



T/CECS G: DX-X-20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路泥石流监测技术规程

Technical Specification for Monitoring of Highway debris flow

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会发布

Issued by China Association for Engineering Construction

Standardization

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路泥石流监测技术规程
Technical Specification for Monitoring of Highway debris flow

T/CECS G: DX-X-20XX

主编单位：贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：2021年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

2021 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]015 号）的要求，由贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司主持《公路泥石流灾害监测技术规程》（以下简称“本规程”）的编制工作，并按中国工程建设标准化协会规程编制的相关技术要求编制本规程。由中国工程建设标准化协会批准。

本规程分为 8 章，由贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司、中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所编写起草。主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、监测设计、监测内容及要求、监测方法及技术要求、监测网点建设与维护、监测预警、数据处理与信息反馈等。

本规程是由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号，邮编：100088，电话：010-62079839，传真：010-62079983，电子邮箱：shc@rioh.cn），或龙万学（地址：贵州省贵阳市贵阳国家高新技术产业开发区阳关大道附 100 号，邮编 550081，电话：13908502002，电子邮箱：1036950547@qq.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

参 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所

四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

贵州省公路开发有限责任公司

主 编：龙万学

参 编 人 员：

主 审：刘怡林

参 审 人 员：

参 加 人 员：

目 录

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定	5
3.1 监测等级.....	5
3.2 预警等级.....	6
3.3 监测类型.....	6
3.4 监测范围.....	7
3.5 监测仪器设备.....	7
3.6 监测、预警工作流程.....	8
4 监测内容和要求	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 监测内容.....	12
4.3 监测要求与精度.....	13
4.4 监测频率.....	15
5 监测技术方法	16
5.1 一般规定.....	16
5.2 泥石流监测类型.....	16
5.3 泥石流监测.....	16
5.4 基于危害对象的泥石流监测.....	23
5.5 监测方案设计.....	24
6 监测网点建设与维护	26
6.1 一般规定.....	26
6.2 监测网点建设.....	26
6.3 设备安装与调试.....	27
6.4 监测网点维护.....	30

7 预测、预警	33
7.1 一般规定.....	33
7.2 泥石流预测、预警实现的方式.....	33
7.3 泥石流预测.....	34
7.4 泥石流监测预警.....	37
8 数据处理与报告	39
8.1 一般规定.....	39
8.2 资料整理.....	40
8.3 数据处理.....	45
8.4 信息反馈.....	48
附录 A 基础施工设计	50
附录 B 监测设备安装设计	51
附录 C 安装施工日志记录表	60
附录 D 材料验收记录表.....	61
规范用词说明	62

1 总则

1.0.1 针对公路建设、运营中所涉及的泥石流灾害问题，规范泥石流监测的手段、方法与过程，为公路建设与安全运营提供技术支撑。为规范公路泥石流监测工作，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路勘察、建设过程及运营中对泥石流进行监测与预警，也适用于城乡、水利、水电、矿山等道路及附属建筑设施的泥石流监测预警。

1.0.3 本规程规定的泥石流监测的技术要求与方法，能为公路勘察、建设过程中获取泥石流发生的物理参数，服务于泥石流防治的要求，能为泥石流防治设计提供设计数据支撑。适用于公路建设及运营中对泥石流监测预警的全过程。

1.0.4 本规程满足公路勘察、建设、运营各阶段中对泥石流进行监测与预警的需求，规定的泥石流监测、预警对象、范围、测量、仪器设备、计算参数等内容，除符合本规程的规定外，还应符合国家和行业现行有关标准的规定。

1.0.5 公路泥石流监测应根据公路基本建设程序各阶段要求的深度开展工作，结合现场地质条件、环境条件、防护工程结构等，统筹考虑，综合确定监测方法、内容和技术要求。

1.0.6 公路泥石流监测工作中，成熟可靠的新技术、新方法可积极采用，对尚不成熟，或可靠性有待验证的新技术、新方法，应在其可靠性、成熟性验证后采用。

1.0.7 公路泥石流监测除应符合本规程规定外，还应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 泥石流

水体、土体及土体中的极少量空气充分混合后，以重力为主要动力，沿沟道或坡面运动的流体。

2.1.2 泥石流监测

通过人工或仪器对泥石流发生进行观测，获取泥石流形成条件、诱发因素、流体运动参数、规模等的过程与方法。公路泥石流监测可分为三种：

1 泥石流一般监测。规定一般监测解决的问题，技术要求、设备配置和实现方式，明确泥石流形成条件、诱发因素、流体物理要素监测的通用方法、实现的技术手段与步骤。

2 基于危害对象的泥石流监测。划分公路被泥石流掩埋、冲击、侧蚀淘蚀等危害类型，明确不同危害对象监测需解决的问题，规定需获取的泥石流参数，设备配置、技术要求，实现方式与方案。

3 简易监测。借助普通的测量工具、简易仪器装置，对泥石流的物源变化、降雨、泥水位及前兆异常等的简易观测方法。

2.1.3 监测系统

具有逻辑关联的泥石流监测、预警所采用的技术方法、人员组成与管理方式的统称。

2.1.4 泥石流预测

在对泥石流发生背景条件和降雨诱发阈值研究的基础上，选择合适的预测模型，提前作出对泥石流发生时间、危害范围与等级的判断。

2.1.5 泥石流预警

泥石流暴发之前所做出的关于泥石流能否暴发、可能暴发时间、规模及危险区范围的判断。流域上游泥石流暴发后，通过仪器或人工监测其暴发及特征的信息，做出的泥石流可能到达承灾区的时间、规模和危害的判断。

2.1.6 泥石流警报

通过人工或仪器设备监测泥石流暴发及其运动特征的信息，及时作出泥石流对公路工程危害的判断，并通过公路主管部门向影响区发出的泥石流即将暴发或即将到达的紧急公告。

2.1.7 临界雨量

诱发泥石流发生的最低激发雨量，以 10 min、30 min、1 h、6 h、12h 和 24h 的降雨量为计量单位。

2.2 符号

对规程中涉及到的符号进行汇总说明，方便查阅。

A ——泥石流过流断面面积 (m^2)；

C ——前期降雨量使补给物质达到饱和时泥石流暴发所需 10 min 雨量；

Q_c ——泥石流流量 (m^3/s)；

V ——与泥位同步的瞬时泥石流流速 (m/s)；

W_c ——一次泥石流的径流量 (m^3)；

γ_c ——泥石流重度 (kN/m^3)；

γ_w ——清水重度 (kN/m^3)；

γ_s ——岩(土)体重度 (kN/m^3)。

T ——泥石流历时 (s)；

t ——泥石流警报的时间提前量 (s)；

L ——泥石流监测断面的下断面到承灾体的距离 (m)；

P^* ——补给物质达到饱和时所需的雨量；

K ——修正系数

$$\sum_{t=1}^{20} R_t K^i \text{——泥石流发生前 20 天内的有效降雨, } i=1,2,\dots,20;$$

R ——降雨强度指标；

R_t ——泥石流发生时刻前的当日降雨；

R_i ——泥石流发生前 i 天降雨量；

R_{10} ——激发泥石流所需的 10 min 雨量；

H_{24} ——24 h 降雨量 (mm)；

$H_{24(D)}$ ——该地区可能发生泥石流的 24 h 临界雨量 (mm)；

H_1 ——1 h 降雨量 (mm)；

$H_{1(D)}$ ——该地区可能发生泥石流的 1 h 临界雨量 (mm)；

$H_{1/6}$ ——10 min 降雨量 (mm)；

$H_{1/6(D)}$ ——该地区可能发生泥石流的 10 min 临界雨量 (mm)。

3 基本规定

3.1 监测等级

3.1.1 公路泥石流的监测应根据泥石流的危害性、公路的等级与重要性，综合确定泥石流监测标准，划分监测与响应等级。

3.1.2 公路泥石流危害性，应根据泥石流类型、规模、活动性，周围环境，公路危害对象等，可按表 3-1 确定泥石流危害程度，可按表 3-2 进行泥石流的规模分类。

表 3-1 泥石流危害程度确定

危害对象	危害程度			
	小型泥石流	中型泥石流	大型泥石流	特大型泥石流
路基	小	中等	大	特大
桥梁	小	中等	大	特大
涵洞	中等	大	大	特大
隧道	大	特大	特大	特大

表 3-2 泥石流规模分类

分类指标	小型泥石流	中型泥石流	大型泥石流	特大型泥石流
固体物质储量 ($10^4\text{m}^3/\text{km}^2$)	<5	5~10	10~100	>100
固体物质一次最大冲 出量 (10^4m^3)	<1	1~5	5~10	>10
一次泥石流总量 (10^4m^3)	<2	2~5	20~50	>50
泥石流单宽流量 (m^3/s)	<3~5	3~5	5~7	8~9
泥石流峰值流量 (m^3/s)	<20	20~100	100~200	>200

3.1.3 应根据公路泥石流危害程度，公路等级，周围环境，及其工程重要性确定，按表 3-3 确定泥石流监测等级。

表 3-3 泥石流监测等级确定

泥石流危害程度	分级标准		
	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
小	II	III	III
中等	I	II	III
大	I	I	II
特大灾	I	I	II

注：1、区域内唯一通道的二、三、四级公路，监测等级宜提高一级；
2、公路范围内有服务区、加油站等附属设施的，监测等级宜提高一级。

3.2 预警等级

3.2.1 泥石流的预警方案可根据其灾害规模和危害程度综合确定。泥石流的预警等级按表 3-3 确定。

表 3-3 泥石流预警等级

预警等级	泥石流规模		泥石流危害程度		
	流量 (m^3/s)	固体径流总量 (10^4m^3)	道路堵断时间 (天)	可能造成的经济 损失(万元)	等级
一级 (红色)	≥ 500	≥ 50	< 1	< 500	小
			[1,3)	[500,5000)	中等
			[3,10)	[5000,10000)	大
			≥ 10	≥ 10000	特大
二级 (橙色)	[200, 500)	[10,50)	< 1	< 500	小
			[1,3)	[500,5000)	中等
			[3,10)	[5000,10000)	大
			≥ 10	≥ 10000	特大
三级 (黄色)	[50, 200)	[1,10)	< 1	< 500	小
			[1,3)	[500,5000)	中等
			[3,10)	[5000,10000)	大
四级 (蓝色)	< 50	< 1	< 1	< 500	小
			[1,3)	[500,5000)	中等

3.3 监测类型

3.3.1 公路泥石流监测主要包括施工建设阶段、运营阶段以及道路泥石流灾害应急处置过程中的监测。

3.3.2 公路施工建设阶段监测。主要监测泥石流对施工场地、营地影响范围和程度。

3.3.3 公路运营阶段监测。主要监测泥石流对桥梁、涵洞、路基、隧道等结构物的影响和危害程度。

3.3.4 公路泥石流应急处置过程中的监测。主要监测泥石流对抢险临时场地、应急道路、桥梁等构筑物的影响范围和程度。

3.4 监测范围

3.4.1 公路泥石流监测范围应重点放在泥石流对公路危害或影响的区域,获取泥石流运动、侵蚀、冲淤变化等危害公路及其设施的参数。其次才对泥石流形成区、流通区成灾因素、诱发因素及物理因素的监测。

3.4.2 监测点(断面)具体位置的选择根据沟道的实际状况而定,既要便于监测,又要便于安装监测仪器,还要考虑监测人员及仪器的安全。因此,泥石流监测应避开滑坡(崩塌、落石)危险区,仪器不能安置在陡坡上或沟道内。同时还要考虑交通、电力、通讯传输等因素。

3.5 监测仪器设备

3.5.1 监测仪器设备应本着实用、可靠、经济的原则,按照泥石流类型、监测目的和任务、监测等级、监测阶段进行选择。

3.5.2 监测仪器、设备的选用和管护,应符合以下规定:

1 选用的监测仪器、设备应满足监测精度要求,能适应环境条件,长期稳定可靠,便于维护和更换。

2 监测仪器应具有在线实时传输数据的功能，并通过智能化系统自动接收监测数据，实时做出判断。

3 自动化监测仪器应有自检、自校功能。无自检、自校功能时，应定期进行人工检查、校正。

4 监测设备和数据传输系统每 3 个月宜进行一次检查和维护，每年雨季来临前和泥石流活动后应进行一次人工检查、校正。

5 用于接收、分析数据并做出判断的综合控制中心，应选择在安全区，并具有备用仪器设备和应急供电能力。

6 预警等级达到 I 级时，数据传输和处理系统宜采用 2 种以上方式，保持一定的数据冗余。

3.6 监测、预警工作流程

3.6.1 泥石流灾害监测预警工作应遵循泥石流监测任务确定、监测任务实施、预警级别确定，公路主管部门发布等一系列工作流程。

3.6.2 监测任务确定流程应符合下列规定：

- 1 公路养护人员通过巡检发现泥石流灾害隐患，上报公路主管部门；
- 2 公路主管部门组织专家对灾害隐患进行危险性评估，确定监测任务的必要性；
- 3 对须进行的监测泥石流路段，相关公路主管部门委托有资质的泥石流监测单位开展泥石流监测工作。

3.6.3 监测实施流程应符合下列规定：

- 1 受托监测单位对工作区公路泥石流沟进行深入调查，根据各沟灾害特征与野外施工条件，选定监测点布设位置，编制系统建设实施方案设计；
- 2 在实施方案通过专家审核基础上，对各站点建设进行详细设计，明确各个站点的数据采集传感器、通讯与功能方式；
- 3 安装设计方案进行野外监测站点施工建设与调试，确保实现预期功能；

- 4 根据监测工作频率定期或自动进行监测数据采集。

3.6.4 预警等级确定

- 1 选择适当模型确定预警参数和阈值；
- 2 对野外监测站点传回的数据进行接收和存储入库，
- 3 将数据与设定的各项阈值进行比对，初步确定预警等级。

3.6.5 预警信息的发布流程：

- 1 泥石流预警信息和等级上报公路主管部门；
- 2 公路主管部门审核通过后，根据预警级别通过短信机向值班人员和不同权限管理人员发送报警信息；
- 3 通知相关人员按照预案开展交通调度管理和泥石流防灾工作。

征求意见反馈

4 监测内容和要求

4.1 一般规定

4.1.1 根据公路受泥石流危害或影响的不同方式,明确泥石流监测类型,规定各类监测的内容、设备配置、技术方法、观测记录要求,说明各技术方法使用的条件。建立针对公路泥石流问题的监测方案。

1 公路泥石流监测应根据泥石流的分类特征及泥石流危害的公路结构型式等制定监测方案。

2 根据穿越泥石流沟的公路结构型式,将公路泥石流危害对象分为桥梁、涵洞、明洞(渡槽)和过水路面。

3 高速公路泥石流监测方案应与公路交安机电及监控管理中心建设统筹规划。

条文说明

公路泥石流分类表

说明不同泥石流类型的分类标准与方法(表4-1)。分别按诱发泥石流的水体来源,泥石流发育和活动部位的地貌形态,泥石流发生频率,泥石流发育阶段等划分方法进行说明。

表4-1 公路泥石流分类表

序号	依据	类型	特征或指标
1	泥石流规模	特大规模泥石流	百年一遇($p=1\%$)泥石流冲出的固相物质总量 $M_c \geq 50$ 万 m^3
		大规模泥石流	百年一遇($p=1\%$)泥石流冲出的固相物质总量 $10 \leq M_c < 50$ 万 m^3
		中等规模泥石流	百年一遇($p=1\%$)泥石流冲出的固相物质总量 $1 \leq M_c < 10$ 万 m^3
		小规模泥石流	百年一遇($p=1\%$)泥石流冲出的固相物质总量 $M_c < 1$ 万 m^3
2	形成和激发泥石流水体的主要来源	降雨型泥石流	以大气降水(暴雨、大雨和绵雨)为主要来源
		冰雪融水型泥石流	以冰雪融水为主要来源
		溃决型泥石流	以溃决洪水为主要来源
		地下水型泥石流	以地下水为主要来源

序号	依据	类型	特征或指标
3	泥石流发育和活动部位的地貌形态	山坡型泥石流	有的为尚未形成完整流域的坡面;有的为沟床坡度与山坡坡度接近的小流域(流域面积小于0.3 km ²)
		沟谷型泥石流	支沟不发育、流域面积中等(中低山及丘陵区取0.3~10 km ² ,极高山、高山区取0.3~20 km ²)的沟谷
		河谷型泥石流	支沟发育,主沟内常在支沟汇入处有残余泥石流堆积扇,流域面积较大(大于等于10或20 km ²)的沟谷或河谷
4	泥石流暴发频率	高频率泥石流	5年内至少暴发1次泥石流($p \geq 20\%$)
		中频率泥石流	不属于高频率泥石流,在50年内至少暴发1次泥石流($20\% < p \leq 2\%$)
		低频率泥石流	50年以上才暴发一次泥石流($p < 2\%$)
5	泥石流的发育阶段	发展期泥石流	泥石流由开始发生到转变为强烈活动的阶段
		活跃期泥石流	泥石流强烈而持续活动的阶段
		衰退期泥石流	泥石流由强烈而持续活动转变为逐渐减弱直至停止活动的阶段
		终止期泥石流	泥石流停止活动的阶段
6	泥石流的危害程度	特大危害泥石流	阻断公路10天以上,或单沟一场泥石流造成的直接经济损失大于等于1000万元
		重大危害泥石流	阻断公路3~10天,单沟一场泥石流造成的直接经济损失500~1000万元
		中等危害泥石流	阻断公路1~3天,单沟一场泥石流造成的直接经济损失100~500万元
		轻微危害泥石流	阻断公路1天以内,单沟一场泥石流造成的直接经济损失小于100万元
7	泥石流的固相物质组成成分	泥质泥石流	固相物质的组成以粘粒和粉粒为主(含量大于等于75%)
		泥沙质泥石流	固相物质的组成以粘粒、粉粒和沙粒为主(总含量 $\geq 85\%$,其中粘粒和粉粒含量小于等于75%)
		泥石质泥石流	固相物质的组成以各类粒径级配较宽的土体组成
		沙石质泥石流	固相物质的组成以沙粒和石块为主,粘粒含量小于1%,粉粒含量小于5%,同时沙粒少于石块
8	流体性质	粘性泥石流	粘度大于等于0.5 Pa·S,重度大于等于19.62 kN/m ³ (泥石质泥石流)或大于等于16.68 kN/m ³ (泥质泥石流)
		稀性泥石流	粘度小于0.2 Pa·S,重度为13.73~15.60 kN/m ³ (泥石质泥石流)或为11.77~13.73 kN/m ³ (泥质泥石流)
		过渡性泥石流	粘度和重度介于粘性泥石流和稀性泥石流之

序号	依据	类型	特征或指标
			间, 或两个指标中一个达到粘性泥石流指标, 另一个低于粘性泥石流指标, 或两个指标中一个达到稀性泥石流指标, 另一个高于稀性泥石流指标
9	泥石流形成与人类活动关系	自然泥石流	泥石流形成主要决定于流域的自然条件
		人为泥石流	泥石流形成主要决定于流域内的人类活动

4.2 监测内容

4.2.1 公路泥石流监测按监测工作的程度可分为 I、II、III 级, 各级泥石流监测的内容分别为:

- 1 泥石流 I 级监测为专业监测。
- 2 泥石流 II 级监测为简易监测和巡查观测。
- 3 泥石流 III 级监测为巡查观测和部分简易监测。

4.2.2 按照泥石流发生过程中不同部位的特点, 泥石流的监测内容主要划分为物源监测、气象水源诱发条件监测和运动过程监测三种。

4.2.3 物源监测。泥石流固体物质来源是泥石流形成的物质基础, 应在研究其地质环境、性质、类型、规模的基础上, 进行稳定性监测。固体物质来源于崩滑体的, 其监测内容是崩塌、滑坡体的变形监测、相关因素监测、宏观前兆监测; 固体物质来源于松散堆积物 (含构造松散体、风化层和开山、采矿、采石、弃渣等堆石、堆土) 的, 应监测其受暴雨、洪流冲蚀等作用的稳定性。

4.2.4 气象水源诱发条件监测。应重点监测降雨量和历时等; 水源来自冰雪和冻土消融的, 监测其消融水量和历时等。以上均包含在气象监测内容中。对上游或高处有高山湖、水库、渠道时, 应监测其大量渗漏或突然溃决的可能性。在固体物质集中分布地段, 应进行降雨入渗和地下水动态监测。

4.2.5 运动过程监测。对泥石流动态要素、动力要素及输移和冲淤变化和流体特征进行监测。主要包括爆发时间、历时、过程、类型、流态和流速、泥位、流

面宽度、爬高、阵流次数、沟床纵横坡度变化、输移冲淤变化和堆积情况等，并同时进行取样分析，测定输砂率、输砂量或泥石流流量、总径流量、固体总径流量等。

条文说明

1、泥石流专业监测是专业人员通过各种监测技术手段，对泥石流物源区、流通区、危害对象、诱发因素实施的一种监测。通过监测沟道物源、沟道水位和流体参数、公路受泥石流危害状态、降雨量等泥石流形成的条件，掌握泥石流启动、泥位、流速等参数，为泥石流预警和防治提供技术支撑。

2、泥石流简易监测是工作人员根据受危害对象特点，在受危害对象的周边设立泥石流流速、泥位、冲淤变化、视频等监测，掌握泥石流对公路的危害程度，服务于泥石流预警工作。

3、泥石流巡查观测是工作人员在日常巡视中，对泥石流沟道的状态进行观测，了解沟道的物源、沟道占压等变化。在降雨过程中观测沟道岸坡、流量、水位或泥位等的变化，对公路等构筑物的影响状态，为保证公路安全和进一步加强泥石流监测提供帮助。

4.3 监测要求与精度

4.3.1 泥石流监测是一个动态过程，对曾经发生过泥石流、可能发生泥石流的沟道或正在发生泥石流的沟道其监测方法与要求有较大不同。同时，泥石流监测在旱季和雨季也有很大的差异。因此，泥石流监测应根据发生特点，监测等级要求进行动态调整。

4.3.2 泥石流监测动态调整要求。对曾经发生过泥石流、可能发生泥石流的沟道以Ⅱ、Ⅲ级监测为主，监测方法为巡视监测或简易监测。对涉及关键公路设施

的泥石流监测可设置为 I 级监测，方法可根据危害对象的不同，选择有针对性专业技术监测。

4.3.3 泥石流监测过程的时段调整。在旱季泥石流监测等级为 III 级，方法为巡视监测。对曾经发生过泥石流、可能发生泥石流的沟道，在雨季以 II、III 级监测为主，方法为巡视监测或简易监测。对正在发生泥石流的沟道，可根据危害对象的重要程度，采取 II、III 级监测，方法选用专业技术监测或简易监测。对融雪型泥石流的监测应根据融雪发生时间进行相应调整。

4.3.4 监测精度要求根据仪器、监测等级和监测内容综合确定。

条文说明

1、泥石流监测精度

泥石流监测涉及到雨量、泥位、流速、流量、重度、粘度等多种仪器和监测方法，其中几项重要参数的精度要求为：

人工或自动雨量计、多参数全自动气象仪等降雨监测精度 1mm 计。

泥位超声波传感器、泥位仪等仪器监测 $\leq 50\text{mm}$ ($\pm 5\%$)，标尺量测监测 $\pm 100\text{mm}$ 。

泥石流流速测速仪监测精度 $\leq 0.5\text{m}$ ($\pm 0.2\text{m/s}$)，浮标法监测精度 $\leq 1\text{m}$ 。

泥石流重度测定误差 0.05g/cm^3 ($\pm 2\%$)，

物源区变形监测。地表变形机械、电子、精密大地测量监测精度 $\leq 5\text{mm}$ ，地表标志桩钢尺监测精度 $\leq 2\text{mm}$ 。坡体深部测斜仪监测，精度 $\leq 2\text{mm}$ 。

次声监测，次声频率 3Hz~20Hz，声强不小于 -3d。

视频监控图像分辨率应达到 720P 以上。

2、公路泥石流监测等级及监测技术说明

根据泥石流发生、成灾的规律，明确本规程按形成条件、诱发因素、流体物理要素的分类进行泥石流监测，说明公路泥石流监测等级划分方法，规定各类监测的内容、设备配置、技术方法、观测记录要求，说明各技术方法使用的条件。

表 4-2 公路泥石流专业监测精度要求表

监测内容		监测等级		
		一级	二级	三级
物源监测	地表绝对位移 (mm)	3	3	5
	裂缝相对位移 (mm)	3	3	5

监测内容	监测等级			
	一级	二级	三级	
建(构)筑物变形 (mm)	1			
深部位移变形 (mm)	2			
沉降变形 (mm)	2			
坡体倾斜 (°)	2	3	5	
水源监测	降雨量(mm)			
	1			
	地下水位 (mm)	10	10	20
	孔隙水压力 (%FS)	±0.25		
含水率(%)	±2			
运动过程 监测	泥位			
	±10			
	视频	分辨率应达到 720P		
次声	3Hz~20Hz (-3dB)			

4.4 监测频率

4.4.1 公路泥石流监测在勘察设计阶段、施工阶段和运营阶段。各阶段的监测频率应根据监测目的和监测对象的动态进行实时调整。

表 4-3 公路泥石流监测频率

阶段	监测时限		正常情况	雨季监测	有活动异常监测
勘察、施工阶段	中期监测 (1-2年)	勘察设计、施工至竣工	10天/1次	1天/1次	连续跟踪
运营阶段	长期监测 (2年以上)	至安全、稳定	15天/1次	7天/1次	连续跟踪
应急处置	短期监测 (1-6个月)	应急抢险阶段监测	1-3天/1次	1天/1-2次	连续跟踪

4.4.2 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

- 1 监测数据达到警戒值；
- 2 监测数据变化较大或者速率加快；
- 3 存在勘察未发现的不良地质或物源产生；
- 4 路基等建构筑物出现破坏。

5 监测技术方法

5.1 一般规定

5.1.1 公路泥石流监测应本着技术手段切实可行、获取数据可靠、设备运行与人员操作安全的原则，有针对性的选择监测方法。

5.1.2 公路泥石流监测除遵循监测的一般规定外，还应根据公路泥石流监测预警，灾后防治的要求，对泥石流危害公路路堤、桥梁墩柱、涵洞、桥涵、隧道等不同对象结构物进行监测，获取泥石流相关参数，服务泥石流灾害预警与防治。

5.2 泥石流监测类型

5.2.1 公路泥石流监测的基本类型分为泥石流一般监测和基于危害对象的监测两类。

5.2.2 公路泥石流一般监测主要包括对泥石流形成物源、沟道水源、诱发因素、运动过程、冲淤变化等进行的全要素监测。泥石流一般监测应根据不同的监测等级，采取相应的监测技术方法。

5.2.3 基于危害对象的泥石流监测是在一般监测的基础上，针对泥石流对公路路堤、桥梁墩柱、涵洞、桥涵、隧道等结构物危害所进行的监测，明确针对不同公路结构物对象的泥石流监测技术方法。

5.3 泥石流监测

5.3.1 泥石流的一般监测可分为巡查观测、简易监测和专业监测三类。各类监测有相应的监测方法、监测仪器，进行相应监测网、点布置，满足监测频率和精度要求。

5.3.2 巡查观测主要是对具有泥石流形成条件沟道的早期信息进行的巡视调查，获取泥石流发生条件的相关前兆信息。巡查监测包括以下内容：

1 流域的降雨信息获取

降雨数据的获取可利用当地气象部门提供的信息，或在泥石流物源区设置人工雨量计进行降雨监测；

2 物源变化监测

对泥石流沟道内松散土石堆积物增减变化，沟岸滑坡（崩塌）变形活动状况，坡体是否滑入沟道堆积，出现堵塞沟道的情况。并确定大致的方量；

3 沟（河）道异常现象观测

沟（河）道异常有沟（河）道突然断流、水流突然变得浑浊、上游水流传来异常声响、上游有无因堵塞形成的堰塞坝、堆积体有无变形开裂、形成区是否有滑坡或堆渣体垮塌堵塞沟道等现象。采用巡视和设立简易标志或按变形痕迹对比方法进行监测；

4 沟（河）道水文巡查监测

通过设立简易标尺或刻画洪痕的方法获取的泥石流形成沟道水文信息，并可实现对沟道水位、小型泥石流泥位的判断与监测。

5.3.3 简易监测主要是对可能发生泥石流的沟道进行降雨、物源、水源等因素进行监测，监测技术手段以简洁的人工方法为主，辅以少量的技术方法。简易监测包括以下内容：

1 简易降雨监测

在泥石流沟形成区安装自记式雨量计或人工雨量筒；

2 物源简易变形监测

在沟岸滑坡（崩塌）体、沟谷中松散土石堆积体、堰塞坝裂缝、尾矿库坝裂缝上设置简易观测标志（桩），建立变形监测断面，采用钢卷尺观测岩土体变形碎块状况，以确定物源能否加入流体形成泥石流的状态；

3 沟道水位与流量监测

监测应在沟道主要堆积物的上游段选择观测断面，并设置观测标尺，观测沟道水位变化与流量。

5.3.4 专业监测主要采用专业仪器对泥石流产生的物源、水动力条件、降雨、运动过程的全面监测，内容包括：沟谷中松散土石堆积物变形监测、降雨监测、气温监测、泥位监测、流速监测、重度监测、泥石流运动物理现象的监测等。

1 降雨监测与气象观测。

降雨监测主要是对泥石流形成和活动相关的降雨量及降雨过程进行观测，监测应采用自记式雨量计，并可实现监测数据的在线实时传输。气象观测可采用多参数自动气象站进行，同步实现降雨、气温等气象要素的监测。

2 物源体变形监测

在监测物源堆积体、坡体裂缝两侧设置观测（桩）或标志，建立变形监测断面或监测网，采用机械、电子、精密测量或 GPS 等设备，观测岩土体变形碎块状况，确定物源能否加入流体形成泥石流的状态；

3 泥位监测

应选择在沟道比较顺直的流通区，并距下游公路或设施有一定距离的沟道内选定监测断面。在布设监测设施前，可对监测断面进行断面修整、沟床固化等工程处理。泥位监测可使用以下非接触式仪器、接触式仪器或水尺法，并符合下列规定：

1) 非接触式测距仪器监测数据应包括不同时刻的泥位，并能在线实时传输。事先应测得仪器所在位置与沟床之间的垂直距离，泥石流发生时应测量仪器所在位置与泥石流表面之间的垂直距离，并根据二者高度差计算泥石流的泥位。泥位值可取连续 3 次测量的平均值，每次测量误差不应超过 5%。

2) 接触式测距仪器通过布置于监测断面上的钢索检知器或触网式泥石流报警器，根据流体触及钢索或触网的高度判断泥石流的泥位。泥位值可取连续测量 3 次的平均值，精度不应超过实际泥位的 1/4。

3) 水尺法是在监测断面处设置标尺，接用水准仪或通过目测确定泥位高度。

4 流速监测

泥石流流速监测可使用非接触式流速仪、上下断面时间差法或浮标法，并符合下列规定：

1) 非接触式流速仪测速。应选用适宜于测量泥石流流速的仪器，仪器应进行标定，测量误差不应超过 8%。

2) 上下断面时间差法测速。将钢索检知器、触网式警报器或非接触式泥位计等设备安装于泥石流沟道已知距离的上下断面处,根据监测到的泥石流信息时间差计算泥石流的流速。上下 2 个监测断面之间的距离不宜小于 50 m。

3) 浮标法测速。在沟道中较为顺直、冲淤基本平衡、沟床较为稳定的沟段设置两个以上监测断面,当泥石流流经监测沟段时,在最上游的断面投放浮标并分别记录浮标达到各监测断面的时间。根据上下断面的距离和浮标通过的历时,计算泥石流流速。

5 重度监测

泥石流重度监测断面宜在有人值守的监测点进行,可事先准备已知体积的容器,采样后立即称重,计算泥石流重度。

6 地声、次声、震动等物理参数监测

1) 泥石流地声监测传感器应安装在泥石流沟道两侧的基岩内,埋深 1~2m,再以土或其他隔音材料覆盖。测试信号经前置放大后用电缆线直接输入计算机。

2) 次声监测仪应放置在泥石流流域的流通区,距泥石流危害公路位置 200~1000m 为宜,尽量避开可能产生低频噪声的人为干扰源,次声音传感器朝向上游方向。

3) 震动监测传感器应安装在泥石流沟道两侧的基岩内,埋深 1~2m,再以土覆盖。

4) 物理参数监测信号经前置放大后均用电缆线直接输入计算机,以备在泥石流预警中参考。

7 视频监测

视频监测是采用视频监测器对泥石流进行实时监测。监测器应选用具有红外功能的设备,分辨率不低于 720P。可对泥石流泥位监测水尺,泥石流流体冲击公路结构物进行视频监测,也通过图像解析获得泥石流泥位、流速参数。

条文说明

1、公路泥石流调查与巡视监测表

说明公路泥石流野外调查的内容、范围,调查表基本格式。

表 5-1 公路泥石流调查表

1.序号			2.泥石流名称			3.填表时间	年 月 日						
4.公路名称			7.地理位置	(1)东经			8.行政区	省					
5.公路桩号				(2)北纬				县(市)					
6.沟名				(3)高程				乡(镇)					
9.水系	(1) 河流名		(2) 沟名		(3) 泥石流沟岸别		(4)公路岸别						
					左岸 <input type="checkbox"/> 右岸 <input type="checkbox"/>								
10.泥石流形成条件	(1)地 形	①流域面积(km ²)				①物源岩土类别							
		②主沟长度(km)				②物源分布		谷底 <input type="checkbox"/> 斜坡中上部 <input type="checkbox"/> 坡脚 <input type="checkbox"/>					
		③沟床纵比降(‰)				③岩土组成(%)		粘土: 砂质: 碎、砾石:					
		④流域海拔高程		形成区	(m)	④堆积物来源		崩滑 <input type="checkbox"/> 风化 <input type="checkbox"/> 其它:					
		⑤沟谷形态		堆积区	(m)	⑤原岩风化程度		高 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/>					
	(3)降 水量 (mm)	①年均降水量				(4)地表植 被	①植被类型		森林 <input type="checkbox"/> 灌丛 <input type="checkbox"/> 草坡 <input type="checkbox"/> 裸地 <input type="checkbox"/> 耕地 <input type="checkbox"/>				
		②日最大降水量					②覆盖率(%)						
11.泥石流基本特征	(1)水源类型		降水 <input type="checkbox"/> 溃决 <input type="checkbox"/> 地下水 <input type="checkbox"/>			①暴发时间		年 月 日					
	(2)流体性质		粘性 <input type="checkbox"/> 过渡 <input type="checkbox"/> 稀性 <input type="checkbox"/>			②容重(t/m ³)		实测 <input type="checkbox"/> 调查 <input type="checkbox"/>					
	(4)物质补给	①类型		滑坡崩塌 <input type="checkbox"/> 面蚀 <input type="checkbox"/> 沟床物质 <input type="checkbox"/>			③流速(m/s)		实测 <input type="checkbox"/> 调查 <input type="checkbox"/>				
		②位置		上游 <input type="checkbox"/> 中游 <input type="checkbox"/> 下游 <input type="checkbox"/>			④流量(m ³ /s)		实测 <input type="checkbox"/> 调查 <input type="checkbox"/> 计算 <input type="checkbox"/>				
	(5)堆积体	①长度(m)		②宽度(m)		③堆积量(万m ³)		(6)最近发生的泥石流		⑤冲淤情况			
						a.搬运最大块石							
										b.侵蚀强度			
										c.堵塞掩埋程度			
12.危害方式及程度													
13.治理工程概况													
14.资料来源													

2、泥石流降水及气象要素监测，除满足泥石流监测对降雨等要求外，具体要求按 QX/T 52-2007、QX/T 50-2007 的规定执行。监测仪器的安装与使用应按 SL21—90 规定执行。自动气象站应符合 QX/T 61-2007 的规定。

在泥石流预测、预警中，对雨量监测点布设数量有所增加，通常在泥石流形成区的雨量监测点一般不少于 3 个。

3、泥石流泥位监测水位标尺设置除满足泥石流监测要求外，水位标尺设置可按 GB/T50138—2010 的规定执行。泥位高度，监测方法宜按 SL257—2000 的规定执行。

4、泥石流区间差法测速计算公式为：

$$V=L/t \quad (5.1)$$

式中：V——泥石流流速 (m/s)；

L——上下游监测断面的距离 (m)；

T——泥石流从上断面流动到下断面的历时 (s)。

5、泥石流浮标法测速方法可按 GB 50179—93 的规定执行，也可利用浮标通过上下断面的历时，利用式 (5.3.1) 计算泥石流流速。

6、泥石流几项重要参数的计算

①泥石流流量

由泥石流流速与过流断面面积相乘得到。

$$Q_c = A \cdot V \quad (5.2)$$

式中： Q_c —监测断面瞬时流量 (m³/s)；

A—泥石流过流断面面积 (m²)，根据泥位在事先绘制的监测断面泥位~过流断面面积关系线上查得；

V—与泥位同步的瞬时泥石流流速 (m/s)，通过监测或经验公式计算得到。

泥石流流量也可使用配方法计算。计算通常先按水文方法计算出断面的暴雨洪峰流量 (查阅省或市 (区、州) 水文手册)，然后计算泥石流流量。计算可分为以下几种情况。

A. 不考虑土体的天然含水量和沟道堵塞条件

$$Q_{pc} = Q_{pw} \left(1 + \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_c} \right) \quad (5.3)$$

式中： Q_{pc} —与 Q_{pw} 同频率的泥石流峰值流量 (m³/s)

Q_{pw} —频率为 P 的暴雨洪水设计流量 (m³/s)；

γ_c —泥石流重度 (kN/m³)

γ_w —清水重度 (kN/m^3)

γ_s —岩(土)体重度 (kN/m^3)

B.考虑堵塞条件,但不考虑土体天然含水量的泥石流流量

$$Q_{pc} = D \cdot Q_{pw} \left(1 + \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_c} \right) \quad (5.4)$$

C.考虑堵塞条件和土体天然含水量:

$$Q_{pc} = D \cdot Q_{pw} \left(1 + \frac{\gamma_c - 9.8}{\gamma_s(1 + P_w) - \gamma_c(1 + P_s P_w)} \right) \quad (5.5)$$

式中: D—泥石流的堵塞系数,其他符号同前。

P_s —固体物质所占的体积百分比;

P_w —泥石流土体的天然含水量(%),可用灼烧法测定。

根据观测资料, D 值在 1.0~3.0 之间,与堵塞时间成正比,与泥石流流量成反比,确定泥石流堵塞系数时要具体分析,综合考虑,也可查经验表 5-2 来确定。

表 5-2 泥石流堵塞系数 D 值

堵塞程度	特征	重度 kN/m^3	粘度 $\text{Pa}\cdot\text{s}$	堵塞系数
严重	河槽弯曲,河段宽窄不均,卡口、陡坎多;大部分支沟交汇角度大,形成区集中;物质组成粘性大,稠度高,沟槽堵塞严重,阵流间隔时间较长。	18~23	1.2~2.5	>2.5
中等	沟槽较顺直,河段宽窄较均匀,陡坎、卡口不多;主支沟交角小于 60 度,形成区不大集中;河床堵塞情况一般,流体多呈稠浆—稀粥状。	15~18	0.5~1.2	1.5~2.5
轻微	沟槽顺直均匀,主支沟交汇角小,基本无卡口、陡坎,形成区分散;物质组成粘稠度小,阵流的间隔时间短而少。	13~15	0.3~0.5	<1.5

注:在近期流域松散固体物质发生较大变化时,如受到地震强烈影响区、泥石流、滑坡活动频繁区域,可适当增大堵塞系数。

② 泥石流规模

可用一次泥石流的径流量来表示,等于泥石流峰值流量与泥石流发生历时的乘积,可按以下公式进行计算。

$$W_c = 19TQ_c / 72 \quad (5.6)$$

式中: W_c —一次泥石流的径流量 (m^3)

T —泥石流历时 (s)

Q_c —泥石流峰值流量 (m^3/s)

在泥石流形成的过程中,可采用滚动的方式计算泥石流规模。每次计算时,当次降雨数据为激发雨量,前次数据自动进入前期雨量数据。使用实测 10min 雨量为激发雨量时,计算频率不应低于 5min 一次。当使用大于 6h 的预测雨量分析判断时,计算频率不应低于 1h 一次;使用 1~6 h 预测雨量时,计算频率不应低于 30 min 一次。

③一次泥石流的固体物质量

可用一次泥石流的径流量与泥石流重度综合参数的乘积表示：

$$M_c = W_c \left(\frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right) \quad (5.7)$$

式中： M_c —一次泥石流固体物质量 (m^3)

γ_c —泥石流重度 (kN/m^3)

γ_w —清水重度 (kN/m^3)

γ_s —岩(土)体重度 (kN/m^3)

5.4 基于危害对象的泥石流监测

5.4.1 泥石流对公路危害的作用方式有流体冲击、侧蚀淘蚀、堆积物掩埋等形式，受泥石流危害最显著的部位有公路跨越沟(河)道桥台、桥墩、涵洞，沿沟(河)岸布设的公路路堤。因此，根据泥石流对公路的危害方式危害特点，进行泥石流监测，获取相关参数，防范泥石流危害，是基于危害对象泥石流监测的目的地。

5.4.2 公路跨越沟(河)道泥石流监测。泥石流对公路穿跨越沟(河)道处的危害主要表现为流体对桥台、桥梁墩柱的冲击与淘蚀，流体超过涵洞、桥涵过流能力所造成堵塞、掩埋等危害。主要采用泥位计、流体测速仪等仪器对泥石流进行监测。仪器设备的布设为：

1 在跨越泥石流处公路桥台、桥梁墩柱等结构物上，布设泥位计、测斜仪等仪器，监测泥石流泥位、公路结构物变形、重度与级配等参数。

2 在距公路跨越处泥石流沟上游 30m 至 50m 处设置流体测速仪、泥位计，监测泥石流流速和泥位。同时，还可通过安装冲刷监测声纳、声学多普勒测流仪进行泥石流流速的监测。

上述公路跨越泥石流处监测仪器不具备同时安装条件时，可选择一个地点安装仪器部位进行监测。

5.4.3 沿河(沟)道公路泥石流监测。泥石流对沿河(沟)道公路的危害主要表现为流体对路堤、顺河墙的冲击与淘蚀。主要采用泥位计、流体测速仪、岩体

倾斜仪、位移计等仪器对泥石流流体、路堤和顺河墙体变形等相关参数进行监测。仪器设备的布设为：

- 1 在公路沿河（沟）道段路堤、顺河墙或河（沟）道上布设泥位计、流体测速仪等仪器，监测泥石流的泥位、流体流速、泥位与超高等参数。

- 2 在河（沟）对公路顶冲段、强烈淘蚀的凹岸路堤或顺河墙上布设测斜仪、位移计，监测路堤或墙体变形。

5.4.4 公路涵洞、桥涵过流泥石流监测。泥石流流量大于公路涵洞、桥涵过流能力时，将会对公路涵洞、桥涵造成堵塞或翻越公路，造成公路淤埋或垮塌。主要采用泥位计、流体测速仪等仪器对泥石流进行监测。仪器设备的布设为：

- 1 在公路涵洞、桥涵沟道上游侧护墙、桥涵墩柱或沟道上布设泥位计、测斜仪等仪器，监测泥石流泥位、重度与级配、结构物变形等参数。

- 2 在距公路涵洞、桥涵处泥石流沟上游 30m 处设置流体测速仪，监测泥石流流速。

条文说明

- 1、公路跨越沟（河）道泥石流监测应注意两点。一是对桥台、桥梁墩柱处泥石流冲击、泥位变化对基础淘蚀；二是在泥石流沟上游侧 30m 至 50m 处监测断面的建立。对桥台、桥梁墩柱处泥石流监测应重点放在泥位监测上，流速监测次之。泥石流沟上游侧 30m 至 50m 处监测断面，宜采用跨越式悬索钢缆的方式，重点监测泥石流流速，泥位监测次之。

- 2、沿河（沟）道公路泥石流监测。监测断面应放在沿河（沟）道公路段上游，采用跨越式悬索钢缆的方式监测泥石流流速和泥位。在泥石流对公路顶冲或强烈淘蚀路堤段，宜在路堤边缘布设测斜仪、位移计和泥位监测标志。

- 3、公路涵洞、桥涵过流泥石流监测。监测断面宜布设在泥石流沟上游距公路涵洞、桥涵侧 30m 处，采用泥位计、流体测速仪等仪器对泥石流进行监测。在公路涵洞、桥涵沟道上游侧护墙、桥涵墩柱或沟道上布设泥位计。

5.5 监测方案设计

5.1.1 泥石流监测方案设计过程中的资料搜集包括对已有资料的掌握和泥石流现场调查，基本资料包括：

1 泥石流发育的自然地理和地质条件，泥石流的特征与成因，泥石流规模、类型和一般特征，形成条件及发育过程，变形或活动特征，泥石流主要诱发因素与降雨启动阈值等。

2 调查范围应包含泥石流沟谷流域和对公路的影响区段，查明泥石流形成区、流通区、堆积区泥石流的发育特点，公路位于泥石流发生过程中所处部位，对公路的危害等内容。

5.1.2 根据泥石流对公路的危害特点和监测预警的需求，监测手段和仪器的选取应有明确的针对性，突出解决问题为目的。

5.1.3 泥石流监测网的布置应以受危害公路区段为中心，以利于监测仪器设备的管理维护，明确监测的技术要求。

5.1.4 泥石流监测方案设计图件应包括泥石流发育流域图、监测网布置、仪器安装图（附图）等。

条文说明

监测方案设计的编写应包含下列主要内容：

- 1、任务来源与目的。
- 2、泥石流形成的地质环境条件。
- 3、泥石流发育与危害。
- 4、监测内容及监测方法。
- 5、监测点网布设。
- 6、监测频率与精度要求。
- 7、监测系统建设、运行与维护要求。
- 8、监测数据采集与处理分析方法。
- 9、监测预警方案。
- 10、监测经费预算。

6 监测网点建设与维护

6.1 一般规定

6.1.1 泥石流监测需要在流域内按泥石流功能分区不同位置布设监测点，形成监测网络，达到监测目的。监测点应布设于公路泥石流频繁发生而且危害较大具有代表性的地区。

6.1.2 公路泥石流监测网点建设阶段划分为设计阶段、系统安装调试阶段和竣工验收阶段。

6.1.3 监测设备安装应按照先土建后设备、先硬件后软件、先室外后室内原则组织施工，合理安排施工工序和队伍配合，以加快建设进度。

6.1.4 设备安装完成后，应对设备进行系统调试一次，后续运行过程中，设备应每年调试一次，以确保监测设备能准确提供监测数据。

6.1.5 监测设备正常运行过程中，监测员和相关责任人应做好公路泥石流隐患点的现场巡查、监测、日常管理工作，并按照相关技术要求利用监测网点做好监测信息现场采集、记录、分析、汇报等。

6.2 监测网点建设

6.2.1 监测网应由降雨监测点、物源区监测点、泥石流断面监测点、信号传输与通讯，数据处理系统等组成，并应符合下列规定：

1 降雨观测与物源区监测点主要布置在泥石流形成区，断面观测主要布置在沟床断面相对稳定的泥石流流通区。

2 测点布设数量视泥石流沟或流域面积以及测点的控制性而定。测点宜以网格状方式布设，泥石流沟或流域面积小时也可采用三角形方式布设。

6.2.2 泥石流 I 级、II 级监测网点建设, 应以泥石流形成区、流通区和危害区为重点, 有针对性地对泥石流物源、流通、侵蚀冲淤、危害对象等要害地点进行监测。泥石流 III 级监测网点建设, 应以泥石流危害对象为中心, 一般要求布设一定数量的固定观测点, 获取沟(河)道异常、水文、物源变化信息。

6.2.3 以监测降雨为主的泥石流气象站, 应布设在泥石流沟或流域内有代表性的地段或试验场。降雨按下述原则布设监测点:

- 1 泥石流形成区及其暴雨带内;
- 2 泥石流沟或流域内滑坡、崩塌和松散物质储量最大的范围内及沟的上方;
- 3 测点四周空旷、平坦且风力影响小的地段。一般情况下, 四周障碍物与仪器的距离不得小于障碍物顶高与仪器口高差的 2 倍。

6.2.4 沟道内滑坡、崩塌、松散堆积体等泥石流物源的监测, 其监测点布设可按滑坡监测点布设原则进行, 松散物源监测点网的布设, 应在侵蚀程度分区的基础上, 适当增加监测点的密度。

6.3 设备安装与调试

6.3.1 设备安装准备应符合下列规定:

- 1 检查和熟悉泥石流监测设计涉及的所有监测设备和资料;
- 2 按各类仪器设备安装要求, 检查泥石流监测设备安装条件是否具备。

6.3.2 设备安装与调试应符合下列规定:

1 按照泥石流监测设计和设备使用说明书要求安装和调试, 施工质量要符合泥石流监测的要求与各类设备的技术要求;

2 泥石流监测设备安装结束后随即进行设备调试, 设备调试按设备安装技术要求和说明书进行;

3 数据采集设备在安装调试后进行联测, 检查监测数据采集过程控制的可靠性、数据信号传输的稳定性。

4 监测仪器设备安装时应充分考虑防风、防雨、防潮、抗震、防雷、防腐等与环境的适应性。

6.3.3 设备安装与调试验收检查应符合下列规定：

1 对照泥石流监测安装设备清单和设备安装技术要求逐项检查设备安装调试情况；使用说明书对安装和调试结果进行检查：

2 安装调试结束后，安装者和设计方应提供相关安装测试合格资料。

3 以上内容为基础，提交系统安装调试报告。

条文说明

1、泥石流监测设备安装准备流程

(1) 检查和熟悉下列资料和设备

①泥石流监测设备集成商提供的到货检验资料；

②制造厂提供的产品说明书、试验记录、合格证等质量证明资料及安装图纸文件；

③集成商提供的设备、备品、备件、专用工具及其测量仪器清单。

(2) 检查设备安装条件

①所有安装的泥石流监测设备都应该是经检验满足设计要求的合格产品；

②安装前和安装中要按照设计检查是否符合设计要求。监测站设备安装环境应满足监测设备技术要求，不符合时应该采取相应措施满足要求；

③电缆应有 20% 的电气冗余，线数也宜有适当的冗余，满足设计要求；

④接入终端的传感器，其传输距离应在该传感器信号输出的有效距离之内，留有的冗余应满足设计要求；

⑤监测站通信设备天线摆放的室内或室外位置，应根据采用通信方式的技术要求安装，通信信道正常；

2、监测设备安装调试流程

(1) 按照泥石流监测设计要求和设备使用说明书要求进行

①零部件应齐全、清洁、完好，接线端，部件及连接部位应光洁、支架应牢固，无锈蚀，监测设备和线缆都应有明显的标识。

②监测控制桩、监测杆、监测断面支架应安装在稳定岩土体上，不受泥石流的影响。监测标志、位移桩应安装在监测坡体或裂缝两侧，并与岩土体结合牢固。

③监测设备不同回路，不同电压、交直流电的线缆，不应穿在同一护管内，

管内不可有接头，接线处应用接线盒。为保证传感器信号电缆不受雷电影响，所有传感器至监测终端的信号电缆一律采用穿管地下埋设，电缆护管用 DN15 镀锌钢管铺设（一端接地），将传感器数据电缆受雷电的影响降低到最小。此外，在高雷区，宜在传感器信号接入端加上信号避雷器，接地电阻应不大于 5Ω 。

④ 电缆转弯处的最小允许弯曲半径不小于 10 倍的电缆外径，电缆出入电缆沟、竖井、建筑物、柜（盘）、台等通道口处应做密封处理。接头位置宜安排在地势平坦和地基稳固地带；

⑤ 监测光缆尽可能利用电缆沟敷设，弯曲半径必须大于允许的最大角度，埋设的光缆均采用钢管保护。光缆全部敷设完毕后，方可进行光缆的熔接，光缆的熔接需采用专用设备由专业人员完成；

⑥ 公路泥石流自动监测的传感器与终端通信数据传输应满足设备技术要求。

(2) 监测终端设备安装调试

① 监测终端设备安装按泥石流监测设计与终端设备的技术要求进行；

② 设备调试在的安装结束后进行，并按照使用说明书和相关标准的要求进行。调试有单个设备的安装调试，传感设备与终端机之间的调试，遥测终端机与通信设备之间的调试；

③ 安装调试中应对设备的安装和调试做详细的记录，内容有监测站位置坐标，安装的设备清单、厂家和型号、监测点主要的参数配置情况、监测站场景照片等。

3、验收检查流程

(1) 对泥石流监测设备进行验收检查

① 按泥石流监测设计、设备安装使用说明书、安装和调试结果进行验收检查；

② 监测机械设备安装是否牢固，运行是否顺畅，设备防腐处理、接地是否符合相关技术标准；

③ 监测电缆敷设应无绞拧、护管断裂和表面严重划伤等缺陷。电缆进入屏柜、终端机等时应预留满足使用要求的长度，电缆接线、电缆头成端应符合规范要求，首末端应设标示；

④ 光缆熔接时需测试熔接点的损耗，整个光路熔接完成后需测试整条光路的损耗，光纤连接损耗不大于 0.3dB 。经测试合格后方可投入使用。同时做好熔接点的保护和光缆的标识保护工作；

⑤ 安装调试结果应该符合设计要求和相关标准的要求。

(2) 安装调试结束后, 应整理归档下列资料

① 泥石流监测设备安装清单及相关软件;

② 泥石流监测设备安装和调试记录。记录内容应包括安装的工程和调试方法, 调试后的技术指标等。泥石流监测设备如有变更, 应对监测设计、安装与调试资料进行相应变更;

③ 拍摄有关监测设备安装现场和设备照片, 包括泥石流监测传感器安装现场, 监控设备安装现场, 被测控对象现场, 设备应有传感器, 监控设备, 视频设备等, 数码照片不低于 800 万像素彩色;

④ 以上内容为基础, 提交系统安装调试报告。

6.4 监测网点维护

6.4.1 应制定监测网点运行与维护管理制度及监测人员岗位责任制、操作流程、值班制度等规章制度。并指定人员负责在线监测系统的日常检查与维护工作。

6.4.2 监测网点运行期间, 应安装安全防护栏, 设立相关警示标志、标牌, 并应指定专门人员, 对监测场地定期进行检查。

6.4.3 泥石流监测期间, 应指定专门人员对监测区域内各监测网点进行巡视检查, 若发现异常应采取必要的补救措施或对策, 巡视检查的内容宜包括以下内容:

- 1 监测网点完好状况。
- 2 各监测网点地形地貌有误差变化。
- 3 有误差影响监测工作的障碍物。

6.4.4 监测运行期间, 应定期对泥石流监测系统进行检查与维护。

1 仪器外观检查与维护, 应定期检查监测仪器设备各部件紧固件是否松动, 监测仪器位置是否偏转、位移, 监测仪器各部件是否清洁, 有无变形、锈蚀。

2 硬件设施检查与维护, 应定期进行监测仪器、设备的维护保养、仪器模块测试、仪器标定及设备运行环境测试, 监测仪器设备经调校检测误差达不到要求时, 应立即更换。

3 软件检查更新与维护，应对软件参数设置、显示、存储的正确性进行检查，定期对软件进行维护，包括系统版本的升级、系统漏洞的修复和增装系统补丁等。

4 供电设备检查与维护，应对仪器蓄电池老化情况进行检查，必要时进行更滑，汛期前应对监测仪器充电设备进行检查，若采用太阳能充电方式，则应每隔半年清理太阳能板灰尘及污物一次。

5 线缆检查与维护，应定期检查线缆是否有老化破损或人为破坏现象，每年汛期前应检查线缆接头是否松动、各接线端口是否已腐蚀。

6.4.5 每3个月应对监测系统数据进行备份，备份的数据保存时间应不少于2年，视频监控图像资料保存时间应不少于1个月。

6.4.6 每周应至少开展一次监测进展、仪器设备运转的现场巡视检查；每月应至少开展一次设备运行状态检测；每年应至少开展一次硬件和软件的全面检测。

6.4.7 设备防雷维护，每年汛期前应对泥石流监测设备、监测杆塔、设备供电设施的接地进行检查，数据电缆防雷屏蔽效有无破损，接地连接是否可靠，接地电阻应不大于 5Ω 。

6.4.8 设备的防腐维护，应满足以下要求：

- 1 监测站设备要注意防止腐蚀物质的侵蚀，尽量远离腐蚀源。
- 2 设备机箱材料和设计要符合防腐蚀的指标，端口采用密封插件。
- 3 接线要有保护和密封措施，裸露的焊接点应采用套管密封或涂抹防腐密封脂。

6.4.9 监测网点安全防护，应满足以下要求：

- 1 监测网点设计、设备安装应注意防破坏，防止微、小动物侵入，人员非法进入等。应因地制宜，加强设备安全防护措施。

2 防止微、小动物侵入，站房、设备和机箱应做好密封，端口采用密封插件，无法做到密封时，要定期清扫，防止影响设备的正常工作。

3 防止人员非法进入，宜通过制作、悬挂警示标志，修建围栏以及雇佣当地居民进行看护等方式，监测站或设备机箱可设置防止非法进入功能，当检测到有非法进入时，可发出告警。

6.4.10 极端环境条件下长期运行的设备，应满足以下要求：

1 高温环境条件下运行的监测设备，应增加防止阳光直射装置，保持设备通风。

2 严寒天气条件下，可选用以下措施保证监测设备正常运行。

1) 选用工业级及以上防寒元器件组装设备。

2) 将设备安装在室内，保证室内温度适合设备运行条件。

3) 在设备关键部位增加发热装置，加强设备保温功能，使之局部温度达到设备运行温度条件。

7 预测、预警

7.1 一般规定

7.1.1 泥石流预测、预警应由专业人员通过监测，综合泥石流发生及运动过程中的多种信息所作出的判断。

7.1.2 专业预警人员应对每次预测信息进行检验，对泥石流预测的空间尺度、时间尺度和技术精度进行评价。

7.1.3 对于大型、风险较大、有一定技术条件的泥石流沟可推荐通过建立实时监测预警系统的方式进行综合、高效监测预警。

7.2 泥石流预测、预警实现的方式

7.2.1 泥石流预测的实现方式，应在分析流域背景条件和泥石流特征的基础上依据降雨监测或预测数据，选择合适的预测模型，判断出泥石流暴发的可能性较大时，可根据降水量、流域特征等计算泥石流峰值流量和径流量，并根据泥石流危险性分区图确定相应的危害范围，做出对泥石流发生与危害的提前判断。

7.2.2 泥石流预警应首先判断沟道是否具备泥石流发生的条件，可通过监测泥石流发生过程中地声、次声、泥位、流速、孔压、影像等信息，判断泥石流形成区是否具备启动条件，流通区是否已经出现泥石流发生各种现象，并确定泥石流的规模，对公路的危害程度，距危害对象的距离，综合计算泥石流危害公路设施的时间，提前对泥石流对公路的危害发出准确预警。

7.3 泥石流预测

7.3.1 泥石流预测宜基于降雨为 24 小时之内的泥石流激发降雨量的判断,预测的内容包括泥石流发生大致时间、地点、规模和危害范围。

7.3.2 泥石流预测应以泥石流发生的本底条件和诱发因素为基础。本底条件应包括:沟道固体物质贮量、稳定性、固体物质的组构和沟谷纵坡等,一般是在实地调查和监测资料分析的基础上,通过统计分析、类比分析、稳定性计算、泥石流发生历史分析等方法确定。诱发因素应包括:降雨量、降雨强度、沟道径流量等泥石流启动的临界条件,主要根据降雨监测资料,计算沟道汇流径流量,确定降雨启动泥石流的阈值,以此作为降雨预测泥石流的基础。

7.3.2 泥石流预测可采用降雨量预测法,主要预测模型中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所模型(简称山地所模型),中铁西南科学研究院模型(简称西南铁科院模型)。有本规程推荐选用山地所模型。

条文说明

1、常用的泥石流降雨阈值的确定方法

①泥石流灾害实地调查法:对泥石流灾害做详细的实地地质、地貌、灾情调查,结合降雨监测的大量资料,进行统计分析,确定临界雨量。

②泥石流与暴雨等值线关系分析法:根据监测资料编制的暴雨等值线,找出泥石流所在区域内等值线均值,作为该区临界雨量的初选值,再用典型泥石流实地地质、地貌调查的暴雨均值进行检验修订,而前期降雨量与固体物质含水量、蒸发作用等影响因素,应根据实际资料修正,确定最终临界雨量。

③直接降雨量监测法:设置降雨量监测点网,监测泥石流活动时的降雨情况,根据适当模型,确定泥石流发生的临界雨量。

2、山地所泥石流预测模型

①泥石流预测模型表达式。山地所泥石流预测模型可用于全国范围内降雨型单沟泥石流的预测。

$$R_{10} \geq A - \frac{A}{P^*} \left(\sum_{i=1}^{20} R_i K^i + R_l \right) \geq C \quad (7.1)$$

式中 R10—激发泥石流所需的 10 min 雨量；

A—没有前期降水量土壤干燥条件下激发泥石流所需的 10 min 降雨量(临界雨量)；

P*—补给物质达到饱和时所需的雨量；

C—前期降雨量使补给物质达到饱和时泥石流暴发所需 10 min 雨量；

Rt—泥石流发生时刻前的当日降雨；

Ri—泥石流发生前 i 天降雨量；

K—递减系数

$$\sum_{i=1}^{20} R_i K^i$$

—泥石流发生前 20 天内的有效降雨，i=1, 2...20,

②泥石流发生前 20 天各天雨量、泥石流发生时刻当日降雨量 Rt 通过降雨监测获得；土壤干燥条件下激发泥石流所需的 10 min 降雨量 A 和前期降雨量使补给物质达到饱和时泥石流暴发所需 10 min 雨量 C 通过历史泥石流活动的实际监测获得；前期降雨量使补给物质达到饱和时的前期雨量 P*通过实际监测或实验的方法获取；递减系数宜根据实际降雨监测和实验数据取值，一般为 0.5~0.9，也可根据当地干燥度参考表 7-1 确定。

表 7-1 递减系数 K 值

干燥度	区域特征	K 值
≤1	湿润区	≥0.9
1~1.5	半湿润区	0.8~0.9
1.5~3.5	半干旱地区	0.7~0.8
>4	干旱地区	<0.7

③根据公式确定出所预测流域的泥石流预测参数，当监测到 10 min 降水量达到 C 时开始进行预测计算，并将计算值与监测到的 R10 进行比较。根据比较结果得到不同级别的预测信息，具体内容如表 7-1。

表 7-2 预测阈值

预测等级	判断标准	应对措施
绿色	监测到的 10 min 降雨小于计算阈值的 85%	不预测
黄色	监测到的 10 min 降雨大于计算阈值的 85%但小于计算阈值	发布黄色预测信息，继续监测降水，并开始警报监测
橙色	监测到的 10 min 降雨大于计算阈值但小于计算阈值的 120%	发布橙色预测信息，加强降水监测和报警监测
红色	监测到的 10 min 降雨大于计算阈值的 120%	发布红色预测信息，通知下游危险区群众应急逃生

2、西南铁科院泥石流预测模型

①泥石流预测模型表达式

西南铁科院泥石流预测模型可用于单沟或区域降雨型泥石流预测,预测模型表达式为:

$$R = K \left(\frac{H_{24}}{H_{24(D)}} + \frac{H_1}{H_{1(D)}} + \frac{H_{1/6}}{H_{1/6(D)}} \right) \quad (7.2)$$

式中 R —降雨强度指标;

K —前期降雨量修正系数,无前期降雨时 $K=1$,有前期降雨时 $K>1$,但目前尚无可信成果可供使用,现阶段可暂时假定 $K=1.1\sim 1.2$;

H_{24} —24 h 降雨量 (mm) ;

$H_{24(D)}$ —该地区可能发生泥石流的 24 h 临界雨量 (mm) ;

H_1 —1 h 降雨量 (mm) ;

$H_{1(D)}$ —该地区可能发生泥石流的 1 h 临界雨量 (mm) ;

$H_{1/6}$ —10 min 降雨量 (mm) ;

$H_{1/6(D)}$ —该地区可能发生泥石流的 10 min 临界雨量 (mm) ;

预测模型降雨量为监测值,国内各地区泥石流启动临界雨量可参考表 7-3。

表 7-3 国内泥石流启动 $H_{24(D)}$ 、 $H_{1(D)}$ 、 $H_{1/6(D)}$ 临界雨量

年均降雨分区	$H_{24(D)}$	$H_{1(D)}$	$H_{1/6(D)}$	适用地区
≥ 1200	100	40	12	浙江、福建、广东、广西、江西、湖南、湖北、安徽、京郊、辽东及云南西部等省山区
$[1200,800)$	60	20	10	四川、贵州、云南东部和中部、陕西、山西、内蒙、吉林、辽西、冀北等省山区
$[800,500)$	30	15	6	陕西、甘肃、内蒙、宁夏、山西、四川部分等省山区
≤ 500	25	15	5	青海、新疆、西藏,甘肃、宁夏黄河以西地区

②根据气象预测或实际监测的 H_{24} 、 H_1 和 $H_{1/6}$ 降雨量,用式 (F.2.1) 和表 F.2.1 计算出 R 值,做出预测, $R < 3.1$ 为安全雨情,不预测; R 为 $3.1 \sim 4.2$ 时,发出黄色预测, R 为 $4.2 \sim 10$ 时发出橙色预测, $R > 10$ 时且监测 10 min 雨量达到临界雨量时发出红色预测。

7.4 泥石流监测预警

7.4.1 依据泥石流预警判据模型预警应包括：根据泥石流发生与启动相似性原则，选取相同地貌、地质、沟道条件下降雨多次发生泥石流的降雨量，建立泥石流启动与不同时段临界降雨量关系的线性方程，得出泥石流预警判据，实现泥石流预警。

7.4.2 泥石流启动与运动特征监测预警应包括下列主要内容：

1 研究相同形成条件泥石流发生规律与特点，建立泥石流启动和运动特征值，通过对泥石流启动条件和运动特点的监测，实现泥石流预警。

2 常用的泥石流启动条件有：降雨阈值，堆积体中孔隙水压力等。泥石流运动现象有：地声、次声、泥位、流速等。

3 当确认沟道上游出现泥石流发生特征值时，根据泥石流距危害对象的距离，综合计算泥石流危害公路设施的时间，提前对泥石流对公路的危害发出准确预警。

条文说明

1、泥石流预警判据模型

①泥石流预警判据模型可用于区域泥石流的预测。

②根据泥石流发生与启动相似性原则，依据降雨诱发 5 次以上的泥石流事件，选定泥石流暴发前 1 日、2 日、4 日、7 日、10 日和 15 日过程降雨量等 6 个数据，制作泥石流与不同时段临界降雨量关系散点图，将其上、下界所在的点挑选出来做回归分析，得出的线性方程就是泥石流预警判据(图 7-1)。

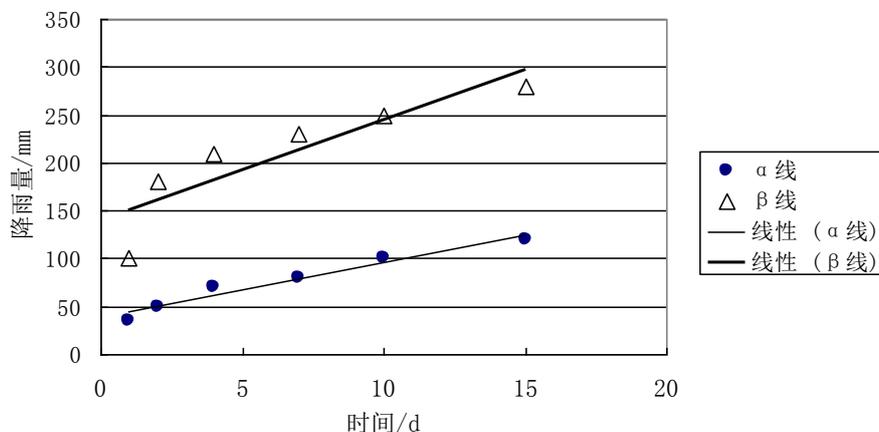


图 7-1 泥石流降雨预警判据图

图中横轴是时间(1~15日),纵轴是相应的过程降雨量(mm)。规定 α 线和 β 线为2条泥石流发生的临界降雨量线。 α 线以下的为不预测区, α ~ β 线之间的为泥石流黄色预测区, β 线以上为橙色预测区。

③选择气象部门的降雨预测信息进行泥石流发生预警,可根据未来24h降雨预测数据,对比区域内泥石流预警判据模型,判断24h内泥石流发生的可能性,实现泥石流预警。

2、泥石流流速与预警的时间提前量计算

$$t=L/V \quad (7.3)$$

式中: t —泥石流警报的时间提前量 (s)

L —泥石流监测断面的下断面到承灾体的距离 (m)

V —监测断面监测到的泥石流流速 (m/s)

征求意见稿

8 数据处理与报告

8.1 一般规定

8.1.1 泥石流监测资料整理应包括：对各种监测数据进行综合整理归纳和分析、研究，找出它们之间的内在联系和规律性，及其与自然条件、地质环境和各种因素之间的关系，对泥石流的发生可能性和对公路构筑物的危害性做出正确的评价，对其变形破坏和活动做出正确的预警报。

8.1.2 数据处理的基本类型应包括背景数据（泥石流发育的背景条件数据、发育过程、活动性评价和危险性分区）、监测数据（降雨监测和泥石流、滑坡活动或变形特征参数监测）、预警数据 3 类。

8.1.3 数据处理的前提是数据采集，应符合下列规定：

1 监测数据为人工记录的，应按监测任务书和相关规范要求的时间间隔和操作方法进行采集并记录在表格中；

2 监测数据为自动记录在记录纸上的，应及时更换记录纸并在换下来的记录纸上注明采集时间、位置等信息并归类收集；

3 监测数据为自动记录到仪器内存的，应按数据特征和仪器内存大小及时在现场收取数据，并标明收取时间、数据记录时段、数据类型等信息；

4 自动记录并通过传输网络将数据输送到控制中心的，应在线实时收取和保存监测数据；

5 数据采集时应进行错误校正和误差消除。人工记录时应详细检查数据，校正明显的错误，或对有问题的数据重新量测；仪器记录和传输的数据应检查时钟同步、系统误差；也可进行异常值检验，计算数据的直方图，如果有大于 0.5% 的数值偏高或偏低，应重新检查数据。

8.1.4 原始资料、监测记录应按规定格式整理成表格或文本，并应符合下列规定：

- 1 人工记录的原始监测数据，应计算出有关参数，并将其他相关资料如日期、监测点号、仪器编号、深度、气温等，以表格或其他形式记录下来，进行统一编号、建卡、归类和建档；
- 2 自动记录在记录纸上的数据，应及时检查并归类、建档；
- 3 全自动记录的数据，应及时进行数据拷贝，并编号存档。

8.1.5 监测数据的处理应符合下列规定：

1 根据预警站点、资料类别建立相应的数据库。包括泥石流、滑坡发育背景条件数据库、历史资料数据库、监测数据库及预测警报数据库等，按预警站点分别归档，按规定的时间间隔（日、月、年）装订、存储。同时建立资料内容说明和索引，在装订封面或存储文件夹名中标明；

2 建立数据分析处理系统。对各种监测数据，应采用相应的地理信息系统、数据处理方法和程序软件包进行分析处理，整理出预测警报系统所需的数据类型。

8.1.6 所有原始资料、监测记录和数据分析处理成果应整理为电子文档，并及时备份。

8.2 资料整理

8.2.1 监测资料应及时分类整理、建档，并对数据质量进行复核和异常值处理。

8.2.2 泥石流的降雨监测数据整理应符合以下规定：

- 1 简易监测的雨量器、虹吸式自记雨量计的监测数据应按 SL21—90 进行整理，数据记录格式可按表 8-1，并每日定时上报数据中心；
- 2 实时传输到数据中心的雨量数据，时间精确到秒，降水量精确到毫米。数据中心收到数据后实时进行运算，并同时 will 数据保存于计算机中；

3 降雨数据应定期进行统计，形成报表。

8.2.3 泥石流泥位、流速、流量监测数据整理应符合以下规定：

1 简易泥位监测人工读取的数据，时间精确到分钟，泥位精确到厘米，并填写监测地点、监测断面的名称或编号，按表 8-2 格式记录；

2 实时传输的自动泥位监测数据，时间精确到秒，泥位精确到厘米。

3 泥石流流速监测数据应与泥位监测数据相对应，整理数据并保存原始数据。

8.2.4 沟道地形或断面的测量数据，可参照 SL257-2000 进行整理和存储，并注明测量日期及位置。

8.2.5 地声、次声等数据应使用专业泥石流监测仪器采集，数据存储与计算判断内置于监测仪器内。

8.2.6 录像资料应将原始资料导出或转换为 avi、mpg、rm 等通用视频格式，分辨率不宜低于 720P。题头应有监测点名称、监测位置、录像起止时间，整理管理人等信息，并按监测点、时间等进行编号存储。刻录成光盘时，应在光盘上贴有上述信息的标签。

8.2.7 根据监测成果得出预警结论时，应填写“泥石流预警建议分析表”，内容包括预警依据的数据来源、预警方法和预警结果。其格式可参见表 8-3。

8.2.8 泥石流样品的重度、颗粒级配数据应按表 8-4 的格式整理，颗粒级配可按图 8-1 绘制曲线图。

条文说明

1、降雨监测数据整理

表 8-1 降雨监测表

泥石流沟：_____省_____市_____县_____乡_____村_____沟
 监测点名称或编号：_____ 监测人（签名）：_____

监测时间			监测到的雨量 (mm)
年	月	日	

2、泥石流泥位、流速、流量监测数据整理

表 8-2 泥石流泥位、流速、流量监测表

泥石流沟：_____省_____市_____县_____乡_____村_____沟
 监测断面名称或编号：_____ 监测人（签名）：_____

监测时间		泥位 (m)	流速 (m/s)	流量 (m ³ /s)	重度 (kN/m ³)
年月日	时分秒				

3、泥石流预警分析建议

表 8-3 泥石流预警分析建议表

_____省_____市_____县_____乡_____村_____沟

预警建议	预警时间	预警级别	危害范围	数据来源	预警方法	改进建议
实际情况	到达时间	泥石流规模	危害范围	预警准确程度描述	原因分析	

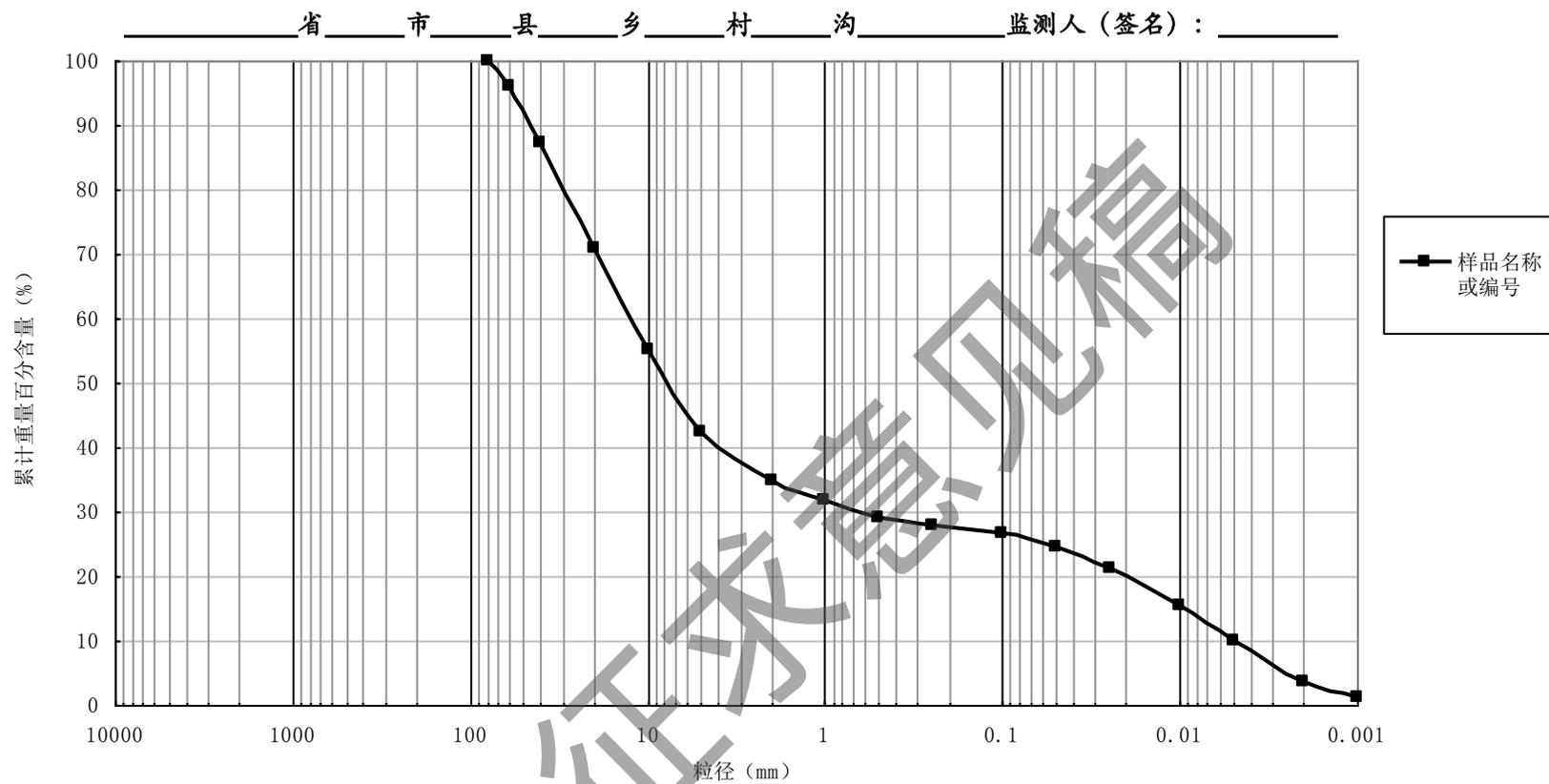


图 8-1 泥石流样品颗粒级配曲线图

8.3 数据处理

8.3.1 应建立监测数据库，并根据监测资料类别分别建立相应的监测数据库。

8.3.2 应建立资料分析处理系统，并根据所采用的监测方法和所取得的监测数据，应用相应的地理信息系统、数据处理方法和程序软件包，对监测资料进行分析处理。一般包括泥石流流速、流量、规模计算等，进行监测曲线拟合、平滑和滤波，绘制变形时程曲线，运动时程曲线、降雨过程曲线等并进行时序和相关分析。

8.3.3 监测数据的处理应符合下列规定：

1 根据预警站点、资料类别建立相应的数据库。包括泥石流、滑坡发育背景条件数据库、历史资料数据库、监测数据库及预测警报数据库等，按预警站点分别归档，按规定的时间间隔（日、月、年）装订、存储。同时建立资料内容说明和索引，在装订封面或存储文件夹名中标明。

2 建立数据分析处理系统。对各种监测数据，应采用相应的地理信息系统、数据处理方法和程序软件包进行分析处理，整理出预测警报系统所需的数据类型；

3 所有原始资料、监测记录和数据分析处理成果应整理为电子文档，并及时备份。

4 监测数据的处理与信息反馈宜利用专门的工程监测数据处理与信息管理系统软件，实现数据采集、处理、分析、咨询和管理的一体化以及监测成果的可视化。

8.3.4 泥石流降雨监测数据处理应符合下列规定：

1 简易监测的雨量器、虹吸式自记雨量计的监测数据应按《降雨量观测规范》（SL21-2015）进行整理，数据记录可按附录 H 格式记录；

2 实时传输到数据中心的雨量数据，时间精确到秒，降水量精确到毫米。监测系统对收到的数据实时计算降雨过程的 10min、1h、24h 降雨强度，编制降雨历时曲线图；

3 降雨数据应定期进行统计，形成报表。

8.3.5 泥石流含水率监测数据处理应符合下列规定：

1 含水率可根据下式计算：

$$W = \theta / \rho_0 \quad (8-1)$$

式中：

W——土体质量含水率（%）；

θ ——土体质量含水率（%）；

ρ_0 ——土体干容重（t/m³）。

2 土体饱和度 Sr 可按下式计算

$$Sr = \theta(1+1/e) \quad (8-2)$$

式中：

Sr——土体饱和度；

e——土体孔隙比。

3 绘制历时降雨量与土体含水率、饱和度关系曲线，累计降雨量与土体含水率、饱和度关系曲线，确定土体含水率、饱和度最大值；

4 绘制降雨借宿后不同深度层位的土体含水率随时间变化曲线图，划定土体含水率恢复的时间范围。

8.3.6 泥石流泥位、流速、流量监测数据处理应符合下列规定：

1 简易泥位监测人工读取的数据，时间精确到分钟，泥位精确到厘米，并填写监测地点、监测断面的名称或编号，数据记录可按附录 H 格式记录；

2 实时传输的自动泥位监测数据，时间精确到秒，泥位精确到厘米，应根据监测数据和断面尺寸，绘制泥位与监测断面面积的关系曲线。

3 泥石流流速监测数据应与泥位监测数据相对应，整理数据并保存原始数据。

4 根据泥石流泥位、流速监测资料，泥石流流量可参照下式计算：

$$Q_c = W_c \times V_c \quad (8-3)$$

$$W_c = D \times H \quad (8-4)$$

式中：

Q_c ——泥石流流量（ m^3/s ）；

W_c ——泥石流监测断面面积（ m^2 ）；

V_c ——泥石流流速（ m/s ）；

D ——监测断面宽度；

H ——监测泥位。

8.3.7 沟道地形或断面的测量数据，可参照《水道观测规范》（SL 257-2017）进行整理和存储，并注明测量日期及位置。

8.3.8 地声、次声等监测资料整理应符合下列要求：

- 1 编制地声、次声历史曲线图，统计天、月、季度、年的地声、次声强度极值、平均值及沟域噪声背景值；
- 2 当监测到的地声、次声强度高于泥石流沟域噪声背景值，且稳定时间超过 30s 时，应迅速对监测数据进行核实、审查。

8.3.9 遥感解译应包含下列内容：

- 1 泥石流流域的边界、面积、主沟长度、主沟纵坡降、山坡坡度等；
- 2 物源区的水体分布、集水面积、地形坡度、岩层性质，区内植被覆盖程度、植被类别及分布状况，断裂、滑坡、崩塌、松散堆积物等不良地质现象，可能形成泥石流固体物质的分布范围；
- 3 流通区沟床的纵横坡比、冲淤变化、泥石流痕迹，阻塞地段堆积类型，以及跌水、急弯、卡口等情况；
- 4 堆积区堆积物的分布范围、性质、堆积面积、堆积扇坡降、土地覆盖等。

8.3.10 录像资料应将原始资料导出或转换为 avi、mpg、rm 等通用视频格式，分辨率不宜低于 720P。题头应有监测点名称、监测位置、录像起止时间，整理管理人等信息，并按监测点、时间等进行编号存储。刻录成光盘时，应在光盘上贴有上述信息的标签。

8.4 信息反馈

8.4.1 公路泥石流监测报告宜以月报、季报、总结报告等形式进行编制。

1 监测月报以月为单位按书面报告形式向相关单位汇报灾害体在监测期间的气候水文情况、灾害体外部表征、监测数据变化曲线、阶段性结论及建议等；

2 监测季报以季为单位进行汇报，汇报内容形式与监测月报基本相同；

3 监测总结报告，在无特殊要求下，以年为单位按书面报告形式向相关单位汇报灾害体在监测期间的气候水文变化规律、灾害体外部表征规律、监测数据变化规律、总结性结论及建议等。

8.4.2 预警报告是在监测期间，当灾害体的外部表征达到预警条件或是监测数据达到预警值时，监测单位应立即将监测结果以书面报告形式报送给相关单位，报送期限宜在 1 个工作日内。

8.4.3 报告编制应符合下列规定：

1 公路泥石流监测报告以月报、季报、总结报告等形式进行编制。

1) 监测月报以月为单位按书面报告形式向相关单位汇报灾害体在监测期间的气候水文情况、灾害体外部表征、监测数据变化曲线、阶段性结论及建议等；

2) 监测季报以季为单位进行汇报，汇报内容形式与监测月报基本相同；

3) 监测总结报告，在无特殊要求下，以年为单位按书面报告形式向相关单位汇报灾害体在监测期间的气候水文变化规律、灾害体外部表征规律、监测数据变化规律、总结性结论及建议等。

2 预警报告是在监测期间，当灾害体的外部表征达到预警条件或是监测数据达到预警值时，监测单位应立即将监测结果以书面报告形式报送给相关单位，报送期限宜在 1 个工作日内。

3 监测日报、周报、月报、季报和年报应按规定的格式和内容，及时向相关单位报送。

条文说明

公路泥石流监测数据分析报告提纲

1 前言

- 1.1 任务来源与目的
- 1.2 公路与泥石流概况
- 1.3 监测依据
- 1.4 监测工作流程与工作量
- 1.5 监测等级的确定

2 地质环境条件

- 2.1 地貌
- 2.2 气象水文
- 2.3 地质
- 2.4 人类工程活动及其影响

3 监测点方案

- 3.1 监测内容
- 3.2 监测方法与设备安装
- 3.3 监测点的布置
- 3.4 监测数据收集与处理

4 监测结果

5 预测预警

6 结论及建议

7 附图表

- 7.1 监测布置图
- 7.2 灾害现状图
- 7.3 监测结果图
- 7.4 监测结果表

附录 A 基础施工设计

A.01 松散土层基础施工设计

对于松散土层而言，开挖方式为人工开挖，尺寸不小于 $500 \times 500 \times 600\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 深），基底处理方式为人夯实，浇筑混凝土强度不低于 C25，浇筑后的基座顶部应保持水平，混凝土养护期满后方可进行仪器安装（图 A.01）。

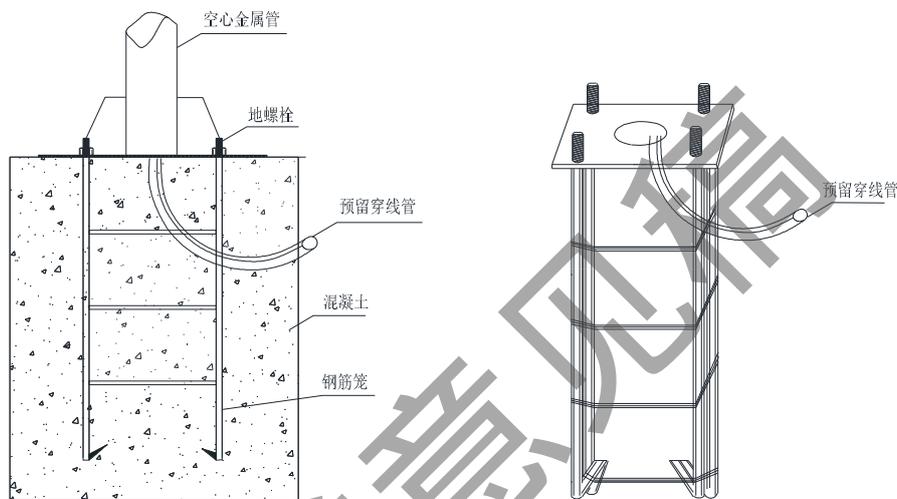


图 A.01 松散土层基础施工示意图

A.02 基岩地层基础施工设计

对于基岩地层而言，基础施工可以采用岩石凿孔下方钢筋的方式进行基础建设，岩石凿孔深度不少于 500mm ，下钢筋后用 C30 混凝土浇筑凿孔和钢筋，在露出地面后浇筑一个 100mm 高方平台，顶部保持水平，混凝土养护期满后方可进行仪器安装（图 A.02）。

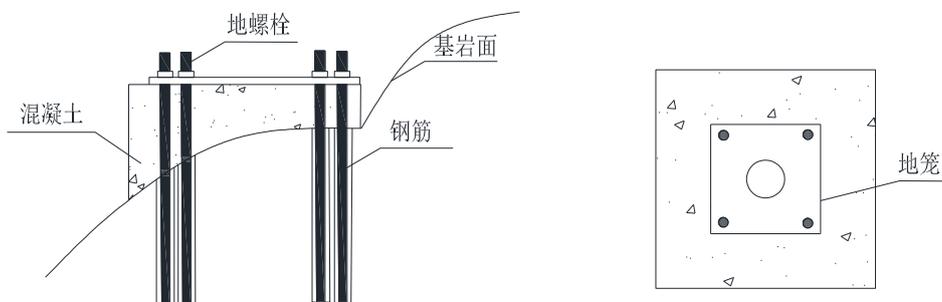


图 A.01 基岩地层基础施工示意图

附录 B 监测设备安装设计

B.01 雨量监测站安装设计

雨量监测站以远程测控终端（RTU）为核心，辅以（翻斗式）雨量传感器、温度传感器、通信终端、供电系统、避雷系统以及安装支架等，实现泥石流沟中上游地区雨情信息的自动采集和传输（图 B.01）。

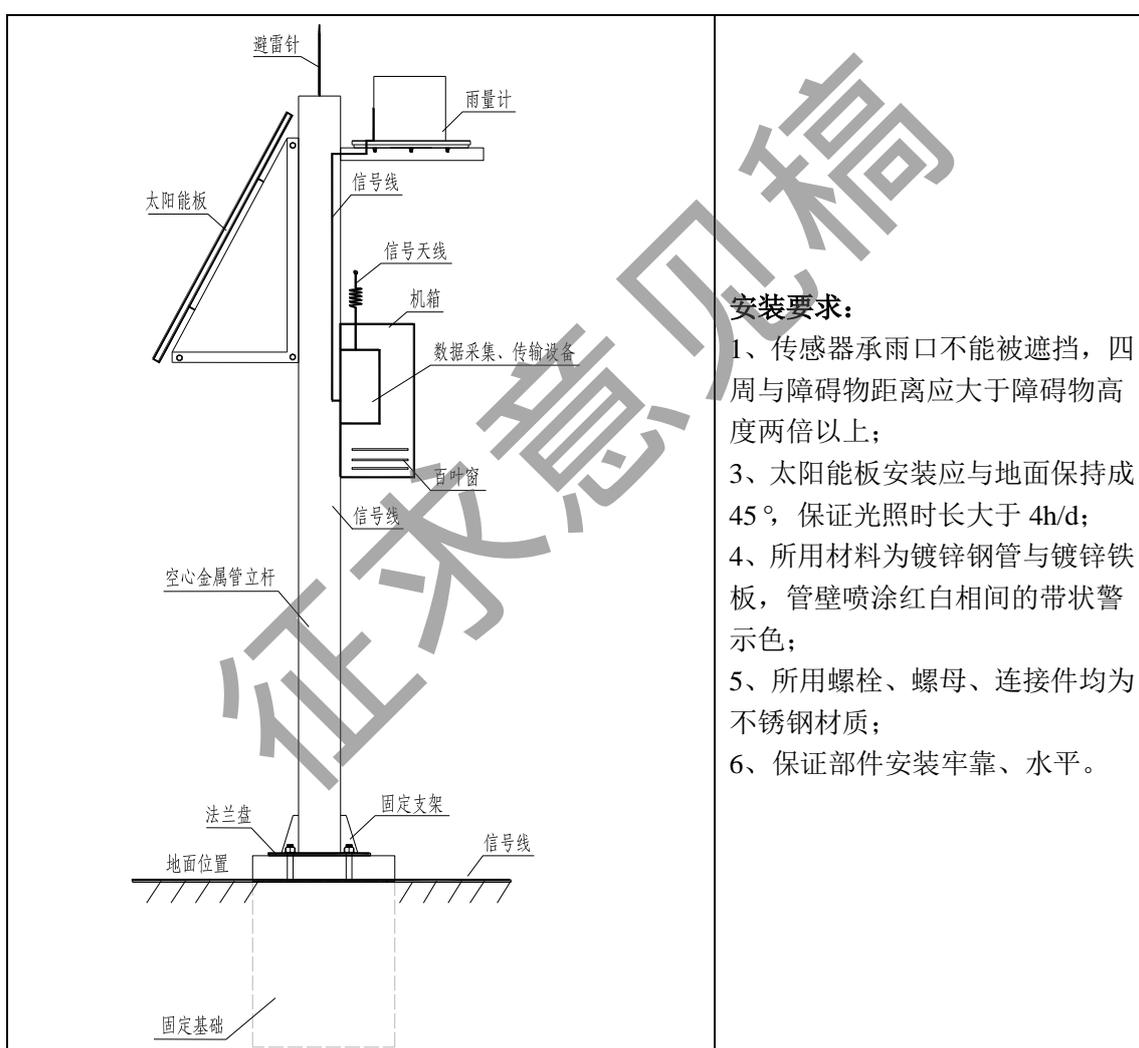


图 B.01 自动雨量监测站结构示意图

B.02 土体含水率监测站安装设计

在需要监测的土壤中埋设土壤水分传感器，对土壤含水量进行实时监测，进而判断山坡土体失稳破坏启动的可能性。土体含水率自动监测站以远程测控终端

(RTU) 为核心, 辅以含水率传感器、通信终端、供电系统、避雷系统以及安装支架等, 实现泥石流沟物源区含水率等数据的自动采集和传输 (图 B.02)。

安装传感器前, 先在土体上选好点, 做水泥基础, 在水泥基础旁边 50 公分左右的地方挖一个深 1.5 米、宽 60 公分的坑, 用于埋设传感器。

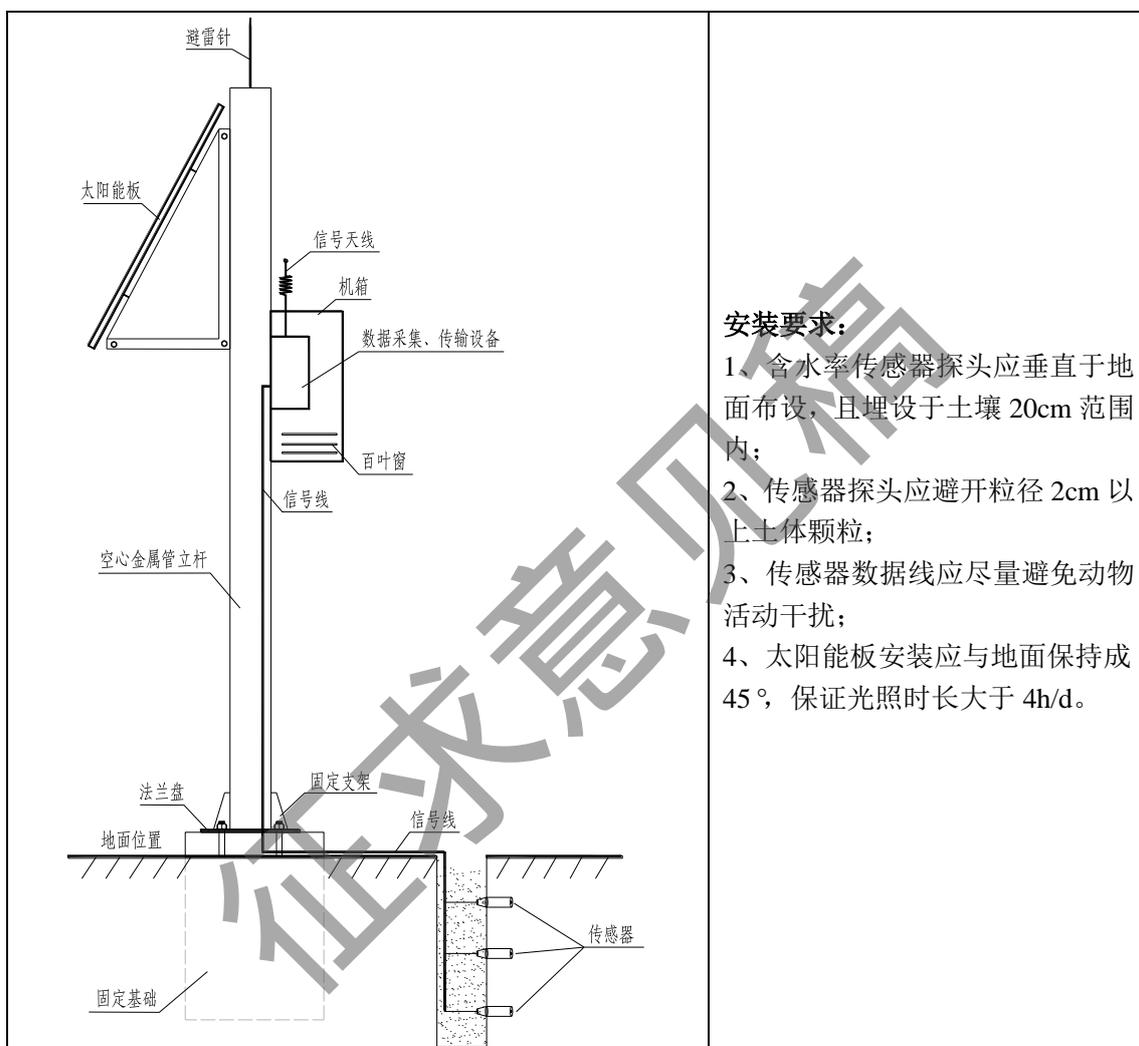


图 B.02 土体含水率监测站结构示意图

B.03 GNSS 地表位移监测站安装设计

采用 GNSS 自动化监测方式对表面位移进行实时自动化监测, 其工作原理为: 各 GNSS 监测点与参考点接收机实时接收 GNSS 信号, 并通过数据通讯网络实时发送到控制中心, 控制中心服务器 GNSS 数据处理软件 HCMonitor 实时差分算出各监测点三维坐标, 数据分析软件获取各监测点实时三维坐标, 并与初始坐标进行对比而获得该监测点变化量, 同时分析软件根据事先设定的预警值

而进行报警。形变监测系统现场施工分为：基墩及基础施工、设备安装。其中基墩共分为三种类型：基岩型、土层型和屋顶型，均用钢筋混凝土现场灌制，必须在选点的点位上埋设（图 B.03）。

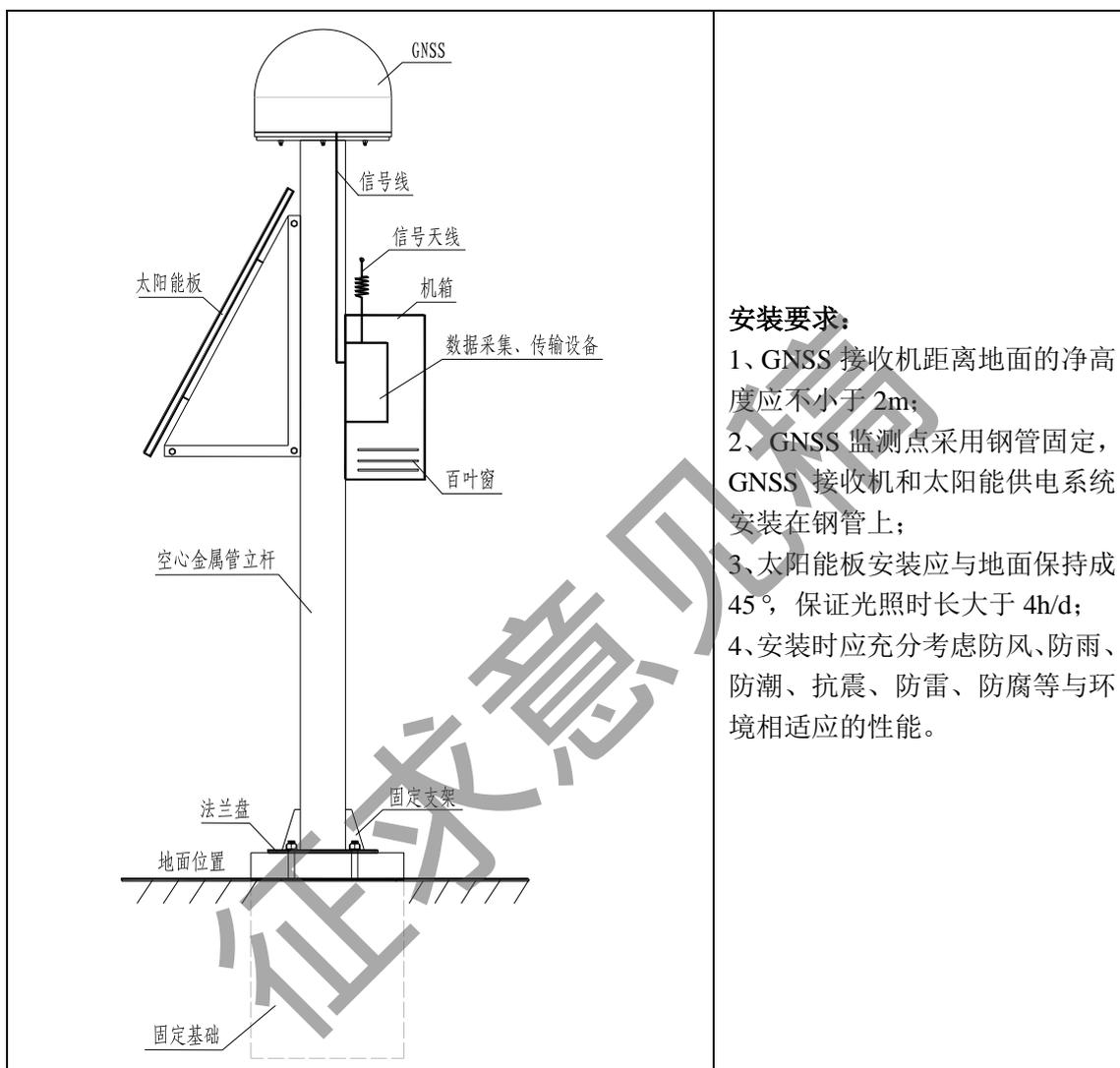


图 B.03 土体含水率监测站结构示意图

B.04 泥水位监测站安装设计

泥水位监测站主要功能是监测泥石流爆发时泥位的高低，通过泥位和流量关系判断泥石流的规模大小。多选用一体化结构，精确实时采集泥石流堆积物的物位变化；以远程测控终端（RTU）为核心，使用 GPRS/CDMA/SMS /北斗卫星等通讯方式进行数据传输，可通过本地或远程读取监测站存储的数据，支持远程管理、命令下发等功能。监测站由太阳能电池板、遥测终端机、泥位计、防护箱及一体化安装支架组成。泥位计由于采用非接触的测量，被测介质几乎不受限制，

可广泛用于各种液体和固体物料高度的测量。提供多种电源管理模式，可实现低功耗工作模式下的双向通信（图 B.04）。

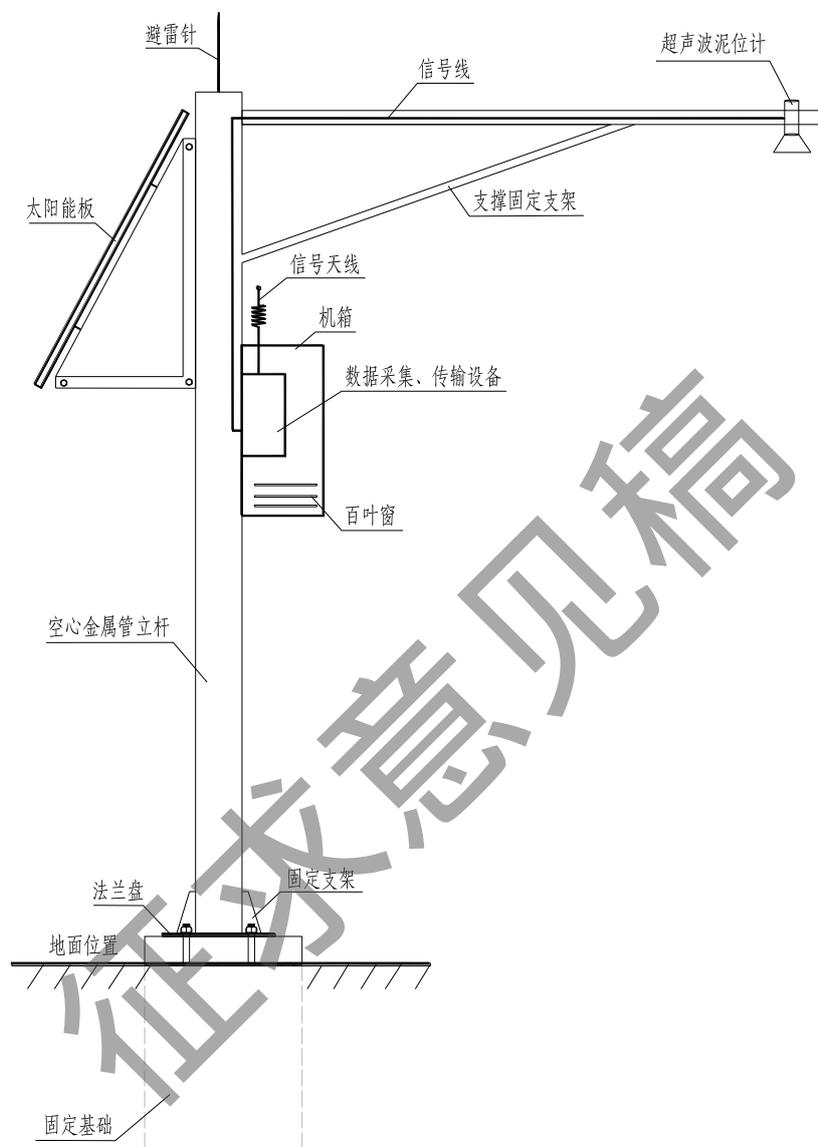


图 B.04 泥水位监测站结构示意图

安装要求：

- 1、塔杆抗风强度应大于 10 级，塔杆顶端须安装避雷针，接地电阻 $<10\Omega$ ；
- 2、遥测天线安装在避雷针 45°角保护范围内；
- 3、天线下缘到被测介质表面之间及发射微波波束所辐射的区域内不得有障碍物；
- 4、遥测设备安装于预制机柜内，接地线应焊接良好；

- 5、太阳能板安装应与地面保持 45° ，保证光照时长大于 4h/d ；
- 6、传感器的轴线尽量垂直于水表面，避免在信号发射角度内存在其他障碍物；避免附近存在其他超声波干扰源；
- 7、安装时应充分考虑防风、防雨、防潮、抗震、防雷、防腐等与环境相适应的性能。

B.05 接触式断线报警器安装设计

地表设备安装包括各类地表传感器、供电模组、防雷模组、数据通讯模组等，安装结构示意图见图 B.05。

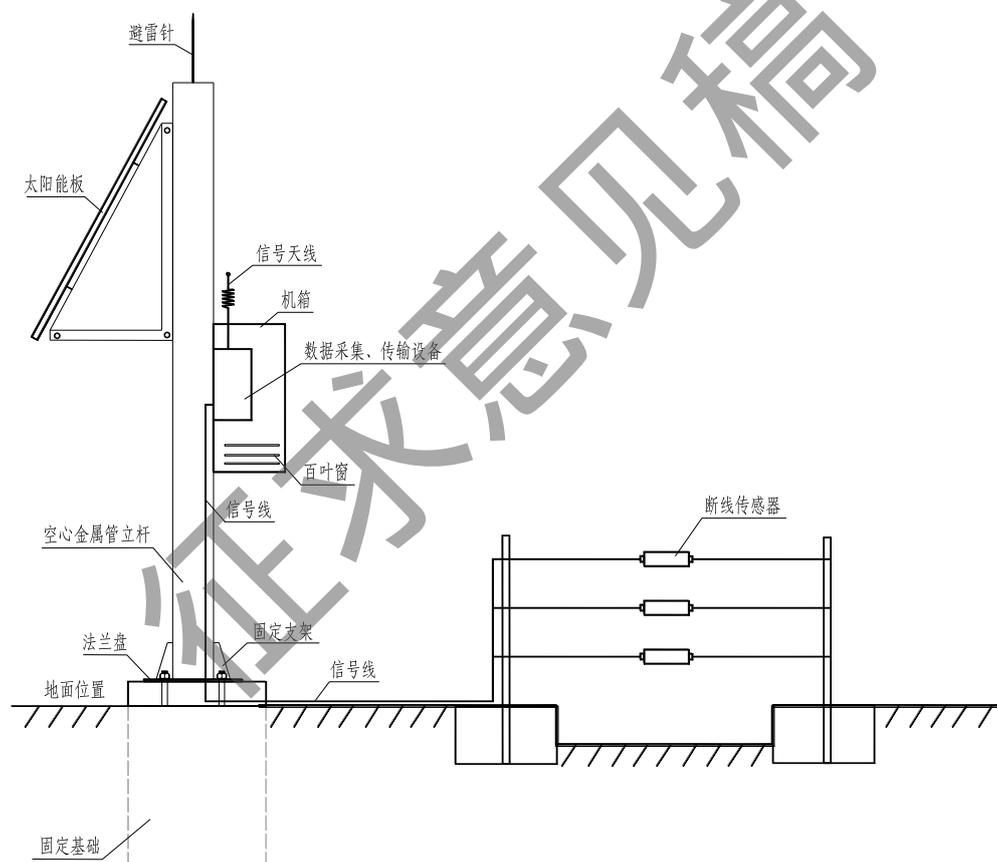


图 B.05 断线报警器监测站结构示意图

安装要求：

- 1、断线传感器布置于避免动物活动干扰位置；
- 2、太阳能板安装应与地面保持成 45° ，保证光照时长大于 4h/d ；
- 3、安装时应充分考虑防风、防雨、防潮、抗震、防雷、防腐等与环境相适

应的性能。

B.06 泥石流地声监测站安装设计

地声监测系统通过捕捉泥石流地声（振动）信号，进行实时监测并即时预警，主要由地声传感器、数据采集与传输装置、太阳能电池板、蓄电池、太阳能充电控制器、保护箱、避雷系统、一体化安装支架等组成（图 B.06）。

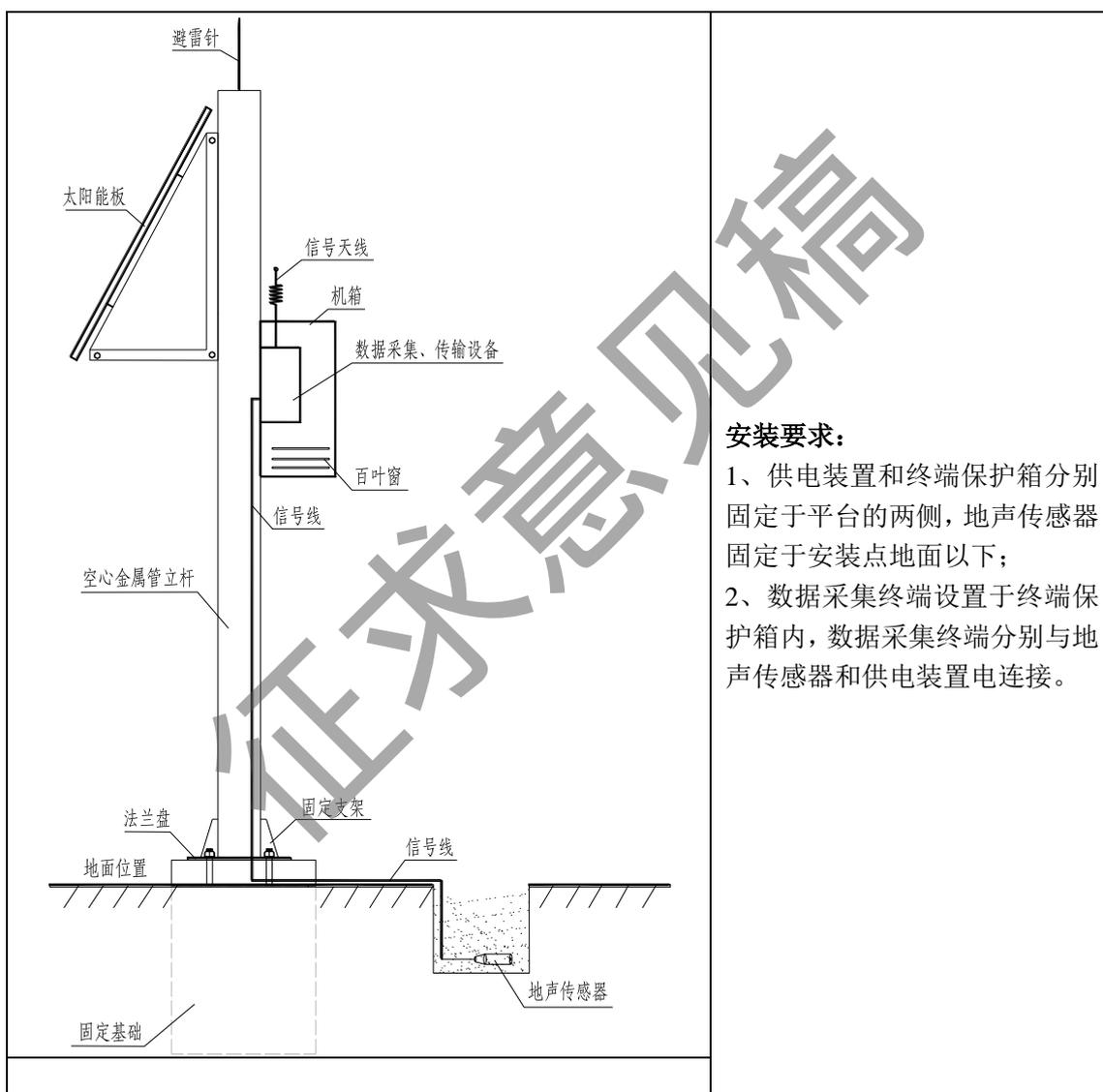


图 B.06 土体含水率监测站结构示意图

B.07 泥石流次声监测站安装设计

次声监测系统应具有次声数据智能采集、长期固态存储和远距离传输功能，监测站由次声传感器、太阳能电池板、内置电池、遥测终端机、防护箱及一体化

安装支架组成，提供多种电源管理模式，可实现低功耗工作模式下的双向通信，安装结构示意图见图 B.07。

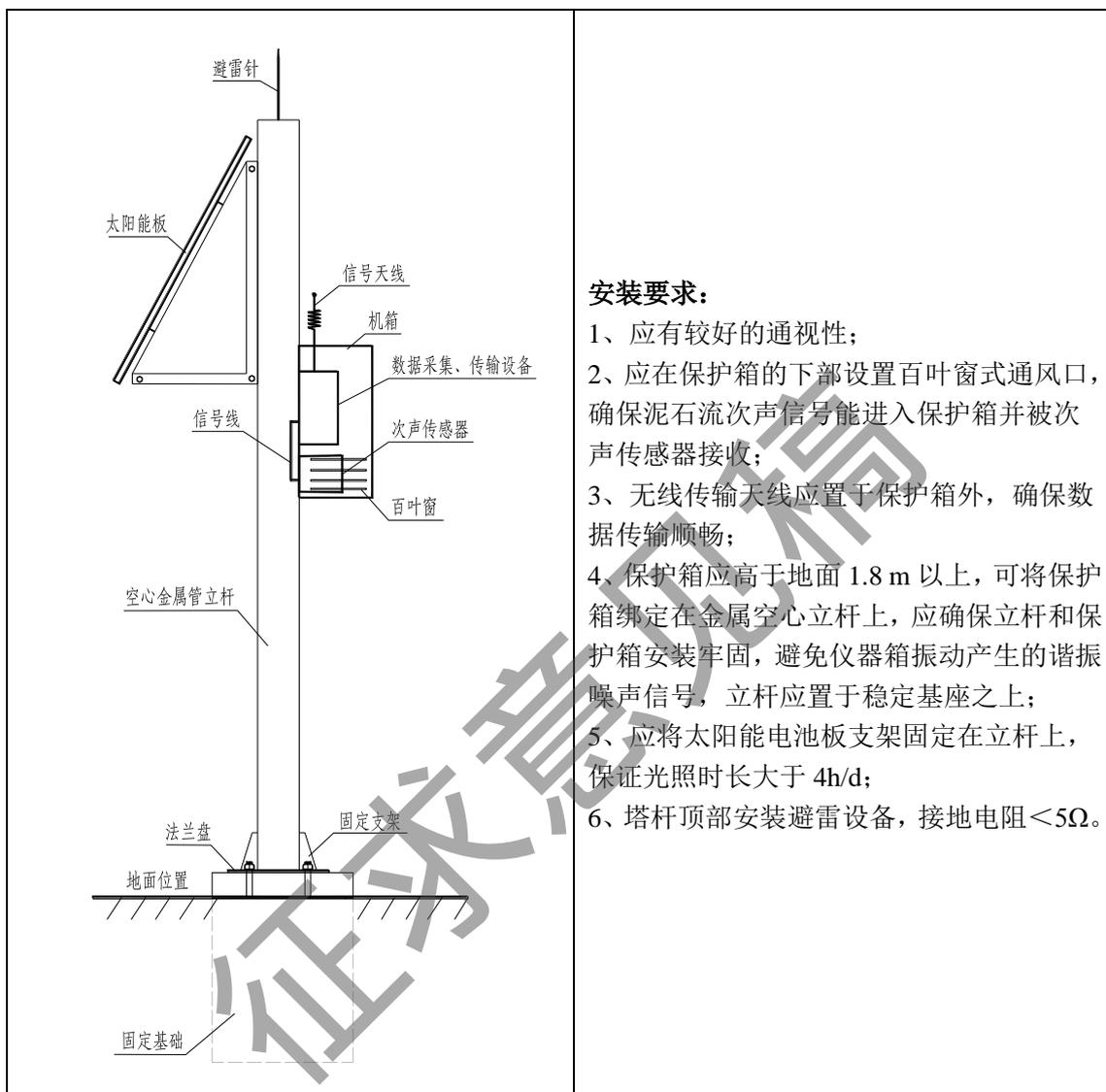


图 B.07 次声监测站结构示意图

B.08 视频监控站安装设计

视频监控主要通过现场实时影像来直观、准确和及时反馈泥石流发生情况，视频监测系统包括前端数据采集、数据通信和后端监控中心 3 个部分，其中前端数据采集、数据通信为自动视频监控站的组成部分。前端数据采集通过摄像头进行视频图像获取，然后通过视频服务器对视频数据进行采集存储，通过无线或有线等数据通信方式，将视频数据传输至后端监控中心，后端监控中心则对传输过

来的视频图像进行显示并远程存储，安装结构示意图见图 B.08。

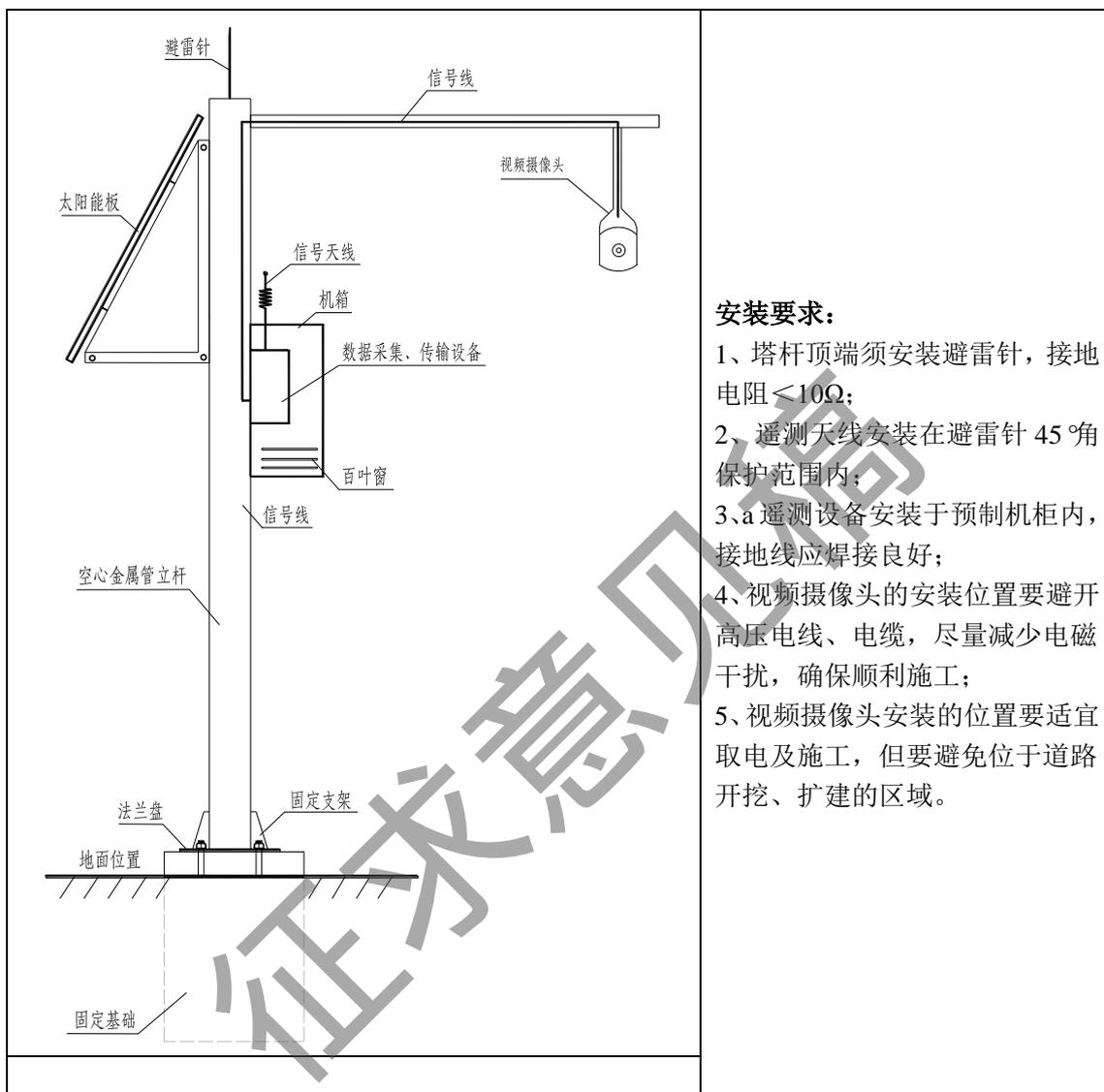


图 B.08 视频监控站结构示意图

B.09 倾角监测站安装设计

倾角监测站点安装结构示意图见图 B.09。

安装要求：

- 1、在建（构）筑物上设点时，应设置稳定的基准板，基准板可水平安装也可垂直安装，用水泥砂浆或树脂胶等粘结材料将基准板固定在建（构）筑物表面；
- 2、固定时中心应对准安置平面或基准板中心，两条轴线方向应与安置平面或基准板上的两条刻划线方向一致；

3、安装时应充分考虑防风、防雨、防潮、抗震、防雷、防腐等与环境相适应的性能。

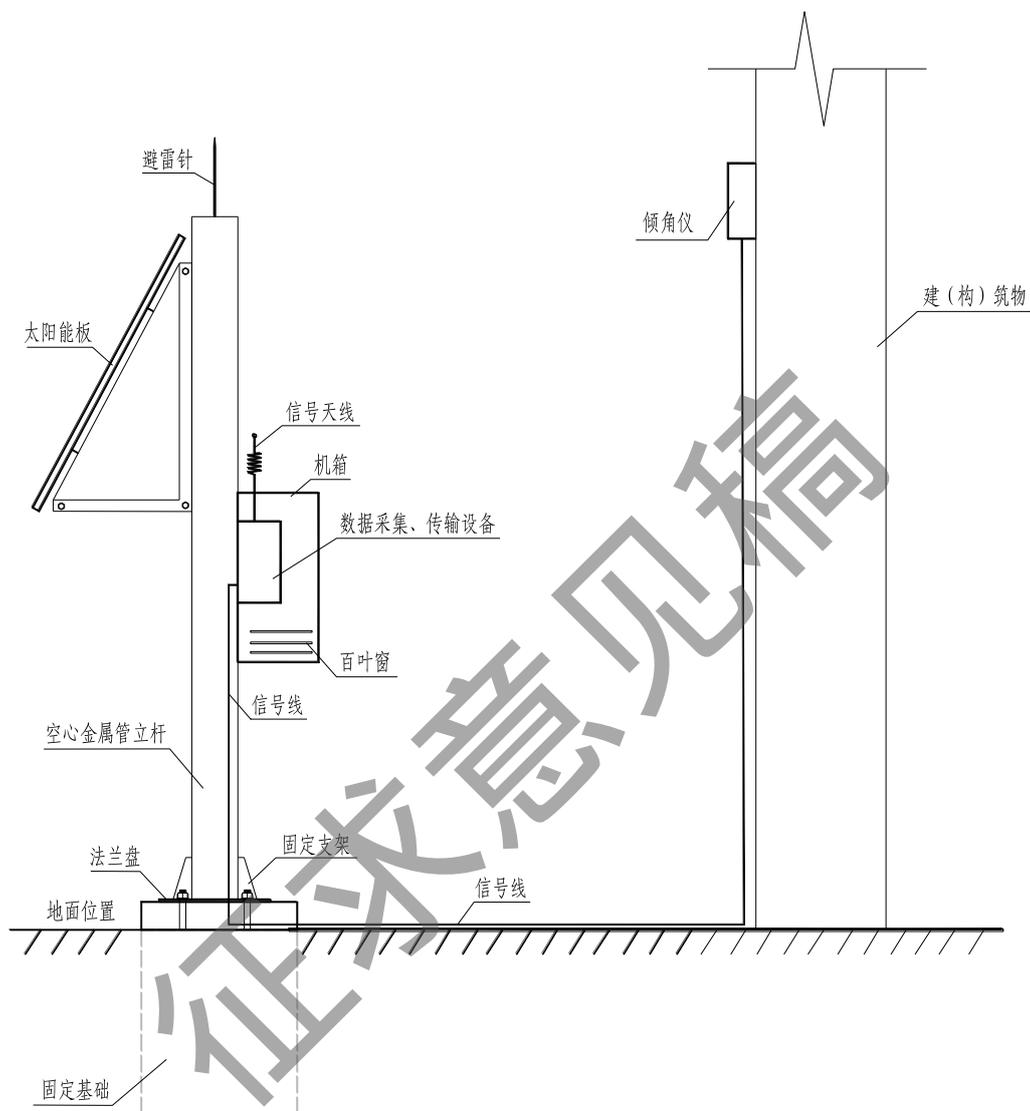


图 B.09 一体化倾角监测站安装结构示意图

附录 C 安装施工日志记录表

表 C.01 监测设备安装施工日志记录表

设备名称：		设备型号：	
施工单位：		施工地点：	
施工点坐标：			
基础施工			
施工时间：		施工方式：	
地笼尺寸：		基坑尺寸：	
混凝土配比：		养护天数：	
施工人（签字）：		质量负责人（签字）：	
验收时间：		验收人（签字）：	
设备安装			
安装时间：	立杆长度：	横杆长度：	
传感器量程：	初始泥位：		
电池初始电压：	光照情况：		
数据通信：	数据上传： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 不正常		命令下发： <input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 不正常
安装人（签字）：		技术负责人（签字）：	
验收时间：		验收人（签字）：	

附录 D 材料验收记录表

表 D.01 监测设备材料验收记录表

灾害点名称				项目负责人		
采购日期						
设备名称	主材			辅材		供货单位
	规格	编号	数量	名称	数量	
材料跟随文件						
验收意见	验收日期： 年 月 日					
验收组成员	(签章):					

本规程用词说明

1 本规程执行严格程度的用词采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件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 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在规程总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在规程条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。

3) 当引用本规程中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第××节的有关规定”、“应符合本规程第×××条的有关规定”或“应符合按本规程第×××条的有关规定执行”。