

ICS 93.160
P 59

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 764—2018

水工隧洞安全监测技术规范

Technical specification for safety monitoring
of hydraulic tunnels

2018-12-05 发布

2019-03-05 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布《水工隧洞安全监测技术规范》
等 5 项水利行业标准的公告

2018 年第 11 号

中华人民共和国水利部批准《水工隧洞安全监测技术规范》
(SL 764—2018)等 5 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工隧洞安全监测技术规范	SL 764—2018		2018.12.5	2019.3.5
2	大坝安全监测 系统鉴定技术规范	SL 766—2018		2018.12.5	2019.3.5
3	山洪灾害预警 与评价技术规范	SL 767—2018		2018.12.5	2019.3.5
4	水闸安全监测 技术规范	SL 768—2018		2018.12.5	2019.3.5
5	水工混凝土结 构耐久性评定 规范	SL 775—2018		2018.12.5	2019.3.5

水利部

2018 年 12 月 5 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2012《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共 12 章和 6 个附录，主要技术内容有：

- 监测项目及测点布置；
- 巡视检查；
- 环境量监测；
- 变形监测；
- 渗流监测；
- 应力、应变及温度监测；
- 专项监测；
- 监测自动化系统；
- 监测资料整理与整编；
- 监测系统运行管理与维护。

本标准全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部运行管理司

本标准解释单位：水利部运行管理司

本标准主编单位：水利部大坝安全管理中心

本标准参编单位：南京水利科学研究所

中水东北勘测设计研究有限责任公司

中国电建集团西北勘测设计研究院有限
公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限
公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：何勇军 宋守平 李宏恩 张国栋
高 垠 张建辉 李 锋 范光亚
赵志勇 徐海峰 杨 阳 李 卓
杨东利 陈树联

本标准审查会议技术负责人：袁培进

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204588；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

<https://www.sljzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1	总则	1
2	术语	3
3	监测项目及测点布置	4
3.1	一般规定	4
3.2	监测项目	5
3.3	监测断面及测点布置	6
3.4	监测频次	9
4	巡视检查	10
5	环境量监测	12
5.1	一般规定	12
5.2	进出口水气	12
5.3	进口水温	12
5.4	冰冻	13
5.5	进口泥沙淤积和出口冲刷	13
6	变形监测	14
6.1	一般规定	14
6.2	监测仪器与方法	14
6.3	监测设施安装	15
6.4	观测	15
7	渗流监测	16
7.1	一般规定	16
7.2	监测仪器与方法	16
7.3	监测设施安装	16
7.4	观测	17
8	应力、应变及温度监测	18
8.1	一般规定	18

8.2	监视仪器与方法	18
8.3	监视设施安装	18
8.4	观测	19
9	专项监测	20
9.1	围岩松动监测	20
9.2	爆破振动监测	20
9.3	水力学监测	22
9.4	施工环境安全监测	22
10	监测自动化系统	23
10.1	一般规定	23
10.2	系统设备	23
10.3	自动化系统软件	24
10.4	监测自动化系统结构与组成	24
10.5	系统安装与调试	25
11	监测资料整理与整编	26
11.1	一般规定	26
11.2	监测设施基本资料整理	26
11.3	监测资料整编	27
12	监测系统运行管理与维护	28
12.1	一般规定	28
12.2	运行管理与维护	28
附录 A	监测项目与测次	30
附录 B	巡视检查内容与格式	33
附录 C	线缆布置与连接	36
附录 D	爆破振动安全允许标准	38
附录 E	监测资料整编与分析的方法和内 容	39
附录 F	监测仪器考证表	53
标准用词说明		61
条文说明		63

1 总 则

1.0.1 为规范水工隧洞安全监测，掌握水工隧洞运行性态，指导工程施工和运行，反馈设计，降低安全风险，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程 1 级、2 级、3 级水工隧洞的安全监测；4 级、5 级水工隧洞可参照执行。水工隧洞级别划分应按 GB 50201《防洪标准》、SL 252《水利水电工程等级划分及洪水标准》和 SL 279《水工隧洞设计规范》的规定执行。

1.0.3 安全监测对象应包括泄洪（排沙）洞、输水洞、引水隧洞、尾水隧洞、导流洞、压力钢管、调压室、尾闸室、封堵体等。其他如地下厂房、主变室、交通洞、母线洞、通风洞等非通水水利水电工程隧洞的安全监测可参照本标准执行。

1.0.4 安全监测应包括施工期监测和运行期监测。

1.0.5 安全监测方式应包括巡视检查和仪器监测。

1.0.6 监测仪器设备安装埋设前，应进行检测、校准；测量仪表应定期检定/校准。

1.0.7 本标准主要引用下列标准。

GBZ 159 工作场所空气中有害物质监测的采样规范

GB/T 16529.2 光纤光缆接头 第 2 部分：分规范、光纤光缆接头盒和集纤盘

GB/T 21431 建筑物防雷装置检测技术规范

GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

GB 50201 防洪标准

SL 212 水工预应力锚固设计规范

SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

SL 279 水工隧洞设计规范

SL 281 水电站压力钢管设计规范

SL 386 水利水电工程边坡设计规范

- SL 551 土石坝安全监测技术规范
- SL 601 混凝土坝安全监测技术规范
- SL 615 水利水电工程水力学原型观测规范
- SL 355 水利水电工程调压室设计规范
- SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
- HJ/T 61 辐射环境监测技术规范

1.0.8 水工隧洞安全监测除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

- 2.0.1 水工隧洞安全监测** hydraulic tunnel safety monitoring
利用巡视检查、仪器监测与分析手段对水工隧洞安全信息进行采集和分析的过程。
- 2.0.2 施工期监测** construction period monitoring
从开始施工到投入运行前（含充水试验期）进行的安全监测。
- 2.0.3 运行期监测** operation period monitoring
投入运行后进行的安全监测。
- 2.0.4 监测断面** monitoring section
对水工隧洞工程安全有控制性作用，并集中布置有监测仪器的断面。
- 2.0.5 内水压力监测** internal water pressure monitoring
对作用于水工隧洞内壁水压力的监测。
- 2.0.6 外水压力监测** external water pressure monitoring
对作用于水工隧洞外壁水压力的监测。
- 2.0.7 监测主机** monitoring computer
用于安全监测数据接收、存储、处理和监测设施管理的计算机。

3 监测项目及测点布置

3.1 一般规定

3.1.1 水工隧洞安全监测应根据隧洞类型、级别、用途、重要性及失事后的影响程度、工作条件、沿线地形地质条件、施工方法、支护和衬砌方式以及生态环境要求等因素设置。

3.1.2 水工隧洞安全监测应包括围岩和支护衬砌结构、封堵体结构以及对隧洞安全有重大影响的进、出口边坡等。

3.1.3 凡符合下列情况之一的水工隧洞应进行安全监测：

- 1 1~3级水工隧洞。
- 2 大洞径、高水头、高流速水工隧洞。
- 3 不良地质洞段。
- 4 软岩隧洞，包括湿陷性黄土、膨胀土、软粘土等各类软岩、土洞洞段。
- 5 采用新技术的洞段。
- 6 浅埋或深埋隧洞。
- 7 隧洞线路通过的区域有重要建（构）筑物及有环境要求的洞段。
- 8 洞室开挖发生过坍塌、冒顶以及支护、衬砌发生过质量事故的洞段。

3.1.4 水工隧洞围岩和支护结构的安全监测重点应包括Ⅲ类及以下围岩段、断层破碎带、膨胀性围岩段、隧洞交叉段、溶岩及高地应力段、受邻区影响较大地段等。

3.1.5 封堵体安全监测应根据围岩条件、承受水头以及防渗要求等确定。

3.1.6 进、出口边坡安全监测应根据边坡等级、地质条件及边坡对隧洞安全影响程度等确定，水工隧洞进、出口边坡级别应按SL 386执行。

- 3.1.7 调压室的安全监测应按 SL 655 执行。
- 3.1.8 压力钢管的安全监测应按 SL 281 执行。
- 3.1.9 水工隧洞安全监测应突出重点、兼顾全面、统筹安排、配合布置。
- 3.1.10 安全监测设计应收集下列基本资料：
- 1 工程规模、设计标准和水工隧洞类型、级别、支护及衬砌方式、施工方法以及环境保护要求等资料。
 - 2 水文资料。
 - 3 地形、地质资料。
 - 4 试验资料。
 - 5 设计成果。
 - 6 监测仪器设备资料。
 - 7 其他相关资料。
- 3.1.11 监测仪器设备应具有适用性、可靠性、耐久性、经济性，且便于实现自动化。仪器设备选型宜根据地质条件、结构计算及模型试验成果、类似工程经验等确定。
- 3.1.12 对监测仪器和信号传输线缆应进行防护设计。
- 3.1.13 钻爆法施工的隧洞对其临近建（构）筑物有较大影响时，应进行爆破振动监测。
- 3.1.14 水工隧洞施工应进行现场量测监控，安全监测应按 GB 50086 执行。

3.2 监测项目

- 3.2.1 水工隧洞安全监测项目应包括巡视检查，环境量、变形、渗流、应力、应变、温度监测及专项监测。监测项目设置应兼顾施工期临时监测。
- 3.2.2 环境量监测项目包括水位、水温、冰冻、泥沙淤积和冲刷等。
- 3.2.3 变形监测应包括隧洞围岩内部变形、洞壁收敛变形、地表沉降、接缝及裂缝开合度等。

3.2.4 渗流监测应包括渗透压力、内外水压力、扬压力及渗流量等。

3.2.5 应力、应变及温度监测应包括支护结构混凝土应力应变、钢筋应力、围岩压力、锚杆应力、锚固荷载、压力钢管衬板应力及混凝土内部温度等。

3.2.6 施工期应重点监测围岩变形、锚固荷载及混凝土内部温度等；运行期应重点监测围岩变形、内外水压力及衬砌结构应力应变等。

3.2.7 水工隧洞安全监测项目应符合附录 A 表 A.0.1 的规定。

3.3 监测断面及测点布置

3.3.1 监测断面布置应符合下列要求：

1 根据隧洞功能、等级、地质条件、支护结构型式、受力状态、施工方法等因素，选择代表性洞段，每个洞段宜布置 1~3 个监测断面。

2 钢筋混凝土岔管监测断面宜根据应力状态确定。

3 洞口边坡监测断面应根据地质地形条件、建筑物布置确定。

4 设有帷幕灌浆的封堵体前后均应设置监测断面。

5 不同监测项目监测断面宜结合布置。

6 监测断面数量应根据施工安全及反馈设计需要进行调整。

3.3.2 变形监测应符合下列要求：

1 施工期围岩收敛变形和拱顶沉降首次测量断面距掌子面不宜大于 1m。Ⅲ级围岩断面间距不宜大于 50m；Ⅳ级围岩不宜大于 40m；Ⅴ级围岩不宜大于 30m；断层破碎带宽为 5~10m。对于洞口、浅埋段、软弱地层或地质条件较差洞段，监测断面应适当加密。收敛变形监测每个断面应不少于 3 个测点。

2 岩体内部变形监测宜布置在围岩条件较差、地质构造带、洞室交叉、洞口、上覆岩体较薄等洞段，每个洞段宜布置 1~3 个监测断面，每个断面宜布置 3~5 个测孔，每个测孔宜布置 3

~6个测点。测点位置应根据围岩地质条件、径向位移变化梯度确定。围岩内部变形监测基准点应设在变形影响区之外，深度应大于1.5倍洞径。

3 接缝监测宜布置在混凝土衬砌结构与围岩接缝、压力钢管与混凝土衬砌接缝、混凝土衬砌分缝等部位。每个监测断面应不少于3个测点。

4 裂缝监测应布置在支护衬砌结构出现危害性裂缝部位。

5 洞口边坡变形监测应在主滑方向设置1~3个表面变形监测断面。

6 隧洞封堵体与围岩或衬砌结构接缝监测每个监测断面应不少于3个测点，宜布置在顶部和两侧对称部位。

7 浅埋段隧洞地表沉降测点宜沿洞轴线布置，应不少于3个断面，每个断面应不少于3个测点，宜布置在洞顶和两侧受影响的范围内。

8 湿陷性黄土、膨胀土、软黏土洞段中的支护衬砌结构应设置1~3个监测断面，每个断面应不少于3个测点。

3.3.3 渗流监测应符合下列要求：

1 外水压力监测断面应根据水文地质条件，在埋深大、裂隙发育洞段布置，并应与变形监测结合设置，每个监测断面布置1~3个测点。通过灌浆加固周边围岩的高水压隧洞渗流测点应设置在围岩面结灌浆圈以外。

2 水工隧洞穿越防渗帷幕时，应进行帷幕防渗效果监测，并在防渗帷幕前后0.5~1m内布置测点。

3 渗漏影响浅埋隧洞或围岩（土）稳定性的洞段，应布置渗透压力监测，每个监测断面宜布置3~6个测点。

4 隧洞进、出口建筑物，泄洪洞出口消力池等基础宜设置扬压力监测。测点布置应根据建筑物结构型式和水文地质条件等因素确定。

5 1级、2级隧洞的封堵体应设置渗透压力监测，每个监测断面应不少于3个测点，宜布置在封堵体与围岩或衬砌混凝土结

构间。

- 6 湿陷性黄土洞段，应设置渗漏监测。
- 7 渗水部位宜按分区、分段原则设置渗水量监测。
- 8 内水压力监测断面可布置在隧洞最大内水压力部位。

3.3.4 应力应变及温度监测应符合下列要求：

1 监测断面应按隧洞功能、地质条件、结构形式、受力状态及施工条件选择，施工期监测断面数量宜根据施工安全需要确定；永久监测断面宜布置在具有代表性或关键部位，并宜与施工监测断面相结合。

2 测点布置应根据时空关系，围岩应力分布、岩体结构和地质代表性，设计计算得到的变化梯度合理确定测点数量。

3 混凝土应变测点应沿拱圈布置，拱顶和左右侧拱腰附近应不少于3个测点，地质条件不良、受力状态复杂时，宜在拱腰和拱脚位置增设测点。

4 钢筋混凝土衬砌中应布置钢筋应力测点，钢筋应力计应与被测钢筋同轴。

5 围岩与支护结构间的压应力测点应根据围岩压力分布和方向布置。

3.3.5 锚杆应力和预应力锚索（杆）荷载监测应符合下列要求：

1 对于全断面设系统锚杆的监测断面，在拱顶、拱腰和拱脚应布置3~7个锚杆应力测孔，每根锚杆宜布置1~3个测点。对局部加强锚杆监测，应在加强区域内选择有代表性的部位设置锚杆应力测点，测点可根据围岩条件和现场情况适当调整。

2 预应力锚索（杆）监测应按SL 212执行，监测锚索宜采用无黏结锚索。

3.3.6 钢支撑和压力钢管应力（压）力监测布置应符合下列规定：

1 采用型钢、钢管、钢筋格栅等钢支撑支护时，应监测围岩压力和钢支撑应力。围岩对钢支撑压力的监测应在拱顶和两侧对称布置测点，测点数量根据围岩条件和钢支撑类型确定。

2 钢支撑压力（应力）监测应根据钢支撑类型确定。型钢

宜在表面布置应变测点，钢筋格栅宜设钢筋应力测点。

3 压力钢管应力监测宜在钢管表面上（前）、下（后）、左、右对称布置测点。

3.3.7 封堵体温度测点可根据施工温控需要布置。

3.3.8 隧洞进、出口边坡支护结构应力和应变监测布置应符合下列要求：

1 边坡支护结构压力（应力）监测断面应布置在边坡稳定性较差、支护结构受力较大的部位，数量宜根据潜在不稳定体的规模确定。

2 沿抗滑支护结构正面不同高程宜布置压力（应力）、混凝土应变和钢筋应力测点，按抗滑结构高度可分别在3~5个高程处布置监测点。

3 边坡采用锚杆、预应力锚索等加固时，应监测锚杆（索）受力状态。锚杆（索）计数量应按SL 212执行。

3.4 监测频次

3.4.1 围岩内埋设的监测仪器，监测频次应符合下列要求：

1 仪器安装后、掌子面开挖前应进行首次监测。

2 距离掌子面3倍洞径范围内，每个开挖循环应监测1次，且不应少于1次/d。

3 当监测量值或其变化速率较大时应加密监测频次。

4 当监测量值超过计算或预估允许值时，应加密监测频次。

3.4.2 混凝土衬砌结构内埋设的监测仪器，初期应随着混凝土的水化热变化加密监测频次。

3.4.3 除以上情况以外，监测频次应符合附录A表A.0.2的规定。相关项目宜同步监测，时间序列应连续。

4 巡视检查

- 4.0.1 施工期及运行期均应对水工隧洞进行巡视检查。
- 4.0.2 巡视检查可分为日常巡查、年度巡查和特殊巡查。
- 4.0.3 巡视检查程序应根据水工隧洞的实际情况和阶段制定。
- 4.0.4 日常巡查应符合下列要求：
- 1 施工期：开挖后衬砌前应每周 1~3 次；衬砌后 1 个月内宜每周 1 次，此后可逐步减少次数，但每月不宜少于 1 次。
 - 2 充水试验前后，应对隧洞进行全面检查；充水试验期间宜每日检查 1~2 次。
 - 3 运行期每月不宜少于 1 次。
 - 4 洞内放空时，应进行洞内项目检查。
- 4.0.5 运行期第一年的年度巡视检查不应少于 2 次，以后可为每年 1 次。
- 4.0.6 发生危及隧洞安全运行的特殊情况时，应进行特殊巡视检查。
- 4.0.7 巡视检查中如发现隧洞有异常迹象，应及时分析原因，并向主管部门报告。
- 4.0.8 巡视检查应包括下列内容，不同巡查项目要求见附录 B 表 B.0.1：
- 1 围岩（施工期）：岩体裂缝、局部危岩、地下渗水等。
 - 2 支护结构：变形、裂缝、错位、渗水、腐蚀、析钙等。
 - 3 排水系统：排水孔工作状况、排水量及水质变化等。
 - 4 地表及洞口边坡：地表变形、渗水或涌水以及滑坡等。
 - 5 封堵体：变形和渗水情况。
 - 6 泄水隧洞：高流速区空化空蚀和进出口水流流态情况。
 - 7 监测系统：仪器安装埋设及系统运行情况。
 - 8 水工隧洞沿程：引起地质、地貌变化的自然、人为活

动等。

4.0.9 可按下列方法进行检查：

- 1 可采用目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法。
- 2 可辅以锤、钎、量尺、放大镜、望远镜、照相设备、摄像设备等工器具。
- 3 可利用视频监控系統輔助檢查。
- 4 可采用工程措施、专用设备及化学试剂等特殊方式辅助检查。

4.0.10 记录和整详应符合下列要求：

- 1 应按附录 B 表 B.0.2 填写巡视检查表，必要时应附简图、照片或影像记录。
- 2 巡视检查记录应及时整理分析，并与历史检查结果对比，如发现异常应及时复查。
- 3 重大缺陷部位应设立专项记录。

4.0.11 巡视检查报告应符合下列要求：

- 1 日常巡视检查中发现异常情况，应及时提交检查报告。
- 2 年度巡视检查工作结束后，应及时提交检查报告。
- 3 特殊巡视检查工作结束后，应及时提交检查报告。
- 4 巡视检查报告及其电子文档应存档备查，报告内容见附录 B.0.3。

5 环境量监测

5.1 一般规定

5.1.1 环境量监测项目包括进出口水位、进口水温、冰冻、进口泥沙淤积和出口冲刷等。

5.1.2 环境量监测项目应结合隧洞工程特点按照附录 A.0.1 选择性设置，项目测次应符合附录 A.0.2 的规定。

5.2 进出口水位

5.2.1 进出口水位监测测点设置应符合下列要求：

- 1 测点应设在稳固的岸坡或永久建筑物上。
- 2 测点应设在水流平稳、受风浪和进出口水流影响较小、设备安装与监测方便处。

5.2.2 进出口水位监测设备和频次应符合下列要求：

- 1 水工隧洞通水前应完成水位监测永久测点设置。
- 2 监测设备应设置水尺观测。必要时应增设自记水位计或遥测水位计。
- 3 水尺的零点标高每年应校测 1 次，零点有变化时应及时校测。

5.2.3 水位监测允许误差应满足表 5.2.3 的要求。

表 5.2.3 水位监测允许误差

水位变幅 $\Delta Z/m$	≤ 10	$10 < \Delta Z \leq 15$	> 15
允许误差/cm	2	$2\% \Delta Z$	3

5.3 进口水温

5.3.1 测温垂线应布置在隧洞进口洞脸部位，根据隧洞进口直径大小，布置 1~3 个测点。

5.3.2 测温允许误差应不大于 0.5℃。

5.4 冰 冻

5.4.1 冰冻监测应包括静冰压力、动冰压力、冰厚、冰温等。

5.4.2 静冰压力及冰温监测应符合下列要求：

1 结冰前，可在坚固建筑物前缘，自水面至最大结冰厚度以下 10~15cm 处，每 20~40cm 设置 1 个压力传感器，并在附近相同深度处，设置 1 个温度计同时监测。

2 应自结冰之日起开始监测，每日至少监测 2 次。在冰层胀缩变化剧烈时期，应加密频次。

3 应同时进行冰温、冰厚监测。

5.4.3 动冰压力监测应符合下列要求：

1 消冰前应根据变化趋势，在坚固建筑物前缘适当位置安设冰压力传感器监测。

2 在风浪过程或流冰过程中应连续监测，并应同时监测冰情、气温、风力和风向。

5.5 进口泥沙淤积和出口冲刷

5.5.1 监测断面应设置在进口泥沙淤积和出口冲刷区域。

5.5.2 监测可采用水下摄像、地形测量法或断面测量法。

6 变形监测

6.1 一般规定

6.1.1 变形监测包括进出口边坡、围岩表面变形、围岩内部变形、衬砌结构变形、接缝及裂缝开合度、段坦段地表沉降等。

6.1.2 变形监测平面坐标及高程应与设计、施工和运行各阶段的控制网相一致，并宜与国家控制网建立联系。

6.1.3 监测项目和频次应符合附录 A 的规定。

6.1.4 变形量的正负号应符合下列规定：

1 洞口边坡水平位移：向坡外为正，反之为负；向左为正，反之为负。垂直位移：向下为正，反之为负。

2 隧洞围岩变形：向洞内为正，反之为负。

6.1.5 变形监测精度应符合表 6.1.5 的规定。

表 6.1.5 变形监测精度

监测项目		位移量中误差限值/ $\Delta_{\text{中}}$
进出口边坡	土质边坡	± 3.0
	岩质边坡	± 2.0
洞身	表面变形	± 2.0
	深部变形	± 0.3
接缝、裂缝开合度		± 0.2

6.2 监测仪器与方法

6.2.1 隧洞围岩及支护结构表面变形监测宜采用收敛计、全站仪或水准仪；深部变形监测宜采用多点位移计或滑动测微计；接缝及裂缝监测宜采用测缝（位移）计。

6.2.2 边坡表面变形监测宜采用全站仪和水准仪，也可采用全球导航卫星系统（GNSS）监测。边坡内部变形监测宜采用测斜仪、

多点位移计及滑动测微计等，重要部位应采用垂线等监测方法。

6.2.3 浅埋段地表沉降监测宜采用精密水准仪，也可采用多点位移计。

6.2.4 洞口边坡表面水平位移监测宜采用边角交会法或极坐标法，也可采用视准线法。垂直位移监测宜采用水准法。

6.2.5 变形监测方法还应符合 SL 725、SL 601、SL 551 的规定。

6.3 监测设施安装

6.3.1 表面水平位移测墩宜高出地面 1.2m，强制对中装置的对中误差应小于 0.2mm，倾斜度应不大于 4'。

6.3.2 围岩表面收敛监测测桩安装前，应清除测桩安装处的松动岩石，测桩应牢固可靠，埋深不宜大于 20cm。

6.3.3 水平位移测墩，测斜仪、多点位移计和滑动测微计等相关土建及使用要求应符合 SL 501 的规定。

6.3.4 电缆连接和编号应符合监测设计要求进行，见附录 C。

6.4 观测

6.4.1 采用收敛计监测围岩表面变形时，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。每次量测应测读 3 次，且读数互差不应超出收敛计的精度，取其平均值作为当次测值。

6.4.2 测斜仪、多点位移计和滑动测微计等仪器的监测要求应符合 SL 501 的规定。

6.4.3 表面水平位移观测的边角交会法、视准线法的监测要求应符合 SL 601 的规定。

6.4.4 采用水准法观测垂直位移时，应采用相应精度等级的水准测量，在满足精度要求的前提下，也可采用三角高程法。垂直位移观测方法的观测要求应符合 SL 601 的规定。

6.4.5 GNSS 变形监测宜采用实时在线自动监测方法，若采用人工监测，应采用 B 级及以上精度的 GNSS 静态测量法。

7 渗流监测

7.1 一般规定

7.1.1 渗流监测项目包括渗透压力、内外水压力、扬压力、渗流量监测。

7.1.2 渗流监测项目和频次应符合附录 A 的规定。

7.2 监测仪器与方法

7.2.1 渗透压力、内外水压力、扬压力宜采用渗压计监测，浅埋水工隧洞的外水压力可采用测压管监测。

7.2.2 渗流量可采用容积法或量水堰法监测。

7.3 监测设施安装

7.3.1 渗压计安装应符合下列要求：

1 渗压计宜采用钻孔埋设安装方式，帷幕或固结灌浆部位附近埋设安装的渗压计应在灌浆完成后实施。

2 渗压计安装时，应测量渗压计安装坐标，测读渗压计初始读数。

3 渗压计埋设安装应按 SL 551 或 SL 601 执行。

7.3.2 测压管安装应符合下列要求：

1 测压管宜采用双面热镀锌无缝钢管或硬工程塑料管，进水管段应设反滤装置。

2 测压管安装时，应测量管口坐标、管长及管口、管底高程。

3 测压管安装后应设保护装置。

4 测压管制作及安装应按 SL 551 或 SL 601 执行。

7.3.3 量水堰安装应按 SL 551 或 SL 601 执行。

7.3.4 电缆连接和编号应符合监测设计要求，见附录 C。

7.4 观 测

7.4.1 采用钢尺水位计测量测压管水位时，应连续测量 2 次，差值不大于 2cm。

7.4.2 采用容积法测量渗流量时，应连续测量 2 次，每次容器充水时间宜大于 10s，测量结果差值应不大于均值的 5%。

7.4.3 采用量水瓶测量渗流量时，堰上水头应连续测量 2 次，差值不大于 1mm。

8 应力、应变及温度监测

8.1 一般规定

8.1.1 应力、应变及温度监测项目包括锚杆应力，锚固荷载，混凝土应力、应变，钢筋应力，围岩压力，压力钢管钢板应力，混凝土温度及岩体温度等。

8.1.2 应力应变及温度监测项目和频次应符合附录 A 的规定。

8.2 监测仪器与方法

8.2.1 锚杆应力应采用锚杆应力计监测，预应力锚索荷载应采用锚索测力计监测。

8.2.2 混凝土应力应变应采用应变计、无应力计监测，钢筋应力应采用钢筋应力计监测。

8.2.3 钢支撑结构应力应采用钢板应力计或点焊式应变计等监测；钢筋格栅应力应采用钢筋应力计监测。

8.2.4 围岩与衬砌混凝土接触压力应采用片压应力计监测。

8.2.5 混凝土温度应采用温度计监测。

8.3 监测设施安装

8.3.1 仪器安装应保持正确位置及方向，及时对仪器检测，并防止仪器损坏。各种仪器的安装要求应符合 SL 601 的规定，并应满足下列要求：

1 混凝土内应力应变仪器埋设时，宜取得混凝土的配合比、不同龄期的弹性模量、热膨胀系数等相关资料。必要时，还应取样进行混凝土徐变试验。

2 应变计埋设时，可采用支座、支杆或钢丝固定。

3 在隧洞衬砌中埋设无应力计时，宜选择在大体积混凝土或隧洞超挖较多部位。应使无应力计筒大口朝上，其应变计周围

筒内的混凝土应与相应应变计组外的混凝土相同。

4 钢筋应力计、锚杆应力计、钢板应力计埋设宜采用焊接法。焊接时应采取降温措施，仪器内的温度不应超过 60℃。

5 压力（应力）计埋设时，应使仪器承压面朝向岩体并固定在钢筋或结构物上，浇筑的混凝土应与承压面可靠接触，混凝土振捣应避免压力（应力）计埋设部位。

6 锚索测力计应在无荷载锚索中安装，混凝土墩钢垫板与钻孔轴向垂直，其倾斜度不宜大于 2°，测力计与铰孔同轴，偏心应不大于 5mm，测力计垫板厚度不宜小于 2cm，垫板与锚板平整光滑，表面粗糙度为 $Ra25$ 。安装后，首先按要求进行单根锚索预紧，使其各根锚索受力均匀。然后分 4~5 级进行整体张拉，最大张拉力宜为设计总荷载的 115%。锚索测力计安装可按 SL 551 执行。

8.3.2 监测仪器埋设时，应记录仪器及电缆埋设参数及附近浇筑的混凝土和环境条件。安装后，应做好标识与保护。

8.3.3 电缆连接和编号应符合监测设计要求，见附录 C。

8.4 观 测

8.4.1 应力应变及温度仪器监测要求应符合 SL 551 和 SL 601 的规定。

8.4.2 锚索测力计安装锁定后应加密监测频次，48h 内宜按每日 3 次，7 日内宜按每日 1 次进行监测，之后应按附录 A 表 A.0.2 执行。

8.4.3 应力应变及温度仪器埋设后，应根据混凝土的特性、仪器的性能及周围的温度及时测读。

9 专项监测

9.1 围岩松动监测

9.1.1 围岩松动监测应符合下列规定：

1 围岩松动监测断面应根据围岩不同岩性、不同施工方法选定，宜选择高应力碎胀性围岩、断层区等具有代表性的断面。

2 每个监测断面应不少于3个测孔（点）。

9.1.2 监测方法应符合下列规定：

1 隧洞围岩松动监测可采用声波法、地质雷达法、地震波法、钻孔全景光学成像法和多点位移计等。

2 监测方法应根据水工隧洞的埋深、规模及其与周围介质的物性差异选择，当地质条件复杂或有多种干扰因素时宜采用综合监测方法，多种方法相互验证。

3 地质雷达法、地震波法监测断面应沿隧洞轴线掌子面进尺方向在洞底和洞壁布置。

4 声波法、钻孔摄像法、多点位移计法监测时，钻孔深度应超过预测的围岩松动圈1m以上。

9.2 爆破振动监测

9.2.1 爆破开挖施工对附近建筑物或设施产生影响时，应进行爆破振动监测。监测对象为受振动影响的建（构）筑物及其他有特殊要求的设施。

9.2.2 爆破振动监测应采用仪器监测和宏观调查相结合的方法。

9.2.3 应根据工程爆破设计、施工、监测对象及所处部位的地质、地形条件，确定爆破振动测点位置及数量。爆破振动测点位置及数量应符合下列要求：

1 水工隧洞开挖应进行爆破质点振动速度监测及爆破影响深度检测。

2 大型洞室开挖爆破应布置 1~2 个与静态监测断面一致的重点监测断面。

3 每一个监测断面应设 3~5 个测点。

4 按不同围岩类别，宜每 100m 布置一组垂直于被测基岩面的声波观测孔，每条洞不少于 1 组。

5 洞间距小于 1.5 倍平均洞径的相邻洞爆破时，应在非爆破的邻洞布置质点振动速度测点，定期进行监测。

9.2.4 爆破振动监测设计应针对工程爆破动力响应条件，结合静态安全监测情况统筹安排，合理布置。

9.2.5 宏观调查与巡视检查，应采取爆前爆后对比检测方法。

9.2.6 在保护对象的相应部位，爆前应设置明显测量标识，爆后应调查该部位变化情况。

9.2.7 保护对象受爆破影响的程度应根据宏观调查与巡视检查结果，并对照仪器监测成果评估。

9.2.8 爆破振动监测应包括质点振动速度和加速度监测。

9.2.9 监测仪器设备应符合下列规定：

1 传感器频带应覆盖被测物理量的频率。

2 记录设备的采样频率应大于被测物理量的上限主振频率的 12 倍。

3 传感器和记录设备的测量幅值范围应满足被测物理量的预估幅值要求。

9.2.10 测点布置应符合下列规定：

1 每一测点宜布置竖向、水平径向和水平切向三个方向的传感器。

2 需获取爆破振动传播规律时，测点至爆源的距离，应按近密远疏的规律布置，测点数应不少于 5 个。

9.2.11 传感器安装应符合下列规定：

1 安装前，应根据测点布置情况对测点及其传感器进行统一编号。固定内部测点传感器的充填材料，其声阻抗应与被测介质相一致，可与静态监测仪器一同埋设。

2 传感器安装部位的岩石介质或基础表面应进行清理、清洗，并应与传感器紧密连接。

3 宜用石膏、螺柱、水泥砂浆或水玻璃等材料，把速度传感器固定在监测部位。

4 传感器安装时，每一测点不同方向的传感器安装角度误差应不大于 5° 。

5 应收集爆破规模、爆破方式、孔网参数及起爆网路等爆破参数。

9.2.12 安全性初步评价应根据保护对象类型，按爆破振动安全允许标准确定。省级以上（含省级）重点保护古建筑与古迹的安全允许振速，应经专家论证选取，并报相应文物管理部门批准；爆破振动安全允许标准见附录 D。

9.3 水力学监测

9.3.1 1级水工隧洞、大洞径、高水头、高流速及采用新技术的隧洞，应进行水力学监测。

9.3.2 监测项目、方法和要求应符合 SL 616 的规定。

9.4 施工环境安全监测

9.4.1 施工环境安全监测应包括粉尘浓度、有毒有害气体及放射性监测。

9.4.2 粉尘浓度及有毒有害气体监测应符合 GBZ 159 的规定。

9.4.3 放射性监测应符合 HJ/T 61 的规定。

10 监测自动化系统

10.1 一般规定

10.1.1 在建水工隧洞宜建立监测自动化系统，已建水工隧洞监测系统更新改造时，宜建立监测自动化系统。在满足监测精度的条件下，系统结构和功能应力求简单实用，宜选用技术先进、性能可靠的系统设备和通信方式。

10.1.2 监测自动化系统设计原则应为“实用、可靠、先进、经济”，系统宜简单、稳定、维护方便，易于改造和升级。

10.2 系统设备

10.2.1 系统设备基本功能应符合下列要求：

- 1 应具有自动巡测、自检、自诊断功能。
- 2 应具备停电保护功能。
- 3 应具有现场采集数据显示、存储和远程通信功能。
- 4 应具有防雷及抗干扰功能。
- 5 常规传感器采集单元应具备人工测量接口，可补测、比测；光纤解调仪应具有光纤耦合接入端口，可进行人工比测。
- 6 可接入模拟量、数字量信号。
- 7 数据采集缺失率应不大于 2%。

10.2.2 系统设备基本性能应符合下列要求：

- 1 平均无故障时间 (MTBF) 应不小于 6300h。
- 2 防雷电感应不小于 500W。
- 3 瞬态电位差应小于 1000V。
- 4 测量装置掉电运行时间应不小于 72h。
- 5 定时采集间隔应可选可调。
- 6 单点采集时间应小于 30s。
- 7 巡测时间应小于 30min。

- 8 存储容量应不小于 50 测次存储数据容量。
- 9 工作环境温度应为 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应不大于 95%RH。
- 10 供电电源应为交流 220V 或直流 12V。
- 11 通信接口应支持符合国际标准的通用通信接口。

10.3 自动化系统软件

10.3.1 数据采集装置与监测主机之间应具有双向数据传输功能。

10.3.2 自动化系统软件应具有监测数据自动甄别、计算、维护、备份、资料整理和分析等功能；具有异常数据和设备故障报警功能；具有可视化界面，可修改系统设置、设备参数及运行方式；具有在线监测、离线分析、人工输入、数据库管理、数据备份、图形报表制作、信息查询和发布等功能；具有系统管理、权限设置、运行日志等功能。

10.4 监测自动化系统结构与组成

10.4.1 监测自动化系统应由监测仪器、数据采集装置、通信装置、计算机及外部设备、数据采集和管理软件、供电和防雷设施等组成。

10.4.2 监测自动化系统可采用集中式和分布式。

10.4.3 监测站及监测管理站应符合下列规定：

- 1 监测站不得设置在具有较强电磁干扰和易遭雷击的场所，应具备通风、防潮、防鼠等条件，并应有接地和防雷设施，接地电阻应不大于 10Ω 。

- 2 监测管理站应满足监测主机正常运行的环境要求，并应配备打印机、不间断电源、净化电源及接地防雷设备等，接地电阻应不大于 4Ω 。

- 3 防雷装置检测应符合 GB/T 21431 的规定。

10.4.4 数据通信应符合下列规定：

1 系统通信可采用光纤、双绞线等有线方式或无线通信方式，误码率应不大于 10^{-6} 。

2 通信线路敷设时应采取避雷和防电磁干扰的措施。

10.5 系统安装与调试

10.5.1 系统安装与保护应符合下列要求：

1 系统设备安装及电（光）缆布线应整齐。设备箱体、光纤终端盒、支座及支架等应安装牢固。

2 监测设施应采取必要的防护措施。室外电（光）缆的敷设要求见附录 C。

10.5.2 监测自动化系统安装调试过程中，应对系统仪器设备进行检测、检验、标定，并应做好记录。

10.5.3 监测自动化系统调试时，各监测点应连续测试，应与人工监测数据同步比测。

10.5.4 监测自动化系统设备更新改造时，应保留原有可用的监测设施，并应保证监测资料的连续性。

10.5.5 系统安装调试完成后应提交安装调试报告。

11 监测资料整理与整编

11.1 一般规定

11.1.1 监测资料整理与整编内容应包括巡视检查、变形、渗流、应力应变、环境量及专项监测等。

11.1.2 各监测项目的监测数据应采用标准记录表格，宜按附录 E.1 执行。

11.1.3 监测资料整理与整编应符合附录 E 的规定，整编成果应项目齐全、考证准确、数据可靠、方法合理、图表完整、格式统一、说明完备。

11.1.4 施工期和运行期应对监测资料进行日常整理，应定期进行资料整编分析，评估水工隧洞工作状态。施工期应重点关注围岩稳定及其时空分布的关系，应对监测资料及时整理、分析、反馈；运行期应重点分析支护结构应力和内外水压力。在充水试验、阶段验收、竣工验收、出现异常或险情状态时应进行资料分析，并提出资料分析报告；在充水试验、竣工验收时均应先做全面的资料分析，分别为充水试验、验收及运行提供依据。

11.1.5 应建立监测资料数据库，并宜建立监测数据信息管理系统。

11.2 监测设施基本资料整理

11.2.1 监测设施基本资料应包括安全监测系统设计、布置、埋设、竣工等资料，以及系统运行后的维护和更新改造资料，主要应包括下列内容：

- 监测设施及测点的布置图；
- 安装考证资料；
- 仪器资料；
- 其他相关资料。

11.2.2 安装考证资料记录应及时、准确、完备，考证图表格式应按附录 F 执行。初次整编时，应按工程监测项目对各项考证资料全面收集、整理和审核。在以后各阶段，监测设施和仪器有变化时，如监测设施和设各检验维修、设备或仪表损坏、失效、报废、停测、新增或改（扩）建等，均应重新填制或补充相应的考证图表，并注明变更原因、内容、时间等有关情况备查。

11.2.3 监测设施基本资料应及时归档。

11.3 监测资料整编

11.3.1 巡视检查、人工监测和自动化监测完成后，应及时检查、检验原始记录的准确性、可靠性、完整性，对于测量因素产生的异常值应进行处理。

11.3.2 计算各监测物理量应及时形成电子文档，并打印出主要图表供查用。图表应按附录 E.1 执行，物理量的计算公式可按附录 E.3 执行。

11.3.3 监测资料整编应包括监测资料统计、绘制有关图表、初步分析等，应按附录 E.2 执行。

11.3.4 监测资料初步分析应包括监测资料的趋势性分析、特征值分析、相关性分析、突变值判断等内容，如有异常，应检查计算有无错误和监测系统有无故障，经综合比较判断，确认监测物理量异常时，应及时上报，并应及时对工程进行相应的安全复核或专题论证。

11.3.5 监测资料整理整编后应编写年度整编报告，并及时归档。

12 监测系统运行管理与维护

12.1 一般规定

12.1.1 监测系统运行管理单位应制定监测系统管理制度，包括日常监测、仪器设备管理与维护、监测数据记录与处理等。

12.1.2 承担监测系统运行的管理人员应具备相应的专业知识和技能，并应经过岗位培训。

12.2 运行管理与维护

12.2.1 运行管理人员应做好监测系统运行记录与监测数据保存，及时整理分析数据，定期提出分析意见。

12.2.2 应根据工程特点和监测系统情况制定监测系统运行管理制度，并在运行管理中适时改进。

12.2.3 监测系统运行过程中，运行管理人员应及时分析监测数据变化，掌握工程性态，发现异常及时上报。

12.2.4 监测数据应定期进行整理整编、刊印、存档。

12.2.5 监测自动化系统运行与管理应符合下列要求：

- 1 应制定监测自动化系统运行管理规程。
- 2 监测数据每 3 个月应备份 1 次。
- 3 系统时钟每月应校正 1 次。
- 4 应定期检查监测自动化系统运行情况，做好记录，存档备查。
- 5 应配置足够的备品备件，并应及时进行系统维护维修，做好记录。
- 6 监测自动化系统采集的数据宜每年进行 1 次人工比测，并编写比测报告。
- 7 监测自动化系统宜每 5 年进行 1 次全面检查，根据检查结果进行相应处理。

12.2.6 接地电阻应每 2 年检测 1 次，并应符合 10.4.3 条的要求。

12.2.7 监测系统鉴定应由专业技术单位承担，通过检验测试、校验测试和数据分析等方法分析监测系统运行情况，提出运行维护或维修处理意见，鉴定结论应由主管部门审定，并向上级主管部门报备。



附录 A 监测项目与测次

A.0.1 水工隧洞安全监测项目分类和选择应按表 A.0.1 确定。

表 A.0.1 水工隧洞安全监测项目分类和选择

序号	监测项目	监测内容	水工隧洞级别		
			1级	2级	3级
1	巡视检查	巡视检查	●	●	●
		1) 进出口水位	●	●	●
2	环境量	2) 进口水渠	○	○	○
		3) 冰冻	○	○	○
		4) 进口泥沙淤积	○	○	○
		5) 出口冲刷	○	○	○
		1) 进出口边坡	○	○	○
3	变形	2) 围岩表面变形	●	●	●
		3) 围岩内部变形	●	○	○
		4) 衬砌结构变形	●	●	○
		5) 接缝、裂缝开合度	●	○	○
		6) 衬砌层地表沉降	○	○	○
		1) 渗透压力	●	●	○
4	渗流	2) 内外水压力	●	●	○
		3) 扬压力	●	●	○
		4) 渗流计	○	○	○
		1) 锚杆应力	●	○	○
5	应力、应变及温度	2) 衬砌荷载	●	●	●
		3) 混凝土应力、应变	●	○	○
		4) 衬砌应力	●	○	○
		5) 围岩应力	●	○	○

表 A.0.1 (续)

序号	监测项目	监测内容	水工隧洞级别		
			1级	2级	3级
5	应力、应变及温度	6) 衬砌管衬应力	●	○	○
		7) 混凝土出度	●	○	○
		8) 岩体温度	○	○	○
6	围岩松动	围岩松动监测	○	○	○
7	水力学	水力学监测	○	○	○
8	爆破振动	爆破振动监测	○	○	○

注：有●者为必测项目，有○者为选测项目，可根据需要选测。

A.0.2 水工隧洞安全监测项目及监测频次应按表 A.0.2 选择。特殊时期（如发生大洪水、地震等），应增加频次。

表 A.0.2 水工隧洞安全监测项目及监测频次

序号	监测项目	监测内容	施工期监测频次		运行期监测频次
			充水试验之前	充水试验期间	
1	巡视检查	巡视检查	1次/周~3次/周	2次/d~1次/d	2次/月~1次/月
2	环境量	1) 进出口水位	2次/d~1次/d	4次/d~2次/d	2次/d~1次/d
		2) 进出口水温	—	1次/d	1次/d
		3) 淤积	按需要	按需要	按需要
		4) 进出口泥沙淤积	按需要	按需要	按需要
		5) 出口冲刷	按需要	按需要	按需要
3	变形	1) 进口边墙	1次/周~1次/月	1次/d	2次/月~1次/季
		2) 进口左右变形	1次/周~1次/月	—	—
		3) 进口内部变形	1次/周~1次/月	1次/d~1次/d	2次/月~1次/季

表 A.0.2 (续)

序号	监测项目	监测内容	施工期监测频次		运行期监测 加次
			充水试验 之前	充水试验 期间	
3	变形	4) 衬砌结构变形	1次/周~ 1次/月	2次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		5) 接缝、裂缝开合度	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		6) 浅埋段地表沉降	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
4	渗流	1) 渗透压力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		2) 内外水压力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		3) 扬压力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		4) 渗流量	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
5	应力、 应变及 温度	1) 锚杆应力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		2) 锚固段应力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		3) 围岩土应力变化	1次/周~ 2次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		4) 衬砌应力	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		5) 混凝土温度	1次/周~ 1次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季
		6) 岩体温度	2次/周~ 2次/月	3次/d~ 1次/d	2次/月~ 1次/季

注1: 表中频次均系正常情况下人工监测的最低要求。根据需要进行, 监测自动化系统可适当加密频次。

注2: 在施工期, 根据施工进度快慢, 选择变形和应力监测的频次。在充水试验时, 根据充水速率及水头选择监测频次。在运行期, 当变形、渗流等数值变化速率大时, 频次取上限, 趋于稳定时可取下限。

附录 B 巡视检查内容与格式

B.0.1 巡视检查内容应按表 B.0.1 确定。

表 B.0.1 巡视检查内容

项目(部位)		日常巡查	年度巡查	特殊巡查
洞岩(施工期)	岩体裂缝	●	/	/
	局部危岩	●	/	/
	地下水	●	/	/
支护结构	变形	○	○	●
	裂缝、错位	○	○	●
	渗水	○	○	●
	腐蚀、剥蚀	○	○	●
排水系统	排水孔工作状态	○	○	●
	排水量	○	○	●
	排水水质	○	○	●
地质及洞口边坡	沿洞线地表变形	●	●	●
	洞内渗水或洞外涌水	●	●	●
	进出口边坡滑移	●	●	●
衬砌体	变形或裂缝	○	●	●
	渗水	○	●	●
泄水隧洞	空化空蚀	○	○	●
	水瓶流态	○	○	●
监测系统	安装埋设	○	/	/
	监测仪器状态	●	●	●
	自动化系统运行情况	●	●	●
水工隧洞治理	自然条件变化	●	●	●
	人为活动	●	●	●

注：●为必查项目，○为选查项目，/为不查项目。

B.0.2 巡视检查记录格式应按表 B.0.2 填写。

表 B.0.2 巡视检查表

日期: 天气: 进口水位: 出口水位:

项目 (部分)		检查情况	检查人员	备注
围岩 (施工期)	岩体裂隙			
	局部危岩			
	地下渗水			
支护结构	变形			
	裂缝、错位			
	渗水			
	腐蚀、析碱			
排水系统	排水孔工作状况			
	排水量			
	排水水质			
地表及洞口 边坡	沿洞轴线表变形			
	洞内渗水或洞外涌水			
	进出口边坡坍塌			
衬砌体	变形或裂缝			
	渗水			
监测系统	安装设施			
	监测仪器状态			
	自动化系统运行情况			
水—隧洞岩层	自然条件变化			
	人为扰动			
其他情况:				

B.0.3 巡视检查报告宜包括下列内容:

- 检查日期;
- 本次检查的目的和任务;
- 检查组参加人员名单及其职务;
- 检查环境条件及结果 (包括文字记录、缩略图、影像资料)

料)；

- 历次检查结果的对比、分析和判断；
- 异常情况发现、分析及判断；
- 必须加以说明的特殊问题；
- 检查结论 (包括对某些检查结论的不一致意见)；
- 检查组的建议；
- 检查组成员的签名。

附录 C 线缆布置与连接

C.0.1 线缆选择应符合下列要求：

1 电缆应与监测仪器适配，并应具有耐酸、耐碱、防水、绝缘等性能。

2 电缆及电缆接头在环境温度为 $-25\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、承受水压为 1.0 MPa 时，绝缘电阻应不小于 $100\text{ M}\Omega$ 。

3 电缆芯线应在 100 m 内无接头。

4 差动电阻式仪器采用的电缆芯线间电阻的偏差应不大于 5% 。

5 光纤、光缆均应为单模光纤。

6 光纤仪器引出线应选用仪器自带尾缆或室内光纤等软性光纤。无压隧洞可选用铠装光缆，有压隧洞应选用水下光缆，光缆芯数根据监测仪器数量和光纤仪器串接方式确定。

7 光缆的最小允许弯曲半径应不小于其外径的 25 倍。

8 光缆、光缆接头盒及附件应具有相应的耐水压能力。

C.0.2 监测仪器线缆敷设应满足下列要求：

1 应规划监测仪器线缆路径，避免干扰，不宜以明线方式敷设。对有压隧洞，应预留通道，整体敷设。

2 监测仪器和线缆沿线应设置明显标志，避免因隧洞后续施工对监测仪器和线缆造成损坏。

3 线缆保护管宜采用热镀锌钢管，钢管内径应不小于线缆束直径的 1.2 倍，跨缝时应设伸缩节。

4 无压隧洞内的明铺线缆应架设于最高水面线 50 cm 以上或拱顶。

5 有压隧洞监测线缆走线应采用钢管保护，敷设于衬砌混凝土内部。

6 埋设线缆时应避免线缆承受过大拉力或接触毛石和振捣

器，线缆在保护管的出口和入口处应用橡皮或麻布等包扎，以防受损；线缆未引入监测站前，应可靠保护，线缆头不得受潮进水。

C.0.3 橡胶护套电缆的接头应采用硫化接头或双层热缩套管，PVC护套电缆应采用热缩管或专用防水接头。高水压下的电缆应采用专用防水接头。

C.0.4 电缆芯线的焊接应采用锡焊，不得使用焊锡膏，芯线的接头应错开，并应采用适配热塑套管或绝缘胶带绝缘，接线后电缆性能应不低于C.0.1的要求。

C.0.5 光缆续接、接头盒及终端盒的光纤熔接等相关要求应符合GB/T 16529.2的规定。

附录 D 爆破振动安全允许标准

表 D 爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类型	安全允许振幅/(cm/s)		
		<10Hz	10~50Hz	50~100Hz
1	一般楼房、旧式筒的大型 砌块建筑物	2.0~2.5	2.3~2.5	2.7~3.0
2	新筑混凝土结构房屋	3.0~4.0	3.3~4.5	4.2~5.0
3	一般古建筑与古迹	0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5
4	水工隧洞	7~15		
5	交通隧洞	15~20		
6	水电站及发电厂中心控制室设备	0.5		
7	新浇大体积 混凝土龄期/d	初凝~3	2.0~3.0	
		3~7	3.0~7.0	
		7~28	7.0~12.0	

注1: 表列频率为主频率, 系指最大振幅所对应频率。
 注2: 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选择, 当取频率时亦可参考下列数据: 洞室爆破小于20Hz, 深孔爆破10~50Hz, 浅孔爆破40~100Hz。
 注3: 非指新浇大体积混凝土的安全允许振幅, 可根据水运给水书上限值选取。

附录 E 监测资料整编与分析的方法和内容

E.1 监测物理量相关图表

E.1.1 水工隧洞围岩收敛监测记录表格式见表 E.1.1。

表 E.1.1 收敛监测记录表

工程名称		监测断面				测线	
监测日期 /年-月-日	点 测距 /mm	标 尺测值 /mm	温度修正 后测值 /mm	收敛 变形象 /mm	收敛速率 /mm/d	温度 /℃	观测人

E.1.2 单支差阻式仪器监测记录表格式见表 E.1.2。

表 E.1.2 差阻式仪器监测记录表

测点编号	仪器编号		仪器类型	桥阻式	告警类型
初始电阻比 W_0	初始电阻 R_0		最小读数 L		温度常数 α
			温度补偿系数 β		零位电阻 R'
监测日期	电阻 比 W_t	电阻 R_t	检测 值 δ	温度 T	备注
注 1: 适用于单支差阻式仪器监测数据记录。 注 2: 仪器为压力计, δ 为检测压力, MPa; 仪器为钢筋计 (锚杆应力计) 时, δ 为应变, MPa; 仪器为位移计时, δ 为应变, 10^{-3} ; 仪器为倾角计时, δ 为开合度, mm。					

E.1.3 多支成套差阻式仪器监测记录表格式见表 E.1.3。

表 E.1.3 差阻式仪器（多支）监测记录表

测点编号	仪器数量 / 支		仪器类型		监测类型		
初始值及 计算系数	仪器编号	电阻比 W_0	电阻 R_0	最小读数 f	零位电阻 R'	温度常数 a	温度补偿系数 b
	1号传感器						
	2号传感器						
	3号传感器						
		电阻比 W		电阻 R		整定值 v	
监测日期	电阻比 W_1	电阻比 W_2	电阻比 W_3	电阻 R_1	电阻 R_2	电阻 R_3	整定值 v_1
							整定值 v_2
							整定值 v_3
							...

注1：适用于多支差阻式仪器监测数据记录。
注2：仪器为测力计（或轴杆应力计）时， v 为应力，MPa；仪器为多点位移计
时， v 为应变， 10^{-4} 。

E.1.4 单支振弦式仪器监测记录表格式见表 E.1.4。

表 E.1.4 单支振弦式仪器监测记录表

测点编号	仪器编号		仪器类型		监测类型	
初始读数 R_0	初始温度 T_0		计算系数 G		计算系数 K	
	观测读数 R_1	环境温度 T_1		整定值 v		备注

注1：适用于单支振弦式仪器监测数据记录。
注2：仪器为渗压计时， v 为渗透压力，MPa；仪器为测力计（或轴杆应力计）
时， v 为应力，MPa；仪器为位移计时， v 为应变， 10^{-4} ；仪器为测缝计
时， v 为开合度，mm。

E.1.5 振弦式仪器（多支）监测记录表格式见表 E.1.5。

表 E.1.5 振弦式仪器（多支）监测记录表

测点编号	仪器数量 /支	仪器类型	振弦式	监测类型			
初始值及 计算系数	仪器编号	初始模数 R_0	初始温度 T_0	计算系数 C	计算系数 K	备注	
	1号传感器						
	2号传感器						
	3号传感器						
	...						
监测日期	模数 R			温度 T		应变 ϵ	
	模数 R_1	模数 R_2	模数 R_3 ...	温度 T_1	温度 T_2	温度 T_3	...
				应变 值 ϵ_1	应变 值 ϵ_2	应变 值 ϵ_3	...
注1: 适用于振弦式仪器（多支）监测数据记录。							
注2: 仪器为钢筋计（或锚杆应力计）时， ϵ 为应力，MPa；仪器为多点位移计 时， ϵ 为应变， 10^{-4} 。							

E.1.6 隧洞内气温或岩体温度监测成果统计表格式见表 E.1.6。

表 E.1.6 隧洞内气温或岩体温度监测成果统计表 单位：℃

工程名称	工程部位												
E 洞	月 份												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1													
2													
...													
31													
全月统计	最高 日期												
	最低 日期												
	最高 E 度												
	最低 E 度												
全年统计	最高 日期					最低 日期					均值		
备注													

E.1.7 内部变形（多点位移计）监测成果统计表格式见表 E.1.7。

表 E.1.7 内部变形（多点位移计）监测成果统计表
年 月 日 测日数

工程名称		工程部位										备注
监测日期	测点编号	测点 M1/mm					测点 M2/mm					
		M1-1	M1-2	M1-3	M1-4	M1-5	M2-1	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5	
埋深/m		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
今年特征值统计	最大值											
	日期											
	最小值											
	日期											
	平均值											
	年变幅											

注1：指垂直断面径向布置，围岩深度从表（洞壁）至深。
注2：向洞壁方向位移（拉伸）为正，向垂直深度方向位移（压缩）为负。

E.1.8 围岩表面位移监测成果统计表（收敛计量测）格式见表 E.1.8。

表 E.1.8 围岩表面位移监测成果统计表（收敛计量测）
年 月 日 测日数 单位：mm

监测日期	测点编号及位移					备注
	测点 1	测点 2	测点 3	...	测点 n	
今年特征值统计	最大值					
	日期					
	最小值					
	日期					
	平均值					
	年变幅					

注：向洞内为正，反之为负。

E.1.9 渗流量统计表格格式见表 E.1.9。

表 E.1.9 渗流量监测成果统计表

监测日期	测点编号及渗流量/(L/s)			流量 /(m ³ /s)	备注
	测点1	测点2	...		
全年统计	最大值				
	日期				
	最小值				
	日期				
	平均值				
	年变幅				

E.1.10 应力、应变及温度监测成果统计表格格式见表 E.1.10。

表 E.1.10 应力、应变及温度监测成果测值统计表
(应力单位为 MPa；应变单位为 10⁻³；温度单位为℃)

日期 (年-月-日)	测点					...
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	
全年统计	最大值					
	日期					
	最小值					
	日期					
	平均值					
	年变幅					

E.1.11 测值过程线图见图 E.1.11。

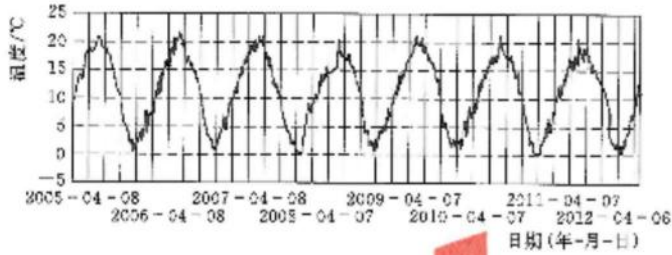


图 E.1.11 测值过程线图

E.1.12 隧洞收敛监测测点布置图见图 E.1.12。

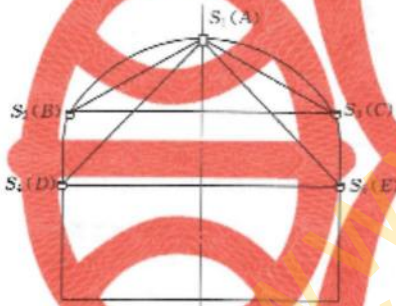


图 E.1.12 隧洞收敛监测测点布置图

E.1.13 隧洞收敛变形测值过程线图见图 E.1.13。

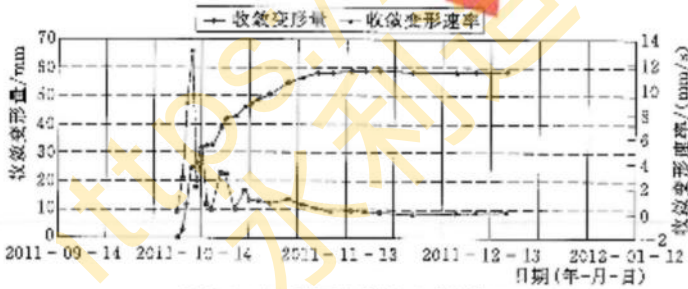


图 E.1.13 隧洞收敛变形过程线图

E.1.14 隧洞多点位移计监测过程线图见图 E.1.14。

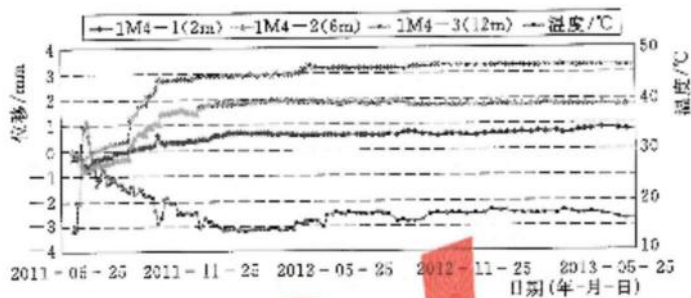


图 E.1.14 隧洞多点位移计监测过程线图

E.1.15 隧洞接缝开度与温度关系过程线图见图 E.1.15。

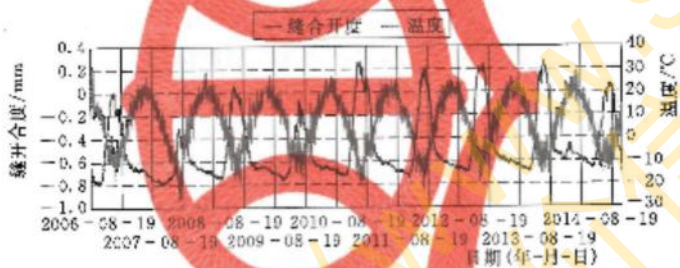


图 E.1.15 隧洞接缝开度与温度关系过程线图

E.2 各种监测物理量的整理与整编要求

E.2.1 监测资料的收集应符合下列规定：

- 1 第一次整编时应完整收集工程基本资料、监测设施资料和仪器设备考证资料等，并单独刊印成册，以后每年应根据变动情况，及时加以补充或修正。
- 2 收集有关物理量设计计算值和经分析后确定的监控指标。
- 3 收集整编时段内的各项日常整理后的资料，包括所有监测数据、文字和图表。

E.2.2 监测资料的整理与整编工作应符合下列规定：

1 在收集有关资料的基础上，应对整编时段内的各项监测物理量按时序进行列表统计和校对等整理工作。如发现可疑数据，不宜删改，应标注记号，并加注说明。应绘制各监测物理量过程线图，以及能表示各监测物理量在时间和空间上的分布特征图和与有关因素的相关关系图。在此基础上，应对监测资料进行初步分析，阐述各监测物理量的变化规律以及对工程安全的影响，提出运行和处理意见。

2 监测自动化系统采集的数据可按监测频次的要求进行表格形式的整编，但绘制测值过程线时应选取所有测值进行，对于特殊情况（如流量突变、地震等）和工程出现异常时增加频次所采集的监测数据也应整编入内。

3 对于重要监测物理量（如变形、渗透压力、应力、流量、气温等），整编时除表格形式外，还应绘制测值过程线、测值分布图等。

E.2.3 现场检查资料应包括下列主要内容：

1 每次整理与整编时，对本时段内现场检查发现的异常问题及其原因分析、处理措施和效果等作出完整编录，同时简要引述前期现场检查结果并加以对比分析。

2 将原始记录换算成所需的监测物理量，并判断测值有无异常。如有遗漏、误读（记）或异常，应及时补（复）测、确认或更正，并记录有关情况。原始监测数据的检查、检验主要内容有：

- 1) 作业方法是否符合规定。
- 2) 监测记录是否正确、完整、清晰。
- 3) 各项检验结果是否在限差以内。
- 4) 是否存在粗差。
- 5) 是否存在系统误差。

3 经检查、检验后，若判定监测数据不在限差以内或含有粗差，应立即重测；若判定监测数据含有较大的系统误差时，应

分析原因，并设法减少或消除其影响。

E.2.4 环境量监测资料应包括下列主要内容：

1 隧洞内气温和岩体温度监测资料整编，遵照表 E.1.6 的格式填制逐日平均气温统计表。

2 应将月、年内的极值和均值以及极值出现的日期分别填入“全月统计”和“全年统计”栏中。

E.2.5 变形监测资料应包括下列主要内容：

1 变形监测资料整编，应根据工程所设置的监测项目进行各监测物理量列表统计，遵照附录 E 中表 E.1.7、表 E.1.8 的格式填制。

2 在列表统计的基础上，绘制应能表示各监测物理量变化的过程线图，以及在时间和空间上的分布特征图和与有关因素的相关关系图（如充水过程、流量、气温等）。

E.2.6 渗流量监测资料应包括下列主要内容：

1 渗流量监测资料整编，应将各监测物理量按隧洞不同部位分别列表统计，并同时抄录监测时相应流量，必要时还应抄录温度等。

2 渗流量监测统计表遵照附录 E 中表 E.1.9 的格式填制。绘制渗流量变化的过程线图，必要时还应简述水质直观情况。

3 水质分析资料的整编，可根据工程实际情况编制相应的图标和必要的文字报告说明。

E.2.7 应力、应变及温度监测资料应包括下列主要内容：

1 应力、应变监测资料整编，遵照表 E.1.10 的格式填制，必要时同步抄录监测时对应的流量、测点伴测温度等。

2 根据需要绘制应力、应变与流量和测点伴测温度等变化的相关过程线图。

E.2.8 其他工作和为科研而设置的项目的成果整编，可根据具体情况和需要参照本标准编制有关图表和文字说明。

E.2.9 应补充或修正有关监测设施的变动或检验、校测情况，以及各种基本资料表、图等，确保资料衔接和连续。

E.2.10 年度资料整编应包括整编后的资料审定及编印等工作。刊印成册的整编资料主要内容和编排顺序宜为：

1 封面。封面内容应包括工程名称、整编时段、编号、整编单位、刊印日期等。

2 目录。

3 整编说明。整编说明应包括本时段内工程变化和运行概况，监测设施的维修、检验、校测及更新改造情况，现场检查和监测工作概况，监测资料的精度和可信程度，监测工作中发现的问题及其分析、处理情况（可附上有关报告、文件等），对工程运行管理的意见和建议，参加整编的工作人员等。

4 基本资料。基本资料包括工程基本资料、监测设施和仪器设备基本资料等。

5 监测项目汇总表。监测项目汇总表包括监测部位、监测项目、监测方法、监测频次、测点数量、仪器设备型号等。

6 监测资料初步分析成果。监测资料初步分析成果主要是综述本时段内各监测资料分析的结果，包括分析内容、方法、结论和建议。

7 监测资料整编图表。监测资料整编图表（含现场检查成果表、各监测项目测值图表）的编排顺序可按监测项目的编排次序编印。

8 封底。

E.2.11 月报、季报等可参照年报执行，并可适当简化。

E.2.12 整编的成果应包括下列主要内容：

1 整编成果的内容、项目、频次等齐全，各类图表的内容、规格、符号、单位及标注方式和编排顺序等符合规定要求。

2 各项监测资料整编的时间与前次整编衔接，监测部位、测点及坐标系统等与历次整编一致。

3 各监测物理量的计（换）算和统计正确，有关附件准确、清晰，整编说明全面，需要说明的其他事项无遗漏，资料初步分析结论和建议符合实际。

E.3 常用监测物理量的计算公式

E.3.1 渗流量可按下列公式计算:

1 容积法

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{E.3.1-1})$$

式中 Q ——渗流量, L/s;

V ——充水体积, L;

t ——充水时间, s。

2 直角三角堰

$$Q = 1.4H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{E.3.1-2})$$

式中 Q ——渗流量, m^3/s ;

H ——堰顶水头, m。

3 矩形堰

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{E.3.1-3})$$

$$m = 0.402 + 0.054 \frac{H}{P}$$

式中 Q ——渗流量, m^3/s ;

b ——堰宽, m;

H ——堰上水头, m;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

P ——堰口至堰槽底的距离, m。

E.3.2 差动电阻仪器测值换算监测物理量可按下列公式计算:

1 应变

$$\varepsilon = f' \Delta z - b \Delta T \quad (\text{E.3.2-1})$$

式中 ε ——应变, 10^{-6} ;

f' ——应变计最小读数, $10^{-5}/0.01\%$;

Δz ——电阻比变化量, 0.01% ;

b ——应变计温度修正系数, $10^{-6}/\text{℃}$;

ΔT ——温度变化量, ℃ 。

2 缝的开合度

$$J = f\Delta z + b\Delta T \quad (\text{E. 3.2-2})$$

式中 J ——缝的开合度, mm;
 f ——测缝计最小读数, mm/0.01%;
 Δz ——电阻比变化量, 0.01%;
 b ——测缝计温度修正系数, mm/°C;
 ΔT ——温度变化量, °C。

3 渗透压力

$$P = f\Delta z - b\Delta T \quad (\text{E. 3.2-3})$$

式中 P ——渗透压力, MPa;
 f ——孔隙压力计最小读数, MPa/0.01%;
 Δz ——电阻比变化量, 0.01%;
 b ——孔隙压力计温度修正系数, MPa/°C;
 ΔT ——温度变化量, °C。

4 钢筋应力

$$\sigma = f\Delta z + b\Delta T \quad (\text{E. 3.2-4})$$

式中 σ ——钢筋应力, MPa;
 f ——钢筋应力计最小读数, MPa/0.01%;
 Δz ——电阻比变化量, 0.01%;
 b ——钢筋应力计温度修正系数, MPa/°C;
 ΔT ——温度变化量, °C。

5 温度

$$\left. \begin{aligned} T &= \alpha' \Delta R, & T &\geq 0^\circ\text{C} \\ T &= \alpha'' \Delta R, & T &< 0^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \quad (\text{E. 3.2-5})$$

式中 T ——温度, °C;
 ΔR ——电阻变化量, $\Delta R = R - R_0'$;
 R ——实测的仪器电阻, Ω ;
 R_0' ——0°C时的仪器的计算电阻, Ω ;
 α' , α'' ——温度常数, °C/ Ω 。

E.3.3 振弦式仪器测值换算监测物理量可按下列公式计算:

1 应变

$$\varepsilon = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) = K(F_i - F_0) + K_t(T_i - T_0) \quad (\text{E. 3.3-1})$$

式中 ε ——当前时刻相对于初始位置时的应变, 10^{-5} ;

K ——应变计系数, $10^{-5}/\text{Hz}^2$;

f_0 ——应变计初始的输出频率, Hz;

F_0 ——应变计初始的输出频率模数, kHz²;

f_i ——应变计当前时刻的输出频率, Hz;

F_i ——应变计当前时刻的输出频率模数, kHz²;

K_t ——应变计温度修正系数, $10^{-6}/^\circ\text{C}$;

T_i ——应变计当前时刻的温度值, $^\circ\text{C}$;

T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, $^\circ\text{C}$ 。

2 缝的开合度

$$J = K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) = K(F_i - F_0) + K_t(T_i - T_0) \quad (\text{E. 3.3-2})$$

式中 J ——当前时刻相对于初始位置时的开合度, mm;

K ——测缝计系数, mm/Hz²;

f_0 ——测缝计初始的输出频率, Hz;

F_0 ——测缝计初始的输出频率模数, kHz²;

f_i ——测缝计当前时刻的输出频率, Hz;

F_i ——测缝计当前时刻的输出频率模数, kHz²;

K_t ——测缝计温度修正系数, mm/ $^\circ\text{C}$;

T_i ——测缝计当前时刻的温度值, $^\circ\text{C}$;

T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, $^\circ\text{C}$ 。

3 渗透压力或压力

$$P = -K(f_i^2 - f_0^2) + K_t(T_i - T_0) = -K(F_i - F_0) + K_t(T_i - T_0) \quad (\text{E. 3.3-3})$$

式中 P ——当前时刻相对于初始时刻的渗透压力或压力, MPa;

K ——渗压计或压力计最小读数, MPa/Hz²;

- f_0 ——渗压计或压力计初始的输出频率, Hz;
 F_0 ——渗压计或压力计初始的输出频率模数, kHz²;
 f_t ——渗压计或压力计当前时刻的输出频率, Hz;
 F_t ——渗压计或压力计当前时刻的输出频率模数, kHz²;
 K_t ——渗压计或压力计温度修正系数, MPa/°C;
 T_t ——渗压计或压力计当前时刻的温度值, °C;
 T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

4 钢筋应力

$$\sigma = K(f_t^2 - f_0^2) - K_t(T_t - T_0) = K(F_t - F_0) + K_t(T_t - T_0) \quad (\text{E. 3. 3-4})$$

式中 σ ——当前时刻相对于初始位置时的应力, MPa;

K ——钢筋应力计系数, MPa/Hz²;

f_0 ——钢筋应力计初始的输出频率, Hz;

F_0 ——钢筋应力计初始的输出频率模数, kHz²;

f_t ——钢筋应力计当前时刻的输出频率, Hz;

F_t ——钢筋应力计当前时刻的输出频率模数, kHz²;

K_t ——钢筋应力计温度修正系数, MPa/°C;

T_t ——钢筋应力计当前时刻的温度值, °C;

T_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, °C。

附录 F 监测仪器考证表

F.0.1 派弦式测缝计（位移计）安装埋设考证表格式见表 F.C.1。

表 F.0.1 派弦式测缝计（位移计）安装埋设考证表

工程名称	工程部位			
测点编号	仪器型号	仪器生产厂家		
仪器出厂编号	量程/mm	埋设区及材料		
测缝断面号/c	埋设位置	埋设方向		
仪器读数	初始读数 /kPa ²	初始温度 /℃	仪器系数 (mm/kPa ²)	温度系数 /(mm/℃)
埋设前				
埋设后				
埋设示意图 及说明				
埋设时间					年 月 日至 年 月 日	天气
有关责任人	主 管	埋设者		填表者
	校核者	监测者		填表日期

F.0.2 差动电阻式测缝计（位移计）安装埋设考证表格式见表 F.0.2。

表 F.0.2 差动电阻式测缝计（位移计）安装埋设考证表

工程名称	工程部位		
测点编号	仪器型号		仪器生产厂家
仪器出厂编号	量程/mm		埋设区及材料
埋设剖面号/m	埋设位置		埋设方向
仪器参数	最小读数 (mm/℃, 0.01%)		温度修正系数 (mm/℃)
	温度系数/(℃/Ω)		0℃电阻/Ω
	耐水压/MPa		绝缘电阻/MΩ
	电缆类型		电缆芯数
	电缆长度/m		电缆接头形式
埋设前测值	电阻比/0.01%		温度电阻/Ω
埋设后测值	电阻比/0.01%		温度电阻/Ω
埋设示意图 及说明			
埋设时段	年 月 日至 年 月 日		天气
有关责任人	主管	埋设者	填表者
	校核者	监埋者	填表日期

F.0.3 光纤式测缝计（位移计）安装埋设考证表格式见
表 F.0.3。

表 F.0.3 光纤式测缝计（位移计）安装埋设考证表

工程名称			工程部位		
测缝编号	仪器编号		仪器生产厂家		
仪器出厂编号	量程/mm		埋设区及材料		
测缝断面号/m	埋设位置		埋设方向		
仪器参数	最大波长/mm		最小波长/mm		
	位移系数				
埋设前测值	最大波长/mm		最小波长/mm		
埋设后测值	最大波长/mm		最小波长/mm		
埋设示意图 及详图					
埋设时间			年 月 日至	年 月 日	天气
有关责任人	主管	埋设者	审核者		编制者
	校核者	监测者	编制日期		

F.0.4 多点位移计安装埋设考证表格式应符合表 F.0.4 的要求。

表 F.0.4 多点位移计安装埋设考证表

工程名称	T 型部位									
测孔编号	断面号/m		断面中位置							
钻孔直径/mm	钻孔深度/m		倾向及俯角							
仪器型号	仪器生产厂家		量程/mm							
传感器类型	锚头类型		锚头数量/个							
测杆材质	测杆总长度/m		锚杆材料							
传感器编号	1号传感器	2号传感器	3号传感器	4号传感器	...					
出厂编号										
锚头深度/m										
仪器系数										
温度系数										
仪器读数	读数	温度	读数	温度	读数	温度	读数	温度	读数	温度
	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
安装前读数										
安装后读数										
埋设示意图及说明										
埋设时段	年 月 日至 年 月 日		天气							
安装日期	年 月 日		初次读数日期		年 月 日					
有关负责人	主管		埋设者		填表者					
	校核者		监测者		填表日期					

注：不同类型传感器，仪器参数及读数单位有所不同。

F.0.5 测压管安装埋设考证（钻孔法）表格式见表 F.0.5。

表 F.0.5 测压管安装埋设考证表（钻孔法）

工程或项目名称				
钻孔编号	钻孔直径/m	初见水位/m	稳定水位/m	
测点编号	断面号	断面中位置		
管底高程/m	管口高程/m	管长/m	管内径/mm	
透水层结构和长度/m			管材	
透水材料	透水材料层、顶高程/m		—	
封孔材料	封孔材料层、顶高程/m		—	
填设日期	天气			
埋设示意图及说明				
有关责任人	主管	记录者	填表者	
	校核者	监测者	填表日期	

F.0.6 渗压计安装埋设考证表格式应符合表 F.0.6 的要求。

表 F.0.6 渗压计安装埋设考证表

工程部位				测点编号
埋设参数	测点号/m	仪器 参数		仪器型号
	断面中位号			量程/kPa
	高程/m			出厂编号
	测区面积			生产厂家
	回填料容			仪器系数/(kPa/H ₂ O)
				温度系数/(kPa/°C)
			电缆长度/m	
埋设前正 仪器读数	埋设前/H ₂ O		温度/°C	
	埋设后/H ₂ O		温度/°C	
埋设日期		天气		
埋设示意图 及说明				
有关责任人	主管	埋设者	填表者	
	校核者	监测者	填表日期	

F.0.7 应变计（无应力计、钢筋应力计、锚杆应力计）安装埋设考证表格式见表 F.0.7。

表 F.0.7 应变计（无应力计、钢筋应力计、锚杆应力计）安装埋设考证表

工程部位			仪器型号
测点编号			备注
埋设参数	断面号/m	仪器参数	出厂编号
	断面中位置		生产厂家
	高程/m		最小量程/($\mu\text{m}/0.01\%$)
	埋设区域		温度系数/($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)
埋设前测值	电阻比/0.01%		0 $^\circ\text{C}$ 电阻/ Ω
埋设后测值	电阻比/0.01%		电阻长度/m
埋设示意图及说明			
试验日期	年 月 日至 年 月 日		
有关责任人	主管	试验者	填表者
	校核者	监理者	填表日期
注：此表为贴片式仪器安装埋设考证表，对于振弦式仪器可参照执行。			

F.0.8 温度计安装埋设考证表格式见表 F.0.8。

表 F.0.8 温度计安装埋设考证表

工程部位				测点编号		
埋设参数	新图号		仪器参数	仪器型号		
	位置			生产厂家		
	高程/m			出厂编号		
	埋设区域			温度系数/($^{\circ}\text{C}/\Omega$)		
				0 $^{\circ}\text{C}$ 电阻/ Ω		
				电缆长度/m		
埋设前温度电阻/ Ω			埋设后温度电阻/ Ω			
埋设示意图及说明						
埋设时段	年 月 日至 年 月 日					
有关责任人	主管	埋设者		填表者		
	校核者	监测者		填表日期		
注：此表为铂电阻式温度计埋设，对于其他类型温度计可参照执行。						

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

水利造价信息网
<https://www.slzjxx.com>

中华人民共和国水利行业标准

水工隧洞安全监测技术规范

SL 764—2018

条文说明

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1 总则.....	65
3 监测项目及测点布置.....	67
4 巡视检查.....	73
5 环境量监测.....	74
6 变形监测.....	75
7 渗流监测.....	76
8 应力、应变及温度监测.....	77
9 专项监测.....	78
10 监测自动化系统.....	80
11 监测资料整理与整编.....	81

1 总 则

1.0.4 安全监测包括施工期和运行期监测，不同阶段水工隧洞安全监测工作的内容和重点不同。可行性研究阶段主要是提出安全监测规划方案，包括主要监测项目、仪器设备数量和投资估算。初步设计阶段主要是提出安全监测总体设计，包括监测项目设置、断面选择及测点布置、监测仪器及设备选型与数量确定、投资概算。招标设计阶段主要是提出安全监测设计或招标文件，包括监测项目设置、断面选择及测点布置、仪器设备技术性能指标要求及清单、各监测仪器设施的安裝技术要求、监测频次要求、资料整编及分析要求和投资预算等。施工阶段的主要工作是提出施工详图和技术要求，做好仪器设备的检验、埋设、安裝、调试和保护工作，编写埋设记录和考证资料，及时取得初始（基准）值，固定专人监测，保证监测设施完好和监测数据连续、可靠、完整，并绘制竣工图和编制竣工报告；及时进行监测资料分析，编写施工期工程安全监测报告，评价施工期隧洞安全状况，为施工提供决策依据。充水试验阶段是施工期中的特殊阶段，充水试验前制定好监测工作计划，并拟定相应的监控指标；充水试验过程中做好仪器监测和现场检查，及时分析监测资料，评价工程安全性态，提出充水试验安全监测专题报告。进入运行阶段后，按规范和设计要求开展监测工作，并做好监测设施的检查、维护、校正、更新、补充和完善，及时对监测资料整编和分析，编写监测报告，评价水工隧洞的运行状态，提出工程安全监测资料分析报告，及时归档。

1.0.5 仪器监测与巡视检查不同，仪器监测是定量的，可以量测到水工隧洞工程的性态，提供长期连续系列的数据，能发现水工隧洞结构在不同荷载条件下的微小变化趋势，定量评估水工隧

洞安全运行态势与发展趋势。巡视检查能够在时间和空间上补充仪器量测的不足，更能全面、直观地对工程结构性态进行快速、整体的初步诊断。

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

3 监测项目及测点布置

3.1 一般规定

3.1.1 水工隧洞为地下隐蔽工程，根据功能和用途可分泄洪（排沙）洞、输水隧洞、引水隧洞、尾水隧洞、导流洞等，与其密切相关的建筑物有压力钢管、调压室、尾闸室（或布置于岩体中的竖井式闸门井）、封堵体等。为保证水工隧洞及其相关建筑物的安全运行，设置必要的安全监测尤为重要。

水工隧洞监测项目和测点布置以实用、有效、简单、可行为原则，合理选择监测断面、测点位置及适宜的监测仪器设备，尽可能采用多种监测手段，保证监测资料的完整性、可靠性，全面系统地掌握建筑物运行状态，从而达到安全监测的目的。

为此，安全监测就需要在了解水工隧洞级别、用途、工作条件、地质条件、施工方法、支护方式等多种因素的基础上进行设置。

3.1.2 水工隧洞为在山体中或地下开挖的、具有封闭断面的过水通道。无论采用何种支护衬砌形式，影响水工隧洞安全与稳定的主要因素是围岩自身的稳定以及支护衬砌稳定情况。因此，水工隧洞安全监测范围主要为洞周围岩、支护衬砌结构、施工导流洞封堵体结构。另外，隧洞进、出口边坡若对隧洞安全影响较大时，也需进行监测。

3.1.3 深埋隧洞存在高地应力、岩爆、地下水压力较大、有毒气体等多种不良地质问题，故设置安全监测是必要的。如锦屏二级水电站引水隧洞长达 13.67km，断面直径为 13m，穿越锦屏山主峰山体，洞群沿线上覆岩体最大埋深约为 2525m，岩爆频繁。因隧洞地质条件、大埋深、高地应力和岩爆等内部因素和钻爆法施工动力干扰等外部因素影响，隧洞开挖后的围岩稳定与安全受到极大考验。为此，设计选取 7 条隧洞中的 4 号引水隧洞作

为原型，运用监测技术并结合数据处理，分析在钻爆法开挖施工条件下，隧洞围岩位移与围岩应力的变化特征，为优化完善设计和改进施工措施提供可靠依据。

3.1.4 本条中所列的洞段在工程实践中，是围岩极易失稳和产生塌方的地段，这些洞段是施工期和运行期监测的重点。

3.1.5 封堵体分为直接与水库连通和与水工隧洞连通两种，其设计级别分别与挡水建筑物和与之连接的水工隧洞相一致。有些挡水封堵体，设计级别往往较高，但封堵体所在位置围岩条件较好，承受水头较低甚至为明流，封堵体不会产生稳定问题，而且即使发生内水外渗也无不利影响，不会危及岩体和山坡稳定，也不会危及临近建筑物安全或造成环境破坏。对于这类的挡水封堵体可不进行安全监测。

3.1.9 突出重点是指根据不同工程特点和监测目的，有针对性地对布置变形、渗流和应力应变测点，设置相应的监测仪器，并经论证选定水力学、变形控制网等专项监测项目。根据施工、通水、运行等不同阶段先后顺序，选择监测重点。设计时根据水工隧洞衬砌结构及围岩条件、计算分析成果，在影响工程安全或能敏感反映工程安全运行状态的部位布置测点。监测断面、监测项目和监测点的选择，要以监测目的为先导，做到“少而精”。兼顾全面是指对监测系统的设计要有总体方案，从全局出发，既要控制关键，又要兼顾全局。需根据安全控制的重要性，对水工隧洞分为关键监测部位、重要监测部位和一般监测部位三个层次。对关键部位和重要部位应适当地重复和平行布置测点，留有冗余；对一般部位需顾及工程枢纽建筑物的整体，并设置反应最敏感的监测项目。此外，有相关因素的监测仪器布置要相互配合，以便综合分析。统筹安排是指对各部位不同时期的监测项目的选定需从施工、首次通水和运行全过程考虑，监测项目相互兼顾，永久与临时相结合，做到一个项目多种用途，统一规划，分步实施。配合布置是指安全监测设施的施工与主体工程施工需同步实施。现场巡视检查与仪器监测相互补充。一些异常现象不能通过

仪器单点监测的方法发现，需要通过巡视检查才可及时发现，如混凝土衬砌新增裂缝和渗漏点、水工隧洞附近山坡有漏水点或涌水点等。

3.1.11 监测仪器包含了传感器、配套电缆、测量仪表和可用于实现自动化测量数据采集装置。监测仪器是安全监测的工具，监测仪器的可靠性和准确性直接影响对建筑物结构性态和安全的评估，所以监测仪器的适用性和可靠性是选择监测仪器时首先要考虑的。水利水电工程的特点是环境条件差，使用寿命长，因此，应该选择技术成熟、经长期工程运行考验的监测仪器。

针对不同的工程特点，监测仪器选择还考虑特殊要求，如：较长隧洞，要考虑仪器长距离信号传输能力；高压隧洞，仪器要满足耐高压要求等。

3.1.14 锚喷支护设计的常用方法主要有工程类比法、监控量测法和理论计算法三种。其中工程类比法是根据国内外大量的工程实践总结出来的，具有广泛的实用性，所以应用最普遍，是锚喷设计最基本和行之有效的设计方法。监控量测法是近几年发展起来的一种较为科学的设计方法，核心是以综合反映各种地质因素和工程因素的围岩位移和位移速率作为位移是否稳定的判断，评价围岩稳定状态，了解工程地质、水文地质变化趋势，检验支护参数是否合理，是进一步优化设计和保证施工安全的重要依据。该法简单易行，对恶劣地质条件的支护工程是不可缺少的设计方法。

由于Ⅳ类、Ⅴ类围岩地质条件复杂，围岩稳定程度差，支护对围岩有害变形制约作用明显，采用监控设计法进行设计支护效果更为突出，所以在不良围岩条件，大洞室的地下工程中，采用监控量测法更为重要。

综上所述，本标准引入了 GB 50086《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》中关于监控量测内容。

3.2 监测项目

3.2.6 施工期安全监测在隧洞施工中占有重要的地位，在指导

隧洞设计、合理确定初期支护参数、选定二次支护及衬砌的合理时间等方面起着重要作用。

水工隧洞施工中，围岩的稳定性直接关系到施工的安全性，仅靠开挖前的勘探资料进行判断是有限的，由于不同地区岩体结构性状、节理裂隙发育状态、地下水分布情况等地质因素具有随机性，很多地质问题都是在施工过程中逐步认识的，这就需要在施工中对围岩稳定性进行监测，监测围岩的变形及收敛情况，同时监测支护结构的稳定与变形，使隧洞围岩和支护结构处于受控状态。

在水工隧洞运行期，洞周围岩、支护衬砌在水压力（内水和外水）的作用下，应力、应变、渗透压力等性态均会发生一定变化。不同水压力作用下，围岩、支护衬砌性态变化是否会影响水工隧洞的稳定，是运行期安全监测需要关注的问题。因此，运行期安全监测应重点监测围岩的变形与稳定、围岩支护及衬砌结构、水压力等。

3.3 监测断面及测点布置

3.3.1 隧洞监测断面布置与功能、等级、地质条件、支护衬砌结构形式、受力状态、施工方法等密切相关，施工期以监测围岩及支护结构变形为主，保证施工安全，不同的监测项目尽量结合布置，便于监测资料相互印证、分析。

钢筋混凝土岔管的监测断面一般布置在岔管的主管、锥管及岔管跨度相对较大处，具有多个岔管时，可在主支管或主支锥相贯线、腰线及肋板等部位设置监测断面，并加强相贯线、腰线折角点部位监测。

3.3.2 根据实测统计资料分析，一般情况下，在距开挖面前0.5倍洞径位置，围岩变形就开始发生了，其值占全部变形的5%~20%。因而，监测仪器埋设距开挖面越远，围岩变形“丢失”的越多，为此要求测点位置尽可能靠近掌子面，但是太靠近掌子面，仪器的安全防护比较困难。本条规定初测断面距掌子面

不宜大于 1m，如果不具备以上条件，可适当调整测点位置。但无论测点埋设在什么位置，都要以实测的全过程变形曲线或典型收敛过程线的规律，求取围岩的实际变形值。

隧洞工程大多数的安全监测量值与时间变化和空间变化密切相关，测点布置尽量靠近开挖掌子面，同时要及时安装和取得初始读数。收敛变形监测以构成三角形为一个测量单元，其测点一般布置在顶拱中点和两侧边墙。对于大型洞室应在边墙对称设置多个测点，构成不同的三角形测量单元。对于岩爆和膨胀性围岩，应力急剧释放和岩体膨胀产生的变形破坏占主导地位，洞室底板也会产生上抬破坏变形，需布置测点进行监测。

岩体内部变形，对于中小型工程断面布置的测孔数取小值，大型工程取大值。竖缝、洞口边坡、地表沉降测点规定每个监测断面不宜少于 3 个，以便于从测得的量值中找到变化规律，同时可以对监测数据进行相互对比和印证。

土洞衬砌结构的变形不仅反映衬砌结构本身的应力、应变状态，而且直接反映洞周土体的稳定状态。因此，在湿陷性黄土、膨胀土、软黏土等土质较差洞段设置监测断面，进行收敛变形监测，了解和掌握隧洞的工作状态，发现问题及时处理。

3.3.5 锚杆应力监测测点：一般中小洞室取下限，大洞室取上限。若了解锚杆应力分布规律或最大值至少布置 3 个测点。测点布置应根据时空关系，围岩应力分布、岩体结构和地质代表性，设计计算得到的变化梯度合理确定测点数量，梯度大的点距小，梯度小的点距大。

3.4 监测频次

3.4.1 围岩或支护结构的安全监测，在施工初期，由于受围岩应力释放的影响，监测量值主要受开挖影响较大，开挖影响范围为 3~5 倍洞径，这一时期的监测量值占整个监测量值的 70% 以上，为重视这一期间的监测，本条规定了应进行的监测频次。同时，这部分监测也是围岩稳定分析和运行期资料分析的基础。

在监测仪器位置 3 倍洞径之内施工时，监测量值的变化受施工影响较大。尽管大多数这种影响不会产生严重危害，但也应进行监测。一是了解量值的变化因素，二是可对施工质量评估。如：隧洞回填和固结灌浆，灌浆密实的顶拱部位应变计与灌浆前量值有显著的变化。

安装在围岩的监测仪器主要有：顶拱沉降测点、收敛测点、锚杆应力计、多点位移计等；安装在支护结构的监测仪器主要有：顶拱沉降测点、收敛测点、格栅拱架受力计、支护与围岩接触压力计等。

3.4.2 埋入混凝土上的仪器监测量值，初期受混凝土水化热温度影响变化较大，也是混凝土强度显著增长阶段，这一时期跟踪监测是必要的，是监测量值初始值选定阶段。

3.4.3 安全监测是一项长期性与周期性的动态采集和分析判断的过程，根据水上隧洞服役的不同阶段、目的与工况，采取相应的监测项目与监测频次，不同监测项目存在关联性，如隧洞结构变形发生异常时，隧洞应力和渗流压力可能也发生异常，在时间序列上监测信息符合渐变到突变的过程，以获取资料的完整性与规范性。附录 A.0.2 所规定的监测频次，主要考虑监测数据的连续性，为监测数据异常情况做对比分析，从而找出主要影响因素。

4 巡视检查

4.0.1 据统计分析，大部分水工隧洞突发事件的发生是有征兆的，是可以经过巡视检查发现的。巡视检查在水工隧洞安全监测与管理中十分重要，应由有经验的工程技术人员采用必要的技术手段，对水工隧洞结构安全进行巡视检查。除现场巡视检查外，还应采用现场检测、探测、仪器监测等方法，配置必要的适用于水工隧洞测量、检测与探测的专业设备。

4.0.2 日常巡查是指有经验的工程专业人员在施工和运行过程中对隧洞围岩、混凝土衬砌、钢衬结构进行的巡视检查，检查结果以表格方式记载。年度巡查是由管理单位组织隧洞运行维护专业技术人员按规定的检查程序和频次，对隧洞进行较为全面详细的巡视检查，结合隧洞检查、运行、维护记录、监测数据等资料及上一年度检查报告，编制本年度安全检查报告。特殊巡查是指在隧洞所在区域发生地震和其他影响隧洞安全运行的特殊情况（如滑坡、泥石流等）以及隧洞放空时，主管单位负责组织安全检查组及时进行的巡视检查，并编制特殊巡查报告。

4.0.6 地震、危及隧洞安全的大洪水等自然灾害对水工隧洞安全影响是有过程的，如地震后水工隧洞损伤的全部特征可能不会立即显现，可能数天甚至更长时间才能全部显现，因此，特殊巡视检查既包括事件发生后的即时检查和详细检查，也包括事件发生后某一连续时段的后续检查，并与震前记录或基准值比较分析。

4.0.8 围岩的巡视检查主要是施工期的日常巡视检查，支护结构施工完成后无法再行检查，除非施工过程中发生质量事故需拆除支护结构返工的洞段。支护结构的日常巡视检查主要是施工期的检查，内容包括变形、裂缝、错位和渗水情况等。洞内渗水的年度或特殊巡视检查仅在隧洞放空时进行。

5 环境量监测

5.1 一般规定

5.1.1 环境的改变，会对水工隧洞的工作状态产生很大的影响，环境是影响结构内部应力应变和变形的外在因素，也是水工隧洞安全监测的重要组成部分。与水工隧洞安全监测有关的环境量主要包括进口水位、进口水温、冰冻、进口泥沙淤积和出口冲刷等项目。进口水位（水荷载）是水工隧洞需要承担的主要荷载，水温和水位一样，是水工隧洞变形、渗流、应力的主要影响因素，在监测进口水位的同时，也进行水温监测。另外，冰冻对隧洞进口、出口的流体力学条件产生影响，对库岸及进出口边坡产生冰荷载，冰盖和冰推力会影响隧洞及进出口的受力条件等；泥沙淤积对隧洞的过流能力或者发电机组产生影响或危害；冲刷对隧洞及进出口岸坡产生影响，严重时破坏结构。因此，也需要进行冰冻、泥沙淤积和冲刷等监测。

6 变形监测

6.1 一般规定

6.1.2 国家控制网是具有统一坐标系的高精度测量控制网，它是各种测量的基础。由于工程各阶段的测量控制网通常是在不同时期、不同单位建立和施测的，为了能够相互利用和协调不同阶段的测量资料，做此规定。

6.1.4 由于各种水工隧洞的洞口边坡走向受影响因素众多，边坡位移方向正负号的表述很难与大坝等一致，边坡变形分析更关注开挖后边坡朝向临空面的稳定问题，本条规定洞口边坡的水平位移为向坡外为正，反之为负。垂直于边坡临空面的位移方向采用面向边坡临空面采用右手坐标系，向左为正，反之为负。

6.3 监测设施安装

6.3.2 洞室收敛监测是用收敛计测量洞室围岩表面两点连线（基线）方向上的相对位移，通常情况下，围岩山表及里变形衰减较快，为监测真实的围岩净空变形，收敛测桩不宜埋深太大，但围岩表面由于开挖爆破等因素影响一般较为破碎松动，不能代表围岩真实变形，且测桩保护难度大，收敛测桩也不宜埋设在表面。根据各类围岩条件及众多工程经验，本条强调了收敛测桩的埋深。

7 渗流监测

7.2 监测仪器与方法

7.2.2 渗流量监测点一般设在排水沟、自流排水孔或交通洞内。排水孔监测单孔渗流量，具备集水条件时，集水沟内可分区设置量水堰，监测分区渗流量。

8 应力、应变及温度监测

8.4 观 测

8.4.1~8.4.3 仪器埋设后,根据埋设位置、材料的特性、仪器的性能及周围的温度等,从初期各次合格的监测值中选定初始值。对于锚杆应力计等需要灌浆安装的监测仪器,在灌浆结束固结稳定后再进行初始值测量。

9 专项监测

9.1 围岩松动监测

9.1.1 围岩松动监测是指测定由于爆破的动力作用、岩体开挖应力释放引起的岩体扩容作用下导致的围岩表层岩体的松动厚度。围岩松动范围及其变化是隧洞工程支护设计和评价围岩稳定的重要参数之一，围岩松动圈监测的主要目的是评价隧洞工程岩体稳定性，监测结果可以作为锚杆及其他支护设计和围岩稳定分析的依据。为合理确定水工隧洞支护方案提供科学依据，需进行围岩松动圈监测。

9.2 爆破振动监测

9.2.2 巡视检查是对爆区周围的保护对象进行大范围的查看；宏观调查是有针对性地对保护对象进行爆破前后对比观察。

9.2.5 爆破对保护对象可能产生危害时，进行宏观调查与巡视检查，其主要的检查内容为：保护对象的外观在爆破前后有无变化；邻近爆区的岩石裂隙、层面及需保护建筑物上原有裂缝等在爆破前后有无变化；在爆区周围设置的监测标志有无变化；爆破振动、飞石、有害气体、粉尘、噪声、水击波、涌浪等对人员、生物及相关设施等有无不良影响。

9.2.6 对爆破保护对象设置测量标志，使用测图、拍照或录像等方法对保护对象的整体情况，包括有无裂缝、裂缝位置、裂缝宽度及长度等，进行详细描述。宏观调查测量标志点的部位尽量与仪器监测点相一致。爆破前后，调查人员及其所使用的调查设备（尺、放大镜等）相同。

9.2.7 根据宏观调查与巡视检查结果，并对照仪器监测成果，评估保护对象受爆破影响的程度。评价标准如下：

(1) 未破坏：建筑物、基岩完好；原有裂缝无明显变化，缝

破前后读数差值不超过所使用设备的测量不确定度。

(2) 轻微破坏：建筑物、基岩轻微损坏，如房屋的梁面有少量抹灰脱落；爆破前后原有裂缝的读数差值超过所使用设备的测量不确定度，但不超过 0.5mm，经维修后不影响其使用功能。

(3) 破坏：建筑物、基岩出现破坏，如房屋的墙体错位、掉块；原有裂缝张开延伸，并出现新的细微裂缝等。

(4) 严重破坏：建筑物严重破坏，原有裂缝张开延伸和错位，出现新裂缝，甚至房屋倒塌。

9.2.10 当只布置两个方向的传感器时，一般布置竖向和水平径向；根据工程经验，在可能产生较大振动的两个方向上布置传感器，如：相邻洞或本洞爆破时，在沿洞轴和垂直于洞壁两个水平方向上布置传感器。爆破振动传播规律测试时，根据爆破规律参考已有经验公式估算测点至爆源的距离；每一测点布置竖向、水平径向和水平切向三个方向的传感器。

9.2.11 原配在传感器上的长螺杆是经过专门设计的，全部插入砂土中才能满足测试要求。在传感器安装过程中，安装角度偏差大，将影响测试的精度。声阻抗是指材料的声波速度值与其密度值的乘积。合理选择自触发设定值，设置的量程、记录时间及采样频率等应满足被测物理量的要求。

9.2.12 选取建筑物安全允许振速时，综合考虑建筑物的重要性、建筑质量、新旧程度、自振频率、地基条件等因素；选取隧道、巷道安全允许振速时，综合考虑建筑物的重要性、围岩状况、断面大小、深埋大小、爆源方向、振动频率等因素。

9.3 水力学监测

9.3.1 水力学监测目的是监测水工隧洞过水时的工作性态、检验工程设计的合理性，并指导工程运行。

10 监测自动化系统

10.2 系统设备

10.2.2 系统设备适用工作环境，除湿度外，主要针对采集单元和光纤光栅式解调仪内的电子元件工作温度，电子元件设计工作温度通常是在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，电子元件 $0\sim -10^{\circ}\text{C}$ 时由于其工作时自身保持一定的热量，尚可正常工作。工程经验表明，在室外温度低于 -10°C 的寒冷地区，设备元件易出现故障和损坏的情况。因此，在我国北方寒冷地区，系统设备箱通常加装电加热（含温度控制）装置，以保证监测系统设备的正常工作。温度控制装置一般选用带测温传感器的温度控制器，能设定温度区间，避免加热器的频繁启动。例如：设定当设备箱内温度低于 2°C 时自动启动加热系统，当设备箱内温度达到 20°C 时自动停止加热，这样就可保持设备始终在正常温度范围内工作。

目前应用较多的通信接口有RS232、RS485、以太网等。可支持光纤、双绞线、GPRS/GSM、超短波及卫星等其他通信方式。隧洞监测系统通信设计时，通常要考虑仪器类型、测点布置以及监测仪器的数量等因素，来选择合适的通信方式，有时甚至是多种通信方式的组合应用。

10.4 监测自动化系统结构与组成

10.4.2 集中式系统结构简单，但极易受到干扰，不易扩展，一般适用于测点数量少、布置相对集中和通信传输距离不远的监测自动化系统。分布式监测系统具有可靠性高、抗干扰能力强、测量时间短、便于扩展等特点，目前得到了广泛应用，适用于监测仪器数量较多、布置较分散、通信传输距离较远的监测自动化系统。

11 监测资料整理与整编

11.1 一般规定

11.1.4 对水工隧洞工作状态作出评估分为三种状态：

(1) 正常状态。系指水工隧洞达到设计要求的功能，无影响正常使用的缺陷，且各主要监测量的变化处于正常运行状态。

(2) 异常状态。系指水工隧洞的某项功能已不能完全满足设计要求，或主要监测量出现某些异常，因而影响工程正常运行状态，但在一定控制运用条件下工程能安全运行。

(3) 险情状态。系指水工隧洞出现危及安全的严重缺陷，或环境中某些危及安全的因素正在加剧，或主要监测量出现较大异常，若按设计条件继续运行将出现大事故的状态。

11.1.5 本条款要求建立监测资料数据库或信息化管理系统，对监测资料形成电子化文档，并在此基础上进行有效的管理，以提高监测资料整编的效率和可用性。

11.2 监测设施基本资料整理

11.2.1 四大类监测设施基本资料具体内容如下：

(1) 监测设施及测点的布置图。平面布置图包含了各建筑物监测项目及设备位置。纵横剖面布置图包含了建筑物的轮廓尺寸、材料分区和必要的地质情况。

(2) 安装考证资料。有关各水准基点、起测基点、工作基点、校核基点、监测点，以及监测设施平面坐标、高程、结构、安设情况、设置日期和测读起始值、基准值等文字和数据考证表。

(3) 仪器资料。各种仪器的型号、规格、主要附件、购置日期、生产厂家、仪器使用说明书、出厂合格证、出厂日期、购置日期、检验率定等资料。

(4) 其他相关资料。有关的数据采集仪表和电缆走线的考证或说明资料。

11.2.2 考虑监测设施和仪器设备的变更。如校测高程改变、设施和设备维修、设备或仪表损坏、失效报废或改(扩)建等,都有可能造成测值的非正常化,为了便于分析原因,因此要求这些变更情况作为监测设施和仪器的考证资料记录在案。

11.3 监测资料整编

11.3.1 由于测量因素(包括仪器故障、人工测读及输入错误等)产生的异常测值会影响分析成果的有效性和可靠性,因此,要求及时检查、检验原始记录准确性、可靠性、完整性,并进行处理。

11.3.4 监测资料整编的具体内容如下:

(1) 历次巡视检查资料。通过水工隧洞洞壁外观异常部位、变化规律和发展趋势,定性判断与工程安全的可能联系,关注施工期、初次通水运行及遭受地震后各关键结构的异常表现。

(2) 监测量随时间的变化规律,以判断工程有无异常和向不利安全方向发展的时效作用。

(3) 监测量在空间分布上的情况和特点,以判断工程有无异常区和不安全部位。

(4) 各监测量的特征值和异常值,并与相同条件下的设计值、试验值、分析预报值,以及历年变化范围相比较,得到分析预警结果。

11.3.5 报告为纸质版和电子版,电子版为标准格式电子文档,一般为 Word 及 Excel 文档, CAD 文档, PDF 文档等。

水利水电技术标准咨询服务中心 中国水利水电出版社标准化出版分社 简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1958年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼收其他学科和门类，以纸质图书为主、兼营电子音像和网络出版的综合性出版单位。迄今已经出版近四万种、数十亿余页（套、册）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准化出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电系统专著、工具书、文案及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

主 任： 王德斌 010-68546951 wch@waterpub.com.cn
副 主 任： 陈 昊 010-68545981 hero@waterpub.com.cn
主任助理： 于 晶 010-68545982 wqi@waterpub.com.cn
责任编辑： 王丹阳 010-68546874 wyf@waterpub.com.cn
李思洁 010-68545995 zs@waterpub.com.cn
曹 薇 010-68545889 qwui@waterpub.com.cn
刘爱华 010-68546948 lyuan@waterpub.com.cn
总 编 010-68545622 zz@waterpub.com.cn
李令令 010-68545613 lj@waterpub.com.cn
传 真： 010-68317913



155170.347

SI.764—2018

中华人民共和国水利行业标准
水工隧洞安全监测技术规范
SL 764—2018

中国水利水电出版社出版发行

(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 88397558 (营销中心)

北京科水图书销售中心(零售)

电话: (010) 88384594, 88202643, 88343874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京合众伟业印刷有限公司印刷

140mm×203mm 32开本 2.75印张 74千字

2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

书号 155170·347

定价 38.00元



凡购买我社书籍, 如有缺页、倒页、脱页的,
本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究