

細砂混凝土的試驗研究

重慶建築工程學院
細砂混凝土研究小組 著

高等教育出版社

本書系重庆建筑工程学院細砂混凝土研究小組对重庆超細砂拌制混凝土問題进行試驗研究的初步經驗总结报告。

在試驗中，他們敢想敢干，破除了国内外一切对細砂限制的迷信，对細砂拌制混凝土問題提出了許多新的論点；例如用己醮二酸鈣、甘薯粉、甘薯糖渣、紙漿廢液等作塑化剂，以提高細砂混凝土的强度及改善其工作度等。

本書可供土木建筑工程学院的教师、学生、有关工程技术人员参考用。

細砂混凝土的試驗研究

重庆建筑工程学院細砂混凝土研究小組著

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版业营业許可証出字第054号)

人民教育印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·801 开本787×1092^{1/32} 印張1 4/16

字數25,000 印數0001—1,500 定价(7) 0.17

1950年7月第1版 1950年7月北京第1次印刷



序

砂子为混凝土四大組成材料中之影响甚大。粒度过細的砂子一般認為不宜在混凝土中使用，其主要原因為：

(一)細砂的表面积較大，需要作为胶結材料的水泥量因而較多。

(二)細砂的級配不良，一般空隙率比粗砂为大，因而需要耗費較多的水泥浆填充空隙。

(三)細砂需要的拌合用水較多，因此要得到与中粗砂混凝土同样的和易性时，其每立方公尺混凝土中用水量亦較多，因而导致水灰比数值增大，降低混凝土强度，并使混凝土的抗摻性、抗冻性均降低。此外一般認為細砂顆粒較軟弱，粉粒塵土較多，不易配制强度較高的混凝土。因此細砂在混凝土中的使用一直受有严格的限制。

在國內外的技术規範中，对混凝土用砂的細度均有明确的限制。在苏联国家标准 ГОСТ 2781-50 和 2778-50 中，从砂的篩分曲綫圖上，可以看出控制各种标号的混凝土用砂的細度模量，須在 1.80 以上方为合格，而拌制 150 号以上混凝土用砂的細度模量，应在 2.40 以上。我国目前虽尚无国定标准，但一般参照苏联規定，細度模量在 1.80 以下的，即归入細砂之列。

細砂在混凝土中的使用价值，目前在苏联亦尚无一致的意見。有些專家認為过去对細砂限制过严，主張細度模量小至 1.50 的砂亦可制作混凝土，在仅有細砂的区域，亦可用至

1.50以下，但不得小于1.20。苏联細砂混凝土研究專家基良柯教授則主張細砂可用于拌制一切混凝土。他提出了关于選擇細砂混凝土配合比的新理論与新方法，但其論点在苏联引起不少人的反对。因此，此种論点目前仍在繼續爭論，未获定論。

細砂在我国产地甚多，包括黄河及長江流域，实为一种来源丰富的地方材料。重庆地方所产的砂均为細砂，一般細度模量在0.7—1.2之間，空隙率大都在50%以上。如按照中粗砂情况配制混凝土，其水泥消耗量要高出10—30%，施工單位过去均未全部采用本地細砂；但自成都地区运来中砂，每方砂价要高出本地砂約三倍，使每方混凝土單价增高近十元。本地少量較粗的細砂，产量又复有限，不足以滿足施工方面需要。因此如何采取有效措施，使地方材料細砂能大量使用于混凝土中，而不多耗用水泥，并进一步使混凝土的質量提高，实为关系社会主义建設的一大問題。在重庆地区的土建工程上尤迫切解决。

在重庆建筑工程学院大鬧技术革命、大搞科学研究、貫徹党的教育与生产劳动相結合的方針指导下，院党委向我們提出了研究重庆細砂拌制混凝土的任务，鼓励我們敢想敢做，破除对国内外一切对細砂限制的迷信，以扩大地方材料的使用价值。我們从58年8月起至59年2月止，在党委及营建系总支的領導与大力支持下，在教学結束阶段，集中時間，先后进行了两期研究工作，在人力設備不甚充分及原材料供应比較困难的情况下，共制成混凝土試件二百八十余組一千七百余件。試驗研究之主要情况为：

(一)使用重慶區較細的細砂，細度模量在 0.7 以下。因其較其他細砂區之細度更細，我們稱之為超細砂。此種細砂在一般技術規範中已規定不准使用。但重慶區有大量出產，應設法進行利用。試驗數據表明，此種細砂混凝土性質並不如想象中的不好。因此更增加我們使用一般細砂之信心。

(二)在我們經過初步實踐階段後，体会到細砂有其與中粗砂不完全相同的特性。在試驗工作中，必須根據其特性著手，方能達到節約水泥，提高混凝土強度的目的。歸納一般對細砂混凝土的處理措施約有下列數端：

1. 摻入適量粗砂或人工石屑；
2. 摻入磨細的粉狀摻合料；
3. 改善粗骨料級配；
4. 採用高細度的水泥；
5. 採用低標號水泥，使膠結材用量增多；
6. 使用表面活化劑——塑化劑；
7. 選用較小含砂率及流動性指標較小的混凝土拌合物；
8. 採用機械施工，特別是震動搗實。

在上列各項措施中，我們考慮到第 4, 8 兩項在我們目前生產技術條件上受有一定的限制，第 5 項在經濟上效果不大，因此在第一期試驗工作中，就其餘五項措施進行了摸索探討。此後參考了各地施工單位的經驗，並結合重慶地區的具體情況（當地缺乏粗砂，無軋石廠碎屑，粉磨設備缺乏，施工機械裝備率低等），在第一期試驗工作中，重點集中在第 6, 7 兩項措施上。對粗骨料級配，不過分強調人工級配，以符合生產實際要求。我們具體掌握的條件為：

1. 配制經濟有效而現場使用簡易的塑化剂;

2. 选用低砂率,一般在 23% 以下;

3. 选用較低水灰比,但混凝土拌合物的流动性能符合于施工要求。重庆地区施工單位的震動器总数很少,低流动性混凝土应用較多,故控制工作度在 20 秒以內;

4. 用工作度而不用陷度来控制 和易性。根据苏联資料及本地施工單位經驗,細砂混凝土在振動情况下其流动性較好,故不宜于用陷度表示和易性,而工作度更能反映其流动性情况;

5. 由于設備限制,試件制作方法为人工拌和,机械震搗,养护室中自然溫度养护。强度按水泥活性折算。

本項报告系在院党委领导下,师生合作,共同工作的一些初步經驗总结,深入研究,尙待进行。由于水平所限,报告中的論点难期完全正确,謬誤之处在所不免,希望工程界同志們批評指正。

· 細砂混凝土研究小組

一、材料性能

(一)試驗用超細砂的性質;

产地: 重庆沙坪壩九石崗嘉陵江岸

容重: 1.248 公斤/立方米

比重: 2.667 公斤/立方米

空隙率: 53%

膨脹度: 11%

有机杂质含量: 用比色法比較, 淺于标准色。

含泥量: 5.1%

級配及細度:

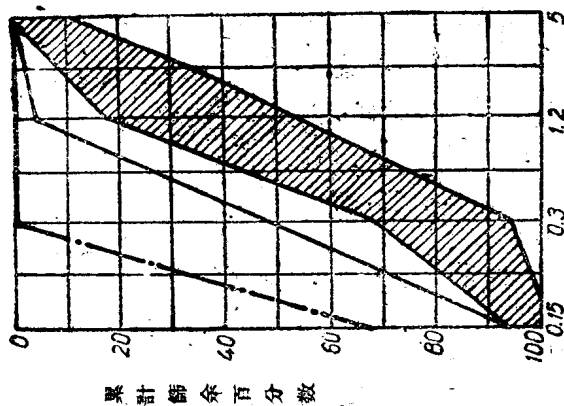
甲: 第一次用試样篩分曲綫(見圖 1)。

乙: 第二次用試样篩分曲綫(見圖 2)。

从篩分曲綫圖上可以看出, 重庆超細砂的級配情况十分不良, 70% 的砂子集中在 0.15 公厘的篩上, 30% 左右的石子細于 0.15 公厘, 其中包括部分粘土塵埃的粒子。

除級配情况外, 超細砂的容重, 空隙率, 均超过技术规范規定, 試驗所用九石崗超細砂, 其含泥量也較規定稍有超过, 体积膨脹达 11%, 亦超过規定限制, 說明其中有过多的微細顆粒。

我們曾用九石崗超細砂与平潭标准砂, 用各种不同的用水量, 按硬練成型方法制成方模, 进行簡單的对比試驗(見表 1 及圖 3), 从試驗中看出, 超細砂試塊最大强度仅为标准砂試塊强度的 40%, 而到达最大强度时, 超細砂的需水量較标准砂多 62%。根据成都工学院过去的試驗資料, 平潭标准砂的

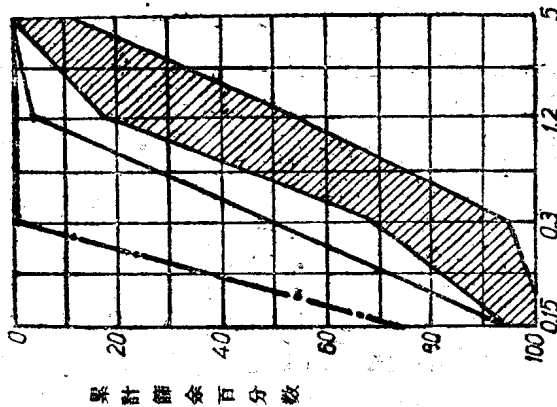


累計篩余百分数

篩孔(公厘)

圖 2.

$M_k=0.681$
 $d_{cp}=0.225$ 公厘



累計篩余百分数

篩孔(公厘)

圖 1.

細度模量: $M_k=0.745$
平均粒徑: $d_{cp}=0.228$ 公厘

表 1. 重庆超細砂与标准砂試塊用水量及强度之比較

編 号	砂 型	加 水 量 (毫升)	以 θ_0 組 用水量為 准 (%)	七 天 压 力 强 度 (公斤/平 方公分)	二十八天 压力强度 (公斤/平 方公分)	以 θ_0 組二 十八天压力 强度為准 (%)	备 注
C ₁	平潭标准 砂	160	123	247	374	79	在成型机上 錘击58下出 水
C ₂		150	116	245	410	84.5	
C ₃		132	102	275	414	87.5	
C ₄		130	100	303	473	100	
M ₁	九石崗超 細砂	130	100	93	114	24.2	强度下降
M ₂		140	108	90	131	27.7	
M ₃		150	116	97	130	27.5	
M ₄		170	131	112	149	31.6	
M ₅		190	146	117	175	37.0	
M ₆		210	162	122	187	39.5	
M ₇		230	177	117	—	—	

注: 1. 所制試塊为标准硬練压力試塊, 尺寸为 $7.07 \times 7.07 \times 7.07$ 公分。

2. 每組所用水泥量为 450 克, 砂量为 1350 克。

3. 由上表計算而得的, 当試塊强度最大时, 标准砂的水灰比为:

$$\frac{B}{A} = \frac{130}{450} = 0.29; \text{ 而超細砂的水灰比 } \frac{B}{A} = \frac{210}{450} = 0.47.$$

級配并不良好, 但在一切条件相同的情况下, 其强度約为超細砂試塊强度的四倍(用水量同为 130 毫升时), 制作超細砂試塊时, 在砂浆拌和机上显得十分干散, 在克氏机上勉强成型, 可見超細砂有其独特性質, 不能与粗砂等量齐观, 对細砂拌制

混凝土須作一些特殊处理,以期获得适合材料特性的結果。

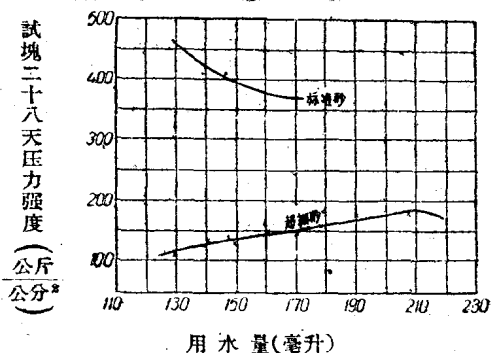


圖 3.

(二)試驗用卵石(見表 2):

表 2.

	第 一 期	第 二 期	备 注
产 地	重 庆 九 龙 坡	重 庆 沙 坪 壩	
比 重	2.71	2.63	
最 大 粒 徑	4 公 分	3 公 分	
級配(人工級配)	0.5~1-10% 2~4-90%	0.5~1-10% 1~2-20% 2~3-70%	
紧 密 容 重	1.94	1.95	
松 散 容 重	1.72	1.69	

(三)試驗用水泥(見表 3):

出产地: 重庆水泥厂。

品 种: 矿渣硅酸盐水泥。

表 3.

出厂标号	比重	出 厂 日 期	使 用 日 期	备 注
#400	2.97	1958年6月及8月	1958年9月	
#300	2.95	1958年8月16日	1958年12月至1959年2月	使用时另作活性测定

二. 塑化剂之制备, 使用及效果

(一)己酞二酸鈣用作塑化剂

利用制糖厂在生产过程中的廢液——糖蜜, 用石灰处理后生成己酞二酸鈣, 可用作混凝土的塑化剂。其塑化作用是由于己酞二酸鈣为一种易溶于水的、具有亲水性的表面活性物质, 它能使悬濁状态下的水泥顆粒更完善的与水相接触, 将原来水泥在液体中所形成的網状結構中所附着的与水泥顆粒表面作用无关的一部分水分排挤了出来, 因而增大了水泥浆的流动性, 使混凝土的和易性可得到改善。同时, 相对的亦就增加了水泥的实际比面积, 在吸附着有扩散剂的水泥顆粒四周的水膜显著的加厚, 因之, 相反的减少了泌水率。根据已作之試驗結果可以肯定, 扩散剂不但影响水泥浆液相-固相体系的各种物理性能, 同时, 在水泥水解水化后产生結晶过程中亦起了改变作用, 致使加入塑化剂比未加入塑化剂的混凝土强度

有所提高。

四川地区的糖厂以甘蔗为原料，而在生产过程中采用的是亞硫酸法(酸性法)，其副产品为糖蜜。我們采用了四川内江糖厂的糖蜜，呈紅黄色，味甜略带苦，比重为 1.38。化学成分为：

固形物 75—80%； 蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$) 28.1%；
轉化糖($C_6H_{12}O_6$) 23.33%； 非糖分 20—30%。
非糖分中約有 10% 为胶質体，其余則为 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , SO_2 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 等(共約 12%)。

至于鈣化用之生石灰，則系重庆歌乐山 II 級生石灰，將其磨細成粉，全部通过 0.15 公厘篩孔。塑化剂制备时，通过生石灰与糖蜜的作用，使糖蜜中的轉化糖与鈣結合而成己酤二酸鈣。

关于己酤二酸鈣的試制过程，我們从摸索中寻求了一些方法，此处拟仅选出其中較佳的方法介紹于下：

1. 将生石灰粉按所用糖蜜重量之 50% 随着糖蜜之被攪拌而逐漸加入，則石灰与糖蜜作用，漸漸硬化，此时須注意繼續用力攪拌，直至所有石灰粉全部加完为止。

2. 加完石灰，应繼續把石灰和糖浆拌勻。停止攪拌后約 1 分鐘左右，生石灰粉和糖蜜所成之化合物將發生体积迅速膨脹，以及类似沸騰現象。体积比原来的約增加兩倍左右。

3. 將所得化合物靜置于室溫下四小时，然后放入烘箱中，在低于 $80^{\circ}C$ 之恒溫下烘干，取出磨細，全部通过 0.15 公厘篩孔。

由于在制备己酤二酸鈣的过程中，糖蜜已与生石灰粉作

用而結合，故制成塑化剂后加入混凝土中，就不会再与水泥水解时分离出来的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 相結合，不可能發生有害的影响。但是，若在糖蜜中加入生石灰粉时，未能攪拌均匀即已結硬，就会有許多游离的糖和石灰存在。如制成塑化剂加入混凝土中，将对混凝土發生有害影响，处理过程实屬一重要环节。又根据我們的經驗，若用高鈣生石灰，則所制成的塑化剂效果也就越好，应引起注意。

將己醣二酸鈣用作混凝土的塑化剂，一般來說，它对混凝土的和易性之改善和后期强度之增进，均有显著的效果。我們取用了在水灰比为 0.5 (Ⅱ組，无 CaCl_2) 以及 0.35 (Ⅰ組，有 CaCl_2) 不变的情况下，分別以每立方公尺混凝土中水泥用量为 280 公斤，290 公斤，300 公斤，310 公斤 (Ⅱ組) 和 386 公斤，400 公斤，420 公斤 (Ⅰ組) 进行了試驗。根据已得資料分析所知，当水灰比在 0.5 (无 CaCl_2) 时，塑化效果較佳，工作度改善率可达 45% 以上；但若水灰比小于 0.5 时，則工作度将显著地变差。对于后期强度之影响，一般來說，当水灰比在 0.5 时 (无 CaCl_2) 可使强度提高 29—46%；而若加有 CaCl_2 ，水灰比为 0.35 时，則强度增进率为 10—15%，詳細資料列于表 4 中。

根据表 4 所列資料可見，就混凝土工作度改善和 28 天强度值綜合来看，其中較为滿意的有 Ⅱ組中水泥用量为 280 公斤/公尺³ 及 Ⅰ組中水泥用量为 400 公斤/公尺³ 之兩組。从这里可以看出，細砂混凝土强度之提高，并非与每立方公尺混凝土中水泥用量之增加成正比关系，而是有其一定之限度。

为了求得有关己醣二酸鈣在混凝土中的最佳掺入剂量，

表 4(A). 己脲二酸鈣塑化效果

編 號	材料用量 (公斤)			石子	工作度(秒)		28 天 抗 壓 強 度 (公斤/公分 ²)		工作度強 度 改善率 (%)	備 注
	水泥	水	砂		未加 塑化劑	加用 塑化劑	未加 塑化劑	加用 塑化劑		
Д ₇	280	140	464	1555	29	16	$\frac{122}{108}$ $\frac{180}{158}$	45 46		砂子細度模量為 0.681
Д ₈	290	145	459	1536	22	12	$\frac{127}{112}$ $\frac{166}{146}$	46 30		砂子細度模量為 0.681
	300	150					—			砂子細度模量為 0.681
Д ₉	310	155	448	1502	11	6	$\frac{123}{108}$ $\frac{162}{142}$	40 29		砂子細度模量為 0.681
Г ₉	336	135	417	1520	22	14	$\frac{250}{222}$ $\frac{290}{247}$	37 11		另加有水泥用量之 2% CaCl ₂ 砂子 $M_K=1.64$
Г ₆	400	140	392	1520	20	14	$\frac{280}{249}$ $\frac{320}{285}$	30 15		另加有水泥用量之 2% CaCl ₂ 砂子 $M_K=1.64$
Г ₁₃	420	147	354.2	1520	21	24	$\frac{255}{215}$ $\frac{294}{247}$	-14 15		另加有水泥用量之 2% CaCl ₂ 砂子 $M_K=1.64$
說 明	1. 強度表示法: 按水泥活性折算強度。 2. 水泥為 300 号矿砂水泥。 3. 石子最大粒徑為 30 公厘。 4. 試塊养护平均溫度為 9°—10°C。									

我們曾取用水泥用量的 0.1%, 0.2%, 0.4% 和 0.6% 作为塑化剂的掺入数量进行了試驗,茲将所得資料列于表 4(B)內:

表 4(B). 己酞二酸鈣掺量与效果比較表

編 號	材料用量 $\left(\frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^3}\right)$				工作度 (秒)		28天抗 壓强度 $\left(\frac{\text{公斤}}{\text{公分}^2}\right)$		工作强度 度改增進		備 注
	水泥	水	砂	石子	未加 塑化 剂	加用 塑化 剂	未加 塑化 剂	加用 塑化 剂	蓄率 (%)	率 (%)	
M ₄	270	150	409	1672	15	9	144	171	40	19	塑化剂掺量为 0.1%
Ж ₁₁	270	150	418	1650	15	15	144	178	0	24	塑化剂掺量为 0.2%
Ж ₉	270	150	418	1650	15	10	144	124	28	-14	塑化剂掺量为 0.4%
Ж ₁₀	270	150	418	1650	15	8	144	113	47	-21	塑化剂掺量为 0.6%
Ж ₁₄	270	150	418	1650	15	8	144	166	47	15	塑化剂掺量为 0.2%。另加 有 2% CaCl ₂
Ж ₁₅	270	150	418	1650	15	9	144	150	40	4	塑化剂掺量为 0.4%。另加 有 2% CaCl ₂
Ж ₁₆	270	150	418	1650	15	8	144	117	47	-19	塑化剂掺量为 0.6%。另加 有 2% CaCl ₂
說 明	1. 水泥为 400 号矿渣水泥。 2. 石子最大粒徑为 40 公厘。 3. 試塊养护溫度(平均): 20°—25°C。										

己酞二酸鈣之掺量与混凝土之工作度的关系圖見圖 4。

己酞二酸鈣之掺量与混凝土之强度的关系圖見圖 5。

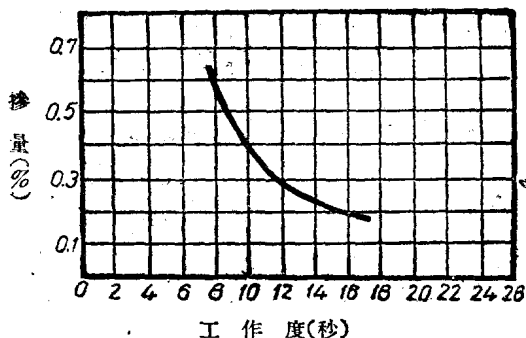


圖 4.

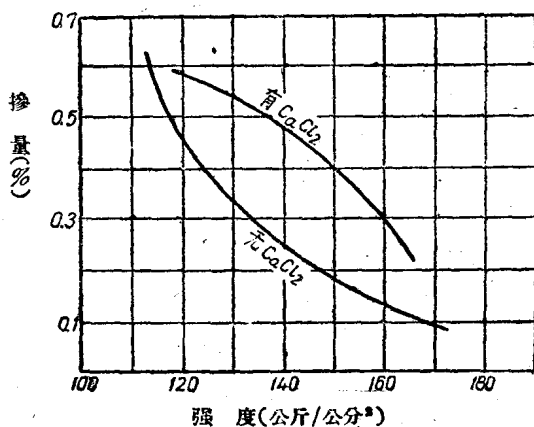


圖 5.

由以上資料可知，当掺量大于 0.4% 时，将使混凝土的强度降低很多（早期强度降低尤为显著，且試塊拆模时也較困难）。因此，初步分析結果，我們認為己酞二酸鈣的掺入最佳剂量为每立方公尺混凝土中水泥用量的 0.2%。这无论就和

易性改善,以及强度增进情况来看,均屬良好。

由于糖蜜屬地方性材料,价格較廉(四川内江糖厂的糖蜜出厂价格为每公斤 0.13 元),其加工也不复杂,一般工地皆可进行制配,因此,用于混凝土中作塑化剂实为一可取之物,值得加以推广。

(二)甘薯粉用作塑化剂

甘薯是含有糖类的高淀粉物質,如設法使淀粉轉化为糖(單糖或多糖),再和生石灰粉化合,就有可能成为类似己醣二酸鈣的醣类塑化剂,以代用己醣二酸鈣,而已醣二酸鈣目前因原料困难,已有供不应求的情况。

为求制备方法簡易可行,我們是使甘薯發酵轉为糖,以酸面(發酵面,食用的)或酒麴作發酵剂。用以試制的甘薯有:在市上出售的生甘薯粉,熟甘薯及用新鮮甘薯磨細之糊状物。三者的处理方法大致相同,即 1)加發酵剂:将甘薯制成糊状物(除生甘薯应加水外,其余都不需加水)后,加入發酵剂拌匀。2)發酵:溫度自 26° — 36°C , 時間自 16 小时—24 小时。3)加生石灰粉:加入量为占甘薯重 16—35%。加入的方法,对石灰之要求,及以后之处理,均同己醣二酸鈣(見有关部分)。就上述三种状况的甘薯,我們分別以不同的發酵剂,不同的發酵溫度及時間,加入不同量的生石灰粉进行处理,所得之制品,在加入混凝土拌和用水时有下列三种情况:

1. 生甘薯粉(簡称甘薯粉 A): 水粉比 = 1.13, 用酸面發酵,發酵溫度 20°C , 時間 14 小时,加生石灰粉 35%。

为亲水性物質,入水后很快扩散溶解,无不溶之浮渣,也无結膜結塊之現象,塑化作用好。