

241752

基本馆藏

北京石油学院讲义

钻井技术与工艺学

下 册

苏联 Г.М.盖维年著



石油工业出版社

13
8028

北 京 石 油 学 院 讲 义

鑽井技术与工艺学

下 册

苏联 Г. М. 盖維年著

北京石油学院鑽井教研室譯

石 油 工 業 出 版 社

内 容 提 要

本書是三冊中的下冊。上冊包括緒論、岩石破碎、鑽頭、鑽具等四章；中冊包括泥漿、渦輪鑽、電鑽、定向鑽井等四章。本書也包括四章——鑽井方式(或技術措施)、固井、鑽井裝置與設備及鑽井技術經濟等。

本書原系蘇聯專家格·姆·蓋維年副教授在北京石油學院為鑽采系教師及研究生所講授的鑽井工程課程的講義。內容包羅很廣，可作為有關高等院校師生的參考書，可供中等專業學校教學上的參考；並可供所有從事石油鑽井及其鑽探工作者的閱讀參考。

統一書號：15037·626

鑽井技術與工藝學

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

下 冊

根據北京石油學院蘇聯Г·М·蓋維年(Г·М·ГЕВИНЯН)講義稿翻譯

石油工業出版社出版(地址：北京大柵欄石油工廠對面)

北京市書刊出版業營業登記證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

850×1168 $\frac{1}{32}$ 開本 * 印張7 $\frac{1}{2}$ * 178千字 * 印1—4,000冊

1959年3月北京第1版第1次印刷

定價(10)1.20元

目 录

第九章 鑽井方式

第一节 概論	1
第二节 鑽井方式的理論基础	4
第三节 鑽井方式因素的相互联系	31
第四节 鑽井方式的确定	35
第五节 取心鑽井的方式	42
第六节 自动給进器和給进調节器	48
参考文献	67

第十章 固井

第一节 概論	68
第二节 注水泥用水泥和其質量檢查	91
第三节 水泥漿質量的檢查	97
第四节 注水泥方法	99
第五节 注水泥不良	101
第六节 注水泥过程中的复杂情况	105
第七节 气井固井的几个特点	108
参考文献	112

第十一章 鑽机和地面建筑

第一节 概論	112
第二节 鑽井用發动机	118
第三节 鑽井的蒸气机	126
第四节 鑽井用交流电动机	131
第五节 內燃机	134
第六节 柴油机發电机和电动机發电机組	137
第七节 鑽井發动机的組合	138
第八节 鑽机的基础	143

第九节	井架	156
第十节	提昇机械	167
第十一节	絞車	167
第十二节	游动系統	180
第十三节	旋轉机械	192
第十四节	泥漿泵	194
第十五节	鑽井裝置的維護和修理	201
参考文献		203
第十二章 鑽井生产过程的組織和技术經濟		
参考文献		236

第九章 鑽井方式

第一节 概 論

鑽井方式是指那些影响井眼加深速度的因素之配合。

影响机械鑽速(加深速度)的因素有下列几个:

- 1)鑽头类型;
- 2)鑽头尺寸;
- 3)鑽压;
- 4)鑽头轉数或其圓周速度;
- 5)泥漿排量;
- 6)泥漿質量。

除了这些直接影响机械鑽速的因素以外,还有一些間接影响以及限制机械鑽速的因素。影响机械鑽速的有用于鑽井的功率的大小。实际上,用于鑽井的功率是受鑽桿柱的强度限制的。

鑽井方式的選擇应该在井深的任何井段上使鑽井的功率能得到充分的利用。但是,高的机械鑽速不應該成为自我的目的,它必須和鑽井的質量指标結合起来。所謂質量指标就是井眼在空間的实际位置对垂直井或斜井之設計位置(剖面)的偏差。

在实际工作中,常因首先考虑鑽井質量指标,有意的降低机械鑽速,也就是說不利用所有的数量因素。

这里可以研究一下以下两种鑽井方式,第一种——正常鑽井方式(最优或合理的鑽井方式);第二种——特殊鑽井方式。

正常鑽井方式中考虑到充分地利用現有的鑽井技术装备和鑽具潜在能力。在这里,所謂快速和强化鑽井方式應該被看成是正常鑽井方式的質量变形,当然,它們不應該使得鑽井裝置和鑽具

有危险的过度载荷。

特殊鑽井方式可能由各种原因所引起，这些原因早就确定了各鑽井方式因素之間的相互关系。特殊鑽井方式还与下列各不良地质条件有关：硬度穿插不一，埋藏陡峭的地層，地质破坏以及有过高和过低压力或有坍塌危险的地層。除此以外，特殊鑽井方式也可能是为了鑽斜井或取岩心时使用。

如果要研究一下鑽井方式的发展历史，那末以苏联的鑽井实践为例，可以分为四个阶段。当然，这种分法是具有很大的相对性质。

第一阶段是从开始广泛采用旋轉鑽井法起到1931年止。这一阶段的特点是：仅使用鍛鋼的刮刀鑽头，而一些技术参数（除鑽头直径以外）都是憑司鑽本人的經驗用眼光和听覺选择的。工程技术人员在选择鑽井方式問題上不起任何有效的作用，而主要作用是由司鑽来起的。司鑽的工作实际上不经过檢查，因为那时井場上还没有檢驗和量測用的仪器。

第二阶段是从1931年初起到1935年底止。在这阶段里，鑽井时主要利用焊有硬質合金的“魚尾”型鑽头，而仅在坚硬岩石里才例外地使用牙輪鑽头。此时，一些鑽井方式因素经过很多會議已經标准化了，例如：鑽压在每吋鑽头直径上不超过0.2—0.3吨；鑽头轉速为40—50轉/每分鐘；泥漿排量每吋鑽头直径不大于1.5—2.0公升/秒。在泥漿質量方面，对其比重进行了檢查和調节。那时，司鑽的工作也可以控制了，因为几乎在所有的井場上都按裝了帶有自动記錄儀器的指重表。工程技术人员和科学机关（阿塞拜疆科学研究所和格罗茲內科学研究所）进行了一系列的工作，并找出鑽井方式的个别因素对于进尺速度的作用，但是，在实际工作中定額佔着統治地位，違背了它是不允許的。

第三阶段是从1936年到1941年为止。这一阶段是打破定額和寻找合理鑽井方式的阶段。在这阶段里，渦輪鑽井的經驗得到了

广泛的推广,这些經驗对鑽井方式的修正和發展給予不小的影响。

斯达哈諾夫鑽井技师和司鑽以經驗和技术知識武裝了自己,打破了定額,并从根本上改变了鑽井方式因素之間的关系。

鑽井时,越来越广泛地利用了牙輪鑽头,而魚尾鑽头主要在鑽粘土地層时使用。此时,鑽压已增高到每吋鑽头直徑 0.5—1.0 吨;鑽头轉数达到 160—200 轉/每分鐘,泥漿排量为每吋鑽头直徑 3.0—4.0 公升/秒,同时开始注意了鑽具下部的組合情况;还通过对泥漿比重、粘度、稳定性以及淨化程度等的檢查对泥漿質量进行了調整。

在个别地区已經过渡到仅使用三牙輪鑽头来鑽井,同时把鑽头轉数加快到 340—420 轉/每分鐘;把鑽压加大到每吋鑽头直徑 2.0—3.0 吨;把泥漿排量增大到每吋鑽头直徑 4.0—5.0 公升/秒;在利用加重鑽桿和按不同深度井段選擇鑽头类型方面也給予認真的注意。

第四阶段是从 1941 年起一直到現在这阶段的特点表现为从轉盤鑽井到渦輪鑽井的徹底过渡,同时进行了大量的科学研究工作,以便找出鑽井方式或因素在单独或与其他因素結合时的关系。

但是,現在还不能認為在鑽井方式个别因素对鑽井質量和数量指标的影响及意义这些問題里存在統一的意見。

应当指出,到处可以看到,人們都偏重于使用牙輪鑽头,和在鑽井深度普遍增大的情況下机械鑽速的提高。

如果在苏联 1941 年年初的鑽头总数中,80—85% 是刮刀鑽头,只有 15—20% 是牙輪鑽头的話,那末,現在这个数字却正好相反,也就是說現在有 80—85% 的进尺是用牙輪鑽头来鑽的。

如果在苏联第一阶段的經濟鑽速为 100—120 公尺/鑽机月,那末,在第二阶段此鑽速增長到了 160—180 公尺/鑽机月,而到第三阶段竟达到 1000 公尺/鑽机月。这里可以恰当地指出,在这三个阶段里,进尺的主要部分是落在阿塞拜疆和格罗茲內两个地区。

到第四阶段，苏联的鑽井重点移到了岩石坚硬的新地区。

在新中国的鑽井实际工作中，也可以看到随着鑽井方式因素的改善，鑽井速度在不断增長着。如果說在1950年，探井的經濟鑽速为103.55公尺/鑽机月，生产井的經濟鑽速为301.08公尺/鑽机月；那末到1956年此兩經濟鑽速分別提高到305公尺/鑽机月和541公尺/鑽机月^①。这里，1950年的平均井深为387公尺，而到1956年則增長到795公尺，即几乎增加了一倍多。

技术条件(鑽压，鑽头轉数，泥漿排量和質量，鑽头的类型和工作表面的耐磨度等)和地質条件(岩石的堅硬度、研磨能力、湿度、膠結物的性質等)决定岩石的破碎性質。

如前所述，岩石的破碎是一定的鑽井技术措施的结果，它可以按表面破碎或体积破碎原則进行。因此，在比較或選擇鑽井技术措施时，始終應該考虑到是采用什么样的岩石破碎原則或性質。

第二节 鑽井方式的理論基础

鑽井方式的理論作为对具体条件下鑽井参数設計原則的完整和分析性敘述是沒有的。目前仅努力想确定出鑽井方式因素(参数)的相互联系性和相互制約性、以及找出每个鑽井方式因素在单独和总和起来时对机械鑽速的影响，在鑽井方式的某些問題里，研究家們取得了一致的意見，但是在另一些問題里，各人都尽力証明自己的观点是正确的，并且否定別人的主張。

B.C.費多洛夫所作的“鑽井科学原理”一書乃是研究鑽井方式理論問題比較完整的著作。其他有关这問題的較为系統的著作不論在苏联还是外国的技术文献里都沒有。應該指出，在各种文字的期刊里載出了許多敘述鑽井方式个别理論和实际問題的文章。

現在，大家都一致公認，牙輪鑽头在鑽井速度方面比刮刀鑽

● 1958年平均經濟鑽速已上升到1,000公尺以上。——編者註

头要更完善和更有效。不久以前还認為，牙輪鑽头不适用于鑽粘性泥岩。但是，鑽井的實踐証明，当泥漿排量足够时，在粘性泥岩里使用牙輪鑽头，照样能得到令人滿意的效果。上面所談的对根据該井段主要岩石的性能选择适当鑽头类型的必要性并不是矛盾的。

B.C. 費多洛夫認為，对于高加索的一些油矿来說，井身剖面的 75—80% 的岩石最好用牙輪鑽头来鑽，而刮刀鑽头仅用来鑽从地面起不太深的那一段粘土層。B.C. 費多洛夫还指出：“快速鑽井时，使用刮刀鑽头是不合适的”。

根据近年来使用刮刀鑽头进行渦輪鑽井的資料，費多洛夫的建議需要一定的修正。我們認為，在刮刀鑽头方面把这种建議肯定为下列形式是合理的：刮刀鑽头(三刮刀鑽头)应该用来鑽有足够厚度的軟岩石和粘性岩石(与岩石之埋藏深度無关)，此时鑽压不超过每时鑽头直徑 0.5—0.8 吨，并保證泥漿回流速度不低于 0.8—1.0 公尺/秒。

刮刀鑽头不应该用来鑽中硬岩石和硬岩石，这有两个道理：第一、鑽头有卡住的危險和鑽桿容易折断；第二、由于此时鑽头是根据表面破碎原理深入岩石里的，故机械鑽速極低。

至于在中硬岩石和硬岩石里使用刮刀鑽头会产生井底岩石的表面破碎这一点是很容易証明的。其实，为了使得鑽头进行体积破碎，就必须讓它吃入井底一定的深度。为此，必須讓鑽头的單位压力超过或等于岩石的極限抗压强度，即：

$$\frac{C}{F_{on}} \geq \sigma_{\text{содв}}$$

假設 12 号魚尾鑽头的鑽压为 $C = 9000$ 公斤，并且讓鑽头的最初支承面 $F_{on} = 20$ 公分²，那末：

$$\sigma_{\text{содв}} = \frac{9000}{20} = 450 \text{ 公斤/公分}^2$$

換句話來說，即使是新鑽頭也不能深入中硬程度的砂岩里，因為砂岩的破碎只能根據表面磨損原理進行。這種鑽井也許用技術經濟合理性來證明是正確的，但是對實際材料的分析，得出了否定的回答。例如：羅馬尼亞在1952—1954年間，使用焊有三層的硬質合金的魚尾型鑽頭來鑽中硬岩石和硬岩石。這種鑽頭能在井底堅持工作50—100小時，其進尺數達到25—50公尺。因此，平均機械鑽速 $v_m = 0.5$ 公尺/小時。把這種速度拿來和蘇聯東部地區堅硬岩石里的機械鑽速比較的話，就可以清楚看出類似這種方法解決問題的不合理性。

這樣，可以認為，使用牙輪鑽頭來鑽地層的基本部分這個必要性（不管是在那一種鑽井方法條件下，轉盤鑽井或渦輪鑽井）在理論及實際上都得到了証實。這方面，刮刀鑽頭就仍然用來鑽有足夠厚度的軟岩石和粘性岩石。

其次，在分析實際鑽井資料的基礎上，還應該正確知道鑽某種地層最合適用哪一種類型的鑽頭。

如果在鑽個別井段時，發動機的部分功率沒得到利用，那末應該採用噴射式鑽頭。這部分未被利用的功率就可認為是泵的水力功率。在泥漿排量不變的情況下，使用噴射式鑽頭就可能增大工作壓力，增大的數值可以按下列公式求得：

$$P_{\text{шд}} = \frac{8.81 Q^2 \cdot \gamma}{K^2 \cdot F_{\text{шд}}} \text{大氣壓},$$

式中 Q ——液體排量，公尺³/秒；

γ ——液體比重，噸/公尺³；

F ——噴射式鑽頭的噴嘴截面積公尺²；

K ——噴嘴系數， $K = 0.8$ 。

特殊鑽井方式可以要求使用那種顯然不能保證足夠高的機械鑽速的鑽頭。

關於固體破碎方面的學說的基礎乃是所消耗的功與破碎的體

积或重新組成的表面积成比例。

把这种学說用到鑽井的机械过程上来就可以初步断定，在功率消耗不改变的情况下，机械鑽速与被破碎岩石的体积成反比。在这种場合下也可以这样認為：机械鑽速与鑽头直徑的平方成反比。

所确定的这个原則是有不少实际材料作为根据的，并且已經在 1936 年 2 月在巴庫召开的全苏石油开采工業职工代表大会肯定了下来。

由此，机械鑽速与鑽头直徑之間的相互关系可以通过下列式子来表示：

$$\frac{v'_H}{v''_H} = \frac{D_{II}^2}{D_I^2},$$

从这个式子中可以得出这样一个合理的結論，就是要尽可能减小用于鑽井的鑽头直徑从而提高机械鑽速。这种願望在各国的实际鑽井資料里都可以清楚地看到。

在美国，每年要消耗近七十万个鑽头，这里有 90% 的进尺是由直徑为 $7\frac{3}{4}''$ — $9\frac{3}{4}''$ 的鑽头得到的，在这个数目里 60—70% 的进尺由直徑为 $8\frac{3}{4}''$ 的鑽头鑽得。

在苏联，大部分的进尺是用 11 号和 12 号鑽头鑽出的。

当鑽井还仅使用刮刀鑽头和主要用 $6\frac{5}{8}''$ 的鑽杆时，对于

$$\frac{v'_H}{v''_H} = \frac{D_{II}^2}{D_I^2} \text{ 一个式子是不会怀疑的。}$$

近几年来，使用刮刀鑽头的比重(或百分数)在减小着，而使用牙輪鑽头的比重則相应地在增長着。

对用牙輪鑽头来鑽井的經驗数据和实际資料所作的分析証明，

$$\frac{v'_H}{v''_H} = \frac{D_{II}^2}{D_{II}^2} \text{ 这个式子是不能保持的。}$$

在使用牙輪鑽头鑽井时，机械鑽速和鑽头直徑之間的关系以下式来表示：

$$\frac{v'_{\text{H. 11}}}{v''_{\text{H. 11}}} = \frac{D''_{\text{11}}}{D_{\text{11}}},$$

v_{H} 和 D 之間这种关系的改变是有其理論基础的。

当鑽井还使用刮刀鑽头时，岩石的粉碎程度几乎是不变的，它与鑽头直径无关，所以粉碎工作仅与被破碎岩石的体积成比例。

在利用牙輪鑽头鑽井时，由于鑽头直径的减小，鑽头牙輪上牙齿的尺寸也要减小。較小的牙齿，其岩石的粉碎工作也較細，并且为此还需要有附加工作，因为后者是与被破碎物質的顆粒表面成比例的。

对利用牙輪鑽头来鑽井的进一步深入分析証明，当把12号鑽头换成10号鑽头时，机械鑽速并不提高，换成9号鑽头时則更是如此。

某些研究家們把这情况解釋为由于9号和10号鑽头的結構沒有12号来得牢固，自然在一定程度这一点是不能否認的。必須認為，当把12号鑽头改成10号和9号鑽头时，机械鑽速的稳定或者甚至减小都与鑽具下部的刚度，正确說来，与刚度系数的大小有关。

所謂刚度系数可以看为下列这种关系：

$$\frac{ET}{D} = K_1,$$

式中 E ——弹性模数，公斤/公分²；

T ——赤道的慣性力矩，公分⁴；

D ——鑽头直径，公分。

許多年来的实际鑽井工作已經給鑽头直径和鑽桿外径之間确定了这样一个最起码的关系，通常是：

$$D = 2 \cdot d_n,$$

式中 d_n ——鑽桿外径，公分。

考虑到这一点，就可以写出：

$$K_T = \frac{2 \cdot ET^3}{d_n^4}$$

这个計算說明，对 $6\frac{5}{8}''$ 的鑽桿來說， $K_T = 2.2 \cdot 10^8 \cdot 100$ ；
对 $5\frac{9}{16}''$ 的鑽桿來說， $K_T = 2.2 \cdot 10^8 \cdot 65$ ；而對於 $4\frac{1}{2}''$ 的鑽桿，
則 $K_T = 2.2 \cdot 10^8 \cdot 38$ 。

概括上面所說的，可以指出，在確定鑽井方式時，應該選擇直徑儘可能小的鑽頭，此時剛度係數應儘可能達到高的數值，即使用加重鑽鏈。

以實際資料和对專門裝置所作的實驗為基礎的很多研究工作證明，機械鑽速是隨着鑽壓的增大而增長的。

機械鑽速與鑽壓之間的關係可以是直線關係，也可以是指數關係。

但是，也有些研究家的見解却相反，例如：K.B. 克列甫科夫和 A.C. 斯坦尼雪夫斯基說，機械鑽速隨着鑽壓的增大而增長這種情況是少數的，而在極大部分情況下却相反，美國人布蘭特里和克雷桐也得出類似的結論。

如果把这些研究家們的結論歸結起來，可以確定出下列五個觀點。

- 1) 機械鑽速並不隨着鑽壓的增大而增長；
- 2) 在鑽壓增大的情況下，機械鑽速會相應地增長，但是，在速度方面不如鑽壓的增大（H.H. 卡爾美科夫指出，當鑽壓增大一倍時，機械鑽速增長 50%）；
- 3) 機械鑽速的增大與鑽壓的增長成正比；
- 4) 機械鑽速的增長與鑽壓的平方成正比（П.С. 阿夫捷也夫“在巴基里亞石油局依申伯礦場的條件下的鑽井方式”）；
- 5) 機械鑽速和鑽壓之間的關係具有指數性質，這個指數大約改變在 1—3 範圍內（不超過此指數）（B.C. 費多洛夫“鑽井科學原理”）。

所以得出这些各不相同的結論，原因是各个观察和实验的条件不同。

第一，經常可以發現，当鑽压增大时，机械鑽速也会有某些增長，然后它又稳定或者甚至在鑽压繼續增大的情況下反而減小。这种情况是因为井底的岩屑清洗工作不好或不够。

第二，当單位压力小于極限抗破碎强度时，也就是当 $\frac{C}{F_{on}} \leq \sigma$ 时鑽压在一定範圍內增長。在类似情況下，鑽井是根据井底表面破碎原理进行的，如果此时洗井較好的話，那末机械鑽速与鑽压的增長成正比。

第三，在 $\frac{C}{F_{on}} > \sigma$ 的条件下，鑽压的增大是有可能的，那时，鑽压与机械鑽速之間存在着指数关系，指数等于或大于 1.25。

第四，机械鑽速的增長取决于鑽压，在保持 $\frac{C}{F_{on}} > \sigma$ 和井底清洗足够的情况下，这种增長在鑽各种岩石时都有可能；如果鑽井是在坚硬岩石和硬的岩石里进行，則在 v_n 和 C 之間保存着指数的关系，这时指数大約在 1.25 到 2.0 範圍內。对粘土來說此指数約为 2.0—3.0。

第五，机械鑽速增長与鑽压增大之間的关系应该和鑽头的类型及尺寸联系起来。对于刮刀鑽头，鑽压的大小沒有一个極限的数值，通常仅是由鑽桿或者鑽头本身的强度所限制。在使用牙輪鑽头时，就有某些不同的情况。沒有特別的必要指出，牙輪鑽头上的鑽压是受其强度限制的。牙輪鑽头上的極限鑽压是这样一個負荷数值，在該数值情況下，鑽头吃入岩石的深度等于牙輪上最小牙齒高度。当鑽压高于極限值时，机械鑽速不仅会稳定，甚至会減小。極限鑽压的数值由鑽头的尺寸来决定，鑽头直徑越小，此值也越小，因为牙輪上牙齒的高度是随着鑽头直徑的減小而減小的。

第六，極限鑽压的存在早就确定了 v_n 和 C 之間关系的性

質，在鑽壓達到某個數值以前，鑽井速度的增長要比鑽壓增大得快，以後，取決於鑽壓的機械鑽速，其增長速度開始慢了并且落后於鑽壓的增大，接着，當鑽壓接近極限值時，機械鑽速就與鑽壓的增大無關或幾乎無關，最後，當鑽壓超過極限值時，不管它怎樣增大，機械鑽速都要減小。

第七， v_m 和 C 的關係應該在一定的鑽頭轉數情況下來研究，因為，當鑽頭的轉數比較小時，儘管其他條件一樣，取決於鑽壓增大的機械鑽速增長速度總是低於高轉數時的增長速度。

第八，在研究 v_m 和 C 的關係時應該考慮到鑽頭工作表面的狀況，考慮到在鑽頭最初工作時，單位壓力 $P_{y\theta} = \frac{C}{F_{on}}$ 大大地超過岩石的強度 σ ，而在鑽頭最終工作時，單位壓力的數值通常是要減小的，而 $P = \frac{C}{F} \approx \sigma$ ，也就是說岩石的體積破碎逐漸變成表面破碎了，同時指數也要減小，從下式中可以看出：

$$v_m = a \cdot C^m$$

在用刮刀鑽頭鑽均勻泥漿和保持其他鑽井方式因素不變的情況下， v_m

和 C 的關係可以用下列圖表來表示（圖 325）。

圖表里的這幾條直線隨着泥岩強度的增大有規律地減小其傾斜角度。

生產條件

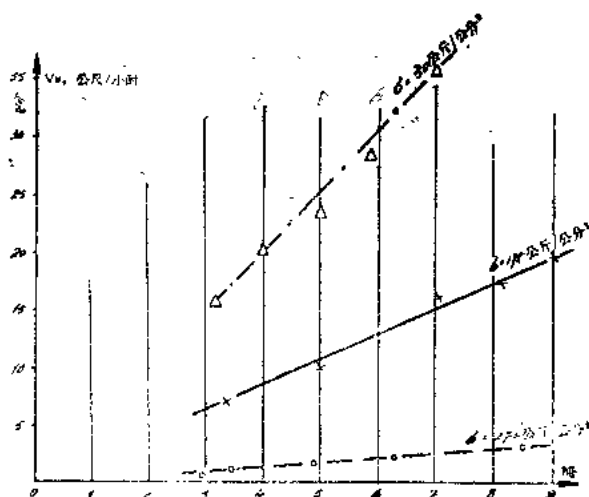


圖 325

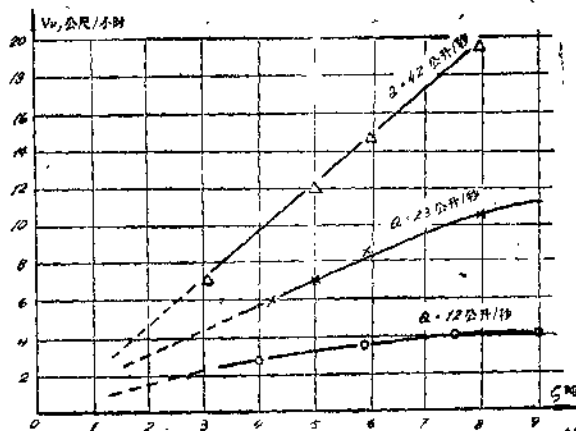


圖 326

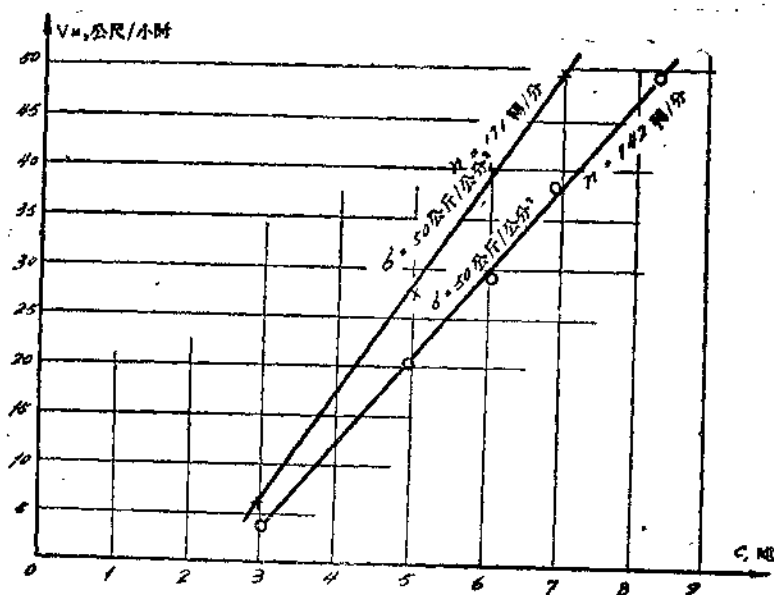


圖 327