

JIAKONG XIANLU SHIGONG YU YANSHOU JISHU

架空线路施工 与验收技术

潘阳春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIAKONG XIANLU SHIGONG YU YANSHOU JISHU

架空线路施工 与验收技术

潘阳春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书依照 110~550kV 架空送电线路施工程序,划分为概述、原材料及器材的检验、测量、土石方工程、基础工程、杆塔工程、架线工程、接地工程及工程验收与移交 9 个部分,内容简捷易掌握,具有较强的针对性、实用性和适用性。

本书可供从事送电线路工程的监理、施工及质量监督等人员培训使用,对设计人员也有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

架空线路施工与验收技术/潘阳春编著. —北京:中国电力出版社, 2016.1

ISBN 978-7-5123-8321-0

I. ①架… II. ①潘… III. ①架空线路-工程施工②架空线路-工程验收 IV. ①TM726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 229560 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 172 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

为了提高监理队伍的素质和监督管理水平,改进监督管理手段和方法,增强监理工作的规范性、科学性和准确性。坚持科学发展观,树立工程建设为生产服务的观点;坚持以规范施工过程的质量控制,确保工程设计年限的观点;坚持“礼禁未然之前,法施已然之后”,严格执行国家、国网现行的规程规范(特别是强制性条文)的观点;坚持以人为本,提高监理人员素质,争当“警察”而不当“判官”,及时发现和解决施工过程中质量问题的苗头的观点,特编写本书。

本书融入了线路专业的相关基础知识,原材料及器材的特性、结构特点和施工工艺流程、方法,以及多年的实践经验等,可作为设计、施工和质量监督人员等的参考资料。

本书在编写过程中,得到潘婷、吴伟、林敏、林建燊、潘明、林海鸿、王玉清、王恺、林金龙、吴俊凡和杨震等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,恳请广大读者、同行及专家批评指正。

编 者

前言

1 概述	1
2 原材料及器材的检验	2
2.1 对原材料和器材的一般要求	2
2.2 原材料的质量控制	3
2.3 器材质量控制要点	19
3 测量	56
3.1 线路工程施工测量内容	56
3.2 测量仪器和量具	56
3.3 路径复测技术和质量要点	57
3.4 分坑测量的技术质量要点	59
3.5 架空送电线路架设后的安全距离	62
4 土石方工程	66
4.1 土石方开挖的一般要求	66
4.2 施工基面技术要点	69
4.3 土石方挖掘技术要点	69
4.4 坑深及回填质量要求	71
5 基础工程	73
5.1 基础工程的一般规定	73
5.2 现场浇筑基础	74
5.3 钻孔灌注桩基础	91
5.4 人工挖孔桩	97
5.5 混凝土电杆基础及预制基础	100

5.6	岩石基础	101
5.7	冬期施工	109
6	杆塔工程	111
6.1	杆塔分类	111
6.2	杆塔组立技术要点	113
6.3	杆塔组立质量要点	120
7	架线工程	124
7.1	架空线的分类	124
7.2	架线前必须具备的条件和放线的一般规定	125
7.3	非张力放线	127
7.4	张力放线	132
7.5	连接	137
7.6	紧线	154
7.7	附件安装	162
7.8	光缆架设	173
8	接地工程	177
9	工程验收与移交	180
9.1	工程验收	180
9.2	竣工试验	183
9.3	工程资料移交	183
9.4	竣工移交	183

概 述

(1) 1990 版规范提出“为不断提高 110kV~500kV 架空电力线路工程施工技术水平, 确保工程质量, 以促进电力建设的现代化发展, 制定本规范”, 而 2005 版明确“为确保架空送电线路工程建设质量、规范施工过程的质量控制要求和验收条件, 制定本规范”。新规范中的“验收”是指建设、监理及运行各方对工程质量确认的行为。这里强调了“规范施工过程的质量控制要求”, 即必须事前控制才能顺利地达到确保工程质量的目。

(2) 国务院第 279 号令第 28 条规定:“施工单位必须按照工程设计图纸和施工技术标准施工, 不得擅自修改工程设计, 不得偷工减料”。规范中把“架空送电线路工程必须按照批准的设计文件和经有关方面会审的设计施工图施工。当需要变更设计时, 应经设计单位同意”更加明确地列为“强制性条文”。

(3) 一般新型装置的采用是由设计确定, 但“新技术、新材料、新工艺必须经过试验、测试及试点验证, 判定符合本规范要求时方可采用”。所以 1990 版规范中“并应制定不低于本规范相应水平的质量标准”不是很合理。

(4) 根据《中华人民共和国计量法》及 ISO 9000 系列质量管理体系的基本要求, 2005 版规范新增“架空送电线路工程测量及检查用的仪器、仪表、量具等必须经过检定, 并在有效使用期内”, 并将此条列为强制性条文。

原材料及器材的检验

架空送电线路使用的材料、器材除基础用水泥、砂、石为原材料，其他均为工厂生产的成品或半成品器材，品种不多，但数量多。以往由于器材或原材料的问题而影响工程质量，造成返工的事例甚多。因此对原材料、器材的要求必须严格，有些产品如铁塔、混凝土制品还应在未出厂前在制造厂进行检验，以防器材运到现场再发现问题，造成更大损失。国务院第 279 号令第 37 条规定：“未经监理工程师签字，建筑材料、建筑构配件和设备不得在工程上使用或者安装，施工单位不得进行下一道工序的施工”。

2.1 对原材料和器材的一般要求

(1) 原材料及器材必须符合下列规定：

1) 有产品出厂质量检验合格证书（强制性条文）。

2) 有符合国家现行标准的各项质量检验资料。

3) 对砂石等无质量检验资料的原材料，应抽样并经有检验资格的单位检验合格后方可采用（强制性条文）。

4) 对产品检验结果有异议时，应重新抽样，并经有资格的检验单位检验合格后方可采用。

(2) 当采用新型原材料及器材时，必须经试验并通过有关部门的技术鉴定，证明能满足设计和规范要求，方准使用。

(3) 原材料及器材有下列情况之一时，必须重做试验：

1) 保管期限超过规定者。

2) 因保管不良有变质可能者。

3) 未按标准规定取样或试件不具代表性者。

2.2 原材料的质量控制

2.2.1 水泥

水泥是一种水硬性胶凝材料，能在水中硬化产生强度。水泥是基础工种中的主要材料。水泥的种类很多，常用的水泥有 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》中的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥五种。此外还有快硬硅酸盐水泥、塑化硅酸盐水泥、矾土水泥、抗硫酸水泥、膨胀水泥等。送线路工程的基础一般属于普通混凝土基础，因此要求水泥应符合 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》的规定。

1. 常用水泥的物理和化学性能

(1) 比重和容重。硅酸盐水泥的比重为 3.0~3.15，一般采用值为 3.1，松散容重为 900~1300kg/m³，紧密时可达 1600kg/m³，常用容重为 1300kg/m³。

(2) 细度。细度是指水泥颗粒的粗细程度。同样成分的水泥，颗粒越细，与水接触面的表面积就越大，水化作用就越快越充分，因而凝结硬化也越迅速，早期强度也越高。相关标准规定：硅酸盐水泥比表面积大于 300m²/kg，其在 0.08mm 方孔筛上的筛余量不得超过 10%。由于细度与水泥的一些性质如凝结时间、收缩性、强度增长和水泥浆塑性等都有很大关系，所以它是检验水泥品质的一项主要指标。

(3) 标准稠度用水量。为了测定水泥的各种性质并有可比性，水泥的加水量应有一个标准，这个标准用规定的稠度——标准稠度来控制。水泥净浆达到标准稠度时所需要的拌和水量（以占水泥质量的百分率表示）为标准稠度用水量。标准稠度用水量是作为测定水泥凝结时间和安定性所用净浆的拌和水量的依据。

(4) 凝结时间。凝结时间是指水泥和水拌至失去塑性的时间。由加水拌和到水泥净浆开始失去塑性的时间称为初凝时间。由加水拌和到水泥浆完全失去塑性并开始产生强度的时间称为终凝时间。水泥的初凝时间不宜过早，以便施工时有足够的时间来完成混凝土或砂浆的搅拌、运输、浇捣等操作。水泥的终凝时间不宜过迟，以便使混凝土能尽快地硬化，达到一定的强度，利于下道工序的进行。国家标准规定：初凝时间不早于 45min，硅酸盐水泥终凝不迟于 6.5h。普通矿渣、火山灰、粉煤灰等水泥终凝不迟于 12h。

(5) 安定性。安定性是指标准稠度的水泥净浆在凝结硬化过程中体积变化是



否均匀的性质。安定性不良的原因，一般是由于熟料中所含游离氧化钙或游离氧化镁或掺入石膏量过多造成的。由于它们的熟化迟缓，造成在已硬化的水泥石中继续熟化，因体积膨胀使水泥产生裂缝、变形、疏松甚至破坏等体积变化不均匀现象。安定性用沸煮法检验必须合格，安定性不合格的水泥不能用于工程中。

(6) 强度。水泥的强度是水泥主要质量指标之一，也是确定水泥强度的依据。它是以标准条件下养护一定龄期后的水泥胶砂试件抵抗外力破坏能力的大小来表示的。测定水泥强度的方法按标准规定，采用“软练法”确定，是将水泥与标准砂按水灰比为 1 : 2.5 的比例混合，加入规定数量的水制成 4cm×4cm×16cm 的试件，在标准条件下进行养护，测其 3、7、28 天龄期的强度（抗压强度、抗折强度）。

各强度等级水泥的各龄期强度汇总见表 2-1。

表 2-1 各强度等级水泥的各龄期强度汇总

品种	强度等级	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
		3 天	28 天	3 天	28 天
硅酸盐水泥	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
	62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0
普通硅酸盐水泥	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0
矿渣、火山灰、 粉煤灰水泥	32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	15.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

注 强度等级有“R”字样为早强型水泥。

(7) 水化热。水泥与水接触发生水化反应时会发热，这种热称为水化热。它以 1g 水泥发出的热量 J 来表示。水泥的水化热大部分在水化初期（7 天内）放出，以后逐渐减少。其量的大小和发热速度因水泥种类、矿物组成、水灰比、细度和养护条件等的不同而不同。水泥的水化热对于大体积混凝土工程是不利的，因为水化热积聚在内部不易散发，致使内外产生很大的温度差，引起内应力，使混凝土产生裂缝。因此对大体积混凝土工程应采用低热水泥。



(8) 烧失量。Ⅰ型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3%，Ⅱ型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3.5%，普通水泥中烧失量不得大于 5%。

(9) 不溶物。Ⅰ型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 0.75%，Ⅱ型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 1.5%。

(10) 氧化镁。水泥中的氧化镁含量不宜超过 5%，如果水泥经安定性试验合格，则水泥中氧化镁的含量允许放宽到 6%。

(11) 三氧化硫。硅酸盐水泥、普通水泥、火山灰水泥、复合水泥中三氧化硫含量不得超过 3.5%，矿渣水泥中三氧化硫含量不得超过 4%。

五大水泥主要特性见表 2-2。

表 2-2 五大水泥主要特性

品种	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
国标	GB 175—2007				
组成	不掺混合材料	以硅酸盐水泥熟料为主，允许加 15% 以下混合材料	在硅酸盐水泥熟料中掺 20%～40% 的矿渣	在硅酸盐水泥熟料中加 20%～50% 的火山灰质混合材料	在硅酸盐水泥熟料中加 20%～40% 粉煤灰
比重	3.0～3.16	3.0～3.15	2.9～3.1	2.8～3.0	2.8～3.0
容重 (kg/m ³)	1000～1600	1000～1600	1000～1200	1000～1200	1000～1200
水泥强度等级	42.5, 42.5R, 52.5, 52.5R, 62.5, 62.5R	32.5, 32.5R, 42.5, 42.5R, 52.5, 52.5R			
细度 (m ² /kg)	比表面积大于 300	0.08mm 孔筛余不得超过 10%			
凝结时间	初凝不早于 45min, 终凝不迟于 6.5h	初凝不早于 45min, 终凝不迟于 10h			
安定性	用煮沸法检验必须合格				
浇失量	I 型不得大于 3%, II 型不得大于 3.5%	不得大于 5%			
不溶物	I 型不得大于 0.75%, II 型不得大于 1.5%				
氧化镁	水泥中氧化镁的含量不宜超过 5%，如果水泥经压蒸安定性试验合格，则水泥中氧化镁含量允许放宽到 6%。				
三氧化镁	不得超过 3.5%				
主要特性	1. 快硬早强； 2. 水化热高； 3. 耐冻性好； 4. 耐腐蚀性较差； 5. 耐热性较差	1. 早强； 2. 水化热较高； 3. 耐冻性较好； 4. 耐腐蚀性较差； 5. 耐热性较差	1. 早强低，后期强度增长较快； 2. 水化热较低； 3. 耐热性较好； 4. 抗硫酸盐类侵蚀和抗水性较好； 5. 抗冻性较差； 6. 干缩性较大	1. 抗渗性较好； 2. 耐热性较差； 3. 其他和矿渣水泥相同	1. 干缩性较小； 2. 抗碳化能力较差； 3. 其他和矿渣水泥相同



2. 废品与不合格品

(1) 凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中任一项不符合表 2-2 中有关规定的，均为废品。

(2) 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥中凡细度、初凝时间、不溶物和烧失量中的任一项不符合上述规定或掺合材料加量超过最大限量和强度低于商品强度等级的指标时为不合格品。

(3) 水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

(4) 矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥中凡细度、终凝时间中任一项不符合上述规定或混合材料掺加量超过最大限量和强度低于商品强度等级的指标时为不合格品。

要求水泥进场每一验收批必须检验安定性、凝结时间及强度。

3. 水泥储运及使用注意事项

水泥有散装和袋装（每袋 50kg）两种，因水泥具有很强的吸水性和吸湿性，受潮后由于水化作用即凝结成块，而失去使用价值。因此必须重视各个储运环节。运输时，除应严密注意防水、防潮外，袋装水泥应轻拿轻放，以防破损。进仓库时应有质量证明材料（文件），应按品种、批号、出厂日期、生产厂等分别堆放；堆放袋装水泥的地面应垫板，要求垫板离地 30cm，周围离墙 30cm，堆放高度不宜超过 10 包。如露天堆放应有防潮垫板，上有雨篷布。

水泥的储存期超过 3 个月，强度约降低 10%~20%，时间越长强度损失越大。因而，水泥的储存期不宜过长，尽量做到先来的先用，储存期超过 3 个月的水泥应重新检验并按检验所定的强度使用。

水泥强度降低与储存时间的关系见表 2-3。

表 2-3 水泥强度降低与储存时间的关系

储存时间	水泥强度降低 (%)		
	良好条件（密封库）	一般条件	不良条件
3 个月	10	20	30
6 个月	20	30	40
12 个月	30	40	50

工程中常用的水泥，各有不同的矿物成分，具有不同的化学物理性能，因此在施工中不得将不同品种的水泥混合使用。

2.2.2 砂

粒径介于 0.15~5mm 的细骨料称为砂，混凝土使用的砂应符合 JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的有关规定，每批砂均应经质量检验。

自然条件作用而形成的粒径在 5mm 以下的岩石颗粒称为天然砂，混凝土基础工程用砂主要是天然河砂，如果河砂供货困难或运距很远时，在经监理及设计代表同意的前提下可以使用人工砂（即细石渣）。

1. 砂的分类

砂的分类见表 2-4。

表 2-4 砂 的 分 类

分类法	名称	说 明
按来源分	人造砂	陶砂、细石渣
	天然砂	河砂、山砂、海砂
按细度模数分	粗砂	细度模数 3.7~3.1；平均粒径不小于 0.5mm
	中砂	细度模数 3.0~2.3；平均粒径为 0.35~0.5mm
	细砂	细度模数 2.2~1.6；平均粒径为 0.25~0.35mm
	特细砂	细度模数 1.5~0.7；平均粒径小于 0.25mm

注 细度模数为砂通过 0.15、0.3、0.6、1.6、2.5mm 等筛孔的全部筛余量之和除以 100。细度模数越大，表示砂子越粗，普通混凝土用砂的粒径应不小于 0.25mm，以使用中粗砂较好。细砂虽可使用，但比在同条件下用粗砂配制的混凝土强度低 10%以上。

2. 砂的质量要求

(1) 砂的容重为 1400~1600kg/m³；砂的密度为 2.5~2.75g/cm³；砂的空隙率为 38%~48%。

(2) 混凝土用砂应颗粒清洁，其含泥量（即粒径小于 0.08mm 的尘屑、淤泥和黏土的总含量）及泥块含量应符合表 2-5 的限值。

表 2-5 砂的含泥量及泥块含量允许指标

混凝土强度等级	≥C30	<C30	≤C10
含泥量（按质量计，%）	≤3.0	≤5.0	可放宽
泥块含量（按质量计，%）	≤1.0	≤2.0	可放宽

(3) 混凝土用砂应坚固。砂的坚固性用硫酸钠溶液检验，试样经 5 次循环后其重量损失应符合表 2-6 的规定指标。



表 2-6

砂的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的质量损失 (%)
在严寒及寒冷地区室外使用并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	≤8
其他条件下使用的混凝土	≤10

注 对于有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求的混凝土用砂或有腐蚀介质作用或经常处于水位变化区的地下结构混凝土用砂，其坚固性重量损失率应小于 8%。

(4) 砂的颗粒级配，按 0.63mm 筛孔的累计筛余量（以质量百分率计）分成三个级配区，砂的颗粒级配应处于表 2-7 的任何一个区以内。

表 2-7

砂的颗粒级配范围

累计筛区 (%) 筛孔尺寸 (mm)	级配区	I 区	II 区	III 区
10.0		0	0	0
5.0		10~0	10~0	10~0
2.5		35~5	25~0	15~0
1.25		65~35	50~10	25~0
0.63		85~71	70~41	40~16
0.315		95~80	92~70	85~55
0.16		100~90	100~90	100~90

注 1. 砂的实际颗粒级配与表 2-7 所列的累计筛余百分率相比，除 5.0mm 和 0.63mm 外，允许稍有超出分界线，但其总量百分率不应大于 5%。
2. 配制混凝土时宜优先选用 II 区砂。当采用 I 区砂时，应提高砂率，并保持足够的水泥用量，以满足混凝土的和易性；当采用 III 区砂时，宜适当降低砂率，以保证混凝土强度。
3. 对于泵送混凝土用砂，宜选用中砂。
4. 当砂颗粒级配不符合上述要求时，应采取相应措施。经试验证明能确保工程质量，方允许使用。

(5) 砂中有害物质应符合表 2-8 所示的限值。

表 2-8

砂中有害物质限值

项 目	质量指标
云母含量（按质量计，%）	≤2.0
轻物质含量（按质量计，%）	≤1.0
硫化物及硫酸盐含量 （折算成 SO ₃ ，按重量计，%）	≤1.0
有机物含量（用比色法试验）	颜色不应深于标准色。如深于标准色，则应按水泥胶砂强度试验方法，进行强度对比试验，抗压强度比不低于 0.95

注 1. 有抗冻、抗渗要求的混凝土，砂中云母含量不应大于 1%。
2. 砂中如发现含有颗粒状的硫酸盐或硫化物质时，则要进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求时，方能采用。

(6) 海砂因含有氯盐，对基础中的钢筋、地脚螺栓有腐蚀作用，故电力线路工程不宜采用。2005 年版规范明确规定“预制混凝土构件及现场浇筑混凝土基础不



得使用海砂”，特殊情况采用海砂配制混凝土时，其氯离子含量应符合下列规定：对素混凝土海砂中氯离子含量不予限制；对钢筋混凝土，海砂中氯离子含量不应大于 0.06%（以砂重的百分率计）；对预应力混凝土不宜用海砂，若必须使用海砂时，则应经淡水冲洗，其氯离子含量不得大于 0.02%。

(7) 砂每验收批至少应进行颗粒级配、含泥量和含泥块量检验。对重要工程混凝土使用的砂应采用化学法和砂浆长度法进行集料的碱活性检验，经检验判断为有潜在危害时，应采取下列措施：

- 1) 使用含碱量小于 0.6% 的水泥或采用能抑制碱-集料反应的掺合料。
- 2) 当使用含钾、钠离子的外加剂时，必须进行专门试验。

(8) 人造砂（即人工砂）是利用坚硬的石灰岩或其他未经风化或微风化的坚硬岩石经制砂机加工成类似砂颗粒的碎石粒，其细度模数应在 2.6~3.0 之间，含粉量应在 6%~15% 范围内，颗粒级配应在规程给定的某一级配区，试配的混凝土强度等级须符合设计图纸规定。

2.2.3 石子

混凝土用的碎石或卵石应符合 JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的有关规定。每批石子均应进行质量检验。

碎石为天然坚硬岩石经人工或机械加工破碎、筛分，且粒径大于 5mm 的岩石颗粒。卵石为天然岩石经自然条件作用形成的大于 5mm 的颗粒，卵石应选用质地坚硬且比较洁净的河卵石、海卵石或山卵石。

1. 石子的分类

石子的分类见表 2-9。

表 2-9 石 子 的 分 类

分类法	名称	说 明
按粒型分	卵石	天然水流冲刷而成
	碎石	人力破碎针片状少 机械破碎针片状多
按石质分	火成岩	深火层岩（花风岩、正长岩） 喷出火层岩（玄武岩、辉绿岩）
	水成岩	石灰岩、砂岩
	变质岩	片麻岩、石英岩
按级配分	连续级配	混凝土工程常用石子级配
	单粒级配	应根据混凝土工程、资源情况进行技术经济分析后采用， 用时应注意避免混凝土离析



2. 石子的技术质量要求

(1) 石子容重、空隙率及密度见表 2-10。

表 2-10 石子容重、空隙率及密度

名称	容重 (kg/m ³)	空隙率 (%)	密度 (g/cm ³)
碎石	1400~1600	40~48	2.65~2.75
卵石	1550~1700	36~44	2.65~2.75

(2) 石子的强度。混凝土强度等级为 C60 及以上时应进行岩石抗压强度检验,其他情况如有怀疑或认为有必要时也可进行岩石的抗压强度检验,可制成 5cm×5cm×5cm 立方体或圆柱体试件在水饱和状态下,其极限抗压强度与所采用混凝土强度等级之比不应小于 1.5,且火成岩强度不宜低于 80MPa,变质岩强度不宜低于 60MPa,水成岩不宜低于 30MPa。卵石和碎石的强度用压碎指标值表示。

碎石和卵石的压碎指标应满足表 2-11 的要求。

表 2-11 碎石和卵石的压碎指标

岩石名称		混凝土强度等级	压碎指标值 (%)
碎石	水成岩	C55~C40	≤10
		≤C35	≤16
	变质岩或深层的火成岩	C55~C40	≤12
		≤C35	≤20
	火成岩	C55~C40	≤13
		≤C35	≤30
卵石		C55~C40	≤12
		≤C35	≤16

注 水成岩包括石灰岩、砂岩等,变质岩包括麻岩、石英岩等,深成的火成岩包括花岗岩、石长岩、闪长岩和橄榄岩等,喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

(3) 石子的坚固性。碎石和卵石的坚固性用硫酸钠溶液法去检验、试件经 5 次循环后其重量损失应符合表 2-12 的指标。

表 2-12 碎石和卵石的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的重量损失 (%)
在严寒及寒冷地区室外使用并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	≤8
在其他条件下使用的混凝土	≤12

注 有腐蚀性介质作用或经常处于水位变化区的地下结构或有抗疲劳、耐磨、抗冲击等要求的混凝土用碎石或卵石,其重量损失应不大于 8%。

(4) 碎石或卵石的含杂质或针、片状等含量(按质量计%)应符合表 2-13 的规定。

表 2-13 碎石或卵石的含杂质或针、片状等含量

混凝土强度等级	≥C30	<C30	≤C10
含泥量	≤1.0	≤1.0	≤2.5
含石粉量	≤1.5	≤3.0	
泥块含量	≤0.5	≤0.7	≤1.0
针、片状颗粒含量	≤15	≤25	≤40

注 颗粒的长度大于平均粒径的 2.4 倍者称为针状（平均粒径级上、下限粒径的平均值），厚度小于平均粒径的 0.4 倍称为片状。

(5) 碎石或卵石中硫化物和硫酸盐含量以及卵石中有机杂质等有害物质应符合表 2-14 指标。

表 2-14 碎石或卵石中有害物质指标

项目	质量指标
硫化物及硫酸盐含量（折算成 SO ₃ 按质量计，%）	≤1.0
卵石中有机质含量（用比色法试验）	颜色不深于标准色，如深于标准色，则应配制成混凝土进行强度对比试验，抗压强度比不低于 0.95

注 如发现有颗粒状硫酸盐或硫化物质的碎石或卵石，则要求进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求时，方可使用。

(6) 碎石或卵石的颗粒级配应符合表 2-15 范围。

表 2-15 碎石或卵石的颗粒级配范围

级配情况	公称粒径 (mm)	累计筛余（按质量计，%）							
		筛孔尺寸（圆孔筛，mm）							
		2.5	5.0	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0
	5~40		95~100	75~95	—	30~65	—	—	0~5
单粒级配	10~20		95~100	85~100	—	0~15	0	—	—
	16~31.5		95~100	—	85~100	—	—	0~10	0
	20~40			95~100		80~100	—		0~10
	31.5~63				95~100	—	—		45~75
	40~80					95~100	—		75~100

注 1. 公称粒径的上限为级配的最大粒径。
2. 不宜用单一的单粒级配配制混凝土。
3. 混凝土用的石子其最大颗粒粒径不得超过结构截面最小尺寸的 1/4，且不得超过钢筋间距最小净距的 3/4。