

地铁施工不降水开挖基础的先进经验

吴 成 三

六十年代北京地铁的施工方法,不论区间或车站的基坑一律采用工字钢护壁,并点降水明挖,然后灌注钢筋混凝土矩形洞身,其缺点是震动大,不利于环保。当时北京地下水位很低,降低水位施工中还未引起邻近建筑物的明显下沉。据报上海地铁一个车站,采用连续墙护壁,噪音小,是比较先进的。但上海地下水位较高,降水后明挖可能对邻近建筑物产生很大影响。值得注意,为此特介绍一个无须降水,水中开挖的施工方法,所谓“墙——底——工法”,提供参考。

1. 墙——底——工法的发展概述^{〔1〕}

墙——底——工法(Wand—Sohle—Methode)德国首先在科伦(Köln)地铁工程中采用。同时施工公司引用荷兰海港工程中灌注水下混凝土的经验,1972—1982年有7个较大的地铁工程由于保护地下水的原因为,采用墙——底——工法。施工公司在实施中,也利用自己的经验,各种方法齐头并进。墙——底——工法在执行中不只用于宽10m双线区段,也用于宽达30m的中间站,在此范围内采用水下混凝土封底,如(图1)所示。

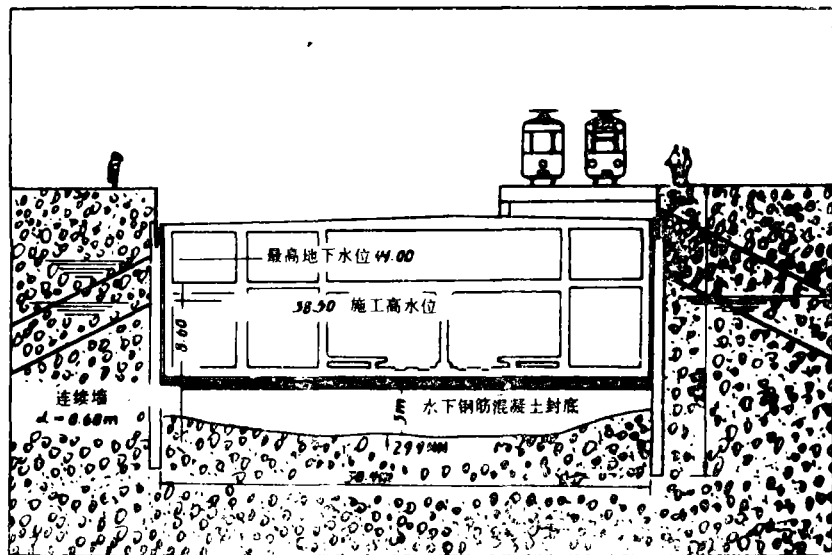


图1 科伦地铁中间站, 墙——底——工法

德国科研和工艺部门的计划中也对降低地下水位和渗滤水法 (Versickerung) 与墙—底—工法进行平行研究, 结果指出: 在地下水位高和科伦的边界条件下, 墙—底—工法比其他方法经济。

除地铁工程外, 墙—底—工法在科伦也用于其他工程方面, 如莱茵河岸的公路隧道等等。

2. 施 工 方 法

墙—底—工法可用板桩墙, 连续墙和钻孔桩做为墙体, 底板一般用水下混凝土封闭, 有时也在底板施工中用化学注浆加固。从广义上说, 将不透水墙下入不透水层 (粘土, 第三纪土) 内也可称为墙—底—工法。

在任何情况下, 水下混凝土底板都是基坑的组成部分。如水下混凝土底做到完整无缺, 特别是对角部结构, 即底板与墙体接缝做到紧密, 耐久不透水时, 也有用作永久建筑物的组成部分。

用板桩做墙体时, 也可用作永久建筑物的墙体, 而用地下连续墙一般仅起临时作用。德国采用墙—底—工法, 试验性地把预制成品做成的连续墙, 也用作建筑物的组成部分。

对墙—底—工法的静力体系分析, 涉及建筑物部分是起永久或临时作用问题。如在设计时把连续墙当作建筑物组成部分 (Teilbestandteil) 并仅用于抵抗土压力, 最后由建筑物本身来承受水压力, 这样的连续墙, 在许多情况下, 是不经济的。

现在用科伦地铁工程一段中, 采用的墙—底—工法这个实例系统地介绍其各部工序, 如图2所示。

3. 应 用 实 例

3.1 科伦地铁工程概述

在科伦地铁工程中, 施工公司所施作的7段, 其施工方法原理是相同的, 在所有工程中均用连续墙解决墙体问题, 这是因为以现场实际情况而言, 把板桩打入膨润土层内是不经济的。

在所有施工方法中都用水下混凝土封底, 当建筑物的宽度在27m~30m时, 无须布置锚杆, 这也是因为无锚杆的底板, 施工容易, 比较经济。

底板两端与墙体的连接有两种方法。一种是投标联合体对第一次设计中规定留缺口 (Aussparung) 提出特别设计, 即用喷砂后的接缝代替缺口, 对紧密的接缝通过水压力产生的横向力、浮力和法向力的模型试验结果指出: 在各种条件下, 经过粗糙后的接缝所传递的力值可以求出。这类接缝, 在上述工段及在该段区间隧道工程中采用实践证明, 这类接缝是可靠的。另一种是在其他工程中, 由于基坑较宽和水压力较大, 部分静力情况不同, 在连续墙上利用乙稀块 (Stryopor) 设置缺口 (乙稀块用薄膜包裹), 然后由潜水泵

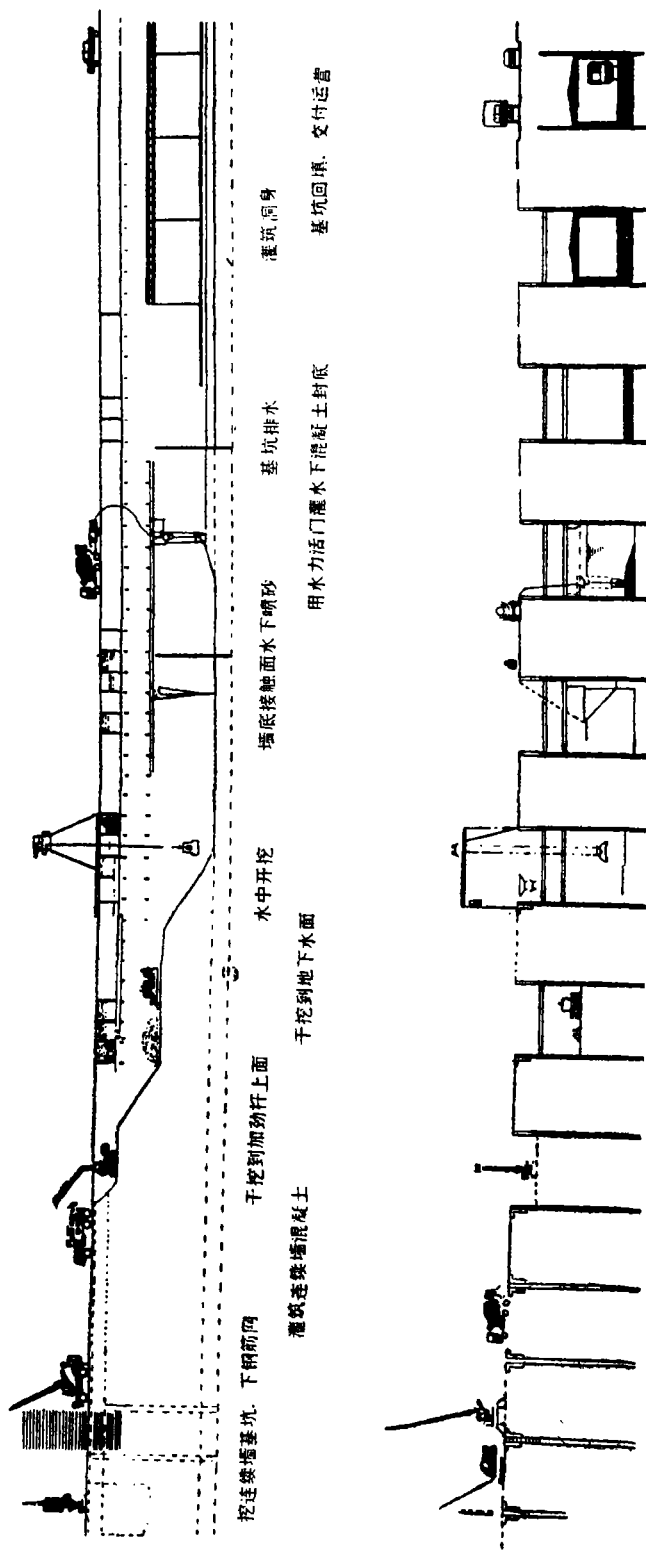


图2 端——底——工法的实施工序

用冲水设备将乙稀块消除,底板与墙体即能紧密连接。

在水下开挖中,采用多种机具进行。其重点是基坑加固杆件的布置是否适当,对后来采用水中开挖机具和水中灌注混凝土有很大影响。在第一工段标书中规定基坑墙体背后采用锚杆锚固,而在特别建议中,则设计为对基坑本身加固,亦即采用水平支撑杆件,对水下工作比较方便。

水下混凝土封底结构也有新发展。在第一工段规定采用素混凝土,而在特别设计中则提出采用钢筋混凝土,以减小底板厚度。当底宽很大时,采用钢筋混凝土底板,不言而喻,是必要的。而在区间的五段实践中采用素混凝土底板,一般是比较经济的。

在水下开挖中泛起细粒土壤,沉积在底部,特别是在基坑边缘和隔板角上,对这类沉积,如不除掉,则水下混凝土底板就要夹杂泥层,常常为薄层混凝土覆盖,这样,日后难免引起土壤流失。

水下开挖必须用合适的机具,如吸泥机用以清除淤泥。对混凝土灌注过程,要组织得当,避免淤泥沉积。

一般说来,对墙——底——工法中的各项工序究以何种机具最为适宜,很难肯定,这要根据工程情况和实践经验有针对性地进行优选。

对于提到的这个工段,经过反复考虑后,决定采用门式吊机(Portalkran)(图3)。考虑周到是必要的。因为这对水下工作的精确度与连续墙深度,墙脚下的安全保证以及随之而产生的容许偏差都有密切关系。开挖工作掌握得越好,连续墙的入土深度可以越少。

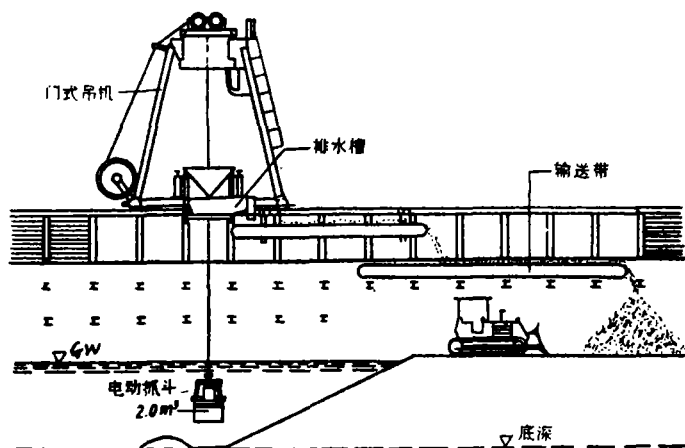


图3 水中挖土利用门吊

门式吊机的优点是在钢轨上行走,采用特别传动装置,使其以下空间的工作可准确进行。如由于在基坑加宽部分不能使用门吊时,则改用液压反铲挖掘机进行工作。此种液压反铲挖掘机在其他工段应用,也取得良好结果。对接缝的制做则采用自动行走的喷砂设备(图4)。这种设备沿着支承面以一定的速度和一定的压力行驶,并利用高压水和冲击材料向接触面喷射,使其变成粗糙,然后由潜水工检查,以验证用这种工艺是否使其粗糙深

度最少达到7 mm。

水下混凝土采用导管水力活门法。这种方法符合水压与灌注的混凝土重量之间的关系,同时对底板混凝土有无钢筋、基坑加固利用钢制杆件都无关重要。采用横向和纵向水力活门以及过去的良好经验对应用墙——底——工法达到规定的容许偏差之内,精度很高,已能做成不透水的基坑。在长达80m的工段,渗入基坑水重最多为50l。在较大范围内墙——底接缝完全干燥。

最后,在底——墙——包围内,用模板台车灌注隧道本身的混凝土。

对区间及其他宽度不大的基坑可采用不同的机具进行水中挖土。在一个较大的中间站,采用水下混凝土封底时,需用浮船载着吸泥机进行水中挖土,达到的开挖深度为8 m。其容许偏差为 $\pm 15\text{ cm}$ 。用潜水和测深仪进行检查。对水下混凝土封底利用混凝土输送泵和各种水力隔间设备根据实际情况把混凝土泵放在基坑附近。

在施工过程中也提出用素混凝土封底,并已实施,在力学方面要检算工作状态中的混凝土拉应力。按拱的理论对破坏状态进行验算时,要考虑到封底混凝土,连续墙以及墙后的土体变形。对此,要做到封底混凝土在裂纹状态时也能保持稳定。对混凝土的固结时间按照相应的混凝土强度的增长过程规定,这是根据混凝土试块的抗压强度和抗弯试验决定的。封底混凝土必须保持均匀,不包含杂质,其平整度和开挖的底部深度都要合乎设计规定,对连续墙支承范围内的缺口要保持洁净,同时对封底混凝土的变形要进行量测。

为了使封底混凝土达到不透水,关键问题是精心清除淤泥,对利用压缩空气吸泥机抽除泛起的残余淤泥,立即灌注水下混凝土将其挤开。在灌注水下混凝土以前,应在邻近考虑冲洗设备位置。这个位置是经常变换的。一般说来,现场地方狭小,受到限制。钢筋混凝土灌注工效为 $70\sim 80\text{ m}^3/\text{h}$,素混凝土可达 $100\text{ m}^3/\text{h}$,对素混凝土厚度的容许偏差定为 $\pm 20\text{ cm}$,一般情况实际达到的远远低于此值。

墙——底——工法对整个体系达到何种密实度才算成功,一般说来,墙——底被水浸透,但不滴出水来,就证明质量良好。

3.2 连续墙中的问题^[2]

在城市深基础的地下工程,由于附近的边界条件和地下水问题,常采用连续墙做为基坑护壁,其施工方法的特点是不改变地下水位,噪音和震动小,并可将钢筋混凝土墙直接建在既有建筑物基础的压力扩散范围之内。其中,墙槽在从开挖到灌混凝土以前,用支护措施防止坍塌。对此,一般采用膨润土悬浮液防塌。其支护作用涉及静水压力,流变特性,特别是流限方面。现已生产各种连续墙的开挖机具。对墙槽形成,可用挖土机开挖,抓

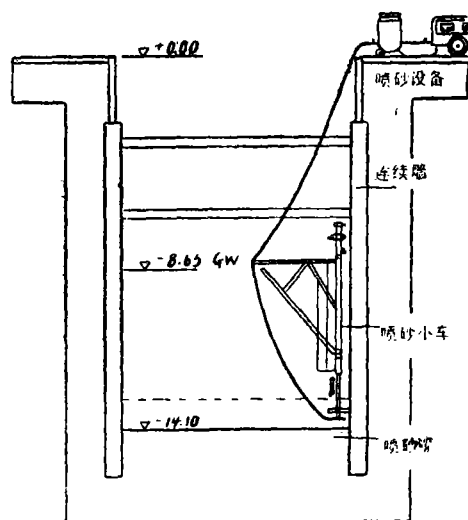


图4 用喷砂设备制做接触缝

土, 钻孔或吸泥。采用特制的抓斗可修建30 m深的连续墙, 这种特制抓斗重量大, 在两侧长钢轨上走行, 便于操纵, 在开挖过程中容易避免偏差。按照需要的连续墙厚度, 选用抓斗类型, 一般斗宽为40cm, 50cm, 60cm, 80cm和100cm, 在特殊情况下也可采用更宽的抓斗。当穿过较硬地层和岩层时则采用凿子(Messel)。必要时可用钻孔形成墙槽, 比较容易, 孔的间距以抓斗能通过为度, 钻孔时不用套管, 而用泥浆护壁。

连续墙身分段修建, 每段挖到最后深度(设计标高), 即灌混凝土, 各段墙身长度, 根据土层情况而定, 一般长在2.5 m~7 m之间。

按照协议灌混凝土, 在灌筑过程中, 上升的混凝土挤起悬浮液, 混凝土围绕钢筋和嵌入部件流过, 为了不使悬浮液留在混凝土中, 必须对应用的材料和施工过程遵守特定的规范。

混凝土的水泥用量如不掺加火山灰粉煤灰或其他材料时, 不能低于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 。混凝土的水灰比小于0.60, 扩散度为55—60cm, 其上升速度应尽可能超出3 m/h, 尽量避免较长的间歇时间。为了使混凝土表面达到均匀的上升要求, 灌混凝土导管插入混凝土应有适当的深度。当灌注段长时最少应保持这个深度。此外应保持悬浮液的密度和流限低些。

挤在表面上的悬浮液应被抽走, 必要时采用回收设备以便反复使用。

就地灌筑的连续墙, 随着地层情况其墙面或多或少有些不平, 容许偏差为墙高的1.5%, 一般为 $\pm 10\text{cm}$ 。

4. 编 后 语

水下混凝土封底的好坏, 直接影响工程质量和造价, 原文中提到利用荷兰海港工程中水下混凝土的经验, 也提到采用导管水力活门问题, 但无详细说明。从1990年3期《桥梁建设》中得知铁道部大桥工程局工程师李健民设计《利用活门装置取代木球灌筑水下混凝土》取得成功, 结构简单, 劳动强度小, 灌注速度快, 施工安全并可重复使用, 实践证明, 行之有效, 应积极推广。

编译自〔1〕“Erfahrungen uler Wand-Sohle-Bauweise”

《Tunnelbau》1984

〔2〕“Schlitzwände”《Befon-kalender》1987—Ⅱ