

苏联竖井表土施工经验

日·С·巴比切夫 編著
馬 英 明

82311

中国工业出版社

054474

苏联竖井表土施工經驗

H·O·巴比切夫 編著
馬英明

中国工业出版社

本书主要是介绍苏联煤矿竖井井颈与井筒在表土层施工的经验，其中介绍了巴斯桑田、莫斯科煤田、里沃夫-沃雷田和莫斯科地工铁立建设等各种不同地质条件下所采用过的先进施工方法——普通法和特殊法。特殊法中又包括普通的板桩法，滑动金属板桩法，沉井法，潜井法，冻结法和降低地下水位法。此外还要使用炸药能压碎岩石可凿井筒的新方法。

书中对井筒井颈的合理施工和掘进速度作了适当的建议，对混凝土的井颈井心的计算作了介绍，同时列举了钢板桩土隔板法和板桩板的技术规格。

本书可作设计工程技术人员参考材料，也可作为高等学校矿建专业的教师和学生参考书。

苏联竖井表土施工经验

И. С. 巴比科夫 著

煤炭工业部书刊编辑室编辑（北京煤炭工业出版社）

中国工业出版社出版（北京东黄城根大街10号）

（北京市书刊出版业登记证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本450×1168毫米·印张47/8·插页1·字数111,000

1962年3月北京第一版·1962年3月北京第一次印刷

印数0001—1,510·定价(11-9)0.80元

统一书号：15165·1154(煤炭-43)

目 录

緒論.....	1
第一章 豎井井筒支架.....	4
第1节 临时支架.....	4
第2节 永久支架.....	12
一、混凝土井壁及其計算.....	12
二、鑄鉄弧板.....	16
三、鋼筋混凝土弧板.....	19
第二章 在微含水軟岩中豎井井筒的开凿.....	22
第1节 井頸掘进.....	22
一、姆世杰托夫2矿风井井頸的施工.....	22
二、姆世杰托夫2矿和17矿副井井頸的施工.....	34
三、卓尔卡斯共青团矿副井井頸的施工.....	47
第2节 爆炸能压固岩石凿井法.....	56
第二章結語.....	63
第三章 豎井井筒特殊开凿法.....	66
第1节 井筒井頸的特殊施工.....	66
一、大莫斯科夫5号矿使用垂直板桩法的副井井頸施工.....	66
二、大莫斯科夫7号矿使用斜板桩法的副井井頸施工.....	72
三、大莫斯科夫8号矿使用冻结法的主井井頸施工.....	74
四、大莫斯科夫6号矿使用人工降低地下水位法的主井井頸施工.....	78
第2节 豎井井筒特殊开凿.....	80
一、西里多夫矿2号浅井使用震动金属板桩法过厚流砂层的施工.....	80
二、莫斯科地下鉄道第5綫井筒使用沉井法的施工.....	90

三、莫斯科地下鉄道第5綫6号井使用水力千斤頂沉井法 的施工.....	94
四、諾沃-沃雷斯卡亚5矿使用鑽井法开凿井筒.....	98
五、莫斯科地下鉄道第5綫5号井使用冻结法的施工.....	113
六、多罗戈布斯克建井局8矿主井使用冻结法的施工.....	121
七、北阿格耶夫1矿副井使用冻结法的施工.....	133
八、諾沃——沃雷斯卡亚6矿豎井使用人工降低水位法 的施工.....	141
第三章結語.....	150

緒 論

苏联煤矿建設中掘进技术的发展和井筒施工組織的改进都不断地取得巨大的成績，因而許多建井单位达到了空前的高速掘进水平。近年来广泛使用井筒工作面装岩和地面卸岩的机械化設備，制造和推广井筒掘进的新装备，改进排水、通风和打眼放炮工作，每一井筒的掘进都使用足够的БЧ-1型或EC-3型抓岩机。在掘砌工作中采用了施工組織循环图表和平行作业。除此之外，对豎井井筒掘进过程綜合机械化的联动机和装备給予很大的重視，EC-2型和EC-3型綜合設備已在頓巴斯各矿試驗和应用，近来又在“諾沃-布托夫卡”矿井試驗 EC-1M 型最新式綜合掘进联动机获得很大成功。

由于技术的迅速发展，快速掘进經驗的采用与推广，工作組織的不断革新，苏联建井人員近五、六年来創造了一系列新紀錄，其中以頓巴斯“諾沃-布托夫卡”矿井的快速掘进成績最为巨大，該矿主井掘进使用了“EC-1M”巨型綜合掘进联动机，在1959年4月份創月进成井264.6米的世界新紀錄。

井筒的表土施工是一个重要而复杂的問題，其施工的成敗从根本上影响着整个井筒的掘进，因为表土层中水文地質变化很大，且多为冲积层，結構极不稳定，一旦土帮暴露极易塌落。如再加上水的浸漬，泥砂随水流入井內，施工更为复杂。

井頸是整个井筒极为重要的一部分，在表土中的井頸掘进比起井筒本身更为复杂。实践告訴我們，井頸施工在許多情況下极易发生事故，如斯大林諾基建局于1951—1954年施工的豎井中，有六分之一以上的井筒在井頸施工时发生过事故，处理事故总要花費大量資金，同时延长了建井時間。有时在事故之后

要恢复井頸，簡直是不可能的。多年来的研究說明，发生事故的主要原因有：1. 由于使用槽鋼临时支架的井圈，在地压作用下发生变形，再若段高过大，掘进期限过长，工作面积水，則更易发生事故；2. 用不合規格和質量不好的混凝土作支护，結果永久支架发生破裂；3. 由于在永久井壁后面存在空洞，造成井壁与围岩間的摩擦力不足，这样就使井頸的整个混凝土支架下沉。

井頸施工可以一次掘到設計深度，采用临时支架，然后由下而上砌永久井壁或者用分若干小段掘砌的办法向下掘进。在分小段掘砌和应用临时支架的井頸施工中，每小段內的永久井壁是自下而上砌筑。若永久井壁是鋼筋混凝土弧板（丘宾筒支架）或快干混凝土，并以移动式模板来浇灌混凝土砌筑时，段高决定于围岩的稳定性，合理的段高为0.7—1.2米。在此种情况下，永久井壁随着工作面的向前移动自上而下砌筑。

在厚表土中用临时支架掘进时，为了預防井頸发生事故起見，以分段掘砌法掘进井頸較好，每段段高可为2—10米。井頸用临时支架作支护的时间不应大于10—15天，因为許多經驗証明，在这短短時間內复盖层的地压还没有来得及达到其最大值。2—10米的段高之选定是在实践經驗的基础上，即从使該段能尽快地砌好可靠的永久井壁的条件出发来考虑的。斯大林基建局第一建井工程处的同志們在詳細研究許多相同地質条件下井頸施工事故的原因之后，吸取了經驗教訓，他們在“姆世杰托夫”矿井和“新”井17号的井頸施工中采用了分段掘砌的办法，并获得了良好的效果。

在頓巴斯，豎井井頸通常是在冲积层（表土）中和局部地在风化基岩中掘进。表土在大多数情况下是第四紀沉积，厚度一般在30米以內，有时根本没有表土，而是基岩——石炭紀岩层——直达地表。在这种地質条件下，井頸是用普通法掘进的。

在頓巴斯岩石賦存的條件下，並且是用普通法掘井時，井筒之上部一般用與井筒其他部分不同的材料和厚度的支護所砌成，並連接着自地面通向井筒的一切地道，這一部分稱為井筒的井頸。當用鑄鐵和鋼筋混凝土弧板時，井頸的支架可能是用與井筒本身同樣材料與厚度的井壁。對於井頸本身通常選擇這樣的深度，即使井頸之基本壁座砌在未風化的基岩中。

如果沖積層(表土)很厚，則井頸為由地表到深于接連井筒之地道的下出口1—2米的部分，其深度一般在15米之內。

蘇聯的煤田表土成分通常是第四紀和第三紀沖積層，或者是白堊紀、第三紀和第四紀沉積岩；有時白堊紀沖積直達地表；當在第三紀含水沖積層(含水砂；流砂)掘井時，一般是用特殊開掘法——板桩法，沉箱法，壓氣沉箱法，人工降低地下水位法，鑽井法，凍結法等等。

在建設莫斯科地下鐵道時，和在莫斯科近郊煤田以及里沃夫-沃雷煤田的井筒開掘時都是在複雜的水文地質條件下進行的，必須通過深厚的表土層，而下部穩定岩層常常浸滿壓力水。

複雜的水文地質條件決定着支架種類的選擇，在此情況下多數是用鑄鐵弧板作為井筒的永久井壁，鑄鐵弧板能夠保證防水，使地下水無法流入井筒內。

近年來，經過一系列的技术改進，蘇聯推廣了許多特殊掘井法，但壓氣沉箱法沒有被推廣，它只有在工作室內壓縮空氣的壓力不大於1.5—2氣壓和在其他特定必需條件下採用才被認為是合理的。

本書內容是介紹在普通和困難的地質條件下豎井井頸開掘的先進經驗、井筒的特殊開掘法、用爆炸能壓固松軟岩石的掘井新方法。不少篇幅放在介紹較有前途的特殊掘井法——人工凍結法和用最新裝備的鑽井法。

第一章 豎井井筒支架

第1节 临时支架

开凿豎井井頸时多半是用18、20、22和24号的槽鋼作临时支架的井圈，用厚度为4—5厘米的松木板作为背板。

下面我們对井圈和背板进行計算。

使圓环形井圈失去稳定性和变形的压力称为“极限压力”。因为临时支架的井圈当沒有足够的刚性时，在受到岩石压力的作用下，虽然其应力此时可能大大小于井圈材料的极限强度，但也可能变扁，所以我們按“极限压力”来計算。众所周知的公式如下：

$$P_{\text{кр}} = \frac{3EJ}{R^3} \quad (1)$$

式中 $P_{\text{кр}}$ ——单位长度上的压力，公斤/厘米；

R ——井圈的半径，厘米；

E ——井圈材料弹性系数，公斤/平方厘米；

J ——井圈断面慣量矩，厘米⁴。

对于槽鋼作的临时支架井圈可列出下式：

$$R = \frac{D_n - b}{2} \quad (2)$$

式中 D_n ——井圈外半径，厘米；

b ——槽鋼边寬，厘米。

到今天为止还没有建立起一个精确的关于矿山压力的理論。但在計算松軟岩层(表土)对井壁之压力时，我們认为普罗托吉亚柯諾夫教授的理論是一切现有地压理論中較为可靠的理

論，他的理論是以擋土牆理論作基礎。根據他的理論，礦山壓力可用下式來計算：

$$P = \gamma H \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2}. \quad (3)$$

式中 P ——單位面積上的壓力，公斤/平方厘米；

γ ——岩石容重，公斤/立方厘米；

H ——井深，厘米；

φ ——岩石的內摩擦角，度。

下面推导由地面算起用临时支架支护的井頸第一段之最大高度，即計算临时支架的极限段高的公式。

在下述条件下临时支架井圈开始变形：

$$Pl \geq P_{kp},$$

將式(1)与(3)代入得出：

$$\gamma H \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \cdot l = \frac{3EJ}{R^3}$$

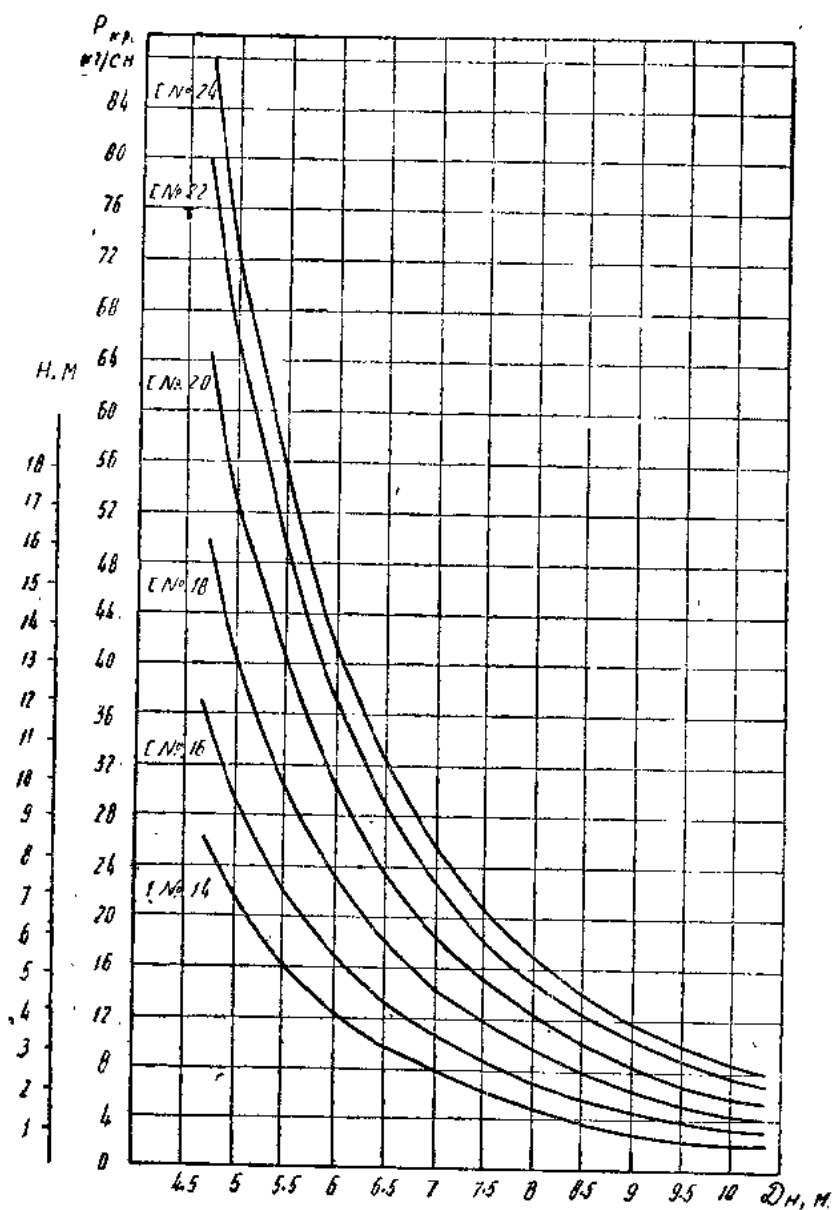
于是井頸掘进的极限段高等于

$$H = \frac{3EJ}{R^3 \gamma \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2}}, \quad (4)$$

式中 l ——临时支架井圈の間距，厘米。

利用公式(1)可导出临时支架井圈直径 D_n 和井圈开始变形时的极限荷重 P_{kp} 之間的关系。并以图 1 表示。

例如，由地面起在粘土中(井頸掘进)的深度为 H ，井圈間距为 1 米，在这深度时对每 1 厘米井圈上的地压是 Pl ，井圈开始变形时的极限荷重值等于 P_{kp} ，并在图 1 中标出。若 $\gamma = 1.8$ 吨/立方米， $\varphi = 45^\circ$ ，则由图 1 可見在用 18—24 号槽鋼为临时支架井圈且其間距为 1 米时，直径大于 7 米的井頸在干粘土中，理論上可由地面一次掘进的极限段高为 1.4—7.8 米。



在比干粘土更松軟的表土层中使用临时支架掘进井頸时，理論上可能的深度还要小些。当井圈間距大于或小于1米时，这个深度也随之变化。为了便于按图1之曲綫来决定深度 H ，可以利用校正系数(見表1)，即对一定型号的槽鋼和临时支架井圈的直径所得出的 H 值应乘上校正系数。

表 1

临时支架井圈相互 間的距离(米)	校 正 系 数 值			
	干 粘 土	湿 粘 土	湿 砂	砂, 填土
1	1	0.6	0.59	0.53
0.5	2	1.2	1.18	1.05
0.7	1.43	0.86	0.84	0.75
1.5	0.67	0.4	0.39	0.35

背板是用厚4—5厘米、寬15—20厘米的整边木板做成。背板材料通常是用松木。大部分情况下为使背板支持在需要的位置，并托于井圈上，故把小方木釘于背板下端(图2)。

带小木块的背板的安置是先将其上端放入上一个井圈的背后(图3a)，然后把背板往下降，使釘在背板上的小木块恰好搁在下一个井圈的上边綫(图3b)，在这之后把背板用楔子楔紧，使背板紧贴井帮。所以当用18—24号槽鋼井圈时，在每个井圈中部約6—8厘米(中間三分之一)的地方沒有背板倚靠，理論上只長約6—8厘米的背板上下两端支持在井圈后，在实践中这两端之長常常还要小，約4—5厘米。

由于临时支架井圈是按其开始变形时的极限荷重来計算的，所以背板之計算我們將按強度极限来进行。

对背板施压力的是分布荷重(地压)，其值沿背板全长是一

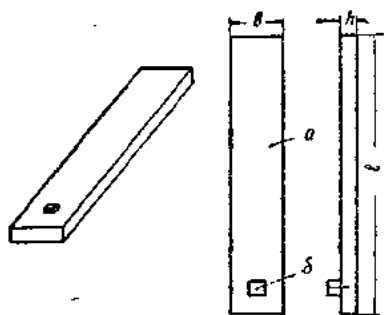


图 2 背板构造

a —背板； δ —小方木。

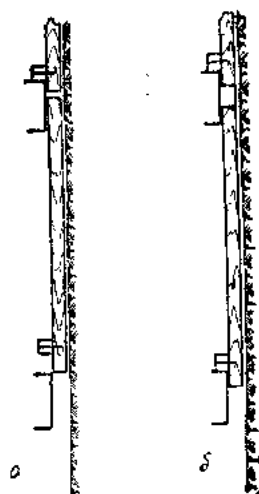


图 3 背板安装

a —把背板插入上井圈；

δ —把背板托于下井圈。



图 4 背板计算示意图

个变数。为了精簡計算起見，假定荷重沿背板全长是平均分布的，并且等于作用在背板下端的地压值；而背板长度等于临时支架井圈軸綫間之距离。背板計算略图如图4所示。

我們推导分布荷重强度 q 和背板厚度間的关系。在其他相等的条件下分布荷重的数值决定于地压值之大小。我們进行計算宽度为20厘米的背板，并假定在干粘土中开凿井頸。深度由1至20米时，粘土施于背板上的分布荷重强度 q 公斤/厘米之值列于表2。

表 2

深 度 (H) 米	地 压 值 (P) / 公斤/平方厘米	荷 重 强 度 (q) / 公斤/厘米
1	0.03085	0.617
2	0.0617	1.234
3	0.09255	1.851
4	0.1234	2.468
5	0.15425	3.085
6	0.1851	3.702
7	0.21595	4.319
8	0.2468	4.936
9	0.27765	5.553
10	0.3085	6.170
11	0.33935	6.787
12	0.3702	7.404
13	0.40105	8.021
14	0.4319	8.638
15	0.46275	9.255
16	0.4936	9.872
17	0.52445	10.489
18	0.5553	11.103
19	0.58615	11.723
20	0.6170	12.340

背板断面阻力矩等于

$$W = \frac{bh^2}{6}, \text{ 立方厘米;}$$

$$W = \frac{M_{max}}{\sigma}, \text{ 立方厘米;}$$

最大弯曲力矩

$$M_{max} = -\frac{1}{8} ql^2, \text{ 公斤-厘米,}$$

因而

$$\frac{bh^2}{6} = \frac{M_{max}}{\sigma},$$

$$h^2 = -\frac{6M_{max}}{b\sigma} = \frac{6}{8} \frac{ql^2}{\frac{1}{2}\sigma},$$

$$h = \sqrt{\frac{3ql^2}{4b\sigma}} \text{ 厘米。} \quad (5)$$

式中 l ——背板长度，厘米；

b ——背板宽度，厘米；

h ——背板厚度，厘米；

σ ——横弯曲强度极限，对于松木 $\sigma = 370-455$ 公斤/平方厘米。

荷重强度 q 和背板厚度间的关系如图 5 所示。

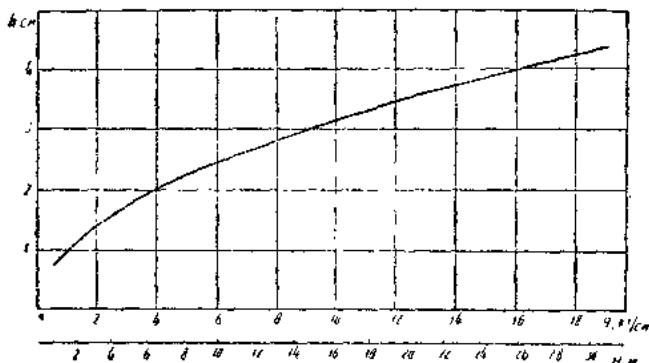


图 5 分布荷重强度 q 及背板厚度 h 关系曲线图

将图 1 与图 5 的资料对照，我们就可以确定，松木背板要有什么样的厚度才可以与各号槽钢井圈的强度相等。

表 3

槽鋼 号数	井 頸 直 径 $D_{\text{井}}$, 米											
	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	10.5
与临时支架井圈相等强度的背板厚度, 厘米												
14a	2.2	1.9	1.65	1.45	1.3	1.15	1.05	0.95	0.90	0.8	0.75	0.7
16a	2.55	2.2	1.95	1.7	1.55	1.35	1.25	1.1	1.05	1.0	0.9	0.82
18a	3.0	2.6	2.25	1.95	1.8	1.6	1.45	1.3	1.2	1.06	1.02	0.94
20a	3.4	2.9	2.57	2.25	2.05	1.8	1.65	1.5	1.35	1.25	1.15	1.1
22a	3.8	3.26	2.85	2.5	2.22	2.02	1.85	1.62	1.5	1.33	1.3	1.2
24a	3.95	3.43	3.0	2.75	2.35	2.11	1.93	1.71	1.58	1.46	1.33	1.28

从表3可見，与14—24号槽鋼作的临时支架之井圈相等强度的松木背板，对各种直径的井頸，其厚度的变化为0.7到3.95厘米，对于大断面井筒的井頸(荒径7—10米)，与临时支架井圈相等强度的背板的厚度由0.7到2.35厘米。

計算証明，用18—24号槽鋼作临时支架的井圈，在表土中掘进井頸时，在理論上能够抵擋地压仅是在距地面不深的一段。实践經驗也証实了这一原則的正确性。但直至目前，在井頸掘进时仍是用厚40—50毫米的背板，則临时支架的基本部分——井圈和背板在此情况下的强度是不相等的，背板强度大于18—24槽鋼作成的井圈。大家知道，临时支架是起着防止围岩片帮的作用。所以其结构不仅应适合强度的条件，同时也应满足安装与拆卸的迅速与方便的要求。由于用高型号(22, 24)槽鋼作井圈，致每节井圈的重量达90公斤，这样就使挂圈、拆圈工序很为笨重。且在松软岩层中以及破碎带掘进井筒时，临时支架往往不能取出重新应用。在此情况下，若必須用临时支架掘进井筒时，应尽可能减少材料消耗，甚至在可能条件下，完全取消临时支架。由此得出結論：在表土层中掘进井頸，只許

可在一定的深度內（一定的段高）使用临时支架，掘进井頸和井筒本身用20—24号的槽鋼作临时支架和厚40—50毫米的木板作背板是没有根据的，因为井圈与背板强度不等，从力学观点来看是不合理的，从经济观点来看也是不合算的，所以应使用14—18号的槽鋼作临时支架之井圈和与其强度大致相等的、厚2—2.5厘米的木板作背板。这一措施将有很大的经济意义。

第2节 永久支架

在普通地质条件下，竖井井頸的支护是混凝土、整体钢筋混凝土和钢筋混凝土弧板。最常用的是混凝土永久支架。现今苏联各设计院建议用150号的混凝土作支架。

在困难的地质和水文地质条件下用特殊方法开凿井頸和井筒时，通常是用鑄鉄弧板或钢筋混凝土弧板作支架。

下面是对井頸之混凝土井壁厚度的计算，对鑄鉄弧板和钢筋混凝土弧板的阐述。

一、混凝土井壁及其计算

决定井頸井壁厚度的计算荷重是：岩石的压力，邻近地面厂房，井架和其他建筑物的基础所施之侧压力。在计算时把井頸之井壁看作一个环圈，沿井頸外围周长施作用的是平均分布荷重。

我們应用大家知道的所有公式来计算井頸井壁之厚度。

1. 根据环圈内外应力平衡的条件导出之公式

$$d = \frac{P \cdot R}{(\sigma_{c, \text{容}}) - P}, \quad (6)$$

2. M. M. 普罗托吉亚柯諾夫教授的公式

$$d = \frac{P \cdot R}{(\sigma_{c, \text{容}}) - P} + \frac{150}{(\sigma_{c, \text{容}})}, \quad (7)$$