



压力型预应力抗浮锚杆结构设计探讨

报告人：唐振兴

2023年11月10日 中国·青岛





一、技术背景

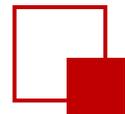
- (1) 相关规范简介
- (2) 普通锚杆的缺陷和使用限制
- (3) 传统预应力抗浮锚杆（含国标图集做法）的缺陷

二、新型压力型预应力抗浮锚杆技术的介绍

- (1) 技术发明人简介
- (2) 力学模型
- (3) 技术分析
- (4) 经济分析
- (5) 施工介绍
- (6) 锚杆检测

三、新型压力型预应力抗浮锚杆的设计

四、工程案例及现场照片





相关规范简介

UDC
中华人民共和国行业标准 **JGJ**
P
JGJ 476-2019
备案号 J 2745-2019

建筑工程抗浮技术标准
Technical standard for building engineering against uplift

2019-07-30 发布 2020-03-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

UDC
中华人民共和国国家标准 **GB**
P
GB 50086-2015

岩土锚杆与喷射混凝土支护工程
技术规范
Technical code for engineering of
ground anchorages and shotcrete support

2015-05-11 发布 2016-02-01 实施

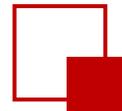
中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 联合发布

UDC
中华人民共和国黑色冶金行业标准 **YB**
P
YB/T 4659-2018

抗浮锚杆技术规程
Technical Specification for Anti-floating Anchors

2018-04-30 发布 2018-09-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布





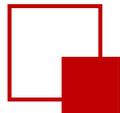
相关规范简介

1、2022年1月1日开始实施的GB 55001-2021《工程结构通用规范》规定，结构的耐久性~~是~~保证结构在设计工作年限内，能够正常使用的必要条件。

- 2.1.1 结构在设计工作年限内，必须符合下列规定：
- 1 应能够承受在正常施工和正常使用期间预期可能出现各种作用；
 - 2 应保障结构和结构构件的预定使用要求；
 - 3 应保障足够的耐久性要求。

属于强制性条文！！！！

目前工程上普遍使用的全粘结拉力型抗浮锚杆（即普通锚杆）属于单一注浆体包裹锚杆，注浆体为其唯一的防腐保护层，且注浆体受拉极易开裂，其耐久性存在隐忧。





相关规范简介

2、2020年3月1日开始实施新的《建筑工程抗浮技术标准》（JGJ 476-2019），对抗浮锚杆裂缝控制提出了明确要求：

（1）抗浮设计等级为甲级的工程，按不出现裂缝进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中不应产生拉应力；

（2）抗浮设计等级为乙级的工程，按裂缝控制进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中拉应力不应大于锚固浆体轴心受拉强度。

7.5.8 抗浮锚杆锚固体裂缝控制设计应符合下列规定：

1 抗浮设计等级为甲级的工程，按不出现裂缝进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中不应产生拉应力，并应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (7.5.8-1)$$

式中： σ_{ck} ——荷载效应标准组合下正截面法向应力（kPa）；

σ_{pc} ——扣除全部应力损失后，锚固浆体有效预压应力（kPa）。

2 抗浮设计等级为乙级的工程，按裂缝控制进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中拉应力不应大于锚固浆体轴心受拉强度，并应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (7.5.8-2)$$

式中： σ_{ck} ——荷载效应标准组合下正截面法向应力（kPa）；

σ_{pc} ——扣除全部应力损失后，锚固浆体有效预压应力（kPa）；

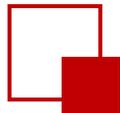
f_{tk} ——混凝土、砂浆体轴心抗拉强度标准值（kPa）。

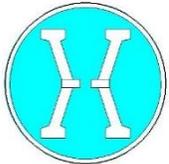
3 抗浮设计等级为丙级的工程，按允许出现裂缝进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中最大裂缝宽度应满足下式要求：

$$\tau_{w_{max}} \leq \tau_{w_{lim}} \quad (7.5.8-3)$$

式中： $\tau_{w_{max}}$ ——按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算得到的最大裂缝宽度；

$\tau_{w_{lim}}$ ——最大裂缝宽度限值，根据场地环境条件按本标准第 7.1.11 条确定。





相关规范简介

表 3.0.1 建筑抗浮工程设计等级

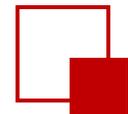
抗浮工程设计等级	建筑工程特征
甲 级	工程地质和水文地质条件复杂场地的工程； 设计地坪低于防洪设防水位或处于经常被淹没场地的工程； 埋深较大和结构荷载分布变化较大的工程； 对上浮、隆起及其裂缝等有特殊要求的工程； 抗浮失效危害严重的工程； 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定设计等级为甲级的工程； 进行抗浮治理的既有工程
乙 级	除甲级、丙级以外的工程
丙 级	工程地质和水文地质条件简单场地的工程； 抗浮失效对工程安全危害不严重的工程； 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定设计等级为丙级的工程； 临时性工程



表 3.0.1 地基基础设计等级

设计等级	建筑和地基类型
甲 级	重要的工业与民用建筑物 30 层以上的高层建筑 体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等） 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡） 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于 15m 的基坑工程 周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙 级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙 级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑；次要的轻型建筑物 非软土地区且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于 5.0m 的基坑工程

目前大部分地下室抗浮等级属于甲级或乙级。





乙级抗浮采用普通锚杆能否满足规范要求？即 $\sigma_{pc} = 0$ 的情况下， $\sigma_{ck} \leq f_{tk}$

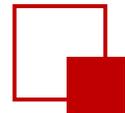
2 抗浮设计等级为乙级的工程，按裂缝控制进行设计，在荷载效应标准组合下锚固浆体中拉应力不应大于锚固浆体轴心受拉强度，并应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (7.5.8-2)$$

式中： σ_{ck} ——荷载效应标准组合下正截面法向应力（kPa）；

σ_{pc} ——扣除全部应力损失后，锚固浆体有效预压应力（kPa）；

f_{tk} ——混凝土、砂浆体轴心抗拉强度标准值（kPa）。





举例：某乙级抗浮的锚杆直径200，抗浮承载力260kN，锚固浆体采用M35水泥砂浆

7.5.6 锚杆筋体截面面积应按下式确定：

$$A_s \geq \frac{K_t \cdot N_t}{f_y} \quad (7.5.6)$$

按公式7.5.6计算： $A_s \geq 1444.4mm^2$ 配置3跟直径25，HRB400的钢筋即可

但要满足： $\sigma_{ck} \leq f_{tk}$ ， $f_{tk} = 2.20N/mm^2$

$$\sigma_{ck} = \frac{N_k}{A_o} \quad A_o \text{为构件换算截面面积, } A_o = A - A_s + A_s \cdot E_s / E_c$$

$$E_s = 2.0 \times 10^5 N/mm^2, \quad E_c = 0.315 \times 10^5 N/mm^2$$

$$\frac{260 \times 10^3}{3.14 \times 100 \times 100 - A_s + 6.35 A_s} \leq 2.2 \quad \text{解方程得: } A_s \geq 16220.9mm^2$$

需要配置
33根直径
25的普通
钢筋才能
满足！





相关规范简介

《建筑工程抗浮技术标准》 JGJ 476-2019

主要问题释义

《建筑工程抗浮技术标准》编制组

二〇二〇年十二月十日

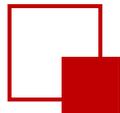


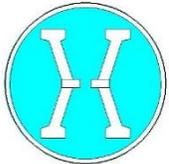


相关规范简介

1、近两年内更新的相关规程，**对普通锚杆的使用限制趋于严格**：虽然仍可以用，只是对地基土的性状有所要求。《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659-2018和GB50086-2015通过**扣除锚固段长度来限制非预应力锚杆的应用**；

2、近年抗浮锚杆工程事故调查结果显示，抗浮失效除抗浮设防水位确定过低外，主要原因是**普遍使用的全粘结拉力型抗浮锚杆（即普通锚杆）注浆/灌浆施工质量缺陷造成，就目前的施工工艺很难保证其能满足抗浮功能要求**，因此，通过裂缝控制的方式倡导使用压力型锚杆、预应力锚杆，即可规避工艺形成的隐患，又能满足承载性能，一定程度上也规避目前抗浮锚杆检测条件（水位下降前后的不同）和方法（单锚、群锚及其反力点位）的缺陷。——本意想提高对抗浮锚杆的要求，增加一道检验控制，**某种层面上不推荐使用普通抗浮锚杆**。





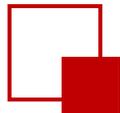
相关规范简介

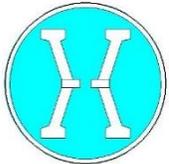
3、鉴于目前普通全粘结预应力锚杆施工质量控制较难保证，**通过施加预应力增加一道检验关口**，故引导大家选择预应力锚杆；

4、鉴于对全长粘结锚杆施工质量的担忧，倾向通过**预应力的施加对锚杆进行全数检验**。

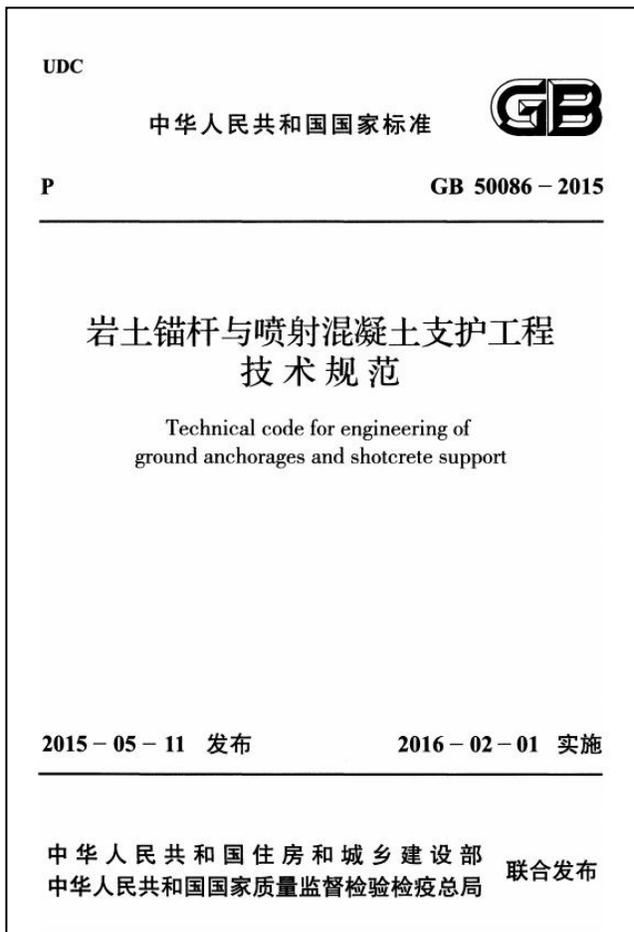
5、该条款（第7.5.8条）**针对压力型预应力抗浮锚杆最为合适**。因为，压力型预应力抗浮锚杆在施加预应力后，抗浮锚杆变为主动型受力杆件，且锚杆注浆体全生命周期均处于受压动态，没有注浆体开裂而导致杆体锈蚀的顾虑。由该条款相关规定可知，压力型预应力抗浮锚杆所施加的预应力越接近抗浮锚杆抗拔承载力特征值，基础底板（防水板）上浮挠曲越小，且其抗裂和耐久性也越好。

从编制组的解释来看，担忧的重点在于现场的施工质量。





普通锚杆的缺陷和使用限制



4 预应力锚杆

4.1 一般规定

4.1.1 预应力锚杆宜用于利用地层承受结构所产生的拉力和施加预应力来加固岩体的不稳定部位或为结构建立有效支承的工程。

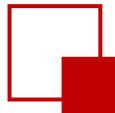
条文说明

4.1.1 与全长粘结的非预应力锚杆相比,预应力锚杆有许多优点:

- (1)在地层开挖后,能及时地提供主动的支护抗力,有效抑制开挖地层的变形;显著提高地层软弱结构面或潜在滑裂面的抗剪强度;改善岩土体的应力状态;有效利用和加强岩土体的自稳能力;
- (2)有明确的伸入潜在滑移面(破坏面)以外的锚固段,利用该区段岩土体的抗剪强度承受结构物所传递的拉力;
- (3)可在锚杆筋体外设置防护层,有效抵抗地下水的侵蚀;
- (4)可通过张拉工序,严格、准确地检验锚杆的抗拔承载力。

因此,欲利用地层承受结构所产生的拉力和施加预应力来加固岩体不稳定部位的工程,均应采用预应力锚杆。

GB50086-2015《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》直接限制普通锚杆应用于地下室抗浮工程





普通锚杆的缺陷和使用限制

条文说明

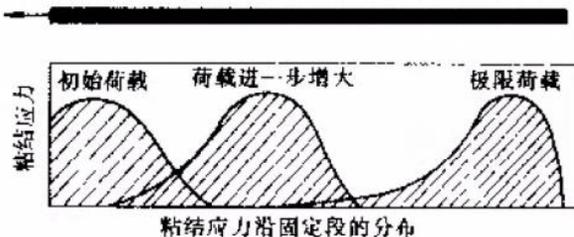
UDC
中华人民共和国黑色冶金行业标准 **YB**
P YB/T 4659—2018

抗浮锚杆技术规程
Technical Specification for Anti-floating Anchors

2018-04-30 发布 2018-09-01 实施

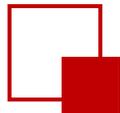
中华人民共和国工业和信息化部 发布

5.2.3 锚固体与地层黏结强度应通过现场试验或按地区经验确定。初步设计时,锚固体为浆体时也可按《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086)取值,其中对于非预应力锚杆,孔口以下0~4m长度范围内地层为岩体基本质量等级IV~V级的岩层时 f_{mk} 宜适当折减,为土层时宜取0。



采用普通锚杆时,岩体基本质量等级IV~V级的岩层锚杆和土层锚杆不应计入顶部4m锚固段的侧阻

5.2.2、5.2.3 由于岩土参数及施工效果的不确定性很大,锚固体抗拔承载力只能通过现场试验最终确定。尤其对于扩体锚杆,按目前已有的设计计算理论,计算结果可能与实际相差数倍,故本规程不推荐扩体锚杆抗拔承载力估算公式。非预应力锚杆应用于岩层之外的地层时,在往复变化的水浮力荷载作用下,基础结构近端锚杆锚固体倾向于逐步与周围土体脱开、黏结力向锚固体远端转移,同时产生不可恢复的塑性变形,此时按锚杆全长计算承载力是不符合实际受力状态和不安全的,实际设计中应预留一定长度的锚固段不参与或部分参与承载力计算是偏于安全的,同时,当锚固体前端与周围岩土体脱开后的剩余锚固长度仍然足以提供抗浮所需承载力时,脱开的部分则可以作为事实上的锚杆自由段对后续的锚杆变形产生有利影响。另外,抗浮锚杆往往在基坑底施工,土层通常会有一定量的隆起而强度降低,且非预应力锚杆锚固体在孔口附近上覆土厚度不足,这些原因将导致黏结强度降低。考虑到预应力锚杆锚固段上覆土4.0m的厚度要求,本条规定非预应力锚杆不参与承载力计算的锚固段长度不宜小于4.0m,即锚固体与地层间的黏结强度取0。基本质量等级I~III级的岩石锚杆受力作用与破坏机理不同于土层锚杆,可不受4.0m的限制;基本质量等级IV~V级的岩石锚杆则适当考虑强度折减。





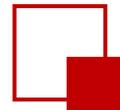
普通锚杆的缺陷和使用限制



6 采用较厚的筋体截面以增加腐蚀裕量代替保护层几乎不能提供防护,因为筋体上的点腐蚀分布不均匀、开展迅速且优先在局部凹穴或表面不规则处展开,而锚杆又属于“一点溃而全局崩”的构件,存在这类点蚀时腐蚀裕量提供不了太大作用,故本规程不推荐其为有效防腐措施。

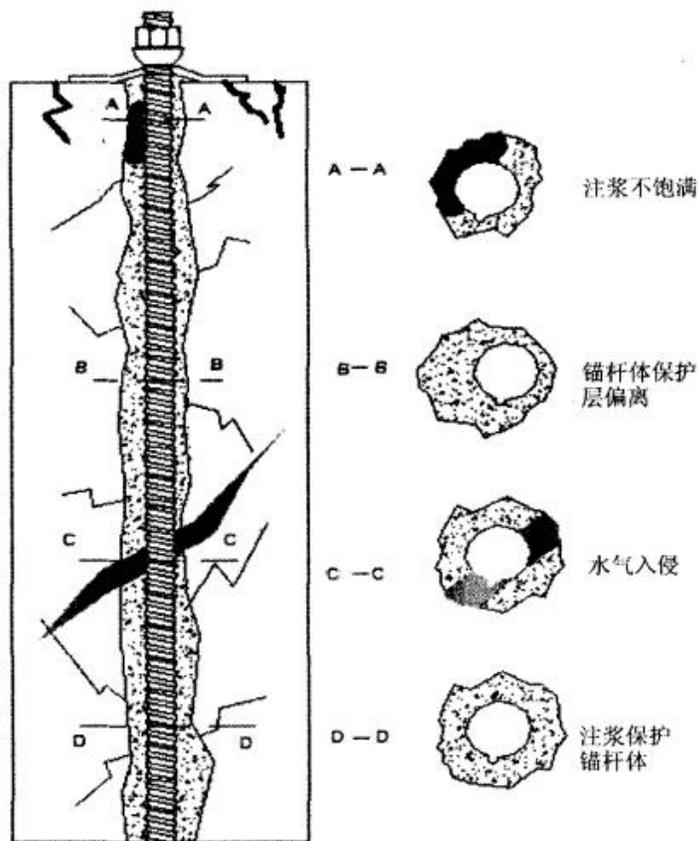
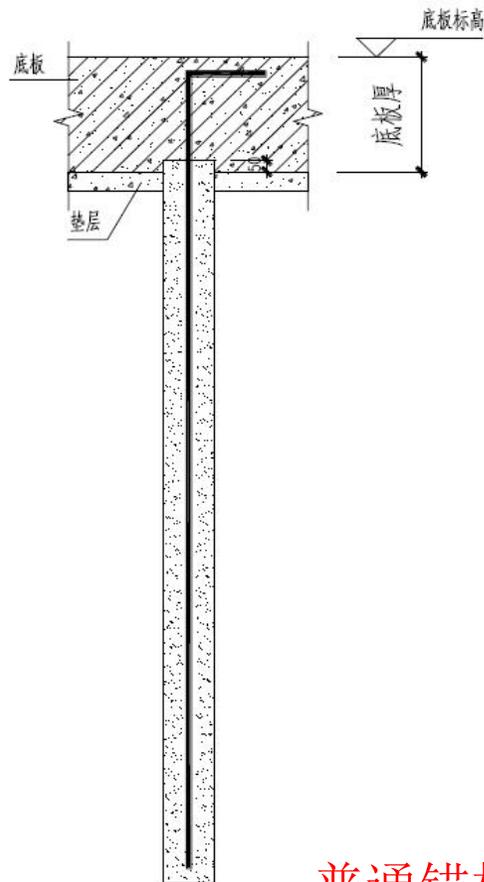
8 《混凝土结构设计规范》(GB 50010)及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)等技术标准提供了混凝土裂缝宽度计算公式。有学者认为,非预应力锚杆与抗拔桩工作机理及性能类似,可参照抗拔桩进行裂缝宽度估算,如按《混凝土结构设计规范》(GB 50010)中相关公式验算,裂缝宽度不应超过 0.2mm;如按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)中相关公式验算,裂缝宽度不应超过 0.1mm。但经验表明,筋体为钢绞线及预应力螺纹钢筋等高强材料时不太适合采用该两本规范提供的公式计算裂缝宽度,计算结果往往较大,而高强材料是国家所大力推广的。故本规程不推荐采用裂缝控制作为防腐方法。

普通锚杆设计时普遍采用“裂缝验算控制法”或“预留腐蚀裕量法”作为防腐手段,已不被近些年的规范规程所接受。

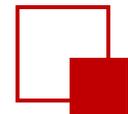


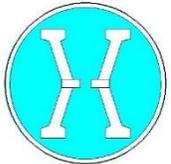


普通锚杆的缺陷和使用限制

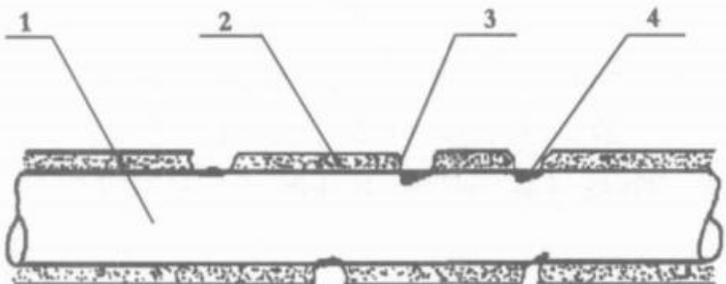


普通锚杆设计大样及缺陷示意图





普通锚杆的缺陷和使用限制



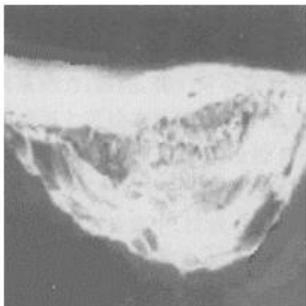
1—锚杆;2—浆体;3—注浆不连续处;4—腐蚀点

普通锚杆腐蚀示意图



(a)

普通锚杆表面腐蚀穿孔和坑蚀



(b)



(a) 轻度腐蚀



(b) 中度腐蚀

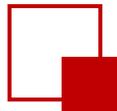


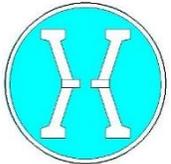
(c) 重度腐蚀

锚杆表面腐蚀形态

影响锚杆耐久性的最大威胁来自于金属锚筋的腐蚀。而局部腐蚀是普通锚杆失效的主要原因。

工程上广泛使用的普通锚杆属于单一注浆体包裹锚杆，注浆体为其唯一的防腐保护层。





普通锚杆的缺陷和使用限制

普通锚杆的经济性并不理想

普通锚杆使用的热轧普通钢筋的抗拉强度设计值低，**用钢量大**，锚杆中钢筋的费用占比较高。

以HRB400级钢筋为例，其抗拉强度设计值为**360N/mm²**，对比预应力钢绞线抗拉强度设计值可以达到**1320N/mm²**。

∅25钢筋每米3.85kg，15.2钢绞线每米1.101kg。

∅25钢筋4000元/吨，钢绞线5300元/吨

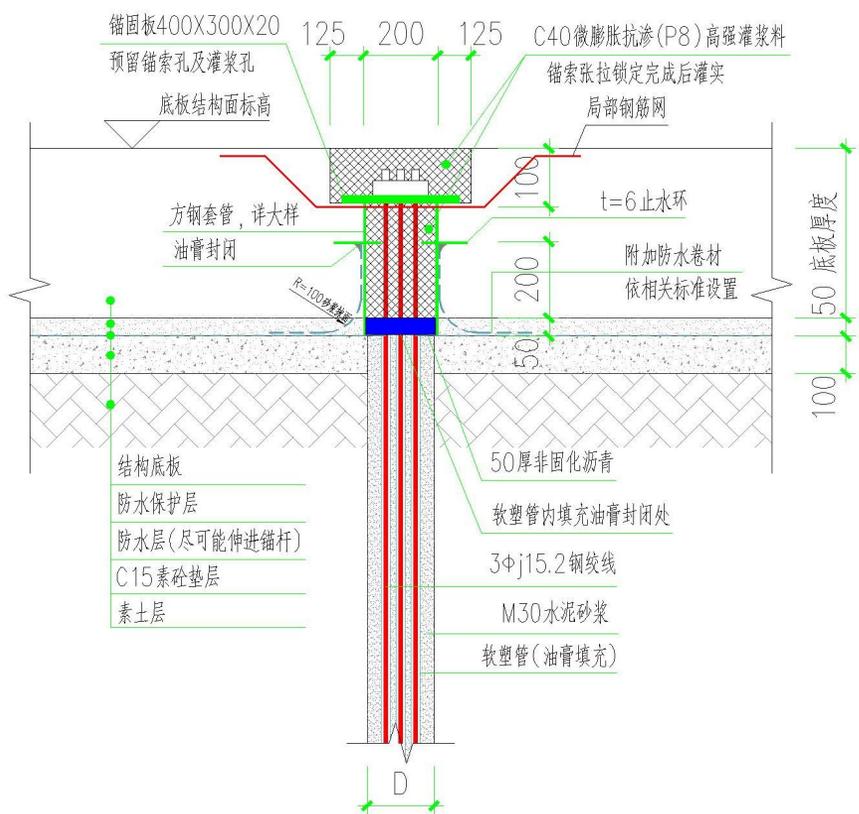
∅25钢筋15.4元/米，钢绞线5.83元/米

单根∅25钢筋对应抗拔力特征值88kN，15.2钢绞线对应92kN

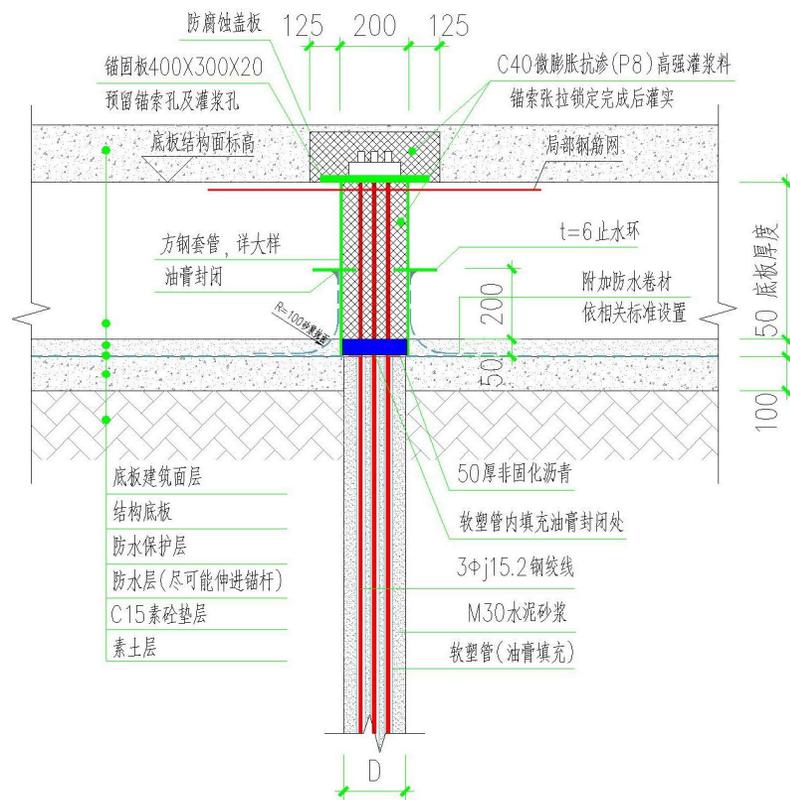




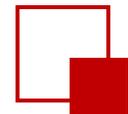
传统预应力抗浮锚杆做法的缺陷

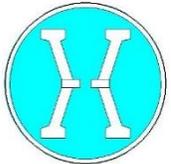


传统方案一



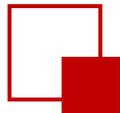
传统方案二

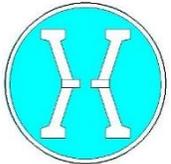




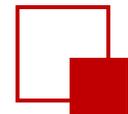
传统预应力抗浮锚杆做法的缺陷

1. 节点复杂，施工工序繁多，造价高；
2. 底板内预留套管（过渡管）需要后注浆，不易密实，且此处易形成渗漏通道；
3. 露出底板面的锚头存在腐蚀问题，需要处理，且对找平层厚度有一定影响，需增加建筑面层厚度，影响地下室净高或增加地下室埋深，增加造价；
4. 需在底板施工完成后，才能张拉钢筋，增加锚杆施工工期；
5. 需要增加一道封锚工序，费时费钱；
6. 底板施工完成后，锚杆检测无法进行，一旦有问题，很难补救。



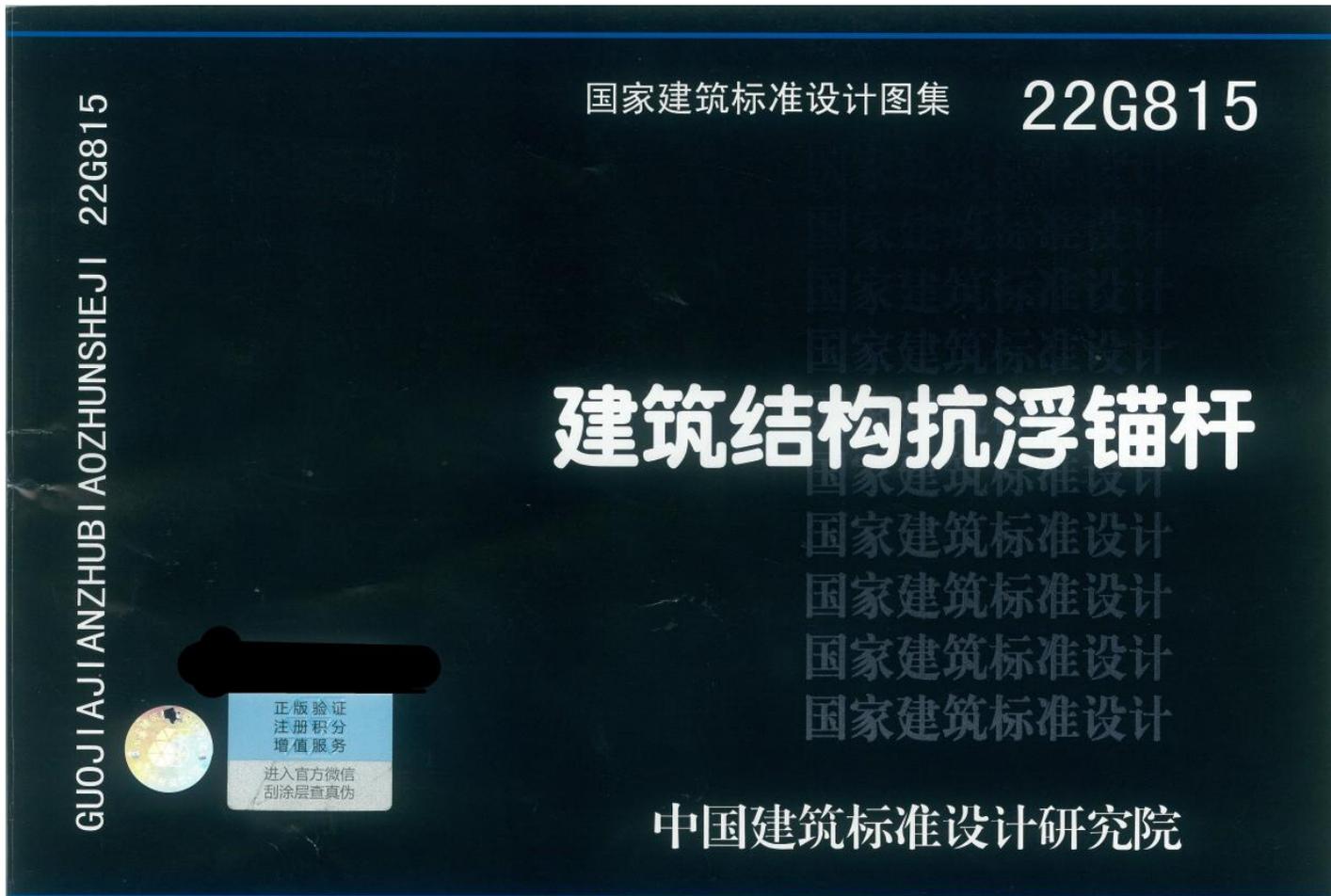


传统预应力抗浮锚杆做法的缺陷

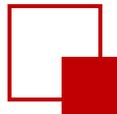


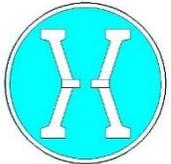


国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷



去年底颁布的



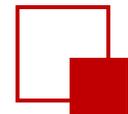


国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

表2 锚杆类型及适用条件

锚杆类型	锚杆工作特性与适用条件
全长粘结型锚杆	<ol style="list-style-type: none">1. 适用于岩层或土层，竖向位移控制要求不严格；2. 单根锚杆抗拔承载力特征值不宜大于240kN（土层）和350kN（岩层）；3. 锚杆长度宜为3m~10m（岩层）和7m~15m（土层）
拉力型预应力锚杆	<ol style="list-style-type: none">1. 适用于硬岩、中硬岩或硬土层，单根锚杆抗拔承载力特征值不宜大于400kN；2. 锚固段长度大于10m（岩层）和15m（土层）时，承载力的增加值有限
压力型预应力锚杆	<ol style="list-style-type: none">1. 单根锚杆抗拔承载力特征值不宜大于400kN（土层）和1000kN（岩石）；腐蚀性较高的土层，单根锚杆抗拔承载力特征值不宜大于300kN；2. 锚固段长度大于10m（岩层）和15m（土层）时，承载力的增加值有限

严格来讲，真正满足《建筑工程抗浮技术标准》甲级和乙级抗浮要求的只有压力型预应力抗浮锚杆！





国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

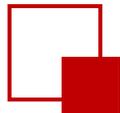
7.5 锚杆法

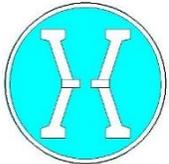
7.5.1 抗浮锚杆与边坡、基坑中使用的锚杆在承载方式、受力状态、变形要求和检测方法上均不相同，目前工程实践中采用各自熟悉且又不统一的技术标准进行设计，存在的争议和异议较多，因此，有必要进行系统整理和协调，以确保治理方案的合理性。

1 锚杆由于其直径较小且变形相对较大，提供的抗浮力及其发挥程度存在一定的局限性，因此，治理方案的合理性和经济性需要考虑地下水浮力大小、结构受力及变形的要求。抗浮锚杆的耐久性问题主要是指锚固体抗裂验算和筋体腐蚀问题。

3 锚杆孔洞直径较小，采用波纹管后，波纹管与孔壁间隙很小，注浆很难密实，易产生气孔及无保护层现象，容易造成金属波纹管锈蚀；目前锚杆工程中金属波纹管应用很少，尚缺乏足够经验，故不应采用。

国标图集没严格执行《建筑工程抗浮技术标准》，更加偏重于防腐等级的概念设计，仔细比较各类型锚杆的做法，可以看出，I级防腐的锚杆杆体需要两道防腐措施，II级防腐的锚杆杆体需要一道防腐措施。





国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

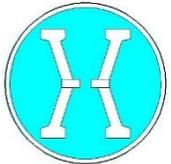
续表

防腐等级	锚杆类型	杆体材料	锚头区域	筋体自由段	黏结段/承载体
I 级	非预应力型	热轧带肋钢筋或预应力螺纹钢	波纹管或环氧涂层进入基础结构不少于 50mm，过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	—	波纹管内预注浆，管外现场注浆；或敷涂环氧涂料后波纹管内外注浆，或敷涂环氧涂料后浆体置于厚度不少于 150mm 的水泥土中
		环氧涂层钢筋	波纹管进入基础结构不少于 50mm，或过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	—	波纹管内外注浆，或浆体置于厚度不少于 150mm 的水泥土中

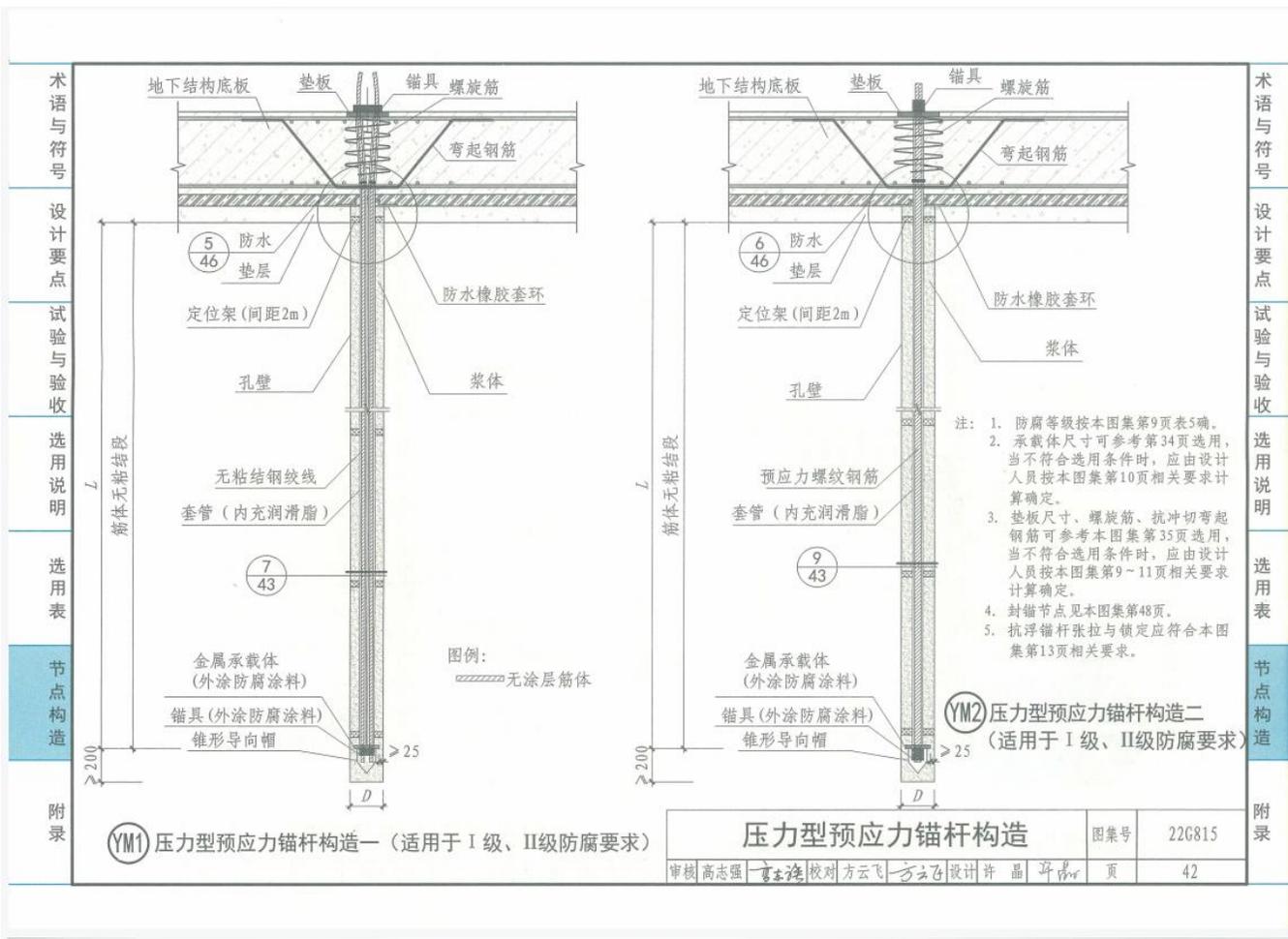
注：1 有足够经验时，也可敷涂其他防腐材料替代环氧树脂防腐涂料，也可采用缓凝浆体替代锁定后注浆；
 2 筋体自由段采用双层套管时，内护管不得共用，外护管应该共用；
 3 波纹管内预注浆应在工厂（或相当于）条件下进行，浆体保护层厚度不应小于 20mm；
 4 有足够经验时，可采用变形管、带肋管或气囊替代波纹管；
 5 内护管也可采用波纹管、变形管、带肋管等；
 6 采用树脂替代浆体时，可作为 I 级防腐保护；
 7 金属承载体防腐涂层厚度不应小于 3mm；
 8 电流干扰环境腐蚀等级为中等时，应采用至少一层护管防腐。

仔细分析国标图集中各锚杆大样的做法，其算一道防腐措施的有：1、附着在筋体上的防腐层（筋体的护套+油膏、筋体的环氧涂层）；2、波纹管+内注浆；3、不开裂（施加了预应力）的浆体。但采用波纹管+内注浆这一道防腐措施属纸上谈兵，很难实施！

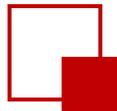


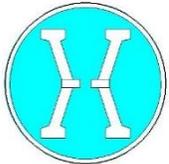


国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷



在这里
只讨论锚固
节点做法





国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

关于抗浮锚杆张拉后出现渗漏的原由推测

泥瓦搬运工

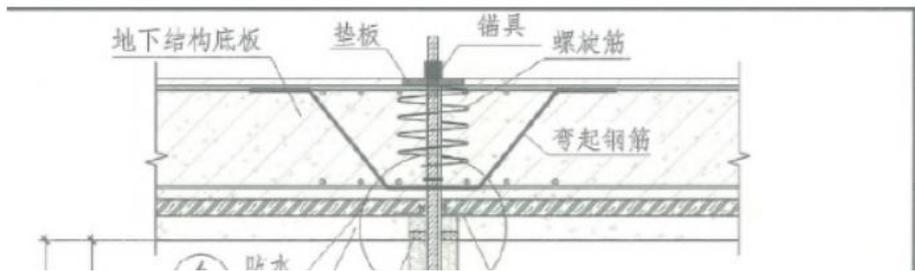
一、工程现状描述：

- 1、抗浮标准执行后，抗浮锚杆由传统全长粘结性改为压力型，筋体采用钢绞线或PSB高强钢筋；
- 2、按照抗浮标准，为提高耐久性，需对锚固体施加预应力，即对筋体进行张拉，以提供预压应力；
- 3、常用抗浮锚杆举例：直径200，长度10m，筋体1根25（1080级）；
- 4、现象1：据调研多地多项目（武汉、南京、成都、杭州等），在底板完成后进行张拉，均出现不同程度的冒水、渗水现象，水沿着筋体、套管缝隙向上冒；而没有张拉前则基本未见渗水情况；

猜测：是否有这个可能，锚杆作为细长杆件，理论为轴压，实际工况势必会出现偏压，从而导致边缘纤维受拉，在张拉施加预压力的过程中已经出现了裂缝，沿着杆体形成渗水通道，

即：为了控制裂缝而张拉，但因为张拉而导致了裂缝；

- 5、现象2：如先张拉，后浇筑底板，则底板面基本不见水；（猜测：即使锚固体出现了裂缝，也因为底板有较好的防水措施，水只能到底板底，而不具备沿着套管冒到底板面的可能）



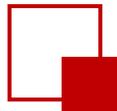
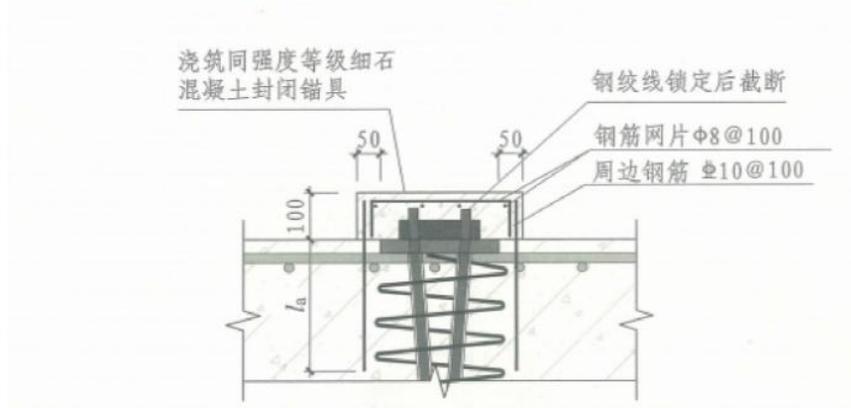
关于预应力抗浮锚杆张拉后渗漏水问题的原因分析

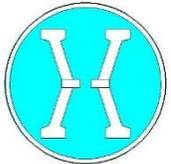
湖南弘兴抗浮工程技术有限公司 总经理 高级工程师 唐振兴 (13027431828微信同号)

最近土木吧公众号发表了一篇《关于抗浮锚杆张拉后渗漏水的一些推测》的文章（原创网友：泥瓦故事汇），里面针对目前预应力抗浮锚杆张拉后普遍渗漏水问题做了一些分析，引起了同行们地热烈讨论和关注，里面有几个核心观点：1、实际项目中，在底板浇筑后再进行张拉的，普遍出现了渗漏水的情况；2、先张拉，后浇筑底板，则底板面基本不见水；3、推测漏水的原因是因为锚杆在张拉过程中出现偏压导致开裂引起的，并举例计算出了偏心距的限值。

针对同行“泥瓦故事汇”描述的工程实际现象，本人深有同感，但对推测的偏压引起开裂的原因不以为然。针对在底板浇筑后张拉（国标图集做法）常常渗漏水，先张拉后浇筑底板不渗漏水的原因，本人分析如下：

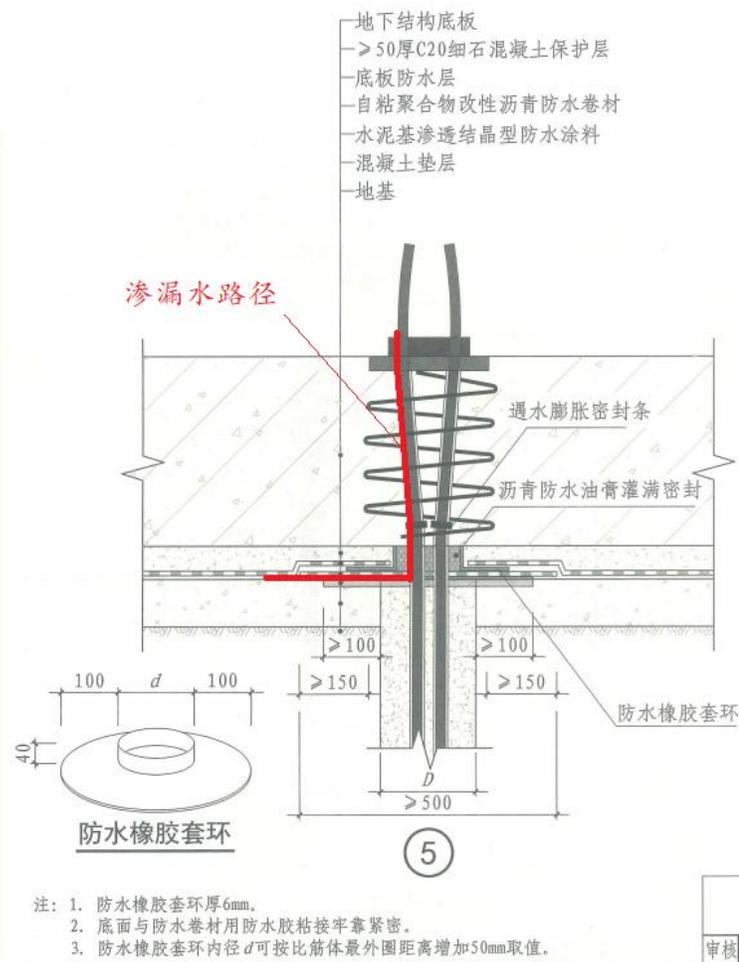
一、国标图集《建筑结构抗浮锚杆》（22G815）的做法为什么会漏水，首先要搞清楚渗漏水的路径。国标图集针对预应力类抗浮锚杆锚头做法其实就以下两种，一种是锚具完全突出底板面，张拉锁定之后封锚；一种是底板面留坑，张拉锁定后填坑封锚，其漏水原因是一样的，因为封锚那坨混凝土对于防水基本是没什么实际作用的。



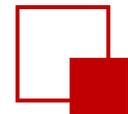


国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

图集的做法在理论上已经考虑得很详细了，如果施工能严格到位，应该是问题不大的，但实际上施工环境、施工队伍水平、执行力等因素千差万别，图示防水构造中的建筑防水措施因为工序复杂，非结构安全问题工人不理解不重视，隐蔽验收又难以全面到位，其容错性较差，各种偶然因素叠加在一起，出现问题将成为必然。



防水构造



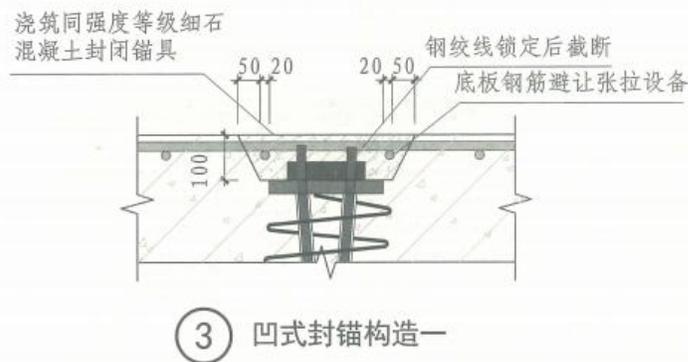
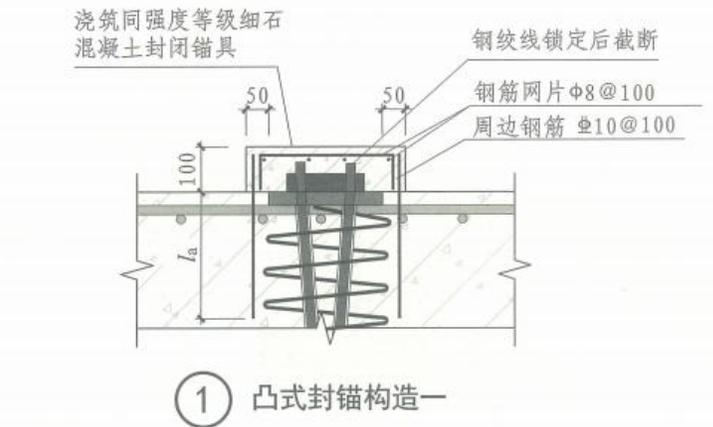


国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

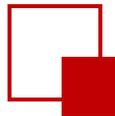
国标图集针对预应力类抗浮锚杆锚头做法其实就以下两种，一种是锚具完全突出底板面，张拉锁定之后封锚；一种是底板面留坑，张拉锁定后填坑封锚，其漏水原因是一样的，因为封锚那坨混凝土对于防水基本是没什么实际作用的。

凸式封锚：插筋是先预埋还是后植筋？增加建筑面层厚度。

凹式封锚：留坑需要支模，浇底板混凝土时需要保护；张拉千斤顶最低需要300X300的空间，底板钢筋如何避让，是否需要截断钢筋？



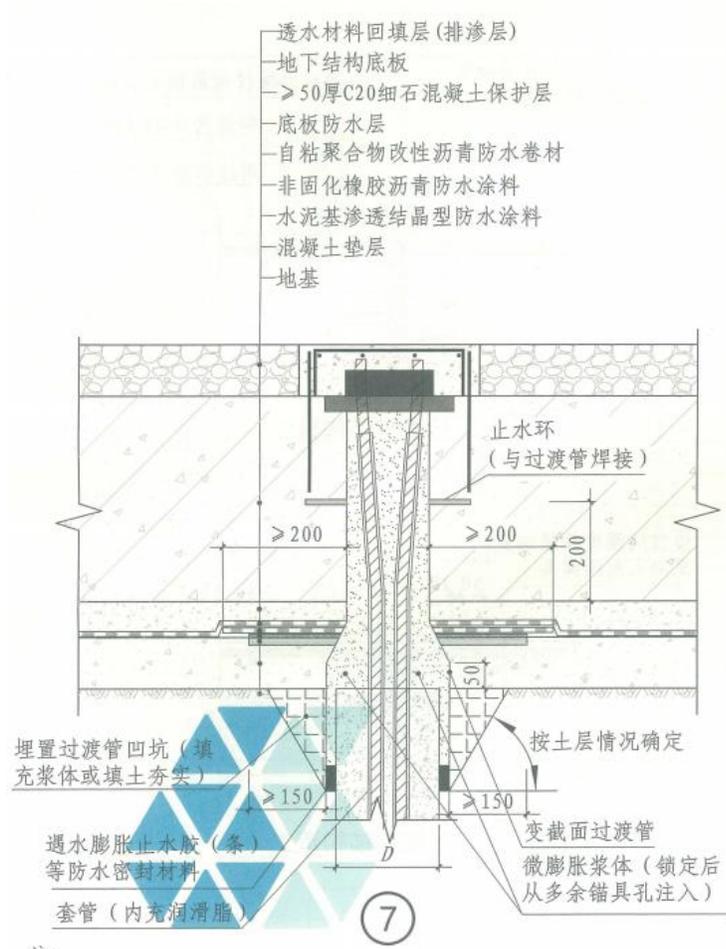
封锚构造



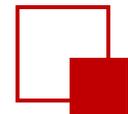


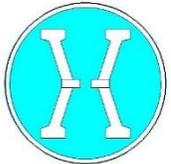
国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

设计看了流泪，
施工看了心碎...
我始终坚信：大道
至简！



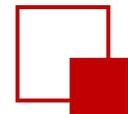
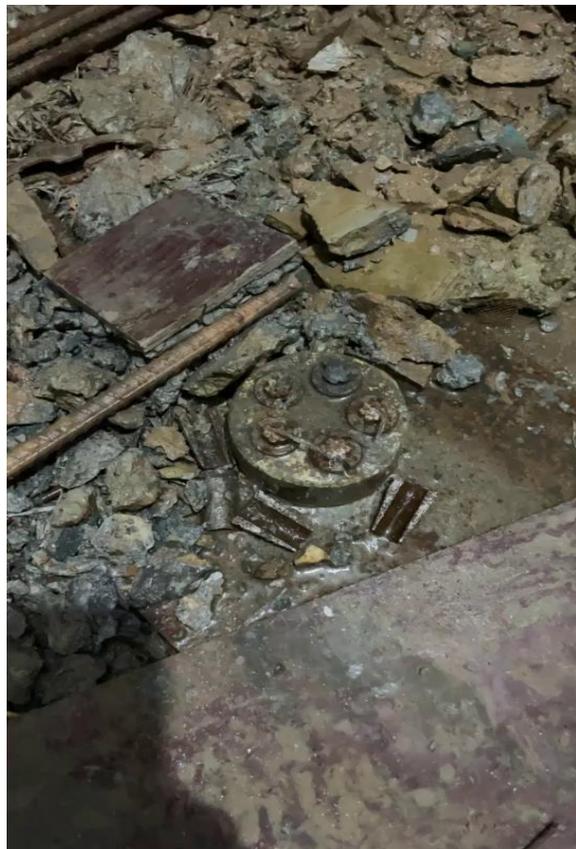
- 注：
1. 当选用本页⑦⑧节点时，过渡管内后注浆应有可靠措施，保证注浆密实。
 2. 锚固节点应按本图集第9~11页相关规定进行设计。
 3. 当设置排渗层时，应结合配套排渗方案综合设计。

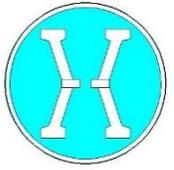




国标图集预应力抗浮锚杆做法的缺陷

最近两个采用在
底板面张拉，出
现漏水的项目，
目前是找平层都
无法施工

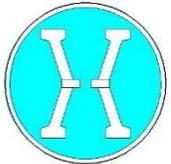




1、采用预应力抗浮锚杆可以解决规范的必要性问题，但目前常规的预应力锚杆构造复杂，施工工序繁多，实施困难，质量隐患不可控，又造价高昂，因此亟需一种安全可靠、施工便捷、经济合理的新型预应力抗浮锚杆。

2、中机国际工程设计研究院有限责任公司的专家团队在不断的工程设计、实践摸索中，发明了一种新型的压力型预应力锚杆抗浮结构及其施工方法，创造性的解决了常规预应力锚杆的一系列问题，安全适用、技术先进、经济合理，经过近百个工程项目的实际应用，反应良好，得到了设计同行、建设单位、施工单位的一致认可。





技术发明人简介

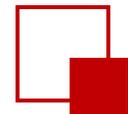
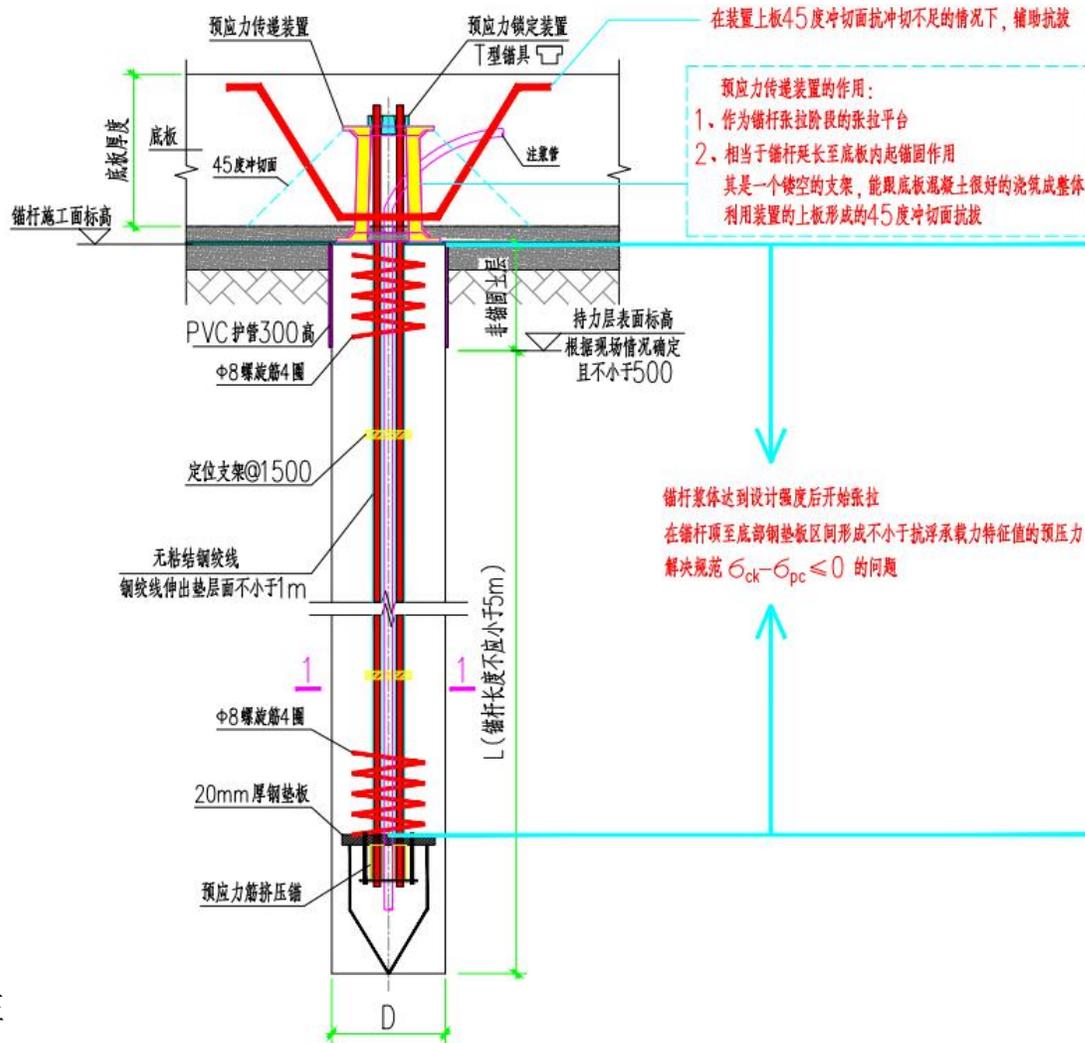
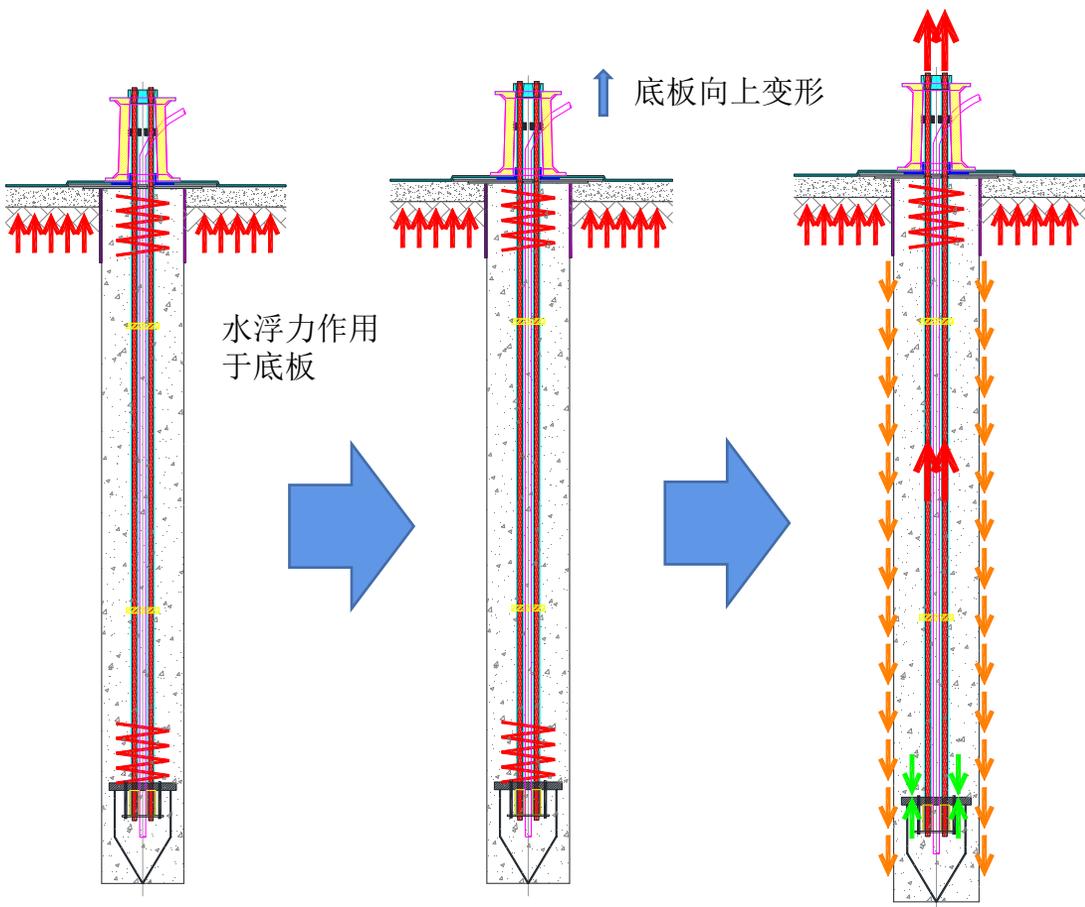
谭光宇

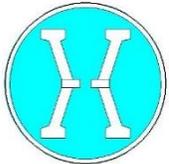
- 中机国际工程设计研究院有限责任公司结构总工
- 教授级高级工程师
- 中国勘察设计协会结构设计分会第一届理事会理事
- 中国建筑振动专业委员会第七届委员
- 中国钢结构协会结构设计分会理事
- 中国勘察设计协会技术专家委员会专家
- 国家核心期刊《建筑结构》审稿专家
- 中南大学硕士研究生兼职指导教师
- 湖南大学硕士研究生兼职指导教师
- 一级注册结构工程师
- 注册造价工程师
- 湖南省土木建筑学会第九届理事
- 湖南省结构专业委员会常务委员、副秘书长
- 湖南省钢结构协会理事
- 湖南省钢结构协会专家委员会专家
- 湖南省建设工程消防验收技术专家库成员
- 湖南省第一届应急管理专家
- 湖南省住建厅专家库结构专家
- 长沙市建设局专家库结构专家
- 湖南省综合评标专家库专家
- 湖南省住房和城乡建设厅绿色建造专家委员会成员





力学模型





技术分析

第 51 卷 第 21 期

建 筑 结 构

Vol. 51 No. 21

2021 年 11 月上

Building Structure

Nov. 2021

DOI:10.19701/j.jzjg.2021.21.002

全长压力型后张预应力抗浮锚杆结构设计研究

谭光宇, 蒋耀华, 方伟明, 高明宇, 李娜, 史锋涛, 王宇赞, 肖龙君
(中机国际工程设计研究院有限责任公司, 长沙 410007)

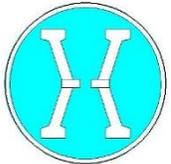
[摘要] 目前预应力抗浮锚杆存在施工工艺复杂、渗水隐患大、工程造价高等问题,限制了其在工程中的运用。介绍了一种全长压力型后张预应力抗浮锚杆,此预应力抗浮锚杆通过在锚杆顶端设置预应力传递装置,将地下室底板受到的水浮力传递给锚杆;该预应力传递装置一方面为预应力筋提供张拉平台,另一方面承担锚杆在地下室底板中的锚固。预应力抗浮锚杆在地下室底板混凝土浇筑前完成张拉,保持了地下室底板的完整性,消除了渗水隐患。最后对此预应力抗浮锚杆设计的关键技术进行了研究。

[关键词] 预应力抗浮锚杆;张拉反力;预应力传递装置;压力型锚杆;局部受压;抗冲切能力

中图分类号:TU318 文献标识码:A 文章编号:1002-848X(2021)21-0007-04

[引用本文] 谭光宇,蒋耀华,方伟明,等. 全长压力型后张预应力抗浮锚杆结构设计研究[J]. 建筑结构,2021,51(21):7-10,6. TAN Guangyu,JIANG Yaohua,FANG Weiming,et al. Study on structural design of full-length compression post-tensioned prestressed anti-floating anchor[J]. Building Structure,2021,51(21):7-10,6.

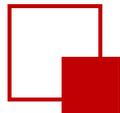
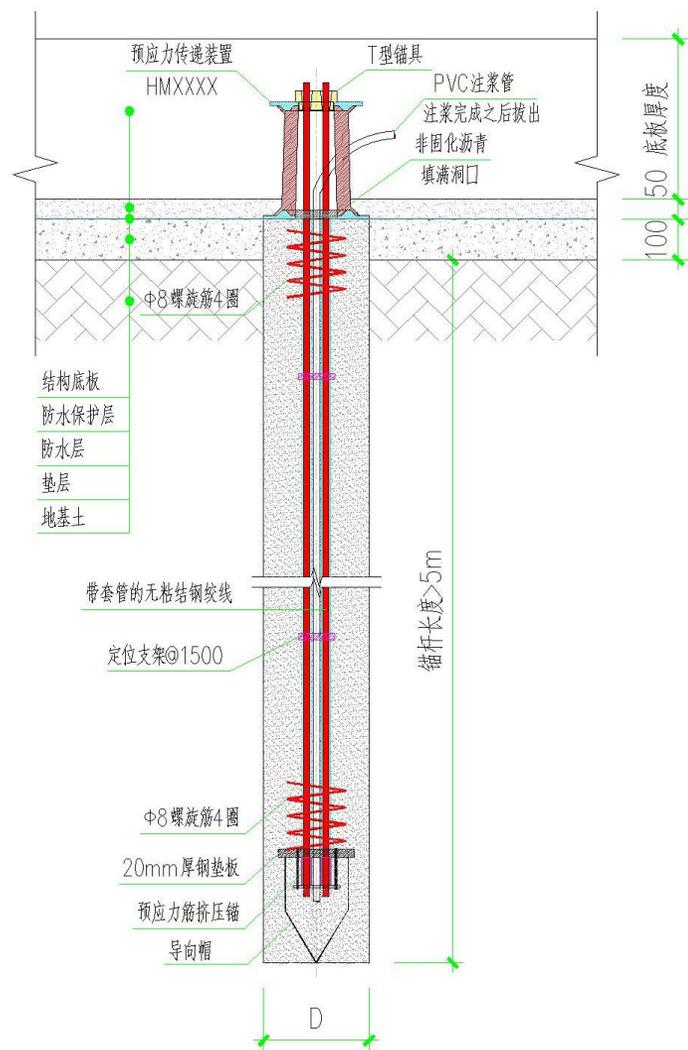


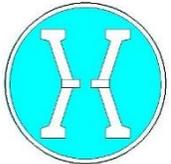


技术分析

创新点：

- 1、解决了预应力钢筋的张拉问题；
- 2、解决了预应力钢筋在底板内的锚固问题；
- 3、解决了施工工序问题；

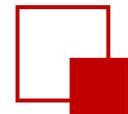
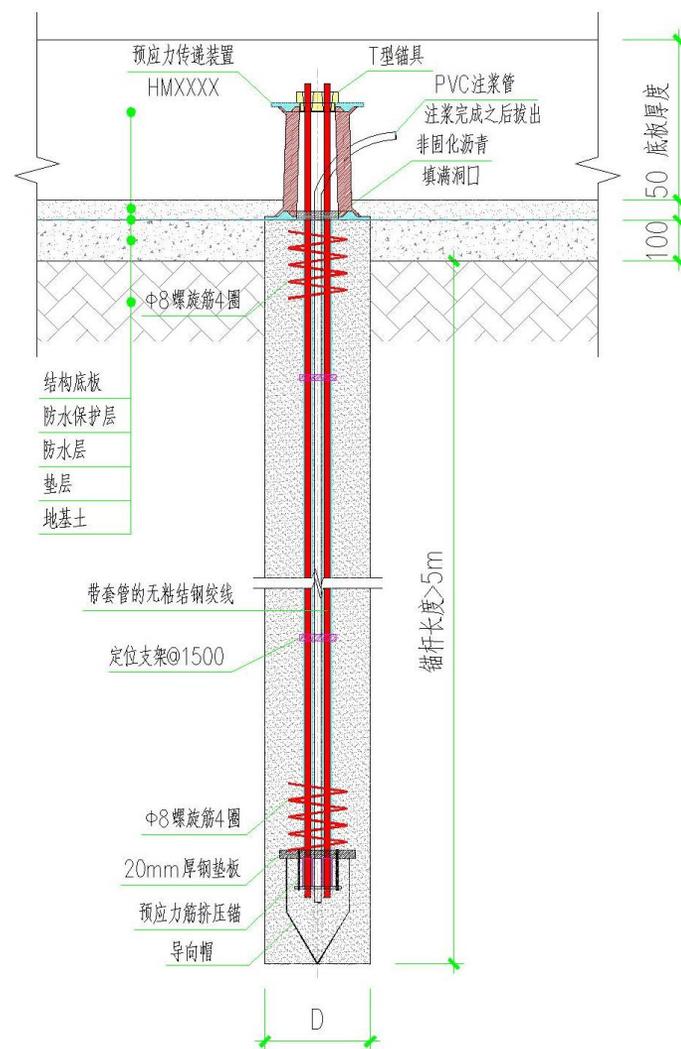




技术分析

优越性：

- 1、完美满足《建筑工程抗浮技术标准》7.5.8条，高效控制裂缝；
- 2、可靠实现I、II级防腐保护，适应中~微各种腐蚀环境；
- 3、先施工锚杆，再施工底板，预应力张拉工序在底板浇筑前进行即可，锚杆张拉与底板钢筋绑扎可结合进行，不占用关键工期，底板浇筑后无需处理；
- 4、锚具设置在底板内，底板一次性浇筑完成，保证了底板的完整性，不存在渗漏隐患，质量有保证；
- 5、锚具埋在底板内，不需要额外防腐蚀措施，对底板浇筑施工和找平层厚度无影响；
- 6、节点非常简单，施工方便；
- 7、预应力张拉和检测在底板浇筑前进行，如有不合格锚杆，可以补救。
- 8、总体费用较普通锚杆、传统预应力锚杆做法还有一定优势。





预应力传递装置及T型锚具说明



1、预应力传递装置：其是一个镂空的支架，能跟底板混凝土很好的浇筑成整体

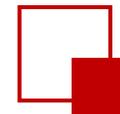
张拉阶段：作为新型预应力锚杆预应力张拉过程中的承力支架；

使用阶段：浇筑在底板内，利用装置的上板形成的45度冲切面抗拔，相当于锚杆的延长，把预应力锚杆杆体跟底板锚固在一起，在水浮力的作用下，拉住地下室底板。



2、T型锚具：

钢绞线张拉完成后，锁定钢绞线，跟普通锚具相比，在张拉时更稳定更安全，防水性能更好。





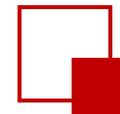
经济比较

1、预应力锚杆与普通锚杆比较：

预应力锚杆使用钢绞线，其强度是普通锚杆采用的HRB400钢筋的3.67倍，每米可节省55~80元的钢筋费用，对于一根8米长的锚杆来说，就能节省440~640元，普通锚杆不用张拉，预应力锚杆需要增加张拉费用每根约30元，增加专用预应力传递装置200~300元，大约还能节约两三百元每根。

2、新型预应力锚杆跟常规预应力锚杆比较：

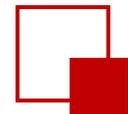
常规预应力锚杆不仅存在渗水隐患，而且构造复杂，工序繁多，很多施工单位反应班组无法施工，单就锚杆端部（其它部位做法类似）造价来说，经测算，常规预应力锚杆做法也比新型预应力锚杆做法贵150元/根左右。





抗浮锚杆承载力	360kN		360kN	
工序	普通锚杆	单价	预应力锚杆	单价
钻孔	施工方法一致，两者无差别			
钢筋	5 Φ 25, 19.3公斤/米, 5.3元/公斤	102元/米	4 Φ^s 15.2, 4.4公斤/米, 6.2元/公斤	27元/米
杆体	M30水泥浆，无差别			
锚具	钢筋在底板内锚固长度1.1米	85元/根	锚固装置在底板内锚固，钢绞线预留1米长	300元/根
张拉	无张拉	0	有张拉	30元/根
杆体内其它配件	无		导向装置、对中支架、螺旋筋等	80元/根
锚杆长度8米	有差别部分成本统计	901元	有差别部分成本统计	626元
注：单价为施工单位的直接实际成本，非甲方招标价格				

以8米长、承载力36吨锚杆为例详细统计有差别部分的成本，新型预应力锚杆较普通钢筋锚杆节省275元/根

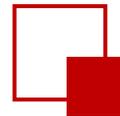




经济分析

抗浮锚杆承载力	360kN		360kN	
锚固端部成本组成	常规预应力锚杆	单价 (元)	专利预应力锚杆	单价 (元)
预埋钢板	350*350*25钢板重24公斤, 材料加工6.2元/公斤	150	20厚D180钢垫板, 重4公斤	25
预埋钢套筒	450高, 直径200, 6mm厚, 钢材重13.3公斤	82.5	无	
止水环	6mm厚止水环, 重6.1公斤	37.8	无	
局部钢筋网片	D20@150钢筋网片, 重29.6公斤	183.5	2D20吊筋, 重8公斤	50
传递装置	无		有	240
锚具	4孔普通锚具	36	4孔T型锚具	40
螺旋箍	无		2个	8
挤压锚	无		4个	8
二次灌浆	材料加人工	30	无	
锚杆长度8米	有差别部分成本统计	519.8		371
注: 单价为施工单位的直接实际成本, 非甲方招标价格				

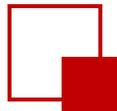
以8米长、承载力36吨锚杆为例详细统计有差别部分的成本, 新型预应力锚杆较常规预应力锚杆节省约150元/根





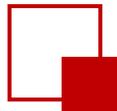
经济分析

工序	普通锚杆	普通预应力锚杆	专利预应力锚杆	预应力螺纹钢筋锚杆	微型桩
钻孔	施工方式基本一致，无差别				
钢筋	HRB400	1860级钢绞线	1860级钢绞线	1080级螺纹钢筋	HRB400
杆体	水泥浆	水泥浆	水泥浆	水泥浆	混凝土
锚具	钢筋直接在底板内锚固	套管、钢垫板、锚具，在底板外锚固	预应力传递装置、T型锚具，在底板内锚固	钢垫板、高强螺母，在底板外锚固	钢筋直接在底板内锚固
张拉	无	有	有	有	无
二次灌浆	无	有	无	无	无
经济性分析	不满足规范要求，钢筋含量高，经济性一般	钢筋含量低，较经济，底板留洞需要二次注浆，施工麻烦，存在漏水隐患	钢筋含量低，经济性好，底板一次性浇筑成型，质量有保障	钢筋伸长量小，预应力损失大，不满足规范要求，经济性较好	钢筋含量高，施工难度大，成桩机械与锚杆一样，但台班费高很多，经济性差





工序	普通锚杆	预应力锚杆	施工进度分析
钻孔	施工方式一致，两者无差别		
钢筋	施工方式基本一致，对进度无影响		
锚杆 杆体浇筑	施工方式基本一致，对进度无影响		
钢筋张拉	无	有	锚杆完成后进行卷材、钢筋绑扎。在底板浇筑前张拉即可，不占用关键工期。也可添加早强剂、或提高混凝土强度缩短龄期
锚杆 验收试验	二者均需等待砂浆龄期才能进行检测		





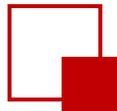
锚杆施工

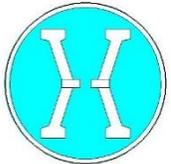
施工顺序一

推荐：8.5.1 锚杆宜在地下结构底板混凝土垫层完成后进行施工。

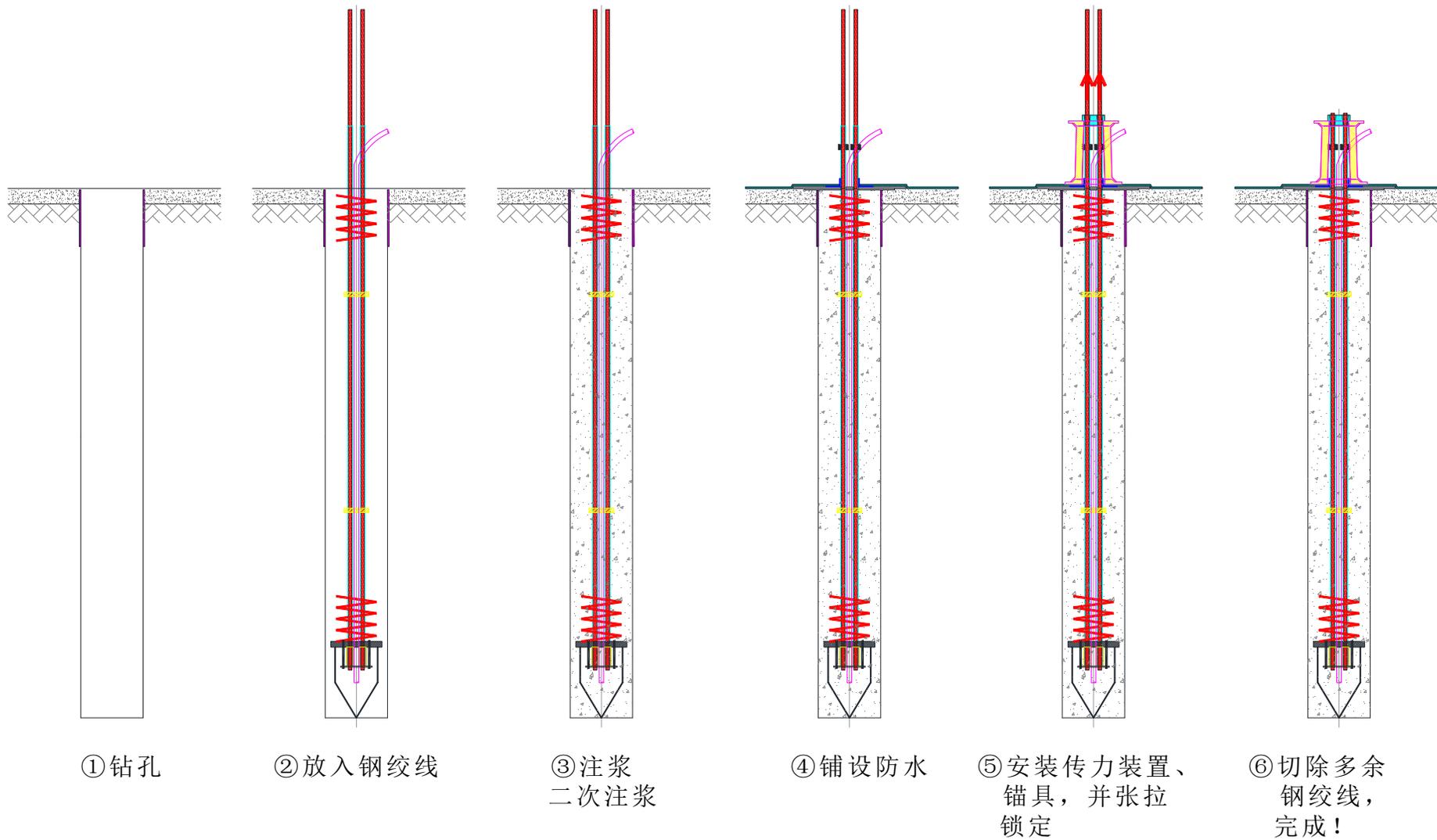


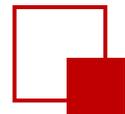
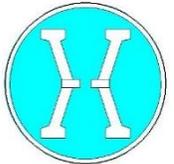
施工顺序二





锚杆施工过程图解







设计流程：

第一步：根据整体抗浮需求确定单根锚杆的抗拔承载力特征值，需要考虑的因素：1、尽量满足锚杆间距不小于 $8D$ 和1.5米的要求；2、土层锚杆还是岩层锚杆？其承载力和锚杆长度都有一个合理的区间；3、经济性需要综合考虑，一个真正有价值的经济指标： KN 承载力/元。

第二步：单根锚杆的设计：

- 1、锚杆长度的计算，与地质参数、锚杆直径有关，根据地层分布情况适当调节锚杆直径与锚杆长度的关系；
- 2、锚杆配筋的计算；
- 3、锚杆浆体承载力的计算，与浆体强度和锚杆直径直接相关；
- 4、与底板的锚固计算；
- 5、局部受压承载力的计算。





锚杆长度计算

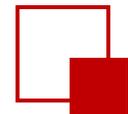
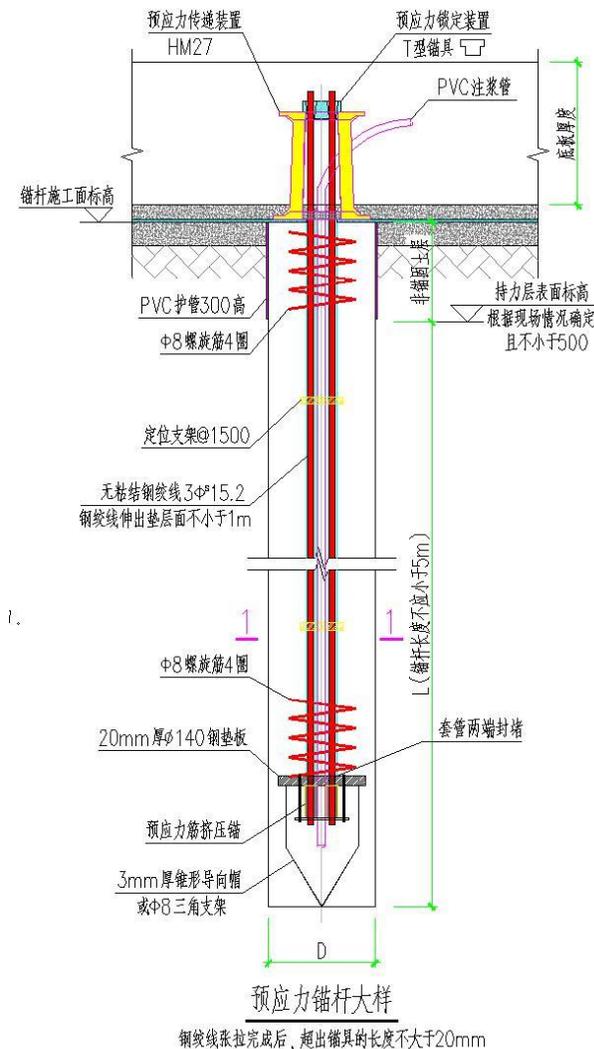
当计算锚杆与土体的摩擦力、确定锚固体长度时，本技术的预应力锚杆全长均提供摩擦力。

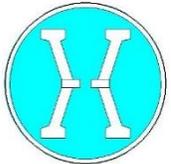
与边坡支护的预应力锚杆不同，没有自由段。

参照《建筑工程抗浮技术规程》第7.5.4条设计：

岩层锚杆：
$$l_a \geq \frac{KN_t}{\xi \pi d f_{rbk}}$$

土层锚杆：
$$l_a \geq \frac{KN_t}{\pi d q_{sia}}$$





锚杆配筋计算

参照《建筑工程抗浮技术规程》第7.5.6条设计：

$$A_s \geq \frac{K_t N_t}{f_y}$$

锚杆浆体承载力计算

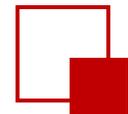
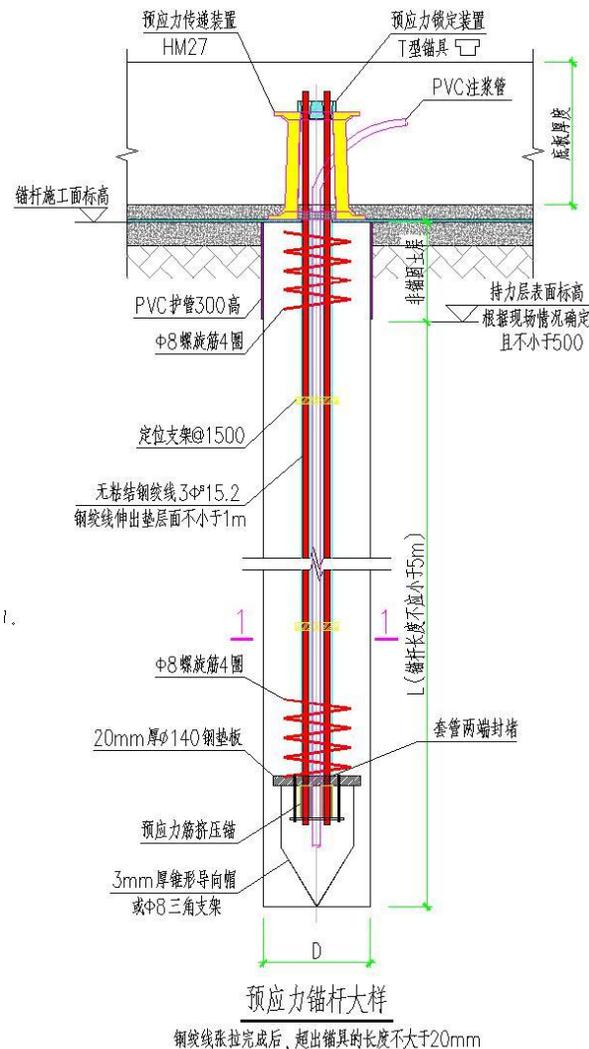
参照《建筑桩基技术规范》第5.8.2条：

$$1.35 N_t \leq \varphi_c f_c A_{ps}$$

式中： φ_c —成桩工艺系数，取0.8-0.9；

f_c —混凝土强度等级；

A_{ps} —锚杆杆体净面积。





关于锚杆浆体承载力计算的理解：

- 1、《建筑工程抗浮技术规程》里面没有相关计算公式；
- 2、《抗浮锚杆技术规程》5.2.7条有相关条文，国标图集7.2条引用了此条文；
- 3、对于压力型锚杆，全长考虑这个浆体强度侧限增大系数，是不安全的！

5.2.7 压力型锚杆锚固体受压承载力应按式(5.2.7-1)和式(5.2.7-2)计算：

$$N_k \leq \frac{R_{ck}}{2} \quad (5.2.7-1)$$

$$R_{ck} = \eta f_{ck} A_{ln} \quad (5.2.7-2)$$

式中 R_{ck} ——锚固体受压承载力标准值(kN)；
 η ——浆体强度侧限增大系数，应由试验确定；
 f_{ck} ——浆体轴心抗压强度标准值(MPa)，可按《混凝土结构设计规范》(GB 50010)中混凝土轴心抗压强度标准值取值；
 A_{ln} ——浆体受压净面积(m²)，为承载体与浆体的接触面积扣除筋体截面积之后的面积。

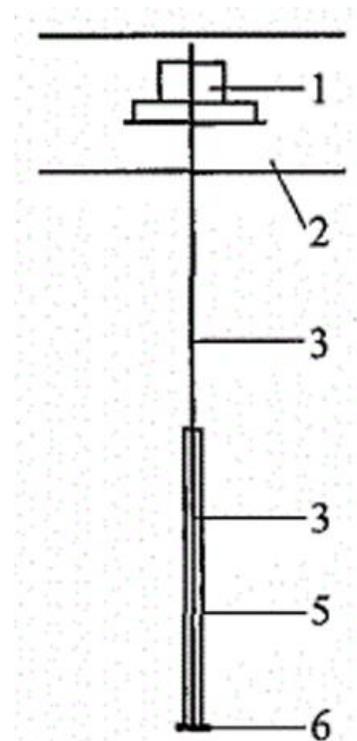
7.2 压力型锚杆浆体受压承载力应按下列公式验算：

$$R_{ta} \leq \eta f_{ck} A_c / 2 \quad (7.2)$$

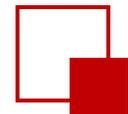
式中： η ——浆体强度侧限增大系数，应由试验确定；估算时可参考《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659-2018推荐的相关建议值；

f_{ck} ——浆体轴心抗压强度标准值，可按《混凝土结构设计规范》(2015年版)GB 50010-2010中混凝土轴心抗压强度标准值取值；

A_c ——浆体受压净面积。



(b) 普通压力型

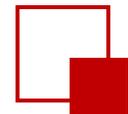
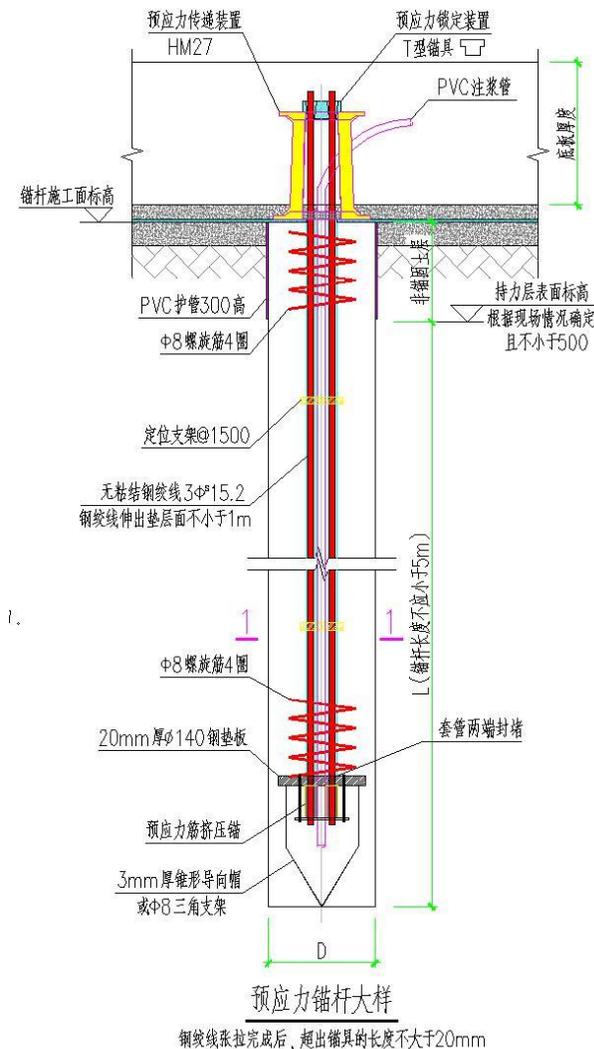




裂缝控制设计

根据抗浮设计等级甲级或乙级，分别按不出现裂缝或按裂缝控制进行设计。通过控制预应力钢筋的预加应力，进行裂缝控制。

根据《抗浮锚杆技术规程》第5.4.2条：预应力锚杆设计锁定荷载取值不宜小于锚杆拉力标准值的1.0倍





传递装置接触面局部受压

参照《混凝土结构设计规范》第6.6.1、6.6.3条：

$$1.35N_t \leq 1.35\beta_c\beta_l f_c A_{ln}$$

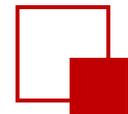
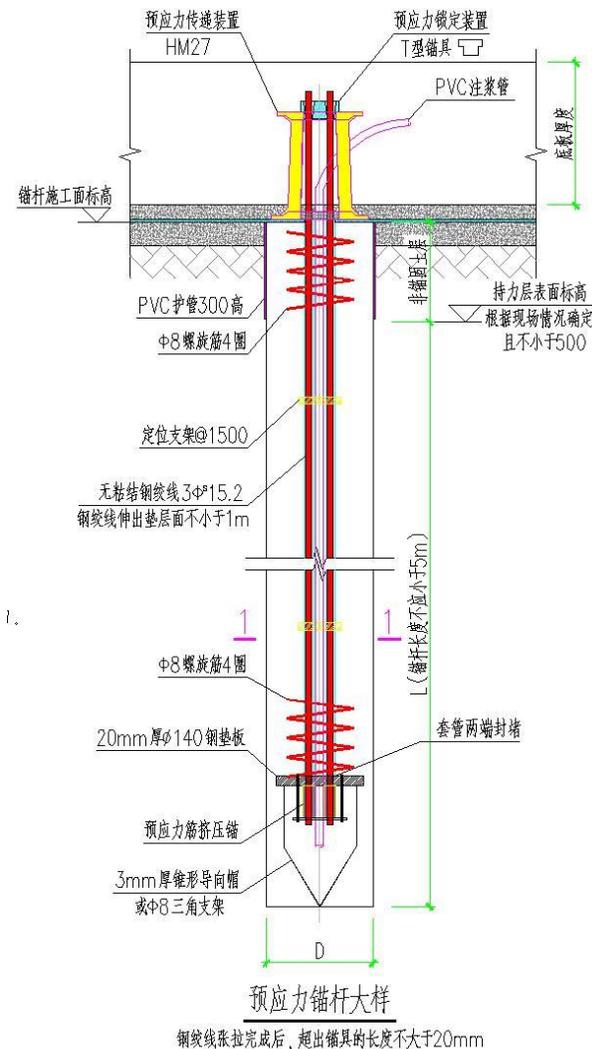
$$1.35N_t \leq 0.9(\beta_c\beta_l f_c + 2\alpha\rho_v\beta_{cor} f_{yv}) A_{ln}$$

承载体接触面局部受压

参照《混凝土结构设计规范》第6.6.1、6.6.3条：

$$1.35N_t \leq 1.35\beta_c\beta_l f_c A_{ln}$$

$$1.35N_t \leq 0.9(\beta_c\beta_l f_c + 2\alpha\rho_v\beta_{cor} f_{yv}) A_{ln}$$





锚具在底板内的抗拔设计

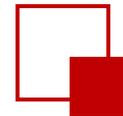
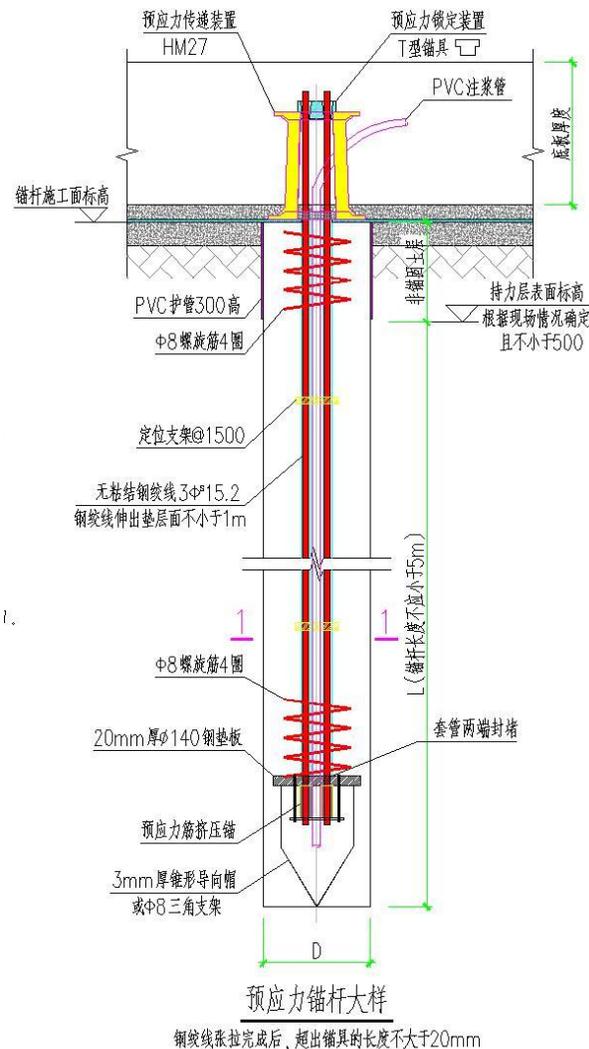
参照《混凝土结构设计规范》第6.5.1、6.5.3条：

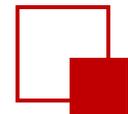
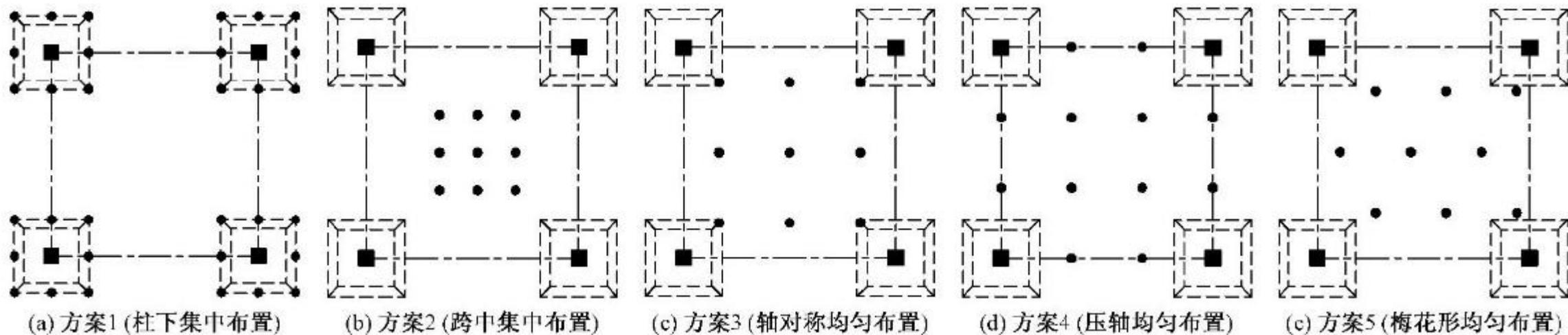
$$1.35N_t \leq (0.7\beta_h f_t + 0.25\sigma_{pc,m})\eta u_m h_0$$

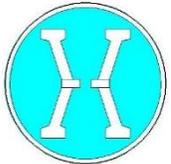
$$1.35N_t \leq (0.5f_t + 0.25\sigma_{pc,m})\eta u_m h_0 + 0.8f_{yv}A_{svu} + 0.8f_y A_{sbu} \sin \alpha$$

锚杆初始预加力

根据《抗浮锚杆技术规程》第5.4.2条：预应力锚杆设计锁定荷载取值不宜小于锚杆拉力标准值的1.0倍。







锚杆杆径与承载力的关系表

锚杆孔径 (mm)	180		200		250	
浆体强度	C30/M30	C35/M35	C30/M30	C35/M35	C30/M30	C35/M35
承载力特征值 (kN)	200	230	300	360	400	450
干成孔承载力特征值	220	260	340	400	450	520

推荐、常用值

抗浮锚杆杆径与承载力推荐值：

锚固体直径	单根锚杆承载力 (湿成孔)	单根锚杆承载力 (干成孔)
D=180mm	200kN	220kN
D=200mm	250kN	270kN
D=220mm	300kN	350kN
D=250mm	400kN	450kN

具体承载力根据具体施工条件和设计富余度确定





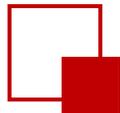
锚杆检测

基本试验

抗浮锚杆正式施工前应进行基本试验(试验数量不少于3根),以确定场地岩土层的抗拔性质、施工工艺参数,并通过基本试验实测岩土层的综合摩阻力,为设计提供准确参数。基本试验最大荷载为单根锚杆抗拔承载力特征值的2倍或至锚杆破坏,具体见相关规范要求。

验收试验

抗浮锚杆验收试验的检验数量为锚杆总数的5%,且不少于5根,试验锚杆位置由建设方、质监部门、监理、设计及施工单位共同确定。检测种类见《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ476-2019)。抗浮锚杆验收试验的最大试验荷载,取抗浮锚杆抗拔承载力特征值的1.5倍。





反力装置支座边与锚杆中心的距离要求：

抗浮标准：

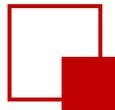
H. 2.2 抗浮锚杆抗拔试验的加荷反力装置宜选用支座横梁反力装置，并应符合下列规定：

- 1 加荷反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的1.2倍；
- 2 应对加荷反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 支座产生的地基压力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍；
- 4 抗浮锚杆中心与支座边的距离应大于或等于5倍锚杆孔直径。

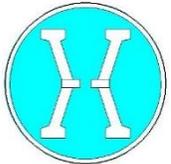
国标图集：

- 1.4 加载反力装置宜选用支座横梁方式，且应符合下列规定：
 - 1) 加载反力装置提供的反力不得小于最大加载值的1.2倍；
 - 2) 加载反力装置的构件应满足承载力和位移的要求；
 - 3) 支座底部压应力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍；
 - 4) 支座边与锚杆中心的距离，土层锚杆不应小于2.0m，岩石锚杆不应小于0.75m。

**目前绝大数检测公司没这个概念，没严格执行这些要求！
检测都不太规范！**







截止2023年8月份，采用新型压力型预应力抗浮锚杆技术并实施完成或正在实施的项目一百四十余个，分布在湖南、湖北、浙江、江西、安徽、福建、河南、河北、山东及吉林等省，项目类型涵盖大型公建、商业地产、学校医院、产业园区及市政工程等领域。

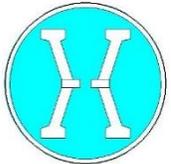


长沙机场改扩建工程
设计院：中建西南院



世界计算·长沙智谷项目
设计院：湖南省院、中机国际





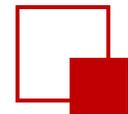
岳阳市中心医院
设计院：湖南省院



长沙华润万象城
设计院：中机国际、悉地国际



长沙招商梅溪湖花园城
设计院：华阳国际





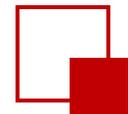
长沙市妇幼保健院（河西新院）
设计院：湖南省院



五岭新天地三期锦马时代中心
设计院：湖南建设集团



长沙芙蓉自贸大厦
设计院：湖南省院





孝感奥林匹克体育中心
设计院：中信建筑设计院



武汉光谷科学岛科创中心一期
设计院：广东省建筑设计院





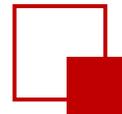
浙江衢州区科教产业园项目
设计院：中机国际

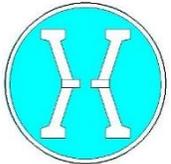


九江学院附属医院区域医疗中心
设计院：中建西北院



厦门北高铁站公交综合体项目
设计院：中建四局

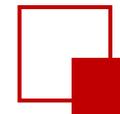




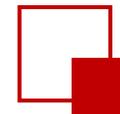
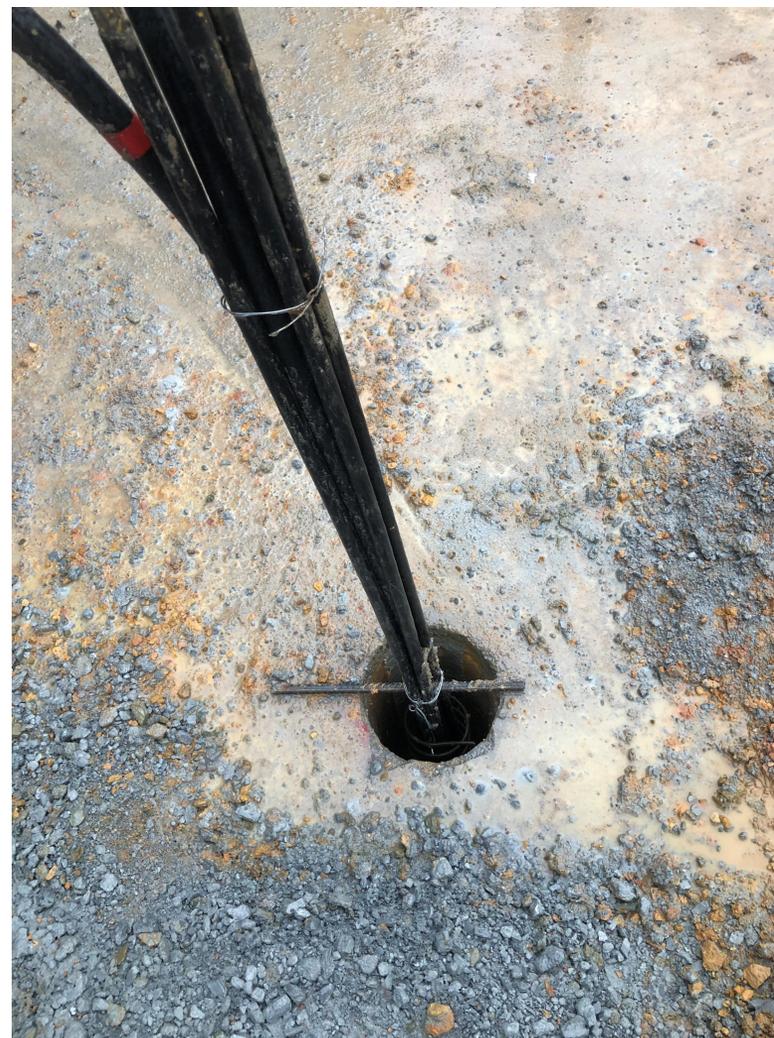
河南省潢川县中医院新建项目
设计院：中元国际

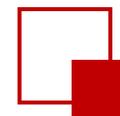


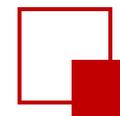
石家庄高铁片区城市客厅项目
设计院：北方绿野

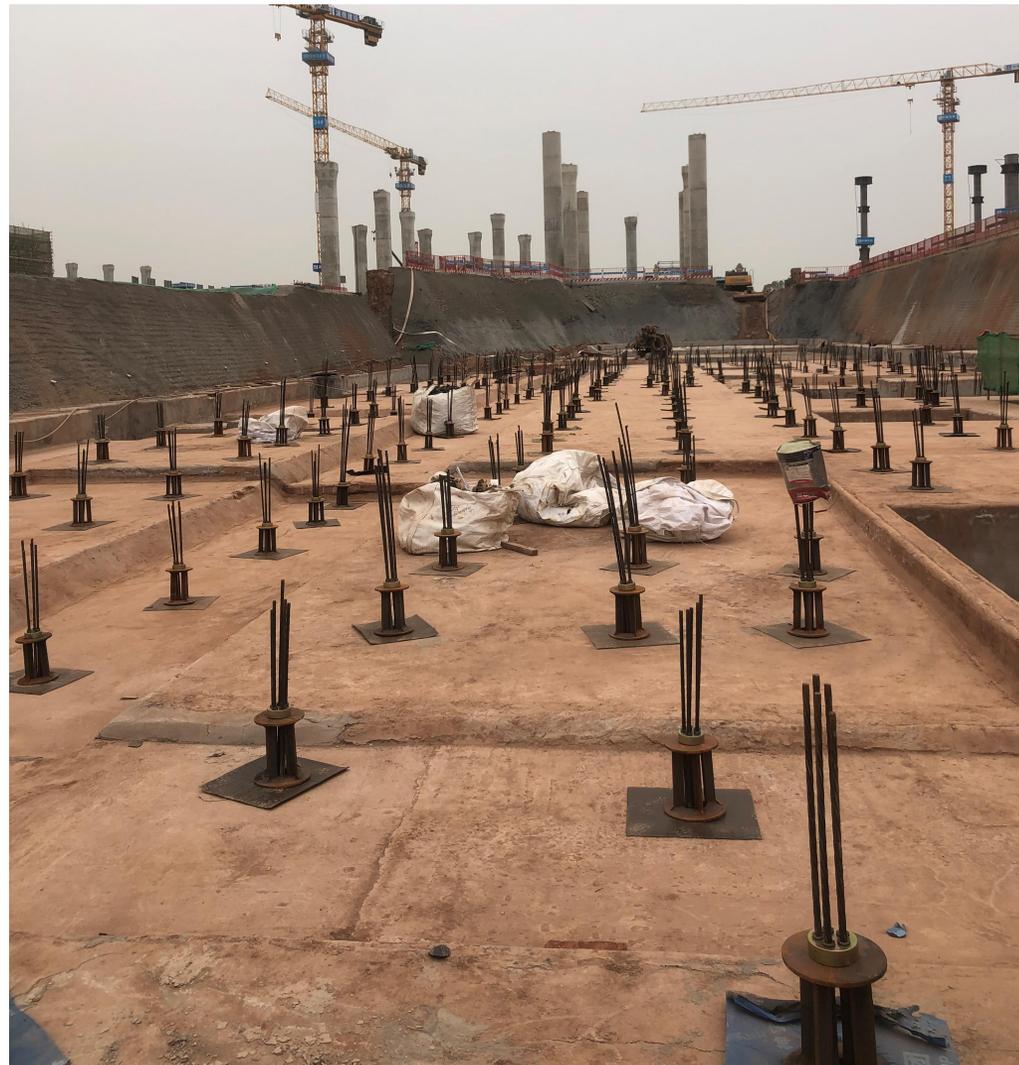
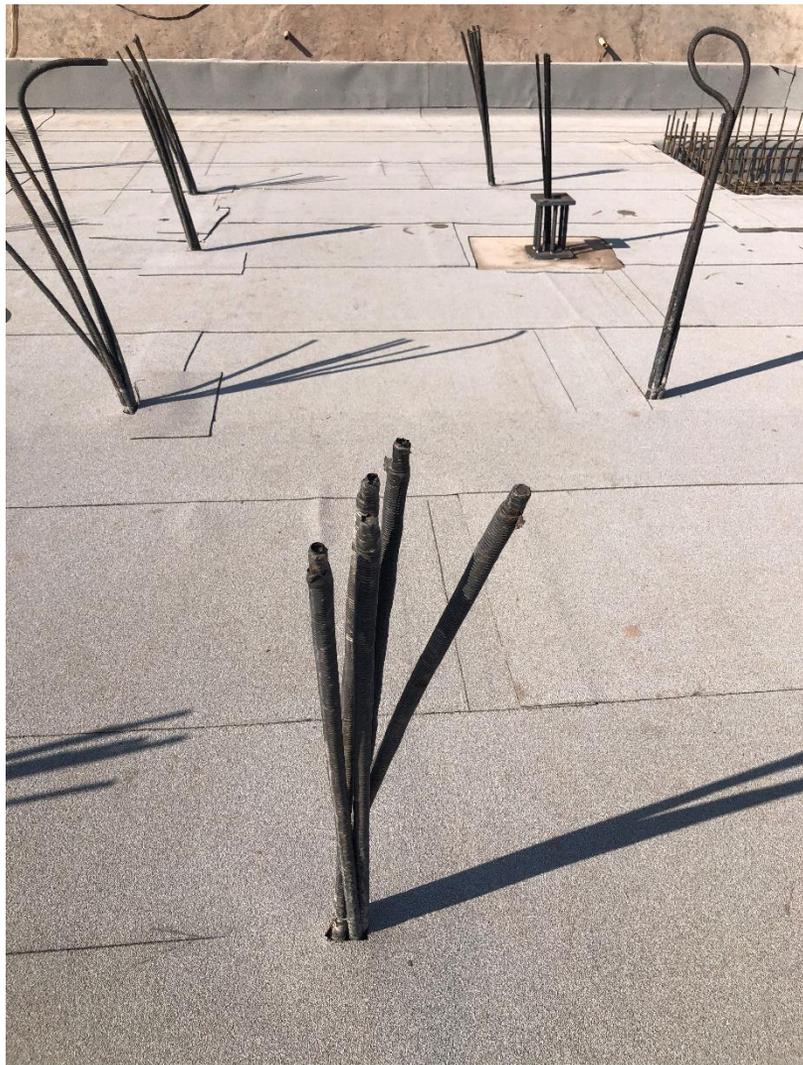












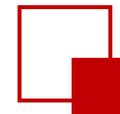


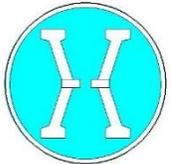
施工现场照片

湖南弘兴抗浮工程技术有限公司



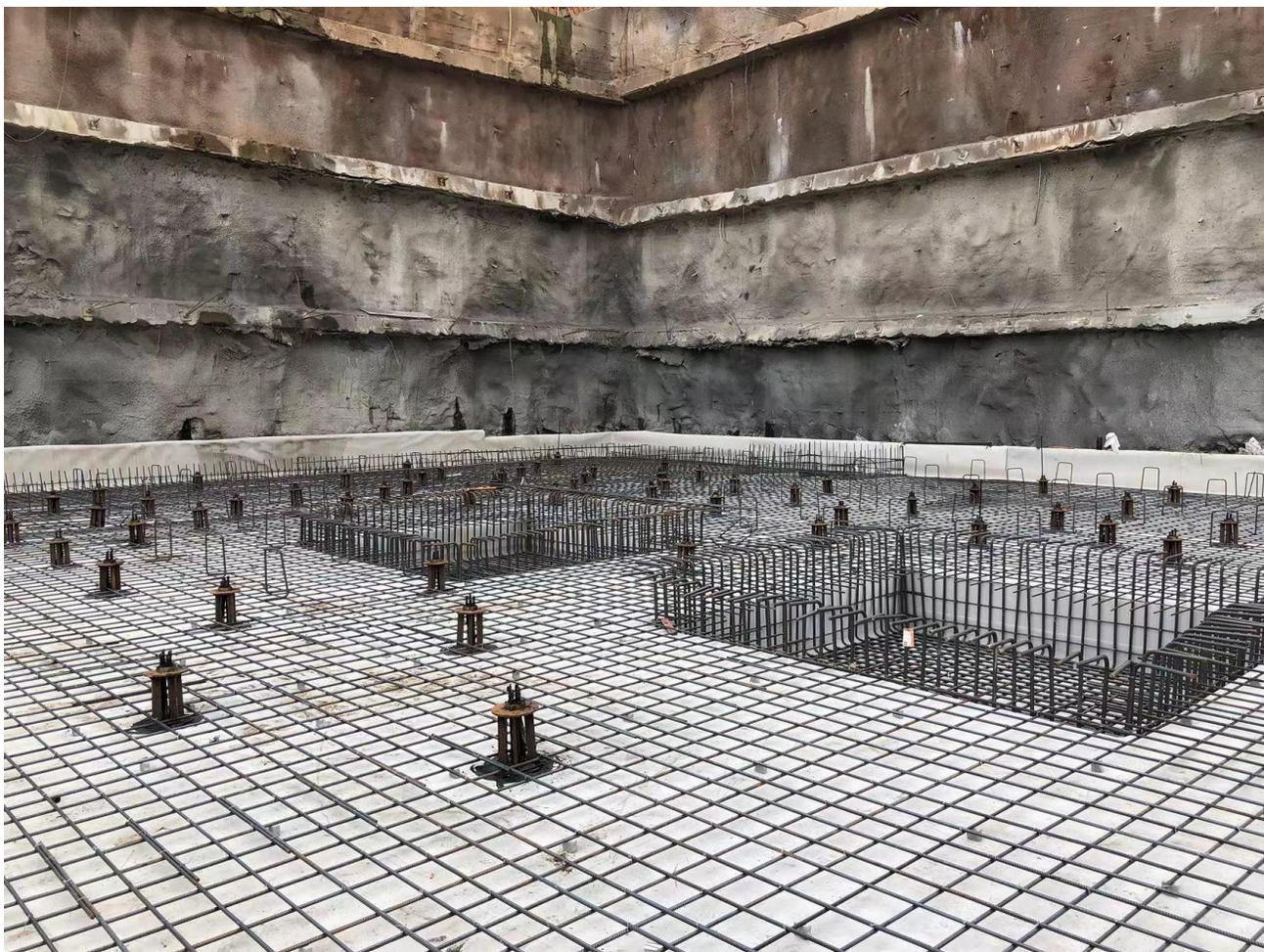
全长压力型预应力抗浮锚杆结构设计探讨



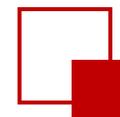


施工现场照片

湖南弘兴抗浮工程技术有限公司



全长压力型预应力抗浮锚杆结构设计探讨



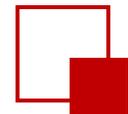


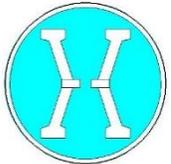
施工现场照片

湖南弘兴抗浮工程技术有限公司



全长压力型预应力抗浮锚杆结构设计探讨





技术合作

亲、期待你们的支持.....



谢 谢



微 信 扫 码

13027431828