

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5407 — 2019

代替 DL / T 5407 — 2009

水电水利工程竖井斜井
施工规范

Specification for vertical shaft and inclined shaft construction
of hydroelectric and hydraulic engineering

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程竖井斜井施工规范

Specification for vertical shaft and inclined shaft construction
of hydroelectric and hydraulic engineering

DL / T 5407 — 2019

代替 DL / T 5407 — 2009

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2020 年 5 月 1 日

中国电力出版社

2020 北 京

中华人民共和国电力行业标准
水电水利工程竖井斜井施工规范
Specification for vertical shaft and inclined shaft construction
of hydroelectric and hydraulic engineering

DL / T 5407 — 2019

代替 DL/T 5407 — 2009

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2020 年 12 月第一版 2020 年 12 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 2 印张 54 千字

*

统一书号 155198 • 2523 定价 **30.00** 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

国家能源局

公 告

2019 年 第 6 号

国家能源局批准《水电工程电法勘探技术规程》等 384 项能源行业标准（附件 1）、《Technical Guide for Rock-Filled Concrete Dams》等 48 项能源行业标准英文版（附件 2）、《风电场项目环境影响评价技术规范》等 7 项能源行业标准第 1 号修改单（附件 3），废止《风电场工程勘察设计收费标准》等 5 项能源行业标准/计划（附件 4），现予以发布。

- 附件：1. 行业标准目录
2. 行业标准英文版目录
3. 行业标准修改通知单
4. 行业标准和计划废止目录

国家能源局

2019 年 11 月 4 日

DL / T 5407 — 2019

附件 1:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
...							
214	DL/T 5407 —2019	水电水利工程 竖井斜井 施工规范	DL/T 5407 —2009		中国电力 出版社	2019-11-04	2020-05-01
...							

附件 2: 行业标准英文版目录 (略)

附件 3: 行业标准修改通知单 (略)

附件 4: 行业标准和计划废止目录 (略)

前 言

根据《国家能源局关于下达 2015 年能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2015〕283 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，总结了近年来水电水利工程中竖井斜井施工的经验，在广泛征求意见的基础上，修订本规范。

本规范的主要技术内容是：施工准备、竖井斜井开挖、竖井斜井衬砌、灌浆施工、质量控制与检验、施工安全。

本规范修订的主要技术内容是：

——增加了“术语”和“施工准备”两章内容，将原标准中的“地质”和“测量”两章主要内容并入到“施工准备”中，并增加了资料收集、施工规划、施工测量和专用设备及设施等内容。

——将斜井分为缓斜井和陡斜井，增加缓斜井的施工技术要求。

——将“斜井开挖及支护”和“竖井开挖及支护”两章内容合并为“开挖”一章，并增加“一般规定”章节及“竖井开挖”“斜井开挖”相关技术要求。

——将“斜井衬砌”和“竖井衬砌”两章内容合并为“衬砌”一章，并增加“一般规定”章节及“竖井衬砌”“斜井衬砌”相关技术要求。

——将“固结灌浆”修订为“灌浆施工”，并增加回填灌浆等技术要求。

本规范由中国电力企业联合会提出，由电力行业水电施工标准化技术委员会（DL/TC 29）负责日常管理，由中国水利水电第五工程局有限公司负责具体技术内容的解释。

本规范主编单位：中国水利水电第五工程局有限公司

本规范参编单位：中国水利水电第十工程局有限公司

中国水利水电第一工程局有限公司

四川大学

本规范主要起草人员：吴高见 刘 光 王文学 康建荣
王忠权 苏小明 熊 亮 张 黎
梁 涛 李洪涛 赵军峰 袁幸朝
唐铭鸿 李 云 马友德 高印章
李 伟 杨培青 尚衍广 李 超
代 强

本规范主要审查人员：梅锦煜 楚跃先 李福生 吴国如
孙来成 李晶华 余 英 罗维成
姬脉兴 王 军 和孙文 肖恩尚
吕芝林 林 鹏 董 芸 钱文勋
谢凯军

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

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	施工准备	3
3.1	一般规定	3
3.2	施工规划	3
3.3	施工测量	4
3.4	专用设备及设施	6
4	竖井斜井开挖	10
4.1	一般规定	10
4.2	竖井开挖	11
4.3	斜井开挖	15
5	竖井斜井衬砌	16
5.1	一般规定	16
5.2	竖井衬砌	17
5.3	斜井衬砌	18
6	灌浆施工	21
7	质量控制与检验	23
8	施工安全	27
	本规范用词说明	29
	引用标准名录	30
	附：条文说明	31

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Construction prepare	3
3.1	Data collection	3
3.2	Construction planning	3
3.3	Construction survey	4
3.4	Special equipment and facilities	6
4	Excavation	10
4.1	General requirements	10
4.2	Vertical shaft excavation	11
4.3	Inclined shaft excavation	15
5	Linings	16
5.1	General requirements	16
5.2	Vertical shaft linings	17
5.3	Inclined shaft linings	18
6	Grouting construction	21
7	Quality control and test	23
8	Construction security	27
	Explanation of wording in this specification	29
	List of quoted standards	30
	Addition: Explanation of provisions	31

1 总 则

1.0.1 为规范水电水利工程竖井斜井施工技术要求，保障工程质量和安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水电水利工程竖井斜井施工。

1.0.3 应积极采用成熟可靠的新技术、新工艺、新材料、新设备，不断提高施工机械化、信息化技术水平。

1.0.4 竖井斜井施工除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 竖井 vertical shaft

倾斜角度超过 75° 的洞井式地下通道称为竖井。

2.0.2 斜井 inclined shaft

具有一定倾斜角度 α ($6^\circ \sim 75^\circ$) 的洞井式地下通道称为斜井, 斜井分为缓斜井和陡斜井。一般 $6^\circ < \alpha \leq 48^\circ$ 称为缓斜井、 $48^\circ < \alpha \leq 75^\circ$ 称为陡斜井。

2.0.3 全断面法 full face excavation method

按照设计开挖断面一次开挖成形的施工方法。

2.0.4 液压伞钻法 hydraulic umbrella driller construction method

采用液压伞钻全断面自上而下一次成形的施工方法。

2.0.5 导井法 pilot shaft excavation method

先开挖较小断面导井, 再自上而下进行全断面扩挖、利用导井溜渣的施工方法。导井开挖有正导井、反导井、正反导井结合的施工方法。

2.0.6 反井钻机法 raise boring machine excavation method

利用反井钻机自上而下先钻导孔再利用扩大刀盘自下而上钻扩成井的施工方法。

2.0.7 爬罐法 raise climber excavation method

利用爬罐设备沿轨道升降作业, 对竖井斜井进行自下而上开挖成井的方法。

2.0.8 深孔分段爆破法 deep-hole step blasting method

自上而下一次钻孔, 自下而上依次爆破, 井底集渣的开挖施工方法。

3 施 工 准 备

3.1 一 般 规 定

3.1.1 施工前，应收集以下资料：

- 1 设计文件，包括工程规模、特点。
- 2 地质、水文资料。
- 3 合同文件。
- 4 标准规范，包括技术标准、安全标准。
- 5 相关法律、法规。

3.1.2 施工前应根据设计图纸、文件及地质、水文资料等进行施工组织设计，施工组织设计应包括施工布置、辅助设施、施工方法、进度计划、资源配置、安全质量保证措施、应急救援预案等。

3.1.3 应结合工程实际，制定有针对性的环保、水保措施，不断改善劳动条件，提高文明施工水平。

3.1.4 对于危险性较大的施工作业应制定专项安全方案，并进行安全、技术交底。

3.1.5 对处于不良地质条件下的或直径较大及井深较深的竖井斜井，应对围岩稳定进行安全监测，及时反馈监测信息。

3.1.6 开挖过程中应通过钻探、监测等方式开展地质资料的收集，主要包括：竖井斜井井口处的边坡稳定条件以及浅埋、傍山、深沟壑和高水头地段山体的稳定性、揭露井段的地质素描及超前钻探地质资料等。

3.2 施 工 规 划

3.2.1 施工前应结合总进度、总布置要求，进行生产及生活设施、

场内交通、风水电系统、通信系统等规划布置。应建立测量控制基准坐标，完成现场施工清障和场地平整工作，并应建立现场试验室，开展现场相关试验检测工作。

3.2.2 施工前应充分了解工程区域气象、水文、地质等情况，寒冷、高海拔、高地热、高地应力、有害气体或放射性元素等，选择适宜的施工方法和施工机械。对不良工程地质和复杂水文地质地段应有专项施工措施。

3.2.3 施工应进行通风设计，通风量应进行计算，应保证工作面附近最小风速不得低于 0.15 m/s，最大风速不超过 4 m/s，并根据海拔高程和井内温度进行修正。反导井和超过一定深度的正导井施工应保证作业面每人每分钟 3 m³ 新鲜空气。

3.2.4 工作面渗水及施工废水宜通过集水井集中抽排，井壁渗水可引排至集水井后集中抽排。涌水和淋水段，应有防水、排水措施。

3.2.5 施工供电系统宜形成两回路供电。任一回路断电时，另一回路宜能担负施工区全部用电负荷。不能形成两回路供电的，应有备用电源，其容量应当满足通风、排水和撤出人员的需要。

3.2.6 井洞内供配电设施、设备应具备防水功能。照明应采用安全电压，照度符合要求。

3.2.7 井上井下应有可靠的通信联络，有条件时，宜采用“信息化安全监控预警系统”。

3.3 施 工 测 量

3.3.1 施工测量及资料整理应执行《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 和《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 的相关规定。

3.3.2 施工测量应包括洞外控制测量、贯通测量设计、洞内控制测量、洞口放样、开挖放样、设备定位、轨道放样、贯通误差测量、中间验收测量、衬砌放样、竣工验收测量等工作。

3.3.3 施工前应根据斜井、竖井的设计中心线，拟定平面和高程

控制略图，并进行预期误差估算，以便确定洞外和洞内控制测量的等级和方法。洞外、洞内平面控制导线测量技术要求见表 3.3.3-1，洞外、洞内高程控制测量技术要求见表 3.3.3-2。

表 3.3.3-1 洞外、洞内平面控制导线测量技术要求

部位	控制网等级	导线测量测角中误差 (")	洞室相向开挖长度 (km)
洞外	二等	± 1.0	3~6
	三等	± 1.8	<3
洞内	三等	± 1.8	2~4
	四等	± 2.5	<2

表 3.3.3-2 洞外、洞内高程控制测量技术要求

部位	控制网等级	每公里水准测量 偶然中误差 (mm)	每公里水准测量 全中误差 (mm)	洞室相向 开挖长度 (km)
洞外	三等	± 3	± 6	2~8
	四等	± 5	± 10	<2
洞内	三等	± 3	± 6	2~4
	四等	± 5	± 10	<2

3.3.4 施工前应进行贯通测量设计，贯通测量极限误差、中误差及分配原则执行《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 和《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 的相关规定，其相向开挖长度应包括支洞长度，以及传递到竖井、斜井各种平洞的长。实际贯通面宜布置在竖井、斜井及其可延伸的范围内。

3.3.5 洞外、洞内控制测量应按照如下要求执行：

1 施工前应设置近井控制点，以基本导线的精度进行施测，基本导线边长宜近似相等，直线段不宜短于 200 m，曲线段不宜短于 50 m，导线边距设施不宜小于 0.2 m；施工导线宜 50 m 布设一点，每 200 m 应与基本导线附和。

2 测量成果应及时换算为斜井、竖井相对施工坐标系统成果，以方便施工放样。

3 对于弯度较大的特殊部位，可根据实际情况对基本导线的边长进行适当调整，必要时可增加观测的测回数，确保测量成果的精度。

4 反井测量时应配备拐弯目镜。采用电子照准时宜同时通过望远镜进行观测、校核。

3.3.6 施工放样按下列要求进行：

1 开挖轮廓点放样时相对于邻近控制点的测量中误差限差平面、高程均为 ± 50 mm；混凝土衬砌轮廓点放样时相对于邻近控制点的测量中误差限差平面、高程均 ± 20 mm；轨道线路中心点相对于邻近控制点的测量中误差限差平面、高程为 ± 10 mm，轨道中心线相对于线路中心线平面限差为 ± 2 mm，同里程轨道顶部高程限差为 ± 2 mm；斜井、竖井模板台车两端中心点与中线平面限差为 ± 5 mm，台车两端隧洞结构断面中心点高程限差 ± 3 mm，曲线段台车长度与其相应曲线的矢距限差为 ± 5 mm。

2 竖井开挖与衬砌的施工放样，可采用重锤（重锤接力）、激光投点仪或光学投点仪等进行，大断面竖井还可采用全站仪坐标法等。

3 斜井开挖和衬砌的施工放样可采用全站仪、激光定向仪等进行，并根据实际情况应用 TAPS 非接触自动极坐标测量系统、全站仪坐标法、激光定向技术等。

4 竣工断面测量的间距宜为 5 m，断面变化较大的部位可适当加测。斜井断面宜根据不同情况测设水平、铅垂或径向断面，断面间距可通过斜长换算。

3.4 专用设备及设施

3.4.1 反井钻机、爬罐、伞钻钻机、扒渣机、牵引设备、起重设

备等的选型，应根据设备特性、设备参数、工程特点和施工方法等进行综合分析后选定。

3.4.2 瓦斯洞井及高地热、高地应力、涌水及有害气体等环境下的施工机械、电器设备等，应进行专用设备选型或普通设备改装，改装应符合安全管理的相关规定。

3.4.3 施工所用的提升系统、模板系统、作业平台等设计时，应对其平面布置、基础处理、结构形式、动力设备、临时用电及通行要求等进行综合安全经济分析，然后选定方案进行详细设计。

3.4.4 竖井施工起吊系统设计应满足扩挖机械、支护设备、衬砌台车、灌浆平台等最大荷重要求；斜井施工宜考虑扩挖、衬砌、灌浆及钢管运输等台车共轨运行的要求。

3.4.5 提升系统、模板系统、作业平台等的钢结构构件应按临时钢结构进行设计，并符合《钢结构设计标准》GB 50017 要求。

3.4.6 运输提升系统应符合《起重机设计规范》GB/T 3811、《钢丝绳安全使用和维护》GB/T 29086 和《水电水利工程施工安全防护措施技术规范》DL 5162 等规定，且满足下列要求：

1 采用卷扬绞车提升时，其功率和牵引力富余系数均应大于 1.1。

2 斜井轨道提升的牵引力应考虑罐车与载荷的斜坡方向的分力，以及罐车与轨道、钢丝绳与地面的摩擦力。

3 竖直提升应采用阻旋转钢丝绳，吊桶应沿钢丝绳导绳升降，无导绳段吊桶升降距离不得超过 40 m。斜坡轨道应有防止台车下滑的措施。

4 采用卷扬提升轨道运输的扩挖台车和运输斗车的牵引钢丝绳下方，应每隔 10 m 设置转动灵活的托绳辊，支托钢丝绳。

5 过卷距离应当根据竖井斜井倾角、设计载荷、最大提升速度和实际制动力等参量计算确定，并有 1.5 倍的备用系数。

6 钢丝绳安全系数应满足表 3.4.6 要求。

表 3.4.6 运输提升系统钢丝绳安全系数表

用途	绞车方式	安全系数
物料专用	单绳缠绕式	≥ 6.5
	多绳摩擦式	$\geq 7.2 - 0.0005 H$
人员专用	单绳缠绕式	≥ 9.0
	多绳摩擦式	$\geq 9.2 - 0.0005 H$
人员和物料共用	单绳缠绕式	≥ 9.0 (混合使用) ≥ 7.5 (物料升降)
	多绳摩擦式	$\geq 9.2 - 0.0005 H$ (混合使用) $\geq 8.2 - 0.0005 H$ (物料升降)

注：1 同一层罐笼不得同时升降人员和物料。

2 H 为钢丝绳悬挂长度 (m)。

3.4.7 人员升降宜采用沿井壁布置的施工电梯或施工罐笼，也可采用施工吊笼。采用施工吊笼时应符合下列要求。

1 宜沿井壁布置，采用固定在井壁上的型钢作导轨；当采用在竖井中心布置吊笼时，应设柔性导绳导向。

2 宜采用双筒卷扬机或同型号两台卷扬机提升一个吊笼，两台卷扬机应同步并钢丝绳受力均衡。宜采用无级变速卷扬机，最大提升速度宜为 40 m/min。

3 应设置完善的安全保护装置。

3.4.8 竖井升降人员采用的罐笼应符合《罐笼安全技术要求》GB 16542。

3.4.9 竖井升降人员采用的吊笼应符合《吊笼有垂直导向的人货两用施工升降机》GB 26557、《货用施工升降机 第 1 部分：运载装置可进入的升降机》GB/T 10054.1 的规定。

3.4.10 悬挂抓岩机、吊盘、安全梯、水泵、排水管等用的钢丝绳，以及导绳、防撞绳、起重绳等应符合《钢丝绳安全使用和维护》GB/T 29086 要求。

3.4.11 使用钢丝绳做导绳时，吊笼升降人员的最大速度不得超过

$0.25\sqrt{H}$ (H 为提升高度) 的值, 且最大不超过 7 m/s; 吊桶升降物料的最大速度不得超过 $0.4\sqrt{H}$ (H 为提升高度) 的值, 且最大不超过 8 m/s。无导绳时, 吊笼升降人员的最大速度不得超过 1 m/s, 吊桶升降物料的最大速度不得超过 2 m/s。

3.4.12 滑模牵引系统的设计应符合《水工建筑物滑动模板施工技术规范》DL/T 5400 的要求, 其提升系统应满足下列要求:

1 天锚、地锚、岩石锚固点和锁定装置的设计承载能力, 不应小于总牵引力和钢丝绳自重的 3.0 倍。

2 牵引钢丝绳承载能力应为总牵引力和钢丝绳自重的 5.0 倍~8.0 倍; 钢绞线承载能力应为总牵引力和钢绞线自重的 4.0 倍~6.0 倍; 采用钢管、钢筋作为爬杆时, 在考虑压杆稳定的条件下, 其承载能力应为总牵引力 2.0 倍。

3 连续拉伸式液压千斤顶、液压爬杆和卷扬机的牵引能力不应小于总牵引力的 2.0 倍。

4 牵引力的合力与滑升阻力的合力应在一条直线上。

4 竖井斜井开挖

4.1 一般规定

4.1.1 竖井斜井开挖应根据井身结构尺寸、地形条件、围岩特性、地下水特征、交通条件、工期要求、施工设备等因素合理选择施工方法。

4.1.2 竖井斜井贯通应制定专项安全施工技术措施。相向开挖的两个工作面相距 30 m，或小断面井洞为 5 倍井洞径距离爆破作业时，双方人员均应撤离工作面；相距 15 m 时应停止一方作业，单向贯通；相距 5 m 时，应钻设超前探孔。

4.1.3 井口应锁口并牢固可靠，锁口应进行专项设计。露天竖井斜井井口应设置高出周围地面 50 cm 的安全挡墙，并在其上设置安全围栏，边坡与井台交接处设置排水沟。埋藏式竖井斜井应根据围岩条件，做好支护，必要时为满足设备安装需要允许技术性超挖或采取其他技术措施。

4.1.4 竖井斜井与平洞的连接段应先加强支护再进行开挖。

4.1.5 当开挖断面大于 18 m^2 时宜先开挖导井，然后扩挖成型。断面小于 18 m^2 时也可采用一次开挖成型。

4.1.6 导井直径不宜小于 2.4 m，以确保溜渣顺利。

4.1.7 自上而下扩挖宜采用机械扒渣。采用人工扒渣时，井周边到导井口应有适当的坡度，并应采取有效措施，防止石渣堵塞导井和发生人员坠落事故。

4.1.8 竖井斜井应设置爬梯或人行通道。

4.1.9 施工 3 个月或进尺 50 m 时，应复核测量导线基点。

4.1.10 开挖过程中应对围岩变形进行监测，必要时应进行超前地

质预报。根据监测结果，及时调整开挖方法及支护参数。

4.1.11 不良地质段，开挖前可采用预加固措施，形成的导井应防止溜渣冲击塌孔，大井开挖后应及时支护。

4.1.12 开挖不应欠挖，尽量减少超挖，平均径向超挖不宜大于 25 cm。

4.1.13 支护前应及时撬除危石并处理井壁欠挖，支护应紧跟开挖工作面进行。井壁有不利的节理裂隙组合时应加强支护。锚喷支护作业应在作业台车上进行，中小型竖井可布置环形升降平台进行支护作业。

4.2 竖井开挖

4.2.1 当竖井深度超过 400 m 时，宜设施工支洞。分为上、下两段同时施工时，两段之间应保留岩塞，岩塞长度不应小于 2 倍洞径并不小于 15 m。

4.2.2 自上而下全断面开挖时，应合理布置提升设备；井口应进行封盖，封盖结构宜预留运输吊笼的通道，井底作业时可关闭。

4.2.3 竖井底部具备出渣通道的，宜采用先开挖导井再自上而下扩挖的方法。导井开挖可选择下列方法：

- 1 正井法。
- 2 反井法，包括反井钻机法、爬罐法、深孔分段爆破法。
- 3 正、反井结合法。

4.2.4 导井宜布置在断面的中心。

4.2.5 竖井长度小于 250 m 时，导井开挖宜采用反井钻机法；长度大于 250 m 时，宜先采用定向钻钻进形成先导孔，再利用反井钻机沿先导孔钻进形成导向孔，必要时可利用导向孔进行孔内摄像，探明地质情况。

4.2.6 采用钻孔爆破法开挖导井应遵守下列规定：

- 1 下部不具备出渣通道可采用钻孔爆破正井法。
- 2 围岩地质条件较好、井深较短可采用钻爆开挖反井法，也

可采用正、反结合法。

3 导井最终贯通应采取正向贯通方式，贯通部位应平顺无台坎，不出现颈缩现象。

4.2.7 人工正井法开挖导井应遵守下列规定：

1 导井直径宜为 2.0 m。

2 应配备上下交通、通风排烟、抽排水、通信等设备设施，必要时应有供氧系统。

3 渣斗宜密封，容积不宜超过 1 m^3 ，最大装渣量不宜超过渣斗容积的 $2/3$ 。

4 导井应设置安全可靠并易拆除的临时支护结构。

5 每 15 m 左右设置一避险洞，出渣时，井下人员应进洞避险。

4.2.8 反井钻机开挖导井应遵守下列规定：

1 工作面应满足反井钻机布置及扩孔钻头安装要求。

2 钻机基础、循环池基础和井口围岩应稳定。

3 导孔钻进宜采用清水钻进方式，并选择适用于岩石硬度的钻头。导孔钻进遇不良地质时，应采用膨润土泥浆进行护壁，并加大循环量，必要时进行灌浆处理。

4 开孔时应采用开孔钻杆和扶正器（稳定钻杆），慢速、均匀推进。

5 导孔钻进过程中，应随时观测、分析返出岩屑性状及钻进情况，判断地质、地层状况。

6 钻孔偏斜率不宜大于 1.0%。

7 扩孔钻头距上口 2.5 m 时，应降低钻压，慢速上提，直至终孔。

4.2.9 反井钻机形成的断面不足以满足溜渣需要时，宜自下而上人工扩挖形成导井。扩挖时，应遵守下列规定：

1 利用吊笼作为扩挖工作平台。

2 吊笼设置有稳绳。

3 吊笼可分层设置, 根据需要放置材料物品和施工平台。

4 形成的导井井壁应平整, 必要时进行支护。

4.2.10 爬罐开挖导井应经过专项论证。爬罐开挖导井应进行地质安全评估, 并应遵守下列规定:

1 爬罐轨道安装前, 应在下井口开挖爬罐进入竖井斜井的领先导井。领先导井宜采用搭设脚手架钻孔开挖, 开挖深度不宜小于 6 m, 断面尺寸与导井相同。

2 爬罐应在下平段设置合理的安装空间, 搭设钢结构安装、检修平台, 爬罐平台距离起弧点不小于 5 m, 平台宽度不宜小于 4 m、长度不小于 10 m, 高度可满足装载机在平台下方通行要求。

3 轨道安装高程距顶拱 50 cm, 轨道采用膨胀螺栓固定。

4 不良地质段开挖应采取短进尺、弱爆破, 及时支护、排水, 并适当加长爬罐轨道锚杆, 必要时进行超前勘探。

5 爆破后应进行导井内的通风排尘。同时, 在下平段采用混合通风方式进行通风。在爬罐吊笼内应备有氧气袋作为应急之用。

6 作业长度不宜大于 250 m。

4.2.11 采用深孔分段爆破施工反导井时, 应遵守下列规定:

1 倾角 70°以上, 井深小于 40 m, 下部有施工通道和堆渣空间。

2 采用钻机进行定位钻孔, 钻孔精度小于 1%。

3 进行专项爆破设计, 采用可靠的爆破器材, 安全的复式网络, 合理的延时分段。根据岩体特性由试验确定爆破参数。

4 宜自下而上孔内微差分段依次起爆。

5 孔口应封堵。

6 破顶厚度宜为 2.5 m。

4.2.12 采用伞钻钻爆全断面正井法施工时, 应遵循以下规定:

1 采用液压伞钻法全断面开挖竖井时, 应先进行锁口和钻架

基础混凝土施工，安装钻架及伞形钻机。

2 伞钻下井安装前，应进行地面组装试验。风水管路应通过压力试验，压力满足设备使用要求。

3 竖井内管路、线路采用井内固定吊挂法，利用井壁锚杆固定。

4 竖井井盖采用钢木结构制作，并设有可开启的井盖门。竖井出渣时，井盖上应铺钢轨、罐笼运输出渣。伞钻上、下井转换挂钩时，井盖门应关闭。伞钻支撑完成前不得脱开悬吊钢丝绳，使用期间应设置保险绳。

5 爆破前，应将伞形钻架提升至适当的安全高度固定，以防爆破飞石损坏设备。

6 作业面与伞形钻架间、伞形钻架与吊盘间设安全软梯，便于人员上下交通，建立联络信号。

4.2.13 导井形成后，应采用光面爆破逐层自上而下一次扩挖至设计边线，扩挖掌子面宜为坡度 20%~30%的漏斗状。扩挖时井内宜设置用来封盖导井井口的下层平台和作为支护工作的上层平台。

4.2.14 当围岩软弱、地下水丰富，下部没有出渣通道时，也可采用沉井法施工，利用沉井起到保护作用。沉井施工时应均匀开挖下沉防止偏斜，开挖面设置集水井及时排水。

4.2.15 发生堵井事件时，应查清堵塞段的位置，并根据堵塞状况采取安全可靠的措施疏通。人员不得从导井下部进入堵塞段进行处理。

4.2.16 围岩稳定性较差、锚喷支护不足以保证开挖施工安全时，可采用倒挂混凝土、间隔圈梁混凝土、型钢拱架等方法进行初期支护，倒挂混凝土法衬砌与开挖掌子面距离不宜超过 3 m。间隔圈梁混凝土间距不宜超过 3 m。型钢拱架间距不宜超过 1 m。

4.2.17 竖井井筒穿过冲积层、松软岩层或煤层时，应进行有效加固。采用井圈、桁架梁或其他临时支护时，应紧靠工作面可靠支护，并尽快进行永久支护。

4.3 斜井开挖

4.3.1 斜井可采用全断面法、导洞法、台阶法、核心土法等施工。

4.3.2 陡斜井深度超过 450 m 时应设施工支洞；缓斜井两个支洞之间的距离不宜超过 3000 m。施工支洞与斜井相交部位，应有不少于 25 m 的平段，平段轴线与斜井轴线宜在同一个铅垂面内。

4.3.3 陡斜井分为上、下两段同时施工时，两段之间应保留岩塞，岩塞长度不应小于 2 倍洞径并不小于 15 m；缓斜井相向开挖的两个工作面相距 30 m，或小断面井洞为 5 倍洞径距离爆破作业时，双方人员均应撤离工作面；相距 15 m 时应停止一方作业，单向贯通；相距 5 m 时，应钻设超前探孔。

4.3.4 斜井施工时，应有防止设备、轨道、管路等下滑的专项措施。

4.3.5 采用有轨出渣时，应符合下列要求：

- 1 应选择与最大牵引力匹配的卷扬提升运输设备。
- 2 轨道在平段与斜坡连接处应以竖曲线平顺连接，并在平段的适当位置上设置可控制的挡车装置。
- 3 牵引绳应与斜坡段轨道中心线一致，并设地滑轮承托。
- 4 斜井内宜每隔 100 m 左右设置一个避车洞。

4.3.6 陡斜井开挖应按 4.2 的规定执行，并遵守下列规定：

- 1 陡斜井导井宜沿斜井轴线布置，当围岩强度较低或与不良地质状况时，应防止溜渣冲击导致的断面体型变化或导孔坍塌。
- 2 陡斜井扩挖施工掌子面宜近似垂直于斜井轴线，以便于钻孔。

4.3.7 缓斜井施工宜采用有轨运输，也可采用皮带机运输。

5 竖井斜井衬砌

5.1 一般规定

5.1.1 竖井斜井衬砌前应对开挖断面进行测量复核，对欠挖、侵界等进行处理，并应对基岩面进行清理、验收。

5.1.2 在地下水发育地段，应采取封闭出水点或排水等措施。

5.1.3 衬砌前应根据设计要求、工程施工条件、结构物特征、工程总进度等编制施工方案，确定模板类型、钢筋连接形式、混凝土运输方式、浇筑及养护方法等。

5.1.4 混凝土垂直运输可采用泵送、溜槽、溜管（常压、负压）、斜坡胶带机等入仓方式，有条件时也可采用吊罐入仓。

5.1.5 竖井斜井混凝土溜送系统应加配缓降装置，缓降装置的安装间距和型式应经试验确定，间距不宜超过 15 m。溜送系统应可靠固定。

5.1.6 竖井斜井与其他洞室连接部位不规则断面的混凝土衬砌宜采用拼装模板。

5.1.7 模板台车及滑模应有足够的强度、刚度和稳定性，钢面板厚度不宜小于 10 mm。

5.1.8 滑模支撑构件及提升（拖动）设备应保证模板均衡滑动，导向构件应保证滑动方向准确。

5.1.9 采用滑模衬砌时应根据混凝土初凝时间、滑升速度，合理安排钢筋安装、爬杆接长、混凝土浇筑等工序循环作业时间，保证机械化连续施工。

5.1.10 脱模时间应根据混凝土性能、井内温度、断面形状等因素确定。混凝土衬砌时应按以下要求控制混凝土脱模强度：滑模不

小于 0.3 MPa、滑框倒模不小于 0.4 MPa、钢模台车不小于 0.5 MPa。

5.1.11 寒冷、高温季节进行混凝土衬砌及钢管焊接时，应制定保温或降温措施。

5.1.12 竖井斜井采用钢管衬砌时，钢管安装应自下而上并与混凝土浇筑施工分段、交替进行，定位节相邻管节安装应在其混凝土达到设计强度的 50% 后进行。混凝土运输设施不应影响钢管运输。

5.1.13 钢管制作安装应按《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》DL/T 5017 执行。

5.2 竖井衬砌

5.2.1 竖井混凝土衬砌宜采用滑模施工，也可采用滑框倒模，长度短时亦可采用定型模板或组合模板，断面较小时也可采用筒形模板。

5.2.2 采用定型模板或者组合模板施工时，模板及其支撑体系应进行详细设计。

5.2.3 滑模模板高度宜控制在 120 cm~150 cm，滑模及滑框倒模应设计成上大下小、锥度宜为 0.1%~0.3%，以利于滑升，模板 1/2 高度处的断面尺寸应与设计结构截面相同，模板上、下口尺寸允许偏差均为 ± 5 mm。

5.2.4 滑模及滑框倒模衬砌时，钢筋安装应按下列规定执行：

1 钢筋安装的位置应准确，符合设计要求，且其安装的进度应与模板滑升速度相适应，确保模板顺利滑升。

2 应保证竖向钢筋下端位置准确，上端用限位支架固定，双层钢筋结构应采用拉筋定位。

3 当采用圆钢、钢管作支承杆时，可等强度替代部分结构钢筋。

5.2.5 滑模衬砌时，浇筑混凝土应按下列规定执行：

1 铺层厚度应与混凝土的施工工艺和振捣器的性能相适应，宜为 0.2 m~0.4 m。

2 浇筑宜对称交圈、均匀布料，预留孔洞周边应对称平齐。

3 滑模的偏斜度应控制在 1% 以内。

4 每提升一个浇筑层，应全面检查偏移情况，做出记录，及时调整。操作平台较小偏移时即应及时调平，操作平台累积偏移量超过 5 cm 时应停止滑升进行处理。

5.2.6 滑框倒模宜采用轻质面板，面板沿滑动方向的长度宜大于 1500 mm，单块面板宽度宜为 300 mm。脱模操作架应安全可靠、便于倒模。模板应及时清理，涂刷脱模剂。变形、损坏的模板应更换。

5.2.7 较小断面的竖井宜采用筒形模板浇筑，模板与芯架宜采用绞轴式连接，模板高度宜控制在 3 m 以内。

5.2.8 竖井钢管混凝土衬砌应符合以下要求：

1 钢管安装应采取垂直吊运。焊接工作平台可悬挂固定于已安装的钢管上，随钢管安装而上升。连续安装高度宜为 20 m～30 m，验收合格后分仓连续浇筑至离钢管管口最低点约 50 cm。

2 钢管混凝土上升速度应与钢管承载能力相匹配，混凝土应分层、平起、对称、均匀浇筑。

5.3 斜 井 衬 砌

5.3.1 斜井采用有轨滑模衬砌时，应按下列规定执行：

1 滑模牵引方式宜采用连续拉伸式液压千斤顶抽拔钢绞线，也可采用卷扬机、爬升器等方式。

2 滑模牵引方向应交于滑模重心处且与斜井中心线平行。

3 滑模轨道的布置应保证模体滑移平稳，轨道刚度、安装精度满足滑模施工质量要求，并便于安装、拆除。

4 轨道基础应进行专门设计，轨道高程不应影响钢筋安装与衬砌混凝土结构要求，轨道基础混凝土符合衬砌混凝土强度等级要求，经验收合格后使用。

5 滑模前方导向机构应与模体连接牢固可靠，支撑架应具有

足够的强度，导向轮应运转灵活。滑模需设置后轮时，后轮宜与滑模导向前轮处于同一平面内，且后轮应有防止压伤新浇混凝土的措施。

5.3.2 陡斜井衬砌应按 5.2 竖井衬砌的规定执行，采用滑模衬砌时应遵守下列规定：

1 采用运输小车运送钢筋、混凝土等材料时，运输小车宜与滑模前轮导向轨道同轨。

2 滑模模板底部长宜为 1.2 m，顶拱宜为 1.5 m，锥度宜为 0.4%~0.6%。

3 滑模施工过程中的混凝土浇筑层面宜大致水平，两侧均匀上升。

4 模体每次滑升的间隔时间不宜大于 1.5 h。

5.3.3 缓斜井混凝土衬砌宜采用模板台车施工，也可采用滑模施工。

5.3.4 缓斜井城门洞型的混凝土衬砌应考虑交通影响合理安排衬砌顺序。

5.3.5 缓斜井圆形断面混凝土衬砌宜采用全断面一次衬砌。圆形断面底部 120°范围内的混凝土应有防止气泡、水泡聚集的措施。

5.3.6 缓斜井衬砌混凝土分段长度不宜超过 12 m，井洞外形变化处或者结构缝处宜作为衬砌分缝线。

5.3.7 缓斜井采用模板台车衬砌时应按下列规定执行：

1 钢模台车安装允许偏差应符合模板安装要求。

2 模板台车牵引、移动宜采用液压或卷扬机等设备。

3 模板台车衬砌浇筑层面宜大致水平，两侧均匀上升，分层厚度不宜超过 50 cm。止水部位混凝土应在两侧均匀布料，防止止水偏斜。

5.3.8 小断面缓斜井采用滑模施工时应按下列规定执行：

1 滑模强度、刚度应满足滑移稳定要求，侧模长度按混凝土 1:1.5 的自然流淌坡度进行设计，顶拱模板长度不宜小于 5 m，纵

向模板锥度按 0.4% 设计。

2 滑模边墙混凝土宜掺缓凝剂，顶拱混凝土掺用早强剂。泵车浇筑时混凝土边墙、顶拱坍落度宜分别采用 7 cm~9 cm、5 cm~7 cm。脱模强度按 0.2 MPa~0.5 MPa 进行控制。

3 滑模衬砌浇筑层面宜两侧均匀上升；应有防止顶拱混凝土塌落和拉裂的措施。

5.3.9 钢管安装应采取轨道运输，宜洞口多节组装洞内安装，坡度 15° 以下的连续安装长度宜为 200 m，坡度大于 15° 的缓斜井钢管连续安装长度（高度）宜为 20 m~30 m。验收合格后分仓连续浇筑至离钢管端口 50 cm。

5.3.10 钢管端头应设置堵头模板。混凝土上升速度应与钢管承载能力相匹配，混凝土应分层浇筑、两侧均匀上升。

6 灌 浆 施 工

6.0.1 固结灌浆、回填灌浆及钢衬接触灌浆应遵守《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 的有关规定。

6.0.2 回填灌浆应在混凝土强度达到设计强度的 70%后进行，固结灌浆宜在相应部位的回填灌浆结束 7 d 后进行，钢衬接触灌浆宜在混凝土达到稳定温度后进行。

6.0.3 衬砌为钢筋混凝土时，回填及固结灌浆孔应采用预埋方式，埋管位置应准确并标记，偏差不应超过 10 cm。衬砌为素混凝土时，灌浆孔宜直接钻进。

6.0.4 回填灌浆宜采用“带模注浆”的方法，在钢模台车未脱模前进行，也可在衬砌后分区段、分次序进行，注浆压力应符合设计要求。

6.0.5 固结灌浆可采用“环内分序、环间加密”进行，环间宜分两序。

6.0.6 钢衬接触灌浆应自低处孔开始，边灌浆边敲击振动钢衬，当高处孔分别排出浓浆且浆液量和浓度满足要求后，可依次封孔。

6.0.7 固结灌浆水灰比可采用 2:1、0.8:1、0.6:1（或 0.5:1）3 个比级，限量法调整浆液比例。

6.0.8 接触灌浆浆液水灰比可采用 0.8:1、0.6:1（或 0.5:1）两个比级，浆液变换和灌浆结束条件应执行《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 的有关规定。

6.0.9 灌浆过程中，应控制灌浆压力和灌浆量，做好抬动观测，防止围岩及混凝土出现抬动变形和破坏，控制钢衬变形不超过设计规定值。

6.0.10 灌浆前应对灌浆区域地质情况、施工缝及混凝土缺陷等进

行全面检查和分析，对可能出现漏浆的部位应先行处理。

6.0.11 高压固结灌浆应由低压到高压、由浅层到深层，低压灌浆和高压灌浆之间应至少待凝 4 h。

6.0.12 灌浆孔封孔前应清孔。回填灌浆封孔应采用干硬性水泥砂浆，固结灌浆应采用全孔灌浆法、导管注浆法封孔及风动封孔器封孔，钢衬接触灌浆应用丝堵加焊或焊补法封孔。

6.0.13 报废孔的处理应随封孔同时进行。

6.0.14 灌浆施工完成后，应按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 中的有关规定进行检验。

7 质量控制与检验

7.0.1 竖井斜井施工应建立质量控制与检验制度，上道工序质量验收合格后方可进入下道工序施工。

7.0.2 竖井斜井开挖及支护过程中的质量检查和控制，应满足《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL/T 5099、《水电水利工程施工爆破施工技术规范》DL/T 5135 及设计有关要求。

7.0.3 竖井斜井开挖及支护质量控制和检验应包括下列项目：

- 1 井体的轴线方向、轮廓线及平整度、残孔率。
- 2 循环进尺及初期支护质量。
- 3 不良地质段处理结果。

7.0.4 竖井斜井钻爆作业钻孔质量应符合下列要求：

- 1 钻孔孔位应由测量精确定位。
- 2 周边孔在断面轮廓线上开孔，周边孔和掏槽孔的孔位偏差不大于 5 cm，其他炮孔孔位偏差不大于 10 cm。
- 3 炮孔孔径、孔深、孔斜应满足爆破设计要求。

7.0.5 竖井斜井光面爆破和预裂爆破的质量应符合下列要求：

- 1 炮孔痕迹应在开挖轮廓面上均匀分布，残孔率为：完整岩体 85%以上，较完整和完整性差的岩体不小于 60%，较破碎和破碎岩体不小于 20%。
- 2 相邻两孔间岩面平整，孔壁不应有明显的爆破裂隙。
- 3 相邻两茬炮之间的台阶或钻孔的最大偏斜值，应小于 20 cm。
- 4 预裂爆破后应形成贯穿性连续裂缝。

7.0.6 竖井斜井施工每进尺 50 m 时或 3 个月内，应复核测量导线基点；每开挖完成一个循环进尺后，对开挖断面、轴线方向、

高程、轮廓线进行测量复核。衬砌前应对开挖断面进行测量复核验收。

7.0.7 初期支护的质量检查，应在每个循环的施工工序完成后进行；若实行分部位开挖时，应在每部位的施工工序完成后进行。

7.0.8 初期支护质量检查应按《水电水利工程喷锚支护施工规范》DL/T 5181 及设计要求执行，质量检查项目应包括：

- 1 拱架支撑的间距、节间连接、支脚处理、纵向连接。
- 2 锚杆长度、位置、方向、数量、注浆密实度、拉拔力等。
- 3 钢筋网格尺寸、搭接长度。
- 4 喷射混凝土强度、厚度、均匀性、密实度和喷层的整体性以及渗水部位处理结果。
- 5 其他支护措施的质量等。

7.0.9 竖井斜井开挖支护质量验评资料应包括：

- 1 施工详图及设计变更文件。
- 2 不良地质必要的地质素描。
- 3 质量检查、检验记录表。
- 4 单元工程质量评定。

7.0.10 竖井斜井不应欠挖，尽量减少超挖。平均径向超挖值不大于 25 cm。地质原因导致的超挖，应根据地质条件由各参与方共同确认，并提出处理方案及检查验收标准。

7.0.11 竖井斜井开挖爆破时，对未达龄期的相邻衬砌混凝土应按《水电水利工程爆破施工技术规范》DL/T 5135 的有关规定进行爆破控制。

7.0.12 竖井斜井混凝土衬砌工程的质量控制和检验，应按照《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T 5169、《水工混凝土施工规范》DL/T 5144、《水工混凝土钢筋施工规范》DL/T 5110、《水工建筑物滑动模板施工技术规范》DL/T 5400 及设计要求执行。

7.0.13 滑动模板和模板台车安装应验收合格后才能进行下道工序。

7.0.14 滑模施工质量控制和检验,应满足《水工建筑物滑动模板施工技术规范》DL/T 5400 中有关要求,还应包括检查下列项目:

- 1 模体轴线、平面尺寸、偏扭状况等(每班不少于一次)。
- 2 混凝土分层浇筑厚度、模体滑动速度等。
- 3 混凝土脱模后有无塌落、拉裂和蜂窝麻面等现象。
- 4 混凝土脱模强度(每班不宜少于两次)。

7.0.15 竖井斜井滑模轴线允许偏差为斜井长度或竖井深度的0.5‰。

7.0.16 竖井滑模模体扭转的允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ 。

7.0.17 固结灌浆、回填灌浆及接触灌浆,在施工过程中的质量控制及检验应按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 及设计中有关规定执行。

7.0.18 钢管和支座质量验收应符合《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》DL/T 5017 中相关要求。

7.0.19 斜井竖井固结灌浆主要质量控制项目及合格标准见表 7.0.19。

表 7.0.19 斜井竖井固结灌浆主要质量控制项目及合格标准

序号	检查项目		合 格 标 准
1	钻孔	孔序	符合设计要求
2		孔位	允许偏差±10 cm
3		孔径	符合设计要求
4		孔深	允许偏差±20 cm
5	灌浆	段序及长度	符合设计要求
6		钻孔冲洗	符合设计要求
7		压水试验	符合规范和设计要求
8		灌浆压力	升幅和升速、压力表的摆幅应符合规范或设计要求
9		浆液变换	符合规范和设计要求
		结束标准	符合规范和设计要求

续表 7.0.19

序号	检查项目		合 格 标 准
10	灌浆	中断影响	无中断或虽中断未影响质量
11		封孔	平整、密实、不渗水
12		灌浆记录	齐全、清晰、准确

8 施 工 安 全

8.0.1 施工前应制定专项安全技术方案，对施工人员进行安全技术交底和培训，特种作业人员应持证上岗。

8.0.2 应建立安全应急管理机构、并定期进行安全应急演练。

8.0.3 应及时进行危险源辨识和隐患排查，作业现场应有警示标志和标识标牌。

8.0.4 进入施工现场的人员应实名登记，洞内宜建立信息化安全监控预警系统。

8.0.5 作业前应进行安全检查，坚持日常检查和定期检查，发现安全隐患应及时处理。

8.0.6 缓斜井井口应设置拦车器、安全门禁；陡斜井、竖井井口应设置临边防护围栏，围栏结构及尺寸应满足安全要求。井口应设置警卫值班室。

8.0.7 竖井斜井施工用卷扬提升、钢绞线爬升、运人电梯、滑升模板、滑升台车、升降吊笼等设施应有过载、过流、限位、限速、自动平衡、自动防坠、牵引失效保护等装置，以及视频辅助监控。

8.0.8 斜井扩挖台车、运输台车、钻孔灌浆台车及竖井吊笼升降时、无关人员不得乘坐。台车（吊笼）就位锁定后方可作业。不得超载，依规堆放的材料和设备应均衡放置且牢固固定。

8.0.9 竖井斜井的台车、吊笼和卷扬升降等设备应设专人指挥，指挥与操作人员间应通信联络通畅。

8.0.10 竖井运输设备应设导向装置，钢丝绳作为导向装置时，钢丝绳宜采用金属芯钢丝绳，并设置张紧力测量装置，导绳张紧力应均衡，其直径、张紧力大小应执行有关行业规定。

8.0.11 井下通风应满足环境安全要求，应及时排烟除尘。必要时

应为作业人员配置氧气袋。

8.0.12 爬罐施工过程中应加强对爬罐轨道、轨道锚固和井壁围岩等进行检查。

8.0.13 扩挖钻孔或支护前，应封盖导井井口。扒渣作业人员应佩戴安全带（绳），并可靠固定。

8.0.14 反井钻机施工或上井口扒渣时，下井口应布设安全围挡，安排专人警戒；下井口出渣时，上井口应封盖。

8.0.15 混凝土下料的溜槽或溜管应有安全保护装置，溜管、溜槽应用钢丝绳串联，每节宜用绳卡与钢丝绳连接，间隔 10 m~15 m 钢丝绳应与岩壁上锚杆可靠固定。

8.0.16 在衬砌起始位置以下适当高程，宜设置封闭良好的安全防护平台。

8.0.17 井内风管和水管宜在地面锚固，顺井壁铺设、间隔固定，井内应选用不小于最大压力 1.5 倍的承压水管和风管。

8.0.18 井内施工用电应采用电缆，沿井壁架空布设，电缆接头应做防水处理。

8.0.19 竖井斜井施工用卷扬提升、钢绞线爬升、运人电梯、滑升模板、滑升台车、升降吊笼等设施的设计、制造、安装、使用应满足《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370、《水电水利工程土建施工安全技术规程》DL/T 5371 和《水电水利工程施工作业人员安全操作规程》DL/T 5373 要求。

8.0.20 竖井斜井爆破作业时应遵守 DL/T 5135 有关规定。

8.0.21 井内风、水管管路布置及井内施工照明度应符合 DL/T 5099 的要求。

8.0.22 竖井斜井衬砌滑动模板作业时应遵守 DL/T 5400。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

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:

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该这样做的:

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,采用“可”。

2 条文中指明应按照其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《钢结构设计标准》 GB 50017
《起重机设计规范》 GB/T 3811
《货用施工升降机 第 1 部分：运载装置可进入的升降机》
GB/T 10054.1
《罐笼安全技术要求》 GB 16542
《吊笼有垂直导向的人货两用施工升降机》 GB 26557
《钢丝绳安全使用和维护》 GB/T 29086
《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》 DL/T 5017
《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》 DL/T 5099
《水电水利工程模板施工规范》 DL/T 5110
《水电水利工程爆破施工技术规范》 DL/T 5135
《水工混凝土施工规范》 DL/T 5144
《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》 DL/T 5148
《水电水利工程施工安全防护措施技术规范》 DL 5162
《水工混凝土钢筋施工规范》 DL/T 5169
《水电水利工程施工测量规范》 DL/T 5173
《水电水利工程锚喷支护施工规范》 DL/T 5181
《水电水利工程施工通用安全技术规程》 DL/T 5370
《水电水利工程土建施工安全技术规程》 DL/T 5371
《水电水利工程施工作业人员安全操作规程》 DL/T 5373
《水工建筑物滑动模板施工技术规范》 DL/T 5400

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程竖井斜井施工规范

DL/T 5407 — 2019

代替 DL/T 5407 — 2009

条 文 说 明

目 次

2	术语	33
3	施工准备	35
3.1	一般规定	35
3.2	施工规划	36
3.3	施工测量	37
3.4	专用设备及设施	39
4	竖井斜井开挖	41
4.1	一般规定	41
4.2	竖井开挖	42
4.3	斜井开挖	45
5	竖井斜井衬砌	47
5.1	一般规定	47
5.2	竖井衬砌	48
5.3	斜井衬砌	50
6	灌浆施工	53
7	质量控制与检验	55
8	施工安全	56

2 术 语

2.0.1 竖井在水电水利工程中采用比较普遍，包括引水竖井、闸门井、调压井、出线井、通风井等，一般为垂直布置，极个别工程特殊情况也有采用倾角 $75^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 布置，但其施工方法与垂直的竖井基本相同。

2.0.2 《水电建筑工程预算定额（2004 年版）》规定，斜井倾角为 $25^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，竖井倾角大于 75° 。在水电水利工程中，引水斜井普遍采用的倾角为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ， $25^{\circ}\sim 44^{\circ}$ 的斜井较少，一般用于出线井、施工支洞等， $61^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 的斜井更少，偶尔见于通风井等。

2.0.4 液压伞钻是竖井施工中用来钻凿炮孔的专用凿岩设备。采用液压传动型式，所有动作实现机械化。

2.0.6 反井钻机法是 20 世纪 90 年代开始在水电水利行业应用，几乎适应各类围岩，主要用于开挖导井，具有安全、速度快等优点，缺点是成型井径小，通常为 1.4 m，对于深井、大直径竖井扩挖时需再次扩挖导井形成溜渣导井。另外，反井钻机进行施工作业时要求有较陡的倾角，一般为 55° 以上。ZFY（LM）系列反井钻机主要技术参数见表 2-1。

表 2-1 ZFY（LM）系列反井钻机主要技术参数

钻机型号	ZFT0.9/90	ZFY1.2/120	ZFY1.4/200	ZFY1.8/250	ZFY1.4/280	ZFY1.4/300
基本参数	LM-90	LM-120	LM-200	LM-250	LM-280	LM-300
导孔直径（mm）	190	244	216	244	250	250
扩孔直径（m）	0.9	1.2	1.4	1.8	1.4	1.4
钻孔深度（m）	90	120	200	250	280	300
出轴转速（r/min）	5~33	5~33	5~33	5~33	5~36	5~36

续表 2-1

钻机型号	ZFT0.9/90	ZFY1.2/120	ZFY1.4/200	ZFY1.8/250	ZFY1.4/280	ZFY1.4/300
导孔额定扭矩 (kN·m)	7	15	20	17	—	36
扩孔最大扭矩 (kN·m)	15	30	40	52	—	70
钻头许用最大推力 (kN)	150	250	350	700	550	550
扩孔最大拉力 (kN)	380	500	850	1250	1250	1300
钻孔倾角 (°)	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90
主机质量 (t) (包括搬运车)	4.5	6	8.3	8.5	12	10
主机运输尺寸 (mm×mm×mm) (长×宽×高)	1900× 950× 1115	2290× 1110× 1430	2950× 1370× 1700	2670× 1380× 1560	3000× 1410× 1740	3000× 1410× 1740
主机工作尺寸 (mm×mm×mm) (长×宽×高)	2380× 1275× 2847	2977× 1422× 3277	3230× 1770× 3448	3350× 1650× 3940	3280× 1810× 3488	3280× 1810× 3488
钻杆有效长度 (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
钻孔偏斜率 (%)	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
电机功率 (kW)	52.7	66	86	86	86	129.6
驱动方式	全液压 驱动	全液压 驱动	全液压 驱动	全液压 驱动	全液压 驱动	全液压 驱动
适应岩性	岩石单向抗压强度小于 140 MPa					

2.0.7 爬罐法由于爬罐轨道需附着在井壁上, 因此只能用于较好的 I、II、III 围岩, 其开挖深度不超过 250 m。

2.0.8 深孔分段爆破法适用倾角 70°以上, 井深小于 40 m, 下部有施工通道和堆渣空间的竖井或斜井。水电五局在白鹤滩泄洪洞龙落尾段通风系统通风竖井, 井深 10 m~20 m 不等, 导井采取深孔分段爆破法施工, 先形成小导井, 再利用人工手风钻扩挖。开挖小导井时, 采取分段爆破, 每段 3 m, 爆破完后再清孔、再次爆破。

3 施 工 准 备

3.1 一 般 规 定

3.1.1 施工前，收集的工程地质资料如下：

2 地质资料主要包括：岩土物理力学性质，包括密度、坚固性、含水量、孔隙度、吸水率、渗透性、声波速度、抗压强度、抗拉强度、变形模量、塑限、液限、塑性指数、内聚力、摩擦角等。地层岩性资料，特别是松散、软弱、崩解、膨胀和易溶岩层的分布。地质构造资料，特别是断层、节理裂隙密集带、破碎带等的位置、产状和规模等。

水文资料主要包括：地下水分布及其水位、水温、水质、涌水量等，特别是大涌水量的含水层、强透水带和补给水源等情况。

特殊地质资料主要包括：岩体初始地应力资料，特别是高地应力区应收集围岩变形、岩爆等资料。地温资料，特别是高地温地段应收集地下水的温度、酸碱度、逸出气体等资料。有害气体或放射性元素的性质、含量及其分布范围。易溶岩区域岩溶洞穴的发育层位、规模和充填情况。

3.1.2 施工组织设计应结合工程实际情况，有所侧重。如果地质条件差应制定不良地质条件下的施工方法和支护措施。如遇埋深较深的深竖井、长斜井，应重点进行通风设计、制定高应力区施工措施等。

3.1.5 围岩监控是竖井斜井开挖安全施工的重要手段。对围岩稳定安全监测，能够及时掌握围岩稳定情况，通过调整施工程序，修正支护参数等一系列措施，控制围岩变形，发挥围岩的自承能

力，达到安全施工的目的。一般开挖直径超过 10 m、长度（深度）超过 100 m 或处于不良地质条件下的竖井斜井，施工过程中应进行安全监测。

3.2 施 工 规 划

3.2.2 寒冷、高海拔、高地热、高地应力、有害气体或放射性元素地区竖井斜井开挖应选择适宜的施工方法和施工机械。寒冷及高海拔缺氧地区，洞井外辅助工程应采取保温防冻措施。高寒地区因海拔高、大气压力低、施工环境缺氧，目前有效的措施是减少劳动时间、加强通风、必要时进行补氧。

高地热地区竖井斜井施工，由于洞井内温度高，导致施工人员、机械设备效率低，设备故障增多。根据经验，采取加强通风、提高洞井内空气流动，利用冰块、喷雾等进行洞井内降温，减少人员，增加机械施工等措施。

高地应力地区最大的危害是岩爆问题，为了减少岩爆产生的危害，一般采用导洞超前使应力提前释放。高地应力使围岩变形不收敛，采取加密深层锚杆、注意加密浅层锚杆和增加更深层的锚索是一项重要的措施。

3.2.3 高海拔地区，随着高程增加而空气含氧量降低，温度和气压也发生变化，炸药产生的有害物质体积也增大，施工机械降效，造成燃烧不充分，增加有害物质，因此需要对计算出的通风量进行修正。温度与风速关系按表 3.2.3-1 执行，高程修正系数按表 3.2.3-2 执行。

表 3.2.3-1 温度与风速关系

温度（℃）	15 以下	1~20	20~22	22~24	24~28
风速（m/s）	<0.25	<1.0	>1.0	>1.5	>2.0

3.2.5 由于进行斜井竖井施工时，突然断电可能导致卷扬系统、

通风系统、排水系统设备停止工作，发生安全事故。因此，双回路供电或备用电源，双回路供电或备用电源容量大小需满足通风、排水和井内施工人员撤离用电需要。

表 3.2.3-2 高程修正系数

高程 (m)	0	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
修正系数	1.00	0.90	0.85	0.81	0.76	0.75	0.69	0.65	0.62	0.58

3.2.7 为了保证井下施工人员的安全，必须保证井上井下通信畅通，目前可采用声、光、电等介质，有条件的可以采用信息化安全监控预警系统。

3.3 施 工 测 量

3.3.1 明确施工测量、资料整理执行《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 和《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 的相关规定。

3.3.2 明确了竖井、斜井施工测量的主要工作任务。

3.3.3 明确了竖井、斜井施工测量的控制技术要求和方法。

3.3.4 按照《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 和《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 的规定，鉴于水工建筑物长斜井、深竖井的特点及实践经验，由于斜井相向开挖施工，可降低单向开挖的施工压力，因此这里对实际贯通面位置提出了建议，即应通过斜井、竖井贯通。

3.3.5 根据施工实践经验总结，结合《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 及《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 的规定，对控制测量提出了如下要求：

1、2 对斜井、竖井基本导线的近井控制点精度检测以及基本导线对斜井、竖井进行的控制检验和几个蓄能电站顺利贯通的实践证明了的、行之有效的方法是将近井控制点换算为其所位于

的斜井、竖井施工相对坐标系统，具有简化计算以及相对关系明确、直观、方便的特点，对现场施工放样、检查相当有利。

3 对弯段可能出现的特殊极短边情况做了补充规定。在局部需要高精度高程控制时，可根据估算或需要，进行单独布设。

4 拐弯目镜是斜井、竖井测量时必备的配件。复杂环境下，电子照准和光学照准互相校核可以减少错误。

3.3.6 根据施工实践经验总结，结合《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》DL/T 5099 及《水电水利工程施工测量规范》DL/T 5173 的规定，对施工放样提出要求及建议：

1 虽然斜井、竖井施工难度相对较大，但对于测量来讲，应该可以满足这些规定要求。

2 在深竖井中，重锤难以保证稳定，可以采用接力的方法保证传递。

3 实践证明，在斜井导井施工阶段，较短距离采用 TAPS 非接触自动极坐标测量系统比较有效，但是在反井架设仪器危险性较大；对于长距离斜井导井采用激光定向、激光接力导向是行之有效的办法。依据施工实践经验，提出了精度指标。在扩挖、正导井中采用交流电源、直流电源激光定向仪均可，在反导井中应采用直流电源激光定向仪，目前已有国产成品出售，且穿透力较强，缺点是功率较大，在使用中要注意对人员眼睛的保护。激光定向仪使用时均应外设保护罩，尤其反导井的保护罩要坚固、耐撞击。激光束定位及检测可以采用坐标测设法、平行线法、吊垂球随时随地检测法等。

斜井内环境恶劣，气象条件复杂、多变，因此实际施工中采用圆心放样仪也是可行的办法。

采用激光定向技术时，应加强对激光束位置的检测，保证定向距离的长度，应在岩壁上合理设置点位或标志（光靶）以便对激光束进行校核和复位；激光束的实测方向、倾角与设计值之差宜控制在 2' 以内。

4 测量断面的间距是根据工程需要和实际应用经验确定的。

3.4 专用设备及设施

3.4.1 设备选型满足工程施工需要并且经济合理。

3.4.2 瓦斯、高地热、高地应力、涌水及有害气体等环境下的井洞，施工机械、电器设备等选型时应根据作业环境、工程特点等进行。需要对普通设备改装时，除满足施工需要还应符合安全管理相关规定。

3.4.4 在竖井井口布置起吊系统时，应充分考虑井内各施工所需设备、设施、材料等最大荷重，斜井布置轨道时，应充分考虑轨道满足各工序施工所用，避免重复拆装。

3.4.6 《水利水电工程施工安全防护措施技术规范》DL 5162 载人机械提升钢丝绳应符合以下规定中钢丝绳的安全系数不得小于 12，《起重机设计规范》GB/T 3811—2008 钢丝绳的安全系数不得小于 9，故该规范安全系数取值为 9。

3.4.7 吊笼是指施工过程中用于搭乘人、载物或依照规定同时载人和物，往返于作业点和地面的一种工具。使用时，通过起重机和钢丝绳来实现人员、物料的转移。

罐笼是指运输材料和物资的简易罐状装置。

建筑施工升降机是定型产品，安全可靠，应优先选用。刚性滑道或柔性导绳作导向装置可以防止吊笼或电梯摇摆、扭转，并且是安全保险装置的支承构件。如果在竖井中心布置吊笼，一般采用提升悬吊平台的两根钢丝绳作为吊笼的柔性滑道。

提升设备安全保护装置包括限位装置、限载装置、提升系统失效保护装置等。限载装置建议采用限载滑轮。为解决提升系统失效保护问题，宜采用双筒卷扬机或两台同型号、同步卷扬机提升一个吊笼；卷扬机提升能力应为计算最大提升力的 1.5 倍~2.0 倍。可以采用两根钢丝绳，在吊笼上的吊点尽可能靠近，以避免当一台卷扬机起作用时吊笼偏心受力；也可以采用两端分别固定

在两台卷扬机滚筒上的一根钢丝绳穿过吊笼上的平衡轮提升吊笼。在吊笼平衡轮两侧各设置一根保险短钢丝绳，长度可为 3 m～4 m，其上端用绳卡子固定在提升钢丝绳上，下端固定在吊笼顶部中心附近。

3.4.12 天锚、地锚、岩石锚固点和锁定装置的设计承载力应通过试验测定，钢丝绳或钢绞线等自重应计入总牵引力。

4 竖井斜井开挖

4.1 一般规定

4.1.1 斜井倾角小于 30° 时, 采用自上而下全断面开挖; 倾角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 时, 采用自上而下全断面开挖, 若采用自下而上开挖, 须有扒渣和溜渣措施; 倾角大于 45° 时, 采用先挖导井、再自上而下扩挖或自下而上全断面开挖。

4.1.3 为防止井口周围的石块或杂物掉落井内, 对井口岩石进行可靠锚固。井口设置的安全挡墙, 其结构可以采用混凝土, 也可以采用钢(木)结构, 但要严密。

埋藏式竖井斜井根据围岩情况做好井口支护, 为了保证穹顶的稳定, 也可以对穹顶进行混凝土浇筑; 当井口周围场地不能满足设备布置需要, 可以对周围硐室进行部分超挖。

4.1.6 当导井的直径较小, 为保证顺利溜渣, 爆块最大粒径不得超过导井直径 $1/3$; 当导井不能满足溜渣需要时, 可对导井进行扩挖, 扩挖后导井直径不宜小于 2.4 m 。

4.1.7 自上而下扩大开挖时, 优先考虑机械扒渣, 以提高开挖速度, 减轻劳动强度。扩挖时, 如不及时出渣, 一是容易造成石渣堵井, 处理极其困难, 安全威胁大; 二是造成井内空气不流通, 使井内缺氧, 威胁井内施工人员的生命安全。

4.1.8 缓斜井应设置人行通道, 人行通道应设扶手、梯子和信号装置, 人行道边缘与车辆外缘的距离不宜小于 30 cm 。竖井陡斜井应设置爬梯, 爬梯宜采用“之”字形布置, 长度大于等于 100 m 的竖井陡斜井, 人员交通及材料运输宜采用运输台车、卷扬提升的方式, 可采用无级变速卷扬机, 最大提升速度宜小于 0.5 m/s 。

4.1.10 超前地质预报可采用地质雷达或超前探孔等方式进行。

4.1.11 对于不良地质段陡斜井和竖井，在开挖前，可进行预固结灌浆。全断面开挖时，在大井轮廓线附近进行预固结灌浆，采取反井钻钻进导孔时，在导孔和导井轮廓线外钻孔灌浆。有较差围岩的导井，在底部出渣时及时掌握出渣的方量和爆破方量是否吻合，如发生较大差异时，应观察导井井壁是否发生崩塌，并及时加固处理。

4.1.12 当地质条件较差时，应减少进尺并及时支护，超挖工程量应由几方现场共同确认。

4.1.13 支护前应及时对井壁欠挖进行处理，以避免留下欠挖、增加后期处理难度。井壁有不利的节理裂隙组合时应加强支护，防止岩石坍塌，确保施工人员安全。

4.2 竖 井 开 挖

4.2.1 根据施工设备能力来确定施工支洞的布置，施工设备能够满足导孔一次完成时，可以不设置施工支洞。

当竖井分为上、下两段同时施工时，两段之间保留适当长度的岩塞，以保证将上、下两段安全地隔离。

4.2.2 竖井提升设备包括井口布置设备和井内布置设备，井口布置设备通常有汽车吊、门机、塔机、龙门吊及井架等，井内提升设备有施工电梯、液压链条导轨式升降机等。由水电五局承建的山西省晋中东山供水工程，9-1号施工支洞为竖井支洞，竖井直径为8 m，井深42.7 m，采用液压链条导轨式升降机作为竖井支洞通行方式，该设备额定荷载12 t，提升速度8 m/min，易操作、方便维护。

为防止井口周围的石块或杂物掉落井内，井口采用钢木结构进行覆盖，以保证井下人员上、下吊笼时的安全，同时防止杂物掉落井内。预留运输吊笼的通道，也可作为爆破时释放爆破冲击波的通道。

4.2.3 正井法即自上而下开挖、卷扬机提升的方法，适用于深度在 100 m 以内的导井开挖，亦可用于稳定性差的围岩开挖。爬罐法适用于深度为 100 m~300 m 的导井。反井钻机法适用于中等强度岩石、深度在 400 m 以内的导井。

4.2.4 因反井钻机施工精度的限制，为避免导井的导孔偏出竖井断面以外，采用反井钻机施工的导井宜布置在竖井断面的中心。断面较大时，也可以布置 2 个或 2 个以上导井，具体数量可进行经济分析比较确定。

4.2.5 采用定向钻钻进先导孔的目的是保证反井钻机钻孔的精度。也可采用地质钻进行先导孔的施工。利用导向孔进行孔内摄像，能够了解围岩分布情况，以便于反井钻机的施工。

4.2.7 正井法开挖导井时，安全隐患较多，一般在短导井中使用较多。个别项目由于受交通限制，反井钻机等设备无法运输到达时，可采取正井开挖导井。例如狮子坪水电站调压井，井深 150 m，由于无法形成道路，采取正井开挖直径 2 m 的导井。

4.2.8 水电十四局购置芬兰生产的犀牛（RHINO 1088 DC 型）反井钻机，在厄瓜多尔科卡科多—辛克雷水电站 600 m 级深竖井中成功应用。购置的进口反井钻机采用反导井施工法施工的长度已成功突破 300 m。

目前采用反井钻机开挖的导井直径一般为 0.9 m~3.5 m，最大钻深 400 m。如果受设备能力限制，导井直径较小，溜渣时容易堵井。自下而上先将导井扩挖至直径 3 m 左右，再进行扩挖，可以避免堵井。导井自下而上扩挖采用吊笼法，施工人员乘吊笼在导井内自下而上钻斜向下的辐射形炮孔，爆破自下而上进行，这种方法既安全，施工速度又快。

采用反井钻机开挖、扩挖导井后，也可人工再次扩挖导井。在水电五局的锦屏二级水电站调压井工程中，竖井开挖最大 $\Phi 32.481 \times 30$ m，高度为 148.8 m，采用反井钻机开挖导井 $\Phi 1.4$ m 后，人工扩挖至 $\Phi 5.6$ m 进行溜渣。

4.2.10 爬罐法施工对围岩情况要求较高，一般仅适用于 I、II、III类围岩，开挖导井前要经专项安全论证。

先在反导井下井口开挖领先导井，是为了使爬罐能自下而上进入斜井段，进行反导井施工。领先导井采用搭脚手架的方式进行钻孔开挖。

爆破后进行导井内的通风排尘，高压风、水沿轨道钢管直接喷射到开挖掌子面形成气/水雾，通风时间随反导井掘进长度而定。导井高度较高时，施工人员进入工作面前应先进行有毒有害气体检测。

爬罐法适应于深度 100 m~250 m 的导井，施工人员站在爬罐内操作升降，施工人员在工作平台上完全（成）作业。

爬罐和安装平台上的操作控制柜之间的通信联系，可采用无线电对讲机，条件具备的话，也可以采用对讲机和视频通信。

4.2.11 深孔分段爆破法是指一次钻孔、依次分段爆破成井的施工方法，具有成井速度快的特点。一般适用于深度小于 40 m 的竖井开挖。一般布置 1 个中心孔，中心孔周围布置掏槽孔、周边孔和补偿孔，掏槽孔间隔 25 ms~50 ms，周边孔间隔 150 ms。

4.2.13 扩挖施工时，应严格控制钻孔深度、角度和孔位偏差，周边孔应进行光面爆破。

在利用导井溜渣时，定期观察导井井壁围岩稳定情况，一旦发现下井口渣量与开挖工程量相差较大时，应立即停止施工，检查导井井壁情况，必要时采取措施。由水电五局承建的新疆精河项目，竖井开挖断面直径 16.4 m，高度 120 m，围岩主要为 IV 类、V 类。导井直径为 1.4 m，导井在进行溜渣时发生塌方，塌方量约 354 m³，塌方部位最大长度约 6 m，宽度 4 m。采用钢管护壁方案进行处理：在导井内加装直径 1.2 m 钢管（ $\Phi 10$ mm）作为内支撑，在安装和固定钢管后，利用开挖渣料对塌方空腔进行回填，对钢管底部 5 m 范围进行预固结灌浆，防止扩挖时溜渣井内再次出现大面积坍塌，降低施工风险。

扩挖时井内设置用来封盖导井井口的下层平台防止施工人员坠落。

4.2.14 沉井主要适用于复杂、软弱地层，具有占地少、临时支护与永久衬砌相结合等特点。由水电五局承建的白龙江喜儿沟水电站项目，竖井开挖断面直径 25.2 m，高度 102 m，上部 65 m 采用沉井法施工，其中上部 30 m 为漂卵砂砾石地层，30 m~65 m 为胶结砂砾石。

4.2.15 处理堵井危险性较大，必须制定稳妥、可行的方案后再实施，防止盲目行动。如果堵塞段距导井下口较近，可用竹竿连接（或用气球）将炸药送至堵塞段下部引爆，利用爆炸的振动和冲击波使堵塞段松动、坠落。如果堵塞段距导井上口较近，可用人工系安全带将松渣清理至大石块露出后进行爆破处理。

4.2.16 对全部井壁进行安全支护，以保证施工人员的安全。支护如不紧跟扩挖工作面，一是留下安全隐患，二是登高作业进行支护势必增加施工难度。

当锚喷联合支护尚不能保证开挖施工期间围岩稳定时，采用钢筋混凝土衬砌是比较可靠的措施。例如，福堂水电站调压井采用了边随着竖井向下扩挖边进行锚喷支护及钢筋混凝土衬砌的措施，暂时不衬砌的井壁高度按不超过 3 m 控制。如果暂时不衬砌的井壁高度过大，井壁有可能失稳、坍塌，这样的事故在某工程发生过。

4.2.17 井身开挖中，地质条件较差时，可在井身轮廓线周边布孔进行预灌浆，以提高井壁围岩的安全、稳定。

4.3 斜 井 开 挖

4.3.1 缓斜井分层分区开挖法包括导洞法、台阶法、核心土法等。水利项目新疆喀双勘探试验洞项目中采用了 TBM 硬岩掘进机进行施工，洞径 8 m，全长 5352.2 m，纵坡 11.5%；矿山行业斜井施工中也有多起使用 TBM 施工的案例，但因经济性原因，水电

工程往往很少采用 TBM 或盾构进行施工。

4.3.2 施工斜井导井的设备能力：爬罐一般不超过 300 m，国产的反井钻机一般不超过 400 m。所以，当斜井长度超过 450 m 时，有条件时应设施工支洞。目前，芬兰生产的 RHINO 1088 DC 型反井钻机，在厄瓜多尔科卡科多—辛克雷水电站 600 m 级深竖井中成功应用。根据设备的能力，考虑施工支洞的设置。

施工支洞与斜井相交部位设置至少 25 m 长平段，并与斜井在同一个铅垂面内，是为了满足斜井内人员、物料运输的需要。

4.3.3 当斜井分为上、下两段同时施工时，上、下两段之间保留适当长度的岩塞，以保证将上、下两段安全地隔离。

4.3.6 采用导井法施工斜井时，溜渣导井能够保证顺利溜渣，也可以采取措施保证顺利溜渣。人工开挖的导井布置在斜井断面的下部、距斜井设计开挖底边线 70 cm~100 cm，有利于爆破后向导井内扒渣，同时在开挖导井时底部留有保护层。

4.3.7 由于缓斜井为 $6^{\circ} < \alpha \leq 48^{\circ}$ ，当倾角较小、坡度能满足运输车辆通行时，可采用无轨运输；当倾角不超过 18° 时，可采用皮带机运输，也可采用有轨运输。

5 竖井斜井衬砌

5.1 一般规定

5.1.1 对欠挖、侵界等进行处理主要为了满足混凝土衬砌厚度和结构类型的需要。

5.1.2 对地下水应采取堵、排结合的措施：在渗水点处钻排水孔，在排水孔周围一定范围内喷混凝土；从排水孔引出的地下水通过排水管引排至混凝土仓面以外，否则会影响混凝土质量。

5.1.3 混凝土运输统筹考虑水平运输与垂直运输，保证运输环节之间衔接高效、设备配套，并与混凝土入仓和浇筑方案相适应。

5.1.4 泵送、溜槽、溜管（常态、负压）垂直入仓已经在地下工程频繁使用。有些隧洞由于功能需要，过流面需要通过高速水流，对混凝土的温控要求极高，在白鹤滩水电站泄洪洞建设过程中，洞室衬砌要求低坍落度混凝土，采用了斜坡皮带进行垂直运输。

5.1.6 本条阐述了竖井斜井与其他洞室连接段的交叉口、喇叭口、渐变段等特殊位置的不规则体型可采用常规施工方法进行施工，随着技术的发展也可采用其他方式进行施工。

5.1.7 本条重点阐述模板台车和滑模的强度、刚度和稳定性应根据施工条件、井洞断面尺寸、衬砌厚度等进行充分论证、设计，“面板厚度不宜小于 10 mm”是根据有关工程经验确定的。针对出线井、通风井等小断面井洞，面板厚度可适当调整。

5.1.8 滑模不均衡滑动将造成结构的垂直度超差或扭转偏差严重，甚至到无法继续滑升，且严重到影响滑模结构的安全稳定。导向机构是滑模运行、控制体型的最重要的装置。

5.1.9 滑模连续滑升是控制混凝土外观质量的重要方法。施工前

充分考虑影响连续滑升的因素，提前做好相应准备工作，确保连续滑升。

5.1.10 本条重点阐述混凝土脱模时间，地下工程一般难以获得混凝土试件的强度资料，脱模时间一般按照 24 h~72 h 考虑，或者根据工程经验类比确定。国内目前常规的做法是采用工程经验类比法与有限元结构计算分析两者相结合的方法确定拆模时间，但对于洞径大于 10 m 的应专门进行论证和试验。

关于竖井混凝土的脱模强度，在施工实践中发现：混凝土的脱模强度较低时，在其上部混凝土自重的作用下，脱模后的混凝土会发生塑性变形，影响其后期强度。过低的脱模强度，会造成 28 d 抗压强度降低，滑升的速度越快，降低的比例越大。当滑升速度为 10 cm/h~20 cm/h 时，脱模混凝土的最低强度控制在 0.2 MPa 以上时，混凝土强度 28 d 仅降低 2%~5%；脱模强度达到 0.4 MPa 时，混凝土 28 d 的强度基本不降低。所以，为了不过分影响混凝土的后期强度，适当提高混凝土的脱模强度是必要的。

根据已有的施工经验，规定滑框倒模混凝土脱模强度不低于 0.4 MPa 是合适的，但也不宜太高，以免脱模困难。

5.1.11 地下工程特别是长大深埋斜井竖井，井内气温受季节和外围气温影响较小，只要通风良好，一般均能常年安排混凝土衬砌和钢管焊接施工，只要一端采用保温材料封闭即可，但遇到长度较短或埋深较浅的井时，井内温度对季节变化和外围气温还是敏感，应制订技术保障措施。

5.1.12 本条重点阐述竖井斜井钢管安装与衬砌施工之间的衔接关系，钢管外新浇筑混凝土的抗压强度直接影响钢管安装稳定和安全，施工中应满足混凝土强度要求。

5.2 竖 井 衬 砌

5.2.1 竖井除采用滑动模板和滑框倒模外，有些工程的竖井混凝土衬砌开始采用筒模浇筑。也有采用自升式模板浇筑的案例，但

综合考虑进度、质量、安全和经济效益，还是以滑模浇筑为佳。

5.2.3 为避免操作平台发生倾斜、围圈变形和拉裂混凝土等现象，要求模板要有合适的倾斜度。模板的倾斜度如太小，不利于滑升，如太大，提升后模板与混凝土之间的缝隙则较大，容易产生漏浆，影响工程外观结构。根据施工经验，本规范建议单侧模板的倾斜度宜为模板高度的 0.1%~0.3%。

5.2.4 滑模及滑框倒模衬砌时：

1 钢筋绑扎速度应与滑升速度相匹配，否则将影响进度、产生安全隐患。每个浇筑层面上，最少外露一根已绑扎好的水平钢筋，以便根据它确定继续绑扎钢筋的位置。所有钢筋弯钩背向模板，是为了防止模板向上滑升时被钢筋弯钩钩住，使模板滑升受阻。

2 提升架横梁以上的竖向钢筋应有限位措施将其固定，否则钢筋将倾倒、歪倒，位置发生变动，成片倒塌可能造成安全事故。

3 支承杆的接头是薄弱部位，同一截面支撑杆接头过多，会影响支承系统的承载能力。因此，规定第一批插入千斤顶的支承杆，应加工成 4 种长度，且应交错排列，使其在同一断面的接头数不超过接头总数的 25%。支承杆失稳或被千斤顶带起等异常情况发生时，应引起高度重视。必须查明原因，按照相关规定及时处理并验收合格后继续施工。

5.2.5 本条规定是为了保证脱模后的同一水平面内各点混凝土的强度大致相同，以保证滑升时各支承杆受力比较均衡，从而防止操作平台产生倾斜和扭转。根据施工经验，分层浇筑厚度一般为 0.2 m~0.4 m，并与一次滑升高度相适应。

滑模施工中，对操作平台应做到“勤观察，勤调整”，避免偏差面积过大。纠偏调整应逐步缓慢进行，不能操之过急。操作平台倾斜过大会导致支承杆承载能力降低，模板产生倾斜度以及滑模装置部件出现较大的变形，有关研究结果证明：在标准荷载（15 kN）作用下，当支撑杆的脱空长度为 170 cm~230 cm 和操作

平台倾斜为 1% 时, 支撑杆的承载力降低 22.0%~23.5%, 故建议对操作平台的偏斜度应控制在 1% 以内。本条规定的操作平台偏移量 (5 cm) 是极限值, 当偏移量超过极限值 5 cm 尚不能调平时, 应停止滑升, 采取有效措施进行处理。

5.2.6 滑框倒模采用轻质面板是为了减轻模板的质量; 规定模板沿滑动方向的长度, 是为了混凝土在脱模时能达到要求的强度; 规定单块模板的宽度和质量, 是为了便于人工倒模作业; 滑框工艺是采用液压千斤顶沿着爬杆将带有滑框的操作架带上去, 所以, 操作架上升脱模时必须保证爬杆的嵌固和稳定。

5.2.7 筒形模通过铰链和支拆机构具有收缩和胀开功能, 模板之间以转动铰相连, 转角处为转动铰模, 通过模板内部的支撑杆调节, 实现脱模和立模, 可以实现整装整拆, 此类模板一般仅使用于断面较小的竖井, 模板高度在 3 m 内较为适宜, 模板下部地底盘 4 个支腿, 支撑模板就位, 模板提升必须由外部起重设备进行。

5.2.8 竖井钢管混凝土衬砌应符合以下要求:

1 本条规定了竖井钢管的运输方式、安装平台布置及每次连续安装高度; 避免钢管一次性安装过高所带来的安全稳定问题; 验收合格后分仓连续浇筑至离钢管管口最低点 50 cm 是为了满足钢管连续上升安装焊接等需要。

2 本条规定了竖井钢管混凝土浇筑要求。分层、平起、对称、均匀地浇筑混凝土, 是防止钢管端头堵头模板和钢管变形的重要措施。

5.3 斜 井 衬 砌

5.3.1 斜井采用有轨滑模衬砌时, 应按下列规定执行:

1 斜井滑模的牵引动力装置伴随着工程技术的日益发展, 动力装备也走向多元化, 天荒坪抽水蓄能电站斜井滑模采用 P38 型液压爬升器作为牵引动力装置、龙滩水电站引水隧洞斜井滑模采用 TSD40 型液压千斤顶作为牵引动力装置、桐柏抽水蓄能斜井滑

模采用连续拉伸式液压千斤顶作为牵引动力装置。近年来, 由于钢绞线技术的进步而产生多种规格的液压钢绞线千斤顶得到广泛应用, 连续拉伸式液压千斤顶作为斜井滑模的牵引动力装置已经普遍应用。

2 滑模牵引方向应交于滑模重心处且与斜井中心线平行, 是保证体型的关键措施。

3 滑模轨道的布置应保证模体滑移平稳, 轨道刚度、安装精度满足滑模施工质量要求, 并便于安装、拆除。

4 轨道基础混凝土不拆除。为了便于施工, 可采用模喷混凝土。轨道基础不应过多侵入设计衬砌厚度, 避免对衬砌结构造成不利影响。

5 导向机构是滑模运行、控制体型的最重要的装置, 其安全、可靠是滑模浇筑成功的必备条件之一。导向机构支撑架(或基础)的强度、与模体的连接均应进行结构设计并验收合格后方可投入使用。

5.3.2 陡斜井采用滑模浇筑的施工工艺已经非常成熟, 并已大面积推广, 也有采用拉模浇筑的案例, 但综合考虑进度、质量、安全和经济效益, 还是以滑模浇筑为佳。但还应遵守下列规定:

1 运输小车与滑模前轮同轨, 能确保安全且施工方便。

2 顶拱模板的长度应视斜井的角度而定, 倾角越陡, 顶拱模板长度越短, 但最短不宜低于 1.3 m。

为保证在操作平台上发生倾斜或者浇筑混凝土时围圈变形等情况下, 模板不出现反倾斜度和拉裂混凝土, 要求模板要有合适的倾斜度。模板的倾斜度如太小, 不利于滑升, 如太大, 提升后模板与混凝土之间的缝隙则较大, 容易产生露浆, 影响工程外观结构。根据施工经验, 本规范建议单侧模板的倾斜度宜为模板高度的 0.4%~0.6%。

3 混凝土仓内浇筑方法。分层、平起、对称、均匀地浇筑混凝土, 是防止滑模产生偏差、变形的重要措施。

4 模体每次滑升的间隔时间不宜大于 1.5 h 是根据工程经验而来。具体滑升间隔时间应根据气候、温度及混凝土试验相关参数确定。

5.3.3 水电一局在桐柏抽水蓄能电站斜井和水电十四局在小湾水电站出线洞均采用了连续拉伸式液压千斤顶——钢绞线斜井滑模系统进行斜井浇筑，特别是小湾水电站出线洞为 32° 的缓斜井。该滑模系统已经推广应用于多个电站，技术已日臻完善。

5.3.6 不论结构断面多大，分段长度以 9 m~12 m 为宜，因为围岩对混凝土的约束，容易使混凝土产生裂缝。在软岩中，围岩约束相对较弱，分段长度可以稍长，但也不能超过 15 m。但对于薄壁混凝土，分段长度可适当减小。

5.3.7 缓斜井采用模板台车衬砌时应按下列规定执行：

1 钢模台车安装精度允许偏差必须满足《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110 的要求。

2 模板台车牵引、移动宜采用液压或卷扬机等设备；液压设备应密封，不漏油。模板台车牵引动力采用卷扬机是常规做法，随着技术的发展和成熟，采用液压系统作为牵引动力将越来越普遍，且安全保障也高。在白鹤滩水电站泄洪洞龙落尾（1:3.72）的坡道上施工的模板台车采用液压自行的方式牵引。

3 分层、平起、对称、均匀地浇筑混凝土，是防止模板台车产生偏差、变形的重要措施，分层厚度不宜超过 50 cm 是根据工程经验确定的；斜井混凝土衬砌的伸缩缝及止水结构，一般均为垂直洞轴线环形布置，浇筑时混凝土对伸缩缝及止水结构产生较大的压力，故要求其安装应牢固可靠。为了减少混凝土的侧压力，应从伸缩缝及止水结构两侧同时均衡的浇筑。

5.3.10 分层、平起、对称地浇筑混凝土，是防止钢管端头堵头模板和钢管变形的重要措施，根据工程经验，钢管衬砌混凝土分层厚度不宜超过 50 cm。

6 灌 浆 施 工

6.0.2 灌浆一般存在一定的压力，为避免灌浆压力引起的抬动破坏混凝土，灌浆前，衬砌混凝土应达到一定的强度。在钢衬接触灌浆中，钢衬混凝土浇筑后，混凝土温度在一定时间内处于变化阶段，未收敛至稳定温度，若在该时段进行接触灌浆，易因混凝土温度变化和收缩等影响灌浆质量。因此，钢衬接触灌浆宜在混凝土浇筑完成后 28 d 进行，并宜选择在混凝土达到稳定温度后进行施工。

6.0.3 反井钻井开挖导井中，地质条件差时，孔斜不易控制，特别是高压竖井，其断面面积小，较深，孔斜偏差后易出现导井贯穿后在设计断面外。因此，可提前在导井井周进行预灌浆处理。

井身开挖中，地质条件差时，因围岩不稳定出现坍塌，存在较大安全隐患，也不利于开挖钻孔。因此，井身开挖地质条件差时，可提前在井身轮廓线周边布孔进行预灌浆，提高井壁围岩的安全、稳定。

竖井斜井开挖后，随着开挖深度的加大，井壁围岩应力增加，为提高开挖施工期安全，减少运行过程中的渗漏风险，可提前利用支护过程中的锚杆孔、锚索孔或布孔进行预灌浆（裸岩固结灌浆）。由水电五局承建的锦屏二级水电站工程，调压室竖井衬砌后固结灌浆施工中，专门设置了井筒圆形内接正六边形灌浆台车，该台车既可同步上升，也可单边上升，利于现场分序开展固结灌浆施工。

6.0.4 回填灌浆以填充为目的，为减少后期施工平台搭设，可结合现场情况在衬砌阶段模板未拆除前利用钢模台车或其他平台进行灌浆，也可在衬砌后分区、分次序进行。

6.0.5 固结灌浆分序要求。竖井斜井每一环孔高程接近，考虑安全因素，施工宜采用“环内分序、环间加密”的原则，由低向高进行。

6.0.6 为保证接触灌浆质量，灌浆前应进行脱空检查，针对检查情况制定专项技术措施。钢衬接触灌浆的区域和灌浆孔位置可在现场经脱空检查确定，脱空检查的方式主要有敲击法、冲击回波法、中子法无损检测等。

6.0.9 竖井斜井的混凝土衬砌厚度一般不超过 1 m，高压灌浆时，容易发生变形，因而有必要选取一典型结构面进行混凝土抬动观测试验，取得数据，避免混凝土被破坏。

6.0.11 高压灌浆基本顺序，在从低压灌浆调整为高压灌浆时，应在低压灌浆待凝 4 h 后进行，避免高压灌浆对低压灌浆已填充裂隙的破坏，易造成灌浆范围的扩大和灌浆量的增加。

6.0.12 应结合灌浆形式和方式采取不同的封孔方式；高压灌浆时，灌浆压力大，水泥浆液析水快，凝结时间短，若屏浆时间过长，将无法起塞，因而需通过试验确定。

6.0.13 本条重点说明报废孔的处理方式和原则。灌浆过程中，出现报废孔时应随封孔同时进行，封孔方式参照 6.0.12 执行。

7 质量控制与检验

7.0.9 竖井斜井开挖、支护完成后进行分部工程验收，分部工程验收应由项目法人（或委托监理单位）主持。验收工作组由项目法人、设计、监理、施工等单位的代表组成。

7.0.10 结合已建竖井斜井工程的实际情况，并考虑到竖井、斜井与平洞施工条件的差异，提出竖井、斜井开挖后不应欠挖，尽量减少超挖，平均径向超挖值不应大于 25 cm。对于因地质原因，如局部不稳定楔形体、节理裂隙发育地段、岩爆地段、断层、破碎带等造成的超挖，应由设计单位根据实际地质条件提出处理措施，建设、监理、施工单位共同确认。

7.0.15 竖井斜井滑模的轴线允许偏差为建筑物长度的 0.5%，该要求是根据施工实际经验提出，并经多项竖井、斜井滑模施工验证。

7.0.16 竖井滑模模体扭转的允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ ，该要求是参考《烟囱工程施工及验收规范》GB 50078，并经多项水电水利竖井滑模施工验证。

8 施 工 安 全

8.0.4 井下“信息化安全监控预警系统”由井下施工人员安全监控信息系统和井下视频监控系统两部分组成，主要用于竖井斜井施工安全管控，能准确定位施工人员姓名、班组、数量、下井作业时间，且井口值班人员能够实时掌握井内作业情况，并在出现险情时班组长可以第一时间报警。

8.0.10 导向装置可以防止吊笼或电梯摇摆、扭转，并且是安全保险装置的支承构件。导向装置可以是柔性导绳或刚性滑道。如采用柔性导绳，在牵引失效保护装置停止动作时，抱闸卡紧柔性导绳，吊笼荷载全部由柔性导绳承担，要求柔性导绳具有相当的承载能力。金属芯钢丝绳表面无油脂，利于抱闸卡紧。在吊笼正常运行情况下，柔性导绳限制吊笼摆动、扭转，所以需要有一定的张紧力，而且两根导绳的张紧力应该均衡，使吊笼运行比较稳定。

8.0.11 如果井内空气不流通，排烟除尘不及时、有害气体超标，人员在井内作业容易发生缺氧、窒息及中毒等事故。这在某些工程施工中多次发生过。

8.0.15 为了防止溜槽或溜管因混凝土堵塞造成荷载过大，致使溜槽或溜管连接件断裂而造成事故。钢丝绳直径、钢丝绳的锚固装置及钢丝绳卡大小应经计算确定。

DL/T 5407—2019
代替 DL/T 5407—2009



中国电力出版社官方微信

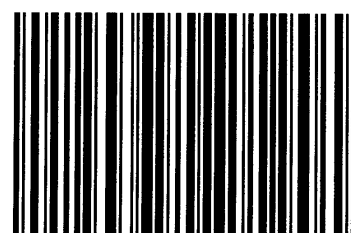


中国电力百科网网址



电力标准信息微信

为您提供**最及时、最准确、最权威**的电力标准信息



155198.2523

定价：30.00 元