

文章编号: 1002-0268 (2004) 03-0037-03

振动碾压水泥混凝土路面研究与实践

张志峰

(广东省公路工程质量监测站, 广东 广州 510500)

摘要: RCCP (即振动碾压水泥混凝土路面施工) 以其特有的优点被人们所重视, 与普通水泥混凝土相比, RCCP 具有可靠、方便、低成本、混凝土强度高优点, 并显著提高经济效率和促进混凝土路面施工技术的改进。随着科技的发展, 从事这方面研究的国家越来越多, 相信在今后的若干年内, RCCP 的研究、设计和施工将会有更大的发展。本文是对 RCCP 研究与实践的部分粗浅结论。

关键词: RCC; 试验; 配合比; 施工

中图分类号: U416 216 **文献标识码:** A

Research and Practice of Roller Compacted Cement Concrete Road

ZHANG Zhi-feng

(Quality Inspection and Supervision Station for Highway Engineering of Guangdong Province, Guangdong Guangzhou 510500, China)

Abstract: RCCP (Roller Compacted Concrete Production) is well known for its special advantage. As compared with the production of common cement concrete, RCCP has the advantages of more reliable, more convenient, lower cost, higher strength of concrete, etc. It will raise economic efficiency and promote the development of technique of concrete road production. With the development of science and technique, more and more countries are engaging the research and the application of the RCCP to the practice of production. Through practice and research repeatedly, RCCP would have greater development in the design and production in future years. This article some draw conclusions from the research and practice of RCCP.

Key words: RCC; Expeniment; Ration; Production

振动碾压水泥混凝土(Roller Compacted Concrete 简写 RCC)是一种含水量低,通过振动碾压工艺实现高密度、高强度的无坍落度特干硬性水泥混凝土。它和普通水泥混凝土相比,具有水泥用量少,水灰比少,施工快捷方便,水化热低,体积安全性好,强度高,造价低等特点。RCC 这一概念,是上个世纪 70 年代美国提出的;到了 20 世纪 80 年代中后期,美国、日本、瑞典和加拿大等国开始将其用于道路工程。我国从 20 世纪 80 年代初开始对此进行试验研究,取得了一定的成果。近几年来 RCC 作为一种新型路面材料和工艺,越来越受到业内人士的普遍关注。

1 RCC 的试验研究

1.1 RCC 的试验研究

大量的实验资料表明:水泥混凝土的密实度越大,其强度越高;含水量的大小直接影响着水泥混凝土的强度;密实度对含水量极为敏感。试验证明 RCC 同样符合上述规律。为此,如果能确定密实度、强度、含水量之间关系中的最佳值。进而即可确定 RCC 的配合比。

RCC 的室内试验方法参照水泥稳定砂砾的重型击实标准试验方法进行。混合料分五层击实成型,所用的击实筒是由 D150×150mm 的钢模制成,击实锤重 4.5kg,落锤 450mm,每层混合料击实 27 次,这样所得的压实功为 $2\,700\text{kgf/m}^2$,与瑞典 CC-21 型振动压路机的压实功基本相间。试验数据如表 1 所示。

由此可见,密实度、强度、含水量三者之间的最佳是存在的,当 RCC 的含水量为 6.5% 时,其密实度

表 1

编号	含水量 (%)	容重 (kg/m ³)	抗折强度 (MPa)
1	4.0	2264	2.351
2	4.5	2328	2.440
3	5.0	2290	2.877
4	5.5	2358	4.096
5	6.0	2377	4.382
6	6.5	2483	4.902
7	7.0	2471	4.302
8	7.5	2452	4.300
9	8.0	2448	4.137
10	8.5	2480	3.807

最大，抗折强度也最高。

1.2 工作度确定

为确定 RCC 的工作度，在试验中将维勃仪上加 9kg 的压力块，以实测的工作度为标准确定混合料的水泥用量，由此算出 RCC 的水灰比。

在室内进行模拟试验，采用不同的集料粒径，固定相应同频值进行加压振动成型的方法，可与路面实际施工振碾取得基本一致效果。

应当指出，RCC 是超干硬性混凝土，故测定其密度不能用坍落度试验，因此 RCC 的稠度试验要用振动试验装置来完成。此装置是在 VB 试验装置的基础上改制的，为了区别于其他试验方法测定的稠度值，将此稠度值表示为 V_c 。

1.3 RCC 试件的成型

RCC 试件的成型方法有：击实法、手提平板振捣器振压法、振动台平板振压法等。最常用的是振动台平板振压法，此方法最接近 RCC 的现场碾压成型效果。振动台平板振压法成型 RCC 试件的方法是在 $150 \times 150 \text{mm}^3$ 试模拌和物上加静压块 (0.283mm^3)，置于混凝土振动台上振压成型，振压时间为 50s。

2 RCC 的配合比

2.1 RCC 对材料的要求

(1) 水泥 RCC 所用的水泥与普通所用的水泥大致相同。由于 RCC 路面施工作业面较长，一般都在 50m 左右，这样从出料到成型所需时间较长。为此要求水泥的终凝时间不得少于 4h（这主要取决于机械化施工水平），除早强水泥外，一般都可使用，必要时可掺加缓凝减水剂来延长初、终凝时间。

(2) 骨料 普通混凝土强度靠胶结形成，而 RCC 的强度是由骨料相互嵌挤和水泥胶结两方面形成的，所以 RCC 所用的骨料以机轧碎石为好，骨料级配应采用连续级配，要求 RCC 的细骨料能满足填充大粒

径的空隙。由于 RCC 在施工中采用大吨位振动压路机碾压成型，其振动压实功要比普通混凝土所用的平板振动器的功大得多，因此要求所用的骨料强度要高。另外，RCC 属于超干硬性混凝土，其含水量比普通混凝土小得多。因此为了充分发挥水泥胶结材料的粘结性，要求所用石料的含泥量及硫化物含量要小于 1%。值得注意的是，一般采石场生产的机压碎石均缺少小于 5mm 的碎石，在使用时应注意补充。

(3) 砂 RCC 结构密实，胶结作用强，为保证水泥胶结作用。减少灰浆损失，应尽量减少砂的比表面积，所以在施工中应选择中（粗）砂，RCC 所用的砂的细度模数应大于 2.2。

(4) 水 RCC 对水的要求与普通混凝土相同。

2.2 配合比设计

(1) RCC 试配强度

$$R_w = (R_d + \delta) \cdot P$$

式中， R_w 为 RCC 的试配强度； R_d 为 RCC 的设计抗折强度； δ 为安全强度，取 0.08kg/mm^2 ； P 为加成系数，取 1.09。

(2) 确定砂率 根据所需料场的实际情况，通过计算确定石料级配组成，并将该级配混合料进行筛分试验，筛分试验结果应满足推荐的连续级配标准。然后将碎石集料进行试配，在试配过程中测其空隙率。这样反复进行试验，求得空隙率最小的级配作为 RCC 骨料级配，并由所测级配碎石的空隙率求其空隙体积，按照密实体积原则，所需砂的体积等于空隙体积。

$$S_p = \frac{\gamma_s \cdot P}{\gamma_s \cdot P + \gamma}$$

式中， S_p 为砂率，%； γ_s 为砂子松散容重， kg/m^3 ； γ 为石子的紧密容重， kg/m^3 ； P 为石子的空隙率，%。

采用砂率以上式计算出的值增大 1%~3%，通过室内试验和试验路段实测所用碎石的空隙率为 30%~38%，因室内试验先后采用多种配合比，其空隙率各不相同，由此计算出的砂率一般在 28%~40% 范围内。国外资料表明，砂率应取大一些，如瑞典 RCC 所用的砂率在 38%~44% 范围内。

(3) 确定用水量 在 RCC 配合比设计中首先假定 RCC 的单位水泥用量（一般为 280kg/m^3 ），然后以该水泥用量和采用的级配碎石及砂率为常量，以含水量为变量（一般采用 5%、5.5%、6%、6.5%、7%），分别做重型击实试验，将试验结果绘制成含水量与容重、含水量与强度两条关系曲线，从中找出最大密实度及强度所对应的最佳含水量，此含水量即为

RCC 的用水量。

(4) 确定水泥用量 用以上所确定的砂、石、水量为常数,以水泥用量为变数(一般为 $270\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $290\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $310\text{kg}/\text{m}^3$)试配混凝土,并以改进维勃仪校核工作度,制作抗折和抗压强度试件进行试验,将试验结果绘制成水泥用量与强度(抗折、抗压)关系曲线,从中得到与试配强度值相应的水泥用量,即 RCC 的水泥用量。

3 RCC 路面的施工(RCCP)

3.1 支撑模板

由于 RCCP 采用大吨位振动压路机碾压成型,所以要求模板的刚度比塑性混凝土要高,支撑更要牢固,否则会造成路面边缘不整齐现象,一则影响美观,二则对以后安装路缘石不利。

3.2 RCC 的拌和及运输

RCC 的水泥用量都较小,极为干硬,为保证拌和均匀、出料及时,需采用强制式拌和机,拌和机每次拌和量为额定容量的 $2/3 \sim 3/4$,拌和时间为塑性混凝土的 1.5 倍左右。

值得注意:RCC 的拌和能力应与摊铺、碾压能力相匹配,否则会出现摊铺、碾压不及时或长时间不能构成工作段,影响 RCC 的质量。

RCC 的运输以自卸车为主,运输时间以不大于 20min 为宜。为防止拌和料离析,运输车与拌和机出料口的高度应尽量减小或加漏斗,同时接料时汽车应前后移动,不能停在同一位置。

3.3 RCC 摊铺

(1) 接铺机法 以德国产 ABG-422 型摊铺机为例,该机全宽可一次铺筑 12m,虚铺厚度可达 340mm,摊铺能力 $200\text{m}^3/\text{h}$,日进度 500m 以上,松铺系数 1.1,摊铺后的密实度可达 90%,使用效果较好。

(2) 平地机法 采用平地机铺筑 RCC 具有布料效率高(每天 400~500m),不受路面宽度限制的优点。但此法对混凝土配合比的要求较高,骨料不能离析,平地机无力二次拌和,要辅以人工,保证 RCC 混合料的均匀性。平地机法 RCC 的松铺系数为 1.15 左右,松铺标高采用拉线及灰点法辅助控制和找平。

(3) 人工摊铺 人工布料厚度容易控制,均匀性与平地机相仿,但人工的劳动强度大,进度慢(每天 150m 左右)。施工中为减少水分蒸发损失,应边布料边碾压,随到随铺平整,热天施工最好用塑料布覆盖。人工摊铺使用钢桁梁找平,并加以人工修补。平整度可控制在 5mm,人工松铺系数为 1.3。

3.4 RCC 的碾压

(1) 碾压方法 选用 10t 以上的压路机静压 1~2 遍,使混合料压稳定,再用低频 30Hz、大振幅 1.0mm 左右的低频振动碾压 2 遍,然后用频率 50Hz、振幅 0.7mm 左右的振碾高频振动碾压 2 遍,至要求压实度;最后用胶轮压路机静压 1~2 遍收面。

(2) 碾压注意事项 碾压能力与每天的进度要求及摊铺分段长度相适应,以免碾压不及时而影响 RCC 的密实度及强度。碾压必须及时和密实,但也不能过分振捣过分碾压,以防表面开裂和局部振散。碾压速度在 $3\text{km}/\text{h}$ 以下,防止轮前起堆和产生裂缝。碾压时从低侧向高侧进行。碾压过程中压路机不能调头、转向、急刹车等,以免造成 RCCP 表面凹陷、拥包、开裂。振压要出浆,表面水分不足时,适当洒水,水量以不沾轮为宜。碾压时如有弹簧现象或混合料在轮下大量滚动,说明 RCC 过湿,应翻开晾晒或换料。

3.5 切缝与养护

(1) 切缝 切缝时间按强度为 10MPa 时加以控制,夏季施工一般第二天就可以锯缝,锯缝采用跳仓法进行。

(2) 养护 由于 RCC 具有含水量低早期强度高(1d 强度可达 10MPa 左右)的特点,故早期养护特别重要(尤其是前 3d),要求养护时间不少于 7d。

3.6 填缝

采用灌缝机或人工方法进行,填缝料采用弹性密封胶和乳化沥青等。

4 RCCP 施工中的问题

(1) 局部路面厚度不足

厚度对路面的使用寿命有极大的影响,减少 10mm 时,寿命减少 25%~30%;减少 20mm 时,寿命减少 40%~50%,故应该在施工中引起极大的重视。

(2) 局部松散

由于级配不好,石子偏大或含水量过低,造成卸车或摊铺时大骨料离析,如果没有二次拌和处理,就容易造成 RCCP 底部或表层的骨料偏多、砂浆偏少而松散的现象。

(3) 边部及接缝处不密实

RCCP 边部及工作缝处不易压实,或因压不出浆而出现蜂窝,应在大面积摊铺端部前数米,先出人工在模板内侧堆 150~200mm 宽混合料,并洒水、拌和以铁钎捣实。施工缝端头应设钢模板加导木,使压路机能碾压到边,或多铺几十厘米,以后切除不密实部分。RCCP 工作缝的施工是个难点,应予以充分重视。