

SL

UDC

中华人民共和国行业标准

P

SL 212—98

水工预应力锚固设计规范

**Design specification
for hydraulic prestressed anchorage**

1998—06—04 发布

1998—08—01 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国行业标准

水工预应力锚固设计规范

SL 212—98

主编单位:东北勘测设计研究院

批准部门:中华人民共和国水利部

施行日期:1998 年 8 月 1 日

中华人民共和国水利部 关于批准发布《水工预应力 锚固设计规范》SL 212—98 的通知

水科技[1998]223 号

根据部水利水电技术标准制定、修订计划,由水利水电规划设计总院主持,以东北勘测设计研究院为主编单位制定的《水工预应力锚固设计规范》,经审查批准为水利行业标准,并予以发布。标准的名称和编号为:

《水工预应力锚固设计规范》SL 212—98

本标准自 1998 年 8 月 1 日起实施。在实施过程中各单位应注意总结经验,如有问题请函告主持部门,并由其负责解释。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

一九九八年六月三日

前 言

《水工预应力锚固设计规范》,是由水利部水利水电规划设计总院会同电力工业部水电水利规划设计总院,根据水利水电工程中预应力锚固技术发展需要安排编写的。本规范编制过程中,广泛收集了水利水电工程预应力锚固的设计、施工和科研方面的成果,全面地总结了水利水电工程预应力锚固技术的经验,并征求了国内有关行业预应力锚固技术部分专家的意见。

本规范共七章两个附录。其主要内容有:总则、术语、一般规定、锚杆体的选型与设计、岩体预应力锚固设计、水工建筑物预应力锚固设计和试验与监测设计。

本规范解释单位:水利部水利水电规划设计总院

本规范的主编单位:水利部东北勘测设计研究院

本规范主要起草人:赵长海 王永年 田裕甲 上官能 余知生 刘俊柏 邓德炎 孙洪泽
王俊杰 王 槟 车黎明 李 勇 郝长生

目 次

1	总则	(5)
2	术语	(5)
3	一般规定	(6)
3.1	基本资料	(6)
3.2	锚杆材料	(6)
3.3	锚固设计的基本内	(7)
4	锚杆体的选型与设计	(9)
4.1	锚杆体的选型	(9)
4.2	锚杆体的结构设计	(9)
4.3	锚杆体的防护设计	(10)
4.4	张拉力的控制和张拉程序设计	(11)
5	岩体预应力锚固设计	(11)
5.1	岩质边坡	(11)
5.2	坝基	(12)
5.3	地下洞室	(13)
6	水工建筑物的预应力锚固设计	(14)
6.1	预应力闸墩	(14)
6.2	闸室、挡墙	(14)
6.3	水工建筑物的补强加固	(14)
7	试验与监测设计	(15)
7.1	材料及被锚固介质特性的检验	(15)
7.2	锚杆的整体性试验	(15)
7.3	锚固效果的原位监测设计	(15)
附录 A	预应力锚杆锚固试验规定	(16)
附录 B	监测内容与项目	(16)

1 总 则

1.0.1 为经济合理地进行预应力锚固工程设计,保证锚固工程设计质量,推动工程锚固技术发展,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水利水电工程中的地基、边坡、地下洞室的岩体及水工混凝土结构的预应力锚固设计。

1.0.3 对于预应力锚固工程的锚固介质,应做好地质勘察工作,并用理论分析和原位监测资料相结合的分析方法,对加固对象做出稳定性评价。采用预应力锚杆进行工程加固设计时,应从工程实际出发,因地制宜地采用新技术,做到安全可靠、经济合理。

1.0.4 水工预应力锚固设计,除应符合本规范的规定外,还应符合国家现行的有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 预应力锚固—通过对锚杆(索)施加张拉力,实现对岩体或混凝土结构物的加固,使其达到稳定状态或改善结构物内部的应力状况。

2.0.2 预应力锚杆—施加预应力后的锚杆。本规范将预应力锚杆和预应力锚索统称为预应力锚杆。

2.0.3 普通预应力锚杆—采用普通钢材,施加的张拉力小于 300 kN 的预应力锚杆。

2.0.4 锚束—数股钢丝、钢绞线或钢筋,按一定规律编排成束的锚杆。

2.0.5 永久性预应力锚杆—在永久性工程中布置的,使用年限为 2 年以上的预应力锚杆。

2.0.6 临时性预应力锚杆—在临时性工程中布置的和在永久性工程中布置的使用年限为 2 年以内的预应力锚杆。

2.0.7 锚杆体—预应力锚杆的整体。包括锚固段、张拉段、外锚头及相连接的所有部件。

2.0.8 锚固段—预应力锚杆体的内部持力端。它是用胶结材料或用金属加工的机械装置,使锚杆内端同被锚固体深部稳定的介质形成整体的区段。

2.0.9 张拉段—对预应力锚杆施加拉力时,依靠锚杆材料本身具有的弹性,可以自由伸长的部分。当锚杆锁定后,又依靠这部分的弹性变形对被锚固的介质施加预应力。

2.0.10 外锚头—对锚杆实现张拉和锁定的支撑装置。

2.0.11 有粘结预应力锚杆—锚杆张拉锁定后,对全孔进行封孔灌浆或采用其它方法,使锚杆与孔壁结合成整体,锚杆与被锚固介质无相对滑动的预应力锚杆。

2.0.12 无粘结预应力锚杆—锚杆张拉锁定后,锚杆的张拉段同被锚固介质之间能保持相对滑动的预应力锚杆。

2.0.13 预应力钢材强度利用系数—当预应力锚杆的张拉力达到设计值时,锚杆材料的应力值与锚杆材料极限抗拉强度的比值。

2.0.14 设计张拉力—根据锚固设计需要,并考虑一定安全余度和由于岩体流变、混凝土徐变及钢材松弛可能引起的预应力损失,确定的每根锚杆应施加的张拉荷载。

2.0.15 超张拉力—为消除由于锚杆同孔壁的摩擦和锚具的回缩而引起的预应力损失,施工时将设计张拉力提高后的实际张拉荷载。

2.0.16 安装荷载—预应力锚杆张拉锁定后,锚杆实际存在的荷载。

2.0.17 永存张拉荷载—预应力锚杆中,各种因素造成的预应力损失均完成之后,稳定的预应力值。

- 2.0.18** 预张拉—预应力锚杆正式张拉作业之前,为使锚束中各股钢丝或钢绞线拉直或锚杆位置校正,所进行的张拉作业。
- 2.0.19** 补偿张拉—预应力锚杆锁定后,由于预应损失较大,而进行的再次张拉作业。
- 2.0.20** 压缩型锚固段—采用无粘结锚杆,并通过改变锚固段结构型的办法,使锚固段由受拉变为受压,由锚固段的压缩传递张拉力,此时锚固段称之为压缩型锚固段。
- 2.0.21** 压缩集中型锚固段—锚固段采用一个承载体,压缩应力集中于锚固段端部,这样的锚固段称之为压缩集中型锚固段。
- 2.0.22** 压缩分散型锚固段—锚固段采用多个承载体,压缩应力分布于整个锚固段中,这样的锚固段为压缩分散型锚固段。

3 一般规定

3.1 基本资料

- 3.1.1** 在进行预应力锚固工程设计时,根据对工程的稳定性和结构物应力分析的有关设计资料,对锚固措施的合理性、安全性进行技术经济比较。
- 3.1.2** 锚固设计应具备如下地质资料:
- 1 同锚固工程有关的地形、地貌及建筑物的布置。
 - 2 围岩级别、主要构造的产状、各种结构面的组合关系以及地下水发育程度。
 - 3 锚固工程所涉及部位岩体的抗压强度、抗拉强度、声波速度、岩体的 C 、 ϕ 值,以及可能失稳的结构面的 C 、 ϕ 指标和胶结材料同被锚固介质的粘结强度。对于Ⅳ、Ⅴ级围岩,还应提供围岩的流变特性。
- 3.1.3** 对于重要的锚固工程,应具有原位监测资料。

3.2 锚杆材料

- 3.2.1** 锚杆材料可根据锚固工程性质、锚固部位、工程规模选择高强度、低松弛的预应力钢丝、钢绞线、精轧螺纹钢筋或普通预应力钢筋。
- 3.2.2** 采用高强预应力钢丝做为锚杆材料时,其力学性质必须符合国家关于 GB/T 5223—1995《预应力混凝土用钢丝》的规定;采用预应力钢绞线做为锚杆材料时,其力学性质必须符合国家关于 GB/T 5224—1995《预应力混凝土用钢绞线》的规定;采用精轧螺纹钢筋做为锚杆材料时,其物理、力学性质应符合表 3.2.2—1 和表 3.2.2—2 的规定。

表 3.2.2—1 精轧螺纹钢筋的公称直径和直径允许偏差

规格公称直径 d_0 (mm)	外形尺寸及允许偏差 (mm)									理论重量 (kg/m)		
	基圆直径				螺纹高 h		螺 距 I		螺纹根弧			
	d_h		d_v									
	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差				
18	18	+0.4 —0.4	18	+0.4 —0.8	1.2	+0.3 —0.3	9	+0.0 —0.4	0.5	2.00	2.11	0.95
25	25	+0.4 —0.4	25	+0.4 —0.8	1.6	+0.3 —0.3	12	+0.3 —0.3	1.0	3.85	4.10	0.94
32	32	+0.5 —0.5	32	+0.4 —0.8	2.0	+0.4 —0.4	16	+0.3 —0.3	2.0	6.31	6.65	0.95

续表

规格公称直径 d_0 (mm)	外形尺寸及允许偏差 (mm)									理论重量 (kg/m)		
	基圆直径				螺纹高 h		螺 距 I		螺纹根弧			
	d_h		d_v									
	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差	标准尺寸	允许偏差		基圆重	钢筋重	有效截面系数
36	36	+0.5 -0.5	36	+0.4 -0.8	2.3	+0.4 -0.4	18	+0.3 -0.3	2.3	7.99	8.50	0.94
40	40	+0.6 -0.6	40	+0.5 -1.0	2.5	+0.5 -0.5	20	+0.4 -0.4	2.5	9.87	10.5	0.94
图 形												

表 3.2.2—2 精轧螺纹钢筋的力学性能

级 别	钢 铁	公称 直径 (mm)	屈服点 σ_s (MPa) 不小于	抗拉强度 σ_b (MPa) 不小于	伸长率 δ_5 (%) 不小于	冷 弯
540/835	40Si ₂ MnV 45SiMnV	18	540	835	10	$d=5a$ 90°
		25				$d=6a$ 90°
		32			8	$d=7a$ 90°
		36				
		40				
735 935(980)	K40Si ₂ MnV	18	735	935 (980)	8	$d=5a$ 90°
		25				$d=6a$ 90°
		32	735	935 (980)	7	$d=7a$ 90°

3.2.3 预应力锚杆的外锚头、锚夹具、机械式内锚头和预应力钢筋联结器的材料性能,应符合国家关于钢材质量的规定。各种部件材质的力学强度,应达到钢材极限抗拉强度的 95 %以上。

3.2.4 预应力锚杆锚固段和封孔灌浆采用水泥浆时,应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥的质量应符合国家 GB 175《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》的规定。

3.2.5 采用无粘结预应力锚杆时,套管的强度,应足以避免施工过程中发生破损。套管材料还应具有防渗性、化学稳定性和耐久性并与混凝土、钢材和防腐剂不发生物化反应。

3.3 锚固设计的基本内容

3.3.1 锚固设计应包括以下内容:

- 1 确定锚固范围和锚固深度。
- 2 选择锚固方式。
- 3 计算锚固力的大小。
- 4 确定预应力锚杆的数量,选择布置方式。

- 5 确定锚杆的结构型式及各项参数。
- 6 编制施工技术要求和特殊情况的技术处理措施。
- 7 锚固效果监测及锚固后工程安全评价。

3.3.2 预应力锚杆的锚固范围和施加的锚固力应根据工程地质勘察的资料、软弱结构面的位置、产状和力学性质,按照稳定分析结果确定。

3.3.3 单根预应力锚杆的设计张拉力,应根据下列因素确定:

- 1 保证被加固结构物安全运行需要的总锚固力的大小。
- 2 锚固介质和胶结材料的力学强度。
- 3 预应力锚杆材料的力学强度。
- 4 锚夹具的类型、张拉设备出力和施工场地条件。
- 5 可能发生的预应力损失。

3.3.4 预应力锚杆的数量,应根据总锚固力和单根预应力锚杆设计张拉力的大小确定。

3.3.5 预应力锚杆的长度,应按不稳定结构面的位置和在有安全的胶结长度等条件确定。

3.3.6 岩体锚固中,预应力锚杆应按下列原则布置:

1 根据锚杆的数量,施工条件、工艺要求,采用方形、梅花形、矩形或菱形布置。应能提供均匀的锚固力。

2 预应力锚杆的轴线方向,应按最优锚固角布置。当受施工条件限制时,可适当调整轴线方向,并应进行技术经济比较,以做到经济有效。

3 当采用群锚时,为了防止锚固段部位应力条件恶化,锚杆可长短相间布置,或采用压缩分散型锚固段。

3.3.7 水工混凝土建筑物中,预应力锚杆应按下列原则布置:

1 预应力闸墩中的预应力锚杆,应根据闸墩的结构型式、闸墩中的应力分布和施工条件,经综合比较选定。

2 结构物中的拉应力,应小于相应规范的规定。为改善锚固段部位的应力状态,预应力锚杆宜长、短相间布置。

3.3.8 预应力锚杆孔的直径,应大于锚束直径 40 mm 以上。采用机械式锚固段时,锚固段部位钻孔直径的允许误差为 ± 2 mm。

3.3.9 重要工程进行锚固设计时,除应按刚体平衡法进行稳定分析外,还应采用完善的数学模型和物理模型,对锚固效果做出论证。对中、小型锚固工程或临时性锚固工程,可直接采用“工程类比法”进行锚固设计。

3.3.10 永久性预应力锚固工程,应根据工程的重要性,周围介质和渗透水的化学性质等条件,对预应力锚杆进行防腐、防锈处理。

3.3.11 重要工程或工程的重要部位,应根据实际运行需要,布置一定数量的试验性锚杆。通过试验性锚杆,验证预应力锚杆提供的锚固力、设计选定的参数的合理性。必要时按试验结果,调整预应力锚杆的各项设计参数。

3.3.12 锚固工程应做施工期和永久运行期的安全监测设计。

4 锚杆体的选型与设计

4.1 锚杆体的选型

4.1.1 锚杆体的型式,应根据锚固工程使用年限、单根锚杆的设计张拉力、锚杆的布置及施工条件,经综合比较进行选择。

4.1.2 单根预应力锚杆的设计张拉力小于 1000 kN;需要迅速实现锚固的抢险工程,岩石力学强度在 60 MPa 以上;或锚固段难以使用胶结材料的情况下,宜选择机械式的锚固方式。

4.1.3 单根预应力锚杆的设计张拉力大于 1000 kN;锚固段岩体较为软弱破碎,宜选用胶结式锚固方式或带有承载体的胶结式锚固方式。

4.1.4 预应力锚杆的外锚头,应由专门厂家采用金属材料制造。制造锚头的材料应符合本规范 3.2.3 条的规定。生产厂家的产品应通过国家质量监督部门的质量认证。

特殊情况下,通过现场试验论证后,可采用其它型式的外锚头。

4.1.5 锚杆材料选择,应遵守下述规定:

- 1 永久性预应力锚固工程,应选择高强度、低松弛的钢丝或钢绞线。
- 2 当要求预应力锚杆具有一定刚度,或由于锚杆安装的特殊需要,锚束可采用精轧螺纹钢筋。
- 3 对于防腐要求较高、观测性锚杆或有补偿张拉要求的锚杆,可采用无粘结式锚杆。
- 4 设计张拉力较小的临时性锚固工程,可采用普通预应力钢筋。

4.1.6 张拉设备的选择,应满足下列要求:

- 1 张拉设备的出力,应满足超张拉的要求,其最大出力宜大于设计张拉力的 150 %
- 2 张拉设备的行程,宜大于锚杆的弹性伸长和接触变形之和。
- 3 张拉设备应按计量法规要求,定时标定。

4.1.7 在施工允许的条件下,应优先选择对拉式预应力锚杆。

4.1.8 新研制的预应力锚杆,必须经过现场验证后,方可在锚固工程中应用。

4.2 锚杆体的结构设计

4.2.1 预应力锚杆体中的锚固段、张拉段、外锚头,以及各种联接部件,应按等强度的原则进行设计。

4.2.2 胶结式锚固段所提供的锚固力,必须大于预应力锚杆的超张拉力。锚固段长度可按式 (4.2.2) 确定,其胶结长度的安全系数可按表 4.2.2 的规定选取。对于重要工程,锚固段长度还应通过现场拉拔试验进行验证。

$$L_1 = k \frac{q_m}{\pi D C} \quad (4.2.2)$$

式中 L_1 ——锚固段长度;

q_m ——单根锚杆超张拉力;

D ——锚杆孔直径;

C ——胶结材料同孔壁的粘结强度;

k ——锚固段长度的安全系数(按表 4.2.2 选取)。

表 4.2.2 胶结式锚固段安全系数

工程性质与锚杆孔方向	永久性锚固工程		临时性锚固工程	
	仰 孔	俯 孔	仰 孔	俯 孔
安全系数 k	2.0	1.5	1.6	1.2

4.2.3 当计算决定的锚固段长度大于 10 m 时,宜采取改善锚固段岩体质量、改变锚头结构或扩大锚固段直径等技术措施,提高胶结式锚固段的锚固力。

4.2.4 锚固段的胶结材料,应根据锚固工程的需要和锚固段的岩体强度等因素,选择水泥浆、水泥砂浆或树脂材料。胶结材料的性能应符合本规范 3.2.4 条的规定。水泥浆胶结材料的抗压强度等级,不应低于 C35;树脂材料的抗压强度等级,不应低于 C50。

4.2.5 机械式内锚头应根据单根锚杆的设计张拉力,锚固部位岩体质量,并参照已建工程的经验选择其结构型式和结构尺寸。对于重要工程,还应对选定的机械式锚固段结构进行现场拉拔试验,验证其锚固力。

4.2.6 采用机械式锚固段时,锚固段的结构尺寸,应与锚杆孔直径有较好的配合。应保证锚固段安装后,其外夹片与孔壁呈整合状曲面接触。锚杆拉紧后,外夹片的齿纹同孔壁紧密咬合,并保证作用在孔壁上的压力分布均匀,在锚杆超张拉力的作用下,锚固段不产生滑移。

4.2.7 锚束的结构设计应遵守下列规定:

- 1 锚束采用的高强预应力钢丝,钢绞线或精轧螺纹钢筋的材质应符合本规范 3.2.2 条的规定。进行预应力锚杆设计时,在设计张拉力作用下钢材强度的利用系数为 0.6~0.65。
- 2 锚束中各股钢丝或钢绞线的长度应一致。沿锚束的长度方向,应安设隔离架,对于陡倾角方向布置的锚杆,隔离架间距不大于 4000 mm;对于缓倾角方向布置的锚杆,隔离架间距不大于 2000 mm。隔离架中,还应预留灌浆管和排气管的通道。
- 3 封孔灌浆后,锚束应有大于 20 mm 的保护层厚度。
- 4 机械式锚固段同钢丝或钢绞线的联结必须牢固,联结部件的强度,应满足本规范 3.2.3 条的规定。

4.2.8 外锚头的结构设计应遵守下列规定:

- 1 外锚头及其各部件的承载能力,必须同单根锚杆的最大张拉力相匹配,其材料性能应符合本规范 3.2.3 条的规定。
- 2 外锚头的结构型式,应有利于孔口设备的布置与安装,有利于锚杆的张拉,有利于锚杆的锁定和多余钢绞线的切除。
- 3 采用的锚夹具,当锚杆张拉时,应保证锚杆受力均匀,夹片的硬度适中,不能损伤钢丝或钢绞线。锁定时,钢丝或钢绞线的回缩量不大于 5 mm。
- 4 孔口混凝土垫墩应保证传力均匀。垫墩尺寸,应根据单根锚杆的最大张拉力、垫墩材料性质、锚杆孔口周围的地质情况及其力学性质,通过计算决定。垫墩混凝土的强度等级不应低于 C30。
- 5 垫墩之上应设置钢垫板,钢垫板的平面尺寸可略小于垫墩上平面尺寸,垫板厚度不小于 20 mm。钢垫板和垫墩的承力面,应垂直于锚杆孔的轴线,其偏差角不宜大于 $\pm 2^\circ$ 。

4.3 锚杆体的防护设计

4.3.1 预应力锚固工程中的锚杆体,可按表 4.3.1 的标准,进行防腐、防锈处理。

表 4.3.1 预应力锚杆的防腐、防锈标准

工 作 环 境	预应力锚杆的工作时间	
	临时性预应力锚杆	永久性预应力锚杆
无 侵 蚀 性	按 A 级进行防护	张拉后 15 天内,按 C 级进行耐久性防护
中 等 侵 蚀 性	张拉前按 A 级或 B 级防护	张拉前按 A 级或 B 级防护。张拉后按 C 级进行耐久性防护
强 侵 蚀 性	张拉前按 B 级进行防护。张拉后按 C 级进行耐久性防护	张拉前按 B 级进行防护。张拉后按 C 级进行耐久性防护

注 A 级防护材料:液态防护,如石灰水、防腐油。
B 级防护材料:塑态防护,如凝胶、树脂、防锈油脂等。
C 级防护材料:刚性防护,如水泥浆或水泥砂浆。

4.3.2 锚杆体防腐、防锈处理时,所使用的材料及其附剂中,不得含有硝酸盐、亚硫酸盐、硫氰酸盐。氯离子含量不得超过水泥重量的 0.02 %。

4.3.3 预应力锚杆采用水泥砂浆或水泥浆做为封孔灌浆或胶结材料时,应符合本规范 3.2.4 条的规定。掺入的减水剂、早强剂、膨胀剂中对钢材有腐蚀作用的物质含量也应符合本规范 4.3.2 条的规定。

4.3.4 无粘结预应力锚杆锚固段所使用的胶结材料亦应满足本规范 4.3.3 条规定。对于张拉段也必须采用水泥浆或水泥砂浆进行全孔封闭灌浆防护。

4.4 张拉力的控制和张拉程序设计

4.4.1 对于岩体锚固工程,施加设计张拉力时,锚束中的各股钢丝或钢绞线的平均应力,不应大于钢材极限抗拉强度的 60 %;当施加超张拉力时,其各股钢丝或钢绞线的平均应力,不宜大于钢材极限抗拉强度的 69 %。

4.4.2 对于水工建筑物的锚固工程,当施加设计张拉力时,锚束中各股钢丝或钢绞线的平均应力,不应大于钢材极限抗拉强度的 65 %;当施加超张拉力时,其各股钢丝或钢绞线的平均应力,不宜大于钢材极限抗拉强度的 75 %。

4.4.3 预应力锚杆张拉程序设计,应遵守下列规定:

- 1 锚杆的张拉力应分级施加,逐级增加至超张拉荷载。
- 2 每级张拉荷载下,应持荷 5 min,锚杆锁定后,当预应力损失超过设计张拉力的 10 %时,应进行补偿张拉。补偿张拉应在锁定值基础上一次张拉至超张拉荷载。补偿张拉最多进行两次。

3 对于群锚工程,为避免锚杆张拉时,使邻近已锁定锚杆产生应力松弛,应优化张拉程序设计。若邻近锚杆产生应力松弛的幅度超过设计张拉力的 10 %时,应进行补偿张拉。

4.4.4 为保证预应力锚杆锁定时的预应力效果,应根据锚夹具的性能和造孔质量,确定超张拉力的数值。一般情况下超张拉力不宜超过设计张拉力的 115 %。

5 岩体预应力锚固设计

5.1 岩质边坡

5.1.1 为防止岩质边坡滑动,采用预应力锚杆加固时,应同采用阻滑桩、抗滑墩,或以预应力锚杆为主的综合加固方案进行技术经济比较。

5.1.2 根据可能使边坡失稳的软弱结构面位置、产状及其各项力学指标,应采用极限平衡理论进

行稳定性分析,确定失稳边坡的范围、滑动面位置和下滑力的大小。

5.1.3 应在充分考虑岩体自身强度作用的原则下,决定由预应力锚杆提供的抗滑力。对边坡施加预应力后,岩体边坡的稳定状况应符合式(5.1.3)的规定。

$$K \geq \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q} \quad (5.1.3)$$

式中 Q_1 ——岩体强度提供的抗滑力;

Q_2 ——其他加固措施提供的抗滑力;

Q_3 ——预应力锚杆提供的抗滑力;

Q ——滑动体的下滑力;

K ——抗滑稳定安全系数,其中:永久性预应力锚固工程 $K = 1.8 \sim 1.5$;临时性预应力锚固工程 $K = 1.5 \sim 1.2$ 。

5.1.4 锚杆长度,应按式(5.1.4)确定。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5.1.4)$$

式中 L ——预应力锚杆长度;

L_1 ——锚固段长度,胶结式锚固段长度应按式(4.2.2)计算确定;机械式锚固段,应根据锚杆同锚固段的搭接长度确定;

L_2 ——张拉段长度;

L_3 ——外露长度。

5.1.5 预应力锚杆同水平面的夹角,可按式(5.1.5)确定。

$$\beta = \theta \pm \left[45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right] \quad (5.1.5)$$

式中 β ——最佳锚固角;

θ ——滑动面(软弱结构面)倾角;

φ ——软弱结构面内摩擦角。

当确定的最优锚固角为 $-5^\circ < \beta < +5^\circ$ 时,锚杆同水平面的夹角应调整至 $\beta \leq -5^\circ$ 或 $\beta \geq 5^\circ$ 。

当受到施工场地或施工设备限制时,可适当调整锚固角度,但必须通过技术经济比较,以确定最佳的锚固角度。

5.1.6 在边坡锚固设计时,应做好截水、排水设计。施工用水的排、放布置也应合理。

5.2 坝基

5.2.1 坝基的预应力锚固设计,应针对不同的工程对象,按相应的规范进行抗滑稳定、抗倾覆稳定和应力分析计算,确定加固范围和锚固力的大小。

5.2.2 采用预应力锚杆对坝基加固,坝体提供的抗滑力和由预应力锚杆提供的抗滑力与沿坝基或软弱结构面上的滑动力之和,应满足有关规范规定的安全系数。

5.2.3 坝基施加预应力荷载后,锚固荷载加上坝基在各种荷载组合下(地震荷载除外),坝基所承受的最大压应力,应小于坝基容许压应力。坝基的拉应力应满足有关规范的相应规定。

5.2.4 加固坝基的预应力锚杆的轴线方向,应根据场地条件和方便施工,经过技术经济比较选定。

5.2.5 根据软弱结构面的位置和产状,应按式(5.1.4)的规定计算锚杆长度,并根据结构物的布置和施工条件确定锚杆布置。

5.2.6 坝基加固的预应力锚杆,应遵照本规范 4.3.1 条的规定,按刚性防护标准(C级)进行防护。

5.2.7 对裂隙发育或较为软弱破碎的基础,为了提高锚固效果,需要进行固结灌浆时,固结灌浆的设计,应遵守相应规范关于坝基固结灌浆的规定。

5.3 地下洞室

5.3.1 对各种用途的地下洞室的不稳定围岩,可采用预应力锚杆进行加固,以保证地下洞室的围岩稳定和安全运行。

5.3.2 对围岩的稳定性分析,可采用极限平衡理论、有限元分析、模型试验或原位监测分析等成熟的方法。在分析结果中,有下列情况之一者,应采用预应力锚杆,或以预应力锚杆为主、普通锚杆为辅的综合措施,进行整体或局部加固:

- 1 围岩中的压剪破坏区和塑性区。
- 2 各种结构面组成的下滑区或塌落区。
- 3 作用在岩壁上的吊车梁。

5.3.3 属于整体性质的压剪破坏区和塑性区,应采用系统加固的方法进行设计。系统加固的普通锚杆和钢筋网喷射混凝土提供的支护抗力,满足不了围岩稳定需要的最小支护抗力时,应采用预应力锚杆加固,预应力锚杆提供的支护抗力按式(5.3.3)计算:

$$P_1 = \frac{q_1}{A} \quad (5.3.3)$$

式中 P_1 ——由预应力锚杆提供的单位面积上支护抗力;

q_1 ——单根锚杆提供的锚固力;

A ——单根锚杆所控制物面积。

5.3.4 由预应力锚杆、普通锚杆、钢筋网喷射混凝土和围岩本身提供的支护抗力之和应满足式(5.3.4)的规定:

$$K \geq \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_1} \quad (5.3.4)$$

式中 P_1 ——预应力锚杆提供的单位面积上的支护抗力;

P_2 ——普通锚杆提供的单位面积上的支护抗力;

P_3 ——钢筋网喷射混凝土提供的单位面积上的支护抗力;

P_4 ——围岩具有的单位面积上的支护抗力;

P_1 ——围岩稳定需要的最小单位面积上的支护抗力;

K ——围岩稳定安全系数,可取为 1.8~1.5。

5.3.5 预应力锚杆应穿越破裂区或塑性区,锚固段必须布置在没有扰动的弹性区内。锚固段长度应满足式(4.2.2)规定。

5.3.6 预应力锚杆的间距不宜大于预应力锚杆张拉段长度的 1/2。

5.3.7 预应力锚杆应均匀布置。锚杆方向应按洞室轮廓线的法向布置。

5.3.8 属于局部范围压剪破坏区、塑性区、由各种结构面组成的下滑区或塌落区,以及岩壁吊车梁,应按局部加固进行设计。

5.3.9 位于顶拱部位的塌滑体,应按预应力锚杆承担全部塌滑体重量决定锚固力。

5.3.10 位于边墙部位的塌滑体,应在充分考虑塌滑体周围岩体的嵌固作用,并按岩质边坡的规定,计算需要锚杆提供的锚固力。

5.3.11 对有相邻洞室的岩墙,应优先采用对拉式预应力锚杆。

6 水工建筑物的预应力锚固设计

6.1 预应力闸墩

6.1.1 当弧形闸门承受的水推力达到 35000 kN 以上,闸墩中混凝土出现较大拉应力时,应采用预应力式闸墩。

6.1.2 闸墩中的预应力锚杆按下述原则进行设计:

1 锚块与闸墩和与大梁相连的颈部,以及闸墩的锚固区上游混凝土中的主拉应力,应满足 SL/T 191—96《水工混凝土结构设计规范》的规定。

2 混凝土支撑结构的强度及变形应满足结构及运行的要求。

6.1.3 预应力闸墩的结构设计,应采用三维有限元法进行闸墩的应力分析,必要时还应采用结构模型试验加以论证。

6.1.4 进行闸墩应力分析时,必须考虑各种荷载组合和所控制的工况。

6.1.5 闸墩中预应力锚杆的布置,应遵守下列规定:

1 预应力锚杆合力方向,宜同弧门支铰推力方向一致。

2 预应力锚杆在平面上的布置,应力求使闸墩内部应力分布均匀。闸墩中锚杆的间距不得小于 500 mm,边部锚杆同闸墩边缘的距离不得小于 600 mm。

6.1.6 为了改善锚块的应力状况,应设置一定数量的次锚杆。次锚杆一般为水平方向布置。

6.1.7 闸墩预应力锚杆穿索孔道的直径,应根据锚杆的直径决定,并留有一定的空间和灌浆通路。穿索孔道可以采用预埋钢管或预埋波纹管。

6.1.8 预应力闸墩中,锚固区域的混凝土强度等级,不得低于 C30。锚块的混凝土强度等级不得低于 C40。

6.2 闸室、挡墙

6.2.1 为了节省工程造价,减少闸室或重力式挡墙的工程量,并保证闸室和挡墙的稳定,可采用预应力锚杆进行加固。

6.2.2 对闸室施加的锚固力,应满足抗浮稳定的要求。其安全系数应符合相应规范的规定。锚固设计时,抗浮力不足的部分,由预应力锚杆施加于闸室的法向力承担。

6.2.3 挡墙中的预应力锚杆,应按下述规定设计:

1 挡墙承受的水压力或土压力,由预应力锚杆和挡墙的自重共同承担。

2 根据对挡墙稳定分析结果决定锚杆的数量和单根锚杆的设计张拉力。

3 根据挡墙的用途、断面形式和可能失稳破坏的方式,通过技术经济比较,选择最优的锚固角度。

6.3 水工建筑物的补强加固

6.3.1 对需要加高的坝体或对水工建筑物的裂缝、缺陷进行补强时,经过技术经济比较,可采用预应力锚杆进行加固。

6.3.2 采用预应力锚杆加固坝体,在坝体抗滑稳定校核中,抗滑稳定安全系数应满足本规范 5.2.2 条的规定。坝基应力应满足本规范 5.2.3 条的规定。

6.3.3 对水工建筑物的裂缝或缺陷采用预应力锚杆加固时,应选择适合于原水工建筑物强度要求的锚固力。为减少锚固段部位的应力集中,锚固段应错开布置。

6.3.4 对水工建筑物裂缝实行预应力锚固后,对裂缝进行固结灌浆时,应控制灌浆压力。

7 试验与监测设计

7.1 材料及被锚固介质特性的检验

7.1.1 对于重要锚固工程,在施工初期应通过现场试验对下列项目进行检验:

- 1 胶结材料同被锚固介质的粘结强度。
- 2 控制性软弱结构面的 C 、 ϕ 值。
- 3 特殊工程还应进行预应力损失试验

7.1.2 预应力锚杆施工阶段,应通过抽样检查的方法,对如下项目进行检验:

1 锚杆材料实际强度。取样数量应符合 SL 46—94《水工预应力锚固施工规范》的规定。检验结果应符合 3.2.2 条的规定。

2 胶结材料的抗压强度、抗拉强度以及被锚固介质的粘结力。取样数量为 5 %。试验结果不应低于设计值。

3 防护材料的化学成份及其稳定性。检验结果应符合本规范 4.3.2 条的规定。

7.1.3 各项检验方法应符合国家或行业有关标准。

7.2 锚杆的整体性试验

7.2.1 为验证预应力锚固设计,检验预应力锚杆施工工艺,指导安全施工,在锚固工程施工初期,应进行预应力锚杆整体性试验。

7.2.2 整体性试验应按本规范附录 A 规定的方法进行,无特殊要求,不应在工作锚杆中进行破坏性试验。

7.2.3 整体性试验的数量,可按工作锚杆的 3 % 控制,有特殊要求时,可适当增加。

整体性试验的平均拉拔力,不应低于预应力锚杆的超张拉力。当平均拉拔力低于此值时,应再按 3 % 的比例补充整体性试验的数量。试验结果仍达不到规定标准,则应追加工作锚杆的布置数量。

7.2.4 重要工程与工程的重要部位,应在现场选择有代表性的地段进行预应力损失量和群锚的相互影响试验。

7.3 锚固效果的原位监测设计

7.3.1 预应力锚固工程应根据工程的重要性和实际条件,对预应力锚杆的工作状况和锚固效果进行施工期和永久性运行期的原位监测。

7.3.2 施工期的原位监测,以保证施工安全和施工质量为目的。可按本规范附录 B 选择监测项目。监测内容应简单,采用的仪器应轻便灵敏,观测应快捷,信息反馈应迅速。

施工期监测的观测断面,应设置在锚固区的关键部位。有条件时,宜同永久监测结合。

7.3.3 预应力锚固工程的长期原位监测应遵守下列规定:

1 长期监测应以锚固区域的整体稳定和锚杆预应力保持为主。可按本规范附录 B 的规定选择监测项目。

2 长期监测至少应安设一个观测断面,一个观测断面至少应设置三个观测部位。

3 长期监测宜从锚杆施工初期开始,以获得连续、完整的观测资料。

7.3.4 施工期监测和长期监测选用的仪器,应性能稳定,量程与精度满足变形需要。产品应有合格证书。

7.3.5 为保证观测仪器埋设的施工质量,在监测设计时应根据仪器的特性、施工和运行的要求,编写仪器埋设的技术要求。明确埋设方法和保护措施。

7.3.6 原位监测设计文件中,应提出观测要求。施工期监测要定期编制监测简报。

附录 A 预应力锚杆锚固试验规定

- A.0.1** 预应力锚杆锚固力非破坏性试验,应遵守如下规定:
- 1 非破坏性试验可选择在有代表性的锚杆中进行。
 - 2 按设计拟定的张拉程序,逐级施加张拉力。每级荷载施加后,持荷 5 min,进行相应的观测。当张拉力达到设计张拉力的 115 %时,停止加载,即可认为锚杆的锚固力满足设计要求。
- A.0.2** 预应力锚杆锚固力破坏性试验,应遵守如下规定:
- 1 破坏性试验不得在实际锚固工程部位进行。
 - 2 选择与加固工程地质条件相似的现场,按设计拟定的程序和工艺条件造孔、安装锚杆,待锚固段就位或达到养生期限后,安装孔口设备和量测仪器。
 - 3 用于进行破坏性试验的预应力锚杆,其长度可比工作锚杆短,但应满足试验要求。
 - 4 按设计拟定的张拉程序,逐级施加张拉力。每级荷载施加后,持荷 5 min,进行相应的观测。当锚固段产生连续性位移,或有 30 %的钢丝或钢绞线拉断,即认为预应力锚杆已达到破坏状态。
 - 5 当施加的锚固力已达到钢材极限抗拉强度值时,预应力锚杆并没有出现第 4 款规定的现象,可由实测的荷载与变形关系曲线确定锚固力大小。
 - 6 进行锚固力破坏性试验时,应做好安全防护,防止人身伤亡和设备损坏事故的发生。

附录 B 监测内容与项目

B.0.1 原位监测内容包括锚杆体的工作状况和被锚固对象的加固效果。各工作阶段的监测项目可按表 B 选定。

表 B 预应力锚固工程原位监测内容和项目			
预应力锚杆工作阶段	监 测 内 容		监 测 项 目
施工阶段	锚杆体材料	锚杆的工作状态 锚杆的施工质量	1. 锚杆张拉力 2. 锚杆伸长值 3. 预应力损失
	锚固对象	加固效果	被锚固体的位移和变形
工程运行阶段	锚杆体	锚杆的工作状态	预应力值变化
	锚固对象	锚固工程安全状况	被锚固体位移地下水状态