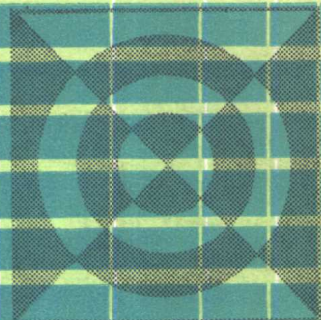


煤矿建设施工经验选编



冻结法施工

中国统配煤矿总公司基建局 编

煤炭工业出版社

65.34
06
2

煤矿建设施工经验选编

冻 结 法 施 工

中国统配煤矿总公司基建局 编

主 编 陈文豹 汤志斌

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

煤矿建设施工经验选编

冻结法施工

中国统配煤矿总公司基建局编

责任编辑:王捷

煤炭工业出版社

(北京安定门外和平里北口21号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092mm¹/₃₂ 印张9⁵/₁₆ 插页1

字数204千字 印数1—1,000

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

ISBN 7-5020-0832-2/TD·772

书号 3598 F0081 定价 7.95元

前 言

我国自1955年在开滦矿区应用冻结法凿井以来，已在12个省区推广，共施工300个立井井筒、6个斜井井筒、6个风道口、5个深基础工程，冻结总长度近6万米，冻结法凿井已成为我国通过不稳定冲积层和裂隙含水岩层的主要施工方法。特别是1975年以来，冻结工程量有较大的增长，年平均冻结长度达2300m，最大冻结深度达435m，穿过冲积层最大厚度为374.5m，井筒的平均冻结深度超过200m，积累了许多宝贵经验。

本书是在综合分析1975年以来淮南、淮北、兖州、开滦、徐沛、邯邢、永夏、东荣、焦作等矿区的几百篇深井冻结设计、施工总结、科研报告以及学术论文的基础上进行编写的，内容包括钻孔施工、制冷冻结、掘进、支护、快速施工以及遇到的问题与防治措施，除系统介绍立井冻结施工经验外，还列举了斜井、深基础冻结施工实例。

随着我国煤炭生产的大幅度增长，需要建设更多更深的矿井，地质及水文地质条件将更加复杂，冻结法凿井在未来矿井建设中将发挥更加重要的作用，冻结井筒的数量和深度将不断增加，本书的出版将促进我国冻结法凿井技术的发展和经济效益的提高。

本书由基建局委托陈文豹、汤志斌同志编写，在编写过程中，得到了两淮煤矿特凿公司、江苏煤炭基建公司、淮北矿建公司、中国统配煤矿总公司第一建设公司、兖州、淮南、

13426

淮北矿务局、东荣矿区建设管理部、永夏矿区建设管委会、开滦矿务局基建公司、煤炭科学研究总院北京建井所、煤炭工业矿井建设情报中心站等单位的大力支持、以及熊声誉、张永信、曹念忠、王吉、张崇霖、李功洲等同志的热忱帮助，并经基建局崔增祁同志审定。

冻结凿井技术在理论和实践上发展很快，书中论述难免有不当之处，恳请读者批评指正。

目 录

潘谢矿区冻结法凿井·····	1
济宁二矿风井差异冻结施工·····	18
新庄主井综合冻结新工艺·····	27
东荣二矿冻结法施工·····	38
潘一东风井扰动地层冻结孔施工·····	52
谢桥副井冻结地层中冻结孔施工·····	57
完善制冷系统,提高冷冻效果·····	63
应用冷却塔,节约制冷用水·····	75
地下水流动对冻结的影响及防治措施·····	81
东滩西风井基岩冻结段湿式凿岩·····	106
基岩冻结段全断面一次爆破·····	112
邢台西风井冲积层冻结段钻爆法施工·····	129
冻结管穿过马头门的处理方法·····	136
陈四楼主井外层井壁结构与施工工艺·····	144
基岩冻结段网喷混凝土临时支护·····	160
潘二西风井液压滑模筑壁装置及其控制方法·····	170
鲍店北风井冻结段拉杆式(外滑)滑模 筑壁施工·····	181
混凝土外加剂在冻结井筒筑壁工程中的应用·····	189
钱家营主、副井冻结段快速施工·····	203
东庞主井冻结段快速施工·····	210
斜井冻结法施工·····	221

地下工程结构物冻结施工.....	234
深井冻结管断裂的原因与防治措施.....	239
冻结段井壁的破裂与防治.....	256
张集主井掘进工作面透水淹井与处理.....	269
潘一东风井井壁透水淹井与处理.....	274
芦岭副井冻结壁破裂透水淹井与处理.....	282
吕家坨副井冻结壁解冻透水淹井与处理.....	288

潘谢矿区冻结法凿井

一、概述

潘谢矿区位于淮河北岸,煤炭储量丰富。主要可采煤层4~10层,厚度为16~28m。煤系地层厚750m,上部覆盖三叠系、第三系和第四系地层。冲积层厚度为120~564m,含2~3组含水砂层,水量丰富,稳定性差,地压大,水头高,需要采用冻结法、钻井法等特殊凿井方法。

该矿区于1973年进行开发,先后建成潘一、潘二、潘三和谢桥等4个年产300~400万t的大型矿区,共计施工了19个立井,其中冻结法施工的井筒16个(见表1-1),钻井法施工的井筒3个。由于井筒穿过的冲积层厚,且深部含有较厚的粘土层(见图1-1),加上地温高,增大了冻结施工难度。在缺乏深厚冲积层冻结施工经验的情况下,边施工边摸索,通过施工16个深冻结井的实践,基本上掌握了深厚冲积层冻结施工特点,积累了许多宝贵经验,解决了不少问题。它不仅对潘谢矿区待建的深冻结井(张集、顾桥等矿井)的冻结设计和施工有指导意义,对我国深厚冲积层冻结施工也具有重要的参考价值。

二、主要经验

(一) 正确选择冻结参数

1. 建立冻结基本参数的计算体系

(1) 冻结壁厚度采用多姆克公式计算,冻土计算强度取砂性土层的瞬时抗压强度除以2.2的安全系数。

序号	土层			柱状
	名称	层厚 (m)	累深 (m)	
1	粘土质砂	9.2	9.2	
2	砂	20.0	29.2	
3	砂质粘土	6.1	35.3	
4	砂	14.9	50.2	
5	砂质粘土	9.0	59.2	
6	砂	25.8	85.0	
7	粘土质砂	5.0	90.0	
8	砂砾	27.6	117.6	
9	固结砂质粘土	3.9	121.5	
10	砂砾	9.4	130.9	
11	固结砂质粘土	4.0	134.9	
12	砂	17.8	152.7	
13	固结粘土	4.0	156.7	
14	砂	8.5	165.2	
15	砂岩盘	2.6	167.8	
16	砂	12.8	180.6	
17	固结粘土	14.2	194.8	
18	砂岩盘	3.2	198.0	
19	固结砂质粘土	6.2	204.2	
20	砂	47.8	252.0	
21	固结砂质粘土	59.6	311.6	
22	固结粘土	16.1	327.7	
23	砂砾	14.4	342.1	
24	固结粘土	8.6	350.7	
25	砂砾	7.8	358.5	

图 1-1 潘三东风井岩层柱状图

我国自1955年采用冻结法凿井以来，一直按强度极限状态计算冻结壁厚度，基本采用拉麦公式和多姆克公式。

拉麦公式是把冻结壁当作无限长弹性厚壁筒，这种假设符合浅部地压小的冻结壁工作状况。我国已有近百个立井井筒采用拉麦公式计算冻结壁厚度，冻结深度最大达162m，冲积层最大厚度达154.8m。实践表明，当冲积层厚度小于100m时，采用拉麦公式计算冻结壁厚度是适宜的。

多姆克公式发表于1915年，认为冻结壁属于弹塑性体，把冻结壁视为无限长的厚壁圆筒，在筒壁上作用着水平荷载，使冻结壁形成弹性应力区和塑性流变区，并运用第三强度理论（最大剪应力理论）作为极限条件进行运算，从而使它基本上反映了深厚冲积层的冻结壁实际工作状况。潘谢矿区已施工的16个冻结井筒，冲积层最大厚度为358.5m，均采用多姆克公式计算冻结壁厚度。但应指出，多姆克公式的有些假设，不符合实际情况，如把冻结壁看成是连续的均质弹塑性体，忽略了塑性变形与冻结壁裸露时间的关系，从而导致公式的误差，冲积层厚度越大误差越大。我国在应用多姆克公式时，有的把“ K ”当作冻土的许用抗压强度或计算强度，有的把“ K ”当作持久抗压强度，这与原公式中“ K ”的含义（指冻土的极限抗压强度）均有出入。从国内应用多姆克公式的实际效果以及从若干深冻结井的冻结壁实测厚度和井筒施工情况分析，认为在现阶段还缺乏系统的持久抗压强度试验资料的情况下，“ K ”采用冻土的计算强度（冻土的极限抗压强度除以安全系数 m_0 ）较为符合实际。计算砂性土层的冻结壁厚度时， m_0 取2.2较为适宜。即：

$$E = R \left[0.29 \left(\frac{P}{K} \right) + 2.3 \left(\frac{P}{K} \right)' \right] \quad (1-1)$$

式中 E ——冻结壁计算厚度, m;
 R ——井筒掘进半径, m;
 P ——计算深度的地压, MPa;
 K ——冻土计算强度, 等于冻土瞬时抗压强度除以安全系数 m_0 ($m_0 = 2.2$), MPa。

(2) 冻结壁稳定性或安全掘进段高按维亚洛夫、扎列茨基的有限长塑性厚壁筒公式计算, 冻结粘性土层的计算强度取瞬时抗压强度除以安全系数 m_0 ($m_0 = 2.5$) 较为适宜。

$$h = \frac{E\sigma_s}{\eta P} \quad (1-2)$$

式中 h ——安全掘进段高, cm;
 E ——冻结壁厚度, cm;
 σ_s ——冻土持久抗压强度或计算强度, MPa;
 P ——计算深度的地压, MPa;
 η ——工作面冻结状态系数, $\eta = \sqrt{3}$ (工作面未冻结时) $\sim \frac{\sqrt{3}}{2}$ (工作面冻实时)。

2. 按冻结壁有效厚度计算平均温度

冻结壁的平均温度是确定冻结壁强度和稳定性的基本参数之一, 但要精确计算是相当困难的。从工程实用出发, 一般取最大地压水平的冻结孔最大间距处的主、界面冻结壁平均温度的平均值作为冻结壁设计计算的依据。我国以往是采用苏联特鲁巴克由单个冻结管传热条件推导出来的公式计算冻结壁平均温度, 该公式未考虑邻近冻结器的相互影响和井筒的实际冻结状况, 计算出来的冻结壁平均温度偏高, 特别是深井冻结时误差太大。此外, 国外近年来模拟试验得出了一些公式。但均有其特定条件和存在着不同程度的误差。潘谢矿

区根据冻结壁温度场实测结果，提出深厚冲积层冻结壁平均温度按有效厚度计算。

$$t_{oc} = t_b \left(1.135 - 0.352 \sqrt{\frac{l}{E}} - 0.785 \frac{1}{\sqrt[3]{E}} + 0.266 \sqrt{\frac{l}{E}} \right) - 0.466 \quad (1-3)$$

$$t_c = t_{oc} + \Delta t_n \quad (1-4)$$

式中 t_{oc} ——按零度边界线计算的冻结壁平均温度，℃；

t_c ——按有效厚度计算的冻结壁平均温度，℃；

t_b ——盐水温度，℃；

l ——冻结孔间距，m；

Δ ——井帮冻土温度每升高或降低1℃对冻结壁有效厚度的平均温度影响系数，一般取0.25~0.3，当井帮土壤为正温时取0；

t_n ——计算水平的井帮土壤温度，℃；可根据本地区冻结井筒实测资料估算，或根据经验按冻结深度选取（见表1-2）。

3. 根据冲积层埋深确定冻结孔开、终孔间距和偏斜率（表1-3）

4. 根据冻结深度确定冻结孔布置圈直径

（1）单圈孔冻结时：

$$D = D_1 + 1.1E + 2\theta H \quad (1-5)$$

式中 D ——冻结孔布置圈直径，m；

D_1 ——井筒掘进直径，m；

E ——冻结壁设计厚度，m；

H ——冲积层最大埋深或最大地压深度，m；

θ ——冻结孔设计偏斜率，%。

表 1-1 潘谢矿区立井冻结

开 工 年 份	井 筒 名 称	井 筒 净 直 径 (m)	冲 积 层 厚 度 (m)	冻 结 深 度 (m)	地 压		井 壁		
					计 算 公 式	最大地压值 (MPa)	层 数	厚 度 (mm)	结 构
1972	潘一主井	7.5	160	200	秦氏	2.16	双层	900	钢筋 混凝土
1973	潘一副井	8.0	152	200	秦氏	2.16	双层	1100	钢筋 混凝土
1974	潘一东风井	6.5	292.5	310/321	0.13H	3.69	双层	1200	钢筋 混凝土
(1979)	潘一东风井	5.5		310	0.13H	3.69			钢筋 混凝土
1975	潘一中央风井	6.5	167.9	178/224	秦氏	2.16	双层	900	钢筋 混凝土
1975	潘二主井	7.5	252	290/325	0.13H	3.29	双层	1200	钢筋 混凝土
1976	潘二副井	8.0	247	280/325	0.13H	3.20	双层	1200	钢筋 混凝土
1976	潘二西风井	6.5	284	310/327	0.13H	3.60	双层	1200	钢筋 混凝土
1977	潘二南风井	6.5 (7.0)	275.4	320	0.13H	3.50	双层	1200	钢筋 混凝土
1978	潘三主井	7.5	210.4	280	0.13H	2.74	双层	1200	钢筋 混凝土
1978	潘三副井	8.0	210.4	280	0.13H	2.74	双层	1250	钢筋 混凝土
1979	潘三中央风井	6.6	210.4	300	0.13H	2.74	双层	1100	钢筋 混凝土
1979	潘三东风井	6.5	358.5	415 (118)	0.13H	4.66	双层	1300	钢筋 混凝土
1982	谢桥矸石井	6.6	244.5	305/330	0.13H	3.15	塑料 夹层	1300	钢筋 混凝土
1983	谢桥副井	8.0	298.7	外346/ 360	0.13H	3.88	塑料 夹层	1800	钢筋 混凝土
(1985)	谢桥副井	8.0	298.7	外346/ 360	0.13H	3.88	塑料 夹层	1800	钢筋 混凝土
1983	谢桥主井	7.2	291.4	外363 内130	0.13H	3.79	塑料 夹层	1400	钢筋 混凝土
1989	潘一东二风井	7.0	291.8	外325 内240	0.13H	3.79	塑料 夹层	1700	钢筋 混凝土

设计主要技术指标表

冻 结 壁					冻 结 孔						观测孔	
计 算 公 式	冻 土			计 算 厚 度 (m)	布 置 圈 直 径 (m)	孔 数 (个)	开 孔 间 距 (m)	允 许 偏 率 (%)	终 孔 最 大 间 距 (m)	冻 结 管 径 (mm)	水 文 孔 (个)	温 度 孔 (个)
	平 均 温 度 (°C)	地 压 强 度 (MPa)	安 全 系 数									
多姆克	-7.0	11.0	3.0	4.5	16.3	44	1.163	0.5	(3.08)	159	1	4
多姆克	-7.0	11.0	3.0	4.47	17.0	46	1.161	0.5	(2.54)	127 170	1	4
多姆克	-7.5	11.5	2.15	5.36	17.0	42	1.271	0.3	3.0	127	1	22
多姆克	-10.0				15.0	38			3.0	127		
多姆克	-7.0	11.0	3.0	4.0	14.5	38	1.2	0.5	3.0	127	1	4
多姆克	-7.5	11.5	2.13	5.1	17.0	42	1.271	0.3	3.0	127 159	1	4
多姆克	-7.5	11.5	2.13	5.1	17.5	44	1.249	0.3	3.0	159	1	3
多姆克	-7.5	11.5	2.0	4.84	16.0	38	1.32	0.3	3.0	159	1	3
多姆克	-7.5	10.8	2.13	5.14	16.0	38	1.323	0.3	3.0	159	1	11
多姆克	-10.0	12.0	2.0	2.67	14.3	38	1.198	0.3	3.0	159	1	3
多姆克	-10.0	12.0	2.0	2.83	15.0	40	1.178	0.3	3.0	159	1	3
多姆克	-10	12.0	2.0	2.35	13.0	34	1.20	0.3	3.0	159	1	3
多姆克	-10	12.0	2.0	5.22	17.0 (12.0)	42 (10)	1.27 (3.268)	0.3	3.0	127	1	8
多姆克	-8.5	12.5	2.0	3.43	14.0	36	1.222	0.3	3.0	139.7	1	3
多姆克	-12.0	15.1	2.2	5.31	外20 内17	外20 内32	外3.14 内1.669	0.3		139.7	1	
多姆克	-12.0	15.1	2.2	5.31	16.5 ~20.6	37	0.8~ 3.0	0.3		139.7		
多姆克	-9.5	13.5	2.2	4.76	外17.0 内13	外42 内12	外1.272 内4.08	0.3		139.7	1	
多姆克		11.5	2.2		外17.0 内13.5	外46 内12	外1.161 内3.534	0.3		139.7	1	4

续表

开工年份	井筒名称	冷冻站			备 注
		制冷方式	标准制冷能力 (10 ⁴ kJ/h)	盐水温度 (℃)	
1972	潘一主井	双级	1490.5	-30 (-32)	主、副井共用1个冷冻结站
1973	潘一副井	双级	1490.5	-30 (-28)	
1974	潘一东风井	双级	1792	-30 (-29)	进行冻结壁温度场实测研究
(1979)	潘一东风井	双级	1482	-30	处理透水淹井事故, 重新打钻冻结
1975	潘一中央风井	双级	1490.5	-30	利用原主、副井冷冻站
1975	潘二主井	双级	3290.8	-30	主、副井共用一个冷冻站
1976	潘二副井	双级	3290.8	-30	
1976	潘二西风井	双级	1792	-30	
1977	潘二南风井	双级	2198.1	-30	进行冻结壁温度场实测研究
1978	潘三主井	双级	3745.5	-30	主、副井、中央风井共用1个冷冻站
1978	潘三副井	双级	3745.5	-30	
1979	潘三中央风井	双级	3745.5	-30	
1979	潘三东风井	双级	3642.5	-32	0~118m增设一圈辅助冻结孔
1982	谢桥矸石井	双级	5618.7	-30	主、副井及矸石井共用一个冷冻站
1983	谢桥副井	双双	5618.7	-30	
(1985)	谢桥副井	双级	5618.7	-32	
1983	谢桥主井	双级	5618.7	-30	
1989	潘一东二风井	双级		-30	

表 1-2 冻结段井帮土壤温度(t_s)估算值

井 深 (m)		100	200	300	400
冻土扩入井帮后 开挖的温度 (°C)	砂性土层	-1~-3	-5~-7	-9~-11	-13~-15
	粘性土层	1~0	-2~-4	-6~-8	-10~-12
冻土扩入井帮前 开挖的温度 (°C)	砂性土层	1~-1	-3~-5	-7~-9	-11~-13
	粘性土层	2~1	-1~-2	-4~-6	-8~-10

表 1-3 按冲积层深度选取冻结孔开孔、终孔间距

冲积层厚度 (m)	100	100~200	200~300	300
开孔间距 (m)	1.5	1.4	1.3	1.3
终孔间距 (m)	1.8~2.0	2.0~2.4	2.4~2.8	3.0
允许偏斜率 (%)	0.2	0.2~0.25	0.25~0.3	0.3

(2) 主冻结孔内侧布置一圈辅助冻结孔时:

$$D_z = D_1 + 2(0.55E + \theta H) + \Delta \quad (1-6)$$

$$D_f = D + 2(0.3L_n + \theta H_f) \quad (1-7)$$

式中 D_z ——主冻结孔布置圈直径, m;

D_f ——辅助冻结孔布置圈直径, m;

H_f ——辅助冻结孔深度, m;

L_n ——主冻结孔至井帮的距离, m;

Δ ——主冻结孔布置圈直径附加值, 取 1 (冻深 300m 时)~2m (冻深 500m 时)。

(3) 冻结管的散热系数是计算冻结需冷量的基本参数。国外学者研究得出: 散热系数与盐水温度、冻结时间、冻结壁厚度、冻结器内盐水的运动状态和流速、岩层的物理性质以及冻结孔间距等因素有关, 散热系数随着盐水温度降

低而增大，随着冻结壁厚度的增大而减少，随着冻结孔间距的增大而增加。当冻结器内的盐水呈层流运动时，流速对散热系数的影响较小；当冻结器内的盐水由层流过渡到紊流状态时，散热系数随着流速增大而增加的幅度大；冻结壁厚度为2~2.5m时，盐水运动状态的变化对散热系数的影响尤为显著。但应指出，影响冻结管散热系数的因素较多，研究条件不同所得出的数值差别较大，尚无精确公式计算，在设计时往往凭经验选取。前苏联学者认为冻结器环形空间呈层流运动时，散热系数取 $837\sim 1048\text{kJ/m}^2\text{h}$ ；德国学者认为冻结管散热系数为 $272\sim 1048\text{kJ/m}^2\text{h}$ ，积极冻结期取 $586\text{kJ/m}^2\text{h}$ ，维护冻结期取 $352\text{kJ/m}^2\text{h}$ ；波兰学者则认为冻结管的散热系数变化范围为 $335\sim 1884\text{kJ/m}^2\text{h}$ ，积极冻结期取 $1256\text{kJ/m}^2\text{h}$ ，维护冻结期取 $628\text{kJ/m}^2\text{h}$ 。

国内以往采用原苏联取值，浅井取 $942\text{kJ/m}^2\text{h}$ ，深井冻结时取 $1047\text{kJ/m}^2\text{h}$ 。为了正确地确定冻结管的散热系数，对潘二南风井和潘三东风井的冻结管散热性能进行了系统的观测，初步得出：冻结管的散热系数主要与岩性、原始温度、冻结器内的盐水温度和运动状态以及冻结时间等因素有关，散热系数的峰值期为冻结第30~35天，峰值期的盐水温度为设计最低温度绝对值的75%左右，盐水呈紊流状态时冻结管的散热系数为层流时的1.1倍（冻结后期）~1.3倍（冻结初期）。最大散热系数可按表1-4选取。

（二）改进冻结工艺

潘谢矿区冲积层厚，井壁厚度、冻结壁厚度和冻结孔布置圈直径大，冻结孔与井帮的距离较远。若等上部冻结壁扩展至井帮后再开挖，势必延长冻结时间，增大下部冻土挖掘量；若不等上部冻结壁扩展到井帮就提前开挖，则容易引起