

团 体 标 准

T/GDHS 002—2020

广东公路桥梁挤扩支盘桩技术规程

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

2020 - 12 - 01 发布

2020 - 12 - 01 实施

广东省公路学会 发 布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 勘察 4

 4.1 一般规定 4

 4.2 勘察要求 4

5 设计 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 构造 5

 5.3 计算 8

 5.4 支盘承载力调控 10

6 施工 11

 6.1 一般规定 11

 6.2 施工准备 11

 6.3 泥浆 12

 6.4 主桩成孔 12

 6.5 支盘挤扩施工 12

 6.6 扫孔与清孔 13

 6.7 安装钢筋笼与灌注混凝土 14

7 质量检验及评定标准 14

 7.1 一般规定 14

 7.2 主桩成孔质量检验 14

 7.3 支盘腔质量检验 14

 7.4 成桩质量检验 14

 7.5 实测项目 15

附录 A（规范性） 挤扩支盘桩规格尺寸 16

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 17

附录 C（规范性） 挤扩支盘工序交接单 18

附录 D（规范性） 挤扩支盘施工记录表 19

前 言

本文件参照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1—2020）的规则起草。

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。

本文件由广东省路桥建设发展有限公司提出。

本文件由广东省公路学会归口。

请各有关单位在执行文件过程中将发现的问题和意见及时反馈至广东省路桥建设发展有限公司（地址：广州市天河区珠江东路32号利通广场51楼，邮政编码：510623），以便修订时研用。

本文件起草单位：广东省路桥建设发展有限公司、北京支盘地工科技开发中心、广东省交通规划设计研究院股份有限公司、中国建筑第四工程局有限公司

主编：李勇

参加编写人员：王安福、张国梁、孙向东、汪满建、陈榕峰、黄国清、刘广宇、王少华、吴海平、徐东进、盛捷、刘国兴、黄海、唐后国、孙飞、梁余定、贺俊毅、张克宏、胡伟、龚浩

主审：洪显诚

参加审查人员：张钱松、陈冠雄、左智飞、胡利平、赵君黎、易绍平、王中文、贺冠军、余洪斌、王佳胜、庄明融、彭霞

引 言

2016年以来,挤扩支盘桩技术在广东省交通建设领域的推广应用过程中又有了较大发展,在设计理论、施工工艺、设备能力、质量检测等方面得到了进一步提升或完善。针对广东省沿海软土深厚、基岩埋深大、岩溶分布广泛等特殊地质条件,在广东潮汕环线高速公路、汕头凤东路、中山坦洲快线等项目中大规模开展了挤扩支盘桩应用及相关研究,获得了一系列新的技术成果,包括全支结构、密支抗拔结构、支盘承载力的计算方法修正、施工工艺提升、支盘完整性检测方法、支盘动态调控等。通过总结、归纳最新技术成果,制订出符合广东地方特点的《广东公路桥梁挤扩支盘桩技术规程》,对现有标准体系起到补充和完善作用。

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3、4、5、6、7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(03156360.0、201911042721.8、200910148482.4)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谈判。该专利持有人的声明已在本标准的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

专利持有人姓名: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。

广东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相关内容。
本文件适用于广东省新建、改扩建和维修加固公路桥梁挤扩支盘桩基础工程。

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。

JT/T 855 桥梁挤扩支盘桩
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG D60 公路桥涵设计通用规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

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/or plates

主桩钻孔成孔后放入专用挤扩支盘机，按承载力要求和地层土质条件，在设计要求部位对土体进行侧向挤压，挤扩成支状或盘状空腔，提离挤扩支盘机，放入钢筋笼，灌注桩身混凝土，形成带有支盘结构同周围被挤密的土体共同作用的钢筋混凝土灌注桩。

3.2

主桩 primary pile

桩体的主干部分。

3.3

分支 branch bearing

突出主桩的支状承载结构。简称支。

3.4

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。

3.5

支长 branch length

支的水平投影长度。

3.6

支宽 branch width

支的水平投影宽度。

3.7

支高 branch height

支顶到支底的距离。

3.8

支面积 projected area of branch

支的水平投影面积。

3.9

支侧面积 branch lateral area

一个支的两个侧面，单个侧面的表面积。

3.10

支间距 space between branches

同一桩身相邻两支结构的竖向间距。

3.11

承力盘 plate bearing

突出主桩的盘状承载结构，简称盘。

3.12

盘环宽 width of plate ring

盘半径减去主桩半径的宽度。

3.13

盘高 plate height

盘顶到盘底的距离。

3.14

盘间距 space between plates

同一桩身相邻两承力盘的竖向间距。

3.15

支盘腔 cavity of branch and / or plate

土体被静力挤压后形成的支状空腔和盘状空腔。

3.16

支盘承力角 bearing angle of branch and/ or plate

支盘下斜面与水平面的夹角。

3.17

支盘上斜面角 branch or plate upper incline angle

支盘上斜面与水平面的夹角。

3.18

支盘内角 internal angle of branch and / or plate

支盘腔上斜面与下斜面之间的夹角。

3. 19

挤扩比 the ratio of plate area to pile area

盘体水平投影面积与桩身横截面面积之比。

3. 20

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. 21

截面比 ratio of the cross section

主桩变径前与变径后的截面面积之比。

3. 22

挤扩压力值 expanding and compaction pressure value

挤扩支盘机对土体挤压时土对弓臂的反力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. 23

挤扩压硬值 expanding and compaction compression hard thresholds

土被静力挤压后的腔壁稳定性表征值，每支取分支的挤扩压力值中的最小值，每盘取第二次挤扩压力值。

3. 24

挤扩叠加率 expanding and compaction superimposition rate

挤扩支盘机挤压土体成盘时，径向相邻挤压叠加部分的水平投影面积所占每次挤压水平投影面积的比值。

3. 25

挤扩回弹率 soil resilience rate

挤扩后实测盘腔直径与挤扩支盘机弓臂张开外径的比值。

3. 26

设备上抬值 equipment rising value by reaction of soil

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. 27

支盘腔尺寸检验 branch and plate cavity dimension inspection

通过电阻式并径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交验。

3. 28

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

通过检验施工时的挤扩压力值和支盘腔尺寸是否满足设计要求，初步判断支盘承载性能是否满足设计要求。

3. 29

支盘承载力调控 branch and plate bearing adjustment

当支盘承载性能评估结果不满足设计要求时，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 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 支盘桩设计与施工所需的勘察工作应按《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的规定和要求进行。

4.1.2 岩土的名称与分类应与《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）保持一致。

4.2 勘察要求

4.2.1 初步勘察阶段桥位钻孔布置应满足如下要求：

- a) 工程地质条件简单的每座桥位，小桥应不少于 1 个，中桥应布置 2~3 个，大桥应布置 3~5 个，特大桥应不少于 7 个；
- b) 工程地质条件较复杂或复杂的桥位，应适当加密。

4.2.2 详细勘察阶段桥位钻孔布置原则上每个墩（台）应不少于 1 个，地层变化剧烈时应逐桩钻孔，钻孔深度应至持力层或桩端以下 3~5 倍桩径。

4.2.3 应在常规工程勘察的基础上，重点查明拟设支、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。

4.2.4 钻孔取样后应对持力层进行标贯试验。一般结合取样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。当标贯试验结果与钻孔揭示土层性质差别较大时，可采用大吨位静力触探或旁压试验等原位测试方法进行验证。

条文说明

标贯值指导支盘选取，与挤扩压力值和土的承载力标准值直接相关，故对标贯试验提出较高要求。因现行规范均未对地面以下深度大于 20m 的土层标贯试验结果给出明确的修正公式，故提出采用大吨位静力触探或旁压试验等原位测试方法进行验证。

4.2.5 勘察报告应按第 4.1 条的规定编制，并满足如下要求：

- 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) 对桩端持力层的选择、支和盘的设置位置等提出建议；
 - 2) 对支盘桩在施工过程中可能遇到的问题和预防措施提出建议；
 - 3) 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；
 - 4) 对花岗岩球状风化发育地区球状风化核的发育程度和分布深度进行评价。

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 设计

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 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。

5.1.3 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、支侧阻力和桩侧阻力承受,并考虑桩端阻力。
 - 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,并考虑桩端阻力。
 - 3) 支盘组合桩,同时设置支结构和承力盘,桩顶荷载主要由支盘端阻力、桩侧阻力和支侧阻力承受,并考虑桩端阻力。
- 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。

条文说明

变桩径支盘桩的支盘一般设置在较小桩径区间,解决了横向盘间距问题,同时有效地提供了支盘端承面积。

5.1.4 挤扩支盘桩设计采用动态设计原则,根据地质条件和构造要求预留一定数量的备用支、盘位置,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的对比分析,当承载力不满足设计要求时,应及时通过动态调控措施,确保承载力满足设计要求。

条文说明

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。

5.2 构造

5.2.1 支盘的尺寸满足下列构造要求:

- a) 支长或盘环宽宜根据桩的设计直径和施工工艺及设备确定,可取 300~1000mm。挤扩支盘桩规格尺寸应按附录 A 选取;
- b) 支宽一般不宜小于 35cm,支宽与支长比不宜小于 0.5。支腔内角不小于 85°。支结构上斜面角一般不小于 55°,软弱松散土层的支结构上斜面角不宜小于 60°,也不宜大于 70°。

条文说明

该条要求均为保证支腔混凝土灌注质量和支腔稳定性的构造要求。

5.2.2 挤扩支盘桩满足下列构造要求:

- 主桩内受力钢筋、构造钢筋的尺寸、数量、间距、与承台的连接,均应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)的有关规定。
- 主桩钢筋截面变化处宜避开支盘位置,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为混凝土粗骨料的 2.5 倍。支盘抗剪不控制设计,支盘内不配筋。
- 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。变桩径支盘桩钢筋接头应避开变径处。小直径段桩身截面面积不宜小于大直径段的 50%,对于设计地震动峰值加速度 0.15g 及以上地区,通过计算可采用较大截面比变桩径支盘桩。较长支盘桩变桩径设计,可采用二次变径设计,每段桩身均可设置支盘。

5.2.3 支盘的布置符合下列规定:

- 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 1 选用。
- 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。
- 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。
- 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,也可采用组合土层。
- 支、盘最小竖向间距和上下设置要求见表 2,支、盘布置示意图 1。
- 河床有冲刷时,支盘应设置在最低冲刷线以下。
- 桩根一般不小于 2 倍桩径。
- 桩端以下持力层厚度不宜小于 2 倍支盘高。
- 相邻桩支盘横向间距较近时,可上下错开布置。

条文说明

粤东沿海地区试桩结果表明,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、保证端阻承载力。

持力层采用组合土层时,支或盘端土的承载力特征值取最不利土层参数。

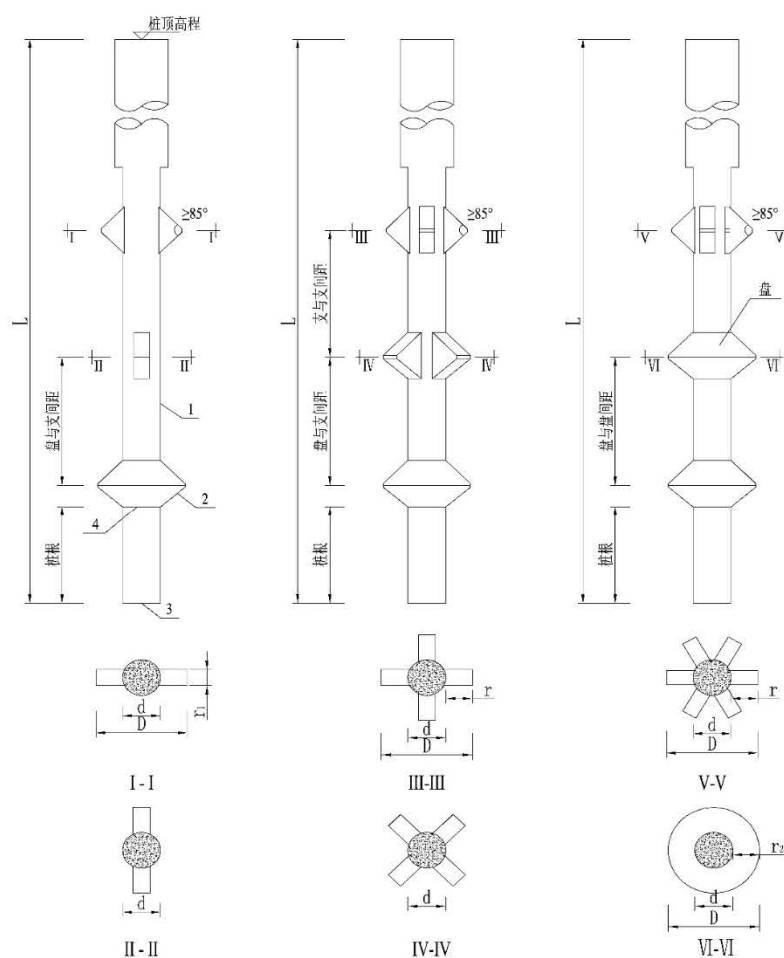
试验揭示支盘端阻群桩效应系数未有折减,为规避支盘挤扩作业施工的不确定性,相邻桩支盘横向间距较近时,可上下错开布置。桩根为底盘(底支)底部至桩端的距离,由于桩基挤扩过程中可能产生塌落物,为避免底盘(底支)被埋置,应预留一定长度的桩根,一般取 3m~6m。

表1 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	可,标贯 ≥ 60 击时 宜设置在表层	可,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

表2 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——桩;
2——底盘;
3——桩底;
4——盘底。

D表示桩径; D_0 表示支盘直径; L表示桩长; r表示支长; r_1 表示支宽; r_2 表示盘环宽。

图1 支、盘布置示意图

5.2.4 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) 挤扩支盘桩桩间距不应小于主桩径的 2.5 倍，并不应小于支盘直径的 1.5 倍，变桩径支盘桩桩间距应按最大直径段取值。

条文说明

桩间距考虑了横向盘间受力的合理性以及盘间合理的施工间距。

5.3 计算

5.3.1 挤扩支盘桩单桩轴向受压承载力特征值 R_a 可按下列公式计算：

$$R_a = \frac{1}{2} u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + \sum_{j=1}^m A_{pj} q_{rj} + A_p q_r \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$q_{rj} = m_0 \lambda [f_{aj} + k_2 \gamma_2 (h_j - 3)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$q_r = m_0 \lambda [f_{a0} + k_2 \gamma_2 (h - 3)] \quad \dots\dots\dots (3)$$

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；

u ——桩身周长（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；

m ——支、盘的总数；

A_{pj} ——第*j*个支或盘的面积（扣除主桩的面积）（m²）；

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（m²）；

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) 表4.3.4选用，且满足如下要求： $h_j \geq 20\text{m}$ 时，不宜大于2.5。

γ_2 ——桩端、盘端和支端以上各土层的加权平均重度 (kN/m³)，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)，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A相应数值的一半；伴随桩基深度的增加，竖向承载力特征值的深度修正系数过大，为与试验成果实测数据匹配，建议 $\geq 20\text{m}$ 时，不宜大于2.5，如黏性土砂土可取至2.5、圆砾卵石最大取至2。

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 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(1)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。

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

$$R = u \sum q_{ik} l_i + \sum A_{pj} q_{pkj} + A_p q_{pk} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R ——单桩竖向极限承载力；

K ——安全系数，取2~2.5；

q_{ik} ——与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；

q_{pkj} ——桩身上第 j 个盘所支承的土的极限承载力标准值，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能力端阻值，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取值。

本公式将挤扩对承力支盘端土的挤密增强效应作为储备。支侧阻力亦作为储备。设计人员应综合考虑盘径允许偏差、挤扩压力值允许偏差、扫孔扩径引起的盘环宽偏差等负公差的影响，可根据静载试验及支盘内力测试结果确定是否计入支侧阻力，考虑支盘侧壁稳定性及试验数据量，支侧摩阻引入折减系数，可按下列公式计算挤扩支盘桩单桩轴向受压承载力特征值：

$$R_a = \frac{1}{2} (u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + \eta \sum q_{ik} S_{iz}) + \sum_{j=1}^m A_{pj} q_{rj} + A_p q_r \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

η ——支侧摩阻折减系数，一般取0.6~0.7；

S_{iz} ——第 i 个支的总侧面积 (m²)；

5.3.2 挤扩支盘桩单桩轴向受拉承载力特征值 R_t 可按式(7)计算,计入的支、盘其顶面以上持力层应符合5.2.3的规定。

$$R_a = 0.3u \sum q_{ik} l_i + 0.8 \sum A_{pj} q_{rj} \dots\dots\dots (7)$$

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。

5.3.3 挤扩支盘桩的水平承载能力计算可不考虑支盘部分的作用。

5.4 支盘承载力调控

5.4.1 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

备用支盘位置可用来增加支盘数量。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。

5.4.2 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:

- 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;
- 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;
- 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;
- 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;
- 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压时所获得的压力值,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。

5.4.3 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。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 支盘挤扩应由熟悉挤扩施工技术和工艺的专业队伍进行施工。

6.1.2 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）的有关规定。

6.1.3 在成孔、挤扩过程中，当发现与地质勘察资料差异较大时，应补充勘察。

6.1.4 挤扩支盘桩项目施工前应先试成孔，使用挤扩支盘设备对土层进行探查检验，验证主桩及支盘腔施工工艺和设计参数。

6.1.5 施工过程中，应根据挤扩压力值设计要求对支盘周围土层进行检测，实测支盘尺寸和盘腔数据，反馈设计单位进行动态设计。

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

6.2 施工准备

6.2.1 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。

6.2.2 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。

6.2.3 应根据地质情况和支盘尺寸选择匹配的支盘设备，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。

条文说明

对于硬塑~坚硬粘性土、密实粉土、砂土、砂砾（标贯>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10%控制。

6.2.4 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。

6.3 泥浆

挤扩成盘时，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。

6.4 主桩成孔

6.4.1 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。

6.4.2 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。

6.4.3 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。

6.4.4 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。

6.4.5 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。

6.4.6 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，并按附录 C 填写交接单。

6.5 支盘挤扩施工

6.5.1 支盘挤扩施工前，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。

6.5.2 支盘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。

6.5.3 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。

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，可根据下式计算，实际挤扩次数在最小挤扩次数增加 1~2 次。

$$n \geq \frac{180^\circ}{2 \tan^{-1}(b/D)} \quad (n \text{ 取正整数}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

b—挤扩设备臂宽;

D—盘半径。

6.5.4 挤扩过程中应做好以下观测、记录和拍照,并按附录D要求填写挤扩支盘施工记录表。

- a) 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。
- b) 观测设备上抬值,记录每次挤扩后设备上升情况。
- c) 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。
- d) 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。

6.5.5 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。

6.5.6 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。

6.5.7 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。

6.6 扫孔与清孔

6.6.1 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。

6.6.2 扫孔完成后进行清孔,支盘桩宜采用反循环清孔。

6.6.3 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,按附录C填写交接单。

6.7 安装钢筋笼与灌注混凝土

6.7.1 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,如设计无规定时,不应超过10cm。

6.7.2 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。

7 质量检验及评定标准

7.1 一般规定

挤扩支盘桩的质量检验与评定标准,除应符合本文件外,还应执行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1)及现行国家、交通运输部颁布的相关标准规范的规定。

条文说明

支盘桩是在普通钻孔灌注基础上增设支盘形成的桩基础,除支盘外其它应按钻孔灌注桩质量检验评定要求进行。

7.2 主桩成孔质量检验

7.2.1 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。

7.2.2 主桩的孔径、孔深和倾斜度宜采用超声波成孔检测仪检测,并与井径仪的检测数据相互校核。

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。

7.3 支盘腔质量检验

7.3.1 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。

7.3.2 支盘腔高、支盘径等可采用电阻数字式井径仪检测。

条文说明

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。

7.3.3 支盘承载力通过首次挤扩压力值进行校核,其值应不小于设计规定值或在允许偏差范围内。

7.3.4 支盘腔稳定性通过挤扩压硬值进行校核,其值应不小于设计规定值或在允许偏差范围内。

7.4 成桩质量检验

7.4.1 桩身混凝土强度检验按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1)执行。

7.4.2 桩身混凝土完整性采用超声波透射法逐桩检验，并选取一定比例的桩基采用钻孔抽芯法检查。

条文说明

挤扩支盘桩受其支盘影响不适合采用低应变反射波法检测，应在主桩预埋声测管采用超声波透射法检测，检测频率为100%。

7.4.3 当超声波透射法检测显示支盘对应主桩身位置有明显缺陷时，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。

7.4.4 当需要对支盘体混凝土质量进行验证时，可采用钻孔抽芯法、跨孔超声透射法、热异常技术或其他有效检测方法。采用热异常技术检测应在混凝土灌注前埋设传感器。

7.4.5 必要时可进行单桩承载力试验或长期应力及变形监测。

7.5 实测项目

挤扩支盘桩实测项目、要求及方法应符合表3规定。

表3 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	尺量或电阻式井径仪 (电脑显示图形及尺寸大小)：每盘检查
2△	支盘径 (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)：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)：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：D为支盘径。			

附 录 A
(规范性)
挤扩支盘桩规格尺寸

表A.1规定了挤扩支盘桩的规格尺寸。

表A.1 挤扩支盘桩规格尺寸

变径前桩径 (cm)	变径后桩径 (cm)	支盘直径 (cm)	盘高 (cm)	盘环宽 (cm)	支宽 (cm)	支长 (cm)	最小盘间距 (cm)
110	85	220	135	67.5	35	72.5	540
120	90	230	140	70	40	75	560
140	100	240	140	70	50	75	560
150	110	240	130	65	50	70	520
160	120	250	130	65	50	70	520
180	130	260	130	65	50	70	520
200	150	280	130	65	55	70	520
220	160	290	130	65	55	70	520
250	180	310	130	65	55	70	520
280	210	330	120	60	55	65	480
300	220	340	120	60	55	65	480
注1：盘-支间距为最小6倍支长；							
注2：构造设计条件会随土层或设备改进而适当改变。							

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<q _c ≤1800	3<N≤10	192~288	288~484	4~5	3~4	4/3	可	可
	0.5<I _L ≤0.75	1600<q _c ≤2500	8<N≤20	288~484	484~700	5~9	4~6	5/4	可	可
	0.25<I _L ≤0.5	2000<q _c ≤3500	15<N≤30	484~700	700~960	9~12	6~8	8/5	可	可
	0<I _L ≤0.25	q _c >4000	N>30	700~960	960~1650	12~28	8~20	11/7	不宜	可
粉土	0.95<e ₀ ≤1.05	1300<q _c ≤2000	5<N≤12	192~288	288~484	6~8	4~6	6/4	可	可
	0.85<e ₀ ≤0.95	2000<q _c ≤5000	10<N≤35	484~600	600~960	8~14	6~9	7/5	可	可
	0.75<e ₀ ≤0.85	5000<q _c ≤8000	N>35	580~960	960~1800	12~30	8~30	11/7	不宜	可
粉砂 细(中)砂 粗(砾)砂	稍密	3000<q _c ≤6000	10<N≤20	480~720	720~960	15~20	8~12	15/8	可	可
	中密	6000<q _c ≤12000	20<N≤25							
			25<N≤30	960~1200	1100~1780	20~25	12~16	19/11	可	可
	密实	q _c >12000	30<N≤50	1160~1980	1980~2800	25~30	16~30	24/15	不宜	可
			N>50							
砾(角)砾 卵(碎)石	稍密、中密	—	5<N _{63.5} ≤20	633~2060		20~30	12~16	19/11	不宜	可
	密实	—	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
残积土 全 风化岩	硬塑	—	15<N≤30	484~960		10~22	6~8	10/6	可	可
全风化岩 强 风化软	坚硬	—	N>30	700~1650		12~28	8~20	12/8	可	可
强风化岩	极软岩	—	N>50	960~1780		—	10~30	9~15	不可	可

附 录 C
(规范性)
挤扩支盘工序交接单

表C.1规定了挤扩支盘桩工序交接单的内容。

表C.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 D
(规范性)
挤扩支盘施工记录表

表D. 1规定了挤扩支盘施工记录表的内容。

表 D.1 挤扩支盘施工记录表

第 页, 共 页

编号:

项目名称	分部工程		施工单位															
合同段	分项工程		监理单位															
单位工程	工程部位		检测单位															
桩号范围	施工日期		检测日期															
设计桩长 (m)	设计桩径 (m)	设计孔深 (m)	护筒标高 (m)															
实钻孔深 (m)	挤扩前孔深 (m)	挤扩后孔深 (m)	灌注前孔深 (m)															
支盘机型号	弓压臂宽度 (m)	弓臂最大张开尺寸 (m)	设计盘径 (m)															
	空载压力 (MPa)																	
设计高程 (m)	调控措施	支盘名称	实测项目	作业起止时间	年	月	日	时	分	秒	一次挤压周期 (秒)	设计值	备注					
			挤扩压力值 (MPa)	首压	2 压	3 压	4 压	5 压	6 压	7 压	8 压	9 压	10 压	11 压	12 压	13 压		
			设备上抬值 (m)															
			挤扩压硬值 (MPa)															
			设备上抬值 (m)															
			挤扩压力值 (MPa)															
			设备上抬值 (m)															
			挤扩压硬值 (MPa)															
			设备上抬值 (m)															
			挤扩压力值 (MPa)															
			设备上抬值 (m)															
			挤扩压硬值 (MPa)															
			设备上抬值 (m)															
自检意见	监督意见																	

施工员: 桥梁工程师: 质检工程师: 监理工程师: