中国工程建设协会标准

编号： 备案号：

囊式扩体锚杆技术标准

Technical code for under-reamed ground anchors with capsule

（征求意见稿）

2019-\*\*-\*\* 发布 2019-\*\*-\*\*实施

中国工程建设标准化协会 发布

中国工程建设协会标准

囊式扩体锚杆技术标准

Technical code for under-reamed ground anchors with capsule

编号：

备案号：

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：2019年\*\*月\*\*日

前 言

根据中国工程建设标准化协会（2017）建标协字第 [2017] 031号文《关于印发中国工程建设标准化协会2017年第二批标准制、修订项目计划的通知》要求，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结工程经验，参考有关国际先进标准，结合我国岩土锚固行业实际情况，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

囊式扩体锚杆是一种安全可靠、技术先进、经济适用的岩土锚固技术。近10年来，囊式扩体锚固技术已在全国10多个省市自治区推广应用，成功运用于建筑结构抗浮、深基坑支护、基础锚固和边坡防护等工程中，解决了我国岩土锚固工程中遇到的技术难题，填补了我国高承载、耐腐蚀扩体锚固技术的空白，节约了建筑材料资源、降低了工程建设成本、促进了环境保护。

本标准分为11章及6个附录，主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.锚杆构造；5.锚杆设计；6.基坑及边坡锚固；7.基础结构锚固；8.抗浮结构锚固；9.锚杆施工；10.锚杆试验；11.质量检验与验收。

根据国家计委计标 [1986] 1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》，现批准协会标准《囊式扩体锚杆技术标准》，编号为CECS XXX：2019，推荐给工程建设的设计、施工和使用单位采用。

本标准由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会CECS/TC 27归口管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中如有意见或建议，请寄送中冶建筑研究总院有限公司（地址：北京市海淀区西土城路33号，邮编：100088），以供今后修订时参考。

本标准主编单位： 中冶建筑研究总院有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

本标准参编单位： 中国铁道科学研究院

中国水利水电科学研究院

中国京冶工程技术有限公司

中冶京诚工程技术有限公司

中国施工企业管理协会

哈尔滨工业大学

同济大学

中国铁路设计集团有限公司

北京建工集团有限责任公司

国核电力规划设计研究院有限公司

宁夏城建设计研究院有限公司

深圳市工勘岩土集团有限公司

江苏省建筑科学研究院有限公司

浙江坤德创新岩土工程有限公司

山东威建岩土科技有限公司

冀北中原岩土工程有限公司

宁夏夯中岩土工程有限公司

无锡市安曼工程机械有限公司

本标准主要起草人：刘 钟、杨生贵、徐祯祥、郭 钢、张 义、高文生、刘 波、李绪华、

杨 松、付文光、范景伦、汤爱平、赖允瑾、王玉杰、李 虹、李士锋、

杨道鹏、刘振华、孙 涛、张建新、王 稳、金永彬、吴 畏、张楚福、

吕美东、邢占东、岳 霞、张延记、顾建新、万广达、吴新明、屠德钢、

高 彬

本标准主要审查人：

目录

[1 总 则 1](#_Toc533345964)

[2 术语和符号 2](#_Toc533345965)

[2.1 术 语 2](#_Toc533345966)

[2.2 符 号 4](#_Toc533345967)

[3 基本规定 8](#_Toc533345968)

[3.1 一般规定 8](#_Toc533345969)

[3.2 基本资料 8](#_Toc533345970)

[3.3 岩土工程勘察要点 9](#_Toc533345971)

[4 锚杆构造 11](#_Toc533345972)

[4.1 结构构造 11](#_Toc533345973)

[4.2 材 料 13](#_Toc533345974)

[4.3 防 腐 16](#_Toc533345975)

[4.4 锚固节点防水构造 19](#_Toc533345976)

[5 锚杆设计 20](#_Toc533345977)

[5.1 一般规定 20](#_Toc533345978)

[5.2 锚杆抗拔承载力计算 23](#_Toc533345979)

[5.3 锚杆承载力验算 27](#_Toc533345980)

[5.4 锚杆初始预应力 28](#_Toc533345981)

[6 基坑及边坡锚固 29](#_Toc533345982)

[6.1 一般规定 29](#_Toc533345983)

[6.2 边坡锚固 29](#_Toc533345984)

[6.3 基坑支护结构锚固 31](#_Toc533345985)

[7 基础结构锚固 34](#_Toc533345986)

[7.1 一般规定 34](#_Toc533345987)

[7.2 高耸结构物基础锚固 34](#_Toc533345988)

[7.3 拱脚基础锚固 36](#_Toc533345989)

[7.4 重力坝、重力式挡土墙锚固 37](#_Toc533345990)

[8 抗浮结构锚固 39](#_Toc533345991)

[8.1 一般规定 39](#_Toc533345992)

[8.2 抗浮计算 40](#_Toc533345993)

[8.3 锚杆张拉与锁定 41](#_Toc533345994)

[8.4 锚杆与底板连接节点设计 42](#_Toc533345995)

[9 锚杆施工 43](#_Toc533345996)

[9.1 一般规定 43](#_Toc533345997)

[9.2 钻孔与扩孔 43](#_Toc533345998)

[9.3 杆体制作与安放 46](#_Toc533345999)

[9.4 制浆与注浆 47](#_Toc533346000)

[9.5 锚固节点防水 48](#_Toc533346001)

[9.6 张拉与锁定 49](#_Toc533346002)

[9.7 施工质量控制与不合格锚杆处理 49](#_Toc533346003)

[9.8 施工安全与环境保护 50](#_Toc533346004)

[10 锚杆试验 52](#_Toc533346005)

[10.1 一般规定 52](#_Toc533346006)

[10.2 基本试验 52](#_Toc533346007)

[10.3 验收试验 56](#_Toc533346008)

[10.4 试验与检测报告 57](#_Toc533346009)

[11 质量检验与验收 58](#_Toc533346010)

[11.1 一般规定 58](#_Toc533346011)

[11.2 质量检验与验收标准 58](#_Toc533346012)

[11.3 工程验收 59](#_Toc533346013)

[附录A 锚杆杆体的几何参数与力学性能 60](#_Toc533346014)

[附录B 瑞典条分法分析锚固边坡的整体稳定性 61](#_Toc533346015)

[附录C 极限平衡法分析锚固边坡的整体稳定性 62](#_Toc533346016)

[附录D 重力坝、重力式挡土墙抗滑、抗倾覆稳定性计算 63](#_Toc533346017)

[附录E 囊式扩体锚杆的施工工艺流程 65](#_Toc533346018)

[附录F 锚杆试验 67](#_Toc533346019)

[本标准用词说明 72](#_Toc533346023)

[引用标准名录 73](#_Toc533346024)

[条文说明 74](#_Toc533346025)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc526884203)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc526884204)

[2.1 Terms 2](#_Toc526884205)

[2.2 Symbols 4](#_Toc526884206)

[3 General Requirements 8](#_Toc526884207)

[3.1 General 8](#_Toc526884208)

[3.2 Basic Data 8](#_Toc526884209)

[3.3 Geotechnical Investigation 9](#_Toc526884210)

[4 Structure of Anchor 11](#_Toc526884211)

[4.1 Structure 11](#_Toc526884212)

[4.2 Materials 13](#_Toc526884213)

[4.3 Anticorrosion 16](#_Toc526884214)

4.4 Joint Waterproofing between Slab and Anchor 19

[5 Anchor design 20](#_Toc526884215)

[5.1 General 20](#_Toc526884216)

[5.2 Calculation on Load Holding Capacity of Anchor 23](#_Toc526884216)

5.3 Check on Bearing Capacity of Anchor 27

5.4 Initial Prestress of Anchor 28

[6 Design of Excavation and Slope Stability 29](#_Toc526884215)

[6.1 General 29](#_Toc526884219)

[6.2 Design of Anchored Slope 29](#_Toc526884220)

[6.3 Design of Anchored Wall 31](#_Toc526884221)

[7 Design of Anchored Foundation 34](#_Toc526884222)

[7.1 General 34](#_Toc526884223)

[7.2 Anchors for Foundation of Highrise Structure 34](#_Toc526884223)

[7.3 Anchors for Arch Foot Foundation 36](#_Toc526884224)

[7.4 Anchors for Gravity Dam and Retaining Wall 37](#_Toc526884224)

[8 Design of Anti-floating Structure 39](#_Toc526884226)

[8.1 General 39](#_Toc526884227)

[8.2 Calculation for Anti-floating Structure 40](#_Toc526884228)

[8.3 Prestress and Lockoff 41](#_Toc526884229)

[8.4 Design of Joint Point between Stab and Anchor Head 42](#_Toc526884230)

[9 Anchor Construction 43](#_Toc526884231)

[9.1 General 43](#_Toc526884232)

[9.2 Drilling and Reaming 43](#_Toc526884233)

[9.3 Fabrication and Installation 46](#_Toc526884234)

[9.4 Mixing and Injection 47](#_Toc526884235)

[9.5 Joint Waterproofing of Anchor Head 48](#_Toc526884236)

[9.6 Prestress and Lockoff 49](#_Toc526884237)

[9.7 Quality Inspection and Treatment for Unqualified Anchors 49](#_Toc526884238)

[9.8 Safety of Construction and Environmental Protection 50](#_Toc526884239)

[10 Test of Anchor 52](#_Toc526884240)

[10.1 General 52](#_Toc526884241)

[10.2 Investigation Test 52](#_Toc526884242)

[10.3 Acceptance Test 56](#_Toc526884244)

[10.4 Report of Test and Inspection 57](#_Toc526884249)

[11 Quality Inspection and Acceptance 58](#_Toc526884250)

[11.1 General 58](#_Toc526884251)

[11.2 Inspection of Quality and Acceptance Requirements 58](#_Toc526884252)

[11.3 Project Acceptance 59](#_Toc526884253)

[Appendix A Mechanical Properties of Tendons 60](#_Toc526884254)

[Appendix B Stability Checking of Anchored Structure with Sweden Slice Method 61](#_Toc526884254)

[Appendix C Stability Checking of Anchored Structure with Limit Equilibrium Method 62](#_Toc526884254)

[Appendix D Checking Calculation on Overall Stability of Anchored Structures 63](#_Toc526884258)

[Appendix E Construction Process of Under-reamed Ground Anchors 65](#_Toc526884259)

[Appendix F Anchor Tests 67](#_Toc526884260)

[Explanation of Wording in This Code 72](#_Toc526884265)

[List of Quoted Standards 73](#_Toc526884266)

[Addition: Explanation of Provisions 74](#_Toc526884267)

# 1 总 则

**1.0.1**  为了保证囊式扩体锚杆工程的设计与施工规范化，符合安全适用、技术先进、经济合理、确保质量与保护环境的要求，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于基坑与边坡锚固、基础结构锚固、抗浮结构锚固等工程的囊式扩体锚杆的设计、施工、试验、检验与验收。

**1.0.3**  囊式扩体锚杆工程的设计与施工应做好岩土工程勘察，正确有效地利用岩土体的自身强度与自稳能力，重视地方经验与工程条件，因地制宜，优化设计，节约资源，保护环境，加强施工质量控制与管理。

**1.0.4**  囊式扩体锚杆工程的设计、施工、试验、检验与验收，除应执行本标准外，尚应符合现行国家与行业有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术 语

**2.1.1**  岩土锚杆 ground anchor

安设于岩土地层中的受拉杆件及其体系，一般可分为预应力锚杆与非预应力锚杆。

**2.1.2**  囊式扩体锚杆 under-reamed ground anchor with capsule

采用机械铰刀或高压喷射等方法在锚孔底部对岩土体进行切割扩孔与注浆，并向锚孔内安放带有膨胀挤压筒的锚杆杆体并对囊袋进行浆液定量有压灌注，形成底部具有大直径扩体锚固段的锚杆。

**2.1.3**  预应力锚杆 prestressed anchor

在岩土地层中设有锚筋自由段并施加预应力的锚杆。

**2.1.4**  非预应力锚杆 non-prestressed anchor

在岩土地层中不设锚筋自由段且不施加预应力的锚杆。

**2.1.5** 膨胀挤压筒 device of expandable capsule

可控折叠膨胀的全密封囊式筒形装置。

**2.1.6**  杆体 anchor tendon with capsule

由锚筋、套管、防腐保护体、膨胀挤压筒、对中隔离支架等组装而成的杆状部件。

**2.1.7** 锚筋自由段长度 free tendon length

锚杆锚筋的无粘结段长度。

**2.1.8**  细孔锚固段 fixed anchor length

借助注浆材料形成能够将拉力传递到周围岩土体的、保持原状细孔形态且未被扩大的锚固段。

**2.1.9** 扩体锚固段 fixed under-reamed anchor length

通过机械铰刀或高压喷射方法在锚孔底部对岩土体切割后形成较大直径的锚孔段，并由膨胀挤压筒及水泥浆体或水泥砂浆体填充的、能够将拉力传递到周围岩土体的大直径锚固段。

**2.1.10** 外锚头 anchor head

锚杆杆体出露于锚孔口以外连接外部承载构件的外端头及其连接件，其能够将拉力由杆体传递到地层面或支承结构面。

**2.1.11** 永久性锚杆 permanent anchor

长久地为被锚固结构提供锚固功能的锚杆，其使用年限不低于被锚固结构的设计使用年限。

**2.1.12** 临时性锚杆 temporary anchor

用于临时性锚固结构的锚杆，其设计使用年限一般不超过2年。

**2.1.13** 可回收囊式扩体锚杆 removable under-reamed anchor with capsule

当使用功能完成后能够拆除筋体的囊式扩体锚杆。

**2.1.14** 压力型囊式扩体锚杆 compression type under-reamed anchor with capsule

将拉力直接传递到杆体扩体锚固段末端，且使扩体锚固段注浆体处于受压状态的囊式扩体锚杆。

**2.1.15** 锚孔注浆 borehole grouting

为形成锚固段而进行的锚孔内浆液有压灌注。

**2.1.16** 囊袋注浆 capsule grouting

为使膨胀挤压筒膨胀而向囊袋内部进行的浆液定量有压灌注。

**2.1.17** 锚孔补浆 post grouting

在囊袋定量有压注浆完成后，为置换囊袋以上锚固段内的水泥土浆而进行的水泥浆有压灌注。

**2.1.18** 二次高压注浆 secondary grouting

采取特殊注浆装置，在锚固段注浆体达到一定强度后，能够再次对锚固段注浆体周围岩土地层进行的有序高压劈裂注浆。

**2.1.19** 锚杆极限抗拔承载力 ultimate load holding capacity of anchor

锚杆在轴向拉力作用下，锚固体周围岩土体达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大轴向拉力值。

**2.1.20** 锚杆抗拔承载力特征值 working load of anchor

锚杆极限抗拔承载力标准值除以抗拔安全系数后的抗拔力值。

**2.1.21** 锚杆轴向拉力标准值 proof load of anchor

荷载标准组合时作用于锚杆的轴向拉力值。

**2.1.22** 锚杆轴向拉力设计值 design load of anchor

锚杆轴向拉力标准值乘以荷载分项系数与重要性系数后的锚杆轴向拉力值。

**2.1.23** 锁定荷载 lockoff load

预应力锚杆张拉锁定作业完成时，立即作用于外锚头的荷载，即在锚筋上产生的初始持有拉力。

## 2.2 符 号

**2.2.1** 材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *f*py | —— | 预应力螺纹钢筋或钢绞线的抗拉强度设计值； |
| *f*ptk | —— | 预应力筋极限强度标准值； |
| *f*pyk | —— | 预应力螺纹钢筋屈服强度标准值； |
| *f*cu,k | —— | 囊内注浆体的立方体抗压强度标准值； |
| *f*t | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值； |
| *k*T | —— | 锚杆的轴向刚度系数； |
| *E*s | —— | 锚筋的弹性模量。 |

**2.2.2** 岩土体物理力学参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *γ* | —— | 岩土体的重度； |
| *γ’* | —— | 岩土体的有效重度； |
| *K*0 | —— | 岩土体的静止土压力系数； |
| *K*P | —— | 岩土体的被动土压力系数； |
| *K*a | —— | 岩土体的主动土压力系数； |
| *c* | —— | 岩土体的粘聚力； |
| *φ* | —— | 岩土体的内摩擦角； |
| *ξ* | —— | 扩体锚固段前端岩土体的反映挤密效应的侧压力系数； |
| *N*i | —— | 计算第*i*岩土层的未经修正的标准贯入试验锤击数； |
| *N* | —— | 岩土层未经修正的标准贯入试验锤击数； |
| *c*u | —— | 扩体锚固段周边土层的不排水抗剪强度平均值； |
| *c*ub | —— | 扩体锚固段前端面附近土体的不排水抗剪强度。 |

**2.2.3**  作用与作用效应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *N*d | —— | 轴向拉力设计值； |
| *N*k | —— | 按荷载标准组合计算的轴向拉力标准值； |
| *N*d*’* | —— | 局部受压面上作用的局部压力设计值； |
| *F*k | —— | 挡土结构水平支点力标准值； |
| *N*ik | —— | 荷载效应标准组合下，锚杆基础中第*i*根锚杆的轴向拉力标准值； |
| *T*k | —— | 荷载效应标准组合下，作用在基础顶面的竖向力； |
| *Q* | —— | 荷载效应标准组合下，作用在基础上的力； |
| *G*jk | —— | 抗浮计算单元内参与抗浮的结构恒载； |
| *G*tk | —— | 抗浮计算单元内参与抗浮的基础底板以上的岩土体有效重量； |
| *G*k | —— | 基础及上覆土自重标准值； |
| *M*xk*、M*yk | —— | 荷载效应标准组合下，作用在基础底面形心的力矩； |
| *P*wk | —— | 作用于抗浮计算单元基础板底面的地下水浮力标准值； |
| *P*w | —— | 结构底板抗冲切计算中，作用于冲切破坏锥体底面上的地下水浮力标准值； |
| *W*i | —— | 抗浮区域内锚固范围内的岩土体有效重量。 |

**2.2.4**  抗力

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *R*a | —— | 锚杆抗拔承载力特征值； |
| *R*ai | —— | 第*i*根锚杆的抗拔承载力特征值； |
| *R*uk | —— | 锚杆极限抗拔承载力标准值； |
| *R*sl | —— | 细孔锚固段的极限侧摩阻力； |
| *R*sL | —— | 扩体锚固段的极限侧摩阻力； |
| *R*sd | —— | 扩体锚固段前端面的极限端承力。 |

**2.2.5** 几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *d* | —— | 细孔段直径； |
| *D* | —— | 扩体锚固段直径； |
| *L*d | —— | 细孔锚固段长度； |
| *L*D | —— | 扩体锚固段长度； |
| *A*s | —— | 钢筋或钢绞线的横截面积； |
| *AP* | —— | 注浆体受压净面积； |
| *α* | —— | 锚杆倾角； |
| *β* | —— | 边坡滑动面倾角； |
| *L*f | —— | 锚杆自由段长度； |
| *h*1 | —— | 锚杆孔口至基坑底的距离； |
| *h*2 | —— | 净土压力零点（主动土压力等于被动土压力）至基坑底的距离； |
| *s* | —— | 锚杆间距； |
| *L*ft | —— | 杆体的计算自由段长度； |
| *x*i*、y*i | —— | 锚杆*i*至基础底面形心的y轴、x轴的距离； |
| *B*0 | —— | 锚杆力作用的力臂； |
| *A*0 | —— | 抗浮计算单元的面积； |
| *β*h | —— | 结构底板抗冲切计算中的截面高度影响系数； |
| *u*m | —— | 结构底板抗冲切计算中的计算截面周长； |
| *h*0 | —— | 结构底板抗冲切计算中的截面有效高度； |
| *h* | —— | 扩体锚固段上覆岩土体的厚度。 |

**2.2.6**  计算系数及其他

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *K* | —— | 锚杆抗拔安全系数； |
| *γ*0 | —— | 锚固或支护结构的重要性系数； |
| *γ*F | —— | 荷载效应标准组合的综合分项系数； |
| *f*mg1 | —— | 细孔锚固段注浆体与岩土体之间的极限粘结强度标准值； |
| *f*mg2 | —— | 扩体锚固段注浆体与岩土体之间的极限粘结强度标准值； |
| *p*D | —— | 静力分析法中的扩体锚固段前端面岩土体作用于扩体锚固段的极限端阻强度标准值； |
| *q*p | —— | 经验参数计算法中的扩体锚固段前端面岩土体对扩体锚固段的极限端阻力标准值； |
| *α*d*、α*D | —— | 基于标贯击数的极限侧粘结强度标准值的经验换算系数； |
| *α*e | —— | 基于标贯击数的极限端阻力标准值的经验换算系数； |
| *c*a | —— | 细孔锚固段周边岩土层与细孔锚固段之间的极限粘结强度； |
| *η* | —— | 有侧限围压的扩体锚固段注浆体抗压强度增大系数； |
| σcon | —— | 锚杆预应力筋的张拉控制应力； |
| *n* | —— | 锚杆根数； |
| *K*Q | —— | 抗倾覆安全系数； |
| *K*d | —— | 架空输电线塔基础锚杆抗拔承载力安全系数； |
| *K*τ | —— | 基础底面的抗剪切安全系数； |
| *K*F | —— | 抗浮稳定安全系数； |
| *f* | —— | 基础底面的摩擦系数； |
| *a* | —— | 蠕变率。 |

# 3 基本规定

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 岩土锚固工程设计前，应根据岩土工程勘察报告、工程条件与要求，对采用囊式扩体锚杆的工程安全性、耐久性、经济性及施工可行性作出评估和判断。

**3.1.2**  锚杆工程的设计使用年限不应低于主体结构或锚固结构的设计使用年限，锚固结构的构造节点、防腐及防水设计除应符合本标准外，尚应符合现行国家与行业标准的有关规定。

**3.1.3**  锚杆工程的设计与施工方案应依据荷载分布与大小、锚固结构与主体结构形式、结构受力与变形要求、地质条件、场地条件、环境条件、地区经验等因素综合确定。

**3.1.4**  永久性锚杆的扩体锚固段不宜设置在下列土层中：

**1** 有机质土、泥炭质土或泥炭土；

**2** 淤泥或液限WL>50%的淤泥质土；

**3** 相对密实度 Dr≤0.2或标准贯入试验锤击数N≤5的松散砂土或软弱填土。

**3.1.5**  永久性锚杆的扩体锚固段设置在有机质土层、液限WL>50%的黏土层、塑性指数Ip>20的黏土层、相对密实度Dr≤0.2的松散砂土层等可能产生蠕变的土层时，应进行锚杆基本试验及蠕变试验；对应用于其他特殊性地层时尚应进行专项试验与技术研究。

**3.1.6**  锚杆工程的设计应包括锚杆的结构选型、结构构造、承载力计算以及锚固结构的整体稳定性验算，并应在设计文件中对膨胀挤压筒的质量检验、施工工艺、施工参数、锚杆试验与质量验收提出明确要求。

## 3.2 基本资料

**3.2.1**  囊式扩体锚杆工程的设计与施工应根据工程的不同需要分别搜集场地环境条件、地质条件、施工条件、支护结构设计方案、基础结构设计方案、挡土结构施工图、地下结构施工图及基础施工图等资料。

**3.2.2**  基本资料根据工程的不同需要应包括下列内容：

**1** 岩土工程勘察报告应提供各岩土层的岩性分类、岩土指标、地下水类型与分布、抗浮设防水位、地下水与岩土层的腐蚀性、抗震设防烈度与标准，以及锚固地层对施工方法的适应性等岩土工程条件；

**2** 环境条件应包括场地地形地貌、建设红线范围、地下管线和地下构筑物的分布与埋深，邻近建构筑物的基础形式与埋深，以及施工用水、电、材料的供给条件；

**3** 建构筑物的总平面布置图，建构筑物的荷载类型、安全等级与使用条件；

**4** 支护结构与基础结构的型式、尺寸、标高，作用于被锚固结构的轴向力、力矩及荷载作用效应组合类型等；

**5** 地下结构的柱网布置、锚杆布置与基础底板的计算关系、基础底板的配筋与厚度、防水板类型与板顶面的建筑面层要求；

**6** 施工现场的施工装备与机具、进出场条件、锚杆施工与结构施工的配合顺序等。

## 3.3 岩土工程勘察要点

**3.3.1** 拟采用囊式扩体锚杆工程的场地应进行岩土工程勘察和现场调查，勘察与调查工作应综合考虑锚固工程要求、建构筑物结构类型、岩土工程条件，以及锚固工程的安全性、耐久性、经济性以及施工条件等影响因素。

**3.3.2**  工程设计与施工资料调查与搜集应包括下列内容：

**1** 工程的环境条件、气候条件、地表水系状态、周围土地利用与规划情况，以及与工程相关的法律法规；

**2** 邻近场地的交通设施、地下管线、地下建构筑物分布和埋深，相邻建构筑物现状、基础型式与埋深，水、电、气、通信线路等工程场地资料；

**3** 场地的地形地貌、山体滑坡及挖填方记录，对边坡锚固工程应调查分析地质变迁与人类活动对边坡稳定性的影响；

**4** 拟建建构筑物的平面布置图、基础或地下室的平面图与剖面图、山体护坡方案、基坑支护方案、结构抗浮方案、结构物锚固方案等设计资料；

**5** 施工机械的设备技术参数、动力条件、施工条件与方案等施工资料；

**6** 施工场地与相邻建筑地界的距离，建设红线位置，采用可回收囊式扩体锚杆的可行性；

**7** 当地已有锚杆工程项目的设计方案、施工方法及工程经验。

**3.3.3**  岩土工程勘察应查明工程场地的工程与水文地质条件，主要包括下列内容：

**1** 依据地貌单元、地层时代与地层岩性组合三大要素进行工程地质勘察，确定岩土地层划分与分布、岩土体特性、岩土体化学稳定性及腐蚀性；

**2** 场地地质构造应包括地层断裂构造与破碎带的位置、规模与力学属性，岩体结构类型、风化等级与程度，软弱夹层的变形特性与抗剪强度；

**3** 岩土层的岩土重度、抗剪强度指标，标准贯入试验与静力触探试验等原位试验数据，锚固地层的岩土体结构与整体稳定性，锚固地层对施工方法的适应性；

**4** 地下水的类型与分布，主要含水层的分布、厚度、埋深，地下水位、补给排泄条件、渗透系数、水质及腐蚀性；

**5** 抗浮锚固工程应提供抗浮设防水位，抗浮设防水位应结合区域自然条件、地表水体、地质构造、历史记录、现场实测水位、使用期内地下水位动态预测以及建构筑物埋置深度等因素综合确定；

**6** 边坡防护工程应给出边坡可能的破坏形式与稳定性评价，对于地质环境条件复杂、稳定性较差的大型边坡宜在岩土工程勘察阶段开始进行山体变形以及地下水位动态监测；

**7** 当锚杆用于线状、分布式点状或分区工程结构锚固时，应分点、分线或分区进行岩土工程勘察；

**8** 应提供锚固工程及其施工可行性建议。

# 4 锚杆构造

## 4.1 结构构造

**4.1.1** 囊式扩体锚杆的结构构造应包括外锚头、台座、杆体、对中隔离支架、细孔锚固段、扩体锚固段、膨胀挤压筒、承载盘和注浆体。锚杆分为压力型囊式扩体锚杆与拉压型囊式扩体锚杆，按照受力锚筋的不同类型还可以分为预应力螺纹钢筋囊式扩体锚杆与钢绞线囊式扩体锚杆（图4.1.1）。

(a) 预应力螺纹钢筋囊式扩体锚杆 (b) 钢绞线囊式扩体锚杆



图4.1.1 囊式扩体锚杆的结构构造示意图

1—膨胀挤压筒；2—钢筋锚具；3—囊内注浆体；4—锚孔注浆体；5—预应力螺纹钢筋；6—承压板；

7—外锚具外罩；8—无粘结钢绞线；9—钢绞线锚具；10—过渡管；11—锚座

**4.1.2** 膨胀挤压筒装置（图4.1.2）应由可折叠膨胀囊袋、上套筒组件与下套筒组件、内注浆管、隔离支撑管、承载盘、单向注浆阀、抽气检测阀、控压排气阀和导向帽等必备组件构成；作为高承载囊式扩体锚杆核心装置的膨胀挤压筒尚应符合本标准第4.1.3条的结构功能的规定。



(a) 锚筋为预应力螺纹钢筋



(b) 锚筋为预应力钢绞线

图4.1.2 膨胀挤压筒的结构构造示意详图

1—外注浆管；2—活接头；3—上套筒组件；4—内注浆管；5—单向注浆阀；6—抽气检测阀；

7—可折叠膨胀囊袋；8—钢绞线；9—控压排气阀；10—上盖板；11—隔离支撑管；12—下套筒组件；

13—密封卡箍或抱压箍；14—承载盘；15—挤压锚；16—导向帽；17—预应力螺纹钢筋；18—锁定螺母

**4.1.3**  膨胀挤压筒的各组件应具备下列功能：

**1** 可折叠膨胀囊袋应具有足够的抗拉、抗压、抗刺破、防渗浆等材料功能性要求；

**2** 上下套筒组件应能够为膨胀挤压筒提供固定密封的功能，同时下套筒组件应能够与囊内注浆体共同承担作用于承载盘上的局部压力；

**3** 内注浆管与单向注浆阀应具有向囊袋内进行压力注浆，以及防止水泥浆液从囊袋内回流的止回保压功能；

**4** 抽气检测阀应具有抽气检测并确定膨胀挤压筒密封性能的功能；

**5** 控压排气阀应具有在设定压力下排出囊内气体、保证囊内注浆体充盈度达到设计要求的功能；

**6** 隔离支撑管应具有为膨胀挤压筒提供固定密封的功能，还应具有实现锚筋在施工现场与膨胀挤压筒快速连接装配的功能；

**7** 可回收囊式扩体锚杆应增设机械分离型或U型锚等拆芯机构以及自卸载锚具，拆芯机构与自卸载锚具应具有能够安全便捷地拆除锚筋的功能。

## 4.2 材 料

**4.2.1** 囊式扩体锚杆的各部件与使用材料应满足强度、防腐和耐久性的设计要求，各部件还应满足刚度的设计要求。

**4.2.2** 锚杆材料、各部件（含膨胀挤压筒）的质量检验、质量标准与验收标准应执行本标准的规定，且应符合现行国家与行业标准的有关规定。

**4.2.3**  杆体采用钢筋时应符合下列规定：

**1** 宜采用预应力螺纹钢筋，其性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065与《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826的有关规定；

**2** 预应力螺纹钢筋的连接器应具有不小于钢筋的极限受拉承载力，且连接器的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。

**4.2.4** 杆体采用钢绞线时应符合下列规定：

**1** 钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线应符合现行国家与行业标准《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与《无粘结预应力钢绞线》JGJ 161的有关规定；

**2** 用于永久性与可回收锚杆的钢绞线应采用无粘结钢绞线或有保护管的钢绞线；

**3** 除非用于修复时，钢绞线不得连接。

**4.2.5** 注浆用水泥应符合下列规定：

注浆用水泥应根据地下水与地基土对建筑材料的腐蚀性与腐蚀等级，按表4.2.5选用水泥品种，选用水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175和《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748的有关规定。注浆用水泥的强度等级不应低于42.5。

表4.2.5 根据不同腐蚀介质和腐蚀等级可选用的水泥品种

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 腐蚀等级 | 腐蚀介质 | 硅酸盐水泥品种 |
| 微腐蚀 | — | P·O、P·Ⅰ、P·Ⅱ、P·S、P·F、P·C |
| 弱腐蚀性/中等腐蚀 | 硫酸盐 | P·MSR |
| 强腐蚀性 | 硫酸盐 | P·HSR |

注：**1** 地下水或地基土腐蚀等级按《岩土工程勘察规范》GB 50021划分；

**2** 现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175规定的水泥品种代号：

P·O ——普通硅酸盐水泥

P·Ⅰ、P·Ⅱ——硅酸盐水泥

P·S ——矿渣硅酸盐水泥

P·F ——粉煤灰硅酸盐水泥

P·C ——复合硅酸盐水泥

**3** 现行国家标准《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748规定的水泥品种代号：

P·MSR ——中抗硫酸盐硅酸盐水泥

P·HSR ——高抗硫酸盐硅酸盐水泥

**4** 氯盐环境下，不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥，使用普通硅酸盐水泥时宜掺入钢筋阻锈剂或矿物掺合料。

**4.2.6**  制备水泥浆液使用的拌合水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的有关规定。

**4.2.7**  注浆材料采用的细骨料应符合下列规定：

**1** 水泥砂浆可用于锚孔注浆，细骨料应选用粒径小于2.0mm的中粗砂；

**2** 砂的含泥量按重量计不得大于总重量的3%，砂中云母、有机质、硫化物及硫酸盐等有害物质的含量，按重量计不得大于总重量的1%。

**4.2.8**  注浆材料中使用的混凝土外加剂与钢筋阻锈剂应符合下列规定：

**1** 通过配比试验，水泥浆液中可使用外加剂，外加剂不得影响水泥结石体与岩土体的粘结，且不得对杆体产生腐蚀；

**2** 严禁使用含有氯盐配制的外加剂，不宜采用无机盐类（含硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐）的早强剂，也不宜采用缓凝类外加剂；

**3** 对于锚杆过渡管内与孔口内的充填注浆可使用膨胀剂；

**4** 外加剂与钢筋阻锈剂的性能、使用要求及方法应符合现行国家与行业标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《混凝土外加剂》GB 8076与《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192的有关规定。

**4.2.9**  管材应符合下列规定：

**1** 管材宜采用高密度聚乙烯、聚氯乙烯或聚丙烯材料，其中注浆管与过渡管可采用金属或塑料材料，管材应具有防腐与化学稳定性，且对锚筋无腐蚀影响；

**2** 管材应具有足够的强度、防水性与柔韧性，在组装、运输和安装过程中不得发生损坏，已出现损伤的管材不得使用；

**3** 波纹管的性能指标及检验方法宜按现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529的有关规定执行；

**4** 套管、护套与过渡管性能指标与检验方法宜按现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JGJ 161的有关规定执行；

**5** 注浆管内径应不小于20mm，能够使水泥浆液顺利压灌至锚孔底部，锚孔注浆用注浆管应能承受不小于1MPa的压力，囊袋注浆用注浆管应能够承受不小于3MPa的压力；

**6** 二次高压注浆管应能够承受不小于1.2倍的最大注浆压力。

**4.2.10** 杆体的定位架应符合下列规定：

**1** 定位架包括对中支架、对中隔离架等，应由金属、塑料或其他对杆体与注浆体无害的材料制做；

**2** 定位架不得影响注浆液在锚孔内的自由流动；

**3** 定位架的尺寸应满足锚筋保护层厚度的要求。

**4.2.11** 锚具应符合下列规定：

**1** 锚杆采用的挤压锚具、夹片锚具与螺母锚具的性能均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；

**2** 预应力锚具的锚固力应大于预应力杆体极限抗拉力的95%，且实测达到极限抗拉力时的锚筋总应变值不应小于2%；

**3** 依据锚杆使用要求，宜采用能够调节锚杆预应力的外锚头；

**4** 对用于基坑支护工程的锚杆，宜采用能够调节锚杆轴向力方向的外锚具；

**5** 对用于基坑支护工程的可回收锚杆，宜采用自卸载式外锚具；

**6** 永久性锚杆的外锚具外罩应采用金属或塑料材料制做，且能够完全罩住并封闭外锚具与锚筋的尾端，承压板的接缝应采用水密性接缝。

**4.2.12** 承压板、过渡管与承载台座的材料强度应满足锚杆拉力设计值的要求，承压板与过渡管宜采用钢材制作，且过渡钢管壁厚不宜小于5mm。

**4.2.13** 可折叠膨胀囊袋材料应符合下列规定：

**1** 囊袋的材料性能指标应通过条带拉伸试验与接缝拉伸试验确定，且应符合现行行业标准《土工合成材料测试规程》SL 235的有关规定；

**2** 囊袋材料的径向与纬向的断裂强力≥2400N/5cm；

**3** 囊袋接缝的断裂强力≥1500N/5cm；

**4** 囊袋材料的径向与纬向的断裂伸长率≥20%。

**4.2.14** 膨胀挤压筒底部的承载盘应符合下列规定：

**1** 承载盘应采用钢材、纤维增强复合材料或高分子增强塑料制做；

**2** 承载盘的强度与刚度及连接构造应能满足压力型锚杆的极限拉拔力要求；

**3** 永久性锚杆的钢制承载盘厚度不宜小于20mm，其外表面应喷涂防腐材料。

**4.2.15** 可回收锚杆的内锚头可采用U型或机械分离型等拆芯机构，拆芯机构的强度、刚度及承载能力应满足对锚杆极限抗拔承载力的要求。

## 4.3 防 腐

**4.3.1**  囊式扩体锚杆的防腐保护等级与构造措施应根据锚杆设计的使用要求、服务年限及地层与地下水的腐蚀等级确定。

**4.3.2**  岩土层与地下水对锚杆材料的腐蚀性评价应根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定分为微、弱、中、强四个等级。

**4.3.3** 强或中等腐蚀环境中的永久性锚杆应采用I级防腐保护构造设计；弱或微或非腐蚀环境中的永久性锚杆与腐蚀环境中的临时性锚杆可采用II级防腐保护构造设计。

**4.3.4** 不同防腐等级锚杆的最低设计要求应符合下列规定：

**1** 防腐等级为II级的锚杆要求采用1层物理屏障防护设计；

**2** 防腐等级为I级的锚杆要求采用2层物理屏障防护设计。

**4.3.5**  不同防腐等级锚杆的防腐构造设计应符合表4.3.5规定：

表4.3.5 不同防腐等级锚杆的防腐构造设计要求

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 防腐等级 | 锚筋材料 | 外锚头 | 锚筋自由段 | 锚固段 | 内锚头 |
| II级 | 钢绞线 | 外锚具用混凝土  封闭或用外罩保护 | 无粘结钢绞线  注浆 | 囊袋保护  注浆 | 导向帽保护 |
| 预应力  螺纹钢筋 | 外锚具用混凝土  封闭或用外罩保护 | 钢筋保护套管  环氧或镀锌涂层 | 囊袋保护  注浆 | 导向帽保护 |
| I级 | 钢绞线 | 采用过渡管，外锚具用混凝土封闭  或用外罩保护 | 无粘结钢绞线  套管外注浆 | 无粘结钢绞线  隔离支撑管  囊袋内注浆 | 导向帽  导向帽内灌浆 |
| 预应力  螺纹钢筋 | 采用过渡管，外锚具用混凝土封闭  或用外罩保护 | 采用钢筋套管或环氧、镀锌涂层  套管外注浆 | 采用套管  环氧镀锌涂层  隔离支撑管  囊袋内注浆 | 导向帽  导向帽内灌浆 |

注：**1**  锚筋可采用环氧涂层或镀锌涂层；

**2** 对于I级防腐结构，当钢筋或钢绞线施加预应力时，钢筋或钢绞线护套外宜设过渡管；

**3**  锚筋采用预应力螺纹钢筋时，可依据腐蚀可能造成的锚筋横截面积年损失率进行锚筋直径设计。

**4.3.6**  永久性锚杆各部件的结构构造、防腐材料与防腐措施应保证锚杆在施工中与设计使用年限内不发生损坏及失效。

**4.3.7**  杆体周围的水泥浆或水泥砂浆保护层厚度不应小于20mm。

**4.3.8**  防腐保护层采用的套管、防腐油脂、防腐涂料和注浆体应符合下列规定：

**1** 防护管保护：包括锚筋的护管、套管、波纹管与过渡管等，防护管内可充填防腐润滑脂、注浆体或树脂等材料；

**2** 防腐润滑脂保护：其性能与使用要求应符合现行行业标准《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JGJ/T 430的有关规定；

**3** 防腐涂料保护：包括钢筋与钢绞线的环氧涂层或镀锌涂层，以及在外锚具、钢垫板、钢承载盘、钢导向帽、钢防护外罩的表面喷涂或涂刷防腐涂料；

**4** 注浆体保护：包括保护杆体的波纹管内注浆体，锚孔内注浆体，囊袋内注浆体，以及自由段锚筋在张拉锁定后灌注的注浆体或张拉锁定前灌注的缓凝注浆体。

**4.3.9**  防腐涂层的材料和厚度应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的有关规定。

**4.3.10** 杆体安装前应检查防腐保护层的完整性，如发现有破损处应进行修补，无法修补时应增加一层保护层。

**4.3.11** 永久性抗浮锚杆的外锚头防腐应符合下列规定（图4.3.11）；

**1** 当外锚头凹进基础底板表面布置时，外锚具与预应力锚筋端头外露部分应涂防腐油脂或喷涂环氧树脂，并采用塑料或金属外罩进行封闭；凹槽宜采用后浇细石混凝土或无收缩砂浆进行封闭，外锚具与预应力筋端头部的保护层厚度：一类环境时不应小于20mm，二a、二b类环境时不应小于50mm、三a、三b类环境时不应小于80mm，混凝土结构的环境类别划分应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定；

**2** 当外锚具布设于基础底板表面时，外锚头宜采用混凝土封闭，封锚混凝土应与基础底板混凝土可靠粘结；外锚具与预应力筋外端头部的保护层厚度应符合本条第1款的规定；

**3** 外锚头不能按本条第1款、第2款采用混凝土或水泥砂浆包裹封闭时，应对外锚具喷涂与锚筋防腐涂层相同的防腐材料，并应采用具有可靠防腐、防水与防火性能的保护外罩将外锚具全部封闭。

**4** 对于分层浇灌的基础底板，外锚头可直接设置在基础底板内分层的表面，在锚杆张拉锁定后施工基础底板的顶面找平层。



(a) 留坑后一次性浇灌 (b) 留坑后一次性浇灌（设外罩） (c) 设置在基础底板内分层表面

图4.3.11 抗浮锚杆外锚头的锚固节点防腐构造简图

1—外锚具；2—基础底板；3—施工缝；4—锚筋；5—砂浆或细石混凝土找平层；6—防护管；

7—过渡管；8—细孔段注浆体；9—初次浇灌的混凝土；

10—强度等级不低于基础底板的微膨胀混凝土，或强度等级高于基础底板一个等级的细石混凝土；

11—钢垫板；12—外锚具外罩；13—防腐润滑脂；14—找平混凝土层

**4.3.12** 永久性边坡锚杆的外锚头防腐应符合下列规定（图4.3.12）：



(a) 钢绞线锚杆外锚头防腐 (b) 预应力螺纹钢筋锚杆外锚头防腐

图4.3.12 边坡锚杆外锚头的锚固节点防腐构造简图

1—钢绞线；2—套管；3—波纹管；4—润滑脂或注浆体；5—密封环；6—防护帽；7—锚座；8—密封圈；

9—密封螺母；10—锁定螺母；11—预应力螺纹钢筋；12—承压板；13—保护套管；

**1** 锚杆外锚头防腐应包括承压板上部外露的锚筋与锚具，以及承压板下部因注浆体析水收缩形成的锚孔空腔两部分；

**2** 对于在服务期内需要进行补张拉的锚杆，钢制承压板上部的锚筋与锚具的防护应采用可拆卸的钢制外罩，防护外罩与承压板之间应采用可靠的密封连接，外罩内部应填充防腐润滑脂，且承压板外表面应喷涂防腐涂料；

**3** 对于在服务期内不需要进行补偿张拉的锚杆，应使用混凝土封闭处理方法，封闭保护层的混凝土强度标准值不应小于30MPa，而保护层厚度应依据边坡锚杆的工作环境与锚固工程重要性确定，取值范围宜为40mm ~ 60mm；

**4** 承压板下部防腐处理应利用过渡钢管对自由段锚筋进行保护，过渡管厚度不宜小于5mm，过渡管内空腔应在锚杆张拉锁定后，通过在承压板上预留孔的注浆管对整个空腔灌注水泥浆或防腐润滑脂。

## 4.4 锚固节点防水构造

**4.4.1**用于抗浮结构锚固工程的囊式扩体锚杆，其与基础底板的锚固节点的防水等级及防水材料应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定，且不应低于相应的地下结构防水等级。

**4.4.2** 锚固节点防水层应与基础底板防水层可靠连接。

**4.4.3** 锚固节点的防水构造应符合表4.4.3及图4.4.3的规定：

表4.4.3 抗浮锚杆锚固节点的防水构造要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 锚杆类型 | | 非预应力抗浮锚杆 | 预应力抗浮锚杆 |
| 防水措施 | | 1、遇水膨胀止水胶条或止水钢板（用于过渡钢管）  2、防水涂料  3、加强柔性防水层 | 1、遇水膨胀止水胶条或止水钢板（用于过渡钢管）  2、防水涂料  3、加强柔性防水层 |
| 防水  等级 | 一级 | 应选2~3道防水措施 | 应选2~3道防水措施 |
| 二级 | 应选2道防水措施 | 应选2道防水措施 |
| 三级 | 宜选1~2道防水措施 | 应选1~2道防水措施 |



(a) 预应力螺纹钢筋非预应力锚杆 (b) 钢绞线预应力锚杆

图4.4.3 锚杆锚固节点的防水构造简图

1—基础底板；2—锚杆杆体；3—止水钢板（过渡管为金属管时）；4—遇水膨胀止水胶条；5—防水层；

6—密封膏； 7—基础底板垫层；8—锚孔注浆体；9—外锚具外罩；10-—内充微膨胀注浆体；

11—过渡管；12—埋置过渡管的凹坑（填充注浆体）；13—混凝土回填层

# 5 锚杆设计

## 5.1 一般规定

**5.1.1**  囊式扩体锚杆应按下列两类极限状态设计：

**1** 承载能力极限状态：锚杆达到最大承载能力、锚固结构体系发生整体失稳破坏，或发生不适于锚固结构体系继续承载的变形；

**2** 正常使用极限状态：锚杆达到锚固结构体系正常使用所规定的变形限值，或达到耐久性要求的某项限值，或因变形导致相应的防腐与防水措施失效。

**5.1.2** 当锚杆出现下列状态之一时，应认为锚杆达到了承载能力极限状态：

**1** 锚筋或连接件因应力超过材料强度而产生断裂破坏；

**2** 提供锚杆锚固力的地层因岩土体中的剪应力达到其抗剪强度而产生整体破坏；

**3** 对于压力型锚杆，扩体锚固段注浆体因局部受压、强度不足而产生压碎破坏；

**4** 锚杆产生过大变形而不适于锚固结构体系的继续承载。

**5.1.3** 当锚杆出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

**1** 因锚杆变形导致锚固结构发生影响正常使用或外观的过度变形；

**2** 因锚杆变形导致锚固结构发生影响正常使用的防腐、防水性能的局部损坏。

**5.1.4**  锚杆设计采用的作用效应组合与相应的抗力应符合下列规定：

**1** 按锚杆抗拔承载力确定锚杆数量和布置锚杆、验算锚固结构整体稳定时，应采用作用效应标准组合，当活荷载效应对基础锚固、结构抗浮有利时，不应计入活荷载；锚杆的抗力应采用锚杆抗拔承载力特征值；

**2** 在进行锚杆锚筋、锚固结构中的混凝土构件或钢构件的承载力、配筋、材料强度计算时，应采用作用效应基本组合，当活荷载效应对基础锚固、结构抗浮有利时，不应计入活荷载，当永久荷载效应对基础锚固、结构抗浮有利时，永久荷载分项系数不应大于1.0；

**3** 计算荷载作用下锚固结构的竖向位移、水平位移时，应采用作用效应准永久组合。

**5.1.5** 锚杆设计计算的抗拔安全系数*K*、结构重要性系数*γ*0、作用基本组合的荷载综合分项系数*γ*F，应根据锚杆锚固结构类型、锚杆破坏后果的严重性、锚杆使用年限按表5.1.5-1和表5.1.5-2取值。

表5.1.5-1 永久性建构筑物锚固锚杆和永久性支护结构锚杆的抗拔安全系数与结构重要性系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 锚固工程  安全等级 | 锚固工程破坏后果 | 锚杆抗拔  安全系数*K* | 重要性  系数*γ*0 |
| 一级 | 锚杆破坏可能产生的后果（危及人的生命、 造成经济损失、产生社会影响等）很严重 | 2.2 | 1.1 |
| 二级 | 锚杆破坏可能产生的后果（危及人的生命、 造成经济损失、产生社会影响等）严重 | 2.0 | 1.0 |
| 三级 | 锚杆破坏可能产生的后果（危及人的生命、 造成经济损失、产生社会影响等）不严重 | 2.0 | 1.0 |

注：特殊工程根据专业标准确定锚杆抗拔安全系数*K*。

表5.1.5-2 临时支护结构锚杆与使用年限不超过3年锚杆的抗拔安全系数与结构重要性系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 支护结构安全等级 | 锚杆抗拔安全系数*K* | 重要性系数*γ*0 |
| 一级 | 1.8 | 1.1 |
| 二级 | 1.6 | 1.0 |
| 三级 | 1.4 | 0.9 |

**5.1.6** 锚杆抗拔承载力特征值*Ra*应按下式确定：

 （5.1.6）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *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），按本标准第5.2节的规定确定； |
|  | *K* | —— | 锚杆抗拔安全系数，按本标准第5.1.5条的规定取值。 |

**5.1.7** 锚杆用于建构筑物锚固或结构抗浮时，作用基本组合的内力设计值可按式（5.1.7）计算。其中作用基本组合的综合分项系数*γ*F，对由永久荷载组合控制的*γ*F取1.35；对由风荷载控制组合的*γ*F取1.4。锚杆用于临时支护结构时，作用基本组合的内力设计值也可按式（5.1.7）计算，式中的*γ*F取1.25。锚杆用于其他种类工程时，作用基本组合的内力设计值可按现行国家与行业标准的有关规定执行。

 （5.1.7）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *γ*0 | —— | 锚固或支护结构的重要性系数，应按本标准第5.1.5条的规定采用； |
|  | *γ*F | —— | 作用基本组合的综合分项系数； |
|  | *N*d | —— | 作用基本组合的轴向拉力设计值(kN)； |
|  | *N*k | —— | 作用标准组合的轴向拉力标准值(kN)，按本标准第6、7、8章的规定计算。 |

**5.1.8**  锚杆设计宜根据荷载分布与大小、结构形式与刚度、锚杆抗拔承载力与抗拉刚度、岩土体承载力与刚度等因素，并考虑结构荷载平衡与变形控制，按荷载—结构—岩土体—锚杆共同作用理念进行锚杆设计与布置。

**5.1.9**  锚杆设计时应考虑施工阶段与使用阶段的各种最不利工况，计算或验算内容至少应包括下列内容：

**1** 锚杆抗拔承载力；

**2** 杆体抗拉承载力；

**3** 扩体锚固段注浆体局部受压承载力；

**4** 锚杆与锚固结构连接的承载力；

**5** 锚固结构整体稳定性；

**6** 锚杆外锚头、外部承载构件及其他传力构件的承载力；

**7** 根据锚固结构的类型，锚固结构的变形计算内容包括水平位移、竖向位移、整体倾斜、沉降差等。

**5.1.10** 设计文件应至少规定下列内容：

**1** 锚杆的抗拔承载力特征值、极限抗拔承载力标准值与预应力锚杆的张拉锁定值；

**2** 锚杆的设计长度与细孔锚固段直径，扩体锚固段的设计长度、直径与埋深；

**3** 膨胀挤压筒现场质量检测方法与要求；

**4** 施工工艺与施工参数；

**5** 锚杆防腐等级与构造措施，杆体与外锚头等锚固系统的防腐施做要求；

**6** 锚杆防水等级与构造要求，锚杆锚固节点的连接构造及连接部位的防水施做要求；

**7** 锚杆抗拔承载力试验与检验要求。

**5.1.11** 锚杆设计应符合下列基本要求：

**1** 膨胀挤压筒长度宜为1～2m，直径宜为0.3～1.0m；扩体锚固段长度宜为1.5～4m，直径宜为0.3～1.5m；细孔锚固段长度宜为1～6m，直径宜为150～220mm；预应力锚杆的自由段长度不宜小于5m；

**2** 扩体锚固段的上覆岩土层厚度不宜小于7m，细孔长度与扩体直径之比不应小于11；

**3** 锚杆间距不应小于扩体锚固段直径的3倍，且不应小于2m；

**4** 扩体锚固段至相邻基础的距离不应小于3m；

**5** 当锚杆间距较小时，应采用长短锚设计方案，并调整相邻锚杆的倾斜角度，将扩体 锚固段合理错开布置；

**6** 囊袋内注浆体的立方体（边长为70.7mm）抗压强度标准值不应小于30MPa；

**7** 传力结构混凝土强度等级不应低于C25；

**8** 锚杆的总长度、自由段长度、锚杆间距与扩体锚固段埋深均应满足锚固结构体系的整体稳定性要求。

**5.1.12** 基坑支护和边坡防护锚杆设计应符合下列规定：

**1** 锚杆水平间距不应小于2.5m，竖向间距不宜小于3m；

**2** 扩体锚固段之间的水平净距不应小于扩体锚固段直径的2倍，且不应小于1.5m，竖向净距不应小于扩体锚固段直径的2倍，且不应小于1.5m；

**3** 锚杆设计倾斜角度不宜小于10°。

**5.1.13** 预应力锚筋的张拉控制应力值应按本标准第5.4.1条的规定执行。

**5.1.14** 锚杆锁定时的拉力值应考虑各种预应力损失，包括因夹片回缩楔紧、预应力筋内缩变形、自由段预应力筋摩擦引起的预应力损失。

5.2 锚杆抗拔承载力计算

**5.2.1**  基于岩土体抗力的囊式扩体锚杆极限抗拔承载力应通过现场基本试验确定；无试验资料时，可采用本标准第5.2.2 ~ 5.2.5条的规定估算，并应在工程施工期间通过现场基本试验进行验证确定。

Ⅰ 静力分析法

**5.2.2**  囊式扩体锚杆的极限抗拔承载力*R*uk可采用静力分析法按下列公式估算：

 （5.2.2-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: | *R*uk  *R*sl  *R*sL  *R*sD  *d*  *D*  *L*d  *L*D  *f*mg1  *f*mg2  *p*D | ——  ——  ——  ——  ——  ——  ——  ——  ——  ——  —— | 锚杆的极限抗拔承载力（kN）；  细孔锚固段的极限侧摩阻力（kN)；  扩体锚固段的极限侧摩阻力（kN)；  扩体锚固段前端面的极限端承力（kN)；  细孔段直径（m）；  扩体锚固段直径（m）；  细孔锚固段长度（m）；  扩体锚固段长度（m）；  细孔锚固段注浆体与岩土体之间的界面极限粘结强度标准值（kPa），通过试验确定，无试验资料时，可按表5.2.2取值；  扩体锚固段注浆体与岩土体之间的界面极限粘结强度标准值（kPa），通过试验确定，无试验资料时，可按表5.2.2取值；  扩体锚固段前端面岩土体作用于扩体锚固段的极限端阻强度标准值（kPa）。 |

表5.2.2 锚固段注浆体与岩土层之间的极限粘结强度标准值*f*mg（kPa）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | 岩土状态 | | 极限粘结强度标准值 |
| 淤泥质土 | — | — | 16～20 |
| 黏性土 | 流塑  软塑  可塑  硬可塑  硬塑 | *I*L >1  0.75 < *I*L ≤ 1  0.50 < *I*L ≤ 0.75  0.25 < *I*L ≤ 0.50  0 < *I*L ≤ 0.25  *I*L＜0 | 18～30  25～40  40～55  50～65  65～80  73～90 |
| 粉土 | 稍密  中密  密实 | *e*> 0.90  0.75 ≤ *e* ≤0.90  *e* < 0.75 | 25～40  40～65  60～100 |
| 粉细砂 | 稍密  中密  密实 | 0.85 < *e* ≤ 0.95  0.70≤ *e* ≤ 0.85  *e* < 0.70 | 20～40  40～65  60～85 |
| 中砂 | 稍密  中密  密实 | 0.75 < *e* ≤ 0.85  0.60≤ *e* ≤ 0.75  *e* < 0.60 | 50～75  70～90  85～130 |
| 粗砂 | 稍密  中密  密实 | 0.75 < *e* ≤ 0.85  0.60 ≤*e* ≤ 0.75  *e* < 0.60 | 80～120  100～130  120～150 |
| 砾砂 | 中密、密实 | *e* ≤ 0.70 | 140～160 |
| 全风化软质岩 | — | 30 < *N* ≤ 50 | 130～150 |
| 全风化硬质岩 | — | 30 < *N* ≤ 50 | 160～180 |
| 强风化软质岩 | — | *N*63.5 ≥10 | 170～220 |
| 强风化硬质岩 | — | *N*63.5 ≥ 10 | 180～260 |

注：**1** *I*L为黏性土的液性指数，*e*为粉土与砂土的孔隙比，*N*为地基土的未修正的标准贯入试验锤击数，*N*63.5为重型圆锥动力触探试验锤击数；

**2** 具体取值可依据工程经验确定。

扩体锚固段前端面岩土体作用于扩体锚固段的极限端阻强度标准值，对于竖直锚杆应按式（5.2.2-2）计算；对于水平或倾斜锚杆应按式（5.2.2-3）计算:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | | （5.2.2-2） |
|  | | |  | | （5.2.2-3） |
| 式中: | *γ*  *h*  *K*0  *K*P  *c*  *ξ* | ——  ——  ——  ——  ——  —— | | 扩体锚固段上覆岩土体的重度（kN/m3）；  扩体锚固段上覆岩土体的厚度（m），自扩体锚固段前端面中心点起算至地表；  扩体锚固段前端岩土体的静止土压力系数，可由试验确定，无试验资料时，可按地区经验取值或取*K*0=1－sin*φ*′（*φ*′为岩土体的有效内摩擦角）；  扩体锚固段前端岩土体的被动土压力系数；  扩体锚固段前端岩土体的黏聚力（kPa）；  *ξ* =（0.80～0.95）*K*a，*K*a为主动土压力系数，*ξ*和扩体锚固段前端岩土体的抗力强度有关，对于非预应力锚杆宜取*ξ* =（0.80～0.90）*K*a，对于预应力锚杆宜取*ξ* =（0.90～0.95）*K*a，其中，对强度较高的岩土体可取上限值，对强度较低的岩土体应取下限值。 | | |

Ⅱ 经验参数法

**5.2.3**  囊式扩体锚杆的极限抗拔承载力*R*uk可采用经验参数法并参考当地工程经验按下式估算：

 （5.2.3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *q*p | —— | 扩体锚固段前端面岩土体作用于扩体锚固段的极限端阻强度标准值（kPa），无当地工程经验时可按表5.2.3取值。 |

表5.2.3 锚固段的极限粘结强度标准值*f*mg和扩体锚固段极限端阻强度标准值*q*p（kPa）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | 岩土状态 | | 极限粘结强度  标准值 | 极限端阻强度  标准值 |
| 淤泥质土 | — | — | 16～20 | — |
| 黏性土 | 流塑  软塑  可塑  硬可塑  硬塑  *I*L＜0 | *I*L ＞1  0.75＜ *I*L ≤ 1  0.50＜ *I*L ≤ 0.75  0.25＜ *I*L ≤ 0.50  0＜ *I*L ≤ 0.25 | 18～30  25～40  40～55  50～65  65～80  73～90 | 100～120  240～360  500～600  800～960  1000～1300  1280-1440 |
| 粉土 | 稍密  中密  密实 | *e* ＞ 0.90  0.75≤*e* ≤ 0.90  *e*＜ 0.75 | 25～40  40～65  60～100 | 300～560  550～700  750～900 |
| 粉细砂 | 稍密  中密  密实 | 10≤*N* ≤ 15  15＜*N* ≤ 30  *N*＞30 | 20～40  40～65  60～85 | 500～600  700～900  950～1100 |
| 中砂 | 稍密  中密  密实 | 10≤*N* ≤ 15  15＜*N* ≤ 30  *N*＞30 | 50～75  70～90  85～130 | 1200～1600 |
| 粗砂 | 稍密  中密  密实 | 10≤*N* ≤ 15  15＜*N* ≤ 30  *N*＞30 | 80～120  100～130  120～150 | 1900～2100 |
| 砾砂 | 中密、密实 | 5≤*N*63.5 ≤ 15 | 140～160 | 1600～2600 |
| 全风化软质岩 | — | 30≤*N* ≤ 50 | 130～150 | 800～1300 |
| 全风化硬质岩 | — | 30≤*N* ≤ 50 | 160～180 | 1000～1600 |
| 强风化软质岩 | — | *N*63.5 ≥ 10 | 170～220 | 1100～1800 |
| 强风化硬质岩 | — | *N*63.5 ≥ 10 | 180～260 | 1500～2300 |

注：**1** *I*L为黏性土的液性指数，*e*为粉土的孔隙比，*N*为地基土的未经修正的标准贯入试验锤击数，*N*63.5为重型圆锥动力触探试验锤击数；

**2** 具体取值可依据工程经验确定。

Ⅲ 原位测试法

**5.2.4**  岩土工程勘察报告提供场地地层的标准贯入试验资料时，囊式扩体锚杆的极限抗拔承载力*R*uk可采用原位测试法并参考当地工程经验按下式估算，相关计算参数可按表5.2.4取值。

 （5.2.4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*i | —— | 计算第*i*岩土层的未经修正的标准贯入试验锤击数，*N*i≤40，  当*N*i＞40时取*N*i=40； |
|  | *N*e | —— | 扩体锚固段前端面以上2*D*和以下1D范围内未经修正的标准贯入试验锤击数平均值，*Ne*≤40，当*Ne*＞40时取*Ne* =40； |
|  | *α*d、*α*D | —— | 基于标准贯入试验锤击数的细孔锚固段与扩体锚固段的极限粘结强度标准值的经验换算系数（kN/m2）； |
|  | *α*e | —— | 基于标准贯入试验锤击数的扩体锚固段的极限端阻强度标准值的经验换算系数（kN/m2）。 |

表5.2.4 基于标准贯入试验锤击数的极限粘结强度与极限端阻强度标准值的经验换算系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | *α*d*、α*D（kN/m2） | *α*e（kN/m2） | *N*最大值 |
| 黏性土、粉土 | 4~5 | 60 ~ 80 | 40 |
| 砂土、砾砂、全风化岩 | 3~4 | 80 ~ 100 | 40 |

Ⅳ 经验关系法

**5.2.5** 工程场地地层为黏性土层，且岩土工程勘察报告提供土层不排水抗剪强度试验资料时，囊式扩体锚杆的极限抗拔承载力*R*uk可采用经验关系法并参考当地工程经验按下式估算：

 （5.2.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *c*u | —— | 扩体锚固段周边土层的不排水抗剪强度平均值（kPa）； |
|  | *c*ub | —— | 扩体锚固段前端面附近的土体不排水抗剪强度（kPa）； |
|  | *c*a | —— | 细孔锚固段周边土层与细孔锚固段之间的界面极限粘结强度，一般可取细孔锚固段周边土层的不排水抗剪强度平均值（kPa）或取 0.8 *c*u～1.0 *c*u（kPa）； |
|  | *N*c | —— | 扩体锚固段前端面的端阻强度系数，根据工程经验可取*N*c= 8～14，无当地工程经验时可取*N*c=11。 |

5.3 锚杆承载力验算

**5.3.1** 囊式扩体锚杆的抗拔承载力应符合下式规定：

 （5.3.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*k | —— | 单根锚杆的轴向拉力标准值（kN），按本标准第6、7、8章的规定计算； |
|  | *R*a | —— | 单根锚杆的抗拔承载力特征值（kN），按本标准第5.1.6条确定。 |

**5.3.2** 囊式扩体锚杆的预应力螺纹钢筋或钢绞线的横截面积应按下式确定：

 （5.3.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *A*s | —— | 预应力螺纹钢筋或钢绞线的横截面积（mm2）； |
|  | *N*d | —— | 作用基本组合的锚杆轴向拉力设计值（N），按本标准第5.1.7条确定； |
|  | *f*py | —— | 预应力螺纹钢筋或钢绞线的抗拉强度设计值（N/mm2）。 |

**5.3.3**  压力型囊式扩体锚杆应按下式进行局部受压承载力验算：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.3） | |
| 式中： | *N*k’ | —— | 扩体锚固段注浆体局部受压面上作用的局部压力标准值（kN），可近似取锚杆的轴向拉力标准值*N*k； | | |
|  | *η* | —— | 基于有侧限围压的扩体锚固段注浆体的抗压强度增大系数，其与扩体锚固段埋深及岩土体性质有关，设计时可取2.0 ~ 4.0，其中，对强度较高的岩土体可取上限值，对强度较低的岩土体应取下限值； | | |
|  | *f*cu,k | —— | 注浆体的边长为70.7mm立方体抗压强度标准值（kPa），应参照《建筑砂浆基本性能试验方法》 JGJ/T 70进行试验，并参照《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107进行检验评定； | | |
|  | *A*p | —— | 注浆体受压净面积（m2），为承载盘与注浆体的接触面积扣除锚筋孔道横截面积之后的面积；当膨胀挤压筒采用钢制下套筒组件和钢制隔离支撑管时，则注浆体受压净面积按承载盘面积计算。 | | |

5.4 锚杆初始预应力

**5.4.1**  预应力囊式扩体锚杆施加初始张拉荷载时，锚筋的张拉控制应力σcon应符合表5.4.1的规定：

表5.4.1 预应力锚筋的张拉控制应力σcon（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 锚杆类型 | 张拉控制应力σcon | |
| 预应力钢绞线 | 预应力螺纹钢筋 |
| 永久性锚杆 | ≤ 0.55 *f*ptk | ≤ 0.70 *f*pyk |
| 临时性锚杆 | ≤ 0.60 *f*ptk | ≤ 0.75 *f*pyk |

**5.4.2**  预应力锚杆的初始张拉荷载确定应符合下列要求：

**1** 对岩土体或被锚固结构位移控制要求较高的锚固工程，初始预加力值宜为锚杆抗拔承载力特征值；

**2** 对岩土体或被锚固结构位移控制要求较低的锚固工程，初始预加力值宜为锚杆抗拔承载力特征值的60% ~ 85%；

**3** 对用于特殊地层或被锚固结构有特殊要求的锚杆，初始预加力值宜根据设计要求确定。

**5.4.3** 预应力锚杆的锁定时间应根据结构荷载、地层条件与岩土变形情况综合确定，锚杆锁定工作宜在主体结构施加部分荷载后进行。

# 6 基坑及边坡锚固

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 囊式扩体锚杆用于深基坑支护与边坡锚固工程时，锚固结构工程的设计应采用预应力锚杆。

**6.1.2** 应根据边坡锚固工程的设计要求、地质条件、地形地貌、地下水类型与分布、边坡特点、工程规模、可能的破坏类型与现场的施工条件，选择预应力锚杆或其与喷射混凝土、挡土墙、抗滑桩等相结合的组合式锚固设计方案。

**6.1.3**  应根据基坑支护体系的设计要求、地质条件、地下水类型与分布、开挖深度、周边荷载、坑周管线与地下结构物、建设红线位置以及基坑支护体系的位移控制要求，选择囊式扩体锚杆或可回收囊式扩体锚杆与地下连续墙、排桩墙、加筋水泥土挡墙以及止水帷幕等相结合的基坑围护结构体系设计方案。

**6.1.4** 边坡安全等级与基坑等级划分标准应符合现行国家和行业标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086、《水利水电工程边坡设计规范》SL 386和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定。

**6.1.5**  当设计锚杆超出建设红线时，或当地下环境不允许存留锚杆杆体时，应遵守相关法律法规要求，优选可回收锚杆设计方案。

**6.1.6**  基坑及边坡锚固工程的锚杆，除锚杆抗拔承载力应满足支护结构体系的设计要求之外，锚杆锚固体系尚应满足整体稳定性要求；锚固边坡的整体稳定性安全系数应符合本标准第6.2.4条的规定。

## 6.2 边坡锚固

**6.2.1** 采用预应力囊式扩体锚杆的边坡锚固结构的稳定性计算宜采用极限平衡法，对重要或复杂边坡的锚固设计计算宜同时采用极限平衡法与数值分析法。

**6.2.2** 不同破坏类型的锚固边坡的整体稳定性分析计算应符合下列规定：

**1** 对可能产生直线滑动面的锚固边坡，宜采用平面滑动面解析法计算；

**2** 对可能产生圆弧滑动面的锚固边坡，宜采用毕肖普法、摩根斯坦—普赖斯法或简布法计算；也可采用瑞典条分法计算，锚固边坡的稳定安全系数计算可按本标准附录B执行；

**3** 对可能产生折线滑动的锚固边坡，宜采用传递系数隐式解法、摩根斯坦—普赖斯法或萨玛法计算。

**6.2.3** 对于可能产生平面滑动的锚固边坡，宜采用极限平衡法计算锚固边坡的整体稳定性，锚固边坡的稳定安全系数计算可按本标准附录C执行。

**6.2.4** 采用预应力锚杆的锚固边坡的稳定安全系数应按边坡安全等级及边坡工作状况确定，锚固边坡的稳定安全系数应按表6.2.4的规定取值。

表6.2.4 锚固边坡的安全等级与稳定安全系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 边坡工况  边坡安全等级 | 持久状况  （天然状态） | 短暂状况  （暴雨、连续降雨状态） | 偶然状况  （地震力作用状态） |
| 一级 | 1.35～1.25 | 1.20～1.15 | 1.15～1.05 |
| 二级 | 1.25～1.20 | 1.15～1.10 | 1.10～1.05 |
| 三级 | 1.15～1.10 | 1.10～1.05 | 1.05 |

**6.2.5** 锚杆杆体横截面积、锚固体长度与直径应按本标准第5章的规定计算确定。

**6.2.6**  边坡锚杆传力结构设计应符合下列规定：

**1** 表层为土层或风化岩层的边坡，宜采用框架格构式、矩形板式、十字式钢筋混凝土传力结构；

**2** 钢筋混凝土传力结构应有足够的强度、刚度与耐久性，其结构尺寸与配筋设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定；

**3** 采用预制传力构件时，传力构件的设计应满足与坡面接触紧密、传力均匀以及构件预留孔与锚孔轴线方向一致的要求；

**4** 传力结构与边坡表面的结合部位，应有完善的防水、排水构造设施。

**6.2.7** 预应力边坡锚杆的布置应符合下列规定：

**1** 锚杆布置间距应根据边坡地表形态、地层性质、总锚固力与单锚承载力确定；

**2** 对已产生滑动破坏的边坡，锚杆安设角度的确定应综合考虑边坡滑动面空间分布形态与锚杆抗滑作用的充分发挥，在施工可行条件下，锚杆倾角宜按下式确定：

 （6.2.7）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *α* | —— | 锚杆倾角（º）； |
|  | *β* | —— | 滑动面倾角（º）； |
|  | *φ* | —— | 滑动面岩土体的内摩擦角（º）。 |

**6.2.8**  对直立锚固边坡，宜采用预应力锚杆或预应力锚杆背拉排桩支护结构方案，边坡稳定安全系数、锚杆轴向拉力设计值、锚杆抗拔承载力特征值应按本标准第6.2.1条至第6.2.5条的规定进行设计计算。

**6.2.9** 对于位移控制严格的边坡锚固工程，或对于边坡锚固工程已出现过大位移、地面开裂等情况需要进行边坡加固时，应按照锚固结构位移控制要求进行预应力位移控制锚杆设计。

**6.2.10** 预应力位移控制锚杆的布置应符合下列规定：

**1** 扩体锚固段应设置在边坡潜在滑裂面范围以外的稳定地层中；

**2** 扩体锚固段应设置在较密实的砂土、粉土或强度较高、压缩性较低的黏土层中，以及全、强风化岩层中；

**3** 扩体锚固段至外锚头宜全长设计为自由段。

**6.2.11** 预应力位移控制锚杆应按I级边坡安全等级设计，在计算岩土压力时应根据位移控制要求和岩土力学条件，按照边坡岩土体的位移与土压力的对应关系选取土压力值。

**6.2.12** 边坡锚固体系除应计算锚杆抗拔承载力之外，尚应验算边坡锚固体系的整体稳定性。

**6.2.13** 边坡锚固工程应设置地表截水与排水系统。

## 6.3 基坑支护结构锚固

**6.3.1**  采用预应力囊式扩体锚杆的基坑支护结构设计使用期限内应满足主体结构施工要求；采用桩锚、墙锚、板锚、撑锚等锚拉式支护结构体系以及锚杆─土钉墙复合支护结构体系应按下列规定进行设计计算与验算：

**1** 支护结构计算应符合下列规定：

**1**）应根据基坑施工与使用全过程中的各种工况对支护结构进行结构内力分析计算；

**2**）对支护结构体系有变形限制的基坑工程，应进行基坑围护结构体系的变形计算；

**3**）当锚杆倾角大于30º时，应分别对锚下结构竖向抗力及桩墙结构竖向承载力进行验算。

**2** 基坑稳定性验算应包括下列内容：

**1**）基坑整体稳定性验算；

**2**）支护结构抗倾覆稳定性验算；

**3**）基坑底土抗隆起稳定验算；

**4**）基坑抗地下水渗流稳定验算。

**3** 基坑周边岩土体变形控制计算应包括下列内容：

**1**）抽降地下水引发的地层固结沉降计算；

**2**）基坑开挖引起的地层沉降与侧向位移计算。

**6.3.2**  扩体锚固段应设置于稍密或稍密以上的粉土、砂土、砾石、风化岩中，以及可塑、硬塑、坚硬的黏土层中。

**6.3.3**  锚杆自由段长度应超过潜在滑裂面不小于3m，且不应小于6m；潜在滑裂面位置应根据整体抗滑稳定性验算或岩土地层结构面确定，初步设计时，自由段长度可按下式估算（图**6.3.3**）：

 (6.3.3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *L*f | —— | 锚杆自由段长度（m）； |
|  | *h*1 | —— | 锚杆孔口至基坑底的距离（m）； |
|  | *h*2 | —— | 净土压力零点（主动土压力等于被动土压力）至基坑底的距离（m）； |
|  | *φ* | —— | 0点以上各岩土层按岩土层厚度加权的内摩擦角平均值（º）； |
|  | *α* | —— | 锚杆力作用线与水平线的夹角（º）。 |



图6.3.3 锚杆自由段长度的计算简图

**6.3.4** 锚杆的刚度系数宜根据锚杆基本试验确定，当无试验资料时，杆体的轴向刚度系数可按下式估算：

 （6.3.4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *k*T | —— | 锚杆的轴向刚度系数（kN/m）； |
|  | *E*s | —— | 杆体的弹性模量（kN/m2）； |
|  | *A*s | —— | 杆体的横截面积（m2）； |
|  | *L*ft | —— | 锚筋的计算自由段长度（m），宜取锚筋实际自由段长度。 |

**6.3.5**  倾斜锚杆的轴向拉力标准值应根据支护结构水平支点力按下式计算：

 （6.3.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *F*k | —— | 挡土结构水平支点力标准值（kN/m），按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的规定计算； |
|  | *s* | —— | 锚杆间距（m）； |
|  | *α* | —— | 锚杆力作用线与水平线的夹角（º）； |
|  | *N*k | —— | 锚杆轴向拉力标准值（kN）。 |

**6.3.6**  锚杆长度和支护结构竖向长度应满足基坑支护体系整体滑动稳定性要求，支护结构体系的整体滑动稳定性计算应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定执行。

**6.3.7** 除位移控制严格的基坑支护工程外，预应力锚杆的锁定荷载宜为锚杆抗拔承载力特征值的60%~80%，具体取值应结合锚固地层条件和支护结构位移控制值确定。

**6.3.8** 对于位移控制严格的基坑支护工程，锚杆的设计与施工应满足下列要求：

**1** 扩体锚固段埋设位置应符合下列要求：

**1**）应设置在基坑开挖影响范围之外的稳定岩土层中；

**2**）应设置在本标准第6.3.2条规定的岩土层中：

**3**）扩体锚固段前端至孔口之间如存在软弱土层，扩体锚固段前端至软弱土层的距离应不小于3m；

**4**）扩体锚固段前端至潜在滑移面的距离应不小于6m；

**5**）基坑周边岩土体条件较差时，扩体锚固段宜设置在基坑开挖面以下的岩土层中。

**2** 锚杆张拉锁定值宜取锚杆抗拔承载力特征值的80%～100%。

# 7 基础结构锚固

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 基础结构锚固工程的囊式扩体锚杆，其设计使用年限应与被锚固结构的设计使用年限一致。

**7.1.2** 高耸结构物基础锚固、重力坝及重力式挡土墙锚固的预应力囊式扩体锚杆，其长度及布置应符合下列规定：

**1** 锚杆长度应满足基础底面至扩体锚固段上端之间的岩土体有效重量不小于锚杆抗拔承载力特征值的要求，且长度应不小于6m。

**2** 锚杆在平面上宜均匀布置，锚杆间距的确定宜以不引起群锚效应为原则；

**3** 相邻锚杆的扩体锚固段宜在沿轴线方向错开0.5～1个扩体锚固段长度布设；

**4** 锚杆的外锚头宜布置在有利于检查、再张拉与修复的锚固结构部位。

**7.1.3** 对于锚固结构位移要求严格的基础结构锚固工程，应采用预应力囊式扩体锚杆，预应力锁定值的大小应根据位移控制要求确定。位移要求不严时，可采用非预应力囊式扩体锚杆。

**7.1.4**  基础结构锚固工程的锚杆设计，除应按本章各节的规定进行计算外，尚应包括下列内容：

**1** 锚杆杆体构造与锚固系统防腐蚀设计；

**2** 锚杆与被锚固结构连接构造、与防水节点设计；

**3** 膨胀挤压筒检验要求及锚杆试验、与检测要求；

**4** 施工工艺与施工参数要求。

## 7.2 高耸结构物基础锚固

**7.2.1** 高耸结构物基础锚固采用囊式扩体锚杆时，锚杆宜垂直布置（图7.2.1）。



图7.2.1 高耸结构物基础锚固

1—基础； 2—囊式扩体锚杆

**7.2.2** 锚固基础中单根锚杆的轴向拉力标准值可按下式计算（图7.2.2）：

 （7.2.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*ik | — | 荷载效应标准组合下，锚固基础中第*i*根锚杆的轴向拉力标准值（kN）； |
|  | *T*k | — | 荷载效应标准组合下，作用在基础顶面的竖向力（kN）； |
|  | *G*k | — | 基础及上覆土自重标准值（kN），对于稳定地下水位以下部分应扣除水的浮力； |
|  | *M*xk*、M*yk | — | 荷载效应标准组合下，作用于基础底面形心的力矩（kN•m）； |
|  | *x*i*、y*i | — | 锚杆i至基础底面形心的y轴、x轴的距离（m）； |
|  | *n* | — | 基础中的锚杆根数。 |



图7.2.2 锚固基础的锚杆力计算简图

1—基础； 2—囊式扩体锚杆

**7.2.3** 高耸结构物锚固锚杆，应按照本标准第5章的规定进行承载力计算，此外，尚应按现行技术标准进行下列承载力和稳定性计算。

**1** 锚固基础下地基的竖向承载力和水平承载力计算；

**2** 承台结构的受弯、受剪、受冲切承载力计算；

**3** 锚固基础的水平位移计算；

**4** 位于坡地的锚固基础，边坡的稳定性验算；

**5** 位于坡地的锚固基础，上部结构、基础和地基组成的锚固结构体系的整体稳定性验算。

**7.2.4** 架空输电线塔基础锚固的锚杆，抗拔承载力安全系数*K*应按表7.2.4取值。

表7.2.4 架空输电线塔基础锚杆的抗拔承载力安全系数*K*

|  |  |
| --- | --- |
| 输电线塔类型 | 锚杆抗拔承载力安全系数 |
| 悬垂型杆塔 | 2.0 |
| 耐张直线（0°转角）及悬垂转角杆塔 | 2.2 |
| 耐张转角、终端、大跨越塔 | 2.5 |

## 7.3 拱脚基础锚固

**7.3.1** 拱脚等承受水平力的基础，基础锚固采用囊式扩体锚杆时，锚杆应倾斜布置，锚杆水平倾角宜为15º～30º，并且锚杆倾角的确定宜有利于锚杆提供最大抗力与方便施工（图7.3.1）。



图7.3.1 拱脚基础锚固

1. 基础；2—囊式扩体锚杆

**7.3.2** 拱脚锚杆的轴向拉力标准值及锚固基础的抗滑安全系数可按下式计算（图7.3.2）：



图7.3.2 拱脚锚固基础受力分析简图

 （7.3.2-1）

 （7.3.2-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*k | — | 作用效应标准组合下，锚杆轴向拉力标准值（kN）； |
|  | *Q* | — | 作用效应标准组合下，作用在基础上的力（kN）； |
|  | *G* | — | 基础自重标准值（kN）； |
|  | *K*τ | — | 基础抗滑安全系数，根据工程性质及安全等级，按现行国家与行业标准的有关规定取值，一般可取1.2～1.5； |
|  | *f* | — | 基础底面与地基的摩擦系数，由试验确定，也可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007取值； |
|  | *θ* | — | 基础上的力Q的作用线与水平线的夹角（°）； |
|  | *β* | — | 锚杆力作用线与基础底面垂线的夹角（°）。 |

**7.3.3** 拱脚基础锚固锚杆，应按照本标准第5章的规定进行承载力计算，此外，尚应按现行技术标准进行下列承载力与稳定性计算。

**1** 锚固基础下地基的承载力计算；

**2** 承台结构的受弯、受剪、受冲切承载力计算；

**3** 锚固基础的水平位移计算；

**4** 位于坡地的锚固基础，边坡的稳定性验算；

**5** 位于坡地的锚固基础，上部结构、基础和地基组成的锚固结构体系的整体稳定性验算。

## 7.4 重力坝、重力式挡土墙锚固

**7.4.1** 重力坝、重力式挡土墙等承受水平力的结构物锚固采用囊式扩体锚杆时，锚杆宜垂直于重力坝、重力式挡土墙的基底面布置（图7.4.1）。



图7.4.1 预应力囊式扩体锚杆对重力坝抗倾覆稳定的作用

**7.4.2** 锚固重力坝、重力式挡土墙等结构物的锚杆，其轴向拉力标准值及抗拔承载力应按照结构物的滑动、倾覆稳定性要求确定，滑动稳定性、倾覆稳定性计算应符合附录D的规定。抗滑安全系数、抗倾覆安全系数应符合现行国家与行业标准的有关规定。

**7.4.3** 锚杆锚固的重力坝、重力式挡土墙，尚应验算地基的深层滑动稳定性，稳定安全系数应符合现行国家与行业标准的有关规定。对于土质地基，深层滑动稳定性可按附录B的规定计算。

**7.4.4** 重力坝、重力式挡土墙等结构物的锚杆，应按照本标准第5章的规定进行承载力计算，此外，尚应按现行国家与行业标准的有关规定进行下列承载力和稳定性计算。

**1** 地基的承载力计算；

**2** 结构的受弯、受剪承载力计算；

**3** 重力式挡土墙位于坡地上时，边坡的稳定性计算。

**7.4.5** 在确定锚固重力坝、重力式挡土墙的囊式扩体锚杆抗拔承载力特征值时，其抗拔安全系数不应小于2.5。

# 8 抗浮结构锚固

## 8.1 一般规定

**8.1.1**  采用囊式扩体锚杆的抗浮结构锚固工程的设计使用年限应与抗浮建构筑物的设计使用年限一致。

**8.1.2** 永久性抗浮锚杆的防水与防腐等级及构造应综合考虑场地地质条件与地下水环境，并应符合建构筑物结构设计要求。

**8.1.3** 抗浮结构锚固设计方案应根据抗浮设防水位、结构类型、上部荷载分布、地下结构埋深、地质条件及结构变形控制要求等因素综合确定。

**8.1.4** 抗浮锚杆可采用非预应力锚杆，对于抗浮结构具有较严格变形控制要求的工程宜采用预应力锚杆。

**8.1.5**  用于结构抗浮的锚杆设计工作应包括下列内容：

**1** 扩体锚固段持力层的选择及锚杆轴向拉力标准值与设计值的确定；

**2** 锚杆杆体抗拔承载力计算；

**3** 单锚与群锚抗拔承载力计算；

**4** 锚杆与结构底板锚固节点的受冲切承载力计算；

**5** 抗浮锚固结构整体稳定性计算；

**6** 锚杆杆体构造与锚固系统防腐蚀设计；

**7** 锚杆与结构底板连接构造、防水节点设计；

**8** 锚固结构的沉降与上浮变形计算；

**9** 膨胀挤压筒检验要求及锚杆试验、检测要求的确定；

**10**施工工艺与施工参数要求的确定；

**11**结构基础底板竖向位移监测要求的确定。

**8.1.6**  抗浮结构锚固工程设计、施工应具备以下资料：

**1** 岩土工程勘察报告；

**2** 抗浮设防水位或专项水文地质勘察报告；

**3** 建筑平面图；

**4** 结构设计图；

**5** 结构竖向构件传递至基础底板顶面的荷载；

**6** 结构基础底板以上的覆土荷载；

**7** 结构沉降与上浮变形控制要求；

**8** 其他与抗浮锚杆设计与施工有关的资料。

**8.1.7**  作用于结构基础板底面的地下水浮力标准值计算应符合下列规定：

**1** 黏性土、粉土地层或由此类土的交互地层，宜考虑地下水渗流分析计算的基础板底面任意点处的孔隙水压力，计算点的地下水浮力标准值等于该点的孔隙水压力，缺少地下水渗流分析数据时，可根据当地工程经验确定；

**2** 砂土、碎石土地层的地下水浮力标准值应按静水压力计算。

**8.1.8**  结构抗浮锚杆的长度不应小于8m。

**8.1.9**  锚杆的平面布置应根据基础结构型式及刚度、地下水浮力、锚杆抗拔承载力确定，并应以减少基础底板内力和挠度的原则优化锚杆平面布置。

**8.1.10** 基础底板位于软弱地基时，应验算软弱地基的承载力，并对抗浮结构进行沉降观测，观测工作宜从锚杆张拉锁定前开始。

## 8.2 抗浮计算

**8.2.1** 采用囊式扩体锚杆的结构抗浮设计，应根据基础底板型式与刚度、结构荷载分布、不同地下结构埋深与地下水浮力划分抗浮计算单元。

**8.2.2** 抗浮锚杆的内力计算，宜采用结构、地基与锚杆协同工作的方法，也可采用简化方法按下式计算：

 （8.2.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*k | —— | 荷载效应标准组合下的锚杆轴向拉力标准值（kN）； |
|  | *n* | —— | 抗浮计算单元内的锚杆总数。 |
| *P*wk | | —— | 作用于抗浮计算单元基础板底面的地下水浮力标准值（kN）； |
| *G*jk | | —— | 抗浮计算单元内参与抗浮的结构恒载（kN）； |
| *G*tk | | —— | 抗浮计算单元内参与抗浮的基础底板以上的岩土体重量（kN）。 |

**8.2.3**  抗浮结构的上浮变形与基础底板的挠曲变形应满足建构筑物的正常使用要求，变形计算宜考虑结构、地基与锚杆的协同工作。

**8.2.4**  对于不存在群锚效应的设计方案，抗浮结构应按下式验算整体抗浮稳定性：

 （8.2.4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *F*k | —— | 作用于结构的地下水总浮力，等于结构排开地下水的重量（kN）； |
|  | *R*ai | —— | 第*i*根锚杆的抗拔承载力特征值（kN）。 |

**8.2.5**  对于锚杆间距较小，可能存在群锚效应的设计方案，抗浮结构应满足锚固体的整体抗浮稳定性要求，整体抗浮稳定安全系数应符合下列规定（图8.2.5）：

 （8.2.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*F | —— | 整体抗浮稳定安全系数； |
|  | *W*i | —— | 抗浮区域整体锚固范围内的总岩土体有效重量（kN），计算采用浮重度（kN），其取值按图8.2.5计算。 |



图8.2.5 抗浮锚杆锚固土体的整体稳定性分析计算简图

## 8.3 锚杆张拉与锁定

**8.3.1**  用于抗浮结构锚固的囊式扩体锚杆宜施加预应力，锚杆张拉锁定后的有效拉力值宜取锚杆抗拔承载力特征值的60% ～ 85%，有效张拉荷载应根据结构上浮变形控制要求、基础底板与地基刚度等因素综合确定。

**8.3.2**  锚杆锁定时的拉力值应在考虑各种预应力损失情况下确定，锚杆预应力损失值可根据锁定前、后的锚杆拉力实测值确定，缺少测试数据时，可依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定计算，并结合工程经验确定。

**8.3.3** 锚杆杆体的张拉控制应力应符合本标准第5.4.1条的规定。

**8.3.4**  锚杆张拉锁定时，基础底板的混凝土强度和刚度应满足张拉锁定的受力要求。

## 8.4 锚杆与底板连接节点设计

**8.4.1** 在囊式扩体锚杆与基础底板的连接部位，对于不配置箍筋或弯起钢筋的基础底板的受冲切承载力应按下式计算（图8.4.1）：

 （8.4.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *Nd’* | —— | 作用于锚垫板的轴向压力设计值（kN）； |
|  | *P*w | —— | 作用于冲切破坏锥体底面上的地下水浮力（kN）； |
|  | *f*t | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值（kPa）； |
|  | *β*h | —— | 截面高度影响系数：当*h*不大于800mm时，取*β*h为1.0；当*h*不小于2000mm时，取*β*h为0.9，其间按线性内插法取值； |
|  | *u*m | —— | 计算截面的周长（m），取距离锚垫板边缘*h*0/2处的基础底板垂直截面的最不利周长； |
|  | *h*0 | —— | 截面有效高度（m），取两个方向配筋的截面有效高度平均值。 |



图8.4.1 基础底板受冲切承载力的计算简图

1—冲切破坏锥体的斜截面；2—计算截面；3—计算截面周长；4—冲切破坏锥体的底面线；5—锚垫板

**8.4.2** 当受冲切承载力不能满足本标准第8.4.1条的规定，且基础底板厚度受到限制时，可增加锚垫板边长，也可配置箍筋、螺旋筋或弯起钢筋，并应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定进行受冲切承载力验算。

**8.4.3**  对于预应力锚杆，外锚头的钢垫板可放置于基础底板的预留作业坑内，也可布置在基础底板混凝土表面。

**8.4.4** 外锚头的防腐、防水构造应符合本标准第4.3节与第4.4节的规定。

# 9 锚杆施工

## 9.1 一般规定

**9.1.1**  囊式扩体锚杆施工应综合考虑岩土锚固工程的设计条件、地质条件、施工条件和环境条件，选择适合的施工方法，编制能够保证工程安全、施工质量及满足节能环保要求的施工组织设计。

**9.1.2** 施工前应检查确认锚筋、水泥、套管、注浆管及锚杆组配件等材料以及机械设备的技术性能参数能够满足设计要求与工程施工需要，做好各项施工准备工作。

**9.1.3** 施工前应根据本标准第4.1.2条和第4.1.3条的规定检查确认膨胀挤压筒的全部组件构成要求，并采用外观检查与抽气检测的方法对5%的膨胀挤压筒进行抽检，确保膨胀挤压筒的质量与密封完好性。

**9.1.4**  施工前应完成对施工钻机、钻具、扩孔器、高压泥浆泵、注浆泵、水泵、搅浆桶、储水箱、水泥筒仓及计量设备等机电设备的调配、检查与试运行。

**9.1.5**  用于结构抗浮工程、基坑支护工程与边坡防护工程的囊式扩体锚杆的施工工艺流程宜按本标准附录E的规定执行。

## 9.2 钻孔与扩孔

**9.2.1**  囊式扩体锚杆施工前应根据设计要求、地质条件、场地环境与设备条件选择以下适宜的扩孔施工方法：

**1** 机械扩孔+囊袋挤压施工方法：利用各种类型的机械扩孔器在锚孔底部先行扩孔与注浆，再通过对膨胀挤压筒内进行定量压力灌注水泥浆完成联合扩孔施工；该施工方法适用于黏土、粉土、黄土、砂土、全风化与强风化岩层，不适用于软弱土层、砾石土与碎石土；

**2** 旋喷扩孔+囊袋挤压施工方法：利用高压水力切割技术在锚孔底部先行扩孔与注浆，再通过对膨胀挤压筒内进行定量压力灌注水泥浆完成联合扩孔施工；该施工方法适用于软弱土层、黏土、粉土、黄土、砂土、砾石土、碎石土、全风化与强风化岩层；

**3** 喷搅扩孔+囊袋挤压施工方法：利用旋喷与搅拌协同技术在锚孔底部先行扩孔与注浆，再通过对膨胀挤压筒内进行定量压力灌注水泥浆完成联合扩孔施工；该施工方法适用于本条的条款1和条款2所列出的全部岩土地层；

**4** 囊袋挤压施工方法：针对软弱松散土地层，在锚孔底部的设计位置放入膨胀挤压筒，再通过对膨胀挤压筒内进行水泥浆定量压力灌注，实现囊袋膨胀挤压完成扩孔施工。

**9.2.2**  锚杆施工钻机应根据锚固工程要求、设计要求、地质条件与场地环境选用适宜的长钻架钻机或普通锚杆钻机或小型地质钻机。

**9.2.3**  锚杆钻孔施工应符合下列规定：

**1** 选用对钻孔周边地层扰动较小的施工方法，并应按设计图纸的锚位、孔径、孔深、孔轴线空间走向和倾角进行钻孔施工；

**2** 钻孔施工应保持锚孔轴线与设定方位；

**3** 锚孔位置偏差应小于100mm，锚孔角度偏差应小于3º；

**4** 锚孔有效长度不应小于设计长度，且宜大于设计长度0.5m。

**9.2.4** 在下列地层中钻孔与扩孔施工时，宜采用Ф168mm套管护壁钻孔施工方法：

**1** 存在不稳定或易受扰动的土层；

**2** 存在受扰动易出现涌砂流土的粉砂与粉土层；

**3** 存在易塌孔的砂层或松散土层或碎石土层；

**4** 存在易缩径的淤泥或软黏土层；

**5** 存在受承压地下水或高水位影响的不稳定地层。

**9.2.5**  高压旋喷扩孔施工应符合下列规定：

**1** 采用高压旋喷扩孔工艺施工的扩孔直径宜通过现场试验测定，无试验资料时，可参照表9.2.5选用或依据当地工程经验确定；

表9.2.5 采用旋喷扩孔工艺施工的扩孔直径参考值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土层类别/标准贯入试验锤击数 | | 扩孔直径（m） | |
| 单管旋喷法 | 双管旋喷法或双重管旋喷法 |
| 黏性土 | 1 < *N* ≤5 | 0.5～0.8 | 0.8～1.2 |
| 6 < *N* ≤ 10 | 0.4～0.7 | 0.7～1.1 |
| 11 < *N* ≤ 20 | 0.3～0.6 | 0.6～0.9 |
| 砂土 | 0 < *N* ≤ 10 | 0.6～1.0 | 1.0～1.4 |
| 11 < *N* ≤ 20 | 0.5～0.9 | 0.9～1.3 |
| 21 < *N* ≤ 30 | 0.4～0.8 | 0.8～1.2 |
| 砾砂 | *N* ≤ 30 | 0.4～0.8 | 0.8～1.2 |

注： **1**  *N*为未经修正的标准贯入试验锤击数；

**2**  喷浆量75L/min～110L/min；

**3**  喷射压力25MPa～30MPa，旋喷管移动速度15cm/min～25cm/min、转速15r/min～20r/min。

**2**采用单管旋喷法的施工工艺参数：喷射压力应大于25MPa，旋喷管进尺或提升速度宜取15cm/min~25cm/min，旋喷管转速宜取15r/min~20r/min，喷浆量宜为75L/min～110L/min；

**3** 采用双管旋喷法或双重管旋喷法的施工工艺参数：喷射压力应大于25MPa，旋喷管进尺或提升速度宜取10cm/min～20cm/min，旋喷管转速宜取10r/min～20r/min，喷浆量宜为70L/min～100L/min，压缩空气压力宜取0.5MPa～0.7MPa，风量宜取1m3/min～3m3/min；

**4** 用于旋喷扩孔工艺的水质应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的有关规定；

**5** 用于旋喷水泥浆液配制的水泥，宜采用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥；

**6** 水泥浆的水灰比应按水泥土设计强度要求和地层性质确定，一般取W:C = 1.0~1.2；

**7** 连接高压泥浆泵与旋喷钻机的高压输浆管长度不宜大于100m；

**8** 旋喷扩孔应在设计扩体锚固段位置，按设计规定的工艺参数进行施工，旋喷管应均匀旋转、匀速提升或沉放，由上而下或由下而上进行高压旋喷扩孔施工；

**9** 旋喷扩孔采用水泥浆喷射扩孔工艺时，应至少上下往返喷射扩孔1遍；采用清水与水泥浆联合喷射扩孔工艺时，应先进行1遍清水喷射扩孔，后进行1~2遍水泥浆喷射扩孔；

**10**在高压旋喷扩孔施工过程中出现压力突变时，应先停机，待查明原因并在采取应对措施后，方可继续施工。

**9.2.6** 机械扩孔施工应符合下列规定：

**1** 机械扩孔施工工艺参数与机械扩孔钻具类型应根据设计扩孔直径、地质条件、钻机设备与扩孔钻具等因素确定；

**2** 机械扩孔钻具应根据地质条件选用可控扩孔直径的机械扩孔钻具、液控机械扩穴钻具或挤压张开式机械扩孔钻具；

**3** 机械扩孔钻具在使用前，应进行调试与张开直径检测，确保其能够满足设计扩孔直径要求，以及机械扩孔钻具的铰刀能够顺利受控张开与闭合；

**4** 机械扩孔施工应在设计扩体锚固段位置按选定的工艺参数进行扩孔，机械扩孔钻具在切割扩孔过程中应均匀旋转、匀速进退，扩孔钻具进尺速度宜采取10cm/min ~40cm/min，钻具旋转速度应根据地层的软硬性质确定；

**5** 机械扩孔施工采用的水泥浆液配置方法、用水、水泥、水灰比及水泥浆输送管长度要求应按本标准第9.2.5条的规定执行；

**6** 机械扩孔施工应在机械铰刀切割搅拌土体时，同步以0.5MPa至1.5MPa的注浆压力进行水泥浆液压灌，机械铰刀的切割搅拌应至少从上向下或从下向上往返2遍，确保形成拌合均匀的圆柱形水泥土扩体段；

**7** 在进行机械扩孔施工过程中，出现钻机摆动或转速突变等情况，应先停机，待查明原因，判断扩孔钻具能否继续正常施工后，再决定是否继续进行机械扩孔施工。

**9.2.7**  在具有承压地下水地层，或在淤泥、流砂地层或在地下水位高于锚杆孔口标高情况下进行钻孔与扩孔施工时，应对锚杆施工的可行性进行专项研究，提出有效应对措施，确定合理的施工工艺方案。

## 9.3 杆体制作与安放

**9.3.1** 囊式扩体锚杆的膨胀挤压筒与钢绞线或预应力螺纹钢筋的装配编锚应符合下列规定：

**1** 膨胀挤压筒应由工厂生产，出厂、运输、存放时应有无纺布与纸箱两层独立包装；

**2** 杆体装配编锚应在硬化地面或工作平台的专门作业区内进行；

**3** 钢筋或钢绞线切割应使用切割机，不得采用电弧或乙炔焰切割；

**4** 钢筋或钢绞线应通过内穿膨胀挤压筒的隔离支撑管进行装配与固定连接；

**5** 杆体与膨胀挤压筒的装配应符合设计几何尺寸与构造要求；

**6** 塑料波纹管与套管可采用熔接法接长，其几何尺寸与强度应满足设计要求；

**7** 永久性锚杆的杆体宜在出厂前或装配编锚前按设计要求进行防腐处理，采用涂料防腐时，应先对锚筋表面除锈，并应符合现行行业标准《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251的有关规定；

**8** 预应力锚杆应预留满足张拉锁定要求的锚筋外露段长度；

**9** 对于单根或多根锚筋的杆体，沿杆体轴线方向每隔1m～3m应设置一个对中支架或隔离支架，并应与杆体绑扎牢固；

**10**杆体底端应设置保护承载盘、锚具及锚筋的导向防护帽；

**11**在杆体的编锚、搬运、存放过程中，应防止杆体锈蚀及防护体系受损伤。

**9.3.2** 预应力螺纹钢筋杆体制作应符合下列规定：

**1** 钢筋在组装前应进行平直、除锈工作；

**2** 严禁在钢筋上进行任何电焊操作；

**3** 预应力螺纹钢筋、中空螺纹钢管的连接应采用满足设计强度要求的配套连接器与螺母锚具。

**9.3.3** 钢绞线杆体制作应符合下列规定：

**1** 永久性锚杆和可回收锚杆应采用无粘结钢绞线，或穿有PE套管的钢绞线；

**2** 采用U型锚的可回收锚杆杆体制作时应使用U型钢绞线弯折机，装配编锚时，应对成对钢绞线的外露端作出明显标记；

**3** 采用机械分离型拆芯机构的可回收锚杆，在钢绞线尾端与机械分离型拆芯机构锁定之前，应对钢绞线尾端进行切齐、除油与除锈，编锚时应确保钢绞线与内锚头夹片机构的可靠锁定；

**4** 可回收锚杆的外套管应长于钢绞线，装配编锚时应将外端套管口用栓塞封闭，避免水泥浆液流入套管内。

**9.3.4**  锚杆的下锚安放应符合下列要求：

**1** 下锚安放前，应按设计要求检查杆体的长度与编锚质量；

**2** 在锚孔的扩孔与孔内注浆工序完成后，应立即进行锚杆的下锚安放；

**3** 下锚安放时应谨慎操作，防止膨胀挤压筒、套管、波纹管、注浆管和锚筋涂层等受到损伤，如发生了损伤应进行修补或更换；

**4** 锚杆杆体插入锚孔内的长度允许偏差应满足本标准第11.2.3条的要求；

**5** 锚杆下锚安放就位至锚孔内的注浆体硬化前锚杆杆体不应受到扰动。

## 9.4 制浆与注浆

**9.4.1** 制浆设备与制浆工艺应符合下列规定：

**1** 制浆用水泥、水、添加剂等材料的使用量应进行准确计量；

**2** 制浆设备应由至少1个储水箱、2个搅浆桶、1个水泥贮仓、水泵、计量仪器及若干输浆管等组成，制浆设备系统应具备在1h内完成单根锚杆连续注浆的制浆能力；

**3** 制浆工艺应采用两级搅拌工艺，确保满足水泥浆的均匀性、水灰比、流动度等设计要求；

**4** 水泥浆制备宜分为三类，用于钻孔、扩孔施工的水泥浆，以及用于囊内压力灌注的水泥浆与后期锚孔补浆用的水泥浆。

**9.4.2**  制浆与注浆设备及功能应符合下列规定：

**1** 制浆与注浆设备应包括高压泥浆泵、注浆泵、水泵、控制电器、搅浆桶、储水箱、水泥贮仓、称量计、输送管等；

**2** 注浆设备应根据浆液种类、输送距离、设计注浆压力、连续注浆量等因素选用；

**3** 注浆浆液应搅拌均匀，达到设计要求的水灰比与流动度，并能满足锚杆施工对搅浆量的要求。

**9.4.3** 囊内注浆用水泥浆液制备与注浆工艺应符合下列规定：

**1** 囊内注浆用浆液应采用两级搅拌工艺配制无泌水水泥浆，水灰比应采用0.40～0.45，水泥浆在泵送前应采用过滤网进行过滤，防止发生管路堵塞；

**2** 无泌水水泥浆的搅拌量应不小于囊袋设计注浆量与注浆管路内浆量之和的1.2倍；

**3** 无泌水水泥浆的配制应使用添加剂，以保证其流动度达到200mm～240mm；

**4** 注浆压力宜控制在0.5MPa～1.5MPa，囊内水泥浆灌注充盈度宜控制在1.05～1.1范围内；

**5** 囊内压力注浆工序完成后应及时将内外注浆管通过活接头分离，并使用外注浆管对锚孔进行水泥浆补浆，补浆用水泥浆的水灰比宜为0.45～0.55；

**6** 锚孔补浆应达到孔口溢出的浆液与注入的浆液颜色和浓度一致时，方可停止锚孔补浆，在完成锚孔补浆后，如出现孔口注浆液面下沉应及时进行孔口补浆；

**7** 注浆泵与锚孔之间的输浆距离不宜大于100m；

**8** 水泥浆注浆工序完成后，应及时拆除、回收并清洗注浆管。

**9.4.4**  锚杆囊内注浆应在杆体安放后尽早进行，囊内注浆完成后应随即开始进行锚孔水泥浆补浆。

**9.4.5**  每施工30根锚杆或每台班应制做一组囊内注浆用的水泥注浆体试块，每组取70.7mm×70.7mm×70.7mm立方体试块3块，进行标准养护，并检测试块28d的立方体抗压强度标准值。

## 9.5 锚固节点防水

**9.5.1** 对于结构抗浮工程，当囊式扩体锚杆周边出现有地下水渗漏时应先采取降水措施将地下水位降至基底以下0.5m再进行锚固节点防水施工。

**9.5.2** 在锚固节点防水层施工前，应先清除基层上的泥土，并用清水冲洗干净。

**9.5.3**  采用涂料防水时，锚杆外端头部分应剔凿至锚杆细孔注浆体密实处，并用聚合物水泥防水砂浆找平至设计要求的层顶标高。

**9.5.4**  水泥基渗透结晶型防水涂料涂刷应连续均匀，待涂料表层呈半干状态时进行喷水养护，养护时间不宜少于3d。

**9.5.5**  止水胶带宜采用自粘式缓膨胀型遇水膨胀橡胶止水带，对施工后的成品应采取保护措施，止水带不得出现破损。

## 9.6 张拉与锁定

**9.6.1** 预应力囊式扩体锚杆的张拉与锁定应符合下列规定：

**1** 张拉锁定用锚具与连接器应符合现行国家标准《预应力用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的有关规定；

**2** 张拉使用的油泵设备、穿心千斤顶、压力传感器和位移计应事先进行标定与校准；

**3** 锚杆外锚头处的锚固作业应满足对锚杆施加预应力与锁定的要求；

**4** 张拉时扩体锚固段注浆体与承压混凝土台座的立方体抗压强度值应不小于20MPa，且应不小于扩体锚固段注浆体的设计立方体抗压强度标准值的80%；

**5** 张拉台座的承压面应平整，并与锚杆轴线方向垂直；

**6** 锚杆正式张拉前，应取20%的预计最大张拉荷载作为预加荷载，对锚杆预张拉2次，使锚杆杆体完全平直，各部位紧密接触；

**7** 锚杆张拉宜采用超张拉，超张拉荷载应为设计锁定荷载与预估损失荷载之和；

**8** 对于可回收锚杆的锁定锚具应优先采用自卸载锚具，以便于采用人工安全退锚工艺。

**9.6.2**  锚杆张拉与锁定应符合本标准第10章验收试验的有关规定。锚杆张拉宜以50kN/min~100kN/min的速率加荷至锁定荷载值锁定。

**9.6.3**  锁定时的张拉荷载宜考虑锚杆张拉作业时的张拉端锚具变形、预应力筋内缩以及自由段预应力筋摩擦引起的预应力损失影响。

## 9.7 施工质量控制与不合格锚杆处理

**9.7.1** 施工质量控制应贯穿囊式扩体锚杆施工全过程，并应有健全的质量管理体系及质量保证措施，严格控制施工工艺流程中各工序环节的施工质量，重视锚杆的质量检验和试验工作。

**9.7.2** 锚杆的施工孔位、锚孔孔径、打设角度、自由段长度、杆体长度与入土深度，原材料质检要求，膨胀挤压筒质检方法与要求，注浆量和注浆压力，注浆体立方体抗压强度以及锚杆承载力等质量检验控制标准应符合本标准第11章的有关规定。

**9.7.3** 对于已施工锚杆应做好成品保护工作，在施工过程中严禁施工机械设备碾压外锚头、弯折外露锚杆杆体；在锚杆顶部开挖过程中应防止挖掘机具碰撞锚杆细孔段，损伤锚杆的防腐保护层。

**9.7.4** 对于检验不合格的锚杆，应按实际试验荷载统计分析确定锚杆实际达到的抗拔承载力，并可降低标准使用。

**9.7.5** 按不合格锚杆所在区域或区段，核定锚杆群实际提供的抗拔承载力与设计要求的抗拔承载力的差值，并采用增补锚杆的方法补足在该区域或区段设计要求的该锚杆群的总设计抗拔承载力。

## 9.8 施工安全与环境保护

**9.8.1**  囊式扩体锚杆工程施工应建立完善的施工安全与环境保护体系，对施工全过程采取有效措施加强安全监管与环境保护，同时严格执行职业健康安全的有关规定。

**9.8.2** 施工安全保障体系应按现行行业标准《建筑施工安全检查标准》JGJ 59的有关规定建立安全管理制度，做到制度完善、责任到岗并严格执行。

**9.8.3**  在工程施工期间，应指派专职安全人员巡查不安全因素，及时查处因机械、用电、违规操作可能引发的安全隐患，杜绝安全事故发生，同时应对周边环境进行巡查与监测，确保施工对周边环境的影响维持在可控范围之内。

**9.8.4**  施工作业场地应平整、无杂物，在需要时应对软弱地基场地进行先期地基处理，对于边坡工程场地应事先确认边坡的稳定性，对于地下水位较高的场地应做好降水、排水设施准备。

**9.8.5**  现场机械、电气设备应有专人管理，锚杆钻机及辅助机械、电气设备应在开工前确认其完好与安全，并进行试运行，施工中应随时检查机械、电气设备运转是否正常。

**9.8.6**  在锚杆张拉作业时，施工人员不得站在张拉千斤顶的正前方或上下方。

**9.8.7**  在恶劣天气施工时，应采取必要的安全防护措施。

**9.8.8**  环境保护体系应以ISO14001环境管理体系和国家环境保护法律、法规为根本依据，提出关键目标、控制指标及具体措施，切实做好施工场地及周边的环境保护。

**9.8.9**  为消减地下环境污染而设计、施工的可回收锚杆的锚筋拆除应符合下列要求：

**1** 锚杆使用功能完成后，应先进行拆锚阶段的支护结构验算，并应在设计单位批准后方可进行锚筋拆除施工；

**2** 可回收锚杆的钢绞线应采用千斤顶退锚工艺或自卸载锚具人工退锚工艺，先行释放钢绞线拉力，并在安全条件下拆除钢绞线；

**3** 应根据可回收锚杆采用的不同类型的拆芯机构，分别使用人力旋转拉拔工艺或机械拉拔工艺将钢绞线安全拆除。

# 10 锚杆试验

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 囊式扩体锚杆试验应依据工程要求、试验目的及现场条件，进行基本试验与验收试验；需要时还可以进行测试蠕变工作性能、反复荷载下工作性能或预应力锚杆持有应力等试验；为锚杆设计和锚杆品质判定提供依据。

**10.1.2**  试验前应收集岩土工程勘察报告、调查资料、设计文件、试验类型、施工方案、施工工艺等，并在此基础上制定试验方案。

**10.1.3** 基本试验的锚杆除了锚筋规格及数量外，试验锚杆的设计参数、材料、组配件、施工工艺与参数、工程与水文地质条件等应与工程锚杆基本相同。

**10.1.4** 试验开始时间应符合下列规定：

**1** 在基本试验时，扩体锚固段的囊内注浆体强度与锚座结构强度应满足设计要求且不低于20MPa；

**2** 试验前的锚杆休止时间可根据地区经验确定，无成熟地区经验时，强风化岩地层不宜少于10d，非黏性土地层不宜少于15d，黏性土地层不宜少于25d*；*

**3** 在验收试验时，扩体锚固段的龄期不宜少于28d或其囊内注浆体强度满足设计要求。

**10.1.5**  试验锚杆应与混凝土垫层或锚座结构进行有效隔离，使其处于独立受力状态。

**10.1.6**  在锚杆正式试验开始前，应取最大试验荷载*P*p的20%作为预张拉荷载，对试验锚杆进行至少2次预张拉，当连续2次预张拉的伸长增量小于3mm时，可终止预张拉并完全卸荷，使锚杆杆体完全平直，各部位紧密接触，之后可开始正式试验。

**10.1.7**  最大试验荷载*P*p下的锚筋拉应力不应大于钢绞线的极限抗拉强度标准值的85%，或预应力螺纹钢筋屈服强度标准值的90%。

**10.1.8** 初始试验荷载*P*a宜取0.1*P*p，且不宜大于50kN。

**10.1.9**  试验装置及操作要求应符合本标准附录F.1的规定。

## 10.2 基本试验

**10.2.1**  永久性囊式扩体锚杆工程，及临时性囊式扩体锚杆工程在从未应用过的地层中使用时应进行基本试验。

**10.2.2**  基本试验可获得下列结果：

**1** 锚杆极限抗拔承载力；

**2** 地层－锚固体界面粘结力、扩体锚固段前端端承力与扩体锚固段底端局部受压承载力；

**3** 预应力锚杆的蠕变率*a；*

**4** 锚固体系的临界蠕变荷载*P*c ，最大至破坏荷载的蠕变特性以及正常使用极限状态下的变形特性。

**10.2.3** 破坏性试验锚杆应专门施做，不得使用工程锚杆，试验锚杆不得用于永久工程；非破坏性试验锚杆可专门施做，也可在同类型工程锚杆施工最早的几根锚杆中选用。

**10.2.4**  同类型锚杆的试验数量，破坏性与非破坏性试验均不应少于3根。

**10.2.5**  破坏性试验宜加载至极限破坏，最大试验荷载*P*p不应小于预估破坏荷载；非破坏性试验施加的*P*p宜取锚杆轴向拉力标准值的2倍。

**10.2.6**  基本试验设计宜符合下列规定：

**1** 为获得基于岩土体抗力的锚杆极限抗拔承载力，可采取抗拉强度更高的筋体、增加锚筋直径或数量，以及提高扩体锚固段底端局部受压承载力的措施；

**2** 为获得扩体锚固段底端局部受压承载力，可采取增加锚固体抗拔承载力、锚筋抗拉断承载力的措施，必要时可降低注浆体强度；

**3** 为获得扩体锚固段前端端承力，可采取增加扩体锚固段底端局部受压承载力、锚筋抗拉断承载力的措施；同时可以把细孔段全长设置为自由段，必要时可以缩短扩体锚固段长度；

**4** 有条件时宜在锚固段安装应力或应变传感器，或光纤量测点进行锚筋或锚固段注浆体的应力、应变分布及锚固段变形量测。

**10.2.7**  破坏性试验应采用分级多循环加卸载试验方法，其加荷、持荷、卸荷程序宜按图10.2.7-1执行，循环次数可根据预估承载力高低适当增减；非破坏性试验可采用分级多循环加卸载试验方法或单循环加卸载试验方法，单循环加卸载试验的加荷、持荷、卸荷程序宜按图10.2.7-2执行。



图10.2.7-1 多循环加卸载试验方法的加卸载程序

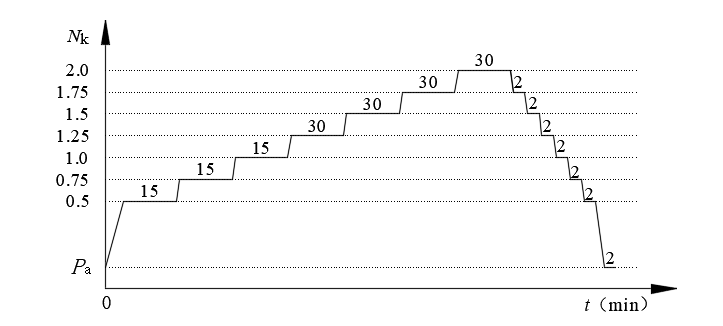


图10.2.7-2 单循环加卸载试验方法的加荷、持荷、卸荷程序

**10.2.8** 基本试验的外锚头位移相对稳定标准与外锚头位移记录宜符合下列规定：

**1** 对于多循环加卸载试验方法，每级荷载均应测读与记录外锚头位移；

**2** 每个循环峰值荷载的常规观测期为60min，其中最短观测期宜为10min～30min，延长观测期宜为30min～50min；宜连续记录或按时间1、2、3、5、10、15、20、30、45、60min记录外锚头位移，每级过程荷载的观测期宜为1min～2min；

**3** 每个循环加载至峰值时，最短观测期内的外锚头位移增量不应大于1.0mm；否则应进入延长观测期，延长观测期内外锚头位移增量不应大于1.0mm；否则宜进入延长蠕变观测期继续观测，连续记录或按间隔20min/次记录外锚头位移，当能够从位移增量－时间对数（Δ*s*－lg*t*）曲线上清晰判断出蠕变率*a*后，则可进入下一个循环试验，否则应至延长蠕变观测期结束，基本试验的延长蠕变观测期宜为300min；

**4** 蠕变率*a* ≤ 2.0mm时应判定为外锚头位移收敛稳定。

**10.2.9** 基本试验出现下列情况之一时，应判定锚杆破坏并终止加载：

**1** 锚杆筋体断裂；

**2** 采用多循环加卸载试验方法时，本次循环荷载产生的单位荷载下的外锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的5倍；

**3** 采用单循环加卸载试验方法时，本级荷载产生的单位荷载下的外锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的5倍；

**4** 蠕变率*a* ≥ 5.0mm。

**10.2.10** 破坏性试验加载至最大试验荷载*P*p后如未达到本标准第10.2.9条规定的终止加载条件，应继续分级循环加载试验直至破坏，每级荷载增量宜取0.05*P*p。

**10.2.11** 试验数据整理宜按本标准附录F.2的规定绘制荷载－锚头位移（*P* - *s*）、荷载－弹性位移（*P* - *s*e）、荷载－塑性位移（*P* - *s*p）、位移－时间对数（*s* - lg*t*）以及位移增量—时间对数（Δ*s* - lg*t*）等曲线。

**10.2.12** 可根据Δ*s*－lg*t*曲线及下式计算锚杆蠕变率*a*值：

 （10.2.12）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *a* | —— | 锚杆蠕变率（mm）； |
|  | *s*2、*s*1 | —— | *t*2、*t*1时刻所测读的外锚头位移（mm）； |
|  | *t*2、*t*1 | —— | 计算时间对数周期的终、始时刻（min），*t*1应从第16min以后起算。 |

**10.2.13** 锚杆临界蠕变荷载*P*c基本值宜按以下方式确定：

**1** 当蠕变率*a* ≥ 2.0mm时，取*a* = 2.0mm对应的荷载；

**2** 当蠕变率*a* ＜ 2.0mm时，取实际最大试验荷载*P*m。

**10.2.14** 锚杆极限抗拔承载力基本值应取本标准第10.2.9条规定的破坏荷载的前一级荷载，未出现本标准第10.2.9条规定的情况时，宜取实际最大试验荷载*P*m。

**10.2.15** 每组锚杆极限抗拔承载力的最大差值不大于30%时，应取最小值作为锚杆极限抗拔承载力；当最大差值大于30%时，应增加试验锚杆数量，按95%保证概率计算锚杆极限抗拔承载力。

**10.2.16** 锚杆极限抗拔承载力标准值与特征值确定应符合本标准附录F.3的规定。

**10.2.17** 锚杆刚度系数宜利用锚杆基本试验资料按下式计算：

 （10.2.16）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *k*R | —— | 通过锚杆试验获得的锚杆刚度系数（kN/mm）； |
|  | *P*2、*P*1 | —— | *P* -*s*曲线上的特定荷载（kN），取值方法宜符合本标准第10.2.18条的规定； |
|  | *s*2、*s*1 | —— | *P*2、*P*1所对应的外锚头位移（mm）。 |

**10.2.18** *P*2、*P*1及*k*R取值宜符合下列规定：

**1** *P*2宜取锚杆轴向拉力标准值*N*k，*P*1宜取初始试验荷载*P*a；数据离散性小且经验丰富时，预应力锚杆的*P*1也可取锁定荷载*P*0；

**2** 地层复杂或数据离散性较大时，*k*R宜分不同区域分别统计取值。

## 10.3 验收试验

**10.3.1** 囊式扩体锚杆工程必须进行验收试验，并应由第三方负责实施。

**10.3.2** 验收试验应用于确定验收荷载作用下的锚杆工作性状及锚杆抗拔性能，验收试验数量不应少于锚杆总数的5%且同类型锚杆不应少于3根，对有特殊要求的工程，应按设计要求增加验收试验的锚杆数量。

**10.3.3** 验收试验可采用单循环加卸载试验方法。

**10.3.4** 验收试验的最大试验荷载*P*p，永久锚杆应不小于锚杆轴向拉力标准值的1.5倍，临时锚杆应取锚杆轴向拉力标准值的1.2～1.4倍。

**10.3.5**  锚杆外锚头位移相对稳定标准与外锚头位移记录宜符合本标准第10.2.8条的规定。

**10.3.6** 验收试验的试验数据整理宜按本标准第10.2.11条的规定绘制相关试验曲线。

**10.3.7** 预应力锚杆验收合格的标准应符合下列规定之一：

**1** 锚杆的最大试验荷载*P*p应符合本标准第10.3.4条的规定，且外锚头位移应收敛稳定；

**2** 压力型锚杆在最大试验荷载*P*p作用下，实测外锚头的弹性位移量应大于锚杆杆体自由段长度的理论弹性伸长值的70%，且应小于杆体自由段长度的理论弹性伸长值的120%；

**3** 当设计有要求时，锚杆外锚头的总位移量应满足设计要求；

**4** 蠕变率*a* ≤ 2.0mm。

**10.3.8** 非预应锚杆验收合格的标准应符合下列规定之一：

**1** 锚杆的最大试验荷载*P*p应符合本标准第10.3.4条的规定，且外锚头位移应收敛稳定；

**2** 在锚杆抗拔承载力特征值荷载作用下，实测外锚头位移量应小于设计要求的锚杆工作位移允许值，设计无具体要求时，可参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关受弯混凝土板的挠度限值的规定取值；

**3** 蠕变率*a* ≤ 2.0mm；

**4** 以预应力螺纹钢筋为锚筋的抗浮锚杆，也可参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的有关抗拔桩的验收合格标准。

**10.3.9** 对检验不合格的锚杆宜按设计承载力降低后使用或弃用，并按本标准第9.7.4条与第9.7.5条的规定处理。

## 10.4 试验与检测报告

**10.4.1** 试验报告应包括本标准第10.2节与第10.3节规定的试验成果。

**10.4.2** 试验与检测报告尚应包含以下内容：

**1** 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理、施工、监督、检测及试验单位，基础、结构形式，设计要求，试验目的、依据、数量，试验日期、时间、温度等，试验人员信息；

**2** 试验方法、仪器设备与反力装置；

**3** 地层描述与典型地层地质柱状图；

**4** 锚杆的设计参数与大样图，锚杆施工工艺、编号、位置图、相关施工记录及异常情况记录；

**5** 试验过程说明与异常情况描述；

**6** 试验记录数据与相关表格；

**7** 主要技术参数的实测数据，计算分析曲线、表格与结果汇总；

**8** 基本试验的锚杆破坏形式，极限承载力标准值与破坏形式之间的对应关系；

**9** 试验检测报告的结论。

**10.4.3** 试验数据异常时应及时查找原因，必要时可增加试验数量。

**10.4.4**  试验因锚座结构或锚座持力层地基土破坏或发生不适于继续试验的较大变形、试验仪器设备损坏、天气不良等外界原因中止时，试验数据不宜作为正常成果进行统计与使用。

# 11 质量检验与验收

## 11.1 一般规定

**11.1.1**  囊式扩体锚杆工程施工前、施工中及竣工后，应根据设计与施工要求和质量合格条件分步分项进行质量检验与验收。

**11.1.2**  膨胀挤压筒的质量检验应符合下列规定：

**1** 应检查膨胀挤压筒的出厂合格证，并获取该装置注浆膨胀后的几何尺寸和囊内注浆量；

**2** 杆体制作编锚前，应采用外观检查与抽气检测的方法对膨胀挤压筒的密封完好性进行抽检，抽检数量不应少于产品数量的5%；

**3** 对于重大工程或地质条件复杂的工程，可根据设计要求进行膨胀挤压筒的地下埋设、注浆及开挖检验。

**11.1.3**  工程锚杆应在扩体锚固段注浆体达到28d龄期或囊内注浆体强度达到设计要求后，方可进行锚杆验收试验，检验锚杆的施工质量。

**11.1.4**  对于检验出的不合格工程锚杆应根据不同情况分别采取废弃、更换或修复的方法按本标准第9.7.4条与第9.7.5条的规定进行处置。

## 11.2 质量检验与验收标准

**11.2.1** 囊式扩体锚杆质量检验应包括下列内容：

**1** 原材料、产品与膨胀挤压筒的质量合格证检查；

**2** 现场原材料、产品与膨胀挤压筒质量检验与试验；

**3** 囊内注浆体的立方体抗压强度检验应采用70.7mm×70.7mm×70.7mm立方体试块。

**11.2.2**  锚杆抗拔承载力检验应符合本标准第10.3.2条的规定，锚杆验收试验出现不合格锚杆时，应增加锚杆试验数量，增加的锚杆试验数量应不少于不合格锚杆根数的2倍。

**11.2.3** 锚杆的工程质量检验标准应符合表11.2.3的规定。

表11.2.3 锚杆的工程质量检验与验收标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 序号 | 检验项目 | 允许偏差、允许值、要求 | 检查方法 |
| 主控  项目 | 1 | 抗拔承载力（kN） | 符合设计要求 | 验收试验 |
| 2 | 膨胀挤压筒密封完好性 | 密封完好/无破损 | 外观检查与抽气检测 |
| 3 | 囊内注浆体抗压强度（MPa） | 符合设计要求 | 试块送检 |
| 4 | 杆体插入锚孔长度（mm） | + 100 / - 60 | 钢尺测量 |
| 一般  项目 | 1 | 锚杆位置（mm） | ± 100 | 钢尺测量 |
| 2 | 钻孔倾斜度（º） | 3 | 现场测量 |
| 3 | 钻孔长度（mm） | 大于设计长度要求 | 钻杆长度测量 |
| 4 | 杆体总长度（mm） | +100 / -30 | 钢尺测量 |
| 5 | 扩体锚固段直径（mm） | ± 50 | 扩孔器尺寸测量 |
| 6 | 扩体锚固段长度（mm） | ± 100 | 钻杆长度测量 |
| 7 | 水灰比（囊内用水泥浆） | 0.4～0.5 | 比重计测量 |
| 8 | 囊袋注浆压力（MPa） | 0.5～1.5 | 压力表观测 |
| 9 | 囊袋注浆量充盈度 | ≥1.05 | 注浆量量测 |
| 10 | 锚固结构物变形（mm） | 符合设计要求 | 现场测量 |

## 11.3 工程验收

**11.3.1** 囊式扩体锚杆工程验收应提供下列资料：

**1** 岩土工程勘察报告及工程设计文件与变更文件；

**2** 工程用原材料、成品与膨胀挤压筒的质量合格证和质量检验、试验报告；

**3** 工程施工记录；

**4** 隐蔽工程检查验收记录；

**5** 基本试验、验收试验记录及报告；

**6** 工程重大问题处理文件；

**7** 竣工报告与竣工图。

# 附录A 锚杆杆体的几何参数与力学性能

表A.0.1 预应力螺纹钢筋的几何参数与力学性能

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 级别 | 公称直径  mm | 屈服强度  标准值*f*pyk  N/mm2 | 极限抗拉强度  标准值*f*ptk  N/mm2 | 抗拉强度  设计值*f*py  N/mm2 | 弹性模量  *E*s  N/mm2 |
| PSB785 | 18、25、32、34、36、38、40、42、50、60、65、75 | 785 | 980 | 650 | 2.00×105 |
| PSB830 | 830 | 1030 | 690 |
| PSB930 | 930 | 1080 | 770 |
| PSB1080 | 1080 | 1230 | 900 |
| PSB1200 | 1200 | 1330 | 1000 |

表A.0.2 常用钢绞线的几何参数与力学性能

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 种类 | 公称  直径  mm | 公称  横截面积  mm2 | 极限抗拉强度  标准值*f*ptk  N/mm2 | 抗拉强度  设计值*f*py  N/mm2 | 整根钢绞线  最大力  kN | 0.2%屈服力  kN |
| 1×7  （7股） | 9.50 | 54.8 | 1720 | 1220 | 94 | 83 |
| 11.10 | 74.2 | 128 | 113 |
| 12.70 | 98.7 | 170 | 150 |
| 15.20 | 140.0 | 241 | 212 |
| 17.80 | 191.0 | 327 | 288 |
| 9.50 | 54.8 | 1860 | 1320 | 102 | 90 |
| 11.10 | 74.2 | 138 | 121 |
| 12.70 | 98.7 | 184 | 162 |
| 15.20 | 140.0 | 260 | 229 |
| 17.80 | 191.0 | 355 | 311 |
| 21.60 | 285.0 | 530 | 466 |
| 9.50 | 54.8 | 1960 | 1390 | 107 | 94 |
| 11.10 | 74.2 | 145 | 128 |
| 12.70 | 98.7 | 193 | 170 |
| 15.20 | 140.0 | 274 | 241 |

注：钢绞线弹性模量*E*s一般可取195GPa，必要时可采用实测值。

# 附录B 瑞典条分法分析锚固边坡的整体稳定性

**B.0.1**  对于土质边坡或呈现碎裂结构、散体结构的风化岩锚固边坡的整体稳定性可按图B.0.1进行分析，边坡整体稳定安全系数*K*h可按下式计算：

 （B.0.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*h | —— | 边坡稳定安全系数； |
|  | Δ*G*ni | —— | 作用于第*i*条滑动面上的岩土体的垂直分力（kN）； |
|  | Δ*G*ti | —— | 作用于第*i*条滑动面上的岩土体的切向分力（kN）； |
|  | *f、c* | —— | 岩土体的摩擦系数与黏聚力标准值（kPa）; |
|  | Δ*L*i | —— | 第*i*条滑动面圆弧段长度（m）； |
|  | *R*aj | —— | 第*j*根预应力锚杆拉力特征值（kN）； |
|  | *R*anj | —— | 第*j*根预应力锚杆抗拔承载力特征值作用于滑动面上的垂直分量（kN）； |
|  | *R*atj | —— | 第*j*根预应力锚杆抗拔承载力特征值作用于滑动面上的切向分量（kN）。 |



图B.0.1 沿圆弧滑动的土层或风化岩层边坡的稳定性分析简图

# 附录C 极限平衡法分析锚固边坡的整体稳定性

**C.0.1** 对于可能产生平面滑动的岩土锚固边坡，其整体稳定安全系数（图C.0.1）可按下式分析计算：

 （C.0.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*h | —— | 边坡稳定安全系数； |
|  | *R*ai | —— | 第*i*根预应力锚杆拉力特征值（kN）； |
|  | *G* | —— | 边坡岩土体自重（kN）； |
|  | *N*G | —— | 垂直滑动面的反力（kN）； |
|  | *S* | —— | 滑动面上的摩擦力（kN）； |
|  | *c* | —— | 滑动面岩土体的黏聚力标准值（kPa）； |
|  | *φ* | —— | 滑动面岩土体的内摩擦角标准值（°）； |
|  | *A* | —— | 边坡岩土体滑动面面积（m2）； |
|  | *β* | —— | 岩土体滑动面与水平面的夹角（°）； |
|  | *θ* | —— | 预应力锚杆的倾角（°）； |
|  | *n* | —— | 预应力锚杆的根数。 |



图C.0.1 沿平面滑动的岩土锚固边坡的稳定性分析简图

# 附录D 重力坝、重力式挡土墙抗滑、抗倾覆稳定性计算

**D.0.1** 采用刚体极限平衡法进行基底面抗滑稳定性计算时，应分别进行基底抗剪断强度计算与抗剪强度计算，抗滑稳定安全系数取下列*K*h*’、K*h中的小值。

**1** 按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数*K*h*’*可按下式确定：

 （D.0.1-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*h’ | —— | 按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数，根据工程性质及安全等级，按现行国家与行业标准的有关规定取值，通常可取2.3～3.0； |
|  | *f’* | —— | 基底与岩土接触面的抗剪断摩擦系数，按现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》SL 319的有关规定取值； |
|  | *c*’ | —— | 基底与岩土接触面的抗剪断粘聚力（kPa)，按现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》SL 319的有关规定取值； |
|  | *A*i | —— | *i*段结构基底与岩土的接触面积（m2）； |
|  | *W*i | —— | 作用于*i*段结构上全部荷载（包括扬压力，下同）对滑动面的法向分力值（kN）； |
|  | *P*i | —— | 作用于*i*段结构上全部荷载对滑动面的切向分力值（kN）； |
|  | *N*kj | —— | 作用于*i*段结构上第*j*根锚杆拉力标准值对滑动面的法向分量（kN）。 |

**2**  按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数*K*h可按下式确定：

 （D.0.1-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*h | —— | 按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数，根据工程性质及安全等级，按现行国家与行业标准的有关规定取值,通常可取1.05～1.10； |
|  | *f* | —— | 基底与岩土接触面的抗剪摩擦系数，按现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》SL 319的有关规定取值。 |

**D.0.2** 抗倾覆稳定安全系数应按下式计算：

 （D.0.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K*Q | —— | 抗倾覆安全系数，根据工程性质及安全等级，按现行国家与行业标准的有关规定取值,无规定时可取1.6； |
|  | *MR* | —— | 锚固力作用前作用在结构体上对o点的抗倾覆力矩标准值之和（kN•m）； |
|  | *Mq* | —— | 锚固力作用前作用在结构体上对o点的倾覆力矩标准值之和（kN•m）； |
|  | *B*0 | —— | 锚杆力对o点的力臂（m）； |
|  | *N*k | —— | 锚杆轴向拉力标准值（kN）。 |



图D.0.2 重力坝或重力式挡土墙锚固结构的抗倾覆分析简图

# 附录E 囊式扩体锚杆的施工工艺流程



图E.0.1 用于基础锚固工程与结构抗浮工程的囊式扩体锚杆的施工工艺流程框图



图E.0.2 用于基坑支护工程的囊式扩体锚杆的施工工艺流程框图



图E.0.3 用于边坡防护工程的囊式扩体锚杆的施工工艺流程框图



图E.0.4 用于基坑支护的囊式扩体锚杆的施工工艺流程示意图

# 附录F 锚杆试验

# F.1 试验装置与操作要求

**F.1.1** 试验用的仪器设备应在检定或校准有效期内，试验前应检查调试。

**F.1.2**  锚杆试验应采用自动化控制系统，加载设备宜采用穿心式液压千斤顶及配套液压泵，蠕变试验宜采用带自动稳压装置的液压泵。千斤顶额定负荷宜为1.2 ~ 2.0倍的最大试验荷载*P*p，采用两台及以上千斤顶同步工作时，千斤顶型号及规格应相同。

**F.1.3**  各类传感器及仪器仪表的量程应与测量范围相适应，宜将测量值控制在满量程的25% ~ 80%，性能指标应符合下列规定：

**1** 力类传感器的准确度等级不应低于0.5级且分辨力不宜低于5kN；

**2** 压力表类仪表的精确度等级不应低于0.4级且分辨力不宜低于5kN；

**3** 位移传感器的准确度等级不应低于0.5级，位移测量仪器的分度值/分辨力不应低于0.01mm；

**4** 温度计的分度值不宜低于0.5℃ ；

**5** 秒表的分度值不宜低于0.5s。

**F.1.4**  反力装置要求及使用应符合下列规定：

**1** 锚杆试验可采用支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置或承压板式反力装置；

**2** 支座横梁反力装置不应与试验锚杆、外锚头各组配件及锚固结构接触，底脚边缘与试验锚杆中心距离不应小于1.5m；

**3** 支撑凳式反力装置不应与试验锚杆及锚具接触；

**4** 承压板式反力装置不应与试验锚杆接触；

**5** 反力装置提供的反力不得小于最大加载值的1.2倍，施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍，反力装置结构及组件应满足承载力和位移的要求。

**F.1.5** 荷载测量宜采用安装在千斤顶上的力类传感器直接测定，当采用通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定液压并换算荷载时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。

**F.1.6**  外锚头位移测量宜采用大量程位移传感器或大量程位移测量仪表，并应符合下列规定：

**1** 应安装2个位移测量仪表；

**2** 位移测量点宜设置在孔口附近的锚杆杆体或锚固体上，条件不允许时也可设置在千斤顶锚具夹持点附近的杆体上；

**3** 位移测量仪表的基座应稳固，应避免受到锚杆、反力装置、千斤顶、液压泵、油管的影响；

**4** 仪器仪表及传感器，以及固定和支撑测量仪表的夹具、基准梁及基座等，应尽量避免受到太阳照射、气温、振动等外界因素的影响。

**F.1.7** 试验系统安装及运行应符合下列规定：

**1** 千斤顶、反力装置及锚杆的中心线应重合；

**2** 系统安装后应采用试运转等方式对系统的有效性及测量仪器仪表的灵敏度进行测试检查；

**3** 加载及卸载速率应均匀连续，不应快于10kN/s，也不宜慢于1kN/s，每级荷载均应在60s内完成加卸载；

**4** 峰值荷载持荷期间荷载变化幅度不得超过该峰值荷载的1%及该级增减量的10%；

**5** 最大加载时，液压泵及油管的压力不应超过额定工作压力的80%。

# F.2 试验曲线

**F.2.1** 锚杆多循环加卸载法张拉试验宜按图F.2.1示意绘制*P* - *s*、*P* - *s*p及*P* - *s*e曲线，其中B、C为边界线，A、B、C分别为设计自由段长度、120%设计自由段长度与70%设计自由段长度的弹性位移的示意线段。



(a) *P* - *s*曲线 (b) *P* - *s*e及*P* - *s*p曲线

图F.2.1 锚杆多循环张拉试验*P* - *s*、*P* - *s*e与*P* - *s*p曲线

**F.2.2** 锚杆单循环加卸载法张拉试验宜按图F.2.2示意绘制*P* - *s*、*P* - *s*p及*P* - *s*e曲线。



(a) *P* - *s*曲线 (b) *P* - *s*e及*P* - *s*p曲线

图F.2.2 锚杆单循环张拉试验*P* - *s*、*P* - *s*e与*P* - *s*p曲线

**F.2.3** 锚杆试验实测资料在常规观测期（即最短观测期+延长观测期，60min）以内时，宜按图F.2.3（a）示意绘制位移－时间对数*s*－lg*t*曲线，若进入延长蠕变观测期或蠕变试验，则试验实测资料宜按图F.2.3（b）所示绘制位移增量－时间对数Δ*s*－lg*t*曲线。



图F.2.3 (a) *s*－lg*t*曲线



图F.2.3 (b) Δs－lgt曲线

# F.3 试验锚杆抗拔承载力确定方法

**F.3.1**  试验锚杆数量不少于6根时，可按式（F.3.1）计算极限抗拔承载力标准值：

 （F.3.1-1）

 （F.3.1-2）

 （F.3.1-3）

 （F.3.1-4）

 （F.3.1-5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *R*uj | —— | 极限抗拔承载力标准值（kN）； |
|  | *R*um | —— | 极限抗拔承载力平均值（kN）； |
|  | *x* | —— | 参与统计的试验锚杆数量； |
|  | *R*ui | —— | 第*i*条试验锚杆极限抗拔承载力基本值（kN）； |
|  | σf | —— | 标准差； |
|  | δ | —— | 变异系数； |
|  | *γ*s | —— | 统计修正系数。 |

**F.3.2** 试验锚杆数量少于6根时，应按下列方法计取极限抗拔承载力标准值：

**1** 极差不超过平均值的30%时，取试验结果中的最小值；

**2**  极差超过平均值的30%时，应分析原因，结合施工工艺、地层条件等工程具体情况综合确定；

**3**  不能查明极差过大的原因时，宜增加试验数量。

**F.3.3** 临界蠕变荷载标准值的统计计算方法宜参照F.3.1及F.3.2规定。

**F.3.4**  锚杆抗拔承载力特征值应取下列规定中的最小值：

**1** 基本试验获得的极限抗拔承载力标准值除以抗拔安全系数；

**2** 临界蠕变荷载标准值的85%（临时锚杆）或75%（永久锚杆）；

**3** 锚杆P-s曲线上的被锚固结构允许变形值对应的荷载。

# 本标准用词说明

**1** 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**）表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

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用词，采用“可”。

**2** 条文中指明按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1. 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065

2. 《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826

3. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

4. 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224

5. 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073

6. 《填充型环氧涂层钢绞线》JT/T 737

7. 《无粘结预应力钢绞线》JGJ 161

8. 《通用硅酸盐水泥》GB 175

9. 《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748

10.《岩土工程勘察规范》GB 50021

11.《混凝土用水标准》JGJ 63

12.《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

13.《混凝土外加剂》GB 8076

14.《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192

15.《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529

16.《土工合成材料测试规程》SL 235

17.《混凝土结构设计规范》GB 50010

18.《无粘结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430

19.《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046

20.《地下工程防水技术规范》GB 50108

21.《建筑砂浆基本性能试验方法》JGJ/T 70

22．《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

23.《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086

24.《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

25.《建筑施工安全检查标准》JGJ 59

26.《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

27.《混凝土重力坝设计规范》SL 319

28.《建筑地基基础设计规范》GB 50007

中国工程建设协会标准

囊式扩体锚杆技术标准

T/CECS \*\*\*-2019

# 条文说明

制订说明

《囊式扩体锚杆技术标准》CECS ×××-2019，经中国工程建设标准化协会于2019年×月×日公告批准发布。

本标准的主编单位是中冶建筑研究总院有限公司、建研地基基础工程有限责任公司，参加单位是中国铁道科学研究院、中国水利水电科学研究院、中国京冶工程技术有限公司、中冶京诚工程技术有限公司、中国施工企业管理协会、哈尔滨工业大学、同济大学、中国铁路设计集团有限公司、北京建工集团有限责任公司、国核电力规划设计研究院有限公司、宁夏城建设计研究院有限公司、深圳市工勘岩土集团有限公司、江苏省建筑科学研究院有限公司、浙江坤德创新岩土工程有限公司、山东威建岩土科技有限公司、冀北中原岩土工程有限公司、宁夏夯中岩土工程有限公司、无锡市安曼工程机械有限公司。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本标准时能够正确理解和执行条文规定，《囊式扩体锚杆技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明与解释。但是，本条文说明不具备与本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。

目录

[1 总 则 78](#_Toc533346026)

[3 基本规定 79](#_Toc533346027)

[3.1 一般规定 79](#_Toc533346028)

[3.3 岩土工程勘察要点 79](#_Toc533346029)

[4 锚杆构造 81](#_Toc533346030)

[4.1 结构构造 81](#_Toc533346031)

[4.2 材 料 81](#_Toc533346032)

[4.3 防 腐 82](#_Toc533346033)

[4.4 锚固节点防水构造 83](#_Toc533346034)

[5 锚杆设计 85](#_Toc533346035)

[5.1 一般规定 85](#_Toc533346036)

[5.2 锚杆抗拔承载力计算 88](#_Toc533346037)

[5.3 锚杆承载力验算 89](#_Toc533346038)

[5.4 锚杆初始预应力 90](#_Toc533346039)

[6 基坑及边坡锚固 91](#_Toc533346040)

[6.1 一般规定 91](#_Toc533346041)

[6.2 边坡锚固 91](#_Toc533346042)

[6.3 基坑支护结构锚固 93](#_Toc533346043)

[7 基础结构锚固 95](#_Toc533346044)

[7.1 一般规定 95](#_Toc533346045)

[7.2 高耸结构物基础锚固 95](#_Toc533346046)

[7.3 拱脚基础锚固 95](#_Toc533346047)

[7.4 重力坝、重力式挡土墙锚固 95](#_Toc533346048)

[8 抗浮结构锚固 97](#_Toc533346049)

[8.1 一般规定 97](#_Toc533346050)

[8.2 抗浮计算 98](#_Toc533346051)

[8.3 锚杆张拉与锁定 98](#_Toc533346052)

[8.4 锚杆与底板连接节点设计 99](#_Toc533346053)

[9 锚杆施工 100](#_Toc533346054)

[9.1 一般规定 100](#_Toc533346055)

[9.2 钻孔与扩孔 100](#_Toc533346056)

[9.3 杆体制作与安放 101](#_Toc533346057)

[9.4 制浆与注浆 101](#_Toc533346058)

[9.6 张拉与锁定 102](#_Toc533346059)

[10 锚杆试验 103](#_Toc533346060)

[10.1 一般规定 103](#_Toc533346061)

[10.2 基本试验 105](#_Toc533346062)

[10.3 验收试验 107](#_Toc533346063)

[10.4 试验与检测报告 107](#_Toc533346064)

[11 质量检验与验收 108](#_Toc533346065)

[11.1 一般规定 108](#_Toc533346066)

[11.2 质量检验与验收标准 108](#_Toc533346067)

# 

# 1 总 则

**1.0.1** 囊式扩体锚杆新技术体系面世已有10年历史，作为岩土扩体锚固技术，其具有承载力高、变形量小、安全度高、施工高效、质量可控可靠等优点，目前已在我国10多个省市自治区投入数百项岩土锚固工程应用。这项技术体系的技术、成本和环保优势突出，完全符合我国节省资源、节能减排和国民经济可持续发展的战略导向，为岩土锚固行业的技术应用开辟了一条新路。

为促进囊式扩体锚固技术的应用，实现设计与施工的规范化以及本条所提出的5个目标要求，把握核心技术要点，满足岩土锚固工程的新需求，编制了本标准。

**1.0.2** 明确了本标准的工程适用范围，包括基坑锚固支护、边坡锚固支护、基础结构锚固、抗浮结构锚固、河海港口锚固支护及交通工程锚固等工程领域。

**1.0.3**  本条是标准编制与使用的基本原则，囊式扩体锚固技术成功应用的核心是合理有效地利用岩土体的自身强度和自稳能力。因此，必须重视工程与水文地质勘察、施工技术条件以及地方经验收集，进而明确总体概念设计与结构优化设计。在施工过程中应切实做好施工质量管控，及时消除各种工程安全隐患。

**1.0.4**  本标准未明确处，按现行国家标准和相关行业标准执行。

# 3 基本规定

## 3.1 一般规定

**3.1.2** 本条所述设计使用期限，应与囊式扩体锚杆所服务的主体建构筑物的设计使用年限相同，以其相配套的锚杆材料、构造、防水、防腐要求也应满足相同的使用年限规定。

**3.1.4** 通常囊式扩体锚杆的扩体锚固段极限端承力大约占锚杆极限抗拔承载力的60%～80%，因此，扩体锚固段前端岩土体的性能对端阻强度的影响不可忽视。对永久性锚杆的扩体锚固段设置地层进行限制是因为在这些地层易产生蠕变，锚杆承载力也会随之出现显著降低，可能会导致因被锚固结构变形过大而无法满足工程安全与正常使用的要求。

**3.1.5**  特殊地层是指严重影响囊式扩体锚杆和锚固结构的力学稳定性和化学稳定性，以及施工特别困难的地层。如膨胀土、新近填土、湿陷性黄土、淤泥和淤泥质土、松散破碎风化岩层、承压水地层和强腐蚀性地层等。对于特殊地层，除应进行常规的岩土工程勘察和调查外，还应进行囊式扩体锚杆基本试验或锚杆性能综合试验，以确定锚杆在特殊地层中的适应性（地层的可钻性、可扩孔性、可注性、对施工方法的适应性）和长期工作性能的可靠性。

专项技术研究一般包括下列内容：

**1** 囊式扩体锚杆综合性能，包括锚杆极限承载力、蠕变性能、预应力损失等；

**2** 锚杆施工的可行性，确定施工设备、施工工艺、施工参数和必要的技术措施；

**3** 锚杆防水与防腐保护体系的有效性；

**4** 锚杆设计方案的经济性。

## 3.3 岩土工程勘察要点

**3.3.1**  岩土工程勘察报告作为囊式扩体锚杆设计的基础资料，应确保勘察质量与真实性。用于锚杆设计和施工的勘察不仅要涉及岩土性能，也需要对地形地貌、周边环境与场地稳定性做出阐述与评价，以便设计人员能够判定周围山体边坡与河、湖、海边岸是否稳定。另一方面也应该提供详细的水文地质勘察成果，以便设计人员能够进行边坡、抗浮、基坑支护、基础锚固设计、防腐防水设计，以及分析地下水赋存、动态与水质对锚固工程的影响。

调查工作主要包括既往资料、信息的收集，初步判断岩土锚固工程的可行性，并据此制定岩土工程勘察方案。锚杆的设计、施工需要勘察提供场地的地质分层、岩土力学特性、地下水状态、岩土体与地下水的化学性质等基础资料。对于特殊地层还应通过专项技术研究及现场试验确定本项技术应用的合理性及可行性。

**3.3.2**  锚杆设计与施工资料搜集要查明锚杆应用与施工的可行性，以及锚杆施工对周边环境（包括邻近既有建筑物、周边地下埋设物、周边道路管线等）带来的有害影响等，还应查明与邻地边界的距离，临时锚杆是否会超越建设红线需要拆除杆体；分析评估锚杆施工给周围环境带来的影响。

**3.3.3** 不同的锚固结构会对岩土工程勘察有不同的要求，应针对具体的锚固工程进行工程与水文地质勘察，并为锚固结构设计提供下列参数和条件：

**1** 锚固结构承担的荷载，包括结构荷载、水压力和土压力；

**2**  岩土物理力学参数，包括抗剪强度及变形计算参数；

**3** 锚杆防水与防腐设计条件；

**4** 锚杆施工的可行性及施工方法选择。

# 4 锚杆构造

## 4.1 结构构造

**4.1.1** 一个完整的囊式扩体锚杆承载结构必须包括膨胀挤压筒装置、锚筋及相应的囊内注浆体及锚孔注浆体、锚具、隔离支架、外锚头和各类套管等部件。囊式扩体锚固技术主要应用类型为压力型锚杆，其有利于施加预应力，并具有良好的防腐性能。囊式扩体锚固技术也适用于拉压型锚杆，其构造特点在于受拉锚筋位于膨胀挤压筒的尾端以下部位，但其经济性不佳。此外，应该指出囊式扩体锚固技术不适用于拉力型锚杆。

**4.1.2~4.1.3** 膨胀挤压筒为囊式扩体锚杆的核心装置，主要包括可折叠式膨胀囊袋、上套筒组件、下套筒组件、内注浆管、隔离支撑管、承载盘、单向注浆阀、抽气检测阀、控压排气阀和导向帽等组配件。只有通过上述全部组配件的组合，才能够使膨胀挤压筒实现控压排气、浆液止回保压、囊仓封闭与多重防腐等重要功能，并实现提高锚杆锚固力、限制变形、控制质量，确保锚杆安全耐久与施工高效的目的。如果膨胀挤压筒缺失任何一个组配件，都会导致其重要功能的丧失，从而引发承载力大幅度下降，甚至发生工程事故。

在工程实践中，必须采用外观检查与抽气检测严格核查膨胀挤压筒的密闭性，从而通过对囊仓控压排气提高囊内注浆浆液的充盈度，利用止回保压机构维持囊内注浆浆液的体积与压力，采用隔绝管道技术实施锚筋的现场快速组装。只有配备上述全部的结构组配件才能够彻底解决囊仓密封质量检测、囊内气体残留、浆液渗漏减压、装置全封闭和尾端局部承压等技术难题，确保锚杆的高承载品质与防腐耐久性能。

## 4.2 材 料

**4.2.3** 囊式扩体锚杆的锚筋宜采用预应力螺纹钢筋即为原来的精轧螺纹钢筋，其抗拉强度远高于普通钢筋，联接可靠、构造简单、便于接长。由于这类锚杆的抗拔承载力高，从技术与经济的角度来看，不宜使用普通钢筋作为筋体，但在特殊情况下也可以采用多根普通钢筋替代单根预应力螺纹钢筋。

**4.2.4** 钢绞线具有高强度、低松弛的优点，与普通钢筋相比可节省大量钢材，且便于运输和现场应用，此外，杆体张拉时弹性位移量大，受地层蠕变和锚固结构变形造成的预应力损失小，是理想的预应力锚杆杆体筋材。

当设计采用无粘结钢绞线，工程较小且有条件时，可以在现场对裸线进行加工，外套软管宜采用高密度聚乙烯（HDPE）软管或聚丙烯（PP）软管，永久性锚杆不得采用聚氯乙烯（PVC）软管。高密度聚乙烯（HDPE）软管和聚丙烯（PP）软管均具有耐腐蚀、内壁光滑、强度高、韧性好、重量轻等优点，聚丙烯的使用环境温度不宜低于0℃；而聚氯乙烯（PVC）软管强度较低，高温和低温时化学稳定性差，易脆化、老化。防腐润滑脂应满足设计和有关规范要求。除修复的情况之外，钢绞线不得连接。在修复时若须对钢绞线进行连接，应采取可靠的连接方式并须经过试验验证。

**4.2.5**  注浆用水泥应依据地下水与岩土体对建筑材料的腐蚀性及腐蚀等级进行选用，且要求其强度等级不得低于42.5。为了加快注浆体的凝结，必要时可使用早强水泥，但不宜采用高铝水泥，因其后期强度降低较大。

**4.2.6**  根据《混凝土用水标准》JGJ 63：水的PH值不得小于4.0，不溶物 < 2000mg / l，可溶物 < 2000 mg / l，氯化物（以CL离子计）< 350 ml/l，硫酸盐（以SO4计）< 600ml / l，硫化物（以S2-计）< 100 mg / l，使用待拌检验水与蒸馏水配制的水泥浆体28d 抗压强度比不得低于90%。

**4.2.8**  外加剂使用必须慎重，应充分考虑岩土和地下水成份、水泥特性及其适应性，水泥浆中的氯化物、硫酸盐、硝酸盐总量不得超过外加剂重量的0.1%。为保证水泥浆流动度满足200mm～240mm要求，需要使用减水剂。使用外加剂时必须通过试验确认，不得影响浆体强度和粘结性能，以及杆体的耐久性。同时使用2种以上外加剂时，应进行外加剂兼容性试验。

**4.2.9**  为避免套管端口密封不严、漏浆，或者套管破损引起漏浆而影响自由段的自由变形，自由段杆体应涂以润滑脂后再安装套管，也可以在套管下端口部位采用胶带缠绕封闭措施。

**4.2.13** 囊袋制作采用特种土工织物，由于囊内注浆对浆液的充盈度及注浆压力有较高要求，因此要求囊袋用土工织物的断裂强力和断裂伸长率指标应达到本条要求的各项指标。

## 4.3 防 腐

**4.3.1** 设计应按囊式扩体锚杆的服务年限及所处水土环境的腐蚀性程度来确定锚杆的防护等级与标准，满足锚杆在使用期内的化学稳定性，这也是国内外相关标准对锚杆防腐保护的基本要求。

**4.3.2** 地层水土介质对锚杆的腐蚀性评价，可根据环境类型、地层渗透性、地下水位动态变化、岩土与地下水的腐蚀成份含量按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021分为微、弱、中、强四个腐蚀等级。对于长期处于最低地下水位以下的锚杆应按长期浸水处理。

**4.3.3~4.3.4**  埋设在地下的锚杆的长期工作性能与使用寿命常取决于它的耐久性，而对锚杆寿命的最大威胁来自水土对锚筋的腐蚀。预应力锚杆埋设在地层深部，工作条件恶劣，易受腐蚀介质侵蚀。此外，对于钢绞线，其抗拉强度高，直径小，在处于高拉应力工作状态时还易出现应力腐蚀。国内外因锚杆防腐保护构造设计施工不当或锚杆工作应力水平过高，常导致锚杆杆体、外锚头部位受到腐蚀，筋体有效截面积减小，杆体抗拉承载力降低乃至锚筋断裂，引发了不少岩土锚固工程的重大事故。因此，为规避锚杆腐蚀破坏风险，确保岩土锚固工程的长期稳定性，本条对永久性锚杆及腐蚀环境中的临时性锚杆的防腐保护构造设计给出了明确严格的规定。

**4.3.5** 防腐是永久性锚杆必须面对的重大技术难题。除采用非金属材料外，解决钢锚杆腐蚀破坏的根本方法是将锚杆杆体封装在不透水、气的保护层内，以防止具有腐蚀性的土、水、气介质对金属杆体的腐蚀。工程中常用的防腐保护层主要分为三类：套管保护层、防腐喷涂料保护层与注浆体保护层。对于防腐等级为Ⅰ级的锚杆，国际标准一般要求采用双层物理屏障。对于压力型囊式扩体锚杆，由于使用了膨胀挤压筒装置，其扩体锚固段与内锚头部分采用了多重防腐保护措施。压力型锚杆的预应力螺纹钢筋杆体也可以在细孔段采用全长无粘结保护层技术，细孔锚固段与扩体锚固段均可处于受压状态，减少了锚筋周围的注浆体开裂。通常采用这种上部单层防护、下部多重防护技术是能够满足防腐构造要求的。但由于国内施工队伍良莠不齐、施工机具设备差异大，施工参数难以严格照章实施，无法保障现场施工质量完全可控可靠；因此本标准认为应对防腐等级为Ⅰ级的锚杆采用严格的双层保护措施。

## 4.4 锚固节点防水构造

**4.4.1~4.4.3** 抗浮锚杆的锚固节点防水构造属于锚固结构体系的一部分，应根据其防水等级采用不同的防水构造与措施，且不应低于对应的地下结构工程的防水等级。对于需要穿过基础底板的预应力锚筋，必须采用一级防水等级的构造措施，强化锚固防水节点的技术措施。对于某些高水位环境条件下的地下结构工程可在结构基础底板的上部设置渗排水层及积水井，以便疏排可能产生的锚固节点渗漏水。对于非预应力抗浮锚杆，锚筋大多采用预应力螺纹钢筋，锚固节点通常利用螺母锁定连接锚筋的承压板，并将锚杆外锚头全部埋置于基础底板之内，这种防水构造措施效果相对良好可控。

# 5 锚杆设计

## 5.1 一般规定

**5.1.2** 压力型囊式扩体锚杆的破坏模式有三种：①锚固体与岩土体界面的粘结破坏及锚固体前端面岩土体的剪切破坏、②筋体断裂破坏、③扩体锚固段底端的注浆体压碎破坏；因此，其极限承载力计算应涵盖这三部分内容。对于压力型锚杆不需要进行锚固段注浆体与筋体间的粘结破坏计算。在锚杆设计中，通过锚筋材料强度与截面尺寸选择，以及通过扩体锚固段注浆体的立方体抗压强度控制，完全能够规避第②种和第③种锚杆破坏情况发生。因此在本标准中，锚杆的极限承载力称为极限抗拔承载力，其大小取决于岩土体对锚固段的侧阻力与端阻力贡献。此外，锚杆设计中还需要注意在正常使用极限状态条件下对被锚固结构的变形限值要求；实质上，若在设计中对被锚固结构允许变形有明确要求时，锚杆的抗拔承载力特征值宜取荷载—位移曲线上被锚固结构允许变形对应的荷载及按极限抗拔承载力除以抗拔安全系数结果两者之中的较小值。

**5.1.5~5.1.7**  锚杆锚固段注浆体与岩土体间的粘结抗拔安全系数，取决于锚杆的服务年限、锚杆破坏后果与地层蠕变特性等因素。本标准关于锚杆抗拔安全系数的规定是参照国内外相关锚杆标准所采用的锚杆抗拔安全系数（表1）及多年来囊式扩体锚杆工程使用效果提出的。在具体设计中，结构重要性系数*γ*0通常取1.0~1.1；作用基本组合的综合分项系数*γ*F分别取1.25（临时锚杆）、1.35（永久荷载组合控制的锚杆）、1.4（风荷载控制的锚杆）。锚杆抗拔安全系数K应依据5.1.5条的规定选取。

**表1 岩土锚杆锚固段注浆体与地层间的抗拔安全系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 国名/协会名 | 标准名称与编制单位 | 最小安全系数 | |
| 临时锚杆 | 永久锚杆 |
| 中国 | 《岩土锚杆（索）技术规程》CECS22：2005  （中冶建筑研究总院主编） | 1.4、1.6、1.8 | 1.8、2.0、2.2 |
| 瑞士 | SN533-191 地层锚杆  （瑞士工程建筑学会） | 1.3、1.5、1.8 | 1.6、1.8、2.0 |
| 英国 | BSI-8081 岩土锚杆实践规范（1989）  （英国标准学会） | 2.0 ~ 2.5 | 3.0 |
| 美国 | PTI岩层与土层预应力锚杆建议（1996）  （美国后张预应力混凝土学会） | — | 2.0 |
| 国际预应力  混凝土协会 | FIP 预应力灌浆锚杆设计施工规范  （国际预应力混凝土协会） | — | 2.0 |
| 日本 | 地锚设计施工标准规程及说明JGS4101-2012  （日本地盘工学会） | 1.5 | 2.5 |
| 日本 | 建筑地基锚杆设计施工指南与解说（2001）  （日本建筑学会） | 1.5、2.0 | 3.0 |

**5.1.10** 扩体锚固段的直径、长度与埋深、施工工艺参数以及膨胀挤压筒的密封完好性均与锚杆承载力密切相关，设计文件明确规定有关设计要求、施工工艺参数和膨胀挤压筒检测方法有利于施工管理和质检人员现场监督检查，控制工程质量，也使施工人员有据可依。

**5.1.11~5.1.12** 根据国内外锚杆标准（见表2），锚杆的锚固段合理长度为3m ~ 10m，本条规定细孔锚固段长度宜为1m ~ 6m，扩体锚固段长度宜为1.5m ~ 4m，并要求自由段长度不小于5m；基于英国A. D. Barley对锚杆荷载传递理论的研究成果，本条规定降低了锚固段过长对粘结强度的影响。

**表2 国内外锚杆标准关于锚固段合理长度的建议**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 国名/协会名 | 标准名称与编制单位 | 建议锚杆锚固段长度 |
| 英国 | BSI-8081 岩土锚杆实践规范（1989）  （英国标准学会） | 3m ~ 10m |
| 国际预应力混凝土协会 | FIP 预应力灌浆锚杆设计施工规范  （国际预应力混凝土协会） | 3m ~ 10m |
| 美国 | PTI岩层与土层预应力锚杆建议（1996）  （美国后张预应力混凝土学会） | 钢绞线：4.5m ~ 10m |
| 钢筋：3m ~ 10m |
| 日本 | 地锚设计施工标准规程及说明JGS4101-2012  （日本地盘工学会） | 3m ~ 10m |
| 瑞士 | SN533-191 地层锚杆  （瑞士工程建筑学会编） | 砂性土和岩石：4m ~ 7m |
| 中国 | 《岩土锚杆（索）技术规程》CECS22：2005  （中冶建筑研究总院主编） | 岩石：3m ~ 8m  土层：6m ~ 12m |

经过数百个室内模型试验与现场足尺试验研究，发现囊式扩体锚杆具有两种不同的破坏模式：浅埋扩体锚杆的整体剪切破坏模式和深埋扩体锚杆的局部剪切破坏模式。浅埋扩体锚杆的荷载—位移特征曲线与传统的等直径锚杆类似，其具有峰值荷载与应变软化的力学特征；而深埋扩体锚杆的荷载—位移特征曲线则呈现出单调上升的承载性状与应变硬化的力学特征，这种独特的承载力学特性源自于扩体锚固段端承力的贡献，也是囊式扩体锚杆拥有更大承载力与更高安全度的可靠基础。试验成果表明可以采用临界长径比L/D = 9 ~ 10（L为细孔长度、D为扩体锚固段直径）作为深浅埋扩体锚杆的分界判据，为了安全起见，本条规定了细孔长度与扩体段直径之比L/D=11为分界判据，即临界长径比L/D≥11时定义为深埋扩体锚杆，L/D＜11为浅埋扩体锚杆。在竖直、水平、倾斜锚杆工程设计中要求不得采用浅埋扩体锚杆；从工程角度来看，深埋扩体锚杆的临界长径比L/D≥11的判据很容易满足。此外，在工程设计中也必须保证扩体锚固段的上覆土层厚度不小于7m。

根据锚杆的作用原理，对于不同类型的工程与地质条件，设计锚杆倾角是不同的，设计确定的锚杆倾角原则上应有利于满足锚固工程的抗滑、抗倾或抗浮要求。

锚杆设置应充分考虑周边建构筑物基础的形式、埋深、位置情况，并应防止锚杆设置对相邻基础或桩基产生不利影响，扩体锚固段与相邻基础的净距不得小于3m是基本要求。

采用150mm ~ 220mm的细孔直径有利于杆体束沉放，同时有利于增加锚筋之间的间隙，并有利于锚筋被足够厚的注浆体所包裹，提高锚杆的防腐性能。另一方面，对于采用较大细孔直径的锚杆，且杆体为预应力螺纹钢筋时，锚杆也可视为微型桩，其能够承载较小的竖向压力。

岩土锚杆通常是以群体形式出现的，如果锚杆布置过密，锚杆受力区的重叠会引起岩土体的应力叠加并导致锚杆的附加塑性变形，从而降低锚杆的极限抗拔力。由于囊式扩体锚杆的抗拔承载力较大，其端阻力的影响范围也远远大于普通锚杆单纯侧摩阻力的影响范围，因此扩体锚杆的间距应比普通锚杆适当加大。为避免出现“群锚效应”，本条规定锚杆最小间距不应小于3倍的扩体锚固段直径，且不应小于2m，竖向间距不宜小于3m。如锚杆间距较小时，还可以采用不同倾角或不同长度的锚杆设计方案，见图1。



(a) 不同倾角的锚杆 (b) 不同长度的锚杆

图1 间距较小锚杆的处理方式

## 5.2 锚杆抗拔承载力计算

**5.2.1**  囊式扩体锚杆的受力机理极为复杂，目前学术界和工程界对其承载力学性状掌握得尚不充分。在工程实践中，设计人员基于经验、半经验和理论等计算方法获得的扩体锚杆承载力结果相差较大。然而设计人员在初步设计阶段，尚无现场试验结果之前需要对锚杆承载力进行预估时，可以结合当地工程经验或工程类比经验，并采用本节提供的计算方法对锚杆极限抗拔承载力进行估算。

囊式扩体锚杆承载力与岩土性质、锚杆材料、施工机具、施工工艺及施工参数等因素密切相关，现场施做的扩体锚固段的空间形态与几何尺寸难以完全与设计相一致，且扩体锚杆的各部分锚固力不是同时发挥作用的，导致锚杆承载力计算结果具有不确定性。目前，针对特定工程，采用国内外不同扩体锚杆承载力计算公式的计算结果也不尽相同，因此，可靠的囊式扩体锚杆极限承载力最终应通过现场破坏性基本试验确定。本节所提供的四种计算方法适用于确定基于岩土体抗力的锚杆极限抗拔承载力。这里需要提前说明，针对四种计算方法所提供的极限粘结强度、极限端阻强度、经验换算系数等建议值的值域相对较窄，这是为了便于设计人员使用。而在国际标准中，这些建议值的取值范围较大。因此，建议设计人员在锚杆工程设计中，使用工程类比法，吸收地方经验，并通过工程经验的积累，运用岩土工程师自己的经验判断，来选取合理的计算参数。

**5.2.2**  扩体锚杆的极限抗拔承载力与岩土性质、扩体段埋深和尺寸有关，静力分析法主要基于《扩大头锚杆的力学机制和计算方法》（《岩土力学》2010，VoL.31 No.5：1359-1367）的理论。和现行行业标准《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T282相比，本条修改并扩充了注浆体与岩土层之间的极限粘结强度标准值*f*mg，以及计算参数ξ的取值范围，提高了锚杆极限抗拔承载力计算结果的准确性。

**5.2.3** 为使扩体锚杆极限抗拔承载力估算工作便捷、高效、易用，中冶建筑研究总院有限公司提出的经验参数法借鉴了《建筑桩基技术规范》JGJ94的桩基承载力计算方法的技术手段，并通过大量锚杆现场拉拔试验结果反算，提出了囊式扩体锚杆承载力的计算经验参数表5.2.3。在经验参数计算方法使用过程中，应根据当地的岩土类别与岩土状态，并依据设计人员的工程经验，进行合理的计算参数选取。今后还需要在积累经验参数的取值经验基础上，逐步提升计算结果的准确性。

**5.2.4** 岩土工程原位试验结果通常能够直接、准确地反映工程场地地层的力学性能。欧洲、北美及日本在上个世纪就将岩土地层原位试验结果引入桩或锚杆的承载力计算中。为了将这种有益的设计理念引入国内，中冶建筑研究总院有限公司提出了基于标准贯入试验实测数据的囊式扩体锚杆极限抗拔承载力计算方法，并给出了基于标贯击数的极限粘结强度标准值和极限端阻强度标准值的经验换算系数αd、αD、αe。作为原位测试计算方法，提请设计人员在应用时，注意结合当地岩土条件与工程经验，不断摸索3个经验换算系数范围内的取值经验，并逐步提升计算结果的准确性。

**5.2.5**  英国标准《British standard code of practice for ground anchorages》BS8081-2015针对黏土地层中的扩体锚杆提出了极限抗拔承载力的两种计算方法，这两种计算方法基于Littlejohn(1970)、Bassett(1970)、Bastaple(1974)和Neely与Montague-Jones(1974)等人的计算理论。Bassett(1970)和Buttling(1977)通过研究和对比现场试验实测结果与公式计算结果发现，在工程实践中，会出现施工技术和扩体段几何尺寸无法达到设计要求的情况，因此认为有必要对公式中的锚固段侧摩阻力和端阻力进行折减，即应乘以一个0.75～0.95的综合经验折减系数以保证锚固工程的安全性。此外，Littlejohn(1970)研究认为在某些特殊条件下，例如在锚杆扩体段附近存在裂隙黏土或砂土夹层时，则应对计算公式中的锚固段侧摩阻力和端承力进行50%的折减。然而，对囊式扩体锚杆来说，其施工设备与施工质量控制远好于40年前传统的机械扩孔锚杆与旋喷扩孔锚杆，因此，本条未提及承载力折减问题，并且提高了ca的取值范围。

应该指出，在工程中采用这种经验关系方法计算扩体锚杆承载力时，cu和cub为不同部位的土体不排水抗剪强度指标，通常采用黏土不排水三轴试验获取；而扩体锚固段的端阻力系数一般可取Nc=11，但也可以在8~14之间依据工程经验合理选择。

## 5.3 锚杆承载力验算

**5.3.2**  预应力锚杆属于后张预应力构件，由于预应力锚杆长年埋置在岩土层中，工作条件恶劣，杆体腐蚀与应力腐蚀风险大，国外还曾有工程由于锚筋应力大于0.6*f*ptk而出现锚杆破坏的实例。因此，在锚杆杆体受拉承载力验算中要求采用预应力螺纹钢筋及钢绞线的抗拉强度设计值指标进行锚筋横截面积计算。

**5.3.3** 常用囊式扩体锚杆的底部承载盘直径为120mm，而扩体锚固段注浆体直径一般在500mm ~ 800mm之间，作为压力型锚杆必须对扩体锚固段注浆体的局部承压能力进行验算。《混凝土结构设计规范》GB 50010中的局部受压承载力计算公式并不适用于压力型囊式扩体锚杆，因为锚杆的扩体锚固段注浆体是在有侧限围压状态下工作的。实际上，地层侧限围压对扩体锚固段注浆体局部受压承载力提高具有极大的贡献，因此公式中应引入较大且合理的注浆体抗压强度增大系数*η*。本条规定认为：

（1）工程实践表明，压力型囊式扩体锚杆的局部受压承载力计算不应采用《混凝土结构设计规范》GB 50010提供的关于混凝土结构局部受压承载力计算公式，因为锚杆的局部受压承载力的试验值远高于《混凝土结构设计规范》GB 50010的计算值。

（2）公式（5.3.3）没有采用注浆体的轴心抗压强度设计值，而是采用了注浆体的立方体抗压强度标准值，这样做既简化了工地的现场操作，同时也使计算简单易行。

（3）注浆体抗压强度增大系数*η*应是试验值，主要取决于扩体锚固段注浆体所受到的地层围压大小，而地层围压主要与扩体锚固段埋置深度及岩土性质有关。200多项工程实践及专项试验结果表明：在扩体锚固段具有一定埋置深度时（即符合本标准的有关规定时），标准贯入试验锤击数7 ~ 8击以上的地层可以提供不小于1400kN的锚杆极限抗拔承载力，淤泥质土等软弱地层提供的锚杆极限抗拔承载力也不小于600kN，据此按公式（5.3.3）中的局部压力标准值*N*k’反算，注浆体抗压强度增大系数*η*在较好地层中不小于4.0，软弱地层中不小于2.0；而且在工程项目中均未发生过扩体锚固段注浆体的局部压碎破坏。关于*η*上限值目前业界尚不清楚，但根据英国A. D. Barley等人所做试验研究表明：无侧限状态下抗压强度仅为40MPa ~ 70MPa的注浆体，在有侧限围压条件下能够承受200MPa ~ 800MPa的压应力，其差异高达5 ~ 11倍。以上分析说明本条规定的注浆体抗压强度增大系数*η*取2.0 ~ 4.0是偏于安全的。

## 5.4 锚杆初始预应力

**5.4.1~5.4.2**  本条对预应力锚杆的初始张拉荷载作出了规定，设计施工技术人员可以根据岩土地层或被锚固结构的位移控制要求选取初始张拉荷载；其建议值为锚杆抗拔承载力特征值的60% ~ 85%。另一方面，在对锚杆施加初始张拉荷载时，锚筋的张拉应力必须小于张拉控制应力σcon。

# 6 基坑及边坡锚固

## 6.1 一般规定

**6.1.1~6.1.3**  预应力囊式扩体锚杆适用于边坡防护与基坑支护工程，因其能够充分调动深部岩土体的自稳能力、提高锚固结构的安全度，同时还有利于保护潜在滑裂面的固有强度。无论是边坡还是基坑工程都应在设计与施工中明确分区开挖、随挖随锚、快速跟进，同时也要及时做好防、排、降水工作。对于工程与水文地质条件复杂的重要工程应该增加工程监测，在岩土锚固施工过程中应注意对原有设计进行动态调整与修正。

**6.1.4**  边坡锚固工程和基坑支护结构的安全等级应按本标准5.1.5条的规定划分。对基坑工程而言，当基坑周边受开挖影响范围内存在既有建构筑物、重要道路或地下管线，或场地地质条件复杂、缺少同类地质条件下的类似工程经验，且支护结构破坏、基坑失稳或变形过大危及人的生命，经济损失、社会或环境影响很大时，安全等级应定为一级。当支护结构破坏、基坑失稳或变形过大不会危及人的生命，经济损失、社会或环境影响不严重时，安全等级可定为三级；其他情况，安全等级宜定为二级。

**6.1.5** 可回收囊式扩体锚杆可根据需要配备机械拆芯机构和自卸载锚具，以便服役期满后能够顺利回收锚筋，实现清除地下污染、节约资源以及锚筋再利用。

## 6.2 边坡锚固

**6.2.1** 极限平衡法是边坡稳定计算常用的成熟方法，本标准将极限平衡法规定为基本计算方法。对于破坏机制复杂的边坡，采用传统方法计算有时较为困难。而数值分析方法与传统极限平衡分析方法求解原理相同，只是求解方法不同，两种方法得到的计算结果也是相近的，因此，对重要或复杂的边坡工程，建议同时采用这两种方法进行计算分析，然后再进行综合判定。

**6.2.2**  对可能产生圆弧滑动的锚固边坡，推荐采用简化毕肖普法、摩根斯坦——普赖斯法等能够同时满足力和力矩平衡条件的条分法，这类计算方法的计算精度较高。瑞典法计算较为简单，也曾被广泛采用，但在孔隙水压力较高和圆弧中心角较大时采用此法可能会引起较大的误差，因此在使用时需要对应用条件加以限制。

对可能产生折线滑动的锚固边坡，传递系数隐式解法、摩根斯坦—普赖斯法或萨玛法是较为适宜的计算方法。传递系数法在国内应用普遍，计算精度也相当高。而摩根斯坦—普赖斯法是一种严格的条分法，计算精度很高，也是在国内外水利、水电工程中普遍推荐采用的方法。

**6.2.4** 表6.2.4根据边坡安全等级和边坡工况确定的锚固边坡稳定安全系数基本上包容了国内相关标准所规定的岩土边坡的稳定安全系数。边坡锚固采用预应力锚杆，能够主动调用深部岩土体的稳定抗力，改善边坡岩土体的应力状态，提高边坡潜在滑动面的抗剪强度，同时能够在施工期间内缩短开挖面的裸露时间并缩小开挖面积，从而有效控制边坡岩土体的变形。总体来看，与传统的被动支挡结构技术相比，采用预应力囊式扩体锚杆进行主动锚固的边坡更为安全；且本标准规定的锚固边坡的稳定安全系数也是偏于安全的。

**6.2.6**  锚杆传力结构设计要点是选择适宜的传力结构形式与几何尺寸，使其能够将锚固力均匀地作用于边坡坡体，并确保在恒定锚固力的长期作用下，不产生传力结构的破坏及锚固边坡的明显变形。传力结构可采用现浇或预制方式实现，预制传力构件通常采用正方形或十字形。施工中应使传力结构与坡面紧密贴合，并需要在传力结构与坡面结合部位设置顺畅的防排水设施，严防因雨水冲刷导致传力结构底部出现掏空的险情。

**6.2.7**  为避免出现群锚效应，应根据工程经验确定合理的锚固间距。若边坡设计需要布置较密的锚杆时，则应通过位置调整、布锚长度与倾角变换等措施消除群锚效应，以确保总锚固力满足边坡稳定的要求。对于已产生滑动破坏的边坡，本条建议的锚杆打设角度是一种纯理想化的角度，但受施工条件的限制，往往难以实现。因此在锚固边坡稳定性计算时，应根据边坡地形地貌、结构面特征与施工可行性选取实际的锚杆安装角度。

**6.2.10** 边坡坡体一般存在滑裂区、滑裂松动区和变形影响区，位移控制锚杆设计应将自由段穿过这三个区域，将扩体锚固段埋置在不受边坡开挖和变形影响的稳定地层内，且要求岩土体性质较好，以确保扩体锚固段基本上不发生位移，成为一个相对固定的锚固点。本条规定应以扩体锚固段设置在变形影响区以外为原则，且位移控制锚杆的扩体锚固段前端到外锚头之间宜全长设置为自由段，实现扩体锚固段到外锚头之间“点到点”的弹性张拉和力的传递，将荷载直接传递给扩体锚固段及其周围的岩土体。此外，通过对预应力锚杆施加较高的张拉荷载，使锚杆外锚头及被锚固结构产生一定的反向位移并锁定，从而达到预应力位移控制锚杆的设计目的。

**6.2.11** 真实的作用于锚固结构的主动与被动土压力量值是与锚固结构的位移量值密切相关的，当进行位移控制锚杆设计时，应充分考虑位移限制对土压力计算值增大产生的影响，并正确估算主动土压力增量。

## 6.3 基坑支护结构锚固

**6.3.1**  桩锚、墙锚结构的设计计算主要包含嵌固深度、锚杆拉力、桩（墙）的弯矩、剪力以及基坑周边的地层变形等。桩（墙）嵌固深度通常采用经典理论的抗倾覆平衡公式计算，包括浅埋方式的静力平衡方法和深埋方式的等值梁方法。锚杆拉力和桩（墙）内力可采用经典理论或弹性理论计算，但有时两种计算结果差异较大，采用较大值相对安全但可能偏于保守，设计人员应根据工程经验合理选择。对于需要计算支护结构变形的工程，特别是有变形控制要求的一、二级基坑应采用弹性理论方法或数值分析方法进行计算。

在桩（墙）嵌固深度确定之后还应进行下列验算：

**1** 验算桩（墙）锚拉结构的整体稳定性；

**2** 当基坑底为软土时，应验算基坑底土隆起的稳定性；

**3** 当上部为不透水层，基坑底以下某深度处具有承压水层或上部为透水层，基坑围护体系设置了止水帷幕时，应验算基坑地下水渗流稳定性；

**4** 当基坑面以下为疏松砂土层，且又作用着向上的动水压力时，应验算基坑底部的管（突）涌稳定性；

**5** 如采用可回收式锚拉结构，还应进行拆锚阶段的桩（墙）身强度和变形验算。

若上述验算的安全度不能满足设计要求，应增大桩（墙）嵌固深度，并根据新嵌固深度值重新进行支护结构的内力计算，直至满足稳定安全要求为止。

**6.3.3** 囊式扩体锚杆的自由段长度确定是一个技术难题，通常认为锚杆的锚筋自由段是锚杆杆体不受注浆体约束且可以自由伸长的部分，其不参与提供锚固力。拉力型锚杆的非锚固段与锚筋自由段是等长的，但压力型锚杆的非锚固段与锚杆自由段区别较大。实际上，由公式（6.3.3）计算出的*L*f是锚杆的非锚固段长度，其对于压力型锚杆来说并非是锚筋自由段长度。在工程实践中，压力型囊式扩体锚杆为了达到更好的防水防腐效果，在施工中都采用锚孔满孔注浆的工艺，因此，本条的设计锚杆自由段长度应称为估算长度。但如果锚杆采用全长无粘结杆体时，压力型锚杆的锚筋自由段长度是确定值。

**6.3.4**  准确的锚杆刚度系数应由锚杆基本试验确定，然而在锚杆设计时往往事先很难获得试验资料与结果，所以锚杆刚度系数可按式（6.3.4）进行估算。

**6.3.8**  对于位移控制严格的基坑支护工程，其预应力囊式扩体锚杆应该采用的技术措施与本标准第6.2.10条的规定相似，重点在于扩体锚固段的埋设位置的合理选择。此外，作为临时性锚杆的张拉锁定荷载可以取值更高，甚至还可以超过锚杆承载力特征值，即采用超张拉措施。

# 7 基础结构锚固

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 在承受倾覆力矩与上拔力的结构物锚固设计中，预应力锚杆穿过基底面的长度必须满足扩体锚固段顶端以上的岩土体有效重量不得低于锚杆抗拔承载力特征值的条件，否则，有可能发生锚杆与周围土体“连根拔起”的破坏。

位于挡土墙基、坝基岩土体中的预应力锚杆的扩体锚固段在垂直方向宜错开0.5 ~ 1个扩体锚固段长度布设，有利于减缓锚固段周边岩体的应力集中现象，减少锚杆的蠕变变形，也有利于避免因群锚效应引起的锚杆预应力损失。国内外工程实践表明采用这种方式布设锚杆，能够获得良好的技术效果。

## 7.2 高耸结构物基础锚固

**7.2.2**  在承受倾覆力矩的高耸结构物基础中，锚杆在倾覆力矩作用下主要承受上拔力，锚杆轴向拉力标准值的计算公式与《建筑地基基础设计规范》GB 50007基本相同。由于此类基础中锚杆拉力的大小与其在基础中的位置有关，计算时需根据弯矩方向判断哪根锚杆的轴向拉力最大。

**7.2.4**  国内外相关标准中，永久锚杆的抗拔安全系数为2.0 ~ 3.0，考虑到输电线路属于生命线工程，并根据输电线路工程行业的特点，本条单独规定架空输电线路杆塔锚杆基础的抗拔承载力安全系数为2.5。

## 7.3 拱脚基础锚固

**7.3.1~7.3.3**  对于大量应用于建筑工程、交通工程、军事工程中的拱形结构基座，倾斜预应力囊式扩体锚固技术能够有效地提升锚固基础的抗滑能力，同时也是抵抗结构水平力的经济且高效的技术手段。在设计中需要进行锚固基础的地基承载力验算，以及扩体锚固段埋置空间位置与岩土条件的选择。锚固基础的抗滑安全系数的选取应充分考虑被锚固工程的重要性，通常在1.2 ~ 1.5之间取值。

## 7.4 重力坝、重力式挡土墙锚固

**7.4.1**  承受倾覆力矩与水平力的挡土墙、支护结构、垃圾坝、水工坝等构筑物，可采用预应力囊式扩体锚固技术，通过垂直锚固方法将构筑物与墙基、坝基岩土体紧密锚固在一起，其有益的技术效果在于：（1）可以降低墙体、坝体的重量，节约工程费用；（2）能够消减墙体、坝体中的拉应力；（3）能够增加墙体、坝体的抗倾覆力矩；（4）能够提高墙基、坝基的抗滑动能力；（5）有利于提升墙体、坝体的抗震安全性能。因此，对于此类构筑物的锚固采用垂直预应力锚杆的技术、安全、经济效果是较为显著的。

**7.4.2~7.4.4**  对于采用垂直于墙基底面、坝基底面的预应力锚杆的构筑物抗滑稳定性验算应包括抗剪断强度与抗剪强度计算。在具体计算时，若锚杆与基底面不垂直，应将锚杆的轴向拉力作用于基底滑动面的法向分量分别计入抗剪断强度与抗剪强度计算公式，若锚杆与基底面垂直，则可直接将锚杆的轴向拉力值引入。此外，构筑物基础底面的地基承载力验算也是必不可少的设计内容。

**7.4.5**  由于这类结构物锚固的安全度要求很高，本条规定锚杆的抗拔安全系数不应小于2.5。

# 8 抗浮结构锚固

## 8.1 一般规定

**8.1.1~8.1.2** 随着城市化建设的快速发展，地下空间的开发项目日益增多，包括地下车库、地下商城、地下公共广场、地下储库、地下交通等，这些工程项目存在大量地下结构抗浮问题；特别是高层群体建筑普遍采用整体裙房或纯地下结构设计，地下室面积与埋深也越来越大。抗浮结构的外部环境影响因素也不断增多，比如区域地下水位的动态变化、南水北调与新兴水利工程也在不断改变地下水分布形态与水位，从而引发了许多地下结构抗浮失效的严重事故。新型抗浮囊式扩体锚杆作为永久性锚杆，其设计使用年限不得低于抗浮结构物的设计使用年限，且防水与防腐也应满足这些使用条件与年限。

**8.1.3**  通常在抗浮结构设计方案上有多种选择，如采用增重方法、排水减压方法、抗浮桩方法等，而抗浮锚杆也是一种有效的结构抗浮技术手段，其具有良好的地层适应性，易于施工，布置灵活，施工高效，由于其具有单向受力特点，抗拔力及预应力易于控制，有利于建构筑结构的应力与变形协调，减少锚固工程造价。此外，囊式扩体锚杆拥有多重防腐结构，更适合作为永久性锚固结构的构件使用，并且适用的岩土地层范围也较广泛。

**8.1.4**  作为囊式扩体抗浮锚固技术方案，应优先选用预应力锚杆，但由于采用无粘结钢绞线的预应力锚杆的防腐和底板防水节点构造复杂，当施工管理与控制不到位时可能产生防水失效问题。目前国内大部分抗浮结构锚固工程倾向于采用杆体为预应力螺纹钢筋的非预应力锚杆，其受力可以视为扩底微型桩。然而，对于结构底板变形控制严格的结构抗浮工程应采用预应力抗浮锚杆。从技术角度来看，对于囊式扩体锚杆的抗浮工程，建议尽可能采用预应力锚杆技术。

**8.1.7** 确定作用于结构底板的地下水浮力标准值的关键是合理选择抗浮设计水位（也称抗浮设防水位），而抗浮设计水位的正确选择必须综合考虑地下水赋存、变化与渗流条件以及岩土地层特性，特别是各岩土层的渗透系数大小。如何在岩土工程勘察报告中，根据地下水位、地下分层水位、承压水头资料确定抗浮设计水位是一件复杂而困难的事情。为简化计，在结构抗浮设计中，通常希望找到不同环境条件与不同工况条件下的最高设计水位以策安全。但地下水浮力标准值应包括设计使用周期内建构筑物可能承受的不同上浮力，比如地表水或地下水的稳定水位产生的静水压力；水力坡降形成的水压力差；地下水渗流压力以及承压地下水压力。想要获取真实合理的抗浮设计水位往往需要进行详细的水文地质调查与勘察工作，而目前除了重大工程外，岩土工程勘察报告一般仅根据地下水位、结构基础埋深、岩土地层性质、地下水渗流条件以及基坑开挖回填要求提供抗浮设计水位的建议值。设计人员则大多根据给定的设计抗浮水位与结构基础底板的静止水头差来计算地下水浮力标准值。

**8.1.8** 囊式扩体锚杆承载力较高，因此对锚杆的最小长度做了必要规定，一方面是为了保证锚杆锚固土体的整体稳定性，另一方面也是为了防止外锚头的微小位移可能引起锚杆预应力的大幅度变化。

**8.1.9** 抗浮锚杆方案相比抗拔桩的优点之一在于锚杆在结构底板平面上的布置较为灵活，能够实现“板中布锚”；在结构底板跨中布置锚杆可以有效减小基础底板内力和挠度，通过优化基础底板设计，还可以达到减少基础底板的钢材用量及厚度。同时，以抗浮锚杆方案取代抗浮桩方案，还能够节约大量混凝土与钢材，避免大量渣土外运。

## 8.2 抗浮计算

**8.2.1** 地下水浮力是一种特殊荷载，由于抗浮计算通常采用静水压力，上浮荷载按永久荷载效应考虑时，荷载分项系数宜取1.0。当地下结构范围大、平面形状不规则、上部荷载分布差异较大时，抗浮设计的荷载条件与变形控制要求会有所不同，因此，在设计时应依据不同的结构单元、基础底板埋深、结构荷载分布划分抗浮计算单元。针对各结构单元中的锚杆布设，首先要考虑地下结构的整体稳定性，其次要优化基础底板的内力与变形，防止出现因局部抗浮设计不足产生基础底板开裂。锚杆布设一般采取集中式或分布式布设，具体应按照上部结构—基础—地基—抗浮锚杆共同作用理念进行设计。为实现设计方案的可靠性、有效性和经济性目标，应通过概念设计达到荷载与抗力的整体及局部平衡。

**8.2.2** 在抗浮计算单元内的锚杆轴向拉力标准值计算公式中，参与抗浮的结构与岩土体的有效重量*G*jk与*G*tk均不采用浮重度，因为其有效重量本身即是抗力，对其不应考虑水浮力的作用。

**8.2.4~8.2.5** 地下结构的整体抗浮稳定性分析应包括两方面验算：

**1** 对于锚杆间距较大、无群锚效应的情况，应进行基于抗浮锚杆的总体抗拔力和参与抗浮的结构与岩土体的抗力是否大于作用于地下结构的总水浮力的验算。

**2**对于锚杆间距较小、可能产生群锚效应的情况，应进行基于锚固体整体稳定性验算，要求验算抗浮区域内的锚固岩土体的有效重量与参与抗浮的结构重量之和与作用于地下结构的总水浮力之比是否大于等于1.05。注意此处锚固岩土体的有效重量应为浮重度。

## 8.3 锚杆张拉与锁定

**8.3.1**  预应力抗浮锚杆的张拉荷载宜小于锚杆承载力特征值，建议取特征值的60%~85%。锁定工作宜在主体结构施加一定荷载后进行，以减少建筑荷载作用下基础沉降变形对抗浮锚杆拉力产生的松弛效应，如有必要应根据实际需要进行锚杆补张拉。

## 8.4 锚杆与底板连接节点设计

**8.4.1～8.4.2** 囊式扩体锚杆的单锚承载力较高，且大多数工程采用预应力螺纹钢筋作为受力主筋，因此，当基础底板较薄时，这些锚筋在结构底板内的锚固长度有时不能满足设计要求；而预应力螺纹钢筋不允许在底板范围内弯折，也不能焊接，因此锚筋在底板内的最有效锚固方式是采用钢锚板锚固。本条根据《混凝土结构设计规范》GB 50010关于混凝土结构抗冲切的计算方法，规定了结构基础底板受钢锚板冲切承载力的两种验算对象。

# 9 锚杆施工

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 囊式扩体锚杆施工与传统锚杆相比，其施工工艺较为复杂，施工具有更强的隐蔽性，因此施工开始前应全面充分地核对工程、设计、地质、施工、环境、机具与设备等条件。只有依据详细周密的施工组织设计，科学合理有序地进行施工才能够确保锚杆的高品质，锚杆的高承载性能是以科学与精心施工为基础的。

**9.1.3**  膨胀挤压筒是囊式扩体锚杆的核心部件，其生产质量与现场产品的密封完好性是决定锚杆承载力的关键因素，因此，施工前必须对膨胀挤压筒进行认真的外观检查与抽气检测，抽检数量应为锚杆总数量的5%，检测出有破损或有密封问题的膨胀挤压筒应退回原生产单位，不得在现场使用。

## 9.2 钻孔与扩孔

**9.2.1** 本条所提供的四种扩孔施工方法基本上可以覆盖囊式扩体锚杆的各类适用岩土地层。从目前已完成的数百项工程来看，采用旋喷扩孔+囊袋挤压施工方法的工程占80%以上，而机械扩孔+囊袋挤压施工方法应用占比低于20%。这两种扩孔施工方法都能够满足囊式扩体锚杆施工需求，只是岩土地层适用对象略有不同，施工费用方面也有一定的差异。

喷搅扩孔+囊袋挤压施工方法，从技术层面上看能够取得更为优良的施工效果，特别是在控制扩体段的直径与长度方面更为可靠，在岩土地层适用性方面也更为广泛，并能够对施工方法1和施工方法2的适用地层实现全覆盖。未来，这项扩孔施工技术应用比重将会越来越大。

**9.2.3**  锚位、孔径、孔深、孔轴线空间走向和倾角为锚孔施工的五个控制参数，其控制标准应符合本标准第11章的有关规定。需要指出的是扩孔段施工应在钻孔底部预留一定的冗余长度，特别是在含粗颗粒的地层中必须为粗颗粒沉落而超钻一定深度，0.5m仅为超钻建议长度，实际工程中可以根据地层特性进行调整。

**9.2.4**  对于在本条所列出的五种不稳定地层中施工囊式扩体锚杆时，为保证施工质量可控可靠应优先采用Φ168mm套管护壁钻孔、扩孔施工方法。套管的内径选择必须与膨胀挤压筒的外径相匹配，并须留有足够的排浆排土间隙。为保障能够顺利沉放锚杆杆体束，套管应在杆体束沉放或在杆体沉放与注浆之后再实施提离。

**9.2.5** 高压旋喷扩孔施工质量评价指标主要有两个，一是实际形成的扩孔段直径，二是扩体锚固段的水泥土强度。能否实现设计要求的扩孔直径与水泥土强度，取决于是否能够认真执行本条第2款至第9款所列出的高压旋喷施工参数。在这些施工参数中，最为重要的控制参数包括：高压泥浆泵喷射压力、喷浆量、旋喷管移动速度、旋喷遍数，水泥强度等级与水灰比。现场锚杆施工技术负责人必须引领施工队伍严格执行设计要求的控制性施工参数，唯有此才能够保证锚杆的最终高品质与承载力。

**9.2.6** 机械扩孔施工的质量评价指标与高压旋喷扩孔施工相似，为达到设计目标，除需要施工队伍严格按照施工工艺参数进行锚杆施工外，机械扩孔钻具发挥着决定性作用。其中，机械扩孔铰刀能否顺利受控张开与闭合、能否达到设计直径尺寸、是否具有喷浆与返浆功能是关系锚杆施工质量的控制因素。目前，工程中大多采用挤压张开式机械扩孔钻具与可控扩孔直径式机械扩孔钻具。为了增加机械扩孔施工的可控性及提高扩体锚固段的施工品质，应采用液控机械扩孔钻具与喷搅式扩孔钻具。

## 9.3 杆体制作与安放

**9.3.1**  囊式扩体锚杆的杆体制作采用了专用的膨胀挤压筒与钢绞线或预应力螺纹钢筋相结合的装配编锚方式，锚杆锚筋通过内穿膨胀挤压筒内的隔离支撑管实现杆体的现场快速编锚，两者的固定连接利用挤压锚或螺母。杆体束的尾端设有导向防护帽，用以保护尾部锚筋以及保护锚孔壁不被锚筋破坏。编锚、搬运、存放杆体束的过程中，应始终注意严防囊袋发生破损，同时也要防止杆体的防护体系发生损伤。

**9.3.3** 可回收锚杆的杆体制作，通常在内锚头尾端使用U型锚机构或机械分离型拆芯机构，其装配工艺较为复杂，需要受过技术培训的工人施做。在编锚过程中要特别关注钢绞线尾端与机械分离型拆芯机构的可靠连接与锁定，以及外套保护管的全长密封连接；以切实保障锚杆的承载能力和锚筋能够顺利拆除。

## 9.4 制浆与注浆

**9.4.1~9.4.3**  良好的水泥浆液制备是保障注浆质量的第一环节，制浆设备与工艺的要点包括两级搅浆设备（1个搅浆桶，1个储浆桶）、两级搅浆工艺以及合格的水泥与水的称量仪器。注浆液制备控制的重点是配制水灰比为0.40 ~ 0.45的无泌水水泥浆，为保障流动度达到200mm ~ 240mm，需要使用适量的减水剂；而注浆工艺控制的重点在于0.5MPa ~ 1.5MPa的注浆压力以及1.05 ~ 1.10的充盈度指标。只有高质量完成制浆与注浆两个环节工作，才能够保证扩体锚固段的注浆体设计抗压强度，防止发生扩体锚固段注浆体的局部受压破坏。

## 9.6 张拉与锁定

**9.6.1**  张拉与锁定是预应力锚杆施工的最后一道工序，也是检验锚杆质量与承载性能的简便方式。在锚杆正式张拉前应取20%的预定最大张拉荷载进行2次预张拉以使锚筋调整平直并降低锚杆的预应力损失。由于可能受到多种内外因素的影响，发生锚杆预应力锁定损失，因此，为满足设计锁定荷载要求可以采用超张拉措施。

# 10 锚杆试验

## 10.1 一般规定

**10.1.1**  囊式扩体锚杆现场拉拔荷载试验简称为锚杆试验。欧美日及ISO等发达国家与地区锚杆相关标准（以下简称国际标准）中，锚杆试验主要分为探究试验、适应试验及验收试验三类，其中探究试验欧美标准目前普遍采用investigation test一词，有的称为proving test、basic test、preproduction test、predesign test、trial anchor test、pre-contract test等，日标称为“基本调查试验”。疲劳试验、延长蠕变试验与群锚试验一般在特定条件或环境下实施，不单独划分为试验类型；另外欧盟标准还包括了锚杆防腐试验。国内锚杆相关标准（以下简称国内标准）中，锚杆试验主要分为基本试验与验收试验两大类，其中基本试验兼具探究试验与适应试验功能。有的国内标准包括了蠕变试验，这与国际标准不同，后者通常不单独进行锚杆蠕变性能试验；美标中有“延长蠕变试验”，一般也不单独实施，而是结合适应试验进行。而疲劳试验、群锚试验与防腐试验，目前在国内锚杆工程项目中极少应用。

通过工程实践发现，锚杆锚固段设置在有机质土、高液限黏土、软弱松散土层及软质泥岩等地层的锚杆易产生蠕变，故应进行测试锚杆蠕变性能的试验。然而，锚杆全生命周期的工作性能很难通过长期观测去了解，因此，应采取时间相对较短的现场试验，并通过短期试验结果进行长期性能评估。影响锚杆蠕变的两个主要因素包括地层蠕变与锚筋松驰，现场试验通常只能测量外锚头位移，无法分别定量测定地层蠕变与锚筋松弛。但锚筋的松驰特性可以通过室内材料试验获得，所以锚筋松弛的定量影响是可以从现场试验结果中扣除的，故认为在理论上通过现场试验可以获得锚杆的地层蠕变特性。

蠕变理论认为，锚杆蠕变量与时间对数之比，即蠕变率*α*是荷载与时间的函数，其随荷载和时间的增加而增加，在固定荷载下*a*近似为常数，可以通过短期（一般为1h～12 h）的蠕变试验测得。国内外普遍认可，锚杆试验过程中若某级荷载下蠕变率*a*超过了2.0mm，则可停止试验，取其上一级荷载为锚杆的设计最大持有荷载，亦称为临界蠕变荷载*P*c，也可以继续试验以观察锚杆在更大荷载下的蠕变特性。在数学上，若在试验荷载下*a* ≤ 2.0mm，大致上相当于在1h～2h至100 y内锚杆的蠕变量不会超过12 mm。囊式扩体锚杆属于压力型锚杆，锚筋自由段较长且具有扩体锚固段，发生少量蠕变对其力学性能影响较小。目前工程实践中尚未发现明显的蠕变现象，即便在易产生蠕变的地层中也是如此，故本标准认为囊式扩体锚杆无需单独进行蠕变试验。但为了安全起见，当蠕变率*a*较大时要求对锚杆进行延长蠕变观测期观测，以便进一步确认锚杆的蠕变性能。国内外对蠕变试验的看法与要求相差较大，国外标准普遍认为，每级峰值荷载下的锚杆稳定标准能够体现出锚杆蠕变性能，所谓稳定指的应是蠕变稳定，蠕变不仅表征锚杆的长期工作特性，也能够展现锚杆的短期变形性能。

客观上看，用于抗浮工程的囊式扩体锚杆会受到反复荷载作用，地下水位受降雨影响而变化，在湖海边岸、河流两侧，地下结构承受的上浮力与地下水动态、海洋潮汐密切相关，实际的上浮荷载常呈现为低频大变幅循环荷载。关于循环荷载作用下的抗浮锚杆的长期承载性能经常被人忽视。对于重大工程，宜采用疲劳试验通过多循环加卸载试验方法模拟抗浮锚杆的实际工作环境，从而确定在反复荷载作用下的锚杆承载力及其变形。

**10.1.2** 锚杆试验方案制定工作在国内尚未受到充分重视。基本试验的主要目的是为锚杆设计提供依据，因此，应由设计人员编写或提出试锚技术要求与锚杆试验方案，具体实施原则应与设计桩基载荷试验方案做法相一致。

**10.1.3**  为了体现代表性，基本试验锚杆的设计及施工要素，如设计承载力、杆体材料、锚固体截面尺寸、施工工艺、施工参数、地层条件等应与拟建工程锚杆基本相同。当地层条件不同或同一地层条件下的设计参数（例如锚杆直径和承载力）不同时，均应有代表性的锚杆参与试验。但是要求试验锚杆与工程锚杆完全相同是不现实的。例如实际工程锚杆设计可以根据基本试验结果进行修改，修改后一般不需要再次进行基本试验。某些锚固工程忽略了施工工艺与施工参数这两个决定锚杆抗拔力的重要因素，甚至基本试验采用的某类型机械设备，在工程施工时却换成了另外一类机械设备，施工工艺与施工参数也改变了，这种做法会导致锚杆试验结果无法对工程起到指导作用。

**10.1.4**  本条中的非黏性土主要是指砂土及碎石土。实际工程中，锚杆施工会受到周边环境或工期影响，往往不允许等到施工锚杆达到28d龄期，即在锚固体与锚座结构的材料强度达到设计要求后再开始基本试验。考虑到这种实际情况及工程安全度，对试验时的锚固体与锚固结构强度可适当放宽，但达到20MPa强度是最低要求。为避免质量评定纠纷，对于验收试验，锚固体与锚固结构强度应达到设计要求后，才能开始进行锚杆试验。

锚杆施工过程中不可避免对锚周岩土体产生扰动，引发岩土体强度降低，但随着休止时间延长，锚杆承载力还会逐渐增加并趋于稳定。休止时间是指锚固体与岩土层粘结力恢复所需要的时间，其应该依据设计人员的工程经验确定。

**10.1.5**  工程锚杆注浆一般要求注浆至孔口返浓浆为止，形成满孔注浆体，锚杆张拉时注浆体可能会碰触到锚座而消耗掉部分荷载，导致张拉荷载不能全部施加到锚杆上，因此，国内外标准均要求在张拉过程中锚杆应保持独自受力状态，不得受到其他因素干扰。

**10.1.7** 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224指出，钢绞线条件屈服强度σ0.2约为0.88倍的材料极限强度。《混凝土结构设计规范》GB50010规定，预应力螺纹钢筋的张拉控制力σcon不应大于0.85倍的材料屈服强度，考虑到预应力损失时可以提高至0.9 倍的材料屈服强度。国内锚杆标准也有类似规定，要求张拉试验的最大试验荷载下的锚筋应力不应大于0.9倍的材料屈服强度，以保证锚筋安全。国外锚杆标准没有规定锚杆锁定应力与屈服强度的关系。《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086规定，当预应力锚杆的锚筋为预应力螺纹钢筋时，张拉控制应力σcon不应大于0.70倍（永久锚杆）或0.75倍（临时锚杆）的屈服强度标准值*f*pyk。当采用钢绞线时，张拉控制应力σcon不应大于0.55倍（永久锚杆）的极限强度标准值*f*ptk。这些标准认为锚杆是一种后张预应力构件，其预应力筋特别是钢绞线的σcon应比地上预应力钢筋混凝土结构中的钢绞线σcon有明显的降低，原因是预应力锚杆埋设在岩土地层中，工作条件恶劣，应力腐蚀风险大。国外曾报道过由于预应力筋控制应力大于0.6 *f*ptk而发生锚杆破坏的工程实例，此外，预应力筋采用较小的张拉控制应力σcon对降低锚杆的预应力损失也是有利的。

综上所述可以看出，标准中所讲的张拉控制应力σcon是指正常使用极限状态下与锚杆轴向拉力标准值对应的锚筋应力，不包括锚杆张拉试验这种短期荷载情况，而锚杆试验采用的张拉应力可以大于σcon。本条规定锚杆试验的最大张拉应力不应大于：①钢绞线的极限抗拉强度标准值的85%；②预应力螺纹钢筋屈服强度标准值的90%。这一规定高于《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086对张拉控制应力的规定。工程试验的经验还表明，采用与杆体材料相匹配的锚具时，现场试验中的钢绞线一般能够达到极限抗拉强度标准值的85% ～ 95%，多束钢绞线时应取低值；而预应力螺纹钢筋一般能够达到屈服强度标准值的95% ～ 105%，多根钢筋时应取低值。

**10.1.8** 本条规定引用了欧盟标准。为了提高锚杆试验的准确性，初始试验荷载应尽量小，故设定了50kN上限。

## 10.2 基本试验

**10.2.1～10.2.2** 这两条规定参考了国际标准，除了专项试验研究外，囊式扩体锚杆在工程应用前应进行基本试验，为设计与施工提供依据。为能够实现试验目的、并获得所需试验结果，用于基本试验的锚杆组配件应包括膨胀挤压筒、杆体、内锚头、护管以及新型锚具等。

**10.2.3** 拉拔试验未达到破坏的锚杆，对锚杆承载力适当折减后可用于临时性工程；有条件时可进行开挖检查，以全面了解锚杆的工作状态。

**10.2.4** 同类型锚杆是指主要的地层与环境条件、设计参数（锚杆压力型类别、膨胀挤压筒、材料、锚固体截面尺寸、设计承载力等）、施工工艺与参数等基本相同的锚杆，但锚杆的长度、角度允许略有差别。本标准规定的破坏性基本试验，相当于国际标准中的探究试验，试验锚杆数量应介于3～6根，主要是便于进行数理统计、更准确地使用试验结果；而非破坏性基本试验相当于国际标准中的适应试验。

**10.2.6**  破坏性基本试验的主要目的是要测试锚杆的极限抗拔承载力，这与国际标准中的探究试验目的相同。锚杆有多种破坏模式，针对其中一种破坏模式进行试验时，应尽量避免产生其他破坏模式，其应对措施可以采取调整材料安全储备的方法。

**10.2.7** 在国内外标准中，基本试验大多采用6～8次分段多循环加卸载试验方法，承载力较低时循环次数可降低1～2次，较高时宜增加1～2次。欧标认为，峰值荷载观测时间如短于15 min会产生较大误差，最好不少于20min；国内标准则主要采用10min。国际标准普遍认为，过程荷载观测时间无需过长，能够测读出外锚头位移即可，通常1 min就够用了。考虑到国内验收试验大多采用单循环加卸载试验方法，故本标准规定非破坏性基本试验也可以采用单循环加卸载试验方法，以便为验收试验提供合格依据。为了和目前国内主流锚杆标准相一致，本标准采用的峰值荷载观测时间为10min。

**10.2.8**  国内外标准均以外锚头位移量作为该级荷载是否稳定的主要判据，但稳定指标相差较大：欧日标准按地层与锚杆设计使用年限采用了不同指标，复杂且偏于严格。美标相对简单而被国内大多数标准采纳。故本标准分级多循环加卸载试验的稳定指标以美标为基础，但略偏严格。记录时刻参考了国际标准，这种次序有利于稳定判断，延长蠕变观测期的时长采用300min主要是参照了美标对延长蠕变试验的有关规定。

**10.2.9** 锚筋拉断主要表现为脆性破坏；压力型锚杆的扩体锚固段注浆体局部受压破坏、以及地层－锚固体界面粘结破坏、扩体锚固段前端岩土体剪切破坏，主要表为塑性破坏，即位移不稳定，采用蠕变率*a* ≥ 5.0mm主要参考了欧标。在国内工程中，较少有基本试验能够达到破坏状态，但唯有如此才能够测试出真正的囊式扩体锚杆的极限抗拔承载力。

**10.2.11** 应根据试验的不同类型绘制相应的试验曲线。

**10.2.12** 欧标建议，按公式（10.2.12）计算蠕变率*a*时，t1宜取15min ～ 20min以后的时刻以提高计算的准确性。考虑到数据曲线的非线性以及按公式（10.2.12）计算时t1及t2的随机性，本标准建议检测报告中的蠕变率*a*宜根据Δs－lgt曲线取值，而公式主要用于现场试验判断。

**10.2.13** 参照国际标准，不推荐预应力锚杆采用按位移突变确定极限承载力的方法，因为有时锚杆自由段会夹杂异物或压力型锚杆内端头注浆体被压碎，采用这种方法容易造成误判。而采用蠕变率*a* = 2.0 mm对应的临界蠕变荷载*P*c作为锚杆极限抗拔承载力较为合理方便。

**10.2.14** 本标准参照国际标准明确了临界蠕变荷载*P*c概念及其确定标准。

**10.2.17～10.2.18** 理论上预应力锚杆*P*1取锁定荷载*P*0计算结果会更准确一些，但*P*0值离散性较大且往往不可确知，故实际上不便使用。通常锚杆刚度系数*k*R离散性较大，采用分区统计会容易一些。如果*k*R离散性过大，为安全起见，可以取低值作为被锚固结构的弹性支点刚度系数，取高值作为锚杆参数设计取值依据。

## 10.3 验收试验

**10.3.1~10.3.2**  应选取不少于5%的工程锚杆进行第三方验收试验，即由业主委托或由有关监管部门指定的专业检测机构作为第三方实施验收试验，以体现试验的公正性、权威性及代表性。锚杆试验数量不少于3根的规定主要参照了《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086的有关规定。非破坏性基本试验（适应试验）与验收试验的规定基本一致，适应试验可用于验收是国际标准的通用作法。以预应力螺纹钢筋为筋材的全长粘结抗浮锚杆在承载性能方面可视为微型抗拔桩，承载力试验、数据处理方法及验收合格标准也可执行《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106，即按其对抗拔桩慢速维持荷载法的有关规定执行。

**10.3.3**  锚杆验收试验可采用与基本试验相同的单循环加卸载试验方法，以尽量避免因试验结果误差而导致争议。

**10.3.4**  锚杆验收试验为抽样检验，不合格概率应低于5%，一般认为锚杆承载力呈正态分布，最大试验荷载与抽样比例（数量）相关，比例越大，最大试验荷载可能越低，5%抽样率以及最大试验荷 载*P*p根据永久锚杆与临时锚杆类型分别取1.5*N*k或1.2*N*k～1.4*N*k（参照了《建筑基坑支护技术规程》JGJ120）。

**10.3.5**  延长观测期的时长取60min主要参照了美标的相关规定。

## 10.4 试验与检测报告

**10.4.1** 必须杜绝锚杆检测报告仅有检测结果而无任何检测数据和曲线的现象。判断锚杆质量合格与否比较复杂，需要具有丰富经验的专业人士综合分析后做出判断。

# 11 质量检验与验收

## 11.1 一般规定

**11.1.2**  由于囊式扩体锚杆承载力较高，而能否达到设计承载力与膨胀挤压筒的组配件、功能及密封完好性规定具有密切相关性。工程实践也证明了膨胀挤压筒的完好性对锚杆承载力的保证和锚固工程的安全性起着决定性作用，因此膨胀挤压筒密封完好性的质量检测是质量检验工作的重点。在施工前期必须对不少于5%的膨胀挤压筒产品进行严格抽检，抽检必须同时采用外观检查与抽气检测方法，以确保膨胀挤压筒的密封完好性。

## 11.2 质量检验与验收标准

**11.2.2**  囊式扩体锚杆的抗拔承载力检验最终应通过锚杆的验收试验结果确定。