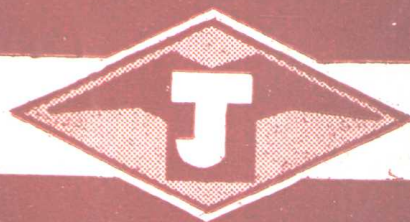
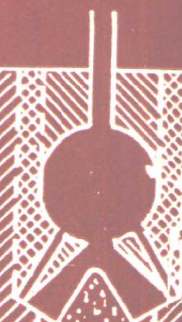


地下連續墙文集



冶金部建筑研究总院技术情报研究室编

3501410

地下连续墙文集



冶金部建筑研究总院技术情报研究室

一九八五年五月

选 编：牛清山

审 定：顾直青

责 任 编 辑：蒋之峰

封 面 设 计：周立信

地下连续墙文集

※

冶金部建筑研究总院技术情报研究室

（内部出版）

天津市宝坻县印刷厂印装

开本：787×1092毫米 1/16 印张：8 字数：170千字

一九八五年五月

前 言

地下连续墙是在六十四年前起源于西欧的一项实用技术。不论新建，还是改建、扩建工程的软土地基施工中，这项技术的适用性都很强。尤其在闹市区的建筑工程中，它的优越性更加明显。大量工程实践证明，它可将相邻施工中的侧向位移控制在最低限度内。国外在近二、三十年里，这项技术获得了突飞猛进的发展。意大利、法国、日本、美国等国家已经先后在土木建筑行业中广泛采用了这项新技术，收到了实效。我国也于1958年首先在水利工程中开始应用地下连续墙新技术。但是与国外先进水平相比，我们不论在设计计算理论上，还是在施工机具及施工管理上都有一定的差距。为了能够尽快地缩短这段差距，吸取国外应用地下连续墙中的有益经验，我们在较广泛地学习国内外经验的基础上编印了这本《地下连续墙文集》。

本文集在翻译、编辑过程中曾得到了我院地基基础研究室高级工程师徐克静同志的大力支持，特此致谢。

由于我们水平所限，本文集如有不妥或错误之处，诚恳欢迎广大读者批评指正。

编译者

1984年10月于北京

目 录

• 综述与述评 •

国外地下连续墙的现状、动向与展望.....	(1)
地下连续墙工法的最新动向.....	(28)

• 设计与应用 •

采用地下连续墙方法施工抗滑构筑物.....	(40)
预制地下连续墙.....	(44)
地下连续墙及其防水.....	(50)
用地下连续墙方法构筑的基础承载力的评价.....	(56)
美国地下连续墙和截水墙的暂行设计标准.....	(59)

• 施工与机具 •

液压挖掘机.....	(71)
用自硬性浆液施工的预制构件地下连续墙.....	(75)
构筑物采用地下连续墙方法施工时的安全施工组织.....	(78)
尼日利亚杰巴坝地下连续墙的建造.....	(88)
“潘纳索鲁”工法的最新施工实例.....	(98)
水泥拌合土挡土墙工法.....	(108)

国外地下连续墙的现状、动向与展望

牛 清 山

一、 前 言

目前世界上关于地下连续墙的叫法不很统一。欧美各国称之为“Concrete Diaphragms Slurry Wall”；日本将其取名为“地下连续壁”，“连续地中壁”，或“地中壁”；而我们既有叫“地下墙”，也有叫“地下连续壁”的，但更多的是叫“地下连续墙”。本文为统一起见，一律称为“地下连续墙”。

众所周知，所谓地下连续墙施工方法就是按设计所要求的平面型式边开挖沟槽边充填泥浆进行护壁，待达到设计要求后放置钢筋骨架，而后现浇混凝土所作成的连续挡土墙、防渗墙或构筑物的基础等的施工方法。也有的将就地灌注桩连接起来构成柱列式挡土墙的。本文重点将放在前者。

二、地下连续墙发展简史及各国的应用概况

地下连续墙的发源地是西欧，真正将其推向实用阶段的是意大利的I COS公司。后来，法国、日本等国发展很快，无论是实际施工面积，还是在施工技术或施工机具方面与世界上别的国家相比都占有明显的优势。

为什么地下连续墙这一新技术首先在西欧得到发展？据说巴黎市及米兰市的覆盖层是由密实的砂砾及石灰岩所组成，在这种地质条件下构筑地下构筑物是比较困难的，打板桩更难，特别在市区进行改建、扩建中为了不给或少给已有建筑物带来任何有害的影响，就必然要选择就地灌注桩或地下连续墙等施工方法，因这一施工技术无论在技术上，还是在经济上都有独到之处，在这种条件下它就得到了比较顺利的发展与普及。客观地看是由地质条件逼出来的。

而日本却是在另外一种条件下从西欧引进了这项新技术的。日本人口密度很高，市区比较拥挤，环境保护法又非常严格，在这种形势下新建房屋或市内地下开辟交通线的施工中要求尽量避免打入桩，又因其四面临街无法放坡大开挖，这样就不得不使用地下连续墙施工方法。所以日本就在这样的背景下从欧洲陆续引进了地下连续墙的新技术。

从表1中可以看出地下连续墙这一施工技术自1920年问世以来，在这六十多年中大致经历了四个时期，即一是从二十~五十年代的摇篮期；二是五十年代的开拓期；三是

六十年代的普及提高期；四是七十年代至今的发展壮大期。现在这一新技术，已被世界各国广泛采用了。据1977年统计，全世界地下连续墙面积已突破1000万平方米大关（不包括防渗墙和桩排式结构），日本平均每年完成地下连续墙面积在25万平方米以上。现将世界各主要国家应用开发地下连续墙情况按时间先后顺序列于表1之中。

三、地下连续墙的现状分析

综上所述，地下连续墙施工技术在这六十四年里由简单到复杂，由小到大，由浅至深，应用范围不断扩大，经世界各国工程技术人员的不断完善，八十年代可以说它已经进入了比较成熟时期，有位日本人曾形象地说：“如果将以外国技术为主或靠模仿来施工的初期地下连续墙当作第一代的话，那么之后又结合本国的技术将其作为主体结构物来使用并得到日本建筑中心认可的特殊地下连续墙工法就可以说成是第二代了。现在又利用电子技术进行了开挖精度的管理，并且可以施工出深达100米的高精度的连续墙这就是第三代了。”

现从其用途、分类、优缺点、施工机具、护壁泥浆、设计计算与施工管理及施工实例等几个方面分别阐述地下连续墙技术的现状如下：

1. 用途

在国外，地下连续墙主要用在开挖工程的大规模的挡土墙及承重结构、结构物基础、地下铁道、地下停车场、地下油气罐、地下工业设施、港口码头、下水道工程、地下电缆等公用沟、桥梁基础、铁塔等独立构筑物基础、竖井、堤坝防渗墙、盾构工程中的立坑等等，现在地下连续墙主要用来作为挡土结构和防渗结构。它与惯用的板桩相比具有许多长处，即刚度大、强度高、耐久性好，也可用来当作永久性结构物，并且在施工时基本上无噪音、无振动等。因此，地下连续墙不但可有效地用于地基条件差又需靠近主要结构物附近进行大规模开挖的工程，而且在噪音及振动限制比较严格的地方也逐渐使用了。主要用作主体结构中的一部分，并非单纯临时性设施。在要求有一定的挡水性及需要严密控制周边地基沉降的地方，国外基本上都采用地下连续墙工法。图1所示是日本在1974年关于地下连续墙应用情况的统计分析。

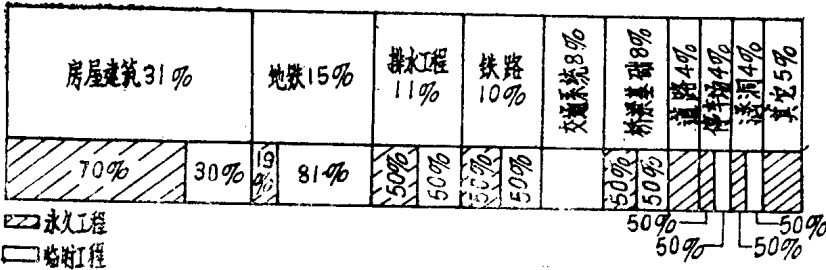


图1 日本地下连续墙应用情况统计分析（1974年）

表 1 各国有关地下连续墙开发应用情况简表

序号	年 代	国 名	开发应用简况	备 注
1	1920年8月6日	德 国	提出在两侧打入一种圆管，在中间再打入一个鼓型套管，并充填混凝土，然后借助压缩空气拔出套管并振捣混凝土，并获得地下连续墙的施工技术专利。这是世界上首次出现的有关地下连续墙的专利	
2	1932年	美 国	取得了使用泥浆护壁的用可横向移动的螺旋钻及特殊的斗式挖槽机而施工的地下连续墙施工方法及其配套机具的专利权	美国专利： 204870
3	1934年	法 国	在尼西（NICE）的天然气工厂进行了深为30米的交叉柱列式地下连续墙的施工	
4	1938年	意 大 利	成立了世界上有名的ICOS公司	
5	1940年	法 国	批准了使用链式挖槽机的地下连续墙施工方法专利	专利号： 898413
6	1950年	意 大 利	ICOS公司申请使用冲击式正循环法施工柱列式地下连续墙专利	
7	1951年	奥 地 利	取得了在地下打入长方形套管并振捣混凝土使之成为地下连续整体的地下连续墙这一施工方法的专利权	
8	1953年	意 大 利	维特（Veder）博士首次在第三届国际土力学地基基础会议上发表了题为《泥浆在连续墙中的作用》的论文，引起了与会者的重视	
9	1956年	墨 西 哥	从法国、意大利引进该项新技术，20年来施工面积将近100万平方米	
10	1957年	加 拿 大	成立了ICOS公司，开始搞截水墙	

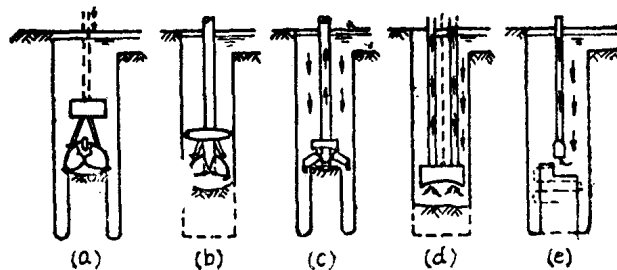
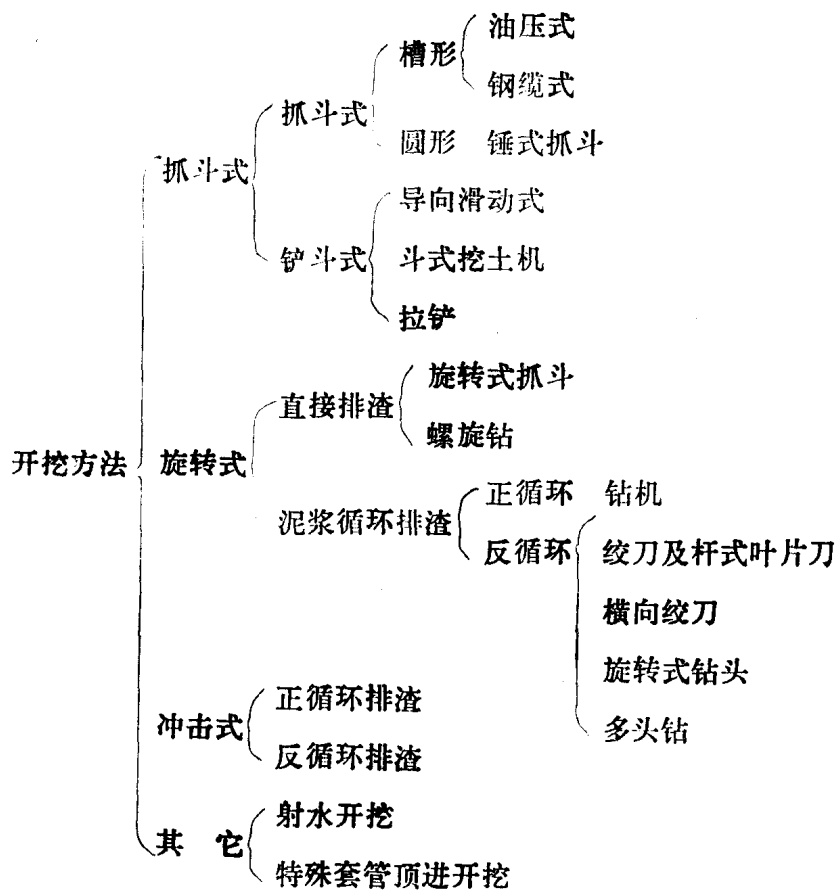
续表 1

序号	年代	国名	开发应用简况	备 注
11	1958年	中国	在山东省青岛月子口水库工程中利用地下连续墙技术修建了防渗墙	到目前为止,北京、上海、天津、云南、山西、贵州、广东、山东、甘肃、吉林、江西、深圳等省市已先后采用了地下连续墙技术。据1976年统计,这些省市共建造地下连续墙工程项目22项,完成地下连续墙面积达47000m ²
12	1959年 12月	日本	在中部电力烟难坝体工程中用ICOS工法进行了防渗墙的施工	起步虽较晚,但后来发展很迅速,目前施工方法有30余种,到1969年的10年间其施工面积已达250万m ² ,目前工程量及建立专利方面均属世界第一
13	1959年	巴西	当时专门将地下连续墙技术应用于截水墙工程中	
14	1960年	英国	在伦敦海德公园地下通道工程中采用了地下连续墙技术	
15	1962年	美国	成立了ICOS公司,用旋转式挖掘机进行柱列式地下连续墙的施工,值得一提的是截水墙技术是美国的特长之一	
16	1964年	匈牙利	从意大利引进了挖槽设备,于1968年在水利工程中开始采用地下连续墙技术	
17	1966年	苏联	开始试制抓斗,1968年开始在抽水站工程中采用地下连续墙技术	
18	1966年	日本	利根钻机株式会社研制出了很有名的Bw钻机	该钻机先后被一些国家引用,现已遍布世界各地
19	1970年	波兰	开始在厂房建设中采用地下连续墙技术	
20	1976年	委内瑞拉	在首都加拉斯加的地铁工程中开始采用地下连续墙技术	

2. 分类

目前世界上还没有一个比较统一的对地下连续墙进行分类的方法，有相当一部分名称是按各厂家、施工单位的名称命名的，很难统一分类，比较常见的分类方法有如下几种：

(1) 按地下连续墙使用目的分类；(2) 按设计思路分类；(3) 按开挖方法及开挖机具分类；(4) 按孔壁防护方法及稳定液的管理方法分类；(5) 按接头形状及其施工方法分类；(6) 按墙体的形状分类等等。现按开挖方法及开挖机具分类如下（可参见图2）：



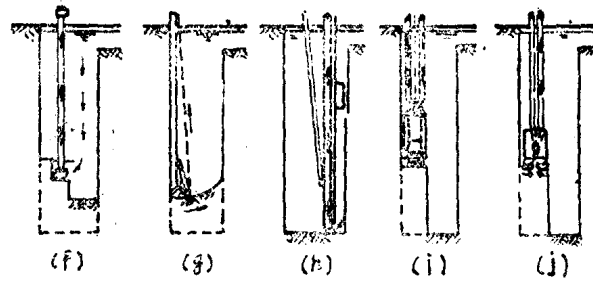


图2 按开挖方法及开挖机具分类

(a)一钢绳蛤壳式抓斗机；(b)一钻杆蛤壳式挖斗机；(c)一蛤壳式抓斗机（反循环）；(d)一冲击钻（反循环）；(e)一冲击钻（水平移动式）（反循环）；(f)一旋转钻（反循环式）；(g)一副板式抓斗；(h)一导向式重锤（反循环）；(i)一特殊钻头（强制循环）；(j)一转刀（强制循环）

3. 优缺点

地下连续墙自正式应用以来之所以能在全世界获得迅速的发展，那是因为它具有许多优点。表2为地下连续墙优缺点比较表。

表2 地下连续墙优缺点比较表

序号	优点	序号	缺点
1	可低振动、低噪音施工	1	废浆液处理成本高
2	墙体刚性大、用途广	2	对稳定液的逸流及排水必须充分管理
3	止水性好	3	沟槽有时可能产生坍塌或变形
4	对周围地基扰动较小	4	混凝土如浇灌不好，则墙体易出问题
5	可用逆作法施工	5	墙体之间接头易留下隐患
6	可当作刚性基础来使用	6	孔底残渣不易清理彻底
7	基本适用于所有地质条件	7	目前在造价上认识不统一*

*目前对地下连续墙的造价与其它方法比较上不统一，法国有的工程实例证明，工期可缩短1/3左右；苏联认为采用地下连续墙代替沉井可节省建设费用24~50%；匈牙利认为采用地下连续墙代替钢板桩可节省建设费用30~40%；我国通过一些工程实践认为采用地下连续墙可比大开挖工程节省投资25~45%；而日本认为地下连续墙比其它挡土墙造价高。当然这里有个比较对象不同，结论也就自然不同了。

4. 施工机具

地下连续墙的施工机具包括挖掘机、稳定液制备设备、泥浆废液处理机具、稳定液管理测定机具及墙面测定机具等等。

(1) 开挖机械分类

开挖机械可分为缆索式、旋转式、冲击式三种。最初多用缆索蛤壳式抓斗机（见图 3），后来由于地下连续墙向更深发展，为提高开挖能力，而改进成油压式（见图 4），这样施工效率得到了大幅度提高。

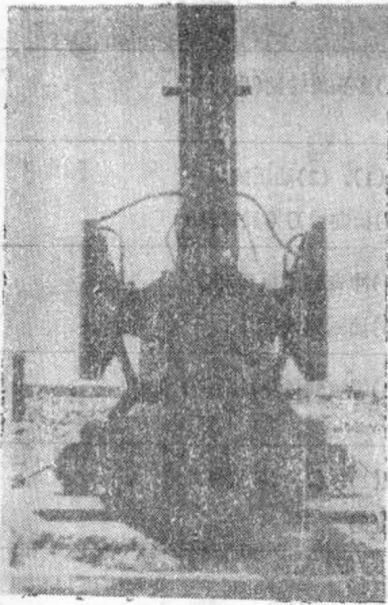


图 3 凯式蛤壳式抓斗

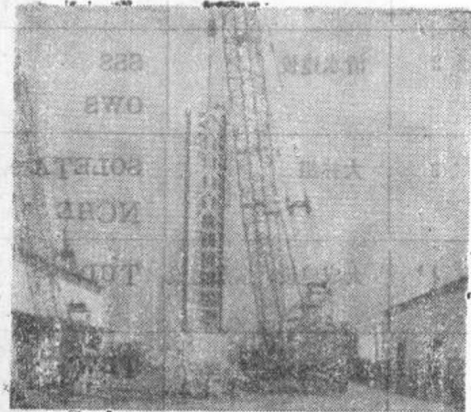


图 4 油压挖掘机

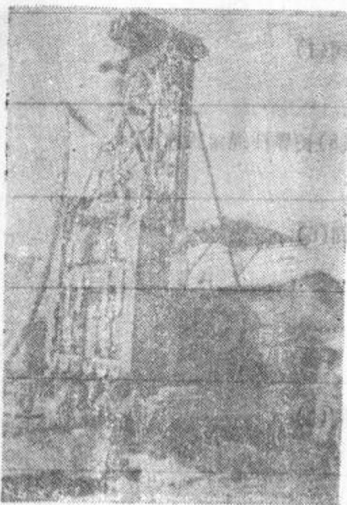


图 5 旋转式挖掘机（多头钻）

旋转式钻机最初用吸泥管作为驱动轴，由于所作出来的墙面粗糙，近来已不太使用。现在改为多轴式旋转机械（见图 5），有 5 轴或 7 轴的，各轴的旋转方向相反，挖掘时的反力则被相互抵消。钻头在旋转的同时还可上下冲击，因此挖出来的墙面很光滑。在深层开挖时效率较高。

冲击式钻机可根据土质的软硬不同更换不同的钻头。开挖出来的土由循环管道排出。意大利的 ICOS 公司、法国的索列唐许（Soletanche）公司都曾使用这种设备（见图 6）。

表 3 日本建筑中心认可的工法及主要挖掘机

序号	公司名称	工法名称	主要挖掘机	开挖方式
1	鹿岛建设	KCC	BW	(1)多头旋转钻(反循环)
2	清水建设	SSS OWS	BW、MHL 油压式挖掘机	同(1), (2)油压式抓斗 (3)横向铰刀(反循环)
3	大林组	SOLETA— NCHE	CIS 凯式(Kelly)	(4)冲击钻(反循环) (5)油压凯式抓斗
4	大成建设、东急建设	TUD	ICOS、BSP	(6)绳索式抓斗, 同(5)
5	竹中工务店	TBW	BW、ELSE BSP	同(1), (7)刮板式抓斗 同(5)
6	钱高组	ZBW	BW	同(1)
7	奥村组	OCW	BW、OCW	同(1), 同(3)
8	間组、日本ICOS	HI— DW	ICOS、BW	同(6), 同(1)
9	戸田建设	TOSS—D	BW、涛鲁曼	同(1), (8)长导杆绳索式抓斗
10	熊谷组	ELSE、K—W	ELSE、HB	同(7), 同(6)
11	富士工业	FEW	蛤壳式抓斗	同(6)
12	前田建设	MDW	MHL、BSP	同(2), 同(5)

挖掘机厂家: BW(利根), MHL(真砂), 油压式挖掘机(大林), CIS(大林),
Kelly(大林), ICOS(ICOS), BSP(成和), ELSE(熊谷),
OCW(奥村), HB(浜田), 涛鲁曼(五十鈴)

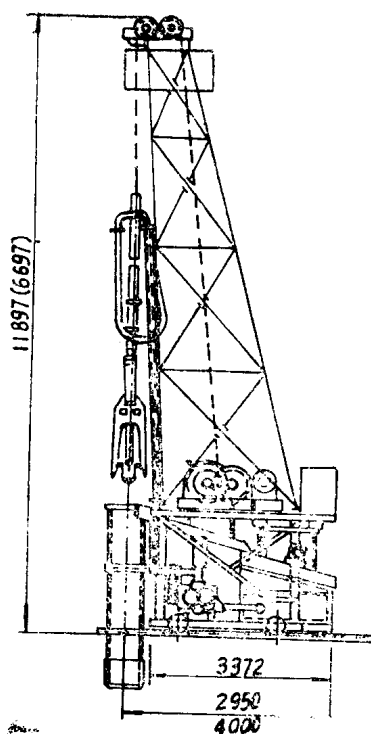


图6 ICOS式冲击钻

表3所示为在1981年9月得到了日本建筑中心认可的十三个日本建设公司开发研制的地下连续墙工法及其挖掘机, 这些工法和机具在开挖方法、墙体接头方式、连续墙与后浇梁、板、柱的连接形式上都各具特长, 很有参考价值。

近年来日本为了进行能源储备而开发出了一种大深度的地下连续墙工法与相应的机具。以前所沿用的地下连续墙的最大深度只有40~50米, 垂直精度也不过 $1/300 \sim 1/500$ 就满足要求了。而现在在挖掘设备上安装了电子仪器就可自动修正挖掘深度, 可使垂直精度高达 $1/1000 \sim 1/2000$ 。1971年9月日本发表了11种100米级的大深度地下连续墙工法及其挖掘机(见表4), 这些工法最突出的特征就是可确保垂直精度, 构筑出施

工质量可靠的地下连续墙, 工程实例以地下油气储罐为主, 表4中有4~5个工法已有工程实例, 其它的虽经各种试验已经确立了施工方法, 但实例甚少。

(2) 护壁泥浆制备装置

在地下连续墙的施工中, 为了能够安全顺利地挖槽就必须不间断地供给优质稳定液, 所选定的稳定液制备装置必须满足如下几点要求:

a. 搅拌效率高, 并在短时间内能保证供给所要求的数量; b. 所制备出的稳定液必须满足质量要求; c. 使用简便无故障; d. 不产生噪音及材料飞溅等公害; e. 小型轻便, 易于搬运与安装。

目前比较常用的制浆设备可分为高速旋转式搅拌机(见图7)和喷射式搅拌机(见图8)二种。如将这二种泥浆制备装置加以比较, 就可看出无论从所制出的泥浆质量, 还是电力消耗或搅拌效率及经济性上来看, 喷射式搅拌机较好。

但是从效率上来看, 任何一种制浆能力都比较低, 而且在制浆过程中还有一些工序要用人力, 故效率差, 并且还需要备制大容量的贮槽, 因此有较多不便。在这种情况下西德想出了用散状布料器将膨润土输送到高位筒仓内贮藏, 在筒仓下部按需要开动高效搅拌泵就可定量连续制浆, 并可缩小稳定液贮槽, 而且还可大幅度地缩短制浆距离, 减少占地面积(见图9)。

表 4 大深度地下连续墙工法及其主要挖掘机

序号	公司名称	工法名称	主要挖掘机	墙厚 (mm)	备 注
1	清水建设	大深度SSS	BW-90120 (利根)	900~1200	
2	鹿岛建设	鹿岛式大深度地下连续墙	BW-90120	900~1200	
3	大林组	OWS-SOLETANCHE	油压式挖掘机 (大林)	800~1500	切削已作好的两块板再作接头
4	大成建设	WH	L-3S, MEH	1200~1800	
5	間 组	HD-DW	BW-90120, RRC-15	960~1200	
6	奥村组	OCW/D	BW-90120	900~1200	
7	三井建设	三井式大深度地下连续墙	BW-90120	900~1200	
8	熊谷组	K-DW	S-400, 蛤壳式抓斗	1000	
9	前田建设工业	MDW	电动油压抓斗	800~1200	
10	佐藤工业	佐藤式大深度地下连续墙	BW-90120	900~1200	
11	钱高组	ZBW	BW-92102	900~1200	

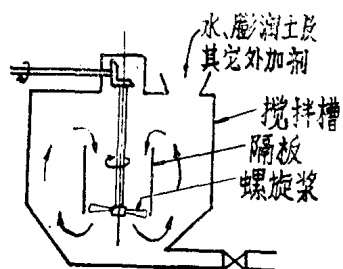


图 7 高速旋转式搅拌机

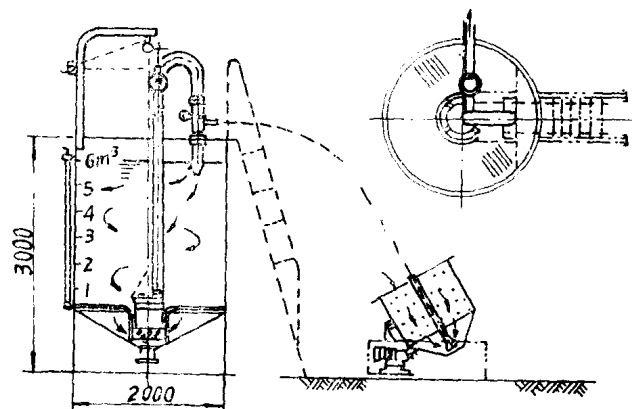


图8 真空喷射式搅拌机

(3) 泥浆废液处理机具

在开挖过程中的循环浆液及在浇筑混凝土时被置换出来的浆液由于掺杂一些杂质，其质量则显著降低，为了重复使用，降低成本就应对废液进行处理。目前一般常用的处理方法有二种，一种是借助重力进行沉降处理的方法，也就是利用稳定液及挖掘出来的土砂之间的不同比重使之沉淀的方法。第二种是机械处理法，但是如若单独使用，任何一种方法效果都不好，必须两者同时使用（详见图10、图11及图12）。

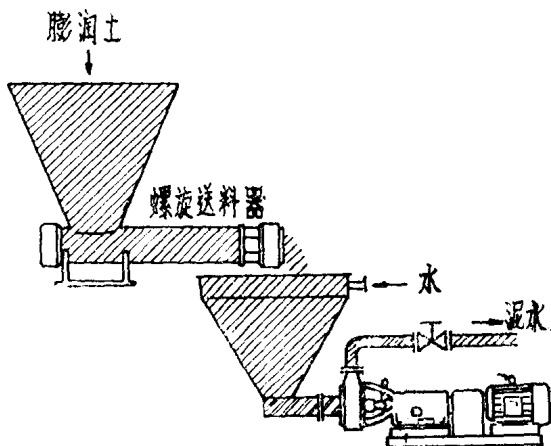


图9 膨润土稳定液搅拌机

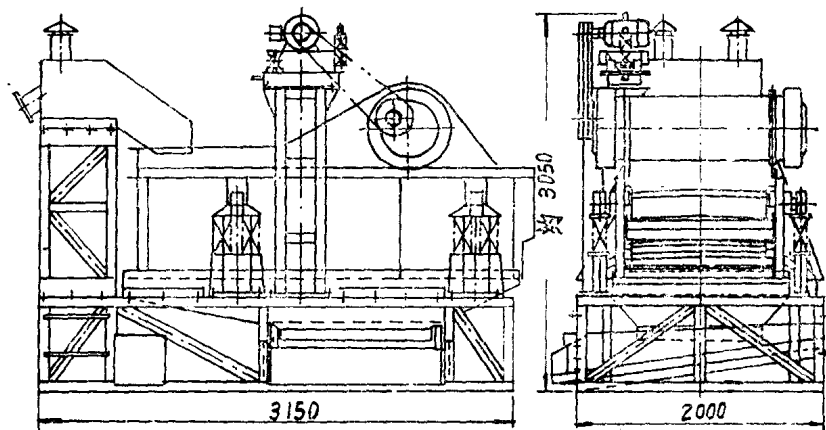


图10 振动筛



图11 组合式水力旋流器分级装置

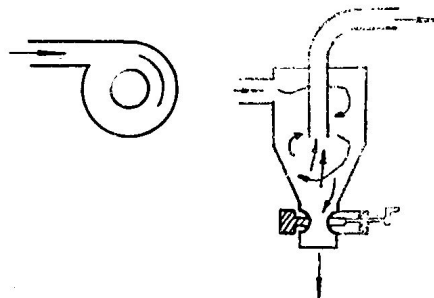


图12 旋流器结构示意图

目前国际上泥水分离水平是：日本的分级性能已到 100μ ，含水量可到35%；法国可处理到 60μ ，并且可将开挖土量处理到90%以上，含水量可达30%；西德AKW公司使用多组小型水力旋流器可分级处理到 40μ ，一次可处理到开挖土量的95%，所以二次处理就比较简单了（见图13）。



图13 小型组合式水力旋流器分级装置

5. 护壁注浆

在地下连续墙施工中为了保持开挖沟槽的稳定性就必须使用大量的护壁泥浆，该泥浆选择的正确与否及管理得好坏将直接影响到地下连续墙的工程质量。有时因所开挖槽壁坍塌就会造成施工中断。所以在地下连续墙施工中很重要一点就是应很好了解护壁泥浆的作用、性质及其管理方法。

护壁泥浆的作用是：（1）保护开挖槽面的稳定性；（2）使所开挖出的土砂悬浮不沉淀；（3）防止地下水流入或浆液漏掉。简而言之泥浆的作用是：固壁、携砂、挡水。当然固壁作用是第一位的。所选择的护壁泥浆应对沟槽侧壁有一定的造膜性、理化稳定性、流动性及适当的比重。在地下连续墙施工中使用最多的是膨润土泥浆，所谓膨