

地铁车站深基坑换撑施工优化探讨

李向荣¹, 历朋林²

(1. 杭州市地铁集团有限责任公司, 浙江 杭州 310020; 2. 中铁十四局集团隧道工程分公司, 山东 济南 250002)

摘要:上海、江浙等地深基坑开挖范围内常见有砂质粉土和淤泥质粉质粘土等不良工程地质, 通常情况下, 基坑开挖施工时设计需要回筑换撑。通过对杭州地铁 1 号线工程闸弄口车站基坑围护变形、支撑轴力等监测数据的分析, 经过验算, 适时提出取消换撑施工工艺。工程实践证明, 充分利用信息化施工手段并结合实际情况, 取消换撑可以大大提高施工效率, 加快施工进度并取得较好的经济效益和社会效益, 对于类似条件下的深基坑施工具有参考借鉴意义。

关键词:地铁车站; 深基坑; 围护; 换撑; 优化

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)12-0047-04

Discussion on Optimization of Support Replacement for Deep Excavation in Subway Station Construction/LI Xiang-rong¹, LI Peng-lin² (1. Hangzhou Metro Group Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310020, China; 2. Tunnel Engineering Branch, China Railway Shijiu Group Corporation, Jinan Shandong 250002, China)

Abstract: Sandy silt and mucky silt clay were often encountered in deep excavation in Shanghai, Jiangsu Province and Zhejiang Province, support replacement is designed to be done in this case. But by the analysis and checking on the monitoring data of excavation enclosure deformation and support axial-force in a station of 1st Line of Hangzhou subway, support replacement was stopped using. By the engineering practice, it was proved that with the combination of information construction and practical situations, construction efficiency was largely promoted without support replacement, which could be the reference for the similar deep excavation engineering.

Key words: subway station; deep excavation; enclosure; support replacement; optimization

1 工程概况

杭州地铁 1 号线工程闸弄口站位于杭州市区机场路与天城路(文晖路)十字交叉路口, 车站沿天城路布置呈东西走向。车站总长为 181.2 m, 宽 13 m 的岛式站台, 标准段宽 22.5 m, 标准段底板埋深约 17 m, 车站为地下 2 层双柱三跨的钢筋混凝土箱形结构。由于车站所处位置交通繁忙, 车流量和客流量都很大, 且要求施工期间不能影响交通, 因此车站主体采用局部盖挖顺作法施工。闸弄口站周围环境复杂, 地下管线众多, 周围居民住宅楼离基坑较近, 住宅楼均为砖混结构, 毛石基础整体性差。为保护周围环境, 要求侧墙水平累计变形 < 5 cm, 日变化量 < 2 mm。

闸弄口站围护结构采用 800 mm 地下连续墙和 5 道 Ø609 mm (壁厚 $t=16$ mm) 钢支撑, 基坑深 16.9 ~ 17.6 m, 地下墙长 37 m, 入土比约 1.19 ~ 1.1, 墙脚落于④₂ 层粘土层中。坑底进行旋喷加固, 加固要求 28 天无侧限抗压强度 > 1.5 MPa。标准段采用每隔 3 m 抽条加固, 加固带宽度和厚度都为 3 m, 端

头井采用裙边 + 抽条形式。考虑到基坑范围内砂性土厚度较大, 车站采用复合墙体系, 内部结构全包防水。

1.1 工程地质、水文地质条件及其评价

在基坑开挖深度范围内土层依次为①₁ 层杂填土、①₂ 层素填土、③₂ 层砂质粉土、③₃ 层砂质粉土、③₄ 层粉细砂夹砂质粉土、④₂ 层淤泥质粉质粘土、④₃ 层淤泥质粉质粘土。③₂ ~ ③₄ 层粉土、粉砂, 其特性为饱水振动易液化, 极易坍塌变形、稳定性差, 易产生流砂现象。④₂ 层、④₃ 层淤泥质粉质粘土层是典型的软土地层, 流塑状, 高含水量, 高压缩性, 低强度, 对基坑的稳定性和变形均不利。

拟建场地浅层地下水属孔隙性潜水, 地下水水位年变幅为 1.0 ~ 2.0 m, 多年平均高水位埋深 0.5 ~ 1.0 m。基坑开挖前对基坑进行降水, 表层填土及③₂ ~ ③₄ 层粉土、粉砂中的降水效果较好, 赋存于④₂ 层、④₃ 层的潜水, 降水效果较差。

1.2 设计工况

设计考虑采用换撑施工, 施工工艺如图 1 所示。

收稿日期: 2009-10-16

作者简介: 李向荣(1972-), 男(汉族), 浙江义乌人, 杭州市地铁集团有限责任公司高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事桩基工程、深基坑工程、地铁车站和盾构施工管理工作, 浙江省杭州市凯旋路 445 号浙江物产国际广场 508 室, ywlylxr@126.com。

基坑明挖至坑底后浇筑垫层、底板,待达到设计强度后拆除第5道钢支撑,施做侧墙,待侧墙达到设计强度后进行第四道支撑换撑(将支撑在围护体上的第

四道支撑卸力并重新拼管下放至结构侧墙并施加预应力),然后进行剩余侧墙和中板结构的浇筑。

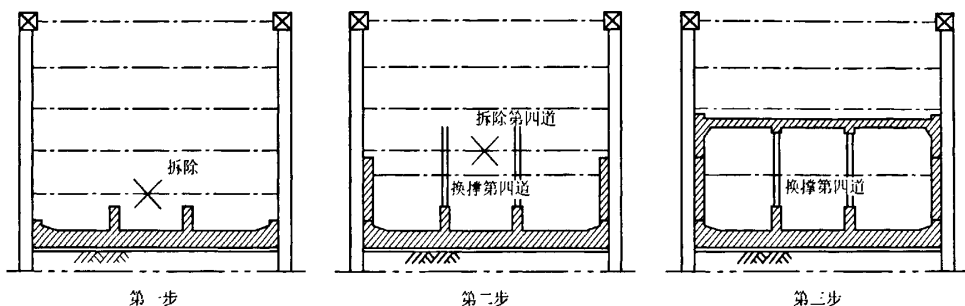


图1 施工工序示意图

2 常规换撑方法及比较

2.1 常规回筑换撑方法

由于一般地下二层车站底板距离中板结构的净高 $>7\text{ m}$,在底板浇筑好后至中板施工期间内,底板距离第三道钢支撑约有 8 m 的间距,通常基坑围护设计中需保留一道支撑以控制围护结构的变形。目前,这种换撑施工有以下3种做法。

方法一:将支撑在侧墙和中板结构一次性浇注时包于结构侧墙内。该方法在上海地区的没有外包防水的叠合体系衬墙中经常被采用。在支撑两端用型钢+止水钢板代替穿越侧墙的钢支撑,回筑结构封顶后割除。

方法二:即需要将侧墙浇筑至需换撑的支撑下,待侧墙达到设计强度后将支撑换至已浇筑好的侧墙处。该方法适合于全外包防水的复合衬墙,且是较常规的方法,本工程原设计采用此法。

方法三:利用钢套筒内嵌入型钢+止水钢板+预先铺设防水板的新工艺。该方法考虑了复合墙体系中侧墙的全包防水和型钢的回收利用。但在实际施工中,经常会有防水板在施工中损坏且难以修复,以致后期钢套筒周围有渗漏水现象。

2.2 常规换撑方法的缺点

2.2.1 工程量大

地下墙围护墙宽一般不大于 6 m ,每幅地下墙每道设2根支撑。以水平方向每 3 m 一道,以一个结构段 26 m 考虑,支撑数量在8根左右,工程数量大。

2.2.2 操作难度大

结构侧墙施做至需要换撑的支撑下后,需先将支撑卸力,将支撑在围护体上的支撑重新配管(减

掉主体侧墙厚度),重新吊装至已施工好的侧墙上,且要求侧墙达到设计强度。以上施工是在已经搭设完成的侧墙高度的满堂脚手架上进行,在重新架设前需先将脚手架拆除落低,再在脚手架上铺设承木板方木进行换撑操作,稍有不慎就会对满堂架形成碰撞,造成整体失稳。由于钢支撑本身质量重,单根拆装十分困难和难以操作。按照同类车站的施工经验,估计吊换一根钢支撑需要一天时间,功效低下且影响下一步施工。

由于钢支撑直径为 609 mm ,脚手架一般立杆间距为 0.9 m ,钢支撑需要放于立杆之间,换撑时需要调整换撑位置,落低的脚手架拆除工作量较大。

2.2.3 模板工艺难度增加

混凝土浇筑时,支立侧墙模板需要穿越支撑活络头或法兰,模板穿洞后封堵费时长,效果差,浇筑时容易漏浆,混凝土浇筑质量差。

2.2.4 拆除吊装困难

换撑后的钢支撑需在顶板施做完成后才进行拆除,拆除在下二层内进行,此时大型吊机利用不上,需使用手拉葫芦进行拆除,再利用自制架子车运至预留吊装孔边上再行吊出,施工费时费力。换撑直接回筑在侧墙中也存在这些问题。

3 换撑优化

3.1 换撑优化的提出

根据闸弄口站基坑的实际情况,确定优化取消第四道换撑,基于以下有利条件:

(1)围护体位移在开挖过程中稳定,变形速率和累积变形量均较小;

(2)支撑轴力变化小,开挖开始到开挖到底数值变化范围小;

- (3)地质条件较好,该车站处于砂质粉土降水效果好,被动土压力得到有效发挥,有利于基坑变形控制;
- (4)地下墙施工质量尤其是接缝处质量较好,基坑基本无渗漏;
- (5)抽条加固体的施工质量好,也一方面提高了坑底土的被动抗力;
- (6)进行换撑优化的基坑安全性验算,理论结

合实际,先试验后实施,效果好。

3.2 监测数据分析

按照取消第四道换撑的优化方案实施,取 CX8、CX9、CX10 三个测斜点,所处结构段以下 3 个节点间时间段的监测数据变化作为参考:底板浇筑~最底层支撑拆除、最底层支撑拆除后~支撑下侧墙浇筑、支撑下侧墙浇筑后~预计拆除第四道支撑前,以 3 个节点前后作为分析计算依据,见表 1。

表 1 三个节点间时间段的监测数据

日期	节点间说明	测斜数据变化(3 个点位最大累计值)/mm			轴力监测情况(由第一道~第五道)/kN				
		CX8 -24.74	CX9 -24.2	CX10 -11.93	一道	二道	三道	四道	五道
8.18~8.23	底板浇筑前至五道撑拆除	-0.28~0.34	-0.36~0.33	0.23~0.30	235~276	239~277	174~277	1117~1154	131~219
8.23~9.12	五道撑拆除至侧墙浇筑完成	-0.41~0.34	-0.53~0.86	-0.45~0.59	235~279	200~228	264~287	1176~1212	拆除
9.13~9.16	侧墙浇筑后至拆除四道撑前	-0.26~0.67	-0.13~2.10	-0.20~0.56	235~264	186~238	279~300	1205~1212	拆除

根据表 1 数据可以看出:

- (1)在底板浇筑前后,由于坑内土层因降水引起的被动抗力的提高较大,基坑坑底加固效果较好,基坑底板浇筑前后侧墙水平变位日变化量 <3 mm,支撑轴力变化较小且远小于报警值;
- (2)可以判断出围护结构在开挖到底至底板达

到设计强度期间稳定性好,抵抗变形的能力较强;

- (3)可以拆除第四道支撑暂不换撑,直接进入下一道工序。

3.3 基坑换撑优化方案安全性验算

取消第四道支撑换撑,结合监测数据并调整基坑土层的土层参数,经计算,结果如图 2。

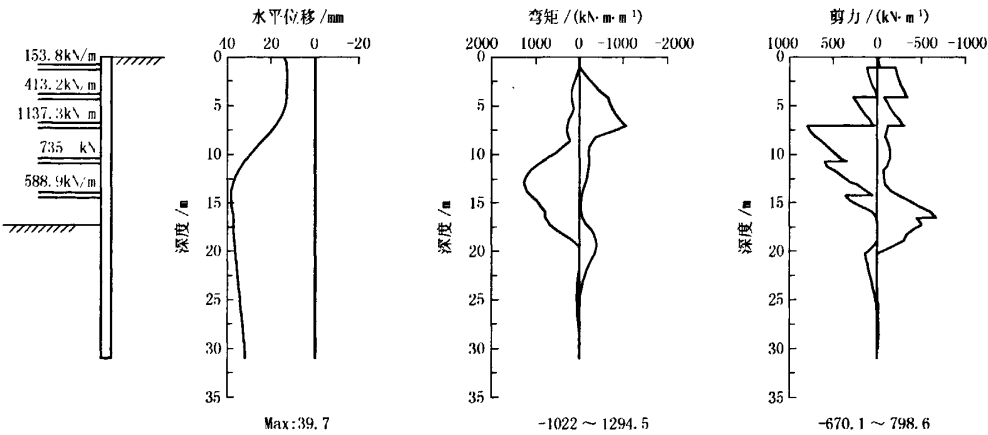


图 2 基坑变形及受力计算结果

从计算结果可以看出,取消第四道换撑,基坑变形和支撑稳定性都满足规范要求,原围护结构截面和配筋都满足计算弯矩和剪力。通过结构验算,取消第四道换撑,围护结构是安全的,基坑是稳定的。

3.4 监测数据跟踪验证

按照取消第四道换撑的优化方案实施,取 CX8、CX9、CX10 三个测斜点所处结构段以下节点间时间段的监测数据变化作为参考,结果见表 2。

表 2 第四道支撑全部拆除~中板浇筑完成监测结果

日期	节点间说明	测斜数据变化(3 个点位最大累计值)/mm			轴力监测情况(由第一道~第五道)/kN				
		CX8 -26.1	CX9 -26.0	CX10 -13.01	一道	二道	三道	四道	五道
9.17~10.5	四道撑拆除后至中板浇筑	-0.68~1.43	-0.37~2.33	0.29~2.1	286~293	321~540	470~572	拆除	拆除

通过对拆除四道支撑至中板浇筑完成后的时间段内观察,围护各项监测数据可以总结以下两点:

- (1)拆除第四道支撑后,围护墙水平位移单日变化量 >3 mm,累计增大变形量只有 2 cm 左右。

另外第一道支撑轴力值在支撑拆除前后变化较小,第二、三道支撑轴力增大,符合工况变化轴力增大的一般规律,说明拆撑前后基坑稳定,基坑的水平位移在可控范围内;

(2)根据监测及多方面的综合考虑,且根据安全计算进行不换撑施工后,根据继续的监测数据分析该方案是安全可行的。

4 确定换撑优化实施步骤

为确保基坑的安全,需对不换撑施工工序做周密的安排。首先进行第三道及第一、二道支撑的轴力复加→第四道支撑卸力、吊出→监测数据分析,判断基坑的安全性→快速组织下段侧墙和顶板的结构回筑。以上施工步骤中在第四道支撑卸力、吊出后应密切关注分析基坑的监测数据,并做好应急预案。

5 经验总结

由于地铁车站地下二层层高一般有7 m左右,考虑基坑的变形要求和围护结构的承载能力,通常设计均考虑有换撑工况。本次优化是结合该基坑工

程换撑前的累计变形情况、地质条件并经过基坑变形和稳定计算的前提下实施的。通过取消第四道支撑的换撑,极大的节省了人力物力和工期。根据闸弄口站成功的实践效果,可以总结出以下几点经验:

(1)严格控制围护结构的施工质量,在开挖过程中遵循“时空效应”规律,可确保基坑安全,有效地控制基坑变形;

(2)坑内砂性土体通过降水措施可有效地提高被动抗力,利于基坑开挖变形控制;

(3)坑底旋喷加固体起到了坑底支撑作用,利于基坑的变形控制;

(4)充分借助信息化施工手段,结合基坑的实际情况,在监测数据和理论分析的基础上可以取消换撑施工,值得同类型基坑借鉴参考。

参考文献:

- [1] 林鸣,徐伟.深基坑工程信息化施工技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 刘建航,刘国彬,范益群.软土基坑工程中时空效应理论与实践(上、下)[J].地下与工程隧道,1999(3,4).

“可燃冰”开采要以环境保护为前提

国土资源网2009-11-27消息 日前,我国在青海省祁连山南缘永久冻土带成功钻获天然气水合物实物样品的消息一经发布,立刻引起社会积极响应。针对有关媒体关于天然气水合物(俗称“可燃冰”)的开采会引发环境问题的质疑,日前,国土资源部总工程师、中国地质调查局副局长张洪涛接受了记者的采访。

面对记者提出的“天然气水合物开发不当究竟对地球环境有多大影响”的提问,张洪涛坦言:“天然气水合物是一种潜在替代能源,但它就像一柄双刃剑。开采技术方法得当,它就会成为人类‘后石油时代’的重要替代能源;开采技术方法不得当,它就会成为引发人类生存环境的杀手。”

张洪涛进一步解释这把“双刃剑”的两面性。他说:“一方面它具有广阔的开发前景。天然气水合物赋存于海底沉积物和陆地冻土带中,是由天然气与水在高压低温条件下结晶形成的。在标准状况下,1单位体积的天然气水合物分解最多可产生164单位体积的甲烷气体。天然气水合物使用方便,燃烧值高,清洁无污染。同时,天然气水合物在全球蕴藏量巨大,科学家预测,其储量是现有天然气、煤炭、石油全球储量的2倍,是常规天然气的50倍,仅海底‘可燃冰’的储量就够人类使用1000年,是人类‘后石油时代’的重要替代能源。另一方面,开采方法不当会引发严重的环境问题。因为,只要天然气水合物赖以赋存的温度、压力条件,其中有一个发生改变,就会引起天然气水合物的分解,释放出164倍的甲烷气体,进而引发如温室效应的加剧、海洋生态的变化以及海底滑坡事件等环境问题。”

“那么,国外已经发现了天然气水合物的国家,是怎样对待和解决这个问题的呢?”记者问。

“考虑到开发不当可能引发的环境地灾,世界各国均采取了谨慎的态度和明智的做法,就是必须先作相关调查评价,弄清有多少的问题。我国的态度也一样,在没有找到理想的开采方法前,绝不会进入到商业化开采阶段。”张洪涛回答道,“正是基于这样的认识,在今后10~15年间,我国关于天然气水合物研究的重点仍将集中在‘有多少’和‘怎么采’两个问题上,主要就是解决调查评价和开采的技术方法。”

张洪涛告诉记者,我国作为第一个在低纬度地区获取天然气水合物实物样品的国家,面临着比俄罗斯等其他国家更为复杂的地质条件,目前还没有找到有效的调查评价技术方法。目前,我国也仅是初步弄清了青海木里地区12 km²的资源量。至于整个祁连山南麓及其他三个目标靶区到底有多少天然气水合物,还需要总结出完善的调查评价技术方法后才能确定。所以,当前和今后一个时期内的首个重点是先调查评价弄清有多少的问题,离真正的资源开发,还有相当长的时间距离。

“人类关于天然气水合物开采总的技术思路已经明确,即改变它的赋存环境,或减压力或加热增温,促使天然气水合物分解。”张洪涛最后谈到,“但是,不管采取哪种技术方法,都还面临从基础理论到技术细节等一系列问题。因此,我国今后一个时期的另一个重点就是组织跨领域跨学科的全国性科研攻关,解决天然气水合物开采所必须面对的技术方法。在找到成熟可靠的技术方法后,也要先进行试验性开采,待积累了充分的经验后,再推进商业化开采。也只有这样,才可以确保不会因天然气水合物的开发利用而带来重大的环境问题。”