电力行业大坝安全监测标准化技术委员会

大坝标函〔2022〕278 号

关于征求《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》（征求意见稿）意见的函

各有关单位及专家：

电力行业大坝安全监测标准化技术委员会组织中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司等单位编制的《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》已完成征求意见稿，现公开征求意见，请审阅并提出具体修改意见和建议，于 2022 年 10 月 20 日前以信函或邮件方式反馈至中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司。

《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》（征求意见稿）的全文可从 www.dam.nea.gov.cn 的“中心通知”栏下载。

联 系 人：刘　浩

电　　话：0571- 56626513　18805811568

邮　　箱：liu_h@hdec.com;

邮寄地址：浙江省杭州市余杭区高教路 201 号

邮　　编：311122

附件：1. 电力行业标准征求意见表

2.《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》（征求意见稿）及编制说明

电力行业

大坝安全监测标准化技术委员会

2022 年 9 月 9 日

（主动公开）

附件 1

电力行业标准征求意见表

标准名称：《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》

序号	章节条款	意　见　内　容
反馈意见单位或反馈意见人： 日期：		

注：纸张不够请另附页

附件 2

ICS 27.140
CCS P 59
备案号：

DL

中华人民共和国电力行业标准

P DL/T ××××—202×

水电工程地下建筑物安全监测技术规范

Technical specification for underground buildings of hydropower projects monitoring

（征求意见稿）

202×-××-××发布 202×-××-××实施

国家能源局 发布

前　言

根据《国家能源局综合司关于下达 2021 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》（国能综通科技〔2021〕92 号）要求，规范编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，编制本规范。

本标准在制定过程中，编制组经过了广泛调查研究，总结了近年来水电工程地下建筑物安全监测技术的新发展和成功经验，考虑了与现行国家和行业相关标准的协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规范的主要内容是：总则、术语、基本规定、监测设计、监测施工、观测与维护、资料分析与监控等。

本标准由国家能源局负责管理，由中国电力企业联合会提出并负责日常管理，由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目　　次

1　总　则 1

2　术　语 2

3　基本规定 3

4　监测设计 4

4.1　一般规定 4

4.2　水工隧洞监测布置 5

4.3　调压室监测布置 8

4.4　地下厂房洞室群监测布置 10

4.5　巡视检查 12

5　监测施工 15

5.1　一般规定 15

5.2　安装埋设 16

6　观测与维护 22

6.1　一般规定 22

6.2　观　测 22

6.3　维　护 23

7　资料分析与监控 25

7.1　一般规定 25

7.2　整编及分析 25

7.3　监控及反馈 26

附录 A　监测项目分类和选择、测次与精度 28

附录 B　监测资料观测及整编表格式 37

附录 C　监测仪器的安装 38

本规范用词说明 41

引用标准名录 42

附：条文说明 43

Contents

1 General 1
2 Terms 2
3 Basic provisions 3
4 Monitoring design 4
4.1 General requirements 4
4.2 Hydrauli tunnels monitoring 5
4.3 Surge chamber monitoring 8
4.4 Underground powerhouse monitoring 10
4.5 Inspection 12
5 Monitoring implementation 15
5.1 General requirements 15
5.2 Installation and embedment 16
6 Observation and maintenance 22
6.1 General requirements 22
6.2 Observation 22
6.3 Maintenance 23
7 Information analysis and supervisory control 25
7.1 General requirements 25
7.2 Compilation and analysis 25
7.3 Supervisory control and feedback 26
Appendix A Selection of monitoring items, observation frequency and precision requirements 28
Appendix B Forms for monitoring observation and compilation 37
Appendix C Installation of monitoring facilities 38
Explanation of wording in this specification 41
List of normative standards 42
Addition: Explanation of provisions 42

1 总 则

1.0.1 为规范水电工程地下建筑物安全监测设计、施工、观测、维护、资料分析与监控等，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于 1 级、2 级、3 级水工隧洞、调压室、地下厂房等地下建筑物的安全监测；4 级、5 级水工隧洞、调压室、地下厂房等地下建筑物的安全监测可参照执行。

1.0.3 水电工程地下建筑物的监测工作除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 水电工程地下建筑物 underground buildings of hydropower projects

水电工程中构筑于山体内部或地面以下的，用于输水、发电、泄洪、放空、排沙、导流等功能的建筑物，包括输水洞、引水隧洞、尾水隧洞、调压室、地下厂房洞室群、泄洪洞、放空洞、排沙洞、导流洞及相关封堵体等。

2.0.2 施工期监测 construction period monitoring

从开始施工到竣工验收前进行的安全监测。

2.0.3 运行期监测 operation period monitoring

竣工验收后进行的安全监测。

2.0.4 监测断面 monitoring section

对地下建筑物安全有控制性作用，并集中布置有监测仪器的断面。

3　基本规定

3.0.1　水电工程地下建筑物的监测工作应贯穿于设计、施工、运行各阶段，应注重洞室开挖前的预测、预报，以及监测资料的分析反馈。

3.0.2　水电工程地下建筑物监测项目的选定和布置应相互兼顾，统一规划，分步实施。监测布置及观测频次应结合开挖、支护作业的进程和监测资料分析成果进行动态调整。

3.0.3　地下建筑物安全监测项目按运行寿命分为永久监测、长期监测和短期监测三类。永久监测项目的监测设施应保证可以修复或更换。对于长期监测和短期监测项目，当监测设施完成使命后可以封存停测。

3.0.4　监测仪器设备应耐振防尘、简单适用、稳定可靠，永久和长期监测仪器设备还应耐久、先进，并便于实现自动化监测。

3.0.5　大型地下工程主体开挖前宜利用其附近早期开挖的勘探洞、施工支洞、排水洞、通风洞、锚固洞等辅助洞室预埋监测仪器，对不具备预埋条件的，应紧跟掌子面埋设，及时获取监测成果。

3.0.6　相关监测项目宜同步测读。如遇测值异常，应立即进行复测，并同步记录相关施工、环境量变化及现场检查等情况。

3.0.7　施工期应及时完成地勘、施工、监测等相关资料的整编入库工作，并结合工程特点、工程地质、工程施工、巡视检查等进行综合分析及反馈，为设计与施工提供依据。运行期还应结合其运行工况，对监测资料进行综合分析，为安全运行提供依据。

3.0.8　监测系统投运后应定期检查、维护和评价，及时处理存在的缺陷和问题。

3.0.9　主要监测物理量的正负号应符合下列规定：

1　围岩变形：向临空面变形为正，反之为负。

2　垂直位移：下沉为正，反之为负。

3　接缝和裂缝开合度：张开为正，闭合为负。

4　岩体轴向变形：拉伸为正，压缩为负。

5　收敛变形：向洞内收缩为正，反之为负。

6　应力应变：拉为正，压为负。

7　渗透压力：压为正。

8　压应力：压为正。

4　监测设计

4.1　一般规定

4.1.1　水电工程地下建筑物安全监测设计依据应包括工程规模、建筑物级别、勘探和物探成果、结构计算和模型试验、支护措施、运行管理要求等基本资料。

4.1.2　监测设计应综合考虑施工期动态设计与运行期安全运行进行总体规划，监测项目设置和测点布置应针对地下建筑物的工程特点、主要工程问题，对地下洞室跨度大、地质条件复杂、围岩稳定条件差的重要部位应采用多种监测项目和仪器设备进行监测。

4.1.3　监测断面布置应根据洞室功能、等级、地质条件、支护型式、受力状态、结构型式、防渗排水设计、施工方法等综合确定。不同监测项目的监测断面宜结合布置。

4.1.4　测站的布局应综合考虑电源、线缆布置，以及观测、维护便利等因素，测站宜布置在仪器较为集中、安全、通达、通电、干燥、通风的部位，线缆沿程应设置醒目的标志。

4.1.5　可行性研究阶段应提出监测总体设计，包括监测项目选择、监测资料分析反馈及安全评价要求、安全监测信息化管理要求、监测仪器设备数量、投资概算等。特别复杂的地下工程宜进行专项研究。

4.1.6　招标设计阶段应在监测总体设计方案的基础上，提出各监测项目和监测点的布置、监测方法、应用期限、测站位置、线缆布局；提出监测仪器设备清单，各类仪器的数量宜根据地下工程的复杂程度有冗余；提出监测仪器设备的主要技术指标、埋设安装要求、监测技术要求和投资概算等。

4.1.7　施工详图阶段应绘制监测仪器安装埋设详图，并根据施工进展、开挖揭露的围岩特性、监测资料分析成果，及时调整监测方案。提出各阶段观测频次、各类仪器初始值及基准值选取方法、观测精度、设计警戒值等，提出巡视检查、监测设施保护和维护要求等，编写竣工设计报告。

4.1.8　水电工程地下建筑物监测项目、监测频次、监测精度应符合附录 A 的规定。

4.1.9　地下洞室围岩及初期支护监测项目宜根据开挖跨度或洞径、围岩类别等确定，详见附录表 A.1.1。

4.1.10　水电工程地下建筑物施工环境监测应满足 DL/T 5260 的要求。

4.1.11　水电工程地下洞室围岩松弛监测应满足 NB/T 10227 的要求。

4.1.12　水电工程地下建筑物爆破震动监测应满足 DL/T 5333 的要求。

4.1.13　水工隧洞进出口边坡安全监测应满足 DL/T 5796 的要求。

4.1.14　水工隧洞水力学监测应满足 DL/T 5772 的要求。

4.2　水工隧洞监测布置

4.2.1　水工隧洞围岩表面变形监测应符合下列要求：

1　围岩收敛变形及拱顶沉降监测断面间距不宜低于下列要求：

1)　III 类围岩不大于 50m；

2)　Ⅳ类围岩不大于 40m；

3)　Ⅴ类围岩不大于 30m；

4)　洞口段、浅埋洞段、地质条件较差洞段，监测断面应适当加密。

2　围岩收敛变形及拱顶沉降一般采用收敛计、全站仪监测，每个断面测点数量不宜少于 3 个，测点位置宜根据地质条件、洞室开挖体型等确定，一般宜对称布置在洞顶、边墙等部位，偏压或断层等特殊洞段宜根据地应力方向或地质构造特点布置测点。高地应力或膨胀性的特殊洞段，宜在底板中部增设测点。富水软弱破碎围岩、流沙、软岩大变形、含水黄土、膨胀岩土等洞段，宜增设拱脚测点。

3　观测工作基点及基准点一般可利用洞内相对稳定部位。如洞内无法找到稳定部位，可从洞外稳定部位引入。

4　有条件也可采用三维激光扫描仪、柔性测斜仪等监测全断面收敛变形。

4.2.2　围岩类别为 IV~V 类且埋深小于 2.5 倍洞径的浅埋洞段可沿洞轴线布置地表下沉监测，监测应符合下列要求：

1　断面数量不宜少于 2 个，宜与洞内围岩收敛变形及拱顶沉降监测断面位于同一断面。

2　每个断面测点数量不宜少于 3 个，宜布置在洞顶和两侧受影响的范围内。

3　地表下沉宜采用水准仪或全站仪监测。

4　工作基点及基准点布置应按 DL/T5178 要求执行。

4.2.3　水工隧洞围岩内部变形监测应符合下列要求：

1　围岩内部变形宜采用多点变位计监测。监测断面宜布置在洞口、地质条件较差、洞室交叉等受力条件复杂及薄弱部位。

2　每个断面测孔数不宜少于 3 个，测孔宜布置在洞顶、腰部、地质结构面影响等

部位。高地应力、软岩大变形、膨胀岩土等特殊洞段宜在拱脚或底板增设测孔。

3　多点变位计测孔深度宜深入计算分析的变形影响区之外，不宜小于洞径的 1.2 倍，孔内测点数量宜不少于 3 个，测点位置宜根据计算分析变形梯度及地质条件由围岩表面至深部由密到疏布置，围岩松动圈附近、重要地质结构面的上下盘宜布设测点。

4　具备条件时，宜利用先期开挖形成的边坡或洞室预埋仪器，预埋最深锚固点应尽量靠近洞壁，且后期开挖爆破不应引起锚固点松动，距洞壁的距离一般宜为 1~2m。

4.2.4　水工隧洞 Y 型岔管段围岩内部变形监测应符合下列要求：

1　监测断面宜布置在主支锥相贯线附近、主锥与过渡锥附近。

2　主支锥相贯线附近断面宜布置 3~4 个测孔，其余断面布置 2~3 个测孔。

3　采用的监测仪器、测孔位置、深度及孔内测点布置、预埋等应符合 4.2.3 的要求。

4.2.5　水工隧洞接缝变形监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与围岩内部变形监测断面一致，宜采用测缝计或缝隙计监测。

2　每个断面测点数不宜少于 3 个。混凝土衬砌与围岩接缝变形测点宜布置在洞顶、腰线等部位；钢衬与混凝土衬砌接缝变形测点宜布置在洞底、腰线、洞顶等部位。

3　钢衬与混凝土衬砌接缝部位宜布置接缝变形测点。

4.2.6　水工隧洞 Y 型岔管段接缝变形监测应符合下列要求：

1　监测断面宜布置在主支锥相贯线、过渡锥与主锥相贯线、过渡锥与支锥相贯线附近。

2　Y 型钢岔管宜对钢管与回填混凝土、回填混凝土与围岩间的缝隙进行监测，宜采用测缝计或缝隙计监测。测点宜布置在断面的顶部、底部、腰线等部位，顶部回填混凝土与围岩、底部钢衬与回填混凝土之间宜设置测点。

3　Y 型混凝土岔管宜对混凝土衬砌与围岩的接缝变形进行监测，宜采用测缝计监测。每个断面测点数不宜少于 3 个，宜布置在洞顶、腰线等部位。

4.2.7　导流洞堵头、水头超过 50m 的施工支洞堵头宜在封堵体与围岩（或衬砌结构）间布置接缝变形监测，宜采用测缝计监测，监测断面数量宜根据堵头的长度确定，不宜少于 2 个，每个断面测点数量不宜少于 3 个，测点宜布置在断面中上部。

4.2.8　水工隧洞渗压监测应符合下列要求：

1　渗压监测断面宜与围岩内部变形监测断面结合布置，高水头洞段、突水洞段、渗压影响围岩稳定性的洞段、断层等透水带出露洞段、混凝土衬砌与钢衬接头附近、防渗帷幕上、下游附近等应增设渗压监测断面。宜采用渗压计或测压管监测。

2　渗压计宜布置在洞顶、腰部等部位衬砌外侧，断层塞、渗水封堵塞、透水带出露处等宜增设测点，衬砌混凝土与围岩结合部位的渗压计宜埋设在围岩内距混凝土外侧0.2m~0.5m 处；围岩有防渗要求的，宜在固结灌浆区外增设测点。

3　可在隧洞沿线地表、排水洞或排水廊道等布置测压管，监测隧洞附近的地下水位。

4　隧洞进出口建筑物基础宜布置基础扬压力，宜沿水流方向布置 1~2 个监测横断面，每个断面宜设置 1~3 个测点。

4.2.9　导流洞堵头、水头超过 50m 的施工支洞堵头宜布置渗压监测，宜采用渗压计监测，监测断面及测点宜与接缝变形监测相结合，渗压计宜埋设围岩内距封堵体与围岩接缝 0.2m~0.5m 深处。

4.2.10　水工隧洞渗流量监测应符合下列要求：

1　突水、涌水洞段宜设置施工期渗流量监测，宜采用量水堰或容积法监测。

2　对设有排水洞或排水廊道的高水压隧洞，应对排水洞或排水廊道的排水量进行监测，宜根据排水的流向分区分段，在各层排水洞或排水廊道汇流部位布置量水堰。

3　对穿过主体洞室的集中渗水通道、压力钢管外侧自流排水孔，可采用单孔流量计或容积法进行单孔流量监测。

4.2.11　导流洞堵头、水工隧洞施工支洞堵头末端可布置量水堰监测渗流量。

4.2.12　水工隧洞支护结构受力监测应符合下列要求：

1　支护结构受力监测断面宜与围岩内部变形监测断面结合；

2　支护锚杆应力宜采用锚杆应力计监测，每个断面监测锚杆数量不宜少于 3 根，宜布置在洞顶、腰部、地质结构面影响等部位，泄洪、冲沙等高速水流洞段宜增设底板锚筋（杆）应力监测。监测锚杆上的测点数量根据锚杆长度确定，宜按照表 4.2.12-1 选取，测点位置宜根据围岩松弛深度等确定。

表 4.2.12-1　锚杆应力计测点数量设置表

锚杆长度 L	L≤6 m	6 m＜L≤9 m	L＞9 m
应力计数量（个）	1~2	2~3	3~4

3　预应力锚索荷载宜采用锚索测力计监测，宜对不同吨位、长度的锚索进行抽样监测，监测锚索数量不宜低于锚索总量的 5%，且不宜少于 2 根。

4　设有钢拱架支护的洞段可布置钢拱架内力及外力监测断面。每个断面可根据受力情况布置不少于 3 个内力监测点，其中格栅钢架内力宜采用钢筋计监测，型钢钢架内力宜采用点焊式应变计监测，施工期临时监测可采用应变片。每个断面可布置 2~3 个钢拱架与围岩或混凝土接触压力测点，宜采用压力计监测。

4.2.13　软岩大变形、高地应力等特殊洞段可布置围岩与衬砌结构间接触压力监测，宜采用压应力计、应变计监测。

4.2.14　水工隧洞衬砌应力应变监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与围岩内部变形、渗压监测断面相结合。

2　混凝土衬砌洞段钢筋应力宜采用钢筋应力计监测，每个断面测点数量不宜少于 3 组，一般布置在计算应力较大的环向主筋上，软、硬岩分界线或钢衬与混凝土衬砌分界线附近的监测断面宜增设轴向钢筋应力测点。钢筋应力测点附近可设与其同方向的混凝土应变计，应变计附近宜设无应力计。

3　钢衬洞段钢板应力宜采用钢板应力计监测，每个断面宜布置 2~4 处测点，每处宜沿环向、轴向成组布置。

4.2.15　水工隧洞 Y 型岔管段衬砌应力应变监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与接缝变形监测断面相结合。

2　Y 型钢岔管的钢板应力宜采用钢板应力计监测。每个断面宜在顶部、腰部、底部沿环向布置测点，同时月牙肋板两端和中部宜布置 3~5 个测点。

3　Y 型混凝土岔管的钢筋应力宜采用钢筋应力计监测。每个断面宜在顶部、腰部、底部沿环向布置测点。钢筋应力测点附近可设与其同方向的混凝土应变计，应变计附近宜设无应力计。

4.2.16　封堵体可根据施工温控需要布置混凝土温度监测。

4.2.17　引水隧洞进口宜设置水位监测，测点应设置在稳固的岸坡或永久建筑物上，宜与水机或水情测报系统联合布置。

4.3　调压室监测布置

4.3.1　调压室围岩内部变形监测应符合下列要求：

1　调压室井身围岩内部变形宜采用多点变位计监测，监测断面数量不宜少于 2 个，宜布置在地质条件较差、受力复杂等部位，每个监测断面测孔数量不宜少于 2 个，位置宜根据地质条件、地应力方向等确定。

2　埋藏式、气垫式调压室顶部围岩内部变形宜采用多点变位计监测，测孔数量不宜少于 2 个。

3　多点变位计测孔深度及孔内测点布置、预埋等应符合 4.2.3 的要求。

4.3.2　调压室接缝变形监测应符合下列要求：

1　监测断面布置宜与围岩内部变形监测断面一致，宜采用测缝计监测。

2　每个断面测点数量不宜少于 2 个，测点宜布置在混凝土衬砌与围岩、钢衬与混凝土衬砌接缝、衬砌结构缝等部位。

4.3.3　调压室渗压监测应符合下列要求：

1　渗压监测断面宜与围岩内部变形监测断面结合布置，渗压影响围岩稳定性洞段、断层等透水带出露洞段等应增设渗压监测断面。开敞式、埋藏式调压室监测断面数量不宜少于 2 个，气垫式调压室监测断面数量不少于 3 个。宜采用渗压计或测压管监测。

2　开敞式、埋藏式调压室每个断面测点数量不宜少于 2 个，气垫式调压室每个断面测点数量不宜少于 5 个。测点布置应符合 4.2.8 的要求。

4.3.4　调压室支护结构受力监测应符合下列要求：

1　支护结构受力监测断面宜与围岩内部变形监测断面结合布置。

2　调压室井身每个断面监测锚杆数量不宜少于 3 根，埋藏式、气垫式调压室顶部监测锚杆数量不宜少于 3 根，宜采用锚杆应力计监测，单根锚杆测点数量应符合 4.2.12 的要求。

3　预应力锚索监测布置应符合 4.2.12 的要求。

4.3.5　调压室衬砌应力应变监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与围岩内部变形、渗压监测断面相结合。

2　钢筋混凝土衬砌的钢筋应力宜采用钢筋应力计监测，每个断面宜布置 3~5 组测点，一般布置在计算应力较大的受力主筋上，调压室升管与引水隧洞结合处、升管与大井结合处等应力复杂部位宜增设测点。钢筋应力测点附近可设与其同方向的混凝土应变计。

3　采用钢衬闭气的调压室宜根据计算分析成果在应力较大部位布置钢板应力计组。

4.3.6　调压室应设置涌波水位监测，宜选用具备高频水位采集功能的仪器设备。

4.3.7　气垫式调压室应设置气室水位、气压、气体温度、水幕压力等监测项目，可与运行监测系统联合设计。

4.4 地下厂房洞室群监测布置

4.4.1 地下厂房洞室群宜根据洞室规模、地质条件等布置围岩变形监测断面。主副厂房洞、主变洞垂直中心线方向断面数量不宜少于 3 个，尾闸洞断面数量不宜少于 2 个，断面宜布置在典型洞段、洞室最大开挖洞段、围岩地质条件较差洞段。主副厂房洞、主变洞两侧端墙可根据开挖高度、地质构造布置监测断面。母线洞监测数量不宜少于 1 条，每条母线洞监测断面数量不宜少于 2 个。

4.4.2 地下厂房洞室群围岩表面变形监测应符合下列要求：

1 围岩收敛变形一般采用收敛计、全站仪监测，拱顶、拱脚沉降宜采用全站仪监测。主副厂房洞每个断面测点数量不宜少于 7 个，安装场、主变洞、尾闸洞每个断面测点数量不宜少于 5 个，母线洞每个断面测点数量不宜少于 3 个。测点宜布置在洞室的顶拱、拱肩、边墙、岩壁吊车梁、洞室交叉处，以及断层、裂隙密集带和挤压破碎带等不利地质构造影响部位。

2 观测工作基点及基准点一般可利用洞内相对稳定部位。如洞内无法找到稳定部位，可从洞外稳定部位引入。

3 有条件的可采用三维激光扫描仪等监测全断面收敛变形。

4.4.3 地下厂房洞室群围岩内部变形监测应符合下列要求：

1 围岩内部变形监测宜以多点变位计为主。主副厂房洞每个断面测孔数不宜少于 5 个。安装场、主变洞、尾闸洞、母线洞每个断面测孔数不宜少于 3 个。测孔宜布置在洞室的顶拱、拱肩、边墙、岩壁吊车梁、洞室交叉处，以及断层、裂隙密集带和挤压破碎带等不利地质构造影响部位。

2 多点变位计测孔深度宜深入变形影响区之外，且不小于断面开挖跨度的 1 倍，孔内测点数量宜为 3~6 个，测点位置宜根据变形梯度及地质条件从围岩表面至深部由密到疏布置，围岩松动圈附近、重要地质结构面的上下盘宜布设测点。多点变位计的预埋应符合 4.2.3 的要求。

3 主副厂房洞与主变洞之间岩柱部位的内部变形，可利用主副厂房洞侧、主变洞侧同高程的多点变位计监测，也可布置对穿孔采用滑动测微计监测。

4.4.4 地下厂房洞室群渗流监测布置应符合下列要求：

1 渗水压力监测断面宜结合防渗排水系统，布置在断层等透水带、渗水可能造成岩体稳定恶化的软弱结构面、岩溶、溶隙发育地带等。渗水压力监测可在地下厂房洞室

群周边排水廊道内设置测压管，或在洞壁钻孔埋设渗压计。

渗压测点宜布置在防渗帷幕后、主副厂房洞、主变洞等主要洞室的顶拱、上下游边墙附近岩体、地质条件薄弱部位等，上游边墙附近的测点宜与引水洞渗压监测结合布置。

2　渗流量监测可采用量水堰、容积法、管式流量计等，应按各层排水廊道布置和排水分区情况设置测点，监测各分区渗流量；集水井前应布置测点，监测总渗流量。

4.4.5　地下厂房洞室群围岩支护结构受力监测应符合下列要求：

1　支护结构受力监测断面及测点布置宜与围岩内部变形监测相结合。

2　锚杆应力计应布置在系统支护锚杆及应力集中部位的随机锚杆上。锚杆应力计传感器数量应符合 4.2.12 的要求。

3　预应力锚索监测布置应符合 4.2.12 的要求。

4　对设有钢拱架支护的洞室，可布置钢拱架的内、外力监测，布置应符合 4.2.12 的要求。

4.4.6　岩壁吊车梁与围岩接缝变形监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与围岩内部变形监测断面相结合，数量不宜少于 3 个，每个监测断面的上、下游侧岩壁吊车梁宜各设一个监测部位。接缝变形宜采用测缝计监测。

2　每个监测部位岩壁直立面接缝处宜布置 1~2 支测缝计，宜设在受拉锚杆附近；岩壁斜面接缝处宜布置 1 支测缝计，宜设在靠近岩壁直立面附近。

4.4.7　岩壁吊车梁水平及垂直位移监测应符合下列要求：

1　岩壁吊车梁可布置水平位移及垂直位移监测，每段梁体至少设 1 个测点，宜与岩壁吊车梁接缝变形监测断面结合。

2　上、下游侧岩壁吊车梁的相对水平位移宜采用测距法监测。岩壁吊车梁垂直位移宜采用几何水准法监测，工作基点宜布置在边墙稳定岩体上。

4.4.8　岩壁吊车梁应力应变监测应符合下列要求：

1　监测断面宜与接缝变形监测断面相结合。

2　位于断面上的每根受拉锚杆应力测点数量不应少于 2 个；每根受压锚杆应力测点数量不宜少于 1 个。

3　梁体钢筋应力宜采用钢筋应力计监测，每个监测部位宜布置 4~6 个测点，测点宜设置在梁顶轨道附近的纵向筋和横向筋、梁外侧周边主筋等应力较大处。

4　梁体可设置混凝土应变监测，宜采用应变计组和无应力计监测，每个监测部位可布置 1 组测点，测点宜布置在梁体的中部和牛腿区域。

5　梁体与壁座接触面压应力宜采用压应力计监测，测点宜设在受压敏感部位。

4.4.9　地下厂房蜗壳及外包混凝土监测应符合下列要求：

1　监测横断面宜沿水流向布置，数量不宜少于 3 个，宜布置在蜗壳进口、蜗壳垂直及平行厂房中心线等部位。

2　蜗壳与外包混凝土缝隙开合度宜采用缝隙计监测，每个断面测点数量不宜少于 3 个，宜布置在底部、顶部和 1/2 高度等部位。

3　蜗壳钢板应力宜采用钢板计监测，每个断面测点不宜少于 3 处，宜布置在底部、顶部和 1/2 高度等部位，每处宜沿环向、轴向成组布置。

4　外包混凝土钢筋应力宜采用钢筋应力计监测，监测部位、仪器布置方向同钢板应力计。

5　外包混凝土应变宜采用应变计组及无应力计监测，每个断面可设置 1~2 组测点。

4.4.10　尾水肘管监测断面数量不宜少于 1 个，测点布置应符合 4.2 的要求。

4.4.11　地下厂房机组支撑结构振动监测宜采用三分量拾振器，测点宜与水轮机组振动测点结合布置。

4.4.12　进厂交通洞、通风兼安全洞、出线洞或出线井等附属洞室的围岩及初期支护监测项目设置见附表 A.1.1，测点布置应符合 4.2 的要求。

4.5　巡视检查

4.5.1　施工期巡查包括日常巡视检查、特殊情况巡视检查，巡视检查可与监测仪器观测同时进行，检查频次应符合下列要求：

1　日常巡视检查：开挖期按表 4.5.1-1 执行，衬砌后每周 1 次。

表 4.5.1-1　开挖期间巡视检查频次表

断面距开挖面距离	巡视检查频次
（0~1）B	2 次/d
（1~2）B	1 次/d
（2~5）B	1 次/2d~3d
＞5B	1 次/7d

注：B 为开挖洞径或跨度

2　特殊情况巡查：

发生岩爆、片帮、突水、涌泥等特殊地质破坏时，应进行巡视检查；

发生有感爆破或地震等可能影响围岩稳定的特殊情况应进行巡视检查；

掌子面附近仪器安装前后，应进行巡视检查；

引水隧洞充水试验前后应各检查 1 次，充水试验期间每日检查 1 次；

岩锚梁加荷试验前后应各检查 1 次。

4.5.2　施工期巡视检查的内容有：

1　地下洞室沿线山体、冲沟的地下水变化情况，沿线边坡坍塌、滚石等异常现象。

2　岩质洞段围岩及喷层是否有裂缝、错动、膨胀、片帮、掉块等，是否有局部危岩，是否有渗水、涌水。

3　土质洞段是否有渗水、管涌和流土，是否有土体胀缩、冻胀、沉降、蠕滑、挤出、开裂等变形情况。

4　锚杆锚垫板、锚索锚墩、钢构架是否有变形或破坏。

5　混凝土衬砌结构是否有塌落、裂缝、位移变形、隆起、塌陷、磨损冲蚀（空蚀）、渗水等现象。结构缝有无错动、渗水，填料有无流失、脱落。

6　钢衬结构是否有裂缝或损伤，是否有渗漏，有无鼓起、塌坑等情况。

7　岩壁吊车梁梁体是否有裂缝，梁体与围岩接缝变形情况，吊车梁附近边墙喷层是否出现裂缝、脱落情况，吊车铁轨接缝是否平顺，有无错动等。

8　地下厂房内柱、梁、板、墙等受力结构的裂缝、变形、异常振动等。

9　排水廊道、排水洞、排水孔、钢衬外排水等出水情况，包括部位、排水量及携带物质等。

10　隧洞进出口水流流态情况。过水时洞身有无异响。

11　堵头与周边岩体或混凝土结合部位变形、裂缝、渗水、析钙等情况。渗漏情况包括：渗漏部位、渗流量、渗漏水质和携带颗粒情况。变形情况包括：堵头端面与周边岩体或混凝土结构面张开、鼓胀、剪切掉块等。

12　监测系统运行情况，包括是否存在土建爆破、土建钻孔、机械碰损、人为恶意、偷盗等导致监测设备受损，收敛测点等外露监测设备的保护情况，电缆及电缆头保护情况，自动化系统运行情况等。

13　隧洞充水试验期间前后应按 DL/T 2204 的要求对进出口闸门等金属结构进行检查。

4.5.3　巡视检查的方法主要依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法，可辅以锤、钎、量尺、放大镜、望远镜、照相机、摄像机等工器具进行。重要部位或人员难以到达的部位可布置摄像探头或采用无人机航拍等辅助检查。必要时可采用深挖坑（槽）、钻孔取样或孔内电视等方法进行检查。

4.5.4　每次巡视检查均应按巡视检查规程进行现场记录，应附有略图、素描或照片及影像资料等，并将检查结果与上次或历次检查结构对比、分析。

4.5.5　日常巡视检查报告内容应简单、扼要说明问题，必要时附上照片及略图。特殊情况下巡视检查报告的内容如下：

1　检查日期。

2　本次检查的目的和任务。

3　检查组参加人员名单及其职务。

4　对规定项目的检查结果（包括文字记录、略图、素描和照片）。

5　历次检查结果的对比、分析和判断。

6　不属于规定检查项目的异常情况发现、分析及判断。

7　必须加以说明的特殊问题。

8　检查结论。

9　检查组的建议。

10　检查组成员的签名。

4.5.6　运行期巡查应符合 DL/T 2204 的规定。

5　监测施工

5.1　一般规定

5.1.1　监测施工人员应了解相关地下建筑物结构、水文地质条件、工程施工规划，熟悉监测设计文件。

5.1.2　监测施工前应根据设计文件、施工条件和进度安排编制施工规划和施工组织设计，施工规划和施工组织设计应包括以下内容：

1　组织机构、工作场所布置及主要设备配置。

2　监测仪器设备的选型及采购计划。

3　监测仪器设备的检验方案与检验计划。

4　施工程序与进度计划。

5　安装埋设方法及保护措施。

6　观测方法、频次和监测信息采集设备使用、维护方法及要求。

7　监测资料整编分析方案与反馈。

8　安全、质量、环境保护、水土保持、文明施工与职业健康措施。

5.1.3　监测设施安装埋设应紧跟地下洞室施工进度，监测设施宜在靠近开挖面、不受爆破影响范围内尽早安装埋设，顶拱沉降及收敛变形初始读数应在开挖后 12h 内、下一循环开挖前取得，最迟不超过 24h。

5.1.4　监测施工安全除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　观测设施安装埋设应远离爆破作业影响圈。单向开挖洞室，安全地点至爆破工作面的距离应不少于 200m。

2　在施工过程中，施工人员应经常检查周围围岩稳定情况，防止可能塌落的松动岩块造成人员伤害或设备损坏。

3　在中高地应力区施工时，应详细了解施工地质预测预报情况，加强对人员和设备的防护工作，采取待避措施，等主要岩爆发生过后再作业。

5.1.5　监测仪器设备检验、率定应满足 DL/T 5784 要求。在有渗透水压力环境下工作的仪器和电缆，必须经过严格的压水试验，应在具有 1.2 倍设计水压力的容器中，压水 24 小时后测定仪器的抗水性能。

5.1.6　应及时记录已安装埋设仪器的编号、位置、电缆走向、埋设时间及埋设前后的监

测数据等资料，并绘制竣工图、填写考证表。电缆走向图的误差应小于 0.2m。

5.1.7　施工准备应满足 DL/T 5784 相关要求。

5.2　安装埋设

5.2.1　监测仪器安装埋设除满足 DL/T 5178、DL/T 5784 相关要求外，还应符合本规范 5.2.2~5.2.18 等条款的要求。

5.2.2　围岩收敛变形及拱顶沉降测点安装埋设应符合下列要求：

1　收敛变形及拱顶沉降测点安装前，应清除测点安装处的松动岩石。

2　用钻孔工具在选定的测点处垂直洞壁钻孔，将测桩放入孔内灌水泥砂浆锚固，一般洞段埋深 20cm，高地应力及岩爆洞段埋深 50cm；测桩端头宜位于岩体表面，出露端宜大于 5cm；测桩端头应设保护装置。

3　采用全站仪观测时，测桩端头安装棱镜或反射片，各测点与观测点之间不应有障碍物。

5.2.3　多点变位计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　预埋多点变位计应在相应洞室开挖前完成安装埋设并取得初始值。预埋多点变位计在安装埋设前应复核钻孔的位置、孔口高程、钻孔深度、孔斜以及埋设部位的设计允许超挖量等，以防止最深锚固点被破坏。

2　TBM 掘进隧洞多点变位计钻孔及回填灌浆可采用 TBM 主机自身配置的锚杆钻机和注浆设备；多点变位计组装在 TBM 机操作平台进行，传感器一并组装并先行预拉；孔口装置采用锚固剂或快干水泥封堵，待封堵材料快速固结后即可进行回填灌浆。

3　洞室之间对穿多点变位计的对穿测点锚头采用锚固钢板焊接牢固，锚固钢板尺寸应大于钻孔孔径 5cm 以上。锚固钢板对侧各留一个孔，用膨胀螺栓将其固定在岩壁上，并采用快干水泥密封锚固钢板。

4　向上埋设的多点变位计孔口装置采用打膨胀螺栓+铁丝或特制钢板托进行固定，以防止坠落。

5.2.4　测缝计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　埋设在混凝土内用于监测结构缝开合度的测缝计安装埋设应按 DL/T 5784 执行。

2　埋设在衬砌结构与围岩接缝的测缝计安装埋设应符合下列要求：

1)　应钻孔预埋套筒，钻孔孔径为 90mm~110mm，孔深 50cm，钻孔冲洗干净并清除孔内积水。

2) 在孔内填入一半以上膨胀水泥砂浆（或预缩水泥砂浆），将套筒挤入孔中，使套筒口与孔口齐平。螺纹口宜涂上黄油、套筒内应用棉纱或土工布填塞后拧上筒盖。

3) 混凝土浇筑至高于测缝计位置 20cm 时，挖开混凝土露出套筒，打开套筒盖取出填塞物，拧上测缝计并拧紧，按设计要求进行预拉。

4) 测缝计与套筒间隙用棉纱小心填塞，并采取措施密封，人工回填混凝土并振捣密实。

5.2.5 钢管缝隙计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

采用高强钢材的高压管道缝隙计宜采用粘结方式安装，安装前清洗钢管安装部位表面，保持钢管表面洁净，将套管筒底座用高强度胶粘贴在钢管上。在筒内填满棉纱，旋上筒盖，混凝土浇筑至高出仪器埋设位置 20cm 时，挖去捣实的混凝土，打开套筒盖，取出填塞物，装上缝隙计。

5.2.6 用于监测错动变形的测缝计安装埋设应符合下列要求：

1 在埋设前应测量所要监测在出露部位的倾角以及厚度，计算出所需锚固杆和支架的长度以及仪器埋设孔和锚固孔的位置并测量定位。

2 根据测量定位，在滑动面上下盘钻 Φ90~110mm 的仪器埋设孔和锚固孔，并确保两孔平行且与滑动面倾角一致。

3 将槽钢锚固杆插入锚固孔内，调整锚固杆位置，确保锚固杆与钻孔同轴，孔内回填水泥砂浆，待水泥砂浆凝固后，才允许继续施工。

4 测缝计套上波纹管，将测缝计与锚固杆焊接好，调整测缝计位置，将锚固杆锚固长度范围内回填水泥砂浆，波纹管与钻孔空隙部位填充沥青。

5 用万向节将槽钢的锚固杆与测缝计连接，连接时应确保连接杆与锚固杆垂直。

6 安装完成后，用保护罩保护，保护罩内填充沥青麻丝。

7 仪器周围回填混凝土应人工振捣，并注意仪器电缆的保护。

5.2.7 滑动测微孔安装埋设应符合下列要求：

1 钻孔孔径宜为 125mm～150mm，孔深应比测管总长深 0.5m。钻孔完成后应进行冲洗，除净孔内残留岩粉，检查钻孔深度以及通畅情况。

2 滑动测微计测管采用高质量 ABS 管材，测管上每隔 1m 安装一个专用测量环，并做好固定（不应固定太紧）。在安装测量环前，在测管表面涂抹油脂，以便灌浆浆液仅与测量环凝固在一起；在软岩或软土内应用时，测量环不应用螺钉固定在油脂润滑过的测管上，只需用胶带将环的两边固定在油脂润滑过的测管上。

3　滑动测微计测管现场拼接，水平孔安装测管拼接好后一节一节缓慢送入孔内；垂直向下或向下倾斜孔安装时在第一节（最低处）测管的底部系上安全绳，然后一节一节拼接慢慢放入孔底；灌浆管用绝缘胶带固定在第一节（最低/深处）测管外侧，与测管一并慢慢放入孔底。

4　对薄壁测管，将螺钉拧进预先钻好的孔内；对厚壁测管，简单地将测管对接即可。一节一节将测管放进孔内；在有水钻孔内，向测管内注水，以抵消其浮力和压力。

5　灌浆液体通过灌浆管从底部向上注入到钻孔中；灌满后，如有可能，将灌浆管拔出；浆液凝固后，将多出的测管截到适当的长度，然后盖上管盖。

5.2.8　柔性测斜仪安装埋设应符合下列要求：

1　洞室表面敷设安装应符合下列要求：

1)　安装前应检查基岩面平整度，对不平整基岩面应找平。采用全站仪对仪器安装断面进行定位放点，定位点位宜不少于 3 个，并用油漆标识，确保仪器安装在同一个断面上。

2)　将柔性测斜仪从滚盘上展开，在地面上平铺，将柔性测斜仪穿入柔性较好的 PE 管，直到 1 至 2 段从 PE 管末端完全穿出，PE 管中不得旋转仪器，防止发生扭曲；仪器穿入 PE 管困难时，可采用牵引绳导引。

3)　在监测断面洞壁采用膨胀螺栓安装自制钢丝套索圈，套索圈直径 5cm~10cm，安装间距 3m~5m；将柔性测斜仪从一侧洞壁经顶拱至另一侧洞壁穿在套索圈中。

4)　在仪器每个刚性节的两端采用骑马卡固定在洞壁上；仪器测量软件不能去除偏移量的，应将仪器 X 方向朝向临空面。安装过程中柔性测斜仪相邻两节段夹角不应小于 100°。

5)　仪器安装完毕后，采用喷混凝土将其覆盖，覆盖厚度不应小于 10cm。

2　钻孔安装埋设应符合下列要求：

1)　钻孔孔径不小于 90mm，宜为 110mm，孔斜≤1°，钻孔深度应比实际要求的仪器长度长 1m 左右。

2)　采用先将仪器穿入 PVC 管后整体安装的方式，仪器穿入 PVC 管要求同洞室表面敷设安装要求。仪器装入测孔前，首先紧固顶部支架固定螺栓；装入过程中，采用支撑组件保持所需的最小半径，最小半径应大于仪器弯曲度。仪器及 PVC 组件距孔底不少于 30cm；仪器测量软件不能去除偏移量的，应将仪器 X 方向朝向所需的方向。

3)　采用先安装 PVC 管后安装仪器的方式，宜在 PVC 管底部加装配重，以保证 PVC

管垂直度;PVC 管安装完成后,完成回填灌浆。仪器装入 PVC 管中距管底应不少于 30cm，仪器应能自由移动；仪器测量软件不能去除偏移量的，旋转仪器 X 方向朝向所需的方向。

4) 回填灌浆水泥应采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，灰砂比为 1:1～1:2，水灰比为 0.38～0.45（宜加早凝剂），水泥与膨润土的混合比为 2:1。灌浆应连续一次完成，确保基岩钻孔段浆液饱满，浆液固化前应防止人为扰动。

5.2.9 渗压计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1 混凝土衬砌与围岩接触部位埋设的渗压计宜钻孔埋设，钻孔孔径宜为 90mm～110mm。将裹有渗压计的细砂包放入孔内，孔内采用洁净粗砂填充，牵引并保护好监测电缆，孔口用不锈钢板封堵，并用水泥砂浆封住。

2 钢衬外混凝土埋设的渗压计宜采用预留坑，坑深宜为 15cm~30cm，边长宜为 20cm~30cm。将包裹好的渗压计埋设在坑内并用细沙覆盖填满，坑口盖上盖板，牵引并保护好监测电缆，再浇筑混凝土。

3 高压灌浆区外埋设的渗压计应在灌浆结束后钻孔埋设，具体埋设方法同上。

5.2.10 管式流量计安装埋设应符合下列要求：

1 流量计应安装在无干扰元件（阀门、t 型管、弯头、泵等）的位置。为确保流量计上游没有湍流的层流，流量计应安装在直管中，距离上游干扰元件至少 3 倍控制器的位置、下游干扰元件至少 2 倍控制器的位置。如果管道中存在阀门，流量计应始终安装在阀门的下游侧。

2 如果需要使用异径接头，内角不得超过 7.5°。使角度保持在 7.5°以下的最小长度，按式（5.2.10）计算。

$$L=（D-d）\times 7.63 \qquad （5.2.10）$$

式中：D——异径接头大直径；

d——异径接头小直径；

3 法兰连接应在上游和下游侧同心组装，垫圈和接地环也应同心安装。

4 流量计严禁安装在管道系统中的最高点或自由出口处，并应始终保持流量满管状态。

5 若所测量液体携带颗粒（如测量污泥、污水等），流量计应垂直安装，并保持流向自下而上，确保流量计始终满管。

5.2.11 锚杆应力计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　在洞室顶拱或斜向上孔安装的锚杆应力计，连接锚杆应力计的钢筋送入孔内后孔口应采用木楔楔紧，防止坠落。

2　TBM 开挖隧洞段钻孔利用 TBM 自带钻孔设备，钻孔平直，其轴线弯曲度应小于钻孔半径，钻孔结束后应冲洗干净，防止孔壁沾油污。

5.2.12　钢板计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　采用高强钢材的高压管道钢板计宜采用粘结方式安装，安装前清洗钢管安装部位表面，保持钢管表面洁净。安装时采用模具定位，在安装位置涂上速干电焊胶后装上夹具，然后再安装钢板计。

2　夹具上紧过程应呈对角线逐个上紧，同时用测量仪表进行观测，读数变化宜控制在满量程的 5%以内。

3　夹具上紧时应根据钢板计量程和设计要求调整钢板计初始读数。

4　夹具表面应涂沥青，埋设混凝土内的钢板计应设保护盖，保护盖应牢固固定在钢板上，保护盖与钢板接触缝隙应用水泥砂浆填充密封。

5.2.13　点焊式应变计安装埋设应符合下列要求：

1　将专用夹具焊接在钢结构表面，夹具应有足够的刚度保证应变计不受弯。

2　仪器外盖上保护盒，盒周边与钢结构接触处点焊，盒内充填沥青等防水材料以防仪器受外水压力的影响。

5.2.14　岩壁吊车梁岩台压应力计安装埋设应符合下列要求：

1　在埋设仪器的岩体基面上凿一个深 10cm，边长 30cm 的坑，将底面凿平并清洗干净，铺上一层 6cm 厚的水泥砂浆垫层，水泥砂浆配合比为 2:3，水灰比为 0.5，砂浆强度等级宜为 M20。

2　水泥砂浆垫层初凝后，再铺一层更稠的水泥砂浆，将压应力计放在水泥砂浆层上，承压面朝向安装基面，用手边旋转边挤压以排除气泡和多余水泥砂浆。

3　在压应力计旁边均匀安装 3~4 个膨胀螺栓，采用 2mm~3mm 厚钢簧片压住压应力计并用螺栓拧紧，保持压应力计方向准确，给压力计施加一定的预压力，预压力宜为 100N~200N。然后回填混凝土并人工捣实，所填混凝土剔除大于 50mm 的骨料。

5.2.15　温度计安装埋设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　埋设在混凝土内部的温度计可绑扎在定位钢筋上安装，温度计与钢筋之间应采用布条等隔热材料绑扎进行隔热；也可直接埋设在混凝土内。仪器周围人工回填并剔除 80mm 以上的粗骨料，采用人工捣实，振捣器距温度计应不小于 100cm。

2　埋设在钻孔中的洞室围岩温度计，钻孔应冲洗干净，回填灌浆应密实；温度计宜绑扎在固定杆上埋设，固定杆应采用细木条等导热系数较低的材料。

5.2.16　吊车梁应变计组安装埋设应符合下列要求：

1　根据设计要求，确定应变计组埋设的位置，将应变计组配套支座固定在岩锚梁岩体内钢筋笼上，然后在支座上安装支杆，并调整支杆方向，再将应变计固定在支杆上。

2　应变计应固定牢固，在应变计组上部设置一挡板，防止上部混凝土入仓时冲击、侧面挤压走位。

5.2.17　锚索测力计安装除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　为获得测力计与千斤顶压力表的荷载关系曲线，并以该曲线指导使用同一千斤顶张拉其它工作锚索，现场应对测力计和千斤顶压力表进行配套联合标定。

2　测力计张拉前，做好钢绞线外露端原始长度量测与记录；每级加载后应同步测量记录钢绞线伸长值、压力表或测力计读数。锁定后应量测预应力钢绞线的内缩量和测力计读数。

3　测力计张拉至最后一级（即设计规定的张拉荷载）持荷稳压时间不小于 10min；千斤顶卸荷后，测力计张拉锁定承载力与张拉荷载之间的误差应小于 2%。

5.2.18　监测电缆连接及敷设除满足 DL/T 5784 要求外，还应符合下列要求：

1　有耐水压要求的仪器电缆接头应满足耐水压要求。

2　仪器电缆敷设应根据现场情况尽可能减少接头。

3　高水压隧洞牵引电缆距引出端 1m 位置应设置止水板，并将止水板浇筑在衬砌混凝土内。

4　地下洞室表面监测电缆敷设宜采用保护管暗埋、线槽或桥架等方式。线槽或桥架应采用专用接头及弯头连接牢固和专用卡扣或支架牢固固定，卡扣或支架间距不宜大于 3m。

5　在电缆上用电缆打字机或永久标识牌打上 3 个耐久的、防水的、间距为 20m 的标签。

6　观测与维护

6.1　一般规定

6.1.1　监测仪器埋设后的初期应加密观测，初期观测结束后，各类监测项目测次按附录A的要求执行。

6.1.2　监测仪器设备应定期检定、专库存放和管理。

6.2　观　测

6.2.1　在施工期观测时，应详细记录与监测仪器设备埋设部位相关的开挖、爆破、钻孔、灌浆及混凝土浇筑等施工事件、相关的地下洞室施工进度等资料。

6.2.2　围岩收敛变形及顶拱沉降测点的监测频次应根据测点距开挖面的距离及位移速率分别按表6.2.2-1和表6.2.2-2确定。出现异常情况或不良地质时，应增加监测频次。

表6.2.2-1　按距开挖面距离确定的收敛变形及顶拱沉降监测频次表

断面距开挖面距离	监测频次
（0~1）B	2次/d
（1~2）B	1次/d
（2~5）B	1次/2d~3d
＞5B	1次/7d

表6.2.2-2　按位移速率确定的收敛变形及顶拱沉降监测频次表

位移速率（mm）	监测频次
≥5	2次/d
1~5	1次/d
0.5~1	1次/2d~3d

6.2.3　多点变位计、锚杆应力计、锚索测力计、钢拱架应力计在埋设初期应按表6.2.3-1所列的频次要求进行监测；遇到软弱破碎围岩、流沙、软岩大变形、含水黄土、膨胀岩土等特殊地质情况、地震、充排水试验、岩壁吊车梁荷载试验、蜗壳保压试验等特殊情

况下宜加密观测。其余监测仪器埋设初期的测次应按照 GB/T 51416 的有关规定执行。初期观测结束后，各类监测项目测次按附录表 A.2.1~A2.4 的要求执行。

表 6.2.3-1　仪器埋设初期频次表

仪器名称	仪器埋设后的时段	测次
多点变位计、锚杆应力计、锚索测力计、钢拱架应力计	24h 以内或埋设部位进行开挖、灌浆作业时	4 次/1d
	1~7d 或邻近部位进行开挖、灌浆作业时	1 次/1d
	7d~35d	1 次/1d
	35d~临近部位开挖、灌浆作业完成	1 次/2d

6.2.4　收敛变形观测应满足下列要求：

1　采用收敛计观测应符合下列要求：

1)　收敛计的量测精度等级应高于 0.1mm；首次使用收敛计观测前，应先进行“对零”。

2)　宜固定观测人员和收敛计；采用 2 台以上收敛计观测时，应作比较修正。

3)　每测次量测前应检查测点有无损坏、松动，并将灰尘擦拭干净。

4)　应根据收敛测线长度调节收敛计的张力，使其为恒定值，同时量测现场温度以修正测值。

5)　基线每测次重复测读 3 次，观测值取 3 次的平均值；当 3 次观测值较差大于 0.5mm 时，应重新观测。

2　采用全站仪观测应符合下列要求：

1)　全站仪标称测角精度不低于 0.5″，测距精度不低于 1mm+1ppm。

2)　测点的点位中误差不大于±2.0mm。

6.2.5　其他各类监测仪器设备的具体观测方法应按 DL/T 5178 要求执行。

6.3　维　护

6.3.1　监测系统的维护频次按照 DL/T 1558 要求执行。

6.3.2　仪器安装埋设完成后，应对仪器埋设部位及电缆引线设置醒目的标识，附近有开挖爆破等施工作业时，宜对收敛测点、电缆线等外露监测设施采取必要的防爆保护措施。

6.3.3　收敛测点反射膜片粘贴后，应进行防爆、防尘保护，及保护装置的维护。

6.3.4　监测电缆末端应设置电缆标识，电缆标识应具有良好的防水性，并应定期进行维护或更换。

6.3.5　监测系统维护除符合本规范要求外，还应满足 DL/T 1558 的相关要求。

7　资料分析与监控

7.1　一般规定

7.1.1　监测资料分析前，应收集巡视检查记录、水文地质资料、开挖爆破等施工记录、施工环境监测成果、爆破振动监测成果、围岩松动检测成果以及地下建筑物的运行情况等相关资料。

7.1.2　施工期监测资料分析应重点关注围岩稳定与开挖支护的关系，运行期监测资料分析应重点关注地下建筑物结构应力应变和内外水压力、渗流量与地下建筑物环境量变化及运行维护的关系等。

7.1.3　应通过仪器观测、巡视检查等手段，监控地下建筑物运行性态的变化，及时发现地下建筑物缺陷、隐患等，并进行预警。

7.2　整编及分析

7.2.1　收敛变形的观测记录、计算和整编表格式见本规范附录 B，其他监测项目的观测记录、计算和整编表格式见 DL/T 5209。

7.2.2　监测资料整编内容包括观测记录、测值过程线、特征值及出现时间、变幅、周期、测值变化速率等。

7.2.3　监测资料分析可采用比较法、作图法、特征值统计法及数学模型法等。

7.2.4　监测资料分析内容宜包括围岩变形、接缝变形、渗流、支护结构应力、衬砌结构应力应变等。监测资料分析宜符合下列要求：

1　仪器观测与巡视检查成果相结合，定性与定量分析相结合。

2　分析仪器性能特性，开挖爆破、支护加固、灌浆等施工，以及环境温度、工程地质等因素对观测值的影响。

3　分析地下洞室围岩变形规律和主要变形区域，分析变化规律、趋势性、空间分布等，及其受工程地质、开挖爆破、灌浆、温度、渗压等原因量的影响。

4　分析接缝变形变化规律、趋势性，及其受灌浆、温度等原因量的影响。

5　过水隧洞应分析隧洞衬砌外侧围岩渗透压力与内水压力、地下水位、温度的关系，将实测外水压力与设计外水压力进行比较。

6　分析地下洞室渗流量变化规律、趋势，及其与地下水位、内水压力、降雨等因素

的关系。

7　分析锚索荷载、锚杆应力等各支护结构受力变化规律、趋势、空间分布，及其受地质、施工、水位、温度等原因量的影响。

8　分析钢筋混凝土衬砌或钢衬结构应力应变，及其与地质、内、外水压力和温度的关系，并与实际钢筋、混凝土、钢板强度比较。

9　综合地下建筑物围岩变形、接缝变形、渗流、支护结构应力、衬砌结构应力应变、巡视检查成果等资料，评判其运行性态。

7.2.5　可采用统计模型、确定性模型、混合模型等数学模型对地下洞室的长期监测资料进行定量分析和运行性态评估。

7.3　监控及反馈

7.3.1　宜根据工程特点和分析成果，选择地下建筑物的关键断面或关键部位作为重点监控部位，按下列基本原则确定监控测点：

1　能最敏感地反映地下建筑物安全运行性态的代表性测点；

2　能直观反映地下建筑物安全运行性态的重要项目测点；

3　测值突变或有明显趋势性变化等其他需要重点关注的测点。

7.3.2　水工隧洞的重点监控部位和监控测点宜包括下列内容：

1　水工隧洞典型监测断面围岩变形、接缝变形和渗透压力；

2　排水洞、排水孔等排水设施渗流量；

3　其他针对薄弱部位和缺陷部位的监测物理量。

7.3.3　调压室的重点监控部位和监控测点宜包括下列内容：

1　调压室典型监测断面围岩变形、接缝变形和渗透压力；

2　气垫式调压室气温、气压；

3　其他针对薄弱部位和缺陷部位的监测物理量。

7.3.4　地下厂房的重点监控部位和监控测点宜包括下列内容：

1　地下厂房洞室群及岩壁吊车梁监测断面围岩变形、接缝变形、支护结构应力和渗水压力；

2　排水廊道等排水设施渗流量；

3　其他针对薄弱部位和缺陷部位的监测物理量。

7.3.5　施工期安全监控指标宜采用设计计算、分析成果，并根据实际情况动态调整。运

行期安全监控指标宜根据监测资料分析成果确定，可采用综合对比法、置信区间法、数学模型法等。

7.3.6　当位移增长速率无明显下降，支护混凝土表面已出现明显裂缝，锚杆或锚索受力等监测仪器测值超过监控指标，实测位移速率急剧增长，围岩松弛区深度超过系统锚杆的有效深度等，应及时反馈监测成果。

附录 A　监测项目分类和选择、测次与精度

A.1　分类和选择

A.1.1　水电工程地下建筑物安全监测项目按表 A.1.1~A.1.4 进行分类和选择。

表 A.1.1　水电工程地下洞室围岩及初期支护必测监测项目设置

<table>
<tr><td rowspan="2">围岩类别</td><td colspan="5">洞室开挖跨度或洞径 B（m）</td></tr>
<tr><td>B≤5</td><td>5＜B≤10</td><td>10＜B≤15</td><td>15＜B≤20</td><td>B＞20</td></tr>
<tr><td>I</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2"></td><td></td><td>收敛及顶拱沉降</td><td>收敛及顶拱沉降</td></tr>
<tr><td>II</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降
围岩内部变形</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降
围岩内部变形</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降
围岩内部变形
支护结构受力</td></tr>
<tr><td>III</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降</td></tr>
<tr><td>IV</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降</td><td rowspan="2">收敛及顶拱沉降
围岩内部变形
支护结构受力</td></tr>
<tr><td>V</td><td>收敛及顶拱沉降
围岩内部变形</td></tr>
<tr><td colspan="6">注 1：除表中必测监测项目外，可根据洞室规模、地质条件等选测收敛及顶拱沉降、围岩内部变形、裂缝变形、浅埋段地表沉降、围岩渗透压力、支护结构受力等项目。
注 2：收敛及顶拱沉降为短期监测项目，其他为长期监测项目。
注 3：地下洞室围岩断层、裂隙密集带和挤压破碎带出露处可采用单向或多向测缝计、位移计监测其错动和开合变形。
注 4：高地应力洞室可根据原始地应力分布与方向布置岩石应力计，监测地应力的二次分布。</td></tr>
</table>

表 A.1.2　水工隧洞安全监测项目分类和选择

序号	部位	监测项目	监测内容	水工隧洞级别			运行时段
				1 级	2 级	3 级	
一	巡视检查			●	●	●	永久
二	围岩及初期支护监测			按表 A.1.1 执行			长期、短期
三	衬砌	变形	1.接缝变形	●	○	○	长期
		渗流	1.外水压力	●	●	○	长期
		应力应变	1.钢筋应力	●	○	○	长期
			2.混凝土应变	○	○	○	长期
			3.围岩与衬砌结构间接触压力	○	○	○	长期
			4.钢板应力	●	○	○	长期
四	排水系统	渗流	1.渗流量	●	●	○	长期
五	施工支洞封堵体	变形	1.接缝变形	○	○	○	长期
		渗流	1.渗透压力	○	○	○	长期
		温度	1.混凝土温度	○	○	○	短期
六	导流洞封堵体	变形	1.接缝变形	●	●	○	长期
		渗流	1.渗透压力	●	●	○	长期
		温度	1.混凝土温度	○	○	○	短期
七	环境量		1.进口水位	○	○	○	永久
			2.出口水位	○	○	○	永久
注：有●者为必测项目，有○者为选测项目。							

表 A.1.3　调压室安全监测项目分类和选择表

序号	部位	监测类别	监测项目	建筑物级别						运行时段
				开敞式、埋藏式			气垫式			
				1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级	
一	巡视检查			●	●	●	●	●	●	永久
二	围岩及初期支护监测			按表 A.1.1 执行						长期、短期
三	衬砌	变形	1.接缝变形	●	○	○	●	○	○	长期
		渗流	1.外水压力	●	●	○	●	●	●	长期
		应力应变	1.钢筋应力	●	○	○	●	○	○	长期
			2.混凝土应变	○	○	○	○	○	○	长期
			3.围岩与衬砌结构间接触压力	○	○	○	○	○	○	长期
			4.钢板应力				○	○	○	长期
四	环境量		1.室内气压				●	●	●	永久
			2.室内温度				●	●	●	永久
			3.涌波水位	●	●	●	●	●	●	永久
注：有●者为必测项目，有○者为选测项目。										

表 A.1.4　地下厂房安全监测项目分类和选择表

序号	部位	监测类别	监测项目	建筑物级别			运行时段
				1 级	2 级	3 级	
一	巡视检查			●	●	●	永久
二	地下厂房洞室群围岩及初期支护监测			按表 A.1.1 执行			长期、短期
三	地下厂房渗流		1.渗水压力	●	●	○	长期
			2.渗流量	●	●	○	长期
四	岩壁吊车梁	变形	1.接缝变形	●	●	○	长期
			2.梁体水平位移	○	○	○	长期
			3.梁体垂直位移	○	○	○	长期
		应力应变	1.锚杆应力	●	●	○	长期
			2.钢筋应力	●	●	○	长期
			3.接触面压应力	●	●	○	长期
			4.混凝土应变	○	○	○	长期
五	蜗壳及外包混凝土	变形	1.接缝变形	●	○	○	长期
		应力应变	1.钢板应力	●	○	○	长期
			2.钢筋应力	●	○	○	长期
			3.混凝土应变	○	○	○	长期
注：有●者为必测项目，有○者为选测项目。							

A.2　项目测次

A.2.1　水电工程地下建筑物安全监测项目测次按表 A.2.1~A2.4 确定。

表 A.2.1　围岩及初期支护监测项目测次表

序号	监测类别	监测项目	施工期		运行期
			充水试验之前	充水试验期间	
一	变形	1.收敛及顶拱沉降	1 次/月~4 次/月		
		2.围岩内部变形	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		3.裂缝变形	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		4.浅埋段地表沉降	1 次/月~2 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~1 次/季
二	渗流	1.围岩渗透压力	1 次/月~4 次/月	4 次/天~6 次/天	1 次/月~2 次/月
三	应力应变	1.支护结构受力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
备注：表中测次为正常情况下人工测读的最低要求，根据工程特点和实际运行情况，当遇到地震、充水试验等特殊情况时，适当加密测次。					

表 A.2.2　水工隧洞安全监测项目测次表

序号	部位	监测类别	监测项目	施工期		运行期
				充水试验之前	充水试验期间	
一	围岩及初期支护监测			按表 A.2.1 执行		
二	衬砌	变形	1.接缝变形	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		渗流	1.外水压力	1 次/月~4 次/月	4 次/天~6 次/天	1 次/月~2 次/月
		应力应变	1.钢筋应力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			2.混凝土应变	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			3.围岩与衬砌结构间接触压力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			4.钢板应力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
三	排水系统	渗流	1.渗流量	1 次/月~4 次/月	4 次/天~6 次/天	1 次/月~2 次/月
四	封堵体	变形	1.接缝变形	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		渗流	1.渗透压力	1 次/月~4 次/月	4 次/天~6 次/天	1 次/月~2 次/月
		温度	1.混凝土温度	1 次/月~4 次/月	1 次/月~4 次/月	1 次/月~2 次/月
五	环境量		1.进口水位	2 次/天~1 次/天	4 次/天~2 次/天	2 次/天~1 次/天
			2.出口水位	2 次/天~1 次/天	4 次/天~2 次/天	2 次/天~1 次/天
备注：表中测次为正常情况下人工测读的最低要求，根据工程特点和实际运行情况，当遇到地震、充水试验、检修等特殊情况时，适当加密测次。						

表 A.2.3　调压室安全监测项目测次表

序号	部位	监测类别	监测项目	施工期		运行期
				充水试验之前	充水试验期间	
一	围岩及初期支护监测			按表 A.2.1 执行		
二	衬砌	变形	1.接缝变形	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		渗流	1.外水压力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
		应力应变	1.钢筋应力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			2.混凝土应变	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			3.围岩与衬砌结构间接触压力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
			4.钢板应力	1 次/月~4 次/月	1 次/天~4 次/天	1 次/月~2 次/月
三	环境量		1.室内气压		按需要	按需要
			2.室内温度		按需要	按需要
			3.涌波水位		按需要	按需要
备注：表中测次为正常情况下人工测读的最低要求，根据工程特点和实际运行情况，当遇到地震、充水试验、检修等特殊情况时，适当加密测次。甩负荷试验等特殊情况时，涌波水位监测设备应启用高频采集功能。						

表 A.2.4　地下厂房安全监测项目测次表

序号	部位	监测类别	监测项目	施工期		运行期
				有水调试期之前	有水调试期、岩壁吊车梁承载试验期、蜗壳保压试验	
一	地下厂房洞室围岩及初期支护监测			按表 A.2.1 执行		
二	地下厂房渗流		1.渗水压力	1 次/月~4 次/月	4 次/月~8 次/月	1 次/月~2 次/月
			2.渗流量	1 次/月~4 次/月	4 次/月~8 次/月	1 次/月~2 次/月
四	岩壁吊车梁	变形	1.接缝变形	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			2.梁体水平位移	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~1 次/季
			3.梁体垂直位移	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~1 次/季
		应力应变	1.锚杆应力	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			2.钢筋应力	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			3.接触面压应力	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			4.混凝土应变	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
五	蜗壳及外包混凝土	变形	1.接缝变形	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
		应力应变	1.钢板应力	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			2.钢筋应力	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
			3.混凝土应变	1 次/月~4 次/月	按需要	1 次/月~2 次/月
备注：表中测次为正常情况下人工测读的最低要求，根据工程特点和实际运行情况，当遇到地震、岩壁吊车梁试验、蜗壳保压试验等特殊情况时，适当加密测次。						

A.3　监测精度

A.3.1　水电工程地下建筑物安全监测精度按表 A.3.1 确定。

表 A.3.1　测值允许误差表

监测项目		允许误差
收敛变形及顶拱沉降		±1.0mm
地表沉降		±2.0mm
岩壁吊车梁	位移	±1.0mm
裂缝		±0.2mm
渗流	地下水位	±50mm
	渗漏量	±10%满量程
	量水堰堰上水头	±1.0mm

注：表中位移允许误差为相对于工作基点的测量中误差

附录 B　监测资料观测及整编表格式

B.1.1　围岩收敛观测记录、计算表格式见表 B.1.1。

表 B.1.1　收敛观测记录、计算表

监测部位：　　监测断面：　　测线：

监测日期	主尺观测值/mm	游标尺测值/mm	温度修正后测值/mm	收敛变形量/mm	收敛速率/mm/d	温度/℃
观测：		记录、计算：			校核：	

B.1.2　围岩表面位移监测成果统计表（收敛计量测）格式见表 B.1.2。

表 B.1.2　围岩表面位移监测成果统计表（收敛计量测）

年基准值日期单位：mm

日期		测点编号及累计位移					备注
		测点 1	测点 2	测点 3	…	测点 n	
…							
全年特征值统计	最大值						
	日期						
	最小值						
	日期						
	平均值						
	年变幅						

注：向洞内收缩正，反之为负。

附录 C　监测仪器的安装

C.1.1　用于监测错动变形的测缝计埋设示意图如图 C.1.1 所示。

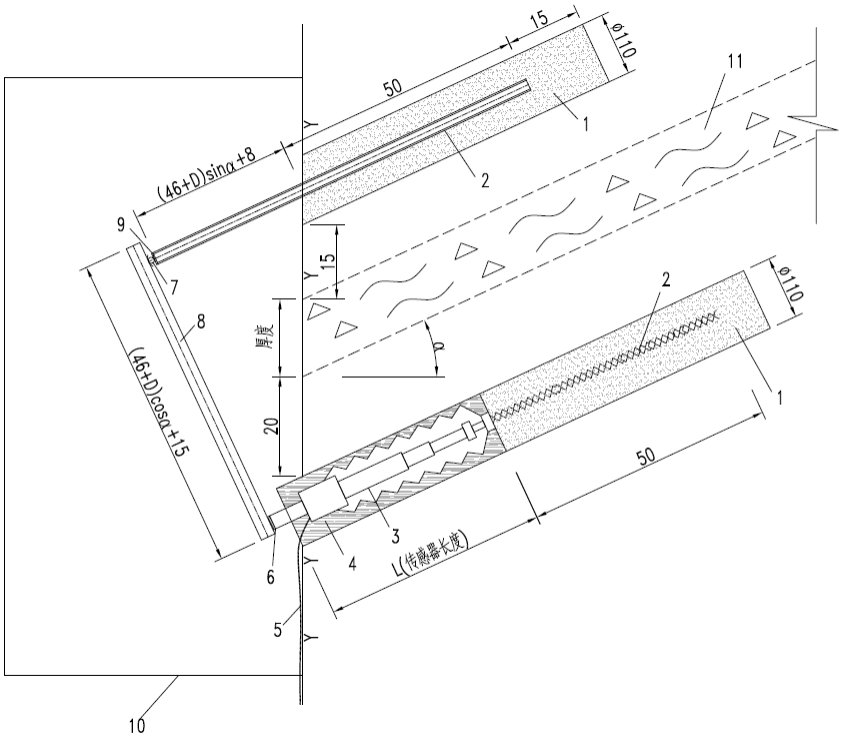


图 C.1.1　监测错动变形测缝计埋设示意图（单位：cm）

1—水泥砂浆；2—锚固杆；3—测缝计；4—沥青填充；5—电缆；6—焊接；7—万向节；8—支架；9—连接钢板；10—钢板保护罩（内填充沥青麻丝）；11—地质结构面

C.1.2　用于监测衬砌表面的渗压计埋设示意图如图 C.1.2 所示。

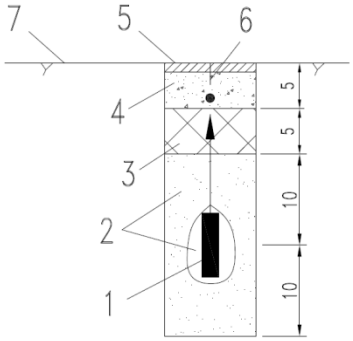


图 C.1.2　衬砌表面渗压计埋设示意图（单位：cm）

1—渗压计；2—细砂；3—膨润土；4—水泥砂浆；5—闷盖；6—电缆；7—开挖面；

C.1.3　围岩深部渗压计埋设示意图如图 C.1.3 所示。

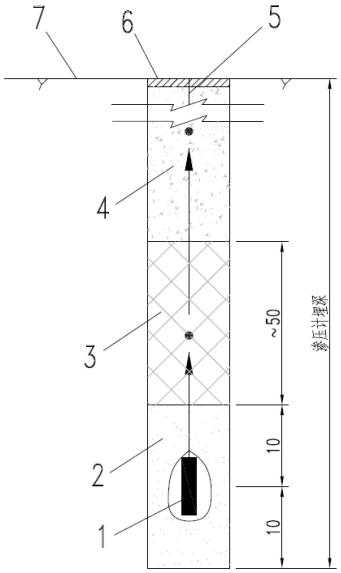


图 C.1.3　围岩深部渗压计埋设示意图（单位：cm）

1—渗压计；2—细砂；3—膨润土；4—水泥砂浆；5—闷盖；6—电缆；7—开挖面；

C.1.4　管式流量计安装示意图如图 C.1.4 所示。

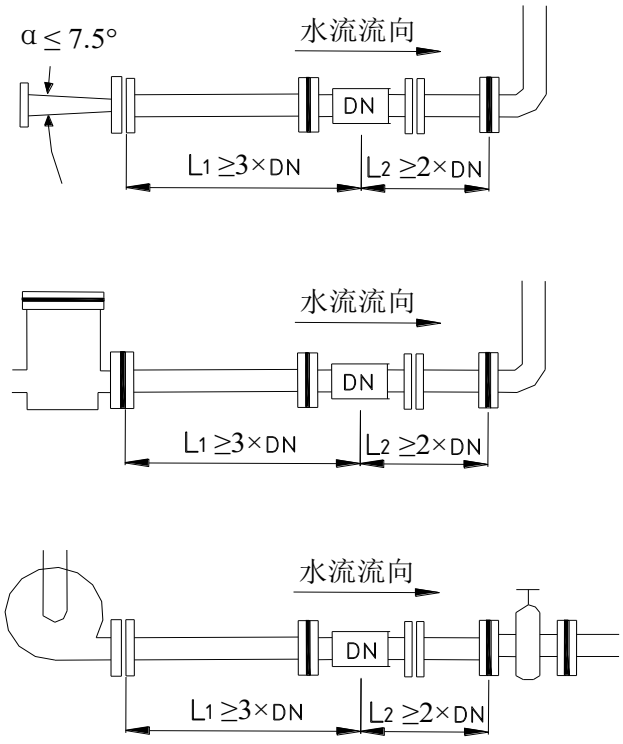


图 C.1.4　管式流量计安装示意图（DN—流量控制器）

C.1.5　钢板计安装示意图如图 C.1.5 所示。

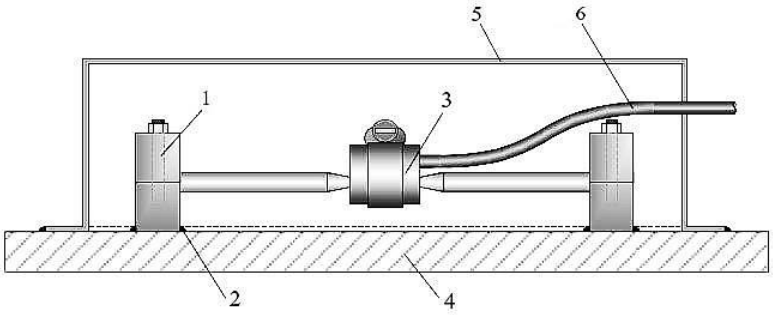


图 C.1.5　钢板计安装示意图

1—夹具；2—粘接；3—钢板计；4—钢结构；5—保护罩；6—电缆；

C.1.6　岩锚梁压应力计埋设示意图如图 C.1.6 所示。

图 C.1.6　岩锚梁压应力计埋设示意图（单位：cm）

1—水泥砂浆；2—钢簧片；3—压应力计；4—电缆；5—膨胀螺栓；

本规范用词说明

1　为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1)　表示很严格，非这样做不可的用词：

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，在条件许可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　条文中指明应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

《水电工程岩土体监测规程》NB/T 10486

《混凝土坝安全监测技术标准》GB/T 51416

《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178

《混凝土坝安全监测资料整编规程》DL/T 5209

《混凝土坝安全监测系统施工技术规范》DL/T 5784

《大坝安全监测系统运行维护规程》DL/T 1558

《大坝安全监测资料分析规程》DL/T 2340

《水电水利地下工程施工测量规范》DL/T 5742

《水电站气垫式调压室设计规范》 NB/T 35080

《水力发电厂和蓄能泵站机组机械振动的评定》GB/T 32584

《水电水利工程预应力锚固施工规范》DL/T 5083

《水电站地下埋藏式月牙肋钢岔管设计规范》NB/T 35110

《水工隧洞设计规范》NB/T 10391

《水电站地下厂房设计规范》NB/T 35090

《水电站调压室设计规范》NB/T 35021

《水电水利工程施工环境保护技术规程》DL/T 5260

《水电工程物探规范》NB/T 10227

《水电水利工程爆破安全监测规程》DL/T 5333

《水电工程边坡安全监测技术规范》DL/T 5796

《水电水利工程水力学安全监测规程》DL/T 5772

中华人民共和国电力行业标准

水电工程地下建筑物安全监测技术规范

DL/T

条文说明

目　　录

3　基本规定 45
4　监测设计 46
4.1　一般规定 46
4.2　水工隧洞监测布置 46
4.3　调压室监测布置 48
4.4　地下厂房洞室群监测布置 49
5　监测施工 52
5.1　一般规定 52
5.2　安装埋设 52
6　观测与维护 54
6.1　一般规定 54
6.2　观　测 54
6.3　维　护 54
7　资料分析与监控 55
7.1　一般规定 55
7.2　整编及分析 55
7.3　监控及反馈 56

3　基本规定

3.0.3　监测项目一般可分为永久监测项目、长期监测项目、短期监测项目。永久监测项目的监测设施应保证可以修复或更换。长期监测项目是指工程已经历某个阶段后，相应长期监测设施即使达到了目的，但在仪器完好情况下，还是应对长期监测项目进行继续观测或封存，直至监测设施寿命结束。短期监测项目一般为施工期临时监测项目或完成某项特定科学试验的监测项目。短期监测项目一般为施工期临时监测项目。

3.0.4　地下洞室环境封闭、环境潮湿，观测设备所处环境较差，且多为埋入式仪器，一旦安装埋设后就无法更换或维修，仪器设备需能够在数十年内保持可靠的测值，因此地下洞室长期监测仪器设备应具有良好的耐久性。

3.0.5　地下洞室围岩的位移主要受“空间效应”和“时间效应”两种因素的影响，“空间效应”即受掌子面约束作用对围岩位移所产生的影响。掌子面距监测断面越远，监测断面的围岩位移量越大。时间效应通常是指变形随时间而增大的现象。因此，为获取尽可能完整的监测数据，利用早期开挖的勘探洞、施工支洞、排水洞、通风洞、灌浆洞等辅助洞室提早预埋监测仪器设备，不具备预埋条件时，应尽可能靠近掌子面埋设监测仪器设备。

3.0.6　在地下洞室施工期间，开挖、爆破、回填灌浆、支护加固等各种施工因素，岩石温度、地下水位等各种环境因素、工程地质条件等均可能对监测量造成影响，因此测值异常时，应详细记录上述施工、环境、地质等因素，便于监测资料分析。

4　监测设计

4.1　一般规定

4.1.4　为便于后期观测和维护，地下建筑物的观测站一般选择在交通便捷、通风干燥的部位，后期如有实现自动化观测的要求，还应考虑设置观测电源和通讯设施。地下洞室观测电缆走线可采用明敷或暗敷的方式。

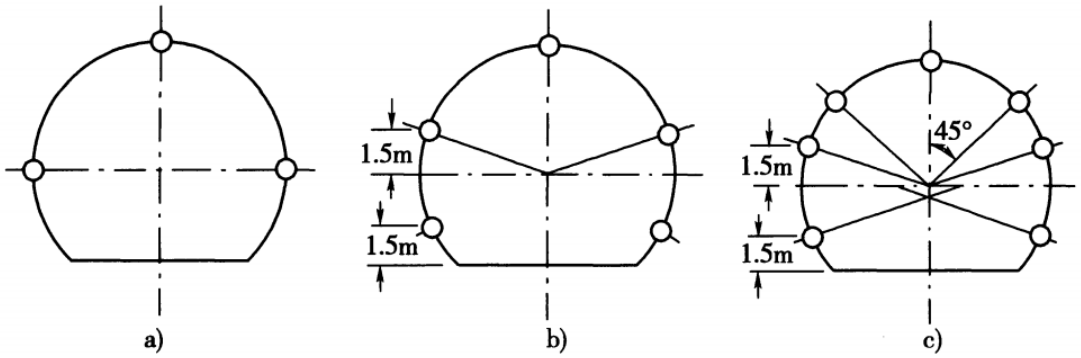
在混凝土填筑过程中埋设的仪器，观测电缆需直接埋入填筑体内。在观测电缆走线与工程施工交叉时，需要在先期工程中沿线路预埋走线管，待观测电缆形成之后，再穿管敷设。

地下洞室的廊道、施工支洞等室内电缆走线，可采用明敷方式。电缆走线距离较短、根数较少时，可将电缆线扎成束悬挂敷设。电缆较多时，可采用托盘或电缆桥架方式。

电缆牵引需穿越岩体或已有建筑物时，需要钻孔穿线敷设。

4.2　水工隧洞监测布置

4.2.1　1　本款规定了根据隧洞围岩等级来选取围岩收敛变形及拱顶沉降监测断面间距的布置要求。监测断面上测点布置，可参见图 4.2-1 典型布置的示例。



a）三个测点时；b）五个测点时；c）七个测点时；

图 4.2-1　典型收敛测点布置图

4.2.2　浅埋洞段一般将会产生较大的地表下沉，为了评判隧洞的围岩稳定性和支护效果，地表下沉量测尤为重要。

4.2.3　2　围岩内部变形监测断面内的测点，一般可布置在洞顶、两侧腰部位，如存在特定结构面，测点布置应保证多点位移计孔穿过结构面。高地应力大变形、膨胀岩土等特

殊岩土洞段，拱脚和拱底板变形相对较大，可在拱脚或拱底板布设测孔。如有围岩变形计算分析成果，测点应布置在计算变形量大的部位。

3　多点变位计测孔深度根据计算分析成果确定，最深锚固点应布置在变形影响区之外。调研工程的 106 条隧洞中，多点变位计测孔深度小于 1 倍洞径的占 6.6%，1~1.2 倍洞径的占 27.4%，1.2~1.5 倍洞径的占 50%，大于 1.5 倍洞径的占 16%，本规范推荐多点变位计测孔深度不宜小于 1.2 倍洞径。

4　利用先期开挖形成的边坡或洞室提前预埋仪器，可以测得洞室开挖的初期变形，以便获取完整的变形成果，方便与计算分析成果对比。预埋仪器的最深锚固点应尽量靠近洞壁，以便监测成果尽量反应洞壁表面的变形，但为避免开挖损坏，宜保留 1~2m 距离。

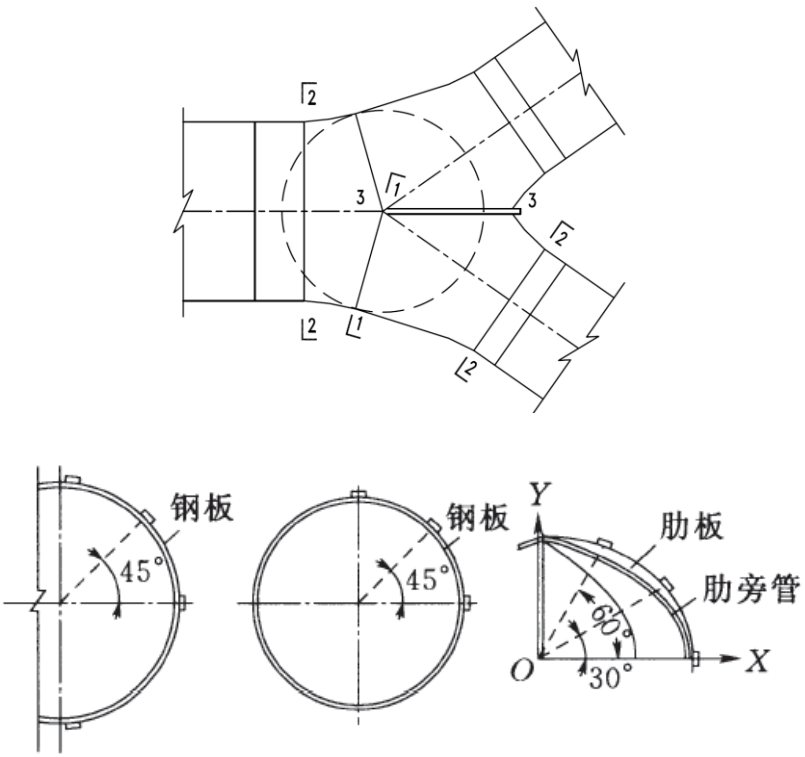
4.2.7　对于承受水头大的施工支洞堵头，应加强监测。《混凝土重力坝设计规范》NB/T 36026 将坝高 50~100m 的坝定义为中坝，坝高 100m 以上的坝定义为高坝，本规范推荐这些承受水头大，达到 50m 以上的施工支洞堵头布置测缝计监测封堵体与围岩（或衬砌结构）间接缝变形。

4.2.8　1 湿陷性土、膨胀土、盐渍土等特殊地质条件的隧洞，其稳定性对渗压敏感，因此应布置渗压监测断面。

4.2.10　3　测量单孔流量的方法可采用容积法、电磁流量计法等。容积法一般用于渗流量较小时的测量，《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178 规定容积法充水时间宜为 1min，但不得小于 10s，考虑接水容器的大小和施测便利性，宜在单孔流量不大于 1L/s 时使用。电磁流量计法可用于渗流量较大时的测量，考虑电磁流量计的流速要求和保证流量计不被淤积，宜在单孔流量大于 0.5L/s 时使用。

4.2.11　导流洞堵头、水工隧洞施工支洞堵头的渗漏量监测，需根据挡水后实际的渗流量情况进行布置。堵头末端一般具备排水条件、且渗流量较大部位可采用量水堰进行监测。若仅是渗漏滴水情况，可采用容积法观测并需加强巡视检查。

4.2.15　Y 型钢岔管监测断面一般布置在主支锥相贯线、过渡锥与主锥相贯线、过渡锥与支锥相贯线附近，监测断面及测点布置可参照图 4.2-2。

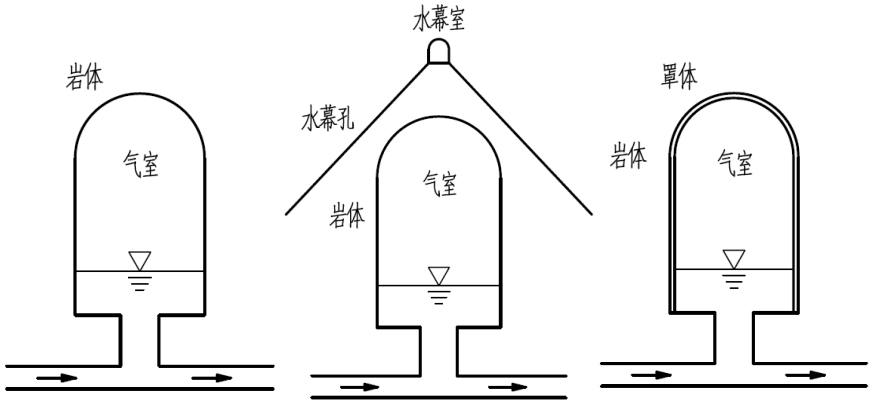


（a）1-1 剖面　　（b）1-1 剖面　　（c）1-1 剖面

图 4.2-2　Y 型钢岔管监测布置图

4.3　调压室监测布置

4.3.3　气垫式调压室防渗型式主要有围岩闭气、水幕闭气和罩式闭气等，如图 4.3-1 所示。当围岩渗透率很低，且岩体中的孔隙水压力大于气室压力时，可采用围岩闭气。水幕闭气型式一般在气室周围和上部围岩布置一系列钻孔和廊道，并充以高水压，在气室外围形成连续的水幕。罩式闭气一般在气室的边顶拱周围形成连续、封闭的罩体，将气体与围岩隔离，罩体的材料可采用钢板或其他防渗材料。



（a）围岩闭气　　（b）水幕闭气　　（c）罩式闭气

图 4.3-1　气垫式调压室典型防渗型式

采用围岩闭气和水幕闭气型式的气垫式调压室对围岩渗透系数要求较高，渗透压力对罩式闭气的罩体稳定也有一定影响，因此对于气垫式调压室应加强渗透压力监测。

4.3.6　与常规水位监测不同，调压室的波动过渡过程中涌浪水位变化迅速，因此涌浪水位监测需采用支持高频采集的水位计及相应采集设备。

4.3.7　气垫式调压室是利用封闭式气室内的压缩空气（即“气垫”）抑制室内水位高度和水位波动幅度值的一种调压室。气垫式调压室的工作气压一般都很高，气体渗漏的大小是决定工程成败的关键，因此气垫式调压室应监测气压、气体温度。

4.4　地下厂房洞室群监测布置

4.4.2　地下厂房洞室群收敛测点一般布置在洞室的顶拱、拱肩、边墙、岩壁吊车梁、洞室交叉处等，典型收敛变形监测断面布置见图 4.4-1。

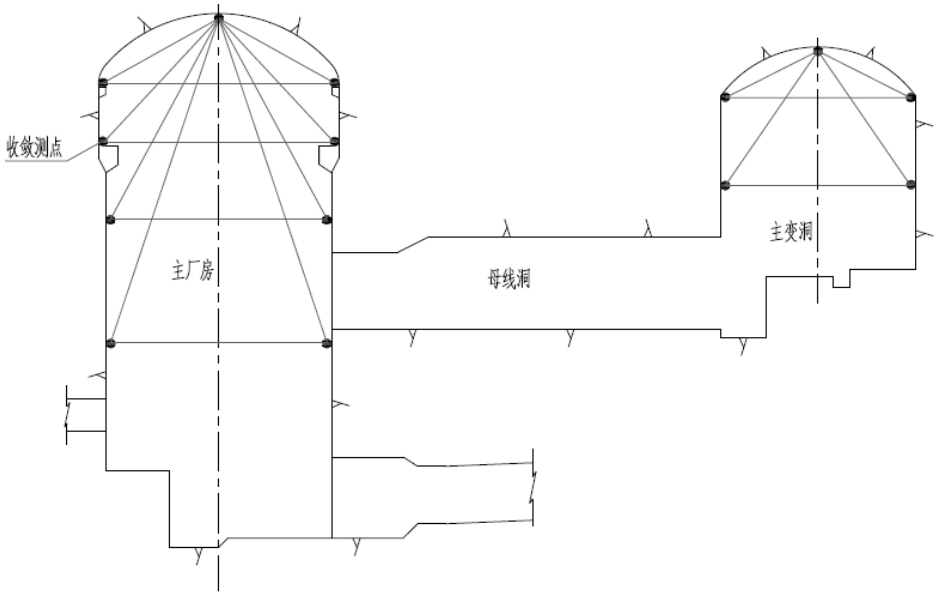


图 4.4-1　地下厂房典型收敛变形监测布置图

4.4.3　1　本条款规定了多点变位计测孔布置位置要求，地下厂房洞室群典型围岩内部变形监测断面布置见图 4.4-2。为了配合多点变位计观测，收敛测点可与多点变位计结合布置，收敛测点安装一般早于多点变位计的安装，多点变位计安装前的围岩变形量可通过收敛变形监测得到，因此可利用收敛变形监测成果对多点变位计的变形进行校核与修正。

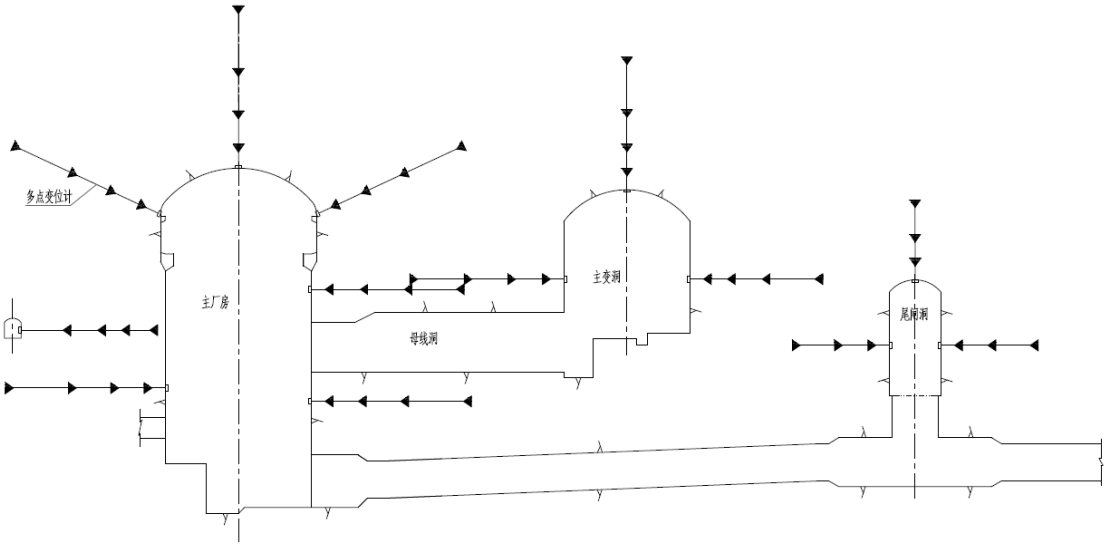


图 4.4-2　地下厂房典型围岩内部变形监测布置图

3　主副厂房洞与主变洞之间的岩柱，通常是监测的重点，受主副厂房洞与主变洞开挖影响，变形一般向临空面方向发展，因此在此部位钻孔埋设的多点变位计，确定其绝对位移计算时的不动点往往是难点，如多点变位计钻孔过浅，则最深锚固点仍受处于开挖影响区内，如多点变位计钻孔过深，则最深锚固点可能受另一侧主副厂房洞或主变洞的开挖影响。为解决上述问题，可在主副厂房洞侧和主变洞侧相近高程交错各布置 1 套多点变位计，每套变位计最深的 2 个锚固点位置对应，通过数据的对比，来确定绝对位移计算所采用的不动点。其布置方式如图 4.4-3 所示。

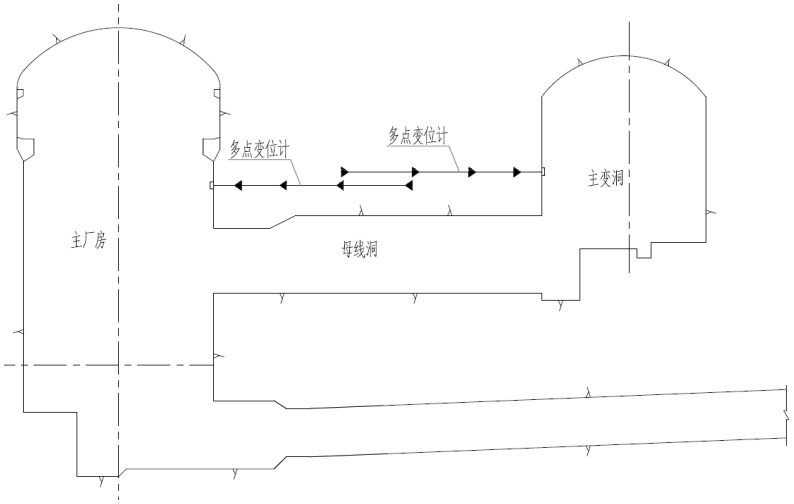


图 4.4-3　主副厂房洞与主变洞之间的岩柱多点变位计布置示意图

4.4.6~4.4.8　作用在岩壁吊车梁上的吊车轮压荷载经悬吊锚杆和梁底岩台传递给洞壁围岩，为了解岩壁吊车梁的运行情况，吊车梁混凝土与围岩接缝变形、拉压锚杆应力、梁

底岩台压应力情况通常为关注的重点。岩壁吊车梁典型监测断面布置见图 4.4-4。

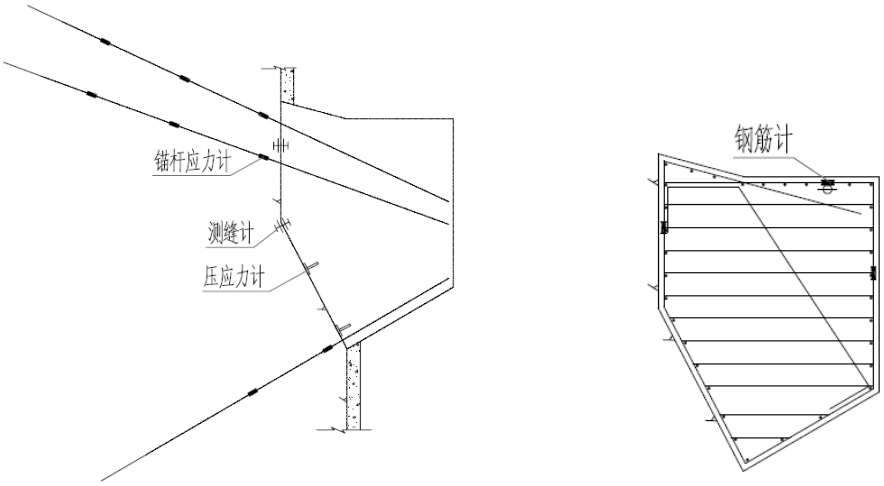


图 4.4-4　地下厂房岩壁吊车梁典型监测断面图

4.4.9　蜗壳及外包混凝土监测布置的目的主要是监测蜗壳混凝土结构在与钢蜗壳联合承载中所起的作用，全面了解蜗壳钢板、蜗壳外包混凝土及钢筋的受力状况以及蜗壳钢板与混凝土接缝开合度的变化等。

4.4.11　在大型水电站厂房结构设计中，需要对厂房的动力特性进行分析并采取相应的防振、抗振措施，但由于厂房机组支撑结构振动的复杂性，尤其是对于高水头、高转速、大容量的发电机组来自于机械、水力、电气三种振源情况的不确定性，目前尚无法建立较系统的标准和提出较准确、可靠的工程技术措施，因此可在机组支撑结构布置振动测点对其进行研究。振动测点可布置在水轮机层、机墩、风罩和发电机层等结构表面，一般与水轮机组振动测点联合布置。水轮机组振动测点的布置要求参见 GB/T 32584。

5　监测施工

5.1　一般规定

5.1.1　水电工程地下建筑物施工是一个很复杂的过程，施工场地受到限制，施工干扰大，施工组织比较复杂；水文地质条件复杂多变，围岩安全稳定性问题突出；地下通风、采光、除尘等施工条件相对较差，劳动强度大；随着我国近年来大型水利水电工程的高速发展，设计中对地下建筑物的规模及施工难度提出了更高的要求，施工难度不断增大，对地下建筑物的施工技术提出了更高的要求。因此，对监测施工人员也提出了相应的要求。

5.1.2　1　为使监测充分发挥更好作用，首先需要根据设计规定，并结合水电工程地下建筑物的工程地质和水文地质条件、支护类型和参数、施工方法以及所确定的监测项目等编制切实可行的施工规划和施工组织设计，并在施工中认真组织实施。

2　施工进度计划的编制应考虑土建施工方的施工计划安排，如开挖、爆破、钢筋绑扎、模板架设、混凝土浇筑等。需做好与土建施工方的协调与沟通，为监测仪器的安装、钻孔预留一定的工日。仪器安装宜以半天考虑、钻孔宜以 1 天考虑。

5.1.3　实践证明，当地下洞室开挖后，岩体固有结构被破坏，块体间阻力削弱，变形松弛，洞室围岩应力重分布，洞室周边径向应力被释放，围岩内形成塑性区，一方面使应力不断向围岩深部转移，另一方面又不断向洞室方向变形并逐渐解除塑性区的应力。这种向洞室方向的变形，一般在爆破后 24h 内发展较快，而围岩开挖初始阶段的变形动态数据又在全部变形过程中占十分重要的地位，因此要求测点需要尽快安装，并在下一循环爆破前获得初读数。为使初读数能够较真实的反应变形值，要求测点尽快埋设和读取初读数。

5.1.5　应使用检定、校准合格的仪器设备，且在有效期内。

5.2　安装埋设

5.2.2　2　高地应力及岩爆洞段一般表面岩体破碎程度与一般洞段更严重，因此测桩的埋设深度较一般洞段要求更深。

5.2.3　TBM 主机及后配套系统较长（长达 100 多米），沿程安装有运渣输送带、通风管及 TBM 机运行轨道，待 TBM 主机及后配套系统全部通过所布设的监测断面后再安装，无法获取隧洞开挖后最原始的围岩变形成果，大幅降低监测信息反馈设计、指导施工的

适用意义，而且后续实施难度亦较大。TBM 掘进与支护工作同时进行，TBM 主机自配有锚杆钻机和注浆设备，且 TBM 主机备有操作平台，满足多点变位计钻孔、组装条件，在 TBM 主机维护和检修的时间段里，采用 TBM 主机自备的钻机完成多点变位计的钻孔、安装埋设及回填灌浆等相关工作。

5.2.17　测力计张拉过程中，每级张拉结束后应对钢绞线的伸长量进行量测，并通过钢绞线伸长量反算张拉力，然后将反算张拉力、测力计所测承载力、千斤顶压力表出力值进行比较。预应力锚索张拉施工作业一般采用以张拉力控制为主，伸长值校核的双控操作方法，因此钢绞线伸长值的测量也十分重要。

伸长值的测量可按下列规定执行：

①　锚索在初始应力下，量测千斤顶活塞体外露长度，锚索张拉时在相应分级荷载下量测千斤顶活塞外露长度。如果中间锚固，则第二级初始荷载应为前一级最终荷载，将多级千斤顶活塞伸长值叠加即为初应力到最终应力间的实测伸长值。

②　应分别量测在施加荷载前后钢绞线实际外露长度并计算其差值，以校核前款量测的实际伸长值。

预应力锚索张拉锁定后内缩量测量，可采用下列方法：

①　工具锚板内缩量的量测方法：在钢绞线开始张拉，达到初始力即设计张拉力值的 10%~25%，把松弛的钢绞线完全拉紧，此时将千斤顶充分固定牢固可靠，精确量取从千斤顶工具锚板外露端面至钢绞线外露端头的长度 b_1。当千斤顶张拉力达到某级张拉力值时，再次量取从千斤顶工具锚板外露端面至钢绞线外露端头的长度 b2，则工具锚内缩量 b=b1-b2。当预应力锚索由多根钢绞线组成时，则应对每根均进行测量，取其平均值（一般至少测量三处）。

②　工作锚板内缩量的量测方法：一般千斤顶与工作锚板接触部位均设置有一块限制工作夹片的限位板。钢绞线在张拉时工作夹片跟随钢绞线的拉伸，向后移动至限位板凹槽的位置，对钢绞线失去约束作用。当千斤顶张拉至设计某级张拉力、回油放松钢绞线的瞬间，钢绞线弹性收缩，工作夹片跟随收缩向锚板孔位底部位移，将钢绞线夹紧，将施加的预应力锁定在钢绞线内。但由于工作锚板回缩位移，将引起钢绞线张拉力的减小。张拉完成卸掉千斤顶后，在工作锚板部位测量夹片外露端面钢绞线外露长度 c1，当预应力锚索由多根钢绞线组成时，则应对每根均进行测量，取其平均值（一般至少测量三处）。千斤顶限位板凹槽深度已知为 c2，则工作锚板内缩量 c=c1-c2。工作锚板内缩量除与锚夹具硬度等有关系外，还与钢绞线直径有关。

6　观测与维护

6.1　一般规定

6.1.1　监测仪器埋设后，随着混凝土的固化凝结，仪器读数也随之变化，因此在埋设后的初期需加密观测，以取得合适的初始值。

6.1.2　监测仪器设备在长期使用后，性能可能有所下降，需要定期检定确定是否能够继续使用。

6.2　观　测

6.2.1　在施工期观测时，应详细记录与监测仪器设备埋设部位相关的开挖、爆破、钻孔、灌浆及混凝土浇筑等施工事件、相关的地下洞室施工进度等资料，这些资料是进行资料整编分析的基本档案资料，有利于考证与监测资料分析评价。

6.2.3　地下建筑物开挖、灌浆作业时，可能会导致附近已安装埋设的多点变位计、锚杆应力计、锚索测力计、钢拱架应力计测值产生突变，因此除埋设初期外，当上述监测设备附近有开挖、灌浆作业时也应加密观测。

6.3　维　护

6.3.3　洞室开挖初期，混凝土喷护过程中易造成收敛测点表面污损，影响观测，因此需要采用包裹物保护。

6.3.4　地下工程多数环境潮湿，易损毁电缆标示，需要定期维护。

7　资料分析与监控

7.1　一般规定

7.1.2　施工期侧重在围岩稳定，一般在稳定后进行地下建筑物结构浇筑，因此运行期围岩稳定已经经过一段时间考验，结构应力应变和内外水压力成为关注重点。

7.1.3　巡视检查同仪器观测同样重要，以弥补仪器布置覆盖面的不足。

7.2　整编及分析

7.2.4　据分析，仪器因素对物理量造成的不良影响占物理量测值出现非正常情况相当大比例。一般仪器对监测值的不良影响主要包括仪器本身、仪器埋设和仪器使用过程对监测值可能造成的不良影响等情况。

1.　仪器自身因素

仪器本身的影响，与仪器质量问题占相当大比重，如部分振弦式仪器常出现停振或异常跳动，电缆受潮等。一些仪器构造本身的缺欠也是监测资料分析中必须考虑的因素，如滑动式测斜仪的位移累积误差。另外有的仪器对外界环境不适应而不能正常工作，如斜向有弯度的钻孔中的多点变位计，因孔壁摩擦阻力导致测值产生锯齿式跳动，差阻式仪器接头受潮引起测值异常浮动等。

2.　仪器埋设因素

仪器埋设因素如渗压计各层回填料级配不符合要求，出现堵孔，或未能与岩石含水裂隙连通，测不到裂隙水压力等。测缝计或收敛计测桩设置位置不当，未能测到岩层或断层上下盘间滑移、开合变形等，多点变位计和测斜管回填灌浆不密实，测桩或锚固点松动等都会对仪器测值产生明显的不良影响。

3.　仪器使用因素

仪器使用因素对测值的不利影响主要来自仪器的人员，使用条件不当或方法不合理等原因。其中人的因素可能是人员素质偏低出现的使用方法不当、测量不及时或产生较大偶然误差或粗大误差。由于施工干扰或观测条件限制，出现重要时段漏测。仪器物理量转换公式的使用、参数的选取、初始值或基准值选取，差阻式仪器电缆长度影响的修正等，如处置不当亦可对测值产生不良影响。

4.　施工因素影响

在地下工程施工期间，各种施工因素如开挖、爆破、回填灌浆、支护加固等均可对监测值造成不利影响，如爆破开挖引起的岩体震动和空间效应，不仅在爆破地点附近，而且对距爆破地点有相当距离的监测值也会有一定影响。如不能及时查明和排除，可能会导致无法正确评价监测物理量和地下洞室围岩的安全稳定性。

5. 地质构造、地下水等工程地质因素也可能对观测值产生不利影响。例如洞室开挖后，断层破碎带附近的岩体可能出现滑移、错动、断裂和较大裂缝开合变形。仪器布置位置与其靠近时，应注意考虑这类因素对观测值的影响。

7.3 监控及反馈

7.3.5 ① 综合对比法是通过对监测物理量作综合性分析、对比，判断结构性态正常与否的一种基本方法。综合对比法主要分析以下内容：

a) 监测物理量量值大小、变化范围、变化幅度是否符合历史测值的情况和变化规律；

b) 监测物理量时效部分的变化趋势、量值大小及变化速率是否显现出结构或围岩的异常变化。

② 置信区间法是用统计理论（如回归分析等）或有限元计算，建立监测物理量与荷载之间的数学模型（统计模型、确定性模型或混合模型等）。当监测物理量 y 的第 j 次测值$y_j \in [[y]^-,[y]^+]$时，认为 y_j 数值正常。

$$[y]^+ = f(X_1, X_2, \cdots, X_n) + \delta$$

$$[y]^- = f(X_1, X_2, \cdots, X_n) - \delta$$

$$\delta = kS$$

式中：$[y]^+$——置信带上界；

$[y]^-$——置信带下界；

$f(X_1, X_2, \cdots, X_n)$——数学模型；

δ——置信带半宽

S——数学模型的剩余标准差；

k——标准差倍数值，通常取 2~3。

7.3.6 当位移速率无明显下降，同时支护混凝土表面已出现明显裂缝、部分锚杆或锚索荷载实测值超过设计值，或实测位移速率出现急剧增长时，或围岩松弛区深度超过系统锚杆的有效深度时，几种监测数据与现场情况之间互相验证，即可排除仪器方面的问题，应及时反馈监测成果。

中华人民共和国电力行业标准

水电工程地下建筑物安全监测技术规范（征求意见稿）

编制说明

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

中国水利水电第八工程局有限公司

国家水电站大坝安全和应急工程技术中心

南瑞集团有限公司

国家能源局大坝安全监察中心

中国三峡建工（集团）有限公司

国网新源控股有限公司

浙江华东测绘与工程安全技术有限公司

2022 年 9 月

目　　录

1　任务来源 1
2　编制依据 1
3　编制单位及编制组成员 1
4　制订过程 2
5　编制目的和原则 3
6　标准主要内容 3
7　重要内容和解释说明 4
8　主要试验验证情况和预期达到的效果 4
9　与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性 4
10　贯彻标准的要求和措施建议 4
11　代替或废止现行标准的建议 5
12　标准实施后的经济效益和社会效益 5

1　任务来源

本标准是根据《国家能源局综合司关于下达 2021 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》（国能综通科技〔2021〕92 号）的要求制定的。

2　编制依据

编制程序依据是国家能源局关于印发《能源标准化管理办法》及实施细则的通知（国能发科技〔2019〕38 号)。

编制格式依据是《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182 号）。

3　编制单位及编制组成员

本标准由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司主编，参编单位 8 家，分别为：国家能源局大坝安全监察中心、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国三峡建工（集团）有限公司、中国水利水电第八工程局有限公司、国网新源控股有限公司、国家水电站大坝安全和应急工程技术中心、浙江华东测绘与工程安全技术有限公司、南瑞集团有限公司。编制单位及编制组成员见表 1。

表 1　编制单位及编制组成员

编制单位		编制组成员	职称
主编单位	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司	张春生	正高
		王玉洁	正高
		郑晓红	正高
		刘浩	高工
		赵程	工程师
参编单位	国家能源局大坝安全监察中心	周建波	正高
	中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司	彭巨为	正高
		陈晓鹏	高工
	中国三峡建工（集团）有限公司	权录年	正高
		姚孟迪	工程师
	中国水利水电第八工程局有限公司	江世勇	正高
		谢长江	高工
		赵芃芃	工程师
	国网新源控股有限公司	李斌	高工
	国家水电站大坝安全和应急工程技术中心	余成钢	高工
		滕世敏	高工
	浙江华东测绘与工程安全技术有限公司	吴忠明	高工
		李天述	高工
	南瑞集团有限公司	胡波	正高
		韩世栋	高工

4　制订过程

本标准主要制订工作过程如下：

2021 年 9 月，国家能源局发布《国家能源局综合司关于下达 2021 年能源领域行业标准制（修）订计划及英文版翻译出版计划的通知》（国能综通科技〔2021〕92 号）》，正式将《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》列入 2021 年能源领域行业标准制（修）订计划。

2021 年 10 月，中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司开展前期准备和资料收集工作。

2021 年 11 月，中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司会同各参编单位成立标准编制小组，制定编制工作大纲（初稿）。

2021 年 12 月 3 日，召开编制组第一次会议，讨论工作大纲和分工。

2022 年 1 月～5 月，根据工作大纲，各参编单位编制标准初稿。

2022 年 6 月 8 日～10 日，召开编制组第二会议要求，对《水电工程地下建筑物安全监测技术规范》（初稿）进行讨论。

2022 年 7 月～8 月，按照第二次会议要求，进一步对标准进行完善，形成征求意见稿。

5 编制目的和原则

本标准为推荐性标准，是我国电力行业标准化建设中的基础性标准之一。

随着水电技术的快速发展，水电工程地下建筑物的应用和布置越来越广泛，地下空间的利用对解决枢纽布置的空间问题和提高水能利用率成效显著。目前，已建设了相当规模的水电工程地下建筑物，其中不乏超埋深、大洞径、长洞线地下建筑群工程，地下建筑物的监测设计、施工和管理的理论、方法、技术和措施等都已积累了丰富的经验，但目前缺少相应的系统的全生命周期的水电工程地下建筑物监测技术规范；为了做好经验总结和设计成果的推广应用，提升水电工程地下建筑物监测设计、施工、运行及维护管理水平，规范水电工程地下建筑物全生命周期监测工作，制定水电工程地下建筑物监测技术规范非常必要。

本标准制订原则是广泛收集资料、深入调研、全面总结当前水电工程地下建筑物监测设计、监测施工、观测与维护、监测资料分析等的工作经验，整理归纳形成技术规范。

6 标准主要内容

本标准适用范围：水工隧洞、调压室、地下厂房等地下建筑物的安全监测工作。按照《工程建设标准编写规定》的要求，主要内容共 7 章和 2 个附录，包括：

1 总则

2 术语

3 基本规定

4　监测设计

5　监测施工

6　观测与维护

7　资料分析与监控

附录 A　监测项目分类和选择、测次与精度

附录 B　监测资料观测及整编表格式

附录 C 监测仪器的安装

7　重要内容和解释说明

本标准的主要内容如下：

1 监测设计

主要提出了地下洞室的围岩及初期支护监测、衬砌监测、封堵体监测、环境量监测、岩壁吊车梁监测、蜗壳及外包混凝土监测等监测项目的设计要求，包括监测断面布置、测点布置、监测方法等内容，提出了地下建筑物的巡视检查频次、方法、内容等。

2 监测施工

主要提出地下建筑监测仪器设备的安装埋设要求等。

3 观测与维护

主要提出了地下建筑的观测要求、监测频次要求、维护的频次、维护方法等。

4 资料分析与监控

主要提出了地下建筑监测资料整编的要求，监测资料分析的方法、内容、重点，提出监控的基本原则、重点监控部位及监测点的选取、监控指标设定方法、监测成果反馈要求等。

8　主要试验验证情况和预期达到的效果

本标准未开展相关试验验证。

9　与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性

本标准完全满足现行法律、法规、政策的要求与规定，格式符合标准规范。

10　贯彻标准的要求和措施建议

本标准为推荐性标准，发布后建议在电力全行业内宣贯和培训。

11　代替或废止现行标准的建议

本标准为首次制定的标准。

12　标准实施后的经济效益和社会效益

本标准颁布实施后，将为今后水电工程地下建筑物安全监测的设计、施工、运行维护等工作提供依据和标准，进一步提升行业的技术水平。