



T/CECS 1707—2024

中国工程建设标准化协会标准

拉压复合型锚杆技术规程

Technical specification for tension-compression composite anchor

非正式出版版本，请勿印刷。

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

拉压复合型锚杆技术规程

Technical specification for tension-compression composite anchor

T/CECS 1707—2024

主编单位：大连理工大学
华侨大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2025年2月1日

中国计划出版社

2024 北京

前 言

《拉压复合型锚杆技术规程》是根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2021]11 号）的要求编制。规程编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 8 章和 3 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料与组件、设计、施工、试验与质量检验、工程监测等。

本规程的某些内容涉及“一种拉压组合承载模式的大吨位锚索及制安方法”（专利号：ZL201710259532.0）、“一种端头开花的拉压复合型锚索及制安方法”（专利号：ZL201710259568.9）、“一种用于拉压复合型锚杆的增强型承压板”（专利号：ZL201910249659.3）、“装配式整体承压板及采用该承压板的拉压复合型锚杆”（专利号：ZL201910250235.9）、“自变径导向帽以及采用该导向帽的拉压复合型锚杆”（专利号：ZL202010896654.2）和“预制高强芯体、压力型锚杆及其施工方法”（专利号：ZL201710446515.8）相关专利的使用。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与专利持有人（华侨大学、大连理工大学、厦门源昌城建集团有限公司、张智猷）协商处理。除上述专利外，本规程某些内容仍可能涉及其他专利，本规程发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理，由大连理工大学和华侨大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至华侨大学（地址：福建省厦门市集美区集美大道 668 号华侨大学土木工程学院；邮政编码：361021；邮箱：tubingxiong@hqu.edu.cn）。

主 编 单 位：大连理工大学

华侨大学（如需正版纸质版可联系 18120787616）

参 编 单 位：深圳市工勘岩土集团有限公司

中国京冶工程技术有限公司

华创岩固（厦门）科技有限公司

中冶建筑研究总院（深圳）有限公司

深圳大学

郑州大学

中国长江三峡集团有限公司
福建省建筑设计研究院有限公司
中国长江电力股份有限公司
川藏铁路有限公司
福建省建筑科学研究院有限责任公司
中国人民解放军 93204 部队
中煤科工集团武汉设计研究院有限公司
厦门佰地建筑设计有限公司
厦门合立道工程设计集团股份有限公司
浙江大学
大连交通大学
中冶成都勘察研究总院有限公司
成都四海岩土工程有限公司
中建八局西南建设工程公司
厦门上城建筑设计有限公司
厦门合诚工程检测有限公司
建研地基基础工程有限责任公司
天厦建筑设计（厦门）有限公司
江苏乾程工程技术有限公司
沈阳工业大学
中国建筑技术集团有限公司
河北鑫鼎经邦金属制品有限公司
中国兵器工业北方勘察设计研究院有限公司

主要起草人：贾金青 涂兵雄 陈湘生 付文光 周同和 杨志银 张智浩
施 峰 向 欣 齐智勇 郑金伙 毛延翩 赵 勇 李志伟
徐干成 许国平 梅国雄 徐杨青 许进福 吴春秋 陈跃辉
包小华 王海涛 俞 缙 彭 涛 倪伟龙 张 义 张 伟
何 波 贾欣媛 张丽华 任东兴 林江滨 姚大立 余 芳
杨燕伟 曹 旗 朱晓军 侯军军 毛宗原

主要审查人：丘建金 康景文 孙宏伟 刘小敏 廖文彬 柳建国 魏建华

目 次

1 总则.....	(1)
2 术语和符号.....	(2)
2.1 术语.....	(2)
2.2 符号.....	(2)
3 基本规定.....	(4)
4 材料与组件.....	(5)
4.1 筋体.....	(5)
4.2 承载体与隔离套管.....	(6)
4.3 注浆体与注浆管.....	(6)
4.4 锚具与防腐.....	(7)
5 设计.....	(8)
5.1 一般规定.....	(8)
5.2 构造.....	(8)
5.3 承载力.....	(9)
5.4 锚杆刚度系数.....	(13)
5.5 防腐与防水.....	(14)
6 施工.....	(16)
6.1 一般规定.....	(16)
6.2 成孔.....	(16)
6.3 杆体制作.....	(17)
6.4 注浆.....	(17)
6.5 张拉.....	(18)
7 试验与质量检验.....	(19)
8 工程监测.....	(20)
附录 A 基本试验.....	(21)
附录 B 验收试验.....	(26)
附录 C 持有荷载试验.....	(28)

本规程用词说明(30)

引用标准名录.....(31)

附：条文说明.....(32~~33~~)

非正式出版版本，请勿印刷。

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Basic requirements	(4)
4	Materials and components	(5)
4.1	Tendon body	(5)
4.2	Load-bearing element and debonding sleeve	(6)
4.3	Grout and grouting pipe	(6)
4.4	Anchorage device and anticorrosion	(7)
5	Design	(8)
5.1	General requirements	(8)
5.2	Detailing requirements	(8)
5.3	Bearing capacity	(9)
5.4	Stiffness of anchor	(13)
5.5	Anticorrosion and waterproofing	(14)
6	Construction	(16)
6.1	General requirements	(16)
6.2	Drilling	(16)
6.3	Manufacture of anchor tendon	(17)
6.4	Grouting	(17)
6.5	Stress	(18)
7	Test and quality inspection	(19)
8	Monitoring	(20)
Appendix A	Basic test	(21)
Appendix B	Acceptance test	(26)
Appendix C	Lift off test	(28)
	Explanation of wording	(30)
	List of quoted standards	(31)
	Explanation of provisions	(32)

1 总 则

1.0.1 为规范拉压复合型锚杆的工程应用，做到安全适用、技术先进、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建设工程中拉压复合型锚杆的设计、施工及质量检验、工程监测。

1.0.3 拉压复合型锚杆的设计与施工应根据场地工程地质、水文地质及环境条件等，结合地方经验，因地制宜、精心设计，精细施工，加强质量控制。

1.0.4 拉压复合型锚杆的工程应用除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

非正式出版版本，请勿印刷。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 拉压复合型锚杆 tension-compression composite anchor

通过在锚固段筋体中设置的承载体，以及其前段筋体上设置隔离套管的措施形成承压锚固段，并与承载体后段的受拉锚固段协同提供抗拔力的锚杆。

2.1.2 承载体 load-bearing element

将锚杆筋体受到的部分拉力转换为作用在锚固段注浆体上压力的构件。

2.1.3 承压锚固段 compressed anchor length

锚固段中注浆体受压区长度。

2.1.4 受拉锚固段 tensioned anchor length

锚固段中注浆体受拉区长度。

2.1.5 受拉锚固段长度系数 coefficient of tensioned anchor length to anchor length

受拉锚固段长度与锚固段总长度之比。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应：

F_{wk} ——地下水浮力标准值；

G_k ——结构自重及其上作用的有利永久荷载标准值；

N_k ——作用标准组合时的锚杆轴向拉力标准值；

W_w ——基础下抗浮锚杆布置范围内按浮重度计算的岩土体自重荷载标准值。

2.2.2 抗力和材料性能：

R_a ——锚杆抗拔承载力特征值；

R_{uk} ——锚杆极限抗拔承载力标准值；

$f_{mk,i}$ 、 $f_{mk,j}$ ——承压锚固段注浆体与第*i*层岩土体、受拉锚固段注浆体与第*j*层岩土体之间极限黏结强度标准值；

f_{pyk} ——锚杆筋体屈服强度标准值。

2.2.3 几何参数：

A_{in} ——注浆体受压净面积；

A_s ——锚杆筋体横截面总面积；

L_a ——锚固段长度；

L_{ac} ——承压锚固段长度；

L_{at} ——受拉锚固段长度。

2.2.4 计算系数

K ——锚杆锚固体抗拔安全系数；

k_c ——锚杆蠕变率；

η_c ——承压锚固段注浆体与岩土体界面黏结强度系数；

η_t ——受拉锚固段注浆体与岩土体界面黏结强度系数；

β_1 ——岩土体对注浆体约束的强度提高系数；

β_2 ——注浆体局部受压时的强度提高系数。

非正式出版版本，请勿印刷。

3 基本规定

3.0.1 拉压复合型锚杆设计与施工前，应准备下列资料：

- 1 岩土工程勘察资料；
- 2 上部结构及地下结构设计文件；
- 3 场地周边环境条件资料；
- 4 场地施工条件资料等。

3.0.2 拉压复合型锚杆用作永久锚杆时，锚固段不得设置在未经处理的欠固结填土层、有机质土层、液限大于 50% 的土层，以及相对密实度小于 0.33 的砂层。

3.0.3 拉压复合型锚杆的设计工作年限应满足使用要求，且其设计工作年限不得低于锚固结构的设计工作年限。

3.0.4 拉压复合型锚杆设计时，其设计等级的确定以及所采用作用效应与相应的抗力限值，应符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.5 拉压复合型锚杆工程应根据其设计工作年限、岩土工程勘察资料、场地环境条件、所采用的作用和作用组合等进行锚杆设计，并应提出施工及质量检验要求、工程监测要求和正常使用期间的维护要求。

3.0.6 拉压复合型锚杆用于基坑工程和边坡工程时，应根据场地滑裂面设置自由段，自由段的设置应符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.7 拉压复合型锚杆工程应采用经质量检验合格和符合环境保护要求的材料、组件和设备，且应根据设计要求和工程需要制定专项施工方案，并应进行工程施工质量控制和工程监测。锚杆工程宜实施动态设计和信息化施工。

3.0.8 拉压复合型锚杆的抗拔承载力应按本规程附录 A 的基本试验确定。拉压复合型锚杆施工完成后，应对锚杆抗拔承载力和施工质量进行检验。

4 材料与组件

4.1 筋体

4.1.1 拉压复合型锚杆用于基坑工程与边坡工程时，其筋体宜采用钢绞线；用于抗浮工程时，其筋体宜采用精轧螺纹钢筋。

4.1.2 筋体材料的物理力学性能应按表 4.1.2-1、4.1.2-2 的规定采用。

表 4.1.2-1 钢绞线 (1×7φ⁵)

极限强度标准值 f_{ptk} (MPa)	公称直径 (mm)	公称横截面积 (mm ²)	抗拉承载力 (kN)	0.2%屈服力 (kN)
1720	11.10	74.2	128	113
	12.70	98.7	170	150
	15.20	140.0	241	212
	17.80	191.0	327	288
1860	11.10	74.2	138	121
	12.70	98.7	184	162
	15.20	140.0	260	229
	17.80	191.0	355	311
	18.90	220.0	409	360
	21.60	285.0	530	466
1960	11.10	74.2	145	128
	12.70	98.7	193	170
	15.20	140.0	274	241

注：1 钢绞线弹性模量 E_s 一般取 195GPa；

2 钢绞线应按现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定，以产生 0.2% 残余变形的应力值为其屈服值，对应的拉力称为钢绞线 0.2% 屈服力。

表 4.1.2-2 精轧螺纹钢筋

级别	公称直径 (mm)	断后伸长率 A (%)	最大拉力下总伸 长率 A_{gt} (%)	极限强度标准值 f_{ptk} (MPa)	屈服强度标准值 f_{pyk} (MPa)
		不小于			
PSB785	25、28、 32、36、 40、50	8	3.5	980	785
PSB930		7		1080	930
PSB1080		6		1230	1080
PSB1200		6		1330	1200

注：表中 PSB 表示精轧螺纹钢筋。

4.1.3 筋体采用钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线时，筋体的质量与性能应符合国

家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073、《填充型环氧涂层钢绞线》JT/T 737、《无粘结预应力钢绞线》JGJ 161 的有关规定。

4.1.4 筋体采用精轧螺纹钢筋、环氧涂层或敷涂防腐材料精轧螺纹钢筋时，筋体的质量与性能应符合国家现行标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065、《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826、《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的有关规定。

4.1.5 当采用敷涂环氧涂层或防腐涂层钢绞线筋体时，应进行筋体与注浆体之间黏结强度试验及锚具、夹具的加持试验。

4.2 承载体与隔离套管

4.2.1 拉压复合型锚杆承载体应符合下列规定：

- 1 承载体宜在工厂制作；
- 2 筋体采用精轧螺纹钢筋时，承载体宜采用锻压制品；
- 3 筋体采用钢绞线时，承载体宜采用挤压锚具与钢板机械连接的组合体；
- 4 承载体宜预留注浆管穿孔。

4.2.2 拉压复合型锚杆承载体的直径不宜小于锚杆钻孔直径的 70%，承载体的厚度不应小于 20mm。

4.2.3 拉压复合型锚杆承压锚固段及自由段的筋体隔离套管宜采用聚乙烯、聚氯乙烯或聚丙烯塑料。

4.2.4 拉压复合型锚杆用于永久锚杆的隔离套管与筋体之间应充填润滑脂，或在筋体表面敷设防腐涂料或涂层。

4.3 注浆体与注浆管

4.3.1 拉压复合型锚杆注浆液宜采用水泥砂浆或水泥净浆，浆体强度不应低于 30MPa。

4.3.2 拉压复合型锚杆选用的水泥应符合下列规定：

- 1 水泥强度等级不应低于 42.5；
- 2 宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；
- 3 水泥质量与性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4.3.3 水泥砂浆中的拌合用砂除应符合国家现行标准《建设用砂》GB/T 14684、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52、《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659 的有关规定外，尚应在使用前对砂的碱活性进行检验。

4.3.4 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

4.3.5 注浆体采用的外加剂应符合国家现行标准《混凝土外加剂》GB/T8076 的有关规定。

4.3.6 注浆管应符合下列规定：

- 1 注浆管应有足够的内径，能使浆体压至钻孔的底部；
- 2 一次注浆和填充灌浆的注浆管应能承受不小于 1MPa 的压力，压力注浆管应承受不小于 1.2 倍设计最大注浆压力；
- 3 注浆管宜穿过承载体。

4.4 锚具与防腐

4.4.1 预应力筋用锚具、夹具和连接器的质量与性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的有关规定。

4.4.2 用于拉压复合型锚杆的锚垫板、锚固板宜为正方形或圆形；且锚垫板、锚固板应采用钢板制作，钢材牌号不应低于 Q235，其质量与性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700、《低合金高强度结构钢》GB/T1591、《建筑结构用钢板》GB/T19879 的规定。

4.4.3 永久锚杆的锚具罩可采用钢板、钢管、铸铁或塑料复合钢板制作。

4.4.4 拉压复合型锚杆润滑脂及防腐涂料应符合下列规定：

- 1 润滑脂的质量与性能应符合现行国家标准《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430 的有关规定，且涂敷量不应小于 50g/m；
- 2 防腐涂料应符合现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251、《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T224 的有关规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 拉压复合型锚杆设计应包括下列内容：

- 1 锚固段的抗拔承载力、注浆体的抗压承载力计算；
- 2 筋体的抗拔承载力、抗拉承载力计算；
- 3 锚杆的直径、长度、间距、角度等参数设计；
- 4 注浆体的材料、配合比、强度等参数设计；
- 5 承载体强度的验算与检测要求；
- 6 锚杆构造设计；
- 7 锚杆的钻孔、注浆、张拉、锁定施工工艺要求；
- 8 锚杆的试验与检测要求。

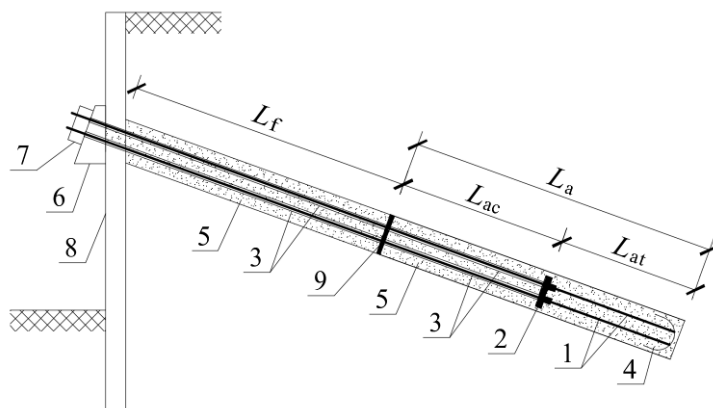
5.1.2 拉压复合型锚杆的受拉锚固段长度系数宜为 0.3~0.7。对防腐等级为I级的拉压复合型锚杆，其受拉锚固段长度系数不宜大于 0.4；对防腐等级为II级的拉压复合型锚杆，其受拉锚固段长度系数不宜大于 0.6。

5.1.3 永久锚杆的防腐设计，应包括材料的性能及耐久性指标、构造措施、施工要求及质量检验、正常维护与维修要求等。

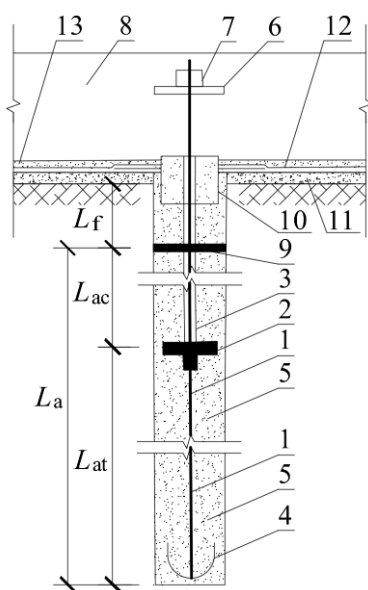
5.1.4 拉压复合型锚杆预应力锁定值应根据锚固地层性状、锚固结构变形控制要求、预应力损失等综合确定。

5.2 构造

5.2.1 拉压复合型锚杆可根据不同的工程应用，采用不同的结构及其构造（图 5.2.1）。



(a) 用于基坑或边坡工程的示意图



(b) 用于抗浮工程的示意图

1—筋体；2—承载体；3—隔离套管；4—端帽；5—注浆体；6—台座或垫板；7—锚具或螺母；8—支挡结构或基础结构；9—止浆塞；10—止水环；11—垫层；12—防水层；13—保护层。

图 5.2.1 拉压复合型锚杆示意图

注： L_f —自由段； L_{ac} —承压锚固段； L_{at} —受拉锚固段； L_a —锚固段

5.2.2 拉压复合型锚杆用于基坑与边坡工程时，应符合下列规定：

- 1 锚杆倾角宜为 $10^\circ \sim 35^\circ$ ；
- 2 锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4.5m；
- 3 锚杆应施加预应力，且筋体的外露长度应满足张拉锁定要求；
- 4 锚杆的自由段长度不应小于 5.0m，且穿过潜在滑裂面长度不应小于 1.5m。

5.2.3 拉压复合型锚杆用于抗浮工程时，宜在钻孔孔口处的基础垫层上，设置塑料或橡胶止水环。

5.2.4 拉压复合型锚杆中心距不应小于 1.5m，且不应小于锚固段注浆体直径的 8 倍。

5.2.5 拉压复合型锚杆设置在土层中时，钻孔直径宜为 150mm~200mm；设置在岩层中时，钻孔直径宜为 100mm~150mm。

5.2.6 拉压复合型锚杆筋体的筋材之间净距不应小于 10mm；锚杆受拉锚固段筋体的水泥浆或水泥砂浆保护层厚度不应小于 20mm，且其筋体宜设置支架，支架间距宜为 1.5m~2.0m。

5.2.7 拉压复合型锚杆筋体底部应设置塑料或橡胶端帽。

5.3 承载力

5.3.1 拉压复合型锚杆抗拔承载力应按下列公式计算：

$$N_k \leq R_a \quad (5.3.1-1)$$

$$R_a \leq R_{uk}/K \quad (5.3.1-2)$$

式中： N_k ——作用标准组合时的锚杆轴向拉力标准值（kN）；

R_a ——锚杆抗拔承载力特征值（kN）；

R_{uk} ——锚杆极限抗拔承载力标准值（kN），应由基本试验确定；初步设计时可按本规程式（5.3.2）进行估算；

K ——锚杆锚固体抗拔安全系数，永久锚杆不应小于 2.0，临时锚杆不应小于 1.5。

5.3.2 锚杆极限抗拔承载力可按下式估算：

$$R_{uk} = \pi D (\eta_c \sum f_{mk,i} L_{ac,i} + \eta_t \sum f_{mk,j} L_{at,j}) \quad (5.3.2)$$

式中： D ——锚杆锚固体直径（m）；

η_c ——承压锚固段注浆体与岩土体界面黏结强度系数，应由试验确定；估算时可按表 5.3.2-1 的规定选取；

$f_{mk,i}$ ——承压锚固段注浆体与第 i 层岩土体之间极限黏结强度标准值（kPa），无试验资料时，可按表 5.3.2-2 的规定选取；

$L_{ac,i}$ ——承压锚固段在第 i 层岩土体中的长度（m）；

η_t ——受拉锚固段注浆体与岩土体界面黏结强度系数，应由试验确定，估算时可按表 5.3.2-1 的规定选取；

$f_{mk,j}$ ——受拉锚固段注浆体与第 j 层岩土体之间极限黏结强度标准值（kPa），无试验资料时，可按表 5.3.2-2 的规定选取；

$L_{at,j}$ ——受拉锚固段在第 j 层岩土体中的长度（m）。

表 5.3.2-1 注浆体与岩土体界面黏结强度系数建议值

锚固地层	土体		岩体	
	承压锚固段、受拉锚固段长度（m）	3~6	6~10	2~4
η_c 取值	1.50~1.30	1.30~1.00	1.50~1.30	1.30~1.00
η_t 取值	1.50~1.25	1.25~1.00	1.50~1.25	1.25~1.00

表 5.3.2-2 注浆体与岩土体之间极限黏结强度标准值

岩土类别	岩土性状	极限黏结强度标准值 (kPa)
黏性土	可塑	40~70
	硬塑	60~90
	坚硬	80~120
粉土	稍密	20~55
	中密	30~80
	密实	50~120
砂土	稍密	30~100
	中密	50~200
	密实	80~300
碎石土	稍密	60~200
	中密	80~250
	密实	100~350
花岗岩残积土	可塑	40~110
	硬塑	60~130
	坚硬	80~160
岩体	极软岩	270~360
	软岩	360~760
	较软岩	760~1200
	较硬岩	1200~1800
	坚硬岩	1800~2600

注：1 仅用于一次注浆经验值；

2 岩体结构面发育时，取表中下限值；

3 岩石类别根据天然单轴抗压强度 f_r 划分： $f_r < 5\text{MPa}$ 为极软岩， $5\text{MPa} \leq f_r < 15\text{MPa}$ 为软岩， $15\text{MPa} \leq f_r < 30\text{MPa}$ 为较软岩， $30\text{MPa} \leq f_r < 60\text{MPa}$ 为较硬岩， $f_r \geq 60\text{MPa}$ 为坚硬岩。

5.3.3 拉压复合型锚杆受拉锚固段筋体极限抗拔承载力应按下式计算：

$$n\zeta\pi df_b L_{at} \geq \pi D \eta_t \sum f_{mk,j} L_{at,j} \quad (5.3.3)$$

式中： n —— 筋体根数；

ζ —— 筋体与注浆体之间黏结强度折减系数，宜取 0.7~1.0；

d —— 筋体直径 (m)；

f_b —— 筋体与注浆体之间的极限黏结强度标准值 (kPa)，当筋体涂敷环氧材料或防腐材料涂层时，应考虑涂层对筋体与浆体的黏结强度的影响。无试验资料时，可按表 5.3.3 的规定选取；

L_{at} —— 受拉锚固段长度 (m)。

表 5.3.3 浆体与筋体之间极限黏结强度标准值

类型	极限黏结强度标准值 (MPa)
浆体与螺纹钢筋之间	2.0~3.0
浆体与钢绞线之间	3.0~4.0

注：1 浆体抗压强度标准值不低于 30MPa；

2 多束钢绞线时，应进行折减。

5.3.4 锚杆筋体截面面积应按下式计算：

$$A_s \geq K_t N_k / f_{pyk} \quad (5.3.4)$$

式中： A_s ——锚杆筋体横截面总面积 (mm^2)；

f_{pyk} ——锚杆筋体屈服强度标准值 (kPa)，筋体为钢绞线时取名义屈服强度标准值；

K_t ——锚杆筋体抗拉安全系数，永久锚杆不应小于 2.0，临时锚杆不应小于 1.5。

5.3.5 承压锚固段在承载体处注浆体抗压承载力应按下列公式计算：

$$\beta_1 \beta_2 f_{cu,k} A_{ln} \geq \pi D \eta_c \sum f_{mk,i} L_{ac,i} \quad (5.3.5-1)$$

$$\beta_2 = R / r \quad (5.3.5-2)$$

式中： β_1 ——岩土体对注浆体约束的强度提高系数，宜通过试验确定；

β_2 ——注浆体局部受压时的强度提高系数；

$f_{cu,k}$ ——浆体边长为 70.7mm 的立方体抗压强度标准值 (kPa)；

A_{ln} ——注浆体受压净面积 (m^2)；

R ——钻孔半径 (m)；

r ——承载体的压板半径 (m)。

5.3.6 拉压复合型锚杆承载体抗冲切承载力应按下式计算：

$$\pi D_e t f_v \geq \pi D \eta_c \sum f_{mk,i} L_{ac,i} \quad (5.3.6)$$

式中： D_e ——承载体端面上冲切面的直径 (mm)；

t ——承载体端面上冲切面的厚度 (mm)；

f_v ——承载体的抗剪强度设计值 (kN/m^2)；

5.3.7 拉压复合型锚杆用于抗浮设计等级为甲级的工程时，应符合下列规定：

1 受拉锚固段长度系数不应大于 0.4；

2 受拉锚固段在分担的荷载效应标准组合下注浆体中的拉应力不应大于注浆体轴心抗拉强度标准值。

5.3.8 拉压复合型锚杆用于抗浮工程时，当锚固段位于岩体基本质量为 I~III 级的岩层，可不进行群锚整体稳定性验算；当锚固段位于岩体基本质量为 IV~V 级的岩层以及土层时，

应进行群锚稳定性验算（图 5.3.8），并应满足下式要求：

$$W_w + G_k + c(L - 0.5s \tan \varphi) u \geq 1.1 F_{wk} \quad (5.3.8)$$

式中： W_w —— 基础下抗浮锚杆布置范围内按浮重度计算的岩土体的自重荷载标准值（kN）；

G_k —— 结构自重及其上作用的可利永久荷载标准值（kN）；

c —— 岩土体的黏聚力（kPa）；

L —— 锚杆杆体在钻孔内的总长度（m）；

s —— 锚杆中心距离（m）；

u —— 等效周长（m），按图 5.3.8 取最外侧垂直面在水平面所围成几何形状的周长；

φ —— 锥角（°），取 45°；

F_{wk} —— 地下水浮力标准值（kN）。

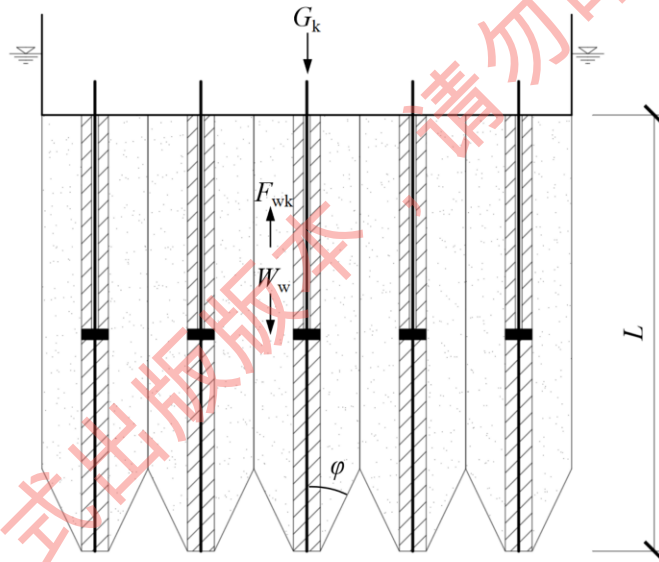


图 5.3.8 群锚稳定性验算简图

5.4 锚杆刚度系数

5.4.1 锚杆的轴向抗拉刚度系数宜根据载荷试验并按式（5.4.1-1）计算确定；初步设计时，可按式（5.4.1-2）进行估算：

$$k_r = (P_2 - P_1) / (s_2 - s_1) \quad (5.4.1-1)$$

$$k_r = \lambda E_s A_s / l_{fd} \quad (5.4.1-2)$$

式中： k_r —— 锚杆轴向抗拉刚度系数（kN/m）；

P_2 、 P_1 —— 荷载位移曲线上的特定荷载（kN）， P_2 宜取锚杆轴向拉力标准值， P_1 为初始荷载；

s_2 、 s_1 —— P_2 、 P_1 作用下对应的锚头位移（m）；

- λ —— 轴向抗拉刚度系数的调整系数，可按本地经验取值；
- E_s —— 锚杆筋体的弹性模量 (kPa)；
- A_s —— 锚杆筋体横截面总面积 (m²)；
- l_{fd} —— 锚杆筋体变形估算长度 (m)，计算方法宜按本规程第 5.4.2 条规定执行。

5.4.2 锚杆筋体变形估算长度宜符合下列规定：

- 1 在岩体基本质量等级I~IV级的岩层中时，可取其自由段长度与承压锚固段长度之和；
- 2 在岩体基本质量等级V级的岩层及土层中时，可取其自由段长度、承压锚固段长度与受拉锚固段长度的三分之一之和。

5.5 防腐与防水

5.5.1 拉压复合型锚杆的防腐设计应根据其设计工作年限、工作环境类别、环境作用等级等综合确定。

5.5.2 拉压复合型锚杆的防腐等级可根据锚杆的环境作用等级与环境类别划分为I级、II级，并符合表 5.5.2 的规定。

表 5.5.2 拉压复合型锚杆适用的环境作用等级及相应防腐等级

环境作用等级		微	弱	中	强
环境类别	一般环境	适用	—	—	不适用
	氯盐环境	适用	适用	适用	不适用
	化学腐蚀环境	适用	适用	适用	不适用
	土对钢结构腐蚀	适用	适用	适用	不适用
	电流干扰环氧	—	适用	适用	不适用
最低防腐等级		II级	II级	I级	不适用

5.5.3 拉压复合型锚杆的防腐构造措施，应按表 5.5.3 的规定采用。

表 5.5.3 拉压复合型锚杆防腐构造设计

防腐等级	筋体材料	锚头	自由段	承压锚固段	承载体	受拉锚固段
I级	精轧螺纹钢、钢筋、钢绞线	采用过渡管，隔离套管延伸至锚具底，锚具用混凝土封闭，保护层厚度不小于 50mm	采用注入油脂的隔离套管后注浆，或对敷设防腐涂层筋体安装隔离套管后注浆	采用注入油脂的隔离套管后注浆，或对敷设防腐涂层筋体安装隔离套管后注浆	敷涂防腐材料，保护层厚度不小于 20mm	筋体敷设防腐涂层后注浆，或采用波形管内置筋体的预制芯体并注浆

II级	精轧螺纹钢、钢绞线	采用过渡管，隔离套管延伸至锚具底，锚具用混凝土封闭，保护层厚度不小于30mm，或用内部充填油脂的钢罩保护	对筋体安装隔离套管后注浆	对筋体安装隔离套管后注浆	敷涂防腐材料，保护层厚度不小于15mm	注浆或清洗油脂后注浆
-----	-----------	------------------------------------------------------	--------------	--------------	---------------------	------------

5.5.4 拉压复合型锚杆各部件采用的防腐材料及其构造在锚杆施工及正常使用期间不得发生损坏，且不得影响锚杆的使用功能。

5.5.5 拉压复合型锚杆锚头的混凝土保护层厚度不应小于50mm。

5.5.6 拉压复合型锚杆用于抗浮工程时，锚固节点的防水应符合下列规定：

- 1 锚固节点防水等级不应低于其相关的地下结构防水等级；
- 2 锚固节点防水层与地下结构的底板防水层应采取稳固连接；
- 3 当抗浮工程的防水等级为一级、二级时，应采用2道~3道防水措施；当抗浮工程的防水等级为三级时，应采用1道~2道防水措施；
- 4 应在钻孔孔口处设置止水环（图5.5.6），止水环直径不应小于350mm，且止水环内的注浆液应充填饱满。

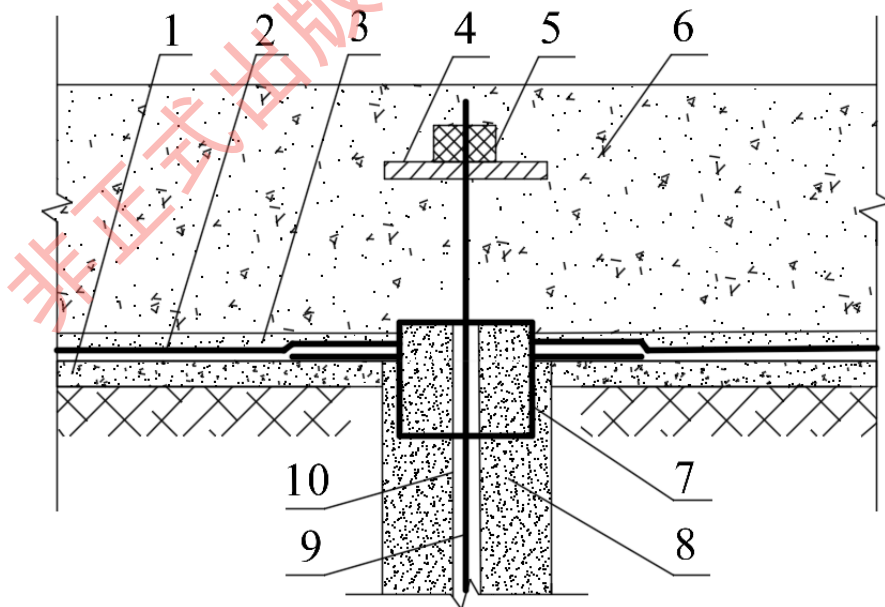


图 5.5.6 拉压复合型锚杆锚固节点止水环构造

- 1—垫层；2—防水层；3—保护层；4—垫板；5—螺母；6—基础结构；
7—止水环；8—浆体；9—筋体；10—隔离套管。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 拉压复合型锚杆施工前，应具备下列条件：

- 1 应编制专项施工方案；
- 2 应对场地内地下障碍物以及邻近既有建（构）筑物、市政设施等调查分析，并采取处理措施；
- 3 施工现场应通水、通电、通路及平整土地；
- 4 应对锚杆孔位轴线的控制点和水准点等测量控制网进行复核；
- 5 应根据设计文件要求并结合场地实际情况进行场地布置和安排施工顺序。

6.1.2 拉压复合型锚杆工程专项施工方案应包括下列内容：

- 1 岩土工程勘察资料与设计的要求；
- 2 工程场地及周边环境条件；
- 3 场地布置、施工工艺及技术参数；
- 4 预应力筋张拉适用期与固化期要求；
- 5 预应力筋的安装与张拉要求；
- 6 施工质量检验要求；
- 7 工程监测要求等。

6.1.3 拉压复合型锚杆施工所用材料与组件的品种、规格、性能和施工设备的技术性能，应符合设计文件及国家现行有关标准的规定。

6.1.4 拉压复合型锚杆杆体下孔前，应清理孔口附近的渣土，并应采取防止渣土在注浆体硬化前掉入孔内的保护措施。

6.1.5 施工中，应采取控制振动、噪声、扬尘、废水、废弃物及有毒有害物质对工程场地、周边环境和人身健康的危害的措施。

6.2 成 孔

6.2.1 钻孔机械应根据场地岩土工程条件、成孔条件、钻孔深度、施工现场环境、地形条件等综合确定。

6.2.2 钻机就位前，应对锚杆成孔位置进行复核确认，且钻机定位应准确、稳固。

6.2.3 钻孔定位的允许偏差为 50mm，锚杆偏斜度不应大于 3°。

6.2.4 拉压复合型锚杆在易塌孔的岩层或土层中成孔时，应采用防止塌孔的跟管钻进、套管钻进等成孔工艺。

6.2.5 岩层中的钻孔长度宜比设计钻孔深度长 0.1m~0.3m；土层中的钻孔长度宜比设计钻孔深度长 0.3m~0.5m。

6.3 杆体制作

6.3.1 拉压复合型锚杆杆体制作应符合下列规定：

- 1 钢绞线筋体应平行顺直，不得相互交叉、扭曲，不得接长；筋体宜通过定位架或对中架、隔离架及束线环等配件组装为整体；
- 2 精轧螺纹钢筋应采用专用连接器接长；
- 3 筋体下料时，宜采用切割机，不得使用电弧或乙炔焰进行切割；
- 4 隔离套管搭接长度不应小于 50mm；
- 5 端帽宜在杆体下孔前安装；
- 6 注浆管宜随杆体一起绑扎，且宜穿过承载体并置入端帽内。

6.3.2 拉压复合型锚杆杆体制作、存放、搬运过程中，应采取防止隔离套管、防腐涂层、筋体损伤的措施。安装时，应采取防止护管及防腐涂层损伤的措施。

6.3.3 拉压复合型锚杆承压锚固段与受拉锚固段的杆体长度的允许偏差为 100mm；承载体位置的允许偏差为 50mm；定位架、对中架及隔离架的间距允许偏差为 100mm。

6.3.4 拉压复合型锚杆采用预制芯体时，应符合下列规定：

- 1 预制芯体宜在工厂制作；
- 2 预制芯体的直径允许偏差为 5mm，长度允许偏差为 50mm；
- 3 预制芯体的内注浆体的抗压强度应满足锚杆设计要求；
- 4 波纹管质量与性能应符合现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 的有关规定。

6.4 注 浆

6.4.1 钻孔清孔后，应及时安装杆体并注浆，且注浆应连续进行。

6.4.2 拉压复合型锚杆注浆宜根据抗拔承载力及锚固地层条件等采用一次注浆、二次压力注浆工艺。当采用二次压力注浆时，应控制与一次注浆完成时间间隔。

6.4.3 拉压复合型锚杆浆体应随用随制备，并应在初凝前用完。

6.4.4 拉压复合型锚杆一次注浆至孔口连续溢出均匀浆液后，方可停止注浆。当孔口浆体

液面下沉稳定后，应及时补浆。

6.4.5 拉压复合型锚杆注浆产生的泥浆、污水等应进行环保处理；未经处理的废水等污染物不得直接排放到河道、水塘等水域。

6.4.6 拉压复合型锚杆用于抗浮工程时，止水环内部应在补浆时注满水泥浆。

6.5 张 拉

6.5.1 预应力拉压复合型锚杆张拉前，应对注浆体强度、传力基础强度以及地基承载力进行验算。

6.5.2 预应力拉压复合型锚杆张拉前，应对张拉设备、仪表等进行校准，并宜按轴向拉力标准值的（10%~20%）倍拉力值进行预张拉。

6.5.3 预应力拉压复合型锚杆的张拉工艺应考虑锁定时预应力损失的影响，且在张拉过程中不得对邻近锚杆造成影响。

6.5.4 预应力拉压复合型锚杆张拉后应及时对锁定值进行检测，验收检验合格后，方可对冗余张拉段进行切割和封锚。

6.5.5 拉压复合型锚杆在封锚结构内的外露长度不宜小于 100mm。

7 试验与质量检验

7.0.1 锚杆工程质量检验，应包括施工前检验、施工中检验和验收检验。

7.0.2 拉压复合型锚杆施工前质量检验，应包括下列内容：

- 1 原材料的质量证明文件；
- 2 材料进场质量抽检试验报告；
- 3 筋体、筋体连接接头、承载体与筋体连接的力学性能检验报告；
- 4 承载体位置与筋体长度的检验。

7.0.3 拉压复合型锚杆施工中质量检验，应包括下列内容：

- 1 锚杆位置、钻孔直径、钻孔深度；
- 2 锚杆杆体插入深度；
- 3 浆体配合比、注浆压力及注浆量；
- 4 注浆体强度。

7.0.4 拉压复合型锚杆工程施工后的质量检验应包括验收试验、持有荷载试验和施工质量验收检验。验收试验应按本规程附录 B 的规定执行，持有荷载试验应按本规程附录 C 的规定执行。

7.0.5 拉压复合型锚杆工程施工质量验收检验标准，应符合表 7.0.5 的规定。

表 7.0.5 锚杆工程施工质量验收检验标准

序号	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
1	筋体长度 (mm)	+100, -30	钢尺量
2	承载体位置 (mm)	±50	钢尺量
3	抗拔承载力 (kN)	不小于设计要求	现场拉拔试验
4	承载体与筋体连接力 (kN)	不小于锚杆极限抗拔承载力标准值	试验送检
5	浆体强度	设计要求	试样送检
6	锁定荷载 (kN)	设计荷载的±10%	持有荷载试验
7	锚杆位置 (mm)	±50	钢尺量
8	钻孔直径 (mm)	-10	钢尺量
9	钻孔倾斜度 (°)	3°	角度测量仪
10	钻孔长度 (mm)	超过设计值 100	测量钻杆
11	筋体插入长度误差	不大于钻孔内设计长度的 2%	钢尺量

8 工程监测

8.0.1 拉压复合型锚杆工程施工前，应根据岩土工程勘察资料、设计文件、施工图设计文件和专项施工方案等编制工程监测方案。

8.0.2 拉压复合型锚杆工程监测方案应包括下列内容：

- 1 监测项目基本情况；
- 2 监测位置、测点数量和位置；
- 3 监测仪器和方法；
- 4 监测频率、监测数据整理与反馈；
- 5 监测控制标准和预警值；
- 6 应急处理措施等。

8.0.3 拉压复合型锚杆应根据工程类型和设计要求的锚固结构的变形、锚杆轴向拉力进行工程监测，并应符合下列规定：

- 1 监测点应布置在工程重要地段，地质条件复杂地段，锚杆受力或预估变形最大的地段，以及保护对象的代表性位置；
- 2 永久锚杆轴向拉力监测数量不应少于锚杆总量的 5%，临时锚杆轴向拉力监测数量不应少于工程锚杆总量的 3%，且均不得少于 6 根；
- 3 遇暴雨、持续降雨、条件改变时，应增加监测频率；
- 4 应对监测设备进行保护，并宜采用自动化监测；
- 5 应及时反馈监测结果。

8.0.4 工程监测时间及频率应符合下列规定：

- 1 永久锚杆监测时间应为工程竣工后不少于 2 年，临时锚杆监测时间应至锚杆使用期结束；
- 2 监测频率应按设计要求进行；初步确定时，荷载增加期间可 1d~3d 监测一次，荷载稳定期间可 5d~10d 监测一次，工程结束后可 30d~60d 监测一次；
- 3 监测数据异常或锚杆荷载变化较大时，应增加监测频率。

8.0.5 监测结果达到设计规定的预（报）警值时，应立即预（报）警，并采取处置措施。

附录 A 基本试验

A.1 一般规定

A.1.1 拉压复合型锚杆工程应进行基本试验，并应符合下列规定：

- 1 试验场地工程地质条件应具有代表性，设计参数和施工工艺宜与工程锚杆相同；
- 2 试验时锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%；
- 3 同条件下的基本试验锚杆数量不应少于 3 根。

A.1.2 锚固段位于下列地层之一时，预应力拉压复合型锚杆除应进行基本试验外，尚应进行蠕变试验，且试验锚杆数量不应少于 3 根：

- 1 泥质类岩层；
- 2 节理裂隙发育且充填有黏性土的岩层；
- 3 塑性指数大于 20 的土层；
- 4 处理后的液限大于 50%的土层与欠固结填土层。

A.1.3 拉压复合型锚杆施工完成后应进行验收试验，预应力拉压复合型锚杆尚应进行持有荷载试验。试验锚杆数量不应少于同批次锚杆总数的 5%，且同一地层中检测数量不应少于 6 根。试验方法应按本规程附录 B、附录 C 的规定执行。

A.1.4 试验过程中应采取措施确保试验锚杆的锚固段处于独立受力状态。

A.2 试验装置及要求

A.2.1 试验过程中采用的仪器设备应在检定或校准的有效期内，试验前应检查调试。

A.2.2 测量仪表应满足测试要求的精度，性能指标应符合下列规定：

- 1 传感器测量允许误差为 1%FS；
- 2 液压表的准确度等级不应低于 0.4 级；
- 3 位移测量仪表测量允许误差为 0.1%FS，分度值/分辨力不应低于 0.01mm；
- 4 试验时测量仪表的最大测量值宜为满量程的 25%~80%。

A.2.3 试验用油泵、油管在最大加荷时的工作压力不宜超过额定工作压力的 80%。

A.2.4 加载反力装置应选用支座横梁方式，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 通过支座施加于地基的压应力不应大于地基承载力特征值的 1.5 倍；
- 3 支座边与锚杆中心的距离，土层锚杆不应小于 1.5m，岩层锚杆不应小于 0.75m；

4 基准桩与锚杆中心、支座边的净距不应小于 1.5m。

A.2.5 试验应采用双作用油压穿心千斤顶，千斤顶的作用方向应与锚杆轴线重合。

A.2.6 试验宜采用自动加载油泵，加载速率宜为 $(0.05 \sim 0.10) N_k/\text{min}$ ；卸载速率不宜大于加载速率的 2 倍，且不宜大于 $100\text{kN}/\text{min}$ 。

A.2.7 拉压复合型锚杆位移测量应采用位移传感器，并应符合下列规定：

- 1 位移测量点宜设置在孔口附近的筋体上；
- 2 应对称安置 2 个位移测量仪表；
- 3 位移测量仪表的方向应与锚杆轴向一致；
- 4 固定和支撑位移测量仪表的夹具、基准梁及基座应采取隔震措施。

A.3 试验方法

A.3.1 拉压复合型锚杆基本试验的最大试验荷载 P_p 的确定，应符合下列规定：

- 1 宜取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估值的 1.0 倍~1.5 倍；
- 2 钢绞线筋体应力不宜超过抗拉强度标准值的 0.85 倍；
- 3 精轧螺纹钢筋体应力不宜超过屈服强度标准值的 0.90 倍；
- 4 临时锚杆不应小于锚杆轴向拉力标准值的 1.5 倍；
- 5 永久锚杆不应小于锚杆轴向拉力标准值的 2.0 倍。

A.3.2 基本试验应采用多循环加卸载法（图 A.3.2），每个循环在最大荷载下的持载时间不应低于 15min，且其加载、持载、卸载模式的初始荷载宜为最大试验荷载的 10%。

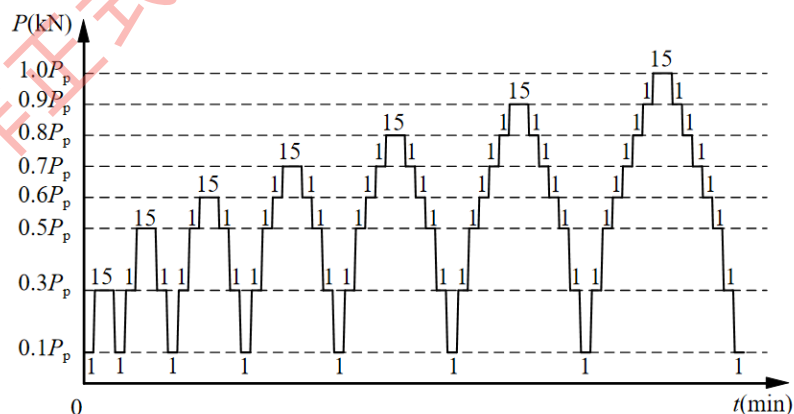


图 A.3.2 基本试验多循环加卸载方法

A.3.3 基本试验的预加荷载可取最大试验荷载预估值的 5%~10%，且不宜大于 50kN。

A.3.4 每循环在加荷时，荷载不应超过该循环的最大荷载；每循环维持荷载时，荷载减小量不应大于相邻两循环最大荷载增量的 10%。

A.3.5 拉压复合型锚杆宜加载至破坏，加载至最大试验荷载尚未破坏时，可按最大试验荷

载的 10%增加 1 次~3 次循环。

A.3.6 基本试验的锚头位移相对稳定标准，应符合下列规定：

1 当第 5min~15min 位移增量不大于 1.0mm 时，可判定为位移稳定；

2 当不满足本条第 1 款要求时，应延长持载时间至 60min，第 15min~60min 位移增量不大于 1.2mm 时，可判定为位移稳定；

3 当不满足本条第 2 款要求时，应再次延长维荷时间至 240min，第 60min~240min 位移增量不大于 1.2mm 时，可施加下一级荷载。

A.3.7 当出现下列情况之一时，可判定拉压复合型锚杆破坏：

1 锚杆筋体断裂或锚固体被拔出；

2 本次循环荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载的 5 倍；

3 位移尚未达到本规程第 A.3.6 条第 3 款的要求。

A.3.8 拉压复合型锚杆基本试验应按荷载与对应的锚头位移列表整理并绘制荷载-锚头位移曲线，荷载-弹性位移曲线，荷载-塑性位移曲线（图 A.3.8-1、A.3.8-2）。

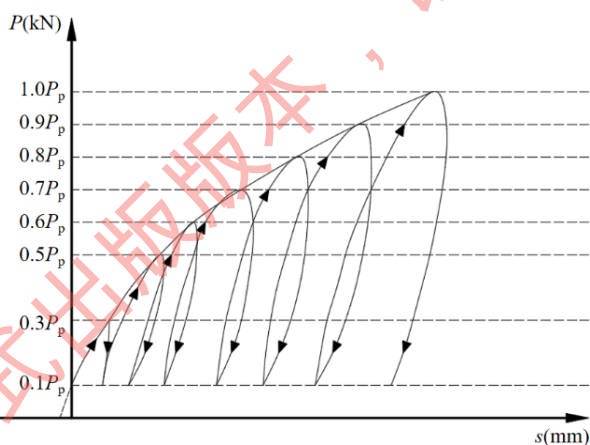


图 A.3.8-1 荷载-锚头位移曲线

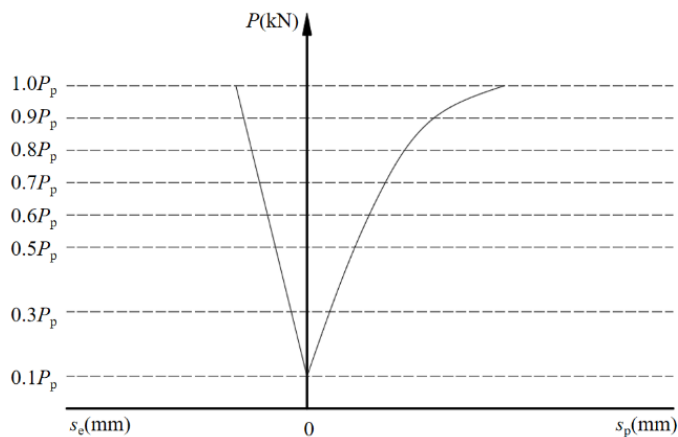


图 A.3.8-2 荷载-弹性位移及荷载-塑性位移曲线

P —试验荷载； P_p —最大试验荷载。

A.3.9 单根拉压复合型锚杆极限抗拔承载力，应按下列方法分析确定：

- 1 当符合本规程第 A.3.7 条时，可取前一循环的最大试验荷载值；
- 2 当按本条第 1 款确定的锚杆极限抗拔承载力计算的承载力特征值时，其对应的位移不应大于设计允许值。

A.3.10 拉压复合型锚杆极限抗拔承载力的统计取值，应按下列方法确定：

- 1 当试验结果满足极差不超过平均值的 30% 时，可取试验锚杆的平均值作为其极限抗拔承载力；
- 2 当试验锚杆的极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，并宜根据施工工艺、地层条件等工程具体情况综合确定；

A.3.11 拉压复合型锚杆弹性变形验算，应符合下列规定：

- 1 实测弹性位移量可取锚头总位移与卸荷至初始荷载时的锚头位移之差；
- 2 实测弹性位移量应大于锚杆自由段长度与承压锚固段长度之和的理论弹性伸长值的 80%，且不应大于锚杆自由段长度、承压锚固段长度与 1/2 受拉锚固段长度之和的理论弹性伸长值。

A.3.12 拉压复合型锚杆蠕变试验的加卸载，应符合下列规定：

- 1 采用分级加荷卸载，加荷等级和观测时间，应符合表 A.3.12 的规定；
- 2 在观测时间段内，荷载不应大于该级的最大试验荷载，且荷载减小量不应大于该级试验荷载增量的 10%；
- 3 在每一级荷载作用下，观测时间达到表 A.3.12 中的规定值后，可施加下一级荷载；
- 4 在最后一级荷载作用下，观测时间达到表 A.3.12 中的规定值时，可卸载；卸载时，每级荷载持载时间不宜少于 5min。

表 A.3.12 蠕变试验的加荷等级和观测时间表

加荷等级	观测时间 (min)			
	临时锚杆		永久锚杆	
	t_1	t_2	t_1	t_2
$0.25N_k$	—	—	15	30
$0.50N_k$	15	30	15	30
$0.75N_k$	15	30	30	60
$1.00N_k$	30	60	60	120
$1.25N_k$	60	120	120	240
$1.50N_k$	60	120	180	360

注： t_1 、 t_2 为每级持载过程中用于计算锚杆蠕变率的第一、第二观测时间。

A.3.13 试验结果应按荷载-时间-蠕变量整理，并应绘制每级荷载下锚杆的锚头位移-时间对数曲线。

A.3.14 蠕变率应按下列式计算：

$$k_c = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (\text{A.3.14})$$

式中： k_c —— 锚杆蠕变率（mm）；

s_1 —— t_1 时间测得的蠕变量（mm）；

s_2 —— t_2 时间测得的蠕变量（mm）；

t_1 —— 第一观测时间（min）；

t_2 —— 第二观测时间（min）。

A.3.15 拉压复合型锚杆在最大试验荷载作用下的蠕变率不应大于 2.0mm。

非正式出版版本，请勿印刷。

附录 B 验收试验

B.0.1 拉压复合型锚杆验收荷载应符合下列规定：

- 1 临时锚杆的验收荷载不应小于锚杆轴向拉力标准值的 1.5 倍；
- 2 永久锚杆的验收荷载不应小于锚杆轴向拉力标准值的 2.0 倍。

B.0.2 验收试验采用多循环加卸载法时，应符合下列规定：

- 1 可按荷载分级进行加卸载（图 B.0.2）；
- 2 每循环加载至最大荷载时，位移观测时间 15min 后，可施加下一级荷载；
- 3 在验收荷载作用下，锚头位移达到本规程第 A.3.6 条的相对稳定标准后，可结束试验；
- 4 加载过程中，当出现本规程第 A.3.7 条规定的终止加载情况时，可终止试验。

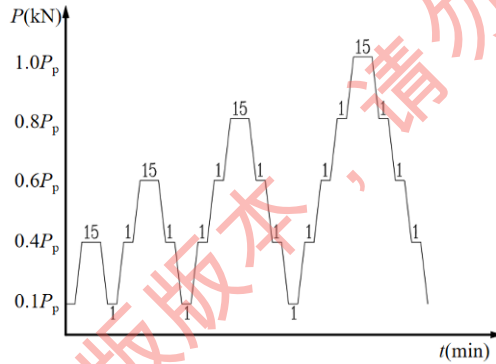


图 B.0.2 验收试验多循环加卸载方法

B.0.3 验收试验采用单循环加卸载法时，应符合下列规定：

- 1 可按荷载分级进行加卸载（图 B.0.3）；
- 2 当加载至验收荷载时，位移观测时间不应少于 15min，且达到本规程第 A.3.6 条规定的位移相对稳定标准后，可结束试验；
- 3 当加载过程中出现本规程第 A.3.7 条规定的终止加载情况时，可终止试验。

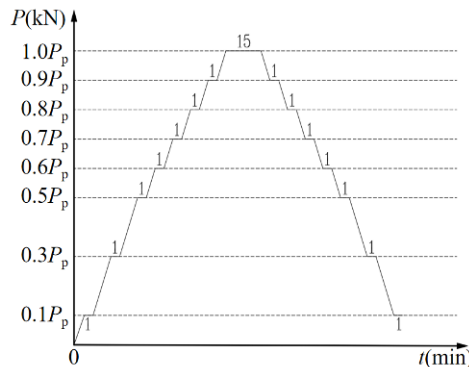


图 B.0.3 验收试验单循环加卸载方法

B.0.4 拉压复合型锚杆验收试验应按荷载与对应的锚头位移列表整理并绘制荷载-锚头位移曲线（图 B.0.4），抗拔承载力检测值应按下列方法分析确定：

- 1 当符合本规程第 B.0.2 条第 3 款、第 B.0.3 条第 2 款时，检测值宜取验收荷载；
- 2 当出现本规程第 B.0.2 条第 4 款、第 B.0.3 条第 3 款时，检测值宜小于验收荷载。

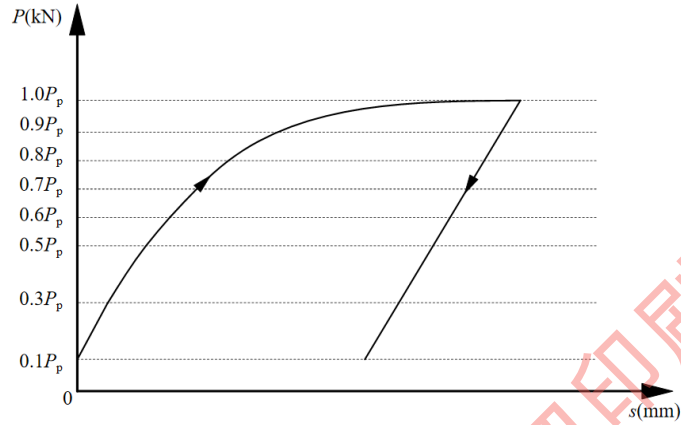


图 B.0.4 荷载-锚头位移曲线

B.0.5 合格拉压复合型锚杆的判定，应符合下列规定：

- 1 锚杆抗拔承载力检测值不应小于锚杆验收荷载；
- 2 锚杆变形应符合本规程第 A.3.11 条规定；
- 3 当有设计要求时，锚杆的位移量尚应满足设计要求。

附录 C 持有荷载试验

C.0.1 持有荷载试验可用于测定预应力拉压复合型锚杆筋体的持有荷载，也可用于测定预应力拉压复合型锚杆的锁定力。

C.0.2 持有荷载试验的最大试验荷载不应大于验收荷载。

C.0.3 当符合下列条件之一时，应进行持有荷载试验：

- 1 确定预应力拉压复合型锚杆张拉锁定工艺时；
- 2 锚固结构变形超过设计预警值时；
- 3 对工程质量存在疑义时；
- 4 对工程进行安全评估时。

C.0.4 当采用持有荷载试验测定预应力拉压复合型锚杆的锁定力时，应在张拉锁定后 12h 内完成试验。

C.0.5 持有荷载试验的锚杆数量宜为锚杆总数的 5%，且不宜少于 6 根；对工程施工质量存在疑议或地质条件复杂多变，以及工程重要部位宜增加检测数量。

C.0.6 持有荷载试验加载方式，应符合下列规定：

- 1 初始荷载宜为锚杆设计锁定荷载的 10%；
- 2 加载应分级进行，宜采用逐级等量加荷，分级荷载宜为锚杆设计锁定荷载的 5%；
- 3 当出现锚头位移突变或锚具松动时，宜继续加载 2 级~4 级后，再终止试验；
- 4 当加载至验收试验荷载，且未出现锚头位移突变或锚具松动时，应终止试验。

C.0.7 每级荷载施加完成后，应持荷 5min，且宜每间隔 1min 测读一次锚头位移。

C.0.8 拉压复合型锚杆采用提离法进行持有荷载试验时，应按下列方法综合判断提离现象：

- 1 每级加载完成后，宜采用厚度 0.3mm 的塞尺从互成 180° 角的两个方向分别插入锚具与垫板之间的缝隙，当塞尺从不能插入至能够插入时，宜判断发生了提离现象；
- 2 锚具夹片被提起现象清晰可见时，宜判断发生了提离现象；
- 3 当现场荷载-位移关系曲线出现了拐点时，应结合现场观测结果综合判断是否发生了提离现象。

C.0.9 拉压复合型锚杆持有荷载应按下列顺序分析判断取值：

- 1 荷载-锚头位移曲线（图 C.0.9）上，两直线段明显拐点所对应的荷载；
- 2 荷载-锚头位移曲线上，两拟合直线交点所对应的荷载；
- 3 现场检测发生提离现象时的前一级荷载。

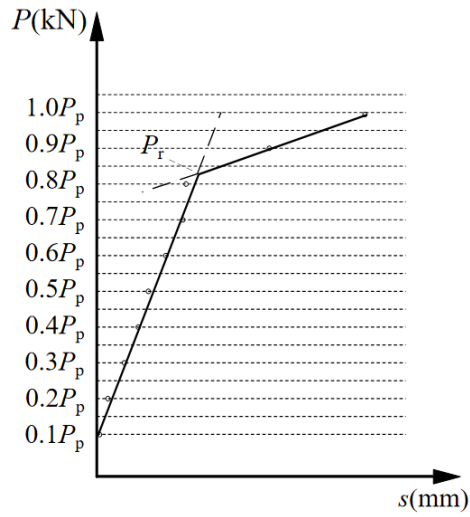


图 C.0.9 荷载-锚头位移曲线

C.0.10 锁定荷载检测值与设计锁定荷载的偏差在 10%以内时，应判定锁定荷载合格。

C.0.11 持有荷载试验完成后，应按设计要求重新锁定。

非正式出版版本，请勿印刷。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对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，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 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执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

非正式出版版本，请勿印刷。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

- 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 《混凝土外加剂》 GB/T 8076
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》 GB/T 14370
- 《建设用砂》 GB/T 14684
- 《建筑结构用钢板》 GB/T 19879
- 《预应力混凝土用螺纹钢》 GB/T 20065
- 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》 GB/T 21073
- 《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》 GB/T 25826
- 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 《建筑钢结构防腐技术规程》 JGJ/T 251
- 《建筑工程抗浮技术标准》 JGJ 476
- 《抗浮锚杆技术规程》 YB/T 4659
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 《无粘结预应力钢绞线》 JGJ 161
- 《建筑用钢结构防腐涂料》 JG/T 224
- 《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》 JG/T 430
- 《环氧树脂涂层钢筋》 JG/T 502
- 《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》 JT/T 529
- 《填充型环氧涂层钢绞线》 JT/T 737

中国工程建设标准化协会标准

拉压复合型锚杆技术规程

T/CECS XXXX—20XX

条 文 说 明

非正式出版版本，请勿印刷。

制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国工程建设中拉压复合型锚杆的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验取得了本规程的有关重要技术参数。

本规程编制以指标准确、技术合理、适用性广泛为原则，以调研和实际应用情况统计分析为基础，对重要技术指标的提出做到有据可依。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。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。

非正式出版版本，请勿印刷。

目 次

2	术语和符号	(3535)
2.1	术语	(3536)
3	基本规定	(3637)
4	材料与组件	(3737)
4.1	筋体	(3737)
4.2	承载体与隔离套管	(3737)
4.3	注浆体与注浆管	(3737)
4.4	锚具与防腐	(38)
5	设计	(39)
5.1	一般规定	(39)
5.2	构造	(4040)
5.3	承载力	(4040)
5.4	锚杆刚度系数	(4141)
5.5	防腐与防水	(4141)
6	施工	(4343)
6.1	一般规定	(4343)
6.2	成孔	(4343)
6.3	杆体制作	(4343)
6.4	注浆	(4444)
6.5	张拉	(4444)
7	试验与质量检验	(45)
8	工程监测	(46)
附录 A	基本试验	(4747)
附录 B	验收试验	(49)
附录 C	持有荷载试验	(5050)

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.4 拉压复合型锚杆是在锚杆锚固段筋体的适当位置固定设置承载体，并在承载体前端的锚固段筋体上设置隔离套管，承载体后端的锚固段筋体与注浆体黏结而形成的一种新型锚杆。拉压复合型锚杆通过承压锚固段与受拉锚固段协同承载，提供抗拔力。当预应力拉压复合型锚杆设置自由段时，自由段的隔离套管应与承压锚固段的隔离套管连成整体。

2.1.5 受拉锚固段长度系数是指受拉锚固段长度与包含受拉锚固段与承压锚固段的总锚固段长度之比，其值对拉压复合型锚杆承载力影响较大。

非正式出版版本，请勿印刷

3 基本规定

3.0.2 拉压复合型锚杆具有良好的承载性能，在传统锚杆直接适用的地层中基本都可以较好地使用。但是，由于目前推广案例有限，本规程主要参考目前国内锚杆相关标准对锚杆适用地层的要求，规定了拉压复合型锚杆不得应用的地层。

3.0.3 一般而言，基坑工程与临时性边坡工程设计使用期限小于 2 年，拉压复合型锚杆可按临时锚杆进行设计。永久性边坡工程与抗浮工程设计使用期限超过 2 年时，应按永久锚杆进行设计，且拉压复合型锚杆设计使用期限不应低于被锚固结构的设计使用年限。

3.0.8 拉压复合型锚杆抗拔承载力经初步估算设计后，在正式施工前必须通过基本试验检验抗拔承载力。对于某些地层，拉压复合型锚杆在预应力长期反复荷载作用下，可能会出现变形持续增加，影响工程安全。此时，应结合锚固结构允许变形来考虑锚头变形确定抗拔承载力。

非正式出版版本，请勿引用。

4 材料与组件

4.1 筋 体

4.1.1~4.1.2 拉压复合型锚杆在推广应用过程中，先后采用过普通带肋钢筋、钢绞线、精轧螺纹钢。带肋钢筋需要焊接承载体，现场施工相对繁琐，逐渐淘汰使用。钢绞线筋体主要应用于边坡工程，精轧螺纹钢筋体主要应用于抗浮工程。

4.1.5 筋体采用环氧涂层或防腐涂层时，涂层会适当削弱筋体与浆体界面的黏结强度，研究表明降幅约 5%~10%。钢绞线涂层研究结果相对偏少，且表面相对光滑，当敷涂环氧涂层或防腐涂层时，应对钢绞线进行筋体与浆体黏结强度试验。

4.2 承载体与隔离套管

4.2.1 本条对拉压复合型锚杆承载体做出规定。

1 承载体组装时，为保证精度宜在工厂制作。

2 针对精轧螺纹钢杆体，拉压复合型锚杆宜采用锻压制品，也可以采用在工厂焊接配套螺母和钢板的组合体。

3 针对钢绞线杆体，可采用挤压型锚具和钢板连接组合，通过机械方式固定。

4 为方便注浆管安装和下孔，宜在承载体中预留注浆管穿孔，以便穿设注浆管。

本条涉及专利“一种用于拉压复合型锚杆的增强型承压板”（专利号：ZL201910249659.3）、“装配式整体承压板及采用该承压板的拉压复合型锚杆”（专利号：ZL201910250235.9）的使用。

4.2.3 隔离套管的作用是隔离浆体与筋体。精轧螺纹钢可采用热缩套管或塑料套管，钢绞线可以采用现场安装塑料套管或工厂生产的自带套管的无粘结钢绞线。

4.3 注浆体与注浆管

4.3.1 由于水泥净浆的收缩性略大于水泥砂浆，拉压复合型锚杆用于抗浮工程时，宜优先采用水泥砂浆。采用水泥砂浆时，应严禁采用海砂，并对砂中氯离子含量进行检测。无论采用水泥砂浆或水泥净浆，都必须保证浆体的质量，尤其是水泥强度必须满足设计要求。

4.3.6 注浆质量是保证锚杆抗拔承载力的重要因素。拉压复合型锚杆采用压力注浆时，尤其二次压力注浆时，注浆管开塞压力很大，短时间内会超过设计压力值。为防止注浆管爆管而无法完成压力注浆，注浆管必须有足够耐压力。

4.4 锚具与防腐

4.4.3、4.4.4 永久性拉压复合型锚杆的耐久性主要受腐蚀影响较大，封锚时，必须对锚具进行防腐处理。抗浮锚杆的锚具或锚头在混凝土底板内，一般情况下可不进行特殊处理。

非正式出版版本，请勿印刷。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.2 总锚固段长度相同时，受拉锚固段长度系数对拉压复合型锚杆抗拔承载力影响很大，同时还受总锚固段长度的影响（图 1）。为了在相同锚固段长度下，充分发挥拉压复合型锚杆的抗拔承载力，本条规定了拉压复合型锚杆的受拉锚固段长度系数的取值区间。

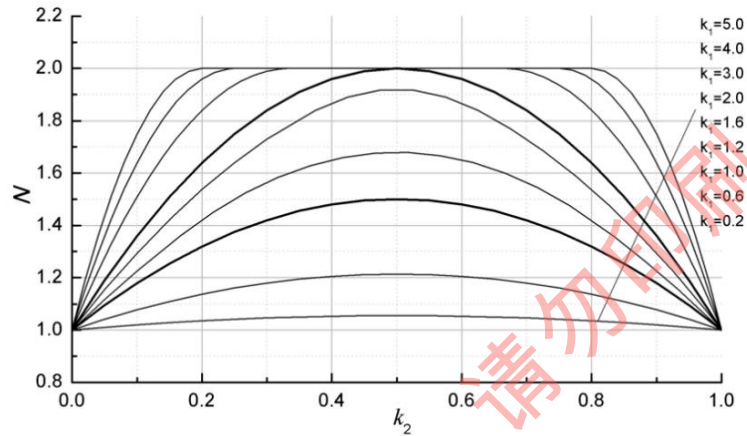
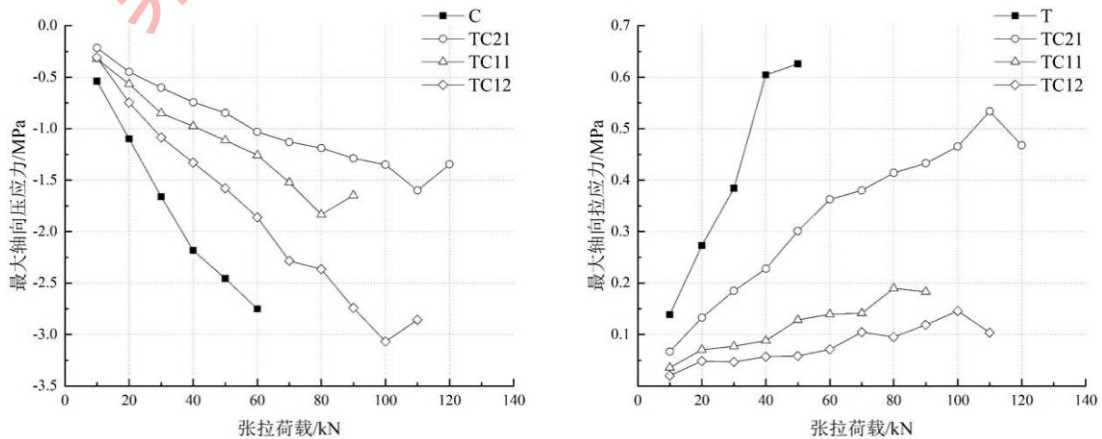


图 1 拉压复合型锚杆与拉力型锚杆抗拔承载力比值随受拉锚固段长度系数的变化规律

在图 1 中， N 为拉压复合型锚杆与拉力型锚杆抗拔承载力比值； k_1 为锚固段长度系数，即锚固段长度与临界锚固段长度之比； k_2 为受拉锚固段长度系数，即受拉锚固段长度与锚固段长度之比。

拉压复合型锚杆依靠受拉锚固段与承压锚固段协同承载，受拉锚固段分担的荷载显著小于锚杆受到的总拉力，受拉锚固段中的注浆体的拉应力也相应显著降低（图 2）。当防腐等级高时，可以降低受拉锚固段长度系数，使得受拉锚固段注浆体的拉应力处于较低的水平。



(a) 承压锚固段和压力型锚杆的压应力

(b) 受拉锚固段和拉力型锚杆的拉应力

图 2 注浆体最大轴向应力随锚杆张拉荷载的变化规律

5.2 构造

5.2.1 基坑工程和边坡工程，大多设置自由段，故一般采用预应力拉压复合型锚杆，此时应采用止浆塞隔离自由段浆体和锚固段浆体。对于抗浮工程，可以不设置自由段。筋体的居中对于保障筋体和浆体间的黏结强度十分重要，实际工程中宜采用端帽。本条涉及专利“一种拉压组合承载模式的大吨位锚索及制安方法”（专利号：ZL201710259532.0）、“一种端头开花的拉压复合型锚索及制安方法”（专利号：ZL201710259568.9）的使用。

5.2.2 对于预应力拉压复合型锚杆，当采用钢绞线筋体时，由于接长十分繁琐，筋体外露长度必须满足张拉锁定要求，锁定后对超出封锚定长度段进行切割。对于精轧螺纹钢，由于有配套的连接套筒，筋体外露长度无法满足张拉时，可以采用连接套筒接长进行张拉。

5.2.3 抗浮锚杆钻孔顶部与底板形成交界面，在水平方向和垂直方向都会因地下水运动而锈蚀筋体，尤其是地下水反复波动时，会加剧锈蚀。在锚杆钻孔孔口处的垫层上设置止水环，可以同时阻隔地下水沿水平方向与垂直方向的运动，显著提高锚杆的耐久性。一般而言，塑料止水环效果更佳。

5.2.7 在锚杆杆体底部安装端帽后，杆体对中效果很好。采用塑料或橡胶材料制作端帽，相比现场焊接，耐久性更好，更环保与安全。本条涉及专利“自变径导向帽以及采用该导向帽的拉压复合型锚杆”（专利号：ZL202010896654.2）的使用。

5.3 承载力

5.3.1 本条采用单一安全系数法（又称为总安全系数设计法），在岩土工程设计中被大量采用。本条参考国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012、《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019，只区分永久锚杆和临时锚杆，并分别规定抗拔安全系数不应小于 2.0 和 1.5。具体取值可参考相应的行业规范要求。

5.3.2 研究表明，当锚固段总长度不超过临界锚固长度时，最高可以达到 1.5 倍。考虑目前拉压复合型锚杆应用项目的锚固长度很少超过临界锚固长度，黏结强度系数取值 1.0~1.5。考虑到承压锚固段具有一定的泊松效应，承压锚固段注浆体与岩土体界面黏结强度系数可略大于受拉锚固段。

5.3.3 受拉锚固段位于土层时，可不进行受拉锚固段筋体抗拔极限承载力验算。但是，当受拉锚固段位于岩层时，可能会发生筋体拔出的破坏现象。因此，本条规定主要针对岩层时要进行筋体抗拔承载力验算。

5.3.5 注浆体受压时，因承载体直径小于钻孔直径而存在局部受压，且岩土体对注浆体形

成约束作用。局部受压与约束作用都会在一定程度上提高注浆体的抗压强度。因此，本条明确区分了两种因素增强注浆体抗压承载力的影响，并分别采用强度提高系数进行表达。

5.3.7 拉压复合型锚杆受拉锚固段分担的荷载要远小于锚杆在锚头受到的荷载，受拉锚固段注浆体的轴向拉应力也大幅降低，甚至远低于注浆体的轴向抗拉强度标准值。因此，对于抗浮设计等级为甲级的工程，本条规定受拉锚固段长度系数不应大于 0.4，并应在荷载标准组合时，采用受拉锚固段分担的荷载验算注浆体的拉应力。

5.3.8 当拉压复合型抗浮锚杆锚固段位于岩体基本质量为I~III级的岩层，锚杆的主要影响半径较小，可以不考虑群锚整体稳定性验算。考虑到岩土体下部破裂面上的岩体抗拉力标准值的竖向分量难以量化，本条不予考虑。正文（图 5.3.8）中四周竖向界面上的抗剪力主要取决于岩土体黏聚力和内摩擦角。内摩擦角在该界面上产生的抗剪力与复杂的法向应力相关，考虑到计算复杂也缺乏工程数据支撑，暂时不考虑。岩土体黏聚力对抗剪力的贡献主要与剪切面面积相关，计算方法相对成熟，考虑并计取。

5.4 锚杆刚度系数

5.4.1 轴向抗拉刚度系数的折减应遵守偏于结构安全的原则，即计算结果对锚固结构有利时则折减，不利时则不折减，本规程建议折减系数按以下经验取值：

- (1) 永久锚杆位于岩层和土层时，可分别取 0.7~0.9 和 0.5~0.7；
- (2) 临时锚杆位于岩土和土层时，可分别取 0.9~1.0 和 0.7~0.9。

岩体基本质量等级高、土层坚硬或密实取高值，反之取低值。

5.5 防腐与防水

5.5.2 拉压复合型锚杆的最低防腐等级参照了现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019、《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659-2018 的有关规定，结合拉压复合型锚杆技术的特点及锚杆常规防腐措施，本条对最低防腐等级规定为II级。本规程中的锚杆防腐设计只适用于常见工况环境，不涉及极端恶劣自然环境。

5.5.3 锚头的防腐是拉压复合型锚杆用于永久性锚固工程的重要环节。由于承载体分解了荷载，相同锚固段长度及拉力条件下，受拉锚固段受到的拉力相比普通全黏结锚杆或拉力型锚杆要小的多，通过拉压长度比的优化设计，可以进一步调控浆体的拉应力大小。当拉压复合型抗浮锚杆采用波纹管时，考虑到波纹管内外注浆及现场施工条件较差，最好采用在工厂加工的波纹管预制芯体。

5.5.6 抗浮锚杆在垫层处的防水应特别重视。但是，现有界面防水构造施工相对复杂繁琐。在孔口使用止水环（图3、图4）时，可以同时隔离地下水沿水平方向和垂直方向渗流，防水效果良好。由于止水环设置有水平方向的环向板，防水卷材可以直接搭接，既能显著简化了防水施工工艺，又能大幅提高了防水质量。

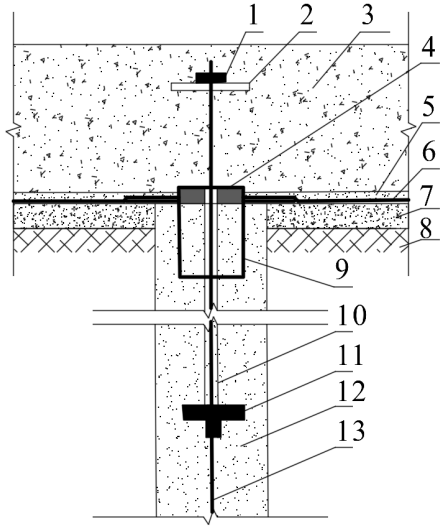


图3 拉压复合型锚杆锚固节点止水环构造简图

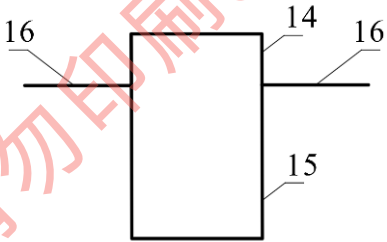


图4 止水环剖面简图

- 1—锚具；2—锚垫板；3—地下结构底板；4—沥青防水油膏或水泥浆液灌满密封；5—保护层；6—1层~2层防水层；7—垫层；8—地基；9—止水环；10—隔离套管；11—承载体；12—注浆体；13—筋体；
- 14—上环；15—下环；16—环向板。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.4 拉压复合型锚杆依靠承压锚固段和受拉锚固段协同承载，对施工质量要求高于传统拉力型锚杆。承载体上方如果堆积较厚的渣土，可能造成承压锚固段注浆体抗压承载力不足，并导致其与受拉锚固段无法协同承载。因此，在拉压复合型锚杆杆体下孔前，应采取必要的保护措施，如安装止水环等。

6.2 成 孔

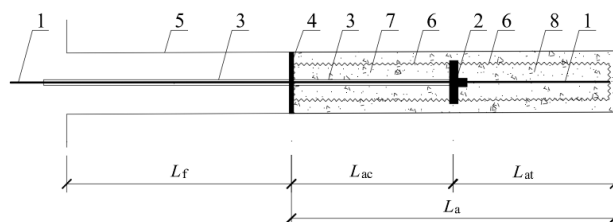
6.2.5 超钻一定深度是为了充分保证锚杆杆体下孔长度满足设计要求，防止大颗粒沉淀，以及孔壁塌孔等导致空孔深度不足，进而导致杆体无法下孔到指定深度。

6.3 杆体制作

6.3.1 拉压复合型锚杆的筋体主要采用钢绞线和精轧螺纹钢筋。为保证隔离套管的搭接质量，应设置足够的搭接长度，且应密封。塑料端帽提前安装后，如果杆体长时间放置，存储不当可能导致端帽变形。本条涉及专利“自变径导向帽以及采用该导向帽的拉压复合型锚杆”（专利号：ZL202010896654.2）的使用。

6.3.2 隔离套管采用熔接法施工时，为方便操作并提高施工效率，可将隔离套管分段穿入筋体，再搭接熔接，也可以在工厂统一熔接完毕。采用塑料管作为隔离套管时，宜采用配套接头，并对接头及端头进行密封处理。

6.3.4 拉压复合型锚杆采用预制芯体（图 5）时，在工厂条件下制作的条件比较好，质量控制更有保障。预制芯体内的填充物应保证在承载体的压力作用下，芯体有足够的抗压承载力。本条涉及专利“预制高强芯体、压力型锚杆及其施工方法”（专利号：ZL201710446515.8）的使用。



1—筋体；2—承载体；3—隔离套管；4—止浆塞；5—孔壁；6—波纹管；
7—压力段预制芯体；8—黏结段预制芯体； L_f —自由段； L_{ac} —承压锚固段； L_{at} —受拉锚固段； L_a —锚固段

图 5 预制芯体拉压复合型锚杆示意图

6.4 注 浆

6.4.1 当地层条件较好，钻孔孔壁较为稳定时，可以考虑在一个台班内先集中钻孔，然后当天集中下杆并连续注浆，做到下杆后即注浆，实现连续下杆，连续注浆的流水施工。

6.5 张 拉

6.5.3 预应力拉压复合型锚杆张拉后应按规定对锁定荷载进行检验，当不满足要求时，应调整张拉工艺，以保证锁定荷载的损失在控制范围内。

非正式出版版本，请勿印刷。

7 试验与质量检验

7.0.2 理论上承压锚固段分担的荷载明显要小于承压锚固段筋体受到的荷载，使得所需的承载体与筋体连接力也明显小于筋体的拉力。但是，为确保安全，本条规定拉压复合型锚杆施工前，除筋体常规项目外，应对承载体与筋体的连接力学性能进行检验。

7.0.5 拉压复合型锚杆承载体是实现承压锚固段与受拉锚固段协同承载的重要构件，承载体与筋体的连接主要采用筋体配套的组件（钢绞线采用配套的挤压型锚具，精轧螺纹钢筋采用配套螺母焊接钢板或一体式承载体），其与筋体的连接力不应小于拉压复合型锚杆极限抗拔承载力标准值。

非正式出版版本，请勿印刷。

8 工程监测

8.0.3~8.0.5 本条只规定了拉压复合型锚杆应用工程需监测锚杆数量的最小数量，设计可根据实际工程适当增加监测锚杆数量，比如在地层复杂区域、结构受力重要位置、周边环境敏感地带等，均可以要求增加监测数量。锚杆的监测频率应根据现场实际变化情况，酌情增加监测频次。

非正式出版版本，请勿印刷。

附录 A 基本试验

A.1 一般规定

A.1.1 拉压复合型锚杆必须按确定的工程锚杆施工工艺完成基本试验，第三方检测合格后，方可正式施工。考虑不同地区的地层条件差异较大，进行基本试验的锚杆应具有代表性，检测结果能代表不同区域的、性质近似一致的岩土层的抗拔承载力，且同条件下的基本试验数量不应少于 3 根。

早强型注浆材料逐渐在使用，一般 24h 可以达到 20 MPa~25MPa。为满足不同工程对检测时间的需求，本条统一以试验时锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%为控制标准，而不采用龄期作为控制标准。

A.1.4 拉压复合型锚杆抗拔承载力检测时，锚固段能否处于独立受力状态，对承载力的检测十分重要。试验锚杆的自由段可不灌注注浆体，使得在锚杆检测过程中，自由段注浆体不会阻碍锚固段浆体的拔出，否则有可能导致检测的锚杆极限抗拔承载力偏高。因此，在试验过程中，应采取措施确保锚杆的锚固段处于独立受力状态。

A.2 试验装置及要求

A.2.7 条件允许时，位移测量点宜设置在孔口附近的筋体上，且应在与加载梁垂直方向对称设置两支位移计。当拉压复合型锚杆采用钢绞线时，实际工程中可能在千斤顶顶筒与锚具之间夹持钢板，位移计测量点布置在该钢板上，导致测试筋体位移大于实际位移，在一定程度上影响抗拔承载力的判别。

A.3 试验方法

A.3.1 钢绞线筋体应力超过极限强度标准值的 85%后，钢绞线的弹性模量可能会大幅降低，导致筋体自由段在拉拔力下的伸长变形迅速增加，对锚固段的位移造成干扰，进而影响荷载位移曲线的判别。精轧螺纹钢筋含碳量比较高，脆性较强，为避免试验过程中钢筋断裂，精轧螺纹钢筋的筋体应力不宜超过屈服强度标准值的 90%。

A.3.2 条文图 A.3.2 中每个循环加载到该循环最大荷载时的持载时间不小于 15min，在卸载过程中的持载时间为 1min。

A.3.3 预加荷载的目的主要是通过较小的荷载，使加载装置之间的间隙闭合，消除装置压紧间隙引起的虚位移。预加载稳定后，可以在保持荷载的前提下清除测量位移至零，然后

继续加载，并重新记录位移。

A.3.4 在持载阶段，随着位移的增加，荷载会出现下降，如果不及时进行补载，随着荷载的进一步降低，位移会表现为加速“稳定”。

国家现行有关标准规定，荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级荷载增减量的 $\pm 10\%$ 。一般而言，卸载的荷载稳定相对较容易；而加载阶段的荷载稳定相对较难。极端情况下持载的变化量为该级荷载增量的 20%，会加速“稳定”，可能导致检测结果失真。当检测荷载下降值超过规定时，应及时进行补载。

A.3.6 目前国内锚杆检测的锚头位移相对稳定标准较多，且各不完全相同，而蠕变试验的要求较为统一，即在最后一级荷载作用下的蠕变率不应大于 2.0mm。因此，本条基于蠕变率对锚头位移相对稳定标准进行了适当修改。由于持载前 5min 的锚头位移处于相对较快的增长阶段和逐渐稳定阶段，波动较大，该时间段的数据给予记录但不进行相对稳定判定。

A.3.7 采用“本次循环荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的位移增量的 2 倍”标准，容易误判锚杆破坏，参考现行国家标准将“2 倍”调整为“5 倍”。

A.3.9 锚杆极限抗拔承载力的确定应考虑相应承载力特征时的位移不应超过设计值，即锚杆极限抗拔承载力的确定应考虑变形的影响。

A.3.13 持载下相对稳定标准判别的最小观测时间为 15 分钟，超过了现行规范蠕变试验第一级荷载的观测时间 10min，为便于前后协调，本规程对蠕变试验第一级荷载的观测时间统一延长至 30min。

附录 B 验收试验

B.0.1 对于永久锚杆，考虑抗拔承载力的安全储备以及持荷水平对长期锚固性能的影响，规定最大试验荷载不应小于锚杆轴向拉力标准值的 2.0 倍。对于临时锚杆，其抗拔承载力安全系数相对要低一些，参考现有锚杆检测技术规程，本条规定验收最大试验荷载不低于轴向拉力标准值的 1.5 倍。对于具体工程，当相应规范有更高的验收荷载要求时，尚应提高验收荷载。

B.0.2 采用多循环加卸载方法进行验收试验时，当循环中的最大荷载小于验收荷载时，在该循环最大荷载持载过程中，持载时间达到 15min 后，可以施加下一级荷载，不用判别持载阶段位移是否相对稳定。但是，在最后循环的最大荷载（验收荷载）下，应按本规范第 A.3.6 条对持载状态下稳定性进行判别。

非正式出版版本，请勿印刷。

附录 C 持有荷载试验

C.0.1、C.0.2 持有荷载试验是采用加载反力装置，对已经锁定的预应力锚杆的锚头进行分级加载，以确定锚杆杆体持有荷载的一种方法。

持有荷载试验时，如果最大试验荷载大于验收荷载，可能会破坏锚杆。另外，由于锁定力设计值小于验收荷载，如果出现试验荷载大于验收荷载，表明锚杆处于严重的超张拉状态。因此，本条规定持有荷载最大试验荷载不应大于验收荷载。

C.0.4 预应力拉压复合型锚杆张拉工艺会影响锁定荷载，持有荷载可以检测张拉锁定工艺的合理性，此时，持有荷载应在张拉锁定后 12h 内进行。

非正式出版版本，请勿印刷。