

煤矿混凝土帷幕凿井法

刘铮敏 沈 俭 石维明 舒英杰 编



煤炭工业出版社

煤矿混凝土帷幕凿井法

刘铮敏 石维明 编
沈 俭 舒英杰

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了混凝土帷幕凿井法中帷幕结构的设计计算、材料、设备、施工工艺等几部分内容。总结了我国煤矿混凝土帷幕法凿井的经验。

读者对象：从事矿井建设、水电、铁路、交通基础工程施工、设计的工程技术人员及有关院校师生。

煤矿混凝土帷幕凿井法

刘铮敏 石维明 编
沈 俭 舒英杰

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安儿门内大街路北10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 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $3^{1/4}$

字数 84 千字 印数1—2,120

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

书号15035·2360 定价 0.46元

目 录

第一章 概 述	1
第一节 国内混凝土帷幕技术应用情况	1
第二节 国外混凝土帷幕技术应用情况	6
第二章 混凝土帷幕结构设计	9
第一节 设计资料	9
第二节 混凝土帷幕结构的设计计算	10
第三章 槽孔的施工	21
第一节 造孔机具	21
第二节 槽孔施工的准备工作	32
第三节 槽孔的施工工艺	34
第四节 槽孔施工的验测	47
第四章 泥 浆	52
第一节 泥浆材料	52
第二节 泥浆在槽孔施工中的作用	56
第三节 泥浆性能指标及其测定	57
第四节 钻进不同地层对泥浆性能要求	60
第五节 泥浆的配制与泥浆站	62
第五章 泥浆下灌注混凝土	70
第一节 泥浆下灌注混凝土的主要性质	70
第二节 泥浆下混凝土配合比设计	72
第三节 泥浆下灌注混凝土用的工具	77
第四节 直升导管法灌注混凝土在槽孔中的应用原理	83
第五节 灌注混凝土的搅拌站	87
第六节 泥浆下灌注混凝土的操作	89
第七节 灌注中常见事故及其处理	91
第六章 混凝土帷幕的接头	93
第一节 接头及其重要性	93
第二节 接头缝的形式	93

第三节 接头的施工	94
第七章 井筒的掘进与套壁	98
第一节 井筒掘进	98
第二节 帷幕的套壁	99
第三节 帷幕的补强与事故处理	100

第一章 概 述

第一节 国内混凝土帷幕技术应用情况

一、在煤矿凿井中的应用

混凝土帷幕法凿井，是近几年发展起来的特殊凿井的新方法、新技术。采用混凝土帷幕法凿井时，首先在地面沿井筒圆周划分为数个圆弧形槽段(或一个圆环槽段)，在泥浆护壁条件下，使用造孔机械钻挖槽孔，待槽孔达到设计深度后，采用直升导管法灌注混凝土，置换槽孔内的泥浆。这样逐次完成各段槽孔的钻挖、灌注混凝土工作，最终形成一个封闭的圆筒状混凝土帷幕。然后，在该混凝土帷幕保护下，掘砌井筒。

混凝土帷幕凿井法施工过程简述如下(如图1-1)：

1. 准备工作 在完成矿井建设施工准备工作的基础上，还应进行下列具体的准备工作，包括：按设计的施工场地平面图，平整钻场，构筑护井，铺设环行轨道，修建泥浆站，制备泥浆，检修、组装造孔机具等。

2. 钻挖槽孔 一般情况下，根据井筒直径不同，沿井筒圆周划分为2~3个槽段。使用冲击式钻机或回转式钻机，或其它类型机械顺序地在各槽段内钻挖槽孔。钻挖槽孔时，应保证及时地向槽孔内补充新的优质泥浆。

山东黄县桑园煤矿已试验成功不分段一次钻挖全圆环槽孔、整体无接头灌注混凝土帷幕的新工艺。

3. 验孔与清孔 检查槽孔是否已全部达到设计深度并全部贯通。测定槽孔各部位的偏斜值；检查槽孔宽度(帷幕有效厚度)是否符合设计要求；检查孔底沉渣厚度及泥浆性能参数，并使其达到规定标准。

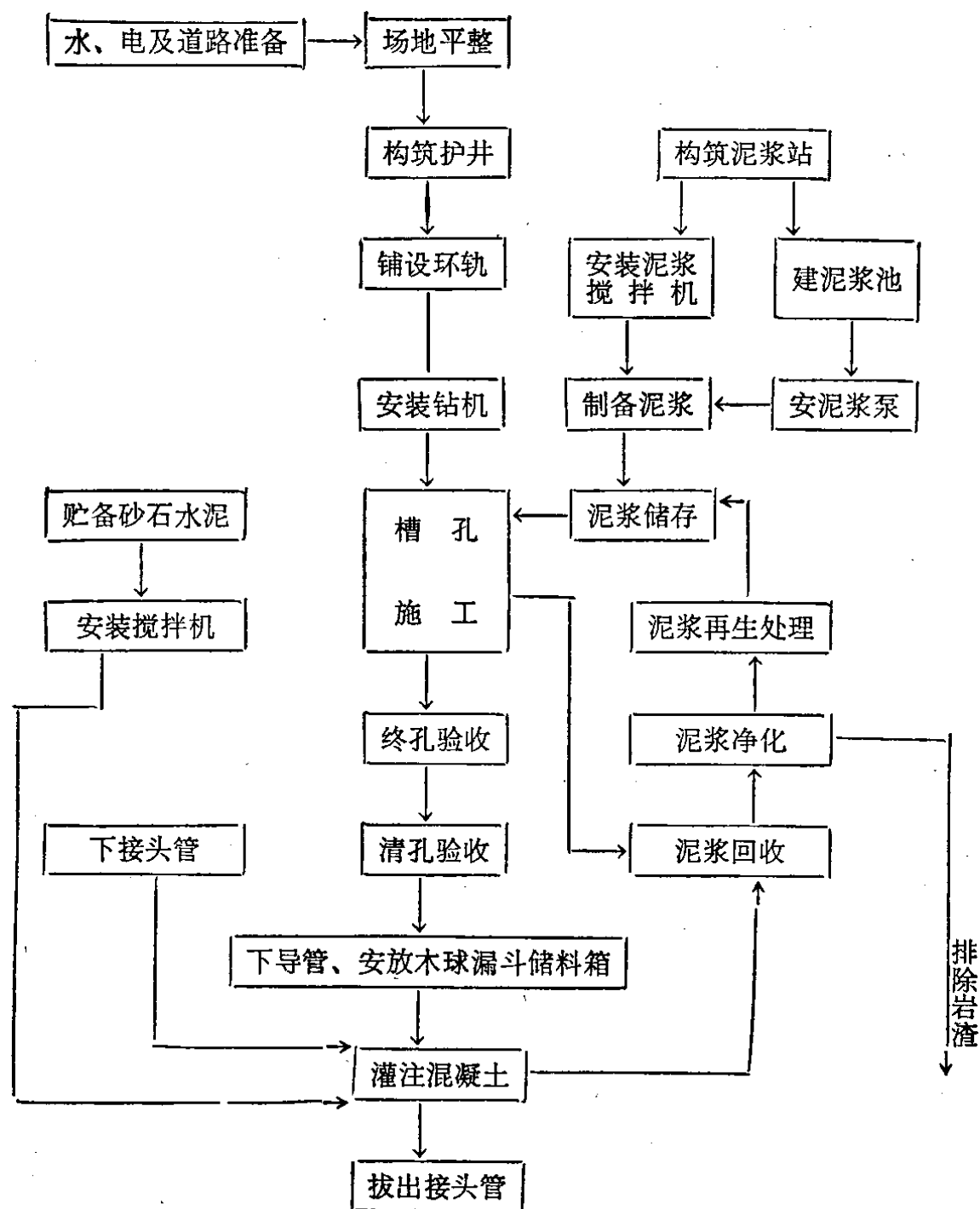


图 1-1 混凝土帷幕法凿井工艺流程

4. 待一个槽段钻挖完毕后即在槽孔两端放置混凝土导管及接头管(若一次钻挖全圆环槽孔整体灌注混凝土, 则无接头管)。

5. 灌注混凝土 连续不断地自导管向下输送混凝土。保证导管下端埋入混凝土内一定深度。随混凝土面的上升, 每隔一段时间, 起拔并拆除一段导管。

6. 起拔接头管 在灌注混凝土过程中, 按设计规定时间(即混凝土开始凝结), 及时起拔接头管。

7. 井筒掘进及套砌井壁 混凝土帷幕施工完毕, 并经过一定时间的养护之后, 开始井筒的掘进和套砌井壁工作。

煤矿混凝土帷幕法凿井, 是在学习水电部门防渗墙施工技术基础上发展起来的。一九七四年首先在黑龙江省鹤岗矿务局煤矿建设工程处应用成功, 为煤矿特殊凿井增加一项新技术、新工艺。它具有下述主要特点:

1. 施工较简单 施工准备工作、施工工艺和施工技术比较简单, 且所需施工机具设备的数量比较少。因此, 井筒工程上马快, 施工速度快, 工期短。譬如, 一般情况下开工前的准备工作只需要20天左右; 在正常情况下, 完成深度约50米的混凝土帷幕施工, 约需90~120天。

2. 质量较可靠 混凝土帷幕法施工中几个主要工序, 如钻挖槽孔、泥浆护壁、泥浆下灌注混凝土等项, 已有比较成熟的技术经验。通过加强施工管理, 严格执行操作技术规程, 钻挖槽孔的偏斜值可控制在一定的范围内, 能够可靠地通过含水冲积层, 能够保证井筒开挖工作的安全性。随着更完善的新型造孔机械的出现, 混凝土帷幕质量将进一步提高。

3. 钢材、木材用量小。需要的大宗材料, 如水泥、砂、石很容易就地解决。不需要耗费大量的电力。

4. 可以改善开挖井筒的作业环境。

5. 适用范围广, 可以通过含有卵、砾石的复杂地层。帷幕底部能深入到基岩层内。

所以, 几年来混凝土帷幕凿井法得到了较为迅速的发展, 施工工艺逐渐改进, 施工技术日趋成熟。这种方法已在许多矿区(特别是地方煤矿)推广应用。吉林辽源梅河口五井将帷幕应用于斜井井筒过流砂层的试验, 已获得成功。

目前, 鹤岗、铁法、黄县、隆尧、辽源等地煤矿, 应用混凝土帷幕凿井法已施工二十余个井筒。帷幕最大深度为57米, 最小

深度为20米。帷幕厚度最大为1.1米，最小为0.65米。帷幕中心线直径最大为10.9米，最小为4.2米。几个井筒采用混凝土帷幕凿井的施工技术参数如表1-1所示。

表 1-1 我国几个井筒采用混凝土帷幕凿井的施工技术参数

	井筒 净直 径	帷幕 中心 线直 径	槽孔 段数	帷幕 厚度	套壁 厚度	冲积 层厚 度	帷幕 深度	深入 稳定 岩内 深度	钻机 类型	钻机 台数	接 头 形 式
鹤岗兴安矿南风井	5.5	6.90	4	0.95	0.20	24	29	5	冲击式	2	钻凿圆 弧直接
鹤岗竣德矿主井	5.5	8.50	3	0.95	0.75	43.6	49.7	6.1	冲击式	4	钻凿圆 弧直接
铁法晓青矿南风井	5.0	7.60	3	0.77	0.70	33.8	41.3	7.5	冲击式	2	钻凿圆 弧直接
黄县北皂矿主井	4.5	6.35	2	0.85	0.40	48.3	53.3	5	冲击式	3	钻凿圆 弧直接
黄县桑园矿风井	3.0	4.20	1	0.70	0.10		30		冲击式	2	无接头
河北隆尧二矿副井	2.5	3.65	2	0.65	0.25	14	24	10	冲击式	2	钻凿圆 弧直接
黄县北皂矿风井	4.5	6.15	2	0.55	0.25	51	56	5	冲击式 回转式	3 1	预埋钢管
鹤岗竣德矿风井	4.5	8.10	2	0.95	0.5~ 0.8	50	57	7	冲击式	4	预埋钢管

但是使用混凝土帷幕法凿井时间不长，尚缺乏广泛实践经验，有关理论和工艺技术问题尚待研究，施工机具尚待进一步改革和完善。比如，目前混凝土帷幕只作为施工手段，需要二次套砌井壁，造成水泥等材料耗量较大，每米成井的成本还比较高；钻孔接头方式尚需改进；缺乏检测手段，致使施工可靠性还存在一些问题。另外还缺乏高效率、高质量的施工机具，致使造孔效率不够高，质量不够好，不仅增加材料耗量，影响施工可靠性，而且拖延工期。由于存在上述问题，也就限制了混凝土帷幕法施工深度的增加。当然，这些问题是混凝土帷幕法发展中的问题，有待在施工实践和发展中，不断使之完善。

通过几年来的实践表明，在现有的施工机具设备和技术条件下，采用混凝土帷幕法穿过较浅的含水冲积地层，特别是在含有

卵石层，基岩层以上又无可靠隔水层的较浅的含水冲积层中开凿井筒，还是行之有效、比较适宜的。

二、在水电部门的应用

我国水电部门早在一九五八年就已经把混凝土帷幕法应用于大坝基础工程。为了防止水库渗漏，保证水库储水效能，提高水位，利用水头，自坝基或坝顶向下穿过透水地层，建造一道混凝土帷幕，用以截断地下水流。水电部门把这个混凝土帷幕叫做防渗墙。防渗墙施工技术，不需要放坡开挖，不需要排水，不需要支模，不受墙厚和墙长度的限制，也基本上不受地质条件的限制。所以，在大坝基础防渗工程上得到了广泛的应用。全国各地已建造防渗墙工程四十多项。防渗截水效果都很好。防渗墙深度最大为62米，厚度最大为1.3米。墙体材料有粘土水泥混凝土和纯粘土两种。造孔机械以冲击式钻机（CZ-20、22、30型）为主。吉林省研制的“察尔森”型正反循环回转式钻机，使造孔效率大为提高。

由于防渗墙只起防渗截水作用，墙体两侧并不需开挖。所以，对混凝土强度要求不高，而对于混凝土的柔性和抗渗性能则要求较高。这是与煤矿开凿立井不同之处。煤矿开凿立井，不仅要求帷幕具有良好的防渗截水性能，并且要求帷幕必须具有一定的强度，以抵抗井筒开挖时周围土和水的侧压力。

防渗墙在露天采矿中可以用于边坡防渗止滑，是防治边坡滑动的技术措施之一。

三、在建筑工程和地下工程中的应用

在建筑工程和地下工程部门，把混凝土帷幕（或防渗墙）叫做地下连续墙。这种施工技术除了具有前述各项优点外，还有施工噪音小、振动小、对相邻建筑物和地下设施影响较小，在平面布置上可以施工成任意形状等优点。这些优点对于解决建筑物密集的城市内人防工程、地下隧道和其它地下工程以及建筑物基础（尤其深基础、水下基础和毗邻建筑物很近的建筑物基础）的施工困难、节省土方工程量、降低工程造价、加快施工进度、提高机

械化程度等，都有着重要的作用。所以，建工部门十分重视。上海隧道建设公司已制造出液压抓斗机，并在试验槽孔内就有关技术问题开展了试验研究，取得了一定的成果。上海基础工程公司研制了多钻头挖槽机，准备在大型建筑和地下工程中广泛应用地下连续墙技术。

第二节 国外混凝土帷幕技术应用情况

国外自四十年代便开始应用混凝土帷幕技术。美国1945年采用此项技术在河岸构筑了防洪堤，只不过槽孔内填充的是粘土。意大利法国陆续推广使用。以后为加拿大、墨西哥、日本、德国及苏联等国所采用，槽孔内由充填粘土发展为泥浆下灌注混凝土。主要应用于下列几个方面：

一、防渗墙

作为大坝基础防渗处理的重要措施，已被许多国家广泛应用。目前施工深度最大的是加拿大曼尼考根3号坝的防渗墙。坝高107米，防渗墙深度131米，防渗墙为双层，每层墙厚0.61米。墙体为380号混凝土。

二、建筑物基础

如前述，在地基条件复杂无法采用其它基础型式情况下，采用地下连续墙，可以获得良好的效果。如法国巴黎的梅纳·蒙巴纳斯大楼（欧洲当前最高的建筑物，60层，地面以上高210米），修建在巴黎6号地下铁道线上，基础采用深达50米的连续墙，穿过砂砾层、裂隙灰岩，将115,000吨竖直载荷传递到抗压强度为20~40公斤/厘米²的坚硬灰岩上面。再如比利时布鲁塞尔修建一座一面临街、三面与现有高层楼房紧相连接的大楼，由于采用地下连续墙（厚度0.60米，深度10~12米）作为基础兼地下室边墙，使所建大楼与原有建筑物相距仅20厘米。若采用其它施工方法，几乎是不可能的。

三、地下工程的边墙

在城市或交通频繁的道路下面修建人防工程、地下铁道或其

它地下工程时，由于场地等条件的限制，一般采用地下连续墙施工方法。譬如，一条地下隧道的走向与地面道路走向一致，可先浇筑两道地下连续墙作为地下隧道的边墙，接着开挖路面，浇筑地下隧道的顶板，再修复路面、恢复地面交通，然后转为地下掘砌隧道。这样，对地面交通的影响可以减至最小程度。

四、挡土墙

为了防止土坡滑动，以保护现有建筑物，需要构筑挡土墙。譬如，瑞士洛桑为展宽一条街道，需要在一座小山丘脚下，一幢六层楼的旁边，修建一道长88米、高6~10米的挡土墙，以防止山坡滑动。因为附近有医院，要求施工噪音小（10米处最大不超过70分贝）。采用地下连续墙技术，施工顺利并达到了设计要求。

五、立井工程

国外把地下连续墙应用于立井工程的实例尚不多，深度也不大。墨西哥城修建一条长约50公里的排水隧道，线路中有若干个集水立井穿过松软土层。其中第11号和第13号立井采用了混凝土帷幕（地下连续墙）法施工，井筒特征见表1-2。井筒帷幕沿圆周分为四段槽孔施工。为了防止接头处漏水，开挖前在接头部分进行了注浆处理。为了防止开挖井筒时可能发生不规则横向弯矩，墙体为钢筋混凝土结构（即灌注混凝土前先下入钢筋笼）。

表 1-2 墨西哥城11和13号集水立井特征

名 称	11号立井	13号立井
井筒内直径(米)	9	9
墙 厚(米)	0.9	0.9
墙 深(米)	43	50
基坑深度(米)	39.2	44.6
墙的插入深度(米)	3.8	5.4

日本各地有的采用盾构(掩护筒)法施工地下铁道。这样，地下铁道的起点和终点都需要修建立井，以供盾构出入。东京修建地下铁道9号线时，采用混凝土帷幕法修建了起点、终点的盾构

立井。立井断面为矩形，平面尺寸分别为 11.1×21.4 米和 11.1×17.6 米，厚度均为0.6米，深度分别为23米和26米。穿过的地层为：上部有5米左右的软弱粘性土，其下为密实的砂和砾石层。施工时，沿矩形四周（除拐角外）按4.0~4.6米长划分槽孔段。施工过程中除要求精度外，在拐角处设置“L”型钢筋，以消除拐角的弱点。

英国伦敦中心的布卢姆斯伯里广场修建了一个能容纳450辆汽车的地下停车场。地下七层，圆形断面，直径为49米、深度为20米，为钢筋混凝土帷幕，厚度81.2厘米。采用混凝土帷幕法（地下连续墙法）施工，沿圆周共划分42段槽孔。在内部开挖时，连续进行了四个月的观察和测定，圆筒帷幕没有发现局部变形现象。

国外地下连续墙法使用的专用造孔机械种类很多，约有二十余种，仅日本就有十种以上。归纳起来，大体可分为两大类：

1. 抓斗式造孔机械 包括钢丝绳抓斗机、导板抓斗机和导杆抓斗机。为直接出渣的挖槽机械。

2. 钻头式造孔机械 包括冲击式钻机、单头回转式钻机、多头回转式钻机、凿刨机和绞割机等。利用各种钻头对地层进行破碎，借助泥浆循环将土渣排出槽孔外。

在国外，地下连续墙广泛应用于建筑基础或深度不大（一般小于30米）的地下工程，所以，抓斗式造孔机械使用较普遍。

由于地下连续墙具有许多优越性，六十年代以来，世界各国竞相采用，发展很迅速，应用范围也愈来愈广泛。

第二章 混凝土帷幕结构设计

混凝土帷幕设计，是混凝土帷幕法凿井施工技术设计的一项重要内容。它关系着混凝土帷幕的工程量、工期、工程造价、防水堵砂性能以及井筒开挖的安全性等。

混凝土帷幕结构设计包括：确定帷幕深度、帷幕厚度、帷幕中心线直径以及槽孔段数的划分等。

第一节 设计资料

一、地质及水文地质资料

根据混凝土帷幕凿井的特点，进行混凝土帷幕结构设计时，必需确切地掌握下列工程地质及水文地质资料：

1. 冲积层的厚度、各分层的厚度、层位、结构、成分、含水率、干容重、自然容重、孔隙率和内摩擦角等；
2. 基岩风化带的厚度、风化程度；
3. 基岩风化带上部是否直接覆盖有粘土隔水层，粘土层厚度；
4. 地下水水位，冲积层涌水量，水头；
5. 冲积层下部岩层涌水量，与冲积层有无水力联系等。

二、井筒特征

1. 井筒的用途、横断面形状及平面尺寸、井筒深度；
2. 井筒装备布置图；
3. 井颈（包括风道口）结构图。

三、地面工业场地（包括临时和永久建筑物的）布置图

四、建井水源、电源情况等

第二节 混凝土帷幕结构的设计计算

一、混凝土帷幕深度的确定

混凝土帷幕穿过冲积层之后，还必须深入到不透水稳定地层内一定深度，以防止井筒开挖时在帷幕底部发生涌水冒砂事故。

确定需要的帷幕深度时，必须依据确切可靠的井筒检查孔柱状图，可按下列式确定：

$$H = h_1 + h_2, \text{ 米}$$

式中 H ——设计混凝土帷幕深度，米；

h_1 ——含水冲积层厚度，米；

h_2 ——混凝土帷幕需深入不透水稳定地层内的深度，米。

在确定 h_2 值即帷幕底部位置时，应当考虑下列影响因素：

1. 基岩风化带的厚度、风化程度、透水性；
2. 基岩风化带与冲积层有无水力联系；
3. 基岩风化带上部有无粘土隔水层，隔水层厚度；
4. 造孔机械的性能与效率等。

综合上述诸因素，可以参照下列原则具体确定 h_2 值：

1. 基岩风化带风化程度弱，透水性弱，则帷幕需深入稳定基岩内 3 米以上；

2. 基岩风化带风化严重，透水性较强，并与冲积层有水力联系时，若层厚较大，帷幕需深入稳定基岩内 5 米以上；

3. 基岩风化带上部直接覆盖有较厚的粘土隔水层，则帷幕深入粘土层 3～5 米。若粘土承载力和帷幕侧面阻力之和小于帷幕的竖向压力时，则帷幕应穿过粘土层，深入基岩风化带 2～3 米。

帷幕底部位置选择不当，或深入不透水稳定地层内深度过小，则开挖井筒时，易产生冒水涌砂事故。

帷幕深入不透水稳定地层内的深度稍大一些，则封底可靠、安全。但是若造孔机械的性能较差，钻挖岩层速度慢、效率低，势必拖长工期，提高工程造价。所以，确定帷幕底部位置时，必须根据工程地质和水文地质资料，以及造孔机械设备性能等因

素，综合分析对比，慎重确定。

我国应用混凝土帷幕法施工的二十余个井筒，帷幕深入不透水稳定地层内的深度，介于3~7米之间。

目前，由于缺乏专用造孔机械设备，造孔深度不宜过大。在采用 CZ-20、CZ-22 型冲击式钻机或回转式地质钻机的情况下，随造孔深度的增加，偏斜值将增大，不易保证帷幕的有效厚度。另外，在各种因素影响下，造孔效率也将随之降低，所以，目前国内混凝土帷幕法凿井的深度尚未超过60米。

二、混凝土帷幕厚度的设计

混凝土帷幕在凿井中起着防水堵砂和支护的重要作用。即要求帷幕能够承受住周围土和水的侧压力，以保证开挖工作的安全。这样帷幕就必须具有足够的强度和厚度。

混凝土帷幕的厚度，决定于地压的大小和采用的混凝土标号，并与钻孔直径和帷幕深度等有关。为了尽量减小需要的帷幕厚度，以减小混凝土工程量，在帷幕深度小于80米的情况下，选用的混凝土标号不宜低于200号。但随着帷幕深度的加大，一方面地压值加大，另一方面造孔偏斜值也将随之增大。在此情况下，为了保证帷幕中心线上钻孔的有效交圈厚度和混凝土帷幕的强度，可采取将混凝土标号提高到300号以上，适当地加大钻头直径，尽可能地提高造孔垂直度，以减小实际偏斜值等项措施。

（一）地压计算

土层和水作用于帷幕的侧压力，通常称作地压。采用下列公式计算：

1. 挡土墙理论公式

$$P_n = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_{n-1} h_{n-1} + \gamma_n h_n) A_n \quad (2-1)$$

式中 P_n ——某计算深度处土层作用于帷幕侧面单位面积上的地压值，吨/米²；

$\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ ——各土层的天然容重（参考表2-1），吨/米³；

$h_1, h_2 \dots h_n$ ——各土层的厚度，米；

表 2-1 各种土的自然容重和水平推力系数

土层名称	天然容重 γ_n (吨/米 ³)	内 摩 擦 角 φ		水平推力系数		注
		由~至	平 均	由~至	平均	
流砂	1.9	0~18°	9°	1.0~0.528	0.730	
砂砾、砂性土		18°~26°34'	22°17'	0.528~0.382	0.451	
粘性土		26°34'~50°	38°17'	0.382~0.133	0.235	
粘土	2.0				0.333	
卵石或砾石	2.0				0.45	
风化页岩	1.85				0.099	
	2.4~2.6				0.0173	$f=4\sim6$
	2.5~2.8				0.004	$f=8\sim10$

A_n ——某计算土层的水平推力系数, $A_n = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right)$,

(参考表2-1);

φ ——某计算土层的内摩擦角。

2. 按悬浮体理论计算

$$P_n = (\gamma'_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \dots + \gamma'_{n-1} \cdot h_{n-1} + \gamma'_n \cdot h_n) \cdot A_n + \gamma_w \cdot H_n \quad (2-2)$$

式中 P_n ——某计算深度处土层作用于帷幕侧面单位面积上的地压值, 吨/米²;

$\gamma'_1, \gamma'_2, \dots, \gamma'_n$ ——各土层的悬浮容重, 吨/米³;

$h_1, h_2, \dots, h_n$ ——各土层的厚度, 米;

A_n ——某计算土层的水平推力系数(参考表2-1);

γ_w ——水的比重, $\gamma_w = 1$;

H_n ——某计算土层的承压水柱高度, 米。

土的悬浮容重, 可按下列公式确定:

当有土壤分析化验资料时

$$\gamma'_n = \frac{\Delta - 1}{1 + \varepsilon}, \text{ 吨/米}^3$$

式中 Δ ——土的干容重, 吨/米³;

ε ——土层孔隙率。