

Q/CR

中国铁路总公司企业标准

Q/CR 9XXX-2016

铁路工程旋挖挤扩灌注桩技术规程

Technical Specification for Railway Engineering Cast-in-place Piles
with Rotary Expanded Bulbs

(征求意见稿)

2016—XX—XX 发布

2016—XX—XX 实施

中国铁路总公司 发布

中国铁路总公司企业标准

铁路工程旋挖挤扩灌注桩技术规程

Technical Specification for Railway Engineering Cast-in-place Piles
with Rotary Expanded Bulbs

主 编 单 位：铁道第三勘察设计院集团有限公司

批 准 部 门：中国铁路总公司

施 行 日 期：2016 年 XX 月 XX 日

中 国 铁 道 出 版 社

2016 年 北 京

前 言

根据中国铁路工程总公司铁路工程建设标准编制计划要求,在认真总结旋挖挤扩灌注桩的科研成果、工程实践经验和调查研究的基础上,制订本技术规程。

本技术规程由 7 章组成,包括总则、术语和符号、基本规定、构造、设计、施工、检测与验收,另有 3 个附录。主要技术内容包括旋挖挤扩灌注桩的设计原则、竖向承载力和水平承载力的计算、沉降计算、施工方法与工艺、承力盘的检测与验收等。

在执行本技术规程过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见及有关资料寄交铁道第三勘察设计院集团有限公司(天津市河北区中山路 10 号,邮政编码:300142),并抄送中国铁路经济规划研究院(北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号,邮政编码:100038),供今后修订时参考。

本技术规程由中国铁路总公司建设管理部负责解释。

本技术规程主编单位:铁道第三勘察设计院集团有限公司。

本技术规程参编单位:中国铁路经济规划研究院、北京交通大学、北京中阔地基基础技术有限公司。

本技术规程主要起草人:

本技术规程主要审查人:

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
	2.1 术 语.....	2
	2.2 符 号.....	3
3	基本规定.....	5
4	构 造.....	6
5	设 计.....	7
	5.1 单桩竖向抗压承载力计算.....	7
	5.2 桩身强度验算.....	13
	5.3 桩基沉降计算.....	13
6	施 工.....	14
	6.1 一般规定.....	14
	6.2 施工工序.....	14
	6.3 旋扩承力盘腔.....	17
	6.4 清 孔.....	18
7	检测与验收.....	19
	附录 A 旋挖挤扩灌注桩旋扩记录表.....	21
	附录 B 旋挖挤扩灌注桩成孔记录表.....	22
	附录 C 承力盘腔直径检测仪示意图.....	23
	本技术规程用词说明.....	24
	《铁路工程旋挖挤扩灌注桩技术规程》条文说明.....	25

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家有关法规和铁路技术政策，统一铁路工程旋挖挤扩灌注桩设计、施工、检测与验收标准，使旋挖挤扩灌注桩的设计施工做到安全适用、技术先进、经济合理，制定本技术规程。

1.0.2 本技术规程适用于铁路工程旋挖挤扩灌注桩基础的设计、施工、检测与验收。

1.0.3 旋挖挤扩灌注桩的设计与施工，应综合考虑地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境等因素，因地制宜选择相应的成孔、挤扩工艺和技术参数，合理确定承力盘的位置。

1.0.4 旋挖挤扩灌注桩的设计、施工、检测与验收除应符合本规程外，尚应符合现行国家、铁路行业有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 旋挖挤扩灌注桩 cast-in-place piles with rotary expanded bulbs

旋挖挤扩灌注桩是在预钻（冲）孔内，放入旋挖挤扩装置，按承载力要求和地层土质条件在桩身适当部位，通过旋挖挤扩装置对周围土体进行旋转切削和挤压，形成上下对称的空腔，灌注混凝土后，形成由桩身、承力盘和桩端共同作用的钢筋混凝土灌注桩。旋挖挤扩灌注桩型式见图 2.1.1。

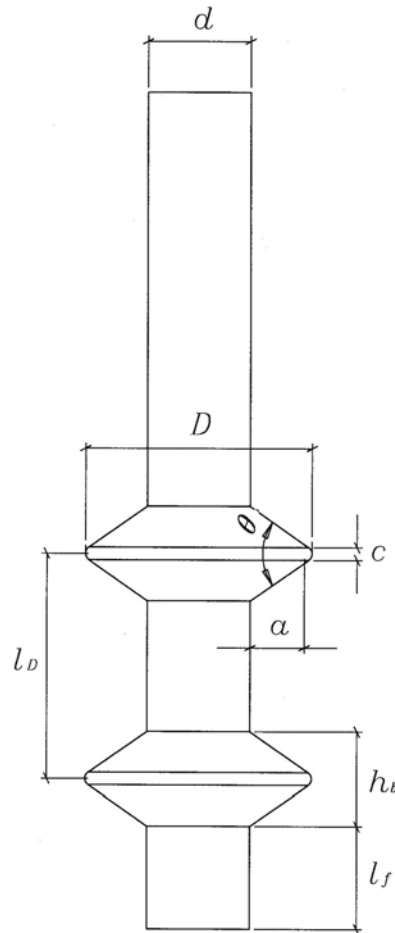


图 2.1.1 旋挖挤扩灌注桩构造示意图

a —承力盘桩身外宽度； c —承力盘外沿高度； d —桩身直径； h_b —承力盘高度；

D —承力盘直径； l_b —承力盘竖向间距； θ —承力盘夹角； l_f —桩根长度

2.1.2 承力盘腔 bearing cavity

经过旋扩在桩孔外侧土体中形成的、上下对称的、用于浇筑混凝土形成承力盘的双圆锥

台型空腔。

2.1.3 承力盘 bearing bulb

承力盘腔内灌注混凝土后形成的上下对称的双圆锥台型混凝土体。

2.1.4 承力盘盘径 diameter of bulb

承力盘腔的最大直径，简称盘径。

2.1.5 承力盘夹角 inclination of bulb

承力盘上下坡面间的夹角。

2.1.6 旋挖挤扩装置 rotary expanding apparatus

用于在桩周土体中形成承力盘腔的旋挖挤扩成腔专用设备。

2.1.7 旋扩压力值 pressure value of rotary expanding

对承力盘腔进行旋挖挤扩时，旋挖挤扩臂即时压力值。

2.1.8 承力盘腔直径检测仪 diameter detector for bearing cavity

用于测定旋挖挤扩灌注桩承力盘腔直径的专用检测装置，简称盘径检测仪。

2.2 符 号

2.2.1 承载力

f_i ——桩土间的极限摩阻力；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$[P]$ ——单桩的受压容许承载力；

$[P']$ ——单桩的受拉容许承载力；

q_b ——盘的持力土层极限盘端阻力标准值；

σ_0 ——地基基本承载力；

$[\sigma]$ ——地基容许承载力；

2.2.2 几何参数

A ——桩身设计截面面积；

A_b ——承力盘设计水平投影面上的面积（扣除桩身设计截面面积）；

a ——承力盘桩身外的宽度；

θ ——承力盘夹角；

c ——承力盘外沿高度；

d ——桩身设计直径；

D ——承力盘设计直径；

h_b ——承力盘高度；

l ——桩身长度；

l_D ——承力盘的竖向间距；

S ——桩的总沉降；

s_a ——桩的中心距；

s_z ——等截面桩的沉降；

s_e ——桩身压缩量

u ——桩身周长。

2.2.3 计算系数

α ——桩的水平变形系数；

ξ_i ——等效抗拔长度系数；

λ_i ——抗拔侧阻力折减系数；

ψ_c ——工作条件系数；

η ——总盘端阻力折减系数；

ψ_D ——旋挖挤扩灌注桩基沉降修正系数。

3 基本规定

- 3.0.1 旋挖挤扩灌注桩的勘察应按照《铁路工程地质勘察规范》有关规定执行。
- 3.0.2 旋挖挤扩灌注桩应根据工程地质、水文地质、承载力及功能要求等条件进行设计，并符合现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 中灌注桩的相关规定。
- 3.0.3 可塑~硬塑状态的黏性土、稍密~密实状态的粉土和砂土、中密~密实状态的残积土层、全风化岩、强风化岩及弱风化的较软岩、泥岩和泥质胶结的砂岩等，宜作为旋挖挤扩灌注桩承力盘的持力层。旋挖挤扩灌注桩的桩顶高程应满足现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 中的桩基础承台板底面高程的要求。
- 3.0.4 淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层、可液化土层、湿陷性黄土层、大气影响深度以内的膨胀土层不应作为旋挖挤扩灌注桩承力盘的持力层。
- 3.0.5 承力盘的持力土层厚度不宜小于 3 倍桩身设计直径；若有软弱下卧层时，承力盘的持力土层厚度不宜小于 4 倍桩身设计直径。
- 3.0.6 承力盘底进入持力土层的深度不宜小于 0.5 倍承力盘的高度。
- 3.0.7 旋挖挤扩灌注桩基础应按现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 有关规定进行实体基础检算。当桩基础底面以下有软弱土层时，尚应检算该土层的压应力。
- 3.0.8 当持力土层为砂土时，承力盘的竖向间距不宜小于 2.5 倍承力盘直径；当持力土层为黏性土、粉土时，承力盘的竖向间距不宜小于 2.0 倍承力盘直径。
- 3.0.9 承力盘的夹角宜取 70°。
- 3.0.10 旋挖挤扩灌注桩根长度不宜小于 2.0 倍桩身设计直径。
- 3.0.11 对于具有下列情况的大桥、特大桥，应通过静载荷试验确定单桩承载力。
- 1 地质情况复杂，难以确定桩的承载力；
 - 2 有其他特殊要求的桥梁。

4 构造

4.0.1 旋挖挤扩灌注桩的直径应根据受力大小、沉降变形要求和施工条件等因素确定，设计桩径不宜小于 0.8m。

4.0.2 旋挖挤扩灌注桩的排列可采用行列式或梅花式，并应符合下列要求：

1 相邻桩的中心距不宜小于 3 倍桩身设计直径，并不宜小于 1.5 倍承力盘盘径，当盘径大于 2m 时，桩的最小中心距不宜小于承力盘盘径+1m。

2 桩的承台板边缘至最外一排桩的净距，当设计桩径小于 1m 时，不得小于 0.5 倍桩身设计直径，且不得小于 0.25m；当桩径大于 1m 时，不得小于 0.3 倍桩身设计直径，且不得小于 0.5m。

4.0.3 旋挖挤扩灌注桩可按桩身内力要求分段配筋，最小配筋长度不宜小于 2/3 桩身长度，主筋应伸入最下承力盘下 500mm。

5 设计

5.1 单桩竖向抗压承载力计算

5.1.1 单桩的轴向容许承载力应分别按桩身材料强度和岩土抗力计算，取其小值。按岩土抗力确定桩的容许承载力时，宜通过试桩验证。

5.1.2 单桩轴向受压容许承载力应按下列公式计算：

$$[P] = \frac{1}{2}u \sum f_i l_i + \frac{1}{2}\eta \sum f_{q_{bi}} A_b + m_0 A [\sigma] \quad (5.1.2-1)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (5.1.2-2)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (5.1.2-3)$$

式中：

$[P]$ ——单桩轴向受压容许承载力，(kN)；

u ——桩身周长，(m)；

f_i ——各层土的极限摩阻力，按表 5.1.2-1 采用；

l_i ——桩穿过第 i 层土的厚度，(m)；

η ——总盘端阻力调整系数，单个和 2 个承力盘时 $\eta=1.00$ ；3 个及 3 个以上承力盘时

$\eta=0.93$ ；

q_{bi} ——单桩第 i 个盘的持力土层极限盘端阻力标准值，按表 5.1.2-2 采用；

A_b ——承力盘在水平投影面上的设计截面面积（扣除桩身设计截面面积），(m²)；

m_0 ——桩底支撑力折减系数。钻孔灌注桩桩底支撑力折减系数可按表 5.1.2-3 采用；

挖孔灌注桩底支撑力折减系数可根据具体情况确定，一般可取 $m_0=1.0$ ；

A ——桩底支承面积，(m²)，按设计桩径计算；

D ——承力盘设计直径，(m)；

d ——桩身设计直径，(m)；

$[\sigma]$ ——桩底地基土的容许承载力 (kPa)，当 $h \leq 4d$ 时， $[\sigma] = \sigma_0 + k_2 \gamma_2 (h-3)$ ；当 $4d < h \leq 10d$

时, $[\sigma] = \sigma_0 + k_2 \gamma_2 (4d-3) + k_2' \gamma_2 (h-4d)$; 当 $h > 10d$ 时, $[\sigma] = \sigma_0 + k_2 \gamma_2 (4d-3) + k_2' \gamma_2 (6d)$;

其中, σ_0 ——地基基本承载力, (kPa)。经验统计值, 与地基土性有关, 参见《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5;

d ——为桩径或者桩的宽度, (m);

h ——基础埋置深度, (m)。受水流冲刷时, 由一般冲刷线计起。不受水流冲刷者, 由天然地面算起; 位于挖方内, 由开挖后地面计起;

γ_1 ——基底以下持力层土的天然容重, (kN/m^3); 如持力层在水面以下且为透水者, 应采用浮重度;

γ_2 ——基底以上土的天然容重的平均值, (kN/m^3); 如持力层在水面以下且为透水者, 水中部分应采用浮容重; 如为不透水者, 不论基底以上水中部分土的透水性如何, 应采用饱和容重;

k_1, k_2 ——基础宽度、深度修正系数, k_2 可按表 5.1.2-4 采用; k_2' 对于黏性土、粉土和黄土为 1.0; 对于其它土, k_2' 为表 5.1.2-4 的 k_2 值之半。

表 5.1.2-1 桩周土的极限摩阻力 f_i (kPa)

土的名称	土性状态	极限摩阻力 f_i
软土		12~22
黏性土	流 塑	20~35
	软 塑	35~55
	硬 塑	55~75
粉 土	中 密	30~55
	密 实	55~70
粉砂、细砂	中 密	30~55
	密 实	55~70
中 砂	中 密	45~70
	密 实	70~90
粗砂、砾砂	中 密	70~90
	密 实	90~150
圆砾土、角砾土	中 密	90~150
	密 实	150~220
碎石土、卵石土	中 密	150~220
	密 实	220~420

表 5.1.2-3 旋挖挤扩桩桩底支承力折减系数 m_0

土质及清底情况	m_0		
	$5d < h \leq 10d$	$10d < h \leq 25d$	$25d < h \leq 50d$
土质较好，不易坍塌，清底良好	0.9~0.7	0.7~0.5	0.5~0.4
土质较差，易坍塌，清底较差	0.7~0.5	0.5~0.4	0.4~0.3
土质差，难以清底	0.5~0.4	0.4~0.3	0.3~0.1

注： h 为地面线或局部冲刷线以下桩长， d 为桩的直径，均以 m 计。

5.1.3 桩顶承受的轴向压力加上桩身自重减去桩身入土部分所占同体积土重之差，不得大于本技术规程 5.1.2 条按岩土阻力计算的单桩容许承载力。

5.1.4 当主力加附加力作用时，按本技术规程 5.1.2 条求得的单桩容许承载力可提高 20%，当主力加特殊荷载（地震力除外），可提高 20%~40%。

5.1.5 桩基轴向受拉的容许承载力可按现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 中 6.2.2 执行。

表 5.1.2-2 旋挖挤扩灌注桩的极限盘端阻力 q_b (kPa)

土的名称	土的状态		桩入土深度 l (m)					
			$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l < 20$	$20 \leq l < 25$	$25 \leq l < 30$	$l \geq 30$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	100~150	150~250	200~300	300~375	375~450	450~525
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	250~350	350~450	450~550	550~625	625~700	700~775
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	550~700	700~800	800~900	900~975	975~1050	1050~1125
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	750~1000	1000~1200	1200~1400	1400~1550	1550~1700	1700~1850
粉土	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	250~350	300~500	450~650	575~725	650~800	725~900
	密实	$e \leq 0.75$	550~800	650~900	750~1000	800~1000	850~1050	925~1050
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	200~400	350~500	450~550	550~625	625~700	725~800
	中密	$15 < N \leq 20$	400~650	650~800	800~900	900~1000	1000~1100	1000~1150
	密实	> 20	600~750	750~900	900~1050	1050~1150	1150~1350	1300~1450
细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	350~550	500~650	600~700	700~775	775~850	800~875
	中密	$15 < N \leq 30$	700~900	900~1000	1000~1150	1150~1300	1300~1450	1450~1600
	密实	> 30	800~1000	1000~1100	1100~1250	1250~1400	1400~1650	1600~1850
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	950~1100	1100~1300	1300~1450	1450~1600	1600~1750	1750~1900

	密实	>30	1050~1250	1250~1400	1400~1550	1550~1700	1700~1850	1850~2050
粗 砂	中密	$15 < N \leq 30$	1650~1900	1900~2150	2150~2300	2300~2400	2400~2500	2500~2600
	密实	>30	1750~2000	2000~2250	2250~2400	2400~2500	2500~2600	2600~2700
砾 砂	中密	$15 < N \leq 30$	1700~1900	1900~2300	2300~2500	2500~2600	2600~2700	2700~2800
	密实	>30	1800~2000	2000~2400	2500~2600	2700~2800	2800~2900	2900~3000
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	1800~2100	2100~2500	2500~2700	2700~2800	2800~2900	2900~3200
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	2000~2300	2300~2700	2700~2900	2900~3000	3000~3100	3100~3300

注： 1 砂土和碎石类土中桩的极限桩端阻力取值，宜综合考虑土的密实度、桩端进入持力层的深度比 h_b/d 及成孔方法。密实的， h_b/d 大的土和干作业成孔时宜取高值；

2 I_L 为液性指数， e 为孔隙比， N 为标准贯入击数， $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；

表 5.1.2-4 宽度、深度修正系数

土的种类	黏性土				粉土	黄土		砂类土								碎石土			
	Q_4 冲、洪积土		Q_4 及其以前的冲、洪积土	残积土		新黄土	老黄土	粉砂		细砂		中砂		砾砂粗砂		碎石圆砾角砾		卵石	
	$L_1 < 0.5$	$L_1 \geq 0.5$						稍、中密	密实	稍、中密	密实	稍、中密	密实	稍、中密	密实	稍、中密	密实	稍、中密	密实
k_1	0	0	0	0	0	0	0	1	1.2	1.5	2	2	3	3	4	3	4	3	4
k_2	2.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2.5	3	4	4	5.5	5	6	5	6	6	10

注：1. 稍松状态的砂类土和松散状态的碎石类土， k_1 、 k_2 可采用表中稍、中密值的 50%；

2. 冻土的 $k_1=0$ 、 $k_2=0$ 。

5.2 桩身强度验算

5.2.1 旋挖挤扩灌注桩桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。当轴心受压时，桩身强度应符合下式规定：

$$N \leq \psi_c f_c A \quad (5.2.1)$$

式中 N —— 桩顶轴向压力设计值；

ψ_c —— 工作条件系数，宜取 0.80~0.90，泥浆护壁成孔时取低值，干作业成孔时取高值；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值，可按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

A —— 桩身设计截面面积。

5.2.2 旋挖挤扩灌注桩的承力盘应进行抗剪和抗冲切验算。

5.3 桩基沉降计算

5.3.1 当旋挖挤扩灌注桩基需要进行沉降验算时，其沉降计算和沉降允许值应符合现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 的有关规定，其最终沉降量可按该规范的规定计算。

6 施 工

6.1 一般规定

- 6.1.1 施工时，应按有关规定制定安全生产、保护环境等措施。
- 6.1.2 施工应有完善的施工记录。
- 6.1.3 施工前应收集下列资料：
- 1 有关的地质和水文资料，水、水泥、砂、石、钢筋等原材料及制品的质量检验报告；
 - 2 桩基工程施工图（包括桩位平面图、旋挖挤扩灌注桩断面图及相应的地质剖面图，应标出承力盘的位置及相关土层）及图纸会审记录；
 - 3 施工场地和邻近区域内的地下管线与管道、地下构筑物以及危房等对沉降敏感的建筑物调查资料；
 - 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
 - 5 施工组织设计或施工方案；
 - 6 成孔与旋扩承力盘腔施工工艺试验记录及静载试验资料；
 - 7 相关施工工艺的试验参考资料。
- 6.1.4 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制定相应的质量管理措施，主要包括：
- 1 施工平面图：标明桩位、编号、施工顺序、水电路线和临时设施的位置；采用泥浆护壁成孔时，应标明泥浆制备设施及其循环系统；
 - 2 确定成孔机械配套设备、旋扩装置以及合理施工工艺，采用泥浆护壁成孔工艺时，应有泥浆处理措施；
 - 3 施工作业计划、钻机与旋扩装置交接操作要点以及劳动力组织计划；
 - 4 机械设备、备（配）件、工具（包括质量检查工具）、材料供应计划；
 - 5 安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、爆破作业、文物和环境保护等应按有关规定执行；
 - 6 保证工程质量、安全生产和季节性（冬、雨季）施工的技术措施。
- 6.1.5 成孔成桩机械应经鉴定合格，不合格机械不得使用。施工现场所有设备、设施、安全装置、工具、配件及劳保用品应经常检查，确保完好和使用安全。
- 6.1.6 桩基施工用的临时设施，如供水、供电、道路、排水、临设房屋等，应在开工前准备就绪，施工场地应进行平整处理，以保证施工机械正常作业。
- 6.1.7 旋挖挤扩灌注桩施工前宜结合地质勘察资料进行试成孔、试旋扩承力盘腔，了解场地各土层的情况。
- 6.1.8 旋挖挤扩灌注桩的旋扩记录应按本技术规程附录 A 填写。
- 6.1.9 旋挖挤扩灌注桩的成孔记录应按本技术规程附录 B 填写。

6.2 施工工序

6.2.1 旋挖挤扩灌注桩施工应按图 6.2.1-1 规定的流程进行：

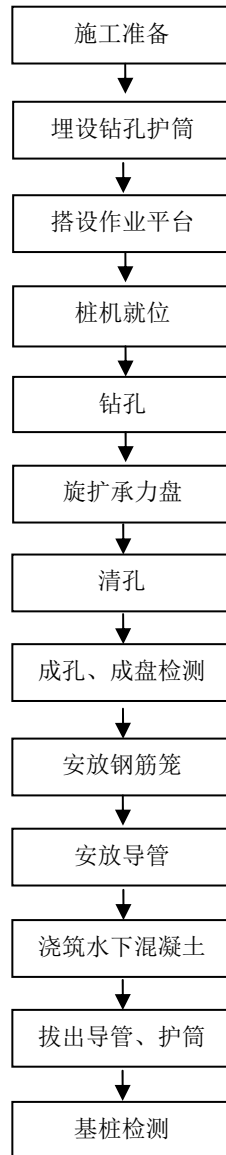


图 6.2.1-1 旋挖挤扩灌注桩施工流程图

6.2.2 旋挖挤扩灌注桩钻孔应根据不同的地质条件选用旋转钻机、旋挖钻机或套管钻机等钻孔设备进行施工。

6.2.3 施工场地应符合以下规定：

- 1 在旱地上应清除杂物，换除软土，平整压实，场地位于陡坡时，可用枕木或型钢等搭设工作平台。
- 2 在浅水中宜用筑岛或围堰法施工，筑岛或围堰内面积应按钻孔方法、配套设备占有面积大小等确定。筑岛及围堰顶面应高于最高施工水位 0.5m。
- 3 在深水中或淤泥较厚时，可搭设工作平台，平台搭设应符合本规程第 7.2.4 条的有关规定。
- 4 采用旋挖钻机钻孔时需进行泥浆护壁时，应在场地中布置泥浆循环净化系统。

6.2.4 桩基中心位置测设完成后，应在纵横向设护桩，以备钻孔过程中对桩位进行复核。

6.2.5 钻孔前应设置坚固不漏水的护筒，护筒施工应符合下列规定：

- 1 钢护筒在旱地或水中均可使用，筒壁厚度可根据钻孔桩径、埋深和埋设方法等通过计算确定。
- 2 钢筋混凝土护筒可在水深不大的钻孔中使用，筒壁厚度一般为 8cm~10cm。
- 3 护筒内径应适当大于设计桩径，具体数值应根据采用的钻机类型确定。
- 4 护筒顶面应高出施工水位或地下水位 2m，并高出施工地面 0.5m。其高度尚应满足孔内泥浆面高度的要求。

5 在岸滩上护筒埋置深度：黏性土、粉土不宜小于 1m，砂类土不宜小于 2m，当表层土松软时，宜将护筒埋置在较坚硬密实的土层中至少 0.5m；埋设时应在护筒四周回填黏土并分层夯实；可用锤击、加压或振动等方法下沉护筒。

6 在水中筑岛上的护筒宜埋入河床面以下 1m 左右。在水中平台上设置护筒，可根据施工最高水位、流速、冲刷及地质条件等因素确定埋深，有冲刷影响的河床，护筒底宜进入一般冲刷线以下不少于 1.0m。局部冲刷影响严重的河床，护筒底应进入局部冲刷线以下不少于 1.0m；在水中平台上下沉护筒，应有导向设备控制护筒位置。P50，应有导向设备控制护筒位置。

7 季节性冻土地区，护筒底应进入到冰冻线以下未冻土层中不少于 0.5m；多年冻土地区，护筒底应进入多年冻土层中不少于 0.5m。

8 护筒顶面中心与设计桩位允许偏差不得大于 5cm，倾斜度不得大于 1%。

6.2.6 旋挖扩孔灌注桩泥浆护壁应符合下列规定：

1 在砂类土、碎（卵）石卵石土或黏土夹层中钻孔时，应制备泥浆护壁；在黏性土中钻孔当塑性指数大于 15，浮渣能力能满足施工要求时，可利用孔内原土造浆护壁；冲击钻机钻孔，可将黏土加工后投入孔中，利用钻头冲击造浆。

2 泥浆性能指标应符合下列规定：

- 1) 比重：正循环旋转钻机、冲击钻使用管形钻头钻孔时，入孔泥浆比重可为 1.1~1.3；冲击钻机使用实心钻头时，孔底泥浆比重不宜大于：黏土、粉土 1.3；大漂石、卵石层 1.4；岩石 1.2。反循环旋转钻机入孔泥浆比重可为 1.05~1.15。
- 2) 黏度：入孔泥浆黏度，一般地层为 16s~22s；松散易坍地层为 19s~28s。
- 3) 含砂率：新制泥浆不大于 4%。
- 4) 胶体率：不小于 95%。
- 5) pH 值：应大于 6.5。

3 泥浆原料宜选择优质黏土，有条件时，应优先采用膨润土造浆。为提高泥浆黏度和胶体率，可在泥浆中掺入烧碱或碳酸钠等添加剂，其掺量应经过试验确定。造浆后试验全部性能指标，钻进中应随时检验泥浆比重和含砂率。

6.2.7 安装钻机前，应对主要机具及配套设备进行检查，低架应平整稳定，不得产生位移和沉陷。钻机顶端应用缆风绳对称拉紧，钻头和钻杆中心与护筒中心的偏差不得大于 5cm。

6.2.8 钻孔施工应符合下列基本规定：

1 钻孔前，应按施工设计文件提供的工程地质、水文地质资料绘制地质剖面图，挂在钻台上，以便针对不同地层选用不同的钻头，钻进压力、钻进速度及适当的泥浆比重。

2 开孔的孔位应准确，孔位偏差不得大于 5cm，应使初成孔壁竖直、圆顺、坚实。

3 钻孔时，孔内水位宜高于护筒底脚 0.5m 以上或地下水位以上 1.5m~2.0m, 在冲击钻进中取渣时和停钻后，应及时向孔内补水或泥浆，保持水头高度和泥浆比重及黏度。

4 钻进过程中，钻头起、落速度宜均匀，不得过猛或骤然变速，钻渣不得堆积在钻孔周围。

5 钻孔作业应连续进行，因故停钻时，有钻杆的钻机应将钻头提离孔底 5m 以上，其他钻机应将钻头提出孔外，孔口应加护盖。

6 钻孔过程中应经常检查并记录土层变化情况，并与地质剖面图核对。

6.2.9 钻进过程中应及时滤渣，经常检查泥浆的各项指标，同时经常注意地层的变化，在地层的变化出均应捞取渣样，判断地质的类型，记入记录表中，并与设计提供的地址剖面图相对照，钻渣样应编号保存，以便分析备查。

6.2.10 钻孔过程发现异常现象时，可按下列情况处理：

1 钻孔中发生坍孔后，应查明原因和位置，进行分析处理。坍孔不严重时，可采用加大泥浆比重、加高水头等措施后继续钻进；坍孔严重时，可回填重钻；用冲击法钻孔时，可投入黏土块夹小片石，用低锤冲击，将黏土块和小片石挤入孔壁，制止坍孔。

2 钻孔中发生弯孔和缩孔时，可将旋转钻机的钻头，提起到偏斜处进行反复扫孔，直到钻孔垂直；当发生严重弯孔、梅花孔和探头石时，应采用小片石或者黏土混合物回填到破案写出吗，待填料沉实后再重新修孔。

3 发生卡钻时，不宜强提，应查明原因和钻头位置，采取晃大绳及其他措施，使钻头松动后再提起。

4 发生掉钻时，应查明情况尽快处理。

5 处理卡钻和掉钻时，严禁人员进入没有护筒或者其他防护设施的钻孔内。必须进入有防护设施的孔钻时，应探明孔内有害气体，并备齐防毒、放溺等安全设施后，方可进入。

6.2.11 当钻孔深度达到设计要求时，应对孔深、孔径、孔位和孔形等进行检查，检查方法可采用笼式井径仪或超声波检测。

6.3 旋扩承力盘腔

6.3.1 施工作业前检查、确认旋扩设备工作正常后方可使用。

6.3.2 泥浆护壁成孔旋扩作业时，泥浆密度应以良好护壁、避免塌孔为原则，泥浆相对密度在 1.10~1.30 为宜。

6.3.3 成孔后，经对孔的垂直度、孔径、孔深等检验合格后，应即进入旋扩工序。

6.3.4 旋挖扩装置入孔之前应检查装置运行是否正常。

6.3.5 旋挖扩装置应对准孔口中心，缓慢下放，避免碰撞孔壁。

6.3.6 旋扩承力盘时应遵守下列规定：

1 泥浆护壁成孔旋扩作业时应注意观察孔内泥浆面，及时补充泥浆以保持水头压力；

2 旋扩中，认真观察旋扩压力值，及时填写旋扩记录，旋扩记录按本规程附录 C 填写；

3 旋扩过程中如遇塌方、流砂等情况，应立即停止作业，及时提出旋扩装置，妥善处理后再继续旋扩作业；

- 4 承力盘应设置于设计要求的土层；
- 5 当土层变化需要调整承力盘的位置，调整后竖向承力盘间距应满足本规程 5.1.5 条的相关要求。

6.4 清 孔

6.2.16 清孔应符合下列规定：

- 1 严禁采用加深钻孔深度的方法替代清孔。
- 2 无论采用何种方法清孔，在抽渣或吸泥时，应及时向孔内注入清水或新鲜泥浆保持孔内水位。
- 3 孔内排出或抽出的泥浆手摸无 2mm~3mm 的颗粒，泥浆比重不大于 1.1，含砂率小于 2%，黏度为 17s~20s。
- 4 浇筑水下混凝土前允许沉渣厚度应符合设计要求。设计无要求时，柱桩应不大于 50mm，摩擦桩不大于 200mm。
- 5 柱桩在浇筑水下混凝土前如用射水或射风进行辅助清孔，可冲射钻孔孔底 3min~5min，将孔底沉渣物翻动上浮，然后立即浇筑水下混凝土。射水（风）压力应比孔底压力大 0.05Mpa。

7 检测与验收

7.1.1 旋挖挤扩灌注桩的施工质量检测应包括成孔、清孔、成腔、钢筋笼制作及混凝土灌注五个主要工序的检测。成腔检测应包括承力盘的数量和承力盘位置、大小的检测。

7.1.2 孔径、孔形和倾斜度宜采用专用仪器测定，当缺乏专用仪器时，可采用外径为钻孔桩钢筋笼直径加 100mm（不得大于钻头直径），长度为 4~6 倍外径的钢筋检孔器吊入钻孔内检测。

7.1.3 成孔成桩的质量标准应符合表 7.1.3-1 要求。

表 7.1.3-1 成孔成桩的质量标准

项 目	允许偏差
孔的中心位置 (mm)	群桩: 100; 单排桩: 50
孔径 (mm)	不小于设计桩径
倾斜度	钻孔: 小于 1%
孔深	摩擦桩: 不小于设计规定 端承桩: 比设计深度超深不小于 50mm
沉渣厚度 (mm)	摩擦桩: 符合设计要求, 当设计无要求时, 对于直径 $\leq 1.5\text{m}$ 的桩, $\leq 300\text{mm}$; 对桩径 $> 1.5\text{m}$ 或桩长 $> 40\text{m}$ 或土质较差的桩, $\leq 500\text{mm}$ 端承桩: 不大于设计规定
清孔后泥浆指标	相对密度: 1.03~1.10; 粘度: 17~20 $\text{Pa}\cdot\text{s}$; 含砂率: $< 2\%$; 胶体率: $> 98\%$
盘径 (%)	± 4
混凝土塌落度 (mm)	泥浆护壁: 160~220; 干作业: 70~100
混凝土强度	应符合设计要求
混凝土充盈系数	> 1.0

7.1.4 旋挖挤扩灌注桩的混凝土质量检测应符合下列要求:

1 桩身混凝土抗压强度应符合设计规定; 每桩试件组数为 2~4 组, 检验要求按铁路相关施工质量验收标准的规定执行。

2 检测方法和数量应符合设计要求。一般选有代表性的桩用无破损法进行检测, 重要工程或重要部位的桩宜逐根进行检测, 设计有规定时或对桩的质量有疑问时, 应采用钻取芯样法对桩进行检测, 对柱桩并应钻到桩底 0.5m 以下。

3 当检测后桩身质量不符合要求时, 应研究处理方案, 报监理工程师处理。

7.1.5 旋挖挤扩灌注桩的承载力试验应按铁路相关施工质量验收标准规定执行。

7.1.6 承力盘腔直径检测应符合下列规定:

1 旋挖挤扩灌注桩的承力盘腔直径应使用盘径检测仪检测 (见附录 C 承力盘腔直径检测器示意图);

2 将测杆处于收缩状态的检测器放入孔之前, 应使主测绳与副测绳处于同一水平位置上, 并标出盘位深度;

- 3 将检测器放入到承力盘所在的位置后，应放松副测绳，使测杆完全张开处于旋扩腔内，此时再提直副测绳；
- 4 在孔口处测量主测绳与副测绳的落差值；
- 5 根据承力盘腔直径与落差关系表查出相应的承力盘直径。

7.1.7 本技术规程未规定的其他检查项目应符合铁路相关施工质量验收标准的规定。

附录 A 旋挖挤扩灌注桩旋扩记录表

工程名称：

施工单位					施工日期	年 月 日	
桩号		护筒标高 (m)		桩身设计直径 (mm)		钻机编号	
设计桩长 (m)		设计孔深 (m)		实际孔深 (m)		旋扩机 编号	
承力盘设计直径 (mm)					作业班号		
盘位序号	盘位 标高 (m)	盘位深度 (m)	作业 时间	日 时 分至日 时 分			
一盘 (顶盘)			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
二盘			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
三盘			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
四盘			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
五盘			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
...			旋扩压力 P (MPa)		旋扩盘径 D_s (mm)		
有关情况说明：							
监理：		工程负责人：		校核人：		记录人：	
年 月 日		年 月 日		年 月 日		年 月 日	

附录 B 旋挖挤扩灌注桩成孔记录表

施工单位：

施工日期： 年 月 日

桩 号						成孔方式				钻机编号	
护筒标高 (m)			孔底标高 (m)			设计孔深 (m)				钻机型号	
设计桩径 (mm)			实际孔深 (m)			实际孔底标高 (m)				钻头类型	
成孔时间			本班进尺 (m)	累计进尺 (m)	钻孔偏位 情况	泥浆比重	地质情况	发生事故及处理方法	机长签字		
月	日	时									

记录员：

检验员：

技术负责人：

现场监理：

附录 C 承力盘腔直径检测仪示意图

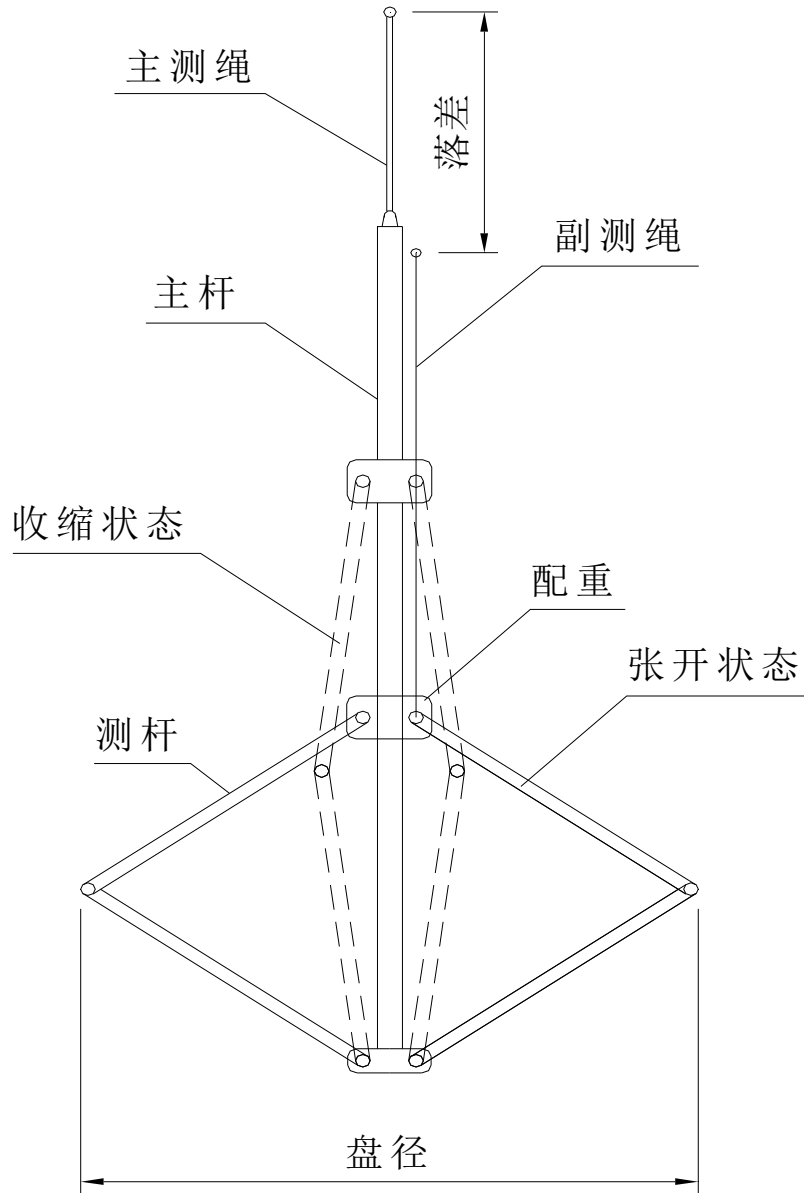


图 C 承力盘腔直径检测仪的构造示意图

本技术规程用词说明

1 为便于在执行本技术规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

(1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

《铁路工程旋挖挤扩灌注桩技术规程》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1~1.0.3 旋挖挤扩灌注桩通过沿桩身不同部位设置的承力盘，使等直径灌注桩成为变截面多支点的端承摩擦桩或摩擦端承桩，从而改变桩的受力机理，显著提高单桩承载力，增加桩基稳定性，减小桩基础沉降，降低桩基工程造价。

旋挖挤扩灌注桩的设计要综合考虑下列诸因素，把握相关技术要点，实现安全适用、经济合理、确保质量、节能环保和技术先进等目标：

1 地质条件：建设场地的地质条件，包括地层分布特性与土性，地下水赋存状态与水质等，不仅是在特定荷载条件下确定桩径、桩长的主要因素，也是选择承力盘的主要依据。因此，场地勘察做到完整可靠，使设计人员可根据具体工程的地质条件，采用优化设计方法，从而提高设计质量。

2 上部结构类型、使用功能与荷载特征。上部结构有不同的结构形式，结构构件有不同的平面和竖向布置状况，具有不同的刚度和整体性，其抗震性能及对地基变形有不同的适应能力。荷载特征是指荷载的动静态，恒载与可变荷载的大小，偶发荷载的大小，竖向压、拔荷载的大小，竖向荷载的偏心距，水平荷载的大小及其变化特征。上部结构使用功能不同，对地基基础的要求也不同。而不同的桩端与盘端持力层、承力盘的数量及其排列与布置等，则具有不同的竖向和水平承载力与变形性状。因此如何与上部结构相协调，如何适应上部结构是旋挖挤扩灌注桩的布置与计算应考虑的内容。

3 施工技术条件与环境：指旋挖挤扩灌注桩成孔成桩设备、技术及其成熟性，施工现场的设备运转、弃土及排污要求等。

2.1.1 旋挖挤扩灌注桩既可在地下水位以下的桩孔中旋扩成腔，也可在地下水位以上的桩孔中旋扩成腔。

2.1.3 承力盘可设置在桩身有效深度范围内较好土层中，以充分发挥旋挖挤扩灌注桩的竖向承载力，承力盘的数量取决于建设场地的地质条件和荷载特征。承力盘的总盘端阻力是旋挖挤扩灌注桩极限承载力的重要组成部分，因此承力盘腔的形成是旋挖挤扩灌注桩的关键工序。

2.1.6 旋挖挤扩装置采用液压油缸相对位移带动旋扩臂，旋扩时上下旋扩臂表面与土体紧密接触，边切削边碾压，使盘腔上下土体受到均衡压力，旋扩空腔顶壁土体不易坍塌，盘腔成型效果好。

2.1.7 旋扩压力值可反映出该处地层的软硬程度，如压力值偏小，表明该处地层较软，可对盘位进行适当调整，使盘位设置在有效的设计土层内，保证单桩承载力满足设计要求。

3.0.3 本条对旋挖挤扩灌注桩的承力盘的设置持力土层作出规定。

1 旋挖挤扩灌注桩的试验结果表明，按地层土质、桩长、桩身直径、承力盘直径与数量及承力盘持力层等不同情况，从荷载传递机理看，旋挖挤扩灌注桩可分属于端承摩擦桩或摩擦端承桩，而承力盘是旋挖挤扩灌注桩的重要的承载部分。因此选择结构稳定、压缩性较小、承载能力较高的土层作为承力盘的持力土层对于保证旋挖挤扩灌注桩的承载能力是十分重要的。

3.0.4 在软弱土层、松散土层和一些特殊性质土层中设置承力盘难以发挥承载作用。淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层和可能液化土层，除因承载能力弱不起作用外，还由于旋扩时土易发生流动或坍落，致使承力盘腔难以成形。故本条规定，淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层和可液化土层不得作为承力盘的持力土层。

按《铁路工程岩土分类标准》(TB10077-2001)规定，淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于1.5的粘性土；当天然含水量大于液限而天然孔隙比小于或等于1.5但大于或等于1.0的粘性土或粉土为淤泥质土；松散状态的砂土层是指 $N \leq 10$ 的砂土层。饱和砂土和饱和粉土的液化判别应符合《铁路工程抗震设计规范》(2009年版)GB50111-2006的规定。

湿陷性黄土属于非饱和的结构不稳定土，在一定压力作用下受水浸湿时，其结构迅速破坏，并发生显著的附加下沉。《铁路桥涵地基基础设计规范》规定，“位于湿陷性黄土和软土地基中的桩基础，当土壤可能出现湿陷或固结下沉时应考虑桩侧土的负摩阻力作用。”，故本条规定，湿陷性黄土层不得作为承力盘的持力层。

3.0.5 承力盘进入持力土层的最小厚度主要是考虑尽量提高承力盘端阻力的要求。对于薄持力土层，且盘端持力土层下有软弱下卧层时，承力盘进入持力土层不宜过深。

3.0.8 旋挖挤扩灌注桩承受竖向荷载时，为使承力盘充分地发挥其承载作用，避免相邻承力盘产生应力作用区重叠，根据国内外多节钻扩桩及我国各地区旋挖挤扩灌注桩工程实践的经验，并考虑到承力盘持力土层的特性，本条规定承力盘的竖向间距。

3.0.9 经大量试验分析和工程实践证明，承力盘的夹角设计成 70° 能充分发挥承力盘的优越性，这种上下对称带一定坡度的承力盘具有受力和施工的优点。

1 抗压性能明显优于传统的直孔桩。

2 具有非常好的抗拔性能。

3 在成腔的施工过程中，沉渣能够顺着坡面落下，避免沉渣在空腔底面的堆积。

4 斜面便于混凝土的浇筑，混凝土靠自身的流动性就能充分灌满整个腔体，同时还不夹泥，利于控制混凝土的密实程度。

5 承力盘的斜面形状，保证了承力盘的混凝土处于受压状态。承力盘的剪切通过桩身的钢筋，所以承力盘不会发生剪切破坏。

6 在竖向受力时，承力盘下方的斜面可以增加承力盘施加给土体的附加应力的扩散范

围，避免对土体造成剪切。

3.0.10 工程实践表明，为保证旋扩过程中底承力盘腔的完整性，桩根长度不宜小于 2.0 倍桩身设计直径。

4.0.1 旋挖挤扩灌注桩的桩径根据受力的大小、桩基形式和施工条件而定。

4.0.2 工程实践表明，适当加大旋挖挤扩灌注桩相邻桩的中心距是合理的。

5.1.1 铁路规范中没有盘端阻力的计算公式，只有端阻的计算公式，而且对于灌注桩的端阻，铁路规范与建筑规范的设计方法也不同。针对旋挖挤扩灌注桩，单桩竖向抗压承载力可按照下面 3 种方法来进行计算：

1 按照《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171—2009 的规定进行计算。

$$R_a = \frac{1}{2}(u \sum q_{sik} l_i + \eta \sum q_{Bik} A_{pD} + q_{pk} A_p)$$

2 按照《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 的规定计算桩端阻力和桩身侧摩阻力，借用该规范桩端阻力的计算方法，计算盘端阻力。

$$[p] = \frac{1}{2} U \sum f_i l_i + m_0 A [\sigma]_1 + m_0 A_{pD} [\sigma]_2$$

3 按照《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 的规定计算桩端阻力和桩身侧摩阻力，借用《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171—2009 的规定计算盘端阻力。

$$[P] = \frac{1}{2} u \sum f_i l_i + \frac{1}{2} \eta \sum f q_{Bik} A_{Bk} + m_0 A [\sigma] \quad (5.1.2-1)$$

铁路工程中对沉降控制严格，通常是地基承载力还有潜力可挖，而地基的变形却已经达到或超过按正常使用的限值，因此在铁路工程的设计方法中，桩端阻力还是采用桩底地基土的容许承载力进行设计比较符合实际情况。

5.2.1 旋挖挤扩灌注桩的桩身钢筋混凝土正截面轴心受压承载力按式 (5.2.1) 的规定验算，该式的物理意义是，在考虑桩工作条件的影响因素的情况时，荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值不得大于桩身材料的混凝土轴心抗压承载力设计值。

钢筋混凝土轴向受压桩正截面受压承载力的计算涉及标准试块与桩身受力状态的差异、纵向主筋的作用、箍筋的作用及成孔成桩工艺等因素。旋挖挤扩灌注桩属于端承摩擦桩和摩擦端承桩，桩身材料强度的合理确定对于单桩承载力的充分发挥有十分重要的意义。

现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 中定义混凝土抗压强度等级是按没有横向约束的立方体抗压强度标准值作为基本指标，而实际工程中的桩身材料，却是处于复合受力工作状态。国内外对圆柱体混凝土试件周围的加液试验结果表明，当侧向液压力不是很大时，最大主压力轴向极限强度随着侧向压应力数值的增加而提高。上述试件的受力状态比较贴切地模拟桩身受力的实际情况。

轴向受压桩的承载性状与上部结构柱相近，较柱的受力条件更为有利的是桩周受土的约束，而且侧阻力使轴向荷载随深度递减，因此桩身受压承载力由桩顶下一定区段控制。纵向主

筋的承压作用在一定条件下可计入桩身受压承载力。

箍筋不仅起水平抗剪作用,更重要的是起侧向约束增强作用。密排的箍筋约束桩身的变形,抑制桩身内部细小裂缝的开展和贯通,从而使桩身混凝土抗压能力得以提高。曼德尔等(Mander et al 1984)指出,带箍筋的约束混凝土轴心抗压强度较无约束混凝土提高 80%左右,且其应力-应变关系得到改善。

由此可见,桩身抗压能力,不仅局限于桩身混凝土材料本身,还包括纵向主筋和箍筋的贡献。

此外,桩身混凝土强度和截面变异受成孔成桩工艺的影响。《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 就其成桩环境、质量可控程度不同,规定成孔工艺系数如下:干作业非挤土灌注桩为 0.90,泥浆护壁和套管护壁的非挤土灌注桩、部分挤土灌注桩为 0.75~0.80。

综上所述式(5.2.1)中工作条件系数 ψ_c 应综合考虑桩身受力状态、纵向主筋与箍筋的作用及成孔成桩工艺等因素。

5.3.1 旋挖挤扩灌注桩基沉降计算和沉降允许值符合现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》的有关规定,留有安全余量。

6.0.1 除一般规定以外,有关施工工序、工艺及指标要求按照铁路相关桥涵工程施工技术规范的相关规定执行。

6.0.2 当地质条件复杂多变时,旋扩压力值变化较大时,允许在±1m 范围内适当调整盘位,如果调整范围过大,及时联系现场监理工程师,会同有关方洽商,最终解决方案应由设计方认可,必要时进行设计变更。

6.0.3 由于旋扩承力盘腔过程中会有部分泥土掉入孔底,旋挖钻机成孔的,一般在扩盘后进行二次回钻清孔,连同预留的原状土一并清出。

7.1.1 为加强旋挖挤扩灌注桩施工过程中的检验,本条规定旋挖挤扩灌注桩的施工质量检查包括主要工序的检查,除检查成孔、清孔、钢筋笼制作及混凝土灌注等常规施工质量外,还重点检查旋扩承力盘腔的质量。承力盘腔的质量主要指承力盘腔的直径、标高、间距及数量,其盘腔直径用旋挖挤扩灌注桩专用的承力盘腔直径检测仪进行检测。

混凝土灌注前的孔底虚土,对于干作业成孔的旋挖挤扩灌注桩主要是指钻具的扰动土、孔口和孔壁的回落土;对于泥浆护壁成孔的旋挖挤扩灌注桩主要是指沉渣。本条对使用功能不同的桩,规定不同的允许虚土厚度标准。

附录 C 承力盘腔直径与落差的关系值在使用前需检查测定,才能保证量测准确。