮用水经化验合格也可以使用	
非饮用水 化验的有 关技术指 标要求 (JTJ 012-94)	检 验 项 目	技 术 要 求
	硫酸盐含量(按 SO_4 计)	$<2.7 \text{ mg/cm}^3$
	含盐量	$\geq 5 \text{ mg/cm}^3$
	pH 值	>4
	注:对糖、脂肪、植物油等含量虽无具体数量规定,但并非不重要,例如某次混凝土拌制时误用含糖的水,结果导致混凝土混合料如同“豆腐渣”那样,不能凝结。	

9-2-5 混凝土外加剂

混凝土外加剂的选用

表 9-9

使用目的	类 型	用 量 及 使 用 效 果
改善新拌 混凝土流 变性(工作 性)	木质素系 减水剂	木质素系减水剂(简称 M 剂)为普通减水剂,掺入占水泥重量 0.2%~0.3% 的 M 剂,可保持工作性不变,减水 10% 左右
	萘系减 水剂	萘系减水剂为高效减水剂(流化剂、或超塑剂),有 NF(β -萘磺酸甲醛缩合物钠盐)、MF(甲基萘磺酸甲醛缩合物钠盐)、建-1(磺化甲基萘油甲醛缩合物钠盐)等,掺入占水泥重量 0.5% 左右,可大幅度($>12\%$)减少用水量和配制泵送流态混凝土
	水溶性树 脂减水剂	水溶性树脂(密胺树脂)减水剂为磺化三聚氰胺甲醛树脂减水剂的简称,系早强、非引气型高效减水剂,如 SM 等。掺入占水泥质量 0.5%~2.0% 的 SM,可保持工作性不变,减水 20%~27%,混凝土的 1d 强度提高 30%~100%,7d 强度可达到基准混凝土 28d 强度

使用目的	类 型	用 量 及 使 用 效 果
调整混凝土凝结时间	缓凝剂	缓凝剂有羟基酸盐(如酒石酸、柠檬酸、水杨酸等)、多羟基碳水化合物(如糖密、含氧有机酸、多元醇等)、无机化合物(如 Na_3PO_4 、 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 Na_2SO_4 等)。其掺量较少,如糖密为 0.2% 左右,可延缓凝结(1h 以上)、保持工作性、延长放热时间。夏季施工,视需要采用
	早强剂	早强剂有氯化钙,掺量 1.0%~2.0%,须注意对钢筋有锈蚀作用,早期强度可提高 50% 左右;有三乙醇复合早强剂,由三乙醇胺与无机盐(氯化钠、亚硝酸钠、二水石膏、硫酸钠和硫代硫酸钠等)复合而成。例如按水泥质量,0.05% 三乙醇胺+1.0% 亚硝酸钠+2% 二水石膏配制的复合剂对钢筋无锈蚀,可提高早期强度 40% 以上。冬季施工,视需要采用
	速凝剂	速凝剂有“红星 1 型”、“711 型”、“782 型”等。例如“红星 1 型”掺量为 2.5%~4.0% 时,水泥初凝时间可在 5 min 之内,终凝时间在 10min 之内,并能提高早期强度。需注意 28d 强度常低于不掺者,但以后并不下降。可视需要用于抢工程
增强混凝土耐冻性以及除冰化合物影响的抵抗力	引气剂	引气剂有松香热聚物、烷基磺酸钠(AS)、烷基苯磺酸钠(ABS)等,掺量约为 0.005%~0.01%,混凝土中含气量达 3%~6%,可提高抗冻性、抗渗性、抗蚀性。但需注意由于气泡存在,混凝土强度有一些降低(可达 10%~20%)

注:混凝土掺用的外加剂,应经配合比试验符合要求后方可使用。

9-2-6 混凝土组成材料检验

混凝土组成材料检验项目及频率要求

表 9-10

检 验 项 目	检 验 频 率	
	供料单位、商品混凝土拌和厂	施工用料单位
水泥全套质量试验	1. 收料时核对质量保证单; 2. 每种来源每半年复验 1 次	1. 小水泥及进口水泥每一工程验 1 次; 2. 其余,有疑问时验
砂和碎石全套质量试验	每种料源每半年复验 1 次	有疑问时
砂和碎石的筛分析、含泥量、针片状颗粒	每批到货(500t 及以下)检验 1 次	有疑问时
砂和碎石的含水量	商品混凝土拌和厂每天拌制前至少检验 1 次	每天拌和前至少检验 1 次
拌和及养护用水	饮用水免检,其余,使用前检验水质全套	饮用水免检,其余,使用前检验水质全套
外加剂	产品厂测试单,使用时抽测	每一工程,产品厂测试单,使用时抽测

注:摘自《上海市市政工程施工及验收技术规程》,上海市市政工程管理局,1993。

9-3 混凝土配合比

混凝土配合比设计计算

表 9-11

序号

步骤

有 关 规 定 和 计 算 公 式

1	确定混凝土试配强度	<div> 1. 混凝土结构的设计强度,通常以抗压强度表征。但是,混凝土路面结构强度,无论是《公路水泥混凝土路面设计规范(JTJ 012-94)》或《城市道路设计规范(CJJ 37-90)》,均以抗折强度为准,按此确定试配强度。 2. 《水泥混凝土路面施工及验收规范(GBJ 97-87)》规定:混凝土试配强度 R 宜按设计强度 σ_s 提高 10%~15%,即 $R=(1.10\sim1.15)\sigma_s$。 3. 交通部水泥混凝土路面推广小组编《水泥混凝土路面设计、施工与养护》还建议按保证率确定试配强度,即: <div> $R=\frac{\sigma_s}{1-K}$ </div> </div> <div> <div>式中: K——保证率系数;</div> <table> <tr> <th>保证率%</th><td>50</td><td>80</td><td>85</td><td>90</td><td>95</td><td>98</td></tr> <tr> <th>K</th><td>0</td><td>0.84</td><td>1.04</td><td>1.28</td><td>1.64</td><td>2.05</td></tr> </table> <div> C_v——混凝土强度变异系数。 <table> <tr> <th>施工管理水平等级</th><td>优秀</td><td>良好</td><td>一般</td><td>差</td></tr> <tr> <th>C_v</th><td><0.10</td><td>0.10~0.15</td><td>0.15~0.20</td><td>>0.20</td></tr> </table> </div> </div>	保证率%	50	80	85	90	95	98	K	0	0.84	1.04	1.28	1.64	2.05	施工管理水平等级	优秀	良好	一般	差	C_v	<0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	>0.20
保证率%	50	80	85	90	95	98																				
K	0	0.84	1.04	1.28	1.64	2.05																				
施工管理水平等级	优秀	良好	一般	差																						
C_v	<0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	>0.20																						

2	计算确定试配水灰比	<div> 1. 按水灰比与抗压强度关系试配混凝土。 <div> a. 按下列经验对应关系把抗折强度换算为抗压强度。 <table> <tr> <th>抗折强度(MPa)</th><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td><td>5.5</td></tr> <tr> <th>抗压强度(MPa)</th><td>25.0</td><td>30.0</td><td>35.0</td><td>40.0</td></tr> </table> </div> <div> b. 按试配抗压强度 R_c 和下列公式计算灰水比 $\frac{C}{W}$ (GBJ 97-87): <div> 碎石混凝土 $R_c=0.46R_{cc}(\frac{C}{W}-0.52)$ 砾石混凝土 $R_c=0.48R_{cc}(\frac{C}{W}-0.61)$ </div> </div> </div> <div> <div>式中: R_{cc}——水泥实际抗压强度(MPa);</div> <div>$\frac{C}{W}$——灰水比(即水灰比的倒数)。</div> </div> 2. 按水灰比与抗折强度关系试配混凝土(交通部水泥混凝土路面推广小组荐)。 <div> 可按试配抗折强度 R_s 和下列公式计算灰水比 $\frac{C}{W}$: <div> 碎石混凝土 $R_s=-1.0079+0.3485R_{cc}+1.5684\frac{C}{W}$; 砾石混凝土 $R_s=-1.5492+0.4565R_{cc}+1.2618\frac{C}{W}$。 </div> </div> <div> <div>式中: R_{cc}——水泥实际抗折强度(MPa)。</div> </div> 3. 按 GBJ 97-87 规定的路面混凝土的最大水灰比。 <table> <tr> <th>路面类型</th><td>公路、城市道路厂矿道路</td><td>机场道面高速公路</td><td>冰冻地区冬季施工</td></tr> <tr> <th>最大水灰比</th><td>0.50</td><td>0.46</td><td>0.45</td></tr> </table>	抗折强度(MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5	抗压强度(MPa)	25.0	30.0	35.0	40.0	路面类型	公路、城市道路厂矿道路	机场道面高速公路	冰冻地区冬季施工	最大水灰比	0.50	0.46	0.45
抗折强度(MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5																
抗压强度(MPa)	25.0	30.0	35.0	40.0																
路面类型	公路、城市道路厂矿道路	机场道面高速公路	冰冻地区冬季施工																	
最大水灰比	0.50	0.46	0.45																	

注:如计算水灰比值,大于上列规范值,则取规范值。

序号	步骤	有关规定和计算公式												
3	确定试配单位用水量	<p>1. 每 m^3 混凝土的单位用水量, 应按集料种类、最大粒径、级配、施工温度和是否掺用外加剂等通过试验确定。当粗集料最大粒径为 40mm, 粗细集料均干燥时, 混凝土的单位用水量 GBJ 97—87 规定按下列经验数值采用:</p> <table border="1"> <tr> <th>单位用水量 (kg/m^3)</th><th>碎石</th><th>砾石</th></tr> <tr> <td></td><td>150~170</td><td>140~160</td></tr> </table> <p>注: 掺用外加剂或掺合料时, 应据试验相应增减用水量。</p> <p>2. 单位用水量也可按下列经验公式确定 (交通部水泥混凝土路面推广小组荐):</p> <p>碎石 $W = 104.97 + 3.09h + 11.27 \frac{C}{W} + 0.61S_F$</p> <p>砾石 $W = 86.89 + 3.70h + 11.24 \frac{C}{W} + 1.00S_F$</p> <p>式中: W——单位用水量 (kg/m^3);</p> <p>h——坍落度 (cm), 路面混凝土一般取 1~3cm;</p> <p>S_F——砂率 [砂重/(砂重+碎石重), %]</p>	单位用水量 (kg/m^3)	碎石	砾石		150~170	140~160						
单位用水量 (kg/m^3)	碎石	砾石												
	150~170	140~160												
4	确定试配单位水泥用量	<p>1. 由前已知 $\frac{W}{C}$ 和 W;</p> <p>2. 计算单位水泥用量 $C = W \left(\frac{C}{W} \right)$;</p> <p>3. GBJ 97—87 规定, 单位水泥用量应不小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$;</p> <p>(如计算值小于规范规定值, 则取规范值);</p> <p>4. 一般情况, 采用 425 号水泥时为 $310 \sim 340\text{kg}/\text{m}^3$, 采用 525 号水泥时为 $300 \sim 330\text{kg}/\text{m}^3$</p>												
5	确定试配砂率	<p>1. GBJ 97—87 规定, 按下列情况选用:</p> <table border="1"> <tr> <th>水灰比 $\left(\frac{W}{C} \right)$</th><th colspan="2">砂率 %</th></tr> <tr> <td></td><th>碎石, 最大粒径 40mm</th><th>砾石, 最大粒径 40mm</th></tr> <tr> <td>0.40</td><td>27~32</td><td>24~30</td></tr> <tr> <td>0.50</td><td>30~35</td><td>28~33</td></tr> </table> <p>2. 理论法计算</p> $S_F = K \frac{\rho_s V_s}{\rho_s V_s + \rho_g V_g}$ <p>式中: ρ_s——砂的松装密度 (kg/m^3);</p> <p>ρ_g——碎(砾)石的松装密度 (kg/m^3);</p> <p>V_s——1m^3 混凝土中砂的松装体积, (m^3);</p> <p>V_g——1m^3 混凝土中碎(砾)石的松装体积, (m^3);</p> <p>K——拨开系数, 在 1.0~1.2 范围内, 一般可取 1.05 (交通部水泥混凝土路面推广小组荐)</p>	水灰比 $\left(\frac{W}{C} \right)$	砂率 %			碎石, 最大粒径 40mm	砾石, 最大粒径 40mm	0.40	27~32	24~30	0.50	30~35	28~33
水灰比 $\left(\frac{W}{C} \right)$	砂率 %													
	碎石, 最大粒径 40mm	砾石, 最大粒径 40mm												
0.40	27~32	24~30												
0.50	30~35	28~33												

序号	步骤	有关规定和计算公式										
6	确定试配的粗、细集料用量	<p>1. 由前已知 W, C, S_p, 未知 G (粗集料用量, kg/m^3), S (细集料用量, kg/m^3).</p> <p>2. 用绝对体积法计算</p> $\left. \begin{aligned} \frac{C}{\rho_c} + \frac{G}{\rho'_g} + \frac{S}{\rho'_s} + \frac{W}{\rho_w} &= 1000 \\ \frac{S}{S+G} \times 100 &= S_p(\%) \end{aligned} \right\}$ <p>式中: C, G, S, W——相应为每 m^3 混凝土的水泥、粗集料、细集料和水的用量 (kg/m^3);</p> <p>ρ_c——水泥的真实密度, 一般约 $2.9 \sim 3.1 \text{ g}/\text{cm}^3$;</p> <p>$\rho'_g, \rho'_s$——相应为粗集料和细集料的表观密度, 由试验测得 (kg/m^3);</p> <p>ρ_w——水的密度, 可取 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$.</p> <p>3. 用假定密度法计算</p> $\left. \begin{aligned} C+G+S+W &= \rho_n \\ \frac{S}{S+G} \times 100 &= S_p(\%) \end{aligned} \right\}$ <p>式中: ρ_n——混凝土拌合物的假定密度, 可根据以往的经验数据确定, 一般为 $2400 \sim 2450 \text{ kg}/\text{m}^3$</p>										
7	确定试拌配合比	<p>混凝土重量配合比为:</p> $C : S : G : W$ <p>或</p> $1 : \frac{S}{C} : \frac{G}{C} : \frac{W}{C}$										
8	试拌、检验和易性和调整配合比, 提出和易性符合要求的基准配合比	<p>1. 按上述试拌配合比, 称样试拌检验拌合物的和易性。如和易性不符合要求, 可参考下列情况调整试拌配合比。</p> <table><thead><tr><th>试拌的混凝土拌合物情况</th><th>调整途径</th></tr></thead><tbody><tr><td>拌合物稀导致坍落度过大</td><td>保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 减少水和水泥或保持砂率不变, 增加砂石用量</td></tr><tr><td>拌合物稠导致坍落度过小</td><td>保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 增加水和水泥或保持砂率不变, 减少砂石用量</td></tr><tr><td>砂浆过多导致振实后的混凝土表层浮浆过多和坍落度过大</td><td>降低砂率, 减少水和水泥</td></tr><tr><td>砂浆过少拌合物干涩做面困难</td><td>加大砂率, 增加水和水泥</td></tr></tbody></table> <p>注: 每次调整幅度 1% 左右, 重复拌和时间不得超过 20min 直到符合要求为止。</p> <p>2. 按试拌调整合格后的实际材料用量, 计算出 1m^3 混凝土中各种材料用量和配合比或称基准配合比</p>	试拌的混凝土拌合物情况	调整途径	拌合物稀导致坍落度过大	保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 减少水和水泥或保持砂率不变, 增加砂石用量	拌合物稠导致坍落度过小	保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 增加水和水泥或保持砂率不变, 减少砂石用量	砂浆过多导致振实后的混凝土表层浮浆过多和坍落度过大	降低砂率, 减少水和水泥	砂浆过少拌合物干涩做面困难	加大砂率, 增加水和水泥
试拌的混凝土拌合物情况	调整途径											
拌合物稀导致坍落度过大	保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 减少水和水泥或保持砂率不变, 增加砂石用量											
拌合物稠导致坍落度过小	保持 $\frac{W}{C}$ 不变, 增加水和水泥或保持砂率不变, 减少砂石用量											
砂浆过多导致振实后的混凝土表层浮浆过多和坍落度过大	降低砂率, 减少水和水泥											
砂浆过少拌合物干涩做面困难	加大砂率, 增加水和水泥											

序号	步骤	有关规定和计算公式
9	强度检验和配合比调整、优选	<p>1. 按基准配合比,至少制作3组试件,1组按基准配合比;另2组或以上,按基准配合比分别增加或减小 $\frac{W}{C}$ (以0.05分档),其用水量则与基本配合比相同。每种配合比至少作1组试件,标准养护28d,测定强度。时间紧迫时,可蒸压3h快速测定强度后推算28d强度。推算公式如下:</p> <p>抗折强度 $R_{f,28d} = 2.918 + 1.728R_{f,3h}$</p> <p>抗压强度 $R_{c,28d} = 14.591 + 1.826R_{c,3h}$</p> <p>式中: $R_{f,28d}$、$R_{c,28d}$——相应的为28d抗折、抗压强度;</p> <p>$R_{f,3h}$、$R_{c,3h}$——相应的为3h抗折、抗压强度。</p> <p>2. 按总体要求,综合评比,优选确定配合比</p>
10	容重调整确定试验室配合比	<p>1. 用上述优选确定的配合比试件,实测混凝土的干容重 ρ_{dp},与计算干容重 ρ_{dc}相比较,得出容重校正系数 K_j,即:</p> $K_j = \frac{\rho_{dp}}{\rho_{dc}}$ <p>2. 各项材料计算用量乘以容重校正系数 K_j,即为试验室配合比</p>
11	实测砂、石含水率确定施工配合比	<p>1. 实测得砂的含水率(w_s)和碎(砾)石的含水率(w_g)</p> <p>2. 由试验室配合比和砂、石含水率计算施工配合比:</p> <p>水泥 $C' = C$</p> <p>砂 $S' = S(1 + w_s)$</p> <p>石子 $G' = G(1 + w_g)$</p> <p>水 $W' = W - (Sw_s + Gw_g)$</p>

9-4 混凝土的拌制和运输

混凝土的拌制和运输要求

表 9-12

项 目	有关规定和 要求	
基本要求	<p>1. 应采用机械搅拌。优先采用强制搅拌机。</p> <p>2. 投入搅拌机的每拌原材料数量,应按施工配合比和搅拌机容量确定,称量准确。</p> <p>3. 开工搅拌第1拌混凝土拌合物前应先用量适量的混凝土拌合物或砂浆搅拌,拌后排弃,然后再按规定的配合比进行搅拌。</p> <p>4. 搅拌机装料顺序,宜为砂、水泥、石子,或者石子、水泥、砂。进料后,边搅拌边加水。</p> <p>5. 混凝土拌合物运输宜用自卸机动车。远距离运送商品混凝土宜用搅拌运输车(即搅车)。运输道路应平坦、畅通</p>	
组成材料的容许称量误差 (GBJ 97-87)	材料	容许误差(质量百分数,%)
	水泥	±1
	粗、细集料	±3
	水	±1
	外加剂	±2

项 目	有 关 规 定 和 要 求					
拌合物的最短搅拌时间 (GBJ 97—87)	搅拌机		转速(r/min)	搅拌时间(s)		注: 1. 搅拌时间是指原材料全部进入搅拌机起至拌合物开始出料止的时间。 2. 掺外加剂时搅拌时间增加 20~30s。
	类型	容量(l)		低流动性混凝土	干硬性混凝土	
	自落式	400	18	105	120	
		800	14	165	210	
	强制式	375	38	90	100	
		1 500	20	180	240	
拌合物的最长搅拌时间 (GBJ97—87)	不得超过最短时间的 3 倍					
混凝土拌合物从搅拌机出料到浇筑完毕的容许最长 时间 (GBJ 97—87)	施工气温(℃)		容许最长 时间(h)			注: 掺加缓凝剂时可以适当延长
	5~10		2			
	10~20		1.5			
	20~30		1			
	30~35		0.75			
运输工具的一般要求	1. 运输设备,根据具体情况选用。手推车限于短运距使用(30~50m 以内);机动翻斗车适宜于 50~500m;自卸汽车适宜于 500~2 000m;搅拌运输车适宜于 500~5 000m。 2. 装运混凝土拌合物应不漏浆,并应防止离析,散开的料斗在夏季和冬季应有遮盖或保温设施。 3. 运输工具的数量应满足施工需要并稍有富余					

9-5 混凝土拌和物的检验

水泥混凝土拌和物检测项目及频率要求

表 9-13

项 目	每 台 班 检 测 频 率		
	施工工地拌和混凝土	路用商品混凝土	
		拌 和 厂	施 工 工 地
配合比、混凝土设计强度	1 次,根据实用记录归档	1 次	由拌和厂告知
坍落、维勃工作度(需要时)	至少 2 次	出厂时每台班或 100m ³ 至少 1 次;送到工地每班至少 2 次	正常,至少 2 次 异常,每车 1 次
抗折强度,28d	每班或每 200m ³ 1 组 每 400m ³ 2 组 每 500~1 000m ³ 增 1 组	每 100m ³ 及以下至少 1 组	同施工工地拌和混凝土
抗压强度,28d	1 组	1 组	1 组(锯缝需用时工地另加)
抗折、抗压强度,7d 或 3d	根据需要	根据需要	根据需要

续上表

项 目	每 台 班 检 测 频 率		
	施工工地拌和混凝土	路 用 商 品 混 凝 土	
		拌和厂	施工工地
结硬混凝土密度	每一工程每种配合比1次	每种配合比每月1次	同施工工地拌和, 自测或厂方提供
氯离子含量	—	每种配合比每月1次	厂方告知
含气量	—	按合同规定	厂方告知

注: 摘自《上海市市政工程施工及验收技术规程》, 上海市市政工程管理局, 1993。

9-6 混凝土拌和物的浇筑

9-6-1 立模要求

模板的选用和立模要求

表 9-14

项 目	内 容 和 要 求
模板的选用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模板宜采用钢模板。弯道等非标准部位以及小型工程可采用木模板, 其厚度宜为 5cm (曲线处可减薄至 3cm)。 2. 模板应无缺损, 有足够的刚度, 内侧和顶、底面均应光洁、平整、顺直, 局部变形不得大于 3mm。振捣时模板横向最大挠曲应小于 4mm, 高度应与混凝土路面板厚度一致, 误差不超过 ±2mm。纵缝模板平缝的拉杆穿孔眼位应准确, 企口缝则其企口舌部或凹槽的长度误差钢模板为 ±1mm, 木模板为 ±2mm。 3. 模板周转使用前, 应对前次拆下的模板进行检验, 如有变形损坏, 应修至达到要求后才能使用。
立模施工要点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 立模前应检测基层的顶面标高和路拱横坡以及基层表层有否磨损破坏等, 否则应整修基层至符合要求才可立模摊铺混凝土。 2. 立模的平面位置和高程应符合设计要求, 其误差应严于混凝土路面板质量验收的容许误差。 3. 模板应支立稳固, 接头严密平顺。模板的接头以及与基层接触处不得漏浆。 4. 浇筑混凝土前, 模板内侧应涂布脱模剂 (隔离剂), 一般可用肥皂液 [皂: 水 = 1: (5~7)], 机油、机油肥皂水 [5: 15: (80~85)] 等。 5. 路上的井框外围应立模分离, 立模形状和井框周边的加强钢筋 (参见表 9-4) 应按设计图纸设置。一般先浇筑井框外面的混凝土路面板, 此时模板支撑在框的内侧, 硬化拆模后, 在其混凝土侧面涂油-60 号沥青二度, 再安放好分隔胀缝板 (油浸木丝板或软木板——按设计), 将框内混凝土补浇平顺。

9-6-2 摊铺要求

摊 铺 要 求

表 9-15

项 目	内 容 和 要 求
摊铺前的准备工作	<ol style="list-style-type: none"> 1. 摊铺前应检查模板位置、高程、支设稳固和基层平整润湿, 模板内侧涂脱模剂、水泥混凝土板壁涂沥青, 以及钢筋的安设和传力杆、拉杆等设置情况, 合格后方可摊铺。 2. 检查、维修混凝土运输通道以及设置安全护栏、纠察等。

项 目	内 容 和 要 求
摊 铺 施 工 要 点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 半干硬性现场搅拌混凝土拌和物一次摊铺容许达到的混凝土路面板最大厚度 GBJ 97—87 规定为 22cm, 交通部水泥混凝土路面推广小组(1991)建议放宽至 24cm, 近些年上海的水泥混凝土路如杨高路、沪太路等均为 24cm 路面, 一次摊铺。塑性的商品混凝土一次摊铺最大厚度为 26cm。 2. 超过一次摊铺的最大厚度时, 应分两次摊铺和振实, 但一次抹面。两层铺筑的间隔时间不得超过 30min。下层厚度宜略大于上层, 即下层厚度宜为总厚度的 3/5。 3. 摊铺厚度应考虑振实预留高度。此高度应在混凝土路面施工初期(试点阶段)试验确定, 一般在 10% 左右。 4. 用铁锹摊铺时, 应用锹反扣(扣锹法), 禁止抛掷和楼耙。 5. 每仓混凝土的摊铺、振捣、整平、做面应连续进行, 不得中断。如因故中断, 应设置施工缝, 并宜在设计规定的接缝位置。

9-6-3 振捣、整平要求

振捣、整平要求

表 9-16

项 目	内 容 和 要 求
振 捣 整 平 施 工 要 点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 摊铺好的混凝土拌和物, 应随即用插入式和平板式振动器均匀地振实。塑性的商品混凝土可省去平板振实工序。 2. 插入式振动器频率宜大于 6 000 次/min。 3. 平板振动器的有效作用深度一般为 18~25cm。振实宜采用 2.2kW 的平板振动器(采用真空吸水工艺时可用功率较小的平板振动器)。振平可用 1.1kW 的平板振动器。 4. 振捣时应先用插入式振动器在模板(或混凝土板壁)边缘、角隅处初振或全面积顺序初振一次。同一位置振捣时不宜少于 20s。插入式振动器移动间距不宜大于其作用半径的 1.5 倍, 其至模板的距离应不大于作用半径的 0.5 倍, 并应避免碰撞模板和钢筋。然后, 再用平板振动器全面振捣, 板与板间宜重迭 10~20cm。同一位置的振捣时间, 当水灰比小于 0.45 时宜不少于 30s, 当水灰比大于 0.45 时不宜少于 15s, 以不再冒出气泡并泛出水泥砂浆为准。如有条件最好再用小功率平板振动器全面振平一次。 5. 混凝土拌合物全面振捣后, 再用振动梁进一步拖拉振实并初步整平。振动梁往返拖拉 2~3 遍, 使表面泛浆, 并赶出气泡。振动梁移动速度要缓慢均匀, 不许中途停顿, 前进速度以每分钟 1.2~1.5m 为宜。凡有不平之处, 应及时辅以人工挖填补平。补填时宜用较细的拌合物, 但严禁用纯砂浆填补。 6. 最后用无缝钢管滚杠进一步滚压表面, 使表面进一步提浆调匀调平。

9-6-4 真空吸水施工

真空吸水施工要求

表 9-17

项 目	内 容 和 要 求
基 本 特 点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 真空吸水为非必要工序, 但有特定优点, 可视情况采用。 2. 采用该工艺时, 混凝土拌合物水灰比比常规增大 5%~10%, 可易于摊铺、振捣、减轻劳动强度, 加快施工进度, 并且还可缩短混凝土抹面工序的等待时间, 降低成型混凝土的最终水灰比, 从而增加了密实性, 提高了强度, 改善了抗干缩性、抗渗性和抗冻性。但是增加此道工序也需相应地增加真空吸水设备和劳动配备。

项 目	内 容 和 要 求
主要设备	<ol style="list-style-type: none"> 1. 真空泵。泵的最大真空度宜小于或等于 90%，最大抽速大于 25l/s。可选用符合以上要求的低真空大抽吸泵。 2. 真空吸垫。有尼龙网格吸垫和气囊薄膜吸垫、无滤布吸垫等柔性吸垫。无滤布吸垫使用简便，效果较好。
真空吸水施工要点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 真空吸水深度不可超过 30cm。 2. 真空吸水时间宜为混凝土路面板厚的 1.5 倍(吸水时间以 min 计，板厚以 cm 计)。 3. 吸垫铺设，特别是周边应紧贴密致。开泵吸水一般控制真空表 1min 内逐步升高到 400~500mm Hg，最高值不宜大于 650~700mm Hg。计量出水量达到要求，并作记录。关泵亦应逐渐减小真空度，并略提起吸垫四角，继续抽吸 10~15s，以脱尽作业表面及管路中残余水。 4. 真空吸水后可用滚杠或振动梁以及抹面机进行复平，以保证表面平整和进一步增强板面强度的均匀性。

9-6-5 板面处理(做面)要求

做 面 要 求

表 9-18

项 目	内 容 和 要 求
做面施工要点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 抹面时严禁在混凝土表面洒水或撒水泥。 2. 无真空吸水工艺时，抹面一般分两次进行。第一次在整平后随即进行。驱除泌水并压下石子。第二次抹面须在混凝土泌水基本结束，处于初凝状态但表面尚湿润时进行。 3. 混凝土板面应平整密实，并用 3m 直尺检查平整度。 4. 抹平后沿横方向拉毛或用压纹滚槽器压槽，使路面混凝土有粗糙的纹理表面。GBJ 97-87 规定，公路和城市道路、厂矿道路的拉毛和压槽深度应为 1~2mm。民航机场道面拉毛的平均纹理深度(铺砂法测量)，在跑道、高速出口滑行道不得小于 0.8mm，在滑行道、停机坪不得小于 0.4mm。对于行车很快的高速公路、一级公路或城市快速路、主干路 GBJ 97-87 中没进一步的区分要求，上海的做法是参照民航机场道面的要求实施。对纵坡大于 2% 的水泥混凝土路面还要求用铺砂法测定平均纹理深度应为 0.6~1.0mm。 5. 当烈日曝晒或干旱风吹时，做面宜在遮阳棚下进行。

9-7 钢筋网片设置

钢筋网片设置要求

表 9-19

项 目	内 容 和 要 求		
钢筋直径与间距	纵、横钢筋宜用相同的直径。钢筋间距,应使最小间距为集料最大粒径的 2 倍。钢筋的最小直径和最大间距应符合 JTJ 012—94 的规定。钢筋的搭接长度宜大于其直径的 25 倍。		
	钢 筋 类 型	光 面 钢 筋	螺 纹 钢 筋
	最小直径(mm)	8	12
	纵向最大间距(cm)	15	35
	横向最大间距(cm)	30	75

项 目	内 容 和 要 求		
钢筋网片设置施工要点	1. 不得踩踏、碾压钢筋网片。 2. 安设单层钢筋网片时,应在底部先摊铺一层混凝土拌合物,摊铺高度应按网片设计高程再加一定的预留沉落度。待网片安放就位后,再继续摊铺、振捣混凝土。 3. 安设混凝土板厚度不大于 25cm 的双层钢筋网片,可事先用架立钢筋扎成骨架后一次安放就位。厚度大于 25cm 的,上下两层钢筋应分两次安放,混凝土拌合物也分两次摊铺和振实,但一次抹面		
设置钢筋网片的质量要求	钢筋网片的容许误差(GBJ 97-87)		
	检验项目	容许误差(mm)	检查方法
	网片的长度、宽度	±10	用尺量
	网眼尺寸	±10	用尺量
	上下两网片的高度	±5	用水准仪检查垫块和钢筋表面
	上下表面的保护层厚度	±5	用尺量
	钢筋网片的平整度	±10	拉线用尺量

9-8 接缝施工

纵缝施工要求

表 9-20

项 目	内 容 和 要 求
设缝情况	纵缝应根据设计文件的规定施工,一般纵缝即纵向施工缝,采用平缝加拉杆型式,施工方便;过去也有采用企口缝加拉杆型式,其板与板之间的传荷能力较强,但拆模不当时易损伤企口,施工麻烦。如道路一侧的二块板一次浇筑,则中间的纵缝为设拉杆的假缝
纵缝施工要点	1. 拉杆在立模后浇筑混凝土之前安设,纵缝施工缝的拉杆则穿过模板的拉杆孔安设,浇筑混凝土时应随时校正拉杆位置,使符合设计要求。 2. 纵缝槽宜在混凝土硬结后用锯缝机锯切,并与实际施工缝一致,使缝槽挺直美观。也可以在浇筑过程中埋入接缝板,待混凝土硬结后拔出形成缝槽

横缩缝施工要求

表 9-21

项 目	内 容 和 要 求
设缝情况	横缩缝宜在混凝土硬结后锯切形成。在条件不具备时,也可在新浇混凝土中压缝形成
横缩缝施工要点	1. 横缩缝缝深必须足够,在设置窨井处,宜调整横缩缝间距,使缩缝“骑”井框设置,但调整后的缩缝间距要适当,不得大于设计规定的间距;锯缝必须及时,在夏季施工尤应注意缩缝宜每隔 3~4 块板先锯一条,然后补齐。如天气炎热干燥允许每隔 3~4 块板先压一条缩缝,防止混凝土板未锯先裂。 2. 在邻近胀缝或自由端的 3 条缩缝内均宜在板厚 1/2 处加设传力杆,在浇筑过程中埋设,传力杆的一半稍多一些(5cm)长度涂沥青,但不设带空隙的套筒

胀缝施工要求

表 9-22

项 目	内 容 和 要 求				
设缝情况	胀缝应与路中心线成 90°, 缝壁必须竖立, 缝隙宽度一致, 缝中不得连浆。缝隙下部设胀缝板, 上部灌封缝料				
横胀缝施工要点	<p>1. 胀缝两侧的混凝土板, 一般设滑动传力杆传递荷载。传力杆穿过胀缝板, 并用钢筋支架固定就位。传力杆的一半长度稍多一些(5cm)涂沥青并套长 10cm 的小套筒(塑料或白铁皮加工), 小套筒留 3cm 空隙, 填以纱头等。也有很多工程不设滑动式传力杆, 改在两侧混凝土板端设置“鼠笼式”钢筋构架(见表 9-3)加强, 钢筋构架在浇筑时埋设, 施工方便, 且可加强混凝土板板端强度, 效果良好。</p> <p>2. 胀缝封缝槽可预埋套条留出封缝空间, 近来更倾向于用两侧锯缝凿出封缝空间, 后者胀缝两侧混凝土板平齐, 平整度好。</p>				
胀缝施工要点	3. 胀缝板事先预制, 常用的有油浸纤维板(或软木板)、海绵橡胶泡沫板等, 其技术要求按 JTJ 012-94 规定如下:				
	检验项目	接 缝 板 种 类			备 注
		木材类	塑料泡沫类	纤维类	
	压缩应力(MPa)	5.0~20.0	0.2~0.6	2.0~10.0	
	复原率(%)	>55	>90	>65	吸水后不应 小于不吸水的 90%
	挤出量(mm)	<5.5	<5.0	<4.0	
	弯曲荷载(N)	100~400	0~50	5~40	
4. 预制胀缝板嵌入前, 应使缝壁洁净干燥, 胀缝板与缝壁紧密结合					

横缝施工要求

表 9-23

项 目	内 容 和 要 求
设缝情况	施工结束时应设置施工缝
施工要点	<p>1. 施工缝宜位于设计所规定的缩缝或胀缝处。</p> <p>2. 多车道道路, 各个车道的施工缝应注意避免设在同一个横断面上。</p> <p>3. 施工缝如设于缩缝处, 板的 $\frac{1}{2}$ 厚度位置应增设传力杆</p>

锯缝施工要点

表 9-24

项 目	内 容 和 要 求
锯缝施工要点	<p>1. 锯缝应及时, 在混凝土硬结后尽早进行, 特别是在夏季施工不可拖延, 但也不能过早, 否则混凝土强度不足会导致粗集料从砂浆中脱落。</p> <p>2. 锯缝宜在混凝土强度达到 5~10MPa 时进行, 也可以由工地试锯确定。一般可参考下列经验锯缝时间:</p>

项 目	内 容 和 要 求
锯缝施工要点	昼夜平均气温(℃)
	经验锯缝时间(h)
	常规施工
	有真空吸水工艺时
	5
	45~50
	40~45
	10
封缝情况	30~35
	22~26
	18~22
	15
	18~21
	12~15
封缝情况	25
	15~18
封缝情况	8~11
	5~7
封缝情况	30及以上
	13~15

封缝(填缝)施工要点

表 9-25

项 目	内 容 和 要 求
封缝情况	水泥混凝土路面各种接缝上端均须用封缝料灌满进行封缝
封缝施工要点	1. 常用的封(填)缝料为加热灌填的沥青橡胶封缝料,其配方为:
	材料
	配合比(质量比)
	说 明
	10号建筑石油沥青
	55~60
	重柴油或轻柴油
	10~20
	橡胶粉(或屑)
	10~15
封缝施工要点	石棉粉(或短纤维)
	4~6
	石灰石粉或干水泥
	10~15
	灌缝时缝槽应洁净干燥,如灌注胀缝则缝壁内涂一薄层冷底子油(快凝沥青漆,用油-60与汽油各半混合而成),封缝料要灌填充实、紧密,夏天应与混凝土板表面齐平,冬天宜稍低于板面。
	2. 加热施工的封缝料还可以采用聚氯乙稀胶泥和沥青玛蹄脂等。
	3. 加热施工式封缝料按 JTJ 012—94 的技术要求如下:
	检 验 项 目
	低 弹 性 型
	高 弹 性 型
	针入度(锥针法)(mm)
	<5
	<9
	弹性(复原率,%)
	>30
	>60
	流动度(mm)
	<5
	<2
	拉伸量(mm)
	>5
	>15
封缝施工要点	4. 有条件时,高等级道路水泥混凝土路面可选用常温施工式聚氨酯封缝胶(如上海彭浦建筑防水公司生产的道路 PG 胶、上海合成树脂研究所实验厂生产的新型道路专用嵌缝胶等)、聚硫脂封缝胶(如上海盐土本泰建筑工程产品有限公司生产的抗燃油聚硫密封胶等)以及氯丁橡胶类、乳化沥青橡胶类等常温施工式封(填)缝料。
	5. 常温施工式封缝料的技术要求按 JTJ 012—94 规定如下:

项 目	内 容 和 要 求	
封 缝 施 工 要 点	检 验 项 目	技 术 要 求
	灌入稠度(s)	<20
	失粘时间(h)	6~24
	弹性(复原率,%)	>75
	流动度(mm)	0
	拉伸量(mm)	>15

9-9 混凝土路面板养护

混凝土路面板养护施工要求

表 9-26

项 目	内 容 和 要 求
基 本 要 求	混凝土板做面完毕应及时养护,使混凝土中结合料有良好的水化、水解强度发育条件以及防止收缩裂缝的产生
养 护 方 法 和 要 点	<p>1. 养护时间,一般约 14~21d 混凝土强度宜达到设计要求</p> <p>2. 养护期间和封缝前,禁止车辆通行。在达到设计强度的 40%以后,可允许行人通过。</p> <p>3. 湿草包覆盖养生是最常用的湿治养生方法,草包还兼有隔温作用,可保护混凝土少受剧烈的天气变化影响。在规定的养生期内草包要经常洒水,保持潮湿。草包不仅要严密覆盖混凝土板面,并要复盖好板的边侧。</p> <p>4. 也可采用塑料成膜养生,即在混凝土板做面完毕后,即喷洒过氯乙烯等成膜液,使形成不透气的薄膜保持膜内混凝土的水分,保湿养生。优点可节省大量养生用水和养生用工,缺点养生期间必须做到严禁一切车辆、人员通行,否则易导致膜破、气漏,使混凝土中的水分蒸发,不能保证良好混凝土强度发育条件。成膜液的配方因地制宜,各地不一。上海曾用过过氯乙烯树脂 10%、溶剂油 88%、苯二甲酸二丁脂 3%配合比。其用量一般约为 3m²/kg。过氯乙烯树脂为有毒和易燃品,须注意安全防护</p>

9-10 模板拆除

拆模施工要求

表 9-27

项 目	内 容 和 要 求						
拆 模 施 工 要 点 和 注 意 事 项	<p>1. 拆模时间要注意掌握。拆模过早易损坏混凝土,过迟则又影响模板周转使用。</p> <p>2. 拆模时间应根据气温和混凝土强度增长情况确定,当采用普通水泥时,一般的允许拆模时间如下:</p>						
	昼夜平均气温(℃)	5	10	15	20	25	>30
	允许拆模时间(h)	72	48	36	30	24	18
	<p>注:①允许拆模时间,从混凝土做面完毕后至开始拆模时计算;</p> <p>②此表列数据适用于无早强剂、缓凝剂等外加剂的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。</p>						
	<p>3. 拆模时要操作细致,不损坏混凝土板的边、角。</p> <p>4. 拆除的模板应清除干净,堆放整齐。模板有损伤、变形时,要及时修复后才能再次使用</p>						

9-11 热季早期收缩裂缝的防止

热季防止早期收缩裂缝措施

表 9-28

项 目	内 容 和 要 求
早期收缩裂缝的特征	<p>1. 混凝土板在施工期间因收缩产生的裂缝为早期收缩裂缝,其裂缝的产生与行车荷载无关。</p> <p>2. 早期收缩裂缝有两种。产生于混凝土塑性状态时的常称作“塑裂”,其缝短而细、细而浅,如及时发现进行再次抹面可以缓解,一般在硬结后终止,危害较小。另一种产生于硬结以后,通车之前,由剧烈的温度、湿度变化引起收缩裂缝,常称作“缩裂”,可导致混凝土板的断裂,危害甚大,成为不合格的混凝土板块</p>
防止早期收缩裂缝的技术措施	<p>1. 作业时间避开午间气温高峰,起早落夜,例如在 12:00~16:00 停止浇筑。</p> <p>2. 水箱加量、水管掩埋,必要时还可对碎石适当洒水降温。</p> <p>3. 作业紧凑,缩短在烈日或早风下的施工时间,必要时可设遮阳棚遮阳。</p> <p>4. 及时养生,增加洒水润湿草包次数,确实保证保湿养生,并且养生时间足够(养生还能增强混凝土抗裂强度)。</p> <p>5. 大风时挡风(大风速的蒸发量比高温还厉害)。</p> <p>6. 注意对基层顶面的整平和洒水保持润湿</p>
保证混凝土的自身强度	<p>1. 限制集料的含泥量,特别是黄砂中夹杂的泥团要筛出,碎石中涂裹粘土的碎石要清洗或删除。</p> <p>2. 加强水泥质量的复验,特别是水泥的安定性。</p> <p>3. 控制好水灰比,严格按配合比投料,不准随意加水等。</p> <p>4. 加强和提高养护质量</p>
及时锯缝诱导裂缝在接缝位展开	<p>1. 及时及早锯切横缩缝,缝深必须严格达到设计要求深度,及早形成弱断面,使先于缩裂发生前形成。需要时,还可以考虑在横缩缝位置的混凝土板底部加设诱导裂缝的木块,使弱断面效应更加显著。</p> <p>2. 道路设窨井处,横缩缝要骑窨井设置(横缩缝注线平分井框),使窨井部位自然形成的弱断面与横缩缝合而为一。否则在井框部位易形成不规则早期收缩裂缝(荷载裂缝要通过其他措施解决)。</p> <p>3. 锯缝设备配置不足时,宜先隔 3~4 块板跳锯一条横缩缝,最后补齐。不得已时还可以考虑以压缝代替锯缝</p>

9-12 水泥混凝土路面施工容许偏差

水泥混凝土面层容许偏差(JTJ 071—94)

表 9-29

项 次	检 查 项 目	规定值或容许偏差		检查方法和频率
		高速公路 一级公路	其他公路	
1	抗折强度(MPa)	在合格标准之内		抗折试验

续上表

项次	检 查 项 目		规定值或容许偏差		检查方法和频率
			高速公路 一级公路	其他公路	
2	板厚度 (mm)	代表值	-5	-5	钻芯样测厚,每200m每车道2处
		极值	-10	-10	
3	平整度 (mm)	标准偏差 σ	1.8	2.5	平整度仪,抽一车道连续检测 按每100m计算 σ
		最大间隙 A	3.0	5.0	3m直尺,半幅车道板带 每200m 2处×10尺
4	抗滑构造深度(mm)		0.8	0.6	砂铺法,每200m 1处
5	相邻板高差(mm)		2	3	抽量:每条胀缝2点每200m抽 纵、横缝各2条,每条2点
6	纵、横缝顺直度 (mm)		10		纵缝20m拉线,横缝沿板宽拉 线: 每200m 4处,每200mm 4条
7	中线平面偏位(mm)		20		经纬仪,每200m测4点
8	路面宽度(mm)		±20		抽量:每200m测4处
9	纵断高程(mm)		±10	±15	水准仪,每200m测4点
10	横坡(%)		±0.15	±0.25	水准仪,每200m测4断面

注:表中 σ 为平整度仪测定的标准偏差; A 为3m直尺与面层的最大间隙。