

冻结凿井法

上册

煤炭工业出版社

25201
5625
141

冻 結 凿 井 法

上 册

苏联 Н.Г.特魯巴克著

北京矿业学院井巷工程教研組譯

北京矿业学院井巷工程教研組校

煤炭工业出版社

142025

內 容 提 要

本書敘述了岩石凍結過程的理論基礎，詳細研究了影響凍結過程的各個因素，列舉了岩層凍結速度的計算方法。

此外，書中還系統地闡述了凍結技術中的一切問題。並且在理論研究的基礎上分析了現場上凍結法掘井時所遇到的各種情況。

本書中譯本分上、下兩冊出版，上冊包括前十九章，主要敘述地下水各種狀態，岩層含水情況，岩石的熱物理性能，凍結帶和冷卻帶岩層分布的情況以及凍結孔的鑽進和凍結站冷卻能力的計算方法等問題。

本書由周文安、馬光弟、孫輯正、范廣勤、莫國震、李世平、李超群等同志翻譯；由周文安、孫輯正、李超群、吳金根、沈正芳等同志校訂。

本書可供從事於凍結掘井法設計或施工的工程技術人員參考。

Н.Г. Трупап

ЗАМОРАЖИВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ

Углетехиздат Харьков 1954

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社1954年版譯

729

凍 結 掘 井 法

上 冊

北京礦業學院井巷工程教研組譯

北京礦業學院井巷工程教研組校

*

煤炭工業出版社出版(地址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 $17\frac{1}{2}$ 插頁14 字數402,000

1958年8月北京第1版 1958年8月北京第1次印刷

統一書號：15035-458 印數：0,001—4,000冊 定價：(10)3.60元

“理論只要与实践相結合，就会得到良好的結果；而实践也只有不离开理論才能更正确；科学就是这样逐渐发展起来的。”

И.И. 捷貝舍夫

前 言

苏联共产党第十九次党代表大会的指示中指出：为了发展苏联的工业，规定1955年煤的产量要比1950年大約增加43%。比起第四个五年計劃来，投入生产的煤矿就应增加30%左右。

也就是說，在短期内应建成大批的矿井并使其投入生产。

由于煤炭产量的不断增长，势必扩大所开拓各煤田的范围。在苏維埃政权时代里，开拓了很多煤田，其中就有：庫茲涅茨、卡拉甘达和彼却尔煤田；齐良宾、叶果尔及中亚細亚矿区。

建設新井往往会遇到复杂的地質和水文地質条件。經驗証明，每十个井筒中就有一个井筒要穿过饱含地下水的岩层。要防止地下水是有很大的困难的，特别是在开凿井筒的时候。在这种情况下开凿井筒，只能采用特殊凿井法。所有的特殊凿井法中，人工冻结凿井法占有极其重要的地位。近25年来用冻结法开凿的井筒已不下数百个，并且这个方法在我国很多煤田都已获得广泛的采用，如頓巴斯，西烏克蘭，彼却尔，庫茲巴斯，卡拉甘达及叶果尔等都是。然而使用冻结法最多的是莫斯科近郊煤田；大家都知道，这个煤田有80%的范围都是含水地层所組成的，所以在这里采用冻结法的远景是很可觀的。

在不久以前，凍結法的应用还仅限于开凿立井（豎井），而現在則应用于开凿斜井，甚至应用于建筑井筒和井底車場巷道之联結处（即井門——譯者）。

最近，也有人企图采用凍結法来开掘含水岩层中的水平巷道。

总之，凍結法的应用范围将一年比一年扩大起来。在地下鉄道的建設方面，在掘进垂直巷道和傾斜巷道时凍結法也是防止地下水的主要方法之一。此外，在苏联，凍結法还用来建筑巨型的水电站。

虽然采用凍結法已有很多年了，并且也曾积累了大量的經驗，但是有关詳細叙述这个方法的技术文献却不多見。本書作者愿意在可能范围内来完成这项工作，即总结多年来所积累的凍結凿井法的經驗，并且提出有关該法的一些理論基础。

目 录

前言

緒論	1
1. 岩石的自然冻结法	1
2. 岩石的人工冻结法	4
第一章 岩层中水的状态(形状)	13
1. 地下水的分类	13
2. 薄膜水(结合水)	16
3. 岩石中的含水量	24
第二章 水和水溶液的结冰温度与结冰速度	28
1. 概論	28
2. 实验室内冻结地下水試样的試驗	33
3. 岩层中水的结冰温度	45
4. 水的结冰速度	56
第三章 岩石的热物理学	60
1. 比热(热容量)	60
2. 导热性	68
3. 导温性	82
4. 水和岩石的其它一些物理性質	84
5. 岩石的含热量	89
6. 冻结岩石的强度	94
第四章 确定岩层中的温度	100
第五章 结冰区的温度場	118
1. 单个圆柱中的温度分布	118
A. 冻土圆柱	118
B. 低熔冰盐合晶体的圆柱	123
2. 冻土墙中温度的分布	127

A. 主面中溫度的分布	129
B. 界面中溫度的分布	132
B. 軸面中溫度的分布	136
Г. 在平行于主面的任意垂面中的溫度分布	137
Д. 在平行于軸面的任意垂面中的溫度分布	139
E. 冻土牆水平面中的溫度分布	140
Ж. 已知結冰区的一条等溫綫来确定冻土牆邊緣	142
3. 結冰区中的溫度梯度在主面中的溫度梯度	145
4. 已冻結岩石的平均溫度	149
第六章 冷却岩石区中的溫度場	151
1. 解析法	151
2. 图解法	166
3. 确定流向冻土牆地下热流的数量	176
第七章 导热微分方程式	181
1. 方程式的推导	181
2. 相对放热系数	186
第八章 冻結管中的传热	190
1. 一般的传热方程式	190
2. 由盐液到冻結管的热轉移系数 α_1	194
3. 冻結管的热轉移系数	200
4. 冻結管壁內表面上的溫度	206
5. 冷却盐液的平均溫度	208
第九章 确定岩石的冻結時間	215
1. 单个冻土圓柱的形成	215
2. 不透水的冻土牆的形成	223
3. 冻土隔水牆的形成	225
A. 双排冻結	225
B. 多排冻結	227
4. 环形冻土牆的形成	227

5. 冻土底垫的形成	232
第十章 冻结孔的布置	233
1. 竖井	233
A. 概論	233
B. 冻结孔数目的确定	234
2. 工作复杂化的实例	241
3. 斜井	244
第十一章 冻结孔深度的选择	254
1. 概論	254
2. 冻土底垫的形成	258
3. 发生困难的实例	266
第十二章 鑽冻结孔	279
1. 概論	279
2. 冲击式鑽孔法	282
3. 旋轉式鑽孔法	292
4. 泥浆 (粘土浆)	300
5. 鑽孔偏斜的原因及其預防的办法	307
6. 在含水岩层中鑽傾斜鑽孔	314
7. 鑽塔和井架	318
8. 鑽孔时岩层內形成空洞及与其作斗争的方法	322
第十三章 測量冻结孔的方向	327
1. 概論	327
2. 氟氢酸仪	337
3. 迴轉罗盘仪	341
4. 測量冻结孔偏斜度的实例	353
5. 冻结孔方向的允許偏斜定額	365
6. 由于冻结孔偏斜过大, 使工作复杂化的实例	372
第十四章 盐液系統	380
1. 冻结管	380

2. 冻结管的安装	390
3. 冻结管的連結系統	398
4. 盐液管路	404
5. 管沟	410
第十五章 盐液系統的流体力学計算	413
1. 概論	413
2. 盐液管路系統的流体力学計算示例	427
第十六章 絕热的計算及盐液管路系統中冷量損失的計算	433
概論	433
第十七章 冷冻设备	448
1. 压缩机	448
2. 冷凝器	456
3. 汽化器	463
4. 輔助设备	467
5. 氨设备中的附件	471
第十八章 冷冻设备的計算	475
1. 冻结站制冷能力的計算	475
2. 以 i —lgP 图表示冷冻过程	477
3. 单級压缩冻结站的計算	481
4. 双級压缩冻结站的計算	496
第十九章 冻结站	507
1. 机器和器具的布置	507
2. 使用一級压缩的氨压缩机的冻结站	510
3. 使用两級压缩的氨压缩机的冻结	518
4. 閉鎖装置和检查、測量的用具	526
5. 冻结站的供水	530
6. 冻结站的試运轉; 管路中致冷剂的灌充; 冻结站的开工	533
7. 保安技术	538
8. 吸收式冻结站	542
9. 移动式冻结站	547

緒 論

1. 岩石的自然凍結法

西伯利亞的金鉑工業為了更容易地掘進各種井巷而最先利用了天然的冷。在上世紀的初葉，在西伯利亞東部人迹罕至的叶尼塞大森林里，人們就開始了尋找金礦的勘探工作。但是含金的砂、石礦層往往是埋藏在基岩之上，而上面被覆蓋着砂或粘土的沖積層。在這些沖積層里經常是含有大量的水，于是在掘進井筒或小井時，人們就不得不用小提桶或手搖泵將它排出去。如果湧水量更大的時候，掘進工作就簡直無法進行。在那時比較新穎的特殊掘井法只有壓氣沉箱法。然而，要用這個方法就必須具有壓縮空氣機和閘門設備等等。

有的金礦層正好处在江河之下或沼澤地帶之下，因此由於條件複雜就只好放棄它的開采。然而，當這種情況下礦層含金量非常豐富時，那麼就應該去尋求一種能夠開拓它的方法。

根據實際生活的經驗和對西伯利亞氣候的觀察，金礦之探求者們開始考慮到如何利用自然的冷，即利用西伯利亞的嚴寒來防止水的問題。於是，西伯利亞采金礦的人們便成為礦井建設利用自然冷的先驅者了。

如果金礦層正处在河床之底部，那麼就可以按下列方法來掘進井筒。在秋末，當河水的水位降低時，用木材制成方框，其淨斷面應為 2×2.1 公尺，並將方框放在井筒位置令其下沉河中（圖1）。方框里面用毛石填滿。方框外圍也要填石。碎石最好選用那種易于碎裂成塊的；如果就近不易得到這種材料，那麼就可以用礫石來代替，這種礫石很容易從河岸附近收集起來。方框外圍碎石層的厚度應根據河的深度而採取1.5—2公尺

(从方框边往外量)。很明显，充填时不能用粘土，因为粘土在流水中是很难冻结的。

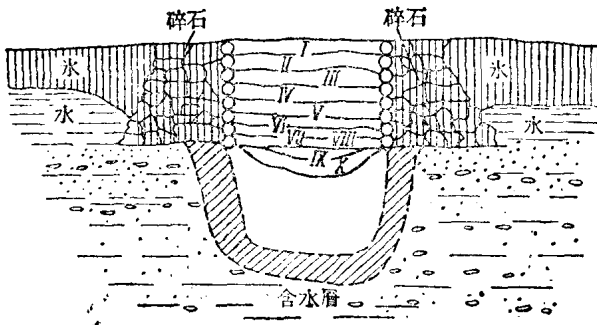


图 1 在河床中掘进井筒

冬天，河面上复盖了一层冰，在所充填的碎石间隙中也结了冰，此时就可以将方框内最上层 I 的碎石挖去。但是在工作时要非常小心，不可过多地挖掘下去，而应留下第二层 II 不挖。假如原先同时铺放了两层较大的石块，那么此时也最好不要完全挖出来，而只挖一部分，留下一部分作为第 II 层。这种预防工作是非常必要的，只有这样才能避免从下面尚未冻结的各层中流出水的现象。

在挖掉第 I 层之后，冷冻力量就可以更往深部延伸，不仅可以透过正冻结的第 II 层而达第 III、第 IV 层，并且还到达方框之外部去冻结各碎石间隙中的水而将各碎石连成一个整体。接着挖去第 II 层，此时同样需要留下一个不透水层作为预防。每次挖去的层厚为 10—15 公分，一般均认为这种层厚小些是更合理的，但是也要考虑到使得冷冻力量有可能更往深部扩展。

用同样的方法逐渐掘去 III—VIII 层；与此同时井壁也就逐渐暴露出来，堆在最外面的石块也就逐渐冻结好并阻挡住由河里流入的水。在挖掘最下第 VIII 层的石块（即直接在河底上的一层）

时应特别注意预防。因为在河底上常常沉积有难冻的粘土物质，所以最下层应当在确知河底已冻结到一定的深度时才能挖掘掉。将这一层挖去之后，井筒工作面内的工作宜停歇一段时间，使得河底还可继续冻结。接着为了便于挖掘冻结岩层起见，在井底燃烧一堆木梁，此后就挖掉第Ⅷ层，然后重新冻结，又重新烧木梁，再挖去第Ⅷ层。以后烧木梁融化岩石和挖掘岩石依次进行，以继续掘进井筒。由于工作必须很小心的进行，并且必须有一段时间用以冻结岩石，所以井筒掘进得很慢。

在西伯利亚东部由于气候更冷，所以在河床中凿井比在西伯利亚西部还要简单一些。通常于九月底河上就冻了一层冰，在冰上按照井筒断面的大小凿一深达 5—10 公分的冰槽(图2)。由于在该处出现了冰槽而使冰薄了 5—10 公分，这样一来这里就更容易传导热量了。于是在原来已经冻成冰的下部平面上就会冻成一个新的冰层。再凿掉第Ⅱ层冰，又形成了第Ⅲ层冰。

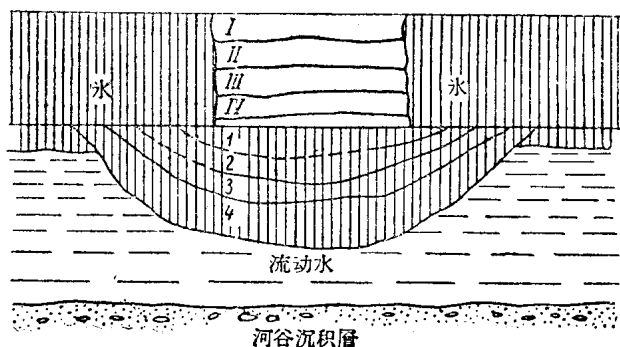


图 2 河流冻结和井筒掘进

在凿去第Ⅲ—Ⅳ层冰之后，便冻结到河底了(图3)。随着井筒向下掘进，不仅井筒底部的冰层逐渐加厚，而且井壁周围的冰层也会加厚，因而使得流水不流入井筒。新的冰层厚度增

24



图 3 在河床中掘进井筒

最下一层，即第Ⅱ层冰是直接^在河底上，因此冻的时间应该更长些，使得河底冻得深些。此后在河底之下繼續掘进井筒时，便只是冷冻和烧火依次进行而已。

如果是在有泉源的小溪中掘进井筒，那就更要小心，因为溪水往往比河水更暖，并且溪底总是比较不容易导热的，尤其是当溪底积有混合了腐坏植物的淤泥的时候。如果溪底是一层礫石的话，那对于用自然冷冻法凿井就会更有利。

2. 岩石的人工凍結法

随着技术的发展，人工冻结法就代替了岩石的自然冻结法。

获得低温(冷量)的方法有下列数种:

1)某些能从外围介质吸收热量的物理化学过程,例如有些盐类、酸类或气体在溶解于水时就发生这种过程;获得制冷混合物的方法就是基于这个原理的;

2) 物体由某一种物理状态变成另一种状态(如汽化), 而同时要从其周围的介质吸收热量, 并冷却物体周围的介质; 物质由液态变成气态时都会发生这种过程;

3) 气体的絕热膨胀并作外功——即所謂膨胀法；用气体膨胀法获得冷量，需要压缩某种气体，例如压缩大气，然后令其膨胀。

在冷冻技术方面用得最广的方法是物体由一种物理状态变成另一种状态：液态→气态。为了达到此目的，就必须有这种物质，它能由一种状态变成另一种状态。这种物质就叫做冷媒剂。我們知道，这种物质的种类很多，然而其中大多数由于汽化潜热很小和其它的一些原因，所以在冷冻技术上都没有采用。在现代已经采用了的冷媒剂有：氨、二氧化碳、水蒸汽、氯甲基、硫的蒸汽、氟里昂等等。

在冻结岩石中暂时还只采用前面两种，而最常用的是氨；氨的汽化温度在一个大气压力时是 -33.4° 。

人工冻结岩石的方法在现代来说就是：在所设计的工程周

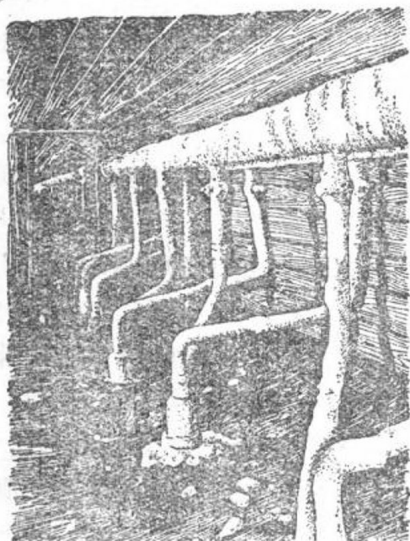


图 4 冻结器的頸部

围的含水岩层中造成一堵临时的冻土墙，用以保护巷道，防止掘进时有水侵入。根据温度降低的程度及冻结时间的长短，岩层可以获得足够的强度，而能抵抗冰土墙外的静水压力和岩石压力。

为了造成冻土墙而在将要掘进的井筒四周鑽上若干鑽孔，在鑽孔内放入直径为 100—150 公厘的冻结管，管的下端是封闭的。再在冻结管内放入直

径为 25—32 公厘的供液管，此管的下端是打开的，并且离冻结管底 0.5 公尺。全套的冻结管与供液管就叫做冻结器（图 4）。

由于盐液在循环过程中放冷，使冻结管周围的岩石逐渐冷却，并且在每根管的四周生成了冻土圆柱，其直径随着岩石的冷却而逐渐加大，直到各冻土圆柱相互连接而造成了一堵环状的冻土墙为止。图 5 就是井筒周围形成空心圆柱墙过程的示意图。

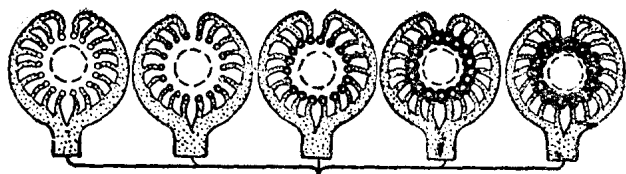


图 5 井筒周围形成空心冻土圆柱墙过程的示意图

盐液从冻结管出来之后就进入集液管，然后进到汽化器 4 内（图 6），在汽化器内盐液重新冷却。盐液被离心式水泵 5 从汽化器中吸出，而压入配液管 6 中，配液管是安装在管沟 7 中的；盐液又从配液管进入冻结管 2 中，于是重新开始另一循环。

制备盐液常用难冻的氯盐类的水溶液，如氯化钠、氯化镁或氯化钙。其中最常用的是氯化钙的溶液。

上面所讲的就是盐液的循环系统，盐液这种物质本身不是冷的制造者，而仅是冷的传递者。

所以盐液起着传递的介质的作用：在一个地方（在冻结管中）获得热量，而在另一个地方（在汽化器中）又放出热量。

冷媒剂的汽化（如氨的汽化）是在所谓汽化器中进行的。为了发生汽化的作用，氨就必须从进入汽化器中的盐液里获取热量。

当氨全部汽化之后，也就是它完全变成气态之后，为了可

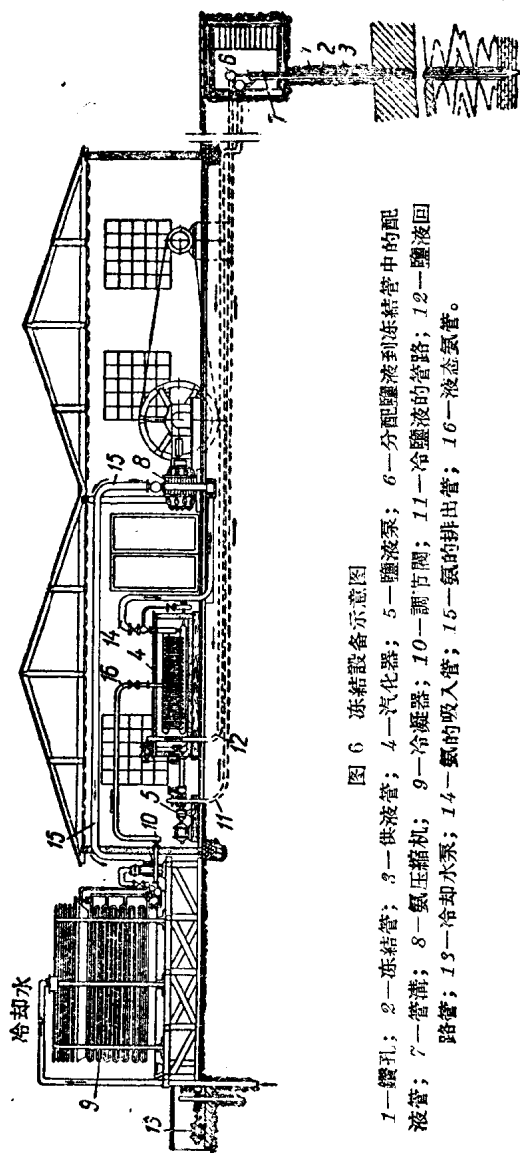


图 6 冻结设备示意图

1—鑽孔；2—冻结管；3—供液管；4—汽化器；5—鹽液泵；6—分配鹽液到冻结管中的配液管；7—管溝；8—氟压缩机；9—冷压机；10—調節閥；11—冷鹽液的管路；12—鹽液回路管；13—冷却水泵；14—氟的吸入管；15—氟的排出管；16—液态氨管。

以重复使用起见，我们必须令其再变成液态。这一点可以下面的方法做到。

压缩机 8 将氨的蒸汽（干的或湿的）从汽化器中沿管子 14（图 6）吸入，此时温度为 -25° ，压力一定（如为 1.55 绝对大气压，但此压力与上述温度是相适应的）；但由于克服吸入管及阀门的阻力，此时的压力比在汽化器中时要稍微小一些。吸入压缩机中的氨蒸汽由于活塞的逆行程而被压缩到 8—12 个绝对大气压，因此氨的温度也升高到 $+90^{\circ}$ — 100° 。此后，被压缩的氨就沿着管子 15 而进入冷凝器。接着氨就在冷凝器的蛇形管 9 中流动着，此蛇形管是不断地用水冷却着的。

在冷凝器中氨就将自己于汽化器中汽化时所获得的热量和在压缩机中压缩时相当功的热量都交给了冷却水。但氨的压力却仍保持不变（为 8—12 绝对大气压）。于是被冷却了的氨，保持着高压而逐渐地在蛇形管内变成了液态。而当从冷凝器出来的时候，氨已经完全是液体了，其压力为 8—12 绝对大气压，温度为 $+15$ — 20° 。

从冷凝器出来的液态氨沿着管子 16 而进入汽化器。到汽化器的途中它还要经过调节阀 10。调节阀控制着经过它的氨气压力。只要适当地打开调节阀，就可以维持汽化器内一定的压力，因此也可以维持必需的氨的汽化温度。例如，要使汽化温度为 -25° ，就应将液氨的压力由 8—12 绝对大气压降至 1.55 个绝对大气压。

由于在压缩机不断的吸入作用下降低了压力，又由于在盐液中储藏了热量，所以氨就在汽化器的蛇形管中发生了汽化。液氨变成气态时需要消耗的热量是一定的（即 1 公斤氨为 250—270 千卡）。这部分热量是由汽化器蛇形管外的盐液给予氨的，所以盐液的温度就降低了。