

ICS 090.040

CCS P28

团 体 标 准

T/GDHS 002—2024

代替 T/GDHS 002—2020

公路桥梁挤扩支盘桩技术规程

Technical specification for pile with expanded branches and plates of highway
bridges

2024 - 12 - 30 发布

2025 - 01 - 30 实施

广东省公路学会
香港公路学会 发 布
澳门工程师学会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 4

5 勘察 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 勘察要求 5

6 设计 6

 6.1 一般规定 6

 6.2 构造 7

 6.3 计算 9

 6.4 韧性设计 12

 6.5 支盘承载力调控 12

7 施工 13

 7.1 一般规定 13

 7.2 施工准备 14

 7.3 主桩成孔 14

 7.4 支盘腔挤扩施工 15

 7.5 扫孔与清孔 16

 7.6 安装钢筋笼与灌注混凝土 16

8 质量检验及评定标准 16

 8.1 一般规定 16

 8.2 主桩成孔质量检验 16

 8.3 支盘腔过程质量检验 16

 8.4 成桩质量检验 17

 8.5 实测项目 17

 8.6 运营监测 17

附 录 A（规范性） 挤扩支盘桩碳排放估算指标 19

附 录 B（规范性） 土层物理力学指标与桩端土极限承载力标准值、挤扩压力值、挤扩压硬值和设备选型对照表 20

附 录 C（规范性） 挤扩支盘桩规格尺寸 21

附 录 D（资料性） 挤扩支盘桩挤扩作业交底卡 22

附 录 E（资料性） 挤扩支盘工序交接单 23

附录 F（资料性） 挤扩支盘施工记录表	24
参考文献	26

前 言

本文件按照GDHS-BZBX-01-2021《广东省公路学会标准编写规则》的规定起草。

编写组在广泛调研和征求意见的基础上,针对《广东公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》(T/GDHS 002-2020)实施过程中发现的问题和不足,同时吸收近年来国内成熟的挤扩支盘桩技术成果,对2020版标准进行了修订,并将标准名称调整为《公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》。主要修订内容如下:

- (1) 增加了韧性设计要求;
- (2) 增加了香港和澳门地区应用相关规定;
- (3) 增加了挤扩支盘桩碳排放计算内容;
- (4) 增加了地质勘察中地震液化的要求;
- (5) 修订了支盘适用土层及设置的适用条件;
- (6) 增加了承载力极限状态设计内力与抗力公式、单桩作用于承台底面的轴向力设计值计算、支盘抗剪承载力计算、多支盘结构挤扩支盘桩的桩顶沉降计算等内容;
- (7) 修订了单桩轴向受压承载力特征值计算公式;
- (8) 增加了步进挤压工艺要求和挤扩支盘桩施工流程内容;
- (9) 增加了填写挤扩支盘桩挤扩作业交底卡要求;
- (10) 修订了主桩和支盘腔高、支盘径检测要求;
- (11) 基于韧性服役增加了运营监测支盘结构强度韧性评价和承载韧性评价要求。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司提出。

本文件由广东省公路学会归口。

本文件起草单位:广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、北京支盘地工科技开发中心、广东省路桥建设发展有限公司、广东省公路建设有限公司、奥雅纳工程顾问有限公司、栢杰工程顾问有限公司、广东湾区交通建设投资有限公司

主编:孙向东

参加编写人员:李勇、代希华、楊毅(香港)、周子键(澳门)、张国梁、黄国清、王明珉(香港)、徐东进、李剑、刘广宇、姚学昌、张太科、李宝强、鲜荣、杨立权、吴玲正、杜燕群、黄海、莊友康(香港)、黄明泰(香港)、王少华、张崇斌、吴海平

主审:洪显诚

参加审查人员:王安福、陈冠雄、刘正光(香港)、萧志泳(澳门)、赵君黎、易绍平、钟小平(香港)、楊文武(香港)、胡利平、曾波波、胡祖杰(澳门)、王中文、邓桂萍、麦德明(香港)、庄明融、张颖、

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——2020年首次发布为T/GDHS 002-2020;

——本次为第一次修订,由广东省公路学会、香港公路学会、澳门工程师学会联合发布。

引 言

《广东公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》（T/GDHS 002—2020）自发布以来，该项技术在粤东、粤西及临近香港、澳门的珠江三角洲地区交通建设领域的推广应用过程中有了较大发展，针对公路桥梁受力特点和区域地质特征，在潮汕环线高速公路京灶大桥、狮子洋通道、广澳高速改扩建、南中高速、茂湛高速改扩建、清花高速、中江高速改扩建、惠龙高速等项目中大规模开展了挤扩支盘桩应用及相关试验研究，取得了一系列新的技术成果，包括土层适用范围、土体压硬理论、支盘韧性结构、弹性刚度理论、支盘桩沉降计算、施工勘察协同技术、支盘运营监测等。根据《关于下达〈公路工程挤扩支盘桩技术规程〉修订计划的通告》（粤公学字[2023]16号），编写组通过总结、归纳最新技术成果，广东省公路学会联合香港公路学会和澳门工程师学会组织相关单位对《广东公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》（T/GDHS 002—2020）进行了修订并且将标准名称调整为《公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到第4、5、6、7、8章与支盘桩结构和施工工艺技术（200810000559.9、201911042721.8、2019218415801、200910148482.4、201911042190.2）、支盘桩成套设备、设备结构（200510134290.X、200610127924.3）、支盘桩质量检测技术（201911042721.8、200910148482.4、2023114157252）等相关的专利的使用。

本文件的发布机构对专利的范围、有效性和验证资料无任何立场。

专利持有人已向本文件的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就该专利授权许可进行协商。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：北京支盘地工科技开发中心 张国梁等

地址：北京海淀区阜石路甲69号院10号楼一层114

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

公路桥梁挤扩支盘桩技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁挤扩支盘桩的勘察、设计、施工和质量检验及评定标准等要求。

本文件适用于粤港澳大湾区及广东省其它地区新建、改扩建和维修加固公路桥梁挤扩支盘桩基础工程。其它地区同类项目可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 51366 建筑碳排放计算标准（standard for building carbon emission calculation）

JTG C20 公路工程地质勘察规范（code for highway engineering geological investigation）

JTG C30 公路工程水文勘测设计规范（hydrological specifications for survey and design of highway engineering）

JTG D60 公路桥涵设计通用规范（general specifications for design of highway bridges and culverts）

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程（inspection and evaluation quality standards for highway engineering, section 1 civil engineering）

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范（specifications for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts）

JTG 3363-2019 公路桥涵地基与基础设计规范（specifications for design of foundation of highway bridges and culverts）

JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范（specifications for seismic design of highway bridges）

JTG/T 3512 公路工程基桩检测技术规程（technical specifications for foundation piles testing of highway engineering）

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范（technical specifications for construction of highway bridges and culverts）

JT/T 855 桥梁挤扩支盘桩（pile with expanded branches and plates for highway bridge）

《公路和铁路结构设计手册》（香港特别行政区政府路政署颁布）（structures design manual for highways and railways, highways department, the government of the Hong Kong special administrative region.）

《基础设计和施工》（第1/2006号，香港特别行政区政府土木工程拓展署土力工程处颁布）（foundation design and construction (GEO Publication No. 1/2006), geotechnical engineering office, civil engineering and development department, the government of the Hong Kong special administrative region.）

《基础设计指引》（澳门特别行政区政府土地工务运输司颁布）（foundation design guidelines, department of land, public works and transport, Macau government）

《地工技术规章》（澳门特别行政区政府土地工务运输司颁布）（geotechnical regulations, department of land, public works and transport, Macau government）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

挤扩支盘桩 pile with expanded branches and plates

设有分支和/或承力盘结构且该结构同周围被挤密压硬的土体共同作用的承载桩。

3.2

挤扩支盘桩韧性结构 robust pile with expanded branches and plates

具有较高承载储备和弹性变形性能的挤扩支盘桩结构。

3.3

主桩 main pile

桩体的主干部分。

3.4

分支 bearing branch

突出主桩的支状承载结构，简称支。

3.5

支结构 branch structure

由多个分支组成的基桩承载结构。设有二星支、四星支、六星支、八星支等形成的结构。

3.6

支长 branch length

支的水平投影长度。

3.7

支宽 branch width

支的水平投影宽度。

3.8

支高 branch height

支根部顶到底的距离。

3.9

支面积 projected area of branch

支的水平投影面积。

3.10

支侧面积 lateral area of branch

一个支两个侧面中单个侧面的表面积。

3.11

支间距 space between branches

同一桩身相邻两支结构的竖向间距。

3.12

承力盘 bearing plate

突出主桩的盘环状承载结构，简称盘。

3.13

盘环宽 width of plate ring

盘半径减去主桩半径的宽度。

3.14

盘高 plate height

盘根部顶到底的距离。

3.15

盘间距 space between plates

同一桩身相邻两承力盘的竖向间距。

3.16

支盘腔 cavity of branch or plate

土体被静力挤压后形成的支状空腔或盘状空腔。

3.17

支盘承力角 bearing angle of branch and plate

支盘受力面与水平面的夹角。

3.18

支盘内角 internal angle of branch and plate

支盘腔上斜面与下斜面之间的夹角。

3.19

支盘韧性角 robust angle of branch and plate

基于韧性设计要求，结合土力学指标设置的支盘承力角。

3.20

挤扩比 expansion ratio

盘环水平投影面积与桩身横截面面积之比。

3.21

宽径比 ratio of arch arm width to plate diameter

挤扩支盘机弓臂挤压土体的宽度与盘直径之比。

3.22

截面比 ratio of main pile sections

主桩变径后与变径前的截面面积之比。

3.23

挤扩压力值 expansion and compression pressure value

挤扩支盘机挤压土体时土对弓臂的反力，即反映在液压表上的读数（又称挤扩旁压值）。在成支或盘时首次张开弓臂挤压获得的压力值称首次挤扩压力值，表征土体抗压强度。

3.24

挤扩压硬值 hardening value of expansion and compression

土被静力挤压后的腔壁稳定性表征值，每支取其分支挤扩压力值中的最小值，叠挤工艺条件下，每盘取第二次挤扩压力值。

3.25

挤扩叠加率 overlap ratio of expansion and compression

挤扩支盘机挤压土体形成盘腔时，径向相邻挤压重叠部分的水平投影面积占单次挤压水平投影面积的比值。

3.26

挤扩回弹率 soil rebound rate

挤扩支盘机弓臂张开外径与挤扩后实测盘腔直径的差值与挤扩支盘机弓臂张开外径的比值。

3.27

设备上抬值 equipment rising value

挤扩支盘机向两侧对土体挤压时，土对弓臂产生反力致使支盘设备上抬的位移值。

3.28

步进挤压工艺 step-by-step expansion process

采用至少分解为两个或以上挤扩支盘机弓臂外径的分步挤压至设计支盘腔的工艺。

3.29

支盘腔尺寸检验 Dimension Inspection for Branch and Plate Cavity

通过电阻式井径仪或超声波成孔检测仪对支盘腔的几何尺寸进行测量，对照设计盘径、盘高对支盘腔完整性进行评定和中间校验。

3.30

支盘承载性能评估 bearing performance assessment for branch and plate

通过检验施工时的挤扩压力值和支盘腔尺寸，判断支盘承载性能是否满足设计要求。

3.31

支盘承载力调控 adjustment of branch and plate bearing capacity

当支盘承载性能评定结果不满足设计要求时，可由设计人员采取调控措施，确保基桩竖向承载力和整体刚度满足要求。简称支盘调控。

4 基本规定

4.1 挤扩支盘桩应根据工程地质、水文地质、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境等因素，因地制宜地选择合理的支盘桩结构形式。

4.2 挤扩支盘桩基础可按下列规定分类：

a) 按承载性状分为：

- 1) 分支桩，仅设置支结构，桩顶荷载主要由支端阻力、桩侧阻力和支侧阻力承受，并可适当考虑桩端阻力，具有微变形特征；
- 2) 承力盘桩，仅设置承力盘，桩顶荷载主要由盘端阻力和桩侧阻力承受，并可适当考虑桩端阻力；
- 3) 多支和/或盘结构挤扩支盘桩，同时设置 4 个或以上支结构或承力盘结构，桩顶荷载主要由支盘端阻力、桩侧阻力和支侧阻力承受，可不计入桩端阻力；

b) 按主桩外形分为：

- 1) 等桩径支盘桩，主桩为等直径钻孔灌注桩；
- 2) 变桩径支盘桩，主桩为变截面钻孔灌注桩；
- 3) 大挤扩比支盘桩，挤扩比大于 3 的支盘桩；
- 4) 变盘径支盘桩，桩身设置有不同尺寸支盘的支盘桩。

条文说明

变桩径支盘桩于小桩径段设置支、盘，增加了支盘端承压面积，增大了挤扩比，可达到提高承载力、降低成本、节约投资的目的。

4.3 挤扩支盘桩宜充分利用支盘结构特性和支盘端土压硬承载特征，沉降变形敏感的重要结构，其挤扩支盘桩宜满足韧性服役要求，包括高承载性能设计、弹性变形性能设计、全过程监测数据和长期服役性能评价等内容。

条文说明

充分利用土体承压和多支盘结构协同作用，实现高承载和弹性变形受力性能，使挤扩支盘桩具备抵抗严苛环境和多灾害耦合的冗余性能；可采用荷载试验和长期服役全过程监测数据进行支盘结构强度韧性评价和承载韧性评价。

4.4 应根据结构安全、结构重要性和沉降要求确定韧性等级，其结构韧性性能应满足表 1 要求。

表1 结构韧性性能要求

韧性等级	结构性能要求
一级	承载力安全系数 K 大于等于 2.5，桩顶沉降变形全部由桩身弹性压缩构成。
二级	承载力安全系数 K 为 2.0，桩顶沉降变形基本由桩身弹性压缩构成，桩顶沉降量满足荷载试验规范要求。

条文说明

挤扩支盘桩具有变形小且为缓变形受力特征，其控制沉降效果显著优于常规灌注桩。本文件根据结构变形性能划分二个等级，在设计时根据结构特征和使用功能进行选用，按节约资源、经济合理的原则，选取合理的支盘结构。

4.5 下列情况宜选用挤扩支盘桩基础：

- a) 深厚覆盖层或风化残积层地区；
- b) 具有一定厚度覆盖层的岩溶发育区域或花岗岩球状风化发育地区；
- c) 沉降控制要求较高的桥梁桩基。

条文说明

广东省沿海地区软土深厚、基岩埋深大，桥梁基础采用挤扩支盘桩时可节省桩长，降低工程造价；岩溶发育区域具备一定覆盖层厚度时，桥梁基础采用挤扩支盘桩可规避常规桩穿越溶洞的施工风险并降低溶洞处治工程费用。

4.6 挤扩支盘桩验算的作用分类和作用组合应按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的规定采用，持久状况桩身承载能力和抗裂验算应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的规定采用。

4.7 当在香港地区应用时，挤扩支盘桩的材料、作用分类、作用组合、持久状况桩身承载能力、抗裂验算和检测等应符合《基础设计和施工》（香港特别行政区土木工程拓展署土力工程处颁布）和《公路和铁路结构设计手册》（香港特别行政区政府路政署颁布）的规定；当在澳门地区应用时，其材料、作用分类、作用组合、持久状况桩身承载能力、抗裂验算和检测等应符合《基础设计指引》和《地工技术规章》（澳门特别行政区政府土地工务运输司颁布）的规定。

4.8 挤扩支盘桩碳排放可参照《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366）计算，当缺乏实际数据时，碳排放估算应按照附录 A 的指标采用。

5 勘察

5.1 一般规定

支盘桩的勘察可采用原位测试或室内试验方法，应在常规工程勘察的基础上，查明拟设支、盘土层的类别、状态、厚度、分布和工程特性。

条文说明

土层的工程特性显著影响支盘选取及布置，故支盘桩相对于传统摩擦桩和端承桩更关注桩身范围土层性状和分布。

5.2 勘察要求

5.2.1 工程地质勘探可采用钻探法进行，并应符合下列规定：

- a) 初步勘察阶段, 特大桥、大桥和中桥的钻孔数量应按表 2 确定。小桥的钻孔数量每座应不少于 1 个。当区域地质资料数据详实时，可适当减少初勘钻孔数量；

表2 初步勘察阶段桥位钻孔数量表

桥梁类型	工程地质条件简单	工程地质条件较复杂或复杂
中桥	2~3	3~4
大桥	3~5	5~8
特大桥	≥7	≥9

- b) 详细勘察阶段，桥位钻孔布设原则上每个墩（台）应不少于 1 个，遇有断层带、软弱夹层等不良地质或工程地质条件复杂时，应结合现场地质条件及基础设计要求确定每个墩台的钻孔数量。钻孔深度应至持力层或桩端以下 3~5 倍桩径；

c) 钻孔取样后应按分层进行标贯试验,一遇变层应立即进行标贯试验,试验间距一般不宜大于 5m。

5.2.2 地震动峰值加速度大于或等于 0.1g 的地区,地面以下 20m 的深度范围内有饱和砂土、粉土时,应进行地震液化工程地质勘察。

5.2.3 勘察报告应满足如下要求:

- a) 初步勘察阶段应对支盘桩基础的适用性进行分析评价;
- b) 详细勘察阶段报告宜包括下列内容:
 - 1) 用于承载力与变形计算的岩土体参数;
 - 2) 应对场地水文地质条件进行说明,并进行分析和评价;
 - 3) 场地及其周边的地下管线和地下构筑物等分布和影响描述;
 - 4) 场地及其周边的不良地质现象,如花岗岩球状风化、坚硬夹层、岩溶、土洞、构造断裂等,应提供分布情况、影响描述及支盘适用性分析;
 - 5) 应对场地地表水、地下水和地基土对桩基腐蚀性进行评价;
 - 6) 对桩端持力层的选择、支和盘的设置位置等提出建议;
 - 7) 对岩溶地区顶板稳定性和上覆土层设置支盘的适用性进行评价。

条文说明

地质/岩土工程师需掌握支盘桩适用条件范围,根据支盘桩受力特点、设备能力和地质特征给出支盘桩适用性及相关建议。

5.2.4 在挤扩施工过程中,当发现与原地质勘察资料差异较大时,应进行补充勘察,以获取准确的土层类别、状态、厚度、分布状况和相关物理力学参数,并进行动态设计。

5.2.5 原位测试可采用标准贯入法及静力触探法,以取得标贯值和静力触探值,并可采用施工过程挤扩压力值对其进行校验和复核,对应参数应符合附录 B 要求。

条文说明

挤扩压力值与标贯值、静力触探值的多年经验对比参数已较准确,因此可采用经验法,以实测挤扩压力值校对勘察数据,见附录 B。针对港澳地区与内地勘察手段不同、地质勘察评估方法不同、参数标准不一致等问题,可采用原位实测法,通过对比施工过程中取得的实际挤扩压力值与地质勘察数据,逐步建立相互关系以解决上述相关问题。

因设计阶段需要确定挤扩压力值标准值,三地可采用挤扩压力值与各种原位勘察数据多年取得的经验值作为对比标准,作为一种统一的勘察设计依据。

挤扩压力值是通过挤扩支盘机弓臂与土体相互作用直接取得原状土体强度的方法,可以作为原位勘察手段数据的数据校核方法。附录 B 中支盘端土端阻力与挤扩压力值的关系,是多年通过静载荷试验获得支盘端土实际承载能力与施工过程中挤扩压力值的经验值归纳。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 挤扩支盘桩设计应综合考虑支盘适用土层、荷载特征、变形要求、施工设备、施工质量保证和社会经济效益等因素。

条文说明

挤扩支盘桩设计考虑的因素中,支盘适用土层是指根据土的标贯等重要参数初步确定支或盘的位置,荷载特征是指支盘与土的承压受力不同于桩侧与土的摩擦受力,变形要求是指挤扩支盘桩具有变形小且为缓变形特征,社会效益是指对原材料节省、节能减排、提质增效和品质工程的要求。

6.1.2 挤扩支盘桩适用于具有一定厚度的可挤扩成稳定的支腔、盘腔的土层。

6.1.3 设计阶段应预设承载力调控措施,施工阶段应利用挤扩技术对勘察参数的校核作用,进行支盘动态调控,确保桩基安全、耐久。

6.1.4 挤扩支盘桩设计宜采用动态设计原则,根据地质条件和构造要求可采取预设支、盘方法,施工过程中将钻孔、挤扩支盘过程中采集到的参数信息与设计要求对比分析,当预计承载力不满足设计要求时,应采取动态调控措施,使承载力满足设计要求。

条文说明

动态设计原则是在施工阶段中以设计阶段施工图为基础,不断调整、优化设计施工图的设计方法,对挤扩支盘桩的实施具有重要意义。采用动态设计原则时,首先在设计阶段施工图中明确对施工的要求,在施工阶段密切关注施工现场

的地质状况、施工进度以及监测的反馈信息，并根据实际地质状况和监测信息对原设计进行校核，必要时采用动态调控措施。

挤扩过程中通过挤扩压力值、设备上抬值等指标获得土层的多种参数信息，进行支盘承载性能检验，既检验了桩基承载力，又对地质勘察资料进行了验证。施工过程中当遇到岩溶、孤石等地质突变、桩基塌孔或掉钻等特殊情况时，采用支盘动态调控措施经济便捷，有利于保证承载力满足要求。

6.2 构造

6.2.1 桩的布置和间距应符合下列规定：

- a) 挤扩支盘桩的布置，应根据结构受力和地质条件，可采用单桩或群桩基础；
- b) 支盘桩群桩设计时，相邻桩的支盘标高可采用上下错开布置；
- c) 挤扩支盘桩桩间距不应小于主桩径的 2.5 倍，且不应小于支盘直径的 1.5 倍；
- d) 挤扩支盘桩的支盘与邻近结构物或构筑物的净距不宜小于 2.5 倍支长或盘环宽，且不宜小于 3.0m。

条文说明

桩的最小间距由横向盘间受力和盘间合理的施工间距确定。

6.2.2 支、盘适用土层及设置的适用条件：

- a) 支、盘宜设置在可塑、硬塑、坚硬的黏性土或砂土、碎石土中，可参考表 3 选用；
- b) 较软土层宜设置支结构，较硬土层宜设置盘结构。轻微液化砂土层可设置支结构。遇花岗岩地质、残积土和全风化土宜设置支结构，强风化土宜设置盘结构。遇花岗岩球状风化发育、风化夹层地质，宜在孤石或风化夹层上下设置支盘。遇岩溶地质，宜利用上覆层设置支盘，宜采用多支结构，盘不宜少于一个；

表3 支、盘适用土层及设置的适用条件

设置要求	淤泥 未固结淤泥质土 松散砂土 可液化土	淤泥质土 轻微液化土	残积土 全风化岩 软塑~可塑黏性土	硬塑黏性土 稍密~中密 砂土	坚硬黏性土 密实粉土砂土	圆砾角砾 卵石碎石 强风化极软岩
支结构	不宜	可	宜	可	宜，标贯≥60 击时 宜设置在表层	宜，标贯≥60 击时 宜设置在表层
盘结构	不应	不应	不宜	可	宜，标贯≥60 击时 宜设置在表层	宜，标贯≥60 击时 宜设置在表层

条文说明

试桩结果表明，淤泥质土（标贯≥4击）挤扩压力值、支腔检测数据及静载试验数据与可塑黏性土相应指标接近，可设置支结构；残积土支端土承载力高，宜设置支结构；全风化岩土结构孔隙大、较松散、遇水软化、不密实，盘体挤扩过程塌落比大，静载试验承载力不高，不宜设盘，宜设置支结构，支腔压硬程度高，能够改良土结构、保证端承载力。

在广东汕头风东路工程，桥梁桩基于淤泥质粉质粘土层设置六星支结构，经静载试验和内力测试表明，支结构在软土层内力作用发挥稳定，满足设计要求。

浙江宁波绕城高速东段项目（五乡互通）桥梁桩于全风化和强风化层设置盘结构；广东滨海大道项目隧道抗浮桩于全风化和强风化层设置盘结构；广东南中高速公路项目桥梁桩基于稍密砂土层设置盘结构。以上项目试验均表明支、盘结构在相应土层内力作用发挥稳定，满足设计要求。

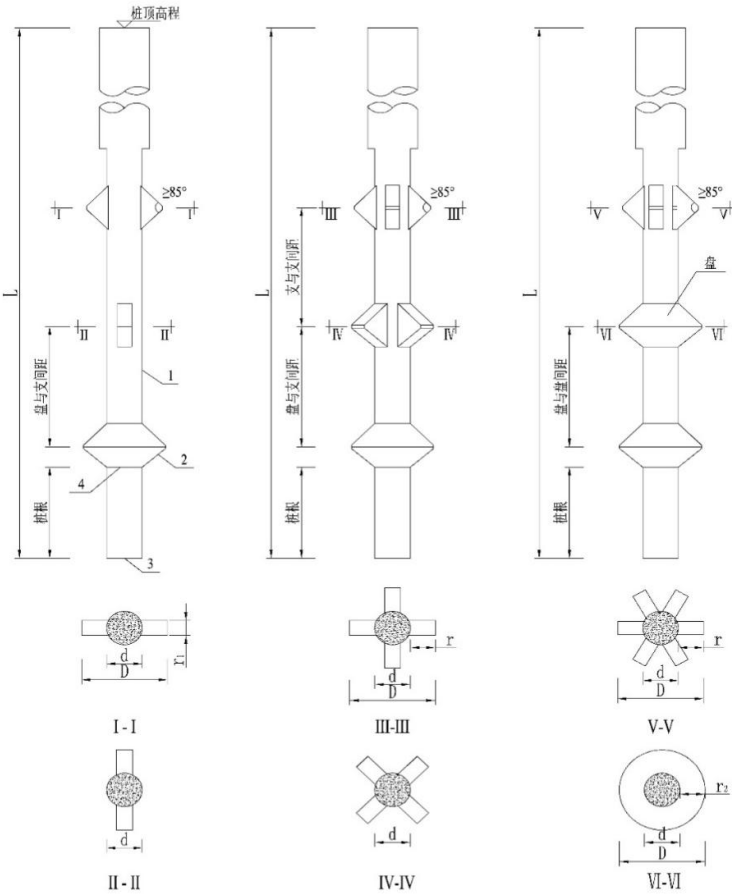
6.2.3 支盘的总体布置应符合下列规定：

- a) 支或盘底进入持力层的深度宜大于 1.0 倍的支或盘的高度，对碎石土、强风化、软质岩等硬土宜大于 0.5 倍支盘高度；当存在软弱下卧层时，最下支或盘底距软弱下卧层顶面的距离不宜小于 9 倍支长或盘环宽；
- b) 设置支的适宜持力层厚度宜大于 3 倍支长，设置盘的适宜持力层厚度宜大于 4 倍盘环宽。持力层一般采用单一土层，当支盘端土层厚度较薄时，也可采用不同土层；
- c) 对于抗拔桩，应设置在成盘土层的中下部，盘体应全部进入成盘土层，并距软弱上覆土层底面的距离不宜小于 4 倍盘环宽。顶部抗拉支盘应满足最小埋置深度要求；
- d) 抗浮结构和抗拔结构支盘设计时，宜设置支结构，并应至少设置 1 个盘；
- e) 岩溶地质应充分利用覆盖层布置支盘，宜采用多结构挤扩支盘桩；

- f) 支、盘布置应符合表 4 的要求。
- g) 河床有冲刷时，支盘应设置在最低冲刷线 2m 以下；
- h) 桩根一般不小于 2 倍桩径；
- i) 桩端以下持力层厚度不宜小于 2 倍支盘高；
- j) 横向相邻支盘桩的盘位可上下错开布置；
- k) 支、盘布置示意图 1。

表4 支、盘最小竖向间距和上下设置要求

支盘位置	最小竖向间距	上下设置要求
二星支	3 倍支长	错开 90 度
四星支	4 倍支长	错开 45 度
六星支	4 倍支长	错开 30 度
八星支	4.5 倍支长	错开 22.5 度
盘与支	6 倍支长	-
盘与盘	8 倍盘环宽	-



标引序号说明：

- 1——主桩；
- 2——底盘；
- 3——桩底；
- 4——盘底。

d表示主桩桩径；D表示支盘直径；L表示桩基长度；r表示支长；r₁表示支宽；r₂表示盘环宽。

图1 支、盘布置示意图

条文说明

持力层采用不同土层时,支或盘端土的承载力特征值取最不利土层参数。支盘最小竖向间距主要由施工因素确定,考虑了挤扩施工操作空间要求。

试验揭示支盘端阻群桩效应系数未有折减,为规避支盘挤扩作业施工的不确定性,相邻桩支盘横向间距小于 1.5D 时,可上下错开布置。

桩根为底盘(底支)底部至桩端的距离,由于桩基挤扩过程中可能产生塌落物,为避免底盘(底支)被埋置,一般预留一定长度的桩根,一般取 3m~6m,地质条件好时取低值,地质条件差时取高值。

6.2.4 支盘的尺寸宜满足下列构造要求:

- a) 支长或盘环宽宜根据桩的承载力需要和施工工艺及设备条件确定;
- b) 挤扩支盘桩规格尺寸应按照附录 C 选取,设计可根据实际需求以及设备工艺发展做适当调整。

条文说明

挤扩比取决于设备动力和尺寸,可随设备改型而改变,增加挤扩比目的为提高压硬土承载能力。挤扩比较大时,承力盘挤扩成形土体塌落较多,为控制塌落比,需采用步进挤压成盘施工工艺,减少土体塌落,保障盘周土压硬挤密。

6.2.5 挤扩支盘桩的配筋和变径设计应满足下列要求:

- a) 主桩内受力钢筋、构造钢筋的尺寸、数量、间距、与承台的连接,均应符合《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)的规定。
- b) 主桩钢筋截面变化处宜避开支盘位置,且距离支盘底面 50cm 以下。支盘腔位置宜保证主桩钢筋最小净距不小于混凝土粗骨料的 2.5 倍。
- c) 主桩采用变径设计时,宜在最不利荷载作用弯矩零点以下改变主桩径,截面比不宜小于 0.5。受水平力控制的基桩,可采用较大截面比变桩径支盘桩,但截面比不应小于 0.4。变桩径支盘桩钢筋接头应避开变径位置。

6.3 计算

6.3.1 挤扩支盘桩构件按承载力极限状态设计时,应符合公式(1)要求:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad \text{..... (1)}$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数;

S_d ——作用组合的效应设计值;

R_d ——结构或构件的抗力设计值。

6.3.2 桩基刚度相近时,挤扩支盘桩单桩作用于承台底面的轴向力设计值可按公式(2)计算,计算图示见图 2;桩基刚度差异较大时,可采用现场试验沉降位移法确定竖向刚度,通过有限元或有限差分法软件分析确定单桩轴向力设计值。

$$N_{id} = \frac{F_d}{n_0} \pm \frac{M_{xd}y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_{yd}x_i}{\sum x_i^2} \quad \text{..... (2)}$$

式中:

N_{id} ——第*i*根桩作用于承台底面的轴向力设计值(kN);

F_d ——由承台底面以上的作用组合产生的轴向力设计值(kN);

M_{xd} ——由承台底面以上的作用组合绕通过桩群形心的*x*轴的弯矩设计值(kN·m);

M_{yd} ——由承台底面以上的作用组合绕通过桩群形心的*y*轴的弯矩设计值(kN·m);

n_0 ——承台下面桩的总根数;

x_i ——第*i*排桩中心至*x*轴的距离(m);

y_i ——第*i*排桩中心至*y*轴的距离(m)。

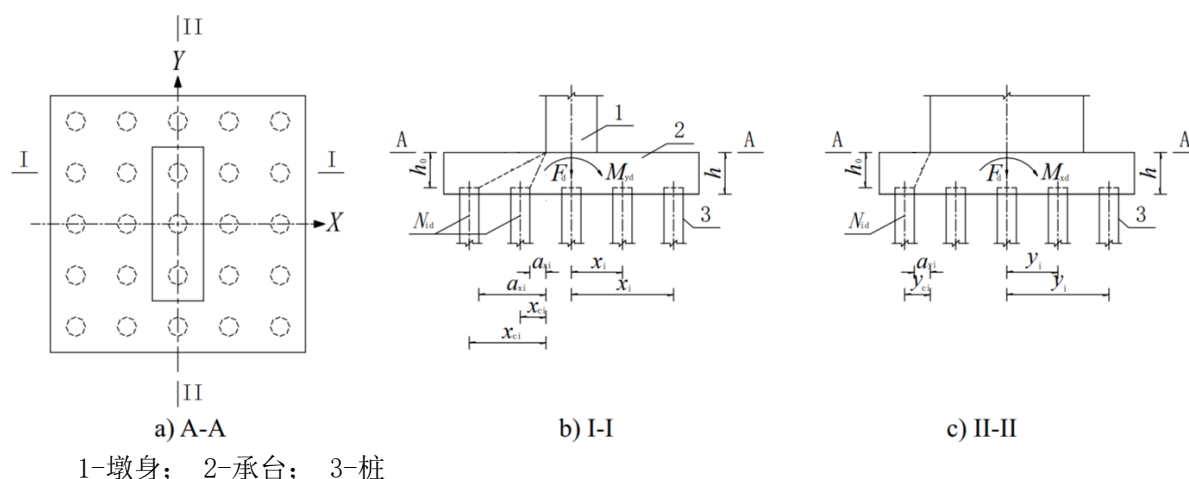


图2 桩基轴向力计算示意图

6.3.3 挤扩支盘桩的桩身弯矩计算可不考虑弯矩零点以上支盘的作用。

6.3.4 挤扩支盘桩单桩轴向受压承载力特征值 R_a 可按公式(3)计算：

$$\begin{cases} R_a = \frac{1}{K} (u_i \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + \eta \sum q_{ik} S_{iz}) + \frac{2}{K} (\sum_{j=1}^m A_{pj} q_{rj} + A_p q_r) \\ q_{rj} = m_0 \lambda [f_{aj} + k_2 \gamma_2 (h_j - 3)] \\ q_r = m_0 \lambda [f_{a0} + k_2 \gamma_2 (h - 3)] \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

R_a ——单桩轴向受压承载力特征值(kN)。桩身自重与置换土重(当自重计入浮力时,置换土重也计入浮力)的差值计入作用效应；

K ——结构韧性等级为二级时 K 取2.0,结构韧性等级为一级时 K 取2.5；

u_i ——对应段的主桩周长(m)；

n ——土的层数；

q_{ik} ——与 l_i 对应的各土层与桩侧的摩阻力标准值(kPa)；宜采用单桩摩阻力试验确定,当无试验条件时按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363表6.3.3-1选用,变截面以上2d长度范围内不计摩阻力；

l_i ——承台底面或局部冲刷线以下第 i 层土的厚度(m),当该层土内设有支、盘时,应减去每个支高和盘高的1.5倍；

η ——支侧摩阻折减系数,二分支取0.7,四分支取0.6,六分支取0.5,八分支取0.4；

S_{iz} ——第 i 个支的总侧面积(m^2),取第 i 个支侧面积乘以2倍的分支数量,二分支数量为2、四分支数量为4、六分支数量为6、八分支数量为8；

m ——支、盘的总数；

A_{pj} ——第 j 个支或盘的面积(扣除主桩的面积)(m^2)；

q_{rj} ——第 j 个支或盘端土的承载力特征值(kPa),按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)表4.3.3条确定；支盘埋深小于20m时, q_{rj} 不宜小于附录B相应取值的一半。

A_p ——桩端截面面积(m^2)；

q_r ——桩端处土的承载力特征值(kPa)；

m_0 ——清底系数,按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)表6.3.3-3选用；

λ ——修正系数,按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)表6.3.3-2选用；

f_{aj} ——支盘处土的承载力特征值(kPa)；

f_{a0} ——地基承载力特征值(kPa)；

k_2 ——承载力特征值的深度修正系数,根据持力层土的类别,按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)表4.3.4选用。

γ_2 ——桩端、盘端和支端以上各土层的加权平均重度 (kN/m^3)，若持力层在水位以下且不透水时，均应取饱和重度；当持力层透水时，水中部分土层取浮重度。

h_j ——支盘端的埋置深度 (m)；

h ——桩端的埋置深度 (m)，对有冲刷的桩基，埋深由局部冲刷线起算；对无冲刷的桩基，埋深由天然地面线或实际开挖后的地面线起算； h 的计算值不应大于40m，若 h 大于40m时，取40m。

条文说明

本公式采用《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)，对支或盘端土的承载力特征值、承载力特征值的深度修正系数的取值根据实践进行了补充。桩基深度较小时，修正后竖向承载力特征值过小，故明确下限，即不宜小于附录B相应数值的一半。

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)第9.5.4条文说明，经多年积累和分析，提出以下公式作为对公式(3)校核验算公式，该公式在工业与民用建筑行业有较为广泛的应用，可通过静载试验及支盘内力测试进一步优化以下公式参数。

$$R_a = \frac{R}{K} \dots\dots\dots (4)$$

$$R = u_i \sum q_{ik} l_i + \eta \sum q_{ik} S_{iz} + \sum A_{pj} q_{pkj} + A_p q_{pk} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R ——单桩竖向极限承载力 (kN)；

q_{pkj} ——桩身上第 j 个盘所支承的土的极限承载力标准值 (kPa)，该值取支盘端土实测的承载力值，无实测值时取地勘资料提出的极限承载力端阻值，地勘未提供时应按附录B取值；

q_{pk} ——桩端极限承载力标准值 (kPa)，应按附录B值。

6.3.5 挤扩支盘桩单桩轴向受拉承载力特征值 R_t 可按公式(6)计算，计入的支、盘其顶面以上持力层应符合6.2.3的规定。

$$R_t = 0.3(u_i \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + \eta \sum q_{ik} S_{iz}) + 0.8 \sum_{j=1}^m A_{pj} q_{rj} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

R_t ——单桩轴向受拉承载力特征值 (kN)。

条文说明

本公式采用《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363，基于工业与民用建筑经验公式确定。

6.3.6 挤扩支盘桩的水平承载能力可不考虑支盘的不利作用。

6.3.7 在进行支盘抗剪承载力计算时，盘体剪压计算截面示意图见图3，支盘抗剪承载力设计值可按公式(7)计算。

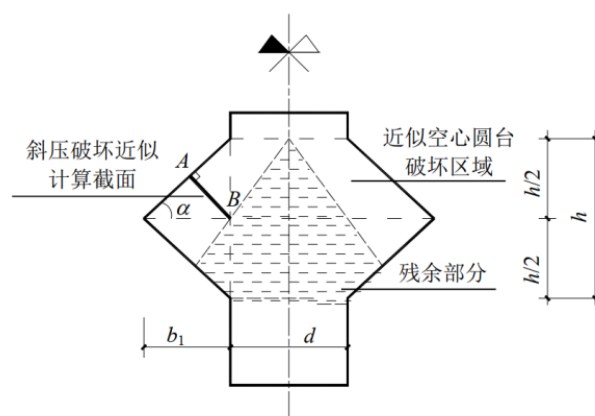


图3 盘体剪压计算截面示意图

$$P_c = \eta_c \beta f_c \pi (b_1^2 \sin^2 \alpha + d b_1) \sin^2 \alpha \dots\dots\dots (7)$$

式中：

P_c ——盘体抗剪承载力设计值 (N)；

f_c ——混凝土的轴心抗压强度设计值 (MPa) ;
 η_c ——折减系数, 盘结构 $\eta_c = 0.8$, 支结构 $\eta_c = 0.8A_{pz}/A_{pp}$, A_{pz} 为该支面积, A_{pp} 为盘环宽度与该支长相条件下的盘面积;
 β ——修正系数, 取0.5~0.6;
 α ——支盘上斜面角;
 b_1 ——盘环宽度 (mm) ;
 d ——主桩桩径 (mm) 。

条文说明

公式来源于“巨玉文等. 挤扩支盘桩中支盘破坏形态的试验研究[J]. 工程力学, 2013, 30 (5) , 188~194”。通过多年大量的支盘室内模型荷载试验及结果分析, 深入研究支盘本身的力学性能, 建立了支盘的强度理论公式。根据支盘试验的荷载-位移全程曲线, 揭示了在 $2 \leq h/b_1 \leq 2.5$ 且假设直桩部分强度足够大的试验条件下支盘的破坏形态为斜压破坏。影响支盘抗剪承载力的主要因素有混凝土抗压强度、支盘的高宽比 h/b_1 和盘径比 D/d , 支盘的抗剪承载力与混凝土抗压强度大致成正比关系, 且随着 h/b_1 和 D/d 的增大而增大。工程实践表明, 支盘抗剪承载力安全富余较大, 支盘抗剪不控制设计, 故支盘内不配筋。

6.3.8 多支盘结构挤扩支盘桩的桩顶沉降量可按公式 (8) 计算:

$$s = \int_0^L \frac{N_i}{A_i E} dL \dots\dots\dots (8)$$

式中:

s ——桩顶沉降量 (mm) ;
 L ——桩基长度 (mm) ;
 N_i ——沿桩身第*i*段作用效应准永久组合桩身轴力 (N) ;
 A_i ——沿桩身第*i*段桩身截面面积 (mm²) ;
 E ——桩身混凝土弹性模量 (MPa) ;

条文说明

多支盘结构挤扩支盘桩单桩同时设置3个或以上支或盘, 大量的挤扩支盘桩荷载测试数据表明其承力主要由支、盘端和桩身承担, 桩端基本不受力, 故桩端土的压缩几乎可忽略不计, 桩顶沉降变形量主要由主桩的弹性压缩变形值。式8为积分公式, 由于桩身轴力一般沿竖向变化, 简化计算时可根据分段轴力逐段计算后求和。当桩端阻力发挥作用时, 尚应计入桩端以下土层压缩量, 可参考《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363), 采用分层总和法计算。

6.4 韧性设计

韧性等级为一级的支盘桩结构为韧性支盘桩结构, 呈高承载、低变形特征, 一般设置不少于5个支或盘结构, 单桩轴向承载力安全系数K大于或等于2.5, 活载作用下桩顶沉降量一般小于5mm。韧性支盘桩结构的承力角宜采用支盘韧性角, 即承压面与水平面夹角宜在20°~45°范围, 较软土层取小值, 较硬土层取大值。

条文说明

支盘结构在服役过程中产生变形和沉降, 是土在承压条件下持续压硬的过程, 也就是地基土性能增强的过程, 此承载力随荷载增大而增加的特性即为韧性服役能力; 遇较硬土层时加大韧性角, 可产生较好的扩散作用, 使更大范围土体参与受力, 能产生更强的地基土承载增强效应; 遇较软土层时韧性角取小值; 施工和营运过程中对土体压硬程度提高, 土与支盘及支与主桩形成类似木结构的榫卯结构。

6.5 支盘承载力调控

6.5.1 设计应预设承载力调控措施, 明确各支盘土层的挤扩压力最低值标准, 根据地质条件和构造要求预留一定数量的备用支、盘位置, 支盘竖向间距应预留根据现场土层变化进行调整的空间。

条文说明

备用支盘位置可用于增加支盘数量。支盘持力层与设计存在标高差异时, 可以调整支盘位置, 支盘竖向间距预留空间可保证位置在调整后竖向间距仍能满足要求。

6.5.2 设计应动态跟踪施工过程中采集的信息并与设计要求对比分析, 当发生以下情况时, 应及时采取支盘承载力调控措施:

a) 根据每桩成孔时地层变化动态跟踪, 当支盘持力层与设计存在标高差异时;

- b) 根据每桩成孔后孔径检测结果,当支盘处出现严重的塌孔、缩孔等影响支盘受力或无法继续施工时;
- c) 根据每支盘挤扩施工时采用首次挤扩压力值校核持力层土体物理力学性能结果,当首次挤扩压力值小于设计规定的最小值并超出允许误差时;
- d) 根据每盘采用挤扩压硬值校核支盘腔稳定性结果,当小于设计规定值或允许误差时;
- e) 根据每桩挤扩完成后支盘腔完整性检测结果,当检测支盘腔几何尺寸小于设计规定值并超出允许误差时。

条文说明

通过20余万根支盘桩的数据总结,挤扩压力值可作为支盘持力层承载力的表征值,首次挤扩压力值是支盘挤扩时首次张开弓臂挤扩时所获得的压力值,一般为挤扩压力值的最大值,此时周围土体尚未形成空腔,可作为土体旁压检测的有效数值。

挤扩压硬值是获取支盘腔完整性质量数据的表征值,在工业与民用建筑领域已有近十年的积累。支腔同一标高多次挤压的挤扩压力值,受土的状态变化或孔的不稳定状态影响,会出现大小偏差,因而取最小值;盘腔挤扩时,第一次为满腹挤压,首压值稳定,第二次及后面是叠加挤压,偏低,因而取第二次挤扩压力值。

调控措施的目的是保证桩基承载力满足要求,影响支盘承载能力的主要因素为支盘持力层及支盘腔尺寸,挤扩施工过程中可以通过钻孔揭示的土层变化、挤扩压力值、设备上抬值等指标获得持力层参数信息,通过孔径和支盘腔检测、挤扩压硬值获得支盘腔尺寸结果,进行支盘承载能力评估,如果结果表明承载能力不能满足设计要求,必须采取支盘承载力调控措施,以保证桩基承载力满足设计要求。

6.5.3 调控措施包括:

- a) 调整支盘位置;
- b) 支结构增加分支数;
- c) 支结构改承力盘;
- d) 增加支盘数量;
- e) 增大支盘直径。

条文说明

调整支盘位置,是根据成孔时地层变化动态竖向局部调整,保证支盘持力层满足要求,调整后支盘竖向间距应满足要求。支结构增加分支数,一般措施为四星支改六星支、六星支改八星支。支结构改承力盘,应满足盘的设置要求。增加支盘数量需在设计时预留一定数量的备用支、盘位置。增大支盘直径,通过增加承压面积,以达到提高承载力的目的。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 支盘挤扩应由熟练挤扩技术和工艺的专业队伍进行施工。挤扩支盘施工前应进行专业技能培训。

7.1.2 挤扩支盘桩施工前应先试成孔,利用挤扩支盘设备对土层探查检验的手段,验证施工工艺、设计参数和质检技术参数。

条文说明

试成孔是非原位试验孔,可在首件中进行,施工前应选择具有代表性的地质区域试验,试验结束后可采用级配砂石回填。

7.1.3 挤扩支盘桩施工实行首件工程认可制度,及时总结并改进施工工艺和质量控制措施。

7.1.4 主桩施工与支盘挤扩成形密切相关,宜遵循一体化理念,加强主桩施工与支盘施工的管理与协调,确保各工序有效衔接。

7.1.5 施工组织设计宜明确邻近结构物或构筑物条件下支盘挤扩作业要求。

7.1.6 在成孔、挤扩过程中,当发现地质情况与勘察资料差异较大时,应补充勘察。

7.1.7 施工过程中,泥浆面应高于护筒底边,支盘作业泥浆下降明显时,应及时补浆。施工期间,泥浆面应高出地下水面1m以上,在受水位涨落影响时,泥浆面标高应高出最高水位1m以上。

7.1.8 施工过程中,应采集土体的挤扩压力值和挤扩压硬值数据,检查支盘标高、盘腔尺寸和支盘腔沉渣等数据。

7.1.9 施工过程中,应根据采集的挤扩压力值验证支盘承载力,根据采集的挤扩压硬值数据检验支盘腔完整性和稳定性,并反馈设计单位,根据施工图设计明确的调控措施进行动态设计。

7.1.10 挤扩支盘桩施工流程图见图 4。

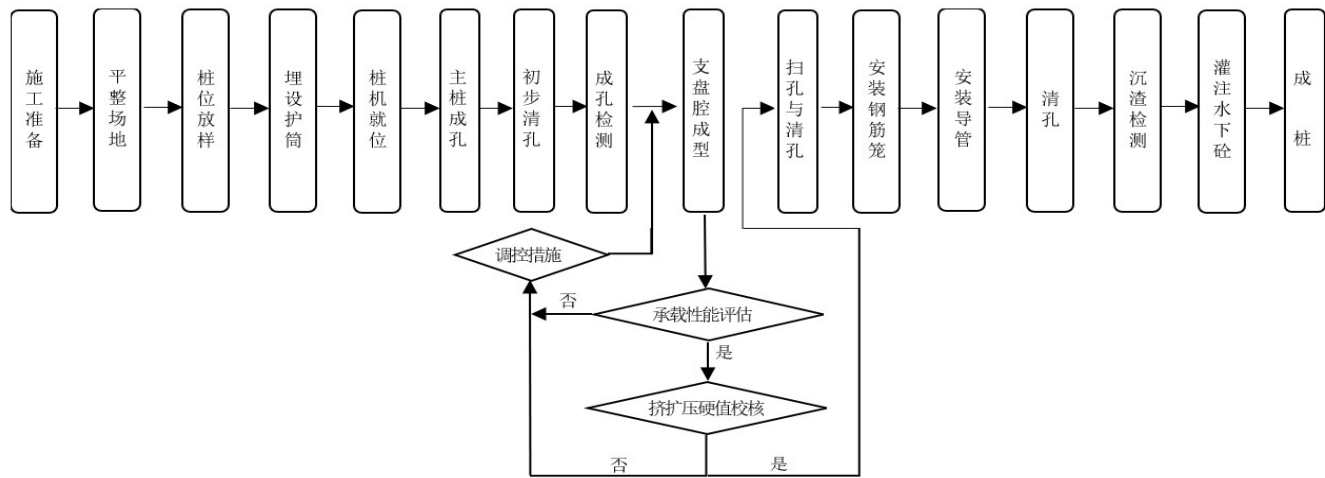


图4 挤扩支盘桩施工流程图

条文说明

支盘桩主桩成孔后要要进行支盘挤扩作业，在支盘腔挤扩成型对土体挤密压硬过程中会产生部分土体塌落，泥浆在静浆状态下也会产生沉淀物，所以主桩成孔后的第一次初步清孔不做指标性要求。

7.1.11 挤扩支盘桩主桩成孔、钢筋笼制作和安装、清孔、混凝土灌注应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）或地区标准的有关规定。

7.1.12 挤扩支盘桩施工应符合国家和所在地区的环保法规要求，应结合工程特点，制定具体的方案并付诸实施，减少对生态环境的改变，降低对环境的污染。

7.2 施工准备

7.2.1 在开工前，应组织技术人员熟悉设计图纸，领会设计意图，编制专项施工组织设计，并进行技术交底。

7.2.2 施工组织设计应对软弱土层及复杂地质提出技术预案，并明确支盘腔清理有效措施。

条文说明

挤扩过程产生的沉渣过多时，可能导致底盘（底支）被埋置，需对其进行有效清理，可在钻机回钻清孔时，在支盘腔位置反循环清理，也可在钻杆上设置清盘装置进行清理。

7.2.3 应根据地质情况和支盘尺寸选择匹配的支盘设备，对设备弓臂长度、弓臂内角、弓臂宽度进行检查，校核支盘承力角、支盘上斜面角、支盘内角、挤扩比、挤扩回弹率是否符合设计规定。对于硬塑～坚硬粘性土、密实粉土、砂土、砂砾（标贯 $N > 25$ 击）、中密～密实碎石土和强风化软质岩（标贯 > 25 击）宜采用增压型挤扩支盘机。对于塑性指数大于 15 的粘性土、含水量大于 30% 的粘性土、软可塑粘性土、中密以下粉土、砂土、中密碎石土宜采用宽径比大于 0.2 的挤扩支盘机，且挤扩叠加率应大于 10%。考虑到支盘挤扩施工后扫孔导致扩孔等影响，支盘机选取时弓臂尺寸应保证大于支盘径，一般可按增大 5% 控制。

7.2.4 进场前应对挤扩设备油压表进行标定，并提交必要的设备检验检测合格证明。支盘施工前应对挤扩设备及配套系统进行检查和测试。在施工过程中，每隔 6 个月应对挤扩设备油压表进行再次标定，如有更换油泵、油管等其他设备的应对油压表重新进行标定。

施工便道、便桥和施工平台应能满足挤扩设备的运输、安装和作业要求。

条文说明

挤扩支盘机主要由主机及液压站组成，支盘挤扩施工时，需设置孔口平台，主机需要吊装设备起吊及接管。

7.3 主桩成孔

7.3.1 桩的中心距小于或等于两倍支盘直径时，宜间隔施工，也可在相邻支盘桩灌注完成 12 小时后进行施工。

7.3.2 变桩径主桩成孔宜采用先成孔较大直径段，确定变径标高后，换较小钻头下孔定位继续钻进，完成变径桩孔，以保证大直径和小直径桩孔中心重合。

条文说明

钻机提钻移机、更换钻头后重新就位的方法，不同直径桩孔中心容易偏位，因此建议采用不移位拆卸钻头。

7.3.3 护筒的设置应考虑支盘机作业过程对其稳定性的要求，包括最小内径、护筒壁厚、外壁刚度加强、垂直度、入土深度等，宜采用打设方式。

条文说明

支盘操作孔口平台的设置需考虑支盘机和支盘技工人员的重量，必要时进行孔口硬化，确保受力满足要求。

7.3.4 每桩成孔时应动态跟踪地层变化，及时取样与勘察资料进行核对并做好记录，以便设计单位采取调整支盘位置等措施。

7.3.5 主桩终孔后应检查孔深、孔径、钻孔斜度、泥浆比重和沉渣厚度，宜在清孔后进行检验。当支盘处出现严重塌孔、缩孔等影响支盘受力和无法继续施工时，应及时反馈设计，以便采取调控措施。

7.3.6 主桩孔检验合格后，主孔成孔施工和支盘挤扩施工应及时工序交接，紧密衔接，并参考附录 D 填写交接单。

7.4 支盘腔挤扩施工

7.4.1 支盘腔挤扩施工前，应根据主桩成孔时所掌握的地层变化情况及施工过程中抛石纠偏处理等因素，由设计确定是否需要采取调整支盘位置等措施。

7.4.2 支盘腔挤扩孔口平台应平整稳定，支盘刻度清晰准确，角度测量、支盘标高测量、设备上抬值测量仪器齐全。

7.4.3 支盘腔挤扩施工前，应做好支盘作业技术交底，并参考附录 D 要求填写挤扩支盘桩挤扩作业交底卡。

7.4.4 挤扩支盘作业宜自下而上进行，每支盘按刻度盘上的分度次序将挤扩设备转动和挤扩成支或盘。成盘时应保证每次挤扩叠加率不低于 10%，以确保承力盘的完整性和同心度。

7.4.5 较松软地层中设置盘结构、较硬地层采用窄臂设备或挤扩比大于 3 时，宜采用步进挤压工艺。施工方案需明确步进次数、每周挤压次数、原位挤压叠加率、挤扩回弹质量和挤扩比等质量保障措施。

条文说明

一次挤扩即形成二星支，将挤扩支盘机转动相应角度再挤扩可形成四~八星支。成盘需要支盘机连续转动一定角度挤扩，逐次叠加形成一个盘，盘腔实际是每次挤扩成孔包络线。保证成盘质量应保证每次挤扩部分重叠，主要通过控制旋转角度及挤扩次数。最小挤扩次数与挤扩设备臂宽和盘径有关，可根据公式 (9) 计算，实际挤扩次数在最小挤扩次数增加 1~2 次。

$$n \geq 1.1 \times \frac{180^\circ}{\tan^{-1}(2b/D)} \quad (n \text{ 取整数}) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

b—挤扩设备臂宽；

D—支盘直径。

7.4.6 挤扩过程中应做好以下观测、记录和拍照，并参考附录 E 填写挤扩支盘施工记录表。

- 观测每次挤扩压力表的压力值变化及油位计液面变化。记录首次压力值及各次挤扩压力值，以及挤扩全过程的起止时间。
- 观测设备上抬值，记录每次挤扩后设备上升情况。
- 观测孔中泥浆水位的变化，记录每个支或盘挤扩前后的泥浆液面下降尺寸及相关情况，每挤扩完成一处支盘后、挤扩设备离孔后应及时补充泥浆。
- 观测挤扩支盘设备的运行状况，听到有异响或看到有异常情况时要及时停止作业，对孔内情况及设备进行检查。

条文说明

挤扩压力值是每次挤扩时液压站液压表上的读数，同时建议对液压站油位计油面下降值进行观测。挤扩设备弓臂张开会反映到液压站的油压面上，挤扩设备在第一次下孔挤扩前空载张开弓臂，标记此时油面位置，挤扩过程中校核油面下降至标记位置，表明弓臂已张开，然后读取挤扩压力值，测量设备上抬值，综合判断挤扩达到设计尺寸。

挤扩支盘机结构特点会导致挤扩施工时发生设备向上移动的现象，如果设备上抬值不足，则说明弓臂没有完全张开。不同土体对于弓臂产生反力不同，使得设备上抬值也不同。设备上抬值不作为支盘腔质量的主要判定指标，仅侧面反映土层情况和支盘成型效果。

支盘腔形成后，孔内泥浆面会下降，理论上泥浆下降高度乘以钻孔面积所得体积等于支盘腔体积，通过每次挤扩后泥浆面下降高度可以复核支盘腔成型效果。实际挤扩过程中受孔底部分沉渣较厚、支盘腔土体部分回弹、人工测量误差等影响，测得体积会小于理论值。泥浆面下降值不作为支盘腔质量的主要判定指标。

7.4.7 每盘挤扩施工时应采用首次挤扩压力值校核持力层土体物理力学性能，当首次挤扩压力值小于设计规定值并超出允许偏差范围时，应及时反馈设计单位采取调控措施。

7.4.8 每盘应采用挤扩压硬值校核支盘腔稳定性，记录挤扩压硬值，当小于设计规定值并超出允许偏差时，应及时反馈设计单位采取调控措施。

7.4.9 经对首次挤扩压力值、支盘腔挤扩压硬值、设备上抬值、转角次数、泥浆下降情况进行校核后，可以进行扫孔及清孔后续作业。

7.5 扫孔与清孔

7.5.1 支盘挤扩完成后应对主桩孔重新进行钻进扫孔，钻机应重新精确就位。

条文说明

经检测发现，受支盘挤扩或土质影响，桩身会发生缩径及孔壁脱落现象，孔底沉渣较厚，需采用钻机进行扫孔。由于钻头四周受力不均，极易造成偏孔，扫孔时一定要定位精确、慢速钻进，防止扩孔较大从而削弱盘环宽度。

7.5.2 扫孔完成后进行清孔，支盘桩宜采用反循环清孔。

7.5.3 清孔后进行终孔检测，对主桩孔深、孔径、倾斜度、沉渣厚度、泥浆比重及支盘标高、数量、间距、支盘径和支盘腔高等指标进行检测，合格后进行安装钢筋笼工序，并参考附录 F 填写交接单。

7.6 安装钢筋笼与灌注混凝土

7.6.1 安装钢筋笼后灌注混凝土前应进行清孔。孔底沉渣厚度应符合设计规定。当设计采用多结构支盘桩，并明确在多支盘结构条件下不计入桩底承载力时，桩底沉渣不应超过 300mm；当设计无相关规定时，不应超过 100mm。

7.6.2 对设置有运营监测设备的桩基，应由专业人员进行监测传感器、数据线等设备的施工与安装，并应做好标记和保护。

7.6.3 应加强对灌注过程中混凝土高度和混凝土灌注量的测量和记录工作，与井径仪检测的盘腔数据相互校核。

条文说明

支盘腔挤扩成形时由于弓臂运行轨迹包络图尺寸比设计尺寸大，实际灌注量计算需要考虑超方系数。

8 质量检验及评定标准

8.1 一般规定

8.1.1 挤扩支盘桩宜遵循勘察、设计、施工、检测和运营监测等全过程质量数据控制原则。

8.1.2 全过程质量控制管理中，挤扩支盘桩工程质量检测优先级为支盘质量数据，支盘质量检测数据中，挤扩压力值及挤扩压硬值为质量检测优先级数据。

8.2 主桩成孔质量检验

8.2.1 主桩在终孔后应进行清孔，对主桩孔的孔位、孔径、孔深和倾斜度进行检验，并对孔底沉渣厚度进行检验。

8.2.2 主桩的孔径、孔深和倾斜度宜采用超声波成孔检测仪或电阻数字式井径仪检测。

条文说明

超声波成孔检测仪应用超声波反射技术实时测量探头与孔壁的距离转化成图像，可对孔径、孔深和倾斜度进行判断。

井径仪采用机械臂接触井壁方式测量井径，电阻数字式井径仪可把井径值数字化，形成井径变化曲线，对成孔直径和垂直度进行测量，获得支盘腔位置、高度和直径数据。

8.3 支盘腔过程质量检验

8.3.1 支盘挤扩施工后，应对支盘腔标高、支盘腔完整性和稳定性进行检验，并对支盘承载能力进行校核。

- 8.3.2 支盘腔高、支盘径等可采用电阻数字式井径仪或超声波成孔检测仪检测。
- 8.3.3 支盘承载力可通过首次挤扩压力值进行检测，其值应不小于设计规定值或在允许偏差范围内。
- 8.3.4 支盘腔稳定性可通过挤扩压硬值进行检测，其值应不小于设计规定值或在允许偏差范围内。

8.4 成桩质量检验

- 8.4.1 主桩完整性应逐桩检测，宜采用超声波透射法，必要时选取一定比例的桩基采用钻孔抽芯法检查。
- 8.4.2 当超声波透射法检测显示支盘对应主桩位置有明显缺陷时，应对该支盘体混凝土进行完整性检验。

条文说明

超声波透射法只检测主桩混凝土质量，支盘对应主桩桩身混凝土出现质量缺陷时，为保证支盘体混凝土质量，有必要对支盘体混凝土质量进行验证。

- 8.4.3 当需要对支盘体混凝土质量进行检验时，可采用桩外跨孔超声透射法、应力波反射法、钻孔抽芯法或其他有效检测方法。

条文说明

应力波反射法包括低应变和高应变反射波法，应根据桩身及周边岩土体特性选择合适的方法检测支盘体混凝土质量。

- 8.4.4 必要时通过单桩静载试验评价桩基变形性能和承载性能。单桩静载试验应符合《公路工程基桩检测技术规程》（JTG/T 3512）的要求。

条文说明

当静荷载试验试桩时，可通过桩身内力测试获取支盘端土承载力、桩侧土侧阻力和桩端土承载力。

- 8.4.5 可采用桩身内力测试法检验桩身截面质量，包括支盘结构强度质量检验和支盘结构完整性质量检验验证。

8.5 实测项目

挤扩支盘桩实测项目、要求及方法应符合表5规定。

表5 挤扩支盘桩实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	支盘中心深度（mm）	±300	丈量、电阻式井径仪（电脑显示图形及尺寸大小）或超声波成孔检测仪：每盘检查
2	支盘直径（mm）	砂性土：-0.05D 粘性土：-0.1D	电阻式井径仪（电脑显示图形及尺寸大小）或超声波成孔检测仪：每盘检查
3	支盘腔高（mm）	-150	电阻式井径仪（电脑显示图形及尺寸大小）或超声波成孔检测仪：每盘检查
4	首次挤扩压力值（Mpa）	-2	液压压力表或电子压力显示仪：每个支盘检查
5	挤扩压硬值（Mpa）	-1	液压压力表或电子压力显示仪：每个支盘检查
注1：D为支盘直径。			
注2：支盘直径检测受制于检测设备精度，故提出允许偏差要求。			

8.6 运营监测

- 8.6.1 运营期间，可通过支盘结构内力监测及基桩沉降监测，取得内力和沉降数据，以支盘内力监测数据为优先级数据，并结合施工过程中采集的挤扩压硬数据，进行支盘结构强度韧性评价和承载韧性评价，评价指标见表6和表7。

条文说明

挤扩支盘桩的多结构特征，通过各支盘内力测试，可实现支盘服役期间强度及承载韧性评价。在支盘顶部以及支盘底部，设置内力测试元件，通过每个支盘结构的截面内力值，得出评价指标，采用质量分析网络，实现支盘结构强度及承载韧性评价等质量结果评价。

表6 支盘结构强度韧性评价指标表

结构分类	支盘位 (由上至下)	支盘结构数量				
		2 个	3 个	4 个	5 个	≥6 个
韧性结构	第一个	—	$K_1 > 5$	$K_1 > 5$	$K_1 > 6$	$K_1 > 6$
	第二个	—	$K_1 > 6$	$K_1 > 6$	$K_1 > 8$	$K_1 > 8$
	第三个	—	$K_1 > 8$	$K_1 > 8$	$K_1 > 10$	$K_1 > 10$
	第四个	—	—	$K_1 > 10$	$K_1 > 12$	$K_1 > 12$
	第五个	—	—	—	$K_1 > 15$	$K_1 > 14$
	第 n 个	—	—	—	—	$K_1 > 16$
常规结构	第一个	$K_1 > 3$	$K_1 > 3$	$K_1 > 3$	$K_1 > 4$	$K_1 > 4$
	第二个	$K_1 > 4$	$K_1 > 4$	$K_1 > 4$	$K_1 > 5$	$K_1 > 6$
	第三个	—	$K_1 > 5$	$K_1 > 5$	$K_1 > 6$	$K_1 > 8$
	第四个	—	—	$K_1 > 6$	$K_1 > 7$	$K_1 > 9$
	第五个	—	—	—	$K_1 > 8$	$K_1 > 10$
	第 n 个	—	—	—	—	$K_1 > 12$
注： K_1 为支盘结构强度韧性指标，取 $K_1 = f_{cd}/\sigma_c$ 。 f_{cd} 为支盘结构混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）， σ_c 为运营阶段支盘结构混凝土应力实测值（MPa），取支盘位置实测内力除以支盘截面面积，支盘位置实测内力由设置在该截面的钢筋应力计或光纤等实测获得。						

表7 支盘结构承载韧性评价表

结构分类	支盘位置 (由上至下)	支盘结构数量				
		2 个	3 个	4 个	5 个	≥6 个
韧性结构	第一个	—	$K_2 > 1.0$	$K_2 > 1.0$	$K_2 > 0.9$	$K_2 > 0.9$
	第二个	—	$K_2 > 1.2$	$K_2 > 1.2$	$K_2 > 1.1$	$K_2 > 1.1$
	第三个	—	$K_2 > 1.5$	$K_2 > 1.4$	$K_2 > 1.4$	$K_2 > 1.4$
	第四个	—	—	$K_2 > 1.6$	$K_2 > 1.6$	$K_2 > 1.6$
	第五个	—	—	—	$K_2 > 1.8$	$K_2 > 1.8$
	第 n 个	—	—	—	—	$K_2 > 2.1$
常规结构	第一个	$K_2 > 1.0$	$K_2 > 0.9$	$K_2 > 0.8$	$K_2 > 0.7$	$K_2 > 0.7$
	第二个	$K_2 > 1.2$	$K_2 > 1.1$	$K_2 > 1.0$	$K_2 > 0.9$	$K_2 > 0.8$
	第三个	—	$K_2 > 1.3$	$K_2 > 1.3$	$K_2 > 1.1$	$K_2 > 1.0$
	第四个	—	—	$K_2 > 1.5$	$K_2 > 1.3$	$K_2 > 1.2$
	第五个	—	—	—	$K_2 > 1.6$	$K_2 > 1.5$
	第 n 个	—	—	—	—	$K_2 > 1.7$
注1： K_2 为支盘结构承载韧性指标，取 $K_2 = R_{p0}/R_{p1}$ 。 R_{p0} 为单个支盘的轴向受压承载力特征值（kN）； R_{p1} 为运营阶段该支盘承担的实测轴向受压内力值（kN）。 注2： R_{p0} 直接附录B相关参数进行计算。						

附 录 A
(规范性)
挤扩支盘桩碳排放估算指标

表A. 1规定了挤扩支盘桩的碳排放估算指标。

表A. 1 挤扩支盘桩碳排放估算指标表

项目		单位	用量	碳排放 kgCO ₂ e/m ³
混凝土		m ³	1	295. 0
钢材		t	1	2340
施工能耗	回旋钻机	kWh/台班	163. 7	18. 1
	挤扩支盘机	kWh/台班	200	0. 62

附 录 B
(规范性)

土层物理力学指标与桩端土极限承载力标准值、挤扩压力值、挤扩压硬值和设备选型对照表

土层物理力学指标与桩端土极限承载力标准值、挤扩压力值、挤扩压硬值和设备选型应对照表B.1 执行。

表B.1 土层物理力学指标与桩端土极限承载力标准值、挤扩压力值、挤扩压硬值和设备选型对照表

土名称	指标分级及土的状态	静力触探 锥尖阻力 q_c (kPa)	标准贯入击数 N (击/300mm) 或 重型动力触探 击数 $N_{63.5}$ (击/100mm)	支盘、桩端土极限承载力标准值 q_{pk} (KPa)		挤扩压力值 (MPa)		挤扩 压硬值 普通/增力 (MPa)	挤扩设备 选型	
				5<H≤20 (m)	H>20 (m)	普通型	增力型		普通型	增力型
粘性土	0.75<I _L ≤1.0	1300~1800	3<N≤10	192~288	288~484	4~5	3~4	4/3	可	可
	0.5<I _L ≤0.75	1600~2500	8<N≤20	288~484	484~700	5~9	4~6	5/4	可	可
	0.25<I _L ≤0.5	2000~4500	15<N≤30	484~700	700~960	9~12	6~8	8/5	可	可
	0<I _L ≤0.25	4500~8000	N>30	700~960	960~1650	12~28	8~20	11/7	不宜	可
粉土	0.95<e ₀ ≤1.05	1300~2000	5<N≤12	192~288	288~484	6~8	4~6	6/4	可	可
	0.85<e ₀ ≤0.95	2000~5000	10<N≤35	484~600	600~960	8~14	6~9	7/5	可	可
	0.75<e ₀ ≤0.85	5000~8000	N>35	580~960	960~1800	12~30	8~30	11/7	不宜	可
粉砂 细砂 中粗砂	稍密	3000~6000	10<N≤25	480~720	720~960	15~20	8~12	15/8	可	可
	中密	6000~12000	20<N≤25	960~1200	1100~1780					
			25<N≤30				20~25	12~16	19/11	可
	密实	>12000	30<N≤50				25~30	16~30	24/15	不宜
			N>50	1160~1980	1980~2800					
圆(角)砾 卵(碎)石	稍密	—	10<N _{63.5} ≤25	1040~2260		20~30	12~16	19/11	不宜	可
	中密	—	20<N _{63.5} ≤50	2060~2800		—	16~22	—/15	不可	可
	密实	—	N _{63.5} >50	2560~3500		—	22~30	—/21	不可	可
全风化 ~ 强风化	软质岩	—	15<N _{63.5} ≤50	960~2220		10~22	6~8	10/6	可	可
			N _{63.5} >50	2220~3500		12~28	8~20	12/8	可	可
中等风化 ~ 微风化	硬质岩	—	—	2600~3650		—	10~30	9~15	不可	可

附 录 C
(规范性)
挤扩支盘桩规格尺寸

表C.1规定了挤扩支盘桩的规格尺寸。

表C.1 桥梁挤扩支盘桩规格尺寸

单位为cm

变径挤扩支盘桩		等桩径 挤扩支盘桩	支盘直径	盘高	支长/盘环宽	支宽	盘尖高度	最小盘间距
变径前桩径	变径后桩径	桩径						
110	85	85	220	135	67.5	35	10	540
120	90	90	230	140	70	40	10	560
140	100	100	240	140	70	50	20	560
150	110	110	240	130	65	50	20	520
160	120	120	250	130	65	50	20	520
180	130	130	260	130	65	50	20	520
200	150	150	280	130	65	55	20	520
220	160	160	290	130	65	55	20	520
250	180	180	310	130	65	55	20	520
280	210	210	330	120	60	55	20	480
300	220	220	340	120	60	55	20	480
注1：承力盘与支结构的距离为最小 6 倍支长；								
注2：支盘设计规格尺寸可根据设备提升和改进相应作调整。								

附 录 D
(资料性)
挤扩支盘桩挤扩作业交底卡

表D. 1给出了挤扩支盘桩挤扩作业交底卡的格式和内容。

表D. 1 挤扩支盘桩挤扩作业交底卡

项目名称						合同段		钻孔编号	
桥梁名称						设计桩径 /盘径 (m)		护筒标高 (m)	
设计桩长 (m)		设计 桩顶 标高 (m)		设计桩底 标高 (m)		终孔标高 (m)		设计桩顶 力(KN)	
桩基编号	支/盘 名称	支/盘 标高 (m)	支/盘 深度 (m)	支盘间距 (m)	土层名称	土层性质	土层标高 (m)	设计挤扩 压力值 (Mpa)	设计挤扩 压硬值 (Mpa)

交底人：

复核人：

接收人：

附 录 E
(资料性)
挤扩支盘工序交接单

表E. 1给出了挤扩支盘桩工序交接单的格式和内容。

表E. 1 挤扩支盘工序交接单

项目名称					施工单位							
合同段					监理单位							
单位工程					桩号范围							
分部工程					施工日期							
分项工程					成孔方法							
桩基编号					设计桩径 (m)							
桩基类型												
检测项目	孔底沉渣厚度 (m)	泥浆比重 (%)	胶体率 (%)	含砂率 (%)	孔深 (m)	孔径 (m)	挤扩压力值 (MPa)	挤扩压硬值 (MPa)	支盘腔高 (m)	支盘径 (m)	支盘中心标高 (m)	
规定值												
实测值												
施工单位意见:		支盘单位意见:			监理单位意见:			设计单位意见:		建设单位意见:		
签名:		签名:			签名:			签名:		签名:		
日期:		日期:			日期:			日期:		日期:		

备注：施工单位将桩孔移交给支盘单位时须填写孔底沉渣厚度、泥浆比重、胶体率、含砂率；支盘单位将桩孔移交给施工单位时须填写孔深、孔径、挤扩压力值、支盘腔压硬值、支盘高度、盘径、支盘中心深度。

附 录 F
(资料性)
挤扩支盘施工记录表

表F.1给出了挤扩支盘施工记录表的格式和内容。

参 考 文 献

- [1] GB/T 51366 建筑碳排放计算标准
 - [2] JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
 - [3] 巨玉文等. 挤扩支盘桩中支盘破坏形态的试验研究[J]. 工程力学, 2013, 30 (5), 188~194
-