



中国水电顾问集团 北京勘测设计研究院文件

京设技〔2011〕15号

转发《关于水电工程防震抗震设计规范 征求意见的函》

院各有关部门：

根据水电规划设计总院的要求，现将《关于水电工程防震抗震设计规范征求意见的函》（水电规科[2011]45号）转发给你们。可行性研究阶段的《水电工程防震抗震研究设计专题报告》编制涉及多个专业，请各有关专业部门组织对本标准征求意见稿进行讨论，并结合《水工建筑物抗震设计规范》（DL5037）修订的意见，对本标准提出意见和建议，并于8月5日前将意见和建议书面提交给技术质量部。

附件：水电规科〔2011〕45 号



二〇一一年七月十五日

主题词：转发 水电工程 设计规范 征求意见 函

中国水电顾问北京院院长工作部
排版：于桂菊

2011 年 7 月 15 日印发
校对：裴惠年



水电水利规划设计总院文件

水电规科〔2011〕45号

签发人：周建平

关于《水电工程防震抗震 设计规范》征求意见的函

各有关单位：

为了明确水电工程防震抗震研究设计的基本要求，保证水电建设工程的地震安全，减轻地震破坏及其影响，提高水电工程防震抗震能力，最大限度地避免人员伤亡和经济损失。根据《中华人民共和国防震减灾法》及有关法律法规的要求，在《水电工程防震抗震研究设计及专题报告编制暂行规定试行》的基础上，现已编制《水电工程防震抗震设计规范》征求意见稿，请各单位组织对本标准征求意见稿进行讨论，并结合《水工建筑物抗震设计规范》（DL 5073）修订的意见，对本标准提出意见和建议，并将意见于2011年8月20日前反馈至我院。

联系单位：水电水利规划设计总院

地 址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号

邮 编：100120

联 系 人：杜小凯

电 话：13810149843

Email: dxk@hydrochina.com.cn。

附件：水电工程防震抗震设计规范



排版：李红英

校对：李晓新

ICS

中国标准文献分类号

Version 8.0

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T ××××—2011

水电工程防震抗震设计规范

Code for Design of Seismic of Hydropower Projects

2011— — 发布

2011— — 实施

国国家能源局

发布

目录

前 言	1
1 范 围	3
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 选址与场地类别	6
6 场地地震安全性评价	9
7 地震设防标准	10
8 枢纽布置及建筑物	12
9 地基与边坡	14
10 金属结构	16
11 机电设备	18
12 通信	20
13 对外交通	22
14 地震监测	24
15 应急管理要求	25
条 文 说 明	28
4 基本规定	29
5 选址与场地类别	30
6 场地地震安全性评价	33

7 地震设防标准	34
8 枢纽布置及建筑物	41
9 地基与边坡	43
10 金属结构	44
11 机电设备	46
12 通信	48
13 对外交通	48
14 地震监测	51
15 应急管理要求	53

条文说明	36
------------	----

前 言

本标准根据《国家发改委办公厅关于印发 2011 年行业标准计划的通知》发改办工业（2011）xxxx 号文要求，由水电水利规划设计总院组织制定。

地震与洪水、地质灾害一样，也是自然界常见的地球物理现象。目前科学认知水平还不能准确地预测地震的发生和规模。而地震灾害的事实证明，合适的工程选址和抗震设防，能够有效防范地震破坏及其次生灾害的风险，从而达到防震减灾的目的。我国是一个多地震的国家，地震形势严峻，防震减灾任务十分繁重和艰巨。近三十年，我国水电工程建设取得巨大成就的同时，水电工程技术也取得长足进步，防震抗震研究设计的理念、方法都有了较大的提升，防震抗震工程措施和应急预案不断丰富，为制定防震抗震设计规范奠定了良好条件。

2008 年汶川特大地震给灾区人民群众生命和财产造成了巨大损失，基础设施遭受严重破坏。然而，震后调查表明，水电工程没有一座大坝因地震而溃坝，也没有因为水工建筑物的损坏导致次生洪水灾害，地震灾区水电工程及其主要建筑物都经受住了超出设防标准的强震的考验。总结汶川地震灾害教训，水电工程在地震地质灾害及其他次生灾害防范、临震处置、安全疏散、应急通信、应急电源以及其他应急保障措施等方面还存在诸多缺陷。设计、建设和运行管理体制和制度有待加强和完善，包括建立健全水电工程防震抗震设计标准体系。为此，有必要建立第一层级的、覆盖广泛的、具有宏观指导性的《水电工程防震抗震设计规范》，并在此基础上，进一步补充完善第二层级的水电工程水工建筑物及其设施设备抗震设计标准。

为了明确水电工程防震抗震研究设计的基本要求，保证水电建设工程的地震安全，减轻地震破坏及其影响，提高水电工程防震抗震能

力，最大限度地避免人员伤亡和经济损失，依据经最新修订和颁布的《中华人民共和国防震减灾法》及其他有关法律法规的要求，并在《水电工程防震抗震研究设计及专题报告编制暂行规定》（水电规计[2008]24号）试行的基础上，制定本规范。

本标准由水电水利规划设计总院提出

本标准由能源行业水电工程勘测设计标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：水电水利规划设计总院。

本标准主要起草人：

请将本标准在执行过程中的意见和建议反馈至水电水利规划设计总院（北京市西城区六铺炕北小街2号，100120）

1 范 围

1.1 本标准规定了水电工程在选址、场地安全性评价、抗震设防标准、枢纽布置及建筑物、地基与边坡、电力设施设备、对外交通和通信、地震动监测、水库地震监测和地震应急管理等方面防震抗震设计的基本要求。

1.2 本标准适用于工程场地地震基本烈度 7 度、8 度、9 度地区、新建大中型水电工程（含抽水蓄能电站工程，下同）的防震抗震研究设计。小型水电工程的防震抗震设计以及已建、改建水电工程的抗震安全性复核可参照执行。

2 规范性引用文件

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。鼓励使用本标准的各方尽量使用下列标准的最新版本。

GB18306	中国地震动参数区划图
GB17741	工程场地地震安全性评价技术规范
GB21075	水库诱发地震危险性评价
GB50287	水力发电工程地质勘察规范
DL/T5335	水电水利工程区域构造稳定性勘察技术规定
GB50199	水利水电工程结构可靠度设计统一标准
DL/T5180	水电枢纽工程等级划分及设计安全标准
GB50233	建筑工程抗震设防分类标准
GB50011	建筑抗震设计规范
GB50260	电力设施抗震设计规范
GB50111	铁路工程抗震设计规范
JTJ044	公路工程抗震设计规范
JTJ225	水运工程抗震设计规范
JTC/TB02	公路桥梁抗震设计细则
DL/T5073	水工建筑物抗震设计规范
YD5059	电信设备安装抗震设计规范

3 术语和定义

3.1 防震抗震 Earthquake engineering

为减轻地震对工程的破坏及其由此导致的次生灾害，预先采取的和预备采用的工程结构抗震和其他非工程综合措施。

3.2 抗震设防分类 Project category for anti-seismic

根据水电工程遭遇地震破坏后，可能造成人员伤亡、直接和间接经济损失、社会影响的程度及其在抗震救灾中的作用等因素，对各类建筑物及设施设备所做的设防类别的划分。

3.3 抗震设防标准 Seismic fortification criterion

衡量抗震设防要求高低的尺度，由抗震设防类别及抗震设防烈度或设计地震动参数确定。国际上，抗震设防标准基本上都采用基于概率理论的重现期表征。

3.4 抗震设防烈度 Seismic fortification intensity

按照国家规定，批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况下，取50年基准期超越概率10%的地震烈度。

3.5 地震次生灾害 Secondary earthquake disaster

地震造成工程结构、设施和自然环境破坏而引发的灾害。如火灾、爆炸、瘟疫、有毒有害物质污染以及水灾、地质灾害（山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等）对居民生产和生活破坏。

3.6 抗震计算方法 Seismic checking computation method

建筑物结构抗震设计采用的计算方法，分为拟静力法、底部剪力法、

振型分解法和时程分析法。

3.7 大坝极限抗震能力 Seismic bearing capacity of dam

大坝抵抗强地震的能力，其值为在规定条件下大坝能够抵抗的最大地震作用。在该最大地震作用下，不发生溃坝或不因溃坝而导致库水失控下泄。

3.8 地震动监测和水库地震监测 Earthquake motion monitoring & Reservoir earthquake monitoring

前者为获取地震时地面运动要素或建筑物结构震动记录的观测。后者为针对水库区及其周边一定范围内的地震动观测，包括水库触发地震监测。

3.9 地震应急预案 Emergency plan for earthquake

为了最大限度地减轻因地震和地震次生灾害可能导致的生命和财产损失，预先谋划的因应突发地震所应采取的应急准备、临震应急、应急防范和震后应急救援等应急反应的行动方案。

3.10 最大可信地震 (MCE) Maximum credible earthquake or Utmost earthquake

最大可信地震是在给定区域或当前构造格架下断层所能产生的最大地震，或根据历史统计地震记录资料推测的今后可能发生的最大地震。

4 总则

4.1 为了明确水电工程防震抗震研究设计原则、抗震设防目标、基本方法和要求，加强水电工程防震抗震研究设计工作，提高水电工程地震减灾能力，根据《中华人民共和国防震减灾法》和有关法规，制定本标准。

4.2 工程场地基本烈度小于等于 6 度，除特别规定外，水电工程建筑物可不必进行抗震验算，但仍应按规范要求采取防震抗震对策措施。工程场地基本烈度 9 度以上地区，应避免建设高坝大库工程。场地基本烈度 9 度且坝高 200m 以上或总库容超过 100 亿 m^3 的水电工程，大坝抗震设防标准和抗震措施应做专门论证、并报国家有关主管部门审批。

4.3 水电工程地震设防坚持“确保安全，留有裕度”的原则。在多遇地震工况下应满足“正常运行”要求，在设计地震工况下应满足“可修复”要求，在校核地震工况下应满足“不溃坝”的要求。

4.4 设计地震的重现期为 500~5000 年，校核地震的重现期 2000~10000 年（或者 MCE）。水电工程设防地震重现期应根据工程等别、建筑物级别及工程场地地震基本烈度分析确定。

4.5 抗震设防类别应根据水电工程建筑物设施设备的重要性，遭遇地震破坏后可能造成的后果、抗震救灾中应发挥的作用以及恢复重建的难易程度等分析确定。

4.6 水电工程主要建筑物、结构构件、设施设备的抗震设防类别分为四类：

a) 特殊设防类：遭遇地震破坏后可能发生特别重大灾害或严重次生灾害，需要进行特殊设防的，简称甲类。

b) 重点设防类：遭遇地震后使用功能不能中断或需尽快恢复，或地震破坏后可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要加强抗震设防的，简称乙类。

c) 标准设防类：指除1、2、4款以外的、按照50年超越概率10%（场地基本烈度标准）要求进行抗震设防的，简称丙类。

d) 适度设防类：指工程规模小、地震破坏后果不严重，不会造成人员伤亡和次生灾害，允许在一定条件下适度降低设防要求的，简称丁类。

4.7 水电枢纽中，大坝及泄水建筑物级别与场地基本烈度和抗震设防类别的关系如下表。

大坝及泄水建筑物抗震设防类别

抗震设防类别	大坝、泄水建筑物级别	最大坝高 H (m)	总库容 V (亿 m ³)	场地基本烈度
甲（特殊设防类）	1*	≥150m*	≥10*	≥6
乙（重点设防类）	1	≥100m	≥1	
丙（标准设防类）	2	≥30m	≥0.1	≥7

*注：1）坝址设计地震动峰值加速度大于等于 0.3g；
2）最大坝高和总库容两项指标同时满足，否则可降低设防类别。

4.8 大型水电工程塔式（或岸塔式）进水口、引水系统、发电厂房、主控通信楼、变电设施、开关站、出线场和重要交通线路属于重点设防类。
中型水电工程塔式（或岸塔式）进水口、引水系统、发电厂房、主控通信楼、变电设施、开关站、出线场和重要交通线路属于标准设防类。提高或降低设防标准应进行分析论证。

4.9 建筑物地基的抗震设防类别与其相应建筑物的抗震设防类别相同，或提高类别。

4.10 建筑物边坡的抗震设防类别，遵循以下规定分析确定：

a) 作为建筑物的一部分，边坡的抗震设防类与其相应的建筑物的抗震设防类相同；

b) 近坝范围的边坡或滑坡体，当发生崩塌、滑坡而危害或威胁大坝工程安全时，应取与大坝相同的抗震设防类。

c) 近坝范围的边坡或滑坡体，当发生崩塌、滑坡失稳而不危害大坝工程安全时，经分析，可取标准设防类或适度设防类。

4.11 引水发电系统金属结构设备、机电设施设备的抗震设防类别与水电站厂房抗震设防类别相同。泄水建筑物金属结构设备、机电设备的抗震设防类别与相应建筑物的设防类别相同。

4.12 作为应急避难场所的建筑物，其抗震设防类别应列为重点设防类。设计使用年限较短的建筑物，其抗震设防要求相应降低，可归为适度设防类。

4.13 工程场地基本烈度与地震动峰值加速度值的对应关系如下表：

工程场地 基本烈度	6	7		8		9
地震动 峰值加速度	0.05g	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g

4.14 水电工程水工建筑物、设施设备、地基与边坡等的防震抗震设计除应遵循本标准外，还应符合国家有关规定。

5 选址与场地类别

5.1 选址

5.1.1 坝址选择过程中，应特别重视研究区域构造稳定性、活动断层分布及工程地震地质条件，并遵守下列原则：

1 坝址不应选择在震级为 7 级及以上的震中区或地震基本烈度为 9 度以上的强震区。

2 大坝、泄水建筑物和发电厂房等主要建筑物不应修建在已知的活动断层上。

5.1.2 应在区域地震地质、工程地质以及重大物理地质现象勘察研究的基础上，从构造活动性、边坡稳定性和场地地基条件等方面按表 5.1.2 的要求，对水电工程所在地段进行划分并作综合评价。坝址、厂址宜选择在防震抗震相对有利地段，尽量避开不利地段，未经充分论证不得在危险地段进行工程建设。

5.1.2 各类地段的划分标准

地段类别	构造活动性	边坡稳定性	场地地基条件
有利地段	距坝址 5km 范围内无活动断层；库区无大于等于 5 级的地震活动	岩体完整，边坡稳定	抗震稳定性好
不利地段	枢纽区内有长度小于 10km 的活动断层；库区分布有长度大于 10km 的活动断层，或有过大于等于 5 级但小于 7 级的地震活动，或有诱发强水库地震的可能	枢纽区、库区边坡稳定条件较差	抗震稳定性差
危险地段	枢纽区内有长度大于等于 10km 的活动断层；库区有过大于等于 7 级的地震活动，有伴随地震产生地震断裂的可能	枢纽区边坡稳定条件极差，可产生大规模崩塌、滑坡	地基可能失稳

5.2 场地类别

5.2.1 水工建筑物开挖处理后的场地土类型，宜根据土层剪切波速，按表 5.2.1 进行划分。

表 5.2.1 场地土类型的划分

土的类型	土层剪切波速范围 v_{se} (m/s)	代表性岩土名称和性状
岩石	$v_s > 800$	坚硬、较硬且完整的岩石
坚硬场地土	$800 \geq v_s > 500$	破碎和较破碎或软和较软的岩石，密实的砂卵石
中硬场地土	$500 \geq v_s > 250$	中密、稍密的砂卵石、粗、中砂，坚硬的黏性土和粉土
中软场地土	$250 \geq v_s > 150$	稍密的砾、粗、中砂、细砂和粉砂，一般黏性土和粉土
软弱场地土	$v_s \leq 150$	淤泥，淤泥质土，松散的砂土，人工杂填土

注：表中 v_s 为土层剪切波速；如场地有多层土，取建基面下覆盖层厚度的各土层的等效剪切波

速值 $v_s = d_0 / \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si})$ ，式中 d_0 为计算深度 (m)，取覆盖层厚度或 20m 二者的较小

值； d_i 为计算深度范围内第 i 层土的厚度 (m)； v_{si} 为计算深度范围内第 i 层土的剪切波速 (m/s)； n 为计算深度范围土层的分层数。

5.2.2 场地类别应根据场地土类型和场地覆盖层厚度，按照表 5.2.2 的规定进行划分。场地类别是确定地震作用计算所用的设计特征周期的依据。

表 5.2.2 场地类别的划分

场地类别	覆盖层厚度 (m)						
	0	$0 < d_{ov} \leq 3$	$3 < d_{ov} \leq 5$	$5 < d_{ov} \leq 15$	$15 < d_{ov} \leq 50$	$50 < d_{ov} \leq 80$	$d_{ov} > 80$
岩石场地	I ₀	-----					
坚硬场地	-----	I ₁					
中硬场地		I ₁		II			
中软场地		I ₁	II			III	
软弱场地		I ₁	II		III		IV

5.2.3 在枢纽工程场地范围内，建筑物地基和边坡岩体结构复杂，存在软弱结构面或软弱岩层的，应查明地基和边坡的稳定条件，复核在设计地震作用下安全性，估计可能的危害程度，研究提出处理措施。

6 场地地震安全性评价

6.1 大中型水电工程前期工作中，应开展坝址（厂址）场地地震安全性评价工作。经国家地震主管部门审批的地震安全性评价成果是防震抗震设计的基本依据。

6.2 工程场地地震安全性评价工作深度按照工程的重要性和地震地质条件的复杂程度划分为以下三级：

a) 一级安评工作包括地震危险性的概率分析和确定性分析、活动断层鉴定、场地地震动参数确定、水库地震预测和地震地质灾害评价等。适用于地震基本烈度为 7 度及以上地区，坝高大于 150m 或库容大于 10 亿 m^3 的大型水电工程；

b) 二级安评工作包括地震危险性概率分析、能动断层鉴定、场地地震动参数确定和地震地质灾害评价等。适用于除一级安评工作以外的大型水电工程；

c) 三级安评工作包括地震危险性概率分析、地震小区划和地震动峰值加速度复核。适用于中型水电工程。

6.3 对地震地质条件复杂的或坝址 5km 范围内存在活动断层的大中型水电工程，可提高一级开展场地地震安全性评价工作。

6.4 大型水电工程坝址 5km 范围内有活动断层通过并可能发生强震的，应在一级地震安全性评价工作的基础上，开展场地最大可信地震参数以及设定地震相关参数和地震反应谱的研究。

6.5 水电工程场地地震安全性评价工作应符合 GB 17741、GB 21075、GB 50287 的有关规定。

7 地震设防标准

7.1 标准设防类建筑物的地震设防标准取工程场地地震基本烈度为抗震设计烈度，即以基准期 50 年超越概率 10% 的地震动参数作为设计地震动参数。

7.2 重点设防类建筑物的抗震设防标准按照高于基本烈度 1 度的要求加强其抗震措施并取基准期 100 年超越概率 2% 或 5% 的地震动参数作为设计地震动参数。

7.3 特殊设防类的大坝及泄水建筑物抗震设防标准取基准期 100 年超越概率 2% 的地震动参数作为设计地震，基准期 100 年超越概率 1% 或最大可信地震（MCE）动参数作为校核地震。

水工建筑物抗震设防标准

抗震设防类别	设计地震	校核地震	备注
甲（特殊设防类）	100 年 2%	100 年 1% (或 MCE)	校核地震设防限于坝高大于 150m 或库容大于 10 亿 m ³ 的水电站大坝
乙（重点设防类）	100 年 2% 或 5%		
丙（标准设防类）	50 年 10%		
性能目标	允许局部损坏 但可修复	不发生溃坝 能保持基本稳定	

7.4 对于坝址离活动断层较近（小于 5km）且潜在震级在 7 级及以上的高坝枢纽工程以及强震区（场地地震基本烈度 8 度及以上）高坝枢纽工程（坝高大于 200m 或总库容大于 100 亿 m³），大坝抗震设计标准应专门

研究论证。

7.5 地震设防标准所对应的性能目标，应符合下列要求：

- a) 多遇地震：建筑物结构保持良好的使用性能，耐久性不受影响；
- b) 设计地震：建筑物结构整体性完好，容许局部可接受的屈服或损坏，经抢修或适当维修可以继续正常运用；
- c) 校核地震：大坝能够维持基本稳定，不致发生整体溃坝或出现连锁性的破坏，不发生危及公共安全的次生灾害。

7.6 特殊设防类的大坝采用二级水准设防；其他水工建筑物，采用一级水准设防。第一水准目标，在设计地震作用后，容许建筑物局部损坏，经修复可以继续运用；第二水准目标，在经受校核地震作用后，大坝维持基本稳定而不溃坝。

7.7 水电站输水发电系统的金属结构设备、机电设施设备及通信设备等的抗震设防标准和抗震性能目标与水电站主厂房的抗震设防标准和抗震性能目标一致。

7.8 泄水系统的金属结构设备、机电设施设备等的抗震设防标准和抗震性能目标与相应泄水建筑物抗震设防标准和抗震性能目标一致。

7.9 根据电力设施防震抗震重要性和特点，分为重要电力设施和一般电力设施。装机 750MW 及以上的水电站，升压 330kV、500kV 的变电站，梯级（区域）水电站集控中心为重要电力设施。重要电力设施按照重点设防类进行抗震设计，一般电力设施按照标准设防类进行抗震设计。

7.10 工程场地地震动参数大于 0.3g (场地地震基本烈度 9 度)，坝高大于 200m 或总库容大于 100 亿 m^3 的，应开展大坝地震破坏机理、破坏模式和极限抗震能力的科学研究，综合分析评价大坝抗震安全性。

8 枢纽布置及建筑物

8.1 枢纽布置设计应充分掌握基础资料，全面分析各种影响因素，根据枢纽功能要求，考虑坝址地形地质条件，方便施工和运行管理、有效防范和应对洪水、地震、地质灾害及其次生灾害风险的需要，优选枢纽布置方案。

8.2 大中型水电枢纽工程，应研究设置降低库水位或放空水库的泄水设施。降低库水位或放空水库的速度既要满足地震情况下大坝的安全要求，又要防止出现人为洪水威胁下游地区安全。

8.3 枢纽布置及建筑物设计应重视防范地质灾害和地震地质灾害风险。加强对枢纽工程区及其附近自然边坡、滑坡体、危岩体、泥石流以及其他物理地质现象等地质灾害隐患排查，分析其在地震情况下的稳定性和可能导致的影响，提出有效应对措施。

8.4 枢纽主要建筑物应选择布置在坚硬、完整和厚实的基岩上，尽量远离或避开不良地质地段。对覆盖层地基或岩基中的断层带、剪切带和软弱岩体，应研究提出切实有效的处理措施。

8.5 枢纽建筑物型式的比选应考虑防震抗震要求。应根据坝址地形地质条件、筑坝材料及施工条件，分析大坝抗震能力，选择合适的坝型；在狭窄河谷，应优先采用地下引水发电系统布置方案。水工建筑物体型设计应避免在地震反应大的部位突变体形削弱刚度。

8.6 建筑物构造设计应考虑防震抗震要求。根据需要，应从抗震角度提出建筑物施工技术要求。

8.7 主要水工建筑物抗震计算分析内容至少包括设计地震工况下结构强度安全性和整体稳定性；对特殊设防类的挡水建筑物，应分析校核地震工况下的结构整体稳定性；特殊设防类的高坝工程还应研究极限抗震能

力和可能的地震破坏模式。

8.8 应根据抗震计算分析成果，结合工程类比和国内外类似工程震害调查分析，从建筑物自震特性、变形损伤、应力状况、整体稳定性和破坏模式等方面，综合评价建筑结构抗震特性和抗震安全性，针对抗震安全的薄弱部位和薄弱环节，提出防震抗震对策措施。

9 地基与边坡

9.1 水工建筑物地基及边坡的抗震设防,应满足在地震作用下不发生危及建筑物安全的失稳破坏、渗透破坏和有害变形。

9.2 水工建筑物地基及边坡设计应考虑以下宏观震害或地震效应:

- a) 强烈地面运动可能导致结构物的振动破坏;
- b) 强烈地面运动可能导致场地地基失稳失效;
- c) 地表断层错动,包括节理裂隙及其他软弱结构面的开裂;
- d) 强烈地震动作用导致局部地形、地貌和地层结构的异常变形。

9.3 建筑物地基中液化土层的判别,应符合 GB50287 中的有关规定。对可能液化土层和沙层以及软弱粘土层,应根据建筑物的类型和具体工程地质情况,研究采取相应的抗震措施。

9.4 建筑物地基内的断裂、破碎带及层间错动等软弱结构面,特别是缓倾角夹泥层和可能发生泥化的岩层,应论证其在设防地震作用下不致发生失稳和出现过大变形,并研究提出针对性的地基处理措施。

9.5 应根据边坡所处位置,工程地质条件和地震破坏模式,研究确定人工边坡开挖及其综合治理方案。人工边坡应避免深挖高填。边坡开口线以外,存在危岩体和潜在失稳岩体的,应研究采取防护和补强措施。

9.6 除加强边坡锚喷支护外,强地震区人工边坡应研究采用较缓的坡比或设置较宽的马道,以增强边坡的抗震安全性和减少其失稳的危害性。

9.7 重点设防类和标准设防类的建筑物边坡应进行必要的抗震稳定验算。特殊设防类的边坡还应研究地震动响应,分析边坡动变形、动稳定及破

坏模式。

9.8 刚体极限平衡分析法为边坡抗震验算的基本方法。对于特殊设防类和重点设防类的工程边坡，应采用包括动力有限元法在内的多种方法进行计算，综合分析评价边坡工程地震安全性。

10 金属结构

10.1 一般规定

应根据地形地质条件和枢纽建筑物的布置格局，并考虑地震对建筑物和金属结构设备的影响因素，进行金属结构设备的选型和布置，防止地震地质灾害的破坏。

10.2 启闭机

10.2.1 启闭机的基础设计应考虑地震因素和建筑物地震动响应的影响，基础必须牢固可靠，能够抵御地震的作用。

10.2.2 泄水系统工作闸门的启闭机应具有现地操作和远方操作功能，泄水系统事故闸门（或检修闸门）的固定式启闭机除应具有现地操作功能外，宜具有远方操作功能。

10.2.3 发电系统快速闸门的启闭机应具有现地操作和远方操作功能，发电系统事故闸门或检修闸门的固定式启闭机除应具有现地操作功能外，宜具有远方操作功能。

10.2.4 泄水系统的启闭机应设置柴油发电机作为应急电源。有条件的，应尽量就近布置。泄水系统的小型启闭机，应设置手摇机构。

10.2.5 坝顶或塔顶门式启闭机应设置锚定装置或锁定装置，防止地震作用时门机倾倒和移动。

10.2.6 应采取有效措施，避免地震时卷扬类启闭机的钢丝绳脱槽。

10.2.7 启闭机电气控制柜应具有足够的强度、刚度及稳固性，避免在地震力作用下发生倾倒。

10.2.8 液压启闭机泵站应具有足够强度、刚度，并牢固固定于可靠的基础上。

10.3 闸门

10.3.1 闸门的吊耳应具有足够的强度、刚度和稳定性，避免在地震作用下发生变形或破坏。

10.3.2 闸门的锁定方式、锁定装置及其在闸门上的锁定位置应做到安全可靠，避免因地震动作用造成锁定失效或破坏。

10.3.3 处于非锁定状态的锁定梁应将其固定，避免在地震力作用下发生移位。

10.3.4 对多孔共用的闸门应将闸门存放于储门库内，储门库应设置盖板固定。

10.3.5 对具备条件的闸门，门槽顶部应设置盖板并固定。

10.4 通航设施

10.4.1 对于垂直升船机、船闸等过坝设施的金属结构设备应进行抗震设防的专题研究。

10.4.2 研究在地震工况下，为确保大坝安全而启用升船机或船闸进行洪的可行性。

11 机电设备

11.1 一般要求

11.1.1 水电站机电设备以及管路等的结构强度应满足其所在系统，如泄水系统、输水发电系统等，的抗震设防标准要求。

11.1.2 应明确机电设备以及管路等的抗震设防标准。机电设备的选型设计文件中，以及其招标文件、采购合同的技术文件中，应标明机电设备的设防地震加速度值。

11.1.3 应提出机电设备以及管路等的防震抗震措施及安装技术要求。机电设备及盘柜等应具与基础固定牢固，防止在地震作用下倾倒或位移。

11.2 电气设备（设施）

11.2.1 对符合下列规定的电气设备（设施），应提出防震抗震设计要求并进行抗震设计。抗震设计计算方法按照 GB50260 执行。

- a) 设防烈度 7 度及以上，电压为 330kV 及以上的电气设备（设施）。
- b) 设防烈度 8 度及以上，电压为 220kV 及以下的电气设备（设施）。
- c) 设防烈度 7 度及以上，安装在室内二层及以上和室外高架平台上的电气设备（设施）。
- d) 设防烈度 7 度及以上，发电机电压主母线及采用 GIL 的高压引出线。

11.2.2 电气设备应根据设防烈度进行选择，当不能满足抗震要求时，可采取装设减震阻尼装置或其他抗震措施。

11.2.3 升压变电站及出线场等场地布置，应根据水电站枢纽区地质和地形条件，避开对抗震不利的位置。

11.2.4 电气设备（设施）布置应根据设防烈度、枢纽条件和其他环境条

件，并结合电气总布置及运行、检修条件，通过技术经济分析确定。电气设备（设施）布置、安装应符合 GB50260 的原则要求。

11.3 水电站厂用电系统

11.3.1 水电站厂用电系统应满足供电可靠性要求。对标准设防类及以上（含甲、乙、丙类）的大坝及泄水建筑物，厂用电系统应为保障大坝泄洪设置保安电源；经分析，适度设防类大坝及泄水建筑物，厂用电系统可不设置泄洪保安电源。

11.3.2 为保障大坝泄洪设置的保安电源应由泄水系统现地供电系统直接接入；电源及其配电装置应避开防震抗震不利地段，靠近泄水建筑物布置；电源设备及其配电装置的抗震设防标准应和大坝及泄洪建筑物一致。

11.3.3 保安电源配置应考虑负荷特性，并首先满足泄水系统设备运行要求。

11.4 直流电源系统

11.4.1 直流电源系统作为水电站控制和保护系统设备的工作电源，同时还应兼作地震灾害下水电站内的应急电源。

11.4.2 对设防烈度 7 度及以上的水电站，蓄电池组应设有抗震加固措施。

12 通信

12.1 一般规定

12.1.1 重要电力设施的电力通信，必须设有两个及以上相互独立的通信通道，并应组成环形或迂回回路的通信网络。两个相互独立的通道宜采用不同的通信方式。

12.1.2 一般电力设施的电力通信，应设有两个或两个以上相互独立的通信通道，并宜组成环形或迂回回路的通信网络。

12.1.3 大中型水电站至梯级（区域）集控中心的通信，应该设有两个及以上相互独立的通信通道，并应组成环形或迂回回路的通信网络。两个相互独立的通道宜采用不同的通信方式。

12.2 卫星通信

12.2.1 梯级（区域）集控中心应设有卫星通信地面站。

12.2.2 大中型水电站与梯级（区域）集控中心的通信，应设有固定卫星通信作为第二备用通信通道。

12.2.3 水电站小型卫星地面站的容量及规模应根据水电厂的容量和规模确定，应具有传输语音、数据和图像的功能。

12.2.4 对已设置卫星通信地面站的水电站，其生活区、管理区宜设有固定卫星通信站。

12.2.5 梯级（区域）集控中心、水电站控制室、生活区、管理区等应配置应急移动卫星通讯设备，以保证极端灾害情况下的对外语音联系。

12.3 通信电源

12.3.1 重要电力设施的电力通信电源，应由能自动切换的、可靠的双回路交流电源供电，并应设置独立可靠的直流备用电源。

12.3.2 一般电力设施的电力通信电源，应设置工作电源和直流备用电源。

源。

12.4 水情自动测报系统通信组网

12.4.1 水情自动测报系统通信组网应该具有可靠的通信通道；重要遥测站应设有两个及以上相互独立的通信通道，两个相互独立的通道宜采用不同的通信方式。

12.4.2 水情自动测报系统的主用通信方式宜选择卫星通信。

13 对外交通

13.1 对外交通运输方式

13.1.1 水电站对外交通运输方式包括公路、铁路、水运、空运。水电站对外交通运输方式选择应考虑地震抢险救灾的要求。

13.1.2 对特大型和大型水电工程，选择公路运输方式时，应研究设置主、辅进场公路（又称“双通道”）；并应研究设置公路和水运联合交通运输方式，以及公路、水运和航空联合运输方式的合理性。

13.1.3 对特大型和大型水电工程，在交通条件困难、难以设置备用通道的条件下，应研究设置库区水运通道及设置空运停机坪。

13.2 交通道路及其设施

13.2.1 水电站进场专用（对外）交通道路及设施应根据水电站主要建筑物规模及重要性、交通运输线路修复难易程度和对抢险救灾、恢复生产所起的作用以及相应行业抗震设计规范的要求划分抗震设防类别，并应根据相关行业抗震设计规范开展设计。

13.2.2 特大型和大型水电站的对外交通工程按不低于重点设防类设计，并按本地区场地基本烈度确定其地震作用，关键路段或设施按高于本地区场地基本烈度一度的要求加强其抗震措施。遭遇设防烈度的地震作用后，交通工程经一般整修即可恢复使用。

13.2.3 大中型水电站的对外交通工程，按标准设防类设计，并按本地区场地基本烈度确定其地震作用和抗震措施。遭遇高于场地基本烈度的地震影响时，不致倒塌或严重破坏。震后，交通工程经短期抢修即可恢复使用；

13.2.4 中小型水电站的对外交通工程，按不低于适度设防类设计，比照本地区场地基本烈度的要求进行抗震设防，并可适当降低其抗震措施。遭遇基本烈度的地震影响时，应能保证桥梁、隧道及重要构筑物不发生

严重破坏。

13.3 交通线路及主要设施的布置

13.3.1 选择交通路线、桥位、隧址和码头时，应加强工程地质、水文地质、地震地质以及地震地质灾害的现场调查和勘察工作，查明交通工程抗震有利、不利和危险的地段。应选择抗震有利的地段布置主要线路、桥位、码头及空运停机坪等。

13.3.2 交通线路、桥位和码头的选择应绕避不利地质地段，尤其是地震时可能发生崩塌、滑坡的地段和泥石流、液化地基地段。山区公路或铁路穿越不良地质地段，宜采用隧洞方式并应对隧洞进出口边坡加强支护。

13.3.3 交通线路、桥位和码头无法绕避不利或危险地段时，应研究采取措施防范地震地质灾害及其次生灾害，或设置备用通道，以利保障线路通畅。

a) 当线路或桥位必须跨越发震构造时，宜布置在破碎带较窄的部位；
b) 当线路或桥位平行于发震构造时，宜布置在断层的下盘；
c) 交通线路不宜深挖高填，不宜采用高墩台、高挡墙和深长路堑；
d) 当线路通过可液化土层与软土地区时，应进行必要的路基加固处理；

e) 加强对线路重点地段的地质灾害防治和边坡治理；

f) 留有老桥、旧道和废弃的渡口码头的，宜予以必要养护。

13.3.4 重要桥隧应研究选择抗震安全性更有保障的结构型式。

13.3.5 库区水运码头设置应考虑地震条件下降低库水位的可能性。

13.3.6 空运直升机起降场位置可结合电站运行管理营地进行规划，起降场的位置与主要救援点之间的地面交通条件要确保顺畅。场地规划应考虑可能使用的直升机机型和同时起降的飞机数量等并在一定范围内保证其进出通道的净空条件。

14 地震监测

14.1 枢纽工程区地震监测

14.1.1 应根据工程规模、场地地震地质条件和建筑物地震动响应特征，开展枢纽工程区强震监测设计和建筑物地震反应监测设计。

14.1.2 强震监测应选择有代表性的断面，兼顾建筑物高、中、低高程，地面、地下等位置布置强震监测仪。

14.1.3 基本烈度 8 度及以上场地上修建大型水电站，应在水库蓄水前布置场地效应台阵，尽早开展监测。场地效应台阵的测点宜设置为三分量并布置在河床覆盖层、基岩、区域活动性断裂带、峡谷地形处。

14.1.4 强震仪监测点应设置在坚固的、受周边建筑物影响小的观测墩及观测房内，并应设置应急独立电源，加强维护管理，确保强震期间电力供应不受影响。

14.1.5 对大中型水电工程主要建筑物，应根据建筑物特点、类型，有针对性地设置应力应变、孔隙水压力及接缝位移等动力反应监测。

14.1.6 当工程场址区有活动断裂通过时，应视需要布设精密水准测量网和三维网及短基线等，以监测活动断层的变形情况。

14.2 水库地震监测

14.2.1 坝高大于 100m、库容大于 5 亿 m^3 的水库，应在查明水库及其周边区域地震地质条件的基础上，分析预测发生水库诱发地震的可能性、水库地震的类型和地震等级，判断水库地震可能的影响和危害。

14.2.2 水库地震监测台网应根据水库地震的发震条件和发震强度，进行专项设计。水库地震监测台网至少应在水库蓄水前 1 年投入运行。

14.2.3 水库地震监测记录及其传输系统应确保能够可靠运行，以便实时

进行观测分析，作出判断，随时掌握水库地震的发展情况。

15 应急管理要求

15.1 地震应急预案

15.1.1 水电工程防震抗震设计中，应进行地震及地震次生灾害的危险性分析，针对可能的风险和危害，从防灾减灾角度，研究提出工程地震灾害应急救援预案和应急管理要求。

15.1.2 地震应急救援预案应包括地震灾害及次生灾害的危害程度、应急组织机构，预防和预警，事故影响和危害性，应急响应等级，信息报告内容和程序，地震避险与逃生、应急处置方法，应急保障措施，应急培训和演练等主要内容。

15.1.3 地震应急预案至少应包括对以下风险的防范：

- a) 全厂停电；
- b) 水淹厂房；
- c) 洪水漫坝；
- d) 闸门失灵、库水失控下泄；
- e) 坝体缺口；
- f) 坝基或坝坡失稳；
- g) 坝基坝体渗漏加剧；
- h) 电源中断与通信失灵；
- i) 地震次生灾害（火灾、水灾、爆炸、有害气体泄漏、油泄漏、滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等）。

15.1.4 水电工程地震风险分析应基于工程设计建设的情况，遵循科学性、系统性和前瞻性的原则，辨识危险、有害因素，判别发生事故的条件和可能性，分析事故可能导致的危害和损失，制定恰当的对策措施。

15.2 地震应急组织机构

大中型水电工程应当建立健全应急管理体系，综合防洪度汛、电厂消防和地质灾害防范，设立应急管理部门，并开展包括突发地震等情况在内的应急救援培训和预案演练。应急组织机构和人员应纳入电站定员编制。

15.3 地震应急物资与存储要求

15.3.1 大中型水电工程应配备必要的地震救援和工程抢险设备，储备地震应急物资。地震应急设备及物资的配置应满足水电站地震应急救援的基本要求。

15.3.2 水电工程应根据地震应急物资储备要求，建设应急物资储备库。地震应急物资主要分为指挥类、救生类、抢险类、生活类和公用类等，应分类列出应急设备和物资清单，明确应急设备和物资的维护与管理要求。

15.3.3 应急物资的存放处应确保安全，方便运输和获取，不致因地震及其次生灾害而损坏。存放地应设置醒目的提示标识。应根据需要转移疏散的人数，确定储备物资的规模和基本要求和基本要求。

15.4 应急避难场所和安全通道

15.4.1 应急避难场所和安全疏散通道应考虑工程施工期和运行期，应对包括地震在内的其他自然灾害和突发事件的要求，按照“就近设置，方

便适用”的布置原则统筹规划设计。

15.4.2 应急避难场所规划设计要求:

1. 在枢纽区,应根据场地条件和客观需要,设置若干应急避难场所。应急避难场所出入口处应设置醒目的标识。

2. 空地、绿化带及不影响交通的宽阔道路等,可选择作为应急疏散场地。

3. 水电站地下厂房内设置应急避难所。应急避难所与员工集中工作地点的距离不超过 500m; 并宜靠近安全通道和安全出口。厂房内避难所应配备一定数量的自救器材和应急物资。

15.4.2 安全通道规划设计要求:

a) 枢纽区及营地应至少具备两条对外交通安全通道。人员紧急疏散的安全通道出入口应设置醒目的标识。

b) 库区及下游河道可作为对外水上交通安全通道的,应配置必要的水上救援设备设施。

c) 对于枢纽区及营地周边地质复杂,对外陆路和水路容易遭受地震破坏的,应研究设置直升机停机坪或供直升机救助的设施。

d) 枢纽工程场内交通及对外交通的规划设计应统筹考虑建筑物和水电站灾变逃生的安全通道。

中华人民共和国国家能源局标准

水电工程防震抗震设计规范

编号:

条 文 说 明

4 基本规定

4.0.1 抗震设防标准是指在设计基准期内，建筑物结构在遭遇地震情况下，满足一定抗震性能的基本要求。设防地震可分为多遇地震、设计地震和校核地震，水电工程抗震设防分别对应的性能目标是“正常运用”、“可修复”和“不溃坝”。

4.0.2 国家标准《建筑抗震设计规范》和《铁路工程抗震设计规范》等规定的多遇地震、设计地震和罕遇地震的概率水平分别是 50 年基准期超越概率 63.2%、10%和 2~3%，或重现期分别为 50 年、475 年和 1642~2475 年。我国目前重要基础设施的抗震设防标准如下表，

表 1

基础设施类型	小震	中震	大震	极震
房屋建筑	50 年(运行) 线弹性	500 年(设防) 基本烈度	2000~2500 年(校核) 弹塑性，允许屈服	
高坝大库		500 年(运行) 基本烈度	5000 年(设防) 局部屈服，可修复	10000 年(校核) 不倒（经最大努力修复后基本可用） (暂行)
核电站		500 年(运行)且 不小于(1/2)SEE 正常运行		10000 年(校核) 不允许核泄漏

4.0.3~4.0.4 水电工程抗震设防区的所有建筑工程及其设施设备，要先确定其抗震设防类别，再相应确定抗震设防标准。水电工程建筑物及其设施的抗震设防类别的划分遵循《建筑工程抗震设防类别标准》（GB50223-2008）的规定并考虑其在抗震救灾中所应发挥的作用以及恢

复重建的难度等因素。

4.0.5 水电工程的大库高坝，区别于一般工业民用建筑，一旦遭遇地震失事后，不仅自身损失大，而且可能导致严重次生灾害和重大社会影响，因此 1 级大坝归为特殊设防类或重点设防类。大坝愈高、库容愈大，损失的后果愈严重，因此，抗震设防要求愈高。

鉴于大库高坝的特殊重要性及其满足“极震不倒”的设防目标，特殊设防类的建筑工程仅限于满足一定条件的“拦河大坝”，从而将需要比一般工业民用建筑提高抗震设防要求的特殊设防和重点设防的建筑控制在较小的范围内。这一规定，与汶川地震水电工程震损调查分析的结论意见是一致的，即已经实行了数十年的《水工建筑物抗震设计规范》所确定的抗震设计标准是合适的，无须扩大范围提高设防标准。

水电工程水工建筑物以及设施设备的抗震设防分类的要求和所考虑的因素不尽相同，因而其防震抗震设计的要求也有所不同。不同的抗震设防类别需要满足不同的防震抗震设计要求。建筑物各区段的重要性及失事后的危害性显著不同时，也可以按区段划分抗震设防类别。

大中型水电工程建筑的抗震设防类别一般是标准设防类，需要高于场地抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施的，为重点设防类，需要在此基础上，进一步提高设防水准的为特殊设防类。允许低于场地抗震烈度，适当降低其抗震措施的，为适度设防类。因此，确定建筑物抗震设防类别需要具体问题具体分析。

5 选址与场地类别

5.1 选址

5.1.1 《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287) 主要是从区域地震地质背景和活动性断层对工程的影响角度提出了两条选址准则, 这两条准则是基于目前水工建筑物抗震设计水平考虑的, 也与我们所掌握的水电工程抗震设计经验和汶川地震后的震损调查情况相吻合。

汶川地震震损调查表明, 水工建筑物直接受地震影响损坏大致有两类: 一类是地震动直接引起的结构损坏。汶川地震使震区的众多水工建筑物不同程度受损, 但均可在震后较短时间内得以修复, 特别紫坪铺、沙坪、宝珠寺、碧口四座不同类型, 高度 100m 以上的大坝工程经受住了超设计标准的地震考验, 没有造成垮坝等灾难性的影响, 说明在强震区只要精心设计、精心施工, 修建大型水坝工程是可行的。另一类是断层错动导致建筑物破坏, 亦即通常所说的抗断问题。国内外大量经验表明, 断层产生破裂、发生位移的能量是相当大的, 完全超出了人力所控范围, 是一种天然的不可抗力。活动断层的同震位错量可以达到数米甚至十数米, 任何一种类型的建筑物均难以抵御此种变形量, 因此拦河坝、泄水建筑物和发电厂房等主要建筑物不应跨越活动断层。该条文中的两个条款就是针对两类震害而提出的。

第二款中, 将“大坝等主体工程”明确为“大坝、泄水建筑物和发电厂房等主要建筑物”, 更加明确, 便于操作, 并将地质勘察规范中的“不宜”改成“不应”, 作了更为严格的规定。

5.1.2 在防震抗震方面, 对选坝河段进行划分, 选择相对有利地段, 避开

不利地段，未经充分论证不得在危险地段进行工程建设的设计思想与国内建筑行业、电力行业的相关抗震设计规范的要求是一致的，只是对划分的因素和评价结合水电工程的实际进行了相应规定。根据众多地面地震地质灾害的调查：等于或大于7级地震的极震区（相当于IX度及以上地震区）才可能产生有害的地震破裂和大规模崩塌、滑坡等地震灾害，且难以处理，所以划入危险地段。5级以上、7级以下地震的极震区（相当于VI~IX度地震区）就有可能产生砂土液化、不均匀沉陷等灾害，属于不利地段，但对于此类地震地质灾害，人们已经掌握有效、可靠而且经济的工程处理方法，可以通过采取一定的工程措施，安全地建设水电工程。根据近年来地震界、工程界所形成的共识，将场址区范围由以前的“距坝址8km”修改为“距坝址5km”，也与相关规范保持一致。

5.2 场地类别

5.2.1~5.2.2 两条文是关于场地土类型以及场地类别划分的规定，准确划分场地土类型，再结合覆盖层的厚度最终划分场地类别，两条文是相互关联的。场地类别是抗震计算中选择设计反应谱的主要依据。

5.2.1 是关于水工建筑物场地土类型的规定。水工建筑物开挖后的场地土类型是表层土刚度（软硬程度）的表征。表层土，在覆盖层较薄的条件下，一般就指覆盖层土；在覆盖层深厚的条件下，一般取20m深度内刚度较小的土层。场地土类型可根据剪切波速划分，也可根据代表性的岩土体特征进行类比确定。

5.2.2 是关于场地类别的规定。场地类别是场地条件的综合反映，除

考虑了表层土的刚度特征外，还考虑覆盖层厚度的影响。

5.2.3 本条是关于建筑物地基和边坡岩土体条件复杂时的原则规定，要求在查明地基和边坡的稳定条件基础上，复核在设计地震作用下安全性，估计可能的危害程度，研究提出处理措施。

6 场地地震安全性评价

6.0.1 场地地震安全性评价工作是指场地地震基本烈度复核、地震危险性分析、不同概率水准的地震动参数确定（加速度、反应谱、地震动时程等）、地震小区划、场地及周围地震地质稳定性评价、场地地震灾害预测等工作。

建设单位应对场地地震安全性评价工作负责。国家、省（区、市）防震减灾主管部门实行分级管理和监督。重大工程、特殊工程和可能产生严重次生灾害工程的场地地震安全性评价成果，由国家防震减灾主管部门负责审批后，作为抗震设防的依据。

6.0.4 （极限地震）坝址 5km 范围存在活动断层且潜在震级大于等于 7 级的，应进行场地相关地震动参数研究。建立基于设定地震的场地相关地震动反应谱及生成幅值和频率非平稳的人工地震动加速度时程。

活动断层离大坝愈近，地震的影响愈大，坝高库容规模愈大，大坝失事的危害性也愈严重，对此必须给予充分重视。由于地震动的不确定性、结构动响应的复杂性及其地震灾变后果的严重性，高坝大库的抗震防灾战略重点应当是：‘防止遭遇超出设计预计的最大可能的地震时，发生库水失控下泄、导致严重次生灾害的溃坝灾变’，因此，对于离活动断

层近的高坝工程而言，确定其坝址可能发生的极限地震，即所谓的“最大可信地震”是必要的。

最大可信地震通常定义为与坝址地震地质条件相关的预期可能发生的极限地震。在一些国家常将其取为重现期 10,000 年的地震。实际重现期为万年一遇的地震并不一定是最大可信地震。而且主要问题是，将工程场址地震危险性分析给出的震级概率曲线外延至重现期为 10,000 年的小概率地震事件，有相当的任意性，其可靠性也值得质疑，因此，有专家建议需要开展设定地震的场地相关地震动参数研究。

已有资料表明，重大工程的最大可信地震主要取决于离坝址近且震级上限高的潜在震源中的主干发震断层。因此，为确定高坝坝址的极限地震，需要加强能反映近场大震特征、发震破裂的模式、速率和时间序列的‘随机有限断层法’的研究。尤其是，需要基于我国强地震特点，进一步深入研究能反映有‘障碍体(asperities)’的断裂面不平整性的滑动模型，以及根据我国的板块内地震记录，回归诸断裂参数与地震矩的关系式。

7 地震设防标准

7.0.1~7.0.3 经收集和分析国际大坝委员会、美国、英国、日本、加拿大、俄罗斯、意大利、奥地利、罗马尼亚等十多个建坝多地震多的国家的抗震设计规范和导则。地震设防水准基本上都是采用概率水准或基于概率理论的重现期表征的。

7.0.4 离活动断层愈近，地震危险性愈高，高坝抗震难度愈大，为避免地

震破坏及可能导致的后果，高烈度地区不应修改大库高坝工程。河流水电规划布置上，首先要绕避活动断层；无法绕避的，也要避免布置高坝梯级，否则工程难度太大。美国奥本坝，就应为布置离活动断层很近的地方，在工程开工后，不得不下马。

规划修建于美国加利福尼亚州阿美利坚河支流北福克河上的奥本坝，是一座综合性水利水电工程。挡水建筑物选用双曲拱坝，最大坝高209m，总库容28.4亿m³，电站装机容量750MW。美国垦务局在1967年~1972年用了5年时间进行勘察设计。工程于20世纪70年代初开工，1975年在该坝址西北方向约70km处的奥洛维尔发生里氏5.8级地震。因怀疑该坝区域稳定性存在重大问题，1976年工程缓建。在停工期间，补充了大量地震地质工作。在补充地质工作的2年时间内，开挖了32km的坑槽，揭除了近80万m³的土石，同时补打了6100m钻孔，结果在坝区及其附近发现多条活动断层。根据连续7年观测与研究，断层上下盘相对错动速率为2.5mm/a，在建筑物使用年限内，推算断层位移将达到2.5cm~90cm。亦即该拱坝存在错断的可能。奥本坝1979年彻底停建。施工期间，共耗资2.45亿美元。这座著名的特高拱坝，由于区域稳定性方面的工作和判断错误，酿成了全局性失误。

场地相关地震动参数研究属于地震科学中的前沿性课题。需要研究地震成因机制、震源特性、地震地质背景以及地震波的传播与衰减规律等。离活动断层近的工程，尤其是大型和特大型的工程，开展这类科学研究是必要的，目前而言对多数水电工程难以全面铺开开展相关工作。

规范化的方法、假定和推导，还有待进一步研究规定。

7.0.5 多数国家的大坝抗震设计规范或导则中，虽然多采用最大设计地震 (Maximum Design Earthquake) 和运行地震 (Operational Basis Earthquake) 两级抗震设防水准，但一些国家如英国、瑞士等，实际都只按 MDE 进行大坝抗震设计，在重要大坝抗震设计中，重现期为 100 年至 200 年的运行地震 (Operational Basis Earthquake)，一般不起控制作用。多数国家采用最大设计地震的一级抗震设防水准。对低坝，其 MDE 就取 OBE。

对于重要大坝，多取最大可信地震 MCE 作为设计地震 (MDE)，MCE 的重现期为 5,000 至 10,000 年。其性能目标为不因溃坝导致库水下泄失控。OBE 的性能目标则为可修复的轻微损坏。根据陈厚群院士、张楚汉院士等的研究成果，我国现行的按 MDE 的单级大坝抗震设防水准是可行的和基本合理的，与国外相比要求较为严格。

潘家铮院士建议，水电工程大坝要做到“中震不坏、大震可修，极震不倒”，相比一般工业民用建筑，这是水电工程大坝的特殊性所决定的。基于防止强震区高坝大库地震灾变的严重次生灾害，对于设计峰值加速度超过 0.3g、高度超过 150m 或库容大于 10 亿 m^3 的高坝，应对其在 MCE 时不溃坝的性能目标进行校核。

7.0.6 国际上一些国家对高坝抗震设防采用两级标准，即运行地震 OBE (Operational Basis Earthquake) 和安全设防地震 SEE (Safety Evaluation Earthquake)。在确定安全设防地震时，一般可基于地震地质条件采用确定性方法推算该区最大可信地震 MCE (Maximum Credible Earthquake)，

并令 $SEE=MCE$ ；另一种确定 SEE 的方法是采用概率法，即前述的一定基准期内发生某一超越概率的地震。此次制定的标准中，不要求进行运行地震（OBE）验算，对 SEE，重点设防类的大坝采取设计地震一级设防，对特殊设防类的大坝采取设计和校核两级设防。设计地震和校核地震的重现期分别为 2000~5000 年和 MCE 或 10000 年。

表 2 世界各国高坝抗震设防标准

国家	抗震设防级别				
	OBE	SEE			
日 本	100 年（线弹性）	$SEE=MCE$ （仍可修复）			
新西兰	150 年（不损伤）	10000 年或 MCE（不溃坝）			
美 国	150 年	$SEE=MCE$ （重要工程）；1000 年（一般工程）			
意大利	500 年的 $1/2PGA$	$SEE=MCE$ （重要工程）；2500 年（III 类工程）			
英 国	不控制	I 类(工程)	II 类	III 类	IV 类
		1000 年	3000 年	10000 年	30000 年
奥地利	不控制	$SEE=MCE$			
加拿大	不控制	中坝	高坝	很高坝	极高坝
		1000 年	2500 年	5000 年	10000 年
瑞 士	不控制	低坝	中坝($H>25m$)	高坝($H>40m$)	
		1000 年	5000 年	10000 年	

一般说来，高坝抗震标准受三个关键因素的影响，即工程重要性、地区地震强烈性和地震不确定性等。工程越重要，失事造成后果越严重，设防标准提高，重现期加大；此外，工程影响区域经济越发达，重现期也较大。地震活动性与强烈性对重现期也有一定的影响，地震特别强烈的国家和地区，为了工程设计的可行性和经济性，设计重现期可能适当地降低；反之，在弱震的国家和地区，由于考虑到地震的不确定因素，将设计重现期适当提高，以保证重要工程仍具有足够抗震能力，如

表2中的英国、瑞士、加拿大等均采用 10000 年作为设计 SEE 标准。我国三峡大坝由于兼具工程特别重要性与地处弱震区两个因素，抗震设防标准也定为 10000 年。在世界范围内，我国西南地区的地震强烈性与日本、美国加州和智利具有可比性。国际上各国采用不同的重现期进行抗震设防，但实际设防峰值加速度 PGA 一般高达 0.4~0.5g，如智利地震活动性强烈，重现期 800 年的地震 PGA 大于 0.5g；意大利重现期 2500 年的 PGA 为 0.6g；英国地震活动性较弱，但重现期 30000 年的 PGA 也达 0.375g；瑞士重现期 10000 年的 PGA 约为 0.5g。反观我国西南大多数高坝水电站地区，重现期 5000 年地震一般为 0.3~0.4g，迄今最大的 PGA 为 0.56g（大岗山水电站），10000 年为 0.66g，与国际上高坝最大设防 PGA 大致相当，从这个角度看，我国高坝设防标准也是基本合理的。

比较

表2国际标准与我国现行标准可以看出几个特点：（1）国际两级设防主要是指 OBE 和 SEE 两级，而我国是在 SEE 中又分设计 SEE 和校核 SEE 两级，对 OBE 则不予控制；（2）在 SEE 标准中，我国标准分别采用 5000 年作为设计，以 10000 年或 MCE 作为校核（暂行），在各国规范中是偏于安全的；（3）国际大坝委员会 ICOLD Bulletin (1989)对 SEE 下高坝安全定义是“不会产生不可控的水库溃洪并造成下游灾害”，我国相应的安全定义是对设计 SEE 下大坝允许局部破坏，可修，在校核 SEE 下，不溃坝或经千方百计努力后仍基本可修，后者也比国际上偏于安全；考虑到我国现行高坝多属于 200-300 米级高坝工程，库容一般具有数十亿甚至百亿

立方米等级，电站装机也在数百万~千万千瓦容量，泄洪流量以 2 万~6 万秒立米计，坝址所处西南地区亦属强震多发地区，上述综合指标在国际高坝工程中应属前茅，世界上无任何国家可以比拟；再考虑到地震发生的不确定性仍然很大，高坝地震失事对下游的灾难性后果是难以承受的。综上所述，笔者认为对我国重要的高坝工程采用两级 SEE 对大坝进行抗震安全设防和校核是必要的，也是可行的。

高坝抗震标准建议采用二级设防，现行设计地震重现期为 5000 年，校核地震采用 MCE 或重现期为 10000 年是可行的。设防标准、分析方法和性能控制的一致性是高坝抗震安全评价的基本前提，应保证三者配套。由于传统方法有着长期的工程建设经验积累，有一套较为成熟的控制标准，因此，高坝抗震分析仍可以传统方法为基本安全评价手段，在设计地震情况下，大坝应满足规范规定的承载能力，对校核地震条件大坝性能控制作适当放松。现代方法能模拟复杂的高坝系统，考虑横缝非线性、材料损伤断裂和无限地基辐射阻尼等因素，较真实地还原高坝地震动力行为的本来面目。因此，应逐步从传统方法过度到现代方法进行高坝抗震安全评价，目前两种方法可并行不悖。采用现代方法时，《水工建筑物抗震设计规范》将规定统一的计算模型、方法与参数取值，重力坝和拱坝安全应分别满足设计和校核地震情况下的性能控制目标。

7.0.7~7.0.8 经分析，个别情况下本规范规定的水电站输水发电系统和泄水系统抗震设防标准可能高于《电力设施抗震设计规范》(GB 50260) 要求，故水电站金属结构设备、机电设备（设施）及通信设备等的抗震设

防标准还应满足本条规定。

7.0.9 水电站及其变电工程、梯级（区域）集控中心等均是电力系统的电力设施。根据《电力设施抗震设计规范》（GB 50260）的规定，针对水电站建设和运行的具体情况，以水电站的装机容量、变电工程的电压等级和通信设施的重要性等作为依据，本条划分了重要电力设施和一般电力设施。电力设施抗震设防标准应符合《电力设施抗震设计规范》（GB 50260）的要求。

《电力设施抗震设计规范》（GB50260-1996）规定，重要电力设施中的主要建筑物和生命线工程作为重点设防类，一般电力设施的主要建筑物和有连续生产运行设备的建筑物以及共用建筑物、重要材料库的为标准设防类。

遭遇不同地震情况后，水电站机电设备应保持的状态

地震 工况分级	震后大 坝状态	震后主要建 筑物状态	震后电站机电设备 状态
多遇地震	正常	正常	电站机电设备状态保持完好，正常运行不受影响。
设计地震 工况	局部损坏，可修复	可修复	电站机电设备状态基本完好，可检修后可以恢复发电。
校核地震 工况	不溃坝		采取措施，泄水闸门和启闭设备可以运行；对外通讯畅通；人员应急救援设备投入。

在工程遭遇设计地震工况的条件下，电站大坝及建筑物均未严重受损，这样就要求机电设备自身状态也基本保持完好，可以使电站在适当检修后，迅速恢复发电生产。对此，现行设计规范、标准与措施是比较完善的，也经受了实际考验。其基本要求是：机电设备的抗震设防标准与其所在建筑物相同，或者，设备的抗震设计的动参数值依据所在建筑物的抗震设计标准选取。

在遭遇校核地震工况情况下，应急处置行动将集中在保证大坝安全和人员救援两方面，没有迅速恢复发电的要求。因此，“重要设施设备”特指对大坝安全至关重要的“泄水建筑物闸门、启闭设备、柴油机应急电源”等，其抗震安全设计核心目标是“防止重大次生灾害（溃坝）发生”。对人员救援，抗震安全设计的目标是为“最大限度减少灾后损失”提供设备保障。

7.0.10 工程实践中，人们已经积累了很多地震与工程的相互关系的认识；建筑物结构地震动响应规律也有一些经过检验的研究成果；一些针对性的防震抗震工程措施也发挥了重要的作用，这说明，尽管我们还不能全面真实地掌握地震的特性和建筑结构的抗震性能，但可以从建筑物结构——比如大坝的极限抗震能力分析上认识其抗震安全性。如果大坝的抗震安全可靠性能足够大，比场地地震可能的最大的影响还大，也足以令人放心。这就是开展极限抗震能力分析的意义。

8 枢纽布置及建筑物

8.0.1 枢纽布置方案选择要充分考虑各种因素，包括地震作用及其地

震次生灾害的可能影响，并经技术经济环境和抵御风险的能力等方面进行比较，综合分析确定。

8.0.2 近年来，工程界对枢纽布置是否设置专用放空底孔存在争议，对混凝土坝枢纽工程设置专门放空底孔的争议更多；国内很多工程设计也未考虑设置放空底孔。但总结水电工程建设经验，高坝大库工程挡水建筑物一旦出现问题，是否具备放空排险功能和创造修复条件显得至关重要；汶川地震紫坪铺水利枢纽工程泄洪洞及放空洞发挥的作用，对工程抗震安全性起到重要保障作用。

特殊设防和重点设防类的大坝，库容较大，在发生强地震时，降低库水位或放空水库，可避免大坝严重震损后发生溃坝，从而解除对下游地区构成的严重威胁，同时可减轻余震时地震动水压力对大坝的不利影响，也为大坝震后修复创造条件。

8.0.3 本条提出工程设计须重视枢纽工程区地质灾害隐患排查及分析自然边坡、滑坡体、危岩体等地震工况下的稳定性，并研究制定工程措施和非工程措施。

8.0.4 对枢纽工程中的大坝、泄水建筑物等的布置及其地基处理从抗震设防角度提出要求。这类建筑物的震损破坏不仅只是其自身的破坏，而且可能造成枢纽工程的整体破坏，后果严重，需要给予高度重视。

大坝及泄水建筑物的抗震安全首先取决于地基的稳定。地震区的建筑物除满足地基的一般要求外，还应有足够的抗震性能，应根据不同坝型和不同泄水建筑物型式研究制定针对性工程措施。

8.0.5 狭窄河谷往往两岸山体陡峻，地面厂房布置条件相对较差；低于地面的山体内部地震动峰值加速度值相对地面较小。汶川地震震损调查结果也表明，地下洞室结构受地震动的影响较小，抗震性能好。

水工建筑物地震反应较大部位体型突变，会在突变处引起地震动应力集中而破坏，不利于建筑物结构抗震安全，应尽量避免。本条款基于国内外水工建筑物震害调查和工程抗震实践经验，提出从结构体型上改善抗震性能的基本原则和要求。

8.0.7 本条款根据建筑物抗震设防类别不同提出不同抗震分析要求。对特殊设防类的建筑物，除进行基本抗震分析外，尚需对其校核地震工况下的整体稳定性进行复核；对特殊设防类的 1 级挡水建筑物还提出进行极限抗震能力和可能破坏模式的研究要求。

9 地基与边坡

9.0.1 本条对水工建筑物的地基提出了满足抗震设计的总体要求，应满足不发生失稳破坏、渗透破坏，以及避免产生影响建筑物的有害变形等条件。

9.0.2 水电工程的震害调查表明，地震对水工建筑物、地基和边坡的震害特征变形为地震动的直接作用和地震动次生灾害的作用两类。

9.0.3 对建筑物地基中的可液化土层和软弱土层提出勘测设计抗震要求。通过 5.12 汶川地震震损调查发现：紫坪铺混凝土面板堆石坝、碧口土心墙堆石坝、水牛家心墙堆石坝以及绝大部分的闸坝均修建在覆盖层地基上，有的甚至是深覆盖层，但均未出现因地基砂土震动液化而出现坝（闸）

基失稳的情况。表明对覆盖层地基进行有效的工程处理措施后，是可以建坝甚至是可以修建高坝的。

9.0.5 汶川地震震损调查工作，一方面表明经过加固处理的工程边坡震损轻微，没有出现崩塌、滑动破坏的情况，震区 22 座大中型水电工程仅薛城、桑坪等工程的地面厂房后边坡存在开裂变形迹象，水电工程边坡整体稳定性好，且具有良好的抗震能力。另一方面也表明未经处理的自然边坡稳定性要低于工程边坡，其对建筑物本身造成的破坏是明显的。因此要高度重视自然边坡的安全性评价，在加强工程区边坡稳定性研究和处理的同时，可适当扩大边坡调查和处理范围，从而保证边坡下部建筑物及设备设施的安全。

9.0.7~9.0.8 规定重要的工程边坡都必须进行地震工况下的稳定分析计算，且规定了基本分析方法，边坡工程的重要性需要进行具体分析确定。对于重要的或特别重要的建筑物边坡，采用包含拟静力的刚体极限平衡、有限元动力法在内的多种方法进行分析是必要性的，以使评价意见较为客观。

10 金属结构

10.2.2 发生地震后，为了能及时、迅速地操作闸门，控制库水泄放，泄洪系统的工作闸门必须具备现地和远方操作功能。对于其他固定式启闭机，主要用于事故闸门或检修闸门，因为没有严格的时间要求，除必须具备现地操作功能外，为方便运行，宜具备远方操作功能。

10.2.3 对于电站进水口快速闸门的启闭机，因为对闭门时间有严格限制，

常规设计时就具有现地和远方操作功能，此规定与常规设计相适应。

对于事故闸门或检修闸门等固定式启闭机，因为没有严格的时间要求，除必须具备现地操作功能外，宜具备远方操作功能，方便运行。

10.2.4 发生地震后，为保坝或者保护下游的水库、大坝，最迫切的任务是能够操作闸门，控制水流泄放。地震发生后，外来电源、厂用电源可能已经损毁，因此，柴油发电机是必不可少的。

对于小容量的启闭机，除应设柴油发电机作为应急电源外，启闭机还应设置手摇机构，必要时可以人工操作闸门。

10.2.7~10.2.8 启闭机电气控制柜、液压启闭机泵站是操作启闭机必不可少的设备，必须保证其安全可靠才能操作启闭机。

10.3.1 闸门吊耳是闸门与启闭机连接的重要部件，国内曾出现过闸门提升过程中吊耳损坏，造成闸门无法开启的事故。而地震发生后，由于闸门变形，门槽内落入杂物等因素的影响，可能造成闸门的启闭力加大，因此特别提出此问题，提醒设计重视吊耳的设计。

10.3.4 多孔共用的闸门放在储门库内比较安全。如果将闸门锁定于坝面，遇到地震时，闸门可能会倾倒，也容易受到滚石、飞石的撞击而损坏。储门库设盖板，主要是防止滚石、飞石、崩塌体进入门库而将闸门掩埋。

10.3.5 门槽顶部设盖板的目的是防止滚石、飞石、崩塌体进入门槽而将闸门及门槽掩埋，造成闸门无法启闭。

10.4.1 垂直升船机、船闸等过坝设施涉及土建、地形地质条件等多专业内容，是复杂的系统工程，金属结构设备的抗震设计应结合相关专业和

工程具体情况进行专题研究。

10.4.2 正常情况下，升船机、船闸等设施是不能泄洪的。但在遇到地震后，为了保坝必须由升船机或船闸（或充泄水系统）泄洪时，可考虑牺牲金属结构设备及设施而由其泄洪。但在进行专题研究时必须对此进行分析、论证，研究可行性并在设计中加以考虑。

11 机电设备

11.1 一般规定

汶川 5.12 特大地震对水电工程的影响烈度超出了岷江流域上游水电工程的设防烈度，对水电工程机电设备（设施）的破坏较为严重。根据震损调查情况分析，震区水电工程机电设备主要是受到地震地质次生灾害、建筑物倒塌或土建基础变形的破坏，而机电设备自身的防震抗震能力在总体上是可以满足要求的。这说明水电工程机电设计中采用的有关防震抗震现行标准和设计方法在总体上是合适的。本节再次强调了水电工程机电设计中应注意的一般性问题。

11.1.3 震损调查情况，本条再次强调机电设备及盘柜等的倾倒或位移是水电站防震抗震机电设计中应当重点关注的问题之一。

11.2 电气设备（设施）

11.2.1 本条根据 GB 50260《电力设施抗震设计规范》的 5.1.1 条，并结合水电工程具体情况提出。

由于发电机电压母线是硬连接，根据不同的厂房布置条件有时引线较长，容易遭受震害应进行抗震设计。水电站地下厂房布置升压开关站时，往往采用 SF₆ 管道母线（GIL）引出，且一般引线较长，GIL 为硬连接，充有 SF₆ 气体，造价高，易受震害，应当进行抗震设计。与 GB 50260《电力设施抗震设计规范》5.1.1 条相比，本条增加了第 4 款规定。

11.2.2 电气设备应当根据工程设防烈度进行选择，其自身抗震能力应当满足抗震设计

要求。然而有些已定型的电气设备抗震性能较差，当为满足设防烈度要求而改变产品结构或改用其他高强度材料难度较大或提高造价较多时，可考虑采取装设减震阻尼装置或其他相对简单、经济、有效的抗震措施。

11.2.3 根据汶川 5.12 特大地震震损调查情况，边坡滚石和边坡塌滑是升压变电站及出线场等处电气设备损坏的主要原因。鉴于此，升压变电站及出线场应尽量避免防震抗震不利位置进行布置。

11.3 电站厂用电系统

11.3.1 根据汶川 5.12 特大地震震损调查情况，提高水电站泄水系统电源可靠性对保障大坝安全、防止重大次生灾害发生具有重大意义。鉴于强烈地震后水电站及外部电网可能全部失电，根据大坝及泄水建筑物设防类别，对水库蓄水量较大、水头较高的水电站，厂用电系统应当为泄水供电系统配置保安电源。该保安电源应当在水电站全厂停电并与电力系统解列后，保障泄水系统供电电源，一般为柴油发电机组。

11.3.2 本条规定了泄洪保安电源的接入方式、布置要求及抗震设防标准。

11.3.3 本条规定选择保安电源配置的数量和容量时，应考虑紧急状态下供电负荷的特性和运行方式，保安电源的容量应首先保障电站泄水系统运行要求。

“应急（电源、通信）设备”大致可分为三类：

第一类：在故障状态下，为保证发电生产能够继续或迅速恢复，或避免事故扩大所配置的“应急（电源、通信）设备”。建议称为：“应急备用（电源、通信）设备”

第二类：在出现重大灾害情况下，为保证大坝安全，避免发生重大次生灾害，对社会安全构成威胁而设置的“应急（电源、通信）设备”。建议称为：“保坝应急（电源、通信）设备”。

第三类：在出现重大灾害情况下，为保证应急处置行动的顺利展开，最大限度减少灾后损失，保障人员安全而设置的“应急（电源、通信）设备”。建议称为：“救援应急（电源、通信）设备”

由于使用目的不同，设计中上述三类“应急（电源、通信）设备”的设置要求是不同的。防震抗震设计中的“应急（电源、通信）设备”一般是指第二类和第三类。需要注意的是，应根据电站的具体条件，研究“应急备用（电源、通信）设备”（第一类）兼顾“保坝应急”和“救援应急”（电源、通信）设备（第二、三类）要求的可能性与合理性。

12 通信

12.1 一般规定

根据本规程 7.0.8 条的规定，结合汶川 5.12 特大地震震损调查情况，本节对重要电力设施、一般电力设施以及水电站至梯级（区域）集控中心的通信通道组织和通信方式分别做出了规定。

12.2 卫星通信

12.2.2 对水电厂与梯级（区域）集控中心通信的通道组织和通信方式做出了规定。对于其他独立运行水电站是否采用卫星通信作为第二备用通信通道，应根据所在电力系统的通信规定和需求确定。

12.2.3 对水电厂小型卫星地面站的容量、规模及其所具有基本功能做出了规定。

12.2.4 生活区、管理区一般与水电站厂区距离较远，对已在厂区设置卫星通信地面站的水电站，在生活区、管理区设固定卫星通信站可明显加强水电站的震后应急能力，且增加投入有限。

12.2.5 本条中应急移动卫星通讯设备仅要求具有语音通信功能，主要用于震后应急处置行动的过程中。

12.4 水情自动测报系统通信组网

12.4.1 重要遥测站仅指水文站、水位站和重要的雨量站，其通信方式中应有卫星通信。

13 对外交通

13.1.1 水电站对外交通运输是联系水电站枢纽与国家公路、铁路车站、水运港口和航运机场之间的主干交通。遭遇地震时，担负抢险救灾的物资和人员的运输任务。水电站对外交通包括：永久进场交通、上坝交通、长引水工程的厂坝连接交通、蓄能电站上水库与下水库的连接交通。

水电站对外交通条件随着周边交通设施的改善而发生变化。水电站专用对外交通除了工程建设期修建或改造的专门用于工程建设的交通条件外，一切可以利用的交通条件都应该作为本工程地震应急救援的通道。

13.1.2 汶川地震发生后，通往汶川、茂县、北川、青川等重灾县以及 254 个乡镇公路一度完全中断，给第一时间抢险救援造成极大困难，在都江堰至映秀段公路无法短时抢通的情况下，不得不临时调配设备开通紫坪铺水库水上生命通道。由此可见，研究设置库区通航的水运设施是必要的。库区水运应考虑地震情况下，水库放空的可能性与水运码头的适应性。

13.1.3 对于在深山峡谷或交通条件特别困难的特大型水电站工程中，采用公路交通运输方式时，考虑地震次生灾害对阻断公路的影响，应考虑在河道两岸，或大坝上、下游，设置主、辅两条进场线路。研究选择库区水运及设置空运停机坪的必要性。

吸取汶川地震，沙牌拱坝坝址的对外交通完全隔绝，甚至直升机也无法到达坝前的教训，对于交通条件特别困难的特大型水电站工程，应考虑设置有空运条件的直升机停机坪，以及沟通停机坪和大坝的运输线路。

13.2.1 水电站专用对外交通在遭遇地震灾害时往往是工程地震应急救援的唯一通道，因此，参照国标《建筑抗震分类标准》防灾救灾建筑和交通运输建筑的要求，提出水电站对外交通工程应根据水电站工程规模和重要性来划分分类标准。

按本规程确定水电站专用对外交通工程分类标准后，按相关行业的抗震规范进行抗震设计。作为大型水电站工程的专用对外公路，其设计抗震标准除依据地震基本烈度外，应考虑水电站工程的重要性来确定提高或降低对外交通工程主要建筑物的抗震设计标准和抗震措施要求。一般情况下，特大和大型水电站对外交通公路标准为 2、3 级公路，按本规范规定其所有大中桥梁及重要建筑等均按重点设防类设计，对单跨超过 150m 的重要桥梁等应按特殊设防类进行抗震设计。

由于对外交通线路较长，可能跨越不同的地址构造区域，因此，对外公路可分段考虑其地震设防烈度。

13.3.1 汶川地震灾害调查分析表明，除跨河大桥外，地震对交通设施的破坏，主要表现为地震地质灾害对交通设施的次生灾害，这种破坏与场地的不良地质因素有关，如崩塌、飞石、滚石、滑坡、泥石流等。跨河大桥的破坏，表现为地震振动作用造成结构物的破坏。这种破坏，一方面是桥梁桥墩地基的关系，另一方面则是与结构物的地震反应和抗震性能有关，也也建筑物的型式和采取的抗震措施关系密切实践证明，地下工程、包括公路隧道，一般很少因地震遭受破坏，是一种对抗震较为有利的构造物。地下工程抗震有利，一方面是地震作用较小，另一方面是地

下工程的整体性好，地震反应不大。悬崖、陡壁和不稳定边坡地段，选用隧道通过，对抗震有利，而隧洞进出口及其边坡则成为抗震设防的重点，需要给予足够的关注。

13.3.2 汶川地震灾害调查分析表明，地震对跨河桥梁的破坏是阻断交通的重要因素，而一些简支梁结构的桥梁是最容易垮塌的，并且由于垮塌桥梁修复困难，因此本规范要求对重要的桥梁应选择对抗震有利的结构型式，如尽量选择刚构桥而非简支梁桥。

14 地震监测

14.1 枢纽工程区地震监测

14.1.1 本条是对地震监测工作的总体要求。国家有关部门和地方人民政府、行业出台有地震监测的法律、条例及规程规范，本条强调在进行地震监测时要遵守相关法律法规和技术规定的要求。

14.1.2 水电工程场址的地形地质条件各有不同，枢纽建筑物种类多，体形相对比较大，还涉及大规模的地下空间的利用。为了较全面地掌握枢纽工程不同部位的强地震动规律，本条针对水电工程及水工建筑物的特点，提出了强震监测布置的一般原则。

14.1.3 本条是针对坝址自由场强震监测和场地效应监测的规定。枢纽建筑物进行强震监测的同时，还应布置河谷自由场的强震监测。对于基本烈度8度及以上场地上的1级壅水建筑物，强调了在工程蓄水之前要开展地震场地效应的监测。这也是基于目前我国大坝工程强震监测现状提出的新要求。我国是多地震的国家，但同时又是缺少强震记录的国家，

随着西部水电开发，西部地区加强工程地震的监测尤显重要。迄今我国水电工程的1级壅水建筑物已达数百座，但仅建成了30多个强震监测台阵，其中9个台阵记录到地震加速度值，最大加速度值均在0.1g以下。据不完全统计，美国已建成6000余台强地震动加速度监测仪，且获得了数千条强地震动加速度记录资料；日本建成3000多台强地震动加速度监测仪，在阪神大地震中，近百台仪器同时获得地震动加速度记录。而我国大坝工程抗震设计多借鉴美国的强震记录资料，只有不断建立和完善我国的强震动监测体系，才能促进和提高我国地震工程学和工程抗震事业的发展。

14.1.4 本条是对强震监测仪固定、环境、供电、定期维护更新的原则要求。汶川地震区的强震监测仪因固定、环境、供电及维护更新方面存在缺陷，致使未全面记录难得一遇的强烈地震的大坝地震动数据，是我们应该汲取的深刻教训。

强震仪的电缆、记录部分安装，以及强震仪的定期巡回检查等，《混凝土坝安全监测技术规范》（DL/T5178-2003）有详细要求。

14.1.5 按目前技术手段和水平，地震反应监测除了对建筑物强震监测和场地动力反应监测外，还应包括应力应变、动孔隙水压力及接缝位移监测等，以全面捕捉建筑物在强地震作用下的工作性态。

14.1.6 虽然已经规定水电工程大坝及主要建筑物不能跨越活动断层，但在某些特定的情况下，坝址区5km范围内仍然存在活动性断层。因此，对这些场址区范围内的活动性断层有必要布置一些监测仪器对其活动性情况进行监测和活动性评价。

14.2 水库地震监测

14.2.1 世界范围内水库诱发地震是客观存在的事实，我国地震地质条件非常复杂，水库地震影响因素多，存在不确定性。国务院令（第409号）《地震监测管理条例》明确，对于可能发生水库诱发地震的水库工程，应设置专用地震监测台网进行水库地震监测。中国地震局发布的第9号令《水库地震监测管理办法》已于2011年5月1日起施行。本条文是根据上述规定而制定的。

14.2.2 鉴于水库地震越来越受到公众和政府部门的关注和重视，本条规定水库地震监测要根据实际情况进行专项设计、专项审查。强调水库地震监测台网应在水库蓄水前1年或者2年建成投运，以获得水库蓄水前后的地震观测资料，便于分析对比。

14.2.3 针对水库诱发地震的不确定性高，影响因素多，本条强调要系统记录水库地震资料和水库蓄水、水位变动的信息，及时分析监测资料，把握水库地震发生的规律性，判别是否出现了水库诱发地震，并分析水库诱发地震的特点和趋势，从而直接为工程和社会提供服务。

15 应急管理要求

15.1.1 本条依据《中华人民共和国防震减灾法》、《破坏性地震应急条例》、《国务院关于加强防震减灾工作的意见》（国发〔2010〕18号）的有关规定，考虑水电工程特点以及汶川地震灾区水电工程防震抗震经验制定。

15.1.2 工程运行管理期间的安全生产管理责任在建设单位和生产运行单位。建设单位和生产运行单位应该按照国家安全生产的规定，编制突发事件应急预案并加强预案管理。应急管理要求是指勘察设计单位在科学研究的基础上为建设单位和生产运行单位编制应急预案所提供的指导意见和技术支持。重点是风险识别、风险危害性分析和正确的对策措施。

15.1.3 本条概括了水电工程可能遭遇的主要工程事故和事件。一方面这些事故和事件总是从细微的缺陷开始，存在一定的起因，逐步发展而成，另一方面，任其继续发展，则后果严重，不仅可能中断电力生产，而且影响电网安全运行或造成更大的社会影响。因此，工程运行安全管理的重要任务之一就是防微杜渐，确保水电站建筑物和设施设备始终处于良好状态或可控状态。地震应急预案的作用，就是使管理者和值班人员懂得，一旦突发本条所列事故或事件，如何正确应对，最大限度地减轻灾害损失。

15.1.4 不同的水电工程，发生洪水漫坝或全厂停电事故的原因和产生的后果是不尽相同的。因此，需要就具体问题进行分析。既要看到水电工程风险的共性，更需要清楚具体工程风险的特性。只有这样，才能保证应急对策措施的适应性和有效性。应急预案要求看似千篇一律，其实实质有所不同，这取决于设计研究范围和深度。从这种意义上而言，随着认识的深入和客观条件的变化，应急预案是需要不断改进、补充、调整和修订的。

15.3.1 鉴于水电工程地震应急预案中对地震应急物资准备都有具体的要求，且地震应急所需的物资种类、数量也因工程的规模、所处地理位置

等各项因素的影响而有所不同，故水电工程地震应急物资的配备应满足地震应急预案对应急物资准备的要求。

15.3.2 指挥类应急物资是地震现场指挥人员必须配备的物资，以保证现场指挥到位，与外界联系畅通，如：海事卫星接收发送装置，小型对讲设备，便携式照明设备，便携式计算机打印机等。

救生类应急物资一般包括寻找和抢救被压埋人员物资，如：生命探测器、千斤顶、切断器、鼓风机等；伤员急救及卫生防疫物资，如：外用药与材料、医疗药箱、饮水消毒药、卫生防疫器械等。

抢险类应急物资指为恢复交通、通信、供电、排水等设施而储备的设备、设施，如：交通、通信、供电、供水等设施抢险工程车、抢险设备、材料等。

生活类应急物资指为维持转移、应急指挥、抢险等人员正常生活的物资，如：粮食食品、饮用水、衣物等。

公用类应急物资是指为满足地震应急公共服务而配置的装置、设备、物资、器材等。如用于应急工作和运输应急物资的汽车、水上应急救援设备，用于灾民安置、伤员抢救的帐篷，用于厂房吸油和防滑的锯末、砂土等

应急物资储备采取分散储备与集中调运相结合、地震储备与其它灾害应急储备相结合、专用物资专门保管、通用物资平震结合的原则。

15.3.3 地震应急物质是否储存安全、运输方便是保证地震发生后相关应急管理工作的顺利开展的基础。2008 年的汶川地震后，《汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析》中对灾区水电工程应急过程及应急能力

的调查显示一些电站虽然备置了相关的应急设备、设施，但由于长时间缺少维护，或储存位置不安全，地震情况下遭到破坏，导致应急设备物资不能启动，因而丧失了早期的应急行动机会。因此规范明确要求，大中型水电站应根据地震应急物资储备要求，建设应急物资储备库。

根据应急物资储备库的性质、任务，在选址和建设时首先应考虑其安全性；其次为使应急抢险、救援人员快速获得应急物资，必须保证库址所在地具有方便的运输条件；同时建设规模、标准和基本装备的确定还应考虑工程需转移疏散的人口数量，储备物资所需建筑面积，应急物资储存、管理要求。

15.4 按照“以人为本、减少危害、居安思危、预防为主”的原则，大中型水电工程要就各类突发事件避难场所和安全通道进行统筹规划设计，既要考虑运行期，又要考虑施工期，既要考虑地震灾害，还要考虑洪水、地质灾害及其他次生灾害。设计文件的相应部分应图示和文字说明应急管理要求的应急避难场所和安全疏散通道。

由于工程的规模、工程周边地质条件复杂程度、工程区场地地震基本烈度、工程运行涉及人员，以及工程施工期和运行期情况不同，导致电站对应急避难和应急疏散的要求不同，相应选择建设应急避难场所。但对于工程规模较大、工程区场地地震基本烈度较高、工程运行涉及人员较多、工程周边地质条件复杂、对外交通易受地震破坏的水电站应在工程区建设地震应急避难场所，同时可结合人员集中位置情况，设置应急疏散场地，以配合地震情况下的人员疏散要求。水电工程施工期一般

较长，施工高峰期施工人员较多，因此水电工程施工期也应根据施工及相关人员集中情况设置应急避难场所和应急疏散场地。

主要是针对发电厂房为地下或半地下厂房，厂房外至应急避难场所疏散线路易于中断，且周边地质条件复杂的水电工程，可以在厂房内设置临时应急避难地点。并对应急避难地点设施的基本原则作了一般要求。

安全性要求是指应急避难场所、应急疏散场地及临时应急避难点的选择时应避开地震断裂带、洪涝、山体滑坡、泥石流等自然灾害易发地段，选择地势平坦开阔、易于排水的地形，且在高层建筑物、高耸构筑物垮塌范围距离之外，易燃易爆、高压输变电路等设施对人身安全可能产生影响的范围之外；可达性要求应急避难场所、应急疏散场地应有方向不同的两条以上的与外界相同的疏散道路。

吸取汶川地震，沙牌拱坝坝址的对外交通完全隔绝，甚至直升机也无法到达坝前的教训，对于交通条件特别困难的特大型水电站工程，应考虑设置有空运条件的直升机停机坪，以及沟通停机坪和大坝的运输线路。

直升机的停机坪按照圆形设计，平面直径可按 30 米考虑，有条件的尽量设在周围无障碍物的大坝顶面最高处。停机坪地面、目视助航设施、航空标记、航标灯、防雷接地、消防救援设备等必须符合中华人民共和国民用航空行业标准《民用直升机场飞行场地技术标准》(MH5013-2008)的要求。