



船用液体燃料

胡恩如編著

人民交通出版社

本書主要說明船用液体燃料的種類、來源、物理和化學性質、技術條件以及燃油系統和儲存計量方法等，內容簡單扼要，適合一般技術人員和輪機人員業餘學習和工作中的參考。

統一書號：15044·6113-京

船用液体燃料

胡恩如編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號)

新華書店發行

公私合營慈成印刷工廠印刷

*

1957年8月北京第一版

1957年8月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$

印張：2 $\frac{1}{2}$ 張

全書：55,000字

印數：1—700冊

定價(9)：0.26元



第一节 概說.....	1
1. 煉制液体燃料的原料和来源.....	3
2. 液体燃料的煉制方法.....	5
1. 用石油来煉制液体燃料	5
1) 直餾法; 2) 热裂化法	
2. 用頁岩石来煉制液体燃料	8
3. 用煤来煉制液体燃料	9
1) 焦化和半焦化; 2) 加氢作用; 3) 用水煤气来煉制液体燃料	
3. 船用液体燃料的种类.....	10
第二节 液体燃料一般的物理及化学性質	13
1. 比重.....	13
2. 粘度.....	16
1. 动力粘度 2. 运动粘度 3. 相对粘度	
3. 柴油的着火性能.....	19
1. 十六烷值 2. 柴油指数	
4. 餾程.....	23
5. 炭渣值.....	24
6. 灰份.....	25
7. 酸值.....	26
8. 水溶性酸和碱.....	26
9. 硫份.....	27
10. 水份.....	27
11. 机械杂物.....	28
12. 閃点和燃点.....	28
13. 傾点和凝固点.....	29
14. 腐蝕試驗.....	30

15. 发热量.....	30
16. 各种燃油的技术条件.....	32
1. 輕柴油的技术条件	2. 頁岩輕柴油的技术条件
3. 重柴油的技术条件	4. 頁岩重柴油的技术条件
5. 燃料油的技术条件	
第三节 柴油机的燃油系統.....	37
1. 柴油机的燃油注給系統.....	37
2. 柴油机的噴油系統.....	38
3. 燃油的噴霧.....	39
4. 燃油噴射的穿入性.....	41
5. 燃油的燃燒.....	42
6. 燃油的含硫份对柴油机的腐蝕作用.....	45
7. 燃油产生积炭的原因.....	47
8. 柴油机的特性和燃油消耗.....	47
9. 柴油机的燃油消耗定額.....	49
10. 重質燃油在慢速柴油机中的使用.....	51
11. 柴油机使用重質燃油的規則.....	54
第四节 船用鍋爐的燃油系統.....	56
1. 鍋爐的燃油系統.....	56
2. 燃油的濾清.....	59
3. 燃油的供注压力.....	60
4. 燃油的加热裝置.....	61
5. 燃油的加热溫度.....	62
6. 燃油分离器.....	63
7. 燃油噴射器和燃油的噴霧.....	64
1. 机械噴射器	2. 蒸气噴射器和旋杯噴射器
8. 空气調节器.....	68
第五节 船用液体燃油的儲存和計量的方法.....	70

第一节 概 說

燃料是人們用来取得热能的物料，它的功用很多，家庭中的烹飪、取暖，发电厂发电，火車、飞机、輪船以及工业中原动机械的运轉都需要从燃料中取得大量的热能。

燃料的种类很多，單从它的形体上的不同，可以划分为固体燃料、气体燃料和液体燃料三种。固体燃料主要的是煤、焦炭、木柴和木炭等；其中單說煤的种类就不少，产区不同，它的化学成份也各异。气体燃料有天然煤气、焦炭爐煤气和煤气爐煤气等。液体燃料也有很多种类，主要是从石油、頁岩、煤中所提炼出来的各种液質的燃油，例如汽油、煤油、柴油、燃料油等。此外还有酒精、植物油等，必要时也可以用作液体燃料。

以上这三种燃料，應該是以气体燃料为最好的燃料，它的成份比較純洁，使用时节制也比較容易。如果条件允許的話，能够使用气体燃料，那是最經濟的了。我国四川重庆附近石油溝所出的天然煤气，把它灌在儲气瓶內供給汽車和短途的輪渡上使用，效率很好，也很經濟；唯一的缺点就是要用气瓶来儲存，在运输上和供应上都很困难，所以只能限于产区附近才能使用。

煤是主要燃料的一种，不論在工业上或运输事业上均大量采用烟煤作为主要燃料；但自从石油工业发展以后，能从石油中取得了大量液体燃料，它不仅在儲存和供应运输上比較燃煤来得便利，而且品質也比較优良，燃燒以后就沒有象煤那么多

的剩余煤渣，还能放出很高的热量。譬如燃烧一公斤的液体燃料能放出將近11,000大卡的热量，而品質最好的煤每公斤只能放出8,850大卡的热量；一般的煤每公斤只能放出6,000~7,000大卡左右；品質次的煤还要更低。所以在船舶上为着要求供应方便，儲存时不受地位的限制，同样重量的燃料可以取得較多的热量，在同样运轉的条件下，就可以儲存較少的燃料；相应地也就可以增加船舶的載貨量。所以近几十年来，在船舶中，尤其是远洋的船舶和海軍的艦艇中都已广泛地采用液体燃油。据文献中所指出的統計，在1914年的时候，全世界只有4%左右的商船是采用液体燃料的。到了1947年，根据統計，采用液体燃料的商船已增到80%，只有20%仍采用烟煤的。近年来，采用液体燃料的商船更增多了，根据1956年底世界航运刊物上所发表的統計，世界上所有的商船只有8.5%左右采用烟煤的了，現按照机器型式和所用燃料来分类的統計摘录如下，以供参考：

(一) 按机器型式分类：

机器型式	船舶总吨位 (千吨)	百分比率	与1955年比較总吨位的 增减数(千吨)	
往复蒸气机	36,326	34.5%	减少	658
帶有乏气透平的往复式蒸气机	2,016	1.9%	增加	42
蒸气透平	29,157	27.6%	增加	2,070
柴油机	37,701	36%	增加	3,178

(二) 按燃料分类：

机器型式	采 用 燃料种类	船舶总吨位 (千吨)	百分比率	与1955年比較总吨位的 增减数(千吨)	
蒸气机 包括往复式蒸气机和透平机	煤	9,092	8.5%	减少	755
蒸气机(同上)	油	58,407	55.5%	增加	2,209
柴油机	油	37,701	36%	增加	3,178

在我国，由于煤的蘊藏量十分丰富，产量很大，在目前为

了充分利用大量生产的烟煤，在内河和沿海的船舶中大部分仍将采用烟煤为主要燃料。但在今后随着炼油工业和船舶运输的不断发展，在船舶中大量地采用液体燃料是必然的趋势。

1. 煉制液体燃料的原料和来源

液体燃料是一种呈显液体状态的可燃体。我們都知道，在汽车、飞机上所用的汽油，拖拉机上所用的煤油，船用和陆用柴油机所用的柴油，以及船舶鍋爐中所用的燃料油等都是液体燃料；此外尚有酒精、植物油也可以用作液体燃料，一般在燃油缺乏的时候也有采用酒精渗入汽油中供给汽车使用，也有采用植物油供给柴油机使用的；但由于制造酒精的原料是采用粮食，植物油又是人们的食油或是工业上的原料，价格比较高，产量也有一定的限制，所以只有在不得已的时候才采用的。

现代煉制液体燃料所采用的原料，石油是最主要的一种，产量最多。此外还有采用油頁岩（我国撫順所产的頁岩油的原料）、煤、天然气以及由石油和煤的热过程和催化过程加工时所产生的气体等；这些原料所煉制出来的液体燃料都属于碳和氢的化合物。

石油主要是由碳 C 和氢 H 两种元素所组成的，是碳和氢的化合物。此外还含有少量的氧、硫和氮的化合物，这些化合物都是以混合物的状态存在于石油中，它们的含量的百分率如下：

碳.....	84~88%
氢.....	12~14%
氧.....	0.1~1.2%
氮.....	0.02~1.7%
硫.....	0.01~5%

石油的成份中有大量的各种碳氢化合物，在化学上又叫做烃。

由于它所含的碳和氢的比率和分子構造的不同，形成了許多不同的碳化氢。在这些碳化氢类中，有富于低沸点成份的，有富于高沸点成份的；所以可采用蒸餾的方法把它划分开来，低沸点的成份就可煉得輕質的燃油，沸点愈高所煉得的油質也就愈厚。这种方法就是在下面要談到的直餾法；此外，現代化的煉油方法，当石油中的低沸点輕質油蒸餾出来以后，还可以將高沸点的重質油用热分裂的方法来改变碳氢化合物的分子結構以煉得更多的輕質油份。

頁岩是从地层中間开采出来的岩石，又叫做油母頁岩，它的顏色有的是黑色，有的是褐色，是一种剝离的片狀岩石片；这种岩石中含有部分碳和少量的氢，还含有氧、硫、氮等化合物。其中灰份占有絕大部分；我国撫順的頁岩所含的元素分析如下：

碳.....	12.2%
氢.....	1.95%
氧.....	11%
氮.....	0.52%
硫.....	0.7%
灰份.....	73.6%

这种頁岩經加热以后，产生可燃性的气体，再經過乾餾就可以得到类似石油的油狀物，它的收油率最多也只有 10% 左右。

所謂油母頁岩，油母的意义就是在頁岩石內含有一种可以生成石油的母体物質；靠着加热的作用，石油就从母体物質中分离出来。也就是說，油母頁岩是一种含有油母的岩石，經過加热以后，就能从油母中产出石油。首先从油母頁岩中煉出的仅是頁岩粗油，再經過連續蒸餾及各種步驟以后，才可煉得各种油品，如汽油、柴油等。

煤也可以煉油，但煤中的成份比較複雜，它是各種有機物質的複雜混合物。煤的主要成份是碳和少量的氫；此外還含有各種氧、氮和硫的化合物，以及一些其他的礦物質等。因為煤中也含有碳和氫，所以也可以利用來煉製液體燃料。煉製的方法是將煤加高熱蒸餾，生產出來大量的煤焦炭和煤焦油；煤焦炭可以供給冶金工業使用，煤焦油即可用一般煉製石油的方法來煉得各種液體燃料。

動植物油中也含有大量的不飽和脂肪酸質的油份，它和碳氫的石油性質不相同，容易引起化學變化；許多植物油可以直接用作柴油機的燃料，同時也可以將油加熱在高压下或在觸媒劑的作用下起熱分解而煉得各種液體燃料。

天然煤氣，這種天然煤氣的主要成份是甲烷，是一種質輕的碳氫化合物，大都出產於產油區和煤田區；此外在沼澤的地方所產生的沼氣也屬於此類的天然煤氣。這種天然煤氣可以直接供作燃料用，也可以用氣管通到附近地區供作動力使用，或灌在氣瓶內供給汽車和小型短途船舶使用。

2. 液體燃料的煉製方法

液體燃料的煉製方法很多，煉製的過程也非常複雜，在學術上也是一項新穎而且很有發展前途的科學，不是在本書內能夠詳細加以說明的；但為了一般輪機工程人員在選擇使用油品時增加對燃油品質的鑑定能力，僅將石油、頁岩和煤的煉製液體燃料的方法作簡略的說明，以供參考。

1. 用石油來煉製液體燃料

1) 直 餾 法

在石油中所含的主要是種種不同成份的碳氫，又叫做烴，

它又分为烷屬烴、环烷屬烴、芳香族烴、烯屬烴和其他不飽和的碳化氫类。在这些石油中間，所含有的碳化氫成份很不相同，它的沸点也有很大的区别；含碳愈少的，它的沸点就愈低；含碳愈多的，沸点也就愈高；所以石油的煉制方法就是利用它的沸点高低来划分石油制品，这种煉制方法就叫做直接蒸餾，又叫做直餾法。

直餾法就是將石油用加热蒸餾，使它变成油蒸气，按其沸点高低將石油中各組成部分区分开来，所煉得的液体燃料仅为石油中原来含有的油量，是一种最簡單、最老的石油煉制方法。

石油經過蒸餾煉制，按其沸点不同，就可以得到許多不同的油蒸气，再用冷却又把油蒸气变成冷凝油，通常又叫做分餾油；沸点最低的，也就是油質最輕的分餾油就是汽油；沸点略为高一点的就是煤油，以后就按其沸点分別蒸餾出輕柴油、中柴油、重柴油和燃料油等。

石油蒸餾設備如图 1 所示，先將石油原油加入管狀鍋內，此鍋置在加热爐中加热，原油經受热以后，就轉入分餾塔进行蒸餾；但在未进入加热爐以前，先將原油送入热交換器，此热交換器的作用，既可將原油預热，又可借低温度的原油作为煉出来的油蒸气冷却用，目的是在减少热能損失以节省燃料消耗。

分餾塔是一个很高的圓筒形塔，在塔中裝有很多的棚行（如图中虛綫所示），一般約有十五行；塔的下部供給过热蒸气，原油在加热爐中加热以后，就导入塔的中下部的第三或第四棚行处，使油蒸气上升，同时在塔下面用过热水蒸气噴入塔內，使原油中的輕質油份逐漸蒸发上升；最輕的油蒸气升至塔頂，再通至塔外經冷却以后就是汽油；在汽油下面各棚行間就

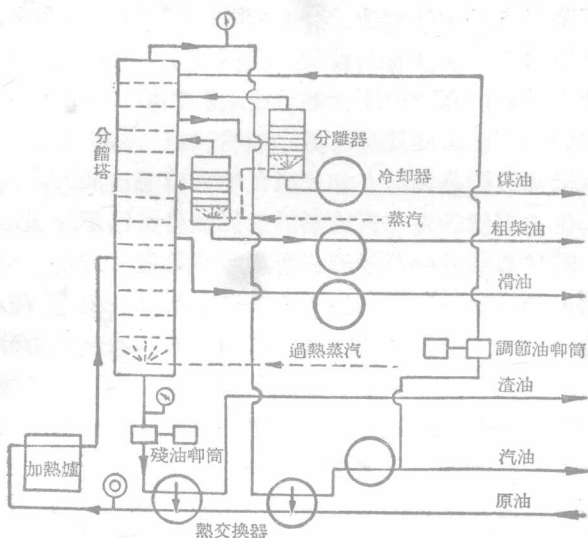


图 1 石油产品蒸馏过程图（直馏法）

依着各种不同温度分馏出来各种不同沸点的分馏油；例如煤油，就在汽油下面一二棚行，其沸点温度約在 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ；再次者为輕柴油，其温度在 $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$ ；最重的燃油約在 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 左右，尚須以原油的性質来决定。

图中还裝有分离器，下面也通有过热蒸气，它的作用是把已經蒸餾出来的油蒸气中的輕質油份再行分离，使它再行回到分餾塔进行反复蒸餾以取得更多的輕質分餾油。此外，在汽油冷却以后，还須將部分汽油由調節油唧筒打入塔頂，它的作用是調節塔頂油蒸气的温度，更可以加强汽油的精餾作用。

2) 熱裂化法

上面已經講过，直餾法是將原油加热以后，按其沸点的不同

同分別蒸餾出來各種分餾油，這種直餾法所取得的分餾油數量，僅僅是原油內原來所含有的數量；在性質上、成份上都沒有改變。也就是說，把原油中所含的油份，按其沸點高低劃分開來。但是近年來，石油工業日益發展，隨着飛機、汽車和國防上需要大量的低沸點輕質油份，如飛機汽油和車用汽油等；因此把原油僅僅依靠直餾的方法所煉得的油品數量，已不能適應實際的需要，同時也是不很經濟的；所以採用熱裂化方法，把原油用直餾法將輕質油份煉出以後所留下來的高分子重質殘留油（渣油），再用加熱裂化的方法將重油中的碳氫化合物分子引起裂化，組成低分子的相當於汽油的碳氫化合物，而求煉得更多的汽油。這種煉制方法叫做熱裂化法，又叫破壞性熱裂化法。它所用的原料不是原油，而是直餾法中留下的殘留油，如重質油，甚至在必要時也有採用柴油和煤油的。我們在船上曾經用過加氫裂化後所留下的殘留油，它的油質雖是很薄很清，但它的性質很差，這就是將輕柴油用熱裂化法煉制出部分汽油以後所留下來的殘留油。

熱裂化的方法很多，主要可以分為氣相裂化和液相裂化；氣相裂化就是將油加熱後，使油變成油蒸氣，再在壓力不高的情況下，將油蒸氣在很短時間內加入高熱，使油蒸氣分子起破壞熱裂化作用。液相裂化就是將油在液體狀態時，在很高的壓力下加入高熱，使油起熱裂化作用。此外還有催化裂化等，它是將裂化的油蒸氣通過催化劑以加速和改變反應的過程。

2. 用頁岩石來煉制液體燃料

頁岩油的製造方法是把油母頁岩碎塊置於乾餾爐內加以乾餾，使油母頁岩在加熱以後所產生的油蒸氣經冷卻後就取得頁岩粗油；再把頁岩粗油經過連續蒸餾或熱裂化而煉得各種燃

油。

上述的乾餾爐有外熱式和內熱式兩種。外熱式是用煤氣通到乾餾爐的雙層壁中間來加熱爐內的頁岩的。在我國撫順煉油廠是採用內熱式，它是將熱煤氣由乾餾爐的底部側壁輸入，它的構造是由一個乾餾筒和一個煤氣發生爐結合而成，乾餾筒放在煤氣爐的上面；油母頁岩先用壓碎機壓成大約五公分大小的碎塊，加入乾餾爐後就在底部側壁的煤氣輸送口吹送約在 600°C 的熱煤氣，此時油母頁岩就受乾餾而發生油蒸氣；同時在頁岩中還有氮和固定碳，經乾餾後落到煤氣爐中，此時在底部又輸入空氣和水蒸氣，最後由乾餾爐送出的有油蒸氣、煤氣和氨氣，把這些氣體分別導入冷卻器、采油機、氨氣吸收器等裝置，油蒸氣凝縮後成為頁岩粗油，氨氣凝縮後成為氨溶液（這是煉頁岩油時的副產品），不凝縮的煤氣一部分在加熱爐內燃燒，另一部分經加熱到 600°C 後又輸送到乾餾筒內。

所煉得的粗油再經過連續蒸餾和各種步驟則可煉得柴油和汽油等。我國撫順所出產的頁岩油品的技術條件詳見本書第32、36頁。

3. 用煤來煉制液體燃料

上面已經講過，煤是各種有機物的複雜混合物，由於煤內含有多量的碳和少量的氫，因此就可以利用它來提煉液體燃料，煉制的方法大致有下面三種：

1) 焦化和半焦化

煤的焦化是將煤在爐中加熱到 $900\sim 1,200^{\circ}\text{C}$ 左右的高溫，煤就引起熱分解作用生成焦油、煤氣和焦煤三種產品；焦油就可以用蒸餾的方法來煉制液體燃料；焦煤可以供給冶金工業

用，煤气又可以送回煤爐作为煤的加热燃料；这样可以把一吨煤煉得 50 公斤的煤焦油。

半焦化是在溫度較低的情况下来进行，这种可以煉得的煤焦油比較多，但是它的缺点是在煉出煤焦油以后所剩的半焦炭不能适合冶金工业使用，只能供給家庭取暖用，所以不大采用。

2) 加 氢 作 用

各种煤和焦化油都可以进行加氢，加氢作用是把煤或煤焦油加热到高温大約在 $380 \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，并在压力 200~700 大气压的高压力情况下，把氢加入，并采用一定的催化劑来帮助將煤或煤焦油进行热裂化；这时候煤或煤焦油的分子已經进行分裂，所分裂生成的物質和氢結合起来，結果可得到飽和的質輕的碳氢化合物，最后把这些碳氢化合物煉制各种液体燃料。

3) 用水煤气来煉制液体燃料

这种方法是用一氧化碳和氢在一定压力和溫度下通过催化劑以后发生氢化作用，就变成碳氢化合物；水煤气是一氧化碳和氢的混合物，用蒸气通过紅熾热的煤中就可以得到这种水煤气，用上面的加热氢化作用的方法就可从水煤气中煉出汽油和柴油等液体燃料。

3. 船用液体燃料的种类

船舶上所用的动力裝置，以目前情况来看，最普遍是內燃机、透平机和蒸气机三种，其中以內燃机所占的比例为最多，而所有內燃机中絕大多数的是柴油机，它的燃料是采用輕質、中質和重質柴油以及采用鍋爐中用的燃料油，在最近年来更广

泛地采用重質柴油和燃料油。只有少数的小汽艇、遊艇或某些專用船艇是采用輕質油（汽油）的。在蒸气动力裝置中，包括透平机和蒸气机的鍋爐，它們所采用的燃料，有烟煤、煤粉，而大多数的客貨輪、远洋船舶都是采用燃料油的。

柴油机的种类很多，由于机型、轉速以及燃油噴射方法的不同等等，所用的柴油品質也應該有区别；在船舶上所用的柴油机中，在轉速方面，有由 80 轉/分高至 4,000 轉/分的；气缸直徑有自 6 公分大至 90 公分以上的；在型式方面有四行程、二行程，單动活塞、双动活塞，筒式和十字接头式，平式和直式，V 字式和星形式等；在噴油設備方面有空气噴射、机械噴射的；因此柴油的使用就有很大的区别，也就是說柴油机中燃油的選擇使用，必須根据柴油机的具体性能来决定的。

近年来，石油煉制工业日渐发达，为了适应大量汽車、飞机及国防上的需要，在燃油的生产中，首先是从汽油的煉油率和質量出发加以解决的，有將石油的殘留油，如重質油，甚至輕質的柴油等用热分解来提煉更多的汽油来满足实际的需要；因此柴油的生产勢將放在次要的地位。但在另一方面，柴油机的使用范围日益扩展，数量不断地增加，柴油的消耗数量也必然逐漸增大。这两种矛盾情况的存在，势必影响柴油的供应；所以在近年来，在柴油机中所用的燃油，尤其是慢速的船用柴油机中已改用重質油或燃料油，以解除燃油供应的困难。这种改用重質油的办法，我們將在第三节内来詳細說明。

在采用液体燃料的蒸气透平和蒸气机的船舶中，它是用液体燃料代替了燃煤在蒸气鍋爐中燃燒；这种液体燃料是在石油、頁岩油或煤中煉制輕質油份以后所剩余下来的殘留油，又叫渣油，一般在石油产品中都叫它为燃料油；它的油質很厚，品質也很差，在技术条件上的要求也不高，使用时只須經過預热和

過濾，把油的粘度減小使它容易流動和油中的夾雜物濾清以後，就直接噴入鍋爐中燃燒；它的燃燒效率雖然比較烟煤要增高一些，但它的效率也还是很低的，在鍋爐中燃燒燃料油的热量，最多也只有 15% 能變成有效功率，單从熱效率這一方面來看是不夠經濟的。

雖然在熱效率方面來看，液體燃料在鍋爐中使用是不夠經濟，但比起烟煤來，不論在裝運供應和儲備等方面都要方便得多；同時燃料油是煉油過程中的殘留油，數量很大，當這些殘留油不能再行加工煉制的時候，若能用作鍋爐中的燃料也還是比較經濟的。

因此，現在可以總括一句，船用液體燃料除了少數小型船艇是采用汽油外，一般船用動力裝置中主要是采用輕質柴油、中質柴油、重質柴油和燃料油。這些油品的技術條件除了汽油在本書內从略外，都在下面各節中詳細說明。

第二节 液体燃料一般的物理及化学性质

1. 比 重

液体燃料在温度 20°C 时的重量和同体积的水在温度 4°C 时的重量的比值，就是它的比重。通常用 d_4^{20} ，或者用 ρ_4^{20} 来表示，并用来作为油品的标准比重。平时我们在测定比重并不一定在 20°C 时，而要將测定的油加热或者是冷却到 20°C 倒是一件很麻烦的事情；所以可在任何温度时来测定。如果在 $t^{\circ}\text{C}$ 时测定，所测得的比重 d_4^t 值可以用下面的公式换算到标准比重 d_4^{20} ：

$$d_4^{20} = d_4^t + r(t - 20)$$

式中 $r = 1^{\circ}\text{C}$ 的温度补正数，可在下表内查得。

例如在 25°C 时测得比重 $d_4^{25} = 0.8989$

那么

$$\begin{aligned} d_4^{20} &= d_4^{25} + r(25 - 20) \\ &= 0.8989 + 0.000647(25 - 20) \\ &= 0.8989 + 0.0032 \\ &= 0.9021 \end{aligned}$$

燃油的比重是随着温度的高低而变化的，温度增高了，比重就减小；温度降低了，比重就随着增大；为了便于日常的計算和审查，所以规定 d_4^{20} 为标准比重，使大家都采用这个比重。同时，在公制内，純水在 4°C 时的密度等于 1 克/毫升，也就是說在 1 毫升 (1/1,000 公升) 内的純水在 4°C 时 = 1 克重；在 1 公升内的純水在 4°C 时 = 1 公斤重；同样在 1 立方公尺