深圳地区深基坑支护技术综述

杨志银
(冶金部建筑研究总院深圳分院，深圳，518054)

提　要　本文结合工程实例介绍深圳地区深基坑支护技术的主要方法及其相关技术现状。

一　概　述

随着改革开放经济的发展，深圳地区的城市建设取得了巨大的发展，大量高层建筑如雨后春笋般不断涌现。据不完全统计，目前深圳地区已建成和在建的 18 层以上高层建筑达到 1100 多栋，位居全国各大城市前列。尤其是近几年来，由于城市建设用地的限制，建筑发展模式由平面型向地下或空间发展成为一大趋势，旧城改造，建设高层，出现了一批像地王大厦、赛格广场这样的超高层建筑。

由于建筑结构及使用功能上的要求，深圳地区的基坑开挖深度越来越大，由过去的 5m 左右发展至目前的 20 多米，地下室也由过去的一层增加到四层，高层建筑一般均设置二~三层地下室。同时，基坑周边的环境条件越来越复杂，深基坑工程的设计、施工、监测就成为建设工程中的关键技术问题。

二　环境与地质条件

深圳市区地处珠江三角洲区域，位于珠江口东侧，深圳河北岸。深圳地区工程地质、水文地质条件较为复杂，土层和成因类型多。例如罗湖老城地区以第四纪残积层为主，下伏花岗岩各风化层。该地区建筑密度大，人口密集，高层建筑多，加之交通拥挤，施工场地狭窄，深基坑支护的难度相对较大。该地区典型地质条件，从上到下依次为：人工填土、埋藏植物层、第四纪冲洪积层，主要有粉质粘土、中粗砂层、砂卵石层等，第四纪(坡)残积层，主要有粉质粘土和砾质粘土，最下层花岗岩基岩依风化程度可分为全风化、强风化、中风化和微风化层。而福田区及沿海地区、淤泥及淤泥质土较，但一般场地较空旷，支护可选方案较多。深圳沿海地区，地下水位高，一般地下水位埋藏深度 2m 左右；受气候条件的影响，每年长达 5 个月左右的雨季及台风暴雨对基坑工程也形成了极大的威胁。

由于基坑周围环境条件的不同及工程地质条件、水文地质条件的差异，深圳地区基坑支护形式存在多样化的局面，深基坑支护主要方法有排桩加锚杆和土钉墙(包括复合型土钉墙)两种，其次的基坑支护方法还有地下连续墙结合正作法、全逆作法、半逆作法、深

层搅拌桩水泥土墙支护、钢板桩支护等；就其主要的支护方法来说，还有这样的时间特点，即 1996 年以前深圳地区基坑支护以桩锚结构为主，随着土钉墙技术的发展及基坑规范的出台，1996 年以后，深圳地区的基坑支护基本以土钉墙(包括复合型土钉墙)为主，土钉墙支护的基坑几乎占基坑总量的 70%以上，发展迅速。下面主要结合工程实例介绍深圳地区深基坑技术的主要方法及其相关技术现状。

三　深圳地区基坑支护的主要型式

1. 排桩支护

排桩支护是指由呈队列式间隔布置的钢筋砼人工挖孔桩、钻孔灌注桩、沉管灌注桩、打入预应力管桩等组成的挡土结构，排桩支护依其结构形式又可分为悬臂式支护结构、与预应力锚杆结合形成桩锚式和与内支撑(砼支撑、钢支撑)结合形成桩撑式支护结构，从布桩形式又可分为单排布置、双排布置和间隔双排布置等。排桩支护的上述各种型式在深圳地区均有所使用，但应用最为普遍的结构型式为桩锚式结构，常用的桩型为大直径人工挖孔灌注桩，以间隔单排布置为主。预应力锚杆设置以单排和双排为主。

(1)悬臂式排桩支护结构

悬臂式支护结构主要是根据基坑周边的土质条件和环境条件的复杂程度选用，其技术关键之一是严格控制支护深度。根据深圳地区的经验，悬臂式支护结构适用于开挖深度不超过 10m 的粘土层，不超过 8m 的砂性土层，以及不超过 4~5m 的淤泥质土层。

(2)桩锚式支护结构

桩锚式支护结构是深圳地区应用最普遍的支护形式，常用人工挖孔桩作为护坡桩，直径 1.2~1.6m，间距 2m 左右，设置 1~4 排预应力锚杆做背拉处理，施工时施加初始预应力，以限制护坡桩的位移。桩锚式支护结构比较典型的工程有深华商业大厦(四层地下室，挖深约 16m)，余氏广场(四层地下室，挖深约 16m)，鸿昌广场(四层地下室，挖深约 16.3m)，侨光广场(四层地下室，挖深 14m)等很多工程。

深华商业大厦位于深圳市罗湖区南湖路与嘉宾路交叉口的东北角，楼高 110m，总建筑面积 13 万平方米，设四层地下室，基坑开挖深度 16.15m，局部 17.85m。基坑南侧、西侧为交通繁忙的城市道路，北侧紧邻罗湖大酒店，无放坡余地，经多方案比较，采用桩锚支护结构，基坑东侧与余氏广场同时施工挖通。该场地地质条件在深圳罗湖区比较典型，地质条件自上而下依次为人工填土层，厚约 1.4m，埋藏植物层厚 0.5m，第四纪冲洪积层，包括粘土层，厚约 4m，砾砂层，厚约 4m，圆砾砂层，厚约 3m，第四纪残积层粉质粘土，厚约 2.5m，其下为硅化凝灰质砂砾岩，地下水位埋深 0.6~3.6m。

具体支护方案为：①考虑到场地地下水位高，水量丰富，基坑开挖深度大以及施工作业上的方便，在基坑周边设降水井，降水井间距约 10m；②由于场地条件的限制，基坑南、北、西三侧只能垂直开挖，护坡桩采用人工挖孔灌注桩，直径 1.2m，桩间距 2.0m，护坡桩利用 2~3 排 20m 长预应力锚杆作背拉处理。其典型剖面如图 1 所示。

施工完成后，由于甲方资金原因，基坑暴露达三年之久，基坑监测显示护坡桩桩顶最大位移 13mm，护坡桩钢筋最大应力为 66.5MPa，锁口梁钢筋最大应力 59.65MPa，锚杆最

大拉力为 264.8kN，没有出现任何安全问题。证明该工程采用桩锚支护方案是成功的。

深圳地区也有桩锚支护结构结合半逆作法施工地下室的工程实例，如地王商业大厦，京广中心大厦等，也取得了良好的效果。

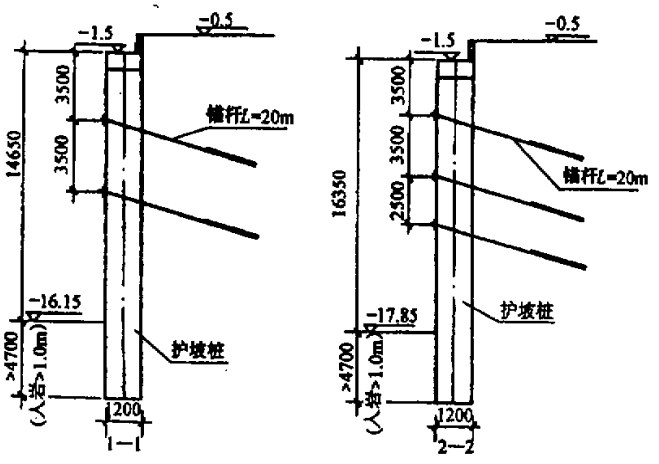


图 1 基坑支护典型剖面图

(3)桩撑式支护结构

桩撑式支护结构安全可靠，内支撑结构造价比锚杆低，但由于对地下室结构施工及土方开挖有一定的影响，因此在深圳地区应用比较少。但是在特殊情况下，内支撑式结构具有显著的优点。

深圳艺丰广场基坑，基坑周长 330m，三层地下室，开挖深度 11m，该工程地处罗湖闹市区，场地十分复杂，锚杆施工困难，其它几侧临近多幢房屋，对变形十分敏感，锚杆施工对其会产生不利的影响，此外，场地条件比较复杂，在约 2m 厚回填土下有 1.6~5.9m 厚的流塑状态的淤泥质粘土，锚杆锚固力很低，因此，采用钢筋砼内支撑方案。

护坡桩采用冲孔灌注桩，直径 1.2m，桩间距 1.5~2.0m，共 193 根护坡桩，在护坡桩之间设钻孔注浆形成止水帷幕，即形成桩撑式支护结构，该工程在施工过程进行了桩顶水平位移、桩身应力、锁口梁、内支撑梁应力等项目监测，监测结果显示(桩顶最大水平位移 10mm，护坡桩桩身钢筋最大应力 55.5MPa，支撑梁钢筋最大应力 143.9MPa)基坑支护处于安全状态，这就说明，在复杂的周边环境和地质条件下，并经过雨季的考验，采用桩撑式支护方案是成功的。

又如地处新洲河边的新洲大厦工程，设三层地下室，基坑开挖深度为 14~16m，基坑呈矩形，平面尺寸 90m×60m，原拟采用桩锚支护结构，设二层长 20m 预应力锚杆，由于临近场地的业主不允许锚杆打入其场地，不得不改用井格布置的钢管内支撑体系，护坡桩为 1.2m 直径人工挖孔桩，长约 20m。

也有使用锚杆与内支撑相结合的工程实例，如地王商业大厦、京广中心等效果也较好。

2. 地下连续墙支护

地下连续墙支护对各种地质条件及复杂的环境条件适应能力强，结构刚度大，整体性及防渗性能良好，是一种相对可靠的基坑支护方式。深圳地区基坑支护工程中采用的地下连续墙一般集挡土、承重、截水和防渗于一体，即称为三合一墙，在某些特定的环境条件下，使用三合一墙，并结合全(半)逆作法、内支撑和锚杆技术，可取得良好的技术经济效果，但由于受工程造价、施工队伍及设备等方面的影响，深圳地区使用地下连续墙支护相对较少，比较典型的工程有:赛格广场(四层地下室，挖深约 18m)、金宝城大厦(二层地下室，挖深 10m)、长城春风花园(三层地下室，挖深 11m)等。

赛格广场位于繁华闹市区，是一座 70 层的多功能型超高层建筑，总建筑面积 16 万平方米，楼高 278.8m。场地狭窄，地下室紧贴红线。设四层地下室，基坑开挖深度 18.2m，平面尺寸为 84m×85m。采用地下连续墙全逆作法支护技术，施工过程如下：

①施工地下连续墙和人工挖孔工程桩；

②施工地下室钢管砼柱和首层楼面结构，形成地上和地下两个施工作业面；

③在首层楼面结构完成后，可以认为在地下连续墙的顶部已经形成了一个不动水平支点。经验算，地下连续墙的第一次安全挖土深度为 7m，因此挖至 - 7.0m 后，再施工地下一层周边的楼面结构。

④在地下一层周边楼面结构达到强度要求后，挖土至 - 11m，施工地下二层周边楼面结构；

⑤在地下二层周边楼面结构达到强度要求后，挖土至 - 14.0m，并施工地下三层楼面结构；

⑥在第四次土方开挖前，首先在所有有条件的地方扩展地下一层楼面结构，使其周边结构在地下一层标高处也相当于有一个不动支点，然后挖土至 - 18.2m，至此，完成了赛格广场地下连续墙逆作法施工的深基坑支护工程。

3. 土钉墙支护

土钉墙支护(亦称喷锚支护、土钉支护、插筋补强等)是近年来发展起来的一种新型基坑支护形式，由于它具有造价低、施工快两大优点，近年来得到了越来越广泛的应用，深圳地区从 1991 年开始应用该项技术进行基坑支护，从 1996 年以后，随着土钉墙技术的发展，出现了土钉墙与止水帷幕结合，土钉墙与预应力锚杆结合，土钉墙与微型桩结合等多种复合型土钉墙，使土钉墙技术占居基坑支护的主要市场，1999 年深圳市中心区六大重点工程——市民中心(400m×100m，深 12m)、图书馆和大剧院(120m×100m，深 12m)、电视中心(100m×100m，深 11m)、地铁水晶岛试验车站(200m×60m，深 16m)、少年宫(120m×120m，深 7m)基坑支护均采用了土钉墙支护技术。此外，深圳地区使用土钉墙技术的典型工程还有：赛格群星广场、长城畔山花园、城市广场、宣嘉华庭、福田商业城、宏明广场、文化中心大厦、世贸广场、金鼎大厦等。

一般型土钉墙适用于土质条件较好，深度在 5~12m 范围的基坑支护，当土质条件较差或要求止水或环境条件复杂或基坑超深或建筑物较近等情况，均需要采用复合型土钉墙支护。深圳电视中心基坑支护就是复合型土钉墙典型工程实例。

深圳电视中心是深圳市未来新型城市的代表性建筑，位于深南大道和新洲路交叉路口

的东北角，由主楼、附楼及其他附属设施组成，其中主楼 29 层，高 120m，设两层地下室。基坑开挖深度约为 9.30m~12.80m。基坑轮廓近似方形，长×宽=133m×107m。

本工程场地自上而下主要地层有：人工填土,淤泥质粘土,粉质粘土,粘土,粗砂,粉质粘土,含卵石粗砾砂,第四系残积粉质粘土；其下燕山期花岗岩分为全风化、强风化、中风化、微风化四带。

支护方案形式：北侧和西侧采用加强型土钉墙与双排 D550 深层搅拌桩墙联合支护，形成复合式土钉墙，深层搅拌桩兼作截水帷幕；打入注浆钢管土钉长 8~12m，预应力锚索 16~18m，由 3 根 17-ϕ15 钢绞线组成，北侧二排，西侧一排。其典型剖面见图 2。

基坑支护施工从 1999 年 1 月开始，经过近三个月施工，完成了止水帷幕、土方和基坑支护的任务。在基坑开挖和施工过程中，同时进行了基坑稳定性监测。监测结果显示，基坑水平位移在 35~58mm 之间,基坑周边地面沉降在 20~30mm 之间，监测结果表明，目前基坑变形已趋于稳定，整个基坑稳定情况良好。

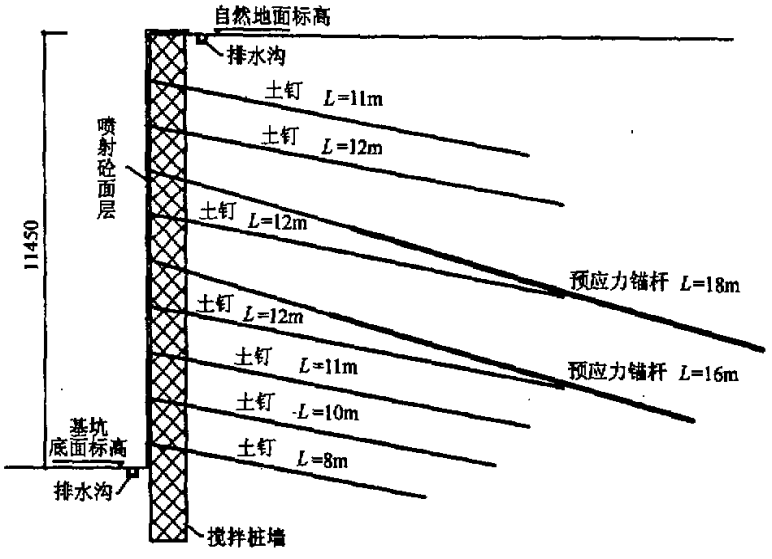


图2 基坑北侧土钉墙支护典型剖面图

土钉墙支护技术还可与排桩联合应用，即基坑边坡上部采用喷锚支护，下部采用护坡桩，以节省基坑工程造价。

4. 其它支护技术

除上述三种主要的基坑支护结构型式外，目前深圳地区也有一些其它支护型式，包括深层搅拌桩重力式挡墙、钢板桩及打入预应力管桩等，但使用相对较少，且适用于开挖深度 7m 以内的基坑支护。如福永物业大厦(坑深 6m)、石岩排污渠(渠深 6m)等采用了深层搅拌桩重力式挡墙，金源大厦(坑深 5m~7.1m)、德兴大厦(坑深 6m)、设计大厦(坑深 7m)等采用钢板桩支护，并设一道落地斜撑。荟芳园大厦(坑深 7m)、益田名园(坑深 6m)等采用

了预应力管桩支护。当深度大于 7m 以后，这些支护型式往往和其它支护结构配合使用。

四　地下水控制

在深基坑工程中，地下水控制方案是基坑工程的一个重要内容，处理不当，易引起涌砂、流泥及地下水流失等诱发周围建筑物、道路的沉降和开裂，甚至引起基坑事故。因此应根据基坑周围环境情况以及场地水文地质条件选取合理的地下水控制方案。目前，深圳地区对地下水的处理主要有两种方式，即降水和截水。当地下水丰富，土层透水性强，基坑周围有对沉降较敏感的建筑物或管线，应采取截水方案。

截水主要采用搅拌桩、高压旋喷桩、摆喷、定喷和注浆等方式形成一定厚度的止水帷幕。根据深圳地区的工程经验，一般地层采用搅拌桩(单排或多排)做止水帷幕效果较好，造价便宜，工期短，如深圳电视中心、金鼎大厦、宏明广场等工程，当遇到密实的砂砾石层，搅拌桩无法施工可采用旋喷桩做止水帷幕，一般情况下，效果还可以。有时为降低工程造价，采用摆喷或定喷代替旋喷桩做止水帷幕，使用工程比较多，如利联商业中心、城市广场、海田花园等工程。根据深圳地区经验，注浆截水效果一般比较差，难以形成全封闭的止水帷幕体系。如深 6m 的龙兴大厦基坑，土质为粗砾砂层，经多次高压注浆，耗资一百多万元仍达不到效果，海油大厦基坑也是由于注浆失效，而改用高压旋喷止水帷幕。

地下连续墙也可起止水作用，但由于其造价太高，除了环境特别复杂的重要工程外，一般很少使用。

当地下水量较少、地层透水性弱或经评价降水对周围环境不至造成危害时，可采用降水方案。深圳地区基坑工程降水一般采用管井或深井，有大口井和小口井两种，沿基坑周边布置。降水方案设计时，应保证临近建筑的安全，必要时可设置回灌井点。

五　结　语

深圳地区基坑众多，由于初期市场的不规范，存在着一定的漏洞，出现了许多工程事故，也积累了丰富的经验，随着技术进步，管理加强，规范出台和广大科技人员的努力，基坑支护技术日趋成熟，并已走向规范化发展之路，几年来，基本未出现较大的基坑工程事故，为特区建设事业作出了应有的贡献。