

苏联全苏煤炭科学研究院技术通訊局編

苏联矿井井筒 土壤冻结試行規程



煤炭工業出版社

內 容 提 要

这是苏联煤炭工业部建筑技术管理局推荐给苏联煤炭工业部有关单位作为冻结法鑿井設計和施工的一种試用工作指南。書中对采用冻结法通过流沙層的这个鑿井过程，从設計的編制起，经过打冻结鑽孔、布置和安装鹽水管路、土壤冻结、鑿井和筑壁，直到冻结岩石的融化为止的各种技术措施都分別作了明确的規定。

我国矿井建設工程中，为了通过含水的松散岩層，人工冻结土壤法將逐漸得到广泛的采用。这一試行規程对我国矿井設計和施工的工程技术人員將具有重大参考价值。

ЗАМОРАЖИВАНИЕ ГРУНТОВ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ ШАХТ

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УГОЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

根据苏联国立煤矿技术書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)

1950年莫斯科第1版譯

578

苏联矿井井筒土壤冻结試行規程

邱品 李旭譯

煤炭工业出版社出版(地址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版業登記證出字第084号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

开本78.7×109.2公分1/32 *印張24 *插頁2 *字數46,000

1957年7月北京第1版

1957年7月北京第1次印刷

統一書号：15035·345 印数：0,001—1,050册 定价：(10)0.42元

前 言

在松軟含水岩層、開鑿礦井井筒時，頓巴斯、庫茲巴斯、莫斯科近郊煤田以及齊良賓和列寧格勒產煤區，都廣泛地採用人工凍結土壤法。

因此，對於用凍結土壤法進行礦井開鑿和設計的技术規範加以統一和規定，便具有重大意義。本書是由科学技术碩士 H.Γ. 特魯巴克和 X.П. 哈基莫夫編著的。編制這種总的規範還是第一次嘗試。

在將此規範推薦給蘇聯煤炭工業部有關單位作為凍結法鑿井設計和施工指南的同時，建筑技术管理局渴望讀者提出意見並予以指正，以便在編制正式規範時能夠予以採納。

建筑技术管理局

目 录

前 言	
总 論	3
第一章 总則	7
第二章 冻结土壤設計的編制	13
第三章 鑽冻结鑽孔	37
第四章 鹽水管網的結構部件	40
第五章 鹽水管網的安裝和試驗	46
第六章 土壤冻结	50
第七章 在冻结帶采掘岩石和灌注混凝土的工作	55
第八章 冻结岩石的融化	62
附录 1 一頁	64

总 論

在含水岩層开鑿矿井井筒时，用人工冻结土壤法在要开鑿的井筒周圍造成一个临时的冻结圓筒(圈)，以便当井筒开鑿时水或流砂不致流入井筒。

冻结圓筒的强度应能支持水的靜压力和岩石压力。

冻结圓筒是用人工降低土壤温度的方法而形成的。为此目的，在要开鑿的井筒周圍打一些穿过含水岩層的鑽孔(圖1)，然后再把下端封閉的冻结管插入鑽孔。

冻结管内插有下端敞开的供液管，供液管只插至离冻结管底部400—500公厘的地方。

冻结管的頂部裝置帶有兩個連接管的專用管盖。供液管通过其中一个連接管与从冻结站送出冷鹽水的配液管相接；而冻结管則通过另一个連接管与回收工作过鹽水的集液管相连接。

冻结管和具有管盖的供液管所組成的裝置，称为冻结器。

冻结器和其他干管所充滿的鹽水，通常均采用在低温下不冻结的氯化鈣溶液。鹽水在冻结站^①进行冷却，然后再經過鹽水管路用水泵打到配液管，鹽水由此流入冻结器的供液管内。鹽水流至冻结器底部后，由于水泵所造成压力的作用，沿供液管及冻结管之間的环形空間上升。在沿

①本規范考虑采用氨冻结站。

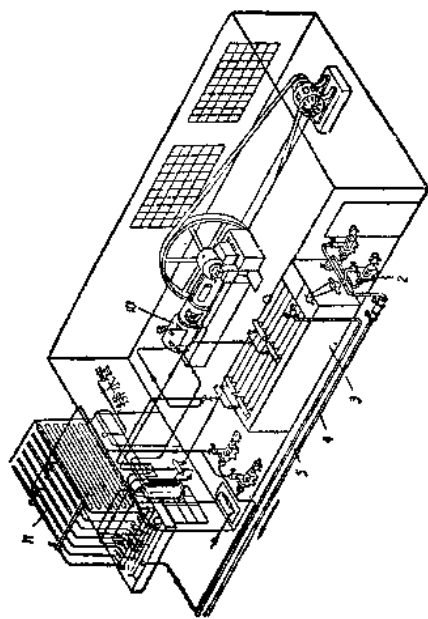
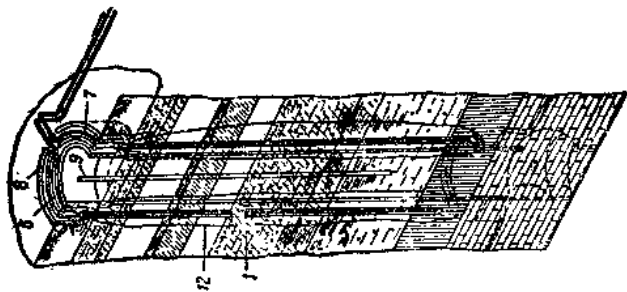


圖 1 土壤法結霜系統圖

1—蒸發器；2—膨脹器；3—汽水分离器；4—汽水輸送管；5—汽水回水管；
6—配液管；7—集液管；8—井口；9—檢查閥孔；10—蒸汽壓縮機；
11—冷凝器；12—凍結帶。

冻结器上升过程中，鹽水便吸收冻结器周圍土壤的热量，从而降低了土壤的温度。

鹽水从冻结器流出后，即流入集液管内，然后由此经过迴水回水管流回冻结站，以便再次冷却。

由于冷却的结果，冻结的土壤在冻结器周围形成冻结柱。冻结柱的断面逐渐地扩大，最后冻结柱就連結一起，构成了一个整体的环绕着井筒的冻结壁(圓筒)。形成冻结壁所需要的时间，取决于岩石的透水性和含水量、地下水的流速和成分、岩石的热物理性質、冻结器之间的距离、冻结站的制冷能力和鹽水冷却温度。

在冻结站内获得冷气，主要是根据液体汽化的原理。由液体变成气体状态时，如所周知，则要吸收其周圍介质(鹽水)的热量。

在冻结土壤这一專業中，采用氨来冷却鹽水，其汽化温度等于 -33.4°C 。

氨在冻结站中的汽化是在一个專門容器内进行，这种容器称做汽化器。氨汽化所需要的热量，是从汽化器里的鹽水中取得的。

气体氨在一定的温度(例如 -25°C)和与此温度相适应的不变气压下(1.55 大气压力)，则由汽化器經管路 θ (圖2)被吸入氨压缩机内。气体氨在氨压缩机内被压缩到 8—12 大气压，其结果使氨的温度升高到 $+100^{\circ}\text{C}$ 。加到高压的氨，沿压入管路 λ 流入冷凝器内。冷凝器的蛇形管不断地受到外部冷水的冷却。由于冷却的结果，氨在冷凝器内会将它在汽化器内所吸收的热量，以及在氨压缩机内所吸收

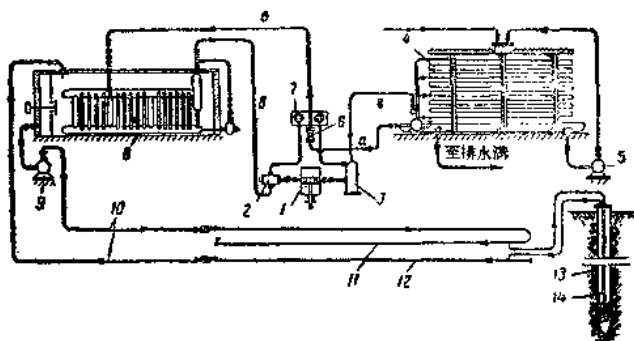


圖 2 凍結站工作系統圖

1—壓縮機；2—除污器；3—油分离器；4—冷凝器；5—循環水泵；
6—調節閥門；7—壓力表站；8—汽化器；9—驅水泵；10—驅水管路；
11—配液管；12—集液管；13—凍結器；14—供液管。

的与压缩功等量的热量一同散出。这时，氨的压力仍然是8—12大气压。业已冷却的氨，由于还保持着高压，就逐渐地由气体变为液体。

氨从冷凝器出来后,已成为 8—12 大气压力下的液体,其温度在零上 15—20°C。氨的液体从冷凝器出来后,沿管路 *a—b* 进入汽化器内。在进入汽化器以前的途中,氨要通过调节阀門。适当的开啓调节阀,氨在汽化器内可以保持所需要的压力,因此也保持了氨的气化温度。

为了得到汽化温度为 -25°C ，氨的压力应由8—12大气压降到1.55大气压。由于压力降低的结果，在氨压缩机不断抽吸的作用下，以及由于盐水中蓄有热量，氨在汽化器蛇形管中就开始汽化。在消耗一定的热量（每公斤

氨是 250—270 千卡)后, 氨由液体能够变成气体。这个热量是从汽化器蛇形管之間的鹽水中吸收的。

气体氨随着气化在汽化器蛇形管内上升, 并重新被吸到氨压缩机里去。而后, 再按此程序循环进行。氨同鹽水一样, 始終处在不间断的反复的循环运动中。

冻结土壤工作包括下列的主要步骤:

1. 对冻结区域进行地质和水文地质勘察;
2. 编制冻结土壤工程的设计;
3. 打鑽孔;
4. 安装冻结站及鹽水管路;
5. 形成冻结壁, 进行冻结和对冻结过程的监督;
6. 在进行井筒掘进与砌永久井壁的全部过程中, 维持冻结壁的冻结状态;
7. 井筒开鑿完畢后, 用人工或自然方法融化冻结的土壤;
8. 拆除冻结设备及鹽水管路。

第一章 总 則

第 1 条 只有具备冻结土壤的技术设计时, 才能进行冻结土壤的施工工作。在编制设计之前, 应当对冻结区域的地质和水文地质进行勘察。

第 2 条 勘察结果应确定:

将要开鑿岩層的厚度及其绝对标高, 并須编制地质断面圖;

凍結區域的水文地質——水位、壓力、溫度、地下水的
水流方向和速度以及土壤滲透係數；

地下水的化學成分(氯鹽和硫酸鹽對水的礦化程度)；

岩石的顆粒組成；

岩石的容重和比重，孔隙度和可塑性。

第3條 當進行地質和水文地質勘察時，應該考慮到
在凍結區域內是否有破壞地下水自然狀態的裝置(如降水
裝置、自流井、排水裝置、井下排水等等)。

第4條 對勘察的結果應該進行仔細的分析，因為這
些結果是確定凍結鑽孔深度、溫度、凍結制度和選擇凍結
站制冷能力及其型式的基础。

第5條 浸透過含有氯化鈉的水的土壤，是常常凍結
的。氯化鈉溶液凍結溫度的資料，示於附錄 I 內。

第6條 單級壓縮的氨凍結站，將鹽水溫度降到 -20
 -22°C 。這種凍結站可以用來凍結含有地下水的岩石，除
了埋藏岩鹽的礦區以外，其他地區的地下水的含鹽程度，
其規定密度應不超過 $1.04-1.05$ 。

第7條 如果地下水的含鹽密度超過 1.05 ，為了凍結
岩石，就必須採用能夠將工作鹽水溫度降低到 $-40-55^{\circ}\text{C}$
的二級或三級壓縮的氨凍結站。在同樣條件下，可以採用
二級壓縮的二氧化碳凍結站，因為這種凍結站也能把鹽水
溫度降低至 $-40-45^{\circ}\text{C}$ 。

第8條 凍結土壤的深度，同含水岩層埋藏深度和設
計的井筒深度有關。凍結器一定要深入到不透水的岩層
內。凍結器深入到不透水岩層的深度，要根據不透水岩層

的性質、厚度、強度以及不透水岩層下面有無具有受壓水的含水岩層來決定。

第 9 条 當確定鑽孔深度時，必須考慮到不透水岩層頂板可能不平的情況，特別要考慮到頂板局部凹陷或岩層下斜等情況。如果不透水岩層是堅硬岩層，還應考慮到堅硬岩層的節理。

土壤凍結深度達 30—40 公尺時，在多數情況下，凍結鑽孔深入不透水岩層內 2—5 公尺即可。當土壤凍結深度較大時，鑽孔插入不透水岩層的深度為 5—10 公尺。

第 10 条 在最大設計深度內沒有不透水岩石的情況下，應該在井筒底部用人工法將岩石凍結，以造成不透水底層（底墊）。這種底墊是以在井筒斷面範圍內打補充鑽孔的方法來造成的。

須採用特殊結構的凍結器來形成底墊（參看第 98 条）。

第 11 条 用人工法形成的底墊的厚度由下列條件確定：在水自下向上流動所形成壓力的作用下，一方面底墊壓緊外圍鑽孔所形成的凍結壁；另一方面，底墊承受凍結圓筒表面的剪力。凍結圓筒的直徑等於開鑿井筒的直徑。如果 P 是底墊底部所承受的土壤和水的單位壓力，那末底墊給予凍結壁的總壓力為 $P = pF$ ，式中 F ——底墊底部的面積。凍結壁的單位面積負荷 $q = \frac{P}{F_2}$ ，不應超過凍結土壤的允許抗壓強度（ F_2 ——凍結壁的橫截面積）。

底墊所承受的凍結圓筒表面的剪力和礦井井筒所承受的底墊的壓力為

$$Q = p \cdot \frac{\pi D_3^2}{4},$$

式中 D_3 ——开鑿井筒的直徑。

在冻结土壤中所形成的底垫的必需厚度 h ，按下面公式求得

$$h = \frac{Q}{\pi D_3 \sigma_{cp}}, \quad (1)$$

式中 σ_{cp} ——冻结土壤的允許抗剪应力，采用 3—5 公斤/平方公分。

第 12 条 井筒周圍的冻结壁，不仅是不透水的圍堰，同时也是井筒开鑿期間承受岩石压力的結構。因此，冻结壁应具有能够抵抗住岩石压力的厚度。冻结壁的厚度則由冻结土壤的强度、井筒直徑和岩石压力的值来决定。

表 1

岩石名称	在不同冷却温度°C下抗压極限强度值，公斤/平方公分		
	-10	-15	-25
純冰	—	18	—
含有水的純粘土	55	72	95
含有水的細砂	87	133	153
含有水的石英砂	120	—	200
含有水的中粒和細粒砂	—	133	200
充滿水的孔隙系数为75%的粉砂	77	106	147
充滿水的孔隙系数为50%的細粒砂	52	62	130
粒度为0.8公厘的砂子(1公斤砂含有200克水)	—	77	—

第 13 条 冻结土壤的试样在各种冷却温度和 各种含水量情况下的抗压极限强度，示于表 1 内。

第 14 条 含有水的冻结砂层的抗压极限强度，可按下面经验公式计算：

$$K = -0.153t^2 + 11t + 20, \quad (2)$$

式中 K ——冻结土壤抗压极限强度，公斤/平方公分；

t ——冻结土壤的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

第 15 条 当冷却温度为 $0-20^{\circ}\text{C}$ 时，各种冻结土壤抗压极限强度的关系曲线，表示在图 3 内。从图 3 可以看出，随着冻结土壤温度的降低，冻结土壤的抗压强度在开始时增长得很迅速。如果，冻结土壤的温度再继续降低，则冻结土壤的抗压强度就增长得比较缓慢了。

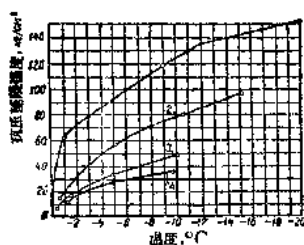


图 3 冻结土壤抗压极限强度的曲线：

1—粒度为 0.25—1 公厘、水分 16% 的砂；
2—水分 11.3% 的粘质砂土；
3—水分 4.7% 的粘土；
4—水分 53% 的淤泥土。

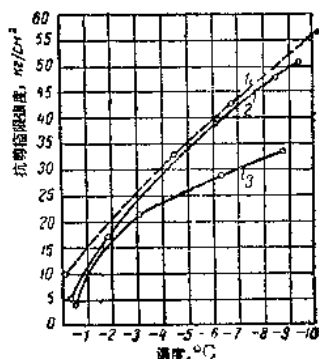


图 4 冻结土壤的抗剪极限强度：

1—冰；2—平均水分 18% 的粘质砂土；
3—平均水分 44% 的粘土。

表 2

組 成 部 分, 克			抗拉極限强度, 公斤/平方公分
砂	粘 土	水	
1000	—	200	32—43
1000	—	165	25—34
1000	—	100	22—23
1000	—	50	3.5
—	—	1000	10
1000	500	500	16—19
—	1000	1000	11.5—13

表 3

土壤名称及其顆粒組成的特性	試驗时的温度 °C	水分(按重量) %	抗剪極限强度 公斤/平方 公分
粘土(粒度为0.01—0.005公厘 的——50%; 粒度<0.005公厘 的——36%)	—0.4	45.5	3.7
同上	—1.8	50.6	17.2
同上	—3.0	49.8	20.9
同上	—4.4	44.0	24.3
同上	—6.3	42.0	28.5
同上	—8.8	45.9	33.5
砂質壤母(粒度为1—0.05公厘 的含量——68%; 粒度<0.005 公厘的含量——8%)	—0.4	13.4	1.9
同上	—0.9	17.8	10.6
同上	—3.1	19.1	21.8
同上	—5.9	16.9	24.8
同上	—6.7	19.0	44.2
同上	—8.5	16.2	47.5
同上	—9.3	19.0	48.5

第 16 条 当温度为 -10 — -15°C 时，冻结土壤試样的抗拉極限强度，示于表 2 内。

第 17 条 对冻结土壤試样的抗剪極限强度所做的实验結果，示于表 3 内。表中还提供了当剪力負荷的增長速度每分鐘为 3.7—4.3 公斤/平方公分时所做的 3—5 次实验的平均結果。由于剪力負荷增加的比較緩慢，則負温对抗剪極限强度的影响扩大得也比較慢。

第 18 条 冻结土壤和冰的抗剪極限强度与冷却温度的关系，示于曲綫圖 4 内。粘土是在平均水分為 44%（按重量），而砂則在平均水分為 18% 时进行試驗的。

第二章 冻结土壤設計的編制

第 19 条 冻结土壤的施工設計应与建井技术設計相一致。編制冻结土壤的設計时，必須考虑所采用的井筒掘进方法和土壤提升方法，井壁种类和井筒防水措施。

設計应包括下列各章：

1. 地質、工程地質和水文地質。
2. 冻结壁所承受的岩石压力的計算。
3. 冻结壁厚度的靜力計算。
4. 冻结鑽孔的平面佈置及其深度。
5. 热工計算：冻结土壤所需要的冷气消耗量；冻结站制冷能力的計算；土壤的冻结制度；有效冻结的延續時間。
6. 冻结站的选型及其計算。

7. 鹽水管路、配液管、集液管、冻结器、井口地溝的結構；測量控制儀器的選擇。

8. 管道保温層的選擇和計算，鹽水管網冷氣損失的計算。

9. 鹽水管網內水力損失的計算和鹽水泵的选型。

10. 对冻结过程的监督。

11. 关于井筒在冻结区域延深和砌壁的施工方法的指示。

12. 关于冻结土壤融化的指示。

13. 对冻结設備供电、供水和廢水排除的意見。

14. 必需設備和附件的明細表。

15. 冻结土壤施工所必需的材料目录。

16. 概算。

第 20 条 在冻结土壤設計的地質和 水文地質一章里，應該包括对下列各項的簡單說明：岩石層理、岩石的工程地質特性、水的饱和度、水位、地下水的溫度及其状态、岩石組成、土壤机械試驗結果和有关土壤的塑性。

第 21 条 为了計算冻结圓筒的厚度，須要确定冻结圓筒所承受的負荷，并繪制岩石压力圖表。

冻结圓筒各段所受的岩石压力，按下面公式进行計算

$$P = \gamma_n \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_n} h_1 + \frac{\gamma_2}{\gamma_n} h_2 + \dots + \frac{\gamma_{n-1}}{\gamma_n} h_{n-1} + h_n \right) A_n, \quad (3)$$

式中 P ——冻结壁單位面积所承受的岩石橫压力；

$\gamma_1 \cdots \gamma_n$ ——各層岩石的容重;

$h_1 \cdots h_n$ ——岩層的垂直厚度;

A_n ——推力系数, 等于 $\frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots + \gamma_n h_n}{2}$ 。

不同的土壤采用不同的 A_n 值:

- (1) 流动砂、流砂和稀釋土——0.75;
- (2) 礫石、碎石、卵石、砂——0.526;
- (3) 冲积層、固結土壤、塑性粘土——0.387;
- (4) 石膏、褐煤和不坚硬的煙煤、粘質頁岩——0.164;
- (5) 坚硬頁岩、中等密致的石灰岩和砂岩——0.017;
- (6) 石英岩、輝長岩——0.004;
- (7) 坚硬的石英岩、燧石、玄武岩——0.0012。

第 22 条 几种岩石的容重, 可采用表 4 里的数据。

表 4

岩 石 名 称	容 重 吨/立方公尺
礫石、卵石和固結密致的粗砂	2.0
細砂、純砂(干的)	1.6
湿砂	1.9
最密致的粘土	2.0
松散粘土	1.85
砂質粘土和干粘質砂土	1.6
砂質粘土和湿粘質砂土	1.6
天然含水的黄土和黄土的砂質粘土	1.8
干泥灰質土壤	1.7
湿泥灰質土壤	2.0
干淤泥質土壤	1.6
湿淤泥質土壤	1.7