

全套管钻孔灌注桩施工工法

编制单位：中国建筑第六工程局

批准部门：中国建筑工程总公司

工法编号：GF / 206022-96

主要执笔人：刘根芳

1 概述

利用液压全套管钻机施工的灌注桩在国外习惯上名为贝诺特（Benote）桩，这种成桩工艺是目前国际上最为流行的钻孔灌注桩施工技术，也是目前世界上钻孔灌注桩三大主要施工工法（贝诺特、反循环法、阿司特利法）中最为先进的一种。中建六局土木工程公司于八十年代中后期在承建国外大型桥梁工程中，曾采用这种技术成功地进行了大直径钻孔灌注桩的施工，近年已将此设备引进国内，并在北京阜城门立交桥等工地投入实际应用，施工速度是同条件下其它施工方面的8—10倍，成桩质量高于国家现行施工验收规范标准，已经显示出了贝诺特施工技术卓越的科学性和先进性，应用前景十分广阔。随着我国高层、超高层建筑以及大型桥梁等复杂构筑物的大规模出现，对地基处理的技术质量要求也将越来越高，可以预料，贝诺特施工方法将成为我国今后大直径钻孔灌注桩施工技术的发展方向。全套管钻孔灌注桩在我国的规模化推广应用已是指日可待的。

2 特点

原始的贝诺特钻机于五十年代初期出现于法国，日本于五十年代中期引进了这项技术，并于六十年代初由日本三菱重工业公司开始进行技术改造。到八十年代才形成了目前通用的MT系列贝诺特钻机，其主要工作机构如图2.1所示，该钻机系列有MT—120型、MT—130型、MT—150型及MT—200型四种，型号不同仅表示其钻孔的最大直径的不同，（如MT—150的最大钻孔直径是1500mm），至于施工方法及应用范围几乎完全一样。

本工法具有如下特点：

2. 1 无噪音，无振动；
2. 2 不使用泥浆，避免了泥浆的加工和储运，作业面干净；
2. 3 挖掘时可以很直观地判别土壤及岩性特征，对于端承桩，便于现场确定桩长；
2. 4 挖掘速度快，对于一般土质，可达14m/小时左右；
2. 5 挖掘深度大，根据土质情况，最深可达70m左右；
2. 6 成孔垂直度易于掌握，可以得到3%—5%的垂直度；
2. 7 由于是全套管钻机，所以孔壁不会产生坍塌现象，成孔质量高
2. 8 钢筋周围不会象泥浆护壁法施工那样附粘一层泥浆，有利于提高砼对钢筋的握裹力；
2. 9 由于不使用泥浆，避免了泥浆进入砼中的可能性，成桩质量高；
2. 10 成孔直径标准，充盈系数很小，与其它成孔方法相比，可节约13%的砼；
2. 11 清孔彻底，速度快，孔底钻铤可清至2.5cm左右；
2. 12 MT系列钻机是自行式，便于现场移动。

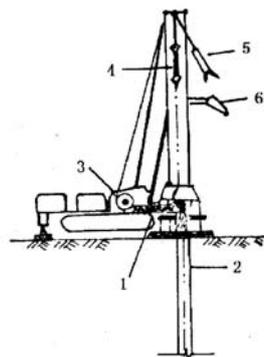


图 2.1 贝诺特钻机主要作业机构
1—液压摇管装置； 2—套管；
3—卷扬机； 4—下落时的落锤抓斗；
5—卸土时的落锤抓斗； 6—溜土槽

3 应用范围

3. 1 可适用于几乎所有土质，在风化岩层、卵石层及砂土层中只需采用相应的钻挖技术，亦能顺利成孔；

3. 2 由于采用了通长套管，在接近已有建筑物时也能施工，特别适合于城区内作业。

3. 3 只要配备相应规格的套管，可以钻挖如下直径的桩孔： $\phi 1000\text{mm}$ ； $\phi 1100\text{mm}$ ； $\phi 1200\text{mm}$ ； $\phi 1300\text{mm}$ ； $\phi 500\text{mm}$ ； $\phi 1800\text{mm}$ ； $\phi 2000\text{mm}$ 。各种型号所能成孔的直径分别为：

MT—120 钻机：可成孔 $\phi 1000\text{mm}$ ； $\phi 1200\text{mm}$ ；

MT—130 钻机：可成孔 $\phi 1000\text{mm}$ ； $\phi 1200\text{mm}$ ； $\phi 1300\text{mm}$ ；

MT—150 钻机：可成孔 ϕ T1000Inm； ϕ rpl200Inm； ϕ 1500Inm；

MT—200 钻机：可成孔 ϕ 1000mm； ϕ 1200mm； ϕ 1300mm； ϕ 1500mm； ϕ 2000mm。

3. 4 可以做斜桩；

3. 5 采用搭接桩法可施工“桩列式”连续挡土墙。

4 附属机械的配备

除贝诺特钻机外，施工时尚需配备下列机械：

4. 1 第一节套管：第一节套管下口带有刃脚，便于不沉钻进，上端有固定销孔，便于同标准连接；

4. 2 标准节套管：上、下端均有固定销孔，便于加长与拆卸；

4. 3 引拔机：为加快施工速度，当钻挖到设计深度时，可将钻机移到下一桩位，利用引拔机液压装置，随着砼的灌注，将套管逐节提出孔外；

4. 4 汽车吊（或履带吊）：用于移动引投机，吊放钢筋笼及套管就位连接；

4. 5 装载机：将落锤抓斗卸于孔外的泥土装入翻斗车内运出场外；

4. 6 翻斗车：运土；

4. 7 砼搅拌与输送设备；

4. 8 砼浇注导管；

4. 9 真空泵：清孔用；

4. 10 钢筋成型加工机械。

5 工艺流程

全套管钻孔灌注桩施工程序如图 5. 1。

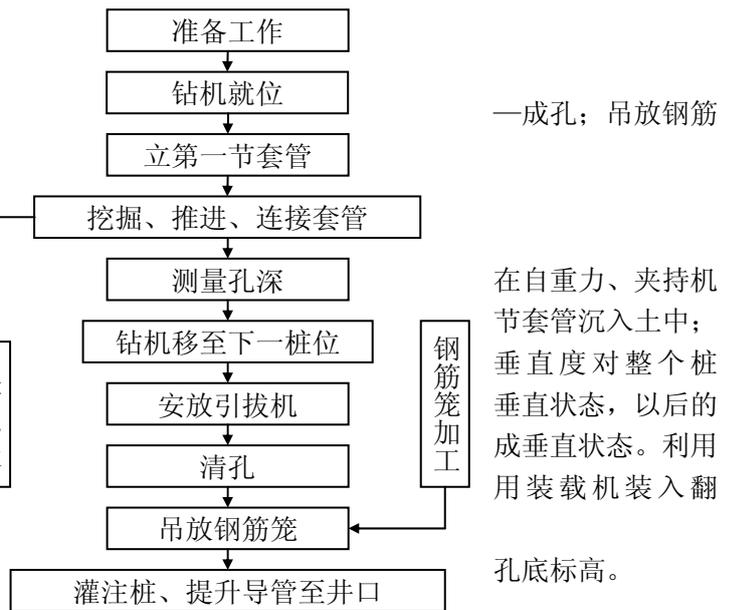
6 主要工序施工要点

套管法施工最关键的是挖掘推进、连接套管；灌注砼，提导管—成桩三道工序，下面分别加以讨论。

6. 1 成孔方法

钻机水平就位后，将第一节套管立于桩位处，构回转力及夹持机构压力的复合作用下，将第一节然后在上边连接第二节套管。第一、二节套管的孔垂直度起着决定性的作用，只要头一节套管成挖掘方法及套管连接方法又适当，后续套管自然落锤抓斗将套管内的土体抓出孔外，卸在地面上，斗车运出场

外，随着套管的下沉，不断连接套管，直至钻到



6. 1. 1 对于不同土层，采取不同的挖掘方式：

6. 1. 1. 1 对于软弱土层（N5），应使套管超前下沉，可超出孔内开挖面 1—1. 5m。使落锤抓斗仅在套管内挖土，这样便于控制孔壁质量及开挖方向（图 6. 1. 1. 1）。

6. 1. 1. 2 对于一般土层（N=6—30），开挖时

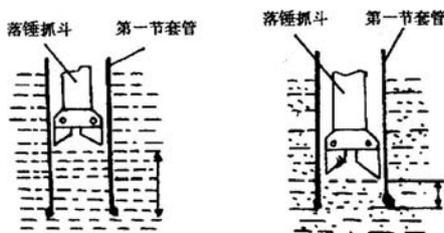


图 6.1.1.1 在软土层中的挖掘方法

图 6.1.1.2 在一般土层中的挖掘方法

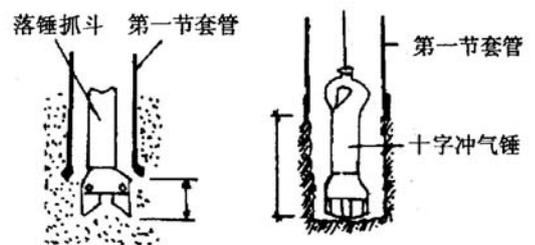


图 6.1.1.3 在硬砂层及卵石层中的挖掘方法

图 6.1.1.4 在持坚硬土层中的挖掘方法

应使套管超前下沉 30cm 左右，这是最标准的开挖方法（图 6. 1. 1. 2）。

6. 1. 1. 3 对于硬砂土层及大卵石层，应使落锤抓斗超前

下挖 20—30cm，因为在这种土层中套管的下沉是非常困难的，尤其是对于地下水位以下的硬砂层，如不采取超前开挖的措施，即使利用夹持压力勉强将套管压入土层中，而在以后提升套管时也将是非常困难的（图 6. 1. 1. 3）。

6. 1. 1. 4 对于特坚硬土层（ $N > 30$ ）及风化岩层，应利用“十字冲击锤”将硬土壤击碎，再利用落锤抓斗将土块抓出孔外。此时也应采取超前下挖的方法，而且超挖深度较大，但不应超过十字锤本身的高度，否则会影响孔壁质量（图 6. 1. 1. 4）。

6. 1. 2 挖掘时应注意以下事项：

6. 1. 2. 1 一般情况下，挖掘中途不允许间断，必须连续挖掘。但如果由于某一不可避免的原因必须中断挖掘时，也应继续摇动套管，防止套管外侧土壤因重塑固结效应而将套管构紧，给后续施工带来困难。对于一般土壤，摇动压力应控制在 $30—50\text{kg/cm}^2$ 之间；

6. 1. 2. 2 如地下水位以下有超过 5m 厚的细砂层，应慎重考虑能否采用贝诺特施工法，至少不能用 MT—150 型以下的钻机。因为套管钻机是利用摇动装置将套管边摇动边压入土层中，当穿过厚细砂层时，砂土会因受到扰动而被压密，将套管紧紧抱住，即使采用超前开挖法将套管压入土中，但在提升套管时也是非常困难的。有资料表明，国外在这种情况下曾出现过套管拔不出来的严重事故；

6. 1. 2. 3 如地下有承压水的存在，那么在承压水段挖掘时不应超挖，尤其是承压水又处于砂层中的更应特别注意，否则会形成孔底涌砂现象。

6. 2 钢筋笼吊放工艺

6. 2. 1 操作要点

6. 2. 1. 1 凡长度大于 8m 的钢筋笼，应分节制作安装；

6. 2. 1. 2 为防止暴筋，同时也为了保证钢筋笼中心与孔中心的重合，应在主筋外侧焊定位块。定位块不宜多，每节笼子上下有两道即可；

6. 2. 1. 3 检查并记录钢筋笼的安装高度与相应的套管长度，这一数据可用于判断钢筋笼是否与套管一起被提上来。

6. 2. 2 引起钢筋笼上拱的原因：

套管灌注桩施工中，钢筋笼容易出现的最严重的问题是钢筋笼在浇注砼、提升套管时产生“上拱”现象，这类事故一旦出现，处理过程是相当困难的，有时甚至会造成整个桩的报废。

引起钢筋笼上拱的原因主要有如下几项：

6. 2. 2. 1 成孔垂直度较低，钢筋笼与套管之间阻力太大；

6. 2. 2. 2 钢筋笼制作不顺直，或分节制作安装在连接处出现了弯曲；

6. 2. 2. 3 钢筋笼定位卡安装不正确（如呈尖棱状），插入了套管的连接销孔内；

6. 2. 2. 4 清孔不彻底，钻渣被翻上来以后与钢筋裹在一起，将钢筋笼托起（图 6. 2. 2. 4）；

6. 2. 2. 5 砼的灌注时间掌握不当，砼发生凝固，砼与套管之间有较大的粘着力，致使提升套管时连钢筋笼一同带起；

6. 2. 2. 6 套管使用后没有及时清理，有砼残块粘结在内表面上，与钢筋笼卡在一起；

6. 2. 2. 7 钢筋笼与套管间的间隙与粗骨料的最大尺寸不相匹配，粗骨料卡在了套管与钢筋笼之间。

6. 2. 3 防止钢筋笼上拱的技术措施；

6. 2. 3. 1 使用前检查套管的尺寸，套管提出孔后及时用水清理干净；

6. 2. 3. 2 仔细检查加工好的钢筋笼尺寸；

6. 2. 3. 3 钢筋笼定位卡应做成圆弧形；

6. 2. 3. 4 在钢筋笼长度方向每 2m 左右增加一道加强箍筋，增加钢筋笼的抗变形能力；

6. 2. 3. 5 在钢筋笼下端焊一个钢筋网片（ $\Phi 16@150$ ），并在网片上固定两块厚约

10cm 的砣块，由导管注入的砣积压在砣块上，用砣自重防止钢筋笼的上拱（图 6. 2. 2. 5）；

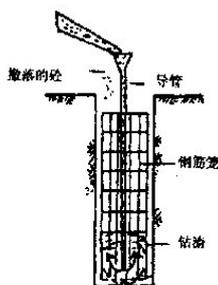


图 6.2.2.4 由于钻渣导致钢筋笼上拱

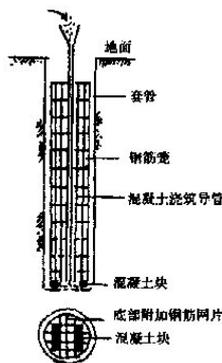


图 6.2.2.5 防止钢筋笼上拱的一项措施

6. 2. 3. 6 用反复夹紧与放松的办法让套管摇动，用在相同方向转动套管 1—2 次的办法消除套管与钢筋笼之间可能出现的摩阻力；

6. 2. 3. 7 灌注砣之前，让套管来回摆动并上下移动 4—5cm，检查钢筋笼是否与套管卡在了一起；

6. 2. 3. 8 套管内径与主筋外径之间的间隙应不小于砣中粗骨料（石子）最大粒径的两倍；

6. 2. 3. 9 钢筋笼两节对接时不得发生弯曲；

6. 2. 3. 10 全面清理并充分紧固套管的锁销。

6. 3 砣灌注工艺

一般均采用导管法灌注砣（图 6. 3），施工时应注意以下几点：

6. 3. 1 导管由孔顶向下插入时，必须用滑阀（或密封球）将下口封住，否则孔内的泥渣有可能进入桩身砣中，影响砣质量；

6. 3. 2 随着砣的灌入，慢慢提升导管，但应保证导管下端埋入砣内的深度不小于 2m；

6. 3. 3 如导管意外地被拔出了砣顶面，不得马上再插入砣中，而应将导管全部拔出孔外，再重复上述 6. 3. 1、6. 3. 2 工序；

6. 3. 4 边浇筑砣边利用引拔机提升套管，但应保证套管埋入砣内的深度为 1--2m，砣浇筑到标高后将套管全部拔出；

6. 3. 5 实际浇筑高度应比设计标高高出 0. 5—1. 0m，这部分砣中渗进了被顶上来的泥渣，基坑开挖后再予以凿除。

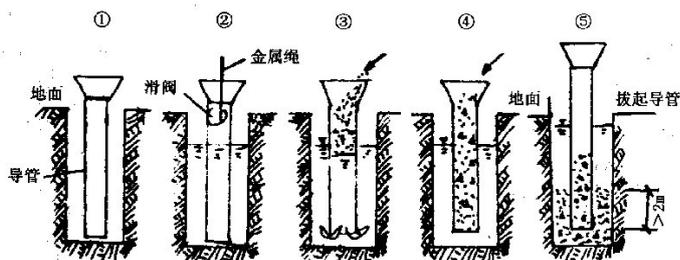


图 6.3 采用导管法浇筑混凝土的顺序

- ①放置导管；
- ②在导管上端吊放滑阀；
- ③灌注混凝土，将滑阀压下；
- ④混凝土从孔底向上返起；
- ⑤随着混凝土的浇筑，慢慢提升导管

7 关于套管灌注桩的单桩承载力问题

贝诺特施工法在我国还是一项新技术，有些用户对其单桩承载力问题还不太清楚。事实上，采用贝诺特技术成孔的灌注桩比过去常用的泥浆护壁技术成孔的灌注桩的单桩承载力要高。这一现象可以从下述三个方面来认识：

7. 1 由于贝诺特钻机施工时所采用的是沿孔深通长的特制的套管成孔，不使用泥浆护壁，所以成孔后避开了泥浆护壁成桩工艺所固有的那种在桩身砣与主体之间必然会形成一层残存泥浆隔离膜（俗称“泥皮”）的弊病，因而桩身砣与土体之间的粘结会更加牢固。

7. 2 由于在挖掘过程中套管几乎不会对孔壁土体的原有结构产生任何不良影响，因而桩周围土体更能充分发挥其最大侧摩阻力值；

7. 3 贝诺特施工法清孔彻底，孔底残渣少。根据实测结果来看，孔底钻渣可清至 2—4cm，有利于提高桩端承载力，这是泥浆护壁施工法所难以达到的。

贝诺特施工技术在我国的应用时间不长，处理过的工程有限，缺乏足够的对比数据，这方面的工作今后还有待加强，要尽快积累必要的技术资料，以便建议比较妥切的贝诺特桩单桩承载力的计算公式。

民用建设项目，还广泛应用于公路、铁路及码头工程的建设，日本所做的大量的统计资料表明，在同等地质条件下，同桩径、同深度的灌注桩采用贝诺特技术成桩时的承载力比采用反循环泥浆护壁技术所成桩的承载力要高出

许多。

8 质量验收标准

目前全套管钻孔灌注桩施工技术尚没被列入我国现行施工规范，施工验收时，暂时可参考《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规范（JGG4—80）》的有关条文。对于其它类型的构筑物如水工建筑、桥梁建筑等，可参考相应行业的灌注桩施工验收规范。实测资料表明（见本工法第十部分），采用贝诺特施工时所达到的质量等级一般均远远高于现行规范要求值，这一点是其它钻孔灌注桩施工法所无法比拟的。

建议国家建委早日将全套管施工技术列入验收规范，同时建议有关部门尽快制定出相应的综合预算定额及取费标准，以利于这项技术在我国推广应用。

9 安全生产措施

9.1 施工前应充分了解现场工程水文地质条件，并查明有没有地下电缆或煤气管道等地下障碍物；

9.2 配备专职安全员，建立健全生产管理组织和管理制度，加强安全教育，贯彻“安全第一，预防为主”的方针；

9.3 岗位分工明确，不准混岗作业，特殊工种须持证上岗；

9.4 如因特殊情况，操作人员必须下到孔底时，当孔深大于 15mm 时，必须检查孔内有无有害气体及供氧量能否满足人体需要；

9.5 卷扬机以及与抓锤抓斗（或十字冲锤）连接的钢丝绳应经常检查，遇到磨损断股现象应及时更换；

9.6 吊装钢筋笼要合理选择捆绑点，并应拉好尾绳，保持平稳起吊，准确入孔，严防伤人；

9.7 吊起套管和对位时，严禁把手指伸进销孔内；

9.8 对于上部有空孔的灌注桩（如对于有地下室的工程）。混凝土灌注完毕及时用土回填空孔部分，或在孔顶设醒目的护栏，以防人员掉入孔内。这种情况在夜间施工时尤应引起重视。

10 工程实例

10.1 北京阜城门立交桥工程

本工程位于北京市西三环与阜城路交口处，是改善北京市交通环境的重点工程之一。其中钻孔灌注桩基础直径为 $\phi 1200$ 及 $\phi 1800$ ，根据上部荷载及地基土性质的不同，桩身不等，变化幅度为 25m—43m，开工初始阶段曾采用人工挖孔桩及冲孔灌注桩，施工速度极慢。冲孔灌注桩每施工一棵大约需 8—10 天的时间，而且泥浆遍地，严重污染了环境，阻碍了交通。土木公司于 1994 年 3 月份进入该工程，开始采用 MT—200 全套管钻机施工灌注桩基础，施工速度比原有其它方法提高了 8—10 倍，而且没有泥浆，无噪音，无振动，作业面非常干净，成桩质量好，受到了建设单位及附近居民的高度称赞。

10.2 伊拉克新辛迪亚坝工程

六局土木公司于 1986 年--1989 年间在伊拉克新辛迪亚坝工程中曾采用日产 MT—200 全套管钻机施工桥墩灌注桩，共 312 棵，桩径为 $\phi 1800$ ，桩深约 32m，为摩擦桩，成桩质量受到了伊拉克专家及工程设计单位—法国苏格里公司的高度评价。详细质量情况如表 10.2 所示。

成桩质量对比表 表 10.2

序号	测试项目	单位	原标书规定值	我国规范要求	实测结果	
1	桩位最大允许偏差	cm	3	30	2--3	
2	垂直度最大偏差（为桩长的）	%	0.5	1	0.2--0.5	
3	孔底最大沉渣厚度	cm	4	10	2--4	
4	钢筋笼顶底标高最大偏差	cm	3		23	
5	在设计荷载作用下	最大垂直沉降量	mm	5		3.1
		桩顶最大水平位移	mm	5		4.2
6	在二倍设计荷载作用下	最大垂直沉降量	cm	2		1.46
		桩顶最大水平位移	cm	2		1.46